

## کاربرد انرژی میکروویو برای غیرفعال کردن آنزیم پلی فنل اکسیداز در تولید چای سبز

شیوا روفی گری حقیقت<sup>۱\*</sup>، صنم صفائی چائی کار<sup>۲</sup>، مریم السادات متولی جلالی<sup>۳</sup> و سیده ستاره جوادین دیوشلی<sup>۴</sup>

\*<sup>۱</sup> و <sup>۳</sup> - کارشناس ارشد، عضو هیات علمی و کارشناس پژوهشکده چای، موسسه تحقیقات علوم باغبانی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، لاهیجان، ایران

<sup>۲</sup> - دکترای تخصصی، استادیار و عضو هیات علمی پژوهشکده چای، موسسه تحقیقات علوم باغبانی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، لاهیجان، ایران

<sup>۴</sup> - دانش آموخته کارشناسی ارشد دانشگاه آزاد اسلامی ایران، واحد لاهیجان

تاریخ ارسال: ۱۴۰۱/۰۳/۰۸ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۱/۲۳

### چکیده

انرژی میکروویو به عنوان جایگزینی ایمن برای گرمادهی در صنایع غذایی شناخته شده است. در این پژوهش، انرژی میکروویو در زمان و توان‌های متفاوت برای آنزیم‌بری برگ سبز تازه در فرآیند تولید چای سبز استفاده شد. در مرحله اول، زمان‌های آنزیم‌بری (۳۰، ۶۰، ۹۰ و ۱۲۰ ثانیه) در بالاترین توان مصرفی میکروویو (۹۰۰ وات) و در مرحله دوم توان‌های مختلف میکروویو (۵۰۰، ۶۰۰، ۷۰۰، ۸۰۰ و ۹۰۰ وات) در بهترین زمان آنزیم‌بری به دست آمده از مرحله اول آزمایش، روی برگ سبز اعمال شد. صفات کیفی نمونه‌ها شامل پلی فنل کل، فعالیت آنتی اکسیدانی، کلروفیل و ویژگی‌های حسی تعیین گردید. داده‌ها در قالب طرح کاملاً تصادفی با چهار تیمار (در مرحله اول) و پنج تیمار (در مرحله دوم) در سه تکرار ارزیابی شد. نتایج بررسی‌ها نشان داد با افزایش زمان آنزیم‌بری، فعالیت آنتی اکسیدانی و ویژگی‌های حسی چای سبز افزایش داشته است. چای سبز تیمارهای ۹۰ و ۱۲۰ ثانیه پس از یک سال نگهداری افت کیفیت محسوس نداشتند. با زیاد شدن توان مصرفی آون، صفات طعم، عطر و مجموع امتیازهای حسی افزایش معنی‌دار نشان دادند. میزان کلروفیل، پلی فنل و ویژگی‌های حسی نمونه‌هایی که در توان ۵۰۰ وات آنزیم‌بری شده بودند کمتر بود تا در تیمارهای دیگر. صدو بیست ثانیه آنزیم‌بری برگ سبز در توان حداقل ۷۰۰ وات بهترین نتیجه را از نظر ویژگی‌های کیفی چای سبز و خواص نگهداری آن نشان داد.

**واژه‌های کلیدی:** آنزیم‌بری، آون میکروویو، چای سبز، کیفیت، ماندگاری

### مقدمه

که می‌تواند مواد مغذی را نگه‌دارد و کاهش مواد مغذی مانند ویتامین B و C، آنتی‌اکسیدان‌ها، فنل‌ها و کاروتنوئیدها را به حداقل برساند (Osinboyejo et al., 2003). گرمایش میکروویو فرآیند گرمایی حجمی است که در آن حرارت به طور یکنواخت در مواد غذایی با کمک امواج

انقلاب تکنولوژی و افزایش آگاهی مصرف‌کنندگان در زمینه خواص تغذیه‌ای مواد غذایی باعث افزایش کاربرد میکروویو شده است. کاربرد میکروویو برای گرمادهی در صنایع غذایی به عنوان جایگزینی ایمن شناخته شده است

مایکروویو، مولکول‌های قطبی آب و یون‌های درون ماده غذایی ایجاد می‌شود. فناوری مایکروویو با توجه به مزایای قابل توجه آن نسبت به روش‌های گرماده معمولی، یکی از بهترین فناوری‌های فرآوری مواد غذایی شناخته شده است. این روش در صنایع مختلف غذایی مانند پخت و پز، پاستوریزاسیون، ضدعفونی کردن، انجماد، پخت، آنزیم‌بری و خشک کردن به کار گرفته شده است. مزایای این فناوری شامل بالا بودن سرعت حرارت‌دهی، کوتاهی زمان فرآیند، گرمایش یکنواخت، ایمنی و سهولت کاربرد و بهره‌وری انرژی است (Adarsh & Devaraju, 2017).

چای سبز، پرمصرف‌ترین نوع چای در ژاپن و چین، در سال‌های اخیر به دلیل خواص دارویی بالقوه مانند فعالیت آنتی‌اکسیدان، ضد تومور و ضد سرطان‌زایی در اغلب کشورهای جهان و ایران به طور فزاینده‌ای محبوب شده است. با این حال، کیفیت چای سبز در خلال نگهداری به علت اکسیداسیون ویتامین C و پلی‌فنل چای، تجزیه کلروفیل و تغییر رنگ چای سبز به دنبال فعالیت آنزیم‌های باقی مانده و افزایش رطوبت، کاهش می‌یابد. یکی از روش‌های رایج برای غیر فعال کردن آنزیم‌ها در تولید چای سبز، استفاده از حرارت خشک است که در این روش اعمال حرارت به طور غیر یکنواخت موجب ناپایداری در کیفیت چای سبز می‌شود. از مایکروویو به عنوان روشی جایگزین به طور گسترده در صنایع غذایی به منظور کاهش زمان و هزینه‌های فرآیند، افزایش عملکرد و یکنواختی محصول و حفاظت از ساختار فیزیکی مواد غذایی مانند جلوگیری از سوختگی‌های سطحی استفاده می‌شود (Huang et al., 2007).

مقایسه آنزیم‌بری با مایکروویو و آنزیم‌بری با گرمای آون معمولی بیانگر کاهش تلفات ویتامین C و بهبود ویژگی‌های کیفی مانند رنگ کل، مقدار کلروفیل و کیفیت حسی در چای تولید شده با مایکروویو طی نگهداری است (Huang et al., 2007; Roshanak et al., 2015). مقایسه نمونه چای سبز تولید شده به روش رایج در ایران (استفاده از حرارت با ایجاد سطح داغ برای آنزیم‌بری برگ سبز) به عنوان شاهد با نمونه‌های آنزیم‌بری شده با مایکروویو نشان داد میزان پلی‌فنل کل، خواص آنتی‌اکسیدانی و ویژگی‌های حسی دم کرده چای سبز در نمونه شاهد کمتر از نمونه‌های آنزیم‌بری شده با مایکروویو بوده است (Roofigari Haghghat, et al., 2020). گزارش شده است چای سبزی که با استفاده از مایکروویو آنزیم‌بری و خشک شده باشد، بالاترین سطح فنل کل و کاتچین را دارد و دم کرده آن شفاف با طعم شیرین و رایحه ملایم و خوشایند است (Gulati et al., 2003). مهار دو آنزیم پلی‌فنل اکسیداز و پراکسیداز با استفاده از انرژی مایکروویو موجب بهبود رنگ برگ چای ماته<sup>۱</sup> و جلوگیری از فرآیند قهوه‌ای شدن شده است (Ceni et al., 2009).

پژوهشگران از انرژی مایکروویو برای خشک کردن در فرایند تولید چای سیاه نیز استفاده کرده‌اند. توقف آنزیم پلی‌فنل اکسیداز<sup>۲</sup> در این فرایند موجب حفظ ویژگی‌های کیفی چای می‌شود (Liyanage et al., 2003). سرعت خشک کردن چای آسام<sup>۳</sup> سی‌تی‌سی<sup>۴</sup> با افزایش توان آون مایکروویو افزایش نشان داده است. به طوری که در توان ۹۰۰ وات زمان خشک شدن چای تا ۷۷ درصد سریع‌تر از توان ۱۸۰ وات گزارش شده است (Hatibaruah et al., 2012). از فناوری مایکروویو برای تولید چای سیاه در

<sup>3</sup> Assam tea

<sup>4</sup> Crush, tear, curl (CTC)

<sup>1</sup>Mate Tea (*Ilex paraguariensis*)

<sup>2</sup> Polyphenol oxidase (ppo)

هدف این بررسی کاربردی انرژی مایکروویو برای فرآیند آنزیم‌بری در تولید چای سبز با تاکید بر اثر زمان و توان مایکروویو بر کیفیت چای از نظر تغییر ویژگی‌های حسی، شیمیایی و قابلیت نگهداری است.

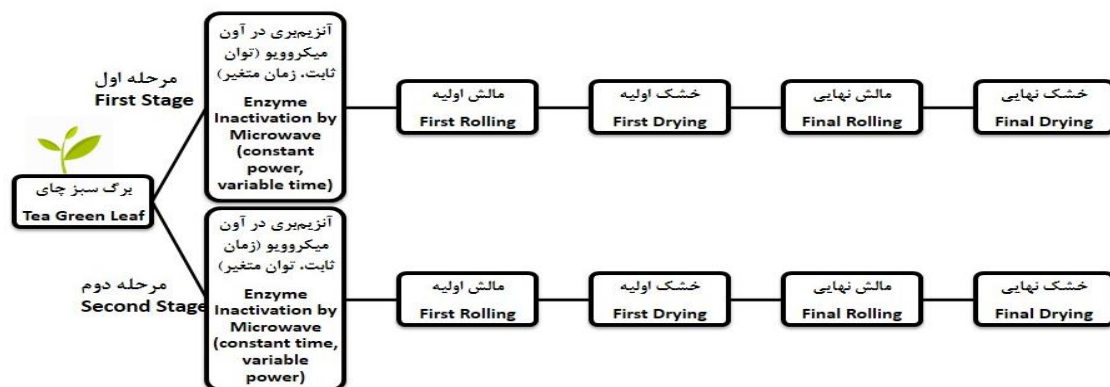
### مواد و روش‌ها

برگ سبز در تابستان از ایستگاه تحقیقات شهید اسلامی لاهیجان به صورت یک غنچه و دو برگ برداشت شد. در مرحله اول آزمایش برای تعیین بهترین زمان آنزیم‌بری از آن مایکروویو خانگی و در زمان‌های ۳۰، ۶۰، ۹۰ و ۱۲۰ ثانیه و در ماکزیمم توان مصرفی (۹۰۰ وات) استفاده شد (شکل ۱). چای سبز در هر تکرار با ۳۰۰ گرم برگ سبز و در آزمایشگاه چایسازی پژوهشکده چای با استفاده از دستگاه مینیاتوری تولید گردید. پس از اعمال تیمارهای آنزیم‌بری (شکل ۲)، برگ بلافاصله در مجاورت هوای فن خنک شد و به دستگاه مالش ارتدکس<sup>۱</sup> (شکل ۳) برای گذراندن مرحله اولیه مالش به مدت ۲۰ دقیقه انتقال داده شد. پس از ۱۰ دقیقه خشک کردن اولیه در دستگاه آن با جریان هوای گرم، به مدت ۱۰ دقیقه فرآیند مالش تکرار گردید و سپس مرحله خشک نهایی در آن معمولی دنبال شد. نمونه‌ها به مدت یک سال در بسته‌بندی پلی اتیلنی و

مراحل پلاس (پژمرده کردن برگ سبز چای) و خشک کردن برای افزایش ویژگی‌های کیفی آن استفاده و گزارش شده است که استفاده از خشک‌کن مایکروویو در تولید چای سیاه منجر به محصولی خواهد شد که از نظر پارامترهای کیفیت، در مقایسه با سایر چای‌های سیاه، مطلوبیت بیشتری دارد (Karadağ et al., 2016).

استفاده از روش خشک کردن ترکیبی هوا و مایکروویو در سیستم‌های مداوم که در برخی صنایع غذایی (ادویه، غلات، جوانه گندم، نارگیل و سبزی‌ها) دیده می‌شود و باعث کاهش زمان خشک شدن و افزایش کیفیت محصول می‌گردد، در چای نیز مفید خواهد بود و به عقیده پژوهشگران این روش به دلیل از بین بردن بهتر آنزیم‌ها در بهبود کیفیت چای مفید است (Melican, 2004).

در برگ سبز چای، مولکول‌های آب موجود با خاصیت قطبیت تحت تأثیر میدان الکترومغناطیسی مایکروویو با سرعت بالایی به لرزش در می‌آیند و گرمای اصطکاک موجب گرم شدن برگ‌های چای از درون و به طور یکنواخت می‌شود. از این ویژگی می‌توان با رسیدن سریع به نقطه بحرانی دمای غیرفعال شدن آنزیم در چای بهره برد. نکته اصلی در این میان چگونگی مطابقت زمان و توان مایکروویو برای استفاده در آنزیم‌بری چای است (Anon, 2018).



شکل ۱- شماتیک تولید چای سبز در مرحله اول و دوم انجام پروژه  
Fig. 1- Schematic of green tea production in the first and second stages of the project

<sup>1</sup> Orthodox roller

تفاله در چای سبز ساخته شده اندازه‌گیری شد. بهترین تیمار زمان آنزیم‌بری با آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملا تصادفی با دو عامل زمان آنزیم‌بری در چهار سطح و زمان انبارمانی چای در هفت سطح (زمان‌های نمونه برداری ماهانه) و سه تکرار تعیین گردید.

در دمای اتاق (میانگین ۲۰ درجه سلسیوس) نگهداری گردید. نمونه‌ها در ابتدای تولید و تا شش ماه پس از سپری شدن هرماه از انبارداری از نظر صفات کیفی و در پایان یک سال از نظر صفات حسی بررسی شدند. صفات کیفی شامل رطوبت، پلی‌فنل کل، فعالیت آنتی‌اکسیدانی، کلروفیل و ویژگی‌های حسی شامل بررسی ظاهر، رنگ، عطر، طعم و



شکل ۲- برگ سبز چای بلافاصله پس از برداشت (سمت راست)؛ پس از آنزیم‌بری در آن میکروویو (سمت چپ)

Fig. 2- Green tea leaves immediately after harvesting (right); After enzyme inactivation in the microwave oven (left)



شکل ۳- دستگاه مالش ارتدکس مینیاتوری

Fig. 3- Miniature Orthodox rolling machine

بهترین زمان آنزیم‌بری به دست آمده از مرحله اول، روی برگ سبز اعمال شد. چایسازی مانند روش شرح داده شده در مرحله اول آزمایش و به کمک دستگاه مینیاتوری در آزمایشگاه چایسازی اجرا گردید. صفات کیفی شامل

در مرحله دوم آزمایش، به منظور تعیین حداقل انرژی مصرفی بر اساس کیلوژول بر گرم برای غیر فعال کردن آنزیم پلی‌فنل‌اکسیداز برگ سبز چای با استفاده از آن میکروویو، توان‌های متفاوت مصرف انرژی از ۲۰۰ تا ۹۰۰ وات در

اندازه گیری مقدار پلی فنل: مقدار ۰/۲ گرم نمونه آسیاب شده با متانول در دو مرحله استخراج و با استفاده از معرف فولین سیوکالتو جذب محلول تهیه شده در طول موج ۷۶۵ نانومتر با دستگاه اسپکتوفتومتر قرائت شد. با استفاده از استاندارد گالیک اسید مقدار درصد پلی فنل کل به دست آورده شد Iranian National Standardization (Organization, 2014).

اندازه گیری فعالیت آنتی اکسیدانی: مقدار ۰/۱ گرم نمونه آسیاب شده با متانول استخراج و جذب آن با استفاده از محلول ۰/۰۳ درصد<sup>۱</sup> DPPH در ۵۱۷ نانومتر قرائت گردید. درصد فعالیت آنتی اکسیدانی با رابطه ۴ به دست آورده شد. که در آن  $Adpph_0$  عدد جذب قرائت شده استاندارد DPPH و  $A_{sample}$  عدد جذب قرائت شده برای محلول نمونه است (Priptideevch & Machan, 2011).

(رابطه ۴)

$$100 = \text{درصد فعالیت آنتی اکسیدانی} \times (Adpph_0 - A_{sample}) / Adpph_0$$

آزمون حسی: برای ارزیابی حسی چای سبز از سه نفر ارزیاب آموزش دیده و ماهر استفاده شد. برای ارزیابی، ابتدا مقداری از نمونه چای روی کاغذ سفید ریخته و ظاهر چای به دقت ارزیابی شد. پس از آن برای ارزیابی رنگ، عطر و طعم نوشابه حاصل از نمونه چای، ۲/۸ گرم چای در فنجان مخصوص ارزیابی حسی چای از جنس سرامیک ریخته و به آن آب جوشیده با دمای حدود ۸۰ درجه سلسیوس اضافه شد و پس از ۳ تا ۴ دقیقه، عصاره حاصل از دم کشیدن چای وارد پیاله مخصوص شد. در این مرحله ابتدا

رطوبت، پلی فنل کل، فعالیت آنتی اکسیدانی، کلروفیل و ویژگی های حسی در چای سبز ساخته شده، به شرح زیر اندازه گیری شد. برای تعیین بهترین تیمار انرژی مصرفی در آنزیم پری از طرح کاملاً تصادفی در ۵ تیمار و سه تکرار استفاده و انرژی مصرفی مایکروویو در هر تیمار با استفاده از رابطه ۱ محاسبه شد (Chávez-Reyes *et al.*, 2013):

(رابطه ۱)

$$\text{انرژی مایکروویو (در گرم)} = 1000 \times \text{وزن نمونه (گرم)} \times \text{زمان (ثانیه)} \times \text{وات} / \text{توان مصرفی}$$

اندازه گیری رطوبت: مقدار ۲ گرم نمونه تا رسیدن به وزن ثابت در دمای ۱۰۵ درجه سلسیوس در آون خشک شد و پس از توزین درصد رطوبت کل محاسبه گردید (Tampson, 2000).

اندازه گیری کلروفیل: مقدار ۰/۱ تا ۰/۲ گرم نمونه آسیاب شده با ۵۰ میلی لیتر استون استخراج شده و از صافی عبور داده شد. محلول در طول موج ۶۶۳ نانومتر و ۶۴۵ نانومتر با اسپکتروفتومتر قرائت گردید. محاسبات مطابق رابطه ۲ و ۳ برای تعیین مقدار کلروفیل اجرا شد، که در آن  $C_a$  و  $C_b$  به ترتیب مقدار کلروفیل A و B بر حسب میلی گرم بر لیتر؛  $A_{663}$  و  $A_{645}$  عدد جذب قرائت شده در طول موج به ترتیب ۶۶۳ و ۶۴۵ نانومتر و  $C_t$  مجموع  $C_a$  و  $C_b$  است (Huang *et al.*, 2007).

(رابطه ۲)

$$C_a = 12.7A_{663} - 2.95A_{645}; C_b = 22.9A_{645} - 4.67A_{663}$$

(رابطه ۳)

$$\text{وزن نمونه (میلی گرم)} \times 50 / C_t = \text{کلروفیل کل}$$

(میلی گرم در گرم (mg/g))

<sup>۱</sup> 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl.



که منجر به تجزیه کلروفیل و تبدیل آن به ترکیب قهوه‌ای رنگ فائوفور باید می‌شود فعال باقی ماند. تغییر رنگ قهوه‌ای و تجزیه کلروفیل به آنزیم‌بری ناقص برگ نسبت داده شده است (Huang *et al.*, 2007). بیشترین میانگین درصد پلی‌فنل و فعالیت آنتی‌اکسیدانی به ترتیب در تیمارهای ۹۰ و ۱۲۰ ثانیه دیده شد (جدول ۱). درصد پلی‌فنل در تیمارهای مختلف تفاوت آشکاری نشان نمی‌دهد اما فعالیت آنتی‌اکسیدانی در تیمارهای ۹۰ و ۱۲۰ بیشتر از ۳۰ و ۶۰ ثانیه مشاهده شد. هرچه زمان آنزیم‌بری میکروویو طولانی‌تر می‌گردد با افزایش میزان انرژی، گرمای درون برگ بیشتر شده است و موجب تغییر شکل پروتئین‌های بافت گیاهی و از جمله آنزیم‌های درون سلولی شده که منجر به توقف فعالیت آنزیم پلی‌فنل اکسیداز و افزایش فعالیت آنتی‌اکسیدانی چای سبز به دست آمده از این تیمارها شده است. جلوگیری از اتصال پلی‌فنل‌ها به ماتریس گیاهی و افزایش زیست‌فراهمی<sup>۱</sup> آن در روش آنزیم‌بری میکروویو گزارش شده است (Chávez-Reyes *et al.*, 2013). با افزایش زمان یا توان آون میکروویو فعالیت آنزیم پلی‌فنل اکسیداز در بافت میوه از گیل ژاپنی تا ۹۸ درصد کاهش داشته است (Chávez-Reyes *et al.*, 2013). اما زمان‌های بالاتر (۳۰۰ ثانیه) منجر به تجزیه ترکیبات فنلی شده است. کاهش فعالیت آنزیم پراکسیداز و پلی‌فنل اکسیداز همزمان با افزایش زمان آنزیم‌بری در چای ماته نیز گزارش شده است (Ceni *et al.*, 2009).

محتویات داخل فنجان استشمام و عطر چای سبز بررسی گردید. رنگ عصاره و طعم چای با نوشیدن مقدار کمی از عصاره تعیین شد (Iranian National Standardization Organization, 2001; 2006).

## نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس داده‌های کیفی (شیمیایی و حسی) نمونه‌های چای سبز ساخته شده با زمان‌های مختلف آنزیم‌بری در مدت زمان نگهداری نشان داد اثر زمان نگهداری برای کلیه صفات، به جز ظاهر چای خشک، در سطح احتمال ۱ درصد و بر صفت تفاله در سطح احتمال ۵ درصد و اثر زمان آنزیم‌بری برای صفات رطوبت، کلروفیل، ظاهر چای خشک، رنگ دم کرده، طعم، عطر و مجموع امتیازهای حسی در سطح احتمال ۱ درصد و برای صفات پلی‌فنل و آنتی‌اکسیدان و تفاله در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار است.

## اثر زمان آنزیم‌بری

میانگین درصد رطوبت نمونه‌ها در زمان ۱۲۰ ثانیه آنزیم‌بری کمتر از سایر تیمارها مشاهده گردید ( $p \leq 0.05$ ). اعمال حرارت در مرحله آنزیم‌بری موجب افت مقدار رطوبت نمونه‌ها شد و در مدت زمان بیشتر افت مقدار رطوبت معنی‌دار مشاهده گردید. کمترین میانگین مقدار کلروفیل در تیمار ۳۰ ثانیه مشاهده شد و سایر تیمارها تفاوت محسوسی نشان ندادند. در این مدت زمان، آنزیم کلروفیل‌از

<sup>2</sup> bioavailability

جدول ۱- مقایسه میانگین خصوصیات کیفی چای سبز (عوامل شیمیایی) در زمان های مختلف آنزیم ببری در توان ۹۰۰ وات، قبل از نگهداری چای

Table 1- Comparison of means of the quality characteristics of green tea (chemical factors) at different times of enzyme inactivation at 900 watts, before tea storage

زمان آنزیم ببری (ثانیه)	رطوبت (درصد)	کلروفیل کل (میلی گرم بر گرم)	پلی فنل (درصد)	فعالیت آنتی اکسیدان (درصد)
enzyme inactivation time	Moisture (%)	Total chlorophyll(mg/g)	Polyphenol (%)	Anti-oxidant activity (%)
30	5.73 <sup>a*</sup>	0.45 <sup>b</sup>	15.9 <sup>ab</sup>	94/0 <sup>bc</sup>
60	5.57 <sup>ab</sup>	0.53 <sup>a</sup>	15.1 <sup>b</sup>	93.8 <sup>c</sup>
90	5.64 <sup>ab</sup>	0.51 <sup>ab</sup>	16.5 <sup>a</sup>	94.2 <sup>ab</sup>
120	5.46 <sup>b</sup>	0.53 <sup>a</sup>	15.9 <sup>ab</sup>	94.3 <sup>a</sup>

\*حروف مشابه در هر ستون بیانگر نبود اختلاف معنی دار در سطح خطای ۵ درصد است.

\* Similar letters in each column indicate no significant differences at the 5% level.

جزئی کتچین های برگ سبز و ایجاد ترکیبات رنگی حاصل از اکسیداسیون منجر شده است. این عامل سبب افت کیفیت حسی چای سبز به ویژه در رنگ عصاره دم کرده در تیمارهای با زمان کمتر آنزیم ببری، نسبت به زمان های بیشتر، شده است. مجموع امتیاز حسی در تیمارهای ۹۰ و ۱۲۰ ثانیه آنزیم ببری ۲/۴ تا ۳/۲ امتیاز از امتیاز حسی در تیمارهای ۳۰ و ۶۰ ثانیه آنزیم ببری بیشتر است. جلوگیری از قهوه ای شدن و بهبود رنگ چای ماته با افزایش زمان آنزیم ببری میکروویو مشاهده شده است (Ceni et al., 2009).

مقایسه میانگین ویژگی های حسی در جدول ۲ نشان می دهد امتیاز ظاهر چای، رنگ، طعم و عطر نوشابه دم کرده، تفاله و مجموع امتیازهای حسی در زمان های ۹۰ و ۱۲۰ ثانیه آنزیم ببری بیشتر از ۳۰ و ۶۰ ثانیه است، به گونه ای که میانگین مجموع امتیاز حسی در دو تیمار ۹۰ و ۱۲۰ ثانیه نزدیک به ۳ امتیاز بیشتر از میانگین مجموع امتیاز حسی در دو تیمار ۳۰ و ۶۰ ثانیه است (شکل ۴). آنزیم ببری در زمان کوتاه تر و با انرژی کمتر باعث توقف ناقص فعالیت آنزیمی درون برگ شده است که به اکسیداسیون

جدول ۲- مقایسه میانگین خصوصیات کیفی چای سبز (عوامل حسی) در زمان های مختلف آنزیم ببری در توان ۹۰۰ وات، قبل از

#### نگهداری چای

Table 2- Comparison of means of the quality characteristics of green tea (organoleptic factors) at different times of enzyme inactivation at 900 watts, before tea storage

زمان آنزیم ببری (ثانیه)	ظاهر چای	رنگ	طعم	تفاله	عطر	مجموع امتیاز
enzyme inactivation time	appearance	color	flavor	infusion	aroma	Total score
30	3.4 <sup>b*</sup>	2.1 <sup>b</sup>	4.0 <sup>c</sup>	0.7 <sup>b</sup>	1.8 <sup>b</sup>	11.9 <sup>b</sup>
60	3.3 <sup>b</sup>	2.0 <sup>b</sup>	4.0 <sup>c</sup>	0.6 <sup>b</sup>	1.8 <sup>b</sup>	11.7 <sup>b</sup>
90	3.5 <sup>b</sup>	2.8 <sup>a</sup>	5.2 <sup>b</sup>	0.9 <sup>ab</sup>	2.0 <sup>a</sup>	14.3 <sup>a</sup>
120	3.8 <sup>a</sup>	2.9 <sup>a</sup>	5.3 <sup>a</sup>	1.0 <sup>a</sup>	2.0 <sup>a</sup>	14.9 <sup>a</sup>

\* حروف مشابه در هر ستون بیانگر نبود اختلاف معنی دار در سطح خطای ۵ درصد است.

\* Similar letters in each column indicate no significant differences at the 5% level.



شکل ۴- مقایسه رنگ دم کرده چای سبز در زمان‌های مختلف آنزیم‌بری با اون مایکروویو (از راست به چپ ۳۰، ۶۰، ۹۰ و ۱۲۰ ثانیه)

**Fig. 4- Comparison of the color of green tea brewed at different times of enzyme inactivation by microwave oven (from right to left 30, 60, 90 and 120 seconds)**

#### اثر زمان نگهداری

نمونه‌های چای در مدت شش ماه تا بیش از دو برابر رطوبت چای خشک اولیه، از محیط رطوبت جذب کرده‌اند. همزمان با جذب رطوبت، فعالیت آنزیم‌های درون برگ که هنگام آنزیم‌بری تخریب نشده‌اند آغاز شده است و در حضور اکسیژن منجر به ایجاد ترکیبات رنگی از کتچین‌ها و تبدیل آنها به ترکیبات دیمری یا پلیمری می‌کند که بعضاً (تئافلاوین‌ها) دارای خواص آنتی‌اکسیدانی نیز هستند. هانگ و همکاران (Huang *et al.*, 2007) کاهش پلی‌فنل‌های اکسید شونده را دلیل افزایش مقدار پلی‌فنل کل در نمونه‌های چای سبز پس از چهار ماه نگهداری گزارش داده‌اند. مقدار زیاد پلی‌فنل‌های اکسید نشده در چای سبز موجب می‌شود با فراهم آمدن شرایط لازم برای اکسیداسیون (اکسیژن و رطوبت) این واکنش به سرعت پیش رود و ترکیبات حاصل از اکسیداسیون تولید شود.

مقایسه میانگین صفات کیفی (عوامل شیمیایی و ویژگی‌های حسی) چای سبز در زمان نگهداری در جدول-های ۳ و ۴ آورده شده است. درصد رطوبت با گذشت زمان در همه نمونه‌ها افزایش معنی‌دار نشان می‌دهد. تغییرات درصد کلروفیل و خواص آنتی‌اکسیدانی روند مشخصی دنبال نکرده است در حالی که درصد پلی‌فنل با افزایش زمان افزایش نشان داده است. تغییرات ایجاد شده در درصد رطوبت چای در مدت نگهداری نشان از جذب رطوبت محیط در نمونه‌های چای به دلیل خاصیت هیگروسکوپی ذرات چای خشک بوده است. خاصیت هیگروسکوپی موجب می‌شود تا مواد غذایی خشک شده با جذب رطوبت به مقدار رطوبت اولیه خود، پیش از خشک شدن، دست یابند (Dmowski & Ruszkowska, 2018). به همین دلیل



جدول ۳- مقایسه میانگین خصوصیات کیفی چای سبز (عوامل شیمیایی) تیمار شده با مایکروویو در زمان‌های

مختلف نگهداری

**Table 3- Comparison of means of the quality characteristics of green tea (chemical agents) treated with microwaves at different storage times**

فعالیت آنتی‌اکسیدان (درصد)	پلی فنل (درصد)	کلروفیل کل (میلی گرم بر گرم)	رطوبت (درصد)	زمان نگهداری (ماه)
Anti-oxidant activity (%)	Polyphenol (%)	Total chlorophyll(mg/g)	Moisture (%)	storage time
93.2 <sup>e</sup>	12.8 <sup>e</sup>	0.32 <sup>c</sup>	3.24 <sup>g*</sup>	شروع Start
93.9 <sup>d</sup>	15.6 <sup>dc</sup>	0.70 <sup>a</sup>	4.15 <sup>f</sup>	یک ماه One Month
94.3 <sup>c</sup>	14.7 <sup>d</sup>	0.44 <sup>b</sup>	4.79 <sup>e</sup>	دو ماه Two Month
94.1 <sup>dc</sup>	15.4 <sup>dc</sup>	0.65 <sup>a</sup>	6.05 <sup>d</sup>	سه ماه Three Month
94.9 <sup>b</sup>	16.4 <sup>bc</sup>	0.52 <sup>b</sup>	6.49 <sup>c</sup>	چهار ماه Four Month
95.4 <sup>a</sup>	17.7 <sup>ba</sup>	0.45 <sup>b</sup>	6.84 <sup>b</sup>	پنج ماه Five Month
93.0 <sup>e</sup>	18.2 <sup>a</sup>	0.44 <sup>cb</sup>	7.63 <sup>a</sup>	شش ماه Six Month

\* حروف مشابه در هر ستون بیانگر نبود اختلاف معنی‌دار در سطح خطای ۵٪ است.

\* Similar letters in each column indicate no significant differences at the 5% level.

نگهداری معنی‌دار است. هم‌زمان با افزایش رطوبت نمونه‌ها در زمان نگهداری و احتمال فعالیت آنزیم‌های باقی‌مانده تجزیه کلروفیل و اکسیداسیون پلی‌فنل‌ها، ترکیبات رنگی در چای سبز ایجاد شده است که بر کاهش امتیاز رنگ دم‌کرده چای موثر بوده است. هانگ و همکاران (Huang *et al.*, 2007) کاهش عطر در مدت ۸ ماه نگهداری چای سبز آنزیم‌بری شده با آن میکروویو را گزارش داده‌اند که در مجموع ویژگی‌های حسی چای، در مقایسه با چای سبز آنزیم‌بری شده با آن معمولی، امتیازهای بالاتری داشته است.

کاهش ویژگی‌های حسی با افزایش زمان نگهداری محسوس است و این تفاوت در رنگ و طعم نوشابه بیشتر از دیگر ویژگی‌ها قابل توجه است و همین امر موجب کاهش مجموع امتیازهای حسی از ۱۴/۹ در شروع انبارداری به ۱۱/۷ در پایان انبارداری رسیده است. گذشت زمان موجب کاهش ترکیبات فرار ایجاد کننده خواص عطری و طعمی در چای می‌شود. کاهش امتیاز طعم و عطر چای به ترتیب ۱/۶ و ۰/۳ در زمان نگهداری بیانگر این موضوع است. افت ویژگی رنگ عصاره و مجموع خواص حسی چای از ماه سوم

جدول ۴- مقایسه میانگین داده‌های خصوصیات کیفی چای سبز (عوامل حسی) تیمار شده با مایکروویو در زمان‌های مختلف

### نگهداری

**Table 4- Comparison of means of the quality characteristics of green tea (organoleptic agents) treated with microwaves at different storage times**

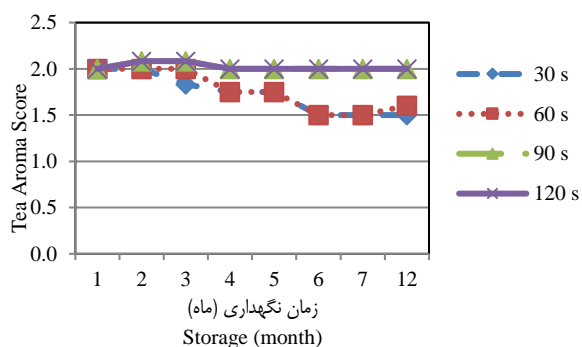
مجموع امتیاز Total score	عطر aroma	تقاله infusion	طعم flavor	رنگ color	ظاهر چای appearance	زمان نگهداری (ماه) storage time
14.9 <sup>a</sup>	2.0	0.9	5.5	3.0 <sup>a*</sup>	3.6	شروع Start
14.9 <sup>a</sup>	2.0	0.9	5.5	2.9 <sup>a</sup>	3.6	یک ماه one month
14.7 <sup>a</sup>	1.9	1.2	5.1	2.9 <sup>a</sup>	3.6	دو ماه two month
12.5 <sup>b</sup>	1.9	0.7	4.3	2.1 <sup>b</sup>	3.6	سه ماه three month
12.4 <sup>b</sup>	1.9	0.7	4.3	2.1 <sup>b</sup>	3.5	چهار ماه four month
11.8 <sup>b</sup>	1.7	0.6	3.9	2.1 <sup>b</sup>	3.4	پنج ماه five month
11.7 <sup>b</sup>	1.7	0.6	3.9	2.1 <sup>b</sup>	3.3	شش ماه six month

\*حروف مشابه در هر ستون بیانگر نبود اختلاف معنی‌دار در سطح خطای ۵ درصد است.

\* Similar letters in each column indicate no significant differences at the 5% level.

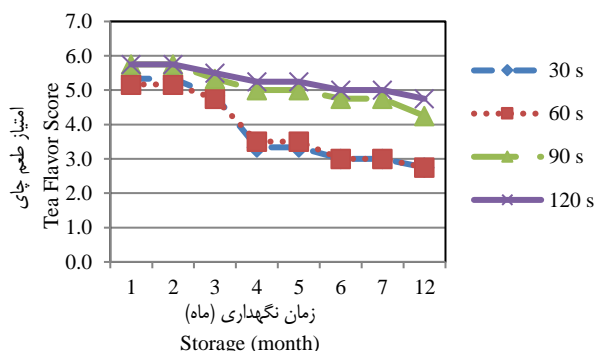
نگهداری داشته‌اند. دو ویژگی عطر و طعم در تیمارهای ۳۰ و ۶۰ ثانیه تا ۳ ماه نگهداری بدون تغییر است و پس از آن دچار افت کیفیت شده‌اند.

اثر متقابل زمان آنزیم‌بری در زمان نگهداری برای امتیاز طعم و عطر چای به ترتیب در شکل‌های ۵ و ۶ نشان می‌دهد دو تیمار ۹۰ و ۱۲۰ ثانیه کمترین تغییرات را در مدت



شکل ۶- اثر متقابل زمان آنزیم‌بری به روش مایکروویو در زمان نگهداری در امتیاز عطر چای سبز

**Fig. 6- The interaction effect of microwave enzyme inactivation time in the storage time on the green tea aroma score**

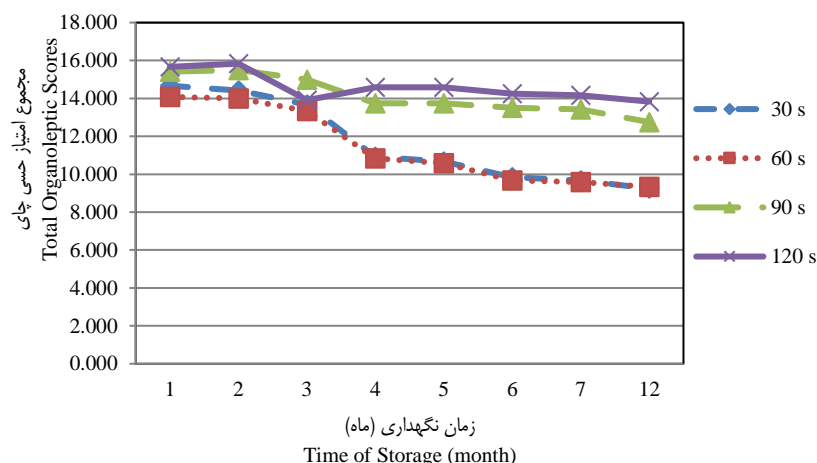


شکل ۵- اثر متقابل زمان آنزیم‌بری به روش مایکروویو در زمان نگهداری در امتیاز طعم چای سبز

**Fig. 5- The interaction effect of microwave enzyme inactivation time in the storage time on the green tea flavor score**

نگهداری نزول کردند. این دو تیمار تا مدت سه ماه نگهداری بدون تغییر محسوسی در ویژگی‌های حسی باقی ماندند و پس از آن دچار افت کیفیت شده‌اند. افزایش انرژی در آنزیم‌بری برگ سبز چای و یکنواختی آن با استفاده از انرژی مایکروویو موجب کندی روند کاهش ویژگی‌های حسی چای سبز شده است و چای سبز تیمار ۹۰ و ۱۲۰ ثانیه پس از یک سال نگهداری افت کیفیت محسوسی نداشته‌است. نتایج مشابه در حفظ خصوصیات رنگ چای ماته نگهداری شده در انبار به مدت ۳۰ روز نیز گزارش شده است (Ceni *et al.*, 2009).

مقایسه میانگین‌های مجموع امتیازهای حسی تیمارها در شش ماه نگهداری نشان می‌دهد ویژگی‌های حسی چای سبز در آنزیم‌بری با مایکروویو در زمان ۹۰ و ۱۲۰ ثانیه کمترین تغییر را در زمان ۶ ماه نگهداری داشته‌اند (شکل ۷). امتیاز حسی تیمارها پس از یک سال نگهداری نیز ارزیابی شد. مجموع امتیاز حسی دو تیمار ۹۰ و ۱۲۰ ثانیه در ابتدای تولید به ترتیب ۱۵/۴ و ۱۵/۶ بود و پس از گذشت یک سال از نگهداری به ۱۲/۷ و ۱۳/۸ رسید در حالی که دو تیمار ۳۰ و ۶۰ ثانیه از امتیاز ۱۴/۶ و ۱۴/۱ به امتیاز ۹/۲ و ۹/۳ در پایان



شکل ۷- اثر متقابل زمان آنزیم‌بری به روش مایکروویو در زمان نگهداری در مجموع امتیاز حسی چای

سبز

Fig. 7- The interaction effect of microwave enzyme inactivation time in the storage time on the green tea total organoleptic scores

وات بهترین نتیجه را از نظر ویژگی‌های کیفی چای سبز و خواص نگهداری آن نشان داده است. در مرحله دوم این پژوهش و برای تعیین مقدار حداقل انرژی مصرفی مورد نیاز

جمع‌بندی نتایج مرحله اول

با توجه به نتایج به دست آمده، مدت زمان ۹۰ و ۱۲۰

ثانیه آنزیم‌بری برگ سبز در دستگاه مایکروویو با توان ۹۰۰

آنزیم‌بری به ازای وزن مشخص برگ سبز، توان‌های مختلف در بهترین زمان، مورد آزمون قرار گرفت. توان ۹۰۰ وات در زمان ۶۰ ثانیه انرژی برابر ۵۴ کیلوژول انتقال می‌دهد (Chávez-Reyes *et al.*, 2013). که بر اساس نتایج مرحله اول پروژه این مقدار انرژی برای آنزیم‌بری ناکافی مشاهده گردید، از این رو توان‌های کمتر از ۷۰۰ وات در ۹۰ ثانیه و کمتر از ۵۰۰ وات در ۱۲۰ ثانیه برای آنزیم‌بری نامناسب خواهند بود. در مجموع، با انتخاب توان‌های ۵۰۰، ۶۰۰، ۷۰۰، ۸۰۰ و ۹۰۰ وات در زمان ۱۲۰ ثانیه می‌توان به حداقل انرژی مورد نیاز برای آنزیم‌بری مناسب برگ سبز دست یافت. از این رو در مرحله دوم اجرای پروژه، آنزیم‌بری با ۵ تیمار توان دستگاه و در زمان ۱۲۰ ثانیه اجرا گردید.

اثر توان‌های مختلف آون مایکروویو با توجه به نتایج تجزیه واریانس داده‌های کیفی (شیمیایی و حسی) نمونه‌های چای سبز ساخته شده در توان‌های مختلف آون مایکروویو (در زمان ۱۲۰ ثانیه) تفاوت در توان مصرفی آون مایکروویو اختلاف معنی‌داری در مقدار رطوبت، کلروفیل، پلی فنل و میزان فعالیت آنتی اکسیدانی چای سبز تولید شده نشان نداد (جدول ۵). در حالی که در صفات حسی چای سبز تفاوت معنی‌دار ( $p \leq 0.01$ ) مشاهده شد. جدول ۶ میانگین داده‌های صفات کیفی چای سبز را در توان‌های مختلف آنزیم‌بری مایکروویو در زمان ۱۲۰ ثانیه و در بدو تولید نشان می‌دهد. مطابق نتایج به‌دست آمده، میزان کلروفیل و پلی فنل در تیمار ۵۰۰ وات کمتر از سایر توان‌ها مشاهده گردید.

جدول ۵- تجزیه واریانس ویژگی‌های کیفی چای سبز (عوامل شیمیایی) در ۱۲۰ ثانیه آنزیم‌بری در توان‌های مختلف آون مایکروویو

**Table 5- Analysis variance of quality characteristics of green tea (chemical factors) in enzyme inactivation in 120 s and different powers of the microwave oven**

میانگین مربعات Mean squared				د.ف.ت	منابع تغییرات
فعالیت آنتی اکسیدان (درصد) Anti-oxidant activity (%)	پلی فنل (درصد) Polyphenol (%)	کلروفیل کل (میلی‌گرم بر گرم) Total chlorophyll(mg/g)	رطوبت (درصد) Moisture (%)		Sources of variance
0.137 <sup>ns</sup>	1.948 <sup>ns</sup>	0.0058 <sup>ns</sup>	0.072 <sup>ns</sup>	4	توان آون Power of oven
0.139	1.051	0.0119	0.034	10	خطا error
0.39	6.45	22.12	5.70		ضریب تغییرات (%) CV (%)

ns معنی‌دار نیست.  
No significant

جدول ۶- مقایسه میانگین ویژگی‌های کیفی چای سبز (عوامل شیمیایی) در ۱۲۰ ثانیه آنزیم‌بری در توان‌های مختلف  
آون مایکروویو

**Table 6- Comparison of means of quality characteristics of green tea (chemical factors) in enzyme inactivation in 120 s and different powers of the microwave oven**

توان آون (وات)	رطوبت (درصد)	کلروفیل کل (میلی‌گرم بر گرم)	پلی فنل (درصد)	فعالیت آنتی‌اکسیدان (درصد)
Power of oven (w)	Moisture (%)	Total chlorophyll(mg/g)	Polyphenol (%)	Anti-oxidant activity (%)
500	3.01	0.42	14.8	94.2
600	3.44	0.48	15.8	94.1
700	3.29	0.54	16.8	94.2
800	3.30	0.51	15.6	92.7
900	3.27	0.51	16.5	94.1

مقایسه میانگین‌ها در ارزیابی حسی (جدول ۷) بیانگر تفاوت معنی‌دار همه ویژگی‌های حسی (به جز ظاهر چای خشک) در توان ۵۰۰ وات با سایر توان‌ها است. با زیاد شدن توان مصرفی آون برای آنزیم‌بری، صفات طعم، عطر و مجموع امتیازهای حسی به وضوح افزایش نشان دادند. رنگ و تفرقه چای سبز تنها در توان ۵۰۰ وات کمتر از دیگر توان‌ها مشاهده شد. توان ۵۰۰ وات در مدت ۱۲۰ ثانیه انرژی گرمایشی معادل ۰/۲ کیلوژول بر گرم در برگ سبز ایجاد کرده است که برای آنزیم‌بری کافی نبوده است. هر چه توان در سیستم مایکروویو بالاتر باشد میزان انرژی گرمایشی ایجاد شده در بافت برگ سبز بیشتر می‌شود و با توجه به گرمایش حجمی و یکنواخت ایجاد شده در برگ سبز امکان غیرفعال شدن ساختار آنزیمی پلی فنل اکسیداز بیشتر و مطلوبیت صفات حسی در تیمارهای با توان بالاتر به همین علت است. محققان گزارش داده‌اند کاهش رطوبت در فرآیند خشک کردن چای با آون مایکروویو به توان آون وابسته است (Hatibaruah *et al.*, 2012). در توان ۹۰۰ وات، رطوبت تا ۷۷ درصد سریع‌تر از توان ۱۸۰ وات کاهش داشته و سرعت خشک کردن با افزایش توان آون افزایش داشته است. بالابودن ارزش یا بهای توان الکتریکی ایجاد می‌کند که برای کاربرد مایکروویو در گرم کردن مواد غذایی بررسی‌های لازم روی ویژگی‌های دی‌الکتریک، فیزیکی و شیمیایی محصول غذایی صورت گیرد (Adarsh & Devaraju, 2017). در این میان، استفاده از حداقل انرژی لازم برای آنزیم‌بری برای به‌صرفه بودن فرآیند ضروری خواهد بود. طبق گزارش محققان، میزان کارایی انرژی در فرآیند خشک کردن برش‌های سیب با استفاده از مایکروویو در توان ۶۰۰ وات، به دلیل سرعت از دست دادن رطوبت و کوتاه شدن زمان فرآیند، بیشتر از توان ۲۰۰ و ۴۰۰ وات است (Zarein *et al.*, 2015).

جدول ۷- مقایسه میانگین داده‌های خصوصیات کیفی چای سبز (عوامل حسی) در ۱۲۰ ثانیه آنزیم‌بری در توان‌های مختلف آون مایکروویو

**Table 7- Comparison of means of quality characteristics of green tea (organoleptic factors) in enzyme inactivation in 120 s and different powers of the microwave oven**

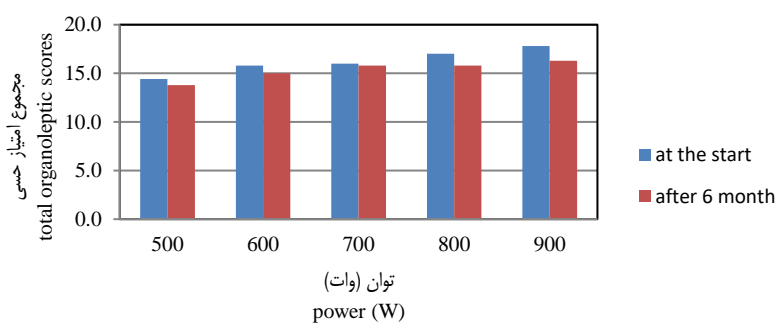
توان آون (وات)	ظاهر چای	رنگ	طعم	تفاله	عطر	جمع امتیاز
Power of oven (w)	appearance	color	flavor	infusion	aroma	Total score
500	4.5 <sup>a*</sup>	2.0 <sup>b</sup>	5.0 <sup>d</sup>	0.8 <sup>b</sup>	2.1 <sup>d</sup>	14.4 <sup>e</sup>
600	4.5 <sup>a</sup>	2.5 <sup>a</sup>	5.5 <sup>c</sup>	1.0 <sup>a</sup>	2.3 <sup>c</sup>	15.8 <sup>d</sup>
700	4.5 <sup>a</sup>	2.5 <sup>a</sup>	5.5 <sup>c</sup>	1.0 <sup>a</sup>	2.5 <sup>b</sup>	16.0 <sup>c</sup>
800	4.5 <sup>a</sup>	2.5 <sup>a</sup>	6.0 <sup>b</sup>	1.0 <sup>a</sup>	3.0 <sup>a</sup>	17.0 <sup>b</sup>
900	4.5 <sup>a</sup>	2.5 <sup>a</sup>	6.7 <sup>a</sup>	1.0 <sup>a</sup>	3.0 <sup>a</sup>	17.8 <sup>a</sup>

\*حروف مشابه در هر ستون بیانگر نبوداختلاف معنی‌دار در سطح خطای ۵ درصد است.

\* Similar letters in each column indicate no significant differences at the 5% level..

برگ سبز چای کافی به نظر می‌رسد. این توان در ۱۲۰ ثانیه معادل ۰/۲۸ کیلوژول بر گرم انرژی لازم برای آنزیم‌بری برگ سبز در تولید چای سبز خواهد بود. این مقدار بسته به ترکیبات شیمیایی، ویژگی‌های دی‌الکتریکی، اسیدیته و بافت هر گیاه متفاوت خواهد بود (Chávez-Reyes *et al.*, 2013).

بررسی نتایج ارزیابی حسی نمونه‌ها با آزمون تی پس از شش ماه نگهداری در دمای اتاق نشان می‌دهد بین این صفات قبل و بعد از شش ماه انبارداری تفاوت معنی‌دار وجود دارد و در همه نمونه‌ها افت امتیاز حسی مشاهده می‌گردد. در شکل ۸ تفاوت امتیاز حسی در نمونه‌های آنزیم‌بری شده در توان ۷۰۰ وات به بالاتر محسوس نیست و از این رو صرف انرژی گرمایی در مایکروویو با توان ۷۰۰ وات برای آنزیم‌بری



شکل ۸- مقایسه مجموع امتیازهای حسی چای سبز در توان‌های مختلف آون مایکروویو در بدو تولید و پس از شش ماه نگهداری

Fig. 8- Comparison of the total sensory scores of green tea in different powers of the microwave oven at the beginning of production and after six months of storage



## نتیجه گیری

استفاده از آون میکروویو برای مرحله آنزیم‌بری در تولید چای سبز در حفظ ویژگی‌های کیفی چای سبز موثر است. در تیمارهای با زمان کمتر آنزیم‌بری (۳۰ و ۶۰ ثانیه)، توقف فعالیت آنزیمی درون برگ کامل نبوده است که علاوه بر تجزیه آنزیمی کلروفیل، منجر به اکسیداسیون جزئی کتچین‌های برگ سبز و ایجاد ترکیبات رنگی حاصل از اکسیداسیون شده است. این عامل سبب کم بودن میزان فعالیت آنتی‌اکسیدانی و افت کیفیت حسی چای سبز در این تیمارها به ویژه در رنگ عصاره دم‌کرده نسبت به زمان‌های بیشتر (۹۰ و ۱۲۰ ثانیه) گردیده است.

درصد رطوبت چای سبز در زمان نگهداری با گذشت زمان در همه نمونه‌ها افزایش معنی‌دار نشان داده است. هم‌زمان با جذب رطوبت در چای، فعالیت آنزیم‌های درون برگ در تیمارهای با زمان آنزیم‌بری کوتاه‌تر آغاز و منجر به ایجاد ترکیبات رنگی از کتچین‌ها گردیده است. افزایش

زمان آنزیم‌بری موجب کندی روند کاهش کیفیت ویژگی‌های حسی چای سبز شده است به طوری که چای سبز تیمار ۹۰ و ۱۲۰ ثانیه پس از یک سال نگهداری افت کیفیت محسوسی نداشته‌اند. استفاده از توان ۵۰۰ وات برای آنزیم‌بری، نسبت به توان‌های بالاتر، کاهش میزان کلروفیل و پلی‌فنل و افت ویژگی‌های حسی مانند طعم، عطر و مجموع امتیازهای حسی را به همراه داشته است. توان ۵۰۰ وات در مدت ۱۲۰ ثانیه انرژی گرمایشی معادل ۰/۲ کیلوژول بر گرم در برگ سبز ایجاد کرده است که برای آنزیم‌بری برگ سبز کافی نبوده است. به استناد نتایج این گزارش، مدت زمان ۱۲۰ ثانیه آنزیم‌بری برگ سبز در دستگاه میکروویو با توان حداقل ۷۰۰ وات بهترین نتیجه را از نظر ویژگی‌های کیفی چای سبز و خواص نگهداری آن نشان داده است. در مجموع، استفاده از میکروویو در آنزیم‌بری برگ سبز به دلیل انتقال انرژی در حجم ماده، موجب کوتاه شدن زمان فرآیند و افزایش کیفیت محصول خواهد شد.

## قدردانی

از ریاست و معاونت پژوهشی وقت پژوهشکده چای و همکاران گروه فیزیولوژی و فناوری پس از برداشت چای، که ما را در به‌ثمر رسیدن این تحقیق یاری کردند، صمیمانه سپاسگزاری می‌شود.

## تعارض منافع

نویسندگان در خصوص انتشار مقاله ارائه شده به طور کامل از سوء اخلاق نشر، از جمله سرقت ادبی، سوء رفتار، جعل داده‌ها و یا ارسال و انتشار دوگانه، پرهیز نموده‌اند و منافی تجاری در این راستا وجود ندارد

## منابع

- Anon. 2018. Application of Microwave Technology in Modern Tea Industry. Retrieved Jun 24, 2020, from <http://www.ntbaler.com/news/application-of-microwave-technology-in-modern-12333307.html>.
- Adarsh M. K. and Devaraju R. 2017. Microwave energy and its application in food industry: A review. *Asian Journal of Dairy & Food Research*, 36 (1): 37-44.
- Ceni, G.C., Baldissera, E.M., Primo, M.D.S., Antunes, O.A.C., Dariva, C. Oliveira, J.V. and Oliveira, D. 2009. Influence of Microwave Energy on Mate Tea Leaves. *Food Technology Biotechnology*, 47 (2) 221–226.
- Chávez-Reyes, Y., Dorantes-Alvarez, L., Arrieta-Baez, D., Osorio-Esquivel, O., & Ortiz-Moreno, A. 2013. Polyphenol oxidase inactivation by microwave oven and its effect on phenolic profile of loquat (*Eriobotrya japonica*) fruit. *Food and Nutrition Sciences*, 4(09), 87.
- Dmowski, P., & Ruszkowska, M. 2018. Equilibrium Moisture Content Importance in Safe Maritime Transport of Black Tea. *TransNav: International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation*, 12(2):399-404.
- Gulati, A. Rawat, R. Singh, B. and Ravindranath, S. D. 2003. Application of Microwave Energy in the Manufacture of Enhanced-Quality Green Tea. *Journal of Agricultural Food Chemistry*, 51, 4764-4768
- Hatibaruah, D., Baruah, D.C. & Sanyal, S. 2012. Microwave Drying Characteristics of Assam CTC Tea (*Camellia Assamica*). *Journal of Food Processing and Preservation*, 1-5.
- Huang, Y., Sheng, J., Yang, F. and Hu, Q. 2007. Effect of Enzyme Inactivation by Microwave and Oven Heating on Preservation Quality of Green Tea. *Journal of Food Engineering*. 78: 687–692.
- Iranian National Standardization Organization. 2001. Tea - Preparation of liquor for organoleptic evaluation and testing. No.5608. (In Persian).
- Iranian National Standardization Organization. 2006. Green and black tea – Determination of substances characteristic of green and black tea – Part 1: Content of total polyphenols in tea – Colorimetric method using Folin - Ciocalteu reagent. No.8986-1. (In Persian).
- Iranian National Standardization Organization. 2014. Green Tea – Specification and Test Methods. No. 10768. (In Persian).
- Karadağ, A., Avcı, N., Kasapoğlu, K.N. and BeraatÖzçelik, B. 2016. Effect of Microwave Technology on Some Quality Parameters and Sensory Attributes of Black Tea. *Czech Journal Food Science*, 34,(5): 397–405. doi: 10.17221/5/2016-CJFS
- Liyanage, A. C., Punyasiri, P. A. N., Bandara, U. B. S. & Mohamed, M. Z. 2003. Microwave Drying of Black Tea. *Sri Lanka Journal of Tea Science*, 68(2), 34-43.
- Melican, N.J T. 2004. Processing Tea for Lower Cost and Better Quality. In: Tankariwala, N.F. Technical Session 2, Cost Reduction in Factory, Chapter 11, 3(3&4): 63-71.
- Osinboyejo, M. A., Walker, L. T., Ogutu, S. and Verghese, M. 2003. Effects of Microwave Blanching vs. Boiling Water Blanching on Retention of Selected Water-soluble Vitamins in Turnip Greens Using HPLC. Institute of Food Technologists Annual Meeting, Chicago, IL, July 15, 2003.
- Pripdeevech, P. and Machan, T. 2011. Fingerprint of volatile flavour constituents and antioxidant activities of teas from Thailand. *Food Chemistry*, 125, 797–802.
- Roofigari Haghghat, Sh. SafaeiChaeikar, S., Shokrgozar, A., Jalali, M., Mohebian, S., Cheraghi, K., Javadein, S. 2020. Application of microwave energy for Poly Phenol Oxidase inactivation in green tea processing. Research Report. No. 59319. Tea Research Center. (In Persian).
- Roshanak, S., Rahimmalek, M. & Goli, S.A. 2015. Evaluation of seven different drying treatments in respect to total flavonoid, phenolic, vitamin C content, chlorophyll, antioxidant activity and color of

green tea (*Camellia sinensis* C. *assamica*) leaves. *Journal of Food Science and Technology*, DOI 10.1007/s13197-015-2030-x

Tampson, R. D. 2000. Coffee and tea. *Association of Official Agricultural Chemists*, 30: 1-12.

Zarein, M., Samadi, S.H. & Ghobadian, B. 2015. Investigation of microwave dryer effect on energy efficiency during drying of apple slices. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 14, 41-47.

Original Research

## **Application of microwave energy for Poly Phenol Oxidase inactivation in green tea processing**

**\*Sh. Roofigari Haghighat, S. Safaei Chaeikar, M. Motevalli Jalali, S. Javadein Divshali**

\* Corresponding Author: Faculty member of Tea Research Center, Horticultural Science Research Institute, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Lahijan, Iran.

Email: sh354haghighat@gmail.com

Received: 29 May 2022 Accepted: 12 February 2023

[http://doi: 10.22092/FOODER.2023.358838.1333](http://doi:10.22092/FOODER.2023.358838.1333)

### **Abstract**

The use of microwaves for heating in food industry is known as a safe alternative. In this study, microwave energy at different times and powers for fresh green leaf enzyme inactivation in green tea production was used. In the first stage, the blanching times (30, 60, 90 and 120 s) in the highest power (900 w) of the microwave were applied on green leaves; and in the second stage different microwave powers (500, 600, 700, 800 and 900 w) in the best time of blanching were used on green leaves. Quality characteristics including total polyphenol, antioxidant activity, chlorophyll and sensory evaluation were determined. The data were analyzed in a completely randomized design with four treatments (in first part) and five treatments (in second part) in three replications. The results showed increasing the blanching time (90 and 120 s), caused increasing in antioxidant activity and improved the sensory properties of green tea. Green tea treated in 90 and 120 s blanching did not show a significant decrease in quality after one year of storage. As the oven power for green leaf blanching increased, the taste, aroma and total sensory scores of green tea clearly increased. The amount of chlorophyll, polyphenols and sensory properties such as taste, aroma and total sensory scores of green tea treated in 500 w power was less than that in other treats. Green leaf blanching in 120 s with a power of at least 700 w showed the best result in terms of quality characteristics of green tea and its storage properties.

**Key words:** Enzyme inactivation, Microwave Oven, Green Tea, Quality, Shelf Life.