مجله علوم تغذیه و صنایع غذایی ایران
سال هفدهم، شماره ۲، تابستان ۱۴۰۱، صفحات ۱۱۸-۱۰۹

اثر کاربرد میدان الکتریکی ولتاژ بالا طی نگهداری بر کیفیت میوه انار (*Punica granatum L.*)

سولماز عالیپور[۱]، ناصر همدمی[۲]، محسن دلوی اصفهان[۳]، سعیده فلاح جوشقانی[۴]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد علوم و صنایع غذایی، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران

۲ - نویسنده مسئول: دانشیار گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران. پست الکترونیکی: hamdami@cc.iut.ac.ir

۳- استادیار گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه جهرم، جهرم، فارس، ایران

۴- پسا دکتری گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۸/۱۰ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۱/۴

چکیده

سابقه و هدف: روش‌های مختلفی برای کاهش تلفات در حین انبارداری میوه‌ها و سبزیجات به کار گرفته شده است که در میان آنها، کاربرد صنعتی میدان الکتریکی با ولتاژ بالا مناسب‌تر به نظر می‌رسد. هدف از این مطالعه بررسی اثرات میدان الکتریکی ولتاژ بالا (HVEF) بر چهار ویژگی اصلی کیفی انار (*Punica granatum L.*) در طول انبارداری بود.

مواد و روش‌ها: میوه‌های انار در معرض میدان الکتریکی با قدرت ۲ و ۴ کیلو ولت بر سانتی‌متر و اعمال میدان در روز اول انبارداری و در فواصل زمانی منظم طی انبارداری قرار گرفتند. ویژگی‌های کیفی میوه از قبیل رنگ، بافت، فعالیت آنتی‌اکسیدانی و سرعت تنفس در فواصل زمانی هر پانزده روز یکبار به مدت شصت روز ارزیابی شدند.

یافته‌ها: نتایج نشان دادند که سرعت تنفس میوه‌های انار با افزایش زمان ذخیره‌سازی کاهش یافت و نمونه‌های تیمار شده با میدان الکتریکی سرعت تنفس کمتری نسبت به نمونه کنترل داشتند. شاخص روشنایی پوست انارهای تیمار شده تحت میدان الکتریکی بیشتر از نمونه کنترل بود ($p<۰/۰۵$) و نیروی لازم برای فشردن دانه‌های انار تیمار شده تحت میدان الکتریکی طی انبارداری بیشتر از نمونه کنترل و نمونه‌های تیمار شده با میدان الکتریکی تنها در روز اول انبارداری بود. همچنین نتایج نشان داد که اعمال میدان الکتریکی توانست فعالیت آنتی‌اکسیدانی میوه انار را در حین انبارداری افزایش دهد.

نتیجه‌گیری: قرار گرفتن میوه در معرض میدان الکتریکی با ولتاژ بالا می‌تواند موجب تحریک تولید آنزیم های بازدارنده گونه‌های فعال اکسیژن در سیستم دفاعی میوه انار شود. علاوه بر این، این مطالعه اثربخشی تیمار میدان الکتریکی با ولتاژ بالا در نگهداری انار در مراحل پس از برداشت را ثابت کرد.

واژگان کلیدی: انار، نگهداری، میدان الکتریکی ولتاژ بالا، ویژگی‌های کیفی

• مقدمه

انار (*Punic granatum L.*) متعلق به خانواده *punicaceae* است. این میوه بومی ایران بوده و کشورمان به عنوان یکی از بزرگترین تولیدکنندگان میوه انار در جهان شناخته می شود و سالانه بیش از ۶۰۰۰۰۰ تن از این میوه را تولید می‌کند (۱). امروزه، انار به دلیل ترکیبات زیست فعال بالا مانند، آنتوسیانین‌ها، مشتقات الاجیک اسید و تانن‌های قابل هیدرولیز شدن، مورد توجه قرار گرفته است. این ترکیبات می‌توانند ظرفیت آنتی‌اکسیدانی بدن انسان را بالا ببرند و به عنوان ترکیبات ضد سرطانی قوی شناخته می‌شوند (۲). علیرغم این که انار به عنوان یک میوه نافرازگرا شناخته می شود و می‌توان انتظار داشت که عمر مفید آن بیشتر از میوه‌های فرازگرا باشد، سالانه مقادیر قابل توجهی میوه انار تازه (حدود ۳۰ درصد) قبل از مصرف و در اثر عوامل مختلفی از جمله کرم گلوگاه، سرمازدگی در انبار و غیره از بین می‌رود و به طور متوسط

[Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2026-05-04]

[DOR: 20.1001.1.17357756.1401.17.2.7.9]

ماندگاری انار تازه در شـــرایط محیطی حدود یک یا دو ماه برآورد می‌شـود. روش‌های مختلفی توسـط محققین به منظور افزایش زمان ماندگاری این محصول توصیه شده است که از آن جمله می‌توان به روش اتمسفر اصلاح شده، پوشش دهی با فیلم‌های خوراکی و گرمایش متناوب اشاره کرد (۴، ۳).

در این میان بکارگیری میدان الکتریکی با ولتاژ بالا به عنوان یک روش غیرحرارتی در میوه‌ها و سبزیجات بسیار مورد توجه بوده است. بر اساس نتایج مطالعات این روش می‌تواند در حفظ طراوت میوه‌ها و سـبزیجات بدون آنکه تأثیر نامطلوبی بر خواص حسـی و ترکیبات تغذیه‌ای آن‌ها بگذارد موثر باشـد، به علاوه این روش از ویژگی‌های ارزشـــمند دیگری مانند کنترل ســـریع عملکرد با تغییر ولتاژ برق، مصـــرف کم انرژی، عدم اسـتفاده از مواد شـیمیایی و هزینه پایین نیز همراه می‌باشـد (۵).

برخی محققین نیز گزارش کرده‌اند که تیمار تحت میدان الکتریکی ولتاژ بالا می‌تواند میزان تنفس را در برخی میوه‌ها و ســـبزیجات کاهش دهد (۶). قرار گرفتن میوه در معرض تنش‌های خارجی باعث تحریک تولید آنزیم‌های ضد اکسایشی در ســیســتم دفاعی میوه می‌شـود و از همین طریق می‌تواند فعالیت آنتی‌اکســـیدانی میوه را افزایش دهد. البته اگر شـــدت اعمال تنش خارجی بیش از ظرفیت سیستم‌های آنتی‌اکسیدانی میوه شـود، چنین تنشـی منجر به تولید بیش از حد ترکیبات فعال اکسیژن شده و در نتیجه آسیب اکسایشی پیشرونده‌ای را سـبب خواهد شـد (۷). Zhao و همکاران (۲۰۱۱) نیز نشـان دادند که تیمار میدان الکتریکی می‌تواند ظرفیت آنتی‌اکسیدانی (آنزیمی و غیرآنزیمی) میوه گوجه سبز را در انبار افزایش دهد (۸). نتایج تحقیق دیگری که اخیراً توســط Liu و همکاران (۲۰۱۷) روی میوه خرمالو انجام شده است نشان می‌دهد که میدان الکتریکی قادر است فعالیت آنزیم پکتین استراز در میوه را کـاهش دهـد و میزان تولیـد ترکیـب مـالون آلـدهیـد (Malondialdehyde) را در مقایســـه با نمونه شـــاهد به طور معناداری متوقف کرده و یا کاهش دهد (۹). مطالعات دیگری نیز بر اثر مثبت میدان الکتریکی در مهار و کاهش تعداد میکروب‌ها به دلیل تولید اُزن اشـــاره کرده‌اند، نقش مثبت دیگری که اُزن در افزایش زمان ماندگاری میوه‌ها و سـبزیجات می‌تواند بازی کند به اُکســیداســیون هورمون اتیلن مربوط می‌شـود که در نتیجه این اتفاق، زمان ماندگاری محصـول به طور قابل ملاحظه‌ای افزایش می‌یابد (۱۱، ۱۰).

با وجود مطالعات انجام شـــده روی اثر میدان الکتریکی بر افزایش زمان ماندگاری میوه‌ها و ســـبزیجات، هیچ تحقیقی در خصوص بررسی اثر این تیمار روی میوه انار گزارش نشده است. در ضمن در بیشتر تحقیقات، میدان الکتریکی صرفاً به عنوان یک پیش‌تیمار مورد اســـتفاده قرار گرفته اســـت و اثر میدان الکتریکی در حین انبارداری و در فواصـل زمانی معین در طول دوره انبارداری بر خصوصیات کیفی میوه‌ها گزارش نشده است. از این رو هدف این تحقیق بررســـی اثر اعمال میدان الکتریکی در فواصل زمانی معین در حین انبارداری بر خصوصیات کیفی میوه انار می‌باشد.

• مواد و روش‌ها

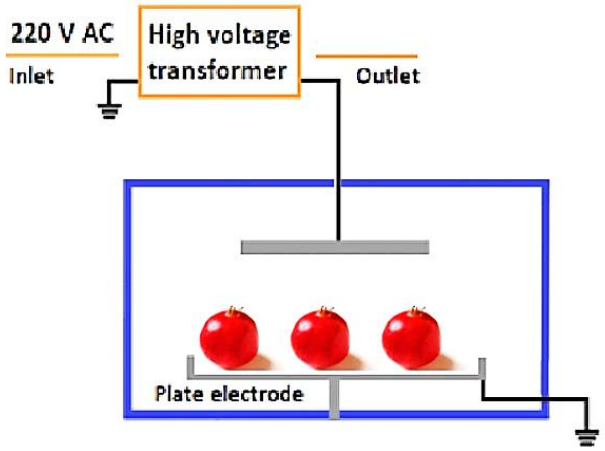
مواد: انار (*Punica granatum L. cv. Shirin Shahreza*) از مزرعه‌ای در اصفهان، جمع آوری و بلافاصله قبل از آزمایش در شرایط سردخانه (۴ درجه سانتی‌گراد) ذخیره شد. میوه‌هایی با اندازه یکسان و کیفیت مناسب انتخاب و در محلول کلر (۲۰۰ میکرولیتر بر لیتر) به مدت ده دقیقه شسته و سپس با آب مقطر آبکشی شدند و در نهایت میوه‌ها با هوای فشرده خشک و در سردخانه نگهداری شدند. سپس میوه‌ها به طور تصادفی به ۳ گروه آزمایشی تقسیم شدند و تیمارهای زیر بر روی میوه‌ها اعمال شد. ۱) بدون اعمال میدان الکتریکی (گروه شاهد) ۲) اعمال میدان الکتریکی صرفاً در روز اول انبارداری به مدت دو ساعت و ۳) اعمال میدان الکتریکی در فواصل زمانی معین در حین انبارداری (اعمال میدان الکتریکی در روز اول انبارداری و به صورت هفتگی از هفته دوم انبارداری) و بررسی اثرات میدان الکتریکی بر خصوصیات کیفی مختلف میوه انار در فواصل پانزده روز یکبار تا پایان دوره انبارداری (۶۰ روز). میوه‌ها در کل دوره انبارداری در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۹۰٪ نگهداری شدند.

اجرای آزمون: به منظور اعمال میدان الکتریکی ولتاژ بالا، از یک ژنراتور ولتاژ بالا با قابلیت تنظیم ولتاژ خروجی تا ۵۰ کیلو ولت (LS50KV-5 mA, China)، دو الکترود صفحه موازی از جنس مس با ابعاد ۳۰×۲۵ سانتی‌متر که در فاصله ثابت ۷ سانتی متر از یکدیگر قرار داشتند، استفاده شد. انتخاب این نوع پیکربندی به دلیل حفظ بهتر رنگ و ترکیبات آنتی‌اکسیدانی نمونه صورت گرفت (شکل ۱). ستاپ آزمایشی در یک انکوباتور با قابلیت تنظیم دما (BD-115, Binder, Germany) قرار گرفت. پنج میوه انار به طور تصادفی از هر گروه آزمایشی انتخاب شد و در دمای اتاق (۲۵ درجه سانتی‌گراد) روی صفحه مسی قرار داده شد و میدان الکتریکی به مدت ۲ ساعت اعمال شد. در گروه شاهد، هیچ میدان الکتریکی اعمال نشد. ولتاژهای اعمال شده برای گروه‌های آزمایشی ۱۴ و ۲۸ کیلو ولت و فاصله الکترودی ثابت و ۷ سانتی‌متر بود. قدرت میدان الکتریکی از تقسیم ولتاژ

[Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2026-05-04]

[DOR: 20.1001.1.17357756.1401.17.2.7.9]

به فاصله الکترودی محاسبه شد که برابر با ۲ و ۴ کیلو ولت بر سانتی‌متر بود (شکل ۱) (۱۲).



شکل ۱. تصویر شماتیک ستاپ آزمایشی

اسیدیته ،pH و کل مواد جامد محلول: میوه‌های انار به صورت دستی بریده شده و آب انار استخراج شد، سپس pH و محتوای کل مواد جامد محلول در آب (بریکس) با استفاده از pH متر (CP501-Elmetron, Poland) و یک رفراکتومتر دستی (Atago Co., Tokyo, Japan) تعیین شدند. اسیدیته نیز با تیتراسیون آب میوه رقیق شده (۲/۵ درصد) با سود ۰/۱ نرمال تا رسیدن به pH ۸/۲ اندازه گیری شد و نتایج به صورت میلی گرم اسید سیتریک در ۱۰۰ میلی لیتر آب میوه بیان شد (۱۳).

رنگ: تجزیه و تحلیل رنگ با گرفتن عکس با استفاده از یک دوربین دیجیتالی (Canon power shot A540 with a resolution of 6 Mega pixels) از پوست میوه انجام شد. بدین منظور، میوه‌ها در یک جعبه چوبی که مجهز به دو لامپ بود که می‌توانست نور طبیعی روز را بازسازی کند قرار گرفت و تصاویر گرفته شده با دوربین با استفاده از نرم افزار Photoshop® CS (نسخه ۷/۰) تجزیه و تحلیل شد و پارامترهای L^* ، a^* و b^* بعد از اندازه گیری از سه نقطه مختلف نمونه تعیین و متوسط آنها گزارش شد (۱۴).

ارزیابی فعالیت آنتی‌اکسیدانی: فعالیت آنتی‌اکسیدانی دانه‌های انار با استفاده از روش DPPH (2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl radical) و طبق روش توضیح داده شده توسط زربان و همکاران (۲۰۰۷) تعیین شد (۱۵).

بافت: آزمایش سوراخ کردن بافت (Puncture) برای تجزیه و تحلیل تأثیر تیمار میدان الکتریکی بر مقاومت پوست انار استفاده شد. حداکثر نیروی مورد نیاز برای سوراخ کردن پوست با استفاده از دستگاه آنالیز بافت (STM 20, Santam, Iran) مجهز به پروب استوانه‌ای شکل با قطر ۵ میلی‌متری با سرعت ۱/۵ میلی متر بر ثانیه ارزیابی شد. آزمایش فشرده‌سازی بر روی ۱۰ گرم دانه انار با استفاده از دستگاه آنالیز بافت انجام شد. تنظیمات آزمایش فشرده‌سازی به شرح زیر است: پروب استوانه ای با قطر ۴۰ میلی متر، سرعت آزمایش ۲ میلی متر بر ثانیه، نیروی فشرده سازی ۱۰ نیوتن (۱۶).

سرعت تنفس: میزان تنفس با روش ایستا (Static) اندازه گیری شد. میوه انار از هر گروه آزمایشی در یک شیشه درب بسته در دمای ۵ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد و ترکیب گاز دی اکسید کربن داخل هر شیشه با استفاده از دستگاه آنالیزور گاز کالیبره شده (Oxybaby6, Wittagas, Germany) در فواصل ۱۰ دقیقه به مدت ۲ ساعت اندازه‌گیری شد. رابطه ۱ برای تعیین تعیین سرعت تولید گاز دی اکسید کربن استفاده شد .

$$y_{CO_2} = y^{i}_{CO_2} + \frac{R_{CO_2}.W}{V_f}.(t - t_i) \qquad (۱)$$

در رابطه فوق، y^{i}_{CO2} و y_{CO2} به ترتیب غلظت گاز دی اکسید کربن در زمان t و لحظه صفر (t_i) می باشد. R_{CO2} سرعت تنفس برحسب میزان دی اکسید کربن تولیدی است (میلی لیتر/ کیلوگرم ساعت) ، W جرم محصول (کیلوگرم) و V_f حجم محصول می باشد که از طریق رابطه ۲ محاسبه می‌شود

$$V_f = V - \frac{W}{\rho_b}(1-\varepsilon) \qquad (۲)$$

در رابطه اخیر V حجم ظرف، ρ_b دانسیته توده (کیلوگرم بر متر مکعب) و ε تخلخل میوه می‌باشد (۱۷).

تجزیه و تحلیل آماری: در این مطالعه، از طرح کرت خرد شده (Split-plot) برای بررسی اثر قدرت میدان الکتریکی (سه سطح)، نوع و روش اعمال میدان الکتریکی (سه سطح)، زمان انبارداری (۴ سطح) و برهم کنش بین عوامل اصلی استفاده شد. تجزیه و تحلیل واریانس در نرم افزار SAS، نسخه 9.1 انجام شد. برای بررسی اختلاف بین میانگین ها از تست (LSD) استفاده شد ($p<۰/۰۵$). داده های به صورت میانگین ± انحراف معیار گزارش شد و تعداد تکرار در هر آزمون حداقل ۳ تکرار در نظر گرفته شد.

• یافته‌ها

ویژگی های دانه و پوست انار: اسیدیته، pH و درصد مواد جامد محلول به عنوان ویژگی‌های پایه‌ای میوه‌های انار اندازه گیری شدند. اسیدیته انار در روز اول ۱/۳۴ درصد بود و در پایان دوره انبارداری به ۰/۹۹درصد کاهش یافت. pH و کل مواد جامد محلول میوه انار مورد استفاده در این آزمون نیز به ترتیب برابر

[Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2026-05-04]
[DOR: 20.1001.1.17357756.1401.17.2.7.9]

با ۳/۳۷ و ۱۸/۷۶ درجه بریکس بود. ذکر این نکته لازم است که این میوه جزو میوه های نافرازگرا (Non-climacteric) تقسیم بندی می‌شود و به همین دلیل برداشت آن معمولاً زمانی انجام می‌شود که رسیدگی میوه کامل شده باشد و تغییرات فیزیولوژیکی میوه در حین انبارداری کمتر از میوه‌های فرازگرا خواهد بود.

اثر میدان الکتریکی بر رنگ: جدول ۱ تغییرات میزان روشنایی پوست انار را تحت تاثیر عوامل مختلف نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، با گذشت زمان میزان روشنایی کاهش می‌یابد و در عین حال این شاخص در نمونه‌های تیمار شده با میدان الکتریکی بهتر حفظ شده است.

جدول ۲، تغییرات شاخص قرمزی (a/b) در پوست انار را نشان می‌دهد. حفظ رنگ تازه یکی از مشخصه‌های کیفی مهم در محصول بوده که در پذیرش نهایی توسط مصرف کننده حائز اهمیت می‌باشد. نتایج این تحقیق نشان داد که تغییرات و کاهش شاخص قرمزی طی انبارداری در نمونه‌های تحت تیمار میدان الکتریکی بیشتر از نمونه شاهد است، به طوری که بعد از شصت روز در نمونه شاهد حدود ۱۷٪ از این شاخص کاسته شده است ولی در همین مدت در نمونه ای که به طور هفتگی در معرض میدان الکتریکی با قدرت ۴ کیلو ولت بر سانتی‌متر قرار داشته است حدود ۲۵٪ کاهش در این شاخص مشاهده می‌شود.

جدول ۱. تغییرات مقدار شاخص روشنایی پوست نمونه کنترل و نمونه‌های تیمار شده با HVEF طی انبارداری*

تیمار	قدرت میدان الکتریکی (kV/cm)	زمان انبارداری (روز) ۰	۱۵	۳۰	۴۵	۶۰
شاهد	۰	۱۱/۵ ±۰/۷^{b}	۱۱/۰ ± ۰/۸^{b}	۸/۵ ± ۰/۷^{d}	۱۱/۵ ± ۰/۶^{b}	۸/۵ ± ۰/۷^{d}
تیمار nr	۲	۱۱/۵ ± ۱/۴^{b}	۱۳/۰ ± ۰/۷^{a}	۱۰/۵ ± ۰/۶^{bc}	۹/۵ ± ۰/۵^{cd}	۹/۵ ± ۰/۶^{cd}
	۴	۱۱/۵ ± ۱/۴^{b}	۱۳/۰ ± ۱/۳^{a}	۱۱/۰ ± ۱/۴^{b}	۱۰/۰ ± ۱/۲^{c}	۱۱/۰ ± ۰/۷^{b}
تیمار wr	۲	۱۱/۵ ± ۱/۳^{b}	۹/۰ ± ۱/۲^{d}	۱۱/۰ ± ۱/۷^{b}	۹/۵ ± ۰/۶^{cd}	۱۰/۶ ± ۰/۵^{bc}
	۴	۱۱/۵ ± ۰/۳^{b}	۱۰/۰ ± ۰/۶^{c}	۱۱/۰ ± ۰/۴^{b}	۹/۰ ± ۱/۱^{d}	۱۱/۰ ± ۰/۷^{b}

nr= تیمار HVEF تنها در روز اول انبارداری

wr= تیمار HVEF تکرار شده در طول انبارداری

*مقادیر با حروف یکسان بر اساس آزمون LSD در سطح ۰/۰۵ اختلاف آماری ندارند.

جدول ۲. تغییرات مقدار شاخص قرمزی پوست نمونه کنترل و نمونه‌های تیمار شده با HVEF طی انبارداری *

تیمار	قدرت میدان الکتریکی (kV/cm)	زمان انبارداری (روز) ۰	۱۵	۳۰	۴۵	۶۰
شاهد	۰	۱/۸ ± ۰/۳۸^{b}	۱/۴۷ ± ۰/۴۶^{c}	۱/۲۲ ± ۰/۰۳^{d}	۱/۵۵ ± ۰/۷^{bc}	۱/۵ ± ۰/۳۸^{bc}
تیمار nr	۲	۱/۸ ± ۰/۵۸^{b}	۱/۴۱ ± ۰/۸۲^{c}	۱/۰۸ ± ۰/۵۹^{e}	۱/۲۲ ± ۰/۳^{d}	۱/۴۲ ± ۰/۳۵^{c}
	۴	۱/۸ ± ۰/۶۸^{b}	۲/۱۲ ± ۰/۵۶^{a}	۱/۸۷ ± ۰/۱۹^{b}	۱/۲۴ ± ۰/۴۷^{d}	۱/۴۶ ± ۰/۳۹^{c}
تیمار wr	۲	۱/۸ ± ۰/۲۸^{b}	۱/۲۲ ± ۰/۱۵^{d}	۱/۶۵ ± ۰/۲۱^{b}	۱/۳۵ ± ۰/۱۲^{cd}	۱/۴۱ ± ۰/۴۱^{c}
	۴	۱/۸ ± ۰/۲۵^{b}	۱/۳۲ ± ۰/۳۵^{cd}	۱/۸ ± ۰/۱۴^{b}	۲/۲۵ ± ۰/۵۲^{a}	۱/۳۶ ± ۰/۳۲^{cd}

nr= تیمار HVEF تنها در روز اول انبارداری

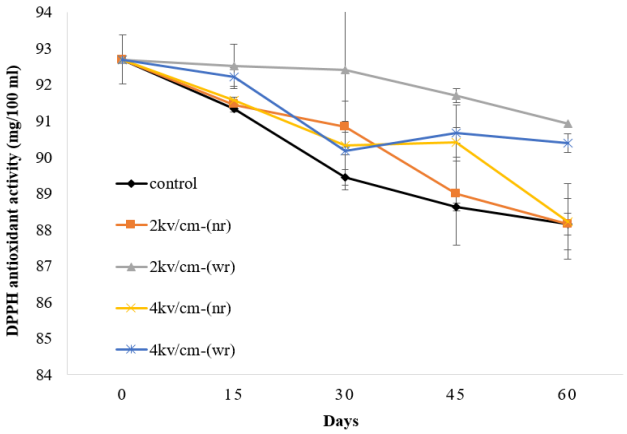
wr= تیمار HVEF تکرار شده در طول انبارداری

*مقادیر با حروف یکسان بر اساس آزمون LSD در سطح ۰/۰۵ اختلاف آماری ندارند.

[Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2026-05-04]

[DOR: 20.1001.1.17357756.1401.17.2.7.9]

ارزیابی فعالیت آنتی‌اکسیدانی: شکل ۲ تغییرات فعالیت آنتی‌اکسیدانی میوه انار را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، میزان آنتی‌اکسیدان انار در طول دوره ذخیره سازی به تدریج کاهش یافت. مقدار آنتی‌اکسیدان اولیه مشاهده شده در انار حدود ۹۲/۶۹ میلی گرم در ۱۰۰ میلی لیتر بود که به تدریج در طول دوره انبارداری به ۸۸/۱۵ میلی گرم در ۱۰۰ میلی لیتر در نمونه‌های شاهد کاهش یافت. در ضمن همان‌طور که در شکل نیز مشخص است، میزان آنتی‌اکسیدان نمونه‌های تیمار شده با قدرت میدان الکتریکی ۲ کیلو ولت بر سانتی‌متر بالاتر از نمونه شاهد و نمونه تیمار شده با قدرت میدان الکتریکی ۴ کیلو ولت بر سانتی‌متر می‌باشد.



شکل ۲. تغییرات فعالیت آنتی‌اکسیدان نمونه کنترل و نمونه‌های تیمار شده با HVEF طی انبارداری

nr= تیمار HVEF تنها در روز اول انبارداری

wr= تیمار HVEF تکرار شده در طول انبارداری

نکته دیگری که از شکل قابل مشاهده است، عدم اثر بخشی مناسب اعمال میدان الکتریکی صرفاً در روز اول انبارداری (nr) در دو قدرت ۲و ۴ کیلو ولت بر سانتی‌متر است، به طوری‌که میزان آنتی‌اکسیدان در هر دو قدرت این تیمار با نمونه شاهد بعد از ۶۰ روز یکسان شده است.

اثر میدان الکتریکی بر بافت: جدول ۳ تغییرات نیروی سوراخ کردن پوست در نمونه‌های کنترل و تیمار شده با میدان الکتریکی در طول انبارداری را نشان می‌دهد. همان‌طور که ملاحظه می‌شود با پیشرفت زمان انبارداری، نیروی لازم برای سوراخ کردن بافت ابتدا افزایش و سپس کاهش یافته است به طوری که در سی روز اول نگهداری نیروی لازم برای سوراخ کردن بافت افزایش و بافت سفت‌تر شده است و حتی در نمونه‌های تیمار شده با قدرت ۴ کیلو ولت بر سانتی‌متر روند سفت شدن بافت تا ۴۵ روز ادامه داشته است. به طور کلی نمونه‌های تیمار شده تحت میدان الکتریکی بافت پوست سفت‌تری را طی انبارداری در مقایسه با نمونه شاهد داشته‌اند.

جدول ۴ نیز تغییرات بیشینه نیروی لازم بر فشرده‌سازی دانه‌های انار را نشان می‌دهد. روند تغییرات تقریباً مشابه با جدول ۳ می‌باشد. درضمن همان طور که انتظار می‌رفت، نمونه‌هایی که میدان الکتریکی به طور متناوب بر روی آنها اعمال شده است مقاومت بیشتری به فشرده شدن نشان داده‌اند.

جدول ۳. تغییرات نیروی سوراخ کردن پوست نمونه کنترل و نمونه‌های تیمار شده با HVEF طی انبارداری*

تیمار	قدرت میدان الکتریکی (kV/cm)	زمان انبارداری (روز)				
		۰	۱۵	۳۰	۴۵	۶۰
شاهد	۰	۱۸/۷۵ ±۰/۳۵^{ab}	۱۸/۸۸ ± ۰/۱۶^{ab}	۱۸/۸۷ ± ۰/۰۹^{b}	۱۷/۲۵ ±۰/۳۵^{c}	۱۷/۵۱ ± ۰/۷۲^{bc}
تیمار nr	۲	۱۹/۱ ± ۰/۱۴^{ab}	۲۱/۶۰ ± ۰/۵۶^{a}	۲۱/۲۵ ± ۰/۳۵^{a}	۱۹/۸۵ ± ۰/۲۱^{ab}	۱۸/۱۹ ± ۱/۳^{ab}
	۴	۱۹/۱ ± ۰/۱۴^{ab}	۱۹/۷۵ ± ۰/۳۵^{ab}	۲۱/۷ ± ۱/۰۶^{a}	۲۲/۵۵ ± ۰/۶۳^{a}	۱۹/۷ ± ۰/۲^{ab}
تیمار wr	۲	۱۸/۸۵ ± ۰/۲۱^{ab}	۱۹/۷۵ ± ۱/۷۶^{ab}	۱۹/۵۲ ±۱/۰۲^{ab}	۱۷/۶۵ ± ۰/۴۹^{bc}	۱۷/۸۲ ± ۰/۵۳^{bc}
	۴	۱۸/۸۵ ± ۱/۰۶^{ab}	۲۲/۷۵ ± ۱/۰۶^{a}	۲۲/۷۵ ± ۱/۰۵^{a}	۲۳/۰۵ ± ۰/۷^{a}	۱۸/۴۵ ± ۰/۹۱^{ab}

nr= تیمار HVEF تنها در روز اول انبارداری

wr= تیمار HVEF تکرار شده در طول انبارداری

*مقادیر با حروف یکسان بر اساس آزمون LSD در سطح ۰/۰۵ اختلاف آماری ندارند.

[Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2026-05-04]

[DOR: 20.1001.1.17357756.1401.17.2.7.9]

جدول ۴. تغییرات نیروی فشردن دانه‌های نمونه کنترل و نمونه‌های تیمار شده با HVEF طی انبارداری*

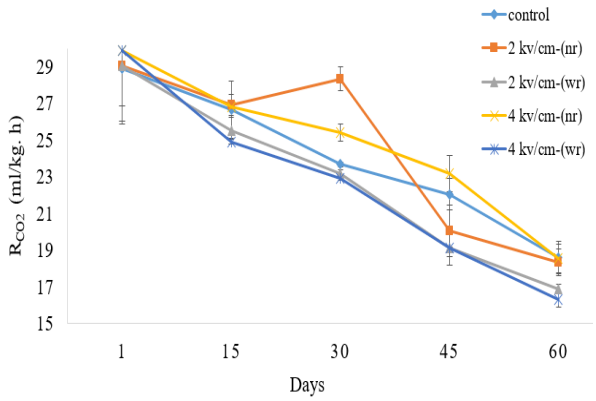
تیمار	قدرت میدان الکتریکی (kV/cm)	زمان انبارداری (روز)				
		۰	۱۵	۳۰	۴۵	۶۰
شاهد	۰	۱۴۷/۹ ± ۳/۶۷^{b}	۱۴۷/۶ ± ۹/۳۲^{b}	۱۴۳/۹ ± ۶/۲^{c}	۱۲۷/۱۹ ± ۴/۵^{ed}	۱۱۷/۹ ± ۱/۲۵^{f}
تیمار nr	۲	۱۴۷/۹ ± ۳/۴^{b}	۱۵۱/۹ ± ۷/۲۵^{a}	۱۴۵/۰۱ ± ۴/۵^{b}	۱۳۲/۱۵ ± ۴/۳^{d}	۱۲۰/۱۵ ± ۱/۴^{d}
	۴	۱۴۷/۹ ± ۳/۶۷^{b}	۱۴۰/۸۲ ± ۲/۷^{cd}	۱۲۷/۲۱ ± ۳/۶^{ed}	۱۲۹/۰۸ ± ۳/۶^{ed}	۱۲۳/۳۹ ± ۲/۲^{e}
تیمار wr	۲	۱۴۷/۹ ± ۳/۶^{b}	۱۴۹/۸۱ ± ۵/۵^{a}	۱۴۷/۷۵ ± ۳/۴۶^{b}	۱۴۱/۱۵ ± ۲/۵^{cd}	۱۴۴/۷ ± ۱/۳^{c}
	۴	۱۴۷/۹ ± ۳/۵۸^{b}	۱۴۹/۳۸ ± ۵/۰۱^{a}	۱۵۰/۷۴ ± ۵/۰۸^{a}	۱۴۳/۹۸ ± ۱/۷^{c}	۱۴۱/۷ ± ۲/۸^{cd}

nr= تیمار HVEF تنها در روز اول انبارداری

wr= تیمار HVEF تکرار شده در طول انبارداری

*مقادیر با حروف یکسان بر اساس آزمون LSD در سطح ۰/۰۵ اختلاف آماری ندارند.

شدت تنفس: شکل ۳ میزان تنفس میوه‌های انار تیمار شده با میدان الکتریکی و نمونه شاهد را برحسب میلی لیتر CO_2 تولیدی در هر کیلوگرم ساعت در طول دوره انبارداری ۶۰ روزه در دمای ۴ درجه سانتی گراد نشان می‌دهد. همان‌طور که انتظار می‌رفت با افزایش زمان انبارداری میوه شدت تنفس کاهش چشمگیری را نشان می‌دهد زیرا میوه به آرامی وارد فاز پیری (Senescence) می‌شود (۱۹). همان‌طور که در شکل نیز مشاهده می‌شود، نحوه اعمال میدان الکتریکی بر شدت تنفس موثر است به طوری‌که در نمونه‌هایی که میدان الکتریکی هر هفته اعمال می شد، شدت تنفس طی دوره انبارداری کمتر از سایر تیمارها است که نشان دهنده اثر بخشی اعمال مجدد میدان در کاهش شدت تنفس می‌باشد. در ضمن با افزایش شدت میدان الکتریکی، میزان تنفس کاهش می‌یابد به طوریکه شدت تنفس در نمونه‌های تیمار شده تحت میدان الکتریکی ۲ و ۴ کیلو ولت بر سانتی متر در مقایسه با نمونه شاهد به ترتیب ۲۰ و ۲۳ درصد کاهش را نشان می‌دهد.



شکل ۳. تغییرات سرعت تنفس نمونه کنترل و نمونه‌های تیمار شده با HVEF طی انبارداری

nr= تیمار HVEF تنها در روز اول انبارداری

wr= تیمار HVEF تکرار شده در طول انبارداری

• بحث

اثر میدان الکتریکی بر رنگ: در این مطالعه اثر میدان الکتریکی ولتاژ بالا روی برخی خصوصیات کیفی انار بررسی شد. نتایج نشان داد که با گذشت زمان میزان روشنایی کاهش می‌یابد که این موضوع بیشتر به اُفت رطوبت محصول در طول دوره انبارداری مربوط می‌شود و توسط سایر محققین نیز گزارش شده است (۱۸). حفظ بهتر شاخص روشنایی در طول انبارداری نمونه‌های تیمار شده با میدان الکتریکی احتمالاً به دلیل حفظ بهتر رطوبت می‌باشد. در واقع زمانی که نمونه تحت میدان الکتریکی قرار گرفت، پوست میوه حالت چرمی (Toughness) و سفتی را پیدا کرد که مانع عبور رطوبت از سطح میوه شد. ذکر این نکته در اینجا ضروری به نظر می‌رسد که اعمال میدان الکتریکی با ولتاژ بالا به دو شکل کلی، میدان الکترواستاتیک قوی و تخلیه الکتریکی در اثر ولتاژ بالا امکان پذیر می باشد (۵). در حالت اول معمولاً از پیکربندی الکترودهای موازی استفاده می‌شود در حالی‌که در روش دوم پیکربندی سوزن-صفحه متداول‌تر است. در پیکربندی صفحات موازی، امکان تشکیل باد کرونا بسیار کم است در حالی‌که در روش دوم به دلیل تشکیل باد کرونا، شدت تبخیر از سطح نمونه افزایش یافته و در نتیجه ضریب انتقال جرم افزایش نشان می‌دهد. همان‌طور که در بخش مواد و روش‌ها بیان شد در این پژوهش از پیکربندی الکترودهای موازی به دلیل حفظ بهتر رنگ و ترکیبات آنتی‌اکسیدانی میوه استفاده شد و به همین دلیل نه تنها اُفت رطوبت در حین انبارداری مشاهده نشد بلکه در قیاس با نمونه شاهد رطوبت در بافت پوست بهتر حفظ شد (۱۹، ۷).

[Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2026-05-04]

[DOR: 20.1001.1.17357756.1401.17.2.7.9]

ارزیابی فعالیت آنتی‌اکسیدانی: بررسی فعالیت آنتی‌اکسیدانی نمونه‌ها نشان داد که نمونه‌های قرار گرفته تحت اعمال میدان الکتریکی با قدرت ۲ کیلو ولت بر سانتی‌متر به صورت تکرار شونده در طول انبارداری، بیشترین فعالیت را داشته‌اند. در تحقیقی که توسط Zhao و همکاران (۲۰۰۱) در خصوص اثر میدان الکتریکی روی گوجه سبز رسیده در حین انبارداری انجام شده است نیز ظرفیت آنتی‌اکسیدانی مشتمل بر آنتی‌اکسیدان‌های آنزیمی و غیر آنزیمی در اثر اعمال میدان الکتریکی در سطح ۲ کیلو ولت بر سانتی‌متر تقویت و بالاتر از نمونه شاهد است (۸). دلیل افزایش ظرفیت سیستم آنتی‌اکسیدانی در اثر میدان الکتریکی را می‌توان با در معرض قرار گرفتن بافت گیاهی با یک استرس خارجی توضیح داد. به عبارت دیگر میوه‌ها و سبزیجات در پاسخ به تنش محیطی (میدان الکتریکی) دست به تجمع آنتی‌اکسیدان‌ها و تولید متابولیت‌های ثانویه به عنوان یک مکانیسم دفاعی می‌زنند. نتایج مشابهی در خصوص اثر استفاده از اشعه فرابنفش به عنوان یک استرس خارجی در بافت میوه و سبزیجات نیز گزارش شده است. به طوری که کل محتوای فنل و فلاونوئید در دو میوه نواحی گرمسیری (گواوا و موز) با افزایش زمان تنش محیطی (اشعه فرابنفش و تنش سرما و گرما) به میزان قابل توجهی افزایش یافته است (۲۱، ۲۰). دلیل بالاتر بودن میزان آنتی‌اکسیدان در سطح ۲ کیلو ولت بر سانتی‌متر در مقایسه با سطح ۴ مقایسه با کیلو ولت بر سانتی‌متر نیز می‌تواند با ظرفیت گیاه در مقابله با تنش خارجی توضیح داده شود. به عبارت دیگر، اگر میزان تنش خارجی اعمال شده بیش از ظرفیت گیاه در حذف گونه‌های فعال اکسیژن (ROS) ناشی از تنش خارجی باشد، تخریب بافت سلول در اثر گونه‌های فعال اکسیژن تولیدی قابل پیش بینی خواهد بود. در نمونه‌هایی که تنها در ابتدای انبارداری در معرض میدان الکتریکی قرار گرفتند، مشاهده می‌شود که بدنبال اعمال این تنش خارجی در روز اول انبارداری، میزان تولید و تجمع گونه های فعال اکسیژن در روزهای بعدی انبارداری تا حدی افزایش یافته است و متقابلاً گیاه نیز با تقویت ظرفیت سیستم آنتی‌اکسیدانی خود تلاش کرده است این تنش خارجی را کنترل نماید. به طوریکه میزان آنتی‌اکسیدان در دو قدرت (۲ و ۴ کیلو ولت بر سانتی‌متر) این تیمار بعد از ۳۰ و ۴۵ روز از انبارداری بیش از نمونه کنترل است ولی با توجه به عدم تکرار اعمال میدان الکتریکی و حذف گونه‌های فعال اکسیژن توسط گیاه میزان آنتی‌اکسیدان‌های گیاهی شروع به کاهش کرده و بعد از شصت روز اختلاف معناداری بین این تیمار و نمونه شاهد مشاهده نمی‌شود.

اثر میدان الکتریکی بر بافت: بررسی سفتی پوسته نمونه های انار طی انبارداری نشان داد که اعمال میدان الکتریکی باعث افزایش سفتی پوست انار در مقایسه با نمونه شاهد شده است. افزایش بیشتر سفتی پوست در نمونه‌های تیمار شده با میدان الکتریکی می‌تواند ناشی از حفظ بهتر رطوبت سطح میوه باشد. Atungulu و همکاران (۲۰۰۴) نیز گزارش دادند که پوست سیب‌هایی که تحت اعمال میدان الکتریکی قرار گرفته بودند سفت‌تر شده بود و میزان اُفت رطوبت در این نمونه ها کمتر بود (۶). کاهش میزان سفتی پوست با گذشت زمان می‌تواند به حضور و فعالیت میکروارگانیسم‌ها و فعال شدن آنزیم‌های تجزیه کننده بافت (پکتیناز و سلولاز) در سطح میوه نسبت داده شود. در نمونه های تیمار شده با میدان الکتریکی فعالیت آنزیم‌های تجزیه کننده بافت خود میوه در اثر میدان الکتریکی کاهش می‌یابد که می‌تواند باعث کاهش سرعت اُفت سفتی باشد. Liu و همکاران (۲۰۱۷) نیز گزارش دادند که سفتی بافت میوه خرمالو که تحت میدان الکتریکی ۶ کیلو ولت بر سانتی‌متر قرار گرفته بود، بیشتر از نمونه شاهد بوده است که این موضوع به دلیل مهار فعالیت آنزیم‌های پکتیناز می‌باشد (۹). اثر مثبت میدان الکتریکی در نابودی و کاهش فعالیت میکروارگانیسم‌های عامل فساد میوه که در مقالات متعددی اثبات شده است (۵)، نیز می‌تواند دلیل دیگر حفظ سفتی پوست در نمونه‌های تیمار شده با میدان الکتریکی باشد. ذکر این نکته ضروریست که در نمونه‌هایی که صرفاً تحت یکبار اعمال میدان الکتریکی قرار گرفته بودند نیز میزان مقاومت به سوراخ شدن از نمونه شاهد بیشتر بود که اثر مثبت اعمال میدان الکتریکی را نشان می‌دهد. مقایسه نیروی لازم برای فشردن دانه‌های انار نیز نشان داد که اعمال میدان الکتریکی طی انبارداری باعث افزایش نیروی لازم برای فشردن دانه‌های انار می‌شود. در نمونه شاهد احتمالاً به علت افزایش تعداد میکروارگانیسم‌ها و آنزیم های مرتبط با آنها، روند کاهشی در نیروی لازم برای فشردن دانه‌ها دیده می شود ولی در نمونه‌های که تحت میدان الکتریکی قرار داشته‌اند نیروی بیشتری برای فشرده سازی لازم است که نشان دهنده کیفیت بالاتر چنین میوه‌هایی می‌باشد.

[Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2026-05-04]

[DOR: 20.1001.1.17357756.1401.17.2.7.9]

اثر میدان الکتریکی بر شـــدت تنفس: در اثر اعمال میدان الکتریکی، شـــدت تنفس در مقایســـه با نمونه شـــاهد کاهش معناداری نشـــان می‌دهد که این نتایج مشـــابه با نتایج گزارش شده بو سیله Atungulu و همکاران (۲۰۰۴) می‌با شد (۶). این محققین نشان دادند که شدت تنفس در نمونه‌های سیب که تحت میدان الکتریکی قرار داشـــتند، کاهش معناداری نشـــان می‌دهد. همچنین با نتایج Palanimuthu و همکاران (۲۰۰۹) نیز مطابقت نشـــان می‌دهد، در این تحقیق نیز شـــدت تنفس میوه کران‌بری در نمونه های تحت میدان الکتریکی با قدرت ۲-۸ کیلو ولت بر ســـانتی‌متر در مقایســـه با نمونه شـــاهد به شـــدت کاهش یافته بود (۲۲). اگر چه دلیل کاهش شدت تنفس هنوز دقیق روشن نشده است ولی به عوامل مختلفی از جمله کاهش تعداد میکروارگانیسم‌ها و برخی تغییرات فیزیولوژیکی در میوه نسبت داده می‌شود (۲۳).

بنابراین نتایج به د ست آمده از این پژوهش ن شان می‌دهد بکارگیری میدان الکتریکی در طول دوره انبارداری میوه انار می‌تواند باعث افزایش زمان ماندگاری و حفظ ویژگی های کیفی محصول شود.

• References

1. Asadi-Gharneh HA, Mohammadzamani M & Karimi S. Evaluation of Physico-Chemical Properties and Bioactive Compounds of Some Iranian Pomegranate Cultivars. *Int. J. Fruit Sci*. 2017; 17(2):175-87.
2. Negi PS, Jayaprakasha GK & Jena BS. Antioxidant and antimutagenic activities of pomegranate peel extracts. *Food Chem*. 2003; 80(3): 393-97.
3. Bhatia K & Asrey R. Minimal processing of pomegranates (Punica granatum L.)—A review on processing, quality, and shelf life. *J. Food Process. Preserv*. 2019; 43(12): e14281.
4. Caleb OJ, Opara UL & Witthuhn CR. Modified Atmosphere Packaging of Pomegranate Fruit and Arils: A Review. *Food Bioproc. Tech*. 2012; 5(1): 15-30.
5. Dalvi-Isfahan M, Hamdami N, Le-Bail A & Xanthakis E. The principles of high voltage electric field and its application in food processing: A review. *Food Res. Int*. 2016; 89: 48-62.
6. Atungulu G, Nishiyama Y & Koide S. Electrode Configuration and Polarity Effects on Physicochemical Properties of Electric Field Treated Apples Post Harvest. *Biosyst. Eng*. 2004; 87(3): 313-23.
7. Lotfi, M., Hamdami, N., Dalvi-Isfahan, M., & Fallah-Joshaqani, S. (2022). Effects of high voltage electric field on storage life and antioxidant capacity of whole pomegranate fruit. *Innov Food Sci Emerg Technol*, *75*, 102888.
8. Zhao R, Hao J, Xue J, Liu H & Li L. Effect of high-voltage electrostatic field pretreatment on the antioxidant system in stored green mature tomatoes. *J. Sci. Food Agric*. 2011; 91(9): 1680-1686.
9. Liu CE, Chen WJ, Chang CK, Li PH, Lu PL & Hsieh CW. Effect of a high voltage electrostatic field (HVEF) on the shelf life of persimmons (Diospyros kaki). *LWT-Food Sic. Technol*. 2017; 75: 236-42.
10. Bajgai TR, Hashinaga F, Isobe S, Vijaya Raghavan GS & Ngadi MO. Application of high electric field (HEF) on the shelf-life extension of emblic fruit (Phyllanthus emblica L.). *J. Food Eng*. 2006; 74(3): 308-13.
11. Kharel GP, Hashinaga F & Shintani R. Effect of High Electric Fields on Some Fruits and Vegetables. *J. japanese soc. cold preserv. Food*. 1996; 22(1): 17-22.
12. Dalvi-Isfahan M, Hamdami N & Le-Bail A. Effect of freezing under electrostatic field on the quality of lamb meat. *Innov. Food Sci. Emerg. Technol*. 2016; 37: 68-73.
13. Ayhan Z & Eştürk O. Overall Quality and Shelf Life of Minimally Processed and Modified Atmosphere ackaged "Ready-to-Eat" Pomegranate Arils. *J. Food Sci*. 2009; 74(5): 399-405.
14. Nourani M, Hamdami N, Keramat J, Moheb A & Shahedi M. Preparation of a stable nanocomposite phase change material (NCPCM) using sodium stearoyl lactylate (SSL) as the surfactant and evaluation of its stability using image analysis. *Renew. Energy*. 2016; 93: 404-11.
15. Zarban A, Malekaneh M & Reza Boghrati M. Antioxidant properties of pomegranate juice and its scavenging effect on free radicals. *J. Birjand Univ. Med. Sci.* 2007; 14(3): 9-15.
16. Arendse, E., Fawole, O. A., & Opara, U. L. (2014). Influence of storage temperature and duration on postharvest physico-chemical and mechanical properties of pomegranate fruit and arils. *CYTA J Food*, *12*(4), 389-398.
17. Caleb, O. J., Mahajan, P. V., Opara, U. L., & Witthuhn, C. R. (2012). Modelling the respiration rates of pomegranate fruit and arils. *Postharvest Biol. Technol.*, *64*(1), 49-54.
18. Fawole OA & Opara UL. Effects of storage temperature and duration on physiological responses of pomegranate fruit. *Ind. Crops .Prod*. 2013; 47: 300-09.
19. Rahbari M, Hamdami N, Mirzaei H, Jafari SM, Kashaninejad M & Khomeiri M. Effects of high voltage electric field thawing on the characteristics of chicken breast protein. *J. Food Eng*. 2018; 216: 98-106.

[Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2026-05-04]

[DOR: 20.1001.1.17357756.1401.17.2.7.9]

20. Alothman M, Bhat R & Karim AA. UV radiation-induced changes of antioxidant capacity of fresh-cut tropical fruits. *Innov. Food Sci. Emerg. Technol*. 2009; 10(4): 512-16.

21. Rivero RM, Ruiz JM, García PC, López-Lefebre LR, Sánchez E & Romero L. Resistance to cold and heat stress: accumulation of phenolic compounds in tomato and watermelon plants. *Plant Sci.* 2001; 160(2): 315-21.

22. Palanimuthu V, Rajkumar P, Orsat V, Gariépy Y & Raghavan GSV. Improving cranberry shelf-life using high voltage electric field treatment. *J. Food Eng*. 2009; 90(3): 365-71.

23. Kumar VD & Siddharth M. Modelling the respiration rates of pomegranate fruit and arils (cv. 'Bhagwa'). *J. Pharmacogn. Phytochem*. 2020; 9(2); 181-86.

[Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2026-05-04]

[DOR: 20.1001.1.17357756.1401.17.2.7.9]

Effects of High-Voltage Electric Field Use on the Quality of Pomegranate Fruit (*Punica granatum* L.*)* During Storage

*Alipour S[1], Hamdami N[*2], Dalvi-Isfahan M[3], Fallah-Joshaqani S[4]*

1- MSc Student Department of Food Science and Technology, College of Agriculture, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran

*2- *Corresponding Author: Assosiate Professor, Department of Food Science and Technology, College of Agriculture, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran. Email: hamdami@cc.iut.ac.ir*

3- Assistant Professor, Department of Food Science and Technology, Faculty of Agriculture, Jahrom University, Jahrom, Fars, Iran

4- PostDoc, Department of Food Science and Technology, College of Agriculture, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran

Received 1 Nov, 2021 **Accepted 24 Jan, 2022**

Background and Objectives: Several methods have been used to decrease losses during storage of fruits and vegetables. Of these methods, high-voltage electric field seems promising. The objective of this study was to investigate effects of high-voltage electric field on four major quality attributes of pomegranate fruit (*Punica granatum* L.) during storage.

Materials & Methods: Pomegranate fruits were exposed to high-voltage electric fields with strengths of 2 and 4 kV cm^{-1} at two various modes (use of high-voltage electric field alone at Day 1 of storage or repeat the high-voltage electric field treatment with the regular intervals during storage). Quality characteristics of the fruits such as color, texture, antioxidant content and respiration rate were assessed at 15-d intervals for 60 d.

Results: Results showed that the respiration rate of pomegranate fruits decreased with storage time extension and high-voltage electric field treated pomegranates demonstrated significantly lower respiration rates, compared to the control. The lightness value (L^*) of pomegranates treated under electric field was higher than that of the control sample ($p < 0.05$) and the force needed to compress the pomegranate seeds treated under the electric field during storage was more than those of the control and samples treated with electric field alone on Day 1 of storage. Results also showed that use of electric field could increase the antioxidant activity of pomegranate fruits during storage.

Conclusion: It can be concluded that exposure to high-voltage electric field could induce or stimulate production of reactive oxygen species inhibitory enzymes in pomegranate defense systems. In addition, this study verified efficacy of high-voltage electric field treatment in postharvest preservation of pomegranate.

Keywords: Pomegranate, Storage, High voltage electric field, Quality attributes

[Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2026-05-04]

[DOR: 20.1001.1.17357756.1401.17.2.7.9]