

تأثیر میدان الکتریکی پالسی بر خواص آنتی اکسیدانی عصاره استخراج شده از گیاه بابونه و اثر

عصاره حاصل بر خواص کیفی نان

لاله جباری مجد^۱، مهدی قره خانی^{۱*}، حمید بخش آبادی^۲

^۱ - گروه علوم و صنایع غذایی، واحد تبریز، دانشگاه آزاد اسلامی، تبریز، ایران.

^۲ - گروه کشاورزی، مرکز آموزش عالی میناب، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، ایران.

مسئول مکاتبات: m.gharekhani@iau.ac.ir، ۰۹۳۶۹۷۶۸۵۴۸

چکیده

در این تحقیق به منظور بهینه سازی فرآیند استخراج عصاره از گیاه بابونه به کمک پیش تیمار میدان الکتریکی پالسی از ۳ سطح شدت میدان الکتریکی (۱-۷ کیلو وات بر سانتی متر) و ۳ سطح تعداد پالس (۲۰-۶۰)، استفاده گردید. میزان فنول کل و فعالیت آنتی اکسیدانی عصاره بابونه به دو روش توانایی مهار رادیکال های آزاد DPPH و قدرت احیا کنندگی یون آهن اندازه گیری گردید. نتایج نشان داد که به منظور رسیدن به حداکثر میزان فنول کل، توانایی مهار رادیکال های آزاد DPPH و قدرت احیا کنندگی یون آهن بایستی شدت میدان الکتریکی ۲/۲ کیلو وات بر سانتی متر و تعداد پالس ۴۰ باشد تا مطلوبیت ۰/۹۰ حاصل گردید. تحت این شرایط میزان فنول کل ۳/۶۹ mgGAE/g، توانایی مهار رادیکال های آزاد ۱۷/۵۹ µg/ml و قدرت احیا کنندگی یون آهن ۶/۶۱ mM/L بود. از عصاره حاصل از شرایط بهینه در مقادیر مختلف (صفر تا ۳۵ میلی لیتر به ازای ۱۰۰ گرم آرد گندم) برای ارزیابی ویژگی های کیفی به نان افزوده شد. نتایج نشان داد که نان حاوی ۳۵ میلی لیتر عصاره دارای بیشترین میزان فنول بود. میزان رطوبت و سفتی بافت مغز نان نیز با افزایش زمان نگهداری به ترتیب کاهش و افزایش یافت. از طرفی ارزیابی حسی مشخص نمود که در روز تولید نمونه شاهد و نمونه های حاوی ۵ و ۱۵ میلی لیتر عصاره بیشترین امتیاز را کسب نمودند ولی در روز سوم نگهداری نمونه حاوی ۵ میلی لیتر عصاره بیشترین امتیاز را از دید ارزیاب ها کسب نمود. در نهایت می توان بیان داشت که افزودن ۵ میلی لیتر عصاره استخراج شده از گیاه بابونه با میدان الکتریکی پالسی قابلیت بهبود نان قالبی را دارد.

کلیدواژه: بابونه، میدان الکتریکی پالسی، فعالیت آنتی اکسیدانی، نان

با توجه به آثار جانبی و معایب استفاده از ترکیبات نگهدارنده شیمیایی، امروزه گیاهان دارویی و ترکیبات طبیعی را می‌توان به جای آنها برای حفظ و نگهداری مواد غذایی مختلف استفاده کرد. گزارش‌های متعددی نشان می‌دهند که استفاده از این ترکیبات به جای آنتی‌اکسیدانی سنتزی، ایمن‌تر و دارای کاربرد آسان‌تر می‌باشد و از رشد میکروارگانیسم‌هایی از قبیل *Bacillus anthracis*^۱، *Salmonella typhimurium*^۲، *Pseudomonas aeruginosa*^۳، *Escherichia coli*^۴ با توجه به دارا بودن ترکیبات زیست فعال جلوگیری می‌کند (۱۴). از طرفی آنتی‌اکسیدان‌های مصنوعی بر سلامت بشر مضر بوده و باعث بروز بیماری‌های کبدی و سرطان می‌شود در نتیجه تمایل به استفاده از آنتی‌اکسیدان‌های طبیعی افزایش یافته است (۲۳). بابونه با نام علمی *Matricaria chamomilla* در سراسر جهان شناخته شده است (۱۰). این گیاه علفی یک ساله متعلق به تیره کاسنی^۵ است (۱۶). رویشگاه‌های طبیعی ایران به‌ویژه دامنه‌های غرب، جنوب و جنوب غربی زاگرس دارای ذخایر و جمعیت طبیعی این گیاه دارویی است (۲ و ۴). بابونه از مهم‌ترین گیاهان دارویی است که در صنایع دارویی، آرایشی، بهداشتی و غذایی کاربرد فراوان دارد. فرآورده‌های حاصل از آن دارای ویژگی‌های درمانی ضدالتهاب، ضدقارچ و باکتری هستند و با توجه به خاصیت آرام‌بخشی و غذایی آن در بهبود برخی بیماری‌ها مؤثر است (۱۵ و ۳۰). عملکرد اقتصادی گیاه، گل‌های آن است که حاوی مواد مؤثر متفاوتی از جمله مهم‌ترین آن‌ها پیش ماده کامازولن^۶ در ترکیبات فرار موجود در قاعده گلچه‌های لوله‌ای و آپیژنین^۷ موجود در گلچه‌های سفید جانبی می‌باشند (۳۳ و ۳۶). با توجه به این که تقاضای مصرف کنندگان برای غذای سالم با کیفیت بالا و غنی از ترکیبات زیست فعال طبیعی مانند ویتامین‌ها، ترکیبات فنولی (ترکیبات فلاونوئیدها) و غیره به‌طور چشم‌گیری افزایش پیدا کرده است، بنابراین، بهبود محتوای ترکیبات زیست فعال یا نگه داشتن پایداری آن‌ها در مواد غذایی نیازمند کاربرد روش مناسب است. در این زمینه، ظهور خلاقانه فناوری‌های غیر حرارتی مانند میدان الکتریکی پالسی مورد توجه قرار دارد (۱۳، ۱۸ و ۳۶).

^۱ *Bacillus anthracis*

^۲ *Salmonella typhimurium*

^۳ *Pseudomonas aeruginosa*

^۴ *Escherichia coli*

^۵ Asteraceae

^۶ Chamazulene

^۷ Apigenin

پیدایش استفاده از میدان الکتریکی پالسی (PEF¹) را می‌توان به تحقیقاتی که در آلمان صورت گرفته بود، نسبت داد. دنون اسپک در سال ۱۹۶۰ تجهیزات و روش‌های مختلف این فرآیند را برای فراوری سوسیس شرح داد و بعد از آن سالیان درازی به‌منظور توسعه این فرآیند با کمک دیگر محققان آلمانی مطالعاتی صورت گرفت (۳۱ و ۴۲). با استفاده از میدان‌های الکتریکی پالسی به علت افزایش در نفوذپذیری سلول‌ها، میزان راندمان استخراج افزایش می‌یابد (۳ و ۸). از محققینی که از میدان الکتریکی پالسی در استخراج عصاره‌های آنتی‌اکسیدانی از گیاهان استفاده کردند، می‌توان به مطالعات یانگ و همکاران (۲۰۲۴)، دولت آبادی و همکاران (۱۴۰۲) و حسینی و همکاران (۲۰۲۱) که به‌ترتیب از میوه زیتون، تقاله گوجه فرنگی و کنجاله ذرت عصاره آنتی‌اکسیدانی استخراج کرده بودند، اشاره نمود (۳، ۱۸ و ۴۳).

یکی از پرمصرف‌ترین فراورده‌های حاصل از غلات نان می‌باشد و علت کیفیت مناسب خمیر نان حاصل از آرد گندم در خواص منحصر به فرد پروتئین‌های گلوتن آن نهفته است. نوآوری‌ها در تولید نان در دهه گذشته شامل استفاده از آنزیم‌ها، نگهدارنده‌های طبیعی تولید شده عمدتاً توسط لاکتوباسیل‌ها و فناوری خمیر ترش می‌باشد (۳۴). غنی‌سازی خمیر نان که مستعد اکسیداسیون چربی و رشد میکروب‌ها است با آنتی‌اکسیدان‌های طبیعی، نشان‌دهنده یک استراتژی مناسب برای تولید قرص نان با درجه بالاتری از پایداری اکسایشی است که منجر به کیفیت حسی بهتر نان در طول ذخیره‌سازی می‌شود (۱۹). همان‌طور که گفته شد، ساختار و بافت نان به شبکه گلوتنی خمیر آن بستگی دارد که توسط پروتئین‌های موجود در آرد گندم ایجاد می‌شود. برای تأمین حجم و بافت مطلوب نان، یک شبکه گلوتنی قوی با خاصیت ارتجاعی و ظرفیت نگهداری گاز مناسب مورد نیاز می‌باشد. با این وجود، افزودن مواد فنولی می‌تواند شبکه گلوتن را مختل کرده و ویژگی‌های خمیر را تغییر دهد. اسیدهای آمینه پروتئین‌های گلوتن می‌توانند به فنول‌ها متصل شوند و ساختار و عملکرد آنها را تغییر دهند (۲۱). این فعل و انفعالات می‌توانند با تأثیر بر انعطاف‌پذیری، استحکام کششی و ظرفیت نگهداری گاز خمیر، بر کیفیت نان تأثیر بگذارند (۴۱). پلی‌فنول‌ها علاوه بر تأثیر بر خواص خمیر، می‌توانند طعم، بافت و رنگ نان را نیز تغییر دهند که همه این‌ها می‌توانند تأثیر قابل توجهی بر پذیرش مصرف‌کننده داشته باشند (۴۶). از طرفی ویژگی‌های آنتی‌اکسیدانی ترکیبات فنولی با جلوگیری از اکسیداسیون لیپیدها در طول نگهداری، ماندگاری نان را افزایش می‌دهند. فنول‌های گیاهی فواید زیادی دارند، اما ترکیب آنها در فرآیند پخت نان مستلزم بهینه‌سازی دقیق برای متعادل کردن تأثیر آنها بر خواص فیزیکی‌وشیمیایی و حسی است. در حالی که غلظت‌های پایین ممکن است ظرفیت و کیفیت

¹ Pulsed electric field

آنتی اکسیدانی نان را افزایش دهند، مقادیر بالای پلی فنول های گیاهی ممکن است به شبکه گلوتن آسیب برساند و بافت و حجم مخصوص مناسب نان را تخریب نماید. بنابراین، تعیین غلظت ایده آل ترکیبات فنولی برای بهینه سازی مزایای آنها بدون کاهش کیفیت نان ضروری است (۳۹). برخی محققین از عصاره های آنتی اکسیدانی استخراج شده از گیاهانی نظیر انار، پوست پیاز و خرنوب به منظور بهبود خواص حسی و کیفی نان استفاده کردند (۱۲، ۳۹ و ۴۵).

با توجه به اهمیت گیاهان دارویی در تولید مواد غذایی فراسودمند و گسترش محصولات مفید جدید در صنایع غذایی و ضمن این که تاکنون پژوهشی در زمینه ی استخراج پلی فنول های گیاه بابونه با کمک میدان های الکتریکی پالسی و تأثیر آن بر کیفیت نان انجام نگرفته است، هدف از این پژوهش بررسی تأثیر میدان های الکتریکی پالسی بر خواص آنتی اکسیدانی و پلی فنولی عصاره استخراج شده از گیاه بابونه و ارزیابی تأثیر عصاره حاصله بر کیفیت نان، می باشد.

۲- مواد و روش ها

۲-۱- آماده سازی نمونه

در این پژوهش، گیاه بابونه از عطاری های شهرستان تبریز تهیه و گل های آن بعد از جداسازی از سایر بخش های گیاه در سایه و دمای ۲۵ درجه سانتی گراد خشک و توسط آسیاب (Huddinge، سوئد) آسیاب گردید و سپس در کیسه های پلاستیکی مقاوم نسبت به نفوذ هوا و رطوبت تا زمان انجام آزمایش ها نگهداری شد.

۲-۲- استخراج عصاره بابونه با استفاده از میدان الکتریکی پالسی

نمونه ها تحت تأثیر دستگاه میدان الکتریکی پالسی ساخته شده در موسسه صنایع غذایی مشهد قرار گرفتند. در این دستگاه، ویژگی های پالس های الکتریکی مانند شکل، قطب، عرض و اختلاف پتانسیل به عنوان جریان الکتریکی در سراسر الکتروود تولید شد. همچنین فرکانس پالس با استفاده از یک اسیلوسکوپ دیجیتال تنظیم گردید (۲۶). نمونه ها در شدت میدان های ۱، ۴ و ۷ کیلو وات بر سانتی متر، فرکانس ۱ هرتز و ۳ سطح تعداد پالس ۲۰، ۴۰ و ۶۰ قرار گرفتند. بعد از اعمال این تیمارها، روی عصاره حاصل از این تیمارها، آزمایش های مختلف صورت گرفت. عصاره یک نمونه نیز بدون اعمال میدان الکتریکی و با ترکیب گیاه با آب مقطر برای ۱۲ ساعت توسط شیکر (کیمیا طب گستر، ایران) در دمای محیط استخراج و به عنوان نمونه شاهد در نظر گرفته شد (۳ و ۳۲).

۳-۲- غنی سازی نان با عصاره

نان حجیم با استفاده از عصاره بهینه گیاه بابونه حاصل از شرایط بهینه استخراج برای بهبود کیفیت و عملکرد قرص پایه نان، غنی سازی شد. در این مطالعه از عصاره بابونه در مقادیر ۰،۵، ۱،۵، ۲۵ و ۳۵ میلی لیتر به ازای ۱۰۰ گرم آرد گندم) به خمیر هر قرص نان همراه با دیگر اجزا برای ارزیابی خصوصیات کیفی نان، اضافه شد. بدین ترتیب عصاره ها با ۱۰۰ گرم آرد گندم همراه با ۱/۵ گرم نمک، ۱ گرم شکر، ۲ گرم مخمر، ۰/۵ گرم بهبود دهنده (اس ۵۰۰ اکتی پلاس) و ۵۵ میلی لیتر آب (لازم به ذکر است که عصاره ها جایگزین آب شدند) مخلوط شدند. پس از مخلوط شدن تمامی اجزا و آماده سازی خمیر، تخمیر در سه مرحله صورت گرفت. تخمیر اولیه در محفظه تخمیر با دمای ۳۰ درجه سانتی گراد و رطوبت نسبی ۷۵ درصد به مدت ۳۰ دقیقه انجام شد. سپس خمیرها به چانه های ۱۰۰ گرمی تقسیم شدند و به مدت ۱۵ دقیقه تخمیر دوم صورت گرفت. سپس در قالب های پخت قرار داده شدند و تخمیر نهایی به مدت ۵۰ دقیقه صورت گرفت. در نهایت خمیرها در اجاق پخت با دمای ۲۲۰ درجه سانتی گراد به مدت ۲۵ دقیقه پخته شدند. نان ها پس از پخت، در دمای کارگاه به مدت ۲ ساعت خنک شده و در کیسه های زیپ کیپ تا انجام آنالیزهای بعدی در دمای اتاق (۲۵ درجه سانتی گراد) نگهداری شدند (۲۲ و ۳۴).

۴-۲- آزمون های انجام شده روی عصاره

۲-۴-۱- تعیین میزان فنول کل

برای اندازه گیری میزان فنول کل عصاره های استخراجی، از روش ارائه شده به وسیله حسینی و همکاران (۲۰۲۱) استفاده شد. در این روش غلظت ثابتی از عصاره های استخراجی به لوله های آزمایش منتقل شده و ۲/۵ میلی لیتر معرف فولین سیو کالچو، ۱۰ بار رقیق شده در آب مقطر، به لوله ها منتقل و در نهایت ۲ میلی لیتر کربنات سدیم ۷/۵ گرم در ۱۰۰ میلی لیتر اضافه و به مدت ۱۰ دقیقه آب مقطر، به لوله ها منتقل و در نهایت ۲ میلی لیتر کربنات سدیم ۷/۵ گرم در صد میلی لیتر اضافه و به مدت ۳۰ دقیقه در دمای محیط نگهداری شد. در پایان جذب نمونه، در سل های ۱ سانتی متری توسط دستگاه اسپکتروفتومتر (Biochrom، انگلیس) در طول موج ۷۶۵ نانومتر قرائت شد. نمودار استاندارد نیز با استفاده از غلظت های ۱ تا ۱۰ میلی گرم بر گرم اسید گالیک رسم شد. مقدار فنول کل عصاره ها بر مبنای میلی گرم اسید گالیک در گرم ماده خشک محاسبه گردید (۱۸).

۲-۴-۲- تعیین فعالیت آنتی اکسیدانی به روش DPPH

اندازه‌گیری توانایی مهار رادیکال‌های آزاد DPPH به روش وو و همکاران (۲۰۰۳)، انجام شد. برای این منظور، محلول‌هایی با غلظت‌های مختلف (۱۵۰-۳۰ میکروگرم در میلی‌لیتر) از عصاره خارمریم و نیز آنتی‌اکسیدان سنتزی BHT در حلال اتانول آماده شدند. ۱/۵ میلی‌لیتر از محلول اتانولی DPPH (با غلظت ۰/۱۵ میلی‌مولار) به ۱/۵ میلی‌لیتر از عصاره افزوده و مخلوط حاصله به شدت هم زده شد و سپس در ۲۵۰۰ دور در دقیقه به مدت ۱۰ دقیقه سانتیفریوژ (Thermo، ژاپن) گردیدند. لوله‌های آزمایش به مدت ۲۰ دقیقه در محل تاریک قرار گرفتند. بعد از این مدت میزان جذب در طول موج ۵۱۷ نانومتر خوانده شد. لازم به ذکر است که در نمونه کنترل، عصاره با ۳ میلی‌لیتر اتانول جایگزین شد. در نهایت توانایی مهار رادیکال‌های آزاد DPPH توسط عصاره با معادله ۱، محاسبه گردید.

$$\text{DPPH}\% = \frac{A_c - A_s}{A_c} \times 100 \quad \text{رابطه (۱)}$$

که در این رابطه A_c و A_s به ترتیب جذب کنترل و جذب نمونه در اسپکتروفتومتر می‌باشد. معمولاً برای مقایسه فعالیت ضد رادیکالی عصاره‌های مختلف از فاکتوری تحت عنوان IC'_{50} استفاده شد (۴۰).

۴-۲-۳- تعیین قدرت احیاکنندگی یون آهن $FRAP^2$

توانایی عصاره‌ها برای احیا آهن سه ظرفیتی توسط روش دولت‌آبادی و همکاران (۲۰۲۵)، تعیین شد. در این روش محلول‌هایی حاصل از پیش‌تیمارهای مختلف در حلال‌های استخراجی تهیه گردیدند. یک میلی‌لیتر از محلول عصاره با ۲/۵ میلی‌لیتر بافر فسفات (pH=6.6 و M=0.2) (برای واکنش بهتر تبدیل یون‌های فریک (Fe^{+3}) به یون‌های فروس (Fe^{+2})) و ۲/۵ میلی‌لیتر پتاسیم فری سیانید (۱۰ گرم در لیتر) مخلوط شد و به مدت نیم ساعت در حمام آب با دمای ۵۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفت (۲۸). سپس ۲/۵ میلی‌لیتر تری کلرواستیک اسید ۱۰ درصد (وزنی-حجمی) به نمونه‌ها برای توقف واکنش (۲۷) اضافه شد و به مدت ۱۰ دقیقه با سرعت ۱۶۵۰ سانتیفریوژ شد. از محلول روئی پس از سانتیفریوژ ۲/۵ میلی‌لیتر به دقت برداشته و پس از افزودن ۲/۵ میلی‌لیتر آب مقطر و ۰/۵ میلی‌لیتر کلرید آهن (III) (۱ گرم در لیتر) جذب نمونه‌ها در طول موج ۷۰۰ نانومتر خوانده شد. میزان جذب بالا نشان دهنده قدرت احیاکنندگی بالای عصاره‌ها می‌باشد (۱۴).

۴-۵- آزمون‌های انجام شده روی نان

¹ Effective concentration

² Ferric reducing antioxidant power

۲-۵-۱- تعیین محتوای فنولی کل نان

بدین منظور ۲ گرم از نان برای ۱ دقیقه ریز و پودر شد. سپس نمونه‌ها با ۱۰ ml آب تحت هم‌زدن مغناطیسی برای استخراج پلی‌فنول‌ها قرار گرفتند. مخلوط حاصل در سانتریفوژ به مدت ۱۰ دقیقه با دور ۱۵۰۰۰ g سانتریفوژ گردید و از محلول رویی، محتوای فنول کل طبق روش توضیح داده شده در بند ۲-۴-۱ اندازه‌گیری شد (۲۹).

۲-۵-۲- تعیین محتوای رطوبت نان

میزان رطوبت نان طبق روش استاندارد AACC 44-16 اندازه‌گیری شد. رطوبت مغز نان تازه دو ساعت بعد از پخت (روز صفر)، روز اول و روز سوم با استفاده از آون الکتریکی (Memmert، آلمان) و با دمای (۱۰۰-۱۵۰ درجه سانتی‌گراد) تعیین گردید (۵).

۲-۵-۳- تعیین میزان سفتی بافت نان

ارزیابی بافت نان‌های تولیدی با روش TPA^1 ، ۲ ساعت بعد از پخت صورت گرفت. بدین منظور ابتدا قطعات $2 \times 2 \times 2$ سانتی‌متر مکعب از مغز نان نمونه‌ها تهیه گردید. سپس بافت آنها با استفاده از دستگاه بافت‌سنج بروکفیلد (مدل LFRA-4500، آمریکا) اندازه‌گیری و مورد ارزیابی قرار گرفتند. حداکثر نیروی لازم برای نفوذ پروپ استوانه‌ای با قطر ۲۵ میلی‌متر تا میزان فشردگی ۷۰ درصد ارتفاع اولیه و با سرعت ۶۰ میلی‌متر بر دقیقه به‌عنوان سفتی نان در نظر گرفته شد. مورد ارزیابی قرار گرفتند (۳۴).

۲-۵-۴- ارزیابی حسی نمونه‌های تهیه شده

این ارزیابی توسط ۱۰ نفر از افراد نیمه آموزش دیده آشنا با تکنیک‌های ارزیابی حسی انجام شد. نمونه‌های پخته شده بعد از ۲ ساعت در اختیار ارزیاب‌ها قرار گرفتند. ویژگی‌های حسی نان از نظر فرم و شکل، پوکی و تخلخل، سفتی و نرمی بافت، قابلیت جویدن، بو، طعم و مزه که به‌ترتیب دارای ضریب رتبه ۴، ۲، ۳، ۲، ۴ و ۴ بودند، مورد ارزیابی قرار گرفتند. ضریب ارزیابی ویژگی‌ها از بسیار بد (۱) تا بسیار خوب (۵) بود. با داشتن این معلومات، پذیرش کلی با استفاده از رابطه ۲ محاسبه گردید (۶)

$$Q = \frac{\sum(P \times G)}{\sum P} \quad \text{و (۳۴). رابطه (۲)}$$

Q = پذیرش کلی (عدد کیفیت نمونه‌های تولیدی)، P = ضریب رتبه صفات و G = ضریب ارزیابی صفات.

۲-۶- تجزیه و تحلیل آماری

¹ Texture profile analysis

در بخش اول مطالعه (استخراج عصاره از گیاه بابونه با میدان الکتریکی پالسی) روش‌شناسی سطح پاسخ^۱ (RSM)، با استفاده از یک طرح مرکب مرکزی برای ارزیابی پارامترهای ثابت مطالعه، شدت میدان الکتریکی (X_1) و تعداد پالس (X_2)، روی میزان فنول کل، میزان فعالیت رادیکال گیرندگی به روش DPPH و قدرت احیاکنندگی آهن، به عنوان پارامترهای متغیر، مورد استفاده قرار گرفت. به کمک این طرح کلیه ضرایب مدل رگرسیون درجه دوم و اثر متقابل فاکتورها قابل برآورد هستند. مهمترین مسئله در این بخش بررسی اثر متقابل فاکتورها و بهینه‌یابی بهترین شرایط در فرآیند استخراج عصاره از گیاه بابونه بود از این‌رو طرح آماری سطح پاسخ انتخاب گردید. آنالیز آماری این قسمت توسط نرم افزار Design Expert نسخه ۱۲ صورت گرفت که تعداد نمونه‌ها برای این بخش ۱۳ تا بود که از آن ۵ تا نمونه برای تکرار در نقطه مرکزی بود. در نهایت برای مقایسه بین بهترین نمونه‌ی که تحت شرایط بهینه به دست آمد با نمونه شاهد (تیمار نشده) و همچنین برای بخش دوم مطالعه (تأثیر عصاره استخراجی بر بهبود خواص نان قالبی) از نرم‌افزار SAS با یک طرح کاملاً تصادفی و در سطح آماری ۵ درصد استفاده شد. برای رسم نمودارهای بخش دوم مطالعه نیز از نرم افزار اکسل ۲۰۰۷ استفاده گردید.

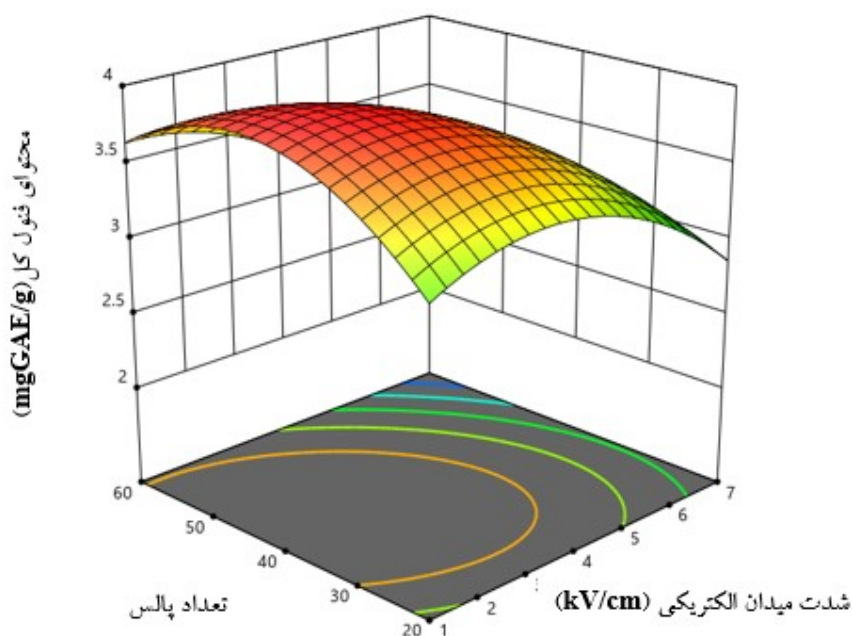
۳- نتایج و بحث

۳-۱- تأثیر میدان الکتریکی پالسی بر فنول کل عصاره

جدول (۱) نشان داد که بهترین مدل برای تفسیر میزان فنول کل، مدل چندجمله‌ای درجه دوم بود. نتایج همچنین نشان داد که تمامی پارامترهای مورد مطالعه به جز پارامتر خطی تعداد پالس بر میزان فنول کل در سطح ۵ درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). از طرفی با توجه به اعداد F و ضرایب معادله ۱ جدول ۳ می‌توان بیان داشت که بیشترین تأثیر بر میزان فنول کل نمونه‌ها مربوط به پارامتر خطی شدت میدان الکتریکی بود. یافته‌ها حاکی از آن بود که با افزایش شدت میدان الکتریکی در تعداد پالس‌های پایین میزان فنول کل افزایش ولی در تعداد پالس‌های بیشتر با افزایش شدت میدان الکتریکی میزان فنول کل کاهش یافت به همین ترتیب با افزایش تعداد پالس‌ها در شدت‌های پایین میدان الکتریکی میزان فنول کل افزایش ولی در شدت‌های بالای میدان الکتریکی با افزایش تعداد پالس میزان فنول کل کاهش یافت (شکل ۱). نتایج حاصل از این میزان ترکیبات فنولی کل عصاره نشان داد که عصاره قرار گرفته در معرض شرایط خفیف، افزایش معناداری را در محتوای فنولی، به نمایش گذاشت. اگر چه در کل به نظر می‌رسد افزایش ترکیبات فنولی به دلیل پیچیدگی سیستم‌های بیولوژیکی آن‌ها، ممکن است، دشوار باشد (۷). میدان الکتریکی

¹Response Surface Methodology

پالسی باعث تشکیل منافذ در غشاهای سلولی شده که در نتیجه ممکن است موجب خروج و نفوذ یون‌ها و سایر اجزای سلولی به محیط بیرون شود (۸). نتایج این بخش با مطالعات حسینی و همکاران (۲۰۲۱) مطابقت داشت (۱۸). دولت آبادی و همکاران (۱۴۰۲) آزادسازی بیشتر ترکیبات فنولی بر اثر استفاده میدان الکتریکی پالسی را دلیل افزایش این ترکیبات دانستند در حالی که کاهش این ترکیبات را به اثر تخریبی شدت‌های بالای میدان الکتریکی بر این ترکیبات نسبت دادند (۳). لئون و همکاران (۲۰۲۲) نیز نشان دادند که استفاده از میدان الکتریکی پالسی منجر به افزایش فنول کل در روغن زیتون می‌گردد (۲۰).



شکل ۱- تاثیر شدت میدان الکتریکی و تعداد پالس بر میزان فنول کل

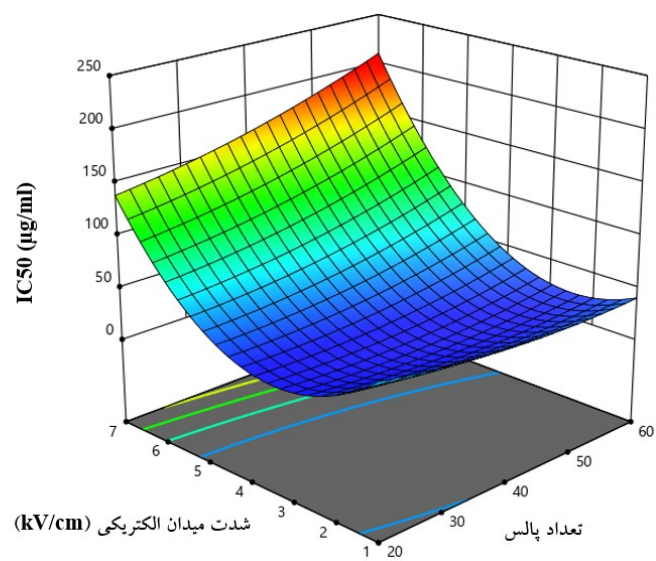
جدول ۱- انتخاب مدل برای ویژگی‌های مورد اندازه‌گیری

منبع			مجموع مربعات
عرض از مبدا	خطی	چندجمله‌ای ساده	چندجمله‌ای درجه دوم
FRAP	DPPH	فنول کل	
۴۲۵/۳۴	۵۷۶۹۶/۹۲	۱۵۳/۷۷	
۴/۵۲ ^{ns}	۲۴۰۸۷/۶۸*	۱/۳۵ ^{ns}	
۰/۱۶ ^{ns}	۲۰۹۱/۲۳ ^{ns}	۰/۲۷ ^{ns}	
<u>۵/۲۰**</u>	<u>۲۱۱۲۹/۵۹**</u>	<u>۱/۵۶**</u>	

چند جمله‌ای درجه سوم	۰/۰۹ ^{ns}	۱۴۹/۰۳ ^{ns}	۰/۲۷ ^{ns}
باقیمانده	۰/۱۳	۱۴۴/۰۶	۰/۵۳
مجموع	۱۵۷/۱۶	۱۰۶۱۰۰	۴۳۶/۰۳

۲-۳- تأثیر پارامترهای مورد مطالعه بر توانایی مهار رادیکال‌های آزاد DPPH

IC50 در عصاره‌های گیاهی به غلظتی از عصاره گفته می‌شود که بتواند ۵۰ درصد یک فعالیت بیولوژیکی خاص (مانند مهار رادیکال‌های آزاد) را مهار کند. به عبارت دیگر، IC50 معیاری برای سنجش قدرت یک عصاره گیاهی در مهار یک فرآیند یا فعالیت خاص است. هرچه مقدار IC50 کمتر باشد، نشان‌دهنده فعالیت قوی‌تر عصاره است (۱۷). نتایج نشان داد که بهترین مدل برای برازش داده‌های حاصل از توانایی مهار رادیکال‌های آزاد DPPH مدل چند جمله‌ای درجه دوم بود (جدول ۱). جدول ۲ نیز نشان داد که فقط پارامتر درجه دوم تعداد پالس بر میزان این ویژگی معنی‌دار نبود ($p > 0.05$). جدول ۳ نیز نشان داد که بیشترین تأثیر بر توانایی مهار رادیکال‌های آزاد DPPH مربوط به پارامتر خطی شدت میدان الکتریکی بود. نتایج آورده در شکل ۲ مشخص نمود که با افزایش شدت میدان الکتریکی و تعداد پالس در ابتدا توانایی مهار رادیکال‌های آزاد DPPH افزایش (کاهش میزان IC50) و سپس کاهش یافت. مطالعات نشان داده که استفاده از میدان الکتریکی پالسی منجر به افزایش توکوفرول-ها به ویژه آلفا توکوفرول‌ها در هنگام استخراج می‌گردد که علت آن دمای پایین این فرآیند و آزادسازی بیشتر این ترکیبات به داخل عصاره می‌باشد از طرفی استفاده از میدان الکتریکی پالسی منجر به افزایش استخراج ترکیبات فنولی می‌گردد (۷). در نتیجه در ابتدای استفاده از این فرآیند ظرفیت آنتی اکسیدانی عصاره افزایش یافت ولی با افزایش بیشتر شدت میدان الکتریکی احتمالاً به علت تخریب ترکیبات آنتی اکسیدانی ظرفیت آنتی اکسیدانی عصاره کاهش یافت (۳). حسینی و همکاران (۲۰۲۱) نشان دادند که با افزایش شدت میدان الکتریکی میزان توانایی مهار رادیکال‌های آزاد عصاره استخراج شده از کنجاله ذرت در ابتدا افزایش و سپس کاهش یافت که همراستا با نتایج این بخش بود (۱۸).



شکل ۲- تاثیر شدت میدان الکتریکی و تعداد پالس بر توانایی مهار رادیکال‌های آزاد DPPH

جدول ۲- تجزیه و تحلیل داده‌های حاصل از مطالعه

FRAP		IC50		فنول کل		منبع
عدد F	مجموع مربعات	عدد F	مجموع مربعات	عدد F	مجموع مربعات	
۱۷/۳۰	۹/۸۹**	۶۶/۵۷	۴۷۳۵۸/۵۱**	۲۰/۳۱	۳/۱۸**	مدل
۳۷/۰۳	۴/۲۳**	۱۶۲/۴۱	۲۳۱۰۶/۱۸**	۴۱/۷۵	۱/۳۱**	X_1
۲/۵۴	۰/۲۹ ^{ns}	۶/۹۰	۹۸۱/۵۰*	۱/۲۳	۰/۰۴ ^{ns}	X_2
۱/۴۳	۰/۱۶ ^{ns}	۱۴/۷۰	۲۰۹۱/۲۳**	۸/۶۴	۰/۲۷*	$X_1 X_2$
۱۹/۴۶	۲/۲۳**	۱۱۶/۰۹	۱۶۵۱۶/۵۸**	۱۳/۶۴	۰/۴۳**	X_1^2
۹/۲۱	۱/۰۵*	۱/۴۱	۲۰۱/۰۲ ^{ns}	۱۷/۳۳	۰/۵۴**	X_2^2
	۰/۸۰		۹۹۵/۹۱		۰/۲۱	باقیمانده
۵/۸۶	۰/۷۸ ^{ns}	۸/۳۹	۹۸۱/۱۴ ^{ns}	۵/۲۵	۰/۲۰ ^{ns}	عدم برازش
	۰/۰۱		۱۴/۸۰		۰/۰۲	خطای خالص
	۱۰/۶۹		۴۸۳۵۴/۴۲		۳/۴۰	مجموع ضرایب

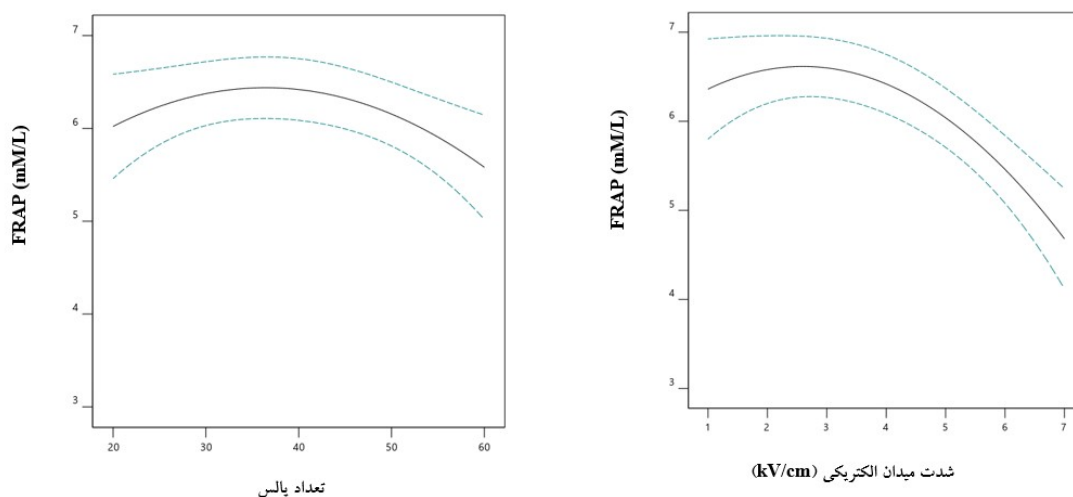
شدت میدان الکتریکی (X_1) و تعداد پالس (X_2)

جدول ۳- مدل‌های پیش‌بینی کننده ویژگی‌های مورد مطالعه

ردیف	متغیر اندازه‌گیری شده	مدل به دست آمده	R^2	R^2 -adj	ضریب تغییرات
۱	فنول کل	$y = +3.83 - 0.47 X_1 - 0.08 X_2 - 0.26 X_1 X_2 - 0.04 X_1^2 - 0.44 X_2^2$	۰/۹۳۵	۰/۸۸۹	۵/۱۴
۲	IC50	$y = +26.99 + 62.06 X_1 + 12.79 X_2 + 22.86 X_1 X_2 + 77.33 X_1^2 + 8.53 X_2^2$	۰/۹۷۹	۰/۹۶۵	۱۷/۹۰
۳	FRAP	$y = +6.42 - 0.85 X_1 - 0.22 X_2 - 0.20 X_1 X_2 - 0.81 X_1^2 - 0.61 X_2^2$	۰/۹۲۵	۰/۸۷۲	۵/۹۱

۳-۳- تاثیر میدان الکتریکی پالسی بر قدرت احیاکنندگی یون آهن عصاره بابونه

قدرت احیاکنندگی عصاره‌ها، توانایی آنها را برای احیای آهن سه ظرفیتی و تبدیل آن به آهن دو ظرفیتی نشان می‌دهد. حضور آنتی‌اکسیدان‌ها (احیاکننده‌ها) در عصاره که دهنده الکترون هستند منجر به احیای کمپلکس‌های فری سیانید و تبدیل آن‌ها به فرم فروس می‌شود که بسته به احیاکنندگی عصاره‌های مورد آزمایش، رنگ زرد محلول به درجات مختلفی از رنگ سبز و آبی تغییر می‌کند (۳۲). جدول ۱ نشان داد که همانند دو ویژگی قبلی بهترین مدل برای برازش داده‌های حاصل از قدرت احیاکنندگی یون آهن، مدل چند جمله‌ای درجه دوم بود. از طرفی جدول ۲ نیز مشخص نمود که تمامی پارامترهای مورد مطالعه به جز پارامترهای خطی تعداد پالس و اثر متقابل شدت میدان الکتریکی با تعداد پالس بر قدرت احیاکنندگی یون آهن در سطح ۱ درصد معنی‌دار بودند. یافته‌ها حکایت از آن داشت که بیشترین تاثیر بر این ویژگی نیز مربوط به پارامتر خطی شدت میدان الکتریکی بود (جداول ۲ و ۳). نتایج نشان داد که با افزایش شدت میدان الکتریکی و تعداد پالس در ابتدا میزان قدرت احیاکنندگی یون آهن افزایش و سپس کاهش یافت (شکل ۳). علت این افزایش را می‌توان به افزایش آزادسازی موادی که در احیا آهن نقش دارند و همچنین غیرفعال شدن بعضی از آنزیم‌ها نسبت داد و با افزایش بیشتر شدت میدان الکتریکی و تعداد پالس احتمالاً به علت تخریب ترکیباتی که در احیا آهن نقش دارند، قدر احیاکنندگی یون آهن کاهش می‌یابد (۳). یانگ و همکاران (۲۰۲۴) با بررسی تاثیر میدان الکتریکی پالسی بر استخراج روغن از میوه زیتون، بیان داشتند که استفاده از میدان الکتریکی پالسی منجر به افزایش ترکیبات فنولی، توکوفرول‌ها و همچنین قدرت احیاکنندگی یون آهن می‌گردد (۴۳).



شکل ۳- تاثیر الف) شدت میدان الکتریکی و ب) تعداد پالس بر قدرت احیاکنندگی یون آهن (FRAP)

۳-۴- بهینه‌سازی فرآیند استخراج عصاره از گیاه بابونه و مقایسه عصاره حاصل از شرایط بهینه با نمونه شاهد

به منظور یافتن بهترین شرایط استخراج عصاره از گیاه بابونه با فرآیند میدان الکتریکی پالسی، با توجه به شدت میدان الکتریکی که در دامنه ۱ تا ۷ کیلو وات بر سانتی متر و تعداد پالس که ۲۰ تا ۶۰ تنظیم شده بود، فرآیند استخراج عصاره در شرایط ذکر شده به منظور رسیدن به حداکثر میزان فنول کل، توانایی مهار رادیکال‌های آزاد DPPH و قدرت احیاکنندگی یون آهن بهینه‌یابی گردید. نتایج نشان داد که به منظور رسیدن به اهداف ذکر شده، بایستی شدت میدان الکتریکی ۲/۲ کیلووات بر سانتی متر و تعداد پالس ۴۰ تا باشد. تحت شرایط مذکور مطلوبیت ۰/۹۰ حاصل گردید که از این عصاره برای بخش بعد مطالعه (افزودن به نان به منظور بهبود خواص کیفی آن) استفاده گردید. نتایج نشان داد که استفاده از میدان الکتریکی پالسی منجر به افزایش فنول کل، فعالیت آنتی اکسیدانی به روش DPPH و قدرت احیاکنندگی یون آهن گردید (جدول ۴). از طرفی مقایسه نتایج حاصل از بهینه‌سازی با نتایج تجربی حاصل از همان شرایط نشان از دقت بالای مدل‌های پیش‌بینی شده داشت.

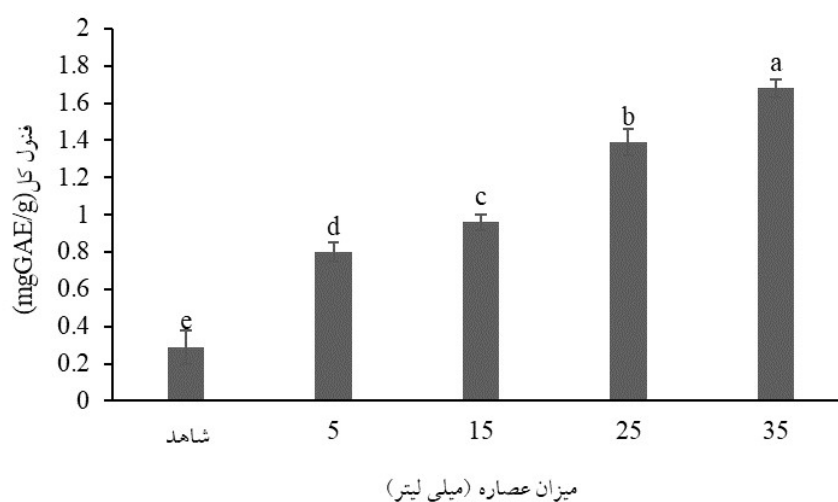
جدول ۴- داده‌های به‌دست‌آمده از شرایط بهینه، داده‌های تجربی و نمونه شاهد در این مطالعه

روش استخراج	فنول کل (mgGAE/g)	IC50 (μg/ml)	FRAP (mM/L)
بهینه (نرم افزار)	۳/۶۹	۱۷/۵۹	۶/۶۱
بهینه (تجربی)	۳/۸۶	۱۷/۰۵	۶/۲۵
شاهد	۲/۴۹	۲۰۱/۰۹	۳/۵۰

۳-۵- تاثیر افزودن عصاره بر محتوای فنول کل نان

شکل ۴، اثر نسبت‌های مختلف عصاره‌ی افزوده شده بابونه بر فنول کل نان‌های قالبی تولید شده را نشان می‌دهد. نتایج حاکی از افزایش میزان فنول کل با افزودن غلظت بیشتر عصاره بابونه به نان‌ها داشت. نان‌های حاوی عصاره تفاوت معناداری با یکدیگر نشان دادند ($p < 0.05$). بیش‌ترین فنول کل مربوط به نان حاوی ۳۵ میلی‌لیتر عصاره و کمترین مربوط به نان شاهد (فاقد عصاره) بود.

زولکاپلی و همکاران (۲۰۲۵) نیز همراستا با نتایج این بخش با بررسی تاثیر افزودن عصاره پوست انار و موز به کیک نشان دادند که با افزایش افزودن عصاره، خاصیت آنتی اکسیدانی کیک افزایش یافت (۴۶). لو و همکاران (۲۰۱۰)، نشان دادند که افزودن چای سبز به کیک خصوصیات آنتی اکسیدانی کیک را افزایش می دهد و علت بهبود خصوصیات آنتی اکسیدانی کیک چای سبز را به ترکیبات فنولی به خصوص انواع کاتچین های موجود در چای سبز نسبت دادند (۲۴). سیوام و همکاران (۲۰۱۱)، با افزودن پلی ساکاریدهای فیبری به نان، فعالیت آنتی اکسیدانی نان را افزایش دادند (۳۵). بایانو و همکاران (۲۰۱۵) به این نتیجه رسیدند که افزودن عصاره سبزیجات مختلف به نان، سبب افزایش محتوای فنول کل نان، می شود (۹).

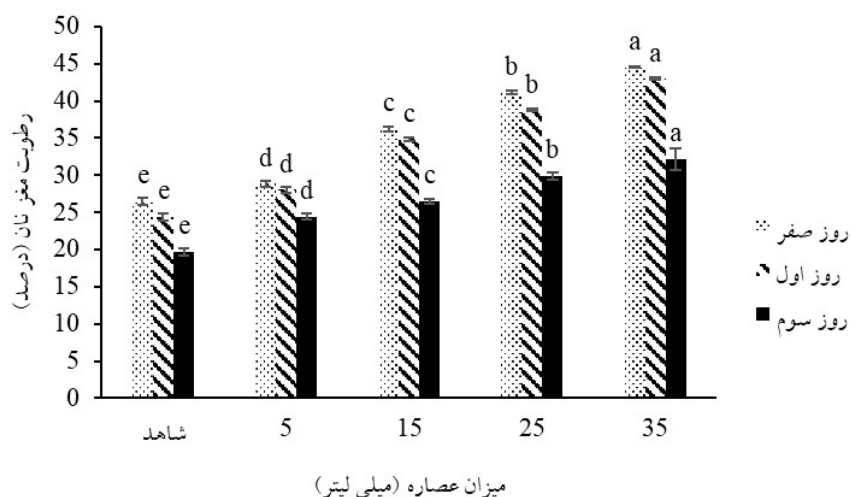


شکل ۴- تاثیر میزان عصاره بابونه بر فنول کل نان و حروف غیرمشابه نشان دهنده وجود اختلاف معنی دار در سطح احتمال ۵ درصد می باشد.

۳-۶- تاثیر افزودن عصاره بر میزان رطوبت مغز نان

شکل ۵، نشان داد که با افزایش زمان نگهداری رطوبت نان ها کاهش ولی با افزایش غلظت عصاره در فرمولاسیون نان های تولیدی میزان رطوبت افزایش یافت. یافته های رطوبت مغز نان نشان داد که وجود مواد جامد محلول در عصاره سبب نگهداری ظرفیت آب می شوند که بدین ترتیب مهاجرت آب از مغز به پوسته در طول پخت کاهش می یابد و موجب افزایش رطوبت مغز می شود. مقدار رطوبت مورد استفاده در تهیه خمیر و نان با اثر بر ژلاتینه شدن نشاسته در خمیر در طول فرآیند پخت بر شاخص های سفتی و ویژگی های مکانیکی نان نیز اثر می گذارد. در طول پخت، رطوبت از سطح خمیر به سرعت تبخیر شده و در مرکز خمیر متمرکز می گردد که در ادامه حرارت دهی به دلیل اختلاف رطوبت بین سطح و قسمت های داخلی بافت نان، رطوبت به قسمت های

فوقانی مهاجرت می‌کند (۲۵). افزایش جذب آب خمیر سبب افزایش رطوبت محصول نهایی خواهد شد. علت کاهش رطوبت با افزایش زمان نگهداری را می‌توان به برگشت نشاسته، شروع پدیده بیاتی در نان و از دست دادن قابلیت حفظ رطوبت نان در طول زمان نگهداری نسبت داد که منجر به کاهش مقدار رطوبت نمونه‌ها می‌گردد. بردبار لومر و قنادی اصل (۲۰۲۵) نیز همراستا با نتایج این بخش نشان دادند که افزودن عصاره دارچین منجر به افزایش میزان رطوبت کیک روغنی نسبت به نمونه شاهد می‌گردد (۱۱).



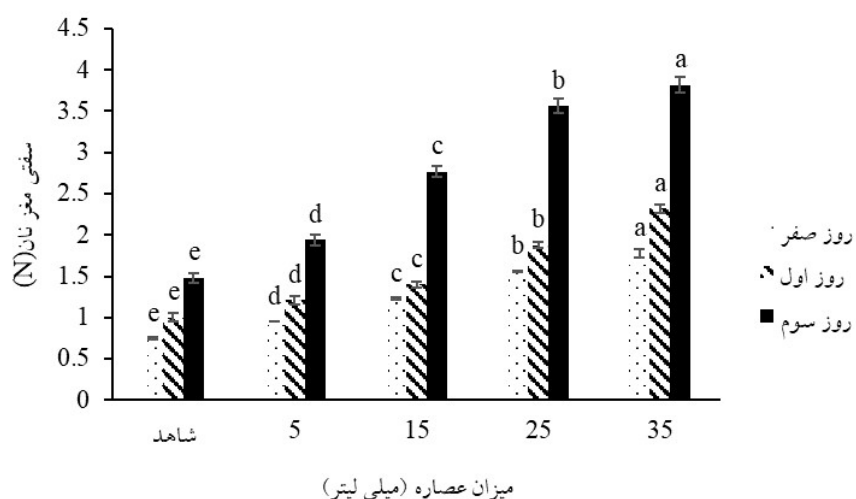
شکل ۵- تاثیر زمان نگهداری و عصاره بابونه بر رطوبت مغز نان و حروف غیرمشابه نشان‌دهنده وجود اختلاف معنی‌دار در یک روز ثابت در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشد.

۳-۷- تاثیر افزودن عصاره بر سفتی مغز نان

شکل ۶، اثر نسبت‌های مختلف عصاره‌ی افزوده شده بابونه بر میزان سفتی مغز نان‌های قالبی تولید شده را در روزهای صفر، یک و سه نشان می‌دهد. نتایج حاصل از آنالیز آماری نشان‌دهنده‌ی اثر معنادار استفاده از نسبت‌های مختلف عصاره بر سفتی بافت نان‌های تولید شده بود. بدین شکل که نمونه‌ی کنترل کم‌ترین سفتی و نمونه‌ی حاوی ۳۵ml عصاره تیمار شده از بیش‌ترین سفتی بافت برخوردار بودند ($p < 0.05$). هم‌چنین، نتایج نشان دادند که در طول زمان نگهداری به‌طور قابل ملاحظه‌ای بر سفتی بافت نان‌های تولید شده، افزوده شد. درخصوص نمونه‌های حاوی ۱۵، ۲۵ و ۳۵ میلی لیتر عصاره تیمار شده بابونه، تفاوت معناداری در سفتی مغز نان در روزهای مختلف مشاهده نشد ($p > 0.05$). تغییرات بافت در حین بیاتی و سفت شدن مغز نان به‌طور گسترده با برگشت نشاسته ارتباط دارد. با گذشت زمان رطوبت از قسمت‌های داخلی نان به سمت پوسته مهاجرت کرده و همین انتقال رطوبت از مغز به پوسته، سبب سفتی بافت، از دست رفتن تردی و عطر و طعم اولیه نان می‌شود (۱). در نتیجه می‌توان بیان کرد که رطوبت

با سفتی مغز نان ارتباط دارد. به گونه‌ای که در روز صفر به علت رطوبت بالای نمونه‌ها، سفتی بافت کم بود، اما با گذشت زمان و کاهش نشاسته محلول و همچنین رطوبت مغز نان، تغییراتی در الاستیسیته مغز و یا بافت داخلی نان پدید آمد و سفتی نیز افزایش یافت. وانگ و همکاران (۲۰۲۵) گزارش کردند که با افزایش سطح عصاره حاوی ترکیبات فنولی به علت برهمکنش‌های غیر کووالانسی بین پلی‌فنول‌ها و پروتئین‌های گلوتن که منجر به بازآرایی ساختار ثانویه گلوتن و در نتیجه کاهش حجم مخصوص نان می‌شود، سفتی افزایش می‌یابد (۳۹).

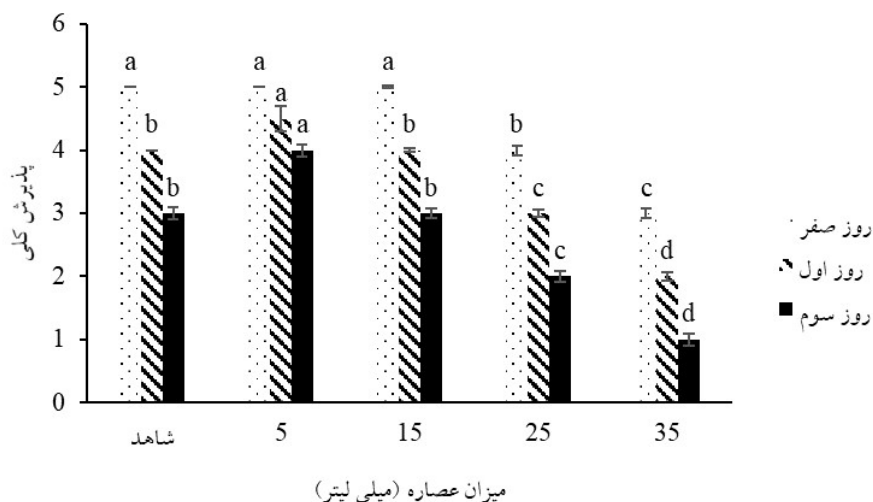
نتایج حاصل از این پژوهش مشابه یافته‌های پاسریجا و همکاران (۲۰۱۵) است که افزایش سفتی بافت نان را در نتیجه استفاده از عصاره چای سبز در نان گزارش کردند (۲۹). لیم و همکاران (۲۰۱۱) با افزودن درصدهای مختلف پودر زردچوبه مشاهده کردند با افزایش درصد پودر زردچوبه، سفتی بافت نیز افزایش یافت (۲۲). آن‌ها این افزایش سفتی مغز را وابسته به افزایش دانسیته نان دانستند، که با پژوهش ویتادینی و ودووتز (۲۰۰۳)، مطابقت داشت (۳۸). همراهی با نتایج این بخش زاهورک و همکاران (۲۰۲۴) نیز بیان داشتند که افزودن عصاره خرنوب منجر به افزایش سفتی نان به علت رقابت ترکیبات فنولی در جذب آب با پروتئین‌های گندم می‌گردد (۴۴).



شکل ۶- تاثیر زمان نگهداری و عصاره بابونه بر سفتی مغز نان و حروف غیرمشابه نشان‌دهنده وجود اختلاف معنی‌دار در یک روز ثابت در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشد.

۳-۸- تاثیر افزودن عصاره بر پذیرش کلی نان

همان‌طور که در شکل ۷ آورده شده است با افزایش زمان نگهداری میزان امتیازاتی که ارزیابان به پذیرش کلی نان‌های تولیدی دادند، کاهش یافت. در روز تولید نمونه شاهد و نمونه‌های حاوی ۵ و ۱۵ میلی‌لیتر عصاره بیشترین امتیاز را کسب نمودند ولی در روز سوم نگهداری نمونه حاوی ۵ میلی‌لیتر عصاره بیشترین امتیاز را از دید ارزیاب‌ها کسب نمود. با افزایش میزان عصاره بیش از ۱۵ میلی‌لیتر در فرمولاسیون نان‌های تولیدی امتیازات پذیرش کلی کاهش یافت. زاهورک و همکاران (۲۰۲۵) با بررسی تاثیر افزودن عصاره دانه خرنوب به نان بیان داشتند که استفاده از ۵ درصد عصاره منجر به بهبود امتیازات پذیرش کلی از دید ارزیاب‌ها گردید، این محققین دلیل امتیازات بیشتر این نمونه را رنگ، بو و مزه بهتر دانستند (۴۵). وانگ و همکاران (۲۰۲۵) نیز همراستا با نتایج این بخش بیان داشتند که پذیرش کلی نان‌های تهیه شده با آرد دارای گلوتن بالا با افزودن عصاره پوست پیاز به علت رنگ و بوی بهتر افزایش می‌یابد (۳۹).



شکل ۷- تاثیر زمان نگهداری و عصاره بابونه بر پذیرش کلی نان و حروف غیرمشابه نشان‌دهنده وجود اختلاف معنی‌دار در یک روز ثابت در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشد.

۴- نتیجه‌گیری

عصاره‌های گیاهی که حاوی ترکیبات طبیعی می‌باشند به دلیل خواص دارویی، طعم و عطر دهنده‌گی به‌عنوان نگهدارنده و آنتی‌اکسیدان در صنایع غذایی استفاده گسترده‌ای دارند. در این پژوهش از عصاره بابونه استخراج شده با میدان الکتریکی پالسی به-عنوان منبع آنتی‌اکسیدانی در تهیه نان استفاده شد. یافته‌ها نشان داد که افزایش شدت میدان الکتریکی و تعداد پالس‌ها در ابتدا میزان ترکیبات فنولی و فعالیت آنتی‌اکسیدانی عصاره بابونه را افزایش و سپس کاهش داد. با توجه به نتایج بهینه‌سازی فرآیند می‌توان بیان

نمود که فرآیند میدان الکتریکی متناوب با شدت میدان الکتریکی ۲/۲ کیلووات بر سانتی متر و تعداد پالس ۴۰، منجر به رسیدن به عصاره‌ای با بهترین کیفیت گردید. ارزیابی نان‌های حاوی عصاره بابونه نیز نشان داد که با افزایش میزان عصاره بابونه در فرمولاسیون نان میزان فنول کل، رطوبت مغز نان‌ها و سفتی نمونه‌ها افزایش یافت. از طرفی با افزایش زمان نگهداری رطوبت و سفتی مغز نان‌ها نیز افزایش یافت. با توجه به پذیرش کلی و آزمون‌های صورت گرفته روی نمونه‌های تهیه شده، می‌توان بیان داشت که افزودن ۵ میلی لیتر عصاره بابونه استخراج شده با میدان الکتریکی پالسی منجر به بهبود خواص آنتی‌اکسیدانی و کیفی نان خواهد گردید.

منابع

- ۱- ابراهیم پور نسیم، پیغمبر دوست سیدهادی، آزادمردم‌پرچی صدیف، قنبرزاده بابک. تاثیر افزودن هیدروکلئیدهای مختلف روی ویژگی‌های حسی و بیاتی نان بدون گلوتن. پژوهشهای صنایع غذایی (دانش کشاورزی). ۱۳۸۹؛ ۳(۱): ۹۹-۱۱۵.
- ۲- امیدبگی رضا. تولید و فرآوری گیاهان دارویی. ۱۳۸۳؛ چاپ سوم. تهران. به نشر، ۲۶۵-۲۴۹.
- ۳- دولت آبادی زهرا، الهامی امیر حسین، اخلاقی فیض آباد سید هاشم، فرزانه وحید، بخش آبادی حمید. بهینه‌سازی فرآیند استخراج لیکوپن و ترکیبات فنولی از تفاله گوجه فرنگی با استفاده از پیش تیمار میدان الکتریکی پالسی. مجله علوم و صنایع غذایی / ایران. ۱۴۰۱؛ ۱۹ (۱۲۵): ۱۰۹-۱۱۹. DOI: 10.22034/FSCT.19.125.109.109-119.
- ۴- سرطاوی کهزاد، غلامیان فاطمه. گیاهان دارویی استان بوشهر. تحقیقات گیاهان دارویی و معطر ایران. ۱۳۸۳؛ ۲(۲): ۲۱۳-۲۲۷.
- 5- AACC. Approved methods of American Association of Cereal Chemist (8th ed.) Approved methods nr. 44-16, 08-01, 10-05, 74-09. St Paul, Minnesota, USA. 2000.
- 6- Allahyari N, Gharekhani M, Bodbodak S, Asefi N, Khiabani AH. The effect of different formulations and baking conditions on the physicochemical properties of gluten-free cakes. *Applied Food Research*. 2025; 101301. <https://doi.org/10.1016/j.afres.2025.101301>
- 7- Amodio ML, Derossi A, Colelli G. Modeling phenolic content during storage of cut fruit and vegetables: A consecutive reaction mechanism. *Journal of Food Engineering*. 2014; 140: 1-8. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2014.04.006>.

- 8- Bakhshabadi H, Ganje M, Gharekhani M, Mohammadi-Moghaddam T, Aulestia C, Morshedi A. A review of new methods for extracting oil from plants to enhance the efficiency and physicochemical properties of the extracted oils. *Processes*. 2025; 13(4):1124. <https://doi.org/10.3390/pr13041124>
- 9- Baiano A, Viggiani I, Terracone C, Romaniello R, Del Nobile MA. Physical and sensory properties of bread enriched with phenolic aqueous extracts from vegetable wastes. *Czech journal of food science*. 2015; 33(3):247-53. DOI: 10.17221/528/2014-CJFS.
- 10- Barene I, Daberte I, Zvirgzdina L, Iriste V. The complex technology on products of German chamomile. *Medicina (Kaunas)*. 2003; 39(2): 127-31. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/14617873>.
- 11- Bordbar Lomer B, Ghannadiasl F. Enrichment of oil cake with cinnamon extract positively effects antioxidant activity and textural profile. *Food Science & Nutrition*. 2025; 13(3):e4714. <https://doi.org/10.1002/fsn3.4714>.
- 12- Costa NH, Amadio GB, Souza-Santos YJ, Carvalho RA, Vanin FM. Incorporation of Pomegranate (*Punica granatum*) Extract Enhanced the Concentration of Bioactive Compounds and Shelf Life of Bread. *Food Science & Nutrition*. 2025; 13(7):e70690. DOI: 10.1002/fsn3.70690
- 13- de Oliveira I, Santos-Buelga C, Aquino Y, Barros L, Heleno SA. New frontiers in the exploration of phenolic compounds and other bioactives as natural preservatives. *Food Bioscience*. 2025; 10:106571. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2025.106571>.
- 14- Dolatabadi Z, Elhami Rad AH, Akhlaghi Feizabad SH, Farzaneh V, Bakhshabadi H. Utilizing subcritical fluid for extracting lycopene and phenolic compounds from tomato pomace, and incorporating the extract obtained to extend the shelf life of mayonnaise. *Journal of Food Science and Technology*. 2025; 9:1-11. DOI: 10.1007/s13197-025-06322-y.
- 15- El Mihaoui A, Esteves da Silva JC, Charfi S, Candela Castillo ME, Lamarti A, Arnao MB. Chamomile (*Matricaria chamomilla* L.): a review of ethnomedicinal use, phytochemistry and pharmacological uses. *Life*. 2022; 12(4):479. DOI: 10.3390/life12040479.
- 16- Fonseca FN, Tavares MF, Horváth C. Capillary electrochromatography of selected phenolic compounds of *Chamomilla recutita*. *Journal of Chromatography A*. 2007; 1154(1-2): 390-399. DOI: 10.1016/j.chroma.2007.03.106.
- 17- He Y, Zhu Q, Chen M, Huang Q, Wang W, Li Q, Huang Y, Di W. The changing 50% inhibitory concentration (IC₅₀) of cisplatin: a pilot study on the artifacts of the MTT assay and the precise

measurement of density-dependent chemoresistance in ovarian cancer. *Oncotarget*. 2016; 7(43):70803. DOI: 10.18632/oncotarget.12223.

18- Hosseini SM, Bojmehrani A, Zare E, Zare Z, Hosseini SM, Bakhshabadi H. Optimization of antioxidant extraction process from corn meal using pulsed electric field-subcritical water. *Journal of food processing and preservation*. 2021; 45(6):e15458. <https://doi.org/10.1111/jfpp.15458>.

19- Jensen S, Ostdal H, Skibsted LH, Thybo AK. Antioxidants and shelf life of whole wheat bread. *Journal of Cereal Science*. 2011; 53(3): 291-7. DOI: 10.1016/j.jcs.2011.01.010

20- Leone A, Tamborrino A, Esposto S, Berardi A, Servili M. Investigation on the effects of a pulsed electric field (PEF) continuous system implemented in an industrial olive oil plant. *Foods*. 2022; 11(18):2758. DOI: 10.3390/foods11182758

21- Li H, Ma J, Zhao B, Pan L, Meng J, Xu B. Effect of tea polyphenols on the quality characteristics of fresh wheat noodles in the storage. *International journal of food science & technology*. 2020; 55(6): 2562-9. DOI:10.1111/ijfs.14508

22- Lim HS, Park SH, Ghafoor K, Hwang SY, Park J. Quality and antioxidant properties of bread containing turmeric (*Curcuma longa* L.) cultivated in South Korea. *Food Chemistry*. 2011; 124(4):1577-82.

23- Luengo E, Álvarez I, Raso J. Improving the pressing extraction of polyphenols of orange peel by pulsed electric fields. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*. 2013; 17: 79-84.

24- Lu TM, Lee CC, Mau JL, Lin SD. Quality and antioxidant property of green tea sponge cake. *Food chemistry*. 2010; 119(3):1090-5.

25- McCarthy DF, Gallagher E, Gormley TR, Schober TJ, Arendt EK. Application of response surface methodology in the development of gluten-free bread. *Cereal chemistry*. 2005; 82(5):609-15.

26- Odriozola-Serrano I, Soliva-Fortuny R, Martín-Belloso O. Impact of high-intensity pulsed electric fields variables on vitamin C, anthocyanins and antioxidant capacity of strawberry juice. *LWT-Food Science and Technology*. 2009; 42(1):93-100.

27- Ouahhoud S, Khoulati A, Kadda S, Bencheikh N, Mamri S, Ziani A, Baddaoui S, Eddabbeh FE, Lahmass I, Benabbes R, Addi M. Antioxidant activity, metal chelating ability and DNA protective effect of the hydroethanolic extracts of *Crocus sativus* stigmas, tepals and leaves. *Antioxidants*. 2022; 11(5):932. <https://doi.org/10.3390/antiox11050932>.

- 28- Owusu-Apenten RK, Wong CW, Cheung WS, Lau YY, Bolanos de la Torre AA. A frap assay at pH 7 unveils extra antioxidant activity from green, black, white and rooibos tea but not apple tea. *Food and Nutrition Report*. 2015; 1(1): 1-8. DOI: 10.24218/fnr.2015.03.
- 29- Pasrija D, Ezhilarasi PN, Indrani D, Anandharamakrishnan C. Microencapsulation of green tea polyphenols and its effect on incorporated bread quality. *LWT-Food Science and Technology*. 2015; 64(1):289-96.
- 30- Putra NR, Suharmiati S, Ismayanti R, Irianto I, Airlangga B. Green extraction of chamomile bioactives: techniques, health benefits, and wellness applications—a comprehensive review. *Journal of Essential Oil Research*. 2025; 16:1-6.
- 31- Ramaswamy R, Bala Krishnan S. Pulsed Electric Field Treatment in Extracting Proteins from Legumes: A Review. *Processes*. 2024; 12(12), 2667
- 32- Razghandi E, Elhami-Rad AH, Jafari SM, Saiedi-Asl MR, Bakhshabadi H. Combined pulsed electric field-ultrasound assisted extraction of yarrow phenolic-rich ingredients and their nanoliposomal encapsulation for improving the oxidative stability of sesame oil. *Ultrasonics Sonochemistry*. 2024; 110: 107042. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2024.107042>.
- 33- Saeedi M, Khanavi M, Shahsavari K. Matricaria chamomilla: an updated review on biological activities of the plant and constituents. *Research Journal of Pharmacognosy*. 2024; 11(1):109-36. DOI : 10.22127/RJP.2023.404256.2145
- 34- Seyedahmadi S, Gharekhani M, Tariverdi S, Bakhshabadi H. Enhancing the quality of rice-based gluten-free bread using sourdoughs fermented with *Lactobacillus fermentum* and *Lactobacillus plantarum*. *Scientific Reports*. 2025; 15(1):26543. DOI: 10.1038/s41598-025-11872-4
- 35- Sivam AS, Sun-Waterhouse D, Waterhouse GI, Quek S, Perera CO. Physicochemical properties of bread dough and finished bread with added pectin fiber and phenolic antioxidants. *Journal of food science*. 2011; 76(3):H97-107. DOI: 10.1111/j.1750-3841.2011.02086.x.
- 36- Sorrenti V, Burò I, Consoli V, Vanella L. Recent advances in health benefits of bioactive compounds from food wastes and by-products: Biochemical aspects. *International Journal of Molecular Sciences*. 2023; 24(3):2019. DOI: 10.3390/ijms24032019.
- 37- Tirillini B, Pagiotti R, Menghini L, Pintore G. Essential oil composition of ligulate and tubular flowers and receptacle from wild *Chamomilla recutita* (L.) Rausch. grown in Italy. *Journal of Essential Oil Research*. 2006; 18(1):42-5. DOI: 10.1080/10412905.2006.9699381.

- 38- Vittadini E, Vodovotz Y. Changes in the physicochemical properties of wheat-and soy-containing breads during storage as studied by thermal analyses. *Journal of food science*. 2003; 68(6):2022-7. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2003.tb07012.x>.
- 39- Wang C, Wang Y, Wang N, Ren J. Influence of Onion Peel Extract on the Dough Characteristics of High-Gluten Wheat Flour and the Quality of Bread. *Foods*. 2025; 14(9):1618. DOI: 10.3390/foods14091618.
- 40- Wu HC, Chen HM, Shiau CY. Free amino acids and peptides as related to antioxidant properties in protein hydrolysates of mackerel (*Scomber austriasicus*). *Food research international*. 2003; 36(9-10):949-57. DOI: 10.1016/S0963-9969(03)00104-2.
- 41- Xiao Z, Li R, Luo Z, Duan Y, Zhang H, Liu L, Lü C, Yang Q. Effect of modified wheat bran on the structure and digestibility of bread. *Food Chemistry*. 2021; 42:39–45. DOI: 10.7506/spkx1002-6630-20200223-267.
- 42- Yan B, Li J, Liang QC, Huang Y, Cao SL, Wang LH, Zeng XA. From laboratory to industry: The evolution and impact of pulsed electric field technology in food processing. *Food Reviews International*. 2025; 41(2): 373-98. DOI: 10.1080/87559129.2024.2401433.
- 43- Yang S, Li S, Li G, Li C, Li W, Bi Y, Wei J. Pulsed electric field treatment improves the oil yield, quality, and antioxidant activity of virgin olive oil. *Food Chemistry: X*. 2024; 22:101372. DOI: 10.1016/j.fochx.2024.101372.
- 44- Zahorec J, Šoronja-Simović D, Petrović J, Šereš Z, Pavlić B, Sterniša M, Smole Možina S, Ačkar Đ, Šubarić D, Jozinović A. The effect of carob extract on antioxidant, antimicrobial and sensory properties of bread. *Applied Sciences*. 2024; 14(9): 3603. DOI: 10.3390/app14093603.
- 45- Zahorec J, Šoronja-Simović D, Petrović J, Nikolić I, Pavlić B, Bijelić K, Bojanić N, Fišteš A. Fortification of Bread with Carob Extract: A Comprehensive Study on Dough Behavior and Product Quality. *Foods*. 2025; 14(10):1821. DOI: 10.3390/foods14101821.
- 46- Zulkapli NH, Razali NF. Comparative Study of Pomegranate (*Punica Granatum*) Peel and Banana (*Musa Paradisiaca* L.) Peel Extracts as Natural Preservative and its Antioxidant Effect on Homemade Cake. *Progress in Engineering Application and Technology*. 2025; 6(1):607-13. DOI: 10.1038/s41598-024-61085-4.

Investigation of the effect of pulsed electric field on antioxidant properties of extracted from chamomile plant and the effect of the resulting extract on qualitative properties of bread

Laleh Jabari Majd¹, Mehdi Gharekhani^{1*}, Hamid Bakhshabadi²

¹⁻ Department of Food Science and Technology, Ta.C., Islamic Azad University, Tabriz, Iran

²⁻ Department of Agriculture, Minab Higher Education Center, University of Hormozgan, Bandar Abbas, Iran

Corresponding Author: m.gharekhani@iau.ac.ir, 09369768548

Abstract

In this study, to optimize the process of extracting chamomile extract using pulsed electric field pretreatment, 3 levels of electric field intensity (1-7 kV/cm) and 3 levels of pulse number (20-60) were used. The total phenol content and antioxidant activity of chamomile extract were measured using two methods: DPPH free radical scavenging ability and ferric ion reducing power. The results indicated that to achieve the maximum total phenol content, DPPH free radical scavenging ability, and ferric ion reducing power, the electric field intensity should be 2.2 kV/cm and the pulse number should be 40, resulting in a desirability of 0.90. Under these conditions, the total phenol content was 3.69 mgGAE/g, the free radical scavenging ability was 17.59 µg/ml, and the ferric ion reducing power was 61.6 mM/L. The extract obtained under optimal conditions was added to bread in varying amounts (0 to 35 ml per 100 g of wheat flour) to assess the quality characteristics. The results showed that bread containing 35 ml of extract had the highest phenol content. The moisture content and firmness of the bread crumb decreased and increased with storage time, respectively. Sensory evaluation revealed that on the production day, the control sample and samples containing 5 and 15 ml of extract received the highest scores. However, on the third day of storage, the sample containing 5 ml of extract received the highest score from evaluators. In conclusion, adding 5 ml of extract from chamomile plant using pulsed electric field can enhance the quality of molded bread.

Keywords: Chamomile, Pulsed Electric Field, Antioxidant Activity, Bread

Investigation of the effect of pulsed electric field on antioxidant properties of extracted from chamomile plant and the effect of the resulting extract on qualitative properties of bread

Introduction:

Bread is one of the most widely consumed cereal products, and the high quality of bread dough made from wheat flour is attributed to the unique properties of gluten proteins. Recent innovations in bread production have included the use of enzymes, natural preservatives produced mainly by lactobacilli, and sourdough technology (8). Enriching bread dough, which is susceptible to lipid oxidation and microbial growth, with natural antioxidants is a viable strategy to create bread loaves with enhanced oxidative stability, resulting in better sensory quality during storage (5). Chamomile, scientifically known as *Matricaria chamomilla*, is an annual herbaceous plant that belongs to the asteraceae family (2). The use of pulsed electric fields can improve extraction efficiency by increasing cell permeability (8). Therefore, the purpose of this study was to examine the impact of pulsed electric fields on the antioxidant and polyphenolic properties of chamomile, as well as to assess the effect of the resulting extract on bread quality.

Materials and Methods:

In this study, chamomile plants were obtained from apothecaries in Tabriz city. The flowers were separated from other parts of the plant, dried, and ground in the shade at 25°C. These samples were then exposed to field intensities of 1, 4, and 7 kV/cm, a frequency of 1 Hz, and 3 levels of pulse numbers: 20, 40, and 60. Following these treatments, tests for total phenol, free radical scavenging ability (DPPH), and iron ion reducing power (FRAP) were conducted on the extracts. After determining the best extraction method, the sample was used in varying amounts (0, 5, 15, 25, and 35 ml per 100 g of flour) in the formulation of molded bread to enhance its quality properties. In the first part of the study (extraction of chamomile extract with pulsed electric field) (6, 8), response surface methodology (RSM) was employed using a central composite design. For the second part of the study (effect of extracted extract on improving bread properties), SAS software was utilized with a completely randomized design at a statistical significance level of 5%.

Results and Discussion:

The findings indicated that the antioxidant properties initially increased and then decreased with increasing electric field intensity. Pulsed electric fields caused the formation of pores in cell membranes, which may result in the release and penetration of ions and other cellular components into

the external environment. The reduction of these compounds was attributed to the destructive effect of high electric field intensities on them (3).

To optimize the extraction of chamomile extract using pulsed electric field processing, the electric field intensity was set in the range of 1 to 7 kW/cm and the number of pulses in the range of 20 to 60. The extraction process was optimized to achieve the maximum amount of total phenol, the ability to inhibit DPPH free radicals, and the reducing power of iron ions. The optimal conditions were found to be an electric field intensity of 2.2 kW/cm and 40 pulses, resulting in a desirability of 0.90.

The addition of chamomile extract to bread increased the total phenol content. Breads containing the extract showed significant differences from each other. Similar to these results, Zulkapli et al. (2025) found that the antioxidant properties of cake increased with the addition of pomegranate and banana peel extracts (10).

As storage time increased, the moisture content of the bread decreased. However, increasing the concentration of extract in the bread formulation increased the moisture content. Soluble solids in the extract helped maintain water capacity, reducing water migration during baking and increasing crust moisture. Moisture levels in dough affect stiffness indices and mechanical properties by influencing starch gelatinization (7).

The stiffness of the bread increased with storage time and higher extract concentrations. Starch retrogradation during staleness and hardening affects texture changes. Moisture migration from the core to the crust leads to stiffness, loss of crispness, and changes in aroma and flavor (4).

Overall acceptance scores of the bread decreased with storage time. The control sample and samples with 5 and 15 ml of extract had the highest scores initially, but the 5 ml sample had the highest score by the third day. Scores decreased with extract amounts over 15 ml. Zahorec et al. (2025) found that adding 5% carob seed extract improved overall acceptance due to better color, smell, and taste (9).

Conclusion:

Plant extracts containing natural compounds are widely used as preservatives and antioxidants in the food industry due to their medicinal, flavoring, and aroma-giving properties. In this study, chamomile extract extracted with pulsed electric field was used as an antioxidant source in bread preparation. The findings showed that increasing the electric field intensity and number of pulses initially increased and then decreased the amount of phenolic compounds and antioxidant activity of chamomile extract. According to the process optimization results, it can be stated that the alternating electric field process with an electric field intensity of 2.2 kW/cm and a pulse number of 40 led to the best quality extract.

Evaluation of breads containing chamomile extract also showed that with an increase in the amount of chamomile extract in the bread formulation, the amount of total phenol, the moisture content of the breads, and the firmness of the samples increased. On the other hand, with an increase in storage time, the moisture content and firmness of the breads also increased. Considering the general acceptance and the tests conducted on the prepared samples, it can be stated that adding 5 ml of chamomile extract extracted with a pulsed electric field will lead to an improvement in the antioxidant and quality properties of bread.

References:

- 1- Bakhshabadi H, Ganje M, Gharekhani M, Mohammadi-Moghaddam T, Aulestia C, Morshedi A. A review of new methods for extracting oil from plants to enhance the efficiency and physicochemical properties of the extracted oils. *Processes*. 2025; 13(4):1124. <https://doi.org/10.3390/pr13041124>
- 2- Barene I, Daberte I, Zvirgzdina L, Iriste V. The complex technology on products of German chamomile. *Medicina (Kaunas)*. 2003; 39(2): 127-31. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/14617873>.
- 3- Dolatabadi Z, Elhami Rad AH, Akhlaghi Feizabad SH, Farzaneh V, Bakhshabadi H. Utilizing subcritical fluid for extracting lycopene and phenolic compounds from tomato pomace, and incorporating the extract obtained to extend the shelf life of mayonnaise. *Journal of Food Science and Technology*. 2025; 9:1-11. DOI: 10.1007/s13197-025-06322-y.
- 4- Ebrahim Pour N, Peygramadoost SH, Azadmardadmircchi S, Ghanbarzadeh B, The effect of adding different hydrocolloids on sensory and staleness properties of gluten-free bread. *Food Industry Research (Agricultural Science)*. 2010; 3(1): 99-115. (In Persian).
- 5- Jensen S, Ostdal H, Skibsted LH, Thybo AK. Antioxidants and shelf life of whole wheat bread. *Journal of Cereal Science*. 2011; 53(3): 291-7. DOI: 10.1016/j.jcs.2011.01.010
- 6- Lim HS, Park SH, Ghafoor K, Hwang SY, Park J. Quality and antioxidant properties of bread containing turmeric (*Curcuma longa* L.) cultivated in South Korea. *Food Chemistry*. 2011; 124(4):1577-82.
- 7- McCarthy DF, Gallagher E, Gormley TR, Schober TJ, Arendt EK. Application of response surface methodology in the development of gluten-free bread. *Cereal chemistry*. 2005; 82(5):609-15.

- 8- Seyedahmadi S, Gharekhani M, Tariverdi S, Bakhshabadi H. Enhancing the quality of rice-based gluten-free bread using sourdoughs fermented with *Lactobacillus fermentum* and *Lactobacillus plantarum*. *Scientific Reports*. 2025; 15(1):26543. DOI: 10.1038/s41598-025-11872-4
- 9- Zahorec J, Šoronja-Simović D, Petrović J, Nikolić I, Pavlić B, Bijelić K, Bojanić N, Fišteš A. Fortification of Bread with Carob Extract: A Comprehensive Study on Dough Behavior and Product Quality. *Foods*. 2025; 14(10):1821. DOI: 10.3390/foods14101821.
- 10- Zulkapli NH, Razali NF. Comparative Study of Pomegranate (*Punica Granatum*) Peel and Banana (*Musa Paradisiaca* L.) Peel Extracts as Natural Preservative and its Antioxidant Effect on Homemade Cake. *Progress in Engineering Application and Technology*. 2025; 6(1):607-13. DOI: 10.1038/s41598-024-61085-4.