مجله علوم و صنایع غذایی ایران

سایت مجله: www.fsct.modares.ac.ir

مقاله علمی_پژوهشی

بررسی تأثیر فرآیند پلاسمای سرد بر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی و آنتی اکسیدانی شیر گوسفندی

سمیرا علیجانی بایی[*۱]، مرضیه بلندی[۲]، روزبه عباس زاده[۳]، مجید کیوانی بستان آباد[۴]

۱- دانشجوی دکترا علوم و صنایع غذایی دانشگاه آزاد اسلامی واحد دامغان ،دامغان،ایران

۲- دانشیار گروه علوم و صنایع غذایی دانشگاه آزاد اسلامی واحد دامغان؛ دامغان، ایران

۳- استایار گروه بیوسیستم پژوهشکده کشاورزی سازمان پژوهش های علمی صنعتی ایران، تهران ،ایران

۴- دانش آموخته گروه صنایع غذایی دانشگاه آزاد اسلامی واحد دامغان،دامغان،ایران

اطلاعات مقاله

تاریخ های مقاله :

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۲/۱۴

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۳/۵

کلمات کلیدی:

پلاسمای سرد،

شیر گوسفندی،

فعالیت آنتی‌اکسیدانی،

آزمون‌های میکروبی

DOI:10.22034/FSCT.22.163.288.

* مسئول مکاتبات:

samira_alijani_b@yahoo.com

چکیده

این پژوهش به بررسی تأثیر فرآیند پلاسمای سرد بر ویژگی‌های شیر خام گوسفند شیر پرداخته است. در این مطالعه، اثر پلاسمای سرد از روی شدت ولتاژ در سه سطح (۰/۵، ۰/۷ و ۰/۹ کیلوولت) و اعمال ولتاژ در سه سطح (۳، ۵ و ۷ دقیقه) در نظر گرفته شد. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی شیر خام گوسفند شامل pH، میزان چربی و پروتئین، فنل کل، فعالیت آنتی‌اکسیدانی(درصد رنگبری رادیکال DPPH)، آزمون‌های میکروبی(تعداد کل باکتری‌ها) و شاخص‌های رنگی (L*، a*، b*) بررسی شدند. تحلیل واریانس (ANOVA) نشان داد که ولتاژ و زمان به‌طور معناداری بر pH تأثیر گذاشتند، به‌طوری‌که با افزایش ولتاژ و زمان، pH شیر به طور متوسط به ۶/۸۲ افزایش یافت. همچنین، فعالیت آنتی‌اکسیدانی نیز تحت تأثیر قرار گرفت و با افزایش ولتاژ و زمان، به ۲۱/۰۳ درصد افزایش یافت. شاخص‌های رنگی نیز به طور معناداری تغییر کردند. شاخص روشنایی (L) در اثر ولتاژ و زمان درمان به ۷۴/۵۸ رسید، در حالی که شاخص قرمزی (a*) و زردی (b*) نیز به ترتیب به ۲/۱۵ و ۱۰/۹۴ تغییر یافتند. بررسی پروتئین و چربی نشان داد که با افزایش ولتاژ و زمان درمان، مقادیر پروتئین به ۳.۸۶ و چربی به ۴.۵۳ g/100 mL رسیدند و همچنین، در آزمون‌های میکروبی، تعداد کل باکتری‌ها کاهش معناداری پیدا کرد و این نشان‌دهنده بهبود قابل توجهی در ایمنی شیر بود . در نهایت، این نتایج نشان می‌دهند که استفاده از پلاسمای سرد می‌تواند به عنوان یک روش مؤثر در بهبود کیفیت و افزایش ارزش تغذیه‌ای و عمر ماندگاری شیر در صنعت لبنیات مورد توجه قرار گیرد.

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2025-07-20]

[DOI: 10.22034/FSCT.22.163.288]

۱-مقدمه

شیر به عنوان یکی از مهم‌ترین محصولات دامی، به دلیل ارزش غذایی بالا و خواص بیولوژیکی متنوع، نقش اساسی در تغذیه انسان دارد. در این راستا، شیر خام گوسفند به دلیل داشتن ماده خشک بیشتر، ارزش انرژی بالاتری نسبت به شیر گاو دارد [۱]. با این حال، بزرگ‌ترین چالش در استفاده از شیر خام، کاهش بار میکروبی آن بدون تخریب ترکیبات مفید آن است. روش‌های حرارتی که برای این منظور به کار می‌روند، معمولاً به طور سنتی استفاده می‌شوند. بنابراین، روش‌های غیرحرارتی برای فرآوری شیر در سال‌های اخیر به عنوان جایگزین‌های نوآورانه‌ای مورد توجه قرار گرفته‌اند [۲].

پلاسما سرد یکی از تکنولوژی‌های نوظهور در بخش غذایی است که با کاهش نیاز به گرما، می‌تواند میکروارگانیسم‌ها را بدون تخریب ترکیبات مفید از بین ببرد. جریان‌های الکتریکی قوی و انواع یون‌ها، رادیکال‌های آزاد و الکترون‌هایی که توسط این تکنولوژی تولید می‌شوند، تغییرات قابل توجهی در ویژگی‌های شیمیایی و فیزیکی مواد غذایی ایجاد می‌کنند. در استفاده از پلاسما سرد، میزان ولتاژ ورودی و زمان فرآیند دو عامل مهمی هستند که می‌توانند بر کارایی تیمار و حفظ کیفیت مواد تأثیرگذار باشند [۳]. در چند سال اخیر، مطالعات متعددی برای بررسی اثرات تیمار پلاسمای سرد بر شیر و فرآورده‌های لبنی انجام شده است، که نتایج آنها تأکیدی بر ضرورت انجام تحقیقات بیشتر در این زمینه است. در این راستا، رنجبر امانی (۱۴۰۱) طی پژوهشی با بررسی تأثیر پلاسمای سرد بر شیر بطری شده و عدد کشندگی باکتری‌ها گزارش نمود که باسیلوس استئاروترموفیلوس بیشترین مقاومت را در برابر پلاسمای سرد در بین سایر باکتری‌های مورد مطالعه داشته و می‌توان نتیجه گرفت که تیمار پلاسما در عمق بطری، این امکان را ایجاد می‌کند که محدودیت کاربرد سطحی تیمار پلاسمای سرد رفع شود. شواهد دیگر توسط شارما و همکاران (۲۰۲۳) به دست آمده است [۴]. آنها اثر پلاسمای سرد بر خواص ژل شدن اسیدی شیر بدون چربی را مورد بررسی قرار دادند و دریافتند که این تیمار باعث تغییرات قابل توجهی در خواص رئولوژیکی شیر بدون چربی می‌شود. کاهش محتوای سولفیدریل آزاد و افزایش ویسکوزیته شیر به وضوح نشان داد که پلاسمای سرد می‌تواند ویژگی‌های محصول نهایی را بهبود بخشد. این تحقیق نیز بر اهمیت بررسی دقیق پارامترهای کلیدی نظیر زمان و نوع گاز خوراکی در تیمار پلاسمای سرد تأکید دارد. همچنین، تحقیق نیک مرام و همکاران (۲۰۲۳) که به بررسی تخریب آفلاتوکسین M1 در شیر با استفاده از پلاسمای سرد پرداخته است، نشان داد که این تکنولوژی توانایی کاهش غلظت سموم خطرناک در شیر را دارد، بدون تأثیر منفی بر کیفیت شیر. با این وجود، این مطالعه نیز بر ضرورت تحقیقات بیشتر در رابطه با اثرات پلاسمای سرد بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی شیر تأکید می‌کند [۵].

با توجه به این مطالعات و یافته‌های مشابه، شکاف‌های علمی موجود در رابطه با تأثیر پلاسمای سرد بر شیر خام گوسفند و پارامترهای مربوط به ولتاژ و زمان تیمار همچنان برجسته هستند. بنابراین، پژوهش حاضر تلاش دارد تا با بررسی دقیق این عوامل، نوآوری‌های جدیدی را در جهت بهینه‌سازی استفاده از پلاسمای سرد برای حفظ کیفیت و ایمنی شیر خام گوسفند ارائه دهد.

۲- مواد و روش ها

مواد

شیر گوسفندی از بازار تبریز خریداری شد. متانول ، آمونیاک ، معرف فولین، کربنات سدیم از شرکت سیگما خریداری شدند

۱-۲- تیمار شیر خام با پلاسمای سرد

از دستگاه پلاسمای سرد (Plasma Etch Inc, PE-50 Venus) با محفظه آلومینیومی و الکترود افقی، در دمای اتاق (۲۵-۲۱ درجه سانتی‌گراد) و با گاز نیتروژن، ولتاژهای ۰/۷، ۰/۵ و

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2025-07-20]

[DOI: 10.22034/FSCT.22.163.288]

۰/۹ کیلوولت و زمان‌های ۳، ۵ و ۷ دقیقه برای تیمار شیر استفاده شد [٦].

۲-۲- آزمون‌های فیزیکی و شیمیایی شیر

۲-۲-۱ اندازه گیری pH

با استفاده از pH متر و کالیبراسیون بافرهای ٤ و ۷ اندازه‌گیری شد [۹].

۲-۲-۲- چربی

اندازه گیری چربی به روش ژربر انجام شد[۷].

۲-۲-۳- پروتئین

در این مطالعه، محتوای پروتئین نمونه‌ها با استفاده از روش استاندارد کلدال تعیین شد. در نهایت تیتراسیون با اندازه‌گیری میزان آمونیاک و استفاده از فاکتور تبدیل ٦.۲۵، مقدار پروتئین کل محاسبه گردید[۸].

پروتئین= درصد نیتروژن کل× ٦.۲۵

۲-۲-٤- فنول کل

در این مطالعه، میزان فنول کل نمونه‌ها با استفاده از روش فولین- سیوکالتیو اندازه‌گیری شد. این روش رنگ‌سنجی بر اساس واکنش اکسیداسیون-احیا بین ترکیبات فنلی و معرف فولین-سیوکالتیو عمل می‌کند. در این روش محلول استاندارد اسید گالیک با غلظت های ۱۰-۲۰-۵۰-۸۰ ppm در متانول ٦۰٪ تهیه گردید سپس نمونه ها آماده شده با معرف فولین و محلول ۱۰ درصد کربنات سدیم تهیه شده و سپس میزان جذب نوری به وسیله دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۷٦۵ نانومتر اندازه گیری شد و میزان فنول کل با استفاده از منحنی استاندارد اسید گالیک طبق معادله y= 0.0087x+0.064 محاسبه و نتایج به صورت میلی‌گرم معادل اسید گالیک بر گرم نمونه بیان گردید [9].

۲-۲-۵- فعالیت آنتی‌اکسیدانی

در این مطالعه، فعالیت آنتی‌اکسیدانی نمونه‌ها با استفاده از روش رنگبری رادیکال DPPH ارزیابی شد. درصد مهار رادیکال DPPH با فرمول زیر محاسبه و نتایج به صورت درصد رنگبری گزارش شد، که امکان مقایسه فعالیت آنتی‌اکسیدانی نمونه‌های مختلف را فراهم کرد [۱۰].

$$DPPH = \left(\frac{A_c - A_s}{A_c} \right) \times 100$$

در این فرمول:

Ac: جذب نوری نمونه کنترل (محلول DPPH بدون نمونه آنتی‌اکسیدان)

As: جذب نوری نمونه حاوی آنتی‌اکسیدان

۲-۳- آزمون‌های میکروبی

در این مطالعه، آزمون‌های میکروبی برای ارزیابی کیفیت میکروبیولوژیکی نمونه‌ها انجام شد. برای شمارش کلی باکتری‌ها، از محیط کشت Plate Count Agar (PCA) (مرک آلمان) استفاده گردید. نمونه‌ها پس از رقیق‌سازی مناسب، در این محیط‌های کشت، کشت داده شدند و پس از انکوباسیون در دما و زمان مشخص، تعداد کلنی‌های رشد کرده شمارش گردید. نتایج به صورت واحد تشکیل کلنی بر گرم نمونه (CFU/g) گزارش شد [11].

۲-٤- شاخص‌های رنگی

در این پژوهش، شاخص‌های رنگی نمونه‌ها با استفاده از تکنیک پردازش تصویر مورد ارزیابی قرار گرفت. ابتدا از نمونه‌ها در شرایط استاندارد و کنترل شده نوری عکس‌برداری شد. سپس، تصاویر دیجیتال حاصل با استفاده از نرم‌افزار قدرتمند Image J مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. در این نرم‌افزار امکان استخراج دقیق پارامترهای رنگی را در فضای رنگی RGB و L*a*b* فراهم می‌کند. شاخص‌های رنگی مورد بررسی شامل روشنایی (L*)، قرمزی-سبزی (a*)، و زردی-آبی (b*) بودند. همچنین،

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2025-07-20]

[DOI: 10.22034/FSCT.22.163.288]

شاخص‌های دیگری مانند کروما (شدت رنگ) و زاویه هیو (تون رنگ) نیز محاسبه شدند [۱۲].

٤-۲- تجزیه و تحلیل داده ها

در این مطالعه طرح مورد مطالعه متناسب با تعداد فاکتور (شدت ولتاژ و مدت زمان اعمال ولتاژ) با استفاده از طرح مرکب مرکزی با نرم افزار سطح پاسخ با ۹ ران مطابق جدول ۱ انتخاب شد و ضرایب رگرسیونی اثرات فاکتورها بر روی پاسخ های مورد نظر و همچنین شاخص های مدل برازش شده مورد بررسی قرار گرفتند.

Tabel 1. Design of research experiments

Run	Factor 1 Voltage (kv) (A)	Factor 2 B:Exposure time (minutes) (B)
1	0.5	3
2	0.5	5
3	0.5	7
4	0.7	3
5	0.7	5
6	0.7	7
7	0.9	3
8	0.9	5
9	0.9	7

۳- نتایج و بحث

۳-۱- تغییرات پی اچ شیر(pH)

نتایج به‌دست‌آمده نشان می‌دهند که هر دو فاکتور ولتاژ (Voltage) و مدت زمان اثر معناداری بر pH شیر گوسفند دارند، به‌طوری‌که p-value کمتر از ۰.۰۵ در جدول ANOVA (جدول ۲) نشان‌دهنده معناداری این اثرات است. از آنجایی که pH یک مشخصه اساسی در کیفیت شیر و فرآورده‌های لبنی است، تغییرات آن می‌تواند به تأثیرات مهمی در بهبود یا تخریب کیفیت محصول منجر شود. نتایج نشان می‌دهد که افزایش ولتاژ با pH شیر گوسفند رابطه معنی داری دارد ، به این معنی که با افزایش ولتاژ، pH شیر افزایش می‌یابد. در مقابل، اثر مدت زمان نیز به‌طور مثبت بر pH تأثیر دارد، اما این تأثیر نسبت به ولتاژ کمتر است. مدل ارائه‌شده با استفاده از معیارهای آماری مورد بررسی قرار گرفته است.

Fat= ٥/٨٩-۰/٤٨A+0/١٩B معادله (۲)

تحقیقات قبلی نیز نشان‌دهنده تأثیر ولتاژ و زمان پلاسمای سرد بر pH شیر هستند. به عنوان مثال، در مطالعه‌ای که توسط

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2025-07-20]

[DOI: 10.22034/FSCT.22.163.288]

داش و جاگانموهان[1] (۲۰۲۲) انجام شد، اثرات مشابهی از قبیل افزایش pH با افزایش ولتاژ در پردازش شیر مشاهده شد. این تحقیق همچنین نشان داد که تغییرات pH به صورت غیرخطی تحت تأثیر عوامل مختلف قرار می‌گیرد [۱۳]. علاوه بر این، عباس سعید و همکاران (۲۰۲۱) نیز به تأثیر زمان بر pH اشاره کردند و نشان دادند که با افزایش زمان قرارگیری شیر تحت تابش، pH تغییر می‌کند [۱٤]. نتایج تحقیق حاضر تأثیر معناداری از ولتاژ و زمان بر pH شیر گوسفند را نشان می‌دهد به این دلیل که افزایش ولتاژ پلاسما سرد باعث افزایش واکنش‌های الکتروشیمیایی و تشکیل ترکیبات قلیایی بیشتر و این هرچقدر زمان اعمال ولتاژ بیشتر باشد واکنش های بیشتری رخ می دهد و این یافته‌ها با تحقیقات گذشته هم راستا هستند. مدل آماری ارائه‌شده می‌تواند به‌عنوان ابزاری مؤثر برای پیش‌بینی pH در فرآوری شیر و توسعه تکنیک‌های جدید در صنایع لبنی مورد استفاده قرار گیرد. این نتایج می‌توانند به بهبود فرآیندهای تولید و حفظ کیفیت محصولات لبنی کمک کنند.

Tabel 2. Regression coefficients of physicochemical properties of milk

Source	pH	Fat	Protoein	Total Polyphenol Content	DPPH	Total bacterial count
Model	**1.57	**2.05	**2.36	**10829.79	**170.50	**7.54
A	**1.36	**1.82	**2.16	**9095.61	**151.20	**7.00
B	**0.21	**0.24	**0.20	**1418.34	**19.30	**0.54
Std. Dev.	0.076	0.086	0.073	1.47	0.61	0.17
Mean	5.89	4.95	3.86	403.63	21.03	3.21
C.V. %	1.29	1.74	1.88	0.36	2.89	5.15
R^2	0.9786	0.9787	0.9868	0.9994	0.9871	0.9788
Adjusted R^2	0.9714	0.9716	0.9824	0.9984	0.9828	0.9717
Predicted R^2	0.9509	0.9534	0.9702	0.9952	0.9734	0.9516
دقت مدل	30.337	30.020	37.418	90.322	38.771	28.966
Residual	0.034	0.045	0.032	6.51	2.22	0.16
Cor Total	1.61	2.09	2.39	10836.30	172.72	7.70

**p≤0.01, A-DBD-type plasma (Currnet), B-Exposure time

1 -Dash and Jaganmohan

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2025-07-20]

[DOI: 10.22034/FSCT.22.163.288]

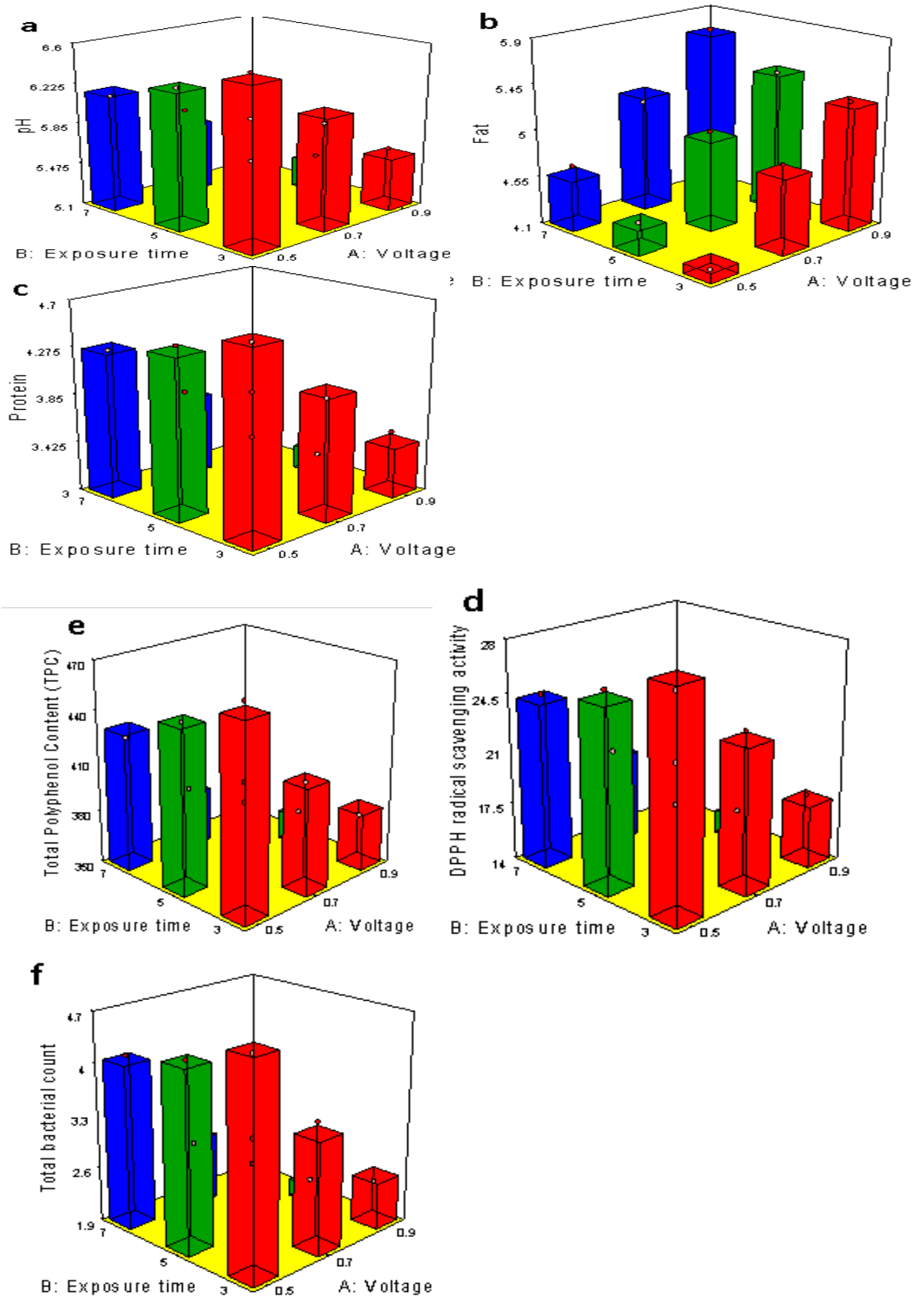

Fig 1. Physical and chemical changes of cold plasma treated milk: a: pH, b: fat, c: protein, d: DPPH, e: Total Polyphenol Content, f: Total bacterial count

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2025-07-20]

[DOI: 10.22034/FSCT.22.163.288]

۲-۳- تغییرات چربی

تغییرات چربی شیر گوسفند تیمار شده با پلاسمای سرد به‌طور معناداری تحت تأثیر دو عامل ولتاژ و مدت زمان قرار دارد، که در جدول ۲ و شکل (۱-b) نمایش داده شده است. تحلیل ANOVA نشان می‌دهد که هر دو عامل، به‌ویژه ولتاژ و زمان ، تأثیر معناداری بر تغییرات چربی دارند. مقدار (R^2) مدل برابر با ۰/۹۸۸ و (R^2) تعدیل‌شده ۰/۹۷۵، نشان‌دهنده‌ی انطباق خوب مدل (معادله ۳) با داده‌ها است. همچنین، R^2 پیش‌بینی‌شده برابر با ۰/۹۳۸ و مقدار دقت مدل برابر با ۲۵/۰۱ تأیید می‌کند که مدل توانایی بالایی در پیش‌بینی تغییرات چربی شیر دارد و علت آن را می توان به تأثیر معنادار ولتاژ و زمان بر تغییرات چربی شیر گوسفند تیمار شده با پلاسمای سرد به دلیل نقش ولتاژ در افزایش شدت واکنش‌های اکسیداسیونی و نقش زمان در تداوم این واکنش‌ها دانست که منجر به تغییر در ساختار و افزایش چربی می‌شود [۱۵, ۱۶].

$$Fat= 4/95-571A+0/055B \quad \text{معادله (۳)}$$

افزایش چربی در شیر تحت تأثیر پلاسمای سرد می‌تواند به دلیل تأثیر ولتاژ بالا بر ساختار گلبول‌های چربی و تخریب غشای آنها باشد که منجر به آزادسازی بیشتر چربی در محیط شیر می‌شود. همچنین، پلاسمای سرد باعث ایجاد واکنش‌های شیمیایی ملایم مانند اکسیداسیون سطحی می‌شود که می‌تواند بر ترکیب و کیفیت چربی تأثیر مثبت بگذارد. این فرآیندها به همراه همگن‌سازی بهتر شیر و افزایش قابلیت استخراج چربی، محتوای چربی اندازه‌گیری‌شده را افزایش داده و کیفیت حسی و تغذیه‌ای شیر را بهبود می‌بخشند. [۱۵, ۱۶].

تحقیقات مشابه نشان داده‌اند که استفاده از تکنیک‌های مختلف مانند پلاسمای سرد می‌تواند تأثیرات مثبتی بر کیفیت چربی شیر داشته باشدبه طوری که افزایش ولتاژ در فرآیندهای الکتریکی می‌تواند منجر به افزایش کیفیت چربی و بهبود خواص حسی شیر شود [۱۷]. همچنین تحقیقات مشابه نشان داده اند که هر دو عامل به‌طور معناداری بر میزان ترکیب چربی تأثیر می‌گذارند [۱۵, ۱۶].

۳-۳- تغییرات پروتئین

تغییرات پروتئین شیر گوسفند تحت تأثیر ولتاژ (DBD-type plasma current) و مدت زمان قرارگیری در پلاسمای سرد نتایج معناداری را به همراه داشته است (شکل۱-c). نتایج تحلیل ANOVA (جدول ۲) نشان می‌دهد که هر دو عامل ولتاژ و مدت زمان تأثیر قابل توجهی بر تغییرات پروتئین شیر دارند.

نتایج به‌دست‌آمده نشان می‌دهد که ولتاژ تأثیر معکوسی بر پروتئین دارد، به طوری که ضریب ولتاژ (A) در معادله به‌دست‌آمده برابر با -۰.۵۹ است، یعنی با افزایش ولتاژ، مقدار پروتئین کاهش می‌یابد. این کاهش ممکن است به تخریب ساختارهای پروتئینی در اثر شدت پلاسمای سرد مرتبط باشد [۱۸]. از طرفی، زمان قرارگیری شیر در پلاسمای سرد نیز تأثیر منفی بر مقدار پروتئین دارد (ضریب ۰.۲۰۱). این بدان معناست که افزایش مدت زمان می‌تواند باعث کاهش میزان پروتئین در شیر شود. مدل ارائه‌شده با شاخص‌های آماری مورد بررسی قرار گرفته است (معادله ٤).

مطالعات مشابه نیز تأثیر عوامل ولتاژ و زمان بر ساختار و ترکیبات پروتئینی در شیر را تأیید می‌کنند [۱۶, ۱۹] و به این نتیجه رسیدند که افزایش ولتاژ در تکنیک‌های پلاسمای سرد می‌تواند به کاهش میزان پروتئین در محصولات لبنی منجر شود که به‌دلیل تخریب ساختارهای مولکولی پروتئین‌ها است. به عبارتی پلاسمای سرد می‌تواند تأثیر منفی بر مقدار پروتئین شیر داشته باشد که این کاهش معمولاً به دلایل مختلفی رخ می‌دهد. یکی از دلایل اصلی، تغییر ساختاری پروتئین‌ها است؛ به طوری که پلاسمای سرد باعث شکستن پیوندهای شیمیایی مانند پیوندهای هیدروژنی و دی‌سولفیدی شده و منجر به دناتوره شدن پروتئین‌ها می‌شود. علاوه بر این، گونه‌های فعال اکسیژن (ROS) تولیدشده توسط پلاسمای سرد می‌توانند به اکسیداسیون اسیدهای آمینه و

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2025-07-20]

[DOI: 10.22034/FSCT.22.163.288]

تخریب زنجیره‌های پلی‌پپتیدی در پروتئین‌ها منجر شوند. همچنین، کاهش حلالیت پروتئین‌ها در اثر این فرآیند می‌تواند به کاهش اندازه‌گیری پروتئین در محلول شیر بیانجامد. این عوامل در مجموع نشان می‌دهند که افزایش مدت زمان یا شدت پلاسمای سرد می‌تواند کاهش بیشتری در محتوای پروتئین شیر ایجاد کند [۱۶, ۱۹]. همچنین تحقیقات مشابه نشان دادند که زمان قرارگیری طولانی‌تر محصولات لبنی در فرآیندهای پردازش، می‌تواند به حفظ بهتر ترکیبات پروتئینی کمک کند [۱۸]. این یافته‌ها با نتایج تحقیق حاضر هم‌راستا هستند.

معادله (٤) Protoein= 3/86+0/59A+0/201B

٤-۳- تغییرات فنل کل

نتایج حاصل از تغییرات فنل کل در شیر گوسفند تیمار شده با پلاسمای سرد نشان می‌دهد (شکل ۱-d) که هر دو عامل ولتاژ و زمان قرارگیری، اثر معناداری بر مقدار فنل کل دارند. تحلیل ANOVA (جدول ۲) بیانگر این است که هر دو فاکتور ولتاژ و زمان به‌طور معناداری بر میزان فنل کل تأثیر دارند.

طبق معادله به‌دست‌آمده (معادله ۵)، اثر ولتاژ با ضریب – ٦.٥٦ بر کاهش میزان فنل کل دلالت دارد. این موضوع ممکن است به دلیل تأثیر پلاسمای سرد بر تخریب ترکیبات فنلی در شیر باشد. در مقابل، زمان قرارگیری (B) با ضریب ١٥.٤٩ به افزایش میزان فنل کل کمک می‌کند. این افزایش ممکن است ناشی از آزاد شدن ترکیبات فنلی بیشتر در طول زمان تحت تأثیر پلاسمای سرد باشد، که باعث افزایش مقدار کل فنل در شیر می‌شود [۲۰].

مدل آماری به‌کاررفته با شاخص‌های قابل قبول ارزیابی شده است (معادله ۵). مقدار R^2 برابر با ۰/۹۸ و R^2 تعدیل‌شده برابر با ۰/۹۷ نشان می‌دهد که مدل با داده‌های تجربی به‌خوبی منطبق است. همچنین، مقدار R^2 پیش‌بینی‌شده برابر با ۰/۹٤ و دقت مدل برابر با ۲۵/۷۳، بیانگر قدرت پیش‌بینی بالای مدل برای تغییرات فنل کل تحت تأثیر پلاسمای سرد است. مطالعات پیشین نیز تأیید می‌کنند که استفاده از ولتاژ بالا در تکنیک‌های پلاسمای سرد می‌تواند موجب کاهش مقدار فنل کل شود [۲۰]. به طوری که تحقیقات پیشین نشان دادند که ولتاژ بالا ممکن است باعث تجزیه و تخریب ترکیبات فنلی شود. شدت ولتاژ پلاسمای سرد می‌تواند به‌طور قابل‌توجهی بر کاهش میزان ترکیبات فنلی در شیر تأثیر بگذارد. ترکیبات فنلی به دلیل ساختار شیمیایی خاص خود، به اکسیداسیون و تخریب در حضور گونه‌های فعال اکسیژن (ROS) حساس هستند. پلاسمای سرد با تولید این گونه‌های فعال اکسیژن در ولتاژهای بالا می‌تواند واکنش‌های اکسیداسیونی را تشدید کند، که این امر به تخریب ساختار ترکیبات فنلی منجر می‌شود. همچنین، افزایش شدت ولتاژ باعث تولید انرژی بیشتری در سیستم پلاسمای سرد می‌شود، که می‌تواند زنجیره‌های فنلی را بشکند و کاهش میزان قابل‌توجهی از این ترکیبات را در شیر ایجاد کند [۲۰]. در نتیجه، هرچه شدت ولتاژ پلاسمای سرد بیشتر باشد، احتمال کاهش ترکیبات فنلی نیز بیشتر خواهد بود، زیرا واکنش‌های شیمیایی بیشتری رخ می‌دهد که بر پایداری این ترکیبات اثر منفی می‌گذارد. یانگ و همکاران (۲۰۲٤)، به این نتیجه رسیدند که افزایش مدت زمان تیمار با پلاسمای سرد با ولتاژ معین، به دلیل آزاد شدن ترکیبات فنلی بیشتر از ماتریکس‌های غذایی، می‌تواند به افزایش مقدار فنل کل منجر شود [۲۱].

معادله (۵) Total Polyphenol Content (TPC)= 42/22-6/56A+15/49B

۵-۳- فعالیت آنتی‌اکسیدانی (DPPH)

نتایج حاصل از بررسی فعالیت آنتی‌اکسیدانی شیر گوسفند تیمار شده با پلاسمای سرد، که از طریق درصد رنگ‌بری رادیکال DPPH اندازه‌گیری شده، نشان می‌دهد (شکل ۱-e) که هر دو عامل ولتاژ و زمان تیمار اثر معناداری بر فعالیت آنتی‌اکسیدانی دارند. تحلیل ANOVA (جدول ۲) بیانگر این است که ولتاژ با مقدار p-value کمتر از ۰/۰۰۰۱ تأثیر قابل توجهی بر افزایش فعالیت آنتی‌اکسیدانی دارد. همچنین، زمان

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2025-07-20]

[DOI: 10.22034/FSCT.22.163.288]

قرارگیری با p-value برابر با ۰/۰۰٤ نیز اثر معناداری بر این فعالیت دارد.

بر اساس معادله به‌دست‌آمده (معادله ۵)، ولتاژ با ضریب ٤/۹٦ بیشترین تأثیر را بر افزایش فعالیت آنتی‌اکسیدانی دارد. این نشان می‌دهد که افزایش ولتاژ پلاسمای سرد منجر به افزایش ظرفیت آنتی اکسیدانی شیر برای خنثی‌سازی رادیکال‌های آزاد DPPH می‌شود. این نتیجه ممکن است به دلیل فعال‌سازی ترکیبات آنتی‌اکسیدانی و افزایش توانایی آن‌ها برای مقابله با رادیکال‌های آزاد باشد. در مقابل، زمان قرارگیری (B) با ضریب ۰/۱۲ نیز به‌طور معناداری بر افزایش فعالیت آنتی‌اکسیدانی تأثیرگذار است، اما اثر آن به مراتب کمتر از ولتاژ است. مطالعات پیشین نیز تأیید می‌کنند که پلاسمای سرد می‌تواند ظرفیت آنتی‌اکسیدانی مواد غذایی را افزایش دهد [۳]. لی و همکاران (۲۰۲۰)، گزارش کردند که استفاده از پلاسمای سرد منجر به افزایش فعالیت آنتی‌اکسیدانی در شیر شده است [۲۲] که با نتایج تحقیق حاضر هم‌خوانی دارد. همچنین، هیش و همکاران (۲۰۲٤)، بیان کردند که افزایش ولتاژ پلاسمای سرد باعث افزایش فعالیت آنتی‌اکسیدانی به دلیل تحریک و فعال‌سازی ترکیبات آنتی‌اکسیدانی می‌شود [۲۳]. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که افزایش ولتاژ پلاسمای سرد به‌طور معناداری باعث افزایش فعالیت آنتی‌اکسیدانی شیر گوسفند می‌شود و زمان قرارگیری نیز اثر قابل توجهی دارد. در تبیین این یافته می توان گفت افزایش ولتاژ پلاسمای سرد و تأثیر آن بر افزایش فعالیت آنتی‌اکسیدانی شیر را می‌توان به تغییرات شیمیایی و تولید گونه‌های فعال اکسیژن (ROS) نسبت داد. در ولتاژهای بالاتر، پلاسمای سرد انرژی بیشتری تولید می‌کند و باعث تولید مقادیر بیشتری از گونه‌های فعال اکسیژن و نیتروژن می‌شود که این گونه‌ها می‌توانند با ترکیبات موجود در شیر واکنش داده و ساختار آنتی‌اکسیدانی آن را تقویت کنند. همچنین، ولتاژ بالا می‌تواند موجب آزادسازی ترکیبات فنلی و سایر آنتی‌اکسیدان‌های طبیعی موجود در شیر شود که پیش‌تر به‌صورت متصل یا غیرفعال بوده‌اند. به‌علاوه، پلاسمای سرد ممکن است بر آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی موجود در شیر تأثیر بگذارد و فعالیت آن‌ها را افزایش دهد، که این امر به تقویت ظرفیت آنتی‌اکسیدانی کمک می‌کند. این یافته با نتایج مرتبط با کاهش ترکیبات فنلی نیز هم‌راستا است؛ زیرا افزایش واکنش‌پذیری این ترکیبات در حضور پلاسمای سرد، هم به تخریب برخی ترکیبات حساس منجر می‌شود و هم فعالیت آن‌ها در خنثی‌سازی رادیکال‌های آزاد را تقویت می‌کند [۲۰].

معادله (٦)

$$\text{DPPH radical scavenging activity} = 21/03+4/96A+0/122B$$

٦-۳- شمارش میکروبی

بررسی ویژگی های میکروبی شیر گوسفند تیمار شده با پلاسمای سرد نشان می‌دهد که هر دو عامل ولتاژ و زمان قرارگیری تأثیر معناداری بر کاهش شمار کل باکتری‌ها دارند (شکل ۱-f). نتایج تحلیل ANOVA (جدول ۲) بیانگر این است که ولتاژ با p-value کمتر از ۰/۰۰۰۱ و زمان قرارگیری با p-value برابر با ۰/۰۱۲ بر ویژگی‌های میکروبی شیر گوسفند تأثیرگذار هستند.

بر اساس معادله به‌دست‌آمده (معادله ۷)، ولتاژ با ضریب ۱/۱۵ تأثیر مثبت و معناداری بر کاهش تعداد باکتری‌ها دارد. به عبارت دیگر، افزایش ولتاژ پلاسمای سرد باعث کاهش شمار کل باکتری‌ها می‌شود که این موضوع می‌تواند به دلیل تغییرات فیزیکی و شیمیایی در ساختار باکتری‌ها [۲٤] و عدم توانایی آن‌ها در ادامه رشد و تکثیر باشد [۱]. در عوض، زمان قرارگیری (B) با ضریب ۰/۱۳۵- اثر منفی بر شمار باکتری‌ها دارد، به این معنا که با افزایش زمان قرارگیری، کاهش کمتری در تعداد باکتری‌ها مشاهده می‌شود.

مدل آماری با مقادیر قابل توجه R^2 و R^2 تعدیل‌شده ارزیابی شده است. مقدار R^2 برابر با ۰/۹۹ و R^2 تعدیل‌شده برابر با ۰/۹۸ به خوبی نشان‌دهنده تطابق مدل با داده‌های تجربی است. همچنین، مقدار R^2 پیش‌بینی‌شده برابر با ۰.۹٦ و دقت

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2025-07-20]

[DOI: 10.22034/FSCT.22.163.288]

مدل برابر با ۲۸/۶۴، قدرت پیش‌بینی مدل را تأیید می‌کند. نتایج این مطالعه با تحقیقات قبلی [۱] همخوانی دارد و نشان داده شده است که درمان با پلاسمای سرد می‌تواند شمار باکتری‌ها را در محصولات لبنی به طور معناداری کاهش دهد، که یافته‌های این تحقیق را تقویت می‌کند. همچنین وانگ و همکاران (۲۰۲۲)، در مطالعه‌ای دیگر به این نتیجه رسیدند که افزایش ولتاژ در پلاسمای سرد باعث افزایش خواص ضدباکتریایی در محصولات غذایی می‌شود [۲]. این نتایج نشان می‌دهد که ولتاژ پلاسمای سرد به‌طور معناداری می‌تواند شمار باکتری‌ها را کاهش دهد و زمان قرارگیری نیز به‌عنوان یک عامل مؤثر در این فرآیند شناخته می‌شود. ولتاژ بالای پلاسمای سرد از طریق ایجاد اثرات فیزیکی و شیمیایی مستقیم بر دیواره سلولی باکتری‌ها، به کاهش قابل‌توجه شمار آن‌ها منجر می‌شود. از نظر فیزیکی، میدان الکتریکی قوی ناشی از ولتاژ بالا می‌تواند باعث ایجاد شکاف یا تخریب دیواره و غشای سلولی باکتری‌ها شود، که این امر موجب نشت محتویات سلولی و مرگ باکتری‌ها می‌شود. از سوی دیگر، تولید گونه‌های فعال اکسیژن (ROS) و نیتروژن (RNS) در اثر پلاسمای سرد منجر به اکسیداسیون لیپیدها، پروتئین‌ها و DNA باکتری‌ها می‌شود، که این فرآیندها آسیب جبران‌ناپذیری به ساختارهای حیاتی آن‌ها وارد می‌کند. همچنین، زمان طولانی‌تر تماس شیر با پلاسمای سرد باعث افزایش مدت‌زمان اثرگذاری این گونه‌های فعال می‌شود و احتمال وقوع واکنش‌های تخریبی بیشتری را فراهم می‌کند. به‌علاوه، پلاسمای سرد می‌تواند بر مکانیسم‌های دفاعی باکتری‌ها تأثیر بگذارد و مقاومت آن‌ها را کاهش دهد [۲]. این یافته‌ها نشان می‌دهند که استفاده از پلاسمای سرد، با تنظیم ولتاژ و مدت‌زمان تماس، می‌تواند به‌عنوان یک تکنیک مؤثر برای کاهش بار میکروبی شیر و بهبود خواص ضدباکتریایی آن به‌کار رود و در نتیجه کیفیت و ایمنی آن را افزایش دهد.

معادله (۷)

$$\text{Total bacterial count} = 3/21+1/15A-0/135B$$

۷-۳- تغییرات رنگ شیر

در این مطالعه، تأثیر پلاسمای سرد بر سه شاخص اصلی رنگ شیر گوسفند شامل قرمزی، روشنایی، و زردی به‌طور جامع بررسی شد (جدول ۳). شاخص قرمزی (a*) نشان داد که هر دو عامل ولتاژ و زمان قرارگیری اثر معناداری دارند ($p < 0.0001$). با افزایش ولتاژ، شاخص قرمزی کاهش یافت، که نشان‌دهنده کم شدن میزان قرمزی شیر است. این کاهش احتمالاً به تغییرات در ساختار مولکولی رنگدانه‌های موجود در شیر تحت تأثیر پلاسمای سرد مرتبط است [۲۵, ۲۶]. زمان قرارگیری نیز به‌طور منفی ولی کمتر از ولتاژ بر شاخص قرمزی تأثیر داشت. نتایج مشابه در مطالعات کوتینیو و همکاران (۲۰۱۸) و نیک مرام و همکاران (۲۰۲۲) نیز مشاهده شده است که تأیید کردند پلاسمای سرد باعث کاهش قرمزی رنگ محصولات لبنی می‌شود [۶].

در شاخص روشنایی (L*)، افزایش ولتاژ و زمان قرارگیری به‌طور معناداری موجب افزایش روشنایی شیر شد ($p < 0.0001$). این افزایش نشان می‌دهد که پلاسمای سرد باعث بهبود ویژگی‌های نوری شیر و ظاهر آن می‌شود. ولتاژ تأثیر بیشتری نسبت به زمان قرارگیری داشت و نتایج این تحقیق با مطالعات وانگ و همکاران (۲۰۲۲) و اوسر و همکاران (۲۰۲۱) که به تأثیر مثبت پلاسمای سرد بر افزایش روشنایی محصولات لبنی اشاره کردند [۲۷]، همخوانی دارد.

در نهایت، شاخص زردی (b*) نیز نشان داد که هر دو عامل ولتاژ و زمان قرارگیری تأثیر معناداری بر افزایش زردی شیر دارند ($p < 0.0001$). با افزایش ولتاژ، شدت زردی رنگ شیر بیشتر شد [۲۸, ۲۹]. در مقایسه با روشنایی، ولتاژ تأثیر بیشتری بر زردی داشت. نتایج به‌دست‌آمده در این مطالعه با تحقیقات اونور و همکاران (۲۰۱۹) و نیک نام و همکاران (۲۰۲۲) که تأثیر مثبت پلاسمای سرد بر تغییرات رنگ

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2025-07-20]

[DOI: 10.22034/FSCT.22.163.288]

محصولات لبنی را گزارش کرده بودند [۳۰]، همسو است. افزایش شاخص زردی در شیر می‌تواند به دلیل تغییر در ترکیبات پروتئینی و لیپیدی در اثر واکنش‌های اکسیداسیونی ناشی از پلاسمای سرد باشد. پلاسمای سرد، با تولید گونه‌های فعال اکسیژن (ROS) و نیتروژن (RNS)، می‌تواند منجر به اکسیداسیون چربی‌ها و تشکیل محصولات جانبی مانند آلدئیدها و کتون‌ها شود، که این ترکیبات دارای رنگ متمایل به زرد هستند. همچنین، واکنش‌های اکسیداسیونی می‌توانند بر ساختار و پایداری کاروتنوئیدها و سایر رنگدانه‌های طبیعی موجود در شیر تأثیر بگذارند و باعث افزایش رنگ زرد شوند. علاوه بر این، تأثیر پلاسمای سرد بر ساختار پروتئین‌های شیر، به‌ویژه کازئین، می‌تواند منجر به تغییرات رنگی ناشی از تجمع یا تغییر ساختار رنگدانه‌های مرتبط با پروتئین‌ها شود [۲۸, ۲۹].

Tabel 3. Regression coefficients of Color properties of milk

Source	L*	A*	B*
Model	**808.21	**259.37	**98.23
A	**668.24	**236.00	**88.24
B	**139.97	**23.36	**9.98
Std. Dev.	2.56	0.80	0.54
Mean	74.58	2.00	10.94
C.V. %	3.43	39.80	4.98
R-Squared	0.9537	0.9856	0.9822
Adj R-Squared	0.9382	0.9808	0.9762
Pred R-Squared	0.9130	0.9710	0.9563
دقت مدل	20.834	35.918	32.581
Residual	39.25	3.79	1.78
Cor Total	847.46	263.16	100.01

**p≤0.01, A-DBD-type plasma (Currnet), B-Exposure time

٤- نتیجه گیری

نتایج این پژوهش نشان‌دهنده تأثیر قابل توجه دو فاکتور ولتاژ و زمان درمان با پلاسمای سرد بر ویژگی‌های کیفی شیر است. این دو عامل به‌عنوان متغیرهای مستقل تأثیر معناداری بر متغیرهای وابسته از جمله pH، فعالیت آنتی‌اکسیدانی، شاخص‌های رنگی (L، a، b)، چربی و پروتئین داشتند. به‌طور خاص، افزایش ولتاژ (با افزایش به ۲ کیلوولت) و زمان قرارگیری (با افزایش به ٤ دقیقه) منجر به افزایش سطح pH و فعالیت آنتی‌اکسیدانی (به ترتیب با p-value برابر ۰.۰۰۰۱) شد. این یافته‌ها تأییدکننده این نکته هستند که با افزایش ولتاژ و زمان، شرایط بهتری برای بهبود ویژگی‌های کیفی شیر فراهم می‌شود. همچنین، نتایج نشان داد که درمان با پلاسمای سرد باعث افزایش میزان پروتئین (تا ۳.۸٦ g/100 mL) و چربی (تا ٤.٥۳ g/100 mL) در شیر می‌شود که این موارد می‌تواند به عنوان یک روش مؤثر برای بهبود کیفیت محصولات لبنی در صنعت مورد استفاده قرار گیرد. همچنین، نتایج آزمون‌های میکروبی نشان‌دهنده کاهش معنادار در تعداد کل باکتری‌ها بود، که می‌تواند به بهبود ایمنی و ماندگاری شیر کمک کند. به‌طور کلی، یافته‌های این تحقیق نشان می‌دهند که استفاده از پلاسمای سرد با تنظیم بهینه ولتاژ و زمان درمان می‌تواند به‌عنوان یک استراتژی نوآورانه برای بهبود کیفیت و افزایش ارزش تغذیه‌ای شیر در صنعت لبنیات

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2025-07-20]

[DOI: 10.22034/FSCT.22.163.288]

مورد استفاده قرار گیرد. این نتایج می‌توانند پایه‌گذار تحقیقات بیشتری در زمینه استفاده از تکنولوژی پلاسمای سرد در سایر محصولات غذایی باشند.

۵-منابع

[1] Coutinho, N.M., et al., *Cold plasma processing of milk and dairy products.* Trends in Food Science & Technology, 2018. **74**: p. 56-68.

[2] Wang, S., et al., *Processing sheep milk by cold plasma technology: Impacts on the microbial inactivation, physicochemical characteristics, and protein structure.* Lwt, 2022. **153**: p. 112573.

[3] Fernandes, F. and S. Rodrigues, *Cold plasma technology for sustainable food production: Meeting the United Nations Sustainable Development Goals.* Sustainable Food Technology, 2024.

[4] Sharma, S. and R.K. Singh, *Effect of atmospheric cold plasma treatment on acid gelation properties of skim milk: Rheology and textural studies.* Food Research International, 2023. **172**: p. 113212.

[5] Nikmaram, N., et al., *Degradation products of aflatoxin M1 (AFM1) formed by high voltage atmospheric cold plasma (HVACP) treatment.* Toxicon, 2023. **230**: p. 107160.

[6] Nikmaram, N. and K.M. Keener, *The effects of cold plasma technology on physical, nutritional, and sensory properties of milk and milk products* .Lwt, 2022. **154**: p. 112729.

[7] Walker, T.M., et al., *The 2021 WHO catalogue of Mycobacterium tuberculosis complex mutations associated with drug resistance: a genotypic analysis.* The Lancet Microbe, 2022. **3**(4): p. e265-e273.

[8] Wilsey, M.K., et al., *Selective Hydroxylation of Carbon Fiber Paper for Long-Lasting Hydrophilicity by a Green Chemistry Process.* Advanced Materials Interfaces, 2023. **10**(2): p. 2201684.

[9] Kostić, A.Ž., et al., *Polyphenol bioaccessibility and antioxidant properties of in vitro digested spray-dried thermally-treated skimmed goat milk enriched with pollen.* Food Chemistry, 2021. **351**: p. 129310.

[10] Meng, X., et al., *Antioxidant activity and hepatoprotective effect of 10 medicinal herbs on CCl4-induced liver injury in mice.* World journal of gastroenterology, 2020. **26**(37): p. 5629.

[11] Kheto, A., et al., *A review on advancements in emerging processing of whey protein: Enhancing functional and nutritional properties for functional food applications.* Food Safety and Health, 2024.

[12] Rahmadhia, S.N., A.A. Sidqi, and Y.A. Saputra, *Physical properties of tapioca starch-based film indicators with anthocyanin extract from purple sweet potato (Ipomea batatas L.) and response to pH Changes.* Sains Malaysiana, 2023. **52**(6): p. 1685-1697.

[13] Dash ,S. and R. Jaganmohan, *Process Optimization of Plasma Bubbling Set Up for Cow Milk Decontamination and Quality Evaluation.* bioRxiv, 2022: p. 2022.12. 28.522063.

[14] Abbas Syed, Q., et al., *Structural and functional properties of milk proteins as affected by heating, high pressure, Gamma and ultraviolet irradiation: A review.* International Journal of Food Properties, 2021. **24**(1): p. 871-884.

[15] Zhang, B., et al., *Impacts of Cold Plasma Technology on Sensory, Nutritional and Safety Quality of Food: A Review. Foods 2022, 11, 2818*. 2022, s Note: MDPI stays neutral with regard to jurisdictional claims in published**...**

[16] Varilla, C., M. Marcone, and G.A. Annor, *Potential of cold plasma technology in ensuring the safety of foods and agricultural produce: a review.* Foods, 2020. **9**(10): p. 1435.

[17] Zhang, B., et al., *Impacts of cold plasma technology on sensory, nutritional and safety quality of food: A review.* Foods, 2022. **11**(18): p. 2818.

[18] Sruthi, N., et al., *Impacts of cold plasma treatment on physicochemical, functional, bioactive, textural, and sensory attributes of food: A comprehensive review.* Food Chemistry, 2022. **368**: p. 130809.

[19] Pankaj, S.K., Z. Wan, and K.M. Keener, *Effects of cold plasma on food quality: A review.* Foods, 2018. **7**(1): p. 4.

[20] Tomei, G., et al., *Cold plasma for green advanced reduction/oxidation processes (AROPs) of organic pollutants in water.* Chemistry–A European Journal, 2023. **29**(65): p. e202302090.

[21] Yang, X., et al., *Effect of Chlorogenic Acid and Cold Plasma Synergistic Treatment on Eating Quality, Antioxidant Properties and Safety Qualities of Roasted Meat.* Antioxidant Properties and Safety Qualities of Roasted Meat, 2024.

[22] Li, Z., et al., *Cold Atmospheric Pressure Plasma Treatment of Spirulina Platensis Slurry: Microorganism Inactivation, Nutritional Composition, Surface*

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2025-07-20]

[DOI: 10.22034/FSCT.22.163.288]

Morphology, Color, Bio-Accessibility, and Lipid Peroxidation Analysis. Nutritional Composition, Surface Morphology, Color, Bio-Accessibility, and Lipid Peroxidation Analysis, 2020.

[23] Hsieh, K.-C ,.et al., *Reducing of lipoxygenase and trypsin inhibitor in soy milk for improving nutritional quality through atmospheric cold plasma pretreated soybeans.* Food and Bioproducts Processing, 2024.

[24] Sani, I.K., S. Pirsa, and Ş. Tağı, *Preparation of chitosan/zinc oxide/Melissa officinalis essential oil nano-composite film and evaluation of physical, mechanical and antimicrobial properties by response surface method.* Polymer Testing, 2019. **79**: p. 106004.

[25] Hassani, D., I.K. Sani, and S. Pirsa, *Nanocomposite film of potato starch and gum Arabic containing boron oxide nanoparticles and anise hyssop (Agastache foeniculum) essential Oil: investigation of physicochemical and antimicrobial properties.* Journal of Polymers and the Environment, 2024. **32**(4): p. 197–۲ .۱۹۸۳

[26] Pirsa, S., I. Karimi Sani, and S. Khodayvandi, *Design and fabrication of starch-nano clay composite films loaded with methyl orange and bromocresol green for determination of spoilage in milk package.* Polymers for Advanced Technologies, 2018 :(۱۱)۲۹ .p. 2750-2758.

[27] Ucar, Y., et al., *Application of cold plasma technology in the food industry and its combination with other emerging technologies.* Trends in Food Science & Technology, 2021. **114**: p. 355-371.

[28] Nalbandi, H., S.S. Seiiedlou Heris ,and P. Ahmadi Gheshlagh, *Determination of Optimum Performance Characteristics of Combined Infrared-Convectional Dryer in Drying of Banana Slices.* Agricultural Mechanization, 2021. **6**(1): p. 11-21.

[29] Amiri, S., et al., *Optimizing the formulation of aloe vera-based vegetable diet drink.* Iranian journal of food science and industry, 2024. **21**.(۱۵۲)

[30] Annor, G.A., *Cold plasma effects on the nutritional, textural and sensory characteristics of fruits and vegetables, meat, and dairy products.* Effect of Emerging Processing Methods on the Food Quality: Advantages and Challenges, 2019: p. 163-171.

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2025-07-20]

[DOI: 10.22034/FSCT.22.163.288]

Journal of Food Science and Technology (Iran)

Homepage:www.fsct.modares.ir

Scientific Research

Studying the effect of cold plasma process on physical, chemical and antioxidant properties of sheep milk

Samira Alijanibaei*[1], Marzieh Bolandi[2], Rozbeh Abbaszadeh[3], Majid Keyvani Bostanabad[4]

1- Ph.D. student of food science and technology, Department of Food Science and Technology, Damghan Branch, Islamic Azad University Damghan, Iran
2- Associate Professor, Department of Food Science and Technology, , Damghan Branch, Islamic Azad University Damghan, Iran
3- Assistant Professor, Iranian Research Organization for Science and Technology (IROST), Tehran, Iran
4- Graduate of the Food Industry Department of Food Science and Technology, , Damghan Branch, Islamic Azad University Damghan, Iran,

ARTICLE INFO

Article History:

Received:2025/3/4

Accepted:2025/5/26

Keywords:

Cold plasma,
Sheep's milk,
Antioxidant activity,
Microbiological tests

DOI: 10.22034/FSCT.22.163.288.

*Corresponding Author E-

samira_alijani_b@yahoo.com

ABSTRACT

This research investigated the impact of cold plasma treatment on the characteristics of raw sheep's milk. In this study, the effect of cold plasma was considered at three voltage levels (0.5, 0.7, and 0.9 kV) and three treatment times (3, 5, and 7 minutes). The physicochemical properties of raw sheep's milk, including pH, antioxidant activity (DPPH radical scavenging activity), color indices (L, a, b), microbiological tests (total bacterial count), protein, and fat, were examined. Analysis of variance (ANOVA) showed that both voltage and treatment time significantly affected pH, with an average increase to 6.82 as voltage and time increased. Antioxidant activity was also influenced, increasing to 21.03% with increasing voltage and time. Color indices changed significantly. The lightness index (L) reached 74.58 due to voltage and treatment time, while the redness index (a) and yellowness index (b) changed to 2.15 and 10.94, respectively. Additionally, in microbiological tests, the total bacterial count decreased significantly, indicating a significant improvement in milk safety. Finally, the examination of protein and fat levels showed that with increasing voltage and treatment time, protein levels reached 3.86 g/100 mL and fat levels reached 4.53 g/100 mL. These results indicate that the use of cold plasma can be considered as an effective method for improving the quality and increasing the nutritional value of milk in the dairy industry.

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2025-07-20]

[DOI: 10.22034/FSCT.22.163.288]