بررسی تاثیر pH و غلظت یونی بر روی کف کنندگی و امولسیون کنندگی حبوبات مختلف ایرانی

یزدان خسروی[1]، جواد کرامت[2]، ابراهیم حسینی[3]، علی اکبر کشاورز هدایتی[4*]، الهام محمودی[5]

[1]دانش آموخته کارشناسی ارشد علوم و مهندسی صنایع غذایی دانشگاه آزاد اسلامی واحد شهرکرد، شهرکرد، ایران

[2] دانشیار گروه علوم و مهندسی صنایع غذایی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران

[3] مربی گروه علوم و مهندسی صنایع غذایی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد شهرکرد، شهرکرد، ایران

[4]دانش آموخته کارشناسی ارشد علوم و مهندسی صنایع غذایی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران

[5]دانش آموخته کارشناسی علوم و مهندسی صنایع غذایی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد دامغان، دامغان، ایران

تاریخ دریافت: 1392/3/10 تاریخ پذیرش: 1392/6/24

چکیده

حبوبات از منابع مهم غذایی سرشار از پروتئین برای تغذیه به شمار می‌آیند. ارزش بیولوژیکی پروتئین حبوبات به سبب دارا بودن بسیاری از اسید های آمینه ضروری در مقایسه با سایر منابع تامین کننده پروتئین بسیار بالا می‌باشد. در این تحقیق ترکیب شیمیایی (پروتئین، خاکستر، چربی و رطوبت) و ویژگی های عملکردی (کف کنندگی و پایداری کف، امولسیون کنندگی و پایداری امولسیون) آرد 4 رقم از حبوبات ایرانی (باقلا، نخود، ماش و لوبیا چشم بلبلی) بررسی شد. نتایج نشان داد که کمترین مقدار رطوبت و خاکستر متعلق به نمونه نخود است. لوبیا کمترین مقدار پروتئین و چربی را دارد. نمونه های نخود و لوبیا به ترتیب بیشترین حجم رطوبت و پروتئین را نشان دادند. حبوبات حجم کف مناسبی داشتند و به لحاظ ظرفیت کف کنندگی و پایداری کف با یکدیگر تفاوت معنی داری داشتند ($p<0/05$). با افزایش pH از حالت اسیدی به حالت قلیایی ظرفیت کف کنندگی حبوبات افزایش یافت ($p<0/05$). ظرفیت امولسیون کنندگی آنها بین 17 تا 26 درصد بود. میزان اولید امولسیون با افزایش غلظت نمک تا 0/4 مولار افزایش یافت. ویژگی های امولسیون کنندگی و کف کنندگی حبوبات در حد مطلوبی بود و می‌توان از آنها برای تولید انواع مواد غذایی مانند کیک ها، سس های سالاد و مایونز استفاده کرد.

کلیدواژه‌ها: حبوبات، کف کنندگی، امولسیون، غلظت یونی.

* مسؤول مکاتبات: kaliakbar64@yahoo.com

1- مقدمه

حبوبات از منابع مهم غذائی سرشار از پروتئین، خصوصاً مردم کم درآمد جهان به شمار می رود. حبوبات در تغذیه انسان می توانند مکمل غذایی خوبی برای غلات محسوب شوند و از نظر مصرف غذایی بعد از غلات حائز رتبه دوم هستند (11). طبق آمار منتشر شده FAO سطح زیر کشت انواع حبوبات جهان در سال 2004، 71 میلیون هکتار و تولید آنها 63/8 میلیون تن است. همچنین میزان صادرات این محصولات در سال 2003 بیش از 1134 هزار تن بوده است (8). تلاش برای یافتن منابع جایگزین و ارزان پروتئین برای تغذیه انسان منجر به انجام پژوهش های مختلفی در رابطه با به کارگیری برخی از حبوبات کمتر شناخته شده در کشورهای در حال توسعه شده است که می‌توان به حبوباتی نظیر موکونا بین[1]، بامباراگراندنات[2] و غیره اشاره نمود (6).

امولسیون ها و کف ها دو سیستم فازی هستند که در آنها یک فاز پراکنده در یک فاز آبی پیوسته وجود دارد. معمولاً هر دو در سیستم های غذایی یافت می‌شوند و تشکیل آنها به طور قابل توجهی تحت تأثیر فعالیت سطحی پروتئین ها است. امولسیفایر ها و مواد تشکیل دهنده کف، کشش سطحی را کاهش داده و تشکیل یک لایه پایدار سطحی آب - روغن یا آب – هوا تسهیل می‌کند. فعالیت های سطحی پروتئین ها به ترکیب، انعطاف پذیری، ثبات ترکیب، توازن آب دوست و آب گریز در ساختار اولیه و فاکتورهای محیطی (pH، قدرت یونی، دما، واکنش پروتئین و لیپید) وابسته است (15).

کف در مواد غذایی شامل پراکندگی حباب های گاز در داخل یک فاز مایع و یا یک فاز نیمه جامد پیوسته است. خاصیت کف کنندگی معمولا در ایجاد خصوصیات رئولوژیکی مطلوب در مواد غذایی نظیر بافت نان، کیک، خامه زده شده، بستنی و آبجو نقش اساسی دارد (15).

لاوال و همکاران (12) بیشترین ظرفیت کف کنندگی در مورد ایزوله پروتئینی لوبیا لوکاست آفریقایی را در غلظت 0/4 مولار مشاهده کردند. در تحقیق دیگری، خاصیت کف کنندگی و پایداری کف آرد کانولا مورد بررسی قرار گرفت (9). در این پژوهش کنجاله کامل کانولا خاصیت به هم زدن و پایداری کف بیشتری نسبت به نوع بدون پوست آن از خود نشان داد.

پروتئین ها به تشکیل و پایداری امولسیون ها کمک می کنند. کارایی پروتئین ها به عنوان امولسیفایر بستگی به سطح آب گریزی، بار الکتریکی، الاستیسیته، سختی و ویسکوزیته آنها در محلول دارد. خواص امولسیون کنندگی به صورت خطی با افزایش آب گریزی پروتئین افزایش نمی یابد بلکه این خواص بستگی به تعادل سطح آب دوست- آب گریز دارد (15).

در پژوهشی که توسط نصری و تینای (7) بر روی خواص امولسیون کنندگی و پایداری امولسیون انجام شد، نتایج نشان داد خاصیت امولسیون کنندگی کنسانتره پروتئینی فنوگریک[3] به شدت تحت تاثیر pH قرار دارد، به طوری که کمترین میزان آن در pH= 4/5 که نقطه ایزوالکتریک آن است مشاهده می‌شود. در پژوهشی دیگر توسط آدبوال و همکاران (1) مشخص گردید هر چه غلظت آرد افزایش یابد، میزان خواص امولسیون کنندگی کاهش می‌یابد.

به طور کلی، هدف از انجام این پژوهش، تعیین میزان تولید امولسیون و کف و پایداری این دو تحت تیمار pH و نمک در حبوبات مختلف ایرانی می‌باشد. نتایج این پژوهش می‌تواند راه گشای استفاده از این ماده به عنوان منبعی ارزان و فراوان از پروتئین و سایر ترکیبات تغذیه ای مطلوب در فرآورده های مختلف صنایع غذایی می‌باشد. همچنین می‌توان ترکیبات عملگر مورد نیاز را از این منابع استخراج کرده و همراه با ترکیبات دیگری نظیر آرد سایر حبوبات و غلات در محصولاتی چون انواع کیک و بیسکوئیت استفاده نمود.

2- مواد و روش‌ها

2-1 مواد شیمیایی

مواد شیمیایی و حلال‌های مورد استفاده در این پژوهش از شرکت‌های خارجی تهیه شده و از درجه آنالیتیکی بودند.

2-2 مواد اولیه

در این پژوهش چهار نمونه از حبوبات بومی ایران، شامل ارقام نخود (البرز)، لوبیا چشم بلبلی (کامران)، باقلا (برکت90) و ماش (VC1973A) در سال زراعی 1390-1389 از مرکز تحقیقات کشاورزی استان گلستان (گرگان)، مرکز تحقیقات کشاورزی

1- Mucona bean
2- Bambarra groundnut
3- Fenugreek

واحد خمین و گروه زراعت واصلاح نباتات دانشکده کشاورزی دانشگاه تهران تهیه گردید. حبوبات تهیه شده در کیسه‌های پلاستیکی پلی اتیلنی مقاوم به نفوذ رطوبت و هوا بسته بندی و تا انجام آزمایشات در فریزر با دمای 10- درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند. نمونه‌ها پس از انتقال به آزمایشگاه توسط آسیاب چکشی به آرد تبدیل شده و پس از مخلوط کردن و همگن نمودن نمونه‌های آرد، از الک با مش مناسب (40- 18) عبور داده شدند. در انتها نمونه‌های آرد در کیسه‌های پلاستیکی ریخته شده و در داخل ظروف درب دار در فریزر نگهداری شدند.

2-3 آنالیز شیمیایی

میزان رطوبت، پروتئین (N × 5/95)، چربی و خاکستر بر اساس روش استاندارد AOAC (4) تعیین شد.

2-4 آماده سازی نمونه‌ها

استخراج روغن بر اساس روش قدس ولی و همکاران (9) تعیین شد در ابتدا به منظور استخراج روغن نمونه‌ها از حلال n- هگزان [(دو مرتبه هر بار به مدت 30 دقیقه و نسبت سبوس به حلال 1 به 3 (وزنی– حجمی)] استفاده شد. سپس نمونه‌های حاصل به مدت 24 ساعت در زیر هود قرار داده شد تا حلال باقی مانده در نمونه جدا شود و در نهایت دوباره نمونه‌ها با استفاده از الک با مش مناسب (40- 18) عبور داده شد و برای انجام سایر آزمایشات به کار رفت.

2-5 کف کنندگی و پایداری کف

کف کنندگی و پایداری کف توسط روش لین و همکاران (13) تعیین شد. برای این منظور یک سوسپانسیون 2 درصد (وزنی– حجمی) از نمونه روغن گیری شده الک شده با آب مقطر تهیه و 50 میلی لیتر از آن درون یک مخلوط کن ریخته و به مدت 2 تا 3 دقیقه مخلوط شد. مخلوط حاصل بلافاصله به یک استوانه مدرج منتقل و بخش داخلی مخلوط کن با 10 میلی لیتر آب مقطر شستشو داده و به استوانه مدرج اضافه شد. هم‌چنین مطالعات اثر pH و غلظت یونی محیط بر روی خواص مذکور نیز بررسی گردید. به طوری که محدوده ی pH 2، 4، 6، 7، 8 و 10 توسط هیدورکسید سدیم و اسید کلریدریک 0/5 مولار و غلظت یونی (با استفاده از کلرید سدیم) در مقادیر 0/1، 0/2، 0/4، 0/6، 0/8و 1/0 مولار مخلوط‌های مختلف آردی تهیه گردید و خصوصیات کف کنندگی و پایداری کف با اعمال این پارامترها مورد مطالعه قرار گرفت. حجم مخلوط قبل و بعد از کف کردن یادداشت شد. درصد حجم کف توسط رابطه زیر به دست آمد:

$$\frac{\text{حجم کف تولیدی}}{\text{حجم کل مخلوط}} \times 100 \quad (1)$$

پایداری کف نیز به صورت حجم کف باقیمانده پس از زمان 60 دقیقه بیان گردید.

2-6 امولسیون کنندگی و پایداری امولسیون

امولسیون کنندگی و پایداری امولسیون بر اساس روش یاسوماتسو و همکاران (12) تعیین شد. 0/5 گرم نمونه روغن گیری شده الک شده در یک لوله سانتریفوژ مدرج با 3 میلی لیتر آب مقطر مخلوط و 3 میلی لیتر روغن ذرت تصفیه شده به آن اضافه شد. سپس محتوای لوله سانتریفوژ برای مدت 5 دقیقه به شدت مخلوط و به مدت 30 دقیقه سانتریفوژ (g ×2000) شدند. فعالیت امولسیون کنندگی(%) از رابطه زیر محاسبه شد:

$$\frac{\text{حجم لایه امولسیون}}{\text{حجم کل مخلوط}} \times 100 \quad (2)$$

برای محاسبه پایداری امولسیون، امولسیون تهیه شده در یک استوانه ی مدرج ریخته شد و زمانی که دو فاز شدن در امولسیون رخ داد به عنوان نقطه شکستگی امولسیون مطرح شد. تعیین پایداری امولسیون در زمان 60 دقیقه انجام گردید.

همچنین، ظرفیت امولسیون کنندگی در pHهای مختلف 2، 4، 6، 7، 8 و 10 و غلظت‌های مختلف نمک (با استفاده از کلرید سدیم) 0/1، 0/2، 0/4، 0/6، 0/8و 1/0 مولار مورد پژوهش قرار گرفت. برای تنظیم pH هر یک از نمونه‌ها از هیدورکسید سدیم و اسید کلریدریک 0/5 مولار استفاده شد.

2-7 آنالیز آماری داده‌ها

آزمون‌ها در قالب طرح کاملا تصادفی و هر یک از آزمون‌ها در سه تکرار انجام گرفت. آنالیز واریانس (ANOVA) و سپس مقایسه میانگین برای یافتن اختلاف معنی دار در سطح ($p<0/05$) با استفاده از روش دانکن و به کمک نرم افزار SAS (9,0) انجام شد. برای رسم نمودار از نرم افزار اکسل(Excel) استفاده گردید.

3- نتایج و بحث

3-1- ترکیب شیمیایی آرد حبوبات بومی ایرانی

در جدول 1، نتایج حاصل از آزمون های تجزیه ای آرد حبوبات مورد بررسی، آورده شده است.

در این جدول، نمونه های حبوبات از لحاظ مقدار پروتئین، چربی، رطوبت و خاکستر اختلاف معنی داری با یکدیگر دارند ($p \leq 0/05$). طبق نتایج به دست آمده از جدول 1، درصد چربی آرد ماش از همه بیشتر و به میزان 3/33% و پس از آن در آرد نخود به میزان 3/02% و به ترتیب در آرد باقلا و لوبیا چشم بلبلی کمترین مقدار را دارند. همچنین میزان پروتئین آرد نخود از همه بیشتر(39/43%) و پس از آن به ترتیب آرد ماش، باقلا و لوبیا چشم بلبلی قرار دارند

مطابق توضیحات بخش های قبلی، ویژگی های کاربردی آرد حبوبات ارتباط مستقیمی با پروتئین موجود در آن ها دارد چرا که این ویژگی ها از جمله خاصیت جذب آب، کف کنندگی و تشکیل ژل در اثر عملکرد پروتئین ها صورت می گیرد.

3- 2- بررسی ظرفیت امولسیون کنندگی آرد حاصل از حبوبات

ویژگی امولسیون کنندگی پدیده ای فیزیکوشیمیایی است که از طریق تشکیل پیوندهای شیمیایی مختلف مانند پیوند واندروالسی، یونی، قطبی- قطبی و غیره فاز روغن در فاز آب توسط درشت مولکولهای چربی دوست- آب دوست صورت می گیرد. چربی موجود، مکان هایی که برای باند کردن مواد آب گریز در دسترس است را بلوکه می کند، این امر باعث کاهش آب دوستی سطحی می‌شود که به طور معمول برای تشکیل امولسیون امری ضروری است (15).

از نظر امولسیون کنندگی نمونه ها اختلاف معنی داری با یکدیگر داشتند. با توجه به آزمایشات انجام شده بر روی نمونه های مورد نظر ملاحظه شد که بیشترین مقدار روغن امولسیون شده توسط آرد باقلا صورت گرفته است. ظرفیت امولسیون کنندگی آرد لوبیا چشم بلبلی و باقلا به طور معنی داری بیشتر از نخود و ماش بوده است.

لاوال و همکاران (12) نشان دادند که میزان بالای پروتئین لزوماً با مقدار حداکثر ظرفیت امولسیون کنندگی مرتبط نمی باشد و عواملی مانند حلالیت، آب گریزی سطح و انعطاف مولکولی بر رفتار امولسیونی پروتئین های کروی نظیر پروتئین نخود که ساختار چهارم گسترده ای دارند مؤثر می‌باشد که احتمالاً می‌توان میزان پایین بودن ظرفیت امولسیون کنندگی آرد نخود را به این امر ارتباط داد. در مورد آرد ماش می‌توان دلیل پایین بودن ظرفیت امولسیون کنندگی را به بالا بودن چربی آن (3/33%) نسبت داد، به این دلیل که در آرد ماش قسمتی از ظرفیت امولسیون کنندگی قبلاً توسط چربی اشباع گردیده است و لذا ظرفیت پذیرش روغن اضافی آنها کمتر از لوبیا و باقلا است (جدول 2).

3-3- تاثیر pH بر میزان امولسیون کنندگی حبوبات و پایداری آن‌ها

پروتئین می تواند توسط کاهش کشش سطحی قطره های روغن و فراهم کردن دافعه الکتروستاتیکی بر سطح قطره روغن، امولسیون را تشکیل داده و سبب پایداری آن شود. اثر pH بر روی خواص امولسیون کنندگی از قانون اثر pH بر حلالیت پروتئین تبعیت می کند. بنابراین طبیعی است که حلالیت پروتئین در خواص امولسیون کنندگی آرد تأثیرگذار باشد. بار خالص در لایه بین سطحی آب دوست- چربی دوست به pH محلول وابسته است و ممکن است فعالیت امولسیون کنندگی پروتئین را کاهش و یا افزایش دهد. اختلاف در ظرفیت امولسیون کنندگی آردها در برابر pH ممکن است به دلیل بر هم کنش ترکیبات دیگر آرد نظیر کربوهیدرات با پروتئین، بین کربوهیدرات با کربوهیدرات، بین کربوهیدرات و پروتئین با سایر ترکیبات نظیر فیبر، سلولز و خاکستر باشد که بر روی این خاصیت تأثیر می‌گذارند (15).

مطابق با نتایج به دست آمده از تاثیر pH بر میزان امولسیون کنندگی حبوبات مشاهده شد که در pH=4 ظرفیت امولسیون کنندگی به دلیل نزدیک شدن به نقطه ایزوالکتریک کاهش می یابد در حالی که در pH=10 بیشترین میزان ظرفیت امولسیون کنندگی به دلیل بالا بودن حلالیت پروتئین در نمونه های مورد نظر به جز آرد لوبیای چشم بلبلی دیده می شود در حالی که در 7 =pH ظرفیت امولسیون کنندگی آرد لوبیای چشم بلبلی بیشترین میزان را از خود نشان داده است (شکل 1).

جدول1- ترکیبات شیمیایی آرد حبوبات بومی ایرانی

نمونه	رطوبت	پروتئین	چربی	خاکستر
باقلا	8/16 ±0/04^{b}	28/96 ±0/05^{c}	2/23 ±0/04^{c}	4/65±0/04^{a}
نخود	6/60 ±0/04^{d}	39/43±0/04^{a}	3/02 ±0/04^{b}	3/63±0/04^{c}
لوبیا	8/65 ±0/04^{a}	21/80±0/04^{d}	1/75±0/04^{d}	4/69±0/04^{a}
ماش	7/32 ±0/04^{c}	30/80±0/04^{b}	3/33±0/04^{a}	4/18±0/04^{b}

در هر ستون اعداد با حروف یکسان دارای تفاوت معنی‌داری در سطح 5 درصد نیستند ($p \geq 0/05$).

جدول 2- ظرفیت امولسیون کنندگی آرد حبوبات ایرانی (میلی لیتر)

نمونه	لوبیا	نخود	ماش	باقلا
روغن امولسیون شده	26±0/02^{b}	16±0/23^{d}	18±0/09^{c}	28±0/14^{a}

در هر ردیف اعداد با حروف یکسان دارای تفاوت معنی داری نیستند($p \geq 0/05$).

جدول 3- ظرفیت کف کنندگی آرد حبوبات ایرانی (درصد)

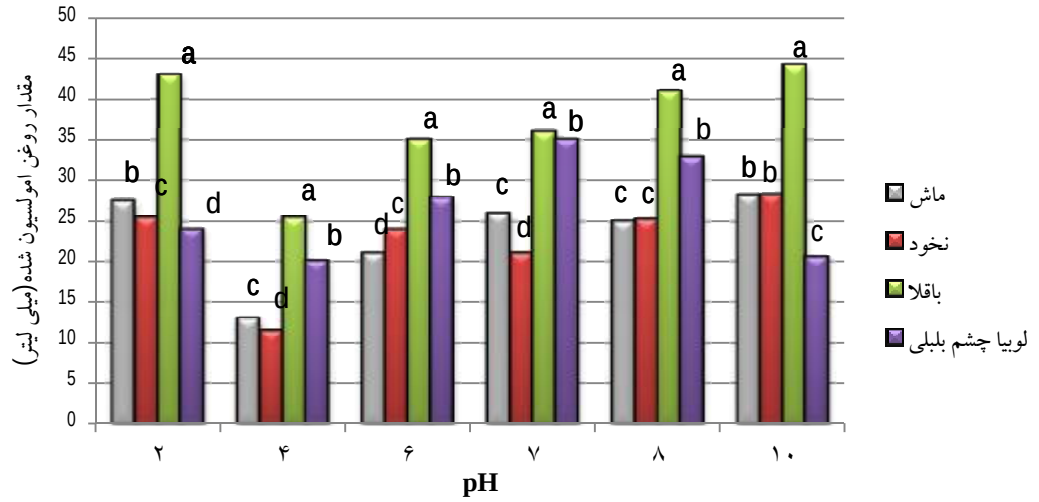
نمونه	لوبیا	نخود	ماش	باقلا
کف تولیدی	64 ±0/09^{b}	41±0/11^{c}	36 ±0/23^{d}	69 ±0/10^{a}

در هر ردیف اعداد با حروف یکسان دارای تفاوت معنی داری نیستند($p \geq 0/05$).

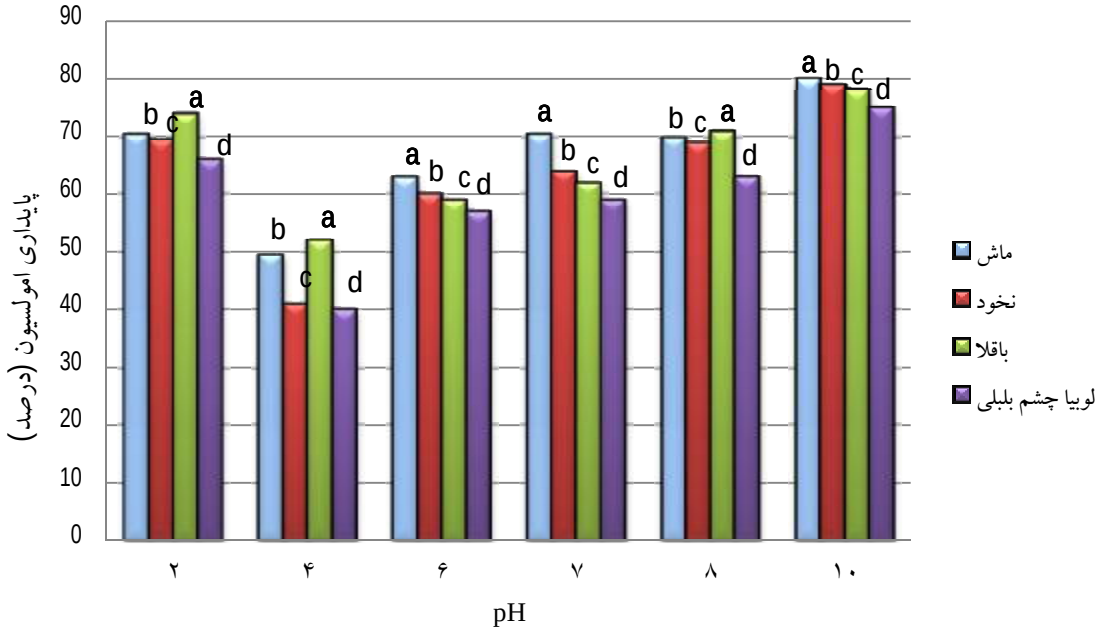
جدول 4- بررسی پایداری کف آرد حبوبات در غلظت های نمکی مختلف پس از 60 دقیقه (مولار)

نمونه/غلظت	0	0/1	0/2	0/4	0/6	0/8	1/0
ماش	23/9±1/9^{c}	24/0±1/3^{c}	21/5±1/2^{c}	20/3 ±1/0^{d}	20/2±1/0^{d}	20/1 ±1/7^{d}	19/1 ±1/1^{d}
نخود	33/2±1/0^{b}	34/2±1/2^{b}	34/5±1/2^{b}	30/2±1/6^{c}	28/3±1/8^{c}	27/5±1/3^{c}	26/3±1/3^{c}
باقلا	38/4±0/8^{a}	40/7±0/7^{a}	44/7±0/8^{a}	43/8 ±1/4^{a}	37/6 ±1/2^{a}	37/5±1/5^{a}	37/3±1 /0^{a}
لوبیا	35/1±0/5^{a}	35/8±1/6^{a,b}	36/1±1/0^{b}	37/3 ±1/0^{b}	34/3±1/0^{bc}	32/5 ±1/2^{b}	30/2±1/8^{b}

در هر ستون اعداد با حروف یکسان دارای تفاوت معنی‌داری نیستند($p \geq 0/05$).



شکل 1- تاثیر pH بر میزان امولسیون کنندگی آرد حبوبات مختلف (p<0/05)



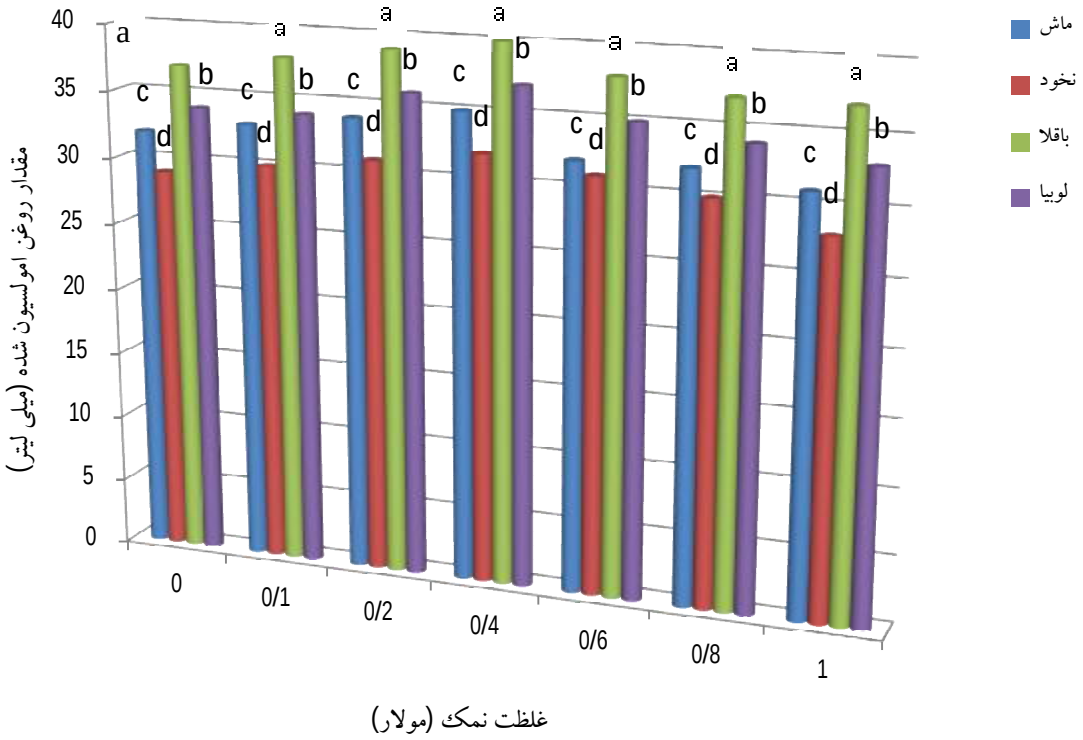
شکل 2- تاثیر pH بر پایداری امولسیون آرد حبوبات پس از 60 دقیقه (p<0/05)

آدبوال و همکاران (1) به این نتیجه رسیدند که پایداری امولسیون آرد بامبارا گرندنات در pH ایزوالکتریک کمترین مقدار را دارد و دلیل آن را تجمع و عدم پایداری غشای بین سطحی عنوان نموده اند، که با نتایج این تحقیق مطابقت دارد. آدبوال و همکاران (1) اختلاف در فعالیت امولسیونی آردهای مختلف را به دلیل برهم کنش ترکیبات دیگر آرد با پروتئین و با یکدیگر عنوان نموده اند که بر این ویژگی تاثیر گذار است. به عنوان مثال میزان بالای کربوهیدرات را دلیل کاهش این خاصیت پیش بینی کرده اند. با توجه به نتایج به دست آمده از شکل 2 آرد ماش، نخود و باقلا بیشترین ظرفیت امولسیون کنندگی را در pH=2 و pH=10 از خود نشان دادند در حالی که آرد لوبیای چشم بلبلی در pH=7 بیشترین میزان ظرفیت امولسیون کنندگی را دارا می‌باشد. هر چه میزان انحلال پروتئین در حلال بیشتر شود قابلیت تولید امولسیون نمونه ها بیشتر خواهد شد. به دلیل حلالیت کم نمونه ها در pH ایزوالکتریک میزان امولسیون تولیدی نیز کاهش خواهد یافت. با دور شدن از نقطه ایزوالکتریک و افزایش حلالیت نمونه ها میزان امولسیون تولیدی نیز افزایش می‌یابد(16). با توجه به تحقیقات انجام شده بر روی نمونه های مورد نظر، نتایج تاثیر pH بر میزان امولسیون کنندگی پس از 60 دقیقه در شکل 2 قابل ملاحظه است. همان طور که مشاهده می‌شود آرد ماش در تمامی دامنه های pH به جز pH=8 و pH=4 بیشترین میزان پایداری را از خود نشان داد که این امر به دلیل داشتن دو نقطه ایزوالکتریک در آرد ماش می‌باشد. وجود دو نقطه ایزوالکتریک احتمالا به دلیل است که پروتئین در نمونه های مورد نظر از دو جزء اصلی مانند آلبومین ها و گلوبولین ها تشکیل شده است به طوری که هر یک در pH خاصی کمترین حلالیت را از خود نشان می‌دهند (3). نکته قابل توجه این که نمونه ها در pHهای بالاتر از 7 امولسیون ها پایداری بیشتری نسبت به pHهای کمتر از 7 از خود نشان داده اند از این رو بهترین پایداری را در pH=10 و کمترین پایداری امولسیون را در pH=4 به دست آمد. بیشترین پایداری امولسیون که در pH=10 مشاهده شد، ممکن است به دلیل میزان بیشتر پروتئین های محلول باشد که می‌توانند از طریق تشکیل لایه هایی پایدار و همچنین توازن میزان جذب واندروالسی و دافعه نیروهای الکترواستاتیکی در پایداری امولسیون مؤثر باشند. آدبوال و همکاران (1) در تحقیقی که بر روی آرد بامبارا گراندنات انجام دادند به این نتیجه رسیدند که پایداری امولسیون در pH ایزوالکتریک کمترین مقدار را دارد و دلیل آن را تجمع و عدم پایداری غشای بین سطحی عنوان نموده اند. کمترین میزان پایداری امولسیون مربوط به آرد لوبیای چشم بلبلی می‌باشد که می‌توان دلیل این امر را به میزان کم پروتئین و چربی در آرد لوبیای چشم بلبلی نسبت داد. از این رو چسبندگی دو طرفه بین چربی و پروتئین به وجود نیامده و استحکام بین فاز آب و چربی کم شده و در نتیجه پایداری امولسیون کاهش می یابد.

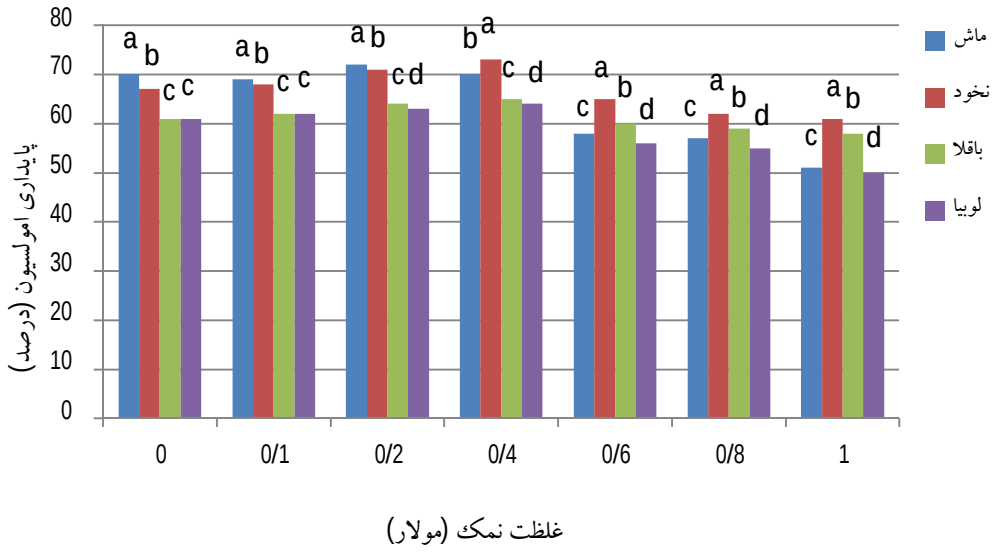
3-4- تاثیر غلظت نمک بر ظرفیت امولسیون کنندگی حبوبات و پایداری آن‌ها

بر طبق نتایج لاوال و همکاران (12)، غلظت نمک بر روی فعالیت اتصال و حلالیت مولکول های پروتئین و در نتیجه بر روی پراکندگی قطرات روغن مؤثر بوده است. به طوری که در غلظت های پایین (تا حدود0/2 مولار)، مولکول های پروتئین دارای شکل فضایی مناسب برای ساختن یک لایه ی سخت و ویسکوالاستیک در اطراف قطرات روغن هستند که باعث افزایش قدرت امولسیون کنندگی آن ها می‌شود. عکس این حالت زمانی دیده می‌شود که غلظت نمک بیشتر از 0/4 مولار باشد که این نتایج با نتایج این تحقیق مطابقت دارد به طوری که در شکل 4 مشاهده می‌شود در تمامی نمونه ها تا غلظت 0/4 مولار نمک شاهد افزایش امولسیون کنندگی و پس از این غلظت ظرفیت امولسیون کنندگی کاهش یافت به طوری که تا غلظت 1 مولار ظرفیت امولسیون کنندگی کاهش پیدا می کند.

افزایش ابتدایی غلظت نمک در محلول تا حدود 0/4 مولار، تشکیل لایه ای باردار در اطراف گلبولهای چربی را افزایش می‌دهد که سبب دافعه ی دو طرفه بین این دو می‌شود. همچنین در غلظت های یونی پایین، یک لایه هیدراته در اطراف لایه بین سطحی تشکیل شده و باعث کاهش در انرژی بین سطحی شده و لخته شدن(تجمع) قطرات را متوقف می کند. در غلظت های بالاتر، میزان باز شدن مولکول پروتئین کاهش یافته و احتمالاً باعث کاهش جذب پروتئین در لایه مرزی بین آب- روغن خواهد شد(18).



شکل 3- تاثیر غلظت نمک بر مقدار روغن امولسیون شده



شکل 4- میزان پایداری امولسیون پس از زمان 48 ساعت (درصد)

با توجه به داده های شکل 4 باقلا بیشترین ظرفیت امولسیون کنندگی را در کلیه غلظت های نمکی دارا بود ولی با گذشت زمان (48 ساعت) میزان پایداری امولسیون باقلا کاهش چشمگیری داشت ولی با توجه به نتایج حاصل از شکل 4 بیشترین پایداری در کلیه غلظت های نمکی در آرد نخود مشاهده شد.

کاهش در مقدار پایداری امولسیون با گذشت زمان ممکن است به دلیل تماس بیشتر بین قطرات و در نتیجه تجمع (لخته شدن) و به هم پیوستن قطرات روغن به عنوان فاز پراکنده باشد (12). با توجه به داده های به دست آمده در مورد نقطه شکست مشخص شد که در تمام مقادیر غلظت های نمک مورد مطالعه، امولسیون آرد لوبیا پایداری کمتری داشت. تفاوت در پایداری امولسیون در نمونه های مختلف ممکن است به دلیل تفاوت در شکل فضایی پروتئین های ساختمانی در قدرتهای یونی مختلف و همچنین ترکیب پروتئینی متفاوت آنها باشد (12).

3-5- بررسی میزان کف‌کنندگی آرد حاصل از حبوبات

پروتئین ها با دارا بودن ترکیبات فعال سطحی موجب تولید کف در آرد ها می‌شوند. پروتئین های محلول باعث کاهش کشش سطحی در فضای بین سطحی بین حباب های هوا و مایع احاطه می شوند. تولید فیلم های پروتئینی چند لایه، انعطاف پذیری سطح هوا- آب را افزایش می دهند، در نتیجه شکست حباب های هوا سخت شده و کف مستحکم تر تشکیل می شود. با روغن گیری میزان حلالیت پروتئین افزایش می یابد که سبب افزایش تشکیل کف می شود (9). مقایسه میانگین نتایج آزمون کف کنندگی نشان داد که آرد های تحت آزمون تفاوت معنی داری از نظر کف کنندگی داشتند. ظرفیت کف کنندگی اندازه گیری بیشترین کف تولید شده توسط یک محلول است در حالی که پایداری کف مقاومت کف نسبت به از بین رفتن را نشان می‌دهد. حضور چربی به طور معنی داری ظرفیت و پایداری کف را کاهش می‌دهد. لیپیدها در مقایسه با پروتئین ها با سرعت بیشتری جذب سطح مشترک هوا -آب می‌شوند و از جذب سطحی پروتئین ها حین تولید کف جلوگیری می‌کنند. از آن جا که فیلم لیپیدی تولیدی فاقد خصوصیات ویسکوالاستیک و چسبندگی مورد نیاز برای تحمل فشار داخلی حباب کف است، حباب های بزرگی ایجاد می‌شود که حین فرآیند ایجاد کف به سرعت از بین می‌روند. این امر دلیل احتمالی کاهش معنی دار خصوصیات کف کنندگی با افزایش محتوای چربی است. به علاوه دناتوراسیون حرارتی جزئی باعث بهبود خصوصیات کف کنندگی پروتئین می‌شود در حالی که حرارت دهی بیش از حد این پارامتر را کاهش می‌دهد (15).

همان طور که استنباط می‌شود بیشترین کف کنندگی مربوط به آرد باقلا و لوبیا چشم بلبلی و کمترین میزان مربوط به ماش می‌باشد. میزان بالای کف حاصل از آرد باقلا و لوبیا چشم بلبلی را می‌توان به دلیل ساختار پروتئین و پایین بودن میزان چربی در نمونه های فوق نسبت داد. می‌توان وجود اختلاف در میزان کف کنندگی حبوبات مختلف را به مقدار و نوع پروتئین های محلول در آنها و همچنین میزان لیپیدهای قطبی و غیر قطبی موجود در آنها نسبت داد. به عبارت دیگر قابلیت کف کنندگی مناسب بستگی به وجود مولکولهای پروتئین انعطاف پذیری دارد که قادرند کشش سطحی را کاهش دهند، در حالی که قابلیت کف کنندگی ضعیف به پروتئین های کروی مربوط می‌شود که به طور خیلی منظم قرار دارند و در برابر دناتوراسیون سطحی مقاومت می‌کنند (16).

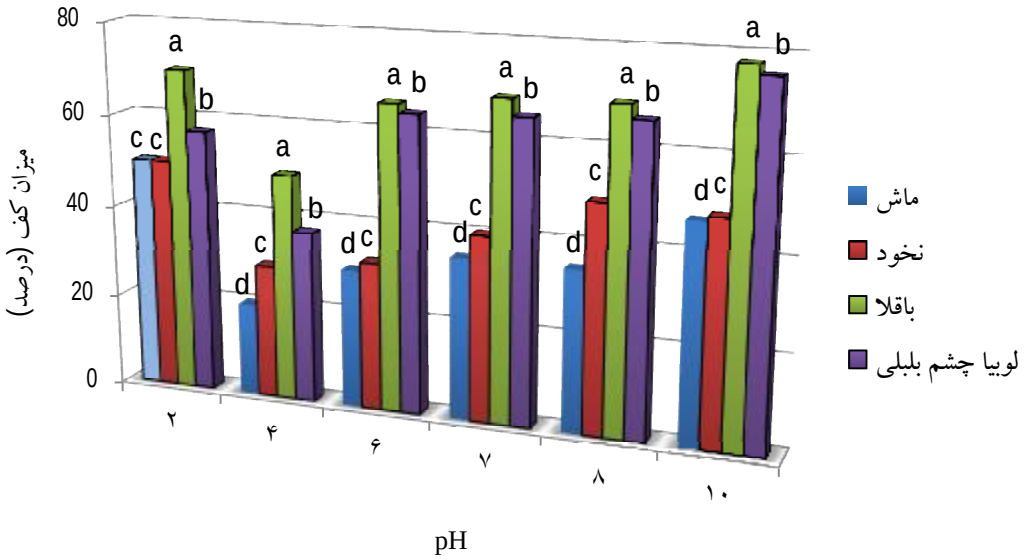
3-6- بررسی ظرفیت کف کنندگی حبوبات و پایداری آن‌ها در انواع pH

ظرفیت کف کنندگی و پایداری کف به تغییرات pH وابسته اند. با توجه به داده های به دست آمده کمترین میزان کف کنندگی در محدوده نقطه ایزوالکتریک مشاهده شد که این عامل را به فشرده تر بودن پروتئین نسبت به pH های دیگر نسبت داده اند. با افزایش pH بعد از نقطه ایزوالکتریک، افزایش کف کنندگی مشاهده شد که می توان آن را به افزایش انعطاف پذیری پروتئین ها در آرد نسبت داد. نتایج به دست آمده در رابطه با میزان کف کنندگی با نتایج اکثر پژوهشگران مطابقت دارد (2، 5، 12، 17).

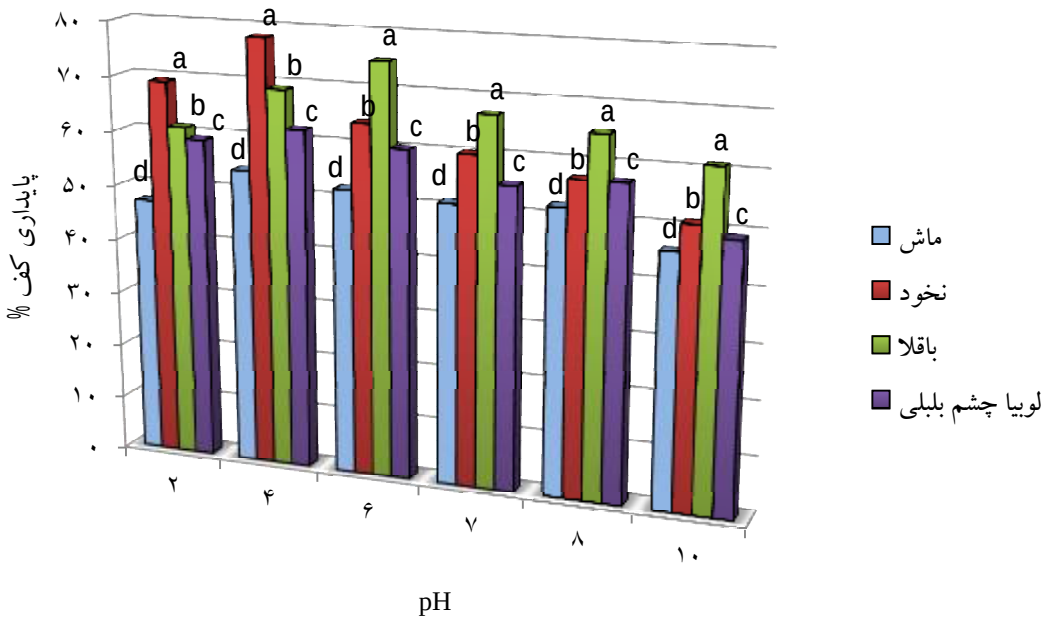
در شکل 7 ملاحظه می‌شود که بیشترین ظرفیت کف کنندگی باقلا و لوبیا چشم بلبلی در pH= 10 مشاهده شد که ممکن است به دلیل کاهش واکنش های آب گریزی پروتئین ها و افزایش بار الکتریکی شبکه پروتئینی باشد که این عوامل باعث انتشار سریعتر پروتئین در فضای بین سطح هوا – آب شده ودر نتیجه سبب به دام افتادن ذرات هوا و در نتیجه افزایش تشکیل کف

می‌شوند (15). نتایج به دست آمده در تحقیق راگاب و همکاران (17) که در سال 2004 بر روی ایزوله ی پروتئینی نخود انجام گردیده است، در نقطه ی ایزوالکتریک pH=5 ظرفیت کف کنندگی از همه کمتر و در pH=10 از همه بیشتر بوده است که این نتایج با نتایج به دست آمده از این تحقیق برای نمونه نخود در pH=10 همخوانی ندارد.

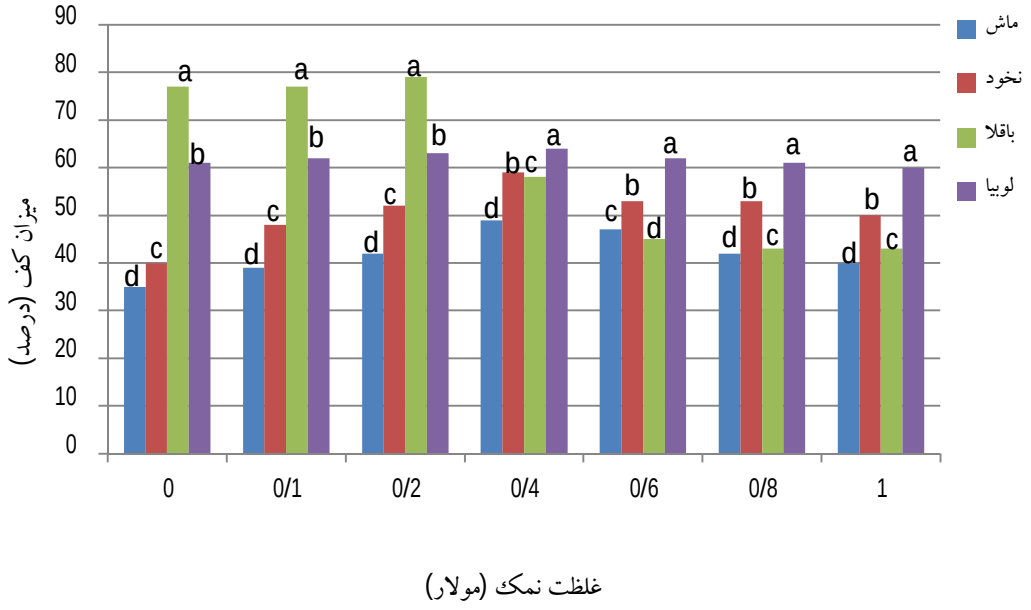
نتایج پایداری کف پس از گذشت 60 دقیقه در pHهای مختلف در شکل 6 مشاهده می‌شود و همان طور که از شکل فوق استنباط می‌شود کلیه نمونه های مورد نظر به جز آرد باقلا در pH= 4 حداکثر پایداری کف و در pH=10 حداقل پایداری کف را از خود نشان دادند. بیشترین پایداری کف در آرد باقلا در pH= 6 مشاهده شد. بر طبق نتایج آدبوال و همکاران (2) که بر روی پایداری کف آرد موکونابین صورت گرفته است کف در pH اسیدی پایدارتر از pH قلیایی بوده است و پس از 24 ساعت، پایدارترین کف در pH=4 مشاهده شد و کمترین این مقدار در pH=11 ثبت گردید که با نتایج این تحقیق همخوانی نسبی دارد. پایداری بهتر کف در دامنه ی pH اسیدی ممکن است به دلیل تشکیل لایه های مولکولی پایدار در محدوده ی اسیدی باشد که این لایه ها باعث پایداری و الاستیسیته کف می‌شود. به علاوه پروتئین در نزدیک pH ایزوالکتریک دارای بار خالص کمتر می‌باشد و ممکن است در تشکیل لایه های مولکولی پایدار در سطح بین هوا– آب شرکت کند و در نتیجه پایداری کف را افزایش دهد. پایداری کف ضعیف در pH قلیایی نشان دهنده یک همبستگی مستقیم بین محیط بازی و فعالیت سطحی پروتئین است. بیشترین پایداری کف در محدوده ی pH=4 به دلیل تشکیل لایه های مولکولی پایدار در فضای بین سطحی آب – هوای موجود در کف می‌باشد (12).



شکل 5- تاثیر pH بر ظرفیت کف کنندگی آرد حبوبات مختلف



شکل 6- تاثیر pH بر پایداری کف آرد حبوبات مختلف (بر حسب درصد)پس از 60 دقیقه



شکل 7- تاثیر غلظت نمک بر ظرفیت کف کنندگی آرد حبوبات مختلف (درصد)

3-7- بررسی ظرفیت کف کنندگی و پایداری کف حبوبات در انواع غلظت‌های نمکی

لاوال و همکاران (12) در تحقیقی بیشترین ظرفیت کف کنندگی در مورد ایزوله پروتئینی لوبیا لوکاست آفریقایی را در غلظت 0/4 مولار مشاهده کردند و پس از آن، به میزان قابل توجهی از این خاصیت کاسته شده است که مشابه نتایج به دست آمده در شکل 7 برای نمونه های نخود، ماش و لوبیا چشم بلبلی می‌باشد، ولی آرد باقلا بیشترین میزان ظرفیت کف کنندگی را در غلظت نمک 0/2 مولار نشان داد. پدیده ی مذکور ممکن است به این دلیل باشد که افزودن اولیه ی نمک باعث بیشتر شدن حلالیت پروتئین می‌شود در حالی که غلظت های بالاتر به دلیل پدیده ی salting out، ظرفیت کف کنندگی را کاهش می‌دهد (15).

در مطالعه ی دیگری که توسط سینا و سریدها (18) بر روی ویژگی های عملکردی دو نوع از حبوبات وحشی در سواحل جنوبی هند انجام شده، خواص کف کنندگی و پایداری کف با افزودن نمک تا حدود0/4 مولار در هر دو گونه، افزایش یافته است که دلیل این امر را دناتوراسیون جزئی و در نتیجه افزایش یا بهبود حلالیت پروتئین در فضای بین سطحی کلوئیدی سوسپانسیون در طول فرآیند تشکیل کف عنوان کرده اند. افزایش پایداری کف با افزایش قدرت یونی تا غلظت 0/4 مولار گزارش شد و افزایش بیشتر قدرت یونی باعث کاهش در پایداری کف در هر دو نوع آرد شده است که این نتایج مشابه نتایج این تحقیق در مورد آردهای نخود، لوبیا چشم بلبلی و ماش می‌باشد ولی باقلا بیشترین میزان کف کنندگی را در غلظت نمک 0/2 مولار از خود نشان داد.

با توجه به نتایج به دست آمده از بررسی پایداری کف آرد حبوبات در غلظت های نمکی مختلف پس از گذشت 60 دقیقه (جدول 4) مشاهده می‌شود که با گذشت زمان از میزان پایداری کف کاسته شده و بیشترین پایداری مربوط به آرد باقلا در غلظت نمکی 0/2 مولار و کمترین آن مربوط به آرد ماش در غلظت 1 مولار مشاهده شد. احتمالا افزایش پایداری کف با زیاد شدن غلظت نمک تا غلظت 0/4 مولار ناشی از میل ترکیبی بین مولکولهای پروتئین و چسبندگی بیشتر بین آنها و در نتیجه، تشکیل لایه ای با خواص رئولوژیکی قویتر در بین هوا- آب می‌باشد که کف پایدارتری تولید می‌نماید. همچنین لاوال و همکاران (12) افزایش غلظت نمک تا مقدار مشخصی برای هر ماده را باعث تسهیل در باز کردن و نوآرایی مجدد پروتئین در فضای بین دو فاز می‌دانند که این فرآیند باعث می‌شود پروتئین از طریق واکنش های درون مولکولی، یک فیلم چسبنده و ویسکوز را تشکیل دهد و بنابراین، پایداری کف افزایش یابد. کاهش پایداری کف بیش از غلظت مورد نیاز ممکن است به دلیل کاهش در دناتوراسیون پروتئین های سطحی باشد که مسئول ایجاد خواص رئولوژیکی مناسب برای پایداری کف می‌باشند.

4- نتیجه‌گیری

در این پژوهش، ظرفیت امولسیون کنندگی و پایداری آن، ظرفیت کف کنندگی و پایداری آن و اعمال پارامترهای pH و غلظت نمک بر روی این ویژگی‌ها در مورد آرد نخود، ماش، باقلا، لوبیا چشم بلبلی مورد بررسی قرار گرفت. از نظر ویژگی امولسیون کنندگی، با توجه به آزمایشات انجام شده بر روی نمونه‌های مورد نظر ملاحظه شد که بیشترین مقدار روغن امولسیون شده توسط آرد باقلا صورت گرفته است. مطابق با نتایج به دست آمده از تاثیر pH بر میزان امولسیون کنندگی حبوبات مشاهده شد که در pH=4 ظرفیت امولسیون کنندگی به دلیل نزدیک شدن به نقطه ایزوالکتریک کاهش می‌یابد. نکته قابل توجه این که در pHهای بالاتر از 7 امولسیون‌ها پایداری بیشتری نسبت به pHهای کمتر از 7 از خود نشان داده اند. از این رو بیشترین پایداری در pH=10 و کمترین پایداری امولسیون در 4 =pHمشاهده شد. در بررسی اثر نمک بر روی ظرفیت امولسیون کنندگی آرد حبوبات مورد آزمایش می‌توان گفت که در تمامی نمونه‌ها تا غلظت 0/4 مولار نمک شاهد افزایش امولسیون کنندگی و پس از این غلظت ظرفیت امولسیون کنندگی کاهش یافت. در رابطه با اثر pH بر ظرفیت کف کنندگی باقلا در تمامی دامنه‌های pH داری بیشترین ظرفیت کف کنندگی بود. در بررسی اثر غلظت نمک در ظرفیت کف کنندگی آرد حبوبات نخود، ماش و لوبیا چشم بلبلی بیشترین ظرفیت کف کنندگی را در غلظت 0/4 مولار و آرد باقلا در غلظت نمک0/2 مولار نشان داد. از پایداری کف آرد حبوبات در غلظت‌های نمکی مختلف پس از گذشت 60 دقیقه کاسته شده و بیشترین پایداری مربوط به آرد باقلا در غلظت نمکی 0/2 مولار و کمترین آن مربوط به آرد ماش در غلظت 1 مولار مشاهده شد. نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که باقلا، می‌تواند ترکیب غذایی مناسبی برای مصرف

انسان باشد و همچنین پتانسیل بالقوه مناسبی برای استفاده در فرمولاسیون‌های غذایی جدید دارد.

5- منابع

1. Adebowale, K. O. and Lawal, O. S. 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.
2. Adebowale, Y. A., I. A. Adeyemi and Lawal, O. S. 2005. Functional and physicochemical properties of flours of six Mucuna species. *African Journal of Biotechnology*, 4(12): 1461-1468.
3. Akintayo, E. T., E. A. Adebayo, et al. 2007. Chemical composition, physicochemical and functional properties of akee (Bilphia sapida) pulp and seed flours. Food Chemistry 77(3): 333-336.
4. Association of Official Analytical Chemists (AOAC) (2003). Official methods of analysis, 14th edition. Washington, DC.
5. Arogundade, L. A., Tshay, M., Shumey, D., and Manazie, S., 2006, Effect of ionic strength and/or pH on extractability and physico-functional characterization of board bean (*Vicia faba L.*) protein concentrate, *Food Hydrocolloids*, 20, 1124-1134.
6. Chau, C. F. and Cheung, P. C. K. 1998. Functional properties of flours prepared from three Chinese indigenous legume seeds. *Food Chemistry* 61(4): 429-433.
7. El Nasri, N. A. and A. H. Tinay. 2007. Functional properties of fenugreek (*Trigonella foenum graecum*) protein concentrate. *Food Chemistry* 103: 582-589.
8. FAO. 2008. FAO Statement on Biotechnology. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.
9. Ghodsvali, A., Haddad Khodaparast, M. H., Vosoughi, M., and Diosady, L. L. 2005. Preparation of canola protein materials using membrane technology and evaluation of meals functional properties. *Food Research International*. 38, 223-231.
10. Jitngarmkusol, S. Hongsuwankul, J. and Tananuwong, K. 2008. Chemical compositions, functional properties, and microstructure of defatted macadamia flours. *Food Chemistry* 110: 23–30.
11. Kaur, M, and Singh, N. 2005. Studies on functional, thermal and pasting properties of flours from different chickpea (*Cicer arietinum L.*) cultivars. *Journal food chemistry*, 91, 403-411.
12. Lawal, O. S., K. O. Adebowale, and Adeyemi. 2005. Effects on the functional properties of globulin and albumin protein fractions and flours of African locust bean (*Parkia biglobossa*). *Food Chemistry* 92(4): 681-691.
13. Lin, M. J. Y., Humbert, E. S., and Sosulski, F. W. 1974. Certain functional properties of sunflower meal products. *Journal of Food Science*, 39, 368.
14. Moure A. Sineuro J. Dominguez H. and Parajo J. C. 2006. Functionality of oilseed protein products: A review. *Journal Food Research International*. 39, 945-963.
15. Oladele, A. K. and J. O. Aina 2007. Chemical composition and functional properties of flour produced from two varieties of tiger nut (*Cyprus esculents*). *African Journal of Biotechnology* 6(21): 2473-2476.
16. Ragab, D. M., and Babiker, E. E. 2004. Fractionation, solubility and functional properties of cowpea (*Vigna unguiculata*) proteins as affected by pH and/or salt concentration. *Food Chemistry*. 84(2): 207-212.
17. Seena, S. and Sridhar, K. R. 2005. Physicochemical, functional and cooking properties of under explored legumes, Canavalia of the southwest coast of India. *Food Research Internationa*l, 38: 803-814.
18. Yasumatsu, K., Sawada, K., Moritaka, S., Mikasi, M., Toda, T., and Tshi, K. 1972. Whipping and emulsifying properties of soybean products. *Agricultural Biochemistry*, 36, 719–727.
19. Yusuf, A. A., & H. Ayedun, et al. (2008). Chemical composition and functional properties of raw and roasted Nigerian benniseed (Sesamum indicum) and bambara groundnut (Vigna subterranean). Food Chemistry 111: 277-282.