

Research Article

Plant Prod., 2021, 44(3), 433-446  
<http://plantproduction.scu.ac.ir/>


ISSN (P): 2588-543X  
ISSN (E): 2588-5979

## Predicting the Final Fruit Size of Kiwifruit cv. 'Hayward' Using Mathematical Equations

Ebrahim Abedi Gheshlaghi \* 

\***Corresponding Author:** Assistant Professor, Horticulture Crops Research Department, Guilan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Rasht, Iran (eabedig@yahoo.com)

**Citation:** Abedi Gheshlaghi, E. (2021). Predicting the final fruit size of kiwifruit cv. 'Hayward' using mathematical equations. *Plant Productions*, 44(3), 433-446.

 10.22055/ppd.2020.30831.1818

Received: 27 August, 2019

Accepted: 20 November, 2019

### Abstract

#### Introduction

Fruit size is an important attribute of all fruit crops and harvest fruit weight has a major influence on market acceptance and returns for many fruit crops like kiwifruit (*Actinidia deliciosa* 'Hayward'). The purpose of this study was to develop a non-destructive technique by measuring fruit dimensions and fruit volume by water displacement to measure fruit growth and using this information to develop a method for predicting fruit weight at different stages of its development.

#### Materials and Methods

This experiment was conducted using the mature vines of 'Hayward' kiwifruit. The kiwifruit vines were grown in an orchard located in Astara, Guilan province, Iran (latitude 38.22°N and longitude 48.51°E), trained to a T-bar system with plants spaced of 4×5 m. Fruits were destructively harvested at one-two weeks after fruit set during the season to obtain measurements of individual fruit volume by water displacement, fruit fresh weight, circumference of fruit and three linear measurements of fruit size, from which a correlation relation was derived to enable estimation of fruit volume, fruit fresh weight from the fruit measurements ( $r > 0.995$ ). This enabled the growth of tagged fruit on the vine to be followed by non-destructive measurements of the fruit dimensions and the growth curves of each mean were estimated at each measurement step.

#### Results and Discussion

The increase in the fresh weight or volume of 'Hayward' fruit over the season was a double sigmoid in shape. The fruit density was less than one in about three months after the fruit set and then increased to more than one unit. Correlation analysis between the data of different stages of



measurement with fruit harvesting data showed that with the progress of fruit growth, the correlation between fruit size and its final size increased, and about 55 days after fruit set reached to more than 0.95. The standard deviation of fruit size at this stage was 11.55 cm<sup>3</sup>. The correlation coefficient above 0.95 between fruit weight and its length with fruit weight and length at harvest time was calculated 72 and 89 days after fruit set, respectively. Fruit size in kiwifruit is affected by various factors and the final size and weight of the fruit is likely to be determined by the rapid fruit growth period. This period that results from cell division and cell size enlargement took about 50-60 days after fruit set for Hayward cultivar when the fruit reaches approximately half of its volume in this period. Applying any stress at the cell division stage will affect the final fruit size. Given the high correlation between the dimensions of the fruit with the final fruit size at the end of the rapid growth period, it is possible to predict the final fruit size at the end of this period with great accuracy. Therefore, using the obtained mathematical equations, the final size of the fruit can be estimated by the measurement of the length and circumference of fruit in one and a half months to two after the fruit set.

### **Conclusion**

Based on the results of this study, with a simple and practical method and with a high and significant correlation coefficient, by measuring the length and circumference of the fruit about one and a half months to two after fruit formation, the final fruit size at harvest can be predicted in order to take the necessary measures to export, sell and/or store the fruit.

**Keywords:** Correlation, Fruit growth, Fruit length, Gravity, Weight

## پیش بینی اندازه نهایی میوه کیوی رقم هایوارد با استفاده از روابط ریاضی

ابراهیم عابدی قشلاقی\* 

\*نویسنده مسئول: استادیار پژوهشی، بخش تحقیقات علوم زراعی- باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان گیلان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، رشت، ایران (eabedig@yahoo.com)

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۸/۲۹

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۶/۰۵

## چکیده

وزن نهایی میوه کیوی تأثیر زیادی در بازارپسندی آن دارد و تدارک بازاریابی یک محصول صادراتی مانند میوه کیوی نیازمند برآورد دقیق میانگین اندازه میوه است. بنابراین، رشد میوه کیوی رقم هایوارد به روش تخریبی و غیر تخریبی در طی سال‌های ۱۳۹۲-۱۳۹۴ به مدت سه سال در شهرستان آستارا در منطقه غرب گیلان بررسی شد. میوه‌ها با فاصله زمانی یک تا دو هفته برای اندازه‌گیری حجم میوه با آب جایگزین، وزن تر، محیط میوه، قطر بزرگ، قطر کوچک و طول میوه‌ها برداشت شدند و رابطه همبستگی برای تخمین وزن تازه میوه و حجم میوه با استفاده از ابعاد میوه ( $r > 0.995$ ) به دست آمد و منحنی‌های رشد هر یک از میانگین‌ها در هر مرحله اندازه‌گیری برآورد شد. افزایش حجم یا وزن تر میوه هایوارد در طول فصل رشد به شکل سیگموئید دوگانه بود. چگالی میوه در حدود سه ماه بعد از تشکیل میوه که کمتر از یک بود به بیش از یک واحد افزایش یافت. تجزیه همبستگی نشان داد که با پیشرفت رشد و نمو میوه میزان همبستگی بین اندازه میوه با اندازه نهایی آن افزایش یافت و حدود ۵۵ روز پس از تشکیل میوه به بیش از ۰/۹۵ رسید. انحراف معیار اندازه میوه در این مرحله ۱۱/۵۵ سانتی‌متر مکعب بود. ضریب همبستگی بالای ۰/۹۵ بین وزن میوه و طول آن با وزن و طول نهایی میوه در زمان برداشت به ترتیب ۷۲ و ۸۹ روز بعد از تشکیل میوه به دست آمد. بنابراین، با استفاده از روابط ریاضی به دست آمده می‌توان اندازه نهایی میوه را با اندازه‌گیری طول و محیط میوه در یک و نیم تا دو ماه بعد از تشکیل میوه پیش‌بینی کرد.

کلیدواژه‌ها: چگالی، رشد میوه، طول میوه، وزن، همبستگی

بازاریابی یک محصول صادراتی مانند میوه کیوی نیازمند برآورد دقیق میانگین وزن و اندازه میوه است که تا حد ممکن بایستی در اوایل فصل رشد آن انجام شود (Hall et al., 1996).

در چهار دهه اخیر روش‌های متعددی برای ارزیابی کیفی محصولات کشاورزی به صورت غیر تخریبی ابداع شده‌اند که تنها برخی از آنها توانسته شرایط مطلوب را

## مقدمه

وزن میوه تأثیر زیادی در بازارپسندی بیشتر میوه‌ها دارد. مبلغ پرداختی برای میوه کیوی بر اساس اندازه میوه آن می‌باشد (Minchin et al., 2003). کارهای مدیریتی مانند گرده‌افشانی، آبیاری و عملکرد تاک می‌تواند رشد میوه را به طور معنی‌دار تحت تاثیر قرار دهد. تدارک

میوه با ضریب همبستگی (r) ۰/۹۹ تا ۰/۹۹۹ گزارش شده است (Snelgar et al., 1992; Tombesi et al., 1994). گزارشی نیز برای پیش‌بینی رشد میوه کیوی طلائی 'Hort6A' از طریق اندازه‌گیری ابعاد میوه وجود دارد (Minchin et al., 2003).

هدف از این پژوهش توسعه تکنیک غیرتخریبی از طریق اندازه‌گیری ابعاد میوه و حجم میوه با آب جایگزین برای اندازه‌گیری رشد میوه و استفاده از این اطلاعات برای توسعه یک روش پیش‌بینی وزن میوه در مراحل مختلف نمو آن بود.

### مواد و روش‌ها

این پژوهش در طی سال‌های ۱۳۹۲-۱۳۹۴ به مدت ۳ سال در منطقه غرب گیلان، روی تاک‌های بالغ ۱۰-۸ ساله کیوی در یک باغ شخصی واقع در روستای عباس‌آباد آستارا (عرض جغرافیایی ۳۸/۲۲ درجه شمالی و طول جغرافیایی ۴۸/۵۱ درجه شرقی) با فاصله کاشت ۴×۵ متر و سیستم تریبت T-bar انجام شد. عملیات داشت از جمله آبیاری، تغذیه و گرده‌افشانی و ... به صورت عرف باغداران منطقه برای تمام تاک‌ها یکسان انجام شد. میانگین تعداد بازو، طول بازوها و تعداد جوانه‌های نگهداری شده روی هر بازو به ترتیب بین ۲۲-۲۶ بازو، ۱۷۰-۲۰۰ سانتی‌متر و ۱۸-۲۰ جوانه بود. آبیاری به صورت میکروجت هر دو تا سه روز یک‌بار از اواخر اردیبهشت تا شروع باران‌های پاییزی انجام شد. گرده‌افشانی به صورت طبیعی توسط زنبورها و باد انجام گرفت.

### اندازه‌گیری ابعاد و حجم میوه

برای اندازه‌گیری ابعاد و حجم میوه، ۱۶-۱۲ میوه که از نظر زمان تشکیل تقریباً یکسان بودند در محدوده وسط شاخه روی ۴ تاک ماده‌هایوارد انتخاب و علامت‌گذاری شدند. بعد از تشکیل میوه تا مرحله برداشت با فاصله زمانی یک هفته برای سال اول و بین یک و دو هفته برای سال‌های دوم و سوم آزمایش، محیط میوه، قطر بزرگ، قطر کوچک و طول این میوه‌های چسبیده به تاک با

برآورده سازند و از لحاظ فنی و صنعتی توجیه داشته باشند. روش‌های اپتیکی، مکانیکی، شیمیایی و امواج الکترومغناطیسی و صوتی در توسعه آزمون‌های غیرتخریبی نقش اساسی داشته‌اند. در میان روش‌های مذکور استفاده از امواج الکترومغناطیس به ویژه فناوری طیف‌سنجی مرئی مادون قرمز نزدیک به علت دقت بالا، جنبه عملی بیشتری پیدا کرده و ارزش قابل توجهی برای صنعت غذا داشته است. تحقیقات متعددی در خصوص استفاده از طیف‌سنجی مرئی مادون قرمز نزدیک برای پیش‌بینی ترکیبات شیمیایی محصولات کشاورزی انجام گرفته است و مروری کامل بر تحقیقات انجام شده روی کاربرد طیف‌سنجی مادون قرمز نزدیک در تعیین شاخص‌های کیفی میوه و سبزیجات انجام شده است (Nicolai et al., 2007). مطالعاتی نیز روی کاربرد روش‌های طیف‌سنجی برای پیش‌بینی صفات کیفی در میوه کیوی انجام شده است (Moghimi et al., 2010; Jamshidi et al., 2013).

برای اندازه‌گیری و آنالیز رشد میوه دو روش متمایز وجود دارد (Opara, 2000). یکی از روش‌ها بر اساس توابع تجربی-ریاضی است که داده‌های مشاهده شده رشد را شامل می‌شود و دیگری استفاده از معادلات مشتق‌شده از مکانیسم‌های فیزیولوژی/بیوشیمی پیشنهادی است که در روند رشد میوه دخالت دارند. به‌خاطر این که برای انتخاب مناسب‌ترین تابع توصیفی از مشاهدات استفاده می‌شود، بنابراین، داده‌های مشاهده شده برای اهداف قابل پیش‌بینی به‌عنوان اولین روش ترجیح داده می‌شوند (Minchin et al., 2003) در این روش هیچ اهمیتی به شکل خاص توابع یا پارامترهای آن داده نشده است (Hall et al., 1996).

تعداد کمی تکنیک غیرتخریبی برای پیش‌بینی صفات کمی مانند وزن میوه انجام شده است. ارتباط نزدیکی بین وزن و حجم میوه کیوی وجود دارد (Hall et al., 1996). برآورد رشد میوه‌هایوارد به‌وسیله روش‌های غیرتخریبی با اندازه‌گیری مستقیم حجم میوه با آب جایگزین (Judd et al., 1989)، برآورد وزن میوه از طریق اندازه‌گیری ابعاد

فرمول  $FW_{t1}$  وزن تازه میوه در زمان دوم (گرم) و  $FW_{t0}$  وزن تازه میوه در زمان اول (گرم) و  $t_1-t_0$  اختلاف روز بین دو مرحله اندازه گیری وزن تازه است (Shiri et al., 2014).

فرمول (۲)

$$DRGR_{t1} = (FW_{t1} - FW_{t0}) / [(t_1 - t_0)FW_{t0}]$$

### منحنی رشد میوه

با توجه به اندازه گیری های متوالی یک یا دوهفته ای پس از تشکیل میوه و برآورد وزن تازه میوه از طریق رگرسیون به دست آمده بین ابعاد و وزن میوه های برداشت شده در هر مرحله اندازه گیری، منحنی رشد میوه هم بر اساس وزن میوه و حجم میوه در زمان های متوالی از تشکیل میوه تا برداشت آن روی میوه های چسبیده به تاک محاسبه و رسم شد. رشد میوه به صورت روز بعد از تشکیل میوه بیان شد.

### پیش بینی اندازه نهایی میوه در زمان برداشت

همبستگی اندازه میوه در زمان های متوالی (به صورت یک یا دوهفته ای از روز بعد از تشکیل میوه) با استفاده از ضریب همبستگی پیرسون محاسبه شد و بهترین زمان پیش بینی با توجه به بالاترین ضریب همبستگی و سطح معنی داری آن با نمونه برداری های متوالی از زمان برداشت میوه برآورد شد. با توجه به مناسب ترین و زودترین زمان پیش بینی اندازه میوه، معادله رگرسیون سالیانه برای پیش بینی اندازه نهایی میوه در این مرحله به دست آمد و انحراف معیار وزن میوه و حجم میوه محاسبه شد.

## نتایج و بحث

### اندازه گیری ابعاد و حجم میوه

تجزیه همبستگی بین حجم میوه محاسبه شده و حجم میوه با آب جایگزین از میوه های ارزیابی شده در طول سه سال نشان داد که یک رابطه مثبت و معنی دار با ضریب همبستگی بالا ( $r = 0.997$ ) بین این دو وجود داشت که با استفاده از فرمول (۳) می توان حجم میوه با آب جایگزین را از حجم محاسبه شده به دست آورد (شکل ۱).

استفاده از کولیس دیجیتال اندازه گیری شد. حجم میوه هم بر حسب میلی لیتر با استفاده از حجم آب جایگزین و هم بر حسب سانتی متر مکعب با استفاده از اندازه گیری ابعاد میوه و با در نظر گرفتن میوه کیوی به شکل استوانه و دو انتهای نیمه کره از زمان تشکیل تا برداشت میوه با استفاده از فرمول (۱) محاسبه شد (Prendergast et al., 1987). در این فرمول  $c$  محیط میوه و  $L$  طول میوه می باشد.

$$V = \frac{c^2 \left( L - \frac{c}{3\pi} \right)}{4\pi} \quad \text{فرمول (۱)}$$

### برآورد وزن تازه میوه با استفاده از ابعاد و حجم میوه

با توجه به اختلاف چگالی میوه در زمان های مختلف رشد و نمو آن، برای بدست آوردن وزن میوه های چسبیده به تاک، علاوه بر اندازه گیری ابعاد و حجم میوه های چسبیده به تاک در هر مرحله، از درختان مجاور ۱۵-۱۰ میوه برداشت شده و در ایستگاه تحقیقات کشاورزی آستارا، محیط میوه، طول، قطر بزرگ، قطر کوچک، وزن تازه و حجم میوه با آب جایگزین اندازه گیری شد و همبستگی بین حجم محاسبه شده میوه (سانتی متر مکعب)، حجم میوه با آب (میلی لیتر) و وزن میوه (گرم) بدست آمد. علاوه بر این، تجزیه همبستگی بین ابعاد مختلف میوه مانند طول میوه، عرض میوه، مجذور عرض میوه، طول در عرض میوه، مجذور طول در مجذور عرض میوه و مکعب طول با حجم میوه نیز محاسبه شد. با استفاده از معادله رگرسیون به دست آمده از هر مرحله اندازه گیری، وزن تازه میوه های روی تاک برآورد شد.

### سرعت رشد نسبی روزانه

با توجه به اندازه گیری های متوالی یک یا دوهفته ای پس از تشکیل میوه و برآورد وزن تازه میوه از طریق رگرسیون به دست آمده بین ابعاد و وزن میوه های برداشت شده در هر مرحله اندازه گیری، سرعت رشد نسبی روزانه بر اساس فرمول (۲) محاسبه شد. در این

فرمول (۳)

$$0/9497 + 0/9826 \times \text{حجم محاسبه شده} = \text{حجم میوه}$$

در تجزیه همبستگی بین داده‌های سه ساله ابعاد مختلف میوه با حجم میوه ضرایب همبستگی متفاوتی مشاهده شد. ضریب همبستگی عرض میوه و طول میوه به تنهایی با حجم میوه نسبت به ضرایب همبستگی‌های دیگر کمتر بود (جدول ۱).

برای پیدا کردن روابط بهتر ابعاد میوه با حجم آن ترکیبی از داده‌های طول و عرض میوه در تجزیه همبستگی با حجم میوه‌ها استفاده شد، نتایج نشان داد که با افزایش این داده‌ها میزان ضریب همبستگی افزایش یافت به طوری که در تجزیه همبستگی بین مجذور عرض میوه با حجم میوه ضریب همبستگی به  $0/968$ ، در تجزیه همبستگی بین مجذور طول میوه با حجم میوه ضریب همبستگی به  $0/975$ ، در تجزیه همبستگی بین مکعب عرض میوه با حجم میوه ضریب همبستگی به  $0/978$ ، و در تجزیه همبستگی طول میوه در عرض میوه با حجم میوه ضریب همبستگی به  $0/988$  افزایش یافت (جدول ۱).

در تجزیه همبستگی ابعاد میوه با حجم میوه، بیشترین ضریب همبستگی مثبت و معنی‌دار ( $r=0/992$ ) در تجزیه همبستگی مجذور طول میوه در مجذور عرض میوه با حجم میوه به دست آمد (جدول ۱). بنابراین، با اندازه‌گیری طول میوه و عرض میوه در باغ به راحتی می‌توان حجم میوه را با استفاده از فرمول (۴) با دقت بالا به دست آورد.

فرمول (۴)

$$0/4184 + 0/081 \times (\text{مجذور طول میوه در مجذور عرض میوه}) = \text{حجم میوه}$$

### برآورد وزن تازه میوه با استفاده از ابعاد و حجم میوه

همبستگی بین وزن تازه برآورد شده میوه و حجم برای سه سال نشان داد که یک رابطه مثبت و

معنی‌دار با ضریب همبستگی بالا ( $r=0/996$ ) بین این دو وجود دارد که با استفاده از فرمول (۵) می‌توان وزن تازه میوه را با استفاده از حجم محاسبه شده بدست آورد (شکل ۲).

فرمول (۵)

$$1/8742 - 1/0448 \times \text{حجم محاسبه شده} = \text{وزن تر میوه}$$

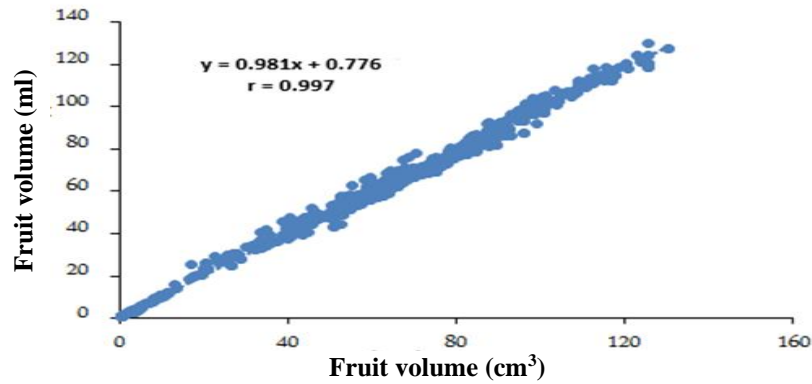
اندازه‌گیری حجم میوه با آب جایگزین و وزن میوه‌های برداشت شده در هر مرحله نشان داد که پس از تشکیل میوه و در مرحله تقسیم سریع سلولی، افزایش وزن میوه‌ها با حجم آنها یکسان نیست و در سال‌های مختلف آزمایش بین چند روز تا چند هفته بعد از مرحله رشد سریع میوه، وزن و حجم میوه تقریباً به اندازه یکسان می‌رسند و با ادامه رشد و نمو میوه، وزن آن نسبت به حجم میوه بیشتر شده و سبب افزایش چگالی میوه می‌گردد (شکل ۳).

در طول دوره نمو میوه کیوی سه مرحله متابولیسمی وجود دارد که شامل مراحل تقسیم سلولی، تجمع نشاسته و بلوغ میوه است (Richardson et al., 2004). در مرحله اول که در حدود ۴۵ روز از زمان گلدهی طول می‌کشد افزایش قابل توجهی از گلوکزها در برابر بیرونی میوه اتفاق می‌افتد که قسمت عمده کربوهیدرات‌های غیرساختاری را تشکیل می‌دهند. در مرحله دوم که در حدود ۴۵ تا ۱۲۰ روز بعد از گلدهی طول می‌کشد تقسیم سلولی کم شده و تجمع نشاسته انجام می‌شود و مقدار نشاسته میوه‌ها حتی به بیش از ۴۰ درصد ماده خشک آن‌ها افزایش می‌یابد. در مرحله سوم که در حدود ۱۲۰ روز پس از گلدهی تا برداشت میوه است تجمع میوه پایان یافته و مقدار قندهای محلول افزایش می‌یابند (Richardson et al., 2004; Moscatello et al., 2011). به نظر می‌رسد افزایش چگالی میوه در دوره دوم رشد میوه (شکل ۴) نتیجه تجمع نشاسته و افزایش ماده خشک میوه و سنگین‌تر شدن آن‌ها در مرحله دوم نمو متابولیسمی میوه باشد.

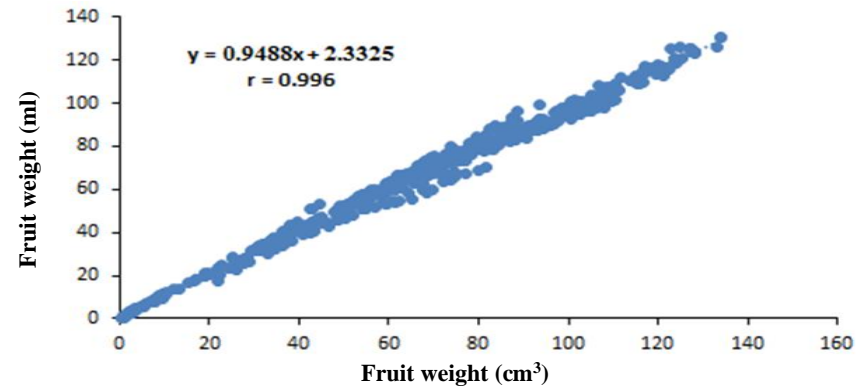
**Table 1. Means of three years correlation coefficients between fruit dimension and fruit volume of Hayward cultivar in 2013-2015**

Variables	Squared of fruit width in Squared of fruit length	Cube of fruit length	Cube of fruit width	Squared of fruit length	Squared of fruit width	Fruit length in Fruit width	Fruit width	Fruit length	Fruit volume
Fruit volume	0.992**	0.977**	0.978**	0.975**	0.968**	0.988**	0.917**	0.925**	1.000

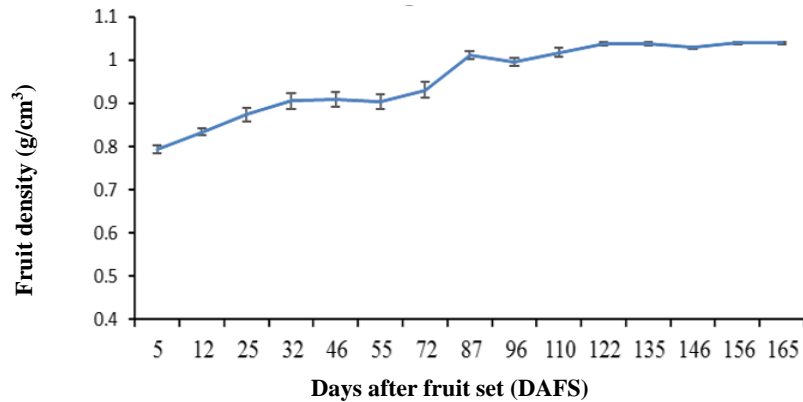
\*\* Correlation is significant at the 0.01 level



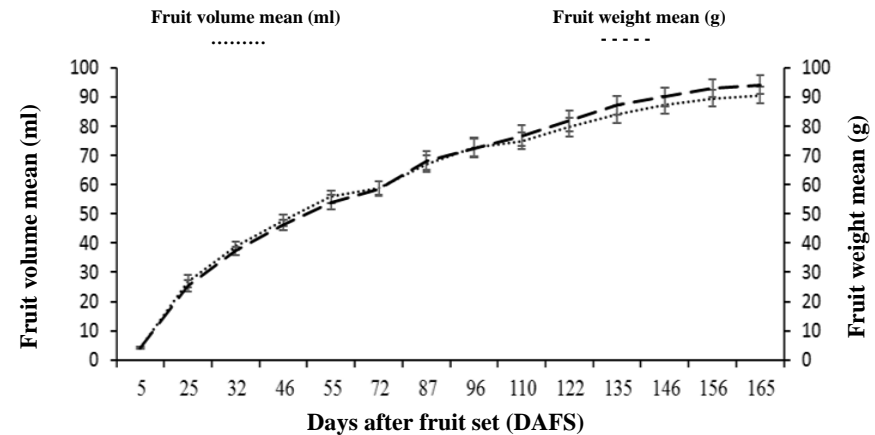
**Figure 1. Correlation between calculated volume of fruit and fruit volume by water displacement of Hayward cultivar in 2013-2015**



**Figure 2. Correlation between calculated volume of fruit and fruit weight of Hayward cultivar in 2013-2015**



**Figure 3. Mean changes of in fruit density in Hayward cultivar during its growth and development period in 2013-2015**



**Figure 4. Mean changes in size and weight of Hayward Kiwifruit during its growth and development period in 2013-2015**

### منحنی رشد میوه

اندازه‌گیری رشد حجم و وزن میوه با فاصله زمانی یک تا دو هفته‌ای از زمان تشکیل میوه تا بلوغ آن به صورت منحنی سیگموئیدی دو گانه مشاهده شد (شکل ۴) که حدود یک ماه و نیم تا دو ماه دوره رشد اول میوه افزایش حجم و وزن میوه سریع بود و میوه تقریباً به نصف اندازه خود رسید. سپس رشد نسبتاً سریع تا ۱۰۰ روز بعد از تشکیل میوه ادامه داشت و پس از آن رشد کند شده و در نهایت تقریباً توقف رشد مشاهده شد.

اگرچه رشد حجم و وزن میوه هم راستای هم افزایش یافت اما در حدود چهار ماه اول دوره رشد میوه، وزن میوه کمتر از حجم آن بود. سپس با تداوم رشد میوه و تجمع نشاسته (Richardson et al., 2004) وزن میوه بیشتر از حجم آن افزایش یافته و تا بلوغ میوه و زمان برداشت این روند ادامه داشت.

### سرعت رشد نسبی روزانه

سرعت رشد نسبی بیان‌کننده میزان افزایش وزن میوه نسبت به وزن اولیه آن در واحد زمان می‌باشد و معمولاً بر حسب گرم در روز بیان می‌شود.

بیشترین مقدار سرعت رشد نسبی میوه در طول یک ماه اول بعد از تشکیل آن اتفاق افتاد و اختلاف آماری معنی‌داری در سرعت رشد نسبی روزانه مشاهده شد. سرعت رشد نسبی با گذشت زمان، روندی کاهشی نشان داد و از ۵۵ روز بعد از تشکیل میوه اختلاف معنی‌داری بین سرعت رشد نسبی روزانه میوه مشاهده نشد (شکل ۵). به نظر می‌رسد علت کاهش سرعت رشد نسبی این است که مقدار وزن میوه با گذشت زمان افزایش پیدا می‌کند اما سرعت افزایش روزانه به دلیل افزایش نسبت بافت‌های بالغ به بافت‌های مریستمی کاهش می‌یابد.

### پیش‌بینی اندازه نهایی میوه در زمان برداشت

ضرایب همبستگی اندازه میوه در زمان‌های متوالی بعد از تشکیل آن و زمان برداشت در جدول ۲ نشان داده شده است. بین اندازه میوه در زمان‌های متوالی با اندازه نهایی آن در زمان برداشت همبستگی مثبت و معنی‌دار در سطح ۹۹ درصد مشاهده شد. اولین ضریب همبستگی ( $r=0/975$ ) در سال

۱۳۹۲ و حدود یک و نیم ماه بعد از تشکیل میوه مشاهده شد که انحراف معیار اندازه میوه در این مرحله ۱۱/۵۵ بود. بیشترین ضریب همبستگی در سال ۱۳۹۳ در حدود دو ماه بعد از تشکیل میوه مشاهده شد (جدول ۲). با توجه به همبستگی مثبت و معنی‌دار ( $r=0/964$ ) بین اندازه میوه در حدود دو ماه بعد از تشکیل میوه و اندازه نهایی آن در زمان برداشت، می‌توان اندازه نهایی میوه را دو ماه بعد از تشکیل آن پیش‌بینی کرد. انحراف معیار اندازه میوه در این مرحله ۱۰/۶۷ بود.

بیشترین ضریب همبستگی در سال ۱۳۹۴ نیز قبل از دو ماه بعد از تشکیل میوه مشاهده شد (جدول ۲). با توجه همبستگی مثبت و معنی‌دار بالای ۰/۹۹ بین اندازه میوه در حدود دو ماه بعد از تشکیل میوه و اندازه نهایی آن در زمان برداشت ( $r=0/994$ )، می‌توان اندازه نهایی میوه را دو ماه بعد از تشکیل آن با ضریب همبستگی بالا پیش‌بینی کرد. انحراف معیار اندازه میوه در این مرحله ۱۴/۰۲ بود.

تجزیه همبستگی سه ساله بین اندازه میوه در زمان‌های متوالی با اندازه نهایی آن در زمان برداشت مثبت و معنی‌دار بود (جدول ۲). پس از تشکیل میوه و با رشد و نمو میوه ضریب همبستگی بین اندازه میوه و اندازه نهایی آن افزایش یافت و در حدود دو ماه پس از تشکیل میوه به بیش از ۰/۹۵ رسید. انحراف معیار اندازه میوه در این مرحله برای داده‌های سه سال ۱۳/۵۶ بود. با استفاده از فرمول (۶) می‌توان اندازه نهایی میوه را حدود دو ماه بعد از تشکیل آن پیش‌بینی کرد. فرمول (۶)

$$\text{اندازه نهایی میوه} = 1/4335 + 5/7955 \times \text{اندازه میوه دو ماه پس از تشکیل میوه}$$

تجزیه همبستگی سه ساله بین وزن تر میوه در زمان‌های متوالی با وزن تر نهایی آن در زمان برداشت در حدود دو هفته بعد از تشکیل میوه معنی‌دار بود (جدول ۲). پس از تشکیل میوه و با رشد و نمو میوه ضریب همبستگی بین وزن تر میوه و وزن تر نهایی آن افزایش یافت و قبل از دو ماه پس از تشکیل میوه به بیش از ۰/۹۰ رسید. با استفاده از فرمول (۷) می‌توان وزن تر نهایی میوه را حدود دو ماه بعد از تشکیل آن پیش‌بینی کرد. انحراف معیار وزن تر میوه در این مرحله برای داده‌های سه سال ۱۳/۰۹ بود.



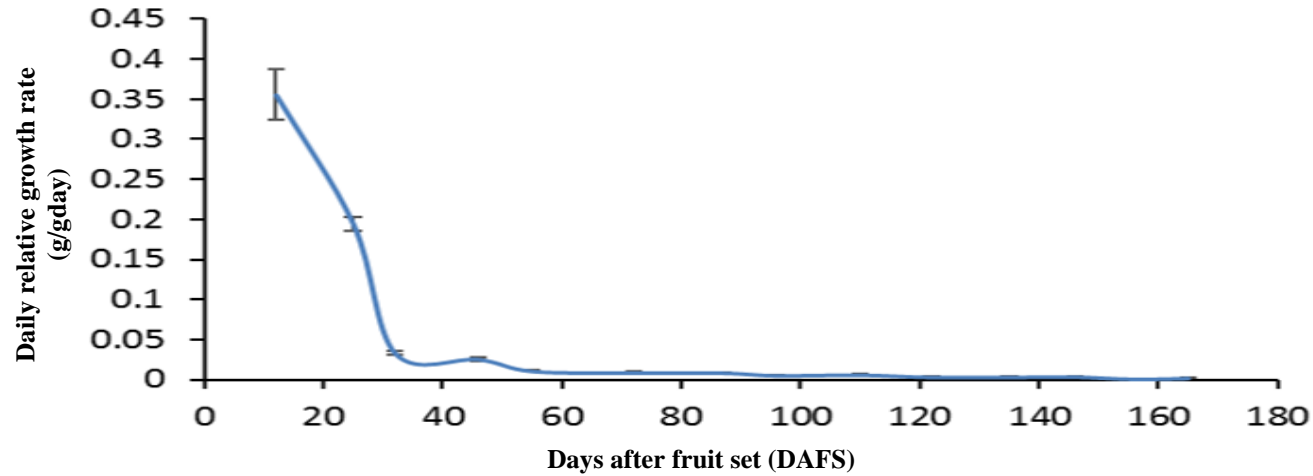


Figure 5. Daily relative growth rate mean of Hayward kiwifruit cultivar during its growth and development period in 2013-2015

Table 2. Correlation coefficients of Hayward fruit size at different time after fruit set for determine of the best time for prediction of final fruit weight in harvest in 2013-2015

Year	Variables	DAFS	5	12	25	32	46	55	72	87	96	110	122	135	146	156	165
2013	Fruit size	165	0.716**	0.802**	0.876**	0.904**	0.975**	0.985**	0.982**	0.937**	0.984**	0.989**	0.993**	0.996**	0.997**	0.998**	1
2014	Fruit size	165	0.292 <sup>ns</sup>	0.598**	0.647**	0.598**	0.614**	0.964**	0.980**	0.957**	0.990**	0.992**	0.995**	0.997**	0.998**	0.999**	1
2015	Fruit size	165	0.042 <sup>ns</sup>	0.094 <sup>ns</sup>	0.402 <sup>ns</sup>	0.379 <sup>ns</sup>	0.450 <sup>ns</sup>	0.994**	0.994**	0.996**	0.996**	0.999**	0.999**	0.999**	1.000**	1.000**	1
	Meansfruit size	165	0.275 <sup>ns</sup>	0.584**	0.642**	0.591**	0.616**	0.958**	0.976**	0.958**	0.991**	0.990**	0.994**	0.995**	0.995**	0.999**	1
	Means fruit fresh weight	165	0.488**	0.486**	0.639**	0.647**	0.709**	0.934**	0.956**	0.954**	0.952**	0.947**	0.986**	0.987**	0.994**	0.997**	1
	Means fruit length	165	0.281 <sup>ns</sup>	0.442*	0.415*	0.551**	0.621**	0.892**	0.933**	0.953**	0.975**	0.977**	0.978**	0.978**	0.990**	0.956**	1

ns,\* and \*\* no correlation and significant correlation at the 0.05 and 0.01 levels respectively.

فرمول (۷)

$$۱۴/۱۹۷ + ۱/۳۲۷ \times \text{وزن تر میوه دو ماه پس از تشکیل}$$

میوه = وزن تر نهایی میوه

تجزیه همبستگی سه ساله بین طول میوه در زمان‌های متوالی با طول نهایی آن در زمان برداشت نشان داد که پس از تشکیل میوه و با رشد و نمو میوه ضریب همبستگی بین طول میوه و طول نهایی آن افزایش یافت و قبل از سه ماه پس از تشکیل میوه به بیش از ۰/۹۵ رسید (جدول ۲). با استفاده از فرمول (۸) می‌توان طول نهایی میوه را قبل از سه ماه بعد از تشکیل آن پیش‌بینی کرد. به طور میانگین انحراف معیار طول میوه برای داده‌های سه سال ۶/۷۷ میلی‌متر و در این مرحله مقدار آن ۶/۵۰ میلی‌متر بود.

فرمول (۸)

$$۱۰/۰۹۶ + ۰/۹۱۷۶ \times \text{طول میوه دو ماه و نیم پس از}$$

تشکیل میوه = طول نهایی میوه

در مطالعات انجام گرفته برای تعیین الگوی رشد میوه نتایج متناقصی به دست آمده است، که به طور احتمال می‌تواند ناشی از نوع رقم، میزان عملکرد درخت و شرایط آب و هوایی باشد. منحنی رشد وزن میوه در کیوی فروت هایوارد به صورت سیگموئید دوگانه (Hopping, 1976, Abedi Gheshlaghi, et al., 2016) و در رقم برونو به صورت سیگموئید سه‌گانه است (Hopping, 1976).

رشد میوه در تاک‌های کیوی دارای سه ویژگی است که نظارت رشد و نمو میوه شاخص مفیدی را برای شیوه‌های مدیریت باغ امکانپذیر می‌سازد. اولین ویژگی از رشد میوه این است اگرچه رشد میوه در طول زمان غیرخطی و به صورت سیگموئید است (شکل ۵)، اما در کل دارای دو مرحله رشد خطی و هر کدام با نرخ رشد ثابت است.

فاز اولیه بزرگ شدن سریع که حاصل تقسیم سلولی و افزایش اندازه سلول‌ها است (Given, 1993)، در این

پژوهش ۵۰-۶۰ روز از زمان تشکیل میوه طول کشید و تقریباً نصف حجم نهایی میوه به دست آمد. در فاز دوم رشد میوه و در یک دوره طولانی‌تر (۱۱۰ روزه)، رشد میوه تا زمان برداشت با روند کندتری ادامه داشت. برای ۱۰۰ گرم میوه، در این فازها به ترتیب میزان افزایش هفتگی تقریباً در حدود هشت و چهار گرم اتفاق افتاد.

در فاز اول رشد میوه بیشترین میانگین سرعت رشد نسبی روزانه میوه اتفاق افتاد و از ۵۵ روز بعد از تشکیل میوه (فاز دوم) اختلاف معنی‌داری بین سرعت رشد نسبی روزانه میوه‌ها مشاهده نشد. بنابراین، اعمال هر گونه تنش در فاز اول رشد که مرحله تقسیم سلولی و رشد سریع میوه است اندازه نهایی میوه را تحت تاثیر قرار داده و برآورد اندازه نهایی میوه را با خطا مواجه خواهد کرد. برای مثال در تنش خشکی تاک‌های کیوی، اگرچه در بازیابی تاک‌های تحت تنش خشکی، سرعت رشد میوه نسبت به درختان بدون تنش جبران می‌شود اما تجمع وزن خشک و وزن تر از دست رفته در طول دوره تنش خشکی هرگز جبران نخواهد شد (Prendergast et al., 1987).

Miller et al. (1998) اثر تنش خشکی اوایل و اواخر دوره رشد تاک‌های گلدانی چهار ساله کیوی رقم هایوارد (پیوندی شده روی دانه‌های هایوارد) را برای تعیین واکنش گیاهان به خشکی و اثرات آن روی میوه بررسی کردند. تنش اول در اوایل تابستان در حدود دو هفته بعد از گلدهی کامل به مدت ۲۱ روز و تنش دوم تقریباً ۱۰ هفته قبل از برداشت و آن هم به مدت ۲۱ روز اعمال شد. مقدار رطوبت خاک در دوره تنش بین ۱۵ تا ۲۰ درصد حجم خاک بود. نتایج نشان داد که تنش آبی زودتر (۳۵-۱۴ روز بعد از گلدهی) وزن میوه را ۳۰ گرم کاهش داد، درحالی‌که تنش دیرتر (۱۱۶-۹۵ روز بعد از گلدهی) کاهش کمتری را در وزن میوه (۱۳ گرم) در مقایسه با میوه تاک‌های شاهد سبب شد.

دومین ویژگی رشد میوه این است که وزن برداشت تقریباً به طور نرمال در حدود یک مقدار متوسط با انحراف استاندارد حدود ۱۹ گرم توزیع شد که با

اندازه‌گیری حجم میوه با آب جایگزین و یا اندازه‌گیری تمام ابعاد میوه برای میوه‌های تاک برای پیش‌بینی اندازه نهایی آن زمان‌بر است. بنابراین، اگر در مراحل اولیه رشد میوه، طول و یا عرض میوه با اندازه نهایی آن همبستگی بالا داشته باشد می‌توان تنها با اندازه‌گیری طول و یا عرض میوه‌ها اندازه نهایی آن را پیش‌بینی کرد. در این پژوهش میانگین داده‌های سه ساله نشان داد که بین طول میوه و اندازه نهایی آن همبستگی بالایی وجود داشت و پس از سه ماه از تشکیل میوه (اواخر مردادماه) با ضریب همبستگی  $0/953$  می‌توان تنها با اندازه‌گیری طول میوه اندازه میوه را پیش‌بینی کرد (جدول ۲).

اگر علاوه بر طول میوه، محیط میوه نیز اندازه‌گیری شود دقت پیش‌بینی بالا رفته و حجم میوه محاسبه شده با استفاده از طول و محیط میوه از طریق فرمول (۱) با حجم واقعی میوه در زمان برداشت همبستگی بالایی ( $r=0/997$ ) خواهد داشت. بنابراین با ضریب همبستگی  $0/958$  می‌توان اندازه نهایی میوه را بین یک و نیم تا دو ماه بعد از تشکیل میوه (اواخر تیر-اوایل مرداد ماه) پیش‌بینی کرد (جدول ۲).

اندازه میوه در کیوی فروت بوسیله عوامل مختلف مانند سن تاک، اقلیم، مدیریت‌های باغبانی مثل هرس، حاصلخیزی خاک و ... خیلی عوامل دیگر مانند گرده‌افشانی، عملکرد تاک، کمبود آب، سطح برگ، و نور تحت تاثیر قرار می‌گیرد. اندازه و وزن نهایی میوه در دوره رشد سریع میوه تعیین می‌شود (Minchin et al., 2003; Hall et al., 1996). با توجه به نتایج پژوهش انجام گرفته در شرایط کنترل شده و مزرعه‌ای، با توجه به اینکه اثرات درجه حرارت در رشد میوه کیوی فروت، به‌خصوص در دوره دوم رشد میوه، خیلی کم است، بنابراین اختلاف مشاهده شده در اندازه میوه در سال‌ها و مکان‌های مختلف مربوط به درجه حرارت نیست و به نظر می‌رسد که در اوایل فصل رشد عوامل دیگری مانند زمان باز شدن گل‌ها، گرده‌افشانی، تعداد میوه در هر

پژوهش‌های انجام شده قبلی که ۲۰ گرم گزارش کرده‌اند مطابقت داشت (Judd and McAneney, 1987; McAneney et al., 1989). اگرچه اندازه میوه تحت تاثیر عوامل مختلف قرار می‌گیرد اما شکل این توزیع اندازه میوه به‌طور قابل توجهی به اختلاف مدیریت تاک‌ها بستگی ندارد (Judd et al., 1989; McAneney et al., 1989).

مشخصه سوم نظارت رشد و نمو میوه این است که در کیوی یک رابطه خوب تعریف شده بین وزن متوسط و تعداد میوه در هر تاک نشان می‌دهد (Richardson and McAneney, 1990). این سه ویژگی از تاک‌های خوب مدیریت شده، همراه با حساسیت رشد و نمو میوه به بسیاری از انواع تنش‌ها، نشان می‌دهد که نظارت رشد میوه‌ها یک ابزار مدیریت باغی بالقوه در جهت کنترل اندازه میوه و عملکرد تاک است.

اگرچه ارتباط نزدیکی بین وزن و حجم میوه کیوی وجود دارد (Hall et al., 1996)، اما در تمام رشد میوه حجم میوه معادل وزن آن نیست و با روند رشد و نمو میوه مقدار وزن نسبت به حجم افزایش بیشتری داشت و باعث افزایش چگالی میوه شد. روند افزایش وزن نسبت به حجم میوه در سال‌های آزمایش و مناطق مختلف پرورش کیوی متفاوت است. بررسی روند افزایش وزن و حجم میوه کیوی رقم هایوارد در شمال کشور نشان داد که روند افزایش وزن به حجم میوه و در نتیجه افزایش چگالی میوه در غرب استان گیلان نسبت به به غرب استان مازندران در حدود یک و نیم ماه زودتر اتفاق افتاد که می‌تواند ناشی از تغییر شرایط اقلیمی منطقه باشد (Abedi Gheshlaghi, et al., 2016).

اندازه میوه در تمام درختان میوه یک صفت مهمی است. اندازه و وزن میوه کیوی در بازارپسندی و قیمت آن نقش مهمی دارد، بنابراین پیش‌بینی اندازه نهایی میوه در مراحل رشد اولیه آن به وسیله روش‌های غیرتخریبی مانند اندازه‌گیری ابعاد میوه و یا اندازه‌گیری حجم میوه با آب جایگزین می‌تواند ابراز مفیدی برای باغداران باشد.

میوه نسبت داد که در رقم هایوارد از یک‌ماه Snelgar et al. (1992) تا ۲۵ روز در پژوهش حاضر زودتر از رقم 'Hort16A' قابل انجام است.

میانگین سرعت رشد نسبی روزانه سه ساله میوه رقم هایوارد نشان داد که دو هفته بعد از تشکیل میوه، سرعت رشد نسبی روزانه میوه از ۰/۳۶ گرم بر گرم روز و حدود یک ماه بعد از تشکیل میوه به ۰/۱۹ گرم در گرم روز و در ۵۵ روز بعد از تشکیل میوه به ۰/۱۱ گرم در گرم روز به‌طور معنی‌دار کاهش یافت. پس از آن سرعت رشد نسبی روزانه در زمان مختلف اندازه‌گیری تا مرحله برداشت اختلاف آماری معنی‌دار نشان نداد. بنابراین، به نظر می‌رسد با توجه به بیشترین سرعت رشد نسبی در یک‌ماه اول و تا اواسط ماه دوم پس از تشکیل میوه، به‌طور احتمال در پایان این دوره اندازه نهایی میوه شکل می‌گیرد که باعث همبستگی بالا بین ابعاد میوه در این مرحله با اندازه نهایی میوه در زمان برداشت می‌گردد.

### نتیجه‌گیری

با توجه به ارتباط مستقیم بین قیمت خرید میوه کیوی با اندازه نهایی آن در زمان برداشت و در نتیجه سود عابدی باغداران، نظارت بر رشد و نمو میوه شاخص مفیدی را برای شیوه‌های مدیریت باغ امکان‌پذیر می‌سازد. پیش‌بینی اندازه میوه بر اساس اندازه‌های کمی میوه در طول رشد نمو آن باغدار را قادر می‌سازد تا برای افزایش اندازه میوه گام‌های مؤثری بردارد. هر چه زمان پیش‌بینی اندازه میوه در مراحل اولیه رشد آن انجام شود احتمال افزایش آن در ادامه فصل بیشتر خواهد بود. علاوه بر این، هر چه ابعاد بیشتری از میوه اندازه‌گیری شود برآورد اندازه نهایی آن برای زمان برداشت دقیق‌تر خواهد بود. براساس نتایج این پژوهش، با روش ساده و عملی و با ضریب همبستگی بالا و معنی‌دار می‌توان با اندازه‌گیری طول و محیط میوه در حدود یک و نیم ماه تا دو ماه بعد از تشکیل میوه، اندازه نهایی میوه در زمان برداشت را پیش‌بینی کرد و اقدامات لازم را برای صادرات، فروش و یا انبارداری میوه‌ها انجام داد.

تاکنون، دسترسی به آب، سطح برگ، و نور اندازه نهایی میوه را کنترل می‌کنند که با اندازه‌گیری اول فصل میوه می‌توان اندازه نهایی آن را در زمان برداشت پیش‌بینی کرد (Hall et al., 1996).

Minchin et al. (2003) گزارش کردند که پس از حدود ۸۰ روز بعد از میانگین گلدهی، پیش‌بینی میانگین وزن تازه میوه‌های کیوی فروت رقم Hort 16A به میزان قابل توجهی بدون اختلاف یا اختلاف خیلی کم با فصل یا منطقه کشت امکان‌پذیر است. در مرحله ۵۰ روز بعد از گلدهی، داده‌ها احتمال تغییرات فصلی را نشان دادند اما هیچ شواهدی برای تغییرات منطقه کشت نشان ندادند. رشد متوسط میوه با یک ضریب ساده در مرحله ۸۰ روز پس از گلدهی قابل محاسبه بود و این نتایج در پنج فصل رشد برای هر دو منطقه یکسان بود. این نتایج نشان می‌دهد که حداکثر پتانسیل وزن میوه ۸۰ روز بعد از گلدهی تعیین می‌شود و از آن زمان به بعد، شرایط آب و هوایی تأثیر قابل توجهی در تعیین حداکثر وزن میوه ندارد (Minchin et al., 2003). در پژوهش حاضر پیش‌بینی وزن و حجم نهایی میوه با همبستگی بسیار بالا در حدود ۵۵ روز بعد از تشکیل میوه امکان‌پذیر شد که با نتایج آزمایش Snelgar et al. (1992) مطابقت داشت. آن‌ها بهترین همبستگی بین ابعاد میوه رقم هایوارد با وزن نهایی آن در زمان برداشت را حدود ۵۰ روز پس از تشکیل میوه گزارش کردند.

رشد میوه در هر دو رقم 'Hort16A' و هایوارد کیوی فروت می‌تواند به دو مرحله تقسیم شود که اولین مرحله بسیار سریع‌تر از مرحله دوم است. برای 'Hort16A'، مرحله اول رشد سریع ۸۰-۹۰ روز بعد از میانگین گلدهی است و فاز دوم رشد ۱۰۰ روز بعد از میانگین گلدهی شروع می‌شود. در رقم هایوارد هر دو مرحله رشد ۲۰ روز زودتر از 'Hort16A' رخ می‌دهد (Minchin et al., 2003). بنابراین، به نظر می‌رسد اختلاف ۲۰ تا ۳۰ روز در فازهای رشد این دو رقم را می‌توان به اختلاف زمان مناسب برای پیش‌بینی اندازه

## سپاس‌گزاری

سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی به خاطر فراهم آوردن منابع مالی این پژوهش، تشکر و قدردانی می‌گردد.

از مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان گیلان، مؤسسه تحقیقات علوم باغبانی،

## References

- Abedi Gheshlaghi, E. Farzam, E., & Javadi Mojaddad. D. (2016). Study on phenological growth stages of kiwifruit (*Actinidia deliciosa*) Hayward in the west of Guilan. *Journal of Plant Production Research*, 23(4), 97-116. [In Farsi]
- Given, N. K. (1993). Kiwifruit. In Seymour, G. B., Taylor, J. E., & Tuckey G. A. (Eds.), *Biochemistry of fruit ripening* (pp: 235-254). London: Chapman & Hall.
- Hall, A. J., McPherson, H. G., Crawford, R. A., & Seager, N. G. (1996). Using early-season measurements to estimate fruit volume at harvest in kiwifruit. *New Zealand Journal of Crop and Horticulture Science*, 24(4), 379-391.
- Hopping, M. E. (1976). Structure and development of fruit and seeds in Chinese gooseberry (*Actinidia chinensis* Planch.), *New Zealand Journal of Botany*, 14(1), 63-68.
- Jamshidi, N., Hosseinpour, A., & Zaki Dizji, H. (2013). Intelligent determination of chemical properties of kiwifruit using non-destructive sonication. *Eighth national congress of agriculture machinery (Biosystems) and mechanization*. Mashhad Ferdowsi University, Mashhad. Iran. [In Farsi]
- Judd, M. J., & McAneney, J. K. (1987). Economic analysis of kiwifruit irrigation in a humid climate. *Advances in Irrigation*, 4, 307-330
- Judd, M. J., McAneney, K. J., & Wilson, K. S. (1989). Influence of water stress on kiwifruit fruit growth. *Irrigation Science*, 10, 303-311.
- McAneney, K. J., Richardson, A. C., & Green, A. E. (1989). Kiwifruit size distributions. *New Zealand Journal of Crop and Horticulture Science*, 17(3), 297-299.
- Miller, S. A. Smith, G. S., Boldingho, H. L., & Johansson, A. (1998). Effects of Water Stress on Fruit Quality Attributes of Kiwifruit. *Annals of Botany*, 81, 73-81.
- Minchin, P. E. H., Richardson, A. C., Patterson, K. J., & Martin, P. J. (2003). Prediction of final weight for *Actinidia chinensis* 'Hort16A' fruit. *New Zealand Journal of Crop and Horticulture Science*, 31(2), 147-157.
- Moghimi, A., Aghkhani, M.H., Sazgarnia, A., & Sarmad, M. (2010). Vis/NIR spectroscopy and chemometrics for the prediction of soluble solids content and acidity (pH) of kiwifruit. *Biosystems Engineering*, 106(3), 295-302.
- Moscattello S., Famiani F., Proietti S., Farinelli D., Battistelli, A. (2011). Sucrose synthase dominates carbohydrate metabolism and relative growth rate in growing kiwifruit (*Actinidia deliciosa*, cv. Hayward). *Scientia Horticulturae*, 128(3), 197-205.
- Nicolai, B. M., Beullens, K., Bobelyn, E., Peirs, A., Saeys, W., Theron, K.I., & Lammertyn, J. (2007). Nondestructive measurement of fruit and vegetable quality by means of NIR spectroscopy: A review. *Postharvest Biology and Technology*, 46(2), 99-118.
- Opara, L.U. (2000). Fruit growth measurement and analysis. *Horticultural Reviews*, 24, 373-431.
- Prendergast, P.T. McAneney, K.J. Astill, K. J. Wilson, A. D., & Barber, R. F. (1987). Kiwifruit water extraction and fruit expansion. *New Zealand Journal of Agricultural Research*, 15(3), 345-350.

- Richardson A. C., Marsh K. B., Bolding H. L., Pichering A. H., Bulley, S. M., Frearson N. J., Ferguson A. R., Thornber S. E., Bolitho K. M., MacRae E. A. (2004). High growing temperatures reduce fruit carbohydrate and vitamin C in kiwifruit. *Plant Cell and Environment*, 27(4), 423-435.
- Richardson, A. C., & McAneney, K. J. (1990). Influence of fruit number on fruit weight and yield of kiwifruit. *Scientia Horticulturae*, 42(3), 233-241.
- Shiri. M. A., M. Ghasemnezhad, Fattahi Moghaddam, J., & Ebrahimi, R. (2014). Fruit Growth and Sensory Evaluation of 'Hayward' Kiwifruit in Response to Preharvest Calcium Chloride Application and Orchard Location. *Agriculturae Conspectus Scientificus*, 79(3), 183-189.
- Snelgar, W. P., Manson, P. J., & Martin, P. J. (1992). Influence of time of shading on flowering and yield of kiwifruit vines. *Journal of Horticulture Science*, 67(4), 481-487.
- Tombesi, A. Antognozzi, E., & Palhotti, A. (1994). Optimum leaf area index for T-bar trained kiwifruit vines. *Journal of Horticulture Science*, 69(2), 339-350.