مقاله علمی پژوهشی/ نشریه پژوهش‌های صنایع غذایی/ جلد ۳۰ شماره ۳/ سال ۱۳۹۹/ صفحات ۱۵۱تا ۱۶۷

اثر امواج مایکروویو روی باقیمانده آفت‌کش و ویژگی‌های فیزیکی‌شیمیایی و میکروبی میوه خشک شده زردآلو طی زمان نگهداری

سمیه سلیمانی مهر[۱]، زینب رفتنی امیری[۲*]، رضا اسماعیل زاده کناری[۲] و احسان صادقی[۳]

تاریخ دریافت: ۹۸/۱/۱۷ تاریخ پذیرش: ۹۸/۵/۸

[۱] دانشجوی دکتری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

[۲] دانشیار گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

[۳] استاد گروه علوم و صنایع غذایی،دانشکده تغذیه و صنایع غذایی، دانشگاه علوم پزشکی کرمانشاه

[*]مسئول مکاتبه: E-mail: zramiri@gmail.com, z.raftani@sanru.ac.ir

چکیده

زمینه مطالعاتی: کاهش باقیمانده آفت‌کش‌ها با بهبود کیفیت مواد غذایی و سلامت انسان همراه است. **هدف**: در این مطالعه، اثر امواج مایکروویو روی میزان باقیمانده آفت‌کش اورتوساید (با نام تجاری کاپتان) در زردآلوی خشک شده بررسی شد. **روش کار**: آفت‌کش کاپتان در سطوح ۲۵، ۵۰ و ۷۵ پی‌پی‌بی در قالب طرح کاملاً تصادفی با آزمایش فاکتوریل به میوه‌های خشک شده ارگانیک زردآلو رقم نصیری تلقیح شدند و سپس میزان باقیمانده آفت‌کش نمونه‌های تلقیح شده، پس از پرتودهی با امواج مایکروویو (زمان‌های ۲/۵ و ۵ دقیقه) طی ۲ ماه نگهداری تعیین شد. هم‌چنین، ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و میکروبی، رنگ و فعالیت آنتی‌اکسیدانی در نمونه‌های بدون تلقیح آفت‌کش پس از پرتودهی با امواج مایکروویو در زمان‌های متفاوت نگهداری (صفر، ۳۰ و ۶۰ روز) اندازه گیری شدند. **نتایج**: امواج مایکروویو سبب کاهش معنی‌دار میزان باقی‌مانده آفت‌کش در همه سطوح تلقیح نسبت به نمونه کنترل شد ($p<۰/۰۵$). علاوه بر این، افزایش مدت زمان نگهداری نیز اثر معنی‌داری بر کاهش میزان آفت‌کش داشت. همچنین، امواج مایکروویو موجب افزایش میزان ترکیبات فنولی، فعالیت آنتی‌اکسیدانی، میزان خاکستر و قند احیا و نیز کاهش میزان رطوبت نمونه‌ها شدند ($p<۰/۰۵$). امواج مایکروویو تعداد کلی میکروارگانیسم‌ها و تعداد کپک و مخمر نمونه‌ها را در مقایسه با نمونه کنترل به طور معنی‌داری کاهش دادند. از طرفی، امواج مایکروویو موجب کاهش فاکتور L^* (روشنی) و نیز افزایش فاکتور a^* (قرمزی) و b^* (زردی) نمونه‌ها شد ($p<۰/۰۵$). **نتیجه گیری نهایی**: زمان ۵ دقیقه تیمار با امواج مایکروویو در مقایسه با زمان ۲/۵ دقیقه با تغییرات بیشتری در همه پارامترهای اندازه گیری شده همراه بود ودر کاهش باقیمانده آفت‌کش کارایی بالاتری داشت.

واژگان کلیدی: امواج مایکروویو، باقی‌مانده آفت‌کش، زردآلوی خشک شده، زمان نگهداری، فعالیت آنتی‌اکسیدانی

مقدمه

زردآلو با نام علمی *Prunus armeniaca* از جایگاه خاصی در صنعت میوه‌کاری ایران برخوردار است و کشت و پرورش آن به عنوان یکی از میوه‌های مهم از دیرباز در ایران انجام گرفته است. ایران یکی از کشورهای اصلی تولید کننده زردآلو است و با تولید

۲۵۲۷۴۷ تن توسط فائو به عنوان سومین تولید کننده زردآلو جهان در سال ۲۰۱۴ معرفی شد. از ارقام مهم زردآلو ایران می‌توان شکرپاره، شمس، نخجوان، شرو و قرمز شاهرود را نام برد که بیشتر به صورت خشک شده (برگه) مورد استفاده قرار می‌گیرد (خوشخوی و همکاران ۱۳۸۷). زردآلو دارای فواید تغذیه‌ای و سلامتی بخش زیادی است. این میوه غنی از بتا کاروتن، اسید آسکوربیک، آنتی‌اکسیدان، کاروتنوئیدها، آهن، پتاسیم، کربوهیدرات، ویتامین‌های A، B و C، مواد معدنی و فیبر است و رنگ و طعم مطلوبی نیز دارد (وانی و همکاران ۲۰۱۷). خشک کردن زردآلو با تقلیل رطوبت و به عبارت دیگر کاهش فعالیت آنزیم‌ها و میکروب‌ها سبب افزایش ماندگاری آن می‌شود (صالحی، ۱۳۹۶) که می‌تواند در راستای بهبود صادرات این محصول نیز اهمیت داشته باشد. مصرف میوه‌های خشک رایج و گسترده است و این میوه‌ها انتخاب تغذیه‌ای سالمی تلقی می‌شوند. یکی از موانع اصلی مصرف میوه‌های خشک استفاده از آفت‌کش‌ها در تولید میوه‌های تازه است. علی رغم مزایای فراوان آفت‌کش‌ها، افزایش استفاده از آن‌ها منجر به ایجاد ترس و نگرانی از پیامدهای این ترکیبات روی سلامت انسان و آلودگی محیط زیست شده است (گویلت و همکاران، ۲۰۰۹). روش‌های متفاوتی برای کاهش آثار آفت‌کش‌ها در مواد غذایی تازه و خشک‌شده پیشنهاد شده است که از آن جمله می‌توان به شست‌و شو، انبار کردن، پوست‌گیری، حرارت، جوشاندن، سرخ‌کردن، کنسرو کردن و انجماد اشاره کرد (علی‌محمدی و همکاران ۱۳۹۲). با این وجود، به دلیل طبیعت مقاوم برخی از آفت‌کش‌ها و عدم کفایت روش‌های سنتی حذف آفت‌کش، استفاده از روش‌های نوین از جمله پرتودهی با امواج مایکروویو جهت کاهش میزان باقیمانده آفت‌کش‌ها مورد توجه زیادی قرار گرفته است. امواج مایکروویو بخشی از امواج الکترومغناطیسی با دامنه فرکانس ۳۰۰ مگاهرتز تا ۳۰۰ گیگاهرتز هستند. امواج مایکروویو و روش‌های فرکانس رادیویی روش‌های مناسبی برای آلودگی‌زدایی حرارتی در مرحله پس از برداشت میوه‌های هسته‌دار معرفی شده‌اند. مواد دی الکتریک مانند اغلب محصولات کشاورزی زمانی‌که در معرض یک موج مایکروویو قرار می‌گیرند به واسطه تمایل مولکول‌های آب به هم راستا شدن در جهت میدان و ایجاد اصطکاک درونی، گرما تولید می‌کنند (وانگ و همکاران ۲۰۰۱ و لینگ و همکاران ۲۰۱۵). هنگام استفاده از انرژی مایکروویو مرکز میوه به سرعت به درجه حرارت مورد نظر می‌رسد و این درجه حرارت کمتر از درجه حرارت بحرانی است که باعث آسیب رساندن به بافت میوه می‌شود (وانگ و همکاران ۲۰۰۱). برخی از بحث‌های علمی بر وجود اثرات غیر حرارتی تابش امواج مایکروویو علاوه براثرات کشنده ناشی از حرارت متمرکز شده است (وادیوامبال و جایاس ۲۰۱۰). در مطالعات پیشین، کارایی امواج مایکروویو روی کاهش بقایای آفت‌کش‌ها بررسی شده است. از امواج مایکروویو به تنهایی و نیز در ترکیب با هیدروژن پراکسید در حذف ۴-کلروفنول استفاده شد و بر اساس نتایج حاصل، شرایط بهینه جهت دستیابی به بیشترین میزان تجزیه این ترکیب، pH برابر ۱۰، غلظت ۰/۱ مولار هیدروژن پراکسید و توان ۶۰۰ وات عنوان شد. بهترین سرعت تخریب در غلظت ۵۰ پی‌پی‌ام ۴- کلروفنول به دست آمد (سید محمدی و همکاران ۲۰۱۲). روش‌های اکسایش پیشرفته بر اساس مایکروویو و پرسولفات برای حذف آفت‌کش پنتاکلروفنول از محیط‌های آبی مورد استفاده قرار گرفت. شرایط بهینه برای کاهش میزان این آفت‌کش در pH برابر ۱۱، غلظت ۰/۰۲ مولار پرسولفات و توان ۶۰۰ وات مایکروویو در غلظت ثابتی از پنتاکلروفنول به دست آمد (سجادی و همکاران ۲۰۱۶). با این وجود، گزارشی مبنی بر استفاده از امواج مایکروویو در کاهش میزان آفت‌کش‌ها زردآلوی خشک شده وجود ندارد. از این رو، هدف از مطالعه حاضر ارزیابی اثر پرتودهی با امواج مایکروویو (زمان‌های ۲/۵ و ۵ دقیقه) بر کاهش میزان باقیمانده آفت‌کش زردآلوی خشک شده تلقیح شده با سطوح متفاوت آفت‌کش کاپتان (۲۵، ۵۰ و ۷۵ پی‌پی‌بی) و بررسی شاخص‌های کیفی آن شامل میزان خاکستر، رطوبت، تعداد کلی میکروارگانیسم‌ها، تعداد کپک و مخمر، قند احیا، ترکیبات فنولی، فعالیت آنتی‌اکسیدانی و رنگ (پارامترهای L^* b^*

و a^*) طی زمان‌های متفاوت نگهداری (صفر، ۳۰ و ۶۰ روز) بود.

مواد و روش‌ها

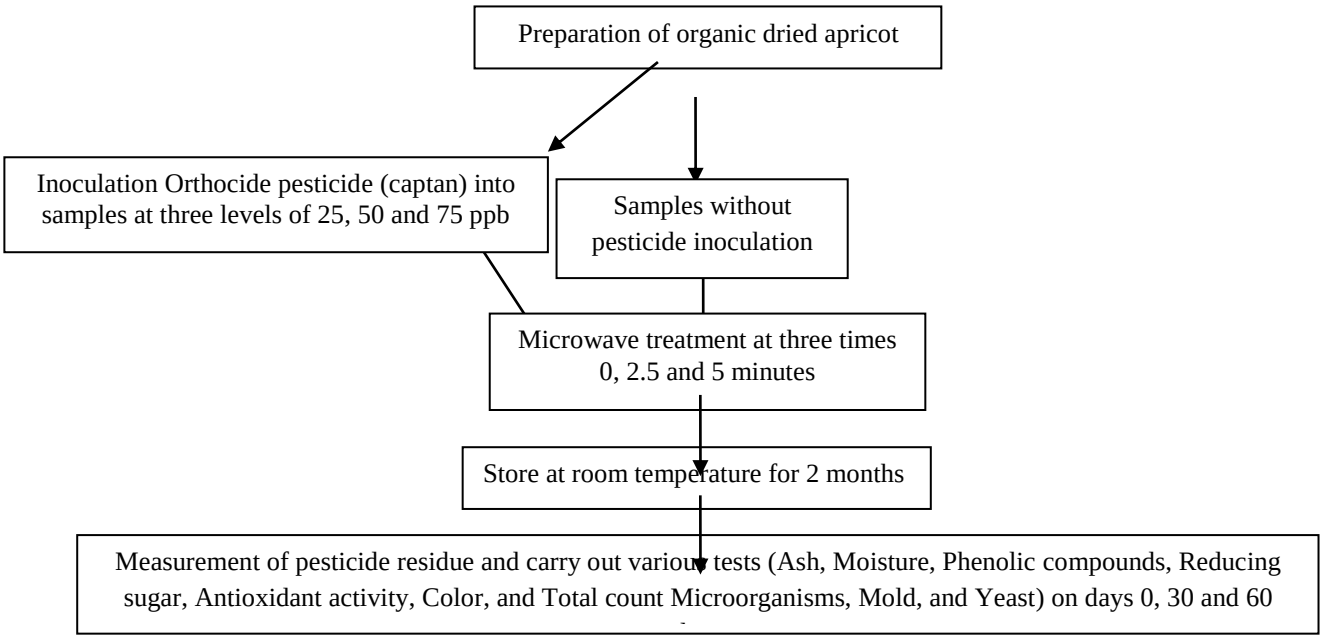
مواد: کلیه مواد شیمیایی واستانداردها استفاده شده از محصولات تولیدی شرکت مرک (Darmstadt, Germany) و سیگما (Saint Louis, MO,USA) بودند.

تهیه نمونه

دراین پژوهش میوه زردآلو (رقم نصیری) از باغ‌های تحت نظارت و بازرسی سازمان جهاد کشاورزی استان کرمانشاه که تحت شرایط کنترل شده با حضور کشاورز و بازرس به صورت ارگانیک کشت گردید و به صورت آفتابی(رطوبت حداکثر ۱۵ درصد برای برگه زردآلو طبق استاندارد ملی ایران به شماره۲۴۹۵) از اواسط شهریور تا اواسط مهر خشک شد، تهیه گردید و جهت انجام آزمون‌های مورد نظر به آزمایشگاه انتقال داده شدند (حسین و همکاران ۲۰۱۰).

تلقیح آفت‌کش

به‌منظور انجام بررسی‌ها در مطالعه‌ی حاضر، آفت‌کش کاپتان در سه سطح ۲۵، ۵۰ و ۷۵ پی‌پی‌بی به میوه‌های خشک شده ارگانیک زردآلو تلقیح شد. سپس نمونه‌های تلقیح شده، تحت امواج مایکروویو قرار گرفتند و میزان باقیمانده آفت‌کش پس از پرتودهی تعیین شد. همچنین، یک سری از نمونه‌ها بدون تلقیح آفت‌کش، تحت پرتودهی با امواج مایکروویو قرار گرفتند و از نظر خاکستر، رطوبت، ترکیبات فنولی، قند احیا، فعالیت آنتی‌اکسیدانی، تعداد کلی میکرواگانیسم‌ها، تعداد کپک و مخمر، رنگ (پارامترهای L^* b^* و a^*) مورد ارزیابی قرار گرفتند. علاوه بر این، یک نمونه هم به عنوان نمونه کنترل که تحت تلقیح با آفت‌کش و تیمار پرتودهی قرار نگرفته بود، در نظر گرفته شد و تمام آزمون‌ها روی آن انجام شد و با نتایج حاصل از نمونه‌های پرتودهی شده مقایسه گردید. آزمون‌های نامبرده روی نمونه‌ها طی دو ماه نگهداری در دمای محیط نیز تکرار شد (شکل ۱).



شکل ۱- نمایش شماتیک مراحل انجام پژوهش

Figure 1- Schematic representation of research steps

تأثیر فرآوری مایکروویو

بررسی تأثیر فرآوری مایکروویو بر بقایای آفت‌کش نمونه‌های زردآلو در توان ۹۰۰ وات با فرکانس ۲۴۵۰

مگاهرتز در دو زمان ۲/۵ و ۵ دقیقه انجام گرفت (سید محمدی و همکاران، ۲۰۱۲). پرتودهی نمونه‌ها با امواج مایکروویو به صورت متناوب (۳۰ ثانیه روشن و ۳۰ ثانیه خاموش) انجام شد(داس و همکاران، ۲۰۰۰؛ پرز - فلورز و همکاران، ۲۰۱۱ و پروین بساران و همکاران، ۲۰۰۹). سپس نمونه‌ها تحت آزمون‌های مختلف قرار گرفتند.

تعیین باقیمانده آفت‌کش

باقیمانده آفت‌کش توسط کروماتوگرافی گازی- طیف سنج جرمی (GS/MS) (EN 15662 Quechers method) اندازه گیری شد. به این منظور، ۱۰-۱۵ گرم نمونه پودری برگه زردآلو به ۱۰ میلی‌لیتر آب اضافه شد و یک دقیقه همزده شد تا نمونه هموژنی به دست آید. سپس، چهار گرم سولفات منیزیم، یک گرم کلرید سدیم، یک گرم تری سدیم سیترات و ۰/۵ گرم دی سدیم هیدروژن سیترات اضافه گردید و به دنبال آن مخلوط یک دقیقه همزده شد. در ادامه، نمونه‌ها به مدت ۵ دقیقه با سرعت ۳۰۰۰ دور بر دقیقه سانتریفوژ شدند. سپس برای مرحله شستشو، یک میلی‌لیتر از محلول استخراج شده به لوله‌های D-SPE که حاوی ۱۵۰ میلی‌گرم سولفات منیزیم و ۲۵ میلی‌گرم PSA (آمین نوع اول و نوع دوم) بودند، اضافه گردید و پس از دو دقیقه همزدن، سانتریفوژ به مدت ۵ دقیقه انجام شد. در نهایت، عصاره نهائی به‌دست آمده آماده تزریق به GC/MS گردید (کیسلیک و همکاران ۲۰۱۱). همچنین، غلظت‌های ۲۰، ۴۰و ۸۰ پی‌پی‌بی (میکروگرم بر لیتر) از استاندارد آفت‌کش کاپتان تهیه شد و جهت رسم نمودار کالیبراسیون به دستگاه GC/MS تزریق شد. شرایط دستگاه GC به شرح زیر بود: حجم تزریق یک میکرولیتر به حالت Splitless، دمای تزریق ۲۵۰ °C، گاز هلیوم با خلوص۹۹/۹۹ درصد به عنوان گاز حامل با سرعت ۱/۵ میلی‌لیتر بر دقیقه و ستون RTX.5 با طول ۵۰ متر. دمای آون نیز ۹۰ °C بود که به مدت ۱/۵ دقیقه در این دما حفظ شد و در ادامه با سرعت ۸ °C بر دقیقه به ۳۴۰ °C رسید.

اندازه‌گیری و سنجش پارامترهای اولیه

محتوای رطوبت: میزان رطوبت نمونه‌ها پس از پرتودهی و در طول زمان به روش AOAC اندازه گیری شد (AOAC 2005; 934.06).

خاکستر: محتوای خاکستر نمونه‌ها پس از پرتودهی و طی زمان نگهداری به روش AOAC اندازه‌گیری شد (AOAC 2005; 940.26).

قند کل

محتوای قند نمونه‌ها پس از پرتودهی و طی زمان نگهداری به روش AOAC اندازه گیری شد (AOAC 2005; 925.36).

شمارش کلی میکروارگانیسم‌ها و تعداد کپک و مخمر

ابتدا نمونه‌ها از هر کدام از گروه‌های تیماری در زمان‌های متفاوت پرتودهی (۲/۵ دقیقه و ۵ دقیقه) و نگهداری (صفر، ۳۰ و ۶۰ روز) به صورت اتفاقی انتخاب شدند. سپس نمونه‌های خشک میوه‌ها در هاون چینی استریل پودر شدند و ۲۵ گرم از آن‌ها به ۲۲۵ میلی‌لیتر محلول رقیق‌کننده‌ی سرم فیزیولوژی جهت تهیه رقت 10^{-1} منتقل شد و از آن برای آماده سازی رقت‌های دیگر استفاده گردید. جهت شمارش کلی میکروارگانیسم‌ها از روش کشت سطحی روی محیط کشت PCA[1]استفاده شد. به این منظور، یک‌دهم میلی-لیتر از رقت‌های مختلف روی سطح محیط کشت ریخته شد و با میله‌ی L شکل سترون کاملاً در سطح پلیت پخش شد. سپس، پلیت‌ها در دمای ۳۰C ^{o} به مدت ۴۸ ساعت گرمخانه‌گذاری شدند. جهت شمارش کپک و مخمر نیز از روش کشت سطحی روی محیط کشت YGC[2] استفاده شد و پلیت‌ها در دمای ۲۵ °C به مدت ۵ روز گرمخانه‌گذاری شدند. سپس، پرگنه‌های حاصل از رشد سطحی روی محیط‌های PCA و YGC به کمک پرگنه‌شمار مورد شمارش قرار گرفت و تعداد باکتری-هاو کپک و مخمر در هر گرم نمونه محاسبه شد (رحمان و همکاران، ۲۰۱۱).

[1] Plate count agar
[2] Yeast extract glucose chloramphenicol agar

میزان ترکیبات فنولی کل و فعالیت آنتی‌اکسیدانی

برای انجام این آزمون‌ها، عصاره نمونه‌ها استخراج شد. به این صورت که، نمونه‌های پودری با آب مقطر به نسبت ۱ به ۱۰ مخلوط شدند و همزدن به مدت ۸ ساعت در دمای محیط صورت گرفت. سپس، میزان ترکیبات فنولی به روش فولین- سیوکالتو اندازه‌گیری شد. منحنی استاندارد نیز بر اساس گالیک اسید رسم شد و میزان ترکیبات فنولی به صورت میلی‌گرم گالیک اسید در یک گرم وزن خشک نمونه بیان شد (عربشاهی و عروج ۲۰۰۷). از آزمون DPPH نیز برای تعیین فعالیت آنتی‌اکسیدانی استفاده شد (عربشاهی و عروج ۲۰۰۷).

سنجش رنگ

رنگ نمونه‌ها با استفاده از رنگ‌سنج هانترلب در دمای ۲۵ °C با قرائت فاکتورهای L^* (روشنایی)، a^* (قرمزی) و b^* (زردی) پس از درجه‌بندی دستگاه با بشقابک سیاه و سفید (b^*=۱/۱۹، a^*=-۱/۹ و L^*=۹۲/۲۳) تعیین گردید (باساران و اخان ۲۰۱۰).

آنالیز آماری

در این تحقیق تأثیر فاکتورهای میزان تلقیح آفت‌کش، تیمار پرتودهی و زمان نگهداری بر میزان باقیمانده آفت‌کش و هم‌چنین، تأثیر تیمارهای مختلف پرتودهی بر خواص فیزیکی-شیمیایی، ترکیبات فنولی، خاصیت آنتی‌اکسیدانی و رنگ زردآلو در طی دوره نگهداری در قالب طرح اندازه‌گیری‌های تکرار شده در زمان و طرح پایه فاکتوریل مورد تجزیه و تحلیل قرارگرفت. نتایج به‌دست آمده با استفاده از روش آنالیز واریانس (ANOVA) و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون حداقل مربعات میانگین در سطح معنی‌داری ۵ درصد ($p<۰/۰۵$) مورد تجزیه و تحلیل قرارگرفت. تیمارها در سه تکرار انجام شد و آنالیزهای آماری و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از نرم‌افزارهای SAS نسخه ۹/۱ انجام گرفت. نمودارها با استفاده از نرم‌افزار اکسل رسم شد و نتایج بر اساس میانگین ± انحراف استاندارد گزارش شدند.

نتایج و بحث

تأثیر پرتودهی با امواج مایکروویو بر میزان باقیمانده آفت‌کش

جدول‌های ۱ و ۲ به ترتیب میزان و درصد کاهش آفت-کش باقیمانده را در طی زمان‌های متفاوت پرتودهی با امواج مایکروویو و نگهداری در میوه‌ی خشک شده زردآلوی تیمار شده با دوزهای مختلف آفت‌کش کاپتان نشان می‌دهد. با توجه به داده‌های جدول ۲، پرتودهی به مدت ۵ دقیقه با امواج مایکروویو بیشترین اثر را در کاهش بقایای آفت‌کش داشت و اختلاف معنی‌داری با زمان ۲/۵ دقیقه در همه سطوح تلقیح و هر سه زمان نگهداری نشان دادند ($p<۰/۰۵$). همچنین، با افزایش مدت زمان نگهداری از صفر به ۶۰ روز کاهش معنی‌داری در میزان بقایای آفت‌کش مشاهده شد (جدول ۱). درصد کاهش آفت‌کش کاپتان در نمونه‌های با سطح تلقیح ۵۰ و ۷۵ پی‌پی‌بی نسبت به نمونه‌های با سطح تلقیح ۲۵ پی‌پی‌بی بیشتر بود (جدول ۲). در مقایسه با نمونه کنترل، بالاترین درصد کاهش آفت‌کش کاپتان (۲۶/۰۷ درصد) مربوط به نمونه‌های پرتودهی شده به مدت ۵ دقیقه و غلظت تلقیح ۵۰ پی‌پی‌بی پس از تلقیح بود و پس از آن نمونه‌های تیمار شده با همین زمان و سطح تلقیح ۷۵ پی‌پی‌بی پس از ۶۰ روز نگهداری (۲۴/۹۸ درصد) و سطح تلقیح ۵۰ پی‌پی‌بی و زمان ۳۰ روز نگهداری با کاهش ۲۴/۳۹ درصد قرار گرفتند. مایکروویو یک فرایند حرارتی است. سازوکار حرارت‌دهی مایکروویو بر اساس برهم‌کنش دوقطبی و هدایت یونی یا رانش یونی می‌باشد. با نفوذ امواج مایکروویو در مواد غذایی، یک برهم‌کنش دوقطبی رخ می‌دهد و مولکول‌های آب و مولکول‌های قطبی دیگر تمایل دارند تا خودشان را با میدان الکتریکی هم‌راستا نمایند. مولکول‌ها در این قبیل فرکانس‌ها شروع به نوسان کرده و سبب ایجاد اصطکاک‌های بین مولکولی می‌گردند، که به واسطه این موضوع انرژی قابل ملاحظه‌ای ایجاد شده و در نتیجه گرمایش حجمی اتفاق می‌افتد.

جدول ۱- اثر تابش مایکروویو بر باقی مانده سموم آفت کش کاپتان در زردآلوی خشک شده در حین نگهداری

Table 1- Effect of microwave irradiation on captan pesticide residue of dried apricots during storage

Spiked Pesticides(ppb)	exposure time of Microwave radiation (min)	Storage time (day)		
		0	30	60
25	0.0	22.50 ± 0.06^{Aa}	21.67 ± 0.15^{Ba}	21.17 ± 0.03^{Ca}
	2.5	20.79 ± 0.03^{Ab}	20.19 ± 0.02^{Bb}	19.90 ± 0.02^{Bb}
	5.0	17.18 ± 0.04^{Ac}	16.63 ± 0.03^{Bc}	16.64 ± 0.03^{Bc}
50	0.0	48.48 ± 0.03^{Aa}	46.84 ± 0.08^{Ba}	46.31 ± 0.04^{Ca}
	2.5	42.29 ± 0.05^{Ab}	41.41 ± 0.02^{Bb}	40.71 ± 0.02^{Cb}
	5.0	35.45 ± 0.03^{Ac}	34.64 ± 0.03^{Bc}	34.19 ± 0.04^{Cc}
75	0.0	72.79 ± 0.04^{Aa}	71.40 ± 0.03^{Ba}	71.09 ± 0.07^{Ca}
	2.5	64.48 ± 0.05^{Ab}	63.81 ± 0.04^{Bb}	63.55 ± 0.03^{Cb}
	5.0	54.76 ± 0.04^{Ac}	53.67 ± 0.04^{Bc}	52.36 ± 0.03^{Cc}

Values are the means±standard deviations (n=3). Different capital letters (A, B, C, . . .) in the same row shows significant difference among different storage times for each treatment and different lowercase letters (a, b, c, . . .) in the same column shows significant difference among different treatments ($p<0.05$).

هدایت یونی یا رانش یونی سازوکار مهم دیگر در حرارت‌دهی مایکروویو می‌باشد. هنگامی که محلول‌های یونی در معرض میدان مایکروویو قرار می‌گیرند، یون‌ها به‌صورت اجباری در یک جهت و سپس به سرعت در جهت مخالف در میدان متناوب جریان می‌یابند. برخوردهای ایجاد شده بین یون‌ها و سایر مولکول‌ها سبب تبدیل انرژی جنبشی یون‌های متحرک به انرژی گرمایی می‌گردد (سالازار-گونزالس و همکاران ۲۰۱۲). اثر تخریبی مایکروویو در برابر آفت‌کش‌ها به وجود نقاط داغ و نیز اثر غیر حرارتی مایکروویو نسبت داده می‌شود (سجادی و همکاران ۲۰۱۶). مطالعات کمی در زمینه بررسی اثر امواج مایکروویو بر کاهش میزان باقیمانده آفت‌کش در محصولات مختلف وجود دارد. روش‌های اکسایش پیشرفته بر اساس مایکروویو و پرسولفات برای حذف آفت‌کش پنتاکلروفنول از محیط‌های آبی حاکی از کاهش غلظت آفت‌کش با استفاده از امواج مایکروویو بود (سجادی و همکاران ۲۰۱۶). سید محمدی و همکاران (۲۰۱۲) نیز اثر مثبت امواج مایکروویو را روی تخریب ۴- کلروفنول تایید کردند.

جدول ۲- مقدار کاهش بقایای آفت کش کاپتان در زردآلو خشک شده پس از تابش مایکروویو

Table 2- Reduction amount of captan pesticide residue of dried apricots after microwave irradiation

Spiked Pesticides(ppb)	exposure time of Microwave radiation (min)	Storage time (day)		
		0	30	60
25	2.5	6.48^{Af}	5.89^{Be}	5.05^{Cf}
	5.0	21.29^{Ac}	20.16^{Bc}	18.09^{Cc}
50	2.5	12.38^{Ad}	10.85^{Bd}	11.19^{Bd}
	5.0	26.07^{Aa}	24.39^{Ba}	24.24^{Bb}
75	2.5	11.07^{Ae}	10.13^{Bd}	10.05^{Be}
	5.0	24.04^{Bb}	23.64^{Cb}	24.98^{Aa}

Values are the means±standard deviations (n=3). Different capital letters (A, B, C, . . .) in the same row shows significant difference among different storage times for each treatment and different lowercase letters (a, b, c, . . .) in the same column shows significant difference among different treatments ($p<0.05$).

هم راستا با نتایج ما، در پی پختن بادمجان با امواج مایکروویو، باقیمانده آفت‌کش سایپرمترین[1] از ۱/۵۷۰ میکروگرم در گرم به ۰/۹۲۸ میکروگرم در گرم در روز نخست کاهش یافت و در روز دوم و سوم کاهش بیشتری در میزان باقی‌مانده این آفت‌کش مشاهده شد (والیاو همکاران ۲۰۱۰). کواشیک و همکاران (۲۰۱۶) تأثیر مثبت فرآیند با امواج مایکروویو را بر کاهش باقیمانده آفت‌کش کلرپیریفوس در نخود تایید کردند. در مطالعه دیگری، میزان کاهش حشره کش پروفنوفوس[2] در میوه بادمجان با پخت از طریق مایکروویو (۵ دقیقه) بسته به زمان نگهداری در محدوده ۶۳/۱۵ - ۷۳/۶۸ درصد قرار داشت. درصد کاهش باقی‌مانده‌های

[1] Cypermethrin

[2] Profenofos

آفت‌کش آسفات در بادمجان طی پختن با امواج مایکروویو ۵۸/۵۳ و ۶۵/۱۱ درصد به ترتیب در روزهای اول و سوم بود. همچنین پختن بادمجان با امواج مایکروویو در روزهای اول، سوم و پنجم سبب کاهش ۶۰، ۶۶/۳۷ و ۷۲/۷۲ درصدی باقی‌مانده‌های تریازوفوس شد (برار و همکاران ۲۰۱۷).

تأثیر پرتودهی با امواج مایکروویو بر میزان رطوبت

جدول ۳ نتایج مربوط به میزان رطوبت، خاکستر و قند احیا نمونه‌های زردآلو را پس از پرتودهی به روش مایکروویو طی دو ماه نگهداری نشان می‌دهد. داده‌های حاصل بیانگر کاهش معنی‌دار میزان رطوبت نمونه‌های زردآلو در اثر پرتودهی با امواج مایکروویو بود. با افزایش زمان پرتودهی کاهش بیشتری در میزان رطوبت مشاهده شد که این کاهش در زمان‌های ۳۰ و ۶۰ روز بین تیمارهای ۲/۵ و ۵ دقیقه معنی‌دار بود ($p<۰/۰۵$). زمان نگهداری موجب کاهش میزان رطوبت نمونه‌های تیمار شده با امواج مایکروویو در هر دو زمان پرتودهی شد. در کل، نمونه‌های تیمار شده به مدت ۵ دقیقه با امواج مایکروویو بعد از ۶۰ روز نگهداری بیشترین میزان کاهش رطوبت را نشان دادند. کاهش رطوبت نمونه‌ها می‌تواند با حرارت تولید شده طی فرایند مایکروویو توجیه شود. به طورمشابهی، درصد رطوبت نمونه‌های هلو تحت تأثیر پرتودهی با امواج مایکروویو کاهش یافت و با افزایش توان و مدت زمان اشعه‌دهی میزان رطوبت نمونه‌ها کاهش بیشتری داشت. با افزایش نگهداری در سردخانه هم میزان کاهش رطوبت بیشتر شد (آذر پژوه و نیکخواه ۱۳۸۷). تأثیر توان و زمان مایکروویو بر افت وزن نمونه‌های نان طی پخت (کسکین و همکاران ۲۰۰۴) و نیز برشته کردن فندق با امواج مایکروویو- مادون قرمز گزارش شده است (اویسال و همکاران ۲۰۰۹).

تأثیر پرتودهی با امواج مایکروویو بر میزان خاکستر

بر اساس داده‌های جدول ۳، به دلیل کاهش محتوای رطوبت نمونه‌ها پس از تیمار با امواج مایکروویو، میزان خاکستر آن‌ها به طور معنی‌داری در مقایسه با نمونه کنترل افزایش یافت و این افزایش در زمان ۵ دقیقه بالاتر بود. با این وجود، نمونه‌های تیمار شده با ۲/۵ و ۵ دقیقه مایکروویو تفاوت معنی‌داری از نظر خاکستر در زمان ۶۰ نگهداری نشان ندادند ($p>۰/۰۵$). با گذشت زمان نگهداری، محتوای خاکستر نمونه‌ها به طور معنی‌داری افزایش یافت ($p<۰/۰۵$). در کل، بالاترین میزان خاکستر مربوط به نمونه‌های تیمار شده با امواج مایکروویو در روز ۶۰ نگهداری بود.

جدول ۳- محتوای رطوبت ، خاکستر و قند احیا زردآلوی خشک شده پس از تابش مایکروویو

Table 3- Contents of moisture, ash and reducing sugar of dried apricots irradiated with microwave

Physicochemical property	Exposure time of Microwave radiation (min)	Storage time (day)		
		0	30	60
Moisture (%)	0.0	15.27 ± 0.23^{Aa}	14.83 ± 0.17^{Aa}	14.77 ± 0.19^{Aa}
	2.5	14.03 ± 0.12^{Ab}	13.63 ± 0.19^{Abb}	13.22 ± 0.22^{Bb}
	5.0	13.67 ± 0.09^{Ab}	12.93 ± 0.25^{Bc}	12.40 ± 0.17^{Cc}
Ash (%)	0.0	1.28 ± 0.01^{Bc}	1.31 ± 0.03^{ABc}	1.34 ± 0.05^{Ab}
	2.5	1.36 ± 0.05^{Cb}	1.42 ± 0.06^{Bb}	1.56 ± 0.02^{Aa}
	5.0	1.44 ± 0.02^{Ca}	1.51 ± 0.02^{Ba}	1.58 ± 0.02^{Aa}
Reducing sugar (%)	0.0	56.51 ± 1.22^{Ab}	56.42 ± 3.23^{Ab}	56.49 ± 4.22^{Ab}
	2.5	57.19 ± 3.23^{Ca}	57.60 ± 4.74^{Ba}	58.01 ± 2.06^{Aa}
	5.0	57.49 ± 2.26^{Ba}	57.92 ± 4.09^{Aa}	58.23 ± 3.53^{Aa}

Values are the means±standard deviations (n=3). For each physicochemical property, different capital letters (A, B, C, . . .) in the same row shows significant difference among different storage times for each treatment and different lowercase letters (a, b, c, . . .) in the same column shows significant difference among different treatments ($p<0.05$).

تأثیر پرتودهی با امواج مایکروویو بر میزان قند احیا

نتایج جدول ۳ نشان می‌دهد امواج مایکروویو موجب افزایش معنی‌دار میزان قند احیا نمونه‌ها در مقایسه با نمونه کنترل شد. با گذشت زمان، همه نمونه‌ها به جز نمونه کنترل با افزایش معنی‌دار میزان قند احیا مواجه شدند که در نمونه‌های تیمار شده با امواج مایکروویو این افزایش مشهودتر بود. در کل، بیشترین میزان قند

احیا در نمونه‌های با تیمار ۵ دقیقه مایکروویو در زمان ۶۰ روز (۵۸/۲۳ درصد) مشاهده شد. افزایش معنی‌دار میزان خاکستر و قند احیا توسط امواج مایکروویو می‌تواند به کاهش رطوبت نمونه و در نتیجه افزایش غلظت مواد معدنی و قند نمونه‌ها مربوط باشد. به طور مشابهی، تیمار مایکروویو موجب افزایش میزان قند احیا در نمونه‌های هلو شد (آذر پژوه و نیکخواه، ۱۳۸۷).

تأثیر پرتودهی با امواج مایکروویو بر تعداد کلی میکروارگانیسم‌ها و تعداد کپک و مخمر

جدول ۴ نتایج مربوط به شمارش کلی میکروارگانیسم‌ها و تعداد کپک و مخمر نمونه‌های برگه زردآلو را پس از پرتودهی به روش مایکروویو طی دو ماه نگهداری نشان می‌دهد. همانطوری که در جدول ۴ مشاهده می‌شود، پرتودهی موجب کاهش تعداد کلی میکروارگانیسم‌ها، تعداد کپک و تعداد مخمر نمونه‌های برگه زردآلو شد. افزایش زمان پرتودهی با امواج مایکروویو در هر یک از زمان‌های نگهداری (صفر، ۳۰ روز و ۶۰ روز) موجب کاهش معنی‌دار تعداد کلی میکروارگانیسم‌ها، تعداد کپک و تعداد مخمر نمونه‌ها شد و تیمار به مدت ۵ دقیقه با امواج مایکروویو در مقایسه با زمان ۲/۵ دقیقه تأثیر بیشتری در کاهش تعداد میکروارگانیسم‌ها داشت. با افزایش زمان پرتودهی با امواج مایکروویو لگاریتم میکروارگانیسم‌ها بلافاصله پس از تیمار پرتودهی، از ۳/۵۳ log CFU/g در ۲/۵ دقیقه به ۲/۳۹ log CFU/g در ۵ دقیقه رسید. در زمان صفر لگاریتم تعداد کپک در نمونه‌های تیمار شده با ۵ دقیقه امواج مایکروویو برابر با ۰/۶۲ log CFU/g بود که پایین تر از مقادیر تعیین شده برای نمونه‌های با تیمار ۲/۵ دقیقه (۱/۷۷ log CFU/g) بود. با افزایش زمان پرتودهی با امواج مایکروویو لگاریتم تعداد مخمر بلافاصله پس از تیمار پرتودهی، از ۲/۲۶ log CFU/g در ۲/۵ دقیقه به log ۱/۹۴ CFU/g در ۵ دقیقه رسید. با گذشت زمان، تعداد کلی میکروارگانیسم‌ها و تعداد کپک و مخمر در همه نمونه‌ها از جمله نمونه‌های کنترل افزایش یافت. با این وجود، در مورد نمونه‌های تیمار شده با ۵ دقیقه مایکروویو، زمان اثر معنی‌داری روی تعداد کپک و مخمر نداشت ($p>0/05$). با توجه به سینتیک غیرفعال-سازی میکروبی، بحث‌های علمی بر وجود اثرات غیر حرارتی گرمایش مایکروویو علاوه براثرات کشنده ناشی از حرارت متمرکز شده است (وادیوامبال و جایاس ۲۰۱۰). اساساً دو سازوکار برای غیرفعال‌سازی میکروارگانیسم‌ها پیشنهاد شده است. سازوکار اول بیان می‌کند که مرگ میکروارگانیسم‌ها کاملاً ناشی از حرارت است که موجب تغییر ماهیت پروتئین‌ها، فعالیت غیر عادی آنزیم‌ها، نوکلئیک اسیدها و تخریب غشاء می-گردد (هدلسون و دورس ۱۹۹۴). در سازوکار دوم بحث بر این است که علاوه بر حرارت، اثرات غیرحرارتی نیز در غیرفعال‌سازی میکروارگانیسم‌ها نقش دارند. نظریه-های توسعه یافته جهت تقویت اثر غیرحرارتی شامل گرمایش انتخابی (گرمایش مؤثرتر میکروارگانیسم‌ها به وسیله امواج مایکروویو نسبت به محیط احاطه کننده)، منافذ غشایی (نشتی ناشی از ایجاد منافذ در غشاء سلول میکروارگانیسم‌ها)، تخریب غشاء سلولی و لیز شدن سلول باکتری‌ها (به‌واسطه تأثیر متقابل انرژی مغناطیسی با مولکول‌های حیاتی) می‌باشند (کوزمپل و همکاران ۱۹۹۸). اما در بیشتر پژوهش‌ها نابودسازی میکروارگانیسم‌ها با مایکروویو به اثرات حرارتی آن نسبت داده شده است (کانومیر و همکاران ۲۰۰۲).

اثر ضد میکروبی پرتودهی در پژوهش‌های زیادی تأیید شده است. میانگین شمارش کلی میکروبی و شمارش کپک و مخمر در همبرگر خام پس از پخت با مایکروویو کاهش معنی‌داری داشت (تربتی و همکاران ۱۳۹۰). همچنین، استفاده از پیش تیمار مایکروویو در خشک کردن ریشه جوز سبب افزایش خواص ضد میکروبی آن شد (اکبریان میمند و همکاران ۱۳۹۴). فرآیند مایکروویو اثرات بهتری در میزان بارمیکروبی نمونه‌های آلو، کشمش و برگه خصوصاً نمونه‌های آلو در مقایسه با روش دود دادن با گوگرد نشان داده است (عین افشار ۱۳۸۵). در مطالعه دیگری مشخص شد فرایند مایکروویو علاوه بر خشک کردن مناسب می-تواند بار میکروبی نمونه‌های زعفران را تا حد زیادی کاهش دهد (حسینی نژاد و همکاران ۱۳۸۱).

جدول ۴- تعداد کل میکروب شمارش شده، تعداد کپک و مخمر در زردآلوی خشک شذه پس از تابش مایکروویو

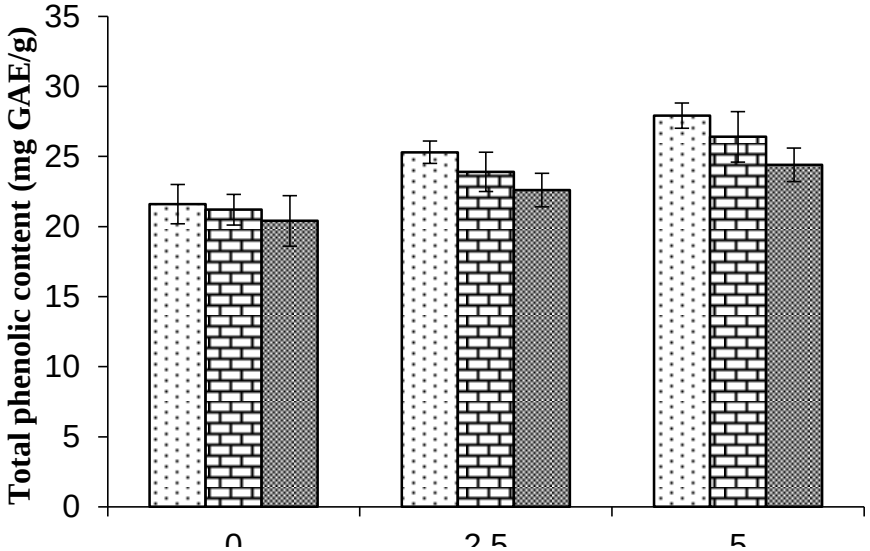
Table 4- Total microbial count and mold and yeast counts of dried apricots irradiated with microwave

Microbial experiment	Exposure time of Microwave radiation (min)	Storage time (day)		
		0	30	60
Total microbial count (log CFU/g)	0.0	4.85 ± 0.27^{Ba}	4.90 ± 0.32^{Aa}	4.93 ± 0.41^{Aa}
	2.5	3.53 ± 0.15^{Cb}	3.61 ± 0.24^{Bb}	3.68 ± 0.19^{Ab}
	5.0	2.39 ± 0.13^{Cc}	2.50 ± 0.09^{Bc}	2.54 ± 0.11^{Ac}
Mold count (log CFU/g)	0.0	3.08 ± 0.03^{Ca}	3.28 ± 0.01^{Ba}	3.43 ± 0.02^{Aa}
	2.5	1.77 ± 0.03^{Bb}	1.86 ± 0.03^{Ab}	2.02 ± 0.06^{Ab}
	5.0	0.62 ± 0.06^{Ac}	0.72 ± 0.06^{Ac}	0.74 ± 0.06^{Ac}
Yeast count (log CFU/g)	0.0	3.48 ± 0.01^{Ca}	3.62 ± 0.01^{Ba}	3.70 ± 0.01^{Aa}
	2.5	2.26 ± 0.02^{Bb}	2.33 ± 0.02^{Bb}	2.38 ± 0.02^{Ab}
	5.0	1.94 ± 0.01^{Ac}	1.95 ± 0.05^{Ac}	1.97 ± 0.01^{Ac}

Values are the means±standard deviations (n=3). For each microbial experiment, different capital letters (A, B, C, . . .) in the same row shows significant difference among different storage times for each treatment and different lowercase letters (a, b, c, . . .) in the same column shows significant difference among different treatments ($p<0.05$).

تأثیر پرتودهی با امواج مایکروویو بر میزان ترکیبات فنولی

شکل ۲ نتایج مربوط به میزان ترکیبات فنولی نمونه‌های برگه زردآلو را پس از پرتودهی به روش مایکروویو در طی دو ماه نگهداری نشان می‌دهد. استفاده از امواج مایکروویو موجب افزایش میزان ترکیبات فنولی در مقایسه با نمونه کنترل (بدون تیمار با امواج مایکروویو) شد. رابطه مستقیمی بین زمان تیمار با امواج مایکروویو و میزان ترکیبات فنولی وجود داشت و در زمان صفر با افزایش زمان پرتودهی از ۲/۵ دقیقه به ۵ دقیقه میزان ترکیبات فنولی از ۲۵/۳۳ میلی گرم معادل اسید گالیک/گرم نمونه به ۲۷/۹۳ میلی گرم معادل اسید گالیک/گرم نمونه رسید. در طول دوره نگهداری، میزان ترکیبات فنولی در همه نمونه‌های تیمار شده به طور معنی‌داری کاهش یافت ($p<۰/۰۵$). در همه سه زمان مورد آزمون، نمونه‌های تیمار شده با ۵ دقیقه امواج مایکروویو حاوی بیشترین میزان ترکیبات فنولی بودند.



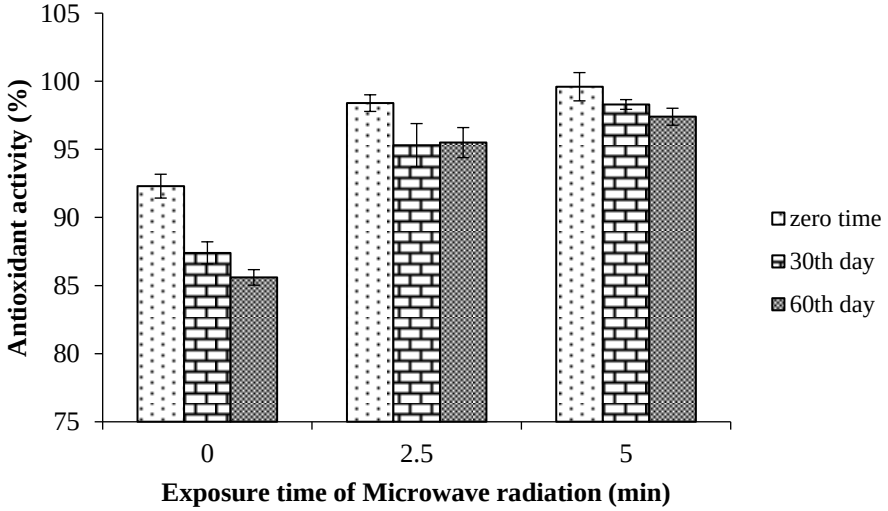
شکل ۲- محتوای فنلی کل زردآلوی خشک شده پس از تابش با مایکروویو

Figure 2- Total phenolic content of dried apricots irradiated with microwave

تأثیر پرتودهی بر فعالیت آنتی‌اکسیدانی

شکل ۳ نتایج مربوط به میزان فعالیت آنتی‌اکسیدانی نمونه‌های برگه زردآلو را پس از پرتودهی به روش مایکروویو طی دو ماه نگهداری نشان می‌دهد. در مورد فعالیت آنتی‌اکسیدانی روند مشابهی با ترکیبات فنولی مشاهده شد. در مقایسه با نمونه کنترل، استفاده از امواج مایکروویو با افزایش فعالیت آنتی‌اکسیدانی نمونه‌های زردآلو همراه بود. با افزایش زمان پرتودهی با امواج مایکروویو میزان فعالیت آنتی‌اکسیدانی به طور معنی‌داری افزایش یافت و میزان مهار رادیکال‌های آزاد در زمان صفر در نمونه‌های تیمار شده به مدت ۲/۵ دقیقه با امواج مایکروویو از ۹۸/۴۷ درصد به ۹۹/۵۰ درصد در زمان ۵ دقیقه رسید. با گذشت زمان نگهداری، فعالیت آنتی‌اکسیدانی در همه نمونه‌ها کاهش یافت. همانند زمان صفر، در دو زمان نگهداری دیگر نیز، بالاترین فعالیت آنتی‌اکسیدانی مربوط به نمونه‌های تیمار شده به مدت ۵ دقیقه با اموج مایکروویو (۹۶/۱۳ درصد) بود. بسیاری از ترکیبات فنولی و ضداکساینده با پیوندهای کووالانسی در اتصال با سایر ترکیبات (نظیر مولکول‌های قند و پروتئین) موجود در عصاره هستند که انرژی مایکروویو می‌تواند منجر به افزایش زیست‌دسترسی ترکیبات فنولی از طریق شکستن این پیوندها گردد. محتوای آب عصاره به عنوان مهم‌ترین فاز جاذب انرژی مایکروویو، نقش مهمی را در تأثیرگذار بودن این تیمار ایفا می‌کند (حیات و همکاران۲۰۱۰a). فعالیت آنتی‌اکسیدانی عصاره‌های گیاهی بیشتر به وجود ترکیبات فنولی نسبت داده می‌شود. از آنجایی که در این پژوهش، رابطه مستقیمی بین میزان ترکیبات فنولی و فعالیت آنتی‌اکسیدانی وجود داشت، فعالیت آنتی‌اکسیدانی نمونه‌های زردآلو تا حد زیادی به این ترکیبات مربوط می‌باشد (کوستا د کامارگو و همکاران ۲۰۱۵).

برخی از تحقیقات افزایش محتوای ترکیبات فنولی و فعالیت آنتی‌اکسیدانی عصاره‌های گیاهی با تیمار مایکروویو را گزارش نموده‌اند (ایگوئال و همکاران، ۲۰۱۰ و راویچاندران و همکاران ۲۰۱۲).



شکل ۳- فعالیت آنتی‌اکسیدانی زردآلوی خشک شده پس از تابش با مایکروویو

Figure 3- Antioxidant activity of dried apricots irradiated with microwave

فعالیت آنتی‌اکسیدانی و میزان ترکیبات فنولی پس از پرتودهی دانه‌های نخود نیز با امواج مایکروویو به طور چشمگیری افزایش یافت (جوگیهالی و همکاران ۲۰۱۷). بر اساس مطالعات کیم و همکاران (۲۰۱۱) و نیز یون و چانگ (۲۰۱۲) برشته کردن دانه‌های سویای سیاه کوچک و ذرت با فرایند مایکروویو موجب افزایش

ترکیبات فنولی می‌گردد. همچنین، تسریع زمان فرآیند و ایجاد حرارت کمتر توسط مایکروویو باعث حفظ بیشتر ترکیبات فنولی کنسانتره آب گریپ فروت نسبت به روش حرارت‌دهی معمولی توسط تبخیرکننده چرخشی شد (رسولیان شبستری و همکاران ۱۳۹۶). بر اساس نتایج پژوهش جمشیدی و همکاران (۲۰۱۴) فعالیت آنتی اکسیدانی گیاه سارخارگل بعد از تیمار با امواج مایکروویو افزایش یافت. افزایش میزان ترکیبات فنولی و فعالیت آنتی اکسیدانی نارنگی نیز پس از تیمار با امواج مایکروویو توسط حیات و همکاران (۲۰۱۰b) گزارش شده است.

تأثیر پرتودهی با امواج مایکروویو بر رنگ

جدول ۵ نتایج مربوط به شاخص‌های رنگ L^* ، a^* و b^* نمونه‌های برگه زردآلو را پس از پرتودهی به روش مایکروویو طی دو ماه نگهداری نشان می‌دهد. طبق نتایج جدول ۵، پرتودهی با مایکروویو موجب کاهش فاکتور L^* شد. زمان‌های پرتودهی با امواج مایکروویو در زمان صفر و ۶۰ روز تفاوت معنی‌داری در میزان L^* نمونه‌های زردآلو ایجاد کردند. در زمان صفر، میزان L^* نمونه کنترل ۴۹/۱۴ بود که پس از پرتودهی با امواج مایکروویو به ۳۰/۳۱ و ۲۸/۱۲ به ترتیب در نمونه‌های تیمار شده با ۲/۵ دقیقه و ۵ دقیقه رسید. با گذشت زمان، L^* در همه نمونه‌ها از جمله نمونه‌های کنترل به طور معنی‌داری کاهش یافت ($p<0/05$).

پارامتر a^* بیانگر رنگ در محدوده سبز و قرمز است. مقادیر منفی a^* نشان دهنده رنگ سبز و مقادیر مثبت آن به منزله رنگ قرمز است. طبق داده‌های جدول ۵، پرتودهی به روش مایکروویو موجب افزایش فاکتور a^* (قرمزی) نمونه‌های برگه زردآلو شد و با افزایش زمان تیمار با امواج مایکروویو قرمزی نمونه‌ها شدت بیشتری یافت. به عنوان مثال، در زمان صفر، میزان a^* نمونه کنترل ۱۱/۱۰ بود که پس از پرتودهی با امواج مایکروویو به ۱۸/۷۵ و ۲۰/۱۲ به ترتیب در نمونه‌های تیمار شده با ۲/۵ دقیقه و ۵ دقیقه رسید. در مورد نمونه‌های تیمار شده با امواج مایکروویو، تنها در زمان ۳۰ روز نمونه‌های تیمار شده با زمان ۲/۵ و ۵ دقیقه مایکروویو اختلاف معنی‌داری از نظر شدت قرمزی با هم داشتند. با گذشت زمان، قرمزی همه نمونه‌ها از جمله نمونه‌های کنترل به صورت معنی‌داری افزایش یافت ($p<0/05$).

جدول ۵- تغییر در پارامترهای رنگ (L^* ، a^* و b^*) زردآلوی خشک شده پس از تابش با مایکروویو

Table 5- Changes in color parameters (L^*, b^* and a^*) of dried apricots irradiated with microwave

Color parameter	Exposure time of Microwave radiation (min)	Storage time (day)		
		0	30	60
L^*	0.0	49.14 ± 2.32^{Aa}	46.20 ± 3.54^{Ba}	40.20 ± 1.87^{Ca}
	2.5	30.31 ± 2.54^{Ab}	25.62 ± 1.98^{Bb}	21.27 ± 1.54^{Cc}
	5.0	28.12 ± 1.66^{Ac}	26.48 ± 1.58^{Ab}	23.46 ± 1.87^{Bb}
a^*	0.0	11.10 ± 0.60^{Cb}	15.70 ± 0.98^{Bc}	18.87 ± 1.05^{Ab}
	2.5	18.75 ± 1.23^{Ca}	20.27 ± 1.32^{Bb}	23.42 ± 0.67^{Aa}
	5.0	20.12 ± 1.62^{Ca}	22.53 ± 1.06^{Ba}	24.12 ± 2.01^{Aa}
b^*	0.0	8.21 ± 0.59^{Cb}	11.44 ± 0.34^{Bc}	14.73 ± 0.67^{Ac}
	2.5	12.65 ± 0.63^{Ba}	14.22 ± 0.54^{Bb}	16.81 ± 0.81^{Ab}
	5.0	14.06 ± 0.25^{Ca}	16.14 ± 1.11^{Ba}	19.75 ± 0.98^{Aa}

Values are the means±standard deviations (n=3). For each color parameter, different capital letters (A, B, C, . . .) in the same row shows significant difference among different storage times for each treatment and different lowercase letters (a, b, c, . . .) in the same column shows significant difference among different treatments ($p<0.05$).

پارامتر b^* بیانگر رنگ در محدوده آبی و زرد است. مقادیر منفی b^* نشان‌دهنده رنگ آبی و مقادیر مثبت آن به منزله رنگ زرد است. در مورد فاکتور b^* روند مشابهی با a^* مشاهده شد و شدت رنگ زرد نمونه‌های برگه زردآلو پس از پرتودهی افزایش یافت. با افزایش زمان تیمار با امواج مایکروویو پارامتر b^* افزایش بیشتری نشان داد. زمان پرتودهی تأثیر معنی‌داری روی شدت رنگ زرد نمونه‌ها در زمان صفر نداشت،

ولی در زمان‌های ۳۰ روز و ۶۰ روز پس از نگهداری تفاوت معنی‌داری در نمونه‌ها ایجاد کرد. با گذشت زمان، شدت رنگ زرد در همه نمونه‌ها به طور معنی‌داری افزایش یافت. بالاترین میزان b^* (۱۹/۷۵) در نمونه‌های تیمار شده با ۵ دقیقه مایکروویو در روز ۶۰ نگهداری مشاهده شد. تغییرات رنگی نمونه‌ها طی پرتودهی و نگهداری را می‌توان به تخریب ویتامین ث، کاروتنوئیدهای زردآلو و سایر رنگدانه‌ها در اثر حرارت حاصل از مایکروویو و عوامل محیطی نسبت داد. کاهش رطوبت نیز در ایجاد این تغییرات مؤثر است (محمد رزداری و همکاران ۱۳۹۵ و جوگیهالی و همکاران ۲۰۱۷). مشابه نتایج این پژوهش، بسته به زمان و توان مایکروویو قرمزی و زردی دانه‌های نخود افزایش و روشنی نمونه‌ها کاهش یافت (جوگیهالی و همکاران ۲۰۱۷). در بررسی اثر امواج مایکروویو روی رنگ کنسانتره آب گریپ فروت، شاخص‌های رنگ L^* و b^* در طول زمان فرآیند کاهش و شاخص a^* افزایش یافت (رسولیان شبستری و همکاران ۱۳۹۶).

نتیجه گیری کلی

پرتودهی روش مناسبی جهت کاهش میزان باقیمانده آفت‌کش‌ها در نمونه‌های برگه زردآلو بود. کاهش آفت‌کش با استفاده از امواج مایکروویو تحت تأثیر زمان نگهداری قرار گرفت و افزایش زمان نگهداری نیز با کاهش بیشتر میزان آفت‌کش در این محصول همراه بود. پرتودهی میزان ترکیبات فنولی و فعالیت آنتی‌اکسیدانی نمونه‌ها را تحت تأثیر قرار داد و امواج مایکروویو باعث افزایش این پارامترها شد. رطوبت نمونه‌ها طی تیمار مایکروویو کاهش یافت و نمونه‌های تیمار شده با امواج مایکروویو، میزان خاکستر و قند احیای بالاتری نسبت به نمونه کنترل داشتند. امواج مایکروویو در کنترل تعداد کلی میکروارگانیسم‌ها و تعداد کپک و تعداد مخمر عملکرد خوبی از خود نشان دادند. این امواج موجب تغییر پارامترهای رنگی نمونه‌ها نیز شدند. زمان تیمار با مایکروویو و زمان نگهداری تأثیر زیادی روی پارامترهای اندازه گیری شده داشت. بنابراین، امواج مایکروویو می‌توانند جهت کاهش میزان آفت‌کش‌های باقیمانده در نمونه‌های زردآلو و محصولات مشابه به کار روند.

منابع مورد استفاده

اکبریان میمند م ج، فرجی کفشگری، س، محمودی ا و وطن خواه م، ۱۳۹۴. تأثیر استفاده از پیش تیمار مایکروویو در خشک کردن ریشه جوز هندی بر خاصیت ضدمیکروبی آن در مقابله با باکتری‌های بیماریزا و کپک‌های عامل فساد. مجله میکروب شناسی پزشکی ایران، (۲)۹، ۴۷-۵۵.

آذر پژوه ا و نیکخواه ش، ۱۳۸۷. اثر تابش مایکروویو و بر خصوصیات کیفی و پوسیدگی میوه هل و در سردخانه. پژوهش و سازندگی در زراعت و باغبانی، ۲۱(۴)، ۱۶۰-۱۶۹.

تربتی م ع، جوادی ا، صادری ح و توکلی ف، ۱۳۹۰. مطالعه اثر روش‌های پخت مایکروویو و سرخ کردن بر روی ویژگی‌های میکروبی همبرگر. مجله بهداشت مواد غذایی، ۱(۳)، ۴۷-۵۳.

حسینی نژاد م، شهیدی ف و ملک زاده غ ر، ۱۳۸۱. ارزیابی ویژگیهای کیفی و میزان آلودگی میکروبی نمونه‌های زعفران خشک شده به روش مایکروویو. علوم و صنایع کشاورزی، ۱۶(۲)، ۵۱-۵۷.

خوشخوی م، شیبانی ب، روحانی ا و تفضلی ع، ۱۳۸۷. اصول باغبانی. چاپ هفدهم، مرکز نشر دانشگاه شیراز.

راحمی م و زارع ح، ۱۳۸۱. تأثیر نوع بسته بندی و دماهای مختلف ضدعفونی و نگهداری انجیر خشک استهبان. علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، ۶(۲)، ۲۹-۴۰.

رسولیان شبستری ر، امینی فر م و رشیدی ل، ۱۳۹۶. بررسی اثر دو روش حرارتی تغلیظ، تبخیرکننده چرخشی و مایکروویو بر میزان ترکیبات فنلی، فعالیت آنتی‌اکسیدانی و رنگ کنسانتره آب گریپ فروت. مجله علوم تغذیه و صنایع غذایی ایران، ۳، ۴۷-۵۴.

صالحی, ف. ۱۳۹۶. مدل‌سازی افت وزن زردآلو طی خشک‌کردن با خشک‌کن فروسرخ به روش بهینه‌سازی الگوریتم ژنتیک- شبکه عصبی مصنوعی. پژوهش های صنایع غذایی، ۲۹(۱)، ۵۵-۶۹.

علی‌محمدی ل و جهادی م، ۱۳۹۲. اثر فرآیندها بر باقی‌مانده آفت‌کش‌ها در مواد غذایی (میوه‌ها و سبزیجات). کنفرانس علوم کشاورزی و محیط زیست، شیراز.

عین افشار س، ۱۳۸۵. مقایسه آلودگی زدایی خشکبار (آلو، کشمش و برگه) به دور وش مایکروویو و گوگرد زنی. مجله تحقیقات مهندسی کشاورزی، ۷(۲۸)، ۱-۱۲.

محمد رزداری آ، یوسفیان س ه، کیانی ح و سیحون م، ۱۳۹۵. بررسی تأثیر پیش تیمار پرتودهی گاما بر برخی ویژگی‌های کیفی و رئولوژیکی غده سیب زمینی. فصلنامه فناوری‌های نوین غذایی، ۳(۱۲)، ۶۵-۷۵.

AOAC, 2005. Official methods of Analysis of the AOAC. Association of Official Analytical Chemists Inc.

Arabshahi S and Urooj A, 2007. Antioxidant properties of various solvent extracts of mulberry (*Morus indica* L.) leaves. Food Chemistry 102:1233-1240.

Barros FCF, Barros AL, Silva MAA and Nascimento RFD, 2013.Use of microwave-assisted oxidation for removal of the pesticide Chlorpyrifos from aqueous media. International Journal of Civil & Environmental Engineering 13:16-27.

Basaran P and Akhan U. 2010, Microwave irradiation of hazelnuts for the control of aflatoxin producing *Aspergillus parasiticus*. Innovative Food Science and Emerging Technologies 11: 113-117.

Brar GS, Patyal SK and Banshtu T. 2017, Effect of household processing on reduction of acephate, profenofos and triazophos residues in brinjal. International Journal of Pure & Applied Bioscience 5 (4): 123-130.

Cañumir JA, Celis JE, de Bruijn J and Vidal LV, 2002. Pasteurisation of apple juice by using microwaves. LWT-Food Science and Technology 35(5): 389-392.

Cieslik E, adowska-Rociek A, Ruiz JMM and Surma-Zadora M, 2011. Evaluation of QuEChERS method for the determination of organ chlorine pesticide residues in selected group of fruits, Food Chemistry 125: 773-778.

Costa de Camargo A, Regitano-d'Arce MAB, Gallo CR and Shahidi F, 2015. Gamma-irradiation induced changes in microbiological status, phenolic profile and antioxidant activity of peanut skin. Journal of Functional Foods 12: 129-143.

Dahmounea F, Boulekbachea L, Moussia K, Aouna O, Spignob G and Madania K, 2013. Valorization of Citrus limon residues for the recovery of antioxidants:Evaluation and optimization of microwave and ultrasound applicationto solvent extraction. Industrial Crops and Products 50:77– 87.

Das C, Mishra H. N., 2000. Effect of aflatoxin B_1 detoxification on the physicochemical properties and quality of ground nut meal. Food Chemistry 70: 483-487.

Guan D, Gray P, Kang DH, Tang J, Shafer B, Ito K, Younce F and Yang TCS. 2003. Microbiological validation of microwave-circulated water combination heating technology by inoculated pack studies. Food Microbiology and Saftey 68 (4): 1428-1432.

Guillet V, Fave C and Montury M, 2009. Microwave/SPME method to quantify pesticide residues in tomato fruits. Journal of Enviromental Science and Health B 44(5):415-22.

Hayat K, Zhang X, Chenc H, Xia S, Jia C and Zhong F, 2010a. Liberation and separation of phenolic compounds from citrus mandarin peels by microwave heating and its effect on antioxidant activity. Separation and Purification Technology 73: 371–376.

Hayat K, Zhang X, Farooq U, Abbas S, Xia S, Jia C, Zhong F and Zhang J, 2010b. Effect of microwave treatment on phenolic content and antioxidant activity of citrus mandarin pomace . Food Chemistry 123:423–429.

Heddleson RA and Doores S, 1994. Factors affecting microwave heating of foods and microwave induced destruction of foodborne pathogens A Review. Journal of Food Protection 57(11): 1025-1037.

Hussain PR, Wani AM, Meena RS and Dar MA, 2010. Gamma irradiation induced enhancement of phenylalanine ammonia-lyase (PAL) and antioxidant activity in peach (*Prunuspersica Bausch*, CV. Elberta). Radiation Physics and Chemistry 79: 982–989.

Igual M, García-Martínez E, Camacho MM 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 Chemisty 118: 291–299.

Jamshidi M, Barzegar M and Sahari M A, 2014. Effect of gamma and microwave irradiation on antioxidant and antimicrobial activities of *Cinnamomum zeylanicum* and Echinacea purpurea. International Food Research Journal 21(4): 1289-1296.

Jogihalli P, Singh L and Sharanagat VS, 2017. Effect of microwave roasting parameters on functional and antioxidant properties of chickpea (*Cicer arietinum*). LWT- Food Science and Technology 79: 223- 233.

Kaushik G, Satya S and Naik SN, 2016. Pesticide residue dissipation upon storage and processing in chickpea legume for food safety. Advances in Food Technology and Nutritional Sciences- Open Journal 2(2): 64-72.

Keskin SO, Sumnu G and Sahin S, 2004. Bread baking in halogen lamp–microwave combination oven. Food Research International 37: 489–95.

Kim HK, Kwon YJ, Kim KH and Jeong YH, 2000. Changes of total olyphenolcontent and electron donating ability of aster glehni extracts with different microwave-assisted extraction conditions. Korean Journal of Food Science and Technology 32: 1022-28.

Kozempel MF, Annous BA, Cook RD, Scullen OJ and Whiting RC, 1998. Inactivation of microorganisms with microwave at reduced temperatures. Journal of Food Protection 61(5): 582-585.

Ling B, Tiwari G and Wang S, 2015. Pest control by microwave and radio frequency energy: dielectric properties of stone fruit. Agronomy for Sustainable Development 35: 233–240.

Pérez-Flores G.C., Moreno-Martínez E., Méndez-Albores A., 2011. Effect of Microwave Heating during Alkaline-Cooking of Aflatoxin Contaminated Maize. Journal of Food Science. 76(2): 48-52.

Rahman T, Hasan S and Noor R, 2011. An assessment of microbiological quality of some commercially packed and fresh fruit juice available in Dhaka city: A comparative study. Stamford Journal of Microbiology 1:13-18.

Ravichandran K, Ahmed AR, 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.

Sajadi SA, Asgari G, Biglari H and Chavoshani A, 2016. Pentachlorophenol removal by persulfate and microwave processes coupled from aqueous environments. Journal of Engineering and Applied Scineces. 11 (5): 1058-1064.

Salazar-González C, San Martín-González MF, López-Malo A and Sosa-Morales ME, 2012. Recent studies related to microwave processing of fluid foods. Food and Bioprocess Technology 5(1): 31-46.

Seid Mohammadi A, Asgari G, Ebrahimi A, Sharifi Z and Movahedian Attar H, 2012. 4-Chlorophenol degradation with modified domestic microwave and hydrogen peroxide in aqueous solution. International Journal of Environmental Health Engineering 1(6): 7-11.

Uysal N, Sumnu G and Sahin S, 2009. Optimization of microwave–infrared roasting of hazelnut. Journal of Food Engineering 90: 255-61.

Vadivambal R and Jayas DS, 2010. Non-uniform temperature distribution during microwave heating of food materials-A review. Food and Bioprocess Technology 3(2):161-171.

Walia S, Boora P and Kumari B, 2010. Effect of processing on dislodging of cypermethrin residues on brinjal. Bulletin of Enviromental Contamination and Toxicology 84:465–468.

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.

Wani SM, Jan N, Wani TA, Ahmad M., Masoodi FA and Gani A, 2017. Optimization of antioxidant activity and total polyphenols of dried apricot fruit extracts (*Prunusarmeniaca* L.) using response surface methodology. Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences 16: 119–126.

Youn K-S and Chung H-S, 2012. Optimization of the roasting temperature and time for preparation of coffee-like maize beverage using the response surface methodology. LWT - Food Science and Technology 46: 305-310.

Journal of Food Researches/vol.30 No.3/ 2020/pp 151-167
https://foodresearch.tabrizu.ac.ir

Effect of microwave irradiation on pesticides residues and physicochemical and microbial properties of dried apricots during storage time

S. Solaimani mehr[1], Z. Raftani Amiri [2]*, R. Esmaeilzadeh Kenari[2], E. Sadeghi[3]

Received: April 6, 2019 Accepted: July 30, 2019
[1] PhD Student, Department of Food Science and Technology, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran
[2]Associate Professor, Department of Food Science and Technology, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran
[3]Professor, Department of Food Science and Technology, Faculty of Nutrition and Food Technology, Kermanshah University of Medical Sciences, Kermanshah, Iran
*Corresponding author: Email: zramiri@gmail.com, z.raftani@sanru.ac.ir

Introduction: The use of pesticides has increased considerably for crop production in recent years. Despite the advantageous properties of pesticides for controlling different pests and preventing diseases, they have many negative effects on the environment and human health. Different methods have been proposed to reduce the effects of pesticides on fresh and dried foods, including washing, storage, peeling, heating, boiling, frying and bleaching, canning, freezing, etc, but they don't have enough ability in this regard (Ali Mohammadi and Jihadi 2014). Nowadays, due to the high resistant nature of some pesticides and the inadequacy of traditional methods to remove them, the use of novel and efficient methods such as microwave irradiation has received great attention to decrease residues of pesticides in vegetables and fruits. Various techniques such as microwaves and radio frequencies treatment have been identified as suitable methods for thermal decontamination in the post-harvest stage of nucleated fruits. Generally, reducing pesticides residues can be a good way forward in improving the quality of foods and thus human health (Guillet et al 2009, Kaushik et al 2016). Apricot (*Prunus armeniaca*) is one of the most important horticultural crops in the world and Iran is one of the leading apricot producer countries. Apricot is rich in beta-carotene, ascorbic acid, antioxidants, carotenoids, vitamins A, B and C, minerals and fiber (Wani et al. 2017). It is a suitable fruit for drying and moreover, the export aspect of the dried-product is also remarkable. Dried apricot has many nutritional and health benefits and is considered as a healthy, high-calorie, and vitamin-rich product (Wani et al. 2017). Therefore, finding a suitable approach to remove apricot pesticides and produce a high-quality product seems necessary. In the present study, the effect of microwave irradiation was evaluated on residues of Orthocide (trade name: captan) pesticide and physicochemical properties of dried apricots during storage.
Material and methods: Apricot fruits (Nasiri variety) were provided by agricultural jihad organization of Kermanshah province and were dried (Hussain et al. 2010). Then, Orthocide (trade name: captan) pesticide in three levels of 25, 50 and 75 ppb (µg/ kg) was inoculated to organic dried apricots. In the next stage, inoculated samples were subjected to microwave irradiation (2.5 and 5 min) and pesticide residues were determined after irradiation during two months of storage (Cieslik et al. 2011, Seid Mohammadi et al. 2012). Also, a series of samples without any pesticide inoculation was irradiated with microwave (2.5 and 5 min) and were evaluated in terms of ash content (AOAC 2005, 940.26), moisture content (AOAC 2005, 934.06), total phenolic content (Arabshahi and Urooj 2007), reducing sugar content (AOAC, 2005, 925.36), total microbial count, mold and yeast counts (Rahman et al. 2011), color (parameters of L^*, b^* and a^*) (Basaran and Akhan 2010) and antioxidant activity (Arabshahi and Urooj 2007) in different storage times (0, 30

and 60 days). All experiments were carried out in triplicate. Obtained data were analyzed by repeated measure design and factorial design using analysis of variance (ANOVA) and least square means in significance level of 0.05 ($p<0.05$). Statistical analyses were performed using SAS software version 9.1.

Results and discussion: The results showed that microwave irradiation caused a significant decrease in pesticide residues of dried apricot in all levels of pesticide inoculation (5.05-26.07 %) compared to the control sample. This reduction can be attributed to existence hot spots and non-thermal effects of microwave (Sajjadi et al. 2016). In addition, increase of storage time had a significant effect on reduction of pesticide residues ($p<0.05$). Overall, the highest reduction amount in pesticide residues (26.07 %) was related to samples treated with microwave radiation for 5 min at zero time (Table 2). In accordance with our results, residue of cypermethrin pesticide in brinjal reduced after processing with microwave (Walia et al. 2010). Microwave radiation also led to an increase in the content of phenolic compounds and antioxidant activity (Figures 2 and 3) which may be associated with breakdown of covalent bonds between phenolic compounds and other components (such as protein and sugar) by microwave, increasing extraction efficiency of phenolic compounds and therefore antioxidant activity (Hayat et al. 2010a). Similar results have been reported by Igual et al (2010). Moreover, ash and reducing sugar contents of samples increased by microwave but a significant decrease was observed in the moisture content of dried apricot ($p<0.05$). Microwave radiation could significantly diminish total microbial count and mold and yeast counts compared to the control sample. This can be justified by the thermal and non-thermal effects of microwave on microorganisms (Heddleson and doores 1994, Kozempel et al. 1998). The lowest microbial count (2.39 log CFU/g) was related to samples treated with microwave for 5 min at zero time. Similarly, the microbial load of saffron samples decreased after microwave irradiation (Hosseini Nejad et al. 2003). Also, irradiation with microwave led to a decrease in L^* factor and an increase in a^* (redness) and b^* (yellowness) factors of samples ($p<0.05$). The least color changes were found in samples irradiated with microwave for 2.5 min (Table 5). Color changes can be attributed to the degradation of vitamin C, carotenoids and other pigments due to the heating effect of microwave and environmental factors. Also, loss in moisture content may be effective in making these changes. Similar results have been reported by Jogihalli et al (2017) for chickpea.

Conclusion: Our findings depicted that the content of phenolic compounds and antioxidant activity of the microwave treated-samples increased compared to the untreated sample. Compared with the control sample the microwave-treated specimens showed lower moisture content as well as higher ash and sugar content. Results of microbial tests demonstrated that microwave treatment was an efficient method in decreasing the total count of microorganisms, yeast, and mold. The effects of both treatment time and storage time on the measured physicochemical parameters were noticeable. Microwave irradiation for 5 min resulted in more changes in determined parameters in comparison with 2.5 min of irradiation time and was more effective in reducing pesticide residues of dried apricot. Therefore, microwave irradiation can be considered as an appropriate and promising way to decrease pesticides residues in fruits and vegetables without adverse effect on its physicochemical properties.

Keywords: Antioxidant activity, Dried apricot, Microwave radiation, Pesticide residue, Storage time