

## کاربردهای فناوری نوآورانه میدان الکتریکی پالسی غیر حرارتی در تولید آب میوه های ایمن تر و سالم تر

مینا حسنی<sup>۱</sup>، نیما محمد نژاد خیاوی<sup>۲\*</sup>، محمد امین میری<sup>۳</sup>

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد علوم و مهندسی صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زابل، زابل، ایران

۲- دانشجوی دکتری تخصصی علوم و مهندسی صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

۳- استادیار گروه علوم و مهندسی صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زابل، زابل، ایران

### چکیده

غیرفعال کردن آنزیم های تجزیه کننده و پتینولیتیک در صنعت آب میوه بسیار مهم است. در تولید تجاری آب میوه، رویکردهای مختلفی برای غیرفعال کردن آنزیم های تجزیه کننده به کار گرفته می شود. یکی از پرکاربردترین روش های سنتی برای بهبود مقبولیت عمومی آبمیوه، عملیات حرارتی حرارتی است. استفاده از میدان الکتریکی پالسی غیر حرارتی (PEF) به عنوان یک فناوری امیدوارکننده برای حفظ کیفیت تازه آب میوه با غیرفعال کردن کارآمد آنزیم ها و باکتری ها در این بررسی مورد بحث قرار خواهد گرفت. تغییر ساختاری القایی باعث صرفه جویی در انرژی، کاهش ضایعات مواد اولیه و توسعه محصولات جدید می شود. PEF ساختار  $\alpha$ -مارپیچ را تغییر می دهد و محل فعال آنزیم ها را تغییر می دهد. علاوه بر این، آب میوه های تیمار شده با PEF به دلیل غیرفعال شدن جزئی آنزیم یا وجود ایزوزیم های مقاوم به PEF، فعالیت آنزیمی را در طول ذخیره سازی بازیابی می کنند. افزایش مکان های فعالیت ناشی از تغییرات ساختاری باعث بیش فعال شدن آنزیم ها می شود. پیش تیمارهای PEF یا ترکیب آنها با سایر تکنیک های غیر-حرارتی، فعال سازی آنزیم را بهبود می بخشد. برای غیرفعال کردن آنزیم درون زاء، می توان از یک فناوری مانع برچسب تمیز مبتنی بر PEF و دمای ملایم به جای عملیات حرارتی شدید استفاده کرد. علاوه بر این، با جایگزینی یا ترکیب پاستوریزاسیون معمولی با فناوری PEF برای حفظ بهتر آب میوه و سبزیجات، فناوری PEF پتانسیل اقتصادی عظیمی دارد. تیمار PEF نه تنها از نظر کیفیت محصول بلکه از نظر ساخت نیز مزایایی دارد. افزایش ماندگاری، برنامه ریزی تولید را ساده می کند و دامنه محصول را به میزان قابل توجهی گسترش می دهد. سوپرمارکت ها را می توان با افزایش پایداری ذخیره سازی از انبار سرو کرد. با بهبود پایداری ذخیره سازی، مدت زمان راه اندازی و تمیز کردن کاهش می یابد و انعطاف پذیری افزایش می یابد، تنها با تنظیمات جزئی محصول که در طول فرآیند تولید مورد نیاز است.

واژه های کلیدی: نگهداری مواد غذایی؛ میدان الکتریکی پالسی؛ فناوری غیر حرارتی؛ آب میوه تازه

میوه ها برای رژیم غذایی انسان حیاتی هستند زیرا حاوی ویتامین ها و مواد معدنی ارزشمندی هستند. اگرچه میوه ها به اشکال مختلفی مانند آب میوه، پوره، تفاله و میوه های کنسرو شده فرآوری می شوند. کیفیت آنها با گذشت زمان بدتر می شود. کیفیت آب میوه با توجه به جنبه های آنزیمی، فیزیکی، حسی و میکروبیولوژیکی آن تعیین می شود [۱،۲،۳]. در میوه ها، ویژگی های کیفی مانند طعم، بافت، رنگ، برتری حسی و تغذیه ای با نقش کلیدی آنزیم ها تعیین می شود. فعالیت آنزیم های درون زه، به عنوان مثال، آنزیم هایی مانند پراکسیداز (POD)، پلی فنل اکسیداز (PPO)، پکتین متیل استراز (PME)، پلی گالاکتوروناز (PG)، لیپواکسیژناز (LOX) و  $\beta$ -گلوکوزیداز ( $\beta$ -GLUC) بر کیفیت میوه ها پس از دوره برداشت تأثیر می گذارد. ماندگاری محصولات باغبانی با فعالیت این آنزیم ها همراه با رشد میکروارگانیسم ها و/یا واکنش های اکسیداتیو کوتاه می شود. غیرفعال سازی آنزیم در فرآوری و نگهداری مواد غذایی بسیار مهم است [۴]. بیشتر آنزیم های درون زه در طول و پس از فرآوری پس از برداشت فعال می مانند و باعث تغییرات مخربی در ویژگی های کیفی میوه می شوند، به عنوان مثال، رنگ، بافت، طعم و محتوای مواد مغذی [۵]. فعالیت های آنزیمی با زوال بالا به اکسیداسیون پلی فنول ها و قهوه ای شدن آنزیمی آب میوه ها کمک می کند [۶]. بنابراین باید تلاش هایی برای کنترل فعالیت آنزیم در محصولات غذایی با ماندگاری طولانی تر انجام شود. به طور سنتی، تخریب ناشی از آنزیم ها با یک رویکرد ترکیبی شامل عملیات حرارتی، تفاوت در pH و استفاده از بازدارنده های شیمیایی جلوگیری می شود. آب میوه ها معمولا با روش های سنتی فرآوری حرارتی حفظ می شوند که یک راه اقتصادی برای تضمین نه تنها غیرفعال سازی آنزیمی بلکه حفاظت میکروبیولوژیکی نیز هست [۷]. با این وجود، عملیات حرارتی تأثیر نامطلوبی بر برتری محصول نهایی دارد. اگرچه گرما کیفیت آب میوه را حفظ می کند، اما برای ویژگی های حسی، عملکردی و تغذیه ای مضر است. برای غیرفعال کردن ایزوآنزیم های پایدار در برابر حرارت، عملیات حرارتی شدید مورد نیاز است. با این حال، این ممکن است منجر به کاهش ویژگی های "تازه مانده" آب میوه ها به دلیل تغییر در طعم و بو شود. بنابراین، توجه عمیقی به استفاده از تکنیک های غیرحرارتی برای غیرفعال سازی آنزیمی وجود دارد. علاقه به محصولات غذایی با کیفیت بالا باعث شده است که صنایع غذایی از تکنیک های مختلف فرآوری استفاده کنند. برای این منظور، بسیاری از فناوری های پردازش حرارتی معمولی، مانند گرمایش پیشرفته اهمی، میکروویو، دی الکتریک و فرکانس رادیویی، فشار هیدرواستاتیک غیرحرارتی (HPP)، دی اکسید کربن فشار بالا (HPCD)، سونوگرافی (US) و میدان الکتریکی پالسی (PEF) در نگهداری آب میوه ها استفاده می شود. در مقایسه با سایر تکنیک های حرارتی سنتی، تکنیک PEF از جمله جریان مداوم، مصرف انرژی کم، زمان پردازش کوتاه تر و دمای پردازش پایین برای پردازش برچسب تمیز آب میوه ها مفید بوده است.

PEF از پالس های کوتاه میدان الکتریکی برای میکروثانیه تا میلی ثانیه در دماهای مختلف (محیط، زیر یا کمی بالاتر از محیط) استفاده می کند و محصول با قرار گرفتن بین مجموعه ای از الکترودها پردازش می شود. PEF ترکیبی از الکتروپوراسیون و الکتروترابی غشای سلولی با میدان الکتریکی ۱۰-۸۰ کیلو ولت بر سانتی متر است که برای مدت کوتاهی (۱-۱۰۰ میکرو ثانیه) اعمال می شود. تعداد حبوبات منتقل شده به محصول مقدار کمی گرما تولید می کند، بنابراین طعم، طعم و اجزای تغذیه ای را حفظ می کند [۸]. الکتروپوراسیون می تواند دائمی باشد و بسته به قدرت میدان الکتریکی منجر به مرگ سلولی شود. غذاهای مایع برای PEF ترجیح داده می شوند زیرا جریان به دلیل وجود مولکول های باردار که انتقال پالس از یک نقطه به نقطه دیگر را تسهیل می کند، به طور موثرتری از طریق غذای مایع جریان می یابد. تأثیر حفظ مواد غذایی غیر حرارتی PEF برای غیرفعال سازی آنزیمی مورد مطالعه قرار گرفته است، از جمله PPO، POD، PME، LOX و PG. در این مطالعه کاربردهای PEF و ترکیب آنها با سایر فناوری های غیرحرارتی برای غیرفعال کردن آنزیم های درون زه آب میوه ها مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است.

## ۲. اصول کار PEF برای غیرفعال سازی آنزیم

یک سیستم PEF شامل یک محفظه تصفیه، یک منبع تغذیه ولتاژ بالا، یک ژنراتور پالس، یک سیستم خنک کننده برای تعادل افزایش دما در طول تیمار و یک سوئیچ تخلیه انرژی به الکترودها به عنوان اجزای اصلی آن تشکیل شده است. ژنراتور با استفاده از دستگاهی برای شارژ دستگاه های ذخیره انرژی مانند خازن، جریان متناوب (AC) را به جریان مستقیم (DC) تبدیل می کند. انرژی الکتریکی توسط یک جزء کلیدی کنترل می شود که به عنوان یک سوئیچ عمل می کند. محفظه تصفیه (الکترودهای موازی و لوله های خطی) از دو الکترودها تشکیل شده است که توسط یک ماده عایق در جای خود نگه داشته می شوند و یک محفظه مواد غذایی را تشکیل می دهند. الکترودهای موازی از یک لوله عایق مستطیلی تشکیل شده اند که الکترودها در دو طرف مجاور دارند، در حالی که لوله خطی از یک لوله عایق الکتریکی با الکترودها در دو طرف تشکیل شده است. هدایت غذایی، هندسه محفظه، پارامترهای مدار، شدت میدان الکتریکی، زمان پردازش، فرکانس، شکل پالس و انرژی ویژه همگی عواملی هستند که بر کارایی فرآیند PEF تأثیر می گذارند. قدرت میدان الکتریکی که معمولاً بر حسب کیلو ولت بر سانتی متر گزارش می شود، به ولتاژ منتقل شده و همچنین فاصله بین الکترودها بستگی دارد. مدت زمان پردازش (تیمار) تابعی از تعداد پالس های اعمال شده و عرض پالس است که بر حسب " $\mu s$ " گزارش می شود. انرژی ویژه پالس به هدایت غذایی، هندسه و مقاومت محفظه، عرض پالس و ولتاژ اعمال شده که بر حسب " $kJ/kg$ " گزارش می شود، بستگی دارد. فرکانس بر حسب "هرتز" گزارش می شود که پالس بر ثانیه است. مهمتر از همه، اثربخشی تیمار PEF توسط ماتریکس آب میوه و سبزیجات تعیین می شود. علاوه بر این، و نباید از آن غافل شد، به ویژه در مناطق بحرانی، توزیع دما در محفظه پردازش PEF است. علاوه بر این، تغییر pH در طول تیمار PEF مشاهده شده است و شناخته شده است که به غیرفعال سازی آنزیمی جزئی (PPO) کمک می کند. کاهش فعالیت آنزیم توسط پارامترهای مختلفی تعیین می شود، به عنوان مثال، عرض پالس، فرکانس، استحکام میدان الکتریکی و زمان تیمار. قطبیت پالس (تک قطبی و دوقطبی) به عنوان یک متغیر تعیین کننده برای فعالیت آنزیم ظاهر شده است. میدان الکتریکی تک قطبی مولکول های دارای بار مخالف را از هم جدا می کند و لایه ای روی الکترودها ایجاد می کند که راندمان تیمار را کاهش می دهد، اما در مقابل، حالت دوقطبی از این جداسازی جلوگیری می کند و رسوب روی الکترودها را به حداقل می رساند. با این حال، اثر عرض پالس (۷ میکرو ثانیه) با PEF دوقطبی برای غیرفعال کردن PG، PPO، PME در آب تهیه شده از توت فرنگی بارزتر بود [۹]. علاوه بر این، پالس تک قطبی ۱ میکرو ثانیه کمترین PME (۱۰ درصد) و PG (۷۵ درصد) فعالیت باقیمانده (RA) را در آب توت فرنگی به دست آورد [۱۰]. این نتایج همچنین نشان داد که PME نسبت به PG مقاوم تر از PG بود، زیرا PEF به طور انتخابی PG غیرفعال و PME تا حدی غیرفعال شد. به طور مشابه، Aguayo و همکاران [۱۱] کمترین ۶۰٪ RA PG (۱۵٪ PME)، ۰.۱۶٪ POD و ۰.۴۸٪ LOX را در آب هندوانه در طول پردازش از طریق PEF دوقطبی در عرض پالسی ۲۵۰ هرتز، ۵.۵ میکرو ثانیه و ۷ میکرو ثانیه مشاهده کردند. نتایج نشان داد که تیمار PEF (۳۵ کیلو ولت بر سانتی متر برای ۱۷۲۷ میکرو ثانیه با استفاده از پالس های ۴ میکرو ثانیه در ۱۸۸ هرتز در حالت دوقطبی) منجر به بیش از ۵۰ درصد از دست دادن قابل توجه فعالیت PME و کاهش جزئی در فعالیت PG شد [۱۲] بر اساس این مطالعه، فعالیت کم PME به کاهش بستر برای عملکرد PG کمک می کند، زیرا PG تقسیم هیدرولیتیک پیوند گلیکوزیدی در پکتین اسیدی را که به دلیل استریفیکاسیون PME تشکیل شده است، تسریع می کند. با این حال، برجسته کرد که غیرفعال شدن جزئی PG به دلیل وجود یک ایزوفرم PG مقاوم در برابر PEF است که تغییرات جزئی در آب هندوانه، به ویژه رنگ را حمل می کند. علاوه بر این، وجود پل های نمکی و پیوند هیدروژنی و پل نمک بیشتر باشد، پایداری یا مقاومت در برابر غیرفعال سازی آنزیم بیشتر است. به طور کلی، تیمار PEF مکان های فعال آنزیم ها را افزایش می دهد [۱۴]. علاوه بر این، پیوندهای ثانویه ای را که مولکول های آنزیم ها را حفظ می کنند، تغییر می دهد. PEF به عنوان قادر به اصلاح ساختار آنزیم ها به تصویر کشیده شده است، در نتیجه بر فعالیت آنزیم تأثیر می گذارد، اگرچه شرایط تیماری بیش از حد بالا ممکن است منجر به آسیب به ساختار ماریچ شود. علاوه بر این، رادیکال های آزاد تولید شده در طی واکنش های الکتروشیمیایی به طور بالقوه به آنزیم ها حمله می کنند. جالب اینجاست که در برخی موارد، تیمارهای PEF هیچ غیرفعال سازی یا حتی افزایش فعالیت آنزیم را نشان ندادند. به عنوان مثال، تیمارهای PEF باعث فعال شدن  $\beta$ -GLUC در آب توت فرنگی شدند. دمای بهینه پیشنهادی برای فعال سازی توت فرنگی  $\beta$ -GLUC بیش از ۶۰ درجه سانتی گراد بود. با این حال، به نظر می رسد تیمار PEF (زیر ۳۵

درجه سانتی گراد) دلیل فعال شدن آنزیم به غیر از دمای بالا باشد. به طور مشابه، Aguiló-Aguayo و همکاران [۱۴] فعالیت LOX بالاتری را پس از PEF نسبت به پس از عملیات حرارتی در دمای ۹۰ درجه سانتیگراد به مدت ۶۰ ثانیه مشاهده کردند. با این حال، نگهداری مقداری RA LOX نیز ضروری است زیرا نقش بسزایی در کیفیت طعم آب میوه دارد. در مقابل، کاهش بیشتری در فعالیت LOX در طول نگهداری در نمونه های آب میوه فرآوری شده توسط PEF در مقایسه با نمونه هایی که به صورت حرارتی فرآوری شده بودند، مشاهده شد. Aguiló-Aguayo و همکاران [۱۰] همچنین پیشنهاد کردند که کسر مقاوم در برابر حرارت LOX نیز می تواند در برابر PEF مقاوم باشد. با این حال، محلول تجاری LOX 88.26٪ غیرفعال شدن را در ۲۴ کیلو ولت بر سانتی متر برای ۹۶۲ میکرو ثانیه نشان داد. به طور کلی، غیرفعال شدن آنزیم ها با تغییرات ساختاری در آنزیم ها مرتبط است، که در ساختار ثانویه با از دست دادن مارپیچ  $\alpha$  و افزایش محتوای  $\beta$  ورق رخ می دهد.

### ۳. کاربردهای عمده PEF در آب میوه ها

در زمینه صنعت آبمیوه، محققان نتایج مفید PEF را برای غیرفعال کردن آنزیم های مختلف در آب میوه های مختلف را گزارش کردند. نتایج حاصل از چندین مطالعه نشان داد که در حالی که LOX، PG و  $\beta$ -GLUC مقاومت نسبتاً بیشتری به PEF با کاهش کمتر از ۵۰٪ فعالیت آنزیم نشان دادند، PPO، POD و PME به تیمار PEF با غیرفعال سازی ۸۵-۱۰۰٪ تمایل دارند. با این حال، نرخ غیرفعال سازی توسط شرایط تیمار PEF، به عنوان مثال، شکل پالس، عرض و فرکانس و هندسه محفظه تیمار تعیین می شود که برای به دست آوردن نتایج با کیفیت بالا باید بهینه شوند. به عنوان مثال، ترکیبات مختلف فرکانس پالس، پالس های دوقطبی (در مقایسه با حالت تک قطبی) و زمان تیمار می تواند برای ایجاد نتایج مثبت تر برای غیرفعال سازی آنزیم استفاده شود. آب سیب (به ویژه روشن نشده) به دلیل ویژگی های حسی و تغذیه ای خود به عنوان یکی از محبوب ترین آب میوه ها در حال افزایش سهم بازار است. آب سیب شفاف یا ابری حاوی تفاله بیشتری در حالت تعلیق است و طعمی "تازه مانند" دارد. علاوه بر این، آب سیب شفاف نشده به اکسیژن حساس است و دارای مقادیر قابل توجهی پلی فنول، PPO و POD است. از این رو، شرایط پردازش سختگیرانه برای محافظت از برتری آن، به ویژه برای جلوگیری از قهوه ای شدن به دلیل فعالیت آنزیمی بدون تأثیر منفی بر کیفیت ارگانولپتیک و عملکردی مورد نیاز است. PPO یک آنزیم اکسیدوردوکتاز حاوی مس است که منجر به قهوه ای شدن آب و تخریب رنگ می شود. در طی قهوه ای شدن آنزیمی، ملانین ها و بنزوکینون تولید می شوند و در نتیجه فعالیت PPO افزایش می یابد. غیرفعال سازی حرارتی آن نیز به عنوان نشانگر سفید کردن استفاده می شود. به طور کلی، فعالیت کاتالیزوری PPO را می توان در دمای ۷۰ درجه سانتیگراد تا ۹۰ درجه سانتیگراد از بین برد. از سوی دیگر، POD یک هم حاوی آنزیم است که در تخریب رنگدانه ها و ایجاد طعم در مواد غذایی نقش دارد. این از جمله آنزیم هایی است که در برابر گرما پایداری بیشتری دارد و معمولاً به عنوان شاخصی برای غیرفعال شدن آنزیم های درون زای و میکروارگانیسم ها در طول عملیات حرارتی استفاده می شود. PEF، به عنوان یکی از تکنیک های غیر عملیات حرارتی، غیرفعال شدن آنزیم را بدون تأثیر منفی بر جنبه های حسی و همچنین تغذیه ای آب میوه ها تضمین می کند [۱۷]. اثر PEF بر جنبه های مختلف فیزیوشیمیایی سیب به طور گسترده مورد مطالعه قرار گرفته است و منجر به تأثیر ناچیزی بر رنگ، pH، مواد جامد محلول و ترکیب ویتامین C شده است. یک مطالعه مقایسه ای از ترموسونیکاسیون (۱.۳ W/mL، ۱۰ دقیقه، ۵۸ °C)، PEF (۲۴.۸ کیلو ولت بر سانتی متر، ۶۰ پالس، ۱۶۹ میکرو ثانیه، ۵۳.۸ °C) و پردازش حرارتی (به مدت ۲۰ دقیقه در دمای ۷۵ درجه سانتیگراد) انجام شده توسط، نشان داد که پردازش حرارتی سنتی کمی بهتر از PEF در غیرفعال سازی آنزیم بود. در طول نگهداری، نمونه های آب سیب که با PEF فرآوری شده بودند، کاهش فعالیت PPO را از ۱۷.۷ درصد به ۱۱.۵ تا ۱۳.۵ درصد نشان دادند. با این حال، عملیات حرارتی اثرات مخربی بر ترکیب مواد مغذی و همچنین کیفیت آب سیب در طول نگهداری به مدت ۳۰ روز در دمای ۳ درجه سانتیگراد و دمای طبیعی ایجاد کرد. علاوه بر این، Wibowo et al. آب سیب HPP، PEF و فرآوری حرارتی را مقایسه کرد و غیرفعال سازی PPO و POD را بیش از ۹۰٪ نشان داد. غیرفعال سازی ۱۰۰ درصدی PME در طول تیمار PEF دوقطبی (۱۲/۳ کیلو ولت بر سانتی متر، ۲ میکرو ثانیه، ۱۳۲/۵ کیلوولت در لیتر، دمای ورودی و خروجی ۳۷/۳ درجه سانتی گراد و ۷۳/۸ درجه سانتی گراد) مشاهده شد. با توجه به، کاهش گزارش شده در PME را می توان عمدتاً به

اثرات عملیات حرارتی مرتبط با پردازش PEF نسبت داد که ساختارهای سوم و ثانویه آنزیم ها را که باعث از دست دادن فعالیت می شوند، اصلاح می کند PEF. (پیش گرم کردن تا ۵۰ درجه سانتیگراد همراه با ۱۰۰ میکرو ثانیه در ۴۰ کیلو ولت بر سانتی متر) باعث کاهش ۷۱ و ۶۸ درصدی فعالیت آنزیم های POD و PPO در آب سیب شد [۱۹]. یافته های متعددی نشان داده اند که رابطه خطی مثبتی بین فاکتورهای فرآوری (زمان تیمار، شدت میدان الکتریکی، عرض پالس) و همچنین کاهش PPO و POD در آب میوه های تهیه شده از سیب [۹،۱۱]، آب انگور و محلول بافر [۲۰] وجود دارد. در تحقیقات Bi و همکاران [۱۷]، RA PPO و POD به ترتیب ۷۰.۱-۹۸.۵٪ و ۹۴.۲-۹۰.۶٪ در مقایسه با نمونه های کنترل کاهش یافت، در حالی که افزایش زمان پالس ۲ میکرو ثانیه باعث بیشترین غیرفعال شدن برای هر دو آنزیم در ۳۵ کیلو ولت بر سانتی متر شد. علاوه بر این، کاهش RA POD و PPO نسبت به افزایش شدت PEF مشاهده شد [۱۷]. به گفته لو و همکاران [۲۱] و ژونگ و همکاران [۲۰]، دنا توره شدن آنزیم ها ممکن است دلیل مناسبی برای کاهش خطی فعالیت آنزیمی باشد. با این حال، زمان افزایش پالس ۲ میکرو ثانیه نشان داده شده به دلیل افزایش بیشتر دمای نمونه ها (۹۰.۲-۲۰.۷ درجه سانتیگراد) و ورودی چگالی انرژی بیشتر نسبت به زمان افزایش پالس ۰.۲ میکرو ثانیه در شدت مشابه میدان الکتریکی غیرفعال سازی بیشتری از هر دو آنزیم داشت [۱۷]. افزایش دما به غیرفعال سازی حرارتی هر دو آنزیم کمک کرد، در حالی که فعالیت آنزیم با افزایش چگالی انرژی ورودی کاهش می یابد که با طراحی محفظه تصفیه، شدت میدان الکتریکی، مدت زمان پردازش و رسانایی محصول تعیین می شود. رینر و همکاران [۱۹] دریافتند که افزایش دمای پیش پردازش آب میوه تأثیر قابل توجهی بر غیرفعال شدن PPO و POD دارد. به عنوان مثال، RA POD و PPO پس از پیش گرم کردن آب میوه تا دمای ۵۰ درجه سانتی گراد و سپس تیمار PEF در دمای ۳۰ کیلوولت بر سانتی متر به مدت ۱۰۰ میکرو ثانیه به ترتیب به ۴۵ و ۴۳ درصد کاهش یافت. با دمای پیش فرآوری ۲۳ درجه سانتی گراد، RA آب میوه برای POD 6/63 درصد و برای PPO 4/59 درصد در شرایط مشابه PEF بود. همچنین مشخص شد که پردازش PEF در ۳۰ کیلو ولت بر سانتی متر منجر به افزایش متوسط دمای آب میوه در سلول PEF می شود. صرف نظر از دمای ورودی، این افزایش در حدود ۱۵ درجه سانتی گراد بدون تغییر باقی ماند. بالاترین دمای به دست آمده توسط آب میوه ۶۵ درجه سانتی گراد تحت این تنظیمات صریح PEF بود. علاوه بر این، حداکثر شدت میدان الکتریکی (۴۰ کیلوولت بر سانتی متر) منجر به RA معادل ۲۸/۹ درصد شد، اگرچه همانطور که قبلاً گفته شد، این شدت میدان نیز دمای آبمیوه را از ۵۰ درجه سانتی گراد به ۷۲ درجه سانتی گراد افزایش داد. این دما نزدیک به دمایی است که در حداقل پاستوریزاسیون آب میوه استفاده می شود و بنابراین می تواند به غیرفعال سازی حرارتی PPO و POD کمک کند. با این حال، اشکال شدت میدان الکتریکی به ۳۰ کیلو ولت بر سانتی متر برای جلوگیری از اثرات مضر عملیات حرارتی بر برتری آب میوه محتاطانه است، زیرا در این شرایط، دمای خروجی آب از ۶۵ درجه سانتیگراد فراتر نمی رود. به طور مشابه، افزایش زمان پردازش از ۲۵ به ۱۰۰ میکرو ثانیه به صورت خطی، RA را برای PPO و POD به ترتیب از ۵۴ درصد به ۷۵ درصد و از ۴۸ درصد به ۶۷ درصد کاهش داد [۱۹]. اثرات هم افزایی PEF (۳۰ کیلو ولت بر سانتی متر) و گرما (پیش گرم شده تا ۴۰ درجه سانتیگراد) نیز برای آب سیب با ۴۸ درصد غیرفعال سازی PPO (غیرفعال سازی کامل در ۶۰ درجه سانتیگراد) و سطوح غیرقابل تشخیص ۵-۳۰ کیلو ولت بر سانتی متر برای ۲۰۰-۱۰۰۰ میکرو ثانیه در دمای ۲۰-۶۰ درجه سانتیگراد گزارش کرد، با پاستوریزاسیون در ۹۰ درجه سانتیگراد به مدت ۵ دقیقه موثرتر بود. علاوه بر این، برای هر دو آنزیم، با غیرفعال سازی کامل در دمای ۳۰ کیلو ولت بر سانتی متر، ۱۰۰۰ میکرو ثانیه و ۶۰ درجه سانتی گراد، تغییرات رنگی کمتری در آب میوه ها در مقایسه با پاستوریزاسیون حرارتی گزارش شد. بیشترین غیرفعال سازی POD و PPO که تا دمای ۸۰ درجه سانتی گراد پیش گرم شده بود توسط به دست آمد. دمای بالا منجر به افزایش انرژی داخلی آنزیمی شد و در نتیجه باعث شکستن پیوندهای مسئول ساختار سه بعدی آنزیمی شد. تیمار PEF (۳۳-۴۲ کیلو ولت بر سانتی متر با فرکانس های ۱۵۰-۳۰۰ پالس بر ثانیه) با پاستوریزاسیون معمولی در دمای فوق بالا (UHT) (۱۱۵-۱۳۵ درجه سانتی گراد به مدت ۳-۵ ثانیه) در مورد غیرفعال سازی PPO در آب سیب مقایسه شد. تیمار UHT در مقایسه با تیمار PEF به کاهش ۹۵ درصدی فعالیت PPO دست یافت که ۷۰ درصد PPO را کاهش داد (در دمای ۳۸.۵ کیلو ولت بر سانتی متر و ۳۰۰ پالس بر ثانیه در دمای ۵۰ درجه سانتی گراد). با این حال، پاستوریزاسیون UHT معمولی باعث واکنش های بیوشیمیایی شد که متعاقباً منجر به تغییرات کیفی در



pH، رنگ، مواد جامد محلول و اسیدیته شد. تیان و همکاران [۲۲] گزارش دادند که اثر ترکیبی فرکانس رادیویی (RF)؛ امواج الکترومغناطیسی با فرکانس پایین (و PEF کیفیت آب سیب را بهبود بخشیده است. پیش فرآوری بافت سیب با تیمار ۵ تا ۱۰ دقیقه با RF (۲۷/۱۲ مگاهرتز) فعالیت PPO را به ۶۷ تا ۸۶ درصد کاهش داد. پس از کاربرد RF، آب میوه فشرده شده و با PEF در دمای ۳۵-۱۵ کیلو ولت بر سانتی متر به مدت ۴۰۰ میکرو ثانیه تیمار شد که فعالیت آنزیم را بیشتر کاهش داد.

### ۳.۲. اثر میدان های الکتریکی بر آنزیم های آب مرکبات

آب پرتقال تازه که سرشار از ویتامین C است، یکی از محبوب ترین و پرمصرف ترین آب میوه ها در سطح جهان است. PME آنزیم اصلی در آب پرتقال تازه است که با کاهش کیفیت نامطلوب از نظر شفاف سازی یا ژل شدن آب مرتبط است. ابر آب شامل ذرات ریز تقسیم شده سلولز، پکتین، همی سلولز، پروتئین ها و لیپیدها در حالت سوسپانسیون است. با این حال، به دلیل فعالیت PME، مدت کوتاهی پس از فشردگی، از دست دادن کدوری و ژل شدن کنسانتره را نشان می دهد. PME به عنوان یک آنزیم متصل به دیواره سلولی، در تمام مرکبات یافت می شود که از طریق فعل و انفعالات الکترواستاتیک یک کمپلکس با پکتین را فرموله می کنند. در طی فرآیند استخراج، آنزیم در آب آزاد می شود و پکتین (متیل استرهای هموگالاکتورونان) را هیدرولیز می کند و به تدریج آن را به پکتین و اسیدهای پکتیک کم متوکسی تغییر می دهد که مجتمع های نامحلول یون های کلسیم را تشکیل می دهند و منجر به از بین رفتن ابر و بارش پکتین می شود. PME مسئول هیدرولیز پکتین است که منجر به ناپایداری ابر و همچنین کاهش ویسکوزیته با تخریب زنجیره پکتین می شود. پایداری ابر نقش کلیدی در ویژگی های کیفی آب مرکبات مانند کدورت، طعم، عطر و رنگ دارد. PG و PME با استری زدایی پکتین و شکاف هیدرولیتیک پیوندهای ۴-α-1-گلیکوزیدی مرتبط هستند. PME با شکافتن متیل استرها بر روی پکتین عمل می کند تا پلی D-گالاکتورونیک اسید را ارائه دهد که ظاهر آب مرکبات را اصلاح می کند. اگر این آنزیم ها غیرفعال نشوند، در نهایت پایداری کدر آب مرکبات را از بین می برند. از این رو، غیرفعال سازی آنزیم برای جلوگیری از افت کیفیت در آب پرتقال تازه ضروری است. در آب مرکبات، PPME در ایزوفرم های مختلف (۲۰-۳۳٪ کسر پایدار حرارت)، با پایداری حرارتی متفاوت، با توجه به نوع میوه رخ می دهد. به طور کلی، بخش های پایدار در برابر حرارت PME در مقایسه با اشکال حرارتی ناپایدار آنزیم، که برای غیرفعال سازی به دمای متوسط (۵۰-۶۰ درجه سانتیگراد) نیاز دارند، نیاز به پردازش حرارتی شدید برای غیرفعال سازی جامع دارند. در پرتقال های والنسیا که دارای ۵٪ PME مقاوم در برابر حرارت هستند، مشخص شده است که فقط دمای بالاتر از ۷۲ درجه سانتیگراد می تواند این قسمت را غیرفعال کند که می تواند کیفیت عملکردی و تغذیه ای آب را بدتر کند. علاوه بر این، یک میدان الکتریکی قابل توجه، و هر دو مدت زمان تیمار گسترده و دمای پیش گرمایش بیشتر، منجر به درجه گسترده تری از غیرفعال شدن PME شد. در حالی که در مقایسه با سایر تکنیک های فرآوری مانند HPP و فرآوری حرارتی، تیمارهای PEF از نظر پاستوریزاسیون آب پرتقال ناموفق بودند. Vervoort و همکاران [۱۶] ۳۴٪ غیرفعال سازی PME و POD را با استفاده از PEF در ۲۳ کیلو ولت بر سانتی متر، پالس های تک قطبی با مدت زمان ۲ میکرو ثانیه و ۳۸ درجه سانتیگراد گزارش کردند. با این حال، سایر پارامترهای کیفی آب پرتقال با توجه به سلامت عمومی مانند اسیدهای آلی، قندها، ویتامین ث، ترکیبات تلخ، کاروتنوئیدها، فورفورال و ۵-هیدروکسی متیل فورفورال تحت تأثیر فرآوری قرار نگرفتند. بسته به خواص آنزیم و شرایط تجربی، ممکن است استدلال شود که هم PEF و هم گرمای ایجاد شده می توانند منجر به غیرفعال سازی درک شده شوند. بنابراین، طراحی تجهیزات تصفیه PEF به گونه ای مهم است که افزایش معقولی در دمای آب میوه در طول عبور آن از سلول ایجاد شود. چنین افزایشی هم به عدد پالس و هم به قدرت میدان الکتریکی بستگی دارد. اثر قدرت های مختلف میدان الکتریکی همراه با دمای فرآوری غیر کننده (>۵۰ درجه سانتی گراد) برای غیرفعال کردن PME نارنجی مورد مطالعه قرار گرفته است که به موجب آن ۸۰ درصد غیرفعال سازی در ۳۵ کیلو ولت بر سانتی متر برای ۱۵۰۰ میکروثانیه و ۳۷.۵ درجه سانتی گراد و ۹۰ درصد غیرفعال سازی در ۳۵ کیلو ولت بر سانتی متر برای ۵۹ میکروثانیه و دمای اولیه ۲۵.۱ درجه سانتی گراد در مقایسه با پاستوریزاسیون در دمای ۹۰-۹۵ درجه سانتی گراد به مدت ۳۰ ثانیه در دقیقه گزارش شده است. حداکثر غیرفعال سازی PME 81.4 و ۸۱ درصد با استفاده از PEF در ۲۵ کیلو ولت بر سانتی متر برای ۳۴۰ میکرو ثانیه و ۳۳۰ میکرو ثانیه با ۷۰ و ۶۳ درجه سانتی گراد به ترتیب در آب پرتقال و هویج مشاهده شد. علاوه

بر این، اثر ترکیبی تیمارهای PEF (۴۰ کیلو ولت بر سانتی متر برای ۱۰۰ میکرو ثانیه) و گرما (پیش گرم کردن تا ۵۰ درجه سانتی گراد) میزان غیرفعال سازی PME را در آب گریپ فروت قرمز تا ۹۶/۸ درصد افزایش داد. Espachs-Barroso [۲۳] اظهار داشت که عملیات حرارتی از ۵۴ درجه سانتیگراد تا ۸۱ درجه سانتیگراد به مدت ۱۲۰ دقیقه زمان تیمار می تواند با موفقیت PME را در آب پرتقال غیرفعال کند. با این حال، غیرفعال سازی 87 PME درصد در پرتقال ها در ۱۹۰ کیلو ولت بر سانتی متر به مدت ۱۰۶ میلی ثانیه در فرکانس پالس ۰.۵ یا ۵ هرتز مشاهده شد [۲۳].

PME می تواند مواد جامد آب را در طول ذخیره سازی رسوب دهد، اگر غیرفعال نباشد. یک مدل سینتیکی غیرفعال سازی برای ارزیابی اثربخشی فرآوری PEF بر فعالیت PME در آب پرتقال در طول نگهداری (در دمای ۴ درجه سانتی گراد به مدت ۱۸۰ روز) و مقایسه با پاستوریزاسیون حرارتی در دمای ۹۰ درجه سانتی گراد به مدت ۲۰ ثانیه ایجاد شد. نویسندگان ۹۳.۸ درصد غیرفعال سازی آنزیم را در طول PEF (در ۲۵.۳ کیلو ولت بر سانتی متر برای ۱۲۰۶.۲ میکرو ثانیه) در مقایسه با ۹۵.۲ درصد غیرفعال سازی PME در طول پاستوریزاسیون حرارتی مشاهده کردند. با این حال، فعالیت PME آب پرتقال فرآوری شده با PEF در طول نگهداری کاهش یافت در حالی که نمونه های پردازش شده حرارتی ترمیم آنزیم را در طول نگهداری نشان دادند. در پایان نگهداری، کاهش فعالیت PME تحت PEF با شدت کم (۱۳ کیلو ولت بر سانتی متر برای ۱۰۳۳ میکرو ثانیه) بیشتر از PEF با شدت بالا (۲۵/۳ کیلو ولت بر سانتی متر برای ۱۲۰۶/۲ میکرو ثانیه) بود که ممکن است به دلیل تغییرات زیرساختی در مولکول های PME در شدت کم میدان الکتریکی باشد. تغییرات ساختاری در مارپیچ  $\alpha$  آنزیم ها منجر به از دست دادن فعالیت در طول تیمار شد زیرا محتوای نسبی  $\alpha$ -مارپیچ پس از تیمار کاهش یافت. این مولکول ها به دلیل غیرفعال سازی ناقص در طول ذخیره سازی کاهش بیشتری نشان داده بودند و نمی توانستند خود را بازیابی کنند، بنابراین کاهش قابل توجهی را نشان می دهند. اگرچه مکانیسم دقیق برای روشن کردن کاهش بیشتر ناشناخته است، اما همچنین فرض بر این است که کاهش PME ممکن است به دلیل غیرفعال سازی ناقص میکروارگانیسم ها باشد، که می تواند از PME باقیمانده به عنوان منبع نیتروژن برای رشد در دوره ذخیره سازی استفاده کند. در شروع تیمار PEF، مولکول های پروتئین قطبی می شوند و با پیوندهای آبگریز یا کووالانسی که سنگدانه ها را تولید می کنند، برهم کنش می کنند. مکان های فعال آنزیم در نهایت اصلاح می شوند که باعث می شود بسترها به هم نزدیک شوند و در نهایت مقادیر فعالیت باقیمانده را کاهش می دهد. از سوی دیگر، PEF با شدت بالا منجر به غیرفعال سازی میکروبی بیشتر و غیرفعال سازی آنزیمی نسبت به آسیب شد و در نتیجه کاهش کمتری در فعالیت PME ایجاد کرد. با توجه به Aguiló-Aguayo [۱۲]، فعالیت آنزیم در آب تصفیه نشده نیز در دوره نگهداری دو هفته اول به عنوان تأثیر رشد سریع میکروب های فساد در نمونه کاهش یافت. بنابراین، آب میوه های تیمار شده به دلیل پایداری میکروب های حاصل از تیمارها، کاهش چشمگیری در فعالیت آنزیمی از خود نشان ندادند. برخی از ترکیبات غیرحرارتی نیز برای غیرفعال کردن PME آب پرتقال مورد مطالعه قرار گرفته اند. به عنوان مثال، آب پرتقال در معرض ترموسونیکاسیون و پس از آن PEF (۴۰ کیلو ولت بر سانتی متر، ۵۵ درجه سانتی گراد به مدت ۱۰ دقیقه) قرار گرفت و به ترتیب حداقل ۱۲/۸ درصد و حداکثر ۸۲/۷ درصد حداکثر RA PME را برای ۱۵۰ میکرو ثانیه و ۵۰ میکرو ثانیه مشاهده کرد. علاوه بر این، Caminiti و همکاران [۱۵] ترکیب PEF (۲۴ کیلو ولت بر سانتی متر، ۱۸ هرتز، ۹۳ میکرو ثانیه) و مانو-ترموسونیکاسیون (۴۰۰ کیلو پاسکال، ۳۵ درجه سانتیگراد، ۱۰۰۰ وات، ۲۰ کیلوهرتز) برای غیرفعال کردن 19) %PME (RA در حالی که تیمار های فردی، یعنی PEF و مانو-ترموسونیک ۸۶ و ۲۳ درصد RA PME پس از تیمار را گزارش کردند.

### ۳.۳. اثر میدان های الکتریکی بر آنزیم های آب میوه های متفرقه

آب انبه تصفیه نشده تحت تخریب آنزیمی و میکروبی قرار می گیرد. PEF 35 کیلو ولت بر سانتی متر برای ۱۸۰۰ میکرو ثانیه به ترتیب منجر به کاهش ۷۰، ۶۹/۹ و ۴۶ درصدی فعالیت های PPO، LOX و POD بلافاصله پس از تیمار شد. در حالی که در طول ذخیره سازی (۱۶-۷۵ روز)، PPO و POD RA به طور قابل توجهی کاهش یافتند. علاوه بر این، POD RA در ۴۹ روز به دلیل حساسیت ساختار مارپیچ  $\alpha$  POD کمترین (۱۷/۴ درصد) را داشت. در مقابل، LOX به زمان بیشتری نیاز داشت تا ۵۰ درصد از فعالیت اولیه تا دوره ذخیره

سازی نهایی کاهش باید. PEF میل آنزیم ها را برای ایجاد کمپلکس با بستر و تشکیل توده ها به دلیل قطبش و فعل و انفعالات در مولکول های پروتئینی که مکان های فعال آنزیم ها را تغییر می دهند، تضعیف کرد [۲۱]. فرآوری PEF فعالیت های آنزیمی مرتبط با عطر بالاتری را حفظ کرد و ترکیبات فرار اصلی (متیل بوتانوات اتیل بوتانوات و لینالول) را کاهش داد و در نهایت کیفیت طعم آب توت فرنگی را تا ۱۴ روز بهبود بخشید. حداکثر RA  $\beta$ -GLUC در ۳۵ کیلو ولت بر سانتی متر برای ۱۷۰۰ میکروثانیه با استفاده از پالس های ۴ میکروثانیه در ۱۰۰ هرتز در حالت دوقطبی نسبت به تیمارهای حرارتی در دماهای مختلف به دست آمد. علاوه بر این، Aguiló-Aguayo [۹] محتوای HMF کمتر، درخشندگی بیشتر، قرمزی و تجمع رنگدانه های قهوه ای و ویسکوزیته بهبود یافته در آب توت فرنگی فرآوری شده با استفاده از PEF نسبت به آب های فرآوری شده حرارتی را مشاهده کرد. کاربرد PEF بر روی میوه های توت (مانند تمشک قرمز و زغال اخته) کمترین تأثیر را بر فعالیت PPO نشان داد. RA PPO در تمشک و زغال اخته پس از کاربرد ۲۵ کیلو ولت PEF به ترتیب ۹۸ و ۸۰ درصد بود. PEF 25 کیلو ولت در ترکیب با تیمار اولتراسوند ۲۴ کیلوهرتز به طور قابل را در زغال اخته و تمشک کاهش داد.

PEF 25 کیلو ولت در ترکیب با تیمار اولتراسوند ۲۴ کیلوهرتز به طور قابل توجهی فعالیت PPO را در زغال اخته و تمشک کاهش داد. با توجه به Nocci و همکاران [۱۸]، PEF همراه با سونوگرافی RA نسبتاً بیشتری از PPO و POD نسبت به عملیات حرارتی نشان داد. علاوه بر این، تأثیر ترکیبی PEF و سونوگرافی را می توان در یک توالی مستقل از فناوری ها اعمال کرد - یا PEF قبل از ایالات متحده یا ایالات متحده قبل از PEF. با این حال، ترکیب با دماهای ملایم مقاومت مولکول ها را کاهش می دهد و هدایت یونی نمونه ها را افزایش می دهد، که برای غیرفعال سازی آنزیم قابل توجه است.

#### ۴. نتیجه گیری

PEF می تواند به عنوان یک فناوری نوآورانه در زمینه های مختلف صنایع غذایی و مهندسی فرآیند زیستی مورد استفاده قرار گیرد. تکنیک PEF برای نگهداری مواد غذایی و محصول نهایی با کیفیت بهتر به طور مداوم از پایین ترین سطوح (آزمایشگاهی و پایلوت) تا سطوح صنعتی به ویژه برای مواد غذایی مایع اجرا شده است. مزایای تیمار PEF نه تنها به کیفیت محصول بلکه به تولید نیز مربوط می شود. افزایش ماندگاری، برنامه ریزی تولید را ساده می کند و دامنه محصول را تا حد زیادی گسترش می دهد. به دلیل ماندگاری طولانی، سوپرمارکت ها را می توان از انبار سرو کرد. مزیت دیگر این است که با افزایش پایداری ذخیره سازی، تغییرات محصول کمتری در تولید مورد نیاز است، زمان راه اندازی و تمیز کردن کاهش می یابد و در نتیجه انعطاف پذیری را افزایش می دهد. مشخص شده است که PEF قادر به غیرفعال کردن آنزیم های با کیفیت خراب برای حفظ بهتر آب میوه است. ساختار آنزیم ناپایدار و حساس به پالس های الکتریکی یافت شد و در دماهای پایین به طور موثر غیرفعال شد. PEF به عنوان یک فناوری غیر حرارتی، رویکردی پایدار برای تولید بهتر آب میوه با رنگ، طعم، تغذیه، ایمنی و پایداری آب میوه ها است. پارامترهای پردازش PEF را می توان به راحتی بهینه کرد، یا برای به دست آوردن سطح غیرفعال سازی مورد نظر یا افزایش فعالیت آنزیم با توجه به نیاز فرآیند. تیمار PEF به این معنی است که طعم دهنده ها و مواد مغذی حساس بهتر حفظ می شوند و امکان کیفیت بالاتر محصول را فراهم می کنند. فناوری PEF توجه قابل توجهی به تأثیر خود به عنوان یک فناوری حفظ کارآمد غیر حرارتی، تمیز و سبز در حالی که خواص تازه مانند را در بخش صنایع غذایی حفظ می کند، جلب می کند. اگرچه یافته ها در مورد غیرفعال سازی با واسطه PEF، پارامترهای پایداری آنزیم ها و همچنین تأثیرات ذخیره سازی بر فعالیت آنزیمی در طول ماندگاری گزارش شده است، مطالعات مرتبط اندک هستند و نیاز به انجام مطالعات بیشتر در آینده دارند.



۱. Ranjha, M.M.A.N.; Shafique, B.; Wang, L.; Irfan, S.; Safdar, M.N.; Murtaza, M.A.; Nadeem, M.; Mahmood, S.; Mueen-ud-Din, G.; Nadeem, H.R. A Comprehensive Review on Phytochemistry, Bioactivity and Medicinal Value of Bioactive Compounds of Pomegranate (*Punica Granatum*). *Adv. Tradit. Med.* ۲۰۲۱. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]
۲. Ranjha, M.M.A.N.; Amjad, S.; Ashraf, S.; Khawar, L.; Safdar, M.N.; Jabbar, S.; Nadeem, M.; Mahmood, S.; Murtaza, M.A. Extraction of Polyphenols from Apple and Pomegranate Peels Employing Different Extraction Techniques for the Development of Functional Date Bars. *Int. J. Fruit Sci.* ۲۰۲۰, ۲۰, S۱۲۰۱-S۱۲۲۱. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]
۳. Salehi, F. Physico-Chemical Properties of Fruit and Vegetable Juices as Affected by Pulsed Electric Field: A Review. *Int. J. Food Prop.* ۲۰۲۰, ۲۳, ۱۰۳۶-۱۰۵۰. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]
۴. Thirumdas, R.; Annapure, U.S. Enzyme Inactivation in Model Systems and Food Matrixes by Cold Plasma. *Adv. Cold Plasma Appl. Food Saf. Preserv.* ۲۰۲۰, ۲۲۹-۲۵۲. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]
۵. Aadil, R.M.; Roobab, U.; Iqbal Khan, M.K.; Rahman, U.U. Effect of Storage on Fruit Bioactives. In *Encyclopedia of Food Chemistry*; Elsevier Science & Technology: New York, NY, USA, ۲۰۱۸; Volume ۲, pp. ۸۳-۹۱. ISBN ۹۷۸۰۱۲۸۱۴۰۴۵۱. [[Google Scholar](#)]
۶. Marszałek, K.; Kruszewski, B.; Woźniak, Ł.; Skapska, S. The Application of Supercritical Carbon Dioxide for the Stabilization of Native and Commercial Polyphenol Oxidases and Peroxidases in Cloudy Apple Juice (Cv. Golden Delicious). *Innov. Food Sci. Emerg. Technol.* ۲۰۱۷, ۳۹, ۴۲-۴۸. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]
۷. Iqbal, A.; Murtaza, A.; Hu, W.; Ahmad, I.; Ahmed, A.; Xu, X. Activation and Inactivation Mechanisms of Polyphenol Oxidase during Thermal and Non-Thermal Methods of Food Processing. *Food Bioprod. Process.* ۲۰۱۹, ۱۱۷, ۱۷۰-۱۸۲. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]
۸. Lindgren, M.; Aronsson, K.; Galt, S.; Ohlsson, T. Simulation of the Temperature Increase in Pulsed Electric Field (PEF) Continuous Flow Treatment Chambers. *Innov. Food Sci. Emerg. Technol.* ۲۰۰۲, ۳, ۲۳۳-۲۴۵. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]
۹. Aguiló-Aguayo, I.; Oms-Oliu, G.; Soliva-Fortuny, R.; Martín-Belloso, O. Changes in Quality Attributes throughout Storage of Strawberry Juice Processed by High-Intensity Pulsed Electric Fields or Heat Treatments. *LWT Food Sci. Technol.* ۲۰۰۹, 42, ۸۱۳-۸۱۸. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]
۱۰. Aguiló-Aguayo, I.; Soliva-Fortuny, R.; Martín-Belloso, O. Changes in Viscosity and Pectolytic Enzymes of Tomato and Strawberry Juices Processed by High-Intensity Pulsed Electric Fields. *Int. J. Food Sci. Technol.* ۲۰۰۹, ۴۴, ۲۲۶۸-۲۲۷۷. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]
۱۱. Aguiló-Aguayo, I.; Soliva-Fortuny, R.; Martín-Belloso, O. Optimizing Critical High-Intensity Pulsed Electric Fields Treatments for Reducing Pectolytic Activity and Viscosity Changes in Watermelon Juice. *Eur. Food Res. Technol.* ۲۰۱۰, ۲۳۱, ۵۰۹-۵۱۷. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]
۱۲. Aguiló-Aguayo, I.; Soliva-Fortuny, R.; Martín-Belloso, O. Color and Viscosity of Watermelon Juice Treated by High-Intensity Pulsed Electric Fields or Heat. *Innov. Food Sci. Emerg. Technol.* ۲۰۱۰, ۱۱, ۲۹۹-۳۰۵. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]
۱۳. Sørhaug, T.; Stepaniak, L. Psychrotrophs and Their Enzymes in Milk and Dairy Products: Quality Aspects. *Trends Food Sci. Technol.* ۱۹۹۷, ۸, ۳۵-۴۱. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]
۱۴. Aguiló-Aguayo, I.; Sobrino-López, Á.; Soliva-Fortuny, R.; Martín-Belloso, O. Influence of High-Intensity Pulsed Electric Field Processing on Lipoxygenase and  $\beta$ -Glucosidase Activities in Strawberry Juice. *Innov. Food Sci. Emerg. Technol.* ۲۰۰۸, ۹, ۴۵۵-۴۶۲. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]
۱۵. Caminiti, I.M.; Noci, F.; Morgan, D.J.; Cronin, D.A.; Lyng, J.G. The Effect of Pulsed Electric Fields, Ultraviolet Light or High Intensity Light Pulses in Combination with Manothermosonication on Selected Physico-Chemical and Sensory Attributes of an Orange and Carrot Juice Blend. *Food Bioprod. Process.* ۲۰۱۲, ۹۰, ۴۴۲-۴۴۸. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]
۱۶. Vervoort, L.; Van Der Plancken, I.; Grauwet, T.; Timmermans, R.A.H.; Mastwijk, H.C.; Matser, A.M.; Hendrickx, M.E.; Van Loey, A. Comparing Equivalent Thermal, High Pressure and Pulsed Electric Field Processes for Mild Pasteurization of Orange Juice: Part II: Impact on Specific Chemical and Biochemical Quality Parameters. *Innov. Food Sci. Emerg. Technol.* ۲۰۱۱, ۱۲, ۴۶۶-۴۷۷. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]
۱۷. Bi, X.; Liu, F.; Rao, L.; Li, J.; Liu, B.; Liao, X.; Wu, J. Effects of Electric Field Strength and Pulse Rise Time on Physicochemical and Sensory Properties of Apple Juice by Pulsed Electric Field. *Innov. Food Sci. Emerg. Technol.* ۲۰۱۳, ۱۷, ۸۵-۹۲. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]
۱۸. Noci, F.; Riener, J.; Walkling-Ribeiro, M.; Cronin, D.A.; Morgan, D.J.; Lyng, J.G. Ultraviolet Irradiation and Pulsed Electric Fields (PEF) in a Hurdle Strategy for the Preservation of Fresh Apple Juice. *J. Food Eng.* ۲۰۰۸, ۸۵, ۱۴۱-۱۴۶. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]

۱۹. Riener, J.; Noci, F.; Cronin, D.A.; Morgan, D.J.; Lyng, J.G. Combined Effect of Temperature and Pulsed Electric Fields on Apple Juice Peroxidase and Polyphenoloxidase Inactivation. *Food Chem.* ۲۰۰۸, ۱۰۹, ۴۰۲–۴۰۷. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]
۲۰. Zhong, K.; Wu, J.; Wang, Z.; Chen, F.; Liao, X.; Hu, X.; Zhang, Z. Inactivation Kinetics and Secondary Structural Change of PEF-Treated POD and PPO. *Food Chem.* ۲۰۰۷, ۱۰۰, ۱۱۵–۱۲۳. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]
۲۱. Luo, W.; Zhang, R.B.; Wang, L.M.; Chen, J.; Guan, Z.C. Conformation Changes of Polyphenol Oxidase and Lipxygenase Induced by PEF Treatment. *J. Appl. Electrochem.* ۲۰۱۰, ۴۰, ۲۹۵–۳۰۱. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]
۲۲. Tian, Y.; Wang, S.; Yan, W.; Tang, Y.; Yang, R.; Zhao, W. Inactivation of Apple (*Malus Domestica* Borkh) Polyphenol Oxidases by Radio Frequency Combined with Pulsed Electric Field Treatment. *Int. J. Food Sci. Technol.* ۲۰۱۸, ۵۳, ۲۰۵۴–۲۰۶۳. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]
۲۳. Espachs-Barroso, A.; Van Loey, A.; Hendrickx, M.; Martín-Belloso, O. Inactivation of Plant Pectin Methylesterase by Thermal or High Intensity Pulsed Electric Field Treatments. *Innov. Food Sci. Emerg. Technol.* ۲۰۰۶, ۷, ۴۰–۴۸. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]

## Applications of innovative non-thermal pulse electric field technology in the production of safer and healthier fruit juices

**Mina hasani**

Master's student in Food Technology - Food Science and  
Engineering Industries, University of Zabol, Zabol, Iran

**Nima mohammad nejad Khiavi**

PhD candidate in food Science and

Technology, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran.

**Mohammad amin miri**

Assistant professor in the food Science and

Engineering Department, faculty of Agriculture, University of zabol , Zabol, Iran

## Abstract

Food is subjected to various thermal treatments during processes to enhance its shelf-life. But these thermal treatments may result in deterioration of the nutritional and sensory qualities of food. With the change in the lifestyle of people around the globe, their food needs have changed as well. Today's consumer demand is for clean and safe food without compromising the nutritional and sensory qualities of food. This directed the attention of food professionals toward the development of non-thermal technologies that are green, safe, and environment-friendly. In non-thermal processing, food is processed at near room temperature, so there is no damage to food because heat-sensitive nutritious materials are intact in the food, contrary to thermal processing of food. These non-thermal technologies can be utilized for treating all kinds of food like fruits, vegetables, pulses, spices, meat, fish, etc. Non-thermal technologies have emerged largely in the last few decades in food sector.

**Keywords:** food preservation; Pulsed electric field; Non-thermal technology; Fresh fruit juice