



بررسی اثر ژلاتین بر ویژگی‌های کف پروتئین‌های سدیم کازئینات و آلبومین

اعظم ستاری^۱، مریم اسفندیاری^۲، فریال خادمی^۳، حدیثه باقری^۴*

۱- دانش آموخته ی کارشناسی ارشد مهندسی علوم و صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری.

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی علوم و صنایع غذایی، دانشگاه غیر انتفاعی تجن.

۳- دانشجوی دکتری، مهندسی علوم و صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری.

۴- دانش آموخته کارشناسی ارشد، مهندسی علوم و صنایع غذایی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد ساری.

اطلاعات مقاله	چکیده
تاریخ های مقاله :	بسیاری از مواد غذایی دارای ساختاری بر پایه سیستم کف بوده که پایداری آن ها نقش مهمی در خصوصیات بافتی، ساختاری و بازاریابی این محصولات دارد. در صنعت غذا از پلی ساکاریدهایی نظیر صمغ ها و ژلاتین جهت پایدار نمودن سیستم‌های غذایی بر پایه کف استفاده می‌شود. به این منظور اثر غلظت‌های مختلف ژلاتین (۱، ۲ و ۳٪) بر ویژگی های تولید کف پروتئین‌های آلبومین و سدیم کازئینات (۱ و ۲٪) بررسی شد. در این پژوهش میزان افزایش حجم، جزء حجمی کف و سرعت زهکشی بررسی شد و همچنین از پردازش تصویر جهت بررسی تخلخل، بعد برخالی، انروپی و میزان کروی بودن حباب‌ها استفاده گردید. مشاهدات نشان داد که افزایش غلظت ژلاتین باعث کاهش تخلخل، انروپی، بعد برخالی، سرعت زهکشی، جزء حجمی کف و اورران شد. افزایش غلظت پروتئین نیز باعث افزایش تخلخل، اورران، کروییت و بعد برخالی شد در حالی که اندازه حباب کاهش یافت. نتایج این تحقیق نشان داد که می‌توان از غلظت‌های مختلف ژلاتین برای پایداری سازی سیستم‌های غذایی حاوی کف استفاده نمود.
تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۲/۱۳ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۴/۰۷	
کلمات کلیدی: ژلاتین، آلبومین، سدیم کازئینات، پردازش تصویر.	
DOI: 10.52547/fsct.18.117.217	
* مسئول مکاتبات: hadisbagheri70@yahoo.com	

۱- مقدمه

کف سیستم دیسپرسیونی می‌باشد که در آن فاز گازی در فاز آبی پخش شده است [۱] و شکل‌گیری آن نیازمند حضور عوامل فعال سطحی است، که پروتئین‌ها به واسطه این خاصیت، قادر به تولید کف می‌باشند [۲]. حین تشکیل کف، پروتئین‌ها جذب سطوح بینابینی هوا-مایع شده و تا حد معینی باز می‌شوند به‌طوری‌که گروه‌های قطبی به سمت فاز آبی و گروه‌های غیرقطبی به سمت حباب جهت‌گیری می‌کنند. این تغییر منجر به کاهش کشش بین‌سطحی شده و در نتیجه تشکیل کف بهتر می‌گردد [۳]. کف‌ها ویژگی‌های مختلفی دارند که معمولاً پارامترهای کف‌زایی و پایداری کف اهمیت بیشتری دارند. مقدار کف‌زایی به‌وسیله افزایش حجم کف و پایداری کف به وسیله اندازه‌گیری نرخ زهکشی مایع طی زمان یا نرخ کاهش حجم کف (به دلیل اتصال حباب) تعیین می‌شود. پایداری کف پارامتر مهمی در تعیین زمان ماندگاری کف می‌باشد [۲]. پروتئین‌های شیر، نمونه‌ای از پروتئین‌های غذایی بوده که دارای خواص کف‌زایی و امولسیفایری است. یکی از انواع پروتئین‌های شیر کازئین می‌باشد. کازئینات شکل محلول در آب کازئین می‌باشد که مخلوطی از فراکسیون‌های α , $s1$, $\alpha s2$, β و k است [۴]. کازئینات و کازئین ویژگی‌های کاربردی مختلفی در صنعت غذا دارند که پیوند با آب و چربی، ویسکوزیته، ایجاد ژل، خاصیت زده شدن، و تولید امولسیون از جمله این خصوصیات محسوب می‌شوند و در تهیه غلات صبحانه‌ای، غذاهای پخته شده، دسرها، محصولات زده شده و غیره کاربرد دارند. سدیم کازئینات دارای عطر و طعم خوشایند، ظرفیت نگهدارندگی آب عالی، قابلیت حل شدن بالا در آب و توانایی پراکنده شدن سریع در مخلوط آبی و هموژنیزه شدن در حضور چربی است [۵].

سفیده تخم مرغ یکی دیگر از پروتئین‌های پرکاربرد در صنعت غذا است که آلبومین (آلبومین یا آلبومین تخم مرغ)، کن آلبومین

(اووترانسفرین) و لیزوزیم مهم‌ترین پروتئین‌های سفیده تخم مرغ می‌باشند و به ترتیب ۵۴٪، ۱۲/۵٪ و ۳/۵٪ پروتئین‌های سفیده را شامل می‌شوند. آلبومین و کن آلبومین گلیکوپروتئین بوده، دارای فعالیت بیولوژیکی هستند. آلبومین در انعقاد و ژلی شدن و کن آلبومین در خاصیت ضد میکروبی و انتقال آهن شرکت دارد [۶]. کف‌زایی و پایداری کف از خواص عملکردی مهم آلبومین است که باعث کاربرد آن در فرمولاسیون برخی از مواد غذایی می‌شود. پروتئین آلبومین به صورت ترکیب آمفی‌فیلیک بین فاز گازی و آبی عمل می‌کند که باعث پایداری سیستم کف می‌شود. در مجموع کیفیت کف‌هایی که به وسیله پروتئین‌ها تولید می‌شوند، به ساختار امولسیفایری آن بستگی دارد. باز شدن جزئی این پروتئین‌های کروی باعث می‌شود گروه‌های آب‌گریز آزاد شده، خصوصیت آمفی‌فیلیک و انعطاف‌پذیری نیز بهبود یابد که در نتیجه قابلیت کف‌زایی افزایش می‌یابد [۷].

حضور یک پلی‌ساکارید در محلول کف می‌تواند باعث بهبود ویژگی‌های بین‌سطحی و تولید کف گردد. همچنین می‌تواند واکنش سینرژیستی بین پلی‌ساکارید و پروتئین رخ دهد که سبب بهبود پایداری می‌شود [۸]. پلی‌ساکاریدهای با وزن مولکولی زیاد که آبدوست باشند تمایل زیادی برای جذب در سطوح بینابینی ندارند اما می‌توانند با غلیظ‌کنندگی و ژل‌کنندگی باعث پایداری کف‌های پروتئینی شوند [۹]. اغلب عوامل پایدارکننده جزء ترکیبات ژل‌دهنده یا غلیظ‌کننده می‌باشند که صمغ‌ها، نشاسته‌ها، پکتین و ژلاتین جزء این دسته محسوب می‌شوند. این عوامل به واسطه افزایش ویسکوزیته فاز پیوسته یا تشکیل شبکه سه بعدی که حرکت اجزا را درون کف به تعویق انداخته، پایداری کف را بهبود می‌دهند [۱]. در این میان، ژلاتین به دلیل ویژگی‌های مطلوب کاربرد زیادی در صنعت غذا دارد. ژلاتین در صنعت غذا (به دلیل خاصیت ژلی و غلیظ‌کنندگی)، فرآورده‌های دارویی (کپسول‌های نرم و سخت) و عکسبرداری کاربرد زیادی دارد.

ژلاتین به عنوان پایدارکننده استفاده شد و تأثیر غلظت‌های مختلف آن بر کف‌های تولیدی با پروتئین‌های آلبومین و سدیم کازئینات بررسی شد.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- آماده سازی اولیه نمونه

در این پژوهش از پروتئین‌های سدیم کازئینات (خلوص ۷۷٪، شرکت میلاد، تهران، ایران)، آلبومین (سیگما) و ژلاتین (بلوم ۱۶۰-۱۸۰، بنگلادش) استفاده شد. ابتدا مقادیر مشخص از پروتئین‌های آلبومین و سدیم کازئینات به مدت ۴ ساعت توسط همزن مغناطیسی و در آب مقطر حل گردید تا محلول استوک ۶ درصد تهیه گردید. سپس ژلاتین با غلظت (۶٪ وزنی/حجمی) با مخلوط کردن مقادیر مشخص از پودر ژلاتین با آب گرم (۶۰ درجه سانتی گراد) تهیه گردید. پس از خنک شدن تا دمای مشخص مخلوط پروتئین‌های کفزا (آلبومین و سدیم کازئینات) و ژلاتین به عنوان پایدارکننده در نسبت‌های مختلف (جدول ۱) تهیه شد. جهت تولید کف از همزن خانگی (گوسونیک) با دور ۵۴۰۰rpm در دمای محیط (درجه سانتی‌گراد 25 ± 2) استفاده شد و به مدت ۱۲۰ ثانیه مخلوط پروتئین‌های کفزا و ژلاتین توسط همزن خانگی زده شد تا کف بدست آید. تصویر برداری از کف با استفاده از دوربین میکرو^۱ انجام شد. برای این منظور بهینه شرایط نوری جهت تصویر برداری پیدا شد (انعکاس مانع بزرگی جهت پردازش تصویر می‌باشد). تصویر برداری از نمونه کف در همان بشر آماده سازی انجام گرفت تا خطای ناشی از انتقال حداقل شود. پس از تنظیم دوربین، تصویر برداری از لحظه صفر تولید کف تا زمانی که کف کاملاً از بین برود در فواصل زمانی مشخص انجام گرفت.

ژلاتین هیدروکلوئیدی است که قابلیت تشکیل ژل برگشت پذیر داشته، غلیظ کننده و نامحلول در آب سرد است، ژلی شفاف داشته و تا حدودی در مقابل تغییرات pH پایدار می‌باشد. این محصول از هیدرولیز جزئی کلاژن مشتق شده از پوست حیوان، بافت پیوندی، و استخوان بدست می‌آید. بسته به شرایط تولید، دو نوع ژلاتین می‌توان تولید کرد. نوع A که تحت شرایط اسیدی تولید شده و pH ایزوالکتریک حدود ۸ تا ۹ دارد و نوع B تحت شرایط قلیایی تولید شده، pH ایزوالکتریک حدود ۴ تا ۵ دارد. ژلاتین نوع A برای امولسیون‌های روغن در آب مناسب تر بوده، نسبت به امولسیفایرهای پروتئینی مانند پروتئین‌های سویا، کازئین و آب پنیر بهتر می‌باشد. در نقطه ایزوالکتریک ویسکوزیته، تورم و خاصیت ژل دهی ژلاتین حداقل می‌باشد، در حالی که قدرت ژل، سینرژیس، کدوری و تولید کف حداکثر می‌باشد [۱۰]. ویسکوزیته محلول ژلاتین با افزایش غلظت ژلاتین و کاهش دما افزایش می‌یابد. ژلاتین و کلاژن محلول ویژگی‌های تولید کف مناسبی حتی بدون ایجاد ژل دارند، زیرا با افزایش ویسکوزیته کشش بین سطحی مایع-هوا را کاهش می‌دهند [۱۱]. ویژگی‌های کاربردی ژلاتین را می‌توان به دو گروه تقسیم بندی کرد. گروه اول مربوط به تولید ژل می‌باشد، مانند قدرت ژل، زمان تشکیل ژل، دمای تشکیل و ذوب، ویسکوزیته، غلیظ کنندگی، باند شدن با آب و گروه دوم بر اساس رفتار سطحی ژلاتین بیان می‌شوند مانند تشکیل ژل و پایداری امولسیون، تشکیل و پایداری کف و تشکیل فیلم [۱۲].

محصولات غذایی بر پایه سیستم کف بازارپسندی مناسبی دارند از این رو توجه به تولید این محصولات با ماندگاری بالا حائز اهمیت است. از آنجایی که برای تولید کف اغلب از پروتئین‌ها استفاده می‌شود و سدیم کازئینات و آلبومین نیز از پروتئین‌هایی پرکاربرد در این زمینه هستند پس پایدارسازی کف این دو پروتئین از اهمیت زیادی برخوردار می‌باشد. در این تحقیق از

1. Dino Capture

Table 1 Different percentage of sodium caseinate, albumin and gelatin for foam preparation.

Samples	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Albumin (%)	1	1	1	2	2	2	0	0	0	0	0	0
Sodium caseinate (%)	0	0	0	0	0	0	1	1	1	2	2	2
Gelatin (%)	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3

۲-۲- اورران

اورران به وسیله تفاضل حجم نهایی با حجم اولیه بر حجم اولیه محاسبه شد [۱۳]:

$$\text{Overrun} = (V_f - V_p) / V_p \quad (1)$$

که V_p و V_f به ترتیب حجم نهایی و اولیه کف می باشند.

۲-۳- اندازه گیری نم داری کف

نم داری کف به وسیله میزان مایع درون لایه کف تقسیم بر حجم کف محاسبه شد [۱۴]:

$$\text{Foam wetness} = V_{(\text{Liq. foam})} / V_{(\text{foam})} \quad (2)$$

۲-۴- سرعت زهکشی (پایداری کف)

کف تولید شده توسط پروتئین‌های آلبومین و سدیم کازئینات، به توری فلزی که بالای قیف بوخنر قرار داشت انتقال داده شد، سپس به وسیله میزان مایعی که طی زمان از توری عبور کرد، سرعت زهکشی محاسبه شد [۱۵].

۲-۵- جزء حجمی کف

جزء حجمی کف نسبت حجم کف به حجم کلی (مجموع حجم کف و مایع) می باشد. ارتفاع کف و مایع در زمان‌های مختلف اندازه گیری شد [۱۶].

۲-۶- پارامترهای تصویر

شرایط تصویرگیری باید به گونه ای باشد که عواملی مانند انعکاس که باعث اختلال در آنالیز می شوند، به حداقل برسد. تصویرگیری با استفاده از دوربین دیجیتال (میکرو، دینولایت) که با پورت USB به رایانه متصل بود، انجام پذیرفت به این منظور دوربین که روی پایه ثابت بود، به سطح نمونه مماس شد. از نمونه‌ها تصاویری در ابعاد 2560×2048 پیکسل و با وضوح dpi ۳۰۰ گرفته شد و با فرمت JPG ذخیره گردید. برای پردازش تصاویر از نرم افزار Image J استفاده گردید. از نمونه موس

تولید شده، بلافاصله بعد از تولید و ۲۴ ساعت پس از آن تصویر برداری انجام پذیرفت. جهت محاسبه پارامترهای تصویر پس از ۸ بیتی شدن، از تصحیح گاما و ارتقاء تمایز جهت پردازش تصویر استفاده شد. سپس تفریق پس زمینه^۲ و تکرار عمل ارتقاء تمایز جهت پردازش تصاویر اعمال گردید و در نهایت عمل آستانه گیری^۳ در کانال رنگی خاکستری با شدت 105 ± 5 انجام گرفت [۱۶].

۲-۶-۱- بعد بر خالی^۴

در این پژوهش جهت محاسبه بعد بر خالی از تبدیل فوری تصویر استفاده شد. با محاسبه شیب خط برازش شده بر رابطه طیف قدرت فوری در برابر فرکانس B از رابطه زیر، بعد بر خالی تعیین گردید [۱۶].

$$FD = 6 + \beta / 2$$

۲-۶-۲- بافت تصویر

بافت تصویر توسط توسط ماتریس همزمانی سطح خاکستری تعیین شد که در آن مشخصه‌های بافت توسط برخی پارامترهای آماری از ماتریس همزمانی $p(k,l)$ به دست می آیند. قبل از ساختن ماتریس دو پارامتر θ (جهت جفت‌های پیکسلی) و d (فاصله بین جفت‌های پیکسلی) باید انتخاب شوند. جهت θ یکی از چهار مقدار ۰، ۴۵، ۹۰ و ۱۳۵ بوده، فاصله بستگی به رزولوشن بافت دارد. در بسیاری از موارد در صنایع غذایی d معمولاً طبق خواص ماده غذایی مورد مطالعه بدست می آید. زمانی که اطلاعات کافی از انتخاب فاصله مناسب وجود ندارد، مقدار ۱ مورد استفاده قرار می گیرد. ماتریس از شمردن جفت‌های پیکسلی (x_1, y_1) و (x_2, y_2) با مقادیر خاکستری k و l در جهت θ و فاصله d ساخته می شود. سپس ماتریس همزمانی، با معادله ذیل نرمال می شود:

2. Subtract Background
3. Threshold
4. Fractal dimension

در هندسه اقلیدسی بعد اشکال به صورت یک عدد صحیح بیان می‌گردد. به ترتیب بعد خط، صفحه و فضا برابر ۱، ۲، ۳ محاسبه می‌شود. در هندسه‌ی بر خالی، بعد اشکال یک عدد غیر صحیح است. به عنوان مثال بعد بر خال ریاضی کنج حدود ۱/۲۶ است. هر اندازه که بعد بر خالی یک خط به ۲ نزدیک‌تر باشد، بیان‌گر این است که این خط دارای پیچیدگی و بی‌نظمی‌های بیشتری است. از این تعریف در علوم مختلف برای کمی کردن بی‌نظمی‌های اشکال استفاده می‌شود [۱۷].

۲-۶-۳- پارامترهای شکلی حباب

میزان کروی بودن از اندازه گیری نسبت محیط واقعی یک ذره به محیط یک دایره با همان مساحت محاسبه می‌شود [۱۸].

با استفاده از معادله ۳-۱۷، میزان کروی بودن حباب محاسبه می‌شود:

$$P_i^2/4 \cdot \pi \cdot A_i \quad (12)$$

که A_i مساحت آمین حباب و P_i محیط p مین حباب می‌باشد. فاکتور شکلی حباب کامل و خط به ترتیب ۱ و ۰ می‌باشد [۱۹].

۲-۶-۴- تخلخل^{۱۰}

از پارامترهای مستخرج پردازش تصاویر می‌توان به میزان تخلخل دست یافت که عبارتست از:

$$\text{Porosity} = \text{sum of cell area} / \text{Total area of slice} \quad (13)$$

که معادل نسبت مجموع سطح حفرات هوا به سطح کل نمونه می‌باشد [۱۶].

۲-۷- محاسبات آماری

از طرح آماری کاملاً تصادفی (CRD) در قالب فاکتوریل و با سه تکرار استفاده و آنالیز آماری داده‌ها با استفاده از نرم افزار SPSS نسخه ۱۶ انجام شد. نتایج در معرض آنالیز واریانس قرار گرفته و میانگین‌ها در توسط آزمون دانکن در سطح آماری ۹۵ درصد مقایسه شدند. پردازش تصاویر با استفاده از نرم‌افزار Image J و رسم شکل‌ها با استفاده از نرم‌افزار Excel 2016 انجام شد.

$$P(k,l) = P(k,l) / R \quad (4)$$

به طوریکه R تابع نرمال است. از معادله فوق چهارده مشخصه به دست می‌آید. چهار مشخصه ذیل معمول ترین آن‌ها است.

$$ASM^5 = \sum_i \sum_j p(i,j)^2 \quad (5)$$

این پارامتر مبین میزان یکنواختی تصاویر می‌باشد. هنگامی که پیکسل‌ها به هم شبیه باشد این پارامتر دارای مقادیر بالا می‌باشد.

$$CON^5 = \sum_{n=0}^D n^2 (\sum_k \sum_l (k-l)=n P(k,l)) \quad (6)$$

این پارامتر مبین میزان کنتراست تصویر است و تنوع شدت سطوح خاکستری را نشان می‌دهد.

$$COR^6 = \sum_k \sum_l (kl) P(k,l) - \mu^2 / \sigma^2 \quad (7)$$

این پارامتر میزان خطی بودن و همبستگی سطوح خاکستری را توصیف می‌کند.

$$IDM^7 = \sum_k \sum_l (1/1+(k-l)^2) P(k,l) \quad (8)$$

این پارامتر مبین میزان هموژن بودن در تصویر است. در این روابط σ^2 واریانس و μ متوسط مقدار ماتریس می‌باشد و از رابطه زیر به دست می‌آید. SOS^8 به عنوان واریانس به دست آمده از ناهمواری‌های تصاویر شناخته می‌شود:

$$SOS(\sigma^2) = \sum_k \sum_l (k-\mu)^2 P(k,l) \quad (9)$$

که μ به عنوان مقادیر میانگین ماتریس از معادله ذیل به دست می‌آید [۱۴]:

$$\mu = \sum_k \sum_l k P(k,l) \quad (10)$$

انتروپی^۹ نیز نشان دهنده میزان بی‌نظمی در تصاویر می‌باشد. این پارامتر پیچیدگی‌های تصاویر را با توجه موقعیت فضایی سطوح خاکستری در تصاویر اندازه گیری می‌کند [۱۴]:

$$ET = -\sum_k \sum_l P(k,l) \log(P(k,l)) \quad (11)$$

5. Contrast
6. Correlation
7. Inverse Difference Moment
8. Sum of Squares
9. Entropy

10. Porosity

۳- نتایج و بحث

۳-۱- نم‌داری و اورران

آلبومین تخم مرغ به دلیل توانایی کف زایی مناسب کاربرد زیادی در صنعت غذا دارد که این ویژگی می‌تواند به جذب بیشتر پروتئین و باز شدن آن در لایه‌های بین سطحی نسبت داده شود که سبب کاهش کشش سطحی می‌شود [۱۳]. همان‌طور که در جدول ۲ نشان داده شده، اختلاف معنی‌داری بین نمونه‌های سدیم‌کازئینات و آلبومین وجود داشت ($P < 0.05$). نمونه‌های ۱، ۴ و ۶ به ترتیب با ۲۲۲، ۲۱۷ و ۲۱۴ درصد بیشترین اورران را داشتند که دلیل آن بالا بودن مقدار آلبومین یا پایین بودن ژلاتین بود، زیرا بالا بودن مقدار پروتئین را باعث افزایش تولید کف و بالا بودن ویسکوزیته (ناشی از افزایش غلظت ژلاتین) می‌تواند

Table 2 Comparison of overrun and foam wetness samples immediately after production

Samples	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Overrun(%)	222± 5.8 ^a	193± 4 ^c	171± 2.9 ^d	217± 1.53 ^{ab}	211± 3.79 ^b	214± 3.06 ^b	60± 2.52 ^e	58± 0.58 ^e	58± 1 ^e	60± 0.6 ^e	46± 0.58 ^f	48± 3 ^f
foam	0.237±	0.335±	0.481±	0.235±	0.215±	0.297±	0.265±	0.289±	0.391±	0.253±	0.232±	0.271±
wetness(%)	0.02 ^{cd}	0.04 ^{cb}	0.1 ^a	0.03 ^{cd}	0.01 ^d	0.02 ^{bcd}	0.01 ^{cd}	0.01 ^{cd}	0.05 ^{ab}	0.1 ^{cd}	0.02 ^{cd}	0.02 ^{cd}

و به سرعت تخریب شده و حجم کف کاهش می‌یابد. هر چه از زمان تشکیل کف بگذرد، مایع موجود در آن تحت تاثیر نیروی جاذبه و در اثر اختلاف دانسیته از کف جدا می‌شود و در نتیجه به مرور زمان از سرعت زهکشی کاسته شده و در انتها مقدار کمی کف خشک باقی می‌ماند که در آن زهکشی رخ نمی‌دهد. همان‌طور که در شکل ۱ مشاهده می‌شود با افزایش درصد ژلاتین، زهکشی طی زمان طولانی‌تری رخ داد، زیرا با افزایش مقدار ژلاتین ویسکوزیته محلول بالا رفته که این افزایش ویسکوزیته مانع از اتصال حباب‌ها به یکدیگر و در نتیجه مانع بزرگ شدن و ناپایداری آن می‌شود. افزایش ویسکوزیته فاز آبی با افزایش غلظت ژلاتین ممکن است بر خصوصیات ویسکوالاستیک و ضخامت لایه ماکرومولکولی جاذب تاثیر بگذارد که می‌تواند باعث کاهش سرعت نازک شدن لایه و بهبود پایداری کف شود [۲۲]. گومز و همکاران در سال (۲۰۱۱) گزارش کردند ژلاتین با افزایش ویسکوزیته فاز مایع باعث کاهش

۳-۲- زهکشی (پایداری کف)

نتایج حاصل از تاثیر غلظت ژلاتین بر پایداری کف‌های تولیدی توسط پروتئین‌های سدیم‌کازئینات و آلبومین در غلظت‌های مختلف به ترتیب در شکل‌های ۱a و ۱b نشان داده شده است. پایداری کف‌های تولیدی با آلبومین بیشتر از سدیم‌کازئینات بود که می‌توان آن را به الاستیسیته سطحی و کشش سطحی ارتباط داد. در غلظت‌های بالای پروتئین‌های کف‌زا، الاستیسیته سطحی افزایش و کشش سطحی نیز کاهش می‌یابد که سبب بهبود پایداری کف می‌شود. در غلظت‌های بالاتر آلبومین اندازه حباب کوچک مانده که خود عاملی در جهت پایداری کف می‌باشد زیرا حباب‌های کوچکتر پایداری از بزرگ‌ترها می‌باشد [۲۱]. کف‌هایی که توسط سدیم‌کازئینات تولید شدند ناپایدارتر از کف‌های آلبومینی بود به‌طوری که طی زمان کوتاهی این کف از بین رفت. نتایج نشان داد که سرعت زهکشی در دقایق ابتدایی کف بیشتر بود که به دلیل ناپایداری در ابتدای تشکیل کف است. در این زمان حباب‌ها به سرعت به همدیگر می‌چسبند و بزرگ‌تر می‌شوند

بین رفتن کف، این پارامتر کاهش یافت. پروتئین آلبومین به دلیل تولید کف بهتر نسبت به سدیم کازئینات همواره جزء حجمی بیشتری داشت. به نظر می‌رسد ژلاتین با افزایش پایداری کف سبب می‌شود جزء حجمی با سرعت کمتری کاهش یابد. دلیل این‌که طی زمان جزء حجمی کم می‌شود این است که حباب‌ها به هم متصل شده و زهکشی افزایش می‌یابد [۱۴].

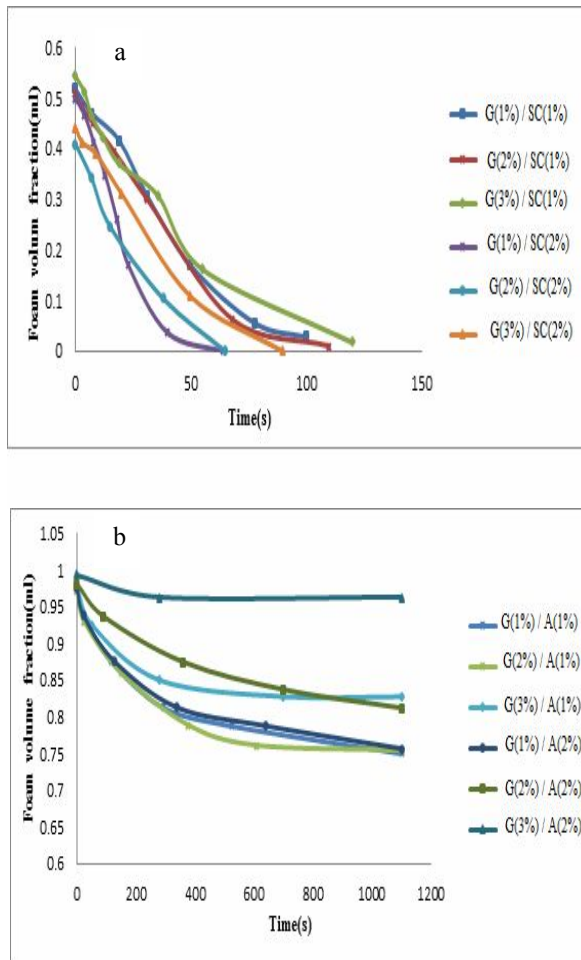


Fig 2 Foam volume fraction in foams made with sodium caseinate (a) and albumin (b) over time

۳-۴- پارامترهای تصویر

یکی از مهمترین ویژگی‌های تصویر، بافت است. بافت تصویر روشی است که اساساً ادراک بصری اختلالات و تغییرات عکس‌های دیجیتال را توصیف می‌کند [۲۴]. بافت تصویر می‌تواند میزان روشنی پیکسل و توزیع فضایی (۳ بعدی) در تصویر را بیان کند و روش عملی برای مشخص کردن ساختار

کشش سطحی می‌شود که در نتیجه از شدت عوامل ناپایدارکننده کاسته شده و حباب کوچک باقی می‌ماند [۲۳].

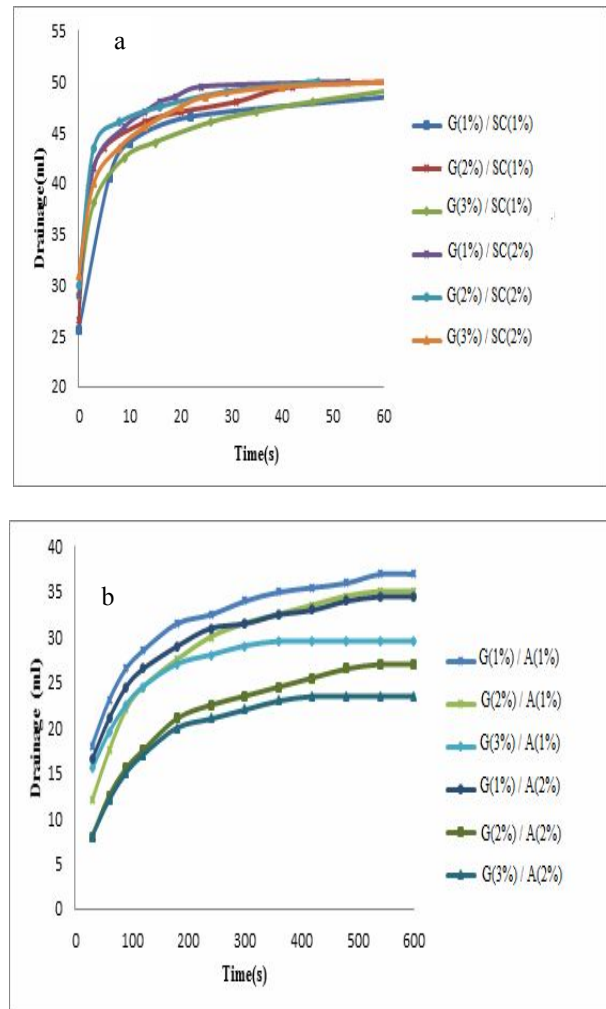


Fig 1 The amount of drained liquid from foams made with sodium caseinate (a) and albumin (b) over time

۳-۳- جزء حجمی کف

با مقایسه نمودارهای جزء حجمی کف مشخص شد که همواره طی زمان‌های مختلف این ویژگی در پروتئین آلبومین به صورت معنی‌داری ($P < 0.05$) بیشتر از سدیم کازئینات بود. به طور مثال در لحظه اولیه تشکیل کف، جزء حجمی تمام نمونه‌های حاوی آلبومین بیشتر از سدیم کازئینات بود. نتایج گزارش شده نشان داد مقدار جزء حجمی در طی زمان تغییر کرد. با گذشت زمان با از

هیدروفوبیک) پروتئین‌های کروی تشکیل می‌شود. چسبندگی^{۱۴} فیلم در پروتئین‌های انعطاف پذیر کمتر می‌باشد [۲۶].

۳-۴-۲- میزان کروی بودن

میزان کروی بودن حباب‌ها در ابتدای تشکیل کف و در انتهای این زمان در جدول ۳ آورده شده است. میزان کروی بودن یک شاخصی از مقدار بی نظمی یا میزان تفاوت با دایره کامل بوده و مقداری بین صفر تا ۱ دارد (دایره کامل ۱ و جسم ناهمگون و نامنظم مقداری نزدیک به صفر را دارا می‌باشد). همانطور که مشاهده می‌شود اختلاف معنی‌داری بین نمونه‌های مختلف دیده شد ($P < 0.05$). میزان کروی بودن حباب در کف آلبومین بیشتر بود (نمونه‌های ۳، ۴، ۵ و ۶) که دلیل آن بالاتر بودن خاصیت فعالیت سطحی آلبومین می‌باشد. این خاصیت باعث می‌شود که کشش سطحی بیشتر کاهش یافته و در نتیجه حباب‌ها کروی باقی بمانند. ژلاتین نیز تأثیر جزئی‌تری بر این فاکتور داشت به‌طوری که با افزایش ویسکوزیته (ناشی از افزایش غلظت ژلاتین)، میزان کروی بودن نمونه‌ها افزایش یافت، زیرا ویسکوزیته بالا مانع از چسبیدن فوری حباب‌ها به هم می‌شود. با گذر زمان میزان کروی بودن تغییر نمود. در حین تشکیل کف (زدن) هوا وارد محلول شده و تشکیل حباب‌های بزرگ می‌دهد که این حباب‌ها توسط نیروی مکانیکی کشیده شده^{۱۵} و تبدیل به حباب‌های کوچکتر می‌شوند [۲۷]. عوامل ناپایدار کننده نیز باعث افزایش اندازه حباب می‌شوند. بنابراین اندازه حباب، وابسته به عوامل تولید کننده و عوامل ناپایدار کننده حباب می‌باشد [۲۸].

پیچیده غذا می‌باشد. برتراند و همکاران (۱۹۹۲) اولین کسانی بودند که از بافت تصویر برای توصیف مواد دارای ساختار کف‌مانند استفاده کردند [۲۵]. پیکسل‌ها عناصر سازنده تصاویر هستند. به طور کلی دو نوع اطلاعات از هر پیکسل قابل استخراج است که عبارتند از میزان روشنایی و موقعیت هر پیکسل در مختصات تصاویر. میزان روشنایی برای تعیین ویژگی‌های رنگی و موقعیت هر پیکسل برای توصیف شکل و بیان اندازه کاربرد دارد. در تحلیل بافت تصویر، از هر دو ویژگی پیکسل استفاده شد و چگونگی آرایش خاص مقادیر روشنایی هر پیکسل، در ناحیه خاصی از تصویر بررسی شد.

۳-۴-۱- تخلخل

همانطور که نتایج اورران و پایداری کف نشان داد پروتئین آلبومین نسبت به سدیم کازئینات دارای قابلیت تولیدکنندگی کف و پایداری بیشتری بود. مطابق نتایج گزارش شده در جدول ۲، نمونه‌های سدیم کازئینات به دلیل اورران و پایداری کمتر، تخلخل کمتری نسبت به آلبومین داشت. ساختار و استحکام^{۱۱} پروتئین بر ویژگی‌های بین سطحی اثر گذار می‌باشد. آلبومین به دلیل خصوصیات ویسکوالاستیک قویتر و تشکیل فیلم‌های پایداتر قابلیت تولید کف بالاتری نسبت به سدیم کازئینات دارد. مطابق نتایج گزارش شده در نمونه ۳ که در آن میزان آلبومین ۱ گرم و میزان ژلاتین ۳ گرم بود تخلخل پایین بود (۲۶۶/۰) که به این دلیل است در غلظت بالای ژلاتین، ویسکوزیته افزایش می‌یابد که این بالا رفتن ویسکوزیته مانع از افزایش ورود هوا می‌شود در ضمن غلظت آلبومین نیز پایین بوده که این نیز باعث کاهش شدت هوادهی می‌شود.

ماکرومولکول‌های انعطاف پذیر و نامنظم^{۱۲} مانند کازئین تشکیل فیلم‌هایی با ویسکوالاستیسیته پایین می‌دهند، اما پروتئین‌های کروی (مانند لیزوزیم، بتالاکتوگلوبولین، اوآلبومین، آلبومین سرم گاوی^{۱۳}) فیلم‌هایی با استحکام بالا تشکیل داده و رفتار ویسکوالاستیک بالاتری دارند. شبکه پروتئینی در اثر واکنش‌های بین مولکولی (پیوند هیدروژنی، الکتروستاتیک و واکنش‌های

14. Cohesive
15. Elongated

11. Rigidity
12. Disordered
13. Bovine Serum albumin

Table 2 Comparison of porosity of different samples during foam formation

Samples	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Porosity	0.33± 0.00 ^{ab}	0.334± 0.01 ^c	0.266± 0.02 ^d	0.389± 0.01 ^a	0.37± 0.01 ^{ab}	0.351± 0.02 ^{bc}	0.236± 0.02 ^{def}	0.225± 0.01 ^{def}	0.218± 0.0 ^e	0.218± 0.01 ^f	0.238± 0.01 ^{def}	0.228± 0.02 ^{ef}

Table 3 Effect of albumin, sodium casinate and gelatin concentrations on circularity of bubbles at different times

Samples	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
First time	0.855± 0.01 ^{abc}	0.868± 0.02 ^{abc}	0.944± 0.1 ^a	0.933± 0.02 ^a	0.953± 0.01 ^a	0.96± 0.02 ^a	0.785± 0.04 ^c	0.805± 0.01 ^{bc}	0.817± 0.04 ^{bc}	0.853± 0.1 ^{abc}	0.872± 0.03 ^{abc}	0.912± 0.03 ^{ab}
End time	0.694± 0.05 ^e	0.783± 0.04 ^{de}	0.833± 0 ^{cd}	0.867± 0.02 ^{bcd}	0.984± 0.01 ^a	0.95± 0.02 ^{ab}	0.769± 0.01 ^{de}	0.893± 0.08 ^{abc}	0.894± 0.01 ^{abc}	0.867± 0.1 ^{bcd}	0.785± 0.02 ^{de}	0.904± 0.06 ^{abc}

۳-۴-۳- آنروپی

میزان آنروپی کف های تولیدی به وسیله پروتئین های آلبومین و سدیم کازئینات در جدول ۴ آورده شده است. در ابتدای تشکیل کف آنروپی در کف های تولیدی با آلبومین بیشتر (نمونه های ۱، ۴، ۵ و ۶) از سدیم کازئینات بود، می تواند به این دلیل باشد که آلبومین کف زایی بیشتر و حجم بیشتری از هوا را در سیستم تولید می کند و از آنجایی که گازها موجب افزایش بی نظمی می شوند لذا بی نظمی در نمونه های آلبومین بیشتر می باشد. ضمناً با افزایش میزان ژلاتین نیز آنروپی کاهش یافت که این نیز به دلیل افزایش

ویسکوزیته و کاهش ورود هوا می باشد. پروتئین ها نیز با کاهش کشش سطحی موجب پایداری حباب و در نتیجه کاهش آنروپی می شوند. کارپ و همکاران (۲۰۰۱) نیز به این نتیجه رسیدند که افزودن صمغ زانتان باعث افزایش پایداری کف شد [۲۹]. آن ها بیان نمودند که این عمل به دلیل افزایش ویسکوزیته، تأثیر این صمغ بر ساختار پروتئین و همچنین تأثیر بر رئولوژی سطحی بود [۱]. در انتهای تشکیل کف به دلیل اینکه حباب های سدیم کازئینات به سرعت به هم متصل و تشکیل حباب های با تعداد کم و اندازه بزرگ دادند از بی نظمی آن کاسته شد.

Table 4 Effect of albumin, sodium caseinate and gelatin concentration on foam entropy at the beginning and end of foam formation

Samples	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
First of foam formation	1.019± 0.07 ^a	0.956± 0.01 ^{ab}	0.864± 0.1 ^{bc}	1.092± 0.05 ^a	1.057± 0.01 ^a	0.975± 0.02 ^a	0.751± 0.03 ^c	0.75± 0.02 ^c	0.709± 0.05 ^c	0.813± 0.1 ^c	0.777± 0.03 ^c	0.721± 0.03 ^c
End of foam formation	0.872± 0.02 ^a	0.826± 0.01 ^a	0.736± 0.1 ^b	0.846± 0.01 ^a	0.823± 0.01 ^a	0.828± 0.02 ^a	0.534± 0.01 ^c	0.508± 0.04 ^c	0.523± 0.02 ^c	0.524± 0.1 ^c	0.524± 0.02 ^c	0.521± 0.01 ^c

۳-۴-۴- بعد بر خالی

نتایج حاصل از تأثیر نوع و غلظت پروتئین کف زا و غلظت ژلاتین بر مقدار بعد برخالی کف های تولیدی در ابتدا و انتهای تشکیل کف در جدول ۵ نشان داده شده است. نتایج بعد برخالی روندی تقریباً مشابه با آنروپی داشت. بالاترین مقدار بعد برخالی در ابتدای تشکیل کف مربوط به نمونه ۴ و کمترین مقدار مربوط به نمونه ۶ بود. در انتهای زمان ماندگاری کف نیز کمترین مقدار

بعد برخالی مربوط به نمونه ۳ و ۴ و کمترین مقدار مربوط به نمونه ۱۱ و ۱۲ بود. به طور کلی مقدار بعد برخالی در کف های تولیدی با پروتئین آلبومین بیشتر از سدیم کازئینات بود و ژلاتین باعث کاهش مقدار آن شد. در طی زمان نیز این مقدار کاهش یافت. کاوال و همکاران (۱۹۹۸) گزارش کردند که با افزایش بی نظمی سطح نان، بعد بر خالی افزایش یافت [۳۰].

Table 5 Comparison of the fractal dimension of different samples at the beginning and end of the foam formation

Samples	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Fractal dimension at first	2.742± 0.03 ^{bc}	2.732± 0.02 ^{bc}	2.685± 0.1 ^{bcd}	2.92± 0.04 ^a	2.791± 0.06 ^{ab}	2.512± 0.08 ^e	2.71± 0.04 ^{bc}	2.683± 0.03 ^{bcd}	2.538± 0.03 ^{de}	2.792± 0.1 ^{ab}	2.713± 0.02 ^{bc}	2.613± 0.07 ^{cde}
Fractal dimension at the end	2.652± 0.01 ^{abc}	2.695± 0.08 ^{abc}	2.574± 0.1 ^{bcd}	2.838± 0.03 ^a	2.78± 0.01 ^a	2.718± 0.02 ^{ab}	2.386± 0.05 ^{de}	2.445± 0.09 ^{de}	2.427± 0.01 ^{de}	2.518± 0.1 ^{cde}	2.333± 0.05 ^e	2.328± 0.05 ^e

۴- نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج بدست آمده، پروتئین آلبومین نسبت به سدیم کازئینات از خاصیت تولید کف بهتری برخوردار بود و پروتئین‌ها در غلظت‌های بالاتر خصوصیات کف زایی بهتری داشتند. همچنین افزودن ژلاتین باعث تغییر در خصوصیات تولید کف شد. افزودن ژلاتین هم در خاصیت تولید کف و هم در پایداری کف تاثیرگذار بود به‌طوری‌که با افزایش غلظت ژلاتین میزان پایداری بهبود یافت در حالیکه میزان اورران کاهش یافت. افزایش ژلاتین مانع از افزایش رشد سریع حباب و نامنظمی در کف شد که این خاصیت روی انتروپی و بعد بر خالی و میزان کروی بودن حباب اثرگذار می‌باشد. به طور کلی نتایج این پژوهش می‌تواند در سیستم‌های غذایی بر پایه سیستم کف مورد استفاده قرار گیرد.

۵- منابع

- [4] Abascal, D.M., and Jesus G.F. 2009. Surface tension and foam stability of commercial calcium and sodium caseinates. *Food Hydrocolloids*, 23: 1848–1852.
- [5] Morr, J., Kinsella, E., and Charles, V. 2012. Milk proteins: Physicochemical and functional properties. *Food Science and Nutrition*, 21(3): 197-262.
- [6] Garcia Rojas, E.E., Coimbra, J.S.D.R., Minim, L.A., Saraiva, S.H., and Dasilva, C.A.S. 2006. Hydrophobic interaction adsorption of hen egg white proteins albumin, conalbumin, and lysozyme, *Journal of Chromatography B*, 840: 85-93.
- [7] Razi, S.M., Motamedzadegan, A., Matia-Merino, L., Shahidi, S.A. and Rashidinejad, A., 2019. The effect of pH and high-pressure processing (HPP) on the rheological properties of egg white albumin and basil seed gum mixtures. *Food Hydrocolloids*, 94, pp.399-410.
- [8] Carp, D.J., Baeza, R., Bartholomai, G.B., and Pilosof, A.M.R. 2004. Impact of proteins–k-carrageenan interactions on foam properties. *Lebensm.-Wiss. u.-Technol*, 37: 573–580.
- [9] Carp, D.J., Bartholomai, G.B., and Pilosof, A.M.R. 1999. Electrophoretic studies for determining soy proteins–xanthan gum interactions in foams. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 12: 309–316.
- [10] Imeson, A. 2010. Food stabilizers, thickeners and gelling agent. Wiley.
- [11] Guillén, G.M.C., Giménez, B., López-Caballero, M.E., and Montero, M.P. 2011. Functional and bioactive properties of collagen and gelatin from alternative sources: A review. *Food Hydrocolloids*, 25: 1813-1827.
- [12] Karim, A.A., and Bhat, R. 2008. Gelatin alternatives for the food industry: recent developments, challenges and prospects. *Trends in Food Science & Technology*, 19: 644-656.
- [1] Walsh, D.J., Russell, K., FitzGerald, R.J. (2008). Stabilisation of sodium caseinate hydrolysate foams. *Food Research International*, 41, 43–52.
- [2] Nicorescu, I., Vial, C., Talansier, E., Lechevalier, V., Loisel, C., Della Valle, D., Riaublanc, A., Djelveh, G., and Legrand, J. 2011. Comparative effect of thermal treatment on the physicochemical properties of whey and egg white protein foams. *Food Hydrocolloids*, 25: 797-808.
- [3] Mixtures. 2009. Impact of pH on the interactions between whey and egg white proteins as assessed by the foamability of their mixtures. *Food Hydrocolloids*, 23: 2174–2181.

- Physicochemical and Engineering Aspects*, 263(1-3), pp.353-362.
- [22] Hu, Y., Liang, H., Xu, W., Wang, Y., An, Y., Yan, X., Ye, S., Huang, Q., Liu, J. and Li, B., 2016. Synergistic effects of small amounts of konjac glucomannan on functional properties of egg white protein. *Food hydrocolloids*, 52, pp.213-220.
- [23] Guillén, G.M.C., Giménez, B., López-Caballero, M.E., and Montero, M.P. 2011. Functional and bioactive properties of collagen and gelatin from alternative sources: A review. *Food Hydrocolloids*, 25: 1813-1827.
- [24] Aguilera, J.M., and Germain, J.C. 2007. Advances in image analysis for the study of food microstructure. In: *McClements, D.J. (Ed.), Understanding and controlling the microstructure of complex foods. Woodhead Publishing Limited, Cambridge, UK*, 261–287.
- [25] Bertrand, D., Le Guerneve, C., Marion, D., Devaux, M.F. and Robert, P., 1992. Description of the textural appearance of bread crumb by video image analysis. *Cereal Chemistry*, 69(3), pp.257-261.
- [26] Rouimi, S., Schorsch, C., Valentini, C., and Vaslin, S. 2005. Foam stability and interfacial properties of milk protein–surfactant systems. *Food Hydrocolloids*, 19: 467–478.
- [27] Dickinson, E. (1992). An introduction to food colloids. Oxford: Oxford University., p. 135, 216.
- [28] Foegeding, A., Yang, X., Allen, E. (2011). The stability and physical properties of egg white and whey protein foams explained based on microstructure and interfacial properties. *Food Hydrocolloids*, 25, 1687-1701.
- [29] Carp, D.J., Bartholomai, G.B., Pilosof, A.M.R., and Relkin, P. 2001. Effects of denaturation on soy protein–xanthan interactions: comparison of a whipping–rheological and a bubbling method. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 21: 163–171.
- [30] Kvaal, K., Wold, J., Indahl, U., Baardseth, P., and N S.T. 1998. Multivariate feature extraction from textural images of bread. *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*, 42: 141-158.
- [13] Razi, S.M., Motamedzadegan, A., Shahidi, S.A. and Rashidinejad, A., 2019. Physical and Rheological Properties of Egg Albumin Foams Are Affected by Ionic Strength and Basil Seed Gum Supplementation. *International Journal of Chemical Engineering*, 2019.
- [14] Indrawati, L., Wang, Z., Narsimhan, G., and Gonzalez, J. 2008. Effect of processing parameters on foam formation using a continuous system with a mechanical whipper. *Journal of Food Engineering*, 88: 65–74.
- [15] Marinova, K.G., Basheva, E.S., Nenova, B., Temelska, M., Mirarefi, A.Y., Campbell, B., and Ivanov, I.B. 2009. Physico-chemical factors controlling the foamability and foam stability of milk proteins: Sodium caseinate and whey protein concentrates. *Food Hydrocolloids*, 23: 1864–1876.
- [16] Shahidi, F., Mohebbi, M. and Ehtiyati, a. 2010. Analysis of Digital Images of brain Barberry bread enriched with Soy Flour. *Journal of Iranian Food Science and Technology*, Volume 6, pp. 247-253.
- [17] Amir Yousefi, M.; Mohebbi, M.; Khodaeian, F. 2012 The use of image analysis and the Fractal dimension in the analysis of the surface of ostrich meat pieces, during deep frying. *Journal of Iranian Food Science and Technology Research*, 169-179.
- [18] Labbafi, M., Thakur, R.K., Vial, C., and Djelveh, G. 2007. Development of an on-line optical method for assessment of the bubble size and morphology in aerated food products. *Food Chemistry*, 102: 454–465.
- [19] Romano, A., Cavella, S., Toraldo, G., and Masi, P. 2013. 2D structural imaging study of bubble evolution during leavening. *Food Research International*, 50: 324–329.
- [20] Salahi, M.R., Mohebbi, M. and Taghizadeh, M., 2015. Foam-Mat Drying of Cantaloupe (*Cucumis melo*): Optimization of Foaming Parameters and Investigating Drying Characteristics. *Journal of food processing and preservation*, 39(6), pp.1798-1808.
- [21] Müller-Fischer, N. and Windhab, E.J., 2005. Influence of process parameters on microstructure of food foam whipped in a rotor–stator device within a wide static pressure range. *Colloids and Surfaces A:*



Study effect of gelatin on foaming properties of albumin and sodium caseinate proteins

Sattari, A. ¹, Esfandiari, M. ², Khademi, F. ³, Bagheri, H. ^{4*}

1. MSc graduated, Department of Food science and technology, Sari Agriculture Sciences and Natural Resources, Sari.
2. MSc Student, Department of Food science and technology, Tajan institute, Qaemshahr.
3. Ph.D. Student, Department of Food science and technology, Sari Agriculture Sciences and Natural Resources, Sari.
4. MSc graduated, Department of Food science and technology, Islamic Azad University, Sari.

ARTICLE INFO	ABSTRACT
<p>Article History:</p> <p>Received 2020/05/02 Accepted 2020/06/27</p> <p>Keywords:</p> <p>Gelatin, albumin, Sodium caseinate, Image processing.</p> <p>DOI: 10.52547/fsct.18.117.217</p> <p>*Corresponding Author E-Mail: hadisbagheri70@yahoo.com</p>	<p>Many foods have a structures base on foam; hence their stability has a key role in their textural, structural and acceptance properties. In food industrials, polysaccharides such as gums and gelatin use as stabilizer in foam-based food system. In this research effect of gelatin (1, 2, 3%) on foaming properties of albumin and sodium caseinate (1 and 2%) has been investigated. Overrun, foam value fraction and drainage have been measured and also image processing used for evaluate porosity, fractal count, entropy and sphericity. Result showed that adding gelatin decreased porosity, entropy, fractal count, drainage, foam value fraction on and overrun. Adding protein caused porosity, overrun, fractal count and circularity increased while bubble size decreased. Therefore, we can use various amount of gelatin for stabilizing foam-base food.</p>