

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

یزدان خسروی¹، جواد کرامت²، ابراهیم حسینی³، علی اکبر کشاورز هدایتی^{4*}، الهام محمودی⁵

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 پذیرش: 1392/6/24

تاریخ دریافت: 1392/3/10

چکیده

حبوبات از منابع مهم غذایی سرشار از پروتئین برای تغذیه به شمار می آیند. ارزش بیولوژیکی پروتئین حبوبات به سبب دارا بودن بسیاری از اسیدهای آمینه ضروری در مقایسه با سایر منابع تامین کننده پروتئین بسیار بالا می باشد. 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 می توان از آنها برای تولید انواع مواد غذایی مانند کیک ها، سس های سالاد و مایونز استفاده کرد.

کلیدواژه ها: حبوبات، کف کنندگی، امولسیون، غلظت یونی.

1- مقدمه

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 کنساتره پروتئینی فوگریک³ به شدت تحت تاثیر pH قرار دارد، به طوری که کمترین میزان آن در $pH = 4/5$ که نقطه ایزوالکتریک آن است مشاهده می شود. در پژوهشی دیگر توسط آدبوال و همکاران (1) مشخص گردید هر چه غلظت آرد افزایش یابد، میزان خواص امولسیون کنندگی کاهش می یابد.

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 می باشد. نتایج این پژوهش می تواند 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 می باشد. همچنین می توان ترکیبات عملگر مورد نیاز را از این منابع استخراج کرده و همراه با ترکیبات دیگری نظیر آرد سایر حبوبات و غلات در محصولات چونی انواع کیک و بیسکوئیت استفاده نمود.

2- مواد و روش ها

2-1 مواد شیمیایی

مواد شیمیایی و حلال های مورد استفاده در این پژوهش از شرکت های 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)، لویا چشم بلبلی (کامران)، باقلا (برکت 90) و ماش (VC1973A) در سال زراعی 1389-1390 از مرکز تحقیقات کشاورزی استان گلستان (گرگان)، مرکز تحقیقات کشاورزی

حبوبات از منابع مهم غذایی 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 می توان به حبوباتی نظیر موکونا بین¹، بامباراگراندنات² 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 می شوند و تشکیل آنها به طور قابل توجهی تحت تاثیر 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 می کند. 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 معمولاً 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 لویا لوکاست آفریقای 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.

1- Mucona bean

2- Bambarra groundnut

3- Fenugreek

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:

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

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 (2000×g) شدند. فعالیت امولسیون کنندگی (%) از رابطه زیر محاسبه شد:

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

برای محاسبه پایداری امولسیون، امولسیون تهیه شده در یک استوانه‌ی 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، 0/8 و 1/0 مولار مورد پژوهش قرار گرفت. برای تنظیم pH هر یک از نمونه‌ها از هیدروکسید سدیم و اسید کلریدریک 0/5 مولار استفاده شد.

2-7 آنالیز آماری داده‌ها

آزمون‌ها در قالب طرح کاملاً 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.

واحد خمین و گروه زراعت و اصلاح 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 ($N \times 5/95$)، 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 محدوده‌ی pH 2، 4، 6، 7، 8 و 10 توسط هیدروکسید 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، 0/8 و

3- نتایج و بحث

3-1- ترکیب شیمیایی آرد حبوبات بومی ایرانی

در جدول 1، نتایج حاصل از آزمون‌های تجزیه‌ی آرد حبوبات مورد بررسی، آورده شده است.

در این جدول، نمونه‌های حبوبات از لحاظ مقدار پروتئین، چربی، رطوبت و خاکستر اختلاف معنی‌داری 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 بخش‌های قبلی، ویژگی‌های کاربردی آرد حبوبات ارتباط مستقیمی با پروتئین موجود در آن‌ها دارد چرا که این ویژگی‌ها از جمله خاصیت جذب آب، کف‌کنندگی و تشکیل ژل در اثر عملکرد پروتئین‌ها صورت می‌گیرد.

3-2- بررسی ظرفیت امولسیون‌کنندگی آرد حاصل از حبوبات

ویژگی امولسیون‌کنندگی پدیده‌ای فیزیکوشیمیایی است که از طریق تشکیل پیوندهای شیمیایی مختلف مانند پیوند واندروالسی، یونی، قطبی-قطبی و غیره فاز روغن در فاز آب توسط درشت‌مولکول‌های چربی دوست-آب دوست صورت می‌گیرد. چربی موجود، مکان‌هایی که برای باند کردن مواد آب‌گریز در دسترس است را بلوکه می‌کند، این امر باعث کاهش آب دوستی سطحی می‌شود که به طور معمول برای تشکیل امولسیون امری ضروری است (15).

از نظر امولسیون‌کنندگی نمونه‌ها اختلاف معنی‌داری با یکدیگر داشتند. 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. ظرفیت امولسیون‌کنندگی آرد لوبیا چشم بلبلی و باقلا به طور معنی‌داری بیشتر از نخود و ماش بوده است.

لاوال و همکاران (12) نشان دادند که میزان بالای پروتئین لزوماً با مقدار حداکثر ظرفیت امولسیون‌کنندگی مرتبط نمی‌باشد و عواملی مانند حلالیت، آب‌گریزی سطح و انعطاف مولکولی

بر رفتار امولسیونی پروتئین‌های کروری نظیر پروتئین نخود که ساختار چهارم گسترده‌ای دارند مؤثر می‌باشد که احتمالاً می‌توان میزان پایین بودن ظرفیت امولسیون‌کنندگی آرد نخود را به این امر ارتباط داد. در مورد آرد ماش می‌توان دلیل پایین بودن ظرفیت امولسیون‌کنندگی را به بالا بودن چربی آن (3/33%) نسبت داد، به این دلیل که در آرد ماش قسمتی از ظرفیت امولسیون‌کنندگی 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 امولسیون‌کنندگی حبوبات و پایداری آن‌ها

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

مطابق با نتایج به دست آمده از تأثیر pH بر میزان امولسیون‌کنندگی حبوبات مشاهده شد که در pH=4 ظرفیت امولسیون‌کنندگی به دلیل نزدیک شدن به نقطه ایزوالکتریک کاهش می‌یابد در حالی که در pH=10 بیشترین میزان ظرفیت امولسیون‌کنندگی به دلیل بالا بودن حلالیت پروتئین در نمونه‌های مورد نظر به جز آرد لوبیای چشم بلبلی دیده می‌شود در حالی که در pH=7 ظرفیت امولسیون‌کنندگی آرد لوبیای چشم بلبلی بیشترین میزان را از خود نشان داده است (شکل 1).

جدول 1- 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 معنی داری 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)

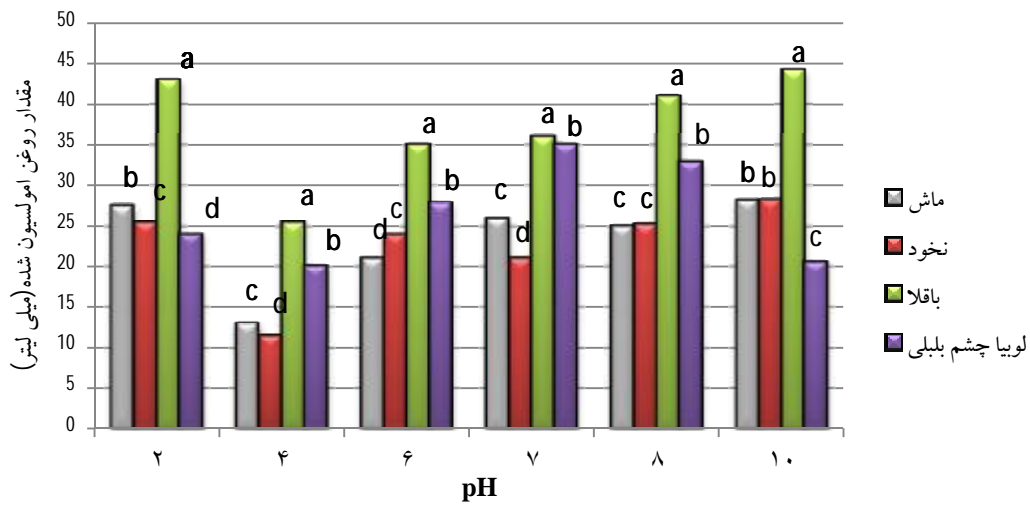
نمونه	لوبیا	نخود	ماش	باقلا
کف تولیدی	64 ± 0/09 ^b	41 ± 0/11 ^c	36 ± 0/23 ^d	69 ± 0/10 ^a

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

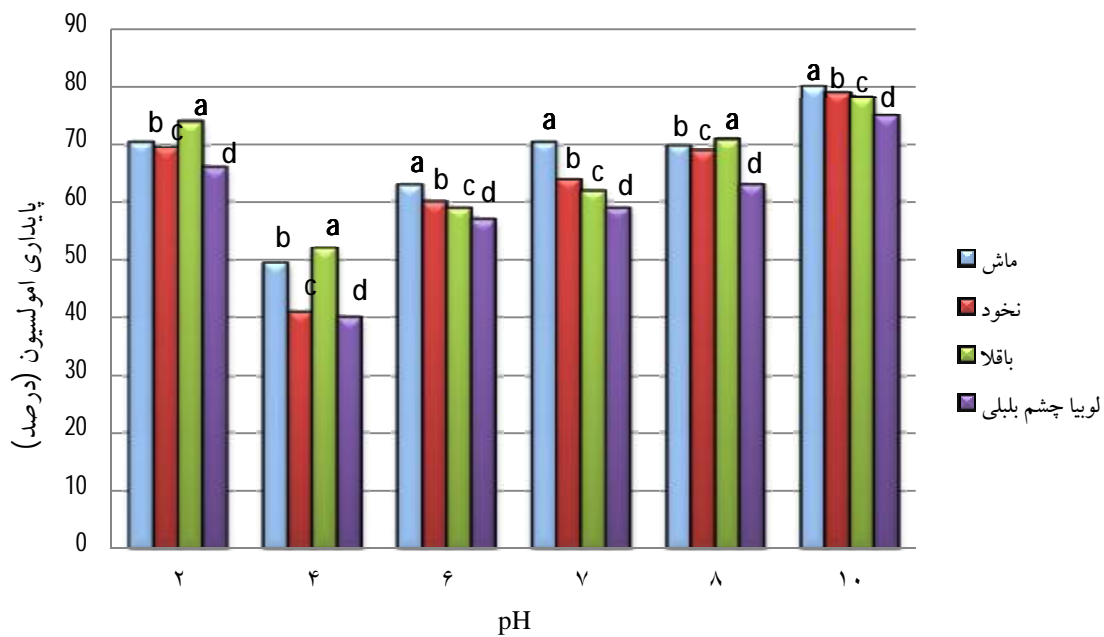
جدول 4- بررسی پایداری کف آرد حبوبات در غلظت های نمکی مختلف پس از 60 دقیقه (مولار)

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 معنی داری 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 ($p < 0/05$)

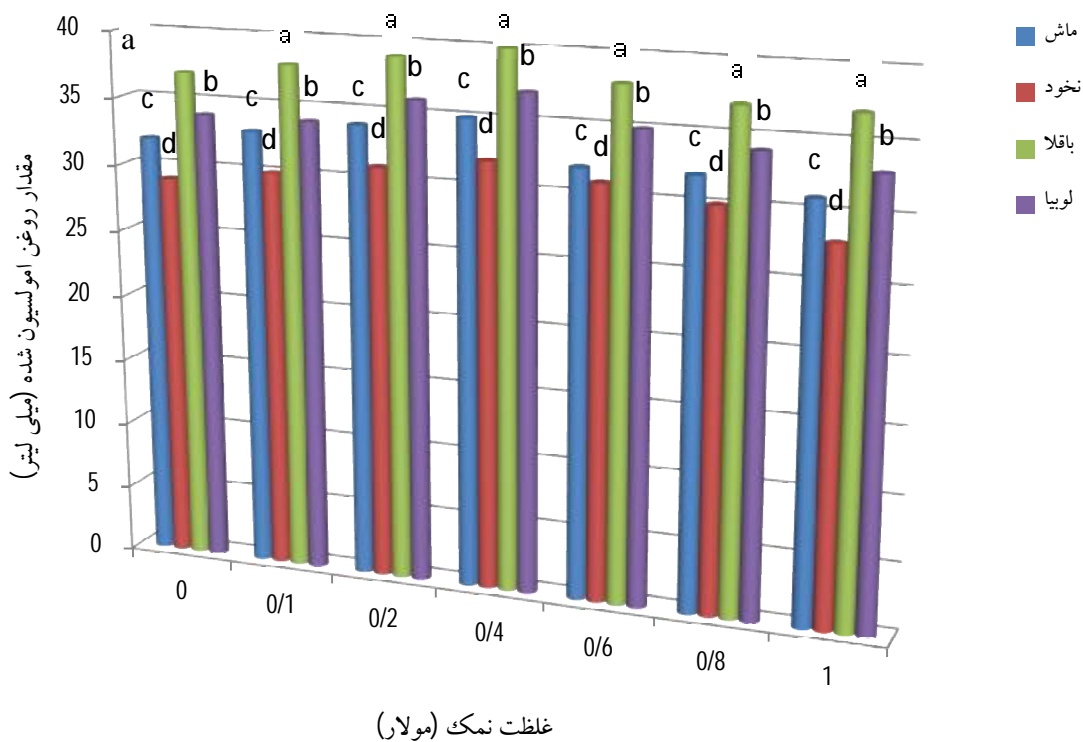
روی آرد بامبارا گراندها انجام دادند به این نتیجه رسیدند که پایداری امولسیون در pH ایزوالکتریک کمترین مقدار را دارد و دلیل آن را تجمع و عدم پایداری غشای بین سطحی عنوان نموده اند. کمترین میزان پایداری امولسیون مربوط به آرد لویبای چشم بلبل می باشد که می توان دلیل این امر را به میزان کم پروتئین و چربی در آرد لویبای چشم بلبل 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 حبوبت و پایداری آن ها

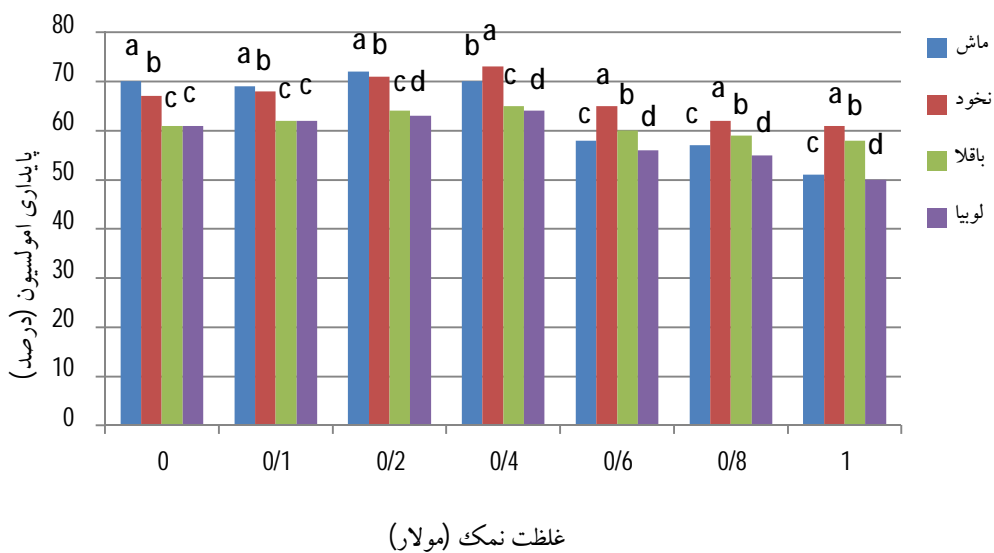
بر طبق نتایج لاوال و همکاران (12)، غلظت نمک بر روی فعالیت اتصال و حلالیت مولکول های پروتئین و در نتیجه بر روی پراکندگی قطرات روغن مؤثر بوده است. به طوری که در غلظت های پایین (تا حدود 0/2 مولار)، مولکول های پروتئین دارای شکل فضایی مناسب برای ساختن یک لایه ی سخت و ویسکوالاستیک در اطراف قطرات روغن هستند که باعث افزایش قدرت امولسیون کنندگی آن ها می شود. عکس این حالت زمانی دیده می شود 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 می شود در تمامی نمونه ها تا غلظت 0/4 مولار نمک شاهد افزایش امولسیون کنندگی و پس از این غلظت 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 می دهد که سبب دافعه ی دو طرفه بین این دو می شود. 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).

آدبوال و همکاران (1) به این نتیجه رسیدند که پایداری امولسیون آرد بامبارا گراندها 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 امولسیون 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 در pH=10 از خود نشان دادند در حالی که آرد لویبای چشم بلبل در pH=7 بیشترین میزان ظرفیت امولسیون کنندگی را دارا می باشد. 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 می یابد (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 می شود 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 می باشد. وجود دو نقطه ایزوالکتریک احتمالاً 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 می دهند (3). نکته قابل توجه این که نمونه ها در pH های بالاتر از 7 امولسیون ها پایداری بیشتری نسبت به pH های 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 می توانند 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



شکل 3- تاثیر غلظت نمک بر مقدار روغن امولسیون شده



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

کف به سرعت از بین می‌رود. این امر دلیل احتمالی کاهش معنی دار خصوصیات کف کنندگی با افزایش محتوای چربی است. به علاوه دنا تورا سیون 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 دنا تورا سیون 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 می‌توان 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 و در نتیجه سبب به دام افتادن ذرات هوا و در نتیجه افزایش تشکیل کف

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).

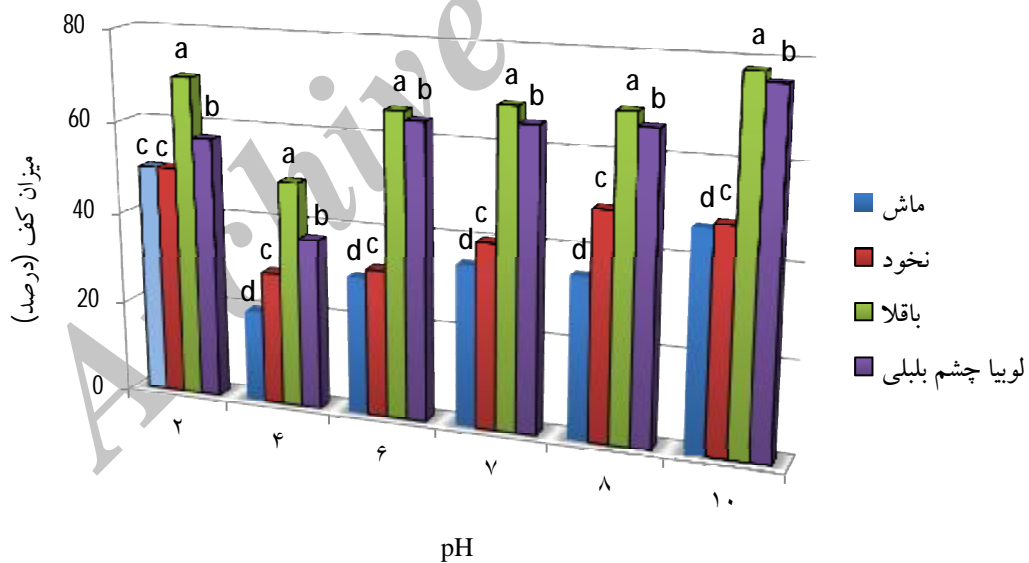
3-5- بررسی میزان کف کنندگی آرد حاصل از حبوبات

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 می‌شوند. تولید فیلم های پروتئینی چند لایه، انعطاف پذیری سطح هوا-آب را افزایش می‌دهند، در نتیجه شکست حباب های هوا سخت شده و کف مستحکم تر تشکیل می‌شود. با روغن گیری میزان حلالیت پروتئین افزایش می‌یابد که سبب افزایش تشکیل کف می‌شود (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

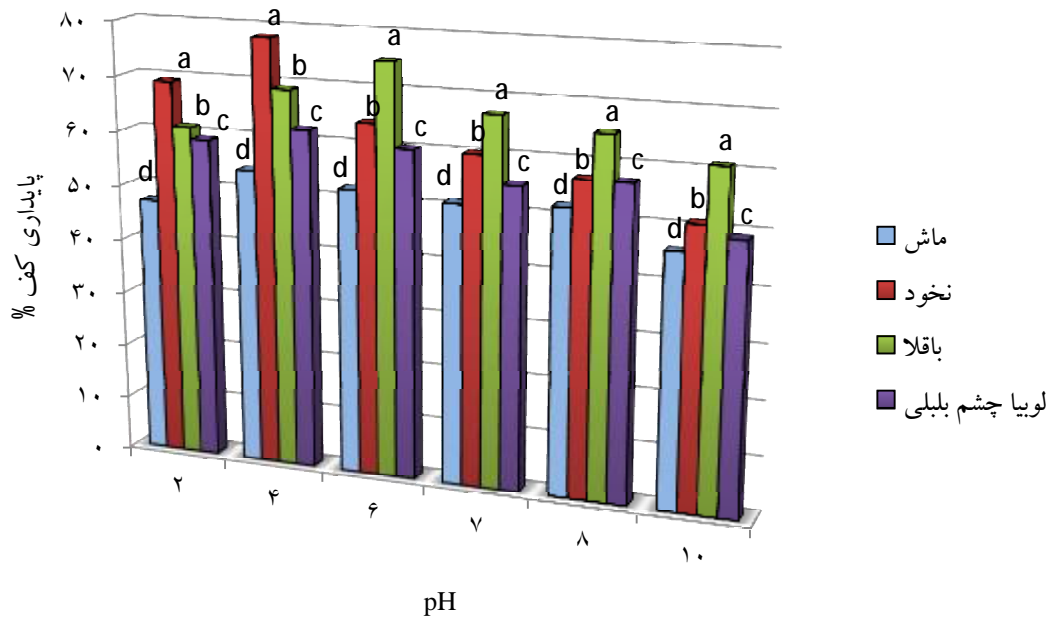
پایدارترین کف در $pH=4$ مشاهده شد و کمترین این مقدار در $pH=11$ ثبت گردید که با نتایج این تحقیق همخوانی نسبی دارد. پایداری بهتر کف در دامنه‌ی pH اسیدی ممکن است به دلیل تشکیل لایه‌های مولکولی پایدار در محدوده‌ی اسیدی باشد که این لایه‌ها باعث پایداری و الاستیسیته کف می‌شود. به علاوه پروتئین در نزدیک pH ایزوالکتریک دارای بار خالص کمتر می‌باشد و ممکن است در تشکیل لایه‌های 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 محدوده‌ی $pH=4$ به دلیل تشکیل لایه‌های مولکولی پایدار در فضای بین سطحی آب - هوای موجود در کف می‌باشد (12).

می‌شوند (15). نتایج به دست آمده در تحقیق راگاب و همکاران (17) که در سال 2004 بر روی ایزوله‌ی پروتئینی نخود انجام گردیده است، در نقطه‌ی 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.

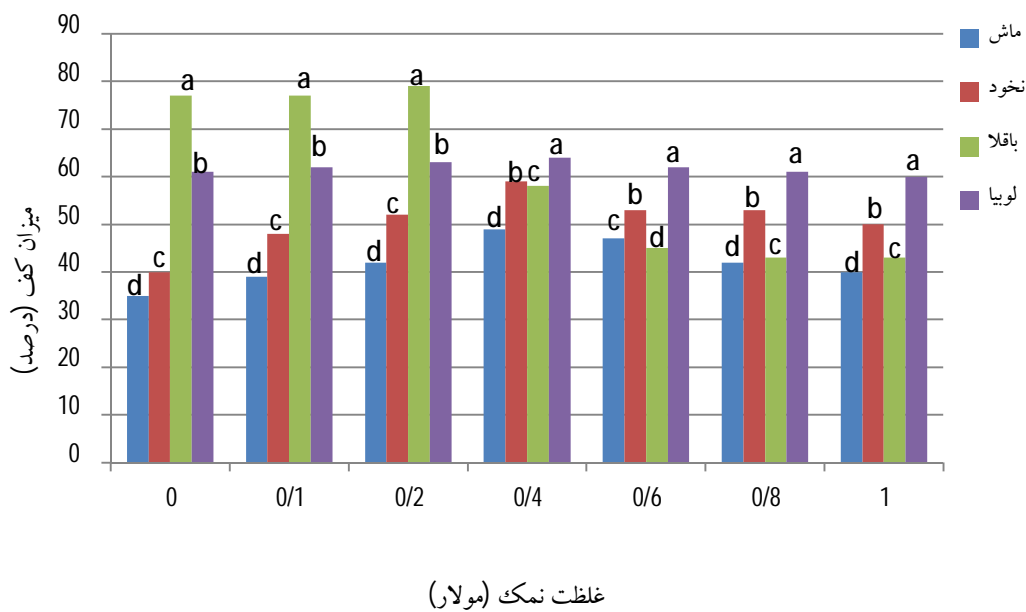
نتایج پایداری کف پس از گذشت 60 دقیقه در pH های مختلف در شکل 6 مشاهده می‌شود و همان طور که از شکل فوق استنباط می‌شود کلیه نمونه‌های مورد نظر به جز آرد باقلا در $pH=4$ حداکثر پایداری کف و در $pH=10$ حداقل پایداری کف را از خود نشان دادند. بیشترین پایداری کف در آرد باقلا در $pH=$ مشاهده شد. بر طبق نتایج آدبوال و همکاران (2) که بر روی پایداری کف آرد موکوناین صورت گرفته است کف در pH اسیدی پایدارتر از pH قلیایی بوده است و پس از 24 ساعت،



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 کف‌کنندگی و پایداری کف

حیوانات در انواع غلظت‌های نمکی

لاوال و همکاران (12) در تحقیقی بیشترین ظرفیت کف‌کنندگی در مورد ایزوله پروتئینی لویا 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 نمونه‌های نخود، ماش و لویا چشم بلبلی می‌باشد، ولی آرد باقلا بیشترین میزان ظرفیت کف‌کنندگی را در غلظت نمک 0/2 مولار نشان داد. پدیده‌ی مذکور ممکن است به این دلیل باشد که افزودن اولیه‌ی نمک باعث بیشتر شدن حلالیت پروتئین می‌شود در حالی که غلظت‌های بالاتر به دلیل پدیده‌ی salting out، ظرفیت کف‌کنندگی را کاهش می‌دهد (15).

در مطالعه‌ی دیگری که توسط سینا و سریده‌ها (18) بر روی ویژگی‌های عملکردی دو نوع از حیوانات وحشی در سواحل جنوبی هند انجام شده، خواص کف‌کنندگی و پایداری کف با افزودن نمک تا حدود 0/4 مولار در هر دو گونه، افزایش یافته است که دلیل این امر را دنا تورا سیون جزئی و در نتیجه افزایش یا بهبود حلالیت پروتئین در فضای بین سطحی کلئیدی سوسپانسیون در طول فرآیند تشکیل کف عنوان کرده‌اند. 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، لویا چشم بلبلی و ماش می‌باشد ولی باقلا بیشترین میزان کف‌کنندگی را در غلظت نمک 0/2 مولار از خود نشان داد.

با توجه به نتایج به دست آمده از بررسی پایداری کف آرد حیوانات در غلظت‌های 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. احتمالاً 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 لایه‌ای 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 واکنش‌های 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 دنا تورا سیون پروتئین‌های سطحی باشد که مسئول ایجاد خواص رئولوژیکی مناسب برای پایداری کف می‌باشند.

4- نتیجه‌گیری

در این پژوهش، ظرفیت امولسیون‌کنندگی و پایداری آن، ظرفیت کف‌کنندگی و پایداری آن و اعمال پارامترهای pH و غلظت نمک بر روی این ویژگی‌ها در مورد آرد نخود، ماش، باقلا، لویا چشم بلبلی مورد بررسی قرار گرفت. از نظر ویژگی امولسیون‌کنندگی، 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 امولسیون‌کنندگی حیوانات مشاهده شد که در pH=4 ظرفیت امولسیون‌کنندگی 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 داده‌اند. از این رو بیشترین پایداری در pH=10 و کمترین پایداری امولسیون در pH=4 مشاهده شد. در بررسی اثر نمک بر روی ظرفیت امولسیون‌کنندگی آرد حیوانات مورد آزمایش می‌توان گفت که در تمامی نمونه‌ها تا غلظت 0/4 مولار نمک شاهد افزایش امولسیون‌کنندگی و پس از این غلظت ظرفیت امولسیون‌کنندگی کاهش یافت. در رابطه با اثر pH بر ظرفیت کف‌کنندگی باقلا در تمامی دامنه‌های pH داری بیشترین ظرفیت کف‌کنندگی بود. در بررسی اثر غلظت نمک در ظرفیت کف‌کنندگی آرد حیوانات نخود، ماش و لویا چشم بلبلی بیشترین ظرفیت کف‌کنندگی را در غلظت 0/4 مولار و آرد باقلا در غلظت نمک 0/2 مولار نشان داد. از پایداری کف آرد حیوانات 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

- L.) cultivars. *Journal food chemistry*, 91, 403-411.
12. Lawal, O. S., K. O. Adebawale, 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 International*, 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.
- انسان باشد و همچنین پتانسیل بالقوه مناسبی برای استفاده در فرمولاسیون های غذایی جدید دارد.
- 5- منابع
1. Adebawale, 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. Adebawale, 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*