

The effect of different blanching methods on physical-chemical characteristics, bioactive compounds, and inactivation of peroxidase enzyme in green bell pepper

Fathollahy I.^{1*}, Khaghani, A.²

1. Assistant Professor, Department of Food Science and Technology, Mamaghan Branch, Islamic Azad University, Mamaghan, Iran

2. M.Sc. Graduate of Food Science and Technology, Mamaghan Branch, Islamic Azad University, Mamaghan, Iran

*Corresponding author: isa.fathollahy@iau.ac.ir

(Received: 2024/6/8 Accepted: 2024/9/28)

Abstract

Blanching is a crucial step in the processing of fruits and vegetables, as it inactivates enzymes and helps preserve nutritional quality, bioactive compounds, texture, and color. This study investigated the effects of hot water, steam, and microwave blanching (applied for 60, 90, and 120 seconds) on sweet bell peppers, focusing on weight loss, color, antioxidant activity, ascorbic acid and phenolic content, and peroxidase enzyme inactivation. Weight loss varied significantly across blanching methods, with the lowest loss (2.36%) observed in microwave blanching at 60 seconds, and the highest (12.10%) in hot water blanching at 120 seconds. Peroxidase enzyme inactivation was incomplete after 60 seconds for all methods. The most substantial reduction in peroxidase activity was achieved with microwave blanching at 120 seconds, whereas hot water blanching at 60 seconds resulted in the least reduction ($p < 0.05$).

Total phenolic content increased with all blanching methods, ranging from 7.4–65.31% for hot water, 11.56–44.8% for steam, and 11.12–67.16% for microwave treatments. Ascorbic acid loss was minimal with microwave and steam blanching at 60 seconds but peaked with hot water blanching at 120 seconds, with longer blanching durations generally leading to greater losses. Antioxidant activity showed the least increase following hot water blanching at 60 seconds and the most with microwave blanching at 90 seconds. Blanching also significantly influenced color parameters ($p < 0.05$), with extended treatment durations resulting in increased L*, a*, and b* values. These findings underscore the importance of selecting appropriate blanching methods and durations to optimize the quality and nutritional retention of sweet bell peppers.

Conflict of interest: None declared.

Keywords: Blanching, Bell pepper, Microwave, Vitamin C, Peroxidase

تأثیر روش‌های مختلف بلانچینگ بر ویژگی‌های فیزیکی - شیمیایی، ترکیبات زیست‌فعال و غیرفعال‌سازی آنزیم پراکسیداز در فلفل دلمه‌ای سبز

روش‌های مختلف بلانچینگ فلفل دلمه‌ای

عیسی فتح‌الهی^{۱*}، آریتا خاقانی^۲

۱. استادیار گروه علوم و صنایع غذایی، واحد ممقان، دانشگاه آزاد اسلامی، ممقان، ایران

۲. دانش‌آموخته کارشناسی ارشد گروه علوم و صنایع غذایی، واحد ممقان، دانشگاه آزاد اسلامی، ممقان، ایران

*نویسنده مسئول مکاتبات: isa.fathollahy@iau.ac.ir

(دریافت مقاله: ۱۴۰۳/۳/۱۹ پذیرش نهایی: ۱۴۰۳/۷/۷)

چکیده

فرآیند بلانچینگ در فرآوری میوه‌ها و سبزی‌ها علاوه بر غیرفعال‌سازی آنزیم‌ها در حفظ و یا کاهش ترکیبات مغذی، زیست‌فعال و تغییرات بافت و رنگ نیز مؤثر است. تأثیر روش بلانچینگ (آب داغ، بخار و مایکروویو طی ۶۰، ۹۰ و ۱۲۰ ثانیه) بر افت وزنی، رنگ، فعالیت آنتی‌اکسیدانی، محتوای اسید آسکوربیک و ترکیبات فنلی و غیرفعال‌سازی آنزیم پراکسیداز در فلفل دلمه‌ای سبز ارزیابی شد. کم‌ترین بیش‌ترین افت وزن به‌ترتیب مربوط به روش مایکروویو ۶۰ ثانیه (۲/۳۶ درصد) و آب داغ ۱۲۰ ثانیه (۱۲/۱۰ درصد) بود. بلانچینگ به مدت ۶۰ ثانیه در هر سه روش نتوانست آنزیم پراکسیداز را غیرفعال نماید و بیش‌ترین و کم‌ترین کاهش ($p < 0.05$) در فعالیت پراکسیداز به‌ترتیب در روش مایکروویو ۱۲۰ ثانیه و آب داغ ۶۰ ثانیه مشاهده شد. بلانچینگ آب داغ، بخار و مایکروویو برای ۶۰ تا ۱۲۰ ثانیه به‌ترتیب باعث افزایش ۴/۳۱ - ۷/۶۵، ۸/۴۴ - ۱۱/۵۶ و ۱۲/۶۷ - ۱۶/۱۰ درصد در محتوای فنل کل نمونه‌های فلفل دلمه‌ای شد. بلانچینگ مایکروویو و بخار (۶۰ ثانیه) و آب داغ (۱۲۰ ثانیه) به‌ترتیب باعث کم‌ترین و بیش‌ترین افت اسید آسکوربیک گردید و افزایش زمان بلانچینگ افت اسید آسکوربیک را افزایش داد. کم‌ترین و بیش‌ترین افزایش در فعالیت آنتی‌اکسیدانی فلفل دلمه‌ای به‌ترتیب در نمونه‌های آب داغ (۶۰ ثانیه) و مایکروویو (۹۰ ثانیه) مشاهده شد. روش بلانچینگ و زمان اعمال آن به‌طور معنی‌داری روی پارامترهای رنگ فلفل دلمه‌ای اثر داشت ($p < 0.05$) و افزایش زمان بلانچینگ باعث افزایش فاکتورهای L^* ، a^* و b^* گردید.

واژه‌های کلیدی: بلانچینگ، فلفل دلمه‌ای، مایکروویو، ویتامین C، پراکسیداز

مقدمه

اثرات مفید و سلامت‌بخش بسیاری از میوه‌جات و سبزی‌ها به محتوای بالای ویتامین‌ها، مواد معدنی، فیبر و سایر ترکیبات مانند فلاونوئیدها، کاروتنوئیدها و گلوکوزینولات‌ها مربوط است و نوع فرآیند، پیش‌تیمارها و زمان نگهداری علاوه بر این ترکیبات روی بافت، رنگ و طعم این محصولات مؤثر است (Severini et al., 2016).

بلانچینگ به عنوان یک عملیات حرارتی ضروری قبل از بسیاری از فرآیندهای نگهداری مانند خشک‌کردن، کنسروکردن و انجماد است و تا حد زیادی کیفیت محصول را تعیین می‌کند (Xiao et al., 2014). بلانچینگ با هدف غیرفعال کردن آنزیم‌هایی مانند پراکسیداز و پلی‌فنل اکسیداز برای جلوگیری از واکنش‌های احتمالی تخریب، بدطعمی و تغییرات نامطلوب در رنگ؛ کاهش بار میکروبی برای افزایش عمر مفید؛ حذف هوا از فضای درون سلولی برای افزایش سرعت انتقال گرما و جرم و جلوگیری از اکسیداسیون و نرم‌کردن بافت برای استحصال محصولات با بافت خاص انجام می‌شود (Wang et al., 2016; Sahraeian et al., 2024).

انتخاب روش بلانچینگ مناسب برای صنایع غذایی بسیار مهم است، زیرا انتخاب نامناسب می‌تواند بر خواص فیزیکی و تغذیه‌ای محصولات نهایی تأثیر منفی بگذارد. ارزیابی‌های متعددی برای یافتن فن‌آوری و زمان فرآوری مناسب برای هر محصول خاصی لازم است تا آنزیم‌های اصلی مسئول آسیب به کیفیت را غیرفعال کنند و در عین حال افت‌های نامطلوب در ویژگی‌های کیفی را به حداقل برسانند (Severini et

al., 2016). معمولاً غیرفعال‌شدن پراکسیداز به عنوان پایدارترین آنزیم در برابر گرما در سبزی‌ها، نشان‌دهنده کفایت بلانچینگ است (Gonçalves et al., 2009; Arnok et al., 2010).

در حال حاضر بلانچینگ با آب گرم (۷۰ تا ۱۰۰ درجه سلسیوس برای چند دقیقه) به دلیل اجرای ساده و آسان رایج‌ترین روش تجاری بلانچینگ است (Mukherjee and Chattopadhyay, 2007). ولی زمان‌بر بودن، مصرف زیاد آب و انرژی، استفاده از ترکیبات شیمیایی مانند سولفیت‌سديم و متابی سولفیت‌سديم برای حفظ رنگ و غیرفعال‌کردن میکروبی و خروج مواد مغذی محلول در آب، مانند ویتامین‌ها، طعم‌دهنده‌ها، مواد معدنی، کربوهیدرات‌ها، قندها و پروتئین‌ها از بافت گیاه به آب بلانچینگ و در نتیجه تولید پساب با BOD (Biological Oxygen Demand) بالا از معایب این روش است (Wang et al., 2016). برای رفع این مشکلات روش‌های بلانچینگ بهتر مانند بلانچینگ با بخار و روش‌های نوین مانند مایکروویو، گرمایش مادون قرمز، اهمی و فرکانس رادیویی استفاده می‌شود (Xanthakis et al., 2018; Wang et al., 2020).

بخار وسیله گرمایشی همه‌کاره است که علاوه بر حفظ رنگ اصلی غذا، تأثیر کمی بر کیفیت آن دارد (Deng et al., 2017). بلانچینگ قارچ چاقا (*Inonotus Obliquus*) با بخار محتوای فنلی محلول و فعالیت آنتی‌اکسیدانی را افزایش داد (Ju et al., 2010).

در بلانچینگ با مایکروویو، مواد قطبی انرژی مایکروویو را جذب و آن را از طریق چرخش دوقطبی مولکولی و یون‌های باردار در یک میدان الکتریکی

حداقل رساندن افت کیفیت، برای مواد غذایی مختلف ارزیابی شود (Jeevitha et al., 2015).

این مطالعه با هدف بررسی تأثیر روش بلانچینگ (مایکروویو، آب داغ و بخار) طی زمان متفاوت (۶۰، ۹۰ و ۱۲۰ ثانیه) بر برخی از خواص عملکردی فلفل دلمه‌ای سبز به‌ویژه ترکیبات پلی‌فنلی، محتوای ویتامین C، خاصیت آنتی‌اکسیدانی، رنگ، افت وزنی و فعالیت پراکسیداز انجام شد.

مواد و روش‌ها

- تهیه نمونه‌ها

نمونه‌های فلفل دلمه‌ای سبز (*Capsicum annum L.*) نسبتاً یکسان (متوسط وزن، قطر و ارتفاع به ترتیب $203/80 \pm 4/61$ گرم، $7/91 \pm 0/25$ سانتی‌متر و $8/11 \pm 0/31$ سانتی‌متر) از یک بازار محلی در شهر تبریز (ایران) خریداری و قبل از همه آزمایش‌ها در یخچال در دمای 4 ± 1 درجه سلسیوس و رطوبت نسبی ۹۰ درصد نگهداری شدند. برای هر تیمار بلانچینگ ۲۰۰ گرم نمونه فلفل دلمه‌ای با یک چاقوی استیل ضدزنگ به شکل تخت (۶ سانتی‌متر $\times$ ۲ سانتی‌متر) با ضخامت متوسط ۶ میلی‌متر بریده شد.

- فرآیندهای بلانچینگ

برای بلانچینگ با آب داغ نمونه‌های فلفل دلمه‌ای سبز (نسبت نمونه:آب ۵:۱ وزنی/وزنی) در آب داغ (۸۵ درجه سلسیوس) غوطه‌ور و به مدت ۶۰، ۹۰ و ۱۲۰ ثانیه بلانچ شدند. برای بلانچینگ با بخار نمونه‌های فلفل دلمه‌ای توسط بخارپز (تفال، VC1401، فرانسه) به مدت ۶۰، ۹۰ و ۱۲۰ ثانیه بلانچ شدند. برای بلانچینگ با مایکروویو نمونه‌های فلفل

متناوب با فرکانس بالا به گرمای دی‌الکتریک تبدیل می‌کنند (Chandrasekaran et al., 2013). گرمایش حجمی، افت کم مواد مغذی و تولید محصولات با کیفیت بالا از مزایای بلانچینگ با مایکروویو است (Bingol et al., 2014). بلانچینگ با مایکروویو در مقایسه با بلانچینگ با بخار یا آب داغ، باعث فعالیت آنتی‌اکسیدانی بالاتر و حفظ بهتر رنگ سبز در مارچوبه (asparagus) و در مخلوط آرد گندم-سبوس گندم-پودر هسته خرما شد (Sun et al., 2007; Sahraeian et al., 2024). بلانچینگ با مایکروویو در مقایسه با بلانچینگ معمولی با آب داغ به زمان‌های فرآوری کوتاه‌تری نیاز دارد و اسید آسکوربیک را بیشتر حفظ می‌کند (Ruiz-Ojeda and Peñas, 2013). طی بلانچینگ با مایکروویو فلفل، فعالیت آنتی‌اکسیدانی در اثر تشکیل مشتقات فنلی افزایش یافت (Dorantes-Alvarez et al., 2011). فلفل دلمه‌ای (*Capsicum annum L.*) به‌عنوان یک منبع غنی از اسید آسکوربیک، ویتامین A، فلاونوئیدها، ترکیبات زیست‌فعال و مواد معدنی است که در رنگ‌های مختلف (سبز، قرمز، نارنجی، بنفش و زرد) در سراسر جهان به‌عنوان غذا یا چاشنی استفاده می‌شود. با توجه به اینکه فرآیند بلانچینگ نامناسب می‌تواند تغییرات کیفی نامطلوبی مانند نرم‌شدن بافت، تخریب حرارتی مواد مغذی و ویتامین‌ها، آزادسازی و حل‌شدن مواد پکتیکی و همچنین خواص ارگانولپتیک نامطلوب در محصولات غذایی ایجاد کند، لذا باید شرایط فرآیند بلانچینگ (روش، زمان و دما) برای غیرفعال‌شدن آنزیم‌های مضر، یعنی حدود ۹۰ درصد از محتوای اولیه، برای به

- تعیین افت وزنی

به منظور ارزیابی کاهش آب نمونه‌ها طی بلانچینگ، نمونه‌ها قبل از بلانچینگ وزن و بلافاصله پس از بلانچینگ نمونه‌ها خارج شدند و در آب سرد قرار گرفتند تا به دمای اتاق (۲۵ درجه سلسیوس) برسند. آب سطحی با استفاده از کاغذ جاذب حذف شد و دوباره وزن شدند. نتایج به صورت درصد افت وزن با معادله زیر محاسبه شد (Wang et al., 2016).

دلمه‌ای درون ظرف پیرکس درب‌دار با استفاده از دستگاه مایکروویو (سامسونگ، GE280، کره جنوبی) با فرکانس ۲۴۵۰ مگاهرتز و توان ۹۰۰ وات به مدت ۶۰، ۹۰ و ۱۲۰ ثانیه بلانچ شدند. هر سه تیمار بلانچینگ سه بار تکرار و نمونه‌های بلانچ شده بلافاصله در آب سرد به مدت ۲-۳ دقیقه خنک و تا زمان انجام آزمایش‌ها در یخچال (۱±۴ درجه سلسیوس) نگهداری شدند (Severini et al., 2016).

$$\text{وزن نمونه بلانچ شده} - \text{وزن اولیه} \\ \text{درصد افت وزن} = \frac{\text{وزن اولیه}}{\text{وزن اولیه}} \times 100$$

- آزمون کمی و کیفی آنزیم پراکسیداز

برای آنالیز کیفی، فلفل دلمه‌ای سبز در آب دیونیزه (۳:۱ وزنی/حجمی) با آسیاب (مولینکس، Depose، فرانسه) خرد و از کاغذ صافی واتمن شماره ۴ فیلتر شد. سپس عصاره نمونه (۱ میلی‌لیتر) با ۱ میلی‌لیتر آب اکسیژنه (۰/۳ درصد) و ۰/۵ میلی‌لیتر محلول گایاکول (۱ درصد حجمی/حجمی در اتانول مطلق) مخلوط شد. محلول برای هرگونه تغییر رنگ بررسی گردید. ظهور رنگ قرمز وجود فعالیت آنزیم پراکسیداز را تأیید کرد. برای ارزیابی کمی فعالیت پراکسیداز، ۵ گرم فلفل دلمه‌ای در بافر فسفات (۷/۸ pH) حاوی ۱ درصد (وزنی-حجمی) پلی‌وینیل‌پیرولیدون (Polyvinylpyrrolidone)

$$\text{درصد فعالیت پراکسیداز باقی مانده} = \left[\frac{\text{جذب اولیه}}{\text{جذب نهایی}} \right] \times 100$$

- استخراج و تعیین فنل کل

فنل کل با استفاده از روش رنگ‌سنجی Foline Ciocalteu تعیین شد. بدین منظور، ۲/۵ گرم از نمونه

خرد و در دمای ۴ درجه سلسیوس به مدت ۱۰ دقیقه سانتریفیوژ (۳۰۰۰ × g) شد (PIT 320, Universal، تهران، ایران). مایع رویی (عصاره آنزیمی خام) حاصل برای سنجش کمی پراکسیداز استفاده شد. در حجم نهایی ۳ میلی‌لیتر، مخلوط آزمایشی حاوی ۵۰ میلی‌مول در لیتر بافر فسفات سدیم (۷/۰ pH)، ۱۲ میلی‌مول بر لیتر آب اکسیژنه، ۷ میلی‌مول بر لیتر گایاکول و ۰/۱ میلی‌لیتر عصاره آنزیمی بود. اسپکتروفتومتر UV-Vis (Ultrospec 2000, Pharmacia Biotech Ltd., Cambridge, UK) برای ثبت افزایش جذب در ۴۷۰ نانومتر به مدت ۳ دقیقه استفاده شد. تغییر جذب از قرائت اولیه تا قرائت نهایی به عنوان فعالیت پراکسیداز باقی مانده در نظر گرفته شد (Saini et al., 2023).

با ۷۵ میلی‌لیتر محلول استون:آب (۳۰:۷۰، حجمی-حجمی) به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۴ درجه سلسیوس استخراج و سپس مخلوط فیلتر شد.

میلی‌لیتر رسید. پس از ۱۵ دقیقه، جذب در طول موج ۷۶۰ نانومتر نسبت به معرفی که به‌همین روش آماده‌شده اما بدون اسید ال آسکوربیک بود اندازه‌گیری گردید.

برای آماده‌سازی نمونه، ۵ گرم نمونه با ۱۰۰ میلی‌لیتر محلول اگزالیک اسید-EDTA در مخلوط‌کن به مدت حدود ۲ دقیقه استخراج شد. عصاره حاصل پس از صاف‌شدن با کاغذ صافی سانتریفیوژ (g × ۳۰۰۰) گردید. سپس مقدار ۵ میلی‌لیتر از آن به یک بالن ژوژه ۲۵ میلی‌لیتری منتقل و سایر واکنش‌دهنده‌ها همان‌طور که در بالا توضیح داده شد برای ایجاد رنگ اضافه شدند. پس از ۱۵ دقیقه محلول آبی دوباره صاف و جذب آن در ۷۶۰ نانومتر اندازه‌گیری و غلظت اسید آسکوربیک از منحنی استاندارد تعیین گردید (Alizadeh et al., 2020).

- فعالیت آنتی‌اکسیدانی

فعالیت آنتی‌اکسیدانی بر اساس مهار رادیکال‌های آزاد به‌روش DPPH مشخص شد. ۲۰ میلی‌لیتر متانول به نمونه (۱۵ گرم) اضافه و توسط اولتراسونیکس هوموژن (۲۵۰۰۰ rpm، ۲۵ S) گردید. سپس مخلوط در دمای ۴ درجه سلسیوس به مدت ۴۰ دقیقه سانتریفیوژ (g × ۴۰۰۰) شد. سپس، فاز رویی مخلوط با متانول به نسبت ۱:۲۵ رقیق گردید. ۱ میلی‌لیتر از رقت حاصل به ۱ میلی‌لیتر متانول اضافه و با ۰/۵ میلی‌لیتر محلول DPPH (۰/۵ میلی‌مول در لیتر متانول؛ حجمی/حجمی) مخلوط شد. مخلوط‌ها به مدت ۱۵ دقیقه در دمای اتاق و در تاریکی انکوبه شدند. جذب در ۵۱۷ نانومتر قرائت و متانول (۲ میلی‌لیتر) با ۰/۵ میلی‌لیتر DPPH به‌عنوان شاهد استفاده شد. فعالیت

باقی‌مانده با ۷۵ میلی‌لیتر متانول مجدداً استخراج و عصاره‌های حاصل باهم ترکیب و تا خشک‌شدن تبخیر شدند. سپس، باقی‌مانده در ۵۰ میلی‌لیتر آب مقطر حل و ۱۵۰ میلی‌لیتر از عصاره با ۰/۵ میلی‌لیتر آب مقطر و ۱۲۵ میلی‌لیتر معرف Foline Ciocalteau مخلوط شد. پس از ۶ دقیقه، ۱/۲۵ میلی‌لیتر کربنات سدیم (۷/۵ گرم کربنات سدیم در ۱۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر) و ۳ میلی‌لیتر آب اضافه گردید. سپس مخلوط به مدت ۹۰ دقیقه در دمای اتاق و در تاریکی نگه‌داری و جذب در ۷۶۰ نانومتر اندازه‌گیری شد. مقادیر اندازه‌گیری‌شده با منحنی استاندارد اسید گالیک مقایسه و به‌صورت میلی‌گرم اسید گالیک در هر ۱۰۰ گرم نمونه بیان شد (Martínez et al., 2013).

- مقدار اسید آسکوربیک

برای تعیین مقدار اسید آسکوربیک از روش جذب اسپکتروفتومتری در ۷۶۰ نانومتر استفاده گردید و غلظت اسید آسکوربیک (میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم) از روی منحنی استاندارد اسید آسکوربیک تعیین گردید. برای تهیه منحنی استاندارد اسید ال آسکوربیک، مقادیر ۰/۱، ۰/۲، ۰/۳، ۰/۴، ۰/۵ و ۰/۶ میلی‌لیتر از محلول استاندارد اسید آسکوربیک (۰/۱ درصد در محلول اگزالیک اسید-EDTA) به بالن ژوژه ۲۵ میلی‌لیتری با پیت اضافه شد. سپس محلول اگزالیک اسید-EDTA (۰/۰۵ مولار حاوی ۰/۰۲ میلی‌مول EDTA) اضافه گردید تا حجم کل ۵ میلی‌لیتر شود. به هر بالن ۰/۵ میلی‌لیتر محلول متافسفریک اسید-اسید استیک و ۱ میلی‌لیتر اسید سولفوریک ۵ درصد حجمی-حجمی و سپس ۲ میلی‌لیتر معرف مولیبدات آمونیوم (۵ درصد وزنی-حجمی) اضافه و با آب مقطر به حجم ۲۵

آنتی‌اکسیدانی به‌عنوان درصد مهار از فرمول زیر محاسبه شد (Martínez et al., 2013):

$$\text{درصد مهار} = \left[\frac{A_{\text{نمونه}} - A_{\text{شاهد}}}{A_{\text{شاهد}}} \right] \times 100$$

- آزمون رنگ

رنگ نمونه‌های فلفل دلمه‌ای سبز با رنگ‌سنج هانترلب (Colorflex EZ، آمریکا) که از قبل با

$$\Delta E = \sqrt{(L^* - L_0)^2 + (a^* - a_0)^2 + (b^* - b_0)^2}$$

یافته‌ها

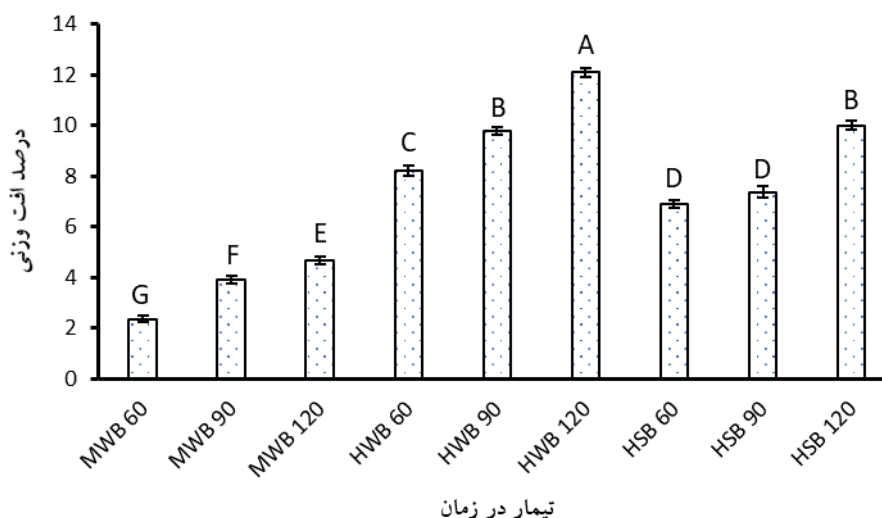
- افت وزنی نمونه‌ها

تاثیر روش و زمان بلانچینگ و اثر متقابل آنها بر کاهش وزن نمونه‌های فلفل دلمه‌ای سبز معنی‌دار بود ($P < 0.05$) (نمودار ۱). میزان کاهش وزن فلفل دلمه‌ای سبز در اثر بلانچینگ با روش مایکروویو، بخار و آب داغ و طی زمان‌های مختلف به‌ترتیب در محدوده ۲/۶۳۶ - ۴/۶۸، ۵/۵۶ - ۷/۹۶ و ۹/۱۵ - ۱۲/۱۱ درصد بود. با افزایش زمان بلانچینگ در همه روش‌ها کاهش وزن به‌صورت معنی‌دار افزایش یافت ($p < 0.05$) به‌طوری‌که کم‌ترین و بیش‌ترین کاهش وزن به‌ترتیب مربوط به روش مایکروویو ۶۰ ثانیه و آب داغ ۱۲۰ ثانیه بود. تفاوت معنی‌داری در افت وزنی نمونه‌های بلانچ‌شده با بخار طی ۶۰ و ۹۰ ثانیه مشاهده نشد ($p > 0.05$).

تفاوت رنگ کل (total color difference (TCD))، شاخصی از تغییر رنگ کلی نمونه‌ها نسبت به نمونه شاهد است که در آن L_0 ، a_0 و b_0 پارمترهای رنگ نمونه‌های شاهد و L^* ، a^* و b^* پارمترهای رنگ نمونه‌های تیمارشده هستند. تفاوت قابل تشخیص در رنگ را می‌توان از نظر تحلیلی به‌عنوان بسیار متمایز (۳ $TCD >$)، متمایز (۳ $TCD <$ ۱/۵) و تفاوت کم ($TCD <$ ۱/۵) طبقه‌بندی کرد (Patras et al., 2011).

- آنالیز آماری

به‌منظور بررسی تفاوت‌های معنی‌دار بین تیمارهای مختلف، طرح فاکتوریل بر پایه بلوک‌های کامل تصادفی با ۳ تکرار انجام گردید. آنالیز واریانس (ANOVA) با فاصله اطمینان ۹۵ درصد ($P < 0.05$) و مقایسه میانگین‌ها با آزمون توکی با استفاده از برنامه مینی تب نسخه ۲۱/۴ (مینی تب، پنسیلوانیا، ایالات متحده آمریکا) انجام شد.



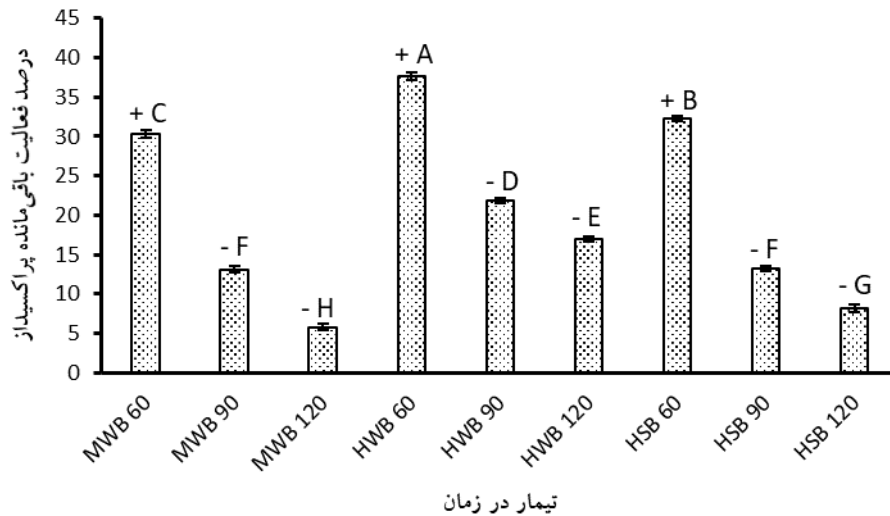
نمودار (۱) - تاثیر روش و زمان بلانچینگ بر افت وزنی فلفل دلمه‌ای سبز

(MWB: بلانچینگ با میکروویو، HWB: بلانچینگ با آب داغ، HSB: بلانچینگ با بخار؛ اعداد ۶۰، ۹۰ و ۱۲۰ نشان‌دهنده زمان بلانچینگ به ثانیه). حروف مشابه بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۹۵ درصد.

- کمیت و کیفیت فعالیت آنزیم پراکسیداز

روش و زمان بلانچینگ و اثر متقابل آنها تاثیر قابل توجهی در غیرفعال‌سازی آنزیم پراکسیداز فلفل دلمه‌ای سبز داشت ($P < 0.05$) و با افزایش زمان بلانچینگ در هر سه روش میزان فعالیت باقی‌مانده پراکسیداز کاهش یافت (نمودار ۲). اعمال هر سه روش بلانچینگ به مدت ۶۰ ثانیه نتوانست آنزیم پراکسیداز را غیرفعال نماید (باقی‌مانده مثبت، عدم کفایت بلانچینگ) که می‌تواند به مقدار کم‌تر شوک

حرارتی وارد شده به آنزیم پراکسیداز در زمان کوتاه‌تر نسبت داده شود. بیش‌ترین و کم‌ترین کاهش قابل توجه ($P < 0.05$) در فعالیت باقی‌مانده پراکسیداز در تمام نمونه‌های بلانچ شده به ترتیب در روش میکروویو ۱۲۰ ثانیه و آب داغ ۶۰ ثانیه مشاهده شد که نشان‌دهنده شدت دناتوراسیون آنزیمی توسط امواج میکروویو با قدرت بالا و در زمان طولانی است.



نمودار (۲) - تاثیر روش و زمان بلانچینگ بر فعالیت آنزیم پراکسیداز فلفل دلمه‌ای سبز

MWB: بلانچینگ با میکروویو، HWB: بلانچینگ با آب داغ، HSB: بلانچینگ با بخار؛ اعداد ۶۰، ۹۰ و ۱۲۰ نشان‌دهنده زمان بلانچینگ به ثانیه؛ علامت + و - به ترتیب نشان‌دهنده عدم کفایت و کفایت بلانچینگ). حروف مشابه بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۹۵ درصد.

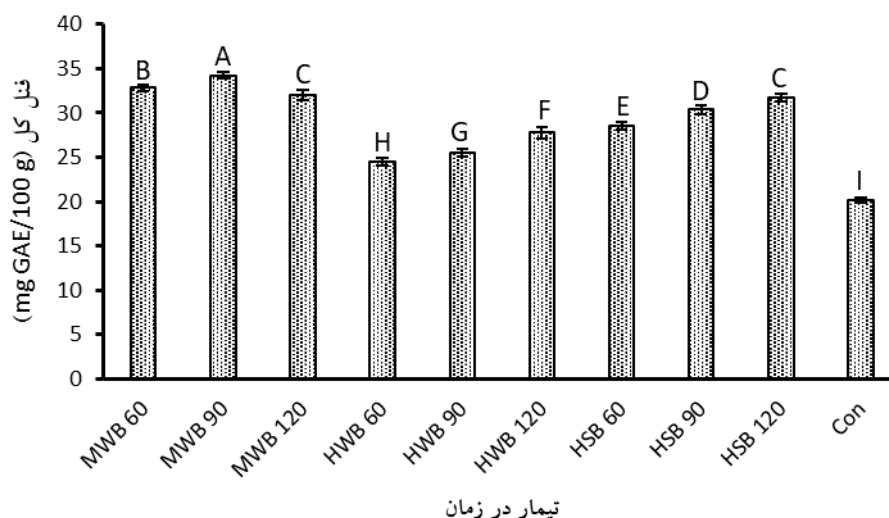
- فنل کل

روش و زمان بلانچینگ و اثر متقابل آنها تاثیر

معنی‌داری بر مقدار فنل کل نمونه‌های فلفل دلمه‌ای سبز داشت ($P < 0.05$) (نمودار ۳). اعمال هر سه روش بلانچینگ روی فلفل دلمه‌ای و نیز افزایش زمان بلانچینگ باعث افزایش محتوای فنل کل نمونه‌های فلفل دلمه‌ای سبز شد، به گونه‌ای که روش بلانچینگ آب داغ، بخار و میکروویو طی زمان ۶۰ تا ۱۲۰ ثانیه

به ترتیب باعث افزایش ۴/۳۱ - ۷/۶۵، ۸/۴۴ - ۱۱/۵۶

و ۱۲/۶۷ - ۱۶/۱۰ درصد در محتوای فنل کل نمونه‌های فلفل دلمه‌ای شد. تفاوت معنی‌دار در محتوای فنل کل نمونه‌های بلانچ شده به روش میکروویو و بخار به مدت ۱۲۰ ثانیه مشاهده نشد ($P > 0.05$).



نمودار (۳)- تاثیر روش و زمان بلانچینگ بر محتوای فنل کل فلفل دلمه‌ای سبز

MWB: بلانچینگ با مایکروویو، HWB: بلانچینگ با آب داغ، HSB: بلانچینگ با بخار؛ Con: نمونه شاهد؛ اعداد ۶۰، ۹۰ و ۱۲۰ نشان‌دهنده زمان

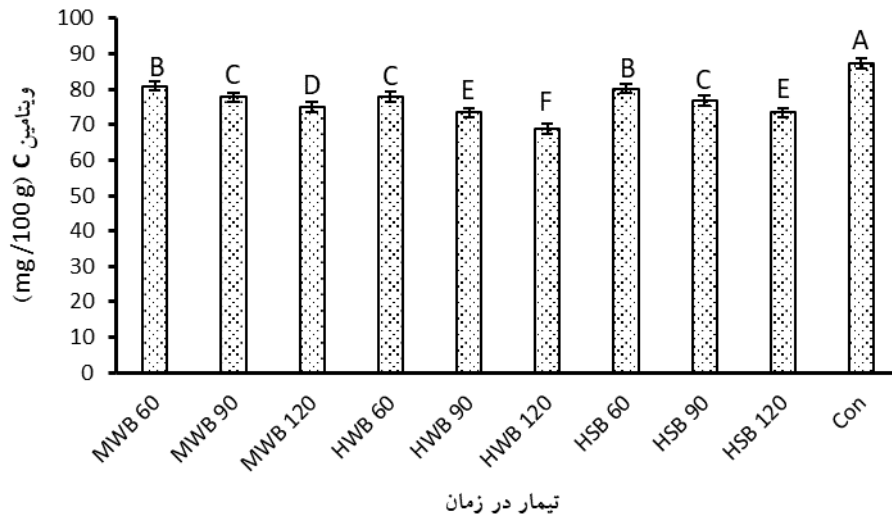
بلانچینگ به ثانیه). حروف مشابه بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۹۵ درصد.

- مقدار اسید آسکوربیک

محتوای اسید آسکوربیک فلفل دلمه‌ای‌های سبز بلانچ‌شده با روش‌های متفاوت در نمودار ۴ آورده شده است. روش و زمان بلانچینگ و اثر متقابل آنها تاثیر معنی‌دار بر مقدار اسید آسکوربیک باقی‌مانده داشت ($P < 0.05$) و فلفل دلمه‌ای‌های سبز بلانچ‌شده با روش مایکروویو و بخار (۶۰ ثانیه) و آب داغ (۱۲۰ ثانیه) به ترتیب بیش‌ترین و کم‌ترین میزان اسید آسکوربیک را داشتند و افزایش زمان بلانچینگ در همه روش‌ها

باعث کاهش میزان اسید آسکوربیک گردید. نمونه‌های

فلفل دلمه‌ای سبز بلانچ‌شده با مایکروویو و بخار (۶۰ ثانیه)؛ نمونه‌های فلفل دلمه‌ای سبز بلانچ‌شده با مایکروویو و بخار (۹۰ ثانیه) و آب داغ (۶۰ ثانیه) و نمونه‌های فلفل دلمه‌ای سبز بلانچ‌شده با بخار (۱۲۰ ثانیه) و آب داغ (۹۰ ثانیه) از نظر محتوای اسید آسکوربیک باقی‌مانده تفاوت معنی‌دار نداشتند ($P > 0.05$).



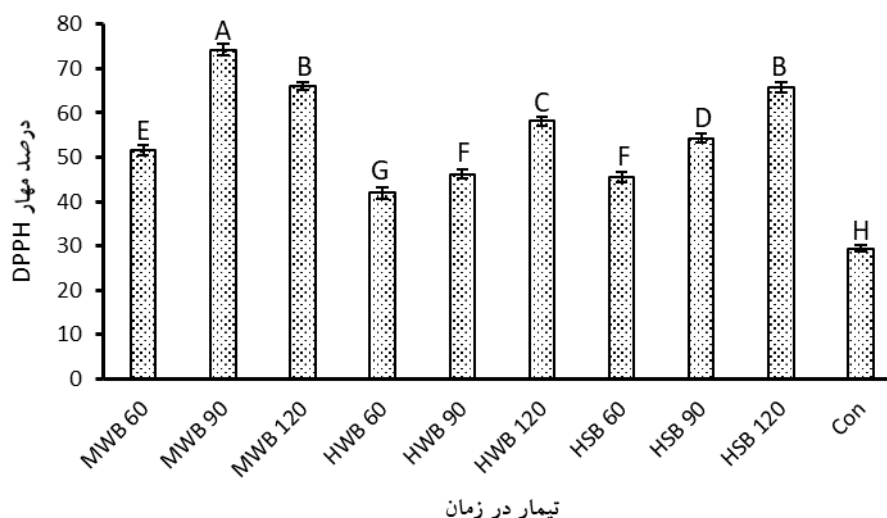
نمودار (۴) - تاثیر روش و زمان بلانچینگ بر محتوای اسید آسکوربیک فلفل دلمه‌ای سبز

MWB: بلانچینگ با مایکروویو، HWB: بلانچینگ با آب داغ، HSB: بلانچینگ با بخار؛ Con: نمونه شاهد؛ اعداد ۶۰، ۹۰ و ۱۲۰ نشان‌دهنده زمان بلانچینگ به ثانیه). حروف مشابه بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۹۵ درصد.

- فعالیت آنتی‌اکسیدانی

روش و زمان بلانچینگ و اثر متقابل آنها تاثیر معنی‌دار بر مقدار اسید آسکوربیک باقی‌مانده فلفل دلمه‌ای سبز داشت ($P < 0.05$) (نمودار ۵). افزایش زمان بلانچینگ در روش بخار و آب داغ باعث افزایش هر سه فعالیت آنتی‌اکسیدانی فلفل دلمه‌ای سبز شد ولی در روش بلانچینگ با مایکروویو افزایش بیش‌تر زمان باعث کاهش فعالیت آنتی‌اکسیدانی فلفل دلمه‌ای سبز شد. کم‌ترین و بیش‌ترین افزایش در فعالیت

آنتی‌اکسیدانی فلفل دلمه‌ای سبز به ترتیب در نمونه‌های بلانچ‌شده با آب داغ (۶۰ ثانیه) و مایکروویو (۹۰ ثانیه) مشاهده شد. تفاوت معنی‌دار بین نمونه‌های فلفل دلمه‌ای سبز بلانچ‌شده با مایکروویو و بخار (۱۲۰ ثانیه)؛ نمونه‌های فلفل دلمه‌ای سبز بلانچ‌شده با بخار (۶۰ ثانیه) و آب داغ (۹۰ ثانیه) از نظر فعالیت آنتی‌اکسیدانی مشاهده نشد ($P > 0.05$).



نمودار (۵)- تاثیر روش و زمان بلانچینگ بر فعالیت آنتی اکسیدانی فلفل دلمه‌ای سبز

MWB: بلانچینگ با مایکروویو، HWB: بلانچینگ با آب داغ، HSB: بلانچینگ با بخار؛ Con: نمونه شاهد؛ اعداد ۶۰، ۹۰ و ۱۲۰ نشان‌دهنده زمان بلانچینگ به ثانیه). حروف مشابه بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۹۵ درصد.

- رنگ

فلفل دلمه‌ای‌هاست. افزایش زمان در همه روش‌های بلانچینگ باعث افزایش مقدار پارامتر a^* و b^* شد که به ترتیب نشان‌دهنده کاهش رنگ سبز و افزایش رنگ زرد فلفل دلمه‌ای‌هاست. اختلاف رنگ کلی (ΔE) نسبت به نمونه کنترل در نمونه‌های حاصل از بلانچینگ به روش مایکروویو (۹۰ ثانیه) در محدوده متمایز؛ و برای نمونه‌های حاصل از بلانچینگ به روش مایکروویو (۱۲۰ ثانیه)، آب داغ (۱۲۰ ثانیه) و بخار (۹۰ و ۱۲۰ ثانیه) بسیار متمایز بود.

تغییر در پارامترهای رنگ (L^* ، a^* و b^*) فلفل دلمه‌ای پس از اعمال بلانچینگ با روش‌ها و زمان‌های متفاوت در جدول ۱ ارائه شده است. روش و زمان بلانچینگ و اثر متقابل آنها به‌طور معنی‌داری روی پارامترهای رنگ فلفل دلمه‌ای سبز اثر داشت ($P < 0.05$)، به‌طوری‌که روش بلانچینگ با مایکروویو به مدت ۱۲۰ و ۶۰ ثانیه به ترتیب بیش‌ترین و کم‌ترین مقدار پارامتر L^* را نشان دادند. افزایش زمان بلانچینگ در تمام روش‌ها باعث افزایش پارامتر L^* گردید که نشان‌دهنده افزایش روشنی (شفافیت) رنگ

جدول (۱) - تاثیر روش و زمان بلانچینگ بر پارامترهای رنگی فلفل دلمه‌ای سبز

روش بلانچینگ	فاکتور رنگی			
	L*	a*	b*	ΔE
زمان در تیمار				
MWB 60	37/02 ± 0/20 ^F	-14/22 ± 0/12 ^F	22/39 ± 0/32 ^C	0/23
MWB 90	38/47 ± 0/28 ^{DE}	-12/08 ± 0/20 ^D	22/97 ± 0/20 ^{ABC}	2/49
MWB 120	45/33 ± 0/28 ^A	-9/66 ± 0/24 ^{AB}	23/52 ± 0/21 ^{AB}	9/33
HWB 60	37/25 ± 0/30 ^F	-14/11 ± 0/15 ^{EF}	22/28 ± 0/32 ^C	0/08
HWB 90	37/71 ± 0/56 ^{EF}	-13/53 ± 0/34 ^E	22/56 ± 0/48 ^C	0/8
HWB 120	39/39 ± 0/24 ^D	-11/13 ± 0/20 ^A	23/60 ± 0/21 ^{AB}	3/92
HSB 60	37/29 ± 0/29 ^F	-14/25 ± 0/17 ^F	22/20 ± 0/32 ^C	0/19
HSB 90	41/57 ± 0/41 ^C	-9/49 ± 0/25 ^C	23/71 ± 0/21 ^{BC}	7/50
HSB 120	43/64 ± 0/28 ^B	-10/25 ± 0/20 ^B	23/71 ± 0/20 ^A	7/51
Con	37/24 ± 0/31 ^F	-14/15 ± 0/27 ^F	22/36 ± 0/29 ^C	0

MWB: بلانچینگ با میکروویو، HWB: بلانچینگ با آب داغ، HSB: بلانچینگ با بخار؛ Con: نمونه شاهد؛ اعداد 60، 90 و 120 نشان‌دهنده زمان بلانچینگ به ثانیه). حروف مشابه در هر ستون بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال 95 درصد.

بحث و نتیجه‌گیری

کاهش وزن طی فراوری یک مشکل جدی برای میوه‌ها و سبزیجات است که باعث کاهش سودآوری و اثرات منفی بر کیفیت محصول مانند بافت نامناسب، چروکیدگی و بدرنگی می‌شود. هنگام استفاده از انرژی میکروویو مرکز گیاه یا میوه به سرعت به درجه حرارت مورد نظر می‌رسد و این درجه حرارت کمتر از درجه حرارت بحرانی (که باعث آسیب رساندن به بافت میوه می‌شود) است، در نتیجه بافت بهتر حفظ می‌شود و رطوبت به همراه سایر ترکیبات را در ساختار خود حفظ می‌کند (Wang et al., 2001). با این حال دلیل کاهش رطوبت نمونه‌ها نیز می‌تواند حرارت تولیدشده طی فرایند میکروویو باشد. بر اساس نتایج مشابه در لوبیا سبز و فلفل دلمه‌ای قرمز بلانچینگ با آب داغ کاهش وزن بیش‌تری نسبت به

میکروویو و هوای داغ با رطوبت بالا ایجاد کرد و کاهش وزن با افزایش زمان بلانچینگ و قدرت میکروویو افزایش یافت (Ruiz-Ojeda and Peñas, 2013; Wang et al., 2016). همچنین بلانچینگ با آب داغ کاهش وزن بیش‌تری نسبت به بلانچینگ مادون قرمز برای سیب‌زمینی سرخ‌شده داشت (Bingol et al., 2014). کاهش وزن طی بلانچینگ با آب داغ عمدتاً ناشی از شسته‌شدن و انتشار مواد مغذی محلول در آب مانند ویتامین‌ها، مواد عطر و طعم‌دهنده، مواد معدنی، کربوهیدرات‌ها، قندها و پروتئین‌ها از بافت گیاه به آب بلانچینگ است (Mukherjee and Chattopadhyay, 2007). طی بلانچینگ با میکروویو، رطوبت موجود در سبزیجات ممکن است تبخیر شود و به ناچار باعث کاهش آب شود و نیز میکروویو دیواره‌های سلولی و حتی ریزساختار محصول را از بین می‌برد که ممکن

است کاهش وزن را افزایش دهد. در بلانچینگ سیبزمینی با کمک فرکانس رادیویی با افزایش دمای نهایی، کاهش وزن افزایش یافت که این پدیده با آسیب سلولی و از بین رفتن ریزساختار نمونه‌ها در اثر فرکانس رادیویی (تاییدشده با میکروسکوپ الکترونی روبشی) و در نتیجه خروج مواد مغذی و افزایش تبخیر آب در ارتباط بود (Zhang et al., 2018). برای کاهش اتلاف آب طی بلانچینگ با مایکروویو و افزایش جذب گرما، سبزیجات ممکن است در حالی که در آب غوطه‌ور هستند گرم شوند. با این حال، این روش ممکن است باعث از دست رفتن مواد مغذی محلول در آب از طریق شستشو یا انتشار شود (Wang et al., 2016).

کاهش وزن در نمونه‌های حاصل از بلانچینگ با بخار می‌تواند به خروج ترکیبات فرار در اثر نفوذ بخار آب به بافت و نیز شسته شدن برخی از ترکیبات محلول همراه بخار کندانس مربوط باشد. یک سیستم اسپری آب گرم برای کاهش مشکلات کاهش وزن طی بلانچینگ با بخار استفاده شد (Sotome et al., 2009). اکسیداسیون ترکیبات فنلی توسط آنزیم‌های اکسیدوردوکتاز منجر به واکنش قهوه‌ای شدن آنزیمی در میوه‌جات و سبزیجات می‌شود و پراکسیداز مقاوم‌ترین آنزیم اکسیدوردوکتاز است که در سبزیجات یافت می‌شود و از آن برای سنجش اثربخشی و کفایت بلانچینگ استفاده می‌شود. در صورت غیرفعال شدن پراکسیداز، سایر آنزیم‌های کمتر مقاوم در برابر حرارت نیز از بین می‌روند (Saini et al., 2023). نتایج بررسی‌ها نشان داد که میزان غیرفعال‌سازی با افزایش زمان برای روش‌های سنتی بلانچینگ (آب داغ و بخار)

و مایکروویو در کلم بروکلی افزایش یافت (Severini et al., 2016). در توان و شدت‌های حرارتی بالاتر، امواج مایکروویو و حرارت اعمال‌شده تنش‌های حرارتی ایجاد می‌کنند که موجب اصلاح ساختار ثانویه آنزیم‌ها و در نتیجه باعث کاهش فعالیت آن‌ها می‌شود (Zhang et al., 2023). همچنین با افزایش قدرت و زمان مایکروویو در بلانچینگ فلفل دلمه‌ای قرمز، سیبزمینی رنگی و سیبزمینی شیرین، مقدار پراکسیداز کاهش یافت (Saini et al., 2016; Wang et al., 2023; Liu et al., 2015). دلیل این امر به گرمایش بخش‌های مرکز و سطح به‌طور هم‌زمان نسبت داده می‌شود که در نتیجه باعث تخریب بیشتر می‌شود. مقدار فعالیت باقی‌مانده پراکسیداز در فلفل دلمه‌ای قرمز ۱۶/۴۳ درصد در قدرت مایکروویو بالا (۹۰۰ وات) برای ۱۰۰ ثانیه بلانچینگ گزارش شده است (Wang et al., 2016). کاهش ۹۰ درصدی فعالیت آنزیم پراکسیداز به‌منظور بلانچینگ مناسب برای حفظ کیفیت مطلوب سبزی غیرپاستوریزه توصیه شده است که در مطالعه حاضر روش بلانچینگ با مایکروویو و بخار به مدت ۱۲۰ ثانیه به این هدف رسید (Bahceci et al., 2005). تفاوت در فعالیت باقی‌مانده پراکسیداز برای روش‌های مختلف بلانچینگ را می‌توان به تفاوت در نحوه عمل نسبت داد.

پلی‌فنل‌ها به‌علت خواص آنتی‌اکسیدانی قادرند رادیکال‌های آزاد را از بین ببرند و از چندین واکنش اکسیداتیو توسط خود اکسیداسیون جلوگیری کنند. بلانچینگ به‌عنوان یکی از مهم‌ترین فرآیندهای مورد استفاده در فرآوری میوه‌جات و سبزیجات برای غیرفعال کردن آنزیم‌ها است که از اکسیدشدن

پلی‌فنل‌های موجود در آنها جلوگیری می‌کند و در نتیجه از دست‌دادن مواد مغذی را کاهش می‌دهد و کیفیت غذا را بهبود می‌بخشد (Saini et al., 2023). نوع فرایند استخراج عامل مؤثر در میزان ترکیبات فنلی بسیاری از ترکیبات فنلی و ضد اکساینده است. ترکیبات فنلی، متصل با پیوندهای کولانسی با سایر ترکیبات نظیر مولکول‌های قند و پروتئین، در بافت وجود دارند هستند که انرژی میکروویو می‌تواند منجر به افزایش دسترسی زیستی ترکیبات فنلی از طریق شکستن این پیوندها گردد. محتوای آب عصاره به‌عنوان مهم‌ترین فاز جاذب انرژی میکروویو، نقش مهمی را در تأثیرگذار بودن این تیمار ایفا می‌کند (حیات و همکاران، ۲۰۱۰). در نتیجه بیشترین افزایش در فعالیت آنتی‌اکسیدانی فلفل دلمه‌ای سبز در استفاده از میکروویو در مقایسه تیمار آب داغ رخ داد. برخی از تحقیقات افزایش محتوای ترکیبات فنلی و فعالیت آنتی‌اکسیدانی عصاره‌های گیاهی با تیمار میکروویو را گزارش نموده‌اند (Ravichandran et al, 2012; Iqual et al., 2010). استفاده از بلانچینگ با میکروویو باعث افزایش محتوای ترکیبات فنلی و خاصیت آنتی‌اکسیدانی در فلفل دلمه‌ای سبز منجمد در مقایسه با روش‌های بلانچینگ آب داغ و بخار شد (Norafida and Aminah, 2018). به‌طور مشابه، در سیب‌زمینی رنگی و شب‌بوی آفریقایی (*Solanum retroflexum*) نیز افزایش محتوای فنلی در اثر روش‌های مختلف بلانچینگ و پخت گزارش شده است (Saini et al., 2023; Managa et al., 2020). به‌نظر می‌رسد به‌هم‌ریختگی کمپلکس‌های پلی‌فنل-پروتئین به‌واسطه گرما باعث استخراج پلی‌فنل‌ها می‌شود و غیرفعال شدن

آنزیم نیز باعث افزایش افزایش محتوای فنلی می‌شود (Heras-Ramírez et al., 2020; Managa et al., 2020). نتایج نشان داد که جوشاندن در آب (°C ۹۸ به مدت ۱۵ دقیقه)، و حرارت‌دهی با میکروویو (۹۰۰ W به مدت ۵ دقیقه) باعث کاهش به‌ترتیب ۴۸/۹ و ۴۳/۱ درصدی و بخارپز کردن (°C ۹۸ به مدت ۱۵ دقیقه) باعث افزایش ۲۶/۲۶ درصدی محتوای فنل کل در کلم چینی (*Brassica rapa L. subsp. chinensis*) گردید (Managa et al., 2020). همچنین با افزایش قدرت میکروویو از ۱۰۰ به ۳۰۰ وات، نمونه‌های سیب‌زمینی رنگی افزایش محتوای فنل کل را طی زمان نشان دادند، اما این افزایش تنها تا ۳۰۰ وات ادامه داشت و افزایش‌های بیشتر در قدرت میکروویو (۹۰۰ وات) منجر به کاهش ۱۴/۹ درصد برای سیب‌زمینی بنفش و ۲۲/۸۸ درصد برای گونه *Lady Rosetta* شد (Saini et al., 2023). افزایش قدرت میکروویو انرژی الکتریکی جذب‌شده به محلول و مواد را افزایش می‌دهد که باعث افزایش تحرک مولکول‌های قطبی و در نتیجه باعث افزایش دمای محلول و مواد و سرعت بخشیدن به فرایند تجزیه می‌شود. علاوه بر این، تغییر در مقادیر فنل کل بر اساس توان میکروویو ممکن است نتیجه افزایش محتوای فنلی ناشی از آسیب سلولی باشد، در حالی که کاهش فنل کل می‌تواند به‌دلیل تولید گرما در ۹۰۰ وات و فعالیت باقی‌مانده پراکسیداز در ۱۰۰ وات باشد (Saini et al., 2023).

کاهش محتوای اسید آسکوربیک ارتباط نزدیکی با شستشوی مواد جامد محلول به آب بلانچینگ دارد که اشکال اصلی بلانچینگ با آب گرم است (Latorre et al., 2013; Severini et al., 2016). نتایج مشابهی

باشد. دمای بالا و زمان کوتاه در هنگام بلانچینگ و نبود فرآیند شسته شدن (مانند بلانچینگ با مایکروویو) مواد مغذی مانند اسید آسکوربیک را بهتر حفظ می کند (Ruiz-Ojeda and Peñas, 2013; Rathi, 2019).

نتایج مشابه با یافته های تحقیق حاضر برای فعالیت آنتی اکسیدانی در سیب زمینی رنگی و سیب زمینی بنفش شیرین گزارش شده است (Saini et al., 2023; Marzuki et al., 2021). احتمالاً شسته شدن آنتی اکسیدان های آب دوست مانند اسید آسکوربیک و ترکیبات فنلی در آب گرم مسئول افزایش کمتر ظرفیت آنتی اکسیدانی نمونه های بلانچ شده با آب داغ است (Wang et al., 2016). به علاوه، نمونه های تیمار شده با مایکروویو دارای مقدار فعالیت آنتی اکسیدانی کل بیش تری نسبت به نمونه های دیگر بودند که می تواند به این دلیل باشد که امواج مایکروویو می توانند دیواره های سلولی گیاهی را بشکنند و آزاد شدن آنتی اکسیدان ها (مانند ترکیبات فنلی) را آسان تر کنند. در عین حال، این پدیده در سطوح زمانی بالاتر چندان مؤثر نیست، که به نظر می رسد به دلیل اثرات مخرب تولید گرمای زیاد باشد (Saini et al., 2023). از نتایج فوق می توان نتیجه گرفت که مناسب ترین روش بلانچینگ برای حفظ ترکیبات زیست فعال موجود در فلفل دلمه ای مایکروویو است.

رنگ یکی از ویژگی های مهم مقبولیت میوه ها و سبزی ها از نظر مصرف کننده است. تغییرات رنگی نمونه ها طی پرتودهی و نگهداری را می توان به تخریب ویتامین C، کاروتنوئیدها و سایر رنگدانه ها در اثر حرارت حاصل از مایکروویو و عوامل محیطی نسبت

برای بلانچینگ سیب زمینی، فلفل دلمه ای قرمز و انبه گزارش شده است (Mukherjee; Saini et al., 2023; Ambe et al., 2020; and Chattopadhyay, 2007; Xanthakis et al., 2018; Wang et al., 2016).

بر اساس نتایج از میان روش های مختلف بلانچینگ فلفل دلمه ای سبز کم ترین افت اسید آسکوربیک مربوط به روش مایکروویو (40°C ، 230°W/g) (ثانیه) و بیش ترین افت مربوط به روش آب داغ (90°C - 92°C درجه سلسیوس، 140°C ثانیه) بود و در روش بلانچینگ با بخار فوق داغ دمای بخار کم تر و زمان فرآیند بیش تر باعث کاهش افت اسید آسکوربیک گردید (Jeevitha et al., 2015). نتایج نشان داده است که بلانچینگ با استفاده از مایکروویو، مادون قرمز و یا بخار فوق داغ می تواند یک روش بالقوه برای حفظ اسید آسکوربیک در مقایسه با بلانچینگ معمولی باشد. با افزایش توان مایکروویو از 100 به 900 وات در بلانچینگ برش های سیب زمینی و از 650 تا 900 وات در بلانچینگ فلفل دلمه ای قرمز به دلیل اینکه امواج الکترومغناطیسی به تخریب ویتامین C کمک می کند، محتوای اسید آسکوربیک کاهش یافت (Saini et al., 2023; Wang et al., 2016).

اسید آسکوربیک محلول در آب و حساس به حرارت و تغییرات pH است و بنابراین بهترین ماده مغذی برای بررسی کارایی بلانچینگ است. حفظ اسید آسکوربیک پس از بلانچینگ نشان گر خوبی برای حفظ سایر مواد مغذی است. افت اسید آسکوربیک طی فرآیند بلانچینگ می تواند به دلیل تجزیه حرارتی، اکسیداسیون، شسته شدن (محلول بودن اسید آسکوربیک در آب) و فعالیت آنزیمی (اسید آسکوربیک اکسیداز)

داد. در کل تخریب حرارتی رنگدانه‌ها مانند تبدیل کلروفیل به فتوفیتین در اثر حرارت‌دهی زیاد، پخش شدن آنتوسیانین‌ها به فضای بین سلولی و انجام واکنش‌های قهوه‌ای شدن، از دلایل تغییر رنگ محصولات بلانچ شده هستند. افزایش پارامتر b^* (زردی) ممکن است به دلیل تخریب حرارتی کلروفیل به فتوفیتین در اثر گرم شدن زیاد باشد (Mandliya et al., 2023). کاهش رطوبت نیز در ایجاد این تغییرات مؤثر است (Jogihalli et al., 2017). مشابه نتایج این پژوهش، بسته به زمان و توان مایکروویو در تحقیقی گزارش شده است قرمزی و زردی دانه‌های نخود افزایش و روشنی نمونه‌ها کاهش یافت (Jogihalli et al., 2017). افزایش در مقدار b^* همچنین در طی بلانچینگ مایکروویو-همرفتی قارچ (*Pleurotus eryngii*) و در انگور فرنگی هندی (*Phyllanthus emblica*) به دست آمد (Su et al., 2020; Mandliya et al., 2023). همچنین اعمال روش‌های مختلف بلانچینگ (آب داغ، بخار، مایکروویو) در برچه‌های کلم بروکلی باعث افزایش مقادیر a^* و b^* و کاهش مقدار L^* شد (Brewer et al., 1995). در بررسی تاثیر روش‌های مختلف بلانچینگ بر فاکتورهای رنگی در سیب‌زمینی بنفش شیرین مشاهده گردید که بیش‌ترین روشنی و شفافیت رنگ (L^*) مربوط به روش بلانچینگ مایکروویو، بیش‌ترین قرمزی رنگ (a^*) مربوط به روش بلانچینگ با بخار و بیش‌ترین زردی رنگ (b^*) مربوط به روش بلانچینگ با مایکروویو بود و هر سه روش در مقایسه با هم از نظر تفاوت کلی رنگ اختلاف معنی‌دار داشتند (Liu et al., 2015). آنها بیان کردند که پخش شدن

آنتوسیانین‌ها به فضای بین سلولی در اثر بلانچینگ با آب و حرارت‌دهی سریع و درونی روش مایکروویو و در نتیجه عدم حرارت‌دهی کافی سطح نمونه‌ها می‌تواند دلیل این تفاوت‌ها باشد.

دما در روش بلانچینگ با کمک فرکانس رادیویی اثر معنی‌دار بر مقدار L^* ، a^* ، b^* و ΔE سیب‌زمینی داشت و مقدار L^* و b^* با افزایش دما کاهش یافت. این پدیده احتمالاً به دلیل فروپاشی سلول و انتشار مایع است که منجر به بازتاب کمتر می‌شود. علاوه بر این، مقدار ΔE از ۳/۳۵ تا ۱۱/۸۱ متغیر بود که نشان‌دهنده یک تغییر رنگ بسیار قابل توجه است. افزایش مقدار ΔE ممکن است به دلیل واکنش مایلارد، قهوه‌ای شدن غیرآنزیمی و تغییر اجزای حساس به حرارت باشد (Zhang et al., 2018).

با توجه به نتایج حاصل از این مطالعه می‌توان به این جمع‌بندی رسید که استفاده از روش‌های نوین مانند روش مایکروویو برای بلانچینگ فلفل دلمه‌ای می‌تواند نتایج بهتری از نظر حفظ کیفیت و مواد مغذی و ترکیبات زیست‌فعال و خواص ظاهری ایجاد نماید.

منابع

- Alizadeh Behbahani, B., Falah, F., Lavi Arab, F., Vasiee, M. and Tabatabaee Yazdi, F. (2020). Chemical composition and antioxidant, antimicrobial, and antiproliferative activities of *Cinnamomum zeylanicum* bark essential oil. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*, 5190603.
- Ambe, D., Lobe, E., and Divine, B. N. (2020). Optimization of the blanching of potato (*Solanum tuberosum* L.) slices by response surface methodology: Effect on the vitamin C content and drying kinetics. *Sustainable Chemical Engineering*, 1: 17–32.
- Bajaj, K. L., and Kaur, G. (1981). Spectrophotometric determination of l-ascorbic acid in vegetables and fruits. *The Analyst*, 106(1258), 117–120.
- Bingol, G., Wang, B., Zhang, A., Pan, Z., and McHugh, T. H. (2014). Comparison of water and infrared blanching methods for processing performance and final product quality of French fries. *Journal of Food Engineering*, 121(1), 135–142.
- Brewer, M. S., Begum, S., and Bozeman, A. (1995). Microwave and Conventional Blanching Effects on Chemical, Sensory, and Color Characteristics of Frozen Broccoli. *Journal of Food Quality*, 18(6), 479–493.
- Chandrasekaran, S., Ramanathan, S., and Basak, T. (2013). Microwave food processing-A review. *Food Research International*, 52(1), 243–261.
- Deng, L. Z., Mujumdar, A. S., Zhang, Q., Yang, X. H., Wang, J., Zheng, Z. A., Gao, Z. J., and Xiao, H. W. (2017). Chemical and physical pretreatments of fruits and vegetables: Effects on drying characteristics and quality attributes—a comprehensive review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 59(9), 1408–1432.
- Igual, M., García-Martínez, E., Camacho, M. M., and Martínez-Navarrete N. (2010). Effect of thermal treatment and storage on the stability of organic acids and the functional value of grapefruit juice. *Food Chemistry*, 118: 291–299.
- Jeevitha, G. C., Anto, A., Chakkaravarthi, A., and Hebbar, H. U. (2015). Application of Electromagnetic Radiations and Superheated Steam for Enzyme Inactivation in Green Bell Pepper. *Journal of Food Processing and Preservation*, 39(6), 784–792.
- Jogihalli, P., Singh, L., and Sharanagat, V. S. (2017). Effect of microwave roasting parameters on functional and antioxidant properties of chickpea (*Cicer arietinum*). *LWT- Food Science and Technology*, 79: 223- 233.
- Ju, H. K., Chung, H. W., Hong, S. S., Park, J. H., Lee, J., and Kwon, S. W. (2010). Effect of steam treatment on soluble phenolic content and antioxidant activity of the Chaga mushroom (*Inonotus obliquus*). *Food Chemistry*, 119(2), 619–625.
- Latorre, M. E., de Escalada Plá, M. F., Rojas, A. M., and Gerschenson, L. N. (2013). Blanching of red beet (*Beta vulgaris* L. var. conditiva) root. Effect of hot water or microwave radiation on cell wall characteristics. *LWT- Food Science and Technology*, 50(1), 193–203.
- Mandliya, S., Majumdar, J., Misra, S., Pattnaik, M., and Mishra, H. N. (2023). Evaluation of dry microwave and hot water blanching on physicochemical, textural, functional and organoleptic properties of Indian gooseberry (*Phyllanthus emblica*). *Journal of Food Measurement and Characterization*, 17(3), 2881–2891.
- Martínez, S., Pérez, N., Carballo, J., and Franco, I. (2013). Effect of blanching methods and frozen storage on some quality parameters of turnip greens (“ grelos”). *LWT- Food Science and Technology*, 51(1), 383–392.
- Mukherjee, S., and Chattopadhyay, P. K. (2007). Whirling bed blanching of potato cubes and its effects on product quality. *Journal of Food Engineering*, 78(1), 52–60.
- Norafida, A. and Aminah, A. (2018). Effect of blanching treatments on antioxidant activity of frozen green Capsicum (*Capsicum annum* L. var bell pepper). *International Food Research Journal* 25(4): 1427-1434.
- Patras, A., Tiwari, B. K., and Brunton, N. P. (2011). Influence of blanching and low temperature

- preservation strategies on antioxidant activity and phytochemical content of carrots, green beans and broccoli. *LWT- Food Science and Technology*, 44(1), 299–306.
- Rath, V. (2019). A Better Nutrient Retaining Method : Comparison of Microwave with. *Journal of Food Processing and Technology*, 10(2), 2–5.
 - Ravichandran, K., Ahmed, A. R., Knorr, D., and Smetanska I. (2012). The effect of different processing methods on phenolic acid content and antioxidant activity of red beet. *Food Research International*, 48, 16–20.
 - Ruiz-Ojeda, L. M., and Peñas, F. J. (2013). Comparison study of conventional hot-water and microwave blanching on quality of green beans. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 20, 191–197.
 - Saini, R., Kaur, S., Aggarwal, P., and Dhiman, A. (2023). The influence of conventional and novel blanching methods on potato granules, phytochemicals, and thermal properties of colored varieties. *Frontiers in Nutrition*, 10(May), 1–11.
 - Sahraiean, M. R., Taheri, A., and Ganje, M. (2024). Effect of microwave treatment on approximate properties and color indices of composite flours prepared from a mixture of wheat flour, wheat bran and date seed powder. *Journal of food science and technology*, 21(151): 162-173
 - Severini, C., Giuliani, R., De Filippis, A., Derossi, A., and De Pilli, T. (2016). Influence of different blanching methods on colour, ascorbic acid and phenolics content of broccoli. *Journal of Food Science and Technology*, 53(1), 501–510.
 - Sun, T., Tang, J., and Powers, J. R. (2007). Antioxidant activity and quality of asparagus affected by microwave-circulated water combination and conventional sterilization. *Food Chemistry*, 100(2), 813–819.
 - Wang, C., Zhang, B., Song, L., Li, P., Hao, Y., and Zhang, J. (2020). Assessment of different blanching strategies on quality characteristics and bioactive constituents of *Toona sinensis*. *LWT- Food Science and Technology*, 130, 109549.
 - Wang, J., Yang, X. H., Mujumdar, A. S., Wang, D., Zhao, J. H., Fang, X. M., Zhang, Q., Xie, L., Gao, Z. J., and Xiao, H. W. (2016). Effects of various blanching methods on weight loss, enzymes inactivation, phytochemical contents, antioxidant capacity, ultrastructure and drying kinetics of red bell pepper (*Capsicum annuum* L.). *LWT- Food Science and Technology*, 77, 337–347.
 - Wang, S., and Tang J. (2001). Radio frequency and microwave alternative treatments for insect control in nuts: a review. *Agricultural engineering journal*, 10(3&4): 105-120.
 - Xanthakis, E., Gogou, E., Taoukis, P., and Ahrné, L. (2018). Effect of microwave assisted blanching on the ascorbic acid oxidase inactivation and vitamin C degradation in frozen mangoes. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 48, 248–257.