نشریه پژوهشهای علوم و صنایع غذایی ایران
جلد ۷، شماره ۱، بهار ۱۳۹۰، ص. ۹۱ ۸۰

Iranian Food Science and Technology Research Journal
Vol. 7, No. 1, 2011, p. 80-91

بررسی ظرفیت امولسیون کنندگی و کف کنندگی و تاثیر اسیدیته و قدرت یونی بر این ویژگی ها در آرد حاصل از حبوبات مختلف

الهام اسدپور[۱] سید مهدی جعفری[۲*] علیرضا صادقی ماهونک[۳] محمد قربانی[۴]

تاریخ دریافت: ۸۸/۱۱/۱۲
تاریخ پذیرش: ۹۰/۳/۲۱

چکیده

در این پژوهش، ویژگی های عملکردی آرد نخود، عدس، لوبیاقرمز و لوبیا چیتی مورد بررسی قرار گرفت. لوبیا چیتی و لوبیا قرمز ازنظر ویژگی امولسیون کنندگی، در رده نخست و پس از آنها نخود و عدس قرار داشتند. در pH ایزوالکتریک (حدود ۴) در تمام نمونه ها، کاهش این خاصیت وجود داشت که با نمودار حلالیت پروتئین آنها تطابق داشت. غلظت نمک نیم مولار تاثیر قابل توجهی در افزایش و یا کاهش ویژگی امولسیون کنندگی نداشت اما افزایش غلظت نمک به حدود یک مولار در تمام نمونه ها باعث کاهش این ویژگی گردید. در رابطه با پایداری امولسیون نیز، لوبیاقرمز بیشترین پایداری را حتی در غلظت های مختلف نمک و pH های متفاوت داشت. براساس داده های بدست آمده، بیشترین میزان کف کنندگی مربوط به لوبیاقرمز و لوبیاچیتی (به ترتیب، ۶۸ و ۶۴/۵ درصد) وکمترین آن مربوط به نخود (۳۵/۵ درصد) گزارش گردید. در pH ایزوالکتریک، کمترین میزان کف کنندگی در تمام نمونه ها بدست آمد. بطور کلی، پروتئین لوبیاچیتی دربرابر غلظت نمک حساس تر از سایر نمونه ها بود و با افزایش غلظت نمک، خاصیت کف کنندگی آن، کاهش قابل ملاحظه ای داشت. پایداری کف در تمام نمونه ها بدون درنظر گرفتن غلظت نمک و pH با افزایش زمان کاهش داشت. نکته جالب توجه دیگر، پایداری بیشتر کف در pH ایزوالکتریک در تمام نمونه ها بود.

واژه‌های کلیدی: آرد حبوبات، ویژگی های عملکردی، قدرت یونی، پایداری امولسیون، پایداری کف

مقدمه

حبوبات گیاهانی از خانواده فاباسه (یا لگومینوزا) هستند که دارای ۱۶۰۰۰ تا ۱۹۰۰۰ گونه و تقریبا ۷۵۰ جنس هستند. تلاش برای یافتن منابع جایگزین و ارزان پروتئین برای تغذیه انسان منجر به انجام پژوهش های مختلفی در رابطه با بکارگیری برخی از حبوبات کمترشناخته شده در کشورهای در حال توسعه شده است که می توان به حبوباتی نظیر موکونا بین، گیلابین، بامبارا گراند نات، جکبین و غیره اشاره نمود (چاو، ۱۹۹۸). دلیل این تحقیقات گسترده، فراوان بودن و ارزان بودن حبوبات بعنوان منبعی بالقوه از پروتئین برای مردم این کشورها می باشد که توانایی کمتری در تامین پروتئین از منابع دامی دارند (وادیول، ۲۰۰۱). بعنوان مثال، حبوباتی مانند جکبین و موکونابین به ترتیب دارای ۲۹٪ و ۳۵٪ پروتئین می باشند.

به طور کلی حبوبات نسبت به غلات دارای پروتئین بیشتری می باشند. پروتئین های گیاهی به سه شکل عمده طبقه بندی می شوند: آردها با ۶۵ ۵۰٪ پروتئین، کنسانتره ها با ۹۰ ۶۵٪ پروتئین و ایزوله ها با بیش از ۹۰٪ پروتئین (گواگونن، ۱۹۹۸). بخش عمده ای از ویژگی های عملکردی مربوط به پروتئین ها است که در اثر برهم کنش آنها با یون ها، حلال و سایر مولکول های اطراف آنها ازجمله ساکاریدها، لیپیدها و پروتئین های دیگر ظاهر می شود. این ویژگی های عملکردی در بسیاری از محصولات غذایی باعث تغییر در ظاهر، رنگ، آبداربودن، احساس دهانی و بافت آنها شده و فرآیندهایی چون برش زنی، مخلوط کردن، چرخ کردن، تشکیل خمیر، فیبرها، کف زایی، شکل دهی و انتقال محصولات فرآوری شده را تحت تاثیر

۱ دانش آموخته کارشناسی ارشد دانشکده صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان و مربی موسسه آموزش عالی بهاران گرگان
۲، ۳ و ۴ استادیاران دانشکده صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
(* نویسنده مسئول: Email:smjafari@gau.ac.ir)

قرار می دهند (سیکورسکی، ۲۰۰۲). ویژگی های عملکردی شامل ظرفیت جذب و نگهداری آب و روغن، حلالیت، ژلاتیناسیون، ویژگی های بین سطحی، تشکیل فیلم، کف کنندگی، تشکیل رنگ و ... می باشند (کینسلا، ۱۹۸۱).

ویژگیهای عملکردی بر اساس مکانسیم عمل به سه گروه عمده تقسیم می شوند:

۱) خواص مربوط به آبگیری شامل جذب آب، روغن، حلالیت، قوام دهندگی و قابلیت خیس شدن.

۲) خواص مربوط به ساختار پروتئینی و ویژگی های رئولوژیکی (ویسکوزیته، انعقاد و تشکیل ژل)

۳) خواص مربوط به سطح پروتئین ها شامل امولسیون کنندگی، کف زایی، تشکیل فیلم های چربی پروتئین و قابلیت هم زدن[1].

در نتایج به دست آمده توسط قدس ولی و همکاران (۲۰۰۵)، میزان خاصیت امولسیون کنندگی در آرد حاصل از سه گونه کانولا مقدار مناسبی را نشان داد و حتی از آرد سویا نیز میزان بیشتری داشت. همچنین در آرد نوع پوست گیری شده، فعالیت امولسیون کنندگی بیشتر از آرد کامل بوده است. در پژوهشی توسط آدبوال و همکاران (۲۰۰۴) مشخص گردید که به طور کلی، هر چه غلظت آرد افزایش یابد، میزان خواص امولسیون کنندگی کاهش می یابد. در تمام غلظتهای مورد مطالعه (۲ تا ۱۰ درصد) ، آرد بامبارا گراندنات دارای بیشترین ظرفیت امولسیون کنندگی و کمترین آن مربوط به آرد جکبین بوده است. ارتباط فعالیت امولسیون کنندگی و غلظت توسط این محققان بر طبق سینستیک جذب توضیح داده شده است.

امولسیون ها و کف ها دو سیستم فازی هستند که در آنها یک فاز پراکنده در یک فاز آبی پیوسته وجود دارد (یو و همکاران، ۲۰۰۷؛ نصری وتینای، ۲۰۰۷). کارآیی پروتئین ها به عنوان امولسیفایر بستگی به سطح آبگریزی و بار الکتریکی، اثرات استری، الاستیسیته و سختی و ویسکوزیته آنها در محلول دارد. پروتئینهای حلقوی (کروی) که ساختار پایداری وخاصیت آبدوستی زیادی دارند، زمانی به عنوان امولسیفایر خوب تلقی می شوند که از یکدیگر باز شوند. با این حال، خواص امولسیون کنندگی به صورت خطی با افزایش آبگریزی پروتئین افزایش نمی یابد بلکه این خواص بستگی به تعادل آبدوست چربی دوست دارد. PH محیط به وسیله ی تغییر در حلالیت و سطح آبگریزی پروتئین و همچنین تغییر در میزان بار الکتریکی لایه محافظ اطراف گلبولهای چربی، بر روی خواص امولسیون کنندگی اثر گذار می باشد. از عوامل دیگری می توان به یونها اشاره نمود که با تغییر در بر هم کنشهای الکترواستاتیک و تغییر آرایش فضایی و حلالیت پروتئین بر روی امولسیون کنندگی موثرند (آدبوال و همکاران، ۲۰۰۴؛ سینا و سریدها، ۲۰۰۵).

مطابق توضیحات کینسلا (۱۹۸۴)، قابلیت حل شدن[2] نقش مهمی در خواص امولسیون کنندگی پروتئین ایفا می‌کند به طوریکه هر چه قابلیت حل شدن پروتئین افزایش یابد، میزان امولسیون کنندگی آن افزایش می یابد. همچنین حضور نمکها و pH خواص امولسیون کنندگی را تحت تاثیر قرار می دهد.

در مورد قابلیت تشکیل کف و پایداری آن و همچنین تاثیر غلظت آرد مورد استفاده نتایجی توسط آرمو و همکاران (۲۰۰۷) بر روی آرد بامبارا گراندنات و غیره ارایه شده است. میزان کف کنندگی در محدوده ی ۷/۹ تا ۲۸/۱ درصد متغیر بود که با نتایج بدست آمده توسط اشدی و همکاران (۱۹۹۹) بر روی آرد بنیسید مطابقت داشت. اما در مقایسه با آرد سویا (۱۷۰٪) و آرد آفتابگردان (۲۳۰٪) کمتر بوده است. همچنین، یک افزایش تصاعدی در قابلیت تشکیل کف در تمامی آردها با افزایش غلظت آنها مشاهده شد. در پژوهشی مشابه، ادبوال و لاوال (۲۰۰۴) مطالعه ی مقایسه ای بین آرد بامبارا گراندنات، جکبین و موکونابین انجام دادند. داده ها، نشان دهنده ی افزایش ظرفیت کف کنندگی تا غلظت ۴٪ در مورد آرد جکبین و سپس کاهش این خاصیت به صورت شدید با افزایش غلظت می باشد. اما این حالت در مورد دو نوع آرد دیگر وجود نداشت، به طوریکه با افزایش غلظت آرد، میزان کف کنندگی افزایش می یافت.

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. بنابراین پایداری کف به عنوان یک معیار مهم در کیفیت مواد غذایی ممکن است حایز اهمیت باشد (اولادله و آینا، ۲۰۰۷). پایداری سیستم توسط کاهش کشش بین سطح گاز مایع و تشکیل لایه پروتئینی مقاوم در برابر پاره شدن و با کشش پذیری (الاستیسیته) بالا در اطراف حباب ها و تغییر ویسکوزیته فاز مایع ایجاد می‌شود (آرمو و همکاران، ۲۰۰۷).

بطور کلی، هدف از انجام این پژوهش، ارزیابی ویژگیهای امولسیون کنندگی و کف کنندگی آرد حاصل از حبوبات و بررسی تاثیر برخی عوامل نظیر اسیدیته و غلظت نمک بر این ویژگی های عملکردی می باشد. نتایج این پژوهش می تواند راهگشای استفاده از حبوبات بعنوان منبعی ارزان و فراوان از پروتئین و سایر ترکیبات تغذیه ای مطلوب در فرآورده های مختلف صنایع غذایی باشد. همچنین می توان ترکیبات عملگر مورد نیاز را از این منابع استخراج کرده و همراه باترکیبات دیگری نظیر آرد غلات در محصولاتی چون انواع کیک و بیسکوییت استفاده نمود.

1 - Whippability

2 - Solubility

مواد و روش ها

تهیه و آماده سازی آرد حبوبات

ابتدا میزان ۳ کیلوگرم از واریته های شناسنامه دار هر یک از حبوبات مختلف شامل نخود، عدس، لوبیا قرمز و لوبیا چیتی از مرکز تحقیقات کشاورزی استان گلستان (گرگان) تهیه گردید. حبوبات در ظروف درب دار ریخته شده و بعد از انتقال به آزمایشگاه توسط آسیاب چکشی به آرد تبدیل شدند. پس از مخلوط کردن و همگن نمودن نمونه های آرد، از الک با مش مناسب (۴۰ ،۴۸) عبور داده شدند. در انتها نمونه های آرد در کیسه های پلاستیکی ریخته شد و در داخل ظروف درب دار در یخچال نگهداری شدند. آزمونهای تعیین ترکیبات شیمیایی بر اساس استاندارد AOAC (۲۰۰۵) انجام شدند.

ظرفیت امولسیون کنندگی و پایداری امولسیون

ظرفیت امولسیون کنندگی طبق روش آرمو و همکاران (۲۰۰۷) انجام گردید به طوریکه ۱/۵ گرم از نمونه با ۲۵ میلی لیتر آب مقطر در داخل مخلوط کن خانگی سانی به مدت ۳۰ ثانیه با دور کند خوب مخلوط شد. سپس روغن تصفیه شده سویا توسط بورت و به صورت قطره قطره از بالا اضافه شده و همزدن انجام گردید تا زمانیکه جداشدن دوفاز ازطریق تغییر در صدای شافت و یا بطور مستقیم مشاهده شود (مخلوط کردن هر یک دقیقه یکبار متوقف شده و شکستن امولسیون کنترل گردید). برای محاسبه ی پایداری امولسیون، نمونه 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 های صفر، ۴۵، ۹۰ و ۱۲۰ دقیقه انجام گردید. همچنین، ظرفیت امولسیون کنندگی در pH های مختلف (۲، ۴، ۶، ۸ و ۱۰) و غلظتهای متفاوت نمک (صفر، نیم و یک مولار) مورد پژوهش قرار گرفت. برای تنظیم pH هر یک از نمونه ها از سود سوزآور و اسید کلریدریک ۰/۱ مولاراستفاده شد.

خواص کف کنندگی و پایداری کف

روش ادبوال (۲۰۰۴) برای بررسی خاصیت کف کنندگی و پایداری کف حبوبات مورد استفاده قرار گرفت. به ۵ گرم آرد، ۱۰۰ میلی لیترآب مقطر اضافه شد. پس از مخلوط شدن توسط مخلوط کن خانگی سانی به مدت ۲ دقیقه با سرعت تند (شماره ۲) در داخل استوانه مدرج ۲۵۰ سی سی ریخته شد و حجم آن ثبت گردید. درصد کف عبارت است از نسبت اختلاف حجم بین بعد و قبل از مخلوط کردن به حجم کف قبل از مخلوط کردن ضربدر ۱۰۰.

پایداری کف نیز به صورت حجم کف باقیمانده پس از زمان ۳۰، ۶۰، ۹۰ و ۱۲۰ دقیقه بیان گردید. همچنین مطالعات اثر pH و غلظت یونی محیط بر روی خواص مذکور نیز بررسی گردید. بطوریکه محدوده pH ۲، ۴، ۶، ۸ و ۱۰ توسط سود سوزآور و اسید کلریدریک ۰/۵ مولار و غلظت یونی در مقادیر صفر، نیم و یک مولار دیسپرسیون های مختلف آردی تهیه گردید و خصوصیت کف کنندگی و پایداری کف با اعمال این پارامترها مورد مطالعه قرار گرفت.

آزمون تعیین مقدار پروتئین های محلول

تعیین مقدار پروتئین های محلول در نمونه های مذکور، توسط روش بیوره انجام گرفت. ۰/۵ گرم از آرد حبوبات در بالن ۵۰ سی‌سی ریخته شده و حدود ۳۰ تا ۴۰ میلی لیتر به آن آب مقطر اضافه می کنیم. توسط سود سوزآور ۰/۱ مولار و اسید کلریدریک ۰/۱ مولار که در داخل بورت ریخته‌ایم pH نمونه را تنظیم می‌کنیم، به طوری که pH های مختلفی در محدوده ۲ تا۱۰ توسط pH متر (مدل ۸۲۷ شرکت متیوهم) تهیه نموده و خوب هم می‌زنیم. سپس حجم را به ۵۰ سی سی می‌رسانیم. بالن ها را بر روی همزن مغناطیسی (مدل ۱۵۰ شرکت فن آزماگستر) گذاشته و به مدت ۰/۵ ساعت خوب هم می زنیم. سپس داخل فالکون‌های ۵۰ سی‌سی مقداری از نمونه ها را ریخته و آنها را در داخل سانتریفوژ یخچال دار (مدل ۳کا۳۰ شرکت سیگما) قرار داده و به مدت ۲۰ دقیقه با دور ۳۵۰۰ سانتریفوژ می کنیم. محلول سوپرناتانت را جدا می‌کنیم. در لوله آزمایش ریخته و مجدداً pH محلول سوپرناتانت را اندازه گیری کرده و یادداشت می کنیم. از سوپرناتانت، ۰/۵ میلی لیتر را داخل لوله آزمایش ریخته و ۴/۵ میلی لیتر محلول بیوره به آن اضافه می‌کنیم. بعد از مخلوط کردن، حدود ۲۰ دقیقه در درجه حرارت اتاق کنار گذاشته می‌شود. سپس توسط اسپکتروفتومتر (مدل تی ۸۰ شرکت پی جی اینسترومنت) جذب محلول و نمونه شاهد در طول موج ۵۴۰ نانومتر اندازه گیری می‌شود (AOAC، ۲۰۰۵).

آنالیز آماری داده ها

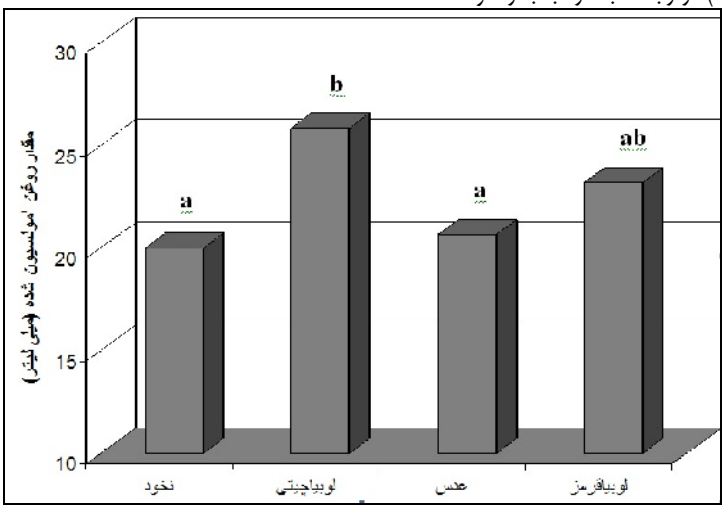
انتخاب نمونه ها در قالب طرح کاملا تصادفی بوده و هر یک از آزمون ها در سه تکرار انجام گرفت. تجزیه و تحلیل آماری نتایج بدست آمده با استفاده از نرم افزار مینیتب (نسخه ۱۶) و آزمون دانکن برای تعیین درجه اهمیت تفاوت در میانگین ها انجام پذیرفت. در صورتیکه اختلاف بین میانگین ها در $P<0/05$ معنی دار باشد، این اختلاف مهم درنظر گرفته می شود. برای رسم نمودارهااز نرم افزار اکسل استفاده شد.

نتایج و بحث

ظرفیت امولسیون کنندگی

با توجه به نمودار ۱ ملاحظه می شود ظرفیت امولسیون کنندگی

آرد دو نوع لوبیا (قرمز و چیتی) بیشتر از نخود و عدس است که از لحاظ آماری نیز معنی دار می باشد ($p < ۰/۰۵$). اما اختلاف در مقدار روغن امولسیون شده توسط آرد نخود و عدس معنی دار نبوده است ($p > ۰/۰۵$). بطور کلی این مقادیر به مراتب کمتر از مقادیر ذکر شده توسط یوسف و همکاران (۲۰۰۸) در رابطه با آرد بامبارا گراندنات (۷۸/۵ گرم جذب روغن) و بنیسید (۸۳ گرم روغن) بوده است اما از مقدار گزارش شده توسط ادملم (۲۰۰۵) در مورد آرد جکفروت (۳/۲ میلی لیتر جذب روغن) و ابو و همکاران (۲۰۰۵) در مورد آرد نخود (۵ میلی لیتر روغن) بسیار بیشتر بوده است.



نمودار ۱ ظرفیت امولسیون کنندگی آرد حبوبات مختلف بر حسب مقدار روغن امولسیون شده

با توجه به نتایج بدست آمده می توان چنین بیان نمود که آرد لوبیا چیتی دارای بیشترین خاصیت امولسیون کنندگی است که احتمالاً ناشی از وجود تعداد زیادی سایتهای آبدوست و آبگریز (چربی دوست) در بیوپلیمرهای پروتئینی آن می باشد. البته در مورد آرد نخود و عدس نیز می توان چنین توجیه نمود که بدلیل مقادیر بالای چربی در آرد مربوط به این حبوبات، بخشی از ظرفیت امولسیون کنندگی آنها قبلاً اشباع شده است و لذا ظرفیت پذیرش روغن اضافی آنها کمتر از آرد لوبیا چیتی و لوبیا قرمز می باشد. لازم به توضیح است که میزان چربی در آرد نمونه های مورد آزمون عبارت بود از نخود ۵/۱۷ درصد، لوبیا چیتی ۱/۶۷ درصد، عدس ۲/۴۳ درصد و لوبیا قرمز ۱/۶۰ درصد.

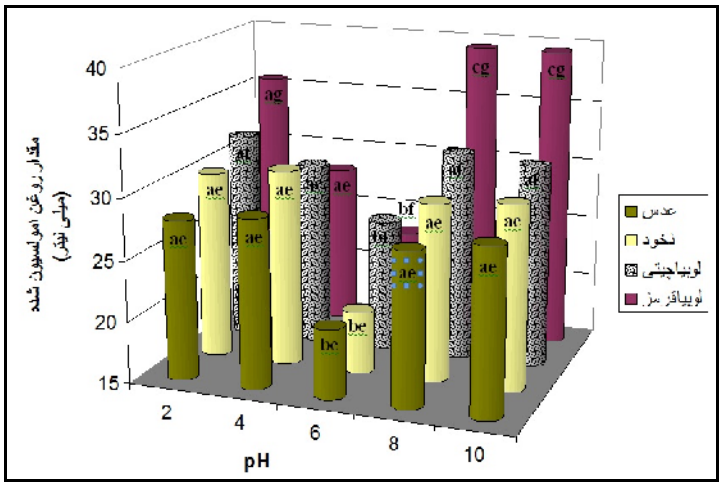
تأثیر pH بر میزان امولسیون کنندگی حبوبات

نمودار ۲ نشان می دهد که کمترین مقدار ظرفیت امولسیون کنندگی آرد حبوبات مختلف در pH ایزوالکتریک (حدود ۴) بوده است. این موضوع در مورد آرد لوبیا قرمز کاملاً آشکار و معنی دار ($p<۰/۰۵$) است. در مورد آرد نخود و عدس اختلاف معنی داری در pH های مختلف در رابطه قدرت امولسیون کنندگی وجود نداشته است ($p>۰/۰۵$). در محدوده ی pH خنثی، بیشترین مقدار امولسیون کنندگی مربوط به آرد لوبیا چیتی می باشد (به میزان ۲۵/۸۳ میلی لیتر روغن به ازای هر گرم آرد). دلیل کاهش خاصیت امولسیون کنندگی در نقطه ی ایزوالکتریک بر اساس اکثر مقالات منتشر شده به کاهش حلالیت پروتئین در این نقطه مربوط می شود (راگاب و همکاران، ۲۰۰۴: نصری و تیناى، ۲۰۰۷: لاوال و همکاران، ۲۰۰۵: ادمولان، ۲۰۰۵).

برخی پژوهشگران نیز چنین عنوان کرده اند که تنها افزایش نیتروژن محلول باعث افزایش قدرت امولسیون کنندگی نمونه نمی شود و عوامل دیگری نظیر بار خالص، pH ، کشش سطحی، شکل فضایی پروتئین، غلظت نمک و غلظت پروتئین نیز در این رابطه موثر است (لاول و همکاران، ۲۰۰۴: ادبوال و همکاران، ۲۰۰۵). همچنین ادبوال و لاوال (۲۰۰۴) 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 تأثیر گذار است. به عنوان مثال میزان بالای کربوهیدرات را دلیل کاهش این خاصیت پیش بینی کرده اند.

با توجه به داده های بدست آمده (نمودار۲) می توان ملاحظه کرد که بیشترین ظرفیت امولسیون کنندگی آرد لوبیا چیتی در محدوده ی pH خنثی و آرد لوبیا قرمز در pH=۸ و pH=۱۰ دیده شده است که دقیقاً منطبق بر نمودارحلالیت پروتئین (نمودار۳) می باشد. در پژوهش های مشابه، نصری وتیناى (۲۰۰۵) بیشترین ظرفیت امولسیون کنندگی کنستانتره پروتئینی فنوگریک را در pH=۱۲ ، ادبوال و لاول (۲۰۰۴) بیشترین میزان فعالیت امولسیونی آرد سه نوع حبوبات را در pH=۱۰ و سینا و سریدها (۲۰۰۵) بیشترین میزان امولسیون کنندگی

آرد کاناوالیا رادر pH=۱۰ بدست آوردند که مشابه نتایج ایـن پـژوهش می باشد.



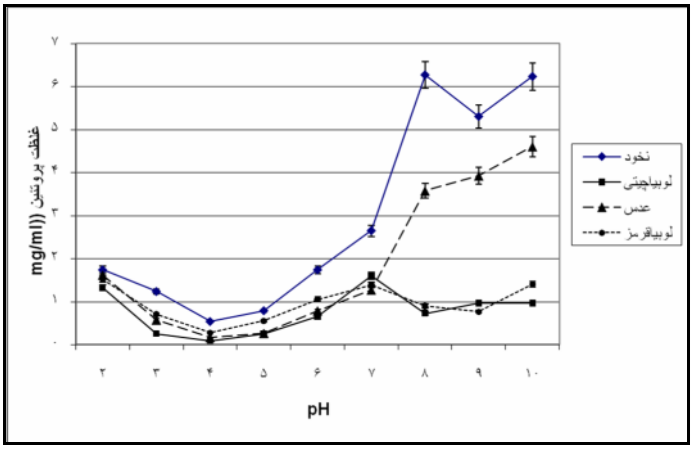
نمودار ۲ تاثیرpH بر ظرفیت امولسیون کنندگی آرد حبوبات مختلف.

*نتایجی که دارای حروف غیر مشابه هستند (حرف اول درمقادیر مختلف pH و حرف دوم در بین حبوبات مختلف)، با هم از نظر آماری دارای اختلاف معنی دار هستند (p<۰/۰۵).

تـأثیر غلظـت نمـک بـر ظرفیـت امولسـیون کننـدگی حبوبات

مطابق جدول ۱ مشاهده می شود که در آرد سه نمونه ی نخـود ، عدس و لوبیا قرمز افزایش غلظت نمک تا حدود ۰/۵ مولار تاثیر قابـل توجه و معنی داری را بر روی کاهش و یا افزایش ظرفیـت امولسـیون کنندگی نداشته است (p<۰/۰۵) که این موضوع ممکن است به نوع و شکل فضایی پـروتئین هـای سـاختمانی در قـدرتهای یـونی مختلـف مربوط باشد. به عنوان مثال در تحقیقی که لاوال و همکـاران (۲۰۰۵) بر روی آرد لوبیای لوکاست انجـام داد، تـا غلظـت نمـک حـدود ۰/۲ مولار ظرفیت امولسیون کنندگی افزایش و پس از آن کاهش یافت اما در مطالعه راگاب و همکاران (۲۰۰۵) بر روی پروتئین نخـود، افـزایش غلظت نمک تا حد ۰/۵ مولار باعث افزایش قدرت امولسیون کننـدگی شده است که تا حدودی با نتایج به دست آمده در این پژوهش مشـابه است.

در نتیجه، احتمالاً افزایش غلظت نمک تا حدود ۰/۴ – ۰/۲ مولار باعث بهبود ویژگی امولسیون کنندگی آرد حبوبات شـده و پـس از آن روند کاهشی وجود خواهد داشت. با توجه به اینکه اولین غلظـت مـورد مطالعه نمک در این پژوهش حدود ۰/۵ مولار بوده و کمتر از آن مورد بررسی قرار نگرفت می توان استدلال نمود که علت عدم تغییر ویژگی امولسیون کنندگی در آرد سه نمونه عدس، نخود و لوبیا قرمز به خـاطر روند ترکیبی افزایش و کـاهش ایـن ویژگـی در غلظـت کمتـر از ۰/۵ مولار می باشد.



نمودار ۳ حلالیت پروتئین آرد حبوبات درمقادیر مختلف pH

جدول ۱ تاثیر غلظت نمک بر مقدار روغن امولسیون شده (برحسب میلی لیتر) توسط آرد حبوبات مختلف

نمونه/ غلظت نمک (مولار)	صفر	۰/۵	۱/۰
آرد نخود	^{*a}۳۰	^{a}۳۱	^{a}۲۸/۲۵
آرد لوبیا چیتی	^{b}۳۸/۷۵	^{a}۳۰	^{b}۲۳
آرد عدس	^{a}۳۱	^{a}۳۰	^{a,b}۲۵/۷۵
آرد لوبیا قرمز	^{a,b}۳۴/۷۵	^{b}۳۶	^{b}۲۴/۷۵

در مورد آرد لوبیا چیتی تغییر کاملاً محسوس است و افزایش غلظت نمک به ۰/۵ مولار، خواص امولسیون کنندگی آن را بطور معنی داری کاهش داده است ($p<0/05$) که با نتایج لاوال و همکاران (۲۰۰۵) در موردآرد لوبیای لوکاست، ادوملام (۲۰۰۵) در مورد آرد جکفروت، سینا و سریدها (۲۰۰۵) در رابطه با آرد کاناوالیا و ادابوال و لاوال (۲۰۰۴) در مورد آرد جکبین مطابقت دارد.

بر اساس نتایج به دست آمده، مشاهده می شود که وجود اختلاف در رابطه با اثر غلظت نمک بر روی خواص امولسسیون کنندگی ممکن است مربوط به ترکیب اسیدهای آمینه موجود در پروتئین حبوبات مورد آزمایش باشد. اما نکته قابل توجه کاهش میزان خاصیت امولسیون کنندگی تمام نمونه های آرد حبوبات با افزایش غلظت نمک به حدود یک مولار است که با نتایج تمام پژوهش های منتشر شده مطابقت دارد.

خاصیت امولسیفایری بیوپلیمرهای پروتئین بستگی به قابلیت آن در پایین آوردن کشش سطحی بین آب و روغن در امولسیون دارد. فعالیت سطحی باعث مهاجرت آسان پروتئین، باز شدن و نوآرایی مجدد آن در لایه بین سطحی آب و روغن می شود. احتمالاً نمک ها در غلظتهای بالا این فعالیت سطحی را کاهش می دهند و در نهایت منجر به کاهش قدرت امولسیون کنندگی خواهد شد (اوگانگ بنله، ۲۰۰۸).

پایداری امولسیون های مربوط به آرد حبوبات

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 بعنوان فاز پراکنده باشد. با توجه به داده های بدست آمده در مورد نقطه ی شکست مشخص شد که در تمام مقادیر pH مورد مطالعه، امولسیون آرد لوبیا قرمز دارای پایداری بهتری نسبت به سه نمونه دیگر یعنی نخود، عدس و لوبیا چیتی بوده است. این موضوع در مورد غلظتهای نمک مورد استفاده نیز روند مشابهی داشته است. اما حساسیت .نمونه ها به غلظت نمک به خصوص در غلظت یک مولار خیلی بیشتر از حساسیت نسبت به pH بوده است و بلافاصله نمونه ها در مقادیر بالای نمک دو فاز شده اند که این داده ها با نتایج نصری و تینای (۲۰۰۷) مطابقت دارد. حساسیت به غلظت بالای نمک در مورد آرد لوبیا چیتی از همه بیشتر بوده است طوریکه بیشترین ناپایداری مربوط به امولسیون آرد لوبیا چیتی در غلظتهای نیم و یک مولار می باشد.

بطور کلی در تمام نمونه ها با افزایش غلظت نمک، پایداری امولسیون کاهش یافته است که این موضوع با نتایج لاوال و همکاران (۲۰۰۵) مشابه است.

نکته قابل توجه دیگر پایداری امولسیون آرد لوبیا قرمز در pH=۴ در حد بالا است به گونه ای که در این pH یک امولسیون ویسکوز تشکیل می شود که حتی پس از ۲۴ ساعت نیز حالت پایدار خود را حفظ می نماید بر خلاف سایر نمونه ها که خیلی زودتر پایداری خود را از دست دادند. نکته جالب توجه دیگر این است که در pH قلیایی، امولسیون ها پایداری بهتری نسبت به pH اسیدی داشته اند به عنوان مثال پایداری امولسیون ها در pH =۱۰ به مراتب بهتر از pH=۲ بوده است که با نتایج راگاب و همکاران (۲۰۰۴)، ادبوال و لاوال (۲۰۰۴) و نصری و تینای (۲۰۰۷) مطابقت دارد. فاکتورهای متفاوتی نظیر pH ، اندازه ذرات، بارخالص، کشش بین سطحی، ویسکوزیته و شکل فضایی پروتئین در پایداری امولسیون موثر هستند.

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. علت افزایش پایداری امولسیون لوبیا قرمز در pH=۴ نیز می تواند به دلیل دناتوره شدن پروتین باشد که باعث افزایش چسبندگی دو طرفه بین فاز چربی و آب شده و در نتیجه مقاومت و استحکام لایه بین آب و روغن را بیشتر می کند (لاوال و همکاران، ۲۰۰۵).

همچنین، علت افزایش ویسکوزیته در pH های ذکر شده در مورد لوبیا قرمز ممکن است به دلیل افزایش واکنش های بین پروتئینی (از طریق کاهش نیروی دافعه) باشد که باعث افزایش ویسکوزیته و تسهیل درتشکیل فیلم پروتئینی چند لایه در فضای بین دو فاز می شود و در نتیجه باعث کاهش مهاجرت پروتئین از داخل فیلم به خارج شده و در نهایت پایداری امولسیون را افزایش می دهد (لاوال و همکاران، ۲۰۰۵).

میزان کف کنندگی

بر اساس نمودار ۴ آرد لوبیای قرمز و چیتی دارای بیشترین میزان

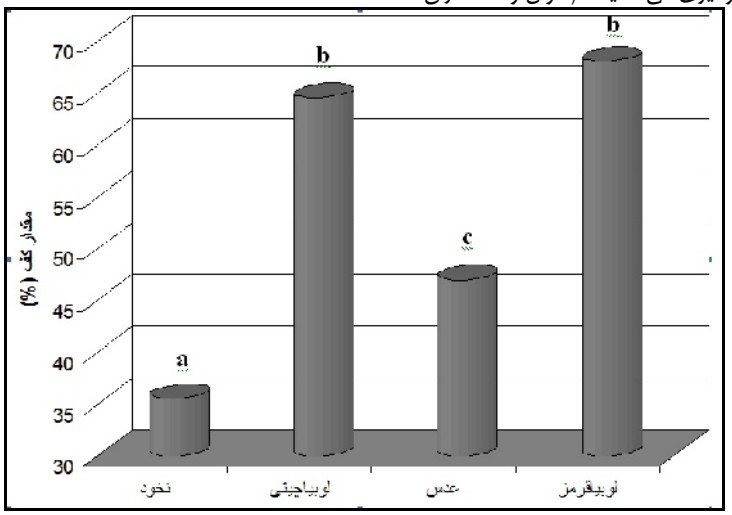
کف کنندگی و آرد نخود کمترین میزان را داشته است به طوریکه آرد لوبیای قرمز ، لوبیای چیتی ، عدس، و نخود به ترتیب دارای ۶۸، ۶۴/۵، ۴۷ و ۳۵/۵ درصد ظرفیت کف کنندگی بوده اند. می توان وجود اختلاف در میزان کف کنندگی حبوبات مختلف را به مقدار و نوع پروتئین های محلول در آنها و همچنین میزان لیپیدهای قطبی و غیر قطبی 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 درحالیکه قابلیت کف کنندگی ضعیف به پروتئین های کروی مربوط می شود که به طور خیلی منظم قرار دارند و در برابر دناتوراسیون سطحی مقاومت می کنند (الادته و آرینا، ۲۰۰۷).

نتایج بدست آمده نشان می دهد که میزان کف کنندگی نمونه های مورد آزمایش از میزان کف حبوبات مورد بررسی توسط آرمو و همکاران (۲۰۰۷) با حدود ۷/۹ تا۲۸/۱ درصد و همچنین داده های اباتولو و همکاران (۲۰۰۱) بر روی آرد لوبیای یام با حدود ۴۰٪ و نیز نتایج مانیندر و همکاران (۲۰۰۷) در مورد آرد پیجنپی با حدود ۳۷/۳٪ بیشتر بوده است اما در مقایسه با آرد سویا و آرد آفتابگردان این مقدار کمتر بوده است. میزان کم ظرفیت کف کنندگی آرد نخود نسبت به نمونه های دیگر ممکن است به دلیل وجود محتوای بالای چربی در نخود باشد زیرا زمانیکه لیپیدها درغلظت بیشتر از ۵٪ وجود دارند به طور قابل ملاحظه ای خواص کف کنندگی پروتئین را کاهش می دهند. به بیان دیگر لیپیدها دارای فعالیتی سطحی بیشتری نسبت به پروتئین هستند و به سرعت در سطح هوا آب جذب شده و از جذب پروتئین در طی تشکیل کف جلوگیری می نمایند (لاوال و همکاران، ۲۰۰۵).

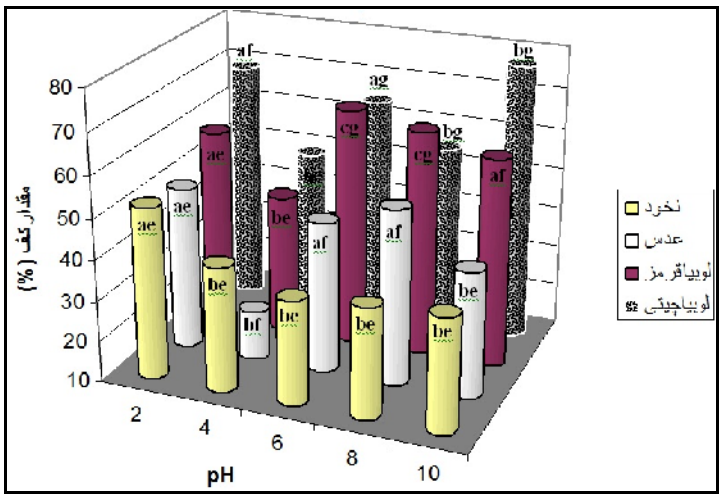
تأثیر pH بر ظرفیت کف کنندگی حبوبات

بر طبق نتایج بدست آمده (نمودار ۵) می توان دید که کمترین مقدار کف در تمام نمونه ها در pH=۴ (pH ایزوالکتریک) می باشد که با نتایج بدست آمده توسط اکثر پژوهشگران مطابقت دارد از جمله آروگنداد و همکاران (۲۰۰۶)، آدبوال و همکاران (۲۰۰۵)، راگاب و همکاران (۲۰۰۴)، نصری و تینای (۲۰۰۷) و لاوال و ادبوال (۲۰۰۴). این پژوهشگران کاهش کف کنندگی در pH ایزوالکتریک را به دلیل فشرده تر بودن پروتئین نسبت به pH های دیگر عنوان کرده اند.

همانطور که در نمودار ۵ مشخص شده است، لوبیا چیتی در محدوده ی pH بین ۲ تا ۱۰ بیشترین میزان کف کنندگی را داشته است. دلیل این موضوع یعنی افزایش میزان کف کنندگی در pH های اسیدی و قلیایی احتمالاً افزایش بار خالص پروتئین است که واکنش های آبگریزی را ضعیف کرده و با افزایش حلالیت و انعطاف پذیری پروتئین، پراکندگی آن را در فضای بین هوا آب سریعتر کرده و باعث به دام افتادن ذرات هوا و در نتیجه افزایش میزان کف کنندگی شده است. در مورد آرد نخود نیز همانطور که قبلاً ذکر شد به دلیل میزان بالای چربی در آن پس از نقطه ی ایزوالکتریک (نمودار ۳) میزان کف کنندگی تفاوت چندانی نداشته است و در مجموع، در بین تمام داده های مورد بررسی کمترین میزان کف کنندگی را در pH خنثی تا قلیایی داشته است.



نمودار٤ ظرفیت کف کنندگی آرد حبوبات مختلف (برحسب درصد)



نمودار ۵ تاثیر *pH* بر ظرفیت کف کنندگی آرد حبوبات مختلف (برحسب درصد).

**نتایجی که دارای حروف غیر مشابه هستند (حرف اول درمقادیر مختلف pH و حرف دوم در بین حبوبات مختلف)، با هم از نظر آماری دارای اختلاف معنی دار هستند ($p<0/05$)*

تأثیر غلظت نمک بر ظرفیت کف کنندگی حبوبات

با توجه به نمودار ۶ مشاهده می شود که تمام نمونه ها از یک روند خاص تبعیت نمی کند به طوریکه افزایش غلظت نمک تا حد ۰/۵ مولار باعث افزایش کف کنندگی در نخود شده است اما این موضوع درمورد عدس تأثیر چندانی نداشته و در مورد لوبیا قرمز و لوبیا چیتی، کاهش در میزان کف کنندگی را به دنبال داشته است. تاثیر غلظت نمک بر روی خواص کف کنندگی لوبیا چیتی (مانند خاصیت امولسیون کنندگی آن) کاملاً محسوس است بطوریکه غلظت ۰/۵ مولار نمک باعث کاهش کف از ۶۴/۵٪ به ۵۵٪ شده است و افزایش غلظت نمک تا یک مولار این مقدار را تا حد ۴۹٪ کاهش داده است. این نتایج با داده های ارائه شده توسط ادبوال و لاوال (۲۰۰۴) در مورد آرد جکبین و موکونابین مطابقت دارد. همچنین نصری و تینای (۲۰۰۷)، سینا و سریدها (۲۰۰۵) و لاوال و همکاران (۲۰۰۵) در مورد تأثیر غلظت نمک بر میزان کف کنندگی حبوبات مختلف نتایج مشابهی را بدست آوردند.

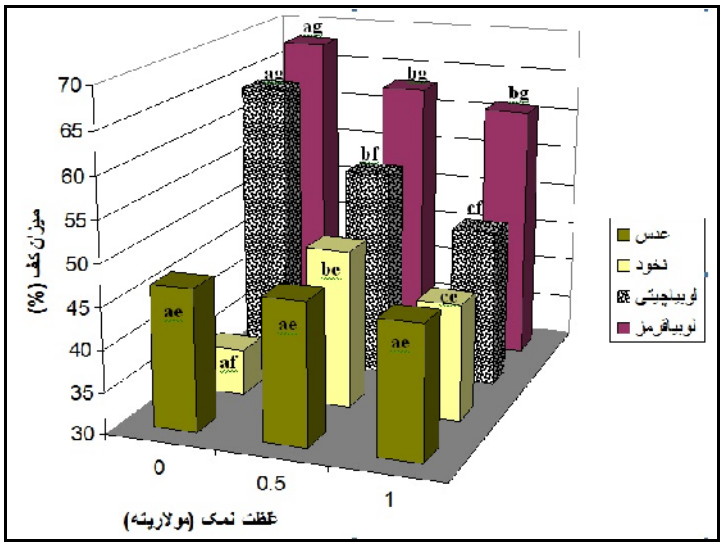
داده های بدست آمده در مورد نخود با داده های گزارش شده در مورد بامبارا گراندنات (ادبوال و لاوال، ۲۰۰۴) مطابقت دارد که با افزایش غلظت نمک تا ۱/۰ مولار، میزان کف کنندگی افزایش داشته است. همچنین راگاب و همکاران (۲۰۰۴) مشاهده کردند که با افزایش نمک تا حدود ۴/۰ مولار، خاصیت کف کنندگی ایزوله پروتئینی نخود افزایش یافته است. به طور کلی، افزایش خاصیت کف کنندگی بستگی به دناتوراسیون جزیی پروتئین و در نتیجه، افزایش و یا بهبود حلالیت آن در فضای بین سطحی کلوئیدی سوسپانسیون در طول فرآیند تشکیل کف دارد.

تفاوت مشاهده شده در میزان کف کنندگی آرد نمونه های مختلف با اعمال قدرتهای یونی متفاوت ممکن است به دلیل اختلاف فیزیولوژیکی در ترکیب پروتئین و حضور ترکیبات دیگر نظیر لیپیدها، کربوهیدراتها و غیره باشد که در بین نمونه‌ها، مقادیر مختلف دارند.

پایداری کف تشکیل شده توسط آرد حبوبات

همانطور که مشخص است در تمام نمونه ها بدون در نظر گرفتن pH با گذشت زمان، پایداری کف کاهش می‌یابد (نمودار ۷). نکته قابل توجه دیگر، پایداری بیشتر کف در pH ایزوالکتریک (pH =4) نسبت به pH های دیگر است که با نتایج بسیاری از پژوهگران نظیر لاوال و همکاران (۲۰۰۴)، نصری و تینای (۲۰۰۷)، آرمو و همکاران (۲۰۰۷) و اروگاندو و همکاران (۲۰۰۶) مطابقت دارد و تنها بر خلاف داده های سینا و سریدها (۲۰۰۵) می باشد که کمترین میزان پایداری کف را در pH ایزوالکتریک به دست آوردند.

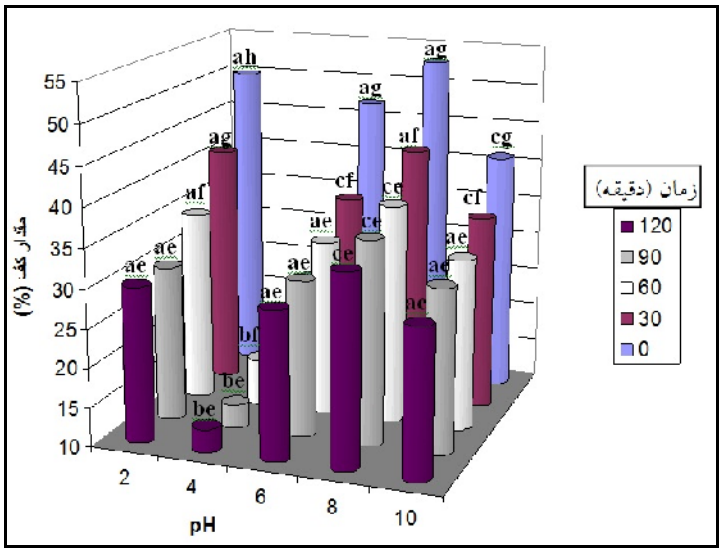
بر طبق نظر لاوال و همکاران (۲۰۰۵) در نقطه ایزوالکتریک به علت کاهش واکنش های دافعه بین مولکولها، سرعت تشکیل یک لایه ویسکوز در بین دو فاز هوا – آب افزایش می یابد که باعث ایجاد یک لایه پایدار در فضای بین آب هوا شده و در نهایت منجر به پایداری کف خواهد شد. همچنین، علت پایداری بیشتر کف در نقطه ایزوالکتریک احتمالاً به خاطر پایداری بیشتر پروتئین های پایدار کننده کف در این نقطه نسبت به pH های دیگر می‌باشد.



نمودار ٦ تاثیر غلظت نمک بر ظرفیت کف کنندگی آرد حبوبات مختلف (برحسب درصد).

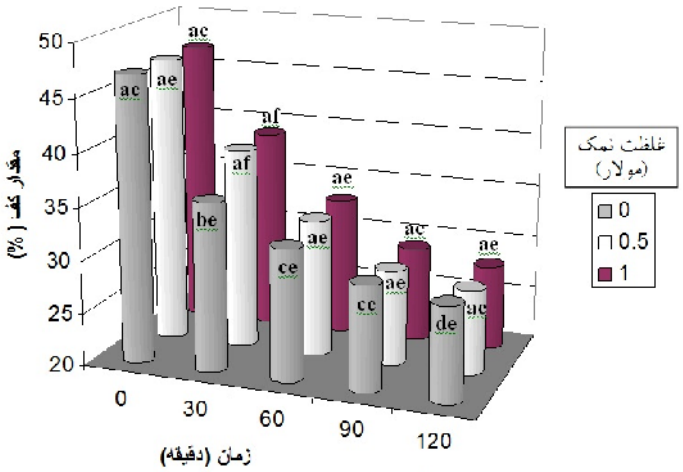
***نتایجی که دارای حروف غیر مشابه هستند (حرف اول درمقادیر مختلف غلظت نمک و حرف دوم در بین حبوبات مختلف)، با هم از نظر آماری دارای اختلاف معنی دار هستند ($p<۰/۰۵$)**

نکته مهم دیگر، کاهش سریعتر میـزان کـف در نـیم سـاعت اول می‌باشد که پس از این مدت، کاهش حجم کف بـه صـورت تـدریجی انجام گرفته است (پایداری کف نیز در ایـن مـدت کـه زمـان بحرانـی است سنجیده می‌شود). به عنوان مثال میزان کاهش کف در این مدت در مورد عدس در pH =2 حدود ۱۸٪ ، در pH =4 ۱۳٪، در pH =6 ۱۹٪ در pH =8 ۱۸٪، در pH =10 حـدود ۱۵٪ بـوده اسـت. در نتیجه در pH ایزوالکتریک میـزان پایـداری کـف بیشـتر از pH هـای دیگر می‌باشد (نمودار ۷).



نمودار ۷ پایداری کف حاصل از آرد عدس (برحسب درصد) در مقادیر مختلف *pH*.

***نتایجی که دارای حروف غیر مشابه هستند (حرف اول درمقادیر مختلف *pH* و حرف دوم در بین زمان های مختلف)، با هم از نظر آماری دارای اختلاف معنی دار هستند ($p<۰/۰۵$)**



نمودار ۸ پایداری کف حاصل از آرد عدس (بر حسب درصد) در غلظت های مختلف نمک.
***نتایجی که دارای حروف غیر مشابه هستند (حرف اول درمقادیر مختلف زمان و حرف دوم در بین غلظت های مختلف نمک)، با هم از نظر آماری دارای اختلاف معنی دار هستند ($P<0.05$)**

در مورد پایداری کف در غلظت های مختلف نمک نیز طبق نمودار ۸، بدون در نظر گرفتن غلظت نمک، با افزایش زمان، میزان کف کاهش می‌یابد. پایداری کف با توجه به غلظت نمک در نمونه های مختلف روند متفاوتی را نشان می‌دهد. برای مثال در مورد عدس، غلظت نمک تأثیر چندانی را بر روی خاصیت کف کنندگی ایفا نکرده است. اما پایداری آن با افزایش غلظت نمک به میزان یک مولار افزایش داشته است که این نتایج با داده های به دست آمده در مورد آرد بامبارا گراندنات (ادبوال و لاوال، ۲۰۰۴) مطابقت دارد.

احتمالاً افزایش پایداری کف با زیاد شدن غلظت نمک ناشی از افزایش 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 (۲۰۰۴) 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 فرایند باعث می شود پروتئین ازطریق واکنش های درون مولکولی، یک فیلم چسبنده و ویسکوز را تشکیل دهد و بنابراین، پایداری کف افزایش یابد.

غلظت بحرانی نمک در مورد مواد مختلف متفاوت است مثلاً در مورد آرد لوبیای لوکاست، افزایش غلظت تا ۰/۴ مولار (لاوال و همکاران، ۲۰۰۵) و در مورد یک گونه از کاناوالیا تا ۰/۲ مولار و در مورد گونه دیگر آن ۰/۴ مولار بیشترین پایداری کف را داشته است (سینا و سریدها، ۲۰۰۵) و افزایش غلظت نمک بیش از میزان ذکر شده باعث کاهش پایداری کف شده است.

در مورد نخود همانطور که در جدول ۲ مشاهده می شود بر خلاف روند متداول، افزایش غلظت نمک تأثیر چندانی بر روی پایداری کف نداشته است و فقط در غلظت ۰/۵ مولار طی ۳۰ دقیقه اول، کف به میزان ۲۴٪ کاهش یافته است در حالیکه در غلظتهای صفر و یک مولار این میزان ۴۰٪ کاهش را نشان می دهد که از نظر آماری معنی دار ($p<0/05$) است. میزان پایداری کف پس از مدت یک ساعت در نمونه شاهد (بدون نمک) بهتر از اعمال قدرت یونی نیم و یک مولار بوده است اما این غلظت ها اثر معنی داری ($p>0/05$) نشان نمی دهند.

جدول ۲ پایداری کف حاصل از آرد نخود (برحسب درصد) در غلظت های مختلف نمک

زمان (دقیقه) / غلظت نمک (مولار)	صفر	۰/۵	۱/۰
۰	^{*a}۳۵/۵	^{a}۴۹/۰	^{a}۴۴/۰
۳۰	^{b}۲۱/۰	^{b}۳۷/۰	^{b}۲۶/۰
۶۰	^{c}۱۶/۵	^{c}۳۱/۰	^{c}۲۱/۵
۹۰	^{c}۱۵/۰	^{d}۲۴/۰	^{c}۱۹/۰
۱۲۰	^{c}۱۴/۵	^{e}۱۹/۰	^{d}۱۷/۰

*نتایج ذکر شده در هر ستون که دارای حروف غیر مشابه هستند، با هم از نظر آماری دارای اختلاف معنی دار هستند ($P<0.05$).

میزان پایداری کف لوبیا قرمز و لوبیاچیتی نیز با اعمال قدرت یونی نیم و یک مولار نمک کاهش می یابد که البته کف لوبیا قرمز پایدارتر است به طوریکه در۳۰ دقیقه اول در حالت بدون نمک ۹/۵ درصد کاهش کف، در حالت نیم مولار نمک ۱۲/۶ درصد کاهش و در حالت یک مولار این مقدار به ۱۱/۴ درصد کاهش رسیده است. در مورد لوبیا چیتی غلظت نمک تاثیر بیشتری را بر روی پایداری کف ایفا می کند مانند خاصیت کف کنندگی که آرد لوبیا چیتی حساس ترین نمونه به نمک است. به طوریکه افزایش غلظت نمک به حدود یک مولار باعث کاهش ۲۸ درصد کف شده است اما درحالت بدون نمک این میزان ۲۳ درصد بوده است.

داده های بدست آمده با نتایج لاوال و همکاران (۲۰۰۵) در مورد آرد لوبیای لوکاست (غلظت نمک در حد یک مولار باعث کاهش پایداری کف شده است)، لاوال و ادبوال (۲۰۰۴) در مورد آرد جکبین و موکونابین، سینا و سریدها (۲۰۰۵) در مورد آرد دو گونه کاناوالیا تطابق دارد اما با داده های مربوط به آرد بامبارا گراندنات که افزایش غلظت نمک تا حد یک مولار باعث افزایش پایداری کف شده است (راگاب و همکاران ،۲۰۰۷) متناقض است. کاهش پایداری کف بیش از غلظت مورد نیاز نمک ممکن است به دلیل کاهش در دناتوراسیون پروتئین های سطحی باشد که مسوول ایجاد خواص رئولوژیکی مناسب برای پایداری کف می باشند.

نتیجه گیری

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 ویژگی ها درمورد آرد نخود، عدس، لوبیاقرمز و لوبیا چیتی مورد بررسی قرار گرفت. در جمع بندی نهایی می توان گفت که آرد لوبیا قرمز بهترین ویژگی های عملکردی را از خود نشان می دهد و علیرغم میزان بالاتر پروتئین در آرد نخود، ویژگی های عملکردی آن در سطح پایین تری نسبت به لوبیا قرمز بوده است. با تغییر pH نسبت به نقطه ایزوالکتریک، ظرفیت امولسیون کنندگی آرد حبوبات مورد مطالعه بیشتر گردید. دررابطه با ظرفیت کف کنندگی، کمترین میزان مربوط به نقطه ایزوالکتریک پروتئین ها بود اما در این نقطه، کف حاصله بیشترین پایداری را نشان داد.

منابع

Abu, J. O., K. Muller, et al. (2005). "Functional properties of cowpea (Vigna unguiculata L. Walp) flours and pastes as affected by gamma-irradiation." Food Chemistry 93: 103-111.

Adebowale, K. O. and O. S. Lawal (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.

Adebowale, Y. A., I. A. Adeyemi, et al. (2005). "Functional and physicochemical properties of flours of six Mucuna species." African Journal of Biotechnology 4(12): 1461-1468.

AOAC (2005). Official methods of analysis (18th ed.). Washington, DC, Association of Official Analytical Chemists.

Aremo, M. O., O. Olaofe, et al. (2007). "Functional properties of some Nigerian varieties of legume seed flours and flour concentration effect on foaming and gelation properties." Journal of Food Technology 5(2): 109-115.

Arogundade, L. A., M. Tshay, et al. (2006). "Effect of ionic strength and/or pH on Extractability and physico-functional characterization of broad bean (Vicia faba L.) Protein concentrate." Food Hydrocolloids 20: 1124-1134.

Chau, C. F. and P. C. K. Cheung (1998). "Functional properties of flours prepared from three Chinese indigenous legume seeds." Food Chemistry 61(4): 429-433.

El Nasri, N. A. and A. H. Tinay (2007). "Functional properties of fenugreek (Trigonella foenum graecum) protein concentrate." Food Chemistry 103: 582-589.

Gueguen, J. (1998). "Overview on functional properties of grain legume components." Grain Legumes 20(2): 13-14.

Kinsella, J. E. (1981). "Functional properties of proteins: Possible relationships between structure and function in foams." Food Chemistry 7(4): 273-288.

Lawal, O. S. (2004). "Functionality of African locust bean (Parkia biglobossa) protein isolate: effects of pH, ionic

strength and various protein concentrations." Food Chemistry 86(3): 345-355.

Lawal, O. S., K. O. Adebowale, et al. (2005). "On the functional properties of globulin and albumin protein fractions and flours of African locust bean (Parkia biglobossa)." Food Chemistry 92(4): 681-691.

Maninder, K., K. S. Sandhu, et al. (2007). "Comparative study of the functional, thermal and pasting properties of flours from different field pea (Pisum sativum L.) and pigeon pea (Cajanus cajan L.) cultivars." Food Chemistry 104(1): 259-267.

Obatolu, V. A., S. B. Fasoyiro, et al. (2001). "Effect of Processing on Functional Properties of Yam Beans (Sphenostylis stenocarpa)." Food Science and Technological Research 7(4): 319-322.

Odoemelam, S. A. (2005). "Functional Properties of Raw and Heat Processed Jackfruit (Artocarpus heterophyllus) Flour." Pakistan Journal of Nutrition 4(6): 366-370.

Ogungbenle, H. N. (2008). "Effects of Salt Concentrations on the Functional Properties of Some Legume Flours." Pakistan Journal of Nutrition 7(3): 453-458.

Oladele, A. K. and J. O. Aina (2007). "Chemical composition and functional properties of flour produced from two varieties of tigernut (Cyperus esculentus)." African Journal of Biotechnology 6(21): 2473-2476.

Ragab, D. M., E. E. Babiker, et al. (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.

Seena, S. and K. R. Sridhar (2005). "Physicochemical, functional and cooking properties of under explored legumes, Canavalia of the southwest coast of India." Food Research International 38: 803-814.

Vadivel, V. and K. Janardhanan (2001). "Nutritional and anti-nutritional attributes of the under-utilized legume, Cassia floribunda Cav." Food Chemistry 73: 209-215.

Yu, J., M. Ahmedna, et al. (2007). "Peanut protein concentrate: Production and functional properties as affected by processing." Food Chemistry 103: 121-129.

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.