تعیین ویژگی‌های فیزیکی‌شیمیایی و آنتی‌اکسیدانی عصاره‌ی میوه‌ی دو رقم لیموترش کوک‌اورکا و خوشه‌ای (*C. limon* cvs. Cook Eureka & Khoushehi) طی رسیدن و عمرقفسه‌ای

جواد فتاحی مقدم[1*]، سیده الهام سیدقاسمی[2]

۱- دانشیار، پژوهشکده مرکبات و میوه‌های نیمه گرمسیری، موسسه تحقیقات علوم باغبانی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، رامسر، ایران.

۲- کارشناس‌ارشد فیزیولوژی گیاهی، پژوهشکده مرکبات و میوه‌های نیمه گرمسیری.

(تاریخ دریافت: ۹۷ /۰٦/۰٦ تاریخ پذیرش: ۹۷/۱۲/۲۵)

چکیده

در این تحقیق ویژگی‌های فیزیکی‌شیمیایی و آنتی‌اکسیدانی دو رقم لیموترش کوک‌اورکا و خوشه‌ای طی دو سال با نمونه‌برداری از ۲۵ مهر تا ۲۵ آبان به‌فاصله زمانی هر ۱۰ روز یک‌بار (چهار زمان) از درختان و در پایان عمرقفسه‌ای ارزیابی شد. نتایج نشان داد که بطورکلی ابعاد و حجم میوه لیموی کوک‌اورکا بزرگ و لیموی خوشه‌ای کوچک بود. میزان وزن میوه و درصد عصاره طی برداشت یک ماهه و هم‌چنین در پایان عمرقفسه‌ای لیموی کوک‌اورکا تغییرات معنی‌داری (p<۰/۰۵) نداشت. نسبت TSS/TA نیز هم در زمان برداشت و هم در پایان عمرقفسه‌ای (به استثنای میوه لیموی خوشه‌ای برداشت شده در ۲۵ آبان)، متناسب با زمان برداشت بالاتر بود. هرچند شاخص فناوری در لیموی کوک‌اورکا طی زمان‌های مختلف برداشت تغییر معنی‌داری نداشت لیکن ضخامت پوست میوه در لیموی خوشه‌ای طی عمر قفسه‌ای کاهش یافت. بطورکلی مقدار شاخص‌های L^*، a^* و b^* در هر دو آزمایش زمان برداشت و عمرقفسه‌ای، به ترتیب از برداشت اول به آخر بالاتر بود. مقدار کروما و CCI نیز طی عمرقفسه‌ای روند افزایشی نشان دادند. میوه‌های برداشت آخر (۲۵ آبان) که بالاترین مقدار (۲۸/۳۱ میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم وزن‌تر) ویتامین C را داشتند در پایان عمر قفسه‌ای هم دارای بیش‌ترین میزان ویتامین C (٤۲/٦٤ میلی‌گرم در ۱۰۰گرم وزن‌تر) بودند. بطورکلی میزان فنل‌کل و محتوای آنتی‌اکسیدانی میوه هر دو رقم طی عمرقفسه‌ای افزایش نشان داد.

کلید واژگان: ارزش غذایی، رنگ پوست، لیموترش، فنل، ویتامین C

* مسئول مکاتبات: j.fattahi@areeo.ac.ir

۱- مقدمه

ایران از نظر تولید، سطح زیر کشت و عملکرد تولید مرکبات به ترتیب رتبه‌های دهم، هشتم و نهم را در دنیا دارد. سهم ایران از تولید جهانی سه درصد است. در ایران انواع لیموترش و لیموشیرین نیز به‌ویژه در جنوب تولید می‌شود که ارزش اقتصادی بالایی دارد. ایران رتبه نهم تولید (۴۵۷۲۷۰ تن) لایم و لمون با ۲۹۰۱۵ هکتار سطح زیر کشت را در بین کشورهای تولیدکننده دنیا دارد [۱]. گرچه تولید لیموترش مناسب مناطق جنوبی کشور است لیکن به دلیل شیوع بیماری جاروی جادوگر، بسیاری از باغ‌های اقتصادی امحاء شده و تولید کاهش یافته است. اخیرا به تولید لیموترش در شرایط شمال کشور نیز در فضای آزاد و یا کشت گلخانه‌ای توجه شده است. در این شرایط بسیاری از ویژگی‌های فیزیکی‌شیمیایی میوه مانند درصد آب، مزه، رنگ‌گیری پوست، زمان رسیدن و ترکیبات زیست‌فعال تحت تاثیر شرایط اقلیمی قرار می‌گیرند.

دارا بودن حداکثر کیفیت ظاهری و داخلی میوه در زمان برداشت از یک‌سو و ممانعت از آسیب سرمای زودرس پاییزه به میوه از سوی دیگر در تعیین زمان برداشت اهمیت بالایی دارد. فتاحی و همکاران [۲]، ارقام مختلف پرتقال (تامسون، سیاورز و مورو) را در طی رسیدن بررسی کرده و بیان کردند که اواخر آبان و اوایل آذر بهترین زمان برداشت این ارقام از نظر خصوصیات کیفی و ترکیبات زیست‌فعال است. شاخص‌های رنگ پوست میوه طی رسیدن و عمرقفسه‌ای تغییر می‌کنند. در این راستا مخیم و همکاران (۲۰۱۵) گزارش کردند هم‌زمان با رشد میوه طی ۳۰ تا ۱۵۰ روز بعد از تشکیل میوه، میزان L^* از ۳۶/۱ به ۶۱/۲۱، a^* از ۵/۶۷- به ۳/۳۱- و b^* از ۱۰/۷ به ۲۹/۶۷ افزایش یافت [۳]. در لیموترش میزان TA اهمیت بیش‌تری نسبت به TSS دارد و به‌عنوان شاخص کیفی مهمی در پژوهش‌ها مورد توجه قرار گرفته است. بر این اساس با برداشت پرشین لایم در دو مرحله رشدی با پوست سبز و زرد، مقادیر TSS و TA برای پرشین لایم زرد به ترتیب ۷/۳۸ و ۰/۰۷ درصد و سبز به ترتیب ۷/۵ و ۰/۰۶۷ درصد گزارش شد [۴].

ترکیبات آنتی‌اکسیدانی زیادی از منابع گیاهی به‌عنوان خنثی-کنندگان رادیکال‌های آزاد یا گونه‌های اکسیژن فعال شناخته شده‌اند [۵]. میوه‌ی مرکبات به‌ویژه لیموها منبع مهم آنتی-اکسیدان‌های طبیعی چون اسید آسکوربیک، کاروتنوئیدها، فلاونوئیدها و دیگر ترکیبات فنلی به‌شمار می‌روند [۶]. رخا و همکاران [۷]، پس از بررسی ظرفیت آنتی‌اکسیدانی آب‌میوه‌های نابالغ[1] و رسیده‌ی چهار رقم مرکبات شامل لیمو، نارنگی، نارنج و پرتقال، بیان نمودند که ظرفیت آنتی‌اکسیدانی آب‌میوه‌های رسیده کمتر از نابالغ بود. این شاخص‌ها در مطالعاتی که کیفیت لیموها مدنظر بوده است مورد توجه قرار گرفته است. از جمله رامفل و همکاران [۸] روی ۲۱ رقم مرکبات از جمله لیمو بررسی نمود و نشان داد که پوست مرکبات منبع غنی از ترکیبات آنتی‌اکسیدانی بوده و فعالیت آنتی‌اکسیدانی قابل توجهی دارد. اسید آسکوربیک از جمله این ترکیبات مهم است. بر این اساس حاجی‌محمودی و همکاران [۹]، میزان آسکوربیک‌اسید لیموترش را به مقدار ۱۸۷/۵۲ میلی‌گرم بر لیتر گزارش کردند. در یک بررسی گزارش شد که عصاره‌ی میوه‌های نارس و رسیده‌ی ارقام لیمو، نارنج، پرتقال و نارنگی در مقایسه با رسیده فعالیت آنتی‌اکسیدانی بالاتری داشتند [۷].

معمولا مصرف لیموها بلافاصله بعد از برداشت توصیه نمی‌شود و نیاز است که مدتی بعد از برداشت نسبت به آب‌گیری و یا مصرف آن اقدام شود. خواص فیزیکی و ارزش غذایی میوه ممکن است در این مدت تغییر نماید. طی پژوهشی در لیموترش (*Citrus aurantifolia*) میزان کلروفیل کل طی ۲۵ روز نگهداری و به فاصله هر ۵ روز ارزیابی، از مقدار ۱/۵۲ میلی‌گرم در لیتر در زمان برداشت به ۰/۱۷ میلی‌گرم در لیتر تا پایان نگهداری کاهش یافت. هم‌چنین میزان ویتامین ث از ۸۸ به ۲۹ میلی‌گرم در ۱۰۰ میلی‌لیتر، میزان اسیدیته از ۰/۸۸ به ۰/۱۵ درصد و میزان عصاره از ۲۷ میلی‌لیتر به ۱۷ میلی‌لیتر کاهش نشان دادند [۱۰]. در این تحقیق تلاش شد تا ویژگی‌های فیزیکی‌شیمیایی و ترکیبات با خواص آنتی‌اکسیدانی دو رقم لیموترش کوک‌اورکا و خوشه‌ای در زمان‌های مختلف برداشت و طی عمرقفسه‌ای مورد بررسی قرار گیرد.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- مواد گیاهی

در این پژوهش ویژگی‌های فیزیکی‌شیمیایی و ترکیبات زیست‌فعال میوه‌ی دو رقم لیموترش کوک‌اورکا و خوشه‌ای (*C. limon* cvs. Cook Eureka & Khoushehi) (روی پایه‌ی سیترنج) رشد یافته در شمال کشور طی رسیدن و عمر قفسه‌ای (تیمار) بررسی شدند. نمونه‌ها از ایستگاه تحقیقات پژوهشکده مرکبات و میوه‌های نیمه گرمسیری کشور (کترا) با مختصات جغرافیایی 36°42'47.7"N

1. Immature

50°58'25.6"E) تهیه شد. درختان منتخب دارای سن حدود ١١ سال با فاصله کشت ٨ × ٤ متر بودند. نمونه‌برداری از ٢٥ مهر به مدت یک ماه (به فاصله زمانی هر ١٠ روز یکبار) انجام شد. نمونه‌ها به‌طور تصادفی از جهات مختلف درخت به تعداد ٣٠ عدد میوه از سه درخت برداشت شد. نیمی از میوه‌ها در طی رسیدن و مابقی بعد از ٢٠ روز نگهداری در انبار معمولی با رطوبت ٨٥ درصد و دمای ١٠-٧ درجه سلسیوس مورد ارزیابی قرار گرفت.

٢-٢- طول، دو قطر میوه و صفات مرتبط

طول میوه (L) (فاصله گلگاه تا دم میوه) و قطر کوچک (W) و ضخامت میوه (T) به کمک کولیس دیجیتال (مدل Digit-Cal ساخت سوئیس با دقت ٠/٠١ میلی‌متر) اندازه‌گیری شد. سپس مقادیر میانگین قطر حسابی (D_a)، میانگین قطر هندسی (D_g)، قطر معادل (D_p) و قطر هم‌ساز (D_h)، نسبت جانبی یا ضریب رعنایی[2] (Ra%)، کرویت میوه (Ø)، مساحت رویه (S) با استفاده از معادله‌های $D_a = \frac{(L+W+T)}{3}$، $D_g = (LWT)^{1/3}$، $D_p = [L \times \frac{(W+T)^2}{4}]^{1/3}$، $D_h = \frac{3}{\left(\frac{1}{L}\right)+\left(\frac{1}{W}\right)+\left(\frac{1}{T}\right)}$، $\%R_a = \left(\frac{W}{L}\right) \times 100$، $\emptyset = \frac{(LWT)^{1/3}}{L}$ و $S = \pi D_g^2$ محاسبه شدند [١٠]. در این معادله‌ها L، W و T به ترتیب طول، قطر کوچک و ضخامت میوه بود.

٢-٣- حجم واقعی[3] (V_t)، حجم ظاهری[4] (V_a)، خطای دو حجم

جهت تعیین مقدار حجم واقعی با استفاده از اصل جابجایی آب محاسبه شد. بر این اساس، هر یک از میوه‌ها در بشر یک لیتری لبریز از آب فرو برده شدند، حجم آب خارج شده از بشر برابر با حجم میوه بر حسب سانتی‌متر مکعب بدست آمد. حجم ظاهری (V_a) و درصد خطای حجم ظاهری به واقعی (ev) به ترتیب با استفاده از معادله‌های $V_a = \frac{\pi}{6} LWT$ و $\%e_v = \frac{V_a - V_t}{V_t} \times 100$ مشخص شدند [١١]. در این معادله L، W و T به ترتیب طول، قطر کوچک و ضخامت میوه بود.

٢-٤- چگالی واقعی

با استفاده از رابطه‌ی $\rho_t = \frac{M_a}{V_t}$ چگالی واقعی میوه بر حسب گرم بر سانتی‌متر مکعب تعیین شد. در این رابطه M_a جرم میوه و V_t حجم واقعی میوه است.

٢-٥- وزن میوه، درصد عصاره و درصد تفاله

بدین منظور ابتدا وزن هر میوه با استفاده از یک ترازوی دیجیتال با دقت ٠/٠١ گرم اندازه‌گیری شد. سپس با استفاده از آب‌میوه‌گیر دستی آب‌میوه استخراج شده و با محاسبه درصد نسبت وزن عصاره به وزن میوه، درصد عصاره‌ی میوه تعیین شد. درصد تفاله از طریق درصد نسبت وزن تفاله به وزن میوه محاسبه شد.

٢-٦- درصد کاهش وزن

جهت تعیین درصد کاهش وزن میوه‌های نگهداری شده در انبار معمولی ابتدا وزن میوه‌ها قبل و بعد از انبارداری تعیین شد سپس درصد کاهش وزن از رابطه‌ی ($\frac{\text{وزن ثانویه} - \text{وزن اولیه}}{\text{وزن اولیه}} \times 100$) به‌دست آمد [١٢].

٢-٧- ضخامت پوست

با استفاده از دستگاه کولیس دیجیتال (مدل Digit-Cal ساخت سوئیس با دقت ٠/٠١ میلی‌متر) ضخامت پوست در قسمت میانی میوه بر حسب میلی‌متر اندازه‌گیری شد.

٢-٨- مواد جامد محلول (قند)، اسیدیته قابل تیتر و نسبت قند به اسید

برای اندازه‌گیری TSS، یک قطره از عصاره میوه را روی دستگاه رفرکتومتر چشمی (مدل Atago-ATC-20E ساخت ژاپن با دامنه ٢٠- ٠ درصد) قرار داده و درصد مواد جامد محلول قرائت و ثبت گردید. مقدار TA با استفاده از روش تیتراسیون محاسبه شد. در این روش ١٠ میلی‌لیتر از آب‌میوه با ٢٠ میلی‌لیتر آب مقطر و ٣- ٢ قطره معرف فنل‌فتالئین مخلوط شده با هیدروکسیدسدیم ٠/١ نرمال تا ظهور رنگ صورتی تیتر شد. حجم سود مصرفی در عدد ٠/٠٦٤ ضرب شده و مقدار TA بر حسب درصد اسید سیتریک محاسبه شد. پس از اندازه‌گیری TSS و TA نسبت قند به اسید (TSS/TA) محاسبه شد [١٣].

٢-٩- شاخص فناوری (TI)

با محاسبه حاصل‌ضرب درصد عصاره در مواد جامد محلول تقسیم بر ١٠٠، TI بدست آمد [١٤].

٢-١٠- رنگ پوست

برای اندازه‌گیری مولفه‌های L^*، a^*، b^*، زاویه رنگ Hue

2. Aspect ratio
3. True volume
4. Apparent volume

(angle) و کروما (Chroma) جهت تعیین رنگ پوست (تقریباً در نقطه میانی میوه‌ها)، از دستگاه کرومومتر مدل CR400 – Minolta ساخت ژاپن استفاده شد. سپس با استفاده از فرمول $CCI= 1000\ a^*/L^*.b^*$ شاخص رنگ برون‌بر میوه مرکبات به روش جیمنز و همکاران (۱۹۸۱) محاسبه شد [۱۵].

۲-۱۱- عصاره‌گیری از پوست و گوشت میوه

عصاره پوست و گوشت میوه با استفاده از حلال متانول (به‌نسبت ۱:۳) استخراج شد. عصاره‌ها برای انجام آزمایش‌های بعدی در فریزر ۲۰- درجه سلسیوس نگهداری شد.

۲-۱۲- میزان فنل کل

اندازه‌گیری میزان فنل‌کل از روش فولین سئوکالتیو با کمی تغییرات انجام شد [۱۶]. بدین منظور ۲۵۰ میکرولیتر فولین ۱۰ درصد با ۲۰۰ میکرولیتر عصاره متانولی سانتریفیوژ شده، مخلوط و پس از ۵ دقیقه ۲۰۰ میکرولیتر کربنات سدیم ۷ درصد به مخلوط حاصله افزوده شد. نمونه‌ها به‌مدت ۱/۵ ساعت در دمای اتاق نگهداری شد و سپس میزان جذب عصاره به روش اسپکتروفتومتری با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر نانودراپ (مدل ۱۰۰۰- ND ساخت آمریکا) در طول موج ۷۶۰ نانومتر قرائت شد. میزان فنل‌کل با استفاده از خط استاندارد ($y = ۰/۰۱x + ۰/۲۶۸$) برحسب میلی‌گرم در گرم (mg GAE/g)به‌دست آمده از غلظت‌های گالیک اسید (۵، ۱۰، ۲۰، ۴۰، ۶۰ و ۸۰ میلی‌گرم در ۱۰۰ میلی‌لیتر) محاسبه شد.

۲-۱۳- ظرفیت آنتی‌اکسیدانی

ظرفیت آنتی‌اکسیدانی گوشت و پوست میوه از روش خاصیت خنثی‌کنندگی رادیکال آزاد DPPH (۲ و ۲ دی‌فنیل ۱-پیکریل هیدرازیل) اندازه‌گیری شد [۱۷]. برای این منظور ابتدا نمونه‌ها به نسبت ۱:۱۸ رقیق شدند. سپس ۲۵ میکرولیتر از نمونه با ۱۰۰ میکرولیتر DPPH ترکیب شد. محلول حاصل به مدت ۲۰ دقیقه در دمای اتاق و تاریکی نگهداری شد و سپس میزان جذب آن در طول موج ۵۱۷ نانومتر، با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر نانودراپ (مدل ۱۰۰۰- ND ساخت آمریکا) قرائت شد. فعالیت مهار رادیکال DPPH با فرمول (۱-As/Ac) ۱۰۰ =DPPH% محاسبه شد. در این معادله Ac جذب رادیکال DPPH بدون عصاره به‌عنوان کنترل، As جذب DPPH به‌علاوه نمونه است.

۲-۱۴- آسکوربیک اسید

جهت اندازه‌گیری میزان آسکوربیک اسید، یک گرم از بافت گوشت با ۳ میلی‌لیتر متافسفریک اسید یک درصد مخلوط و به‌مدت ۳۰ دقیقه در تاریکی نگهداری شد. نمونه‌ها در دمای ٤ درجه سلسیوس به مدت ۱۵ دقیقه در ٦۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفوژ شدند. سپس ۱۰۰ میکرولیتر از محلول رویی برداشته و با ۹۰۰ میکرولیتر DCPIP مخلوط شد. میزان جذب نمونه‌ها در طول موج ۵۲۰ نانومتر توسط دستگاه اسپکتروفتومتر نانودراپ (مدل ۱۰۰۰- ND ساخت آمریکا) قرائت شد. در این آزمایش از مخلوط ۱۰۰ میکرولیتر متافسفریک یک درصد و ۹۰۰ میکرولیتر آب مقطر به عنوان بلانک استفاده شد. غلظت آسکوربیک اسید با استفاده از معادله خط $y= -۰/۰۰۰٦x + ۰/۱٦$ برحسب (mg/۱۰۰g FW) به‌دست آمده از غلظت‌های آسکوربیک اسید (۲۵، ۵۰، ۱۰۰، ۱۵۰، ۲۰۰، ۲۵۰ میلی‌گرم در لیتر) محاسبه شد [۱۸].

۲-۱۵- تجزیه‌ی آماری داده‌ها

بعد از اطمینان از نرمال بودن داده‌ها، تجزیه واریانس داده‌ها با آنالیز مرکب دوساله در قالب طرح کاملاً تصادفی با استفاده از نرم افزار آماری MSTAT-C انجام شد. مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون دانکن و در سطح احتمال متناظر انجام شد.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- ویژگی‌های فیزیکی میوه

بطورکلی لیموی کوک‌اورکا ابعاد و حجم میوه بیش‌تری نسبت به لیموی خوشه‌ای داشت. در لیموی خوشه‌ای خطای دو حجم منفی بود (جدول ۱) که نشان دهنده‌ی اختلاف زیاد بین حجم واقعی و ظاهری است. میزان چگالی میوه نیز به‌طور قابل توجه‌ای بالاتر از یک بود که بدین معنی است که میوه‌ها در حوضچه‌های شستشو و نقاله‌های آبی در صنایع آبمیوه‌گیری زیر سطح آب قرار می‌گیرند.

میانگین قطرهای حسابی، هندسی و هم‌ساز در هر دو رقم تغییر معنی‌داری نداشت و همه مشابه میانگین معادل (به‌عنوان واقعی‌ترین میانگین قطر میوه) بودند (جدول ۱). میوه لیموی خوشه‌ای با ضریب ۹۸/۲۱ کروی‌تر از کوک‌اورکا با ضریب ۷۸/۹۱ بود. کرویت سایر مرکبات چون نارنگی انشو به میزان ۷۲ درصد، کلمانتین ۹۱ درصد، پیج ۹۱ درصد گزارش‌شده

است [۱۹] که با مقایسه داده‌ها مشخص شد که کرویت لیموی خوشه‌ای بیش‌تر بود. ضریب رعنایی نیز متناسب با کرویت تغییر نمود. بالا بودن کرویت و ضریب رعنایی نشان می‌دهد که میوه روی سطح خود (نسبت به جوانب) بیش‌تر می‌غلطد [۲۰]. به‌طورکلی خواص فیزیکی و مکانیکی میوه‌ها نقش مهمی در طراحی سیستم‌های حمل‌ونقل، بسته‌بندی و ذخیره‌سازی دارد. میزان کرویت و ابعاد میوه تعیین‌کننده سرعت تخلیه میوه است. هم‌چنین میزان چگالی در حالت استفاده از نیروی هیدرولیک برای جابجایی میوه‌ها اهمیت می‌یابد [۲۱].

Table 1 Physical Characteristics of Cook Eureka and Khoushehi lemon fruits at harvest time

Varieties	Fruit length (cm)	Small diameter (cm)	Fruit thickness (cm)	True volume (cm^3)	Apparent volume (cm^3)	Error of volume	Density ($g.cm^{-3}$)
Cook Eureka	7.16 ± 0.65*	5.64 ± 0.49	5.61 ± 0.46	120.48 ± 29.27	120.68 ± 30.82	0.14 ± 6.38	1.07 ± 0.07
Khoushehi	5.03 ± 0.47	4.91 ± 0.26	4.82 ± 0.23	68.12 ± 10.47	62.67 ± 10.18	-7.77 ± 7.42	1.16 ± 0.14

Mean ± Sd

Continue the table 1 Physical Characteristics of Cook Eureka and Khoushehi lemon fruits at harvest time

Varieties	Arithmetic mean diameter (cm)	Geometric mean diameter (cm)	Harmonic Mean diameter (cm)	Equivalent diameter (cm)	Sphericity	Aspect ratio (%)	Surface area (cm^2)
Cook Eureka	6.14 ± 0.49	6.09 ± 0.49	6.05 ± 0.49	6.09 ± 0.49	0.85 ± 0.04	78.91 ± 5.54	117.33 ± 19.36
Khoushehi	4.92 ± 0.27	4.91 ± 0.27	4.91 ± 0.27	4.92 ± 0.27	0.98 ± 0.05	98.21 ± 7.69	76.07 ± 8.33

Mean ± Sd

۳-۲- تغییرات وزن میوه

نتایج نشان داد که در هر دو رقم میزان وزن میوه طی برداشت یک ماهه و هم‌چنین در پایان عمرقفسه‌ای تغییرات معنی‌داری (p<۰/۰۵) نداشت. فقط میوه‌ی لیموی کوک‌اورکا در برداشت آخر به طور معنی‌داری (p<۰/۰۵) وزن بیش‌تری نسبت به برداشت‌های ۲۵ مهر و پنجم آبان داشت (جدول ۲). با اندازه گیری وزن میوه لیموی آسام از ۱۵ روز تا ۱۵۰ روز بعد از تشکیل میوه مشخص شد که اندازه مطلوب میوه ۱۰۹/۲۸ تا ۱۱۲/۹۵ گرم بود که به ترتیب در روزهای ۱۲۰ و ۱۳۰ روز بعد از تشکیل میوه مشاهده شد [۲]. آبراهام و همکاران [۲۲] نیز با اندازه گیری وزن میوه از ۳۰ تا ۱۸۰ روز بعد از تشکیل میوه لیموی Swingle *citrus aurantifolia* به صورت ماهیانه، مقدار وزن در دو برداشت آخر را ۳۲/٦ و ۳۵/۰۵ گرم مطلوب دانستند. در این پژوهش میوه هر دو رقم لیمو از نظر وزنی به اندازه مناسب برداشت رسیده بودند.

۳-۳- درصد کاهش وزن

با بررسی درصد کاهش وزن میوه‌ها طی عمرقفسه‌ای مشخص شد که تغییرات وزن فقط در رقم کوک‌اورکا معنی‌دار (p<۰/۰۵) بود طوریکه بیش‌ترین آب از دست‌دهی را میوه‌های برداشت شده در تاریخ‌های ۲۵ مهر و ۲۵ آبان داشتند (جدول ۲). در گزارشی میزان کاهش وزن میوه لیموترش طی ۲۵ روز نگهداری از ۲/۲۱ به ۲/٦٦ درصد افزایش یافت [٦]. لیموهای کوک‌اورکا و خوشه‌ای درصد آب از دست‌دهی بالایی نسبت به نتایج این گزارش داشتند در حالی‌که متوسط ضخامت پوست سه میلی‌متر و سطح مقطع لیموی خوشه‌ای نیز کم‌تر بود. علت آن می‌تواند ادامه تعرق از سطح میوه باشد که آب از دست‌دهی هر دو نوع میوه را در پی داشت [۲۳] .

۳-٤- درصد عصاره میوه

بررسی نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که گرچه درصد عصاره در رقم کوک‌اورکا در زمان‌های مختلف برداشت و پایان عمر قفسه‌ای تفاوت معنی‌داری نداشت لیکن مقدار آن در رقم خوشه‌ای تفاوت معنی‌داری نشان داد. بدین‌صورت که در میوه‌های با برداشت دیرتر مقدار آن بالاتر بود که همین الگو در پایان عمر قفسه‌ای نیز مشاهده شد (جدول ۲). نتایج لیموی کوک‌اورکا مشابه نتایج مخیم و همکاران [۲] بود که در ماه آخر برداشت (روزهای ۱۳۰، ۱٤۰ و ۱۵۰ روز بعد از تشکیل میوه) درصد عصاره میوه لیموی آسام را ثابت گزارش نمودند [۲]. از طرفی میزان عصاره در پایان عمرقفسه‌ای نیز بالا بود. در مقابل درصد عصاره لیموی کاگزی[5] طی ۱۸ روز نگهداری از ۳۵/۲ به ۲۹/۸ درصد و مکزیکن‌لایم طی ۲۵ روز نگهداری از ۲۷ به ۱۷ میلی‌لیتر

5. Kagzi

کاهش نشان داد [۲۴-۶]. به نظر می‌رسد افزایش عصاره میوه در اثر نرم شدن بافت گوشت میوه طی دوره نگهداری می‌تواند علت بالابودن درصد عصاره میوه در پایان دوره عمر قفسه‌ای باشد.

Table 2 Changes of physical characteristics of two lemon fruit varieties (Cook Eureka and Khoushehi) during ripening and shelf life

Harvest time	Fruit weight (g)				Lose weight (%)		Juice percentage			
	At harvest time		End of shelf life		End of shelf life		At harvest time		End of shelf life	
Cook Eureka										
October 17	116.3	b[1]	126.8	a	7.85	a	29.27	b	39.67	a
October 27	115.5	b	106.5	a	5.98	b	34.83	ab	37.91	a
November 6	119.00	ab	107.8	a	5.84	b	36.81	a	38.78	a
November 16	142.6	a	110.9	a	7.89	a	34.83	ab	42.8	a
Mean squares[2]	1006.07^{ns}		529.75^{ns}		7.69^{*}		63.32^{ns}		27.24^{ns}	
Khoushehi										
October 17	65.89	a	55.91	a	8.57	a	19.89	b	26.83	b
October 27	68.28	a	57.07	a	6.95	a	26.27	a	27.97	b
November 6	69.69	a	65.57	a	7.14	a	26.27	a	34.3	a
November 16	70.5	a	57.56	a	7.81	a	28.13	a	31.83	a
Mean squares	24.56^{ns}		117.14^{ns}		3.22^{ns}		78.16^{**}		71.73^{**}	

[1] Mean in each column and for each variety with the same letter is not significantly different using Duncan test.
[2] **Significantly at $p<0.01$, *Significantly at $p<0.05$, ^{ns} non-significant

۳-۵- میزان TSS، TA و TSS/TA

براساس نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها، از نظر میزان مواد جامد محلول در لیموی کوک‌اورکا میوه‌های برداشت شده در چهار زمان مختلف در پایان عمرقفسه‌ای تفاوت معنی‌داری داشتند ولی این حالت در لیموی خوشه‌ای فقط در زمان برداشت مشاهده شد (جدول ۳). میزان TA در میوه‌هایی که زودتر برداشت شده بودند هم در زمان برداشت و هم پس از عمر قفسه‌ای به طورمعنی‌داری در هر دو نوع لیمو بالاتر بود. نسبت TSS/TA نیز هم در زمان برداشت و هم در پایان عمرقفسه‌ای متناسب با زمان برداشت افزایش یافت به استثنای میوه‌های لیموی خوشه‌ای برداشت شده در ۲۵ آبان که مقدار آن (۱/۸۷) کاهش یافت (جدول ۳).

Table 3 Changes of chemical characteristics of two lemon fruit varieties (Cook Eureka and Khoushehi) during ripening and shelf life

Harvest time	TSS (%)				TA (%)				TSS/TA			
	At harvest time		End of shelf life		At harvest time		End of shelf life		At harvest time		End of shelf life	
Cook Eureka												
October 17	9.94	a[1]	10.36	a	8.8	a	10.39	a	1.25	b	1.11	b
October 27	9.77	a	9.78	c	8.52	a	7.27	b	1.24	b	1.35	a
November 6	9.76	a	10.01	b	6.41	b	7.26	b	1.53	a	1.38	a
November 16	9.86	a	10.14	ab	6.78	b	7.33	b	1.46	a	1.39	a
Mean squares[2]	0.05^{ns}		0.36^{**}		8.76^{**}		14.47^{**}		0.13^{**}		0.10^{**}	
Khoushehi												
October 17	8.77	a	9.46	a	4.74	a	4.98	a	1.92	b	2.00	b
October 27	8.61	a	8.85	ab	3.72	b	3.74	b	2.39	a	2.37	a
November 6	8.28	ab	8.86	ab	3.03	b	3.69	b	2.81	a	2.41	a
November 16	8.06	b	8.47	b	4.47	a	3.42	b	1.87	b	2.51	a
Mean squares	0.61^{*}		1.02^{ns}		3.59^{**}		2.91^{**}		1.17^{**}		0.30^{**}	

[1] Mean in each column and for each variety with the same letter is not significantly different using Duncan test.
[2] **Significantly at $p<0.01$, *Significantly at $p<0.05$, ^{ns} non-significant

به‌طورکلی بالا بودن TA در لیموترش‌ها نسبت به سایر ارقام مرکبات و هم‌چنین نسبت به میزان TSS اهمیت زیادی دارد. در پژوهشی میزان TA لیمو نسبت به ارقام نارنگی، نارنج و پرتقال در سطح بسیار بالاتری قرار داشت. در گزارشی مقادیر

TA و TSS در رقم اورکا به‌ترتیب با مقادیر ۷/۸ و ۹/۱۵ درصد و برای لیموی لیسبون با مقدار ٦/١٣ و ٨ بیان شد [۲۵]. هم‌چنین برخلاف نتایج این آزمایش که میوه‌های زود برداشت شده میزان TA بالاتری داشتند ولی در گزارشی مقدار TA در میوه‌ی رسیده نسبت به میوه‌ی نارس افزایش یافت [٥]. روند افزایش TSS و کاهش TA طی رشد میوه در بسیاری از ارقام مرکبات گزارش شده است که به طور مشابه در هر دو رقم لیمو کوک‌اورکا و خوشه‌ای نیز مشاهده شد [۲۸- ۲٦و٤]. کاهش TSS طی زمان‌های مختلف برداشت می‌تواند به دلیل جذب آب توسط درخت و رقیق شدن مواد جامد محلول درون میوه طی بارندگی‌های پاییزه باشد [۲۹]. از طرفی افزایش TSS طی نگهداری به‌دلیل هیدرولیز نشاسته به قند و هم‌چنین کاهش در میزان تجزیه قند طی تخمیر است [۳۰].

۳-٦- ضخامت پوست

ضخامت پوست میوه فقط در لیموی خوشه‌ای طی عمر قفسه‌ای به صورت کاهشی تغییر نمود (جدول ٤). زای و همکاران در سال ۲۰۱۳ نیز گزارش کردند که ضخامت پوست سه رقم پرتقال تحت تأثیر زمان برداشت قرار نگرفت. دلیل آن ورود میوه به مرحله‌ی سوم رسیدگی (بلوغ) است زیرا در این مرحله رشد فیزیکی میوه کاهش یافته و یا متوقف می‌شود [۲٦- ٤]. مشابه نتایج لیموی کوک‌اورکا و خوشه‌ای مخیم و همکاران [۲] نیز در ماه آخر برداشت (روزهای ۱۳۰، ۱٤۰ و ۱۵۰ روز بعد از تشکیل میوه) ضخامت پوست میوه لیموی آسام را ثابت (۳/۹-۳/۵ میلی‌متر) گزارش نمودند. هرچند طی ۱۵ تا ۱۲۰ روز بعد از تشکیل میوه ضخامت پوست میوه روند کاهشی داشت [۲]. هم‌چنین اندازه‌گیری ضخامت پوست میوه *Citrus aurantifolia* Swingle طی ۳۰ تا ۱۸۰ روز بعد از تشکیل میوه نشان داد که ضخامت پوست از ۱/۳ به ۰/۸۹ میلی‌متر کاهش یافت ولی طی ماه آخر مقدار آن تغییر معنی‌داری نداشت [۲۲].

۳-۷- درصد تفاله

درصد تفاله میوه فقط در لیموی خوشه‌ای طی زمان‌های مختلف برداشت و عمرقفسه‌ای تغییر معنی‌داری به صورت کاهشی داشت. متوسط تفاله میوه رقم خوشه‌ای بیش‌تر از کوک‌اورکا است و در هر دو رقم طی عمرقفسه‌ای از درصد تفاله کم می‌شود (جدول ٤) زیرا بخشی از کیسه‌های آب درون میوه تکمیل می‌شوند و از ضخامت پوست که بخشی از تفاله است نیز کاسته می‌شود. افزایش تجمع آب میوه طی رسیدن میوه قبل و بعد از برداشت در میزان تفاله میوه موثر است. در لیموی خوشه‌ای متناسب با کاهش تفاله درصد آب میوه از ۱۹/۸۹ به ۲۸/۱۳ درصد رسیده است. بطور مشابه درصد آب لیموترش *Citrus aurantifolia* swingle طی ۳۰ تا ۱۸۰ روز بعد از تشکیل میوه از ۱۷/۳ به ٤٦/۸ درصد افزایش یافت [۲۲].

Table 4 Changes of Peel thickness, Pulpy residue, TI of two lemon fruit varieties (Cook Eureka and Khoushehi) during ripening and shelf life

Harvest time	Peel thickness (mm)				Pulpy residue (%)				TI (%)			
	At harvest time		End of shelf life		At harvest time		End of shelf life		At harvest time		End of shelf life	
Cook Eureka												
October 17	3.3	a[1]	3.00	a	70.73	a	60.33	a	2.95	b	4.13	ab
October 27	3.64	a	2.67	a	65.17	ab	62.09	a	3.45	ab	3.73	b
November 6	3.54	a	2.97	a	63.19	b	61.22	a	3.63	a	3.89	b
November 16	3.91	a	2.51	a	65.17	ab	57.2	a	3.44	ab	4.37	a
Mean squares[2]	0.39^{ns}		0.34^{ns}		63.32^{ns}		27.24^{ns}		0.52^{ns}		0.48^{*}	
Khoushehi												
October 17	3.13	a	2.43	b	80.11	a	73.18	a	1.74	b	2.53	b
October 27	3.36	a	2.99	a	73.73	b	72.03	a	2.21	a	2.39	b
November 6	3.38	a	2.88	ab	73.73	b	65.75	b	2.16	a	2.97	a
November 16	3.73	a	3.18	a	71.87	b	68.17	b	2.22	a	2.62	b
Mean squares	0.37^{ns}		0.61^{*}		78.16^{**}		70.92^{**}		0.33^{*}		0.37^{*}	

1. Mean in each column and for each variety with the same letter is not significantly different using Duncan test.
2 **Significantly at $p<0.01$, *Significantly at $p<0.05$, ns non-significant

۳-۸- شاخص فناوری

شاخص فناوری میوه نیز فقط در لیموی کوک‌اورکا طی زمان‌های مختلف برداشت تغییر معنی‌داری نداشت. این شاخص در لیموی کوک‌اورکا بالاتر از لیموی خوشه‌ای بود و مقدار آن طی عمرقفسه‌ای افزایش یافت (جدول ٤). با توجه به اینکه شاخص فناوری (TI) نشان‌دهنده‌ی کیفیت آبمیوه است [١٤]، می‌توان گفت که لیموی کوک‌اورکا از کیفیت آب‌میوه بالاتری برخوردار بود. هم‌چنین کیفیت آب‌میوه هر دو نوع لیمو طی عمرقفسه‌ای افزایش می‌یابد چون مقادیر بالاتر آن به معنی بهتر بودن کیفیت آب‌میوه برای صنایع تبدیلی است [١٤].

۳-۹- تغییرات رنگ پوست

بطورکلی مقدار شاخص‌های L^*، a^* و b^* در لیموی کوک‌اورکا فقط در زمان‌های مختلف برداشت تفاوت معنی‌داری داشت لیکن در لیموی خوشه‌ای هم در زمان‌های برداشت و هم طی عمرقفسه‌ای افزایش معنی‌داری داشت ولی در هر دو رقم در پایان عمر قفسه‌ای مقادیر شاخص‌های فوق افزایش یافت. با اینکه پوست میوه هر دو نوع لیمو در زمان برداشت سبز بود (منفی بودن مقدار a^*) ولی طی عمر قفسه‌ای از مقدار سبزی پوست کاسته شده و این شدت کاهش در لیموی خوشه‌ای بیش‌تر بود (جدول ٥). بطور مشابه میزان تغییر رنگ پوست میوه لیموترش *Citrus aurantifolia* Swingle طی ٢٨ روز نگهداری با امتیازدهی ارزیابی شد. نتایج نشان داد که رنگ پوست از امتیاز ٤ به ٥ به معنی کاهش سبزینه پوست ارتقاء یافت [٢٢]. در لیموترش رقم پان (*Citrus aurantifolia* Swingle cv. 'Paan') نیز رنگ پوست میوه‌ها طی نگهداری در دمای ٣٠ درجه سلسیوس و رطوبت ٧٠ درصد شاخص رنگ از ١ به ٤ (به معنی سبز بالغ به زرد کامل) تبدیل شدند [٣١]. مخیم و همکاران [٢] نیز گزارش کردند میزان L^* از ٣٦/١ به ٦١/٢١، a^* از ٥/٦٧- به ٣/٣١- و b^* از ١٠/٧ به ٢٩/٦٧ همزمان با رشد میوه طی روزهای ٣٠ تا ١٥٠ روز بعد از تشکیل میوه افزایش یافت [٢]. دلیل آن می‌تواند افزایش تجمع کاروتنوئید کل و تجزیه کلروفیل پوست طی روند رشد و عمرقفسه‌ای میوه باشد [٣٢].

Table 5 Changes of color indices (L^*, a^*, b^*) of two lemon fruit varieties (Cook Eureka and Khoushehi) during ripening and shelf life

Harvest time	L^*				a^*				b^*			
	At harvest time		End of shelf life		At harvest time		End of shelf life		At harvest time		End of shelf life	
Cook Eureka												
October 17	63.03	a[1]	68.94	a	-14.51	a	-4.24	a	54.24	a	61.00	ab
October 27	52.73	b	67.16	a	-16.03	a	-8.39	a	47.09	b	56.32	b
November 6	66.01	a	70	a	-11.04	b	-3.88	a	58.57	a	63.18	a
November 16	66.51	a	69.78	a	-8.23	b	-4.38	a	56.41	a	59.46	ab
Mean squares[2]	123.35**		5.01ns		36.92**		13.50ns		74.51**		24.99ns	
Khoushehi												
October 17	44.64	b	62.65	b	-14.07	b	-11.97	c	37.19	c	53.21	b
October 27	51.31	b	64.76	b	-16.47	b	-6.16	b	43.55	b	58.74	ab
November 6	65.88	a	70.28	a	-8.5	a	-0.32	a	55.03	a	59.55	a
November 16	65.91	a	70.93	a	-6.7	a	0.43	a	58.31	a	62.53	a
Mean squares	343.42**		50.04**		63.32**		100.26**		291.33**		45.45*	

1 Mean in each column and for each variety with the same letter is not significantly different using Duncan test.
2 **Significantly at $p<0.01$, *Significantly at $p<0.05$, ns non-significant

میزان کروما، زاویه رنگ و شاخص رنگ‌گیری در لیموی کوک‌اورکا فقط طی زمان‌های مختلف برداشت تغییر معنی‌داری داشت لیکن در لیموی خوشه‌ای هم طی زمان برداشت و هم عمرقفسه‌ای (به استثنای زاویه‌رنگ) به طور معنی‌داری تغییر کرد. مقدار کروما و CCI طی عمرقفسه‌ای روند افزایشی نشان دادند لیکن مقادیر زاویه رنگ در پایان عمر قفسه‌ای میوه‌ها

نسبت به هر تاریخ برداشت کمتر بود (جدول ٥). مقدار CCI در میوه‌های برداشت شده در اولین برداشت (٢٥ مهر) علاوه بر داشتن مقدار منفی‌تر در زمان برداشت، در پایان عمر قفسه‌ای نیز منفی‌تر بود که نشان داد میوه‌هایی که زودتر از زمان خاصی برداشت می‌شوند دیرتر رنگ سبز آنها شکسته می‌شود. در مجموع بر اساس شاخص CCI میوه‌های هر دو نوع لیمو دارای مقادیر نزدیک به صفر در هر دو حالت مصرف به صورت تازه‌خوری و یا بعد از عمرقفسه‌ای هستند که بر اساس روش جیمنز و همکاران [١٥] مقدار نزدیک به صفر به معنی رنگ سبز- زرد (متوسط) است.

Continued table 5 Changes of color indices (*C, h*, CCI) of two lemon fruit varieties (Cook Eureka and Khoushehi) during ripening and shelf life

Harvest time	*C*				*h*				CCI			
	At harvest time		End of shelf life		At harvest time		End of shelf life		At harvest time		End of shelf life	
Cook Eureka												
October 17	56.17	a[1]	61.17	a	105.00	b	94.00	a	-4.27	b	-1.01	a
October 27	49.75	b	57.15	a	108.8	a	98.68	a	-6.48	c	-2.36	a
November 6	59.64	a	63.38	a	100.8	c	93.69	a	-2.9	a	-0.96	a
November 16	57.02	a	59.63	a	98.3	c	84.2	a	-2.19	a	-1.08	a
Mean squares[2]	52.90**		20.59ns		64.97**		110.69ns		10.71**		1.36ns	
Khoushehi												
October 17	39.78	c	54.73	b	110.8	a	103.1	a	-8.59	b	-3.69	b
October 27	46.56	b	59.09	ab	110.8	a	86.05	a	-7.45	b	-1.65	a
November 6	55.7	a	59.57	a	98.76	b	90.33	a	-2.36	a	-0.08	a
November 16	58.78	a	62.54	a	96.55	b	89.61	a	-1.79	a	0.1	a
Mean squares	225.66**		31.04*		174.75**		166.47ns		36.14**		9.29**	

1 Mean in each column and for each variety with the same letter is not significantly different using Duncan test.
2 **Significantly at $p<0.01$, *Significantly at $p<0.05$, ns non-significant

٣-١٠- ویتامین C

میزان ویتامین C فقط در لیموی خوشه‌ای تحت تاثیر زمان برداشت و مدت عمرقفسه‌ای با الگوی افزایشی قرار گرفت. میوه‌های برداشت آخر (٢٥ آبان) که بالاترین مقدار (٢٨/٣١ میلی‌گرم در ١٠٠ گرم وزن‌تر) ویتامین C را داشتند در پایان عمر قفسه‌ای هم بیش‌ترین میوه‌های برداشت اول (٢٥ مهر) با مقدار ٣٦/١٢ میلی‌گرم در ١٠٠گرم وزن‌تر) بیش‌ترین میزان ویتامین C را داشتند (جدول ٦). میزان ویتامین C در رقم کوک اورکا طی زمان برداشت و عمرقفسه‌ای افزایش یافت. بیش‌ترین مقدار ویتامین C در این رقم در پایان عمر قفسه‌ای برداشت آخر (با مقدار ٥٠/٤٥ میلی‌گرم در ١٠٠ گرم وزن تر) مشاهده شد (جدول ٦). به‌طور کلی بررسی عمرقفسه‌ای هر دو رقم نشان داد که میزان ویتامین C هر دو رقم پس از برداشت میوه و نگهداری در انبار به مدت ٢٠ روز افزایش می‌یابد. در پژوهش حاجی محمودی و همکاران [١٠] نیز میزان ویتامین C در لیموترش ٣٢/٩٩ تا ٤٩/٢ میلی‌گرم بر لیتر گزارش شد که نتایج این آزمایش نزدیک به این مقادیر است. در تقابل با گزارش آبراهام و همکاران [٢٢] مبنی بر بالا بودن ویتامین C در میوه‌های نارس لیمو، لیکن در این آزمایش میزان ویتامین C طی زمان برداشت افزایش یافت. به نظر می‌رسد میوه‌ی هر دو رقم هنوز در مرحله بلوغ هستند زیرا کاهش شدید ناشی از مصرف ویتامین C در تنفس و متابولیسم بالای میوه [٢] طی مراحل رسیدن هنوز آغاز نشده است.

٣-١١- فنل‌کل پوست و گوشت

با اینکه میزان فنل‌کل پوست و گوشت میوه‌های برداشت شده در زمان‌های مختلف تفاوت زیادی با هم نداشتند (به جز فنل گوشت طی زمان برداشت در هر دو رقم) لیکن بطورکلی میزان فنل‌کل پوست هر دو رقم طی نگهداری افزایش یافت (جدول

٦). گرنستین و همکاران [۳۳]، محتوای فنلی ارقام لمون، پرتقال و گریپ‌فروت را در زمان برداشت به‌ترتیب ۱/۹، ۱/۸ و ۱/٦ میلی‌گرم در گرم گزارش نمودند. در پژوهشی دیگر میزان فنل کل پوست لیموهای دورگ خرم آباد، پرشین لایم و آب شیراز به ترتیب ۲/۸۰، ۱/٤۷ و ۰/۹۹ بود در حالیکه میزان فنل کل گوشت این ارقام به ترتیب ۱/۲٤، ۰/۷۵ و ۰/۵٦ میلی‌گرم بر گرم گزارش شد [۳٤]. میزان فنل‌کل پوست لیموهای کوک‌اورکا و خوشه‌ای بالاتر و در بعضی موارد نزدیک به گزارش فوق بود لیکن در پایان عمرقفسه‌ای مقادیر ثبت شده در این آزمایش به مراتب بالاتر از گزارش فوق بود.

در پژوهش حاضر میزان فنل‌کل پوست از گوشت بیشتر بود. به‌نظر می‌رسد در شرایط آب و هوایی شمال ایران، دمای پایین منجر به افزایش میزان فنل‌کل پوست لیموها جهت مقابله با آسیب‌های ناشی از سرمای ناگهانی می‌شود. با توجه به اینکه ترکیب‌های فنلی، عوامل محافظتی در برابر اشعه‌ی ماورای بنفش، پاتوژن‌ها و آفات هستند، پوست میوه، به‌عنوان بخش خارجی و حفاظتی میوه، مستعد سنتز این ترکیب‌های بوده و غلظت بالایی از ترکیب‌های فنلی را دارد [۲۸].

Table 6 Changes of bioactive compounds of two lemon fruit varieties (Cook Eureka and Khoushehi) during ripening and shelf life

Harvest time	Vitamin C (mg.100g^{-1} FW)				Total phenol of peel (mg.g^{-1})				Total phenol of pulp (mg.g^{-1})			
	At harvest time		End of shelf life		At harvest time		End of shelf life		At harvest time		End of shelf life	
Cook Eureka												
October 17	37.56	b[1]	43.50	ab	2.71	a	4.61	a	0.62	c	3.12	a
October 27	40.85	ab	46.72	ab	2.6	a	4.24	a	0.80	b	2.82	a
November 6	43.68	a	41.58	b	2.23	a	4.28	a	0.99	a	2.85	a
November 16	42.69	a	50.45	a	2.52	a	4.85	a	1.04	a	2.89	a
Mean squares[2]	43.47^{ns}		60.66^{ns}		0.26^{ns}		0.50^{ns}		0.22*		0.11^{ns}	
Khoushehi												
October 17	23.68	b	36.12	a	2.64	a	4.73	a	0.79	ab	3.83	a
October 27	18.01	c	30.09	a	1.01	b	4.41	a	0.76	bc	3.27	a
November 6	29.06	a	27.89	a	1.44	b	4.23	a	0.92	a	3.2	a
November 16	28.31	a	28.77	a	2.12	a	4.18	a	0.63	c	3.38	a
Mean squares	155.47**		47.98^{ns}		3.15**		0.37^{ns}		0.09**		0.49^{ns}	

1 Mean in each column and for each variety with the same letter is not significantly different using Duncan test.
2 **Significantly at p<0.01 , *Significantly at p<0.05 , ns non-significant

۳-۱۲- ظرفیت آنتی‌اکسیدانی پوست و گوشت

با اینکه در لیموی کوک‌اورکا فقط ظرفیت آنتی‌اکسیدانی گوشت میوه تحت تاثیر زمان‌های برداشت قرار گرفت لیکن در لیموی خوشه‌ای در هر دو بافت گوشت و پوست و در برداشت اول و چهارم دارای بیش‌ترین مقدار ظرفیت آنتی‌اکسیدانی بود. محتوای آنتی‌اکسیدانی بافت گوشت و پوست هر دو رقم در مدت عمرقفسه‌ای افزایش نشان داد (جدول ۷). در پژوهشی ظرفیت آنتی‌اکسیدانی پوست و گوشت لیموهای دورگ خرم آباد، پرشین لایم و آب شیراز بررسی شد. نتایج نشان داد که ظرفیت آنتی‌اکسیدانی در پوست این ارقام به ترتیب ۳۱/۵٤، ٤۰/٤۵ و ۲۹/۵۱ درصد و در گوشت به ترتیب ٤۱/۱۰، ٤۳/۸۲ و ٤۰/٤۵ درصد بود [۳٤]. میزان ظرفیت آنتی‌اکسیدانی ارقام کوک اورکا و خوشه‌ای در زمان برداشت و پایان عمر قفسه‌ای بیشتر از پژوهش فوق بود.

معمولا ظرفیت آنتی‌اکسیدانی بستگی به میزان ترکیبات فنلی و ویتامین C دارد. دربسیاری از مطالعات، همبستگی مستقیم بین ترکیب‌های فنلی و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی آن‌ها دیده شده است [۹- ۸] اما نبود همبستگی نیز گزارش شده است [۳۵- ٤]. در این آزمایش همزمان با افزایش ویتامین C، ظرفیت آنتی‌اکسیدانی افزایش یافت لیکن تغییرات ظرفیت آنتی‌اکسیدانی با میزان فنل‌کل همسو نبود. به‌نظر می‌رسد با افزایش متابولیسم‌های داخلی میوه طی روند رسیدن، ترکیب‌های آنتی‌اکسیدانی چون فنل‌ها صرف خنثی‌سازی رادیکال‌های آزاد موجود در گیاه شده و در نتیجه از میزان ظرفیت آنتی‌اکسیدانی کاسته می‌شود. به نظر می‌رسد آسکوربیک‌اسید موجود معمولا از نوع دهیدروآسکوربیک‌اسید است که نوعی آنتی‌اکسیدان ضعیف به‌شمار می‌رود. آسکوربیک اسید با توجه به قدرت آنتی‌اکسیدانی بالای خود، به نوع دیگری با ظرفیت کمتر تبدیل می‌شود. به‌دلیل این که در محیط این دو نوع قابل تبدیل به یکدیگر هستند و در

روش‌های آزمایشگاهی به راحتی قابل شناسایی نیستند بنابراین هر دو نوع مورد سنجش قرار می‌گیرند [٣٦]. به همین دلیل احتمالا بالا بودن ویتامین C در نتیجه‌ی اندازه‌گیری مجموع نوع فعال و کم‌فعال می‌باشد.

Table 7 Changes of antioxidant capacity of two lemon fruit varieties (Cook Eureka and Khoushehi) during ripening and shelf life

Harvest time	Cook Eureka							
	Antioxidant capacity of peel(٪)				Antioxidant capacity of pulp(٪)			
	At harvest time		End of shelf life		At harvest time		End of shelf life	
October 17	58.29	ab[1]	64.53	a	48.43	b	52.60	b
October 27	46.12	b	61.97	a	43.26	b	55.26	ab
November 6	51.60	ab	61.20	a	46.54	b	52.49	b
November 16	63.94	a	71.00	a	54.77	a	59.69	a
Mean squares[2]	362.34^{ns}		118.90^{ns}		140.69^{**}		68.21^{ns}	
Khoushehi								
October 17	55.10	a	47.05	a	48.31	a	50.77	a
October 27	29.70	b	47.42	a	37.12	b	46.14	a
November 6	33.07	b	51.03	a	33.78	b	55.82	a
November 16	50.61	a	51.40	a	48.36	a	52.17	a
Mean squares	953.53^{**}		32.01^{ns}		343.00^{**}		96.16^{ns}	

1 Mean in each column and for each variety with the same letter is not significantly different using Duncan test.
2 **Significantly at $p<0.01$, *Significantly at $p<0.05$, ns non-significant

٤- نتیجه‌گیری

به‌طورکلی میوه لیموی کوک‌اورکا با اندازه و حجم بزرگ در گروه لیموهای میوه درشت بود. لیموی خوشه‌ای دارای میوه کوچک ولی با ضریب کرویت بالا بود که در سرعت تخلیه میوه تأثیر زیادی دارد. میوه کوک‌اورکا از میزان اسیدیته و درصد آب بالایی برخوردار بود که نشان‌دهنده کیفیت بالای آب میوه آن است. طی عمر قفسه‌ای کیفیت آب‌میوه هر دو رقم افزایش یافت. با توجه به اینکه میزان ظرفیت آنتی‌اکسیدانی، فنل کل و ویتامین C در گزارش‌ها به ترتیب حدود ٤٥-٤٠ درصد، ١/٥- ٠/٥ میلی‌گرم بر گرم و ٥٠-٣٠ میلی‌گرم بر لیتر گزارش شده است می‌توان گفت به‌طورکلی میوه‌ی ارقام کوک‌اورکا و خوشه‌ای از نظر ظرفیت آنتی‌اکسیدانی، میزان فنل و ویتامین C در شرایط شمال ایران در حد مطلوبی بودند.

٥- سپاسگزاری

این پژوهش برگرفته از پروژه تحقیقاتی با شماره مصوب ٩٥٠٨٦٩-٩٤٠١٣-٠٥١-٣٣-١٧-٠١ است که از حمایت مالی پژوهشکده مرکبات و میوه‌های نیمه‌گرمسیری سپاسگزاری می‌شود.

٦- منابع

[1] Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO STAT), 2016, Citrus fruit fresh and processed annual statistics. Commodities and Trade Division, FAO of the UN, Rome.

[2] Fattahi, J, Hamidoghli,Y, Fotouhi, R, Ghasemnejad, M, Bakhshi, D, 2011, Assessment of fruit quality and antioxidant activity of three citrus species during ripening. South-Western Journal of Horticulture, Biology and Environment, 2, 113-128.

[3]. Mukhim, C, Nath, Bidyut, A, Deka, C, Swer, T. L, 2015, Changes in physico-chemical properties of assam lemon (*Citrus limon* burm.) at different stages of fruit growth and development. The Bioscan. 10(2), 535-537.

[4] Anjos M.C.S.D, Faskomy, T.L, Miranda, A.M, Goncalves, A.C, Rego, C.A, Soares, A.G, Fonseca, M.J.O, 2012, Physical and chemical characterization of Persian lime fruit harvested at two stages of maturity, Acta Horticulturae, XXVIII International Horticultural Congress on Science and Horticulture for People (IHC2010): International Symposium on Postharvest Technology in the Global Market, 901-904.

[5] Guimaraes, R, Barros, L, Barreira, J.C.M,

Javaga, J.M, 1981, Determination of a color index for citrus fruit degreening, Proc. International Society of Citriculture, 2, 750-753.

[16] Meyers, K.J, Watkins, C.B, Pritts, M.P, Liu, R.H, 2003, Antioxidant and anti-proliferative activities of strawberries. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 51, 6887- 6892.

[17] Brand-Williams, W, Cuvelier, M.E, Berset, C, 1995, Use of free radical method to evaluate antioxidant activity, Lebens Wissen and Technology, 28, 25-30.

[18] Bor, J.Y, Chen, H.Y, Yen, G.C, 2006, Evaluation of antioxidant activity and inhibitory effect on nitric oxide production of some common vegetables. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 54, 1680-1686.

[19] Aghajanpour, S, Ghasemnejad, M.A, Faghih-Nasiri, M, 2011, Hesperidin and naringin amounts of mandarin fruits affected by rootstock and variety, Master thesis, Saveh Azad University.

[20] Abdullah, M.H.R.O, Chng, P.E, Yunus, N.A, 2012, Some physical properties of Musk Lime (*Citrus microcarpa*). International Journal of Biological, Biomolecular, Agricultural, Food and Biotechnological Engineering, 6, 1122- 1125.

[21] Fatahi Moghadam, J, Seyedghasemi, S.E, Najafi, K, 2018, Evaluation of fruit physico-chemical characteristics of new mandarins Noushin (*Citrus reticulata* cv. Noushin) and Shahin (*Citrus reticulata* cv. Shahin) during different harvesting times, The Plant Production (Scientific Journal of Agriculture), 40(4), 77-90.

[22] Abraham, A.M, Hari Babu, K, 2004, Growth, development and postharvest behavior in fruits of acid lime (*Citrus aurantifolia* Swingle) as influenced by pre-harvest sprays of certain minerals and growth regulators. B.Sc. thesis, Department of Horticulture Sri Venkateswara Agricultural College Acharya N.G. Ranga Agricultural University tirupati - 517 502 (A.P)

[23] Thomas, S.A, Bosques, E.M, Stelik, S, Sanchez, F, 2005, Journal de Physique IV, 125, 889–892.

[24] Bisen, A, Pandey, S.K, Patel, N, 2012, Effect of skin coatings on prolonging shelf life of Kagzi lime fruits (*Citrus aurantifolia Swingle*), Journal of food Science Technology, 49(6), 753-759.

Sousa, M.j, Carvalho, A.M, Ferreira, I.C.F.R, 2010, Targeting excessive free radicals with peels and juices of citrus fruits: Grapefruit, lemon, lime and orange, Food and Chemical Toxicology, 48, 99–106

[6] Abeysinghe, D.C, Li, X, Sun, C.D, Zhang, W, Zhou, C, Chen, K, 2007, Bioactive compounds and antioxidant capacities in different edible tissues of citrus fruit of four species, Food Chemistry, 104, 1338–1344.

[7] Rekha, C, Poornima, G, Manasa, M, Abhipsa, V, Pavithra Devi, J, Vijay kumar, H.J, Prashith Kekuda, T.R, 2012, Ascorbic acid, total phenol content and antioxidant activity of fresh juices of four ripe and unripe Citrus Fruits, Chemical Science Transactions, 1, 303-310.

[8] Ramful, D, Bahorun ,T, Bourdon, E, Tarnus, E, Aruoma, O.I, 2010, Bioactive phenol and antioxidant propensity of flavedo extracts of Mauritian Citrus fruits: potential prophylactic ingredients for functional foods application, Toxicology, 278, 75-87.

[9] Hajimahmoodi, M, Aliabadipoor, M, Moghaddam, G, Sadeghi, N, Oveisi, M.R, Jannat, B, 2012, Evaluation of *in vitro* antioxidant activities of Lemon Juice for safety assessment. American Journal of Food Technology, 7 (11), 708-714.

[10] Rahayu, A.P, Maghfoer, M.D, Aini, N, 2013, Delay Ripening treatments to maintain quality of Lime fruit (*Citrus aurantifolia*), IOSR Journal of Agriculture and Veterinary Science, 5 (2), 83-88.

[11] Ravazi, S.M.A, Bahram-Parvar, M, 2007, Some physical and mechanical properties of kiwifruit. International Journal of Food Engineering, 3(6),1-16.

[12] Schirra, M, Mulas, M, Fadda, A, Cauli, E, 2004, Cold quarantine responses of blood oranges to postharvest hot water and hot air treatments, Postharvest Biology and Technology, 32, 191-200.

[13] Hong, S.I, Lee, H.H, Kim, D, 2007, Effects of hot water treatment on the storage stability of satsuma mandarin as a postharvest decay control, Postharvest Biology and Technology, 43, 271-279.

[14] Kluge, R.A, Luiza, M, Jomori, L, Jacomino, A.P, Carolina, M, Vitti, D, Padula, M, 2003, Intermittent warming in 'Tahiti' lime treated with an ethylene Inhibitor. Postharvest Biology and Technology, 29, 195-203.

[15] Jimenez, C.M, Cuquerella, J, Martinez-

(1): 99-107.
[31] Win, T.O, Sriloang, V, Kyu, K.L, Poomputsa, K, Kanlayanarat, S, 2006, Biochemical and physiological changes during chlorophyll degradation in lime (*Citrus aurantifolia* Swingle cv. Paan), The Journal of Horticultural Science and Biotechnology, 81 (3), 471-477.
[32] Deka, B.C, Sharma, S, Borah, S.C, 2006, Post-harvest management practices for shelf-life extension of Khasi mandarin, Indian Journal of Horticulture, 63(3), 251-255.
[33] Gorinstein, S, Martin-Belloso, O, Park, Y.S, Haruenkit, R, Lojek, A, Ciz, M, 2001, Comparison of some biochemical characteristics of different citrus fruits, Food Chemistry, 74, 309-315.
[34] Ghobadi, N, Rahdari, P, Fatahi Moghadam, J, 2013, Comparison of benefit compounds with medical properties of three lime varieties in the north of Iran. National medical plants congress. November 2013. Amol. Mazandaran.
[35] Souri, E, Amin, G, Farsam, H, Barazandeh Tehrani, M, 2008, Screening of antioxidant activity and phenolic content of 24 medicinal plant extracts, DARU Journal of Pharmaceutical Sciences, 16 (2), 83-87.
[36] Kall, M.A, 2003, Ascorbic acid properties and determination, Encyclopedia of Food Sciences and Nutrition (Second Edition), 316-324
[25] Perez-Perez, J.G, Porras Castillo, I, Garcia-Lidon, A, Botia, P, Garcia-Sanchez, F, 2005, Fino lemon clones compared with the lemon varieties Eureka and Lisbon on two rootstocks in Murcia (Spain), Scientia Horticulturae, 106, 530–538.
[26] Iglesias, D.J, Cercos, M, Colmenero-Flores, J.M, Naranjo, M.A, Ríos, G, Carrera, E, Ruiz-Rivero, O, Lliso, I, Morillon, R, Tadeo, F.R, Talon, M, 2007, Physiology of citrus fruiting, Brazilian Journal of Plant Physiology, 19, 333-362.
[27] Ladaniya, M, 2008. Citrus Fruit: Biology, Technology and Evaluation. Academic Press, San Diego, CA, USA.
[28] Barros, H.R.D.M, Ferreira, T.A.P.D.C, Genovese, M.I, 2012, Antioxidant capacity and mineral content of pulp and peel from commercial cultivars of citrus from Brazil, Food Chemistry, 134, 1892-1898.
[29] Iqbal, M, Niamatullah khan, M, Zafar, M, Munir, M, 2012, Effect of harvesting date on fruit size, fruit weight and total soluble solids of feutrell's early and kinnow cultivars of mandarin (*Citrus reticulata*) on the economic conditions of farming community of Faisalabad, Sarhad Journal of Agriculture, 28(1), 19-21.
[30] Peck, G, Andrews, P, Reganold, J and Fellman, J. 2006. Apple orchard productivity and fruit quality under organic, conventional, and integrated management. Hortscience. 41

Determination of physicochemical and antioxidant properties of fruit extracts of two lemon varieties (Cook Eureka and Khoushehi) during ripening and shelf life.

Fatahi Moghadam, J. [1*], Seyedeh Elham Seyedghasemi[2]

1. Associate Professor, Citrus and Subtropical Fruits Research Center, Horticultural Science Research Institute, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Ramsar, Iran
2. Master Science of Plant Physiology, Citrus and Subtropical Fruits Research Center.

(Received: 2019/08/28 Accepted:2019/03/16)

In this research, physicochemical and antioxidant properties of two varieties of lemon (Cook Eureka and Khoushehi) were evaluated during two years by sampling from October 17 to November 16, every 10 days (four times) from trees and at the end of shelf life period. The results showed, generally, the size and volume of fruit of Cook Eureka was large and Khoushehi lemon was small. The fruit weight and juice percentage in Cook Eureka did not change significantly (p<0.05) during harvesting time and shelf life. The TSS/TA ratio also increased during ripening and shelf life, with the exception of the Khoushehi fruits which harvested on November 16. Although the technology index in Cook Eureka was not significantly change during harvesting times, but the peel thickness of Khoushehi fruits decreased during shelf life. In general, the values of L^*, a^* and b^* color indices in both varieties and experiment were high from first to last harvest times. Also, amount of Chroma and CCI showed an increase pattern during shelf life. Fruits picked at the last harvest (Nov. 16), which had the highest amount of vitamin C (28.31 mg/100gFW), also had the highest vitamin C levels at the end of shelf life (42.64 mg/100gFW). Totally, the total phenol and antioxidant content of fruit were increased during shelf life period in both varieties.

Keywords: Lemon, Nutritional Value, Peel Color, Phenol, Vitamin C

*Corresponding Author E-Mail Address: j.fattahi@areeo.ac.ir