



## تعیین مشخصه‌های فیزیکی و مدل سازی رگرسیونی جرم و حجم پرتقال رقم محلی دزفول

حسن مسعودی<sup>۱\*</sup> - عباس روحانی<sup>۲</sup>

تاریخ دریافت: ۹۶/۲/۱

تاریخ پذیرش: ۹۶/۷/۲۶

## چکیده:

در این پژوهش ۱۰۰ نمونه تصادفی از میوه پرتقال (رقم محلی دزفول) پس از برداشت از باغ به آزمایشگاه منتقل شده و اندازه‌گیری‌های مختلفی برای تعیین مشخصه‌های فیزیکی اصلی شامل سه بعد هندسی، جرم میوه، حجم میوه و سطح تصویر میوه انجام شد. نتایج تجزیه واریانس داده‌های آزمایشگاهی نشان داد که در مدل اول بین جرم و حجم پرتقال و سه بعد ارتفاع (h)، پهنا (w) و ضخامت (t) آن رابطه معنی‌داری در سطح یک درصد وجود دارد. مقادیر ضرایب تبیین ( $R^2$ ) معادلات رگرسیونی تخمین جرم و حجم پرتقال برحسب ابعاد سه‌گانه آن نشان داد که معادلات ارائه شده می‌توانند ۹۵/۹۷ و ۹۸/۰۱ درصد تغییرات جرم و حجم پرتقال را به ترتیب توجیه نمایند. در مدل رگرسیونی دوم، ضریب همبستگی پیرسون بین سطح تصویر با جرم و حجم به ترتیب برابر با ۰/۹۷۹ و ۰/۹۶۶ بدست آمد. این همبستگی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد. در مقایسه عملکرد دو مدل رگرسیونی ارائه شده در این پژوهش با یکدیگر، بر اساس کوچکی شاخص‌های RMSE و MAPE و بزرگی EF، عملکرد مدل  $F(h,w,t)$  بهتر از مدل  $F(A)$  بود. مقادیر ضریب تبیین ( $R^2$ ) معادلات رگرسیونی ارائه شده بیانگر دقت بالای این معادلات در برآورد جرم و حجم پرتقال است.

واژه‌های کلیدی: ابعاد هندسی، سطح تصویر، ضریب تبیین، معادله رگرسیونی

## ۱- مقدمه:

درجه بندی بر اساس جرم اقتصادی تر و به صرفه تر می‌باشد. تعیین رابطه بین جرم و حجم میوه با طول، پهنا، ضخامت و سطوح تصویر آن برای طراحی ماشین‌های اندازه‌بندی مفید می‌باشد. به همین دلیل شناخت روابط بین جرم و حجم با این خواص فیزیکی ضروری است. امروزه درجه بندی محصولات کشاورزی با روش‌های مختلفی انجام می‌شود. تکنیک ماشین بینایی و استفاده از پردازش تصویر یکی از روش‌های نوین در زمینه درجه بندی محصولات کشاورزی است و اصولاً سامانه‌های بینایی ماشین قادر به درجه بندی بر اساس مشخصه‌های ظاهری و رنگی محصول می‌باشند. لذا در یک سامانه بینایی ماشین که برای درجه بندی محصولات کشاورزی بر حسب جرم یا حجم آنها بکار می‌رود، داشتن رابطه بین مشخصات فیزیکی محصول با جرم و حجم آن ضروری است. از تکنیک‌ها و الگوریتم‌های مختلفی برای این منظور می‌توان بهره برد. استفاده از رگرسیون خطی به عنوان یکی از روش‌های آماری برای پیش‌بینی خصوصیات فیزیکی محصولات کشاورزی و درجه بندی آنها بر حسب پارامترهای مختلف امکان‌پذیر می‌باشد. در سالیان اخیر، تحقیقات زیادی در زمینه تعیین رابطه بین جرم و حجم محصولات کشاورزی با سایر خواص فیزیکی آنها صورت گرفته است. در تحقیقی جرم پرتقال بر پایه

پرتقال (*Citrus sinensis*) میوه‌ای از خانواده مرکبات می‌باشد. مطابق آمار منتشره در سال ۱۳۸۷ سطح زیرکشت، میزان تولید و عملکرد محصول پرتقال آبی در کشور به ترتیب برابر ۱۴۵۲۸۷ هکتار، ۲۱۳۹۰۹۴ تن و ۱۷۸۲۳ کیلوگرم در هکتار و برای محصول پرتقال دیم نیز به ترتیب برابر با ۴۲۷۳۷ هکتار، ۴۸۰۶۴۲ تن و ۱۵۲۲۸ کیلوگرم در هکتار بوده است (Anonymous, 2009). متأسفانه بخش عظیمی از این میزان تولید به دلیل عدم فرآوری و نگهداری مناسب در فرآیند تولید تا مصرف از بین می‌رود. در حالیکه می‌توان با درجه بندی، بسته بندی و نگهداری مناسب از میزان ضایعات این محصول مفید جلوگیری بعمل آورد.

تعیین خواص فیزیکی محصولات کشاورزی به عنوان مبنایی برای طراحی و ساخت ماشین‌ها و تجهیزات انتقال، درجه بندی و فرآوری محصول همیشه مورد توجه بوده است. اصولاً طراحی تجهیزات فرآوری محصولات کشاورزی بدون توجه به این پارامترها ناقص و منجر به نتایج ضعیف خواهد گردید (Mohsenin, 1986). یکی از شاخصه‌های مهم درجه بندی میوه جات، اندازه آنهاست، که ماشین‌هایی نیز برای درجه بندی میوه بر اساس اندازه آنها ساخته شده است. ولی

۱- استادیار، گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران



## مجله مهندسی زیست سامانه

انجام شد. بهترین و بدترین مدل ها به ترتیب با ضرایب تبیین ۰/۹۸ و ۰/۶۶ عبارت بودند از: مدل جرم انجیر برحسب سطح تصویر معیار و مدل جرم انجیر برحسب ضخامت آن (Shahbazi, 2013). در تحقیقات دیگری مدل سازی جرم نارنگی لیموترش، (Khanali et al., 2007; Rashidi & Keshavarzpour, 2011) لیموترش (Miraei-Ashtiani, 2014)، ماندارین (Khadivi-Khub, 2013) و ترنج (Keramat-Jahromi, 2007) گزارش شده است. هدف از این پژوهش تعیین مشخصه‌های فیزیکی اصلی پرتقال رقم محلی دزفول و تعیین بهترین مدل برای برآورد جرم و حجم آن از روی پارامترهای هندسی (شامل سه بعد هندسی و سطح تصویر عمودی) با استفاده از مدلسازی رگرسیونی به منظور استفاده در طراحی و ساخت یک سامانه ماشین بینایی درجه بندی براساس جرم و حجم میوه می باشد.

## ۲- مواد و روش‌ها

در این پژوهش ۱۰۰ نمونه تصادفی از میوه پرتقال (رقم محلی دزفول) پس از برداشت از باغ به آزمایشگاه منتقل شده و در دمای ۱۷ تا ۲۲ درجه سانتیگراد و رطوبت نسبی ۵۳ تا ۷۳ درصد اندازه گیری‌های مختلفی برای تعیین مشخصه های فیزیکی اصلی شامل سه بعد هندسی، جرم میوه (M)، حجم میوه (V) و سطح تصویر میوه (A) انجام شد. با توجه به اینکه مقدار محتوای رطوبتی میوه بر خواص فیزیکی آن اثر مستقیم دارد، لذا ابتدا مقدار رطوبت پرتقال ها با روش خشک کردن در آون الکتریکی اندازه گیری شد.

ابعاد هندسی میوه‌های پرتقال مطابق شکل ۱ در سه جهت عمود بر هم  $t$ ,  $w$ ,  $h$  که به ترتیب ارتفاع میوه (بزرگترین فاصله بین دم و ساقه میوه)، عرض میوه (بزرگترین قطر عمود بر  $h$ ) و ضخامت میوه (بزرگترین قطر عمود بر  $w$  و  $h$ ) می باشد، بوسیله یک عدد کولیس با دقت ۰/۰۵ میلی متر تعیین

مشخصه های هندسی آن مدلسازی شد. برای این کار ۱۰ رقم گوناگون پرتقال برای این تحقیق انتخاب شدند. مدلهایی که برای پیش بینی جرم پرتقال با توجه به ابعاد و سطح تصویر آن در نظر گرفته شدند در سه دسته طبقه بندی شدند: دسته اول رگرسیون یک و یا چند متغیره ابعاد پرتقال؛ دسته دوم رگرسیون یک و یا چند متغیره سطح تصویر و دسته سوم تخمین شکل پرتقال، بیضوی یا کروی بر اساس حجم. مطابق نتایج حاصله مدل‌های دسته سوم بالاترین همبستگی را با ضریب تبیین نزدیک به یک را داشتند و بعد از آن مدل دسته دوم و سپس مدل‌های دسته اول از ضریب همبستگی بالاتری برخوردار بودند. در بین مدلهایی که درجه بندی پرتقال‌ها را بر اساس ابعاد انجام دادند، مدلی که از قطر میانی استفاده می کرد مناسبترین مدل بود (Tabatabaefar et al., 2000). در مطالعه ای دیگر چندین خاصیت فیزیکی و تغذیه‌ای چهار رقم پرتقال (آلانی، فنیقه، ناول و شاموتی) شامل ابعاد خطی، طول، قطر، حجم، جرم، قطر میانگین هندسی، کرویت، مساحت سطح، سطح تصویر شده، دانسیته میوه و دانسیته فله، تخلخل، ضریب بسته بندی، ضریب اصطکاک استاتیکی و رنگ ظاهری ارقام پرتقال و ماده خشک کل، ماده خشک قابل حل در آب، ویتامین C، PH و اسیدیته قابل اندازه گیری، قند کاهش یافته، ساکارز و برخی از مواد معدنی را تعیین و مقایسه شدند. نتایج حاصله به طور کلی به لحاظ آماری متفاوت بودند. این تفاوتها به خصوصیات انفرادی این ارقام و همچنین به شرایط رشد و محیطی آنها نسبت داده شد (Topuz et al., 2005). در تحقیقی خواص فیزیکی پرتقال رقم سیاورز شامل ابعاد، جرم، حجم، سطح رویه، تخلخل، ضریب بسته بندی، ضریب پوسته و درصد رطوبت اندازه گیری شدند. میانگین درصد رطوبت پرتقالها ۸۱/۳ درصد بود. پرتقال های بزرگ، متوسط و کوچک بطور معنی داری در برخی خواص فیزیکی با هم تفاوت داشتند. جرم پرتقال با توابع چندجمله ای درجه سه برحسب حجم و با ضریب اطمینان ۰/۹۷ برآورد شد (Dadvar et al., 2013). در پژوهشی دیگر مدلسازی جرم میوه انجیر برحسب برخی از مشخصه های فیزیکی آن در چهار مدل خطی، درجه دوم، S شکل و نمایی



## مدلسازی رگرسیونی:

برای مدلسازی رگرسیونی جرم و حجم پرتقال برحسب پارامترهای هندسی آن، دو نوع مدل در نظر گرفته شد. در مدل اول، سه بعد هندسی پرتقال بعنوان متغیرهای مستقل و جرم یا حجم میوه بعنوان متغیر وابسته در نظر گرفته شد. این نوع مدل نیازمند هر سه بعد هندسی میوه است و در یک سامانه بینایی دو دوربینه قابل استفاده است. در مدل دوم، سطح تصویر میوه بعنوان ورودی و جرم یا حجم میوه بعنوان خروجی در نظر گرفته شد. با توجه به اینکه سطح

$$V = \frac{M_2 - M_1}{D_w} \quad (3)$$

که در این رابطه  $V$  حجم میوه برحسب سانتیمتر مکعب،  $M_2$  مجموع جرم میوه، ظرف و آب برحسب گرم،  $M_1$  مجموع جرم ظرف و آب برحسب گرم و  $D_w$  جرم مخصوص آب (مساوی یک گرم بر سانتیمتر مکعب) می‌باشد. سطح تصویر عمود بر ارتفاع میوه‌ها نیز با استفاده از دستگاه سطح سنج WinDias 2.0 ساخت شرکت DeltaT Devices با دقت  $0.1$  میلی متر مربع، اندازه گیری شد (شکل ۲).

تصویر میوه با یک دوربین قابل اندازه گیری است، لذا این مدل در یک سامانه بینایی تک دوربینه قابل استفاده است و هزینه کمتری دارد. مدل‌های رگرسیونی بر حسب متغیرهای وابسته  $M$  و  $V$  به ترتیب مطابق روابط ۴ و ۵ تشکیل شد.

$$M(or V) = b_0 + b_1 h + b_2 w + b_3 t \quad (4)$$

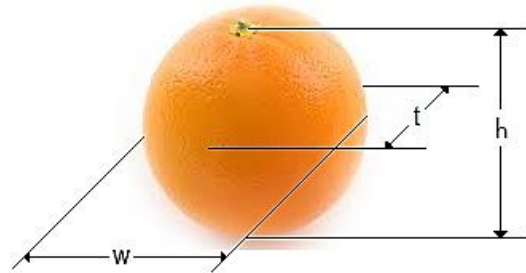
$$M(or V) = b_0 + b_1 A \quad (5)$$

در این روابط:  $h$ ،  $w$ ،  $t$  و  $A$  متغیرهای مستقل مدل و  $b_j$  ضرایب رگرسیونی هستند. تجزیه واریانس (ANOVA) معادله های رگرسیونی ۴ و ۵ توسط نرم افزار Minitab انجام شد. معنی دار بودن هر یک از عامل‌های مدل از طریق آماره  $F$  و به کمک مقدار  $p$  ارزیابی شد. نسبت  $F$  حاصل تقسیم متوسط مربعات رگرسیون به متوسط مربعات خطا است. همچنین برای ارزیابی صحت مدل‌ها از پارامترهای آماری شامل ضریب تغییرات<sup>۳</sup> (CV)، ضریب تبیین<sup>۴</sup> ( $R^2$ )، ضریب تبیین تنظیم شده<sup>۵</sup> ( $R^2_a$ ) و دوربین-واتسون<sup>۱</sup> (DW) و نیز نمودارهای

شد. میانگین هندسی قطرهای<sup>۱</sup> (GMD) و ضریب کرویت<sup>۲</sup> (S) میوه‌ها نیز از روابط ۱ و ۲ محاسبه گردید (Mohsenin, 1986)

$$GMD = \sqrt[3]{hwt} \quad (1)$$

$$S = \frac{GMD}{w} \times 100 \quad (2)$$



شکل ۱- ابعاد هندسی اندازه گیری شده برای میوه پرتقال  
Figure 1- Geometrical dimensions of orange fruit

جرم میوه‌ها با استفاده از ترازوی دیجیتال، با دقت  $0.1$  گرم تعیین شد. برای تعیین حجم میوه‌ها از روش جابجائی سیال استفاده شد. بدین صورت که ابتدا تک میوه‌ها در هوا وزن شده و پس از غوطه ور کردن آنها در درون آب مقطر، عدد نشان داده شده بوسیله ترازو قرائت شده و حجم هر کدام از میوه‌ها از رابطه ۳ محاسبه گردید (Mohsenin, 1986).



شکل ۲- دستگاه سطح سنج WinDias 2.0 مورد استفاده برای اندازه گیری سطح تصویر میوه‌ها

Figure 2- WinDias 2.0 area-meter used for measurement of oranges projected area

<sup>3</sup>- Coefficient of variation (CV)

<sup>4</sup>- Determination Coefficient ( $R^2$ )

<sup>5</sup>- Adjusted Determination Coefficient ( $R^2_a$ )

<sup>1</sup>- Geometric Mean Diameter (GMD)

<sup>2</sup>- Sphercity



مشخصه فیزیکی	میانگین	کمینه	بیشینه	انحراف معیار	ضریب تغییرات
ارتفاع	58.89	52.00	68.30	3.09	5.24
پهنا	63.08	55.40	70.20	3.08	4.88
ضخامت	62.29	54.90	69.05	3.02	4.84
میانگین هندسی قطرها	61.38	54.41	67.67	2.79	4.55
ضریب کرویت	97.18	92.99	99.65	1.34	1.38
جرم	127.74	91.57	165.94	15.51	12.14
حجم	134.14	91.00	173.70	18.46	13.77
چگالی	0.96	0.74	1.06	0.04	4.33
سطح تصویر عمودی	3788.38	2857.20	4693.90	373.50	9.86

تفاوت بین مقادیر بدست آمده برای مشخصه‌های فیزیکی پرتقال رقم محلی دزفول در این پژوهش با مقادیر گزارش شده برای مشخصه‌های فیزیکی پرتقال رقم سیاورز توسط (2013) Dadvar et al. که میانگین مقادیر قطر بزرگ، متوسط و کوچک به ترتیب ۷۰/۱۹، ۶۹/۵۶ و ۶۶/۶۸ میلی متر؛ حجم، جرم و چگالی حقیقی به ترتیب ۱۸۰/۶ سانتی متر مکعب، ۱۴۶/۶ گرم، ۰/۸۱ گرم بر سانتی متر مکعب و ضریب کرویت ۹۶/۸۷ درصد گزارش شده است، می‌تواند ناشی از تفاوت در نوع رقم و درصد رطوبت میوه‌های پرتقال باشد.

### ۳-۲- تخمین جرم و حجم پرتقال برحسب ابعاد سه گانه

سامانه بینایی ماشین با دو دوربین قادر به تعیین هر سه بعد هندسی میوه است، بنابراین می‌توان از خروجی این نوع سامانه (مقادیر ابعاد هندسی پرتقال شامل ارتفاع (h)، پهنا (w) و ضخامت (t))، برای درجه بندی پرتقال بر حسب جرم یا حجم آن استفاده کرد. نتایج تجزیه واریانس (ANOVA) داده های آزمایشگاهی برای مدل اول و ارزیابی معنی داری

پراکندگی خطاها کمک گرفته شد. برای محاسبه درصد تاثیر هر یک از متغیرهای مدل (PC<sub>i</sub>) بر تخمین جرم یا حجم از مجموع مربعات حاصل از تجزیه واریانس طبق رابطه ۶ استفاده شد:

$$PC_i = \frac{SS_i}{SST} \times 100 \quad (6)$$

در این رابطه، SS<sub>i</sub> مجموع مربعات ناشی از هر یک از متغیرهای مستقل مدل (h, w, t or A) و SST مجموع مربعات کل مدل است.

### ۳- نتایج و بحث

#### ۳-۱- مقادیر مشخصه‌های فیزیکی پرتقال

مقادیر بدست آمده برای مشخصه های فیزیکی پرتقال رقم محلی دزفول در جدول ۱ آمده است. میانگین درصد رطوبت بر پایه تر میوه ها در زمان اندازه گیری‌ها ۴۱/۶۱ درصد بود. ضریب تغییرات شاخصی است که برای مقایسه پراکندگی دو یا چند مشخصه به کار می‌رود. با توجه به مقادیر ضریب تغییرات مشخصه های مختلف، دیده میشود که به ترتیب داده‌های حجم، جرم و سطح تصویر عمودی، بیشترین پراکندگی را نسبت به سایر مشخصه‌ها دارا می‌باشند. از طرفی دیگر بیشترین مقدار ضریب تغییرات برابر با ۱۳/۷۷ درصد بوده که در حد قابل قبولی است.

جدول ۱- مقادیر مشخصه‌های فیزیکی پرتقال رقم محلی دزفول  
Table 1 – Physical properties values for Dezful local variety of orange

<sup>1</sup> - Durbin-Watson (DW)



روابط ۷ و ۸ تشکیل گردید. مقادیر ضرایب تبیین ( $R^2$ ) نشان می‌دهد که معادلات ارائه شده می‌توانند ۹۵/۹۷ و ۹۸/۰۱ درصد تغییرات جرم و حجم پرتقال را توجیه نمایند.

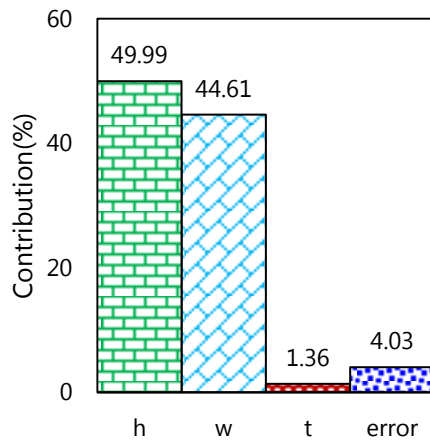
بر اساس مجموع مربعات محاسبه شده در ANOVA درصد مشارکت یا تاثیر هر یک از پارامترهای مدل رگرسیونی ( $w$ ،  $t$  و  $h$ ) و خطای مدل در پیش بینی جرم و حجم پرتقال در شکل ۳ نشان داده شده است. به ترتیب ۴/۰۳ و ۱/۹۹ درصد از کل تغییرات مدل رگرسیونی جرم و حجم مربوط به خطا و سایر عوامل است، که این می‌تواند قابل قبول باشد. بر اساس سهم مشارکت هر یک از پارامترهای هندسی، به ترتیب  $w$ ،  $h$  و  $t$  بیشترین تا کمترین تاثیر را در تخمین جرم و حجم پرتقال دارند. اگر چه سهم پارامتر  $t$  در مقایسه با  $h$  و  $w$  بسیار کمتر است، ولی مقادیر  $p$  (جدول ۲) نشان می‌دهد که اثر آن معنی دار است و لذا نمی‌توان آن را از مدل حذف کرد. اما دقت محاسبه  $h$  و  $w$  در تخمین جرم و حجم می‌تواند بسیار اهمیت داشته باشد.

$$M = -188.30 + 0.600 + 1.899 w + \quad (7)$$

$$2.583 t, \quad R^2 = 95.97$$

$$V = -252.30 + 1.703 h + \quad (8)$$

$$2.246 w + 2.317 t, \quad R^2 = 98.01 \%$$



ضرایب رگرسیونی به کمک مقادیر  $p$  در جدول ۲ ارائه شده است. مقدار  $P\text{-value} = 0.000$  برای رگرسیون جرم و حجم نشان دهنده آن است که بین جرم و حجم پرتقال و سه پارامتر ابعادی  $w$ ،  $h$  و  $t$  رابطه معنی داری در سطح یک درصد وجود دارد و فرض صفر (تمام ضرایب رگرسیونی برابر با صفر است) رد می‌شود. همچنین مقادیر  $p$  برای پارامترهای  $w$ ،  $h$  و  $t$  در تمام معادلات در سطح احتمال یک درصد معنی دار شده است ( $P\text{-Value} = 0.000$ ). این بدان معناست که می‌توان به کمک پارامترهای ابعادی، جرم و حجم پرتقال را به خوبی تخمین زد. نتیجه آزمون معنی داری اثرات متقابل و عامل‌های درجه دوم پارامترهای ابعادی نیز بررسی شد، ولی  $P\text{-value}$  آنها بزرگتر از ۰/۵ شد، لذا این اثرات معنی دار نبوده و تنها اثرات اصلی آنها در نظر گرفته شد.

جدول ۲- تجزیه واریانس (ANOVA) مدل رگرسیونی نوع اول به منظور برآزش داده های آزمایشگاهی

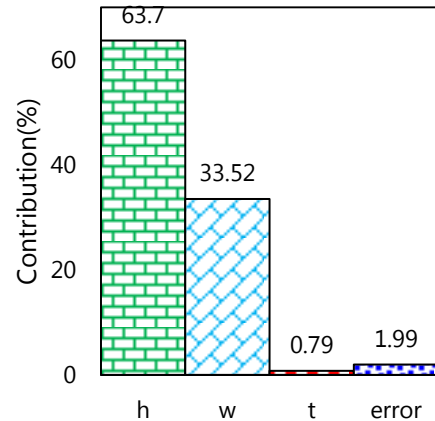
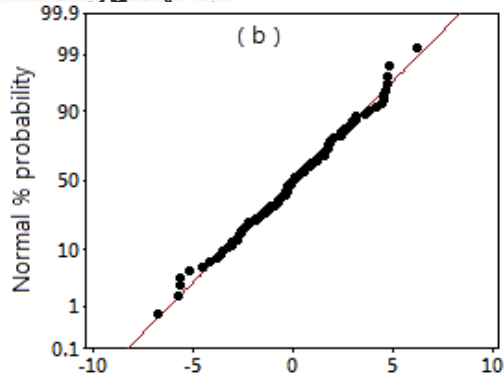
Table2- Analysis of variance of 1<sup>st</sup> regression model for experimental data fitting

Volume حجم		Mass جرم		درجه آزادی	منبع تغییرات
P-value	SS	P-value	SS	DF	SV
0.000	30975.4	0.000	21743.6	3	رگرسیون
0.000	20132.7	0.000	11326.3	1	ارتفاع
0.000	10593.9	0.000	10108.1	1	پهنا
0.000	248.8	0.000	309.2	1	ضخامت
	630.4		914.2	96	خطا
	31605.9		22657.8	99	کل

پس از آنکه غیر صفر بودن ضرایب معادلات رگرسیونی جرم و حجم ثابت شد، معادلات رگرسیونی مورد نیاز برای برآورد جرم و حجم پرتقال برحسب ابعاد سه گانه آن مطابق



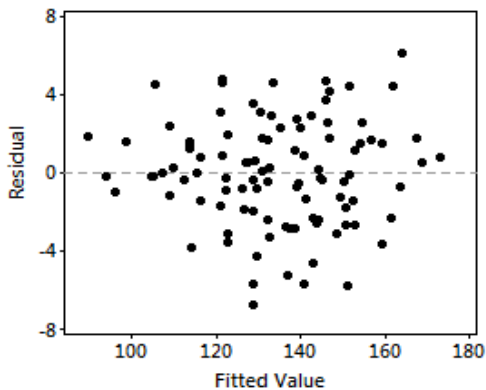
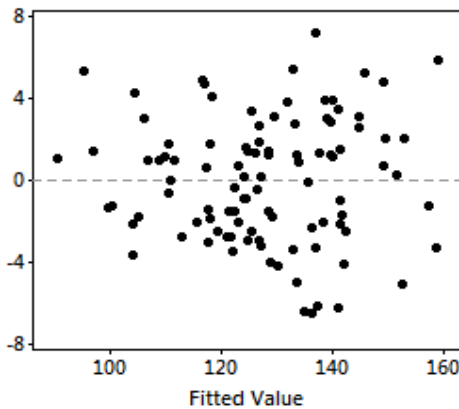
مجله مهندسی زیست سامانه



شکل ۳- درصد مشارکت هر یک پارامترهای ابعادی و خطای مدل در پیش

بینی جرم (a) و حجم (b) پرتقال

Figure 3- Contribution percentage of the dimensions and the model error in predicting of orange mass (a) and volume (b)



شکل ۴- نمودار احتمال خطاها و نمودار پراکندگی خطاها در مقابل مقادیر

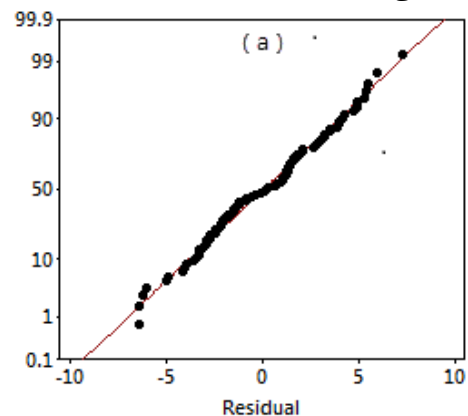
برازش شده جرم (a) و حجم (b) پرتقال

Figure 4- Errors probability and distributions versus fitted values for mass (a) and volume (b) of

### ۳-۳- تخمین جرم و حجم پرتقال برحسب سطح تصویر

تخمین جرم و حجم پرتقال برحسب سطح تصویر سامانه بینایی ماشین تک دوربینه قادر به محاسبه سطح تصویر میوه است و از خروجی آن (سطح تصویر میوه) می‌توان برای درجه

شکل ۴ نمودار نرمال و پراکندگی خطاها را برای جرم و حجم نشان می‌دهد. دامنه تغییرات خطای پیش بینی جرم و حجم تقریباً یکسان می‌باشد (8-8-). قرار گرفتن نقاط حول محور قطری در نمودار نرمال خطا، فرض نرمال بودن آنها را تصدیق می‌کند. همچنین الگوی پراکندگی خطاها در مقابل مقادیر برازش شده نشان دهنده تصادفی بودن خطا و نیز یکنواختی واریانس آنها می‌باشد. بنابراین نتایج تجزیه واریانس در جدول ۲ معتبر می‌باشند.





جهت حصول اطمینان بیشتر، عملکرد معادلات رگرسیونی بدست آمده در این پژوهش به کمک برخی شاخص‌های آماری دیگر ارزیابی شد (جدول ۴). ضرایب تبیین تصحیح شده ( $R_a^2$ ) بسیار بالا و نزدیک به مقادیر ضرایب تبیین ( $R^2$ ) ذکر شده در روابط ۷ تا ۱۰ می‌باشند. بنابراین مدل‌های رگرسیونی معنی دار هستند. در صورتیکه  $R_a^2 \ll R^2$  باشد، عامل‌های مدل بسیار زیاد است و اندازه نمونه کافی نیست. مقدار CV در هر چهار مدل قابل قبول است. بنابراین انحرافات بین مقادیر آزمایشگاهی و مقادیر پیش بینی شده کم می‌باشد. معیار آماری دوربین-واتسون (DW)، همبستگی بین خطاها را ارزیابی می‌کند. در این مطالعه، می‌توان مقدار آن را برای هر چهار مدل تقریباً برابر ۲ در نظر گرفت، لذا برازش مدل خوب می‌باشد. مقدار پارامتر Bias برای تمامی معادلات رگرسیونی تقریباً برابر با یک بدست آمد، لذا توزیع خطاها نرمال است و نیز نشان دهنده وضعیت خوب برازش مدل‌ها می‌باشد. بنابراین می‌توان از معادلات رگرسیونی ارائه شده با اطمینان قابل قبولی استفاده کرد.

جدول ۴- مقادیر برخی از شاخص‌های آماری جهت ارزیابی عملکرد رابطه‌های رگرسیونی مختلف

Table 4- Some statistical indices values for evaluation of regression equations performance

Bias	DW	CV (%)	$R_a^2$ (%)	رابطه رگرسیونی	مشخصه
0.999	2.22	2.41	95.84	7	جرم
0.999	2.08	2.44	95.71	9	
0.999	1.99	1.91	97.94	8	حجم
0.999	1.80	2.98	93.34	10	

در انتها دو نوع مدل پیشنهاد شده برای تخمین هر یک از مشخصه‌های جرم و حجم پرتقال با یکدیگر مقایسه شدند. عملکرد پیش بینی جرم و حجم پرتقال توسط مدل رگرسیونی برحسب پارامترهای ابعادی ( $F(h,w,t)$ ) و مدل رگرسیونی بر

بندی پرتقال بر حسب جرم یا حجم استفاده کرد. مقدار ضریب همبستگی پیرسون بین سطح تصویر با جرم و حجم به ترتیب برابر با ۰/۹۷۹ و ۰/۹۶۶ بدست آمد. این همبستگی در سطح احتمال یک درصد معنی دار شد. بنابراین می‌توان جرم و حجم پرتقال را به کمک سطح تصویر آن محاسبه کرد. در جدول ۳ نتایج تجزیه واریانس برآورد جرم و حجم پرتقال بر حسب سطح تصویر آن آمده است. معنی دار شدن رگرسیون و نیز معنی دار نشدن عدم برازش نشان دهنده وجود رابطه خطی معتبر بین متغیر سطح تصویر با جرم و حجم پرتقال می‌باشد. معادلات رگرسیونی نهایی بدست آمده برای برآورد جرم و حجم پرتقال برحسب سطح تصویر آن در روابط ۹ و ۱۰ آمده است. مقادیر ضریب تبیین ( $R^2$ ) بالای این معادلات رگرسیونی، بیانگر دقت خوب آنها در برآورد جرم و حجم پرتقال می‌باشد.

$$M = -22.94 + 0.0398 A, R^2 = 95.75 \% \quad (9)$$

$$V = -41.75 + 0.0464 A, R^2 = 93.40 \% \quad (10)$$

جدول ۳- تجزیه واریانس (ANOVA) مدل رگرسیونی نوع دوم به منظور برازش داده‌های آزمایشگاهی

Volume حجم		Mass جرم		درجه آزادی	منبع تغییرات
P-valve	SS	P-valve	SS	DF	SV
0.000	29521.0	0.000	21694.7	1	رگرسیون
0.000	29521.0	0.000	21694.7	1	سطح تصویر A
-	2084.8	-	963.1	98	Error
0.061	2084.7	0.360	960.9	97	عدم برازش خطی خالص
-	0.1	-	2.2	1	Pure Error
-	31605.9	-	22657.8	99	Total



## مجله مهندسی زیست سامانه

پرتقال بر حسب سطح تصویر  $F(A)$  با توجه به ضرایب تبیین قابل قبول، پیچیدگی و هزینه کمتر، می تواند بسیار کاربردی تر باشد. زیرا  $A$  را می توان راحت تر و سریعتر از  $w$ ،  $h$  و  $t$  تعیین نمود.

## ۵- منابع

- 1- Anonymous. 2009. Statistics letter of agriculture. Office of Statistics and Information, Department of Planning and Support, the Ministry of Agriculture Jihad. Tehran. (In Farsi)
- 2- Dadvar, A. A., Khojastepoor, M., Sadriani, H. and Khadang Nikfarjam, M. 2013. Investigation of physical properties for Siavarz variety of orange. 2nd National Symposium on Food Science and Industries. 29 to 30 May 2013, Islamic Azad University of Quchan. (In Farsi)
- 3- Keramat-Jahromi, M., Rafiee, S., Mirasheh, R., Jafari, A., Mohtasebi, S. S. and Ghasemi-Varnamkhashti, M. 2007. Mass and surface area modeling of bergamot (*Citrus medica*) fruit with some physical attributes. Agricultural Engineering International: the CIGR Ejournal. Manuscript FP 07 029. Vol. IX.
- 4- Khadivi-Khub, A. 2013. Analysis of some technological and physical characters of mandarin (*Citrus reticulata*) fruit in Iran. ISRN Agronomy, vol. 2013, 4p.
- 5- Khanali, M., Ghasemi-Varnamkhashti, M., Tabatabaefar, A. and Mobli, H. 2007. Mass and volume modelling of tangerine (*Citrus reticulata*) fruit with some physical attributes. International Agrophysics, 21, 329-334.
- 6- Miraei-Ashtiani, S. H., Baradaran-Motie, J., Emadi, B. and Aghkhani, M. H. 2014. Models for predicting the mass of lime fruits by some engineering properties. Journal of Food Science and Technology, 51(11): 3411-3417.
- 7- Mohsenin, N. N. 1986. Physical properties of plant and animal materials. 2<sup>nd</sup> revised. Gordon and Branch Sci. Pub., New York, USA. 891p.
- 8- Rashidi, M. and Keshavarzpour, F. 2011. Prediction of tangerine mass based on geometrical properties. Academic Journal of Plant Sciences, 4 (4): 98-104.
- 9- Shahbazi, F. 2013. Mass modeling of fig (*Ficus carica* L.) fruit with some physical

حساب سطح  $F(A)$  در جدول ۵ آمده است. براساس کوچکی شاخص‌های RMSE و MAPE و بزرگی شاخص EF، عملکرد پیش بینی مدل  $F(h,w,t)$  بهتر از مدل  $F(A)$  می باشد. لذا برآورد جرم و حجم پرتقال از روی سه بعد هندسی آن از دقت بیشتری نسبت به برآورد این مشخصه‌ها برحسب سطح تصویر پرتقال برخوردار است. لیکن مدل  $F(A)$  در یک سامانه بینایی تک دوربینه قابل استفاده است که پیچیدگی و هزینه کمتری دارد، لذا این مدل می تواند کاربردی تر باشد.

## جدول ۵- مقایسه عملکرد مدل های رگرسیونی مختلف (درصد)

Table 5- Comparing the performance of all regression models (%)

حجم Volume	رابطه Equation	جرم Mass	رابطه Equation	مدل Model	معیار Index
2.51	8	3.02	7	$F(h,w,t)$	RMS E
4.56	10	3.10	9	$F(A)$	
1.50	8	1.97	7	$F(h,w,t)$	MAP E
2.69	10	1.99	9	$F(A)$	
98.01	8	95.9 7	7	$F(h,w,t)$	EF
93.40	10	95.7 5	9	$F(A)$	

## ۴- نتیجه گیری

تجزیه و تحلیل واریانس داده های آزمایشگاهی برای هر دو نوع مدل رگرسیونی نشان داد که بین جرم و حجم پرتقال و سه پارامتر ابعادی و سطح تصویر آن رابطه معنی داری در سطح یک درصد وجود دارد. مقادیر ضریب تبیین ( $R^2$ ) معادلات رگرسیونی ارائه شده بیانگر دقت بالای این معادلات در برآورد جرم و حجم پرتقال است. لذا می توان از معادلات رگرسیونی حاصل و با داشتن پارامترهای ابعادی و سطح تصویر، جرم و حجم پرتقال را به خوبی تخمین زد. پارامترهای ارتفاع میوه ( $h$ ) و پهنای میوه ( $w$ ) بیشترین تاثیر را در تخمین جرم و حجم پرتقال از روی ابعاد دارند. عملکرد پیش بینی جرم و حجم توسط مدل رگرسیونی برحسب پارامترهای ابعادی ( $F(h,w,t)$ ) بهتر از مدل رگرسیونی بر حسب سطح تصویر ( $F(A)$ ) بود. مدل رگرسیونی برآورد جرم و حجم





characteristics. Food Science & Nutrition, Volume 1, Issue 2, pages 125–129.

10- Tabatabaeefar, A., Vefagh-Nematolahee, A. and Rajabipour, A. 2000. Modeling of orange mass based on dimensions. Journal of Agriculture Science and Technolgy, 2:299–305.

11- Topuz, A., Topakci, M., Canakci, M., Akinci, I. and Ozdemir, F. 2005. Physical and nutritional properties of four orange varieties. Journal of Food Engineering, Volume 66, Issue 4, February 2005, Pages 519–523.





۱- استادیار، گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران

[hmasoudi@scu.ac.ir](mailto:hmasoudi@scu.ac.ir)

۲- استادیار، گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران