



بهینه سازی ویژگی های عملکردی پایداری کف پروتئین نخود کابلی رقم آنا

هانیه رضایی برزانی^۱، نفیسه زمین دار^{۲*}

۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد مهندسی علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اصفهان (خوراسگان)، اصفهان، ایران

۲- نویسنده مسئول: دانشیار، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اصفهان (خوراسگان)، اصفهان، ایران

اطلاعات مقاله	چکیده
تاریخ های مقاله : تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۶/۱۲ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۶/۵	پروتئین نخود یک پروتئین طبیعی با کیفیت بالا در نظر گرفته می شود، که بعنوان یک ماده مغذی یا ماده اصلی غذاهای سودمند برای سلامتی استفاده می شود. در پژوهش حاضر تاثیر چهار متغیر مستقل زمان (۶۰-۲۰) دقیقه، دما (۳۵-۴) درجه سلسیوس، pH (۸/۵-۱۰) و نسبت جامد به حلال (آب دیونیزه) (۱:۱۵-۱:۱۰) بر بهینه سازی خصوصیات فیزیکوشیمیایی پروتئین نخود کابلی رقم آنا، و خصوصیات عملکردی آن، شامل ظرفیت تشکیل و پایداری کف (۳۰ و ۱۸۰ دقیقه) در طی ۳۰ اجرای استاندارد با استفاده از روش سطح پاسخ، طرح مرکب مرکزی و ۶ تکرار در نقطه مرکزی، مورد ارزیابی قرار گرفت. حداکثر ظرفیت تشکیل کف و پایداری آن با شرایط بهینه ی دمای سانتیفرود ۴/۰۵۵ درجه سلسیوس، زمان ۵۴/۲۷ دقیقه، مقدار pH ۸/۵۱۷ و نسبت جامد به حلال ۱:۱۰/۲۲۰ بدست آمد. بیشترین پایداری کف پس از گذشت ۴۰ دقیقه در pH برابر با ۸/۵ مشاهده شد. نتایج این پژوهش نشان داد که پروتئین نخود کابلی رقم آنا قابلیت استفاده به عنوان جزئی از فرمولاسیون غذایی را داشته که ارزش غذایی و ویژگی های عملکردی محصول را افزایش می دهد.
کلمات کلیدی: بهینه سازی، پایداری کف، پروتئین نخود، ظرفیت تشکیل کف	
DOI:10.22034/FSCT.22.158.31. * مسئول مکاتبات: n.zamindar@khuisf.ac.ir	

۱- مقدمه

آماده سازی بر خواص فیزیکی-شیمیایی و تشکیل ژل ایزوله پروتئین نخود توسط محققین مورد بررسی قرار گرفت. به این ترتیب که ایزوله پروتئین از آرد دانه های نخود چربی گرفته به دو روش استخراج قلیایی و سپس رسوب دهی در نقطه ایزوالکتریک و دیگری به وسیله استخراج پروتئین در محیط نیمه اسیدی و فرایند اولترافیلتراسیون تهیه شد. مشخص شد که رفتار ژل ایزوله پروتئین نخود به طور عمده به روش تهیه آن وابسته است [۹]. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی، ویژگی‌های عملکردی و ترکیب آمینواسید ایزوله پروتئین ماش توسط محققان تعیین و برای کشف پتانسیل آن در صنایع غذایی مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت [۱۰]. منابع تجاری پروتئین نخود در صنایع غذایی محدود بوده در حالیکه تولید آن در کشور و جهان قابل توجه است. به همین منظور در این پژوهش، استخراج و بهینه سازی پروتئین نخود کابلی رقم آنا و ارزیابی خواص عملکردی آن از جمله ظرفیت تولید کف و پایداری کف، در تشکیل و تولید سیستم‌های مختلف غذایی و بررسی تاثیر برخی از عوامل مانند زمان، دما، pH و نسبت جامد به حلال به ماده اصلی استخراج با استفاده از روش سطح پاسخ بر ویژگی‌های ایزوله پروتئین نخود رقم آنا برای معرفی و ارائه منبع جدیدی از پروتئین حبوبات بررسی شد.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- آماده سازی نمونه

ماده اولیه مورد استفاده در این پژوهش دانه نخود کابلی رقم آنا بوده که از مرکز تحقیقات کشاورزی استان کرمانشاه تهیه شده‌است. دانه‌ها عاری از هرگونه خرابی و آفات بوده و از هرنوع ناخالصی و مواد خارجی پاک شده‌اند. سپس با استفاده از آسیاب برقی خانگی به صورت آرد (با مش ۶۰) درآمده و

پروتئین یکی از اصلی‌ترین مواد مغذی است که در آینده با کمبود آن مواجه خواهیم شد. در سال‌های اخیر تقاضای مصرف‌کنندگان برای پروتئین‌های گیاهی به دلیل افزایش دانش در مورد اثرات منفی زیست محیطی ناشی از تولید پروتئین حیوانی و رابطه بین پروتئین‌های گیاهی و سلامتی و هزینه بالای محصولات حیوانی، اهمیت زیادی نسبت به پروتئین‌های حیوانی پیدا کرده است [۱]. حبوبات بخش مهمی از رژیم غذایی انسان است. حبوبات غنی از پروتئین، کربوهیدرات‌ها و فیبرهای غذایی و سایر اجزای فعال زیستی بوده و چربی کمی دارند، که به حفظ وزن بدن کمک کرده و خطر ابتلا به بیماری‌های قلبی عروقی را کاهش می‌دهند و مصرف آنها در سراسر جهان گسترش می‌یابد. علاوه بر این، حبوبات همچنین سرشار از ویتامین‌های فولات، تیامین، ریبوفلاوین، نیاسین و مواد معدنی (پتاسیم، کلسیم، منیزیم، فسفر و آهن) هستند [۲]. نخود (*Cicer arietinum* L.) (جزء منابع مهم پروتئین‌های غذایی محسوب می‌شود. صرفه نظر از خصوصیات تغذیه‌ای، پروتئین‌های دانه نخود به عنوان عملگر نقش مهمی را در فرمولاسیون و فراوری مواد غذایی دارا هستند [۳]. یکی از خصوصیات عمل‌کنندگی اساسی پروتئین‌های نخود توانایی آنها در تشکیل امولسیون‌های پایدار در سیستم‌های غذایی متنوع شامل خامه، سس، سوپهای خامه ای و محصولات گوشتی مثل سوسیس است [۴]. خصوصیات عملکردی مربوط به ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی ممکن است رفتار پروتئین‌ها را در سیستم‌های غذایی در هنگام فرایند، ذخیره سازی، تهیه و مصرف تعدیل کند. خواصی مانند حلالیت پروتئین، ظرفیت جذب آب و روغن، ظرفیت کف و پایداری کف، فعالیت امولسیون و تشکیل ژل، به تعامل پروتئین‌ها با سایر مولکول‌ها مانند کربوهیدرات‌ها، لیپیدها، پروتئین‌ها، نمک‌ها، مواد فرار و آب مربوط می‌شود [۵-۸]. برخی از محققین ویژگی‌های عملکردی و ترکیبات ایزوله های پروتئینی دانه های نخود در ارتباط با امکان استفاده ایزوله ها در صنعت غذا را بررسی کردند [۶]. اثر روشهای

تا زمان استفاده در دمای منفی ۴ درجه سلسیوس نگهداری شدند[۶].

۲-۲- تهیه پودر استون^۱

برای حذف ترکیبات فنلی و لیپیدها، از پودرهای استون بعنوان منابع عصاره پروتئین استفاده شد. برای تهیه پودرهای استون، ابتدا ۵۰ گرم نمونه نخود خشک آسیاب شده در مخلوط کن به مدت ۳ دقیقه با ۲۰۰ میلی لیتر استون همگن شد. سپس دوغاب بدست آمده به وسیله پمپ خلاء، کیف بوخنر و کاغذ صافی (بدون خاکستر) فیلتر شد. رسوب باقیمانده روی کاغذ صافی جمع آوری شد. در نهایت رسوب بدست آمده در دمای محیط خشک شد و در دمای ۱۸- درجه سلسیوس ذخیره شد تا در استخراج مورد استفاده قرار گیرد[۱۱].

۱-۲-۲- استخراج پروتئین

برای به دست آوردن ایزوله پروتئین خام مطابق شکل ۱ و جدول ۲ عمل شد، پودر استون (گرم) تولید شده با میزان نسبت ارائه شده برای حلال در جدول RSM با آب دیونیزه (میلی لیتر) به مدت ۳۰ دقیقه بر روی استیرر قرار گرفت. در این مرحله pH اولیه مخلوط با استفاده از سود (NaOH) یک مول بر لیتر مطابق جدول RSM تنظیم شد. سپس مخلوط مطابق جدول RSM در دما و زمان مشخص با ۹۰۰۰ دور بر دقیقه سانتریفوژ شد. مایع رویی جمع آوری و با هیدروکلریک اسید یک مول بر لیتر pH بر روی ۴/۵ تنظیم شد. سپس مخلوط دوباره طبق جدول RSM با ۹۰۰۰ دور بر دقیقه سانتریفوژ شد. سپس رسوب بدست آمده با میزان کمی آب دیونیزه معلق و سپس pH رسوب با سود یک مول بر لیتر روی ۷ تنظیم شد و درون پتری دیش ریخته و به مدت ۲۴ ساعت درون دستگاه خشک کن انجمادی در دمای ۵۰- درجه سلسیوس قرار گرفت و سرانجام در دمای ۱۸- درجه سلسیوس ذخیره سازی شد، تا اینکه برای ارزیابی خصوصیات عملکردی آنها استفاده شد[۱۲].

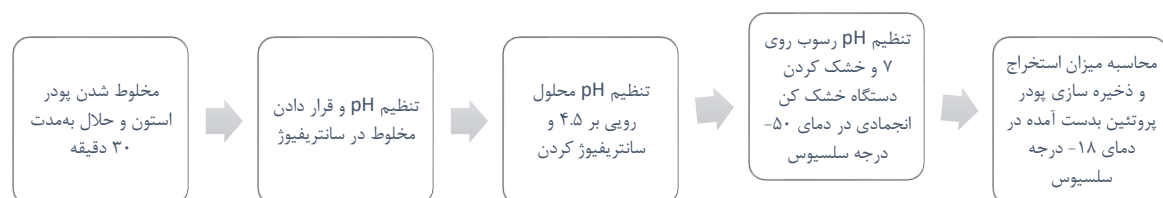


Fig 1- The procedure of chickpea protein isolate extraction

تا کف ایجاد شود[۱۲]. ظرفیت کف دهی با اندازه گیری حجم کف تشکیل شده در همان لحظه تشکیل کف (زمان صفر) بصورت میلی لیتر تعیین شد. پایداری کف با اندازه گیری حجم کف بر حسب میلی لیتر در دقیقه ۳۰ و ۱۸۰ دقیقه تعیین شد.

۴-۲- تجزیه و تحلیل آماری

در این پژوهش از روش سطح پاسخ (RSM)، طرح مرکب مرکزی (CCD) و نرم افزار Desing Expert، اثر

۳-۲- ظرفیت کف کنندگی و پایداری کف

۲۵۰ میلی گرم پروتئین با ۲۵ میلی لیتر آب دیونیزه مخلوط شد و pH آن با سود یک مول بر لیتر (NaOH) روی هفت تنظیم شد. محلول های پروتئینی در دمای اتاق آماده شدند، محلول ها سپس در دستگاه هموژنایزر اولتراتراکس با سرعت ۱۱۰۰۰ دور بر دقیقه به مدت ۱ دقیقه همگن شدند

^۱ -Aceton powders

۳- نتایج و بحث

۳-۱- بررسی آماری بهینه سازی شرایط فرایند

با روش سطح پاسخ

جدول (۱) مقادیر واقعی و کددار متغیرهای مستقل مورد استفاده برای طراحی تجربی استخراج نخود رقم آنا را نشان می‌دهد.

متغیرهای زمان (۶۰-۲۰ دقیقه)، دما (۳۵-۴) درجه سلسیوس)، pH (۸/۵-۱۰) و نسبت جامد (پودر استون نخود) به حلال (۱:۱۰-۱:۱۵ گرم بر میلی‌لیتر) بر پاسخ‌های ظرفیت کف‌کنندگی و پایداری کف در ۳۰ و ۱۸۰ دقیقه مورد بررسی قرار گرفت. تعداد اجراها مطابق پیشنهاد طرح، طبق جدول ۲، ۳۰ اجرا با ۶ تکرار در نقطه مرکزی بود. طبق پیش‌بینی نرم افزار پس از تعیین بهترین شرایط، محصول با شرایط پیش‌بینی شده تولید شد و خواص فیزیکوشیمیایی بهینه تولید شده به وسیله ی آزمون T- Student در سطح معنی‌داری ۰/۰۵ مورد مقایسه قرار گرفت.

Table 1. The real and coded values of independent variables for experimental design

Factor	Name	Minimum	Maximum	Coded Low	Coded High	Mean	Std. Dev.
A	Time	20.00	60.00	-1 ↔ 20.00	+1 ↔ 60.00	40.00	15.76
B	Temperature	4.00	35.00	-1 ↔ 4.00	+1 ↔ 35.00	19.70	12.21
C	pH	8.50	10.00	-1 ↔ 8.50	+1 ↔ 10.00	9.25	0.5909
D	Water/meal ratio	10.00	15.00	-1 ↔ 10.00	+1 ↔ 15.00	12.50	1.97

جدول (۲) مقادیر متغیرهای مستقل مورد استفاده برای طراحی آزمایش و نتایج تجربی متغیرهای پاسخ را نشان می‌دهد.

Table 2. Experimental design of variables and the test results of responses

	Factor 1		Factor 2	Factor 3	Factor 4	Response 1	Response 2	Response 3
Std	Run	A:Time (min)	B:Temperature(°C)	C:pH	D:Water/meal ratio(ml/g)	Foaming capacity(ml)	Foam stability 1 (ml/30min)	Foam stability 2 (ml/180min)
10	1	60	4	8.5	15	90	60	55
16	2	60	35	10	15	75	50	40
3	3	20	35	8.5	10	80	55	45
12	4	60	35	8.5	15	85	55	50
15	5	20	35	10	15	40	40	35
28	6	40	20	9.25	12.5	60	45	35
26	7	40	20	9.25	12.5	70	48	40
2	8	60	4	8.5	10	90	60	55

17	9	20	20	9.25	12.5	42	40	35
20	10	40	35	9.25	12.5	80	55	45
14	11	60	4	10	15	85	55	50
5	12	20	4	10	10	38	38	35
19	13	40	4	9.25	12.5	70	48	38
13	14	20	4	10	15	38	38	35
8	15	60	35	10	10	75	50	40
9	16	20	4	8.5	15	80	55	40
29	17	40	20	9.25	12.5	60	45	35
7	18	20	35	10	10	38	38	35
21	19	40	20	8.5	12.5	85	55	50
22	20	40	20	10	12.5	50	40	35
6	21	60	4	10	10	85	55	50
4	22	60	35	8.5	10	85	55	50
1	23	20	4	8.5	10	80	55	50
24	24	40	20	9.25	15	60	45	35
25	25	40	20	9.25	12.5	60	45	35
23	26	40	20	9.25	10	60	45	35
30	27	40	20	9.25	12.5	60	45	35
11	28	20	35	8.5	15	80	55	45
18	29	60	20	9.25	12.5	60	45	35
27	30	40	20	9.25	12.5	60	45	35

۲-۳-ارزیابی پارامتر پاسخ ظرفیت کف-کنندگی

نتایج آنالیز واریانس برای ارزیابی پارامتر پاسخ ظرفیت کف-کنندگی در مورد مدل کامل درجه دوم با آثار متقابل نشان می‌دهد که F-Value مدل درجه دوم برابر با ۳۵/۰۹ است که بیانگر این است مدل معنادار است ($p < 0.0001$) (جدول ۳). مقدار F-value مربوط به Lack of Fit در این مدل برابر با ۰/۹۶۱۷ است. به عبارت دیگر مدل داده‌های تجربی را برازش می‌کند. مقدار R-Squared برابر با ۰/۹۷۰۴ نشان می‌دهد که این عدد به ۱ نزدیک بوده و بیانگر تطبیق زیاد نتایج مدل با نتایج تجربی است. Adeq Precision در این مدل عدد ۱۸/۵۷۷۷ بیانگر سیگنال کافی است. مقدار Pre R-Squared برابر با ۰/۸۹۸۸ و Adj R-Squared برابر با ۰/۹۴۲۷ است.

ظرفیت کف‌کنندگی براساس توانایی پروتئین در کاهش تنش سطحی، انعطاف‌پذیری مولکولی و ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی (خواص آب‌دوستی، بار و توزیع آن و خواص هیدرودینامیکی) تعیین می‌شود. افزایش غلظت نمونه، واکنش‌های پروتئین-پروتئین را تشدید می‌کند که موجب افزایش ویسکوزیته شده و تشکیل یک فیلم پروتئینی چند لایه متصل به سطح آن را تسهیل می‌کند. همچنین افزایش در غلظت نمونه می‌تواند منجر به تولید فیلم‌های ضخیم‌تر شود [۱۳].

Table3. Variance analysis of the effect of independent variables on the foam formation capacity of chickpea protein at zero moment

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	p-value
Model	7979/35	14	569/95	35/09	< significant 0.0001
A-Time	2547/27	1	2547/27	156/84	< 0.0001

B-Temperature	18/00	1	18/00	1/11	0/3091	
C-pH	2963/60	1	2963/60	182/47	<	
					0.0001	
D-Water/meal ra	0/2204	1	0/2204	0/0136	0/9088	
AB	64/74	1	64/74	3/99	0/0644	
AC	1156/00	1	1156/00	71/18	<	
					0.0001	
AD	0/2500	1	0/2500	0/0154	0/9029	
BC	4/31	1	4/31	0/2651	0/6141	
BD	0/2482	1	0/2482	0/0153	0/9033	
CD	0/2500	1	0/2500	0/0154	0/9029	
A²	250/08	1	250/08	15/40	0/0014	
B²	518/18	1	518/18	31/90	<	
					0.0001	
C²	115/45	1	115/45	7/11	0/0176	
D²	1/76	1	1/76	0/1085	0/7465	
Residual	243/62	15	16/24			
Lack of Fit	160/29	10	16/03	0/9617	0/5542	not significant
Pure Error	83/33	5	16/67			
Cor Total	8222/97	29				
Std. Dev.	4/03		R²		0/9704	
Mean	67/37		Adjusted R²		0/9427	
C.V. %	5/98		Predicted R²		0/8988	
			Adeq Precision		18/5777	

۱-۲-۳- نمودارهای سه بعدی سطح پاسخ

ظرفیت کف‌کنندگی

شکل (۲) نتایج مربوط به اندازه‌گیری ظرفیت کف‌دهی پروتئین نخود در لحظه صفر یا همان لحظه تشکیل کف را نشان می‌دهد. بر اساس آنالیز واریانس، متغیرهای pH و زمان تاثیر معنی‌داری بر روی ظرفیت کف‌کنندگی پروتئین نخود داشتند ($p < 0.0001$) و دما و نسبت جامد به حلال معنی دار نبوده است ($p > 0.0001$). اثر متقابل متغیرهای زمان $\times$ pH معنی دار بود ($p < 0.0001$).

در شکل (2a)، اثر متغیرهای زمان و pH بر روی ظرفیت کف‌کنندگی پروتئین نخود ارزیابی شده است. با توجه به شکل، مشخص است که با افزایش pH، ظرفیت کف‌کنندگی پروتئین نخود کاهش پیدا کرده است. همچنین با افزایش زمان از ۲۰ دقیقه به ۶۰ دقیقه، ظرفیت کف‌کنندگی پروتئین

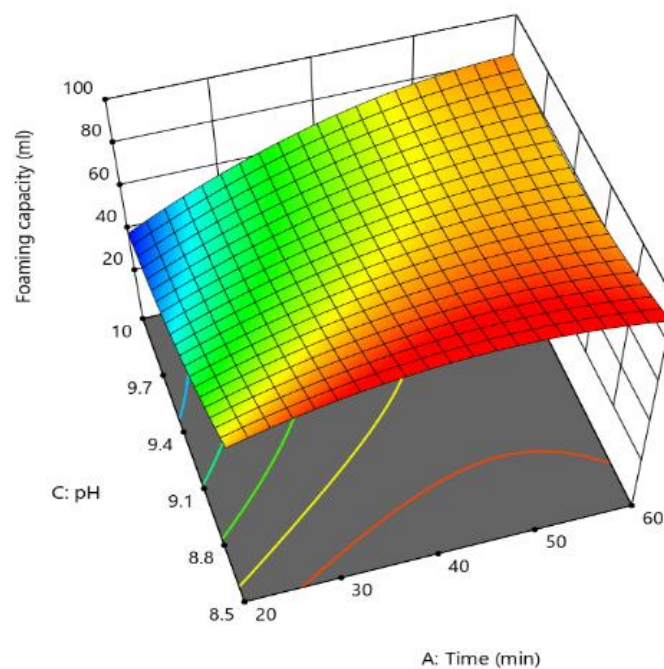
کمی افزایش پیدا کرده است. شکل (2b)، نیز تاثیر تغییرات دما و pH بر روی ظرفیت کف‌کنندگی پروتئین نخود را نشان می‌دهد. نتایج بیانگر آن است که با افزایش دما، ظرفیت کف-کنندگی پروتئین نخود تغییر پیدا نکرده است. در حالی که افزایش pH منجر به کاهش ظرفیت کف‌کنندگی پروتئین نخود شد ($p < 0.0001$). در پژوهشی مشابه، در ارزیابی ویژگی‌های عملکردی پروتئین باقلای هیدرولیز شده به روش هیدرولیز ترکیبی بیان کردند که ظرفیت کف‌کنندگی ایزوله پروتئین باقلا در pHهای مختلف با افزایش pH از ۴ به ۸ افزایش پیدا کرد. بیشترین کف‌کنندگی پروتئین باقلا در pH برابر ۸ مشاهده شد و در pH برابر با ۱۰ در تمامی نمونه‌ها کف‌کنندگی کاهش پیدا کرد [۱۴]. شکل (2c)، نیز تاثیر تغییرات دما و زمان بر روی ظرفیت کف‌کنندگی پروتئین نخود را نشان می‌دهد. نتایج بیانگر آن است که با افزایش دما، ظرفیت کف‌کنندگی پروتئین نخود تغییر پیدا نکرده است. در حالی که افزایش زمان کمی منجر به افزایش

تغییر پیدا نکرده است. با توجه به موارد عنوان شده، ظرفیت تشکیل کف مطابق رابطه (۱) بدست آمد:

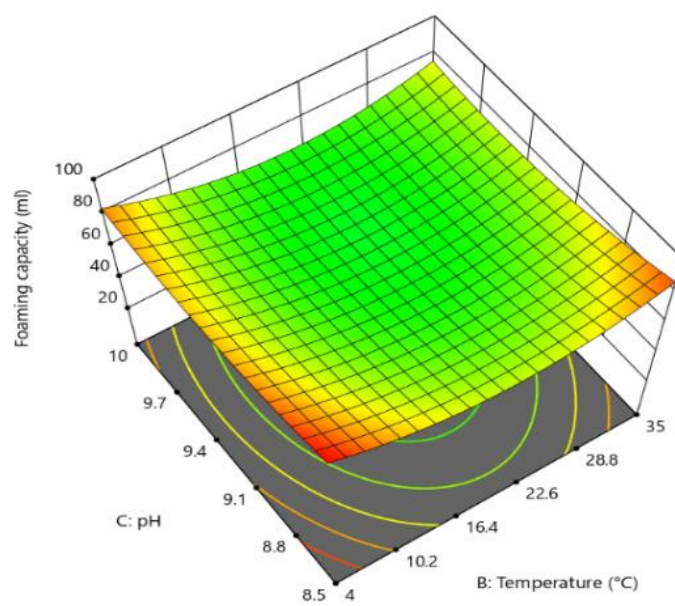
ظرفیت کف‌کنندگی پروتئین نخود شد (بیشترین ظرفیت کف‌کنندگی در دقیقه ۴۰). نتایج بیانگر آن است که با افزایش نسبت جامد به حلال، ظرفیت کف‌کنندگی پروتئین نخود

$$Y=1366.732-2.633A-2.323B-251.313C+0.567AC-0.025A^2+0.058B^2+11.43C^2$$

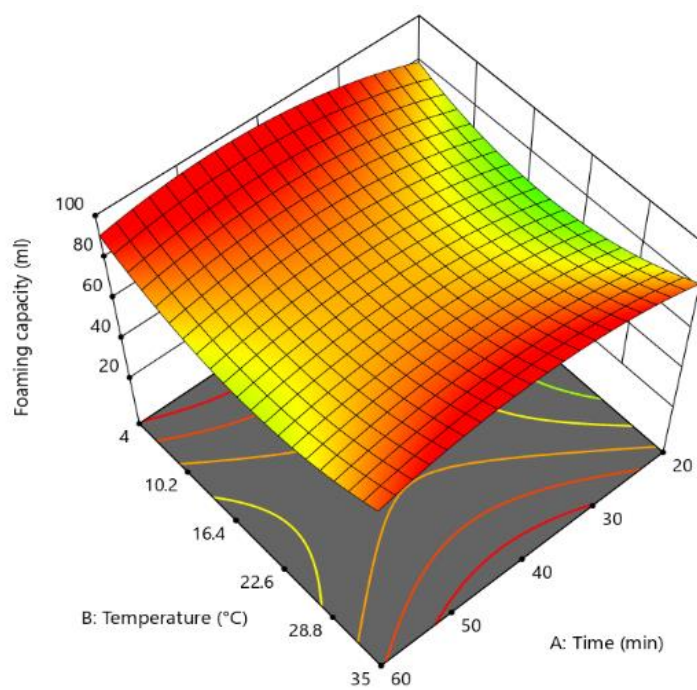
که در این رابطه Y ظرفیت تشکیل کف (میلی لیتر)، A زمان سانتریفوژ (دقیقه)، B دمای سانتریفوژ (درجه سلسیوس) و C نماد pH می‌باشد.



a



b



c

Fig. 2. The interaction of time and pH (a), temperature and pH (b), temperature and time (b) on the foam formation capacity of chickpea protein at zero moment

۳-۳- ارزیابی پارامتر پاسخ پایداری کف در ۳۰ دقیقه

پایداری کف مدت زمانی است که کف تولیدی بر اثر عواملی مانند نیروی جاذبه و تنش‌های مکانیکی به ۵۰ درصد حجم اولیه خود کاهش یابد [۱۵].

نتایج آنالیز واریانس را برای ارزیابی پارامتر پاسخ پایداری کف در مورد مدل کامل درجه دوم با آثار متقابل نشان می‌دهد

که F-Value مدل درجه دوم برابر با ۲۲/۹۹ بوده که بیانگر معنا دار بودن مدل است ($p < 0.0001$) (جدول ۴). مقدار F-value مربوط به Lack of Fit در این مدل برابر با ۳/۴۷ است. به عبارت دیگر مدل داده‌های تجربی را برازش می‌کند. مقدار R-Squared برابر با ۰/۹۵۵۵ نشان می‌دهد و بیانگر تطبیق زیاد نتایج مدل با نتایج تجربی است. Adeq Precision در این مدل عدد ۱۶/۰۵۷۵ بیانگر سیگنال کافی است. مقدار Pre R-Squared برابر با ۰/۸۲۱۷ و Adj R-Squared برابر با ۰/۹۱۳۹ است.

Table4. Variance analysis of the effect of independent variables on the stability of chickpea protein foam 30 minutes after foam formation

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	p-value	
Model	1277/15	14	91/22	22/99	< 0.0001	significant
A-Time	280/75	1	280/75	70/75	< 0.0001	
B-Temperature	6/72	1	6/72	1/69	0/2127	
C-pH	566/80	1	566/80	142/84	< 0.0001	
D-Water/meal ra	0/2204	1	0/2204	0/0556	0/8169	
AB	30/50	1	30/50	7/69	0/0142	
AC	132/25	1	132/25	33/33	< 0.0001	
AD	0/2500	1	0/2500	0/0630	0/8052	
BC	0/2204	1	0/2204	0/0556	0/8169	
BD	0/2482	1	0/2482	0/0625	0/8059	
CD	0/2500	1	0/2500	0/0630	0/8052	
A²	19/66	1	19/66	4/95	0/0418	
B²	100/41	1	100/41	25/31	0/0001	
C²	13/07	1	13/07	3/29	0/0896	
D²	0/1677	1	0/1677	0/0423	0/8399	
Residual	59/52	15	3/97			
Lack of Fit	52/02	10	5/20	3/47	0/0912	not significant
Pure Error	7/50	5	1/50			
Cor Total	1336/67	29				
Std. Dev.	1/99					
Mean	48/67					
C.V. %	4/09					
R²			0/9555			
Adjusted R²			0/9139			
Predicted R²			0/8217			
Adeq Precision			16/0575			

pH برابر با ۸.۵ مشاهده شد. همچنین با گذشت زمان، پایداری کف افزایش یافت. شکل (3b)، تاثیر دما و زمان بر روی پایداری کف پروتئین نخود پس از گذشت ۳۰ دقیقه از تشکیل کف را نشان می‌دهد. نتایج شکل حاکی از آن است که افزایش زمان پایداری کف افزایش یافت. با توجه به شکل (3c)، با افزایش pH، حجم کف و پایداری آن کاهش پیدا کرده است، اما در حد پایین یا حد بسیار بالا دمایی شاهد افزایش پایداری کف می‌باشیم. مشابه با نتایج پژوهش حاضر، سمائی و همکاران گزارش نمودند که بیشترین پایداری کف در pH برابر ۸ برای محلول مشاهده گردید و با افزایش pH تا مقدار ۱۰، پایداری کف کاهش پیدا کرد. این محققین بیان کردند که ایزوله‌ی پروتئین باقلا در pH برابر ۸، پس از زمان ۶۰ دقیقه فاقد کف بود [۱۴]. با توجه به موارد عنوان شده، پایداری کف پروتئین نخود پس از گذشت ۳۰ دقیقه مطابق رابطه (۲) بدست می‌آید:

$$y=178.608-1.105A-1.009B-15.149C-0.004AB+0.192AC-0.005A^2+0.029B^2$$

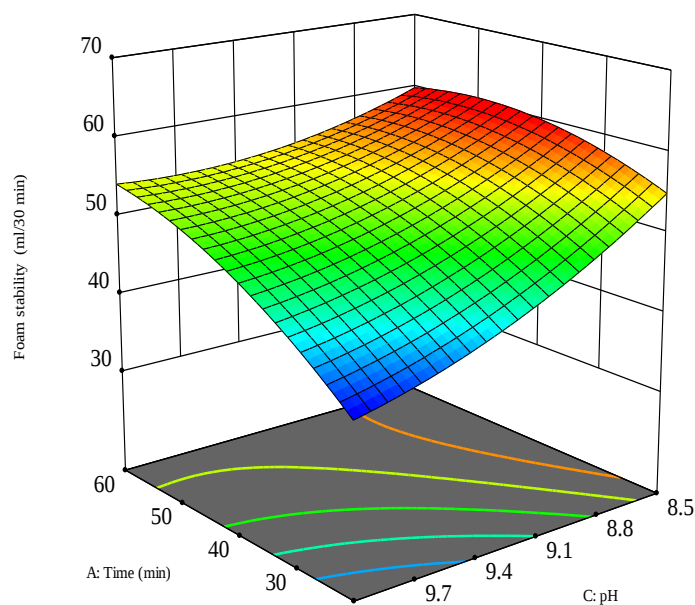
۱-۳-۳- نمودارهای سه بعدی پایداری کف

در ۳۰ دقیقه

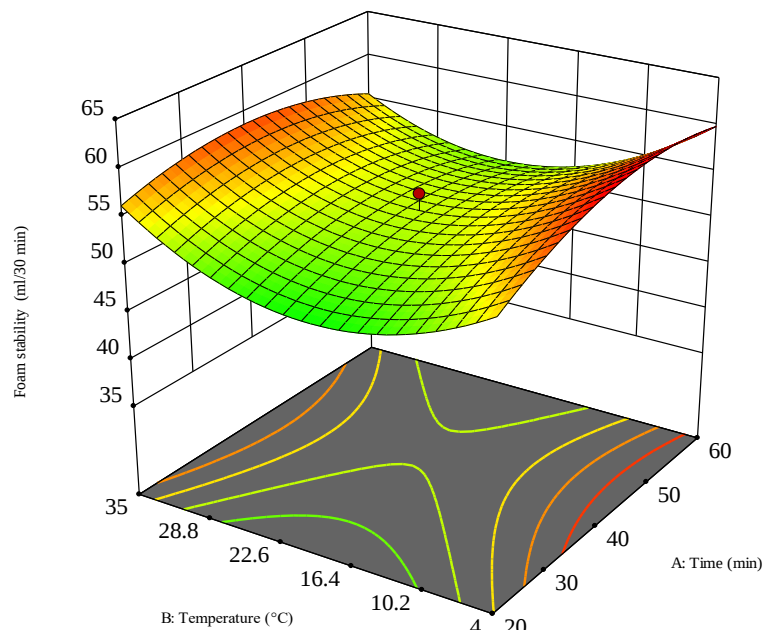
پایداری کف پروتئین نخود، با اندازه‌گیری حجم کف تولید شده پس از گذشت ۳۰ دقیقه از تشکیل کف ارزیابی شد که نتایج مربوط به آن در شکل (۳) ارائه شده است. بر اساس آنالیز واریانس، متغیرهای pH و زمان تاثیر معنی داری بر روی پایداری کف پروتئین نخود در ۳۰ دقیقه داشتند ($p<0.0001$) اما پارامتر دما و نسبت جامد به حلال تاثیر معناداری نداشتند. اثر متقابل متغیرهای زمان×pH و زمان×دما معنی دار بود ($p<0.05$).

با توجه به شکل (3a)، با افزایش pH، حجم کف و پایداری آن کاهش پیدا کرده است ($p<0.0001$). بطوریکه بیشترین پایداری کف پس از گذشت ۳۰ دقیقه از تشکیل کف، در

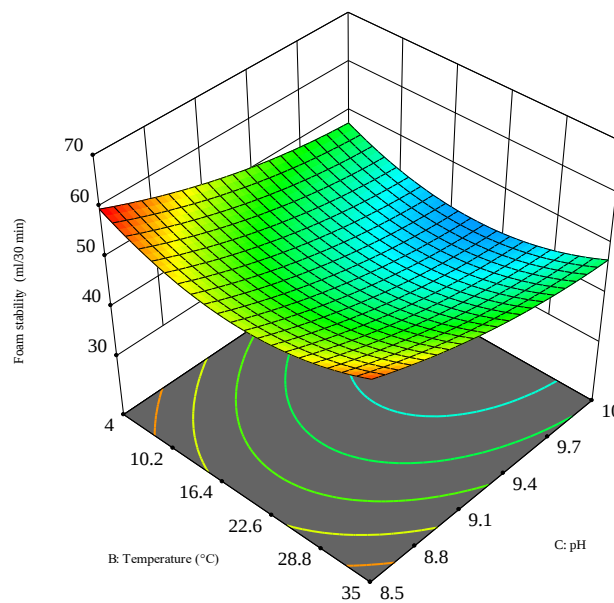
که در این رابطه Y پایداری کف (میلی لیتر) پروتئین نخود پس از گذشت ۳۰ دقیقه، A زمان سانتیفریژ (دقیقه)، B دمای سانتیفریژ (درجه سلسیوس) و C نماد pH می‌باشد.



a



b



c

Fig. 3. The interaction of time and pH (a), time and temperature (b), pH and temperature (c) on the stability of chickpea protein foam 30 minutes after foam formation

متقابل نشان می‌دهد که F-Value مدل درجه دوم برابر با ۸/۸۶ بوده که بیانگر معنا دار بودن مدل است ($p < 0.0001$) (جدول ۵). مقدار F-value مربوط به Lack of Fit در این مدل برابر با ۳/۲۳ است. عبارت دیگر مدل داده‌های تجربی را برازش می‌کند. مقدار R-Squared برابر با ۰/۸۹۲۲ نشان می‌دهد و بیانگر تطبیق زیاد نتایج مدل

۳-۴- ارزیابی پارامتر پاسخ پایداری کف در ۱۸۰ دقیقه

نتایج آنالیز واریانس را برای ارزیابی پارامتر پاسخ پایداری کف (در ۱۸۰ دقیقه) در مورد مدل کامل درجه دوم با آثار

با نتایج تجربی است. Adeq Precision در این مدل عدد Squared برابر با ۰/۴۸۸۰ و Adj R-Squared برابر با ۱۱/۰۸۸۸ بیانگر سیگنال کافی است. مقدار Pre R- Squared برابر با ۰/۷۹۱۵ است.

Table5. Variance analysis of the effect of independent variables on the stability of chickpea protein foam 180 minutes after foam formation

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	p-value
Model	1287/11	14	91/94	8/86	< significant 0.0001
A-Time	273/17	1	273/17	26/34	0/0001
B-Temperature	29/39	1	29/39	2/83	0/1130
C-pH	401/00	1	401/00	38/66	< 0.0001
D-Water/meal ra	5/60	1	5/60	0/5399	0/4738
AB	57/19	1	57/19	5/51	0/0330
AC	6/25	1	6/25	0/6026	0/4497
AD	6/25	1	6/25	0/6026	0/4497
BC	6/48	1	6/48	0/6243	0/4418
BD	6/29	1	6/29	0/6068	0/4481
CD	6/25	1	6/25	0/6026	0/4497
A²	5/30	1	5/30	0/5107	0/4858
B²	65/52	1	65/52	6/32	0/0239
C²	95/47	1	95/47	9/20	0/0084
D²	5/30	1	5/30	0/5107	0/4858
Residual	155/59	15	10/37		
Lack of Fit	134/75	10	13/48	3/23	0/1036 not significant
Pure Error	20/83	5	4/17		
Cor Total	1442/70	29			
Std. Dev.	3/22	R²	0/8922		
Mean	41/10	Adjusted R²	0/7915		
C.V. %	7/84	Predicted R²	0/4880		
		Adeq Precision	11/0888		

با توجه به شکل (4a)، با افزایش pH، حجم کف و پایداری آن کاهش پیدا کرده است ($p < 0.0001$). بطوریکه بیشترین پایداری کف پس از گذشت ۱۸۰ دقیقه از تشکیل کف، در pH برابر با ۸.۵ مشاهده شد. همچنین با گذشت زمان، پایداری کف افزایش یافت. شکل (4b)، تاثیر دما و زمان بر روی پایداری کف پروتئین نخود پس از گذشت ۱۸۰ دقیقه از تشکیل کف را نشان می‌دهد. نتایج شکل حاکی از آن است که با افزایش زمان پایداری کف افزایش یافت. با توجه به شکل (4c)، با افزایش pH، حجم کف و پایداری آن کاهش پیدا کرده است، اما در حد پایین دمایی شاهد افزایش پایداری

۳-۴-۱ نمودارهای سه بعدی پایداری کف در

۱۸۰ دقیقه

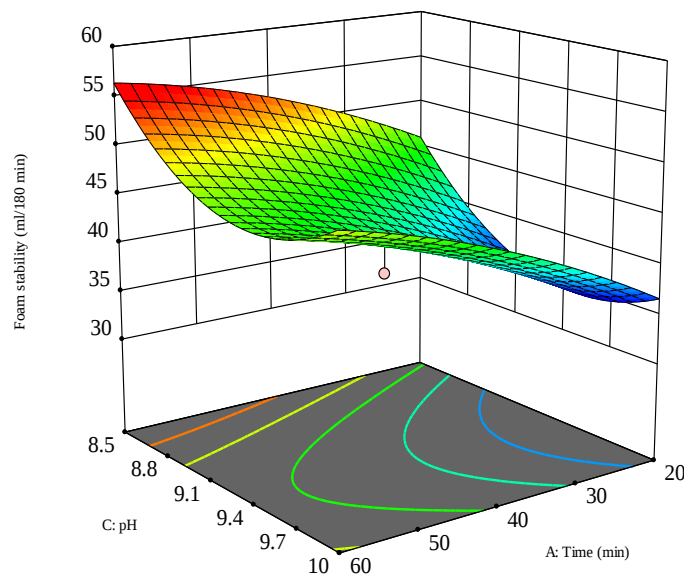
نتایج مربوط به پایداری کف در ۱۸۰ دقیقه در شکل (۴) ارائه شده است. بر اساس آنالیز واریانس، متغیرهای pH و زمان تاثیر معنی داری بر روی پایداری کف پروتئین نخود در ۱۸۰ دقیقه داشتند ($p < 0.05$)؛ اما پارامتر دما و نسبت جامد به حلال تاثیر معناداری نداشتند ($p > 0.05$). اثر متقابل متغیرهای زمان × دما معنی دار بود ($p < 0.05$).

کف می‌باشیم. با توجه به موارد عنوان شده، پایداری کف پروتئین نخود پس از گذشت ۱۸۰ دقیقه مطابق رابطه (۳) بدست آمد:

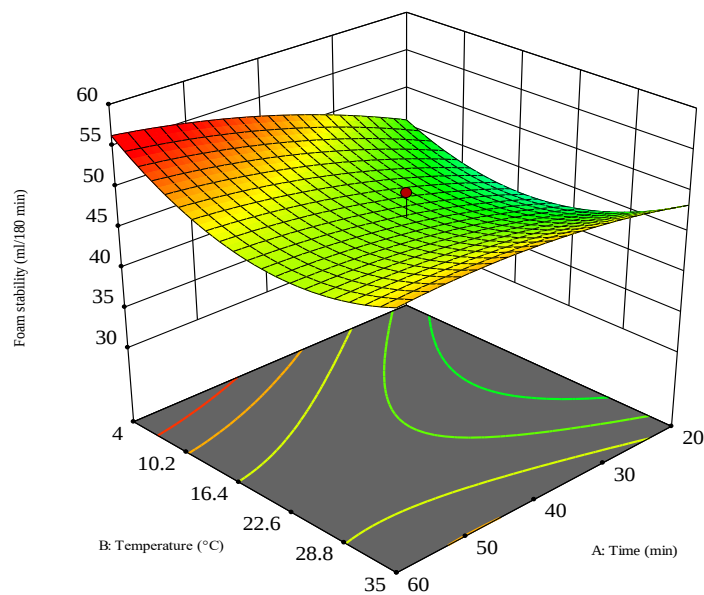
$$y=830.188+0.314A-0.461B-166.497C-0.006AB+0.016B^2+8.660C^2$$

دمای سانتریفوژ (درجه سلسیوس)، C نماد pH و D نسبت جامد به حلال (گرم به میلی لیتر) می‌باشد.

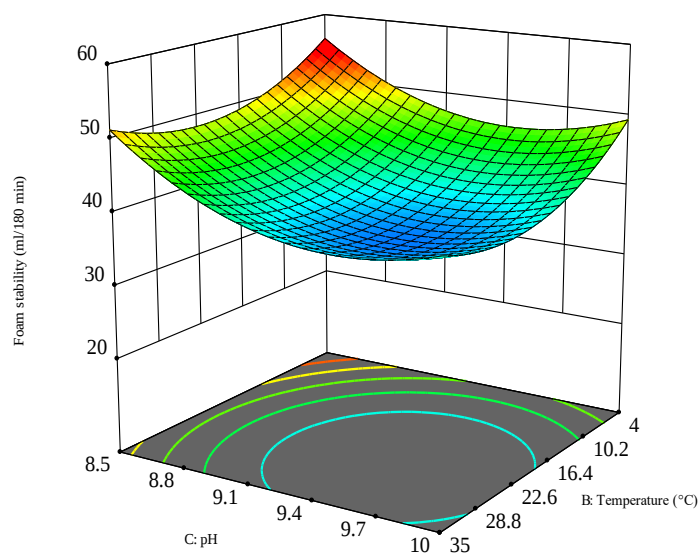
که در این رابطه Y پایداری کف (میلی لیتر) پروتئین نخود پس از گذشت ۱۸۰ دقیقه، A زمان سانتریفوژ (دقیقه)، B



a



b



C

Fig. 4. The interaction of time and pH (a), time and temperature (b), the pH and temperature (c) on the stability of chickpea protein foam 180 minutes after foam formation

نرم‌افزار برای بهینه‌سازی شرایط فرایندی استخراج و نتایج آزمون انجام شده در سه تکرار را نشان می‌دهد. با توجه به جدول (۶) و نتیجه حاصل از آزمون T-student اختلاف معناداری بین آزمون انجام شده و شرایط پیشنهادی نرم افزار مشاهده نمی‌شود، که بیانگر دقت مناسب مدل می‌باشد.

۳-۵- بهینه‌سازی پارامترهای پاسخ

برای بهینه سازی کف و پایداری کف پروتئین نخود کابلی، متغیرهای مستقل در محدوده تعریف شده و متغیرهای وابسته در حالت حداکثر قرار گرفتند. جدول (۶) شرایط پیشنهادی

Table 6. Recommended conditions of the software for optimizing the process and the tests performed

	Time	Temperature	pH	Water/ meal ratio	Foaming capacity	Foam stability (30 min)	Foam stability (180 min)
Predicted conditions	54.27	4.055	8.517	10.22	93.22	60.31	55.22
Experiments performed	54.27	4.055	8.517	10.22	94±5.1 ^{ns}	60±1.4 ^{ns}	55±1.2 ^{ns}

ns: not significant

پارامترهای pH، زمان، دمای استخراج و نسبت جامد به حلال به عنوان متغیرهای مستقل انتخاب شد. نتایج نشان داد که مدل آماری درجه دوم با دقت بالایی به منظور پیش‌بینی پارامترهای پاسخ، قابل استفاده بود و همچنین نتایج بهینه سازی و پیش‌بینی مدل با نتایج تجربی همخوانی مناسبی

۴- نتیجه گیری

در این مطالعه، بهینه‌سازی شرایط فرایند استخراج برای ارزیابی خصوصیات عملکردی کف و پایداری آن در پروتئین نخود کابلی رقم آنا با استفاده از روش RSM انجام و

معنی‌داری نداشتند. مقایسه شرایط بهینه پیشنهادی نرم افزار با نتایج آزمون تفاوت معنی‌دار نداشتند. سایر ترکیبات موجود در نمونه مانند کربوهیدرات و چربی نیز بر کیفیت پروتئین در تعیین ویژگی‌های عملکردی موثر می‌باشند. نتایج این پژوهش می‌تواند چشم اندازی آتی بر استفاده از این ماده به عنوان منبعی فراوان و در دسترس از پروتئین و به عنوان جایگزین پروتئین‌های حیوانی در محصولات هم چون فرآورده‌های قهوه برای تولید کف مناسب و بهبود ویژگی‌های مواد غذایی باشد.

داشت. مهمترین نتایج این تحقیق بیانگر آن است که، میزان pH استخراج بر کف و پایداری کف در ۳۰ و ۱۸۰ دقیقه پروتئین نخود تاثیر معنی‌داری داشته و افزایش pH استخراج، منجر به کاهش ظرفیت کف‌کنندگی و پایداری کف در ۳۰ و ۱۸۰ دقیقه شد. ارزیابی تاثیر متغیر مستقل زمان سانتریفوژ بر روی کف و پایداری آن نیز نشان داد که با افزایش زمان سانتریفوژ میزان ظرفیت کف‌کنندگی و پایداری کف در ۳۰ و ۱۸۰ دقیقه پروتئین نخود افزایش پیدا کردند. متغیرهای مستقل دما و نسبت جامد به حلال، بر تمامی پاسخ‌ها اثر

۸-منابع

- [۱] Dehghani, M., & Zamindar, N. (2023). Optimization of Water and Oil Absorption Capacity of Bilesavar Lentil Protein by Response Surface Method. *Journal of food science and technology (Iran)*, 19(133), 69-78.
- [۲] Venkidasamy, B., Selvaraj, D., Nile, A. S., Ramalingam, S., Kai, G., & Nile, S. H. (2019). Indian pulses: A review on nutritional, functional and biochemical properties with future perspectives. *Trends in Food Science & Technology*, 88, 228-242.
- [۳] Bakhshi Moghadam, Farnaz, Milani, Elnaz, Mortazavi, Seyed Ali, and Meshkani, Seyed Mohammad. (2012). The effect of edge pool methods on the functional characteristics of chickpea protein isolate. *Iran Food Science and Industry*, 10(38), 11-20.
- [۴] Kaur, M., & Singh, N. (2007). Characterization of protein isolates from different Indian chickpea (*Cicer arietinum* L.) cultivars. *Food chemistry*, 102(1), 366-374.
- [۵] Barać, M. B., Pešić, M. B., Stanojević, S. P., Kostić, A. Ž., & Čabrilo, S. B. (2015). Techno-functional properties of pea (*Pisum sativum*) protein isolates: A review. *Acta periodica technologica*(46), 1-18.
- [۶] Boye, J., Aksay, S., Roufik, S., Ribéreau, S., Mondor, M., Farnworth, E., & Rajamohamed, S. (2010). Comparison of the functional properties of pea, chickpea and lentil protein concentrates processed using ultrafiltration and isoelectric precipitation techniques. *Food Research International*, 43(2), 537-546.
- [۷] Day, L. (2013). Proteins from land plants—potential resources for human nutrition and food security. *Trends in Food Science & Technology*, 32(1), 25-42.

- [۸] Shevkani, K., Kaur, A., Kumar, S., & Singh, N. (2015). Cowpea protein isolates: functional properties and application in gluten-free rice muffins. *LWT-Food Science and Technology*, 63(2), 927-933.
- [۹] Papalamprou, E. M., Doxastakis, G. I., & Kiosseoglou, V. (2010). Chickpea protein isolates obtained by wet extraction as emulsifying agents. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 90(2), 304-313.
- [۱۰] Du, M., Xie, J., Gong, B., Xu, X., Tang, W., Li, X., et al. (2018). Extraction, physicochemical characteristics and functional properties of Mung bean protein. *Food hydrocolloids*, 76, 131-140.
- [۱۱] Arcan, I., & Yemenicioğlu, A. (2007). Antioxidant activity of protein extracts from heat-treated or thermally processed chickpeas and white beans. *Food chemistry*, 103(2), 301-312.
- [۱۲] Aydemir, L. Y., & Yemenicioğlu, A. (2013). Potential of Turkish Kabuli type chickpea and green and red lentil cultivars as source of soy and animal origin functional protein alternatives. *LWT-Food Science and Technology*, 50(2), 686-694.
- [۱۳] Adebawale, K., & Lawal, O. (2004). Comparative study of the functional properties of bambarra groundnut (*Voandzeia subterranean*), jack bean (*Canavalia ensiformis*) and mucuna bean (*Mucuna pruriens*) flours. *Food Research International*, 37(4), 355-365.
- [۱۴] Samaei, S. P., Ghorbani, M., Sadeghi Mahoonak, A., & Alami, M. (2021). Investigation of functional and antioxidant properties of faba bean protein hydrolysates using combines hydrolysis. *Food Processing and Preservation Journal*, 12(2), 25-38.
- [۱۵] Cherry, J. P., & Leffler, H. R. (1984). Seed. *Cotton*, 24, 511-569.



Scientific Research

Optimizing the functional characteristics of the protein foam stability of Kabuli chickpeas of Anna variety

Haniyeh Rezaee Barzani¹, Nafiseh Zamindar^{*2}

1-Master Student, Department of Food Science and Technology, College of Agriculture, Isfahan (Khorasgan) Branch, Islamic Azad University, Isfahan, Iran.

2-Associate Professor, Department of Food Science and Technology, College of Agriculture, Isfahan (Khorasgan) Branch, Islamic Azad University, Isfahan, Iran.

ARTICLE INFO	ABSTRACT
Article History: Received:2023/9/3 Accepted:2024/8/26 Keywords: Optimization, Foam stability, Chickpea protein, Foam capacity DOI: 10.22034/FSCT.22.158.31. *Corresponding Author E- n.zamindar@khuif.ac.ir	Chickpea protein is considered a high-quality natural protein and can be used as a nutrient or the main ingredient of foods, useful for human health. In this study, the effect of four independent variables including time (20-60) minutes , temperature (4-35) degrees of Celsius, pH (8.50-10) and solid to solvent ratio of (1:10 – 1:15) was investigated on the optimization of the physicochemical properties of Anna variety chickpea protein, and its functional properties, including foam formation capacity and stability (in 30 and 180 minutes). For this purpose, 30 standard runs were performed using the response surface method, central composite design including 6 repetitions at the central points. The maximum foam formation capacity and stability was obtained with optimal conditions of temperature of 4.055 °C, time of 54.27 min, pH value of 8.517 and solvent to solid ratio of 1:10.220. The highest foam stability was observed after 40 minutes, at pH equal to 8.5. The results of this research showed that the chickpea protein of Ana variety could be used as part of food formulation, which increases the nutritional value and functional characteristics of the product.