Plant Prod., 42(4) (2019) 563-574 ISSN (P): 2588-543X
DOI: 10.22055/ppd.2019.26170.1611 ISSN (E): 2588-5979

The Study of Changes in Phytochemical Compounds of Date Fruit cv. Barhee During Development and Ripening

Solaleh Najafi Marghmaleki[1], Seyed Mohammad Hassan Mortazavi[2]* and Hossein Motamedi[3]

1- Ph.D. Student of Horticultural Science, Faculty of Agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran
2- ***Corresponding Author:** Associate Professor, Department of Horticultural Science, Faculty of Agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran (mortazavi_mh@scu.ac.ir)
3- Professor, Department of Biology, Faculty of Science, Shahid Chamran University of Ahvaz and Biology and Biotechnology Research Center, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran

Received: 5 June, 2018 Accepted: 12 December, 2018

Abstract

Background and Objectives

Studying phytochemical changes of fruits is very important for plant physiologists and pomologists. Date is an important horticultural fruit in Iran mainly produced in southern regions. Barhee is considered one of the most important date palm cultivars. The fruit of cv. Barhee can be harvested and consumed at different maturation stages including Khalal, Rutab and Tamar. In the present study, the biochemical alterations of date fruit cv. Barhee during development and ripening stages were studied.

Materials and Methods

The experiment was carried out in a randomized complete block design with three replications. Sampling was done at Date Palm Research Institute Collection Orchard located in Ahvaz. First, fruits were harvested in five different developmental stages including late Kimri, Khalal, mainly Khalal, mainly Rutab, fully Rutab and Tamar. The fruits were then transferred to Quality Analysis Lab of Department of Horticultural Science at Shahid Chamran University of Ahvaz. Selected uniform fruits were used for the analysis of different phytochemical compounds. Chlorophyll, carotenoid, starch, soluble sugars, phenolic compounds, flavonoids and antioxidant capacity were analysed using spectrophotometric methods. The type and concentration of sugars, organic acids, and phenolics were assessed using HPLC. Also, vitamin C content was determined by titration againt DCIP dye.

Results

The results showed that soluble sugars increased significantly during ripening stages, and glucose and fructose were the main detected sugars for Barhee cultivar. The amount of sucrose was negligible. The acidity of the fruit increased at initial growth stages and then decreased gradually till Rutab stage. At the end of ripening process and at Tamar stage, the amount of organic acid content increased to 2.45 mg/g FW. Among the detected organic acids, acetic acid was dominant in Tamar stage, while in the earlier stages malic acid was considered the main organic acid. Other major investigated compounds, including flavonoids, chlorophylls, carotenoids, starch and vitamin C decreased during the development. Different compounds including p-cinamic, gintistic, gallic, chlorogenic, vanilic, caffeic, syringic and p-cumaric acids were detected by

HPLC evaluation of phenolic acids. Among them, gallic acid was the dominant, and the trend was incremental during the development of fruit.

Discussion

Comparing the current results with published data for other date cultivars shows that there are considerable differences in biochemical compounds among different cultivars. In this cultivar, the increasing trend of accumulation of soluble sugars, organic acids, phenolic compounds and antioxidant capacity during ripening stages from late Kimri to Rutab and Tamar stage makes the fruit an important source of essential nutrients.

Keywords: Growth Stages, Nutritional Value, Quality

بررسی تغییرات ترکیبات فیتوشیمیایی میوه خرما رقم برحی طی روند نمو و رسیدن

سلاله نجفی مرغملکی[۱]، سید محمد حسن مرتضوی[۲]* و حسین معتمدی[۳]

۱-دانشجوی دکتری علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران

۲-***نویسنده مسئول:** دانشیار، گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز ایران (mortazavi_mh@scu.ac.ir)

۳- استاد، گروه زیست‌شناسی، داشکده علوم، دانشگاه شهید چمران اهواز و مرکز تحقیقات بیوتکنولوژی و علوم زیستی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۳/۱۵ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۹/۲۱

چکیده

رقم برحی یکی از مرغوب‌ترین ارقام خرما می‌باشد که میوه آن در مراحل مختلف نمو مانند خارک، رطب و خرما برداشت و مصرف دارد. در پژوهش حاضر خصوصیات کیفی و بیوشیمیایی میوه خرما رقم برحی در طول دوره نمو و رسیدن بررسی گردید. به این منظور میوه‌ها در مراحل مختلف نمو شامل اواخر کیمری، خارک کامل، عمدتاً خارک، عمدتاً رطب، رطب کامل و خرما برداشت‌شده و از نظر ویژگی‌هایی نظیر کلروفیل کل، کاروتنوئید کل، انواع قندها، نشاسته، مواد فنولی کل، فلاونوئید کل، ویتامین ث، ظرفیت آنتی‌اکسیدانی، انواع اسیدهای فنولی و اسیدهای آلی مورد مقایسه قرار گرفتند. نتایج نشان داد که قندهای محلول در طول دوره رسیدن افزایش چشمگیری داشت. قندهای گلوکز و فروکتوز در رقم برحی غالب بوده و مقدار ساکارز ناچیز بود. اسیدیته میوه در ابتدا افزایش و سپس کاهش یافت و در مرحله خرما با افزایشی قابل توجه به ۲/۴۵ میلی‌گرم در گرم وزن تر رسید. از میان اسیدهای آلی تشخیص داده‌شده، در مرحله تمار، اسید استیک بیشترین غلظت را داشت ولی در مراحل قبلی نمو، اسیدمالیک غالبیت داشت. عمده ترکیبات دیگر بررسی‌شده شامل فلاونوئید، کلروفیل کل، کاروتنوئید، نشاسته و ویتامین ث در طول نمو کاهش یافتند. در بررسی اسیدهای فنولی توسط کروماتوگرافی مایع با عملکرد بالا اسیدهای پی‌سینامیک، جنتیستیک، گالیک، کلروجنیک، وانیلیک، کافئیک، سیرینجیک و پی‌کوماریک در میوه ردیابی شدند، که اسیدگالیک بالاترین غلظت را داشت و روند تغییرات آن در طول نمو افزایشی بود.

کلیدواژه‌ها: ارزش تغذیه‌ای، کیفیت، مراحل رشد

مقدمه

میوه خرما علاوه بر کربوهیدرات‌ها، از نظر دیگر ترکیبات غذایی مانند مواد معدنی، فیبرهای رژیمی، اسیدهای آمینه و ویتامین‌ها نیز غنی می‌باشد (Mortazavi *et al.*, 2015). از دیگر ترکیبات تشکیل‌دهنده خرما که بر رنگ، مزه و خواص آنتی‌اکسیدانی خرما تأثیر زیادی دارند مواد فنولی هستند که حدود ۳ درصد وزن خشک میوه را تشکیل داده و شامل چهار گروه اصلی تانن‌ها، فلاون‌ها، فلاوان‌ها و فلاونول‌ها می‌باشند (Rastegar and Rahemi, 2015). نمو و رسیدن میوه خرما به پنج مرحله متمایز به نام‌های حبابوک، کیمری، خارک، رطب و خرما تقسیم می‌شود. مرحله حبابوک پس از تشکیل میوه (فروت‌ست) آغاز می‌شود و ۴ تا ۵ هفته ادامه می‌یابد. در مرحله کیمری میوه به رنگ سبز، سفت و غیرخوراکی است. در مرحله خارک، رنگ میوه به زرد، کهربایی و یا قرمز تغییر می‌کند. در مرحله رطب، میوه به یک محصول خوش‌طعم با بافت نرم و شیرین تبدیل می‌شود. سرانجام در مرحله تمار، محتوای آب‌میوه

کاهش می‌یابد و بافت گوشتی آن خشک‌تر شده و رنگش به قهوه‌ای تیره تغییر می‌کند (Baliga *et al.*, 2011). به‌طورکلی اغلب ارقام خرما بسته به تقاضای بازار و کیفیت خوراکی در یک یا چند مرحله از سه مرحله آخر رسیدن میوه شامل خارک، رطب و خرما برداشت و به بازار عرضه می‌شوند. رقم برحی از جمله ارقام بسیار با کیفیت و بازارپسند در بازارهای داخلی و خارجی است و از معدود ارقامی می‌باشد که میوه آن در هر سه مرحله پایانی نمو قابلیت برداشت و مصرف دارد.

خصوصیات شیمیایی و ظاهری میوه طی روند رسیدن به سرعت تغییر می‌کند که این تغییر متأثر از ژنتیک گیاه و شرایط رشد آن (اقلیم و خاک) می‌باشد. این تغییرات شامل مقدار و نوع قند، درصد آب، مقدار نشاسته و فیبر، اسیدهای آلی، رنگدانه‌ها، مواد فنولی و بسیاری ترکیبات دیگر است که بر خصوصیات ظاهری میوه مانند رنگ، شکل و همچنین بر مزه و بافت میوه تأثیرگذار است. عموماً شناخت تغییرات بیوشیمیایی میوه خرما یک عامل کلیدی برای مدیریت بهتر محصول برداشت‌شده در مراحل مختلف نمو می‌باشد. به‌عنوان مثال ماندگاری کوتاه میوه در مرحله رطب به مقدار و نوع قندهای میوه، غلظت و نوع اسیدهای آلی و درصد آب آن مرتبط است و رنگ میوه متأثر از نوع و غلظت ترکیبات فنولی می‌باشد (Al-Qurashi and Awad, 2011; Hasnaoui *et al.*, 2011; Balasundram *et al.*, 2006). این داده‌ها می‌تواند به‌طور مؤثری برای مدیریت بهتر قبل و پس از برداشت در عملیات کنترل کیفیت، فرآیند طراحی تجهیزات، پیش‌بینی عمر قفسه‌ای و تیمارهای مؤثر و مناسب پس از برداشت، بسته‌بندی و انبار به کار گرفته شود (Mortazavi *et al.*, 2015). با توجه به جایگاه جهانی خرمای ایران، دستیابی به اطلاعات جامع ترکیبات تشکیل‌دهنده میوه در مراحل مختلف نمو و رسیدن، می‌تواند به برنامه‌های تحقیقاتی گسترده بر پایه حفظ کیفیت پس از برداشت ارقام مهم و تجاری منجر شود. این پژوهش بر همین اساس و به منظور بررسی تغییرات بیوشیمیایی خرمای رقم برحی که از ارقام مهم کشور و جهان می‌باشد طراحی و انجام گردید.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در سال ۱۳۹۵ در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه بلوک (هر بلوک شامل دو درخت) درکلکسیون نخیلات پژوهشکده خرما و میوه‌های گرمسیری واقع در اهواز با موقعیت جغرافیایی ۳۱ درجه و ۲۰ دقیقه عرض شمالی و ۴۸ درجه و ۴۰ دقیقه طول شرقی، و با ارتفاع ۱۷ متر از سطح دریا انجام گردید. به این منظور میوه‌های خرما در شش مرحله رشدی شامل اواخر کیمری، خارک کامل، عمدتاً خارک، عمدتاً رطب، رطب کامل و خرما از چهار خوشه در چهار جهت جغرافیایی نخل و از هر خوشه ۲۰ میوه به صورت تصادفی برداشت و بلافاصله به آزمایشگاه تجزیه کیفی گروه علوم باغبانی دانشگاه شهید چمران اهواز منتقل گردید. پس از شستشوی میوه‌های سالم و یکنواخت، گوشت میوه جدا و در فویل آلومینیومی بسته‌بندی وتا زمان آنالیز در فریزر ۸۰- درجه سانتی‌گراد نگهداری شد.

ظرفیت آنتی‌اکسیدانی با استفاده از معرف FRAP و مواد فنولی با استفاده از معرف فولین-سیوکالچو اندازه‌گیری شدند (Guo *et al.*, 2003; Benzie and Strain, 1996). به منظور اندازه‌گیری کلروفیل کل، بافت میوه با اتانول ۹۶ درصد عصاره‌گیری و پس از سانتریفیوژ، میزان جذب روشناور در طول موج‌های ۶۶۳ و ۶۴۵ نانومتر انجام گردید (Mortazavi *et al.*, 2013). برای استخراج کاروتنوئید، از ترکیب حلال‌های ان‌هگزان، استون و اتانول به نسبت حجمی ۲:۱:۱ استفاده گردید. پس از سانتریفیوژ، قرائت فاز رویی (ان‌هگزان) نمونه‌ها با دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۴۵۰ نانومتر صورت گرفت (Lee, 2001). به منظور اندازه‌گیری فلاونوئید کل از عصاره متانولی استفاده شد. پس از مخلوط کردن عصاره با سدیم نیتریت ۵ درصد، کلرید آهن ۱۰ درصد و سود یک مولار، میزان جذب نمونه‌ها و سری رقت استاندارد کوئرستین در طول موج ۵۱۰ نانومتر قرائت گردید (Ramful *et al.*, 2011). برای اندازه‌گیری قندهای محلول و نشاسته، به‌ترتیب از عصاره اتانولی و اسیدی میوه استفاده شد. پس از واکنش

عصاره‌های حاصل با واکنش‌گر آنترون در اسید سولفوریک، میزان جذب در طول موج ۶۳۰ نانومتر ثبت گردید (Hansen and Moller, 1975).

به منظور تجزیه قندها و اسیدهای آلی از دستگاه HPLC مدل Waters و آشکارسازهای IR و UV استفاده شد. (Wu *et al.* 2005). به منظور تجزیه نوع و غلظت ترکیبات فنولی، پس از عصاره‌گیری نمونه خشک‌شده با مخلوط متانول/آب، عصاره حاصله تغلیظ گردید. آنالیز نمونه‌ها با دستگاه HPLC (Unicam- Crystal-200, England) با ستون C18 (250mm*4.6mm i.d., 5µm) انجام شد (Odeh *et al.*, 2014).

نتایج به‌دست آمده در نرم‌افزار اکسل ثبت و مرتب‌سازی شد و پس از نرمال‌سازی، آنالیز آماری آن‌ها با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS (ورژن ۹/۱) و SPSS (ورژن ۲۲) انجام شد. مقایسه میانگین به‌دست آمده نیز با آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد گرفته شد.

نتایج و بحث

بر اساس شکل (۱- الف)، غلظت کلروفیل کل از ۳۳/۹۰ میکروگرم در گرم وزن تر در مرحله "اواخر کیمری" به ۴/۱۶ میکروگرم در گرم وزن تر در مرحله "خارک کامل" کاهش یافت و در مراحل رطب و خرما کلروفیل وجود نداشت. از اواخر مرحله کیمری تا مرحله خارک کامل مقدار کاروتنوئیدها افزایشی یافت و ۹۳/۶۵ میکروگرم در گرم وزن تر رسید و از این مرحله به بعد با کاهشی قابل توجه به حداقل مقدار خود (۳/۱۶ میکروگرم در گرم وزن تر) در مرحله خرما رسید. زائل شدن رنگ سبز یکی از شاخص‌های ظاهری رسیدن است که در نتیجه از هم پاشیدن ساختار کلروفیل به دلیل تغییرات پ‌هاش، سیستم‌های اکسیدکننده و فعالیت آنزیم کلروفیلاز اتفاق می‌افتد (Wills and Golding, 1998). برای میوه خرما رنگیزه‌های کلروفیل، کاروتن و آنتوسیانین گزارش شده است که به‌ترتیب مسئول ایجاد رنگ‌های سبز، زرد و قرمز می‌باشند (Baliga *et al.*, 2011). در مرحله خارک با تجزیه کلروفیل، و ساخت کاروتنوئید رنگ زرد قابل مشاهده می‌شود. بر این اساس می‌توان خرما را در گروه میوه‌هایی مانند موز قرار داد که زرد شدن میوه نه به دلیل سنتز بیشتر کاروتنوئیدها، بلکه به دلیل از بین رفتن رنگ سبز ناشی از کلروفیل است (Mortazavi *et al.*, 2015).

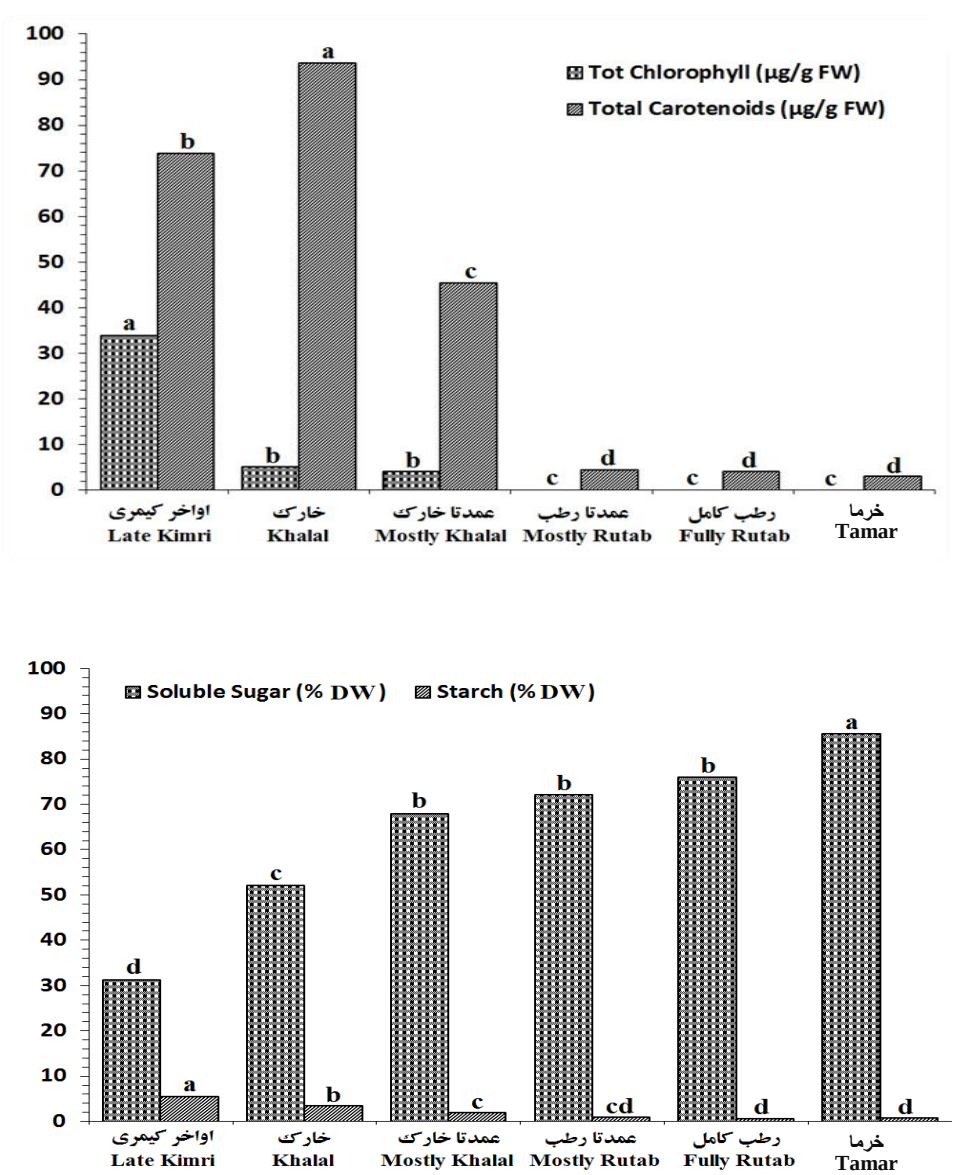
تغییرات مقدار قندهای محلول کل (شکل ۱- ب) نشان داد که از مرحله اواخر کیمری تا مرحله خرما افزایش معنی‌داری در مقدار قندهای محلول وجود داشت، به‌طوری‌که کمترین مقدار در مرحله اواخر کیمری (۳۱/۱ درصد وزن خشک) و بیشترین مقدار در مرحله خرما (۸۵/۵ درصد وزن خشک) مشاهده شد.

نتایج تجزیه قندهای میوه خرما توسط کروماتوگرافی مایع در شکل (۲) نشان می‌دهد که مهم‌ترین قندهای میوه خرما فروکتوز، گلوکز و ساکارز می‌باشند، که غلظت ساکارز در رقم برحی بسیار کم بود. به جز در مرحله اواخر کیمری و خارک، غلظت فروکتوز در بقیه مراحل تا مرحله خرما اندکی بیشتر از گلوکز بود. به‌طورکلی از اواخر کیمری تا مرحله خرما غلظت آن‌ها افزایش یافت. به‌طوری‌که مقدار گلوکز از ۷/۲۴ درصد به ۴۵/۷۹ درصد وزن خشک و مقدار فروکتوز از ۶/۴۱ درصد به ۴۹/۱۱ درصد وزن خشک رسید. روند تغییرات غلظت ساکارز تا محله رطب کامل، افزایشی بود و پس از آن در مرحله خرما مقدار آن به ۱/۹۶ درصد وزن خشک کاهش یافت. تجمع سریع گلوکز و فروکتوز از مرحله خارک تا مراحل آخر نمو می‌تواند در ارتباط با آنزیم اینورتاز باشد که ساکارز را به قندهای مونوساکارید تبدیل می‌کند (Myhara *et al.*, 1999). تعداد، غلظت و روند تغییرات قندهای شناسایی‌شده در این مطالعه با نتایج Al-Farsi *et al.* (2005) در برخی ارقام خرمای عمانی و Ahmed *et al.* (1995) در دوازده رقم تجاری امارات متحده عربی مطابقت داشت.

میزان نشاسته نیز از مرحله کیمری تا مرحله خرما روندی کاهشی داشت. بالاترین میزان نشاسته در مرحله اواخر کیمری (۵/۳۶ درصد) و کمترین میزان در مرحله خرما (۰/۴۷ درصد) بود. در آزمایشی Mustafa *et al.* (1986) با بررسی مقدار نشاسته سه رقم خرما (جاوا،

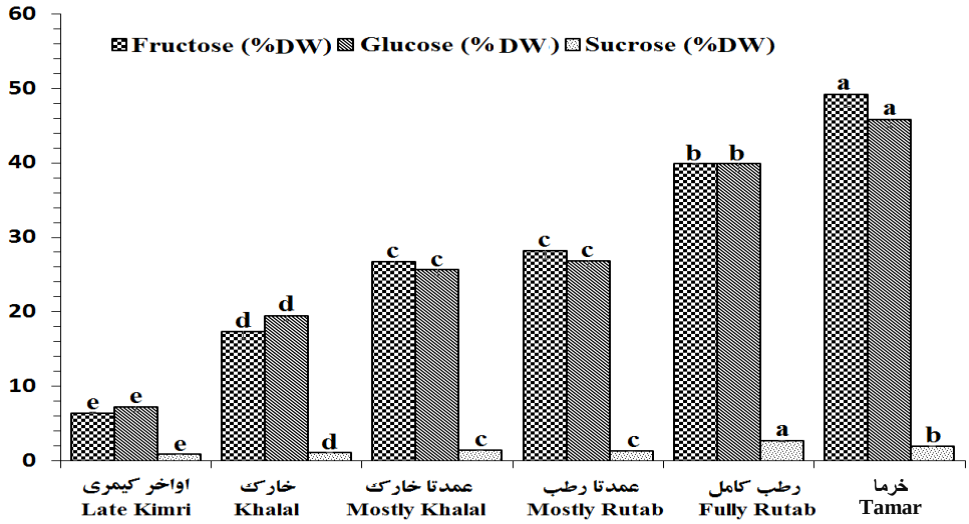
میشریگ وادلاگایی و بنتامودا) در شش مرحله نمو از کیمری تا رطب کامل گزارش کردند غلظت این پلی‌ساکارید در طول نمو میوه در جاوا، بنتامودا و میشریگ وادلاگایی از ۲/۱۵، ۰/۱۹ و ۱/۰۲ درصد در مرحله کیمری به صفر در مرحله رطب کامل رسید.

غلظت مواد فنولی کل در مرحله کیمری نسبت به سایر مراحل پایین‌تر بود (۱/۰۲ میلی‌گرم در گرم وزن تر)، ولی تا مرحله "غالباً رطب" روند افزایشی داشت و به بالاترین مقدار خود رسید (۲/۱۶ میلی‌گرم در گرم وزن تر) (جدول ۱). در ادامه تا آخرین مرحله نمو روند کاهش غلظت ترکیبات فنولی ادامه یافت. ترکیبات فنولی به دو گروه محلول در آب (مانند فلاونوئیدها، فلاون‌ها، اسید فنولیک، کوینین) و نامحلول در آب (مانند تانن‌ها و لیگنین) تقسیم‌بندی نمود (Balasundram *et al.*, 2006).



شکل ۱- تغییر غلظت کلروفیل کل و کاروتنوئید کل (الف) و قندهای محلول و نشاسته (ب) در طول نمو و رسیدن میوه خرما رقم برحی (*حروف متفاوت نشان‌دهنده تفاوت آماری در سطح پنج درصد است)

Figure 1. Changes in total chlorophyll and carotenoids (Right) and soluble sugars and starch (Left) during development and ripening of date fruit cv. 'Barhee' (* Different letters indicate differences at p<0.05)



شکل ۲- روند تغییر قندهای اصلی میوه خرما رقم برحی در طول نمو و رسیدن (*حروف متفاوت نشان‌دهنده تفاوت آماری در سطح پنج درصد است)

Figure 2. Change in main sugars of date fruit cv. 'Barhee' during development and ripening stages (* Different letters indicate differences at p<0.05)

جدول ۱- تغییرات مواد فنولی کل، فلاونوئید کل، تانن‌های محلول، ویتامین ث و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی در طول نمو و رسیدن میوه خرما رقم برحی

Table 1. Changes in total phenolics, total flavonoids, soluble tannins, vitamin C and antioxidant capacity during development and ripening of date fruit cv. 'Barhee'

مرحله بلوغ Maturity stage	مواد فنولی کل (میلی‌گرم/گرم وزن تر) Tot Phenolics (mg/g FW)	فلاونوئید کل (میلی‌گرم/ ۱۰۰ گرم وزن تر) Tot Flavonoids (mg/100 g FW)	ویتامین ث (میلی‌گرم/۱۰۰ گرم وزن تر) Vit C (mg/100g FW)	ظرفیت آنتی اکسیدانی (میکرومول آهن۲/گرم وزن تر) Ant. Capacity (µmole Fe II/g FW)
اواخر کیمری Late kimri	1.02^{d}	64.73^{a}	7.34^{b}	6.80^{c}
خارک Khalal	1.52^{c}	61.21^{a}	7.34^{b}	11.29^{b}
عمدتاً خارک Mostly khalal	1.90^{b}	38.98^{bc}	8.99^{a}	12.99^{a}
عمدتاً رطب Mostly rutab	2.16^{a}	36.32^{bc}	6.24^{b}	13.45^{a}
رطب کامل Fully rutab	1.92^{b}	28.65^{c}	6.24^{b}	11.25^{b}
خرما Tamar	1.80^{b}	43.58^{b}	4.59^{c}	8.35^{c}
درصد تغییرات C.V. (%)	7.01	16.37	10.14	8.22

* حروف متفاوت نشان‌دهنده تفاوت آماری در سطح پنج درصد است.

* Different letters indicate differences at p<0.05.

نتایج Rastegar *et al.* (2012) نشان داد که همزمان با بلوغ میوه خرما میزان مواد فنولی موجود در آن کاهش می‌یابد. کاهش ترکیبات فنولی در هنگام رسیدن میوه‌ها را می‌توان به اکسایش آن‌ها و تشکیل ترکیبات قهوه‌ای رنگ نسبت داد. تغییرات مقدار فلاونوئید کل نشان داد که بیشترین مقدار این ترکیبات در اواخر مرحله کیمری

وجود داشت (۶۴/۷۳ میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم وزن تر) و سپس مقدار آن تا مرحله رطب کاهش یافت (۲۸/۶۵ میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم وزن تر) (جدول ۱). این نتایج با گزارش Lemine *et al.* (2014) برای شش رقم خرما در دو مرحله خارک و خرما و Rastegar *et al.* (2012) در سه رقم خرما در چهار مرحله نموی شامل کیمری، خارک، رطب و خرما مطابقت داشت.

مقدار ویتامین ث از مرحله کیمری (۷/۳۴ میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم وزن تر) تا مرحله غالباً خارک (۸/۹۹ میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم وزن تر) افزایش یافت و در ادامه روند رسیدن میوه تا مرحله تمار، مقدار ویتامین ث کم شد. با بررسی محتوای ویتامین‌های ۱۵ رقم خرمای آریزونا گزارش گردید که میوه خرما منبع خوبی از نیاسین، تیامین و ریبوفلاوین است، در حالی‌که دیگر ویتامین‌ها از جمله ویتامین ث در مقادیر بسیار اندک در خرما وجود دارند (Alddin and Ali, 1982).

در آزمایشات Jaddou *et al.* (1990) مقدار ویتامین ث در دو رقم زاهدی و حلاوی در مرحله بلوغ کامل به‌ترتیب ۵/۳۲ و ۴/۴۹ میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم وزن تر گزارش گردید که با نتایج این پژوهش تطابق داشت. Sawaya *et al.* (1983) نیز گزارش کردند که مقدار ویتامین ث در مراحل اولیه نمو بالا بود و به تدریج به کمترین حد خود در مرحله خرما رسید (۲/۷ میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم).

بررسی داده‌های جدول (۱) نشان می‌دهد که ظرفیت آنتی‌اکسیدانی از ۶/۸۰ میکرومول آهن دو در گرم وزن تر در مرحله اواخر کیمری با روندی افزایشی حداکثر مقدار ۱۳/۴۵ میکرومول آهن دو در گرم وزن تر در مرحله رطب نیم‌خون افزایش یافت. پس از آن تا مرحله خرما روند کاهشی داشت (۸/۳۵ میکرومول آهن دو در گرم وزن تر). ظرفیت آنتی‌اکسیدانی میوه‌ها به مقدار ویتامین ث، ویتامین E، کاروتنوئیدها، فلاونوئیدها و دیگر پلی‌فنول‌ها بستگی دارد. ظرفیت آنتی‌اکسیدانی میوه خرما به خاطر ترکیبات محلول در آب، همانند ترکیبات فنولی (اسید سینامیک)، فلاونوئیدها (فلاون‌ها، فلاونول‌ها و فلاونون‌ها) است که قابلیت خنثی کردن رادیکال‌های آزاد را دارند. فاکتورهای مختلفی مانند رقم، شرایط رشد، مرحله رسیدن، فصل، منطقه جغرافیایی، کوددهی، نوع خاک، شرایط انبارداری و میزان دریافت تابش نور باعث ایجاد تفاوت در ظرفیت آنتی‌اکسیدانی می‌گردد (Lim *et al.*, 2007; Contreras-Calderon *et al.*, 2011; Biglari *et al.*, 2008). روند کاهشی فعالیت آنتی‌اکسیدانی برای ارقام مختلف خرما طی مراحل مختلف رشد گزارش شده است. بین مواد فنولی و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی همبستگی مثبت و معنی‌داری وجود دارد. در واقع، واکنش مواد فنولی مانند تانن‌ها با مواد جامد محلول (قندها و پروتئین) و در نتیجه رسوب آن‌ها باعث کاهش غلظت مواد فنولی و در نتیجه کاهش ظرفیت آنتی‌اکسیدانی می‌گردد (Al- Mansouri *et al.*, 2005; Farsi *et al.*, 2005).

تجزیه ترکیبات فنولی میوه خرما رقم برحی توسط کروماتوگرافی مایع با عملکرد بالا در جدول (۲) نشان داد که اسیدهای فنولی مختلفی مانند پی سینامیک، جنتیستیک، گالیک، کلروجنیک، وانیلیک، کافئیک، سیرینجیک و پی‌کوماریک در میوه خرما یافت می‌شود که غلظت و تنوع آن‌ها در مراحل مختلف متفاوت بود. اسید گالیک در تمامی مراحل نمو و رسیدن (از اواخر کیمری تا تمار) اسید فنولی غالب میوه بود و با روندی افزایشی به ۸۶/۳۰ گرم در کیلوگرم وزن خشک در مرحله خرما رسید. در این آزمایش اسید هموجنتیستیک در میوه خرما در هیچ کدام از مراحل ردیابی نشد (داده نشان داده نشده است). پس از اسید گالیک (به‌عنوان اسید فنولی غالب میوه خرما)، اسید پی-کوماریک و اسید فرولیک مقادیر قابل توجهی نسبت به سایر اسیدهای فنولی داشتند و مقدار آن‌ها در مرحله خرما به‌ترتیب به ۲۸/۶۳ و ۲۶/۳۰ گرم در کیلوگرم وزن خشک رسید. سایر اسیدهای فنولی از جمله جنتیستیک، کلروجنیک، وانیلیک، کافئیک و سیرینجیک نیز با وجود اینکه در برخی مراحل نمو و رسیدن ردیابی شدند، اما از مقادیر ناچیزی برخوردار بودند. در مطالعات Odeh *et al.* (2014) در هفت رقم خرما در چهار مرحله نمو، شش ترکیب فنولی

جدول ۲- مقدار برخی اسیدهای فنولی (میلی‌گرم در کیلوگرم وزن خشک) در طول نمو و رسیدن میوه خرما رقم برحی
Table 2. The amount of some phenolic acids (mg/kg DW) during development and ripening of date fruit cv. 'Barhee'

مرحله بلوغ Maturity stage	پی سینامیک P-Cinamic	جنتیستیک Gentistic	گالیک Gallic	کلروجنیک Chlorogenic	وانیلیک Vanilic	کافئیک Caffeic	سیرینجیک Syringic	پی کوماریک P-Cumaric	فرولیک Frolic
اواخر کیمری Late kimri	0.38^{c}	0.79^{a}	14.10^{f}	0.27^{f}	0.00^{f}	0.00^{c}	0.00^{d}	6.31^{f}	0.73^{f}
خارک Khalal	0.45^{c}	0.60^{ab}	19.77^{e}	0.63^{e}	1.20^{e}	0.00^{c}	0.10^{c}	9.71^{e}	12.63^{e}
عمدتاً خارک Mostly khalal	0.78^{bc}	0.42^{b}	28.13^{d}	0.96^{d}	2.60^{d}	0.18^{ab}	0.16^{b}	16.63^{c}	18.90^{c}
عمدتاً رطب Mostly rutab	8.60^{a}	0.00^{c}	37.83^{c}	1.16^{c}	3.30^{c}	0.12^{bc}	0.24^{a}	14.00^{d}	16.00^{d}
رطب کامل Fully rutab	1.13^{b}	0.00^{c}	64.60^{b}	1.81^{b}	4.00^{b}	0.34^{a}	0.18^{b}	21.70^{b}	22.90^{b}
تمار Tamar	1.38^{b}	0.00^{c}	86.30^{a}	2.13^{a}	5.41^{a}	0.34^{a}	0.27^{a}	28.63^{a}	26.30^{a}
درصد تغییرات C.V. (%)	10.85	10.82	6.48	5.11	6.42	26.60	15.47	6.13	5.06

* حروف متفاوت نشان‌دهنده تفاوت آماری در سطح پنج درصد است.

* Different letters indicate differences at p<0.05.

شناسایی شد و مقدار آن‌ها مورد ارزیابی قرار گرفت، که شامل اسیدهای گالیک، وانیلیک، سرینجیک و فرولیک بودند. در رقم برحی بالاد، اسید گالیک و در رقم برحی عراقی اسید پی‌هیدروکسی بنزوئیک اسید فنولی غالب بودند. بر اساس آزمایشات Hamad *et al.* (2015) در دوازده رقم خرما در مرحله تمار، اسیدهای گالیک، پی-کوماریک و فرولیک را به‌عنوان اسیدهای فنولی غالب در ارقام مختلف گزارش کردند.

در نتایج به‌دست آمده توسط Mansouri *et al.* (2005) و Biglari *et al.* (2008) نیز اسیدهای فنولی ردیابی‌شده در میوه خرما شامل پی-کوماریک، فرولیک، سیناپیک، سینامیک و مشتقات آن‌ها بودند. در مطالعات Al-Tamim (2014) گزارش گردید که بیشترین ترکیب فنولی در خرماهای مصری اسید الاجیک بود (۲۸/۲۹ میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم)، در حالی‌که این ترکیب در نمونه‌های سعودی ردیابی نشد.

به‌طورکلی نتایج بدست آمده از این آزمایش و دیگر مطالعات صورت گرفته روی میوه خرما نشان می‌دهد که اختلاف میان غلظت و ترکیبات فنولی می‌تواند متأثر از منبع نمونه‌گیری، شرایط اقلیمی، خاک، مرحله نموی و مهم‌تر از همه رقم قرار گیرد.

همان‌گونه که در جدول (۳) آمده است، میوه خرما اسیدهای آلی مختلفی داشت که غلظت و روند تغییرات آن‌ها در مراحل مختلف نمو متفاوت بود. مهم‌ترین اسیدهای آلی در طول نمو میوه شامل اسیدهای مالیک، سوکسینیک، استیک و اگزالیک بودند.

در مراحل اولیه (اواخر کیمری و خارک) اسید مالیک غالبیت داشت اما به تدریج تا مرحله خرما غلظت آن کاهش چشمگیری یافت. بر خلاف اسید مالیک، غلظت اسید اگزالیک تا مرحله رطب پایین بود، اما به یکباره در مرحله خرما به بالاترین مقدار خود رسید (۰/۸۶ میلی‌گرم در گرم). تغییرات در غلظت اسید استیک از اواخر کیمری تا مرحله خرما روند افزایشی داشت، به‌طوری‌که در سه مرحله آخر رسیدن شامل غالباً رطب، رطب کامل و خرما اسید غالب میوه بود. نتایج مشابهی توسط Mortazavi *et al.* (2010) گزارش شده است. اسیدهای آلی یافت‌شده در رقم برحی در این مطالعه تقریباً با اسیدهای گزارش‌شده توسط Al-Farsi *et al.* (2005) برای سه رقم خرمای عمانی در

جدول ۳- روند تغییر غلظت اسیدهای آلی (میلی‌گرم بر گرم وزن تر) میوه خرما رقم برحی در طول نمو و رسیدن
Table 3. Change in organic acids (mg/g FW) of the date fruit cv 'Barhi' during development and ripening stages

مرحله بلوغ Maturity stage	اسید سیتریک Citric A.	اسید سوکسینیک Succinic A.	اسید استیک Acetic A.	اسید اگزالیک Oxalic A.	اسید مالیک Malic A.	جمع کل اسیدها Total acids
اواخر کیمری Late kimri	0.00^{c}	0.11^{d}	0.21^{d}	0.18^{bc}	0.57^{b}	1.08^{d}
خارک Khalal	0.08^{bc}	0.30^{bc}	0.29^{d}	0.12^{c}	0.72^{a}	1.51^{c}
عمدتاً خارک Mostly khalal	0.12^{b}	0.61^{a}	0.55^{c}	0.08^{c}	0.41^{c}	1.78^{b}
عمدتاً رطب Mostly rutab	0.16^{b}	0.59^{a}	0.63^{bc}	0.10^{c}	0.39^{c}	1.86^{b}
رطب کامل Fully rutab	0.26^{a}	0.35^{b}	0.69^{b}	0.29^{b}	0.19^{d}	1.78^{b}
تمار Tamar	0.16^{b}	0.20^{cd}	0.97^{a}	0.86^{a}	0.26^{d}	2.45^{a}
درصد تغییرات C.V. (%)	5.80	11.55	9.85	10.14	10.19	10.65

* حروف متفاوت نشان‌دهنده تفاوت آماری در سطح پنج درصد است.

* Different letters indicate differences at $p<0.05$.

مرحله خرما مطابقت داشت. Rastegar *et al.* (2012) نیز با آزمایش بر روی سه رقم خرما در چهار مرحله نمو گزارش کردند سه اسید آلی اصلی در میوه خرما اسیدهای مالیک، تارتاریک و اگزالیک بودند. اسیدهای آلی که بر ترشی میوه اثر می‌گذارند از نظر ترکیب و غلظت در گونه‌ها و ارقام مختلف متفاوت هستند. این اسیدها در ترکیب با قندها بر طعم میوه تأثیر تعیین‌کننده‌ای دارند.

نتیجه‌گیری

کیفیت تغذیه‌ای میوه خرما می‌تواند تا حد زیادی مرتبط با اجزای اصلی تشکیل‌دهنده آن از جمله کربوهیدرات‌ها (عمدتاً فروکتوز، گلوکز و ساکارز)، کاروتنوئیدها، ترکیبات فنولی و فلاونوئیدها، و اسیدهای آلی باشد. علاوه بر ارزش غذایی، وجود ترکیبات موثر در طعم میوه از جمله اسیدهای آلی می‌تواند ویژگی‌های حسی محصول را تا حد زیادی بهبود بخشد، زیرا آن‌ها مسئول طعم‌های ترش و اسیدی بسیاری از محصولات غذایی هستند. از طرف دیگر اسیدهای آلی بر رشد میکروارگانیسم‌های میوه اثر می‌گذارند و بنابراین کیفیت انبارداری و پس از برداشت میوه را تحت تأثیر قرار می‌دهند. اسید مالیک به‌عنوان اسید غالب میوه خرما دارای طعم دلپذیر، ملایم و ترش می‌باشد. با مقایسه نتایج به‌دست آمده با کارهای پیشین در مورد دیگر ارقام خرما، می‌توان گفت که از نظر خصوصیات بیوشیمیایی، بین ارقام مختلف مختلف تفاوت‌های بسیار زیادی وجود دارد. در رقم برحی در طول رسیدن از مرحله اواخر کیمری تا مرحله رطب کامل و تمار، فاکتورهایی مانند قندهای محلول، اسیدهای آلی، مواد فنولی و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی افزایش قابل توجهی نشان داد، که این مسأله خرما را به یک منبع مهم از نظر ارزش تغذیه‌ای تبدیل کرده است. از دیگر خصوصیات بارز این رقم مشاهده مقدار بسیار کم ساکارز در تمام مراحل نمو بود.

سپاسگزاری

بدینوسیله از آقای دکتر مسعود مشهدی اکبر بوجار، دانشیار دانشگاه خوارزمی جهت همکاری در انجام آنالیزهای کروماتوگرافی این تحقیق سپاسگزاری می‌شود.

تضاد منافع

این پژوهش با حمایت مالی (پژوهانه) دانشگاه شهید چمران اهواز انجام گردیده است. کلیه نویسندگان در

منافع مالی و معنوی این مقاله شریک بوده و تضاد منافعی وجود ندارد.

سهم نویسندگان

ایده انجام این پژوهش مربوط به نویسنده دوم مقاله (سید محمد حسن مرتضوی) بوده که دانشجو (سلاله نجفی مرغملکی) فعالیت‌های آزمایشگاهی آن را انجام داده و نویسنده سوم (حسین معتمدی) مشاوره این پژوهش را به عهده داشته است.

References

Ahmed, I. A., Ahmed, A. W. K. and Robinson, R. K. (1995). Chemical composition of date varieties as influenced by the stage of ripening. *Food Chemistry*, 54(3), 305-309.

Alddin, S. M. and Ali, S. M. (1982). Chemical composition of four Iraqi date cultivars. *Date Palm Journal*, 1(1), 285-294.

Al-Farsi, M., Alasalvar, C., Morris, A., Baron, M. and Shahidi, F. (2005). Comparison of antioxidant activity, anthocyanins, carotenoids, and phenolics of three native fresh and sun-dried date (*Phoenix dactylifera* L.) varieties grown in Oman. *Journal of Agricaltural and Food Chemistry*, 53(19), 7592-7599.

Al-Qurashi, A. D. and Awad, M. A. (2011). Quality characteristics of bisir 'Barhee' dates during cold storage as affected by postharvest dipping in gibberellic acid, naphthaleneacetic acid and benzyladenine. *Fruits*, 66(5), 343-352.

Al-Tamim, E. A. (2014). Study of anti-nutrients and antioxidant in date palm fruits (*Phoenix Dactylifera* L.) from Saudi Arabia and Egypt. *Journal of American Science*, 10(3), 154-159.

Balasundram, N., Sundram, K. and Samman, S. (2006). Phenolic compounds in plants and agri-industrial by-products: Antioxidant activity, occurrence, and potential uses. *Food Chemistry*, 99(1), 191-203.

Baliga, M. S., Baliga, B. R. V., Kandathil, S. M., Bhat, H. P. and Vayalil, P. K. (2011). A review of the chemistry and pharmacology of the date fruits (*Phoenix dactylifera* L.). *Food Research International*, 44(7), 1812-1822.

Benzie, I. F. and Strain, J. J. (1996). The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of antioxidant power: FRAP assay. *Annual Review of Biochemistry*, 239(1), 70-76.

Biglari, F., Alkarkhi, A. F. M. and Easa, A. M. (2008). Antioxidant activity and phenolic content of various date palm (*Phoenix dactylifera*) fruits from Iran. *Food Chemistry*, 107(4), 1636-1641.

Contreras-Calderon, J., Calderon-Jaimes, L., Guerra-Hernandez, E. and Garcia-Villanova B. (2011). Antioxidant capacity, phenolic content and vitamin C in pulp, peel and seed from 24 exotic fruits from Colombia. *Food Research International*, 44(7), 2047–2053.

Guo, C., Yang, J., Wei, J., Li, Y., Xu, J. and Jiang, Y. (2003). Antioxidant activities of peel, pulp and seed fractions of common fruits as determined by FRAP assay. *Nutrition Research*, 23(12), 1719-1726.

Hamad, I., AbdElgawad, H., Al Jaouni, S., Zinta, G., Asard, H., Hassan, S., Hegab, M., Hagagy, N. and Selim, S. (2015). Metabolic analysis of various date palm fruit (*Phoenix dactylifera* L.) cultivars from Saudi Arabia to assess their nutritional quality. *Molecules*, 20(8), 13620-13641.

Hansen, J. and Moller, I. (1975). Percolation of starch and soluble carbohydrate from plant tissue for quantitative determination with anthrone. *Analytical Biochemistry*, 68(1), 87-94.

Hasnaoui, A., Elhoumaizi, M. A., Hakkou, A., Wathelet, B. and Sindic, M. (2011). Physico-chemical characterization, classification and quality evaluation of date palm fruits of some Moroccan cultivars. *Journal of Scientific Research*, 3(1), 139-149.

Jaddou, H., Mhaisen, T. and Al-Hakim, M. (1990). Effect of gamma-irradiation on ascorbic acid content of Iraqi dates. *Radiation Physics and Chemistry*, 35(2), 288-291.

Lee, H. S. (2001). Characterization of cartenoeids in juice of red navel orange (Cara Cara). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 49(5), 2563-2568.

Lemine, F. M. M., Ahmed, M. V. O. M., Maoulainine, L. B. M., Bouna, Z. A. O., Samb, A. and Boukhary, O.M.S.O. (2014). Antioxidant activity of various Mauritanian date palm (*Phoenix dactylifera* L.) fruits at two edible ripening stages. *Food Science and Nutrition*, 2(6), 700-705.

Lim, Y. Y., Lim, T. T. and Tee. J. J. (2007). Antioxidant properties of several tropical fruits: A comparative study. *Food Chemistry*, 103(3), 1003-1008.

Mansouri, A., Embarek, G., Kokkalou, E. and Kefalas, P. (2005). Phenolic profile and antioxidant activity of the Algerian ripe date palm fruit (*Phoenix dactylifera*). *Food Chemistry*, 89(3), 411-420.

Mortazavi, S. M. H., Arzani, K. and Barzegar, M. (2010). Analysis of sugars and organic acids contents of date palm (*Phoenix dactylifera* L.) 'Barhee' during fruit development. *Acta Horticulturae*, 882(1), 793-801.

Mortazavi, S. M. H., Azizollahi, F. and Moalemi, N. (2015). Some quality attributes and biochemical properties of nine Iranian date (*Phoenix dactylifera* L.) cultivars at different stages of fruit development. *International Journal of Horticultural Science and Technology*, 2(2), 161-171.

Mortazavi, S. M. H., Najafi, S., Moghimi, Z., Badvi, M., Bostani, N., Amiri, H. and Moghadam, E. (2013). *Comparison of different extraction and quantification methods of a, b and total chlorophyll in vegetables*. 8th Congress of Iranian Horticultural Science, Hamadan, Iran. [In Farsi]

Mustafaa, A. B., Harper, D. B. and Johnston, D. E. (1986). Biochemical changes during ripening of some Sudanese date varieties. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 37(1), 43-53.

Myhara, R. M., Karkalas, J. and Taylor, M.S. (1999). The composition of maturing Omani dates. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 79(11), 1345-1350.

Odeh, I., Al-Rimawi, F., Abbadi, J., Obeyat, L., Qabbajeh, M. and Hroub, A. (2014). Effect of harvesting date and variety of date palm on antioxidant capacity, phenolic and flavonoid content of date palm (*Phoenix Dactylifera*). *Journal of Food and Nutrition Research*, 2(8), 499-505.

Ramful, D., Tarnus, E., Aruoma, O. I., Bourdon, E. and Bahorun, T. (2011). Polyphenol composition, vitamin C content and antioxidant capacity of Mauritian citrus fruit pulps. *Food Research International*, 44(7), 2088-2099.

Rastegar, S. and Rahemi, M. (2015). Comparision of physicochemical characterristic of pollinated and unpollinated Piarom and Shahani Date Palm during fruit growth and development. *Plant Productions*, 38(1), 65-74. [In Farsi]

Rastegar, S., Rahemi, M., Baghizadeh, A. and Gholami, M. (2012). Enzyme activity and biochemical changes of three date palm cultivars with different softening pattern during ripening. *Food Chemistry*, 134(3), 1279-1286.

Sawaya, W. N., Khalil, J. K., Safi, W. M. and Al-Shalhat, A. (1983). Physical and chemical characterization of three Saudi date cultivars at various stages of development. *Canadian Institute of Food Science and Technology Journal*, 16(2), 87-92.

Wills, R. B. H. and Golding, J. (1998). *Postharvest: An introduction to the physiology and handling of fruit, vegetables and ornamentals* (6th ed.). Wallingford, UK: CABI Press.

Wu, B. H., Quilot, B., Genard, M., Kervella, J. and Li, S. H. (2005). Changes in sugar and organic acid concentrations during fruit maturation in peaches, P. davidiana and hybrids as analyzed by principal component analysis. *Scientia Horticulturae*, 103(4), 429-439.

© 2019 by the authors. Licensee SCU, Ahvaz, Iran. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0 license) (http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)