

## تأثیر پلاسمای سرد بر تغییرات رنگ، محتوی آنتوسیانین و کیفیت میکروبی آب زرشک

طناز رهنمای آخری<sup>۱</sup>، مجید جوانمرد داخلی<sup>۲\*</sup>، روزبه عباس زاده<sup>۳</sup>

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم دارویی، تهران، ایران

۲- دانشیار گروه صنایع غذایی، پژوهشکده فناوری‌های شیمیایی، سازمان پژوهش‌های علمی و صنعتی ایران

۳- استادیار گروه مهندسی زراعی، پژوهشکده کشاورزی، سازمان پژوهش‌های علمی و صنعتی ایران

(تاریخ دریافت: ۹۶/۱۱/۱۵ تاریخ پذیرش: ۹۷/۱۰/۱۰)

### چکیده

آب زرشک منبع خوبی از ترکیبات آنتی‌اکسیدانی شامل فنول‌ها و آنتوسیانین‌ها می‌باشد. استفاده از روش‌های حرارتی جهت سترون سازی آب میوه‌ها ممکن است سبب تخریب رنگ و افت برخی از ترکیبات تغذیه‌ای آن شود. بنابراین توسعه روش‌های غیرحرارتی که سبب حفظ حداکثری ترکیبات زیست فعال و تغییرات حداقلی رنگ در آب میوه‌ها از جمله آب زرشک شود، ضروری به نظر می‌رسد. از جمله این تکنیک‌ها، پلاسمای سرد است که روش غیر حرارتی برای فراهم کردن ایمنی میکروبی با حداقل تخریب در میزان آنتوسیانین آب میوه‌ها می‌باشد. هدف از این پژوهش بررسی اثر پلاسمای سرد اتمسفری در چرخه کاری (۸، ۱۲ و ۱۶ درصد) و زمان (۲/۵، ۵ و ۱۰ دقیقه) مختلف بر محتوای آنتوسیانین، رنگ و کیفیت میکروبی آب زرشک بود. به منظور بررسی کارایی روش استریلیزاسیون پلاسما، نمونه‌های آب زرشک پاستوریزه به روش حرارتی (در دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲ دقیقه) و نمونه‌های کنترل (بدون اعمال هیچ فرآیندی) نیز در این پژوهش، مورد ارزیابی قرار گرفتند. نتایج حاصل از آنالیز آماری نشان داد که تمامی نمونه‌های تیمار شده با پلاسما محتوای آنتوسیانین، شاخص روشنایی و قرمزی بیشتری نسبت به نمونه آب زرشک پاستوریزه شده (در دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد) داشتند ( $p < 0.05$ ). همچنین افزایش زمان تیمار پلاسما در چرخه‌های کاری مختلف موجب افزایش بیشتر پارامترهای مذکور شد ( $p < 0.05$ ). بر اساس نتایج حاصل از آزمون میکروبی، شمارش کلی میکروبی، کپک و مخمر آب زرشک تازه با افزایش زمان تیمار پلاسما کاهش پیدا کرد ( $p < 0.05$ ) که این اثر در چرخه‌های کاری پایین مشهودتر بود. کیفیت میکروبی نمونه‌های آب زرشک تیمار شده با پلاسما به مراتب پایین‌تر از نمونه آب زرشک پاستوریزه بود. به طور کلی نتایج این پژوهش نشان داد که استفاده از تیمار پلاسما در آب زرشک موجب حفظ یا حتی بهبود ارزش تغذیه‌ای آن بدون اثر نامطلوب بر ویژگی‌های رنگ شد اما علیرغم کاهش آلودگی نتوانست بار میکروبی این محصول را تا حدود مورد تایید اداره استاندارد ملی ایران کاهش دهد. شایان توجه است که اثرات مشاهده شده می‌تواند ناشی از میدان الکتریکی پالسی نیز که به نمونه اعمال شده است باشد. ضمناً ترکیب فناوری بکاررفته با روش‌های دیگر قابل بررسی است.

**کلید واژگان:** آب زرشک، پاستوریزاسیون غیرحرارتی، پلاسمای سرد اتمسفری، آنتوسیانین، کیفیت میکروبی

## ۱- مقدمه

زرشک<sup>۱</sup> یکی از جنس‌های خانواده بربریدیاسه<sup>۲</sup> است که عموماً برای تغذیه و کاربردهای پزشکی مورد استفاده قرار می‌گیرد. این جنس به‌طور گسترده در اروپا، شمال آفریقا، آسیا و بخصوص در ایران می‌روید [۱]. زرشک به عنوان یک گیاه دارویی از ویژگی‌های متعدد بیولوژیکی از جمله آنتی‌پرولیفراتیو<sup>۳</sup>، آنتی‌میگراتوری<sup>۴</sup>، آنتی‌باکتریالی و فعالیت‌های آنتی‌اکسیدانی برخوردار است [۲-۳]. همچنین این محصول به دلیل داشتن ترکیبات زیست‌فعال، آلکالوئیدهای آنتی‌بیوتیک و ترکیبات آنتی‌اکسیدانی، ترکیبات فنولی و آنتوسیانین‌ها در تغذیه انسان اهمیت زیادی دارد [۴]. میوه زرشک به اشکال مختلفی مصرف می‌شود که یکی از فرآورده‌های پرمصرف حاصل از آن، آب زرشک است [۵]. طی تولید صنعتی آبمیوه‌ها از جمله آب زرشک، به‌منظور استریلیزاسیون و میکروبی‌زدایی فرآورده به‌طور رایج از فرآیندهای حرارتی استفاده می‌شود. اعمال فرآیندهای حرارتی می‌تواند سبب تخریب رنگ و افت برخی از ترکیبات تغذیه‌ای آبمیوه‌ها از جمله آنتوسیانین‌ها شود. آنتوسیانین‌ها در آبمیوه‌ها و سایر غذاها به تخریب حرارتی حساس هستند که این تغییرات با افت در ویژگی‌های تغذیه‌ای و حسی (به عنوان مثال قهوه‌ای شدن رنگ<sup>۵</sup>) همراه است [۶]. همچنین قهوه‌ای شدن آبمیوه‌ها عموماً ناشی از تخریب آنتوسیانین‌های تکپار<sup>۶</sup> و بسپارش<sup>۷</sup> آن‌ها است. در کنار افت ویژگی‌های تغذیه‌ای، قهوه‌ای شدن آبمیوه شدیداً بر پذیرش مصرف‌کننده و بازارپسندی آن تأثیر خواهد گذاشت. فاکتورهای صنعتی که بر پایداری آنتوسیانین‌ها مؤثر هستند شامل دمای فرآیند و نگهداری، طبیعت شیمیایی آنتوسیانین‌ها (آسیلاسیون<sup>۸</sup> یا گلیکوسیلاسیون<sup>۹</sup>)، pH، محتوی آسکوربیک اسید، هیدروکسید پراکساید، شکر، نور و فلزات می‌باشند [۷]. بنابراین توسعه و استقرار تکنیک‌های غیر حرارتی برای تولید صنعتی که سبب حفظ آنتوسیانین‌ها و کاهش تغییرات

رنگ در آبمیوه‌های از جمله آب زرشک می‌شود، ضروری به نظر می‌رسد. پلاسما فاز گازی سرد<sup>۱۰</sup> یک تکنیک فرآوری غیر حرارتی نوظهور برای فراهم کردن ایمنی میکروبی است که با حداقل تخریب در ترکیبات پلی‌فنولی در آبمیوه‌ها همراه است [۸]. عبارت پلاسما به چهارمین حالت ماده و فقدان تعادل ترمودینامیکی بین الکترون‌های پرانرژی و اتم‌ها یا مولکول‌های در حالت پایه (هسته‌های ساکن) بر می‌گردد. این پدیده منجر به تشکیل یک سیستم آدیاباتیک ۱۱ با محتوای بالای انرژی جنبشی در دماهای پایین‌تر (کمتر از ۷۰<sup>۰</sup>C) می‌شود [۹]. همچنین، پلاسما سرد ذرات باردار و پرانرژی (الکترون‌ها، یون‌های مثبت و منفی)، رادیکال‌ها، گونه‌های خشی (اتم‌های و مولکول‌های برانگیخته) و فوتون‌ها (مرئی و فرابنفش) را منتشر می‌کند. این ذرات، گونه‌ها و فوتون‌ها قادر به شکستن پیوندهای کووالانسی می‌باشند که منجر به آغاز واکنش‌های شیمیایی متعدد که اهمیت بالایی در کاربردهای گوناگون تکنولوژیکی دارند، می‌شود [۱۱-۱۰]. کاربرد پلاسما سرد در غیر فعال‌سازی میکروارگانیسم‌ها و همچنین حفظ ترکیبات تغذیه‌ای در آبمیوه‌ها در پژوهش‌های مختلفی مورد بررسی قرار گرفته است. در یکی از این پژوهش‌ها Almeida و همکاران (۲۰۱۵) گزارش کردند که محتوای فنولی، ظرفیت آنتی‌اکسیدانی، رنگ و pH نمونه‌های آب پرتقال تحت درمان پلاسما حفظ گردید [۱۲]. در پژوهشی دیگر، Garofuli و همکاران (۲۰۱۵) نیز گزارش کردند که غلظت ترکیبات فنولی و آنتوسیانین آب آلبابو<sup>۱۱</sup> تیمار شده با پلاسما در مقایسه با نمونه‌های پاستوریزه شده و نمونه‌های شاهد بالاتر بود [۸]. در همین راستا، Kovačević و همکاران (۲۰۱۶) گزارش کردند که پلاسما سرد سبب افزایش محتوی آنتوسیانین آب انار شد [۷]. در پژوهشی دیگر Herceg و همکاران (۲۰۱۶) گزارش کردند که محتوی ترکیبات فنولیک در نمونه‌های پاستوریزه آب انار ۲۹/۵۵ درصد بود که تیمار پلاسما سبب افزایش آن به ۳۳/۰۳ درصد شد [۱۳]. Yannam و همکاران (۲۰۱۸) نیز گزارش کردند اعمال تیمار پلاسما تخلیه الکتریکی با ولتاژ بالا (ولتاژ ۳۰ کیلوولت، فرکانس ۴۰ هرتز و دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد) به

1. Berberis genus
2. Berberidaceae
3. anti-proliferative
4. anti-migratory
5. Browning
6. Monomeric anthocyanins
7. Polymerization
8. Acylation
9. Glycosylation

10. Cold atmospheric gas phase plasma
11. Adiabatic system
12. Sour cherry Marasca

چرخه کاری ۸، ۱۲ و ۱۶ درصد بود. چرخه کاری، آن قسمت از یک تناوب موج است که پالس فعال می باشد. الکتروود دوم ظرف حاوی نمونه بود که از داخل و بیرون با فویل آلومینیومی (به عنوان رسانا) پوشانده و سپس به زمین<sup>۱۳</sup> متصل شده بود. قطر بشر حاوی نمونه و قطر انتهای پروب ولتاژ بالا به ترتیب حدود ۴/۵ و ۰/۶ سانتیمتر بودند. با برقرار نمودن اختلاف پتانسیل بین دو الکتروود و در نتیجه ایجاد میدان الکتریکی نمونه‌ها تحت تیمار قرار گرفتند. تیمار پلاسما سرد بر روی نمونه‌ها به مدت زمان ۲/۵، ۵ و ۱۰ دقیقه انجام شد.

### ۲-۲-۳- اندازه‌گیری رنگ

در این پژوهش برای تعیین تغییرات رنگ نمونه‌های آب زرشک از مدل رنگی  $L^*a^*b^*$  و دستگاه رنگ‌سنج (TES-135A; TES Electric Electronic Corp، ساخت تایوان) استفاده شد. در مدل  $L^*a^*b^*$  CIE، شاخص  $L^*$  بیان‌کننده مقدار روشنایی و عددی بین صفر تا ۱۰۰ (رنگ سیاه تا سفید) است، شاخص  $a^*$  بیان‌کننده قرمزی (مقادیر +) و سبزی (مقادیر -) و شاخص  $b^*$  بیان‌کننده زردی (مقادیر +) و آبی (مقادیر -) بودن رنگ نمونه‌های آب زرشک بود [۱۵].

### ۲-۴-۳- اندازه‌گیری آنتوسیانین‌ها

محتوی آنتوسیانین کل نمونه‌های آب زرشک با روش Wang و Xu (۲۰۰۷) و با استفاده از دستگاه اسپکتروفوتومتر<sup>۱۴</sup> (Shimadzu، مدل UV-1601، ساخت کشور ژاپن) تعیین شد. در این آزمون از ۲ بافر پتاسیم کلراید با pH=۱/۰ (۰/۲۵ مولار) و بافر سدیم استات با pH=۴/۵ (۰/۴ مولار) استفاده شد. ابتدا غلظت نمونه‌های آبمیوه تا بریکس ۸/۹۰ رقیق شد. سپس ۰/۱ میلی‌لیتر از نمونه‌های آبمیوه به یک بالن آزمایشگاهی ۱۰ میلی‌لیتری انتقال داده شد و با محلول بافر به حجم رسید. از این محلول جذب در طول موج‌های ۵۱۰ و ۷۰۰ نانومتر با استفاده از دستگاه اسپکتروفوتومتر تعیین شد. محتوی آنتوسیانین نمونه‌ها بر اساس رابطه ۱ و برحسب سانیدین-۳-گلوکوزید<sup>۱۵</sup> اندازه‌گیری شد [۱۶].

مدت ۲ دقیقه موجب کاهش ۴/۸ واحد لگاریتمی/اشرشیاکلی در آب نارنگی شد [۱۴]. بررسی منابع نشان می‌دهد که تا کنون پژوهشی در ارتباط با کاربرد پلاسما در استرلیزاسیون آب زرشک صورت نگرفته است. بنابراین در این پژوهش اثر پلاسما سرد بر تغییرات رنگ، محتوی آنتوسیانین و کیفیت میکروبی آب زرشک مورد بررسی قرار گرفت.

## ۲- مواد و روش‌ها

### ۲-۱- مواد

میوه تازه زرشک از فروشگاه محلی (تهران، ایران) خریداری شد. همچنین تمامی مواد شیمیایی شامل پتاسیم کلراید و بافر سدیم استات و محیط کشت‌های میکروبی شامل SPC آگار و DRBC آگار از شرکت مرک آلمان خریداری شد.

### ۲-۲- روش‌ها

#### ۲-۲-۱- تهیه آب زرشک

فرآیند آب‌میوه‌گیری پس از شستشو میوه تازه زرشک، توسط یک دستگاه آب‌میوه‌گیر صورت پذیرفت. سپس آبمیوه‌ها صاف و تحت تیمار پلاسما (طبق طرح آزمایشها) قرار گرفت. همچنین به منظور کارایی روش استرلیزاسیون پلاسما، نمونه‌های آب زرشک پاستوریزه به روش حرارتی (در دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲ دقیقه) و نمونه‌های کنترل (بدون اعمال هیچ فرآیندی) نیز آماده شد. پس از آن آزمون‌های فیزیکوشیمیایی و میکروبی زیر انجام شد.

#### ۲-۲-۲- تیمار پلاسما نمونه‌های آب زرشک

در این پژوهش از سامانه مولد پلاسما از نوع تخلیه سد دی‌الکتریک (ساخت پژوهشکده لیزر و پلاسما دانشگاه شهید بهشتی، ساخت ایران) استفاده شد. دستگاه شامل یک الکتروود ولتاژ بالا متصل به یک منبع تغذیه با ولتاژ حداکثر ۱۲ کیلوولت به شکل پالسی و فرکانس تقریبی ۶ کیلوهرتز بود. انتهای الکتروود به براده‌های مسی که در داخل محفظه‌ای از جنس کوارتز بودند متصل بود. نقش کوارتز به عنوان سد دی‌الکتریک بود. درصد

13. Ground or Earth  
14. Spectrophotometer  
15. Cyaniding-3-glucoside

(رابطه ۱)

$$\text{Total anthocyanins (mg/L)} = A \times MW \times DF \times 1000 / (\epsilon \times l)$$

در این رابطه مقدار A از رابطه ۲ حاصل شد و MW (وزن مولکولی) برابر ۴۴۹/۲ g/mol برای سانیدین-۳-گلوکوزید می‌باشد. همچنین DF فاکتور رقت، I برابر طول عبور نور (در کوت اسپکتروفوتومتر) به سانتی‌متر، ε ضریب خاموشی مولی<sup>۱۶</sup> و برای سانیدین-۳-گلوکوزید برابر ۲۶۹۰۰ L/mol/cm بود.

(رابطه ۲)

$$A = (A_{510} - A_{700})_{pH 1.0} - (A_{510} - A_{700})_{pH 4.5}$$

۲-۴-۴- اندازه‌گیری ویژگی‌های میکروبی

در این مطالعه، به منظور ارزیابی کیفیت میکروبی، رقت‌های سریال از نمونه‌های آب زرشک در آب پیتونه ۰/۱ درصد تهیه شد. شمار کلونی‌های باکتری‌های هوازی با روش کشت پور پلیت ۱۷ در SPC آگار ۱۸ و انکوباسیون در ۳۰°C برای ۷۲ ساعت تعیین شد. همچنین مخمر و کپک‌ها با استفاده از کشت سطحی بر روی DRBC آگار ۱۹ و انکوباسیون در ۲۵°C به مدت ۵ روز تعیین شد. شمار میکروارگانیسم‌ها برحسب cfu/mL بیان شد [۱۷].

۲-۴-۵- تجزیه و تحلیل آماری

در این پژوهش به منظور بررسی تأثیر تیمار پلاسما در سه زمان (۲/۵، ۵، ۱۰ دقیقه) و چرخه کاری (۸، ۱۲ و ۱۶ درصد) متفاوت بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و میکروبی از طرح فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی استفاده شد. داده‌ها با استفاده از آنالیز واریانس مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. همچنین برای مقایسه میانگین‌ها آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح ۵٪ (α=۰/۰۵) استفاده شد. آنالیز کلیه داده‌ها در این مرحله با استفاده از نرم افزار آنالیز آماری SAS (نسخه ۹/۲، امریکا) انجام شد و نتایج و اشکال با استفاده از نرم افزار Excel ترسیم شد.

۳- نتایج و بحث

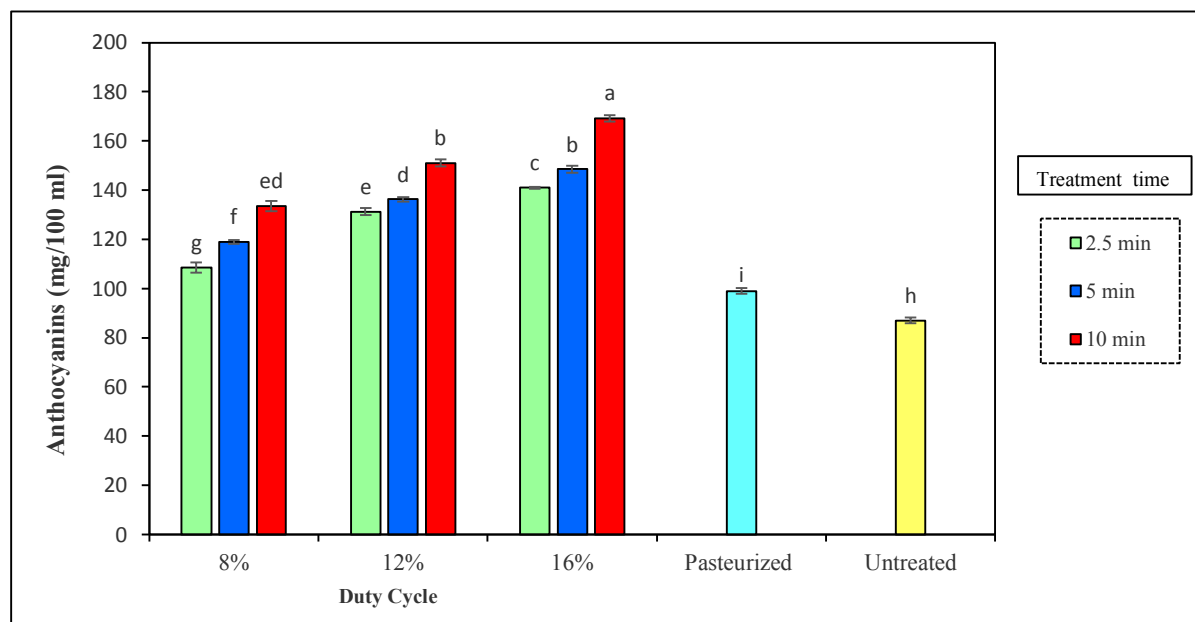
۳-۱- آنتوسیانین

آنتوسیانین‌ها بزرگترین و مهم‌ترین گروه رنگدانه‌های محلول در آب می‌باشند که یک گروه بزرگ از فلاونوئیدها را شامل می‌شوند. این ترکیبات دارای طیف گسترده‌ای از فعالیت‌های بیولوژیکی از جمله آنتی‌اکسیدان، ضد التهاب، ضد سرطان، ضد جهش زاوی و بازدارنده آنزیم آلفاگلوکوزیداز می‌باشند. علاوه بر این، خطر ابتلا به بیماری‌های قلبی را از طریق مهار تجمع پلاکت‌ها کاهش می‌دهند [۱۸]. نتایج آزمون مقایسه میانگین محتوای آنتوسیانین نمونه‌های آب زرشک تیمار شده با پلاسما در مقایسه با نمونه شاهد (آب زرشک تازه و پاستوریزه) در شکل ۱ نشان داده شده است. نگاهی به نتایج نشان می‌دهد که افزایش زمان تیمار پلاسما در چرخه‌های کاری مختلف (۸، ۱۲ و ۱۶ هرترز) سبب افزایش محتوای کل آنتوسیانین آب زرشک شده است (p≤0.05). یافته‌ها همچنین نشان داد که نمونه‌های تحت تیمار پلاسما با درصد چرخه کاری بالاتر محتوای آنتوسیانین بیشتری دارند. بر اساس بخش دیگری از نتایج محتوای آنتوسیانین کل نمونه‌های تحت تیمار پلاسما به صورت معنی-داری (p≤0.05) بیشتر از نمونه آب زرشک تازه و نمونه پاستوریزه بود و در بین این دو نمونه نیز برتری متعلق به نمونه پاستوریزه شده بود (p≤0.05). در تطابق با نتایج این پژوهش Kovačević و همکاران (۲۰۱۶) گزارش کردند پلاسما سرد با تخریب جزئی یا کامل غشای دیواره سلولی انار موجب انتشار مواد درون سلولی از جمله آنتوسیانین‌ها و فلاونوئیدهای فنولیک -که در واکنش‌های سلولی قرار دارند- به محیط اطراف می‌شود که در نتیجه آن محتوای آنتوسیانین آب انار افزایش پیدا می‌کند [۷]. البته در پژوهش ذکر شده افزایش زمان تیمار پلاسما بر خلاف پژوهش حاضر تأثیر عکسی بر محتوای آنتوسیانین داشت که این عدم همخوانی را می‌توان به نوع محصول، نوع پلاسما مورد استفاده و شرایط احتمالاً متغیر در هنگام تیمار پلاسما نسبت داد. در همین راستا Landbo Meyer و (۲۰۰۱) گزارش کردند که اختلال در دیواره سلول گیاهی می‌تواند باعث نفوذ سریع‌تر و کامل‌تر حلال به داخل مواد داخل سلولی شود که انتقال جرم و کارایی استخراج پلی‌فنل‌ها را افزایش می‌دهد [۱۹]. در پژوهشی دیگر Herceg و همکاران (۲۰۱۶) گزارش کردند که تیمار پلاسما بسته به زمان اعمال تیمار و حجم نمونه موجب افزایش ۱۴/۹۵ تا ۴۸/۹۹ درصدی ترکیبات فنولیک آب انار شد. این

16. Molar extinction coefficient
17. Pour plate
18. Standard plate count agar
19. Triplicate Dichloran Rose Bengal Chloramphenicol agar

کنون پژوهشی صورت نگرفته است ولی احتمالاً این اثر را می-توان به قدرت بیشتر پلاسما در تخریب دیواره سلولی همراه با افزایش درصد چرخه کاری نسبت داد. همانگونه که ذکر شد بیشترین میزان آنتوسیانین مربوط به نمونه‌های تیمار شده با پلاسما بود و در بین سایر نمونه‌ها برتری به ترتیب ازان نمونه آب زرشک پاستوریزه و تازه بود. افزایش میزان ترکیبات فنولیک در نتیجه افزایش دما در پژوهش‌های پیشین گزارش شده است [۲۲]. یک توضیح احتمالی برای این اثرات با استخراج فنل‌های بیشتر گره خورده است، از آنجایی که فنل‌ها در مواد گیاهی اغلب با پلی‌ساکاریدهای دیواره سلولی گیاهان متصل شده است و دمای بالاتر ممکن است موجب تخریب پیوندهای فنولیک-ماتریکس دیواره سلولی شود [۱۳]. در تطابق با نتایج این پژوهش، هرستگ و همکاران (۲۰۱۶) گزارش کردند ترکیبات فنولیک کل آب انار بعد از تیمار حرارتی ۲۹/۵۵ درصد افزایش می‌یابد [۱۳]. همچنین نتایج Garofulić و همکاران (۲۰۱۵) نشان داد که بیشترین میزان آنتوسیانین و اسید فنولیک به ترتیب در نمونه‌های تیمار شده با پلاسما، پاستوریزه شده به روش حرارتی و نمونه تیمار نشده وجود دارد [۸].

محققین بیان کردند هنگامی آب انار تحت تیمار پلاسما سرد قرار می‌گیرد گونه‌های شیمیایی فعال، ذره‌های باردار و فوتون‌های فرابنفش به وجود می‌آیند که انرژی الکتریکی کافی برای شکست پیوندهای کووالان و تحریک چندین واکنش شیمیایی را دارند که ممکن است موجب شکست غشای سلولی و بهبود هیدرولیز و دپلمریزاسیون ترکیبات فنلی شود [۱۳]. در پژوهشی دیگر Grzegorzewski و همکاران (۲۰۱۱) در بررسی تاثیر تیمار پلاسما سرد بر محتوای فلاونوئیدهای برگ کاهو بیان کردند که یون‌های آرگون می‌توانند در ترکیب با گونه‌های اکسیژن فعال مانند رادیکال هیدروکسیل و رادیکال اکسیژن منجر به زوال اپیدرم‌های بالای در کاهو شوند که در نتیجه آن فلاونوئیدها و سایر ترکیبات از واکنش‌های مرکزی در سلول‌های نگهدارنده آزاد می‌شود، به همین دلیل در نتیجه تیمار پلاسما میزان پروتوکاتچیک اسید، لوتولین و دیسومتین را در برگ کاهو افزایش پیدا کرد [۲۰]. Song و همکاران (۲۰۰۶) نیز گزارش کردند که ترکیبات فنولیک در آبمیوه‌های هویج و کلم بروکلی هنگامی که در معرض اشعه قرار می‌گیرند، افزایش می‌یابد [۲۱]. اما در ارتباط با تاثیر افزایش درصد چرخه کاری تیمار پلاسما بر میزان آنتوسیانین تا



**Fig 1** Total anthocyanins in plasma treated, pasteurized and untreated Barberry juice. Different lowercase letters above bars stand for significant differences between treatments ( $P < 0.05$ ).

## ۳-۲- پارامترهای رنگی

گزارش کردند که تیمار غیر حرارتی (التراسوند) موجب افزایش شاخص روشنایی آبمیوه انگور قرمز می‌شود. این محققین افزایش اولیه شاخص روشنایی را به تمشینی جزئی ذرات معلق ناپایدار و همچنین اثر هموژنیزاسیون التراسوند نسبت دادند [۲۳]. همچنین نتایج نشان داد (جدول ۱) که نمونه آب زرشک پاستوریزه شاخص  $L^*$  کمتری نسبت به نمونه آب زرشک تازه داشت، اما شاخص  $a^*$  و  $b^*$  این نمونه بیشتر بود ( $p \leq 0.05$ ). نتایج مشابهی بوسیله محققان دیگر در نتیجه گرمادهی آب میوه‌ها به دست آمده و گزارش شده است کاهش در مقادیر  $L^*$  وابسته به افزایش قهوه‌ای شدن مواد غذایی و تخریب رنگدانه‌ها است [۲۴]. نتایج حاصل از مطالعات Rhim و همکاران (۱۹۸۹) در مورد رنگ آب انگور [۲۵]، Rattanathanalerk و همکاران (۲۰۰۵) هنگام بررسی رنگ آب آناناس [۲۵] و Chutintrasri و Noomhorm (۲۰۰۷) بر روی تغییرات رنگ پوره آناناس [۲۷] نیز موید این مطلب بود که حرارت سبب کاهش روشنایی نمونه‌ها می‌شود. شاخص  $a^*$  در تمامی نمونه‌ها عددی مثبت بود (جدول ۱) که نشان از قرار گرفتن آن در محدوده رنگ قرمز بود، به عبارتی دیگر تیمار پلاسما موجب افزایش قرمزی آب زرشک شد.

رنگ محصول یکی از مهم‌ترین پارامترهای است که نظر مصرف کننده را نسبت به محصول به شدت تحت تاثیر قرار می‌دهد. بنابراین، یکی از اهداف این مطالعه بررسی تغییرات رنگ نمونه‌های آب زرشک بود. نتایج مقایسه میانگین پارامترهای رنگی نمونه‌های آب زرشک تیمار شده با پلاسما در مقایسه با نمونه شاهد (نمونه آب زرشک تازه و پاستوریزه) در جدول ۱ نشان داده شده است. با افزایش زمان اعمال تیمار پلاسما در چرخه‌های کاری مختلف تمامی پارامترهای رنگی ( $L^*$ ،  $a^*$  و  $b^*$ ) مورد بررسی افزایش پیدا کرد ( $p \leq 0.05$ ). مقایسه نمونه‌های تحت تیمار پلاسما با نمونه آب زرشک تازه و پاستوریزه نشان داد که تمامی پارامترهای رنگی نمونه‌های تیمار شده با پلاسما بیشتر از نمونه آب زرشک تازه و پاستوریزه بود ( $p \leq 0.05$ ). از آنجا که مقادیر  $L^*$  مقدار رنگ را از نظر روشنی و تیرگی نشان می‌دهد، افزایش  $L^*$  نشان دهنده روشن شدن نمونه‌ها پس از اعمال تیمار پلاسما می‌باشد. در تطابق با نتایج این پژوهش Almeida و همکاران (۲۰۱۵) گزارش کردند که تیمار پلاسما موجب افزایش شاخص روشنایی نمونه‌های آب پرتقال نسبت به نمونه شاهد می‌شود [۱۲]. در پژوهشی دیگر Tiwari و همکاران (۲۰۱۰)

**Table 1** Means±SD of Color parameters of plasma treated, pasteurized and untreated Barberry juice

Plasma treated (Source of variation)		$L^*$	$a^*$	$b^*$
Duty Cycle (%)	Treatment time (min)			
8	2.5	22.09±0.08 <sup>g</sup>	9.96±0.35 <sup>d</sup>	1.71±0.45 <sup>f</sup>
	5	28.57±0.53 <sup>e</sup>	11.32±0.24 <sup>c</sup>	4.28±0.37 <sup>e</sup>
	10	40.56±0.72 <sup>b</sup>	13.90±0.17 <sup>b</sup>	12.18±0.35 <sup>a</sup>
12	2.5	32.74±0.94 <sup>c</sup>	14.50±0.36 <sup>ab</sup>	3.87±0.21 <sup>c</sup>
	5	51.03±0.53 <sup>a</sup>	14.36±0.25 <sup>ab</sup>	7.00±0.17 <sup>d</sup>
	10	49.69±0.77 <sup>a</sup>	14.80±0.40 <sup>a</sup>	8.31±0.36 <sup>bc</sup>
16	2.5	26.73±0.53 <sup>f</sup>	8.76±0.47 <sup>c</sup>	7.62±0.50 <sup>cd</sup>
	5	27.69±0.58 <sup>ef</sup>	9.49±0.21 <sup>de</sup>	8.66±0.41 <sup>b</sup>
	10	30.23±0.40 <sup>d</sup>	11.89±0.31 <sup>c</sup>	11.40±0.54 <sup>a</sup>
Pasteurized Barberry juice		19.11±0.45 <sup>i</sup>	8.23±0.29 <sup>e</sup>	1.72±0.29 <sup>f</sup>
Untreated Barberry juice		22.12±0.75 <sup>h</sup>	7.32±0.24 <sup>f</sup>	1.01±0.240 <sup>g</sup>

<sup>a-g</sup> Values with different superscripts in the same column differ ( $P < 0.05$ )

صورت معنی‌داری ( $p \leq 0.05$ ) کمتر از نمونه آب زرشک تازه بود. با این وجود تیمار پلاسما توانست بار میکروبی نمونه آب زرشک را در حد آب زرشک پاستوریزه (که هیچ میکروارگانسمی در آن یافت نشد) کاهش دهد. مکانیسم غیر فعال‌سازی میکروارگانسم‌ها به وسیله پلاسما در چندین پژوهش شرح داده شده است. Moisan و همکاران (۲۰۰۱) به اهمیت رادیکال‌های آزاد، اشعه ماوراءبنفش و ذرات باردار مانند یون‌ها و الکترون‌های تولید شده به وسیله پلاسما در اثر ضد میکروبی اشاره کردند [۲۸]. بنابر نتایج Laroussi و همکاران (۲۰۰۳) ذرات باردار می‌توانند سلول‌های باکتریایی را از طریق شکستن غشای سیتوپلاسمی غیر فعال کنند. آن‌ها نشان دادند که نیروهای الکترواستاتیک ناشی از تجمع بار در سطح بیرونی سلول‌های غشایی می‌تواند بر استحکام کششی غشا غلبه کرده و باعث پارگی آن شود. این موضوع ممکن است بیشتر در باکتری‌های گرم منفی اتفاق بیفتد زیرا غشای آن‌ها دارای سطح نامنظم است و این بی‌نظمی‌ها موجب ارائه شعاع کوچکی از انحنا می‌شود که باعث متمرکز کردن نیروی‌های الکترواستاتیک بیرونی می‌شود [۲۹]. آسیب دیواره سلولی همچنین می‌تواند به وسیله رادیکال‌های اکسیژن و هیدروکسیل ایجاد شود. رادیکال‌های هیدروکسیل می‌تواند موجب اکسیداسیون اسیدهای چرب غیر اشباع در دیواره سلولی، شکست پیوندهای پپتیدی و اکسیداسیون آمینو اسیدهای زنجیره‌های جانبی شوند. همچنین رادیکال‌های اکسیژن در فرایندهای ایتچینگ<sup>۲۰</sup> و اکسیداسیون پروتئین‌ها دخیل هستند. علاوه بر اثر مستقیم رادیکال‌ها، آن‌ها می‌توانند ترکیبات ضد میکروبی بیشتری مانند پراکسید هیدروژن و رادیکال‌های هیدروپروکسی را تشکیل دهند. این مواد می‌توانند به عنوان ترکیبات ضد میکروبی فعال عمل کنند اما در مقایسه با رادیکال‌های هیدروکسیل و اکسیژن طول عمر طولانی‌تری دارند و احتمال فعال ماندن آن‌ها در نمونه‌های تیمار شده با پلاسما در دوره نگهداری وجود دارد [۳۰]. بنابراین هنگامی که مواد ذکر شده وجود داشته باشند باکتری‌ها موجود در نمونه‌ها پس از تیمار پلاسما نیز می‌تواند به طور کامل غیر فعال شود. در تطابق با نتایج این پژوهش Surowsky و همکاران (۲۰۱۴) گزارش کردند که

افزایش قرمزی نمونه آب زرشک در نتیجه تیمار پلاسما را می‌توان به افزایش رنگدانه آنتوسیانین نسبت داد [۱۸]. شاخص  $b^*$  نیز بیان‌کننده زردی (مقادیر +) و آبی (مقادیر -) بودن رنگ نمونه است که این شاخص برای تمامی نمونه‌ها مقدار مثبت بود و با تیمار پلاسما افزایش پیدا کرد که نشان دهنده تمایل پیدا کردن رنگ به سمت زردی با اعمال تیمار پلاسما بود. نتایج این تحقیق نشان داد که با وجود افزایش معنی‌دار روشنایی، قرمزی و زردی آب زرشک با اعمال تیمار پلاسما، رنگ آب زرشک در محدوده مورد انتظار مصرف کنندگان حفظ شد، بنابراین تیمار پلاسما تاثیر مخربی بر رنگ محصول نداشت.

### ۳-۳- آنالیز میکروبی

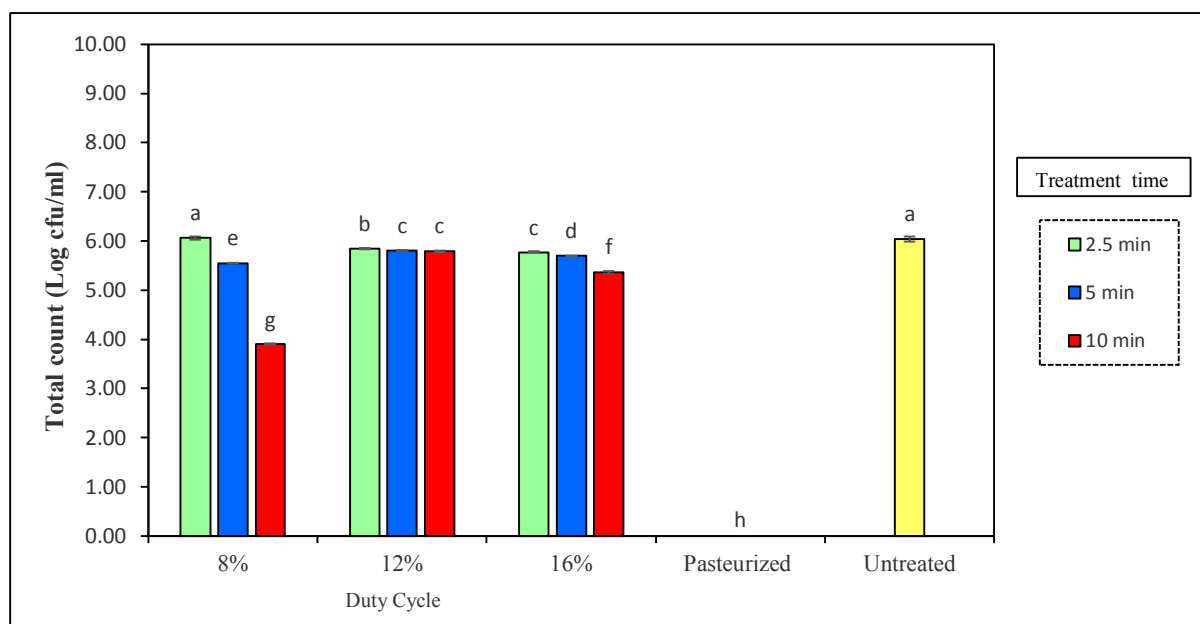
#### ۳-۳-۱- شمارش کلی میکروارگانسم‌ها

استفاده از تکنیک‌های غیر حرارتی مانند پلاسما سرد در فرآوری محصولات از جمله آبمیوه‌ها در صورتی می‌تواند مطلوب باشد که بتواند بار میکروبی محصول را به گونه‌ای کاهش دهد که سلامت مصرف کنندگان را به خطر نیندازد. بنابراین در این پژوهش کیفیت میکروبی آب زرشک تیمار شده با پلاسما سرد مورد بررسی قرار گرفت. یافته‌های آماری حاصل از آزمون مقایسه میانگین شمارش کلی میکروارگانسم‌ها نمونه‌های تیمار شده با پلاسما در مقایسه با نمونه شاهد (آب زرشک تازه و پاستوریزه) در شکل ۲ ارائه شده است. نتایج نشان داد که افزایش زمان اعمال تیمار پلاسما در چرخه‌های کاری مختلف منجر به کاهش شمارش کلی میکروارگانسم‌ها شد که این کاهش در چرخه‌های کاری مختلف از نقطه نظر آماری متفاوت بود. بر این اساس افزایش زمان تیمار پلاسما (۲/۵ تا ۱۰ دقیقه) در چرخه‌های کاری ۸ و ۱۶ درصد همواره موجب کاهش معنی‌دار ( $p \leq 0.05$ ) شمارش کلی میکروارگانسم‌ها شد در حالی که افزایش زمان تیمار پلاسما در چرخه کاری ۱۲ درصد تا ۵ دقیقه موجب کاهش معنی‌دار ( $p \leq 0.05$ ) شمار کلی میکروارگانسم‌ها شد اما افزایش زمان از ۵ به ۱۰ دقیقه تاثیر معنی‌داری ( $p \leq 0.05$ ) بر شمار کلی میکروارگانسم‌ها نداشت. مقایسه نمونه‌های تیمار شده با پلاسما با نمونه آب زرشک تازه نشان داد که شمارش کلی میکروارگانسم‌ها تمامی نمونه‌ها تیمار شده با پلاسما (به استثنای نمونه تیمار شده در چرخه کاری ۸ درصد به مدت ۲/۵ دقیقه) به

20. Etching

Niemira (۲۰۰۸) گزارش کرد که پلاسما سرد در غیر فعال‌سازی سالمونلا استتلی و اشرشیاکلی سبب مفید است [۳۳]. Yun و همکاران (۲۰۱۰) نیز ثابت کردند تیمار پلاسما سرد اتمسفری می‌تواند برای غیر فعال‌سازی لیستریا مونوسی‌توژنس در ظروف غذا موثر باشد [۳۴]. همچنین Yannam و همکاران (۲۰۱۸) بیان کردند که استفاده از پلاسما تخلیه الکتریکی با ولتاژ بالا در آب نارنگی موجب تغییر در مورفولوژی سلول اشرشیاکلی از طریق آسیب به دیواره سلولی آن می‌شود [۱۴]. نتایج نشان داد تاثیر تیمار حرارتی به مراتب بهتر از تاثیر پلاسما بود و به صورت ۱۰۰ درصدی موجب تخریب بار میکروبی کل، کپک و مخمر شد که این نتایج در تطابق با نتایج به دست آمده برای مخلوط آبمیوه پرتقال و هویج و آبمیوه انبه بود [۳۵]. پژوهش‌های مختلف ثابت کرده است که حرارت موجب تخریب غشای سلولی و صدمه به اسیدهای نوکلئیک می‌شود که در نتیجه آن میکروارگانیسم‌ها را از بین خواهد برد [۳۵].

تیمار پلاسما موجب کاهش جمعیت سیتروباکتر فروندی در آبمیوه می‌شود. این محققین با استناد به نتایج آزمون ریزساختار بیان کردند که سلول‌های تیمار نشده دارای شکل معمولی میله-های کوتاه سالم بودند در حالی که سلول‌های تیمار شده با پلاسما به شدت آسیب دیده بودند و سطوح ناهموار با ردیف-های گسسته و سوراخ‌ها در آنها مشهود بود. افزایش زمان در معرض قرار گرفتن پلاسما منجر به آسیب دیدن سلول‌های بیشتری شد که در بسیاری از موارد تغییر شکل شدید غشا و شکل خارجی آنها اتفاق افتاد [۳۰]. در پژوهشی دیگر Ziuizina و همکاران (۲۰۱۴) گزارش کردند که تیمار پلاسما به مدت ۱۰، ۶۰ و ۱۲۰ ثانیه به ترتیب جمعیت میکروبی سالمونلا، اشرشیاکلی و لیستریامونوسی‌توژنس در گوجه فرنگی را به گونه‌ای کاهش داد که هیچ میکروارگانیسمی قابل شناسایی نبود [۳۱]. Deng و همکاران (۲۰۰۷) نیز گزارش کردند که پلاسما سرد در غیر فعال‌سازی اشرشیاکلاهی بادام موثر است [۳۲]. همچنین



**Fig 2** Total count of plasma treated, pasteurized and untreated Barberry juice. Different lowercase letters above bars stand for significant differences between treatments ( $P < 0.05$ ).

نگاهی به نتایج نشان می‌دهد افزایش زمان تیمار پلاسما در چرخه‌های کاری مختلف سبب کاهش شمار کپک و مخمر نمونه‌های آب زرشک شده است که از نقطه نظر آماری نیز معنی‌دار بود ( $p \leq 0.05$ ). به مانند آنچه که در بررسی شمارش

### ۳-۲- شمار کپک و مخمر

یافته‌های حاصل از بررسی شمار کپک و مخمر نمونه‌های آب زرشک تیمار شده با پلاسما در مقایسه با نمونه شاهد (آب زرشک تازه و پاستوریزه) در جدول ۲ قابل مشاهده می‌باشد.



پس از تیمار پلاسما ساختار کروی سلولی کاندیدا البیکنس تخریب می‌شود [۳۷]. در پژوهشی دیگر Basaran و همکاران (۲۰۰۸) گزارش کردند که تیمار پلاسما در حذف اسپیریلیوس پارازیتیکوس از سطح آجیل موثر است [۳۸]. Venezia و همکاران (۲۰۰۸) نیز گزارش کردند که تیمار پلاسما موجب کاهش میزان اولیه مخمرهای تلقیح شده کاندیدا البیکنس، کاندیدا گویلرموندی، کاندیدا کروسا و کریپتوکوکوس نئوفورمانس و همچنین کپک اسپیریلیوس ترئوس به میزان صفر می‌شود [۳۹]. نتایج Lacombe و همکاران (۲۰۱۵) نیز نشان داد که تیمار پلاسما موجب کاهش میزان کپک و مخمر بلوبری شد [۴۰].

کلی میکروارگانیسم‌ها مشاهده شد، تیمار پلاسما به گونه معنی‌داری ( $p \leq 0.05$ ) سبب کاهش شمار کپک و مخمر نمونه‌ها نسبت به آب زرشک تازه شده اما در مقایسه با نمونه پاستوریزه (که هیچ میکروارگانیسمی در آن یافت نشد) شمار کپک و مخمر آن‌ها به مراتب بالاتر بود. تحقیقات اندکی در ارتباط با تاثیر پلاسما بر کپک و مخمر وجود دارد و اکثریت پژوهش‌ها در دهه اخیر در ارتباط با تاثیر آن بر باکتری‌ها بوده است. در یکی از پژوهش‌های صورت گرفته Suhem و همکاران (۲۰۱۳) گزارش کردند که تیمار پلاسما سرد اتمسفری در مهار اسپیریلیوس فلاووس بر روی محیط کشت آگار و برنج قهوه‌ای موثر است [۳۶]. همچنین Ohkawa و همکاران (۲۰۰۶) گزارش کردند که

**Table 1** Means±SD of Mold and yeast count of plasma treated, pasteurized and untreated Barberry juice

Plasma treated (Source of variation)		Yeast (Log cfu/ml)	Mold (Log cfu/ml)
Duty Cycle (%)	Treatment time (min)		
8	2.5	5.74±0.01 <sup>a</sup>	4.63±0.00 <sup>a</sup>
	5	4.89±0.00 <sup>g</sup>	3.06±0.02 <sup>f</sup>
	10	4.51±0.02 <sup>h</sup>	2.49±0.01 <sup>h</sup>
12	2.5	5.33±0.01 <sup>c</sup>	3.52±0.01 <sup>d</sup>
	5	5.22±0.01 <sup>d</sup>	2.79±0.01 <sup>g</sup>
	10	5.11±0.47 <sup>e</sup>	2.13±0.02 <sup>i</sup>
16	2.5	5.48±0.02 <sup>b</sup>	3.86±0.00 <sup>b</sup>
	5	4.96±0.00 <sup>f</sup>	3.62±0.01 <sup>c</sup>
	10	4.87±0.00 <sup>g</sup>	3.17±0.08 <sup>e</sup>
Pasteurized Barberry juice		0±0 <sup>i</sup>	0±0 <sup>j</sup>
Untreated Barberry juice		5.84±0.01 <sup>a</sup>	4.61±0.01 <sup>a</sup>

<sup>a-g</sup> Values with different superscripts in the same column differ ( $P < 0.05$ )

قرمزی آب زرشک شد. نتایج آزمون میکروبی نیز نشان داد تیمار پلاسما موجب کاهش بار میکروبی کل، کپک و مخمر آب زرشک تازه شد که این تاثیر در چرخه کاری پایین‌تر و زمان بیشتر مشهودتر بود، با این وجود کیفیت میکروبی آن‌ها به مراتب پایین‌تر از نمونه آب زرشک پاستوریزه بود. به طور کلی می‌توان گفت استفاده از تیمار پلاسما در آب زرشک موجب افزایش ارزش تغذیه‌ای آن بدون اثر نامطلوب بر ویژگی‌های رنگ شد، اما

#### ۴- نتیجه گیری کلی

در این پژوهش تاثیر پلاسما سرد در زمان و چرخه‌های کاری مختلف بر تغییرات رنگ، محتوی آنتوسیانین و کیفیت میکروبی آب زرشک مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد که افزایش زمان و درصد چرخه کاری تیمار پلاسما منجر به افزایش محتوی آنتوسیانین آب زرشک شد. همچنین بررسی تغییرات رنگ نشان داد که اعمال تیمار پلاسما منجر به افزایش شاخص روشنایی و

- gas phase plasma on anthocyanins and color in pomegranate juice. *Food chemistry*, 190, 317-323.
- [8] Garofulić, I. E., Jambrak, A. R., Milošević, S., Dragović-Uzelac, V., Zorić, Z., & Herceg, Z. (2015). The effect of gas phase plasma treatment on the anthocyanin and phenolic acid content of sour cherry *Marasca* (*Prunus cerasus* var. *Marasca*) juice. *LWT-Food Science and Technology*, 62(1), 894-900.
- [9] Schlüter, O., Ehlbeck, J., Hertel, C., Habermeyer, M., Roth, A., Engel, K. H., ... & Eisenbrand, G. (2013). Opinion on the use of plasma processes for treatment of foods\*. *Molecular nutrition & food research*, 57(5), 920-927.
- [10] Arjunan, K. P., Sharma, V. K., & Ptasinaka, S. (2015). Effects of Atmospheric Pressure Plasmas on Isolated and Cellular DNA-A Review. *International Journal of Molecular Sciences*, 16(2), 2971-3016.
- [11] Song, H. P., Kim, B., Choe, J. H., Jung, S., Moon, S. Y., Choe, W., & Jo, C. (2009). Evaluation of atmospheric pressure plasma to improve the safety of sliced cheese and ham inoculated by 3-strain cocktail *Listeria monocytogenes*. *Food Microbiology*, 26(4), 432-436.
- [12] Almeida, F. D. L., Cavalcante, R. S., Cullen, P. J., Frias, J. M., Bourke, P., Fernandes, F. A., & Rodrigues, S. (2015). Effects of atmospheric cold plasma and ozone on prebiotic orange juice. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 32, 127-135.
- [13] Herceg, Z., Kovačević, D. B., Kljusurić, J. G., Jambrak, A. R., Zorić, Z., & Dragović-Uzelac, V. (2016). Gas phase plasma impact on phenolic compounds in pomegranate juice. *Food chemistry*, 190, 665-672.
- [14] Yannam, S. K., Estifae, P., Rogers, S., & Thagard, S. M. (2018). Application of high voltage electrical discharge plasma for the inactivation of *Escherichia coli* ATCC 700891 in tangerine juice. *LWT*, 90, 180-185.
- [15] Ghorbani Hasan Saraei, A., Shahidi, S. A., Mohebbi, M., & Moaziyan, R. (2016). Modelling Kinetics of Thermal Colour Degradation in Production of Beetroot Juice Concentrate by Various Heating Methods. *علیرغم اثر معنی دار در کاهش آلودگی، تیمار پلاسما نتوانست بار میکروبی این محصول را تا حدود مورد تایید اداره استاندارد ملی ایران کاهش دهد. همچنین تمامی اثرات مشاهده شده می تواند ناشی از میدان الکتریکی پالسی که برای ایجاد پلاسمای سرد تولید شد نیز باشند. پیشنهاد می شود ترکیب تیمار بکار رفته با سایر روشها و همچنین تغییر حجم نمونه در زمان آزمایش مورد بررسی قرار گیرد.*
- ### ۵- منابع
- [1] Gundogdu, M. (2013). Determination of antioxidant capacities and biochemical compounds of *Berberis vulgaris* L. fruits. *Advances in Environmental Biology*, 344-349.
- [2] Mahata, S., Bharti, A. C., Shukla, S., Tyagi, A., Husain, S. A., & Das, B. C. (2011). Berberine modulates AP-1 activity to suppress HPV transcription and downstream signaling to induce growth arrest and apoptosis in cervical cancer cells. *Molecular cancer*, 10(1), 1.
- [3] Villinski, J., Dumas, E., Chai, H. B., Pezzuto, J., Angerhofer, C., & Gafner, S. (2003). Antibacterial activity and alkaloid content of *Berberis thunbergii*, *Berberis vulgaris* and *Hydrastis canadensis*. *Pharmaceutical Biology*, 41(8), 551-557.
- [4] Hassanpour, H., & Alizadeh, S. (2016). Evaluation of phenolic compound, antioxidant activities and antioxidant enzymes of barberry genotypes in Iran. *Scientia Horticulturae*, 200, 125-130.
- [5] Siow, Y. L., Sarna, L., & Karmin, O. (2011). Redox regulation in health and disease—Therapeutic potential of berberine. *Food Research International*, 44(8), 2409-2417.
- [6] Bursać Kovačević, D., Putnik, P., Dragović-Uzelac, V., Vahčić, N., Babojelić, M. S., & Levaj, B. (2015). Influences of organically and conventionally grown strawberry cultivars on anthocyanins content and color in purees and low-sugar jams. *Food Chemistry*, 181, 94-100.
- [7] Kovačević, D. B., Putnik, P., Dragović-Uzelac, V., Pedisić, S., Jambrak, A. R., & Herceg, Z. (2016). Effects of cold atmospheric

- Investigation on the changes in color parameters and turbidity of cornelian cherry (*cornus mass L*) produced by microwave and conventional heating. *Nutrition and Food Sciences Research*, 2(4), 39-46.
- [25] Rhim, J. W., Nunes, R. V., Jones, V. A., & Swartzel, K. R. (1989). Kinetics of color change of grape juice generated using linearly increasing temperature. *Journal of Food Science*, 54(3), 776-777.
- [26] Rattanathanalerk, M., Chiewchan, N., & Srichumpoung, W. (2005). Effect of thermal processing on the quality loss of pineapple juice. *Journal of Food engineering*, 66(2), 259-265.
- [27] Chutintrasri, B., & Noomhorm, A. (2007). Color degradation kinetics of pineapple puree during thermal processing. *LWT-Food Science and Technology*, 40(2), 300-306.
- [28] Moisan, M., Barbeau, J., Moreau, S., Pelletier, J., Tabrizian, M., & Yahia, L. H. (2001). Low-temperature sterilization using gas plasmas: a review of the experiments and an analysis of the inactivation mechanisms. *International journal of Pharmaceutics*, 226(1), 1-21.
- [29] Laroussi, M., Mendis, D. A., & Rosenberg, M. (2003). Plasma interaction with microbes. *New Journal of Physics*, 5(1), 41.
- [30] Surowsky, B., Fröhling, A., Gottschalk, N., Schlüter, O., & Knorr, D. (2014). Impact of cold plasma on *Citrobacter freundii* in apple juice: inactivation kinetics and mechanisms. *International journal of food microbiology*, 174, 63-71.
- [31] Ziuzina, D., Patil, S., Cullen, P. J., Keener, K. M., & Bourke, P. (2014). Atmospheric cold plasma inactivation of *Escherichia coli*, *Salmonella enterica* serovar Typhimurium and *Listeria monocytogenes* inoculated on fresh produce. *Food microbiology*, 42, 109-116.
- [32] Deng, S., Ruan, R., Mok, C. K., Huang, G., Lin, X., & Chen, P. (2007). Inactivation of *Escherichia coli* on almonds using nonthermal plasma. *Journal of food science*, 72(2).
- [33] Niemira, B. A., & Sites, J. (2008). Cold plasma inactivates *Salmonella Stanley* and *Escherichia coli* O157: H7 inoculated on golden delicious apples. *Journal of Food Protection*, 71(7), 1357-1365.
- Journal of Food Technology and Nutrition*, 13, 87-98. [in persian].
- [16] Wang, W. D., & Xu, S. Y. (2007). Degradation kinetics of anthocyanins in blackberry juice and concentrate. *Journal of food engineering*, 82(3), 271-275.
- [17] Bull, M. K., Zerdin, K., Howe, E., Goicoechea, D., Paramanandhan, P., Stockman, R., ... & Stewart, C. M. (2004). The effect of high pressure processing on the microbial, physical and chemical properties of Valencia and Navel orange juice. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 5(2), 135-149.
- [18] Cavalcanti, R. N., Santos, D. T., & Meireles, M. A. A. (2011). Non-thermal stabilization mechanisms of anthocyanins in model and food systems—An overview. *Food Research International*, 44(2), 499-509.
- [19] Landbo, A. K., & Meyer, A. S. (2001). Enzyme-assisted extraction of antioxidative phenols from black currant juice press residues (*Ribes nigrum*). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 49(7), 3169-3177.
- [20] Grzegorzewski, F., Ehlbeck, J., Schlüter, O., Kroh, L. W., & Rohn, S. (2011). Treating lamb's lettuce with a cold plasma—Influence of atmospheric pressure Ar plasma immanent species on the phenolic profile of *Valerianella locusta*. *LWT-Food Science and Technology*, 44(10), 2285-2289.
- [21] Song, H. P., Kim, D. H., Jo, C., Lee, C. H., Kim, K. S., & Byun, M. W. (2006). Effect of gamma irradiation on the microbiological quality and antioxidant activity of fresh vegetable juice. *Food Microbiology*, 23(4), 372-378.
- [22] Odriozola-Serrano, I., Soliva-Fortuny, R., & Martín-Belloso, O. (2008). Phenolic acids, flavonoids, vitamin C and antioxidant capacity of strawberry juices processed by high-intensity pulsed electric fields or heat treatments. *European Food Research and Technology*, 228(2), 239.
- [23] Tiwari, B. K., Patras, A., Brunton, N., Cullen, P. J., & O'Donnell, C. P. (2010). Effect of ultrasound processing on anthocyanins and color of red grape juice. *Ultrasonics Sonochemistry*, 17(3), 598-604.
- [24] Naderi, B., Maghsoudlou, Y., Aminifar, M., Ghorbani, M., & Rashidi, L. (2015).

- Pulse-modulated, high-frequency plasma sterilization at atmospheric-pressure. *Surface and coatings technology*, 200(20), 5829-5835.
- [38] Basaran, P., Basaran-Akgul, N., & Oksuz, L. (2008). Elimination of *Aspergillus parasiticus* from nut surface with low pressure cold plasma (LPCP) treatment. *Food Microbiology*, 25(4), 626-632.
- [39] Venezia, R. A., Orrico, M., Houston, E., Yin, S. M., & Naumova, Y. Y. (2008). Lethal activity of nonthermal plasma sterilization against microorganisms. *Infection Control & Hospital Epidemiology*, 29(5), 430-436.
- [40] Lacombe, A., Niemira, B. A., Gurtler, J. B., Fan, X., Sites, J., Boyd, G., & Chen, H. (2015). Atmospheric cold plasma inactivation of aerobic microorganisms on blueberries and effects on quality attributes. *Food microbiology*, 46, 479-484.
- [34] Yun, H., Kim, B., Jung, S., Kruk, Z. A., Kim, D. B., Choe, W., & Jo, C. (2010). Inactivation of *Listeria monocytogenes* inoculated on disposable plastic tray, aluminum foil, and paper cup by atmospheric pressure plasma. *Food Control*, 21(8), 1182-1186.
- [35] Santhirasegaram, V., Razali, Z., & Somasundram, C. (2013). Effects of thermal treatment and sonication on quality attributes of Chokanan mango (*Mangifera indica* L.) juice. *Ultrasonics sonochemistry*, 20(5), 1276-1282.
- [36] Suhem, K., Matan, N., Nisoa, M., & Matan, N. (2013). Inhibition of *Aspergillus flavus* on agar media and brown rice cereal bars using cold atmospheric plasma treatment. *International journal of food microbiology*, 161(2), 107-111.
- [37] Ohkawa, H., Akitsu, T., Tsuji, M., Kimura, H., Kogoma, M., & Fukushima, K. (2006).

## Effects of cold plasma on color changes, anthocyanins content and microbial quality of barberry juice

Rahnamaye akhary, T.<sup>1</sup>, Javanmard Dakheli, M.<sup>2\*</sup>, Abbaszade, R.<sup>3</sup>

1. M.Sc. Student, Department of Food Science and Technology, Islamic Azad University, Tehran, Iran
2. Associate Professor, Department of Chemical Engineering, Iranian Research Organization for Science and Technology, Tehran, Iran
3. Assistant Professor, Bio-systems Engineering, Advance Agriculture Research Institute, Iranian Research Organization for Science and Technology, Tehran, Iran

(Received: 2018/02/04 Accepted:2018/12/31)

Barberry juice is a rich source of antioxidant compounds including phenols and anthocyanins. Conventional thermal pasteurization may cause pigment degradation as well as loss of nutritional value of fruit juices. It is therefore essential to develop non-thermal pasteurization methods to maximize retention of bioactive compounds while minimizing color changes in fruit juices. Cold atmospheric plasma is an emerging non-thermal technology that could ensure microbial safety and extended shelf-life of fruit juices without having negative effect on their phytonutrient content. The aim of present study was therefore to investigate the effect of different duty cycles (8, 12 & 16%) at different times (2.5, 5 & 10 min) of plasma treatment on anthocyanin content, color change and microbial quality of barberry juice in comparison with thermally pasteurized (80 °C for 2 min) and untreated samples. The results showed that all plasma-treated samples possessed higher anthocyanin content as well as greater L\* and a\* values than thermally-treated and untreated samples ( $p \leq 0.05$ ), regardless of duty cycles and treatment times; This superiority was, however, more pronounced ( $p \leq 0.05$ ) for the longer plasma treatments. Likewise, the longer plasma treatment was accompanied by significant decrease in total microbial count as well as yeasts and molds count ( $p \leq 0.05$ ) of barberry juice. It was observed that the improving effect of prolonged plasma treatment on microbial quality of barberry juice was intensified at higher duty cycles. However, the microbial quality of plasma-treated barberry juice was far lower than that of thermally pasteurized sample. The results of this study show that the barberry juice treated with cold atmospheric plasma had higher nutritional value and more desirable color than thermally pasteurized one but despite the decrease in contamination, failed to meet the requirements of ISIRI for microbial quality. It is worth noting that the observed effects can be due to the pulsed electric field applied to the sample. In addition, the combination of technology used in other ways can be studied.

**Keywords:** Barberry juice, Non-thermal pasteurization, Cold atmospheric plasma, Anthocyanins, microbial quality

---

\* Corresponding Author E-Mail Address: Javanmard@irost.ir