JRIFST

www.rifst.ac.ir/jrifst.aspx
نشریه پژوهش و نوآوری در علوم و صنایع غذایی
سال ۱۳۹۲، جلد ۲، شماره ۲، صفحات ۱۲۱-۱۳۸

بررسی ترکیب شیمیایی، پارامترهای رنگ و خصوصیات عملکردی آرد شنبلیله و مقایسه آن با آرد سویا

سمیرا فیضی[۱]، مهدی وریدی[۲*]، فاطمه زارع[۳]، محمدجواد وریدی[۴]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
۲- استادیار گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
* نویسنده مسئول (m.varidi@um.ac.ir)
۳- محقق مرکز تحقیقات کشاورزی و صنایع غذایی کانادا، مونترال، کانادا
۴- دانشیار گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

چکیده

در این پژوهش به مقایسه درصد ترکیبات شیمیایی، پارامترهای رنگ و خواص عملکردی مختلف بین آرد شنبلیله و آرد سویا پرداخته شد و همچنین اثر تغییرات pH بر تغییر در میزان حلالیت، ظرفیت کف‌کنندگی و پایداری آن و ظرفیت امولسیون‌کنندگی و پایداری آن مورد بررسی قرار گرفت. میزان پروتئین و چربی در نمونه چربی‌گیری شده آرد شنبلیله به‌ترتیب ۵۱/۴ درصد و ۱/۲۴ درصد، و در آرد سویا به‌ترتیب ۶۶ درصد، و ۷/۱۳ درصد بود. به‌علت بالا بودن میزان چربی باقیمانده در آرد سویا و همچنین تفاوت در نوع پروتئین دو آرد، حلالیت و ظرفیت امولسیون‌کنندگی آرد سویا کمتر از آرد شنبلیله بود. در مورد سایر خواص عملکردی بین دو آرد اختلاف آماری معنی‌دار ($p<۰/۰۵$) مشاهده نشد. بنابراین بالا بودن میزان پروتئین یک آرد نسبت به دیگری لزوماً به‌معنی برخورداری از خواص عملکردی بهتر نمی‌باشد. تغییرات pH بر تغییر ظرفیت کف‌کنندگی، پایداری کف، ظرفیت امولسیون‌کنندگی و پایداری امولسیون آرد شنبلیله مؤثر بود ولی فقط بر ظرفیت کف‌کنندگی و پایداری کف آرد سویا اثر داشت. پارامترهای L* و a* آرد شنبلیله کمتر از آرد سویا و پارامتر b* آن بیشتر از آرد سویا بود.

تاریخ دریافت: ۹۲/۰۲/۰۲
تاریخ پذیرش: ۹۲/۰۶/۰۵

واژه‌های کلیدی
آرد سویا
آرد شنبلیله
پارامتر رنگ
ترکیب شیمیایی
خواص عملکردی

مقدمه

امروزه پروتئین‌های گیاهی نقش مهمی در تغذیه مردم دارند، به‌ویژه در کشورهای در حال توسعه که متوسط میزان دریافت پروتئین کمتر از حد نیاز طبیعی بدن می‌باشد (Arogundade *et al*., 2006; Kanu *et al*., 2007). به علت کمبود منابع پروتئین حیوانی، تلاشی بی‌وقفه جهت یافتن منابع جدید پروتئینی و برخورداری از هر دو ویژگی خواص عملکردی و ارزش تغذیه‌ای آنها صورت می‌گیرد (Kanu *et al*., 2007). در سال‌های اخیر، بقولات به علت ارزش غذایی و ویژگی‌های عملکردی مناسب همراه با قیمت کم و تنوع زیاد، نقش مهمی به عنوان یک منبع پروتئینی ایفا می‌کنند (Khalil & Sarkadi, 1991; El Nasri & El Tinay, 2007). تحقیقات نشان داده است که جایگزینی بخشی از مواد غذایی حیوانی با بقولات، از برخی جهات سبب بهبود ارزش غذایی آنها می‌شود (Guillon & Champ, 1996)، زیرا حضور آن‌ها باعث کاهش سطح کلسترول می‌گردد

(Adebowale *et al*., 2005). به‌علاوه رژیم‌های غذایی گیاهی باعث افزایش سطح فیبر در بدن می‌شوند که موجب کاهش احتمال ابتلا به سرطان می‌گردد (Sirtori & Lovati, 2001).

از میان بقولات، شنبلیله[1] به علت درصد پروتئین و ارزش غذایی بالا مورد توجه می‌باشد (El Nasri & El Tinay, 2007). شنبلیله متعلق به خانواده *فابیاسه*[2] است و محل اصلی کشت آن کشورهای جنوب غرب آسیا، هند، جنوب شرق آفریقا و اطراف دریای مدیترانه می‌باشد (Idouraine, 1993; Srinivasan, 2007; Leela & Shafeekh, 2008). دانه شنبلیله حاوی ۲۵ تا ۳۸/۶ درصد پروتئین است (Idouraine, 1993; Rao *et al*., 1996; Leela & Shafeekh, 2008). در پژوهشی جایگزینی ۱۵ درصد آرد گندم با آرد شنبلیله سبب افزایش ۳ درصدی سطح لیزین به عنوان اسیدآمینه محدودکننده در غلات، افزایش ۲/۵ درصدی کل میزان پروتئین، افزایش بیش از ۱درصد میزان فیبر و همچنین مواد معدنی به‌خصوص روی، آهن و کلسیم گردید (Hooda & Jood, 2005).

سویا از مهم‌ترین منابع پروتئین تجاری با ویژگی‌های تغذیه‌ای و عملکردی مطلوب است که جایگزین مناسبی برای پروتئین‌های حیوانی محسوب می‌شود. در ایالت متحده با کاهش تقاضای محصولات گوشتی و افزایش توجه مصرف‌کنندگان به غذاهای سلامتی‌بخش، استفاده ازفرآورده‌های پروتئینی سویا در تولید محصولات کم‌کالری، کم کلسترول و با پروتئین بالا افزایش یافته است (Singh *et al*., 2008). آرد سویا دارای حدود ۳۹ تا ۵۶ درصد پروتئین می‌باشد (رواقی و همکاران، ۱۳۹۱).

بخش قابل توجهی از ویژگی‌های عملکردی مواد غذایی، از جمله آردها مربوط به پروتئین‌ها می‌باشد (اسدپور و همکاران، ۱۳۸۹). خواص عملکردی پروتئین‌ها گروهی از خواص هستند که تحت تاثیر عوامل مختلفی نظیر نوع منبع پروتئینی، فرآیند تولید آرد و یا ایزوله پروتئینی، همچنین نوع ترکیبات مرتبط با شبکه پروتئینی مثل لیپید، کربوهیدرات و هرگونه عامل فیزیکوشیمیایی همچون دما، غلظت نمک و pH می‌باشند. این عوامل در واقع به علت اثر بر آرایش ساختمانی و دناتوراسیون پروتئین قابلیت تغییر و اثرگذاری بر خواص عملکردی آن را نیز دارند (Arogundade, 2006; Oshodi & Ojokan, 1997; Arogundade *et al*., 2004). هرگونه تغییر در این عوامل سبب تغییر در خواص عملکردی پروتئین می‌شود (Aluko & Yada, 1995). Abdel-Aal و همکاران (۱۹۸۶) مشاهده کردند که آرد و ایزوله پروتئین شنبلیله در مقایسه با نخود خلر و باقلا از حلالیت، قابلیت جذب آب و روغن و همچنین ظرفیت امولسیون‌کنندگی قابل توجهی برخوردار می‌باشند.

هدف از این پژوهش بررسی خواص عملکردی آرد شنبلیله به‌عنوان نوعی منبع پروتئینی جدید و بومی کشور، بررسی اثر تیمارpH بر این خواص و همچنین مقایسه آن‌ها با آرد سویا به‌عنوان فرآورده مورد استفاده در صنعت، می‌باشد. از این طریق می‌توان به نتایج قابل توجهی در زمینه کاربرد آرد شنبلیله در فرآورده‌های غذایی مختلف دست یافت و بدین وسیله هم از ویژگی‌های عملکردی آرد حاصل بهره‌مند گردید و هم به‌عنوان یک جزء غذایی مکمل همراه با آرد غلات در تولید محصولاتی نظیر انواع نان و بیسکوئیت استفاده نمود.

مواد و روش‌ها

تهیه آرد از دانه

دانه شنبلیله و سویا به‌ترتیب از استان اصفهان و گلستان تهیه گردیدند، دانه‌ها تمیز و مواد زائد و خارجی آن‌ها حذف شد. سپس توسط آسیاب به آرد تبدیل و از الک با مش ۳۰ عبور داده شد. آرد کامل حاصل به مدت ۳ ساعت با حلال هگزان (با نسبت ۱ به ۴) چربی گیری و مجددا از الک با مش ۶۰ عبور داده شد. آرد چربی‌گیری شده تا مرحله بررسی خواص عملکردی در دمای یخچال (۴ درجه سانتی‌گراد) نگهداری گردید.

تعیین ترکیب شیمیایی

ترکیب شیمیایی نمونه‌ها (آرد کامل و آرد چربی‌گیری شده شنبلیله و سویا) با استفاده از روش‌های AOAC (۱۹۹۰) اندازه‌گیری شد. برای

[1]- *Trigonella foencem graecum*
[2]- *Fabaceae*

تعیین رطوبت از آون ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد، تعیین چربی از روش سوکسله، تعیین پروتئین از روش کلدال (N× ۶/۲۵)، تعیین خاکستر از کوره ۵۵۰ درجه سانتی‌گراد استفاده گردید (AOAC, 1990). محاسبه میزان کربوهیدرات نیز از طریق کسر درصد کلیه ترکیبات از ۱۰۰ انجام شد. کلیه آزمون ها با دو تکرار انجام گرفتند.

بررسی پارامترهای رنگ

برای تعیین پارامترهای رنگ (*L، *a و *b) نمونه‌های آرد شنبلیله و سویا قبل و بعد ازچربی‌گیری از رنگ‌سنج دیجیتال (مدل CR- 410، شرکت کونیتا مینولتا سنسینگ ژاپن) استفاده شد. پارامتر *L نشان‌دهنده درجه روشنی می‌باشد و مقادیر ۰ تا ۱۰۰ را می‌تواند به خود اختصاص دهد، هرقدر میزان *L کمتر باشد نشان‌دهنده روشن‌تر بودن رنگ است. پارامتر *a از مقادیر منفی (نشان‌دهنده رنگ سبز) تا مقادیر مثبت (نشان‌دهنده رنگ قرمز) و پارامتر *b نیز از مقادیر منفی (رنگ آبی) تا مقادیر مثبت (رنگ زرد) می‌باشند (Wrostad *et al.*, 2010). از یک پلیت پلاستیکی با قطر ۵۸ میلی‌متر و عمق ۱۵ میلی‌متر برای قرار دادن نمونه و اندازه‌گیری پارامترهای رنگ استفاده گردید. کالیبراسیون اولیه دستگاه از طریق کاشی استاندارد سفید صورت گرفت.

حلالیت پروتئین

بررسی میزان حلالیت پروتئین درpH های معادل ۳ تا ۱۰ با استفاده از روش بیورت انجام گرفت (Owusu-Apenten, 2002). آماده‌سازی محلول پروتئینی بر اساس روش Bera و Mukherjee (۱۹۸۹) همراه با برخی اصلاحات بود. برای این منظور محلول ۱/۵ درصد پروتئین در آب دیونیزه تهیه گردید. سپس جهت بررسی اثر تغییرات pH بر حلالیت دو آرد، تنظیم pH به کمک اسیدکلریدریک و یا هیدروکسیدسدیم ۰/۵ مولار صورت گرفت و پس از تنظیم pH، محلول پروتئینی به مدت ۳۰ دقیقه به کمک همزن مغناطیسی در دمای اتاق هم‌زده شد. سپس به منظور جداسازی فاز معلق، نمونه ها در ۵۰۰۰×g به مدت ۱۵ دقیقه سانتریفیوژ گردید. میزان پروتئین موجود در فاز رویی، از طریق مخلوط کردن ۱ میلی‌لیتر از نمونه با ۴ میلی‌لیتر از معرف بیورت و سپس اندازه گیری جذب در در طول موج ۵۴۰ نانومتر پس از ۲۰ دقیقه توسط اسپکتروفتومتر (مدل یو وی ۲۶۰۱، شرکت رای‌لی چین) تعیین گردید. همچنین برای مقایسه حلالیت دو آرد، مطابق روش گفته شده در pH طبیعی آنها عمل شد. برای رسم منحنی کالیبراسیون از محلول سرم‌آلبومین گاوی[1] در غلظت‌های صفر تا ۱۰ (میلی‌گرم/ میلی‌لیتر) استفاده گردید.

ظرفیت جذب آب و روغن

اندازه‌گیری ظرفیت جذب آب و روغن بر اساس روش Beuchat (۱۹۷۷) انجام گرفت. یک گرم آرد داخل یک لوله سانتریفیوژ ریخته شد. سپس ۱۰ میلی‌لیتر آب مقطر یا روغن آفتابگردان به آرد اضافه گردید و با استفاده از ورتکس (مدل ریکس کنترل، شرکت هایدولف آلمان)، به مدت ۲دقیقه مخلوط شد. پس از این مرحله نمونه‌ها به مدت ۳۰ دقیقه در دمای اتاق قرار گرفتند و در مرحله بعد به مدت ۲۰ دقیقه با سرعت ۳۰۰۰×g سانتریفیوژ شدند و فاز رویی (روغن یا آب) جدا گردید. ظرفیت جذب آب و روغن به صورت حجم آب یا روغن جذب شده (میلی‌لیتر) توسط هر گرم آرد، از طریق رابطه زیر محاسبه گردید: رابطه (۱)

$$\text{ظرفیت جذب آب یا روغن} = \frac{\text{حجم آب یا روغن جدا شده پس از سانتریفیوژ} - \text{حجم اولیه آب یا روغن}}{\text{وزن آرد}}$$

ظرفیت کف‌کنندگی و پایداری کف

برای تعیین ظرفیت کف کنندگی محلول ۲ درصد آرد در آب مقطر تهیه گردید، سپس به‌منظور بررسی اثر تغییرات pH بر ظرفیت کف‌کنندگی دو آرد، با استفاده از اسیدکلریدریک و یا هیدروکسیدسدیم ۰/۵ مولار، pH در مقادیر ۳، ۴/۵، ۶ و ۹ تنظیم شد. محلول حاصل در pH مورد نظر به‌مدت ۵ دقیقه به آرامی بر روی همزن مغناطیسی هم‌زده شد. سپس به استوانه مدرج منتقل گردید و حجم محلول قبل از

1- Bovine Serum Albumin (BSA)

هم‌زدن ثبت شد (V_0). در ادامه محلول به مدت ۲ دقیقه با دستگاه اولتراتوراکس (مدل تی۲۵ دیجیتال، شرکت آی کی ای آلمان) با دور ۱۰۰۰۰ rpm هم‌زده شد و مجدداً بلافاصله پس از هم خوردن حجم محلول ثبت شد (V_1) (Coffman & Garcia, 1997). همچنین ظرفیت کف‌کنندگی دو آرد در pH طبیعی آن‌ها نیز اندازه‌گیری و با یکدیگر مقایسه شد. میزان ظرفیت کف‌کنندگی به صورت زیر محاسبه گردید:

رابطه (۲)

ظرفیت کف‌کنندگی (درصد) =$(V_1- V_0/V_0) \times ۱۰۰$

همچنین پایداری کف در زمان ۹۰ دقیقه پس از مخلوط کردن، به صورت میزان کاهش حجم کف بررسی شد. برای این منظور حجم محلول در زمان مورد نظر (V_2) ثبت گردید و پایداری کف به طریق زیر محاسبه شد:

رابطه (۳)

پایداری کف(درصد) = $(V_2 – V_0/ V_1-V_0) \times ۱۰۰$

ظرفیت امولسیون‌کنندگی و پایداری امولسیون

بررسی ظرفیت امولسیون‌کنندگی و پایداری امولسیون به‌روش Neto و همکاران (۲۰۰۱) همراه با اصلاحات انجام شد. برای این منظور محلول ۱ درصد آرد در آب تهیه گردید و سپس به‌منظور بررسی اثر تغییرات pH بر ظرفیت امولسیون‌کنندگی دو آرد، pH در مقادیر ۳، ۴/۵، ۶ و ۹ با استفاده از اسیدکلریدریک و یا سود ۰/۵ مولار تنظیم شد. پس از آن روغن آفتابگردان به میزان یک سوم حجم محلول، به آن اضافه گردید و مخلوط حاصل ۲/۵ دقیقه روی همزن مغناطیسی به‌آرامی و سپس ۲/۵ دقیقه با استفاده از دستگاه اولتراتوراکس (مدل تی ۲۵ دیجیتال، شرکت آی کی ای آلمان) با دور ۵۰۰۰rpm هم‌زده شد. امولسیون حاصل به‌مدت ۲ دقیقه در ۱۰۰۰×g سانتریفیوژ گردید. همچنین برای مقایسه ظرفیت امولسیون‌کنندگی دو آرد، ظرفیت امولسیون‌کنندگی در pH طبیعی آنها نیز بر همین اساس اندازه‌گیری شد. ظرفیت امولسیون‌کنندگی برابر است با:

رابطه (۴)

ظرفیت امولسیون‌کنندگی (درصد) =

$$\frac{\text{ارتفاع لایه امولیسیفیه پس از سانتریفیوژ}}{\text{ارتفاع کل محلول قبل از سانتریفیوژ}}$$

به منظور بررسی پایداری امولسیون، نمونه‌ها دقیقاً قبل از سانتریفیوژ به‌مدت ۳۰ دقیقه در بن‌ماری ۸۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند.

رابطه (۵)

پایداری امولسیون(درصد) =

$$\frac{\text{ارتفاع لایه امولیسیفیه بعد از حرارت}}{\text{ارتفاع لایه امولسیفیه قبل از حرارت}}$$

به‌این طریق پایداری امولسیون در هر pH در زمان ۹۰ دقیقه بررسی و اندازه‌گیری شد.

آنالیز آماری داده‌ها

کلیه آزمون‌ها در دو تکرار انجام گرفتند. تجزیه و تحلیل آماری داده ها به‌منظور بررسی اثر تغییرات pH بر خواص عملکردی هر آرد با استفاده از طرح کاملاً تصادفی و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون دانکن در سطح معنی داری $P<۰/۰۵$ صورت گرفت، و به منظور مقایسه میانگین داده‌های دو آرد در pH طبیعی آنها مقایسه دوتایی غیر وابسته (t- Test) انجام شد. نتایج به‌دست آمده با استفاده از نرم‌افزار SPSS (نسخه ۱۶) آنالیز و برای رسم نمودارها از نرم‌افزار اکسل ۲۰۰۷ استفاده شد.

نتیجه و بحث

ترکیب شیمیایی

همان‌طور که در جدول ۱ مشاهده می‌شود میزان رطوبت آرد شنبلیله قبل و بعد از چربی‌گیری بیشتر از آرد سویا بود، و بین رطوبت دو نوع آرد اختلافی معنی‌دار ($P<۰/۰۵$) وجود داشت.

میزان پروتئین آرد سویا قبل و پس از چربی‌گیری بیشتر از آرد شنبلیله بود، به‌طوریکه آرد سویا قبل از چربی‌گیری حاوی ۵۴/۹۴ درصد پروتئین بود که در مقایسه با آرد شنبلیله قبل چربی‌گیری با ۳۴/۷ درصد پروتئین بیشتر می‌باشد. این مشاهده با نتایج سایر

محققین مشابه است. El Nasri و El Tinay (۲۰۰۷) درصد پروتئین دانه شنبلیله را ۲۸/۴ درصد اعلام نمودند، Abdel-Aal و همکاران (۱۹۸۶) به تهیه ایزوله پروتئینی از دانه شنبلیله با ۳۰/۶۶ درصد پروتئین پرداختند، Sauvaire و همکاران (۱۹۸۴) نیز به تهیه ایزوله پروتئینی از دو واریته شنبلیله با ۳۰/۸ و ۲۸/۲ درصد پروتئین اقدام نمودند. Singh و همکاران (۲۰۰۸) درصد پروتئین آرد سویای کامل را ۴۲ درصد، آرد سویا پس از چربی‌گیری کامل (با ۰/۶ درصد چربی) را ۵۳ درصد و آرد سویای کم‌چرب (با ۴ درصد چربی) را ۵۲/۵ درصد اعلام نمودند. همچنین رواقی و همکاران (۱۳۸۹) درصد پروتئین آرد کامل سویا را بر مبنای وزن مرطوب ۳۹/۲۸ درصد بیان کردند.

جدول ۱- درصد ترکیبات شیمیایی نمونه‌های آرد شنبلیله و سویا برحسب درصد وزنی – وزنی

نمونه / ترکیبات	رطوبت (درصد)	پروتئین (درصد)	چربی (درصد)	کربوهیدرات (درصد)	خاکستر (درصد)
آرد شنبلیله قبل چربی گیری	۷/۳۳± ۰/۰۹^{a*}	۳۴/۷± ۰/۱۴ ^{a**}	۵/۷۶± ۰/۰۸^{ad}	۵۹/۵۳± ۰/۰۶^{a}	۵/۱۷± ۰/۹^{a}
آرد شنبلیله بعد چربی گیری	۶/۶۷± ۰/۱۸^{b}	۵۱/۴۰± ۰/۳۷ ^{bc}	۱/۲۴± ۰/۲۵^{b}	۴۷/۳۵± ۰/۹^{b}	۴/۰۷± ۰/۱^{a}
آرد سویا قبل چربی گیری	۵/۳۳± ۰/۰۹^{cd}	۵۴/۹۴± ۰/۴۸^{cb}	۲۱/۹۵± ۰/۳۷^{c}	۲۳/۱۰± ۰/۱^{cd}	۵/۱۴± ۰/۵۵^{a}
آرد سویا بعد چربی گیری	۵/۳۴±۰/۱۳ ^{cd}	۶۶/۰۲±۰/۰۸^{d}	۷/۱۳±۰/۹^{da}	۲۶/۸۵±۰/۸۹ ^{dc}	۶/۱۰± ۰/۰۱^{a}

*میانگین ۲ تکرار ± انحراف استاندارد

* نتایج در هر ستون که دارای حروف غیرمشابه می‌باشند، از نظر آماری دارای اختلاف آماری معنی‌دار (p <۰/۰۵) هستند.

** درصد ترکیبات گزارش شده، بر مبنای وزن خشک می‌باشد.

این نتایج حاکی از این موضوع است که اگر چه دانه شنبلیله واریته بومی ایران در مقایسه با سایر دانه‌های شنبلیله از درصد پروتئین بالاتری برخوردار می‌باشد ولی به‌طور کلی در مقایسه با دانه و در نتیجه آرد سویا میزان پروتئین کمتری دارد. به‌علاوه میزان پروتئین آرد شنبلیله و سویا در مقایسه با آرد لوبیاقرمز (۳۲/۷ درصد) و لوبیاچیتی (۲۷/۷۸ درصد) بیشتر می‌باشد، اما میزان پروتئین آرد شنبلیله در مقایسه با آرد نخود (۴۳/۴۳ درصد) و آرد عدس (۳۸/۹۸ درصد) کمتر است (اسدپور و همکاران، ۱۳۸۹). البته میزان پروتئین بالا لزوماً به‌معنی برخورداری از خواص عملکردی بهتر نمی‌باشد.

همچنین درصد چربی آرد سویا نیز از آرد شنبلیله به‌طور معنی‌دار (P<۰/۰۵) بیشتر بود. این امر در کنار درصد بالاتر ذاتی پروتئین دانه سویا در مقایسه با شنبلیله، باعث می‌گردد که آرد پس از چربی‌گیری سویا در مقایسه با آرد شنبلیله به سطوح بالاتری در میزان پروتئین دست یابد. درصد چربی آرد شنبلیله کامل ۵/۷۶ درصد تعیین گردید که پس از چربی‌گیری به ۱/۲۴ درصد رسید، این درحالیست که میزان چربی آرد سویای کامل ۲۱/۹۵ درصد بود و پس از چربی‌گیری این میزان به ۷/۱۳ کاسته شد. میزان چربی آرد کامل شنبلیله مورد استفاده در این پژوهش (۵/۷۶ درصد) مشابه با نتایج گزارش شده توسط Patil و همکاران (۱۹۹۷) بود، ولی کمتر از میزان روغن محاسبه شده (۷/۱۴ درصد) توسط El Nasri و El Tinay (۲۰۰۷) برآورد شد. نتایج آنالیز واریانس بین میزان چربی آرد کامل و آرد پس از چربی‌گیری اختلاف آماری معنی‌داری (P<۰/۰۵) را نشان داد. Singh و همکاران (۲۰۰۸) درصد چربی آرد کامل سویا را ۲۰/۵ درصد اعلام نمودند که در مقایسه با آرد سویای مورد استفاده در این پژوهش (۲۱/۹۵ درصد) تا حدی کمتر می‌باشد، اما رواقی و همکاران (۱۳۸۹) درصد چربی آرد سویای کامل را ۲۲/۰۸ درصد بیان کردند که مشابه با نتایج این پژوهش است.

همان‌طور که در جدول ۱ مشاهده می‌گردد میزان کربوهیدرات آرد شنبلیله همواره بیشتر از آرد سویا می‌باشد و بر اساس نتایج آنالیز واریانس بین میزان این ترکیب در دو نوع آرد اختلاف آماری معنی‌دار (p<۰/۰۵) وجود دارد. اما در مورد آرد شنبلیله میزان کربوهیدرات پس از چربی‌گیری برخلاف انتظار و متفاوت با آرد سویا، افزایش می‌یابد که دلیل آن

جداسازی فاز پوسته و اندوسپرم آرد شنبلیله به‌عنوان جزء سنگین آرد، در مرحله حذف حلال چربی‌گیری از آرد می‌باشد، پوسته و اندوسپرم دانه شنبلیله حاوی بخش عمده‌ای از ترکیبات کربوهیدراتی بویژه صمغ گالاکتومانان هستند (Sauvaire, 1984).

بین میزان خاکستر آردهای مختلف اختلاف آماری معنی‌داری ($P<۰/۰۵$) مشاهده نشد.

بررسی پارامترهای رنگ

یک پارامتر مهم در مورد آرد و فرآورده‌های پروتئینی نظیر کنسانتره و ایزوله پروتئینی رنگ آن‌ها می‌باشد. همان‌طور که در جدول ۲ مشاهده می‌شود در مورد هر دو نوع آرد شنبلیله و سویا نمونه آرد پس از چربی‌گیری روشن‌تر از آرد قبل از چربی‌گیری می‌باشد، هرچند که اختلاف بین آرد سویای کامل و پس از چربی‌گیری معنی‌دار ($p<۰/۰۵$) نبود. دلیل تفاوت معنی‌دار بین پارامتر *L قبل و پس از چربی‌گیری در آرد شنبلیله را می‌توان حذف پوسته و اندوسپرم آرد شنبلیله، در مرحله حذف حلال چربی‌گیری از آرد دانست. بخش عمده خاکستر و رنگدانه‌ها در فاز پوسته دانه‌ها موجود می‌باشد که با حذف این بخش رنگ آرد روشن‌تر می‌گردد.

در مورد آرد شنبلیله اختلاف آماری معنی‌دار ($P< ۰/۰۵$) بین پارامتر *a و *b قبل و بعد چربی‌گیری وجود داشت. دلیل این امر را نیز می‌توان جداسازی فاز پوسته دانست، فاز پوسته رنگ زرد مایل به قهوه‌ای دارد که به لحاظ طیف رنگی تا حدی به قرمز نزدیک است، بنابراین حذف فاز پوسته باعث می‌گردد که رنگ سبز – زرد طبیعی بخش‌های داخلی دانه بیشتر مشخص گردد.

همچنین بین پارامتر *b آرد سویا قبل و بعد از چربی‌گیری اختلاف آماری معنی‌دار ($P<۰/۰۵$) مشاهده گردید، به‌طوریکه این پارامتر پس از چربی‌گیری کاهش پیدا کرد، علت این پدیده را می‌توان خروج بخشی از رنگدانه‌های محلول در چربی در حین فرآیند چربی‌گیری بیان داشت که باعث کاهش*b گردیده است.

آردهایی که تا حدی باعث ایجاد رنگ قهوه‌ای شوند به‌منظور کاربرد در نان‌ها و کیک‌ها مطلوب می‌باشند و آردهایی که به بی‌رنگ شدن محصول کمک کنند در گروه دیگری از نان‌ها قابل کاربرد هستند (Singh *et al.*, 2008). بر این اساس می‌توان از آرد سویا در برخی نان‌ها که رنگ روشن‌تری در آنها مطلوب است، استفاده نمود و از آرد شنبلیله نیز به منظور ایجاد رنگ قهوه‌ای پوسته نان در نان‌ها با رنگ تیره‌تر استفاده نمود.

جدول ۲- پارامترهای رنگ نمونه‌های آرد قبل و بعد چربی‌گیری

پارامتر رنگ / نمونه	L*	a*	b*
آرد شنبلیله قبل چربی‌گیری	۷۸/۹۱± ۰/۱۵ [a*]	-۱/۰۷± ۰/۳۸ [a]	۲۹/۸۳± ۰/۰۸ [a]
آرد شنبلیله بعد چربی‌گیری	۸۹/۳۵± ۰/۳۵ [b]	-۳/۳۹± ۰/۰۷ [b]	۲۳/۷۹± ۰/۴۱ [b]
آرد سویا قبل چربی‌گیری	۸۷/۲۶± ۰/۷۹ [bc]	-۰/۳۳± ۰/۰۳ [c]	۲۲/۸۱± ۰/۴۱ [b]
آرد سویا بعد چربی‌گیری	۹۱/۷۵± ۰/۶۳ [c]	-۰/۰۴± ۰/۰۴ [c]	۱۶/۳۸± ۰/۰۴ [c]

*میانگین ۲ تکرار ± انحراف استاندارد

*نتایج در هر ستون که دارای حروف غیرمشابه می‌باشند، دارای اختلاف آماری معنی‌دار ($p< ۰/۰۵$) هستند.

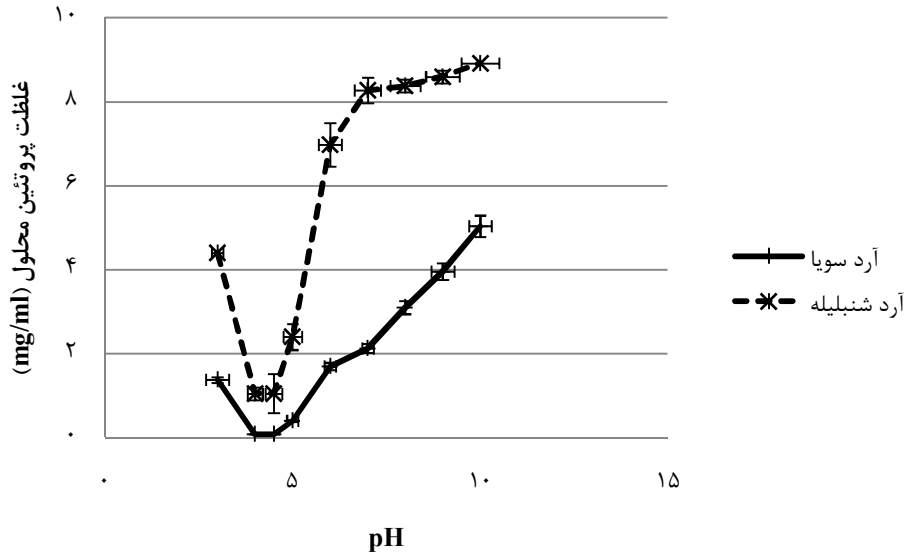
حلالیت پروتئین

در بین ویژگی‌های عملکردی مختلف، حلالیت پروتئین در شرایط گوناگون از اهمیتی ویژه برخوردار است. دلیل این اهمیت، تأثیرگذاری حلالیت بر سایر خواص عملکردی، نظیر خواص امولسیونی، کف‌زایی و ژلاتیناسیون می‌باشد. از طریق این اثرگذاری، پروتئین می‌تواند ویژگی‌های قابل توجه دیگری همانند ایجاد طعم، عطر و بافت مطلوب و ارزش‌غذایی را به‌همراه داشته باشد (Kinsella, 1982).

همان‌طور که در جدول ۳ مشاهده می‌شود حلالیت پروتئین آرد شنبلیله به‌طور معنی‌دار ($P<۰/۰۵$) بیشتر از آرد سویا می‌باشد. حلالیت پروتئین آرد شنبلیله در pH طبیعی خود معادل ۶/۰۴، برابر ۶/۹۸ میلی‌گرم/ میلی‌لیتر، در حالی‌که

حلالیت پروتئین آرد سویا در pH طبیعی خود معادل ۶/۳۳، برابر ۱/۷ میلی‌گرم/ میلی‌لیتر بود. اختلاف در میزان حلالیت آردهای مختلف می‌تواند به دلیل تفاوت ترکیب شیمیایی آن‌ها باشد. دلایل دیگری نظیر تفاوت در تعادل گروه‌های جانبی هیدروفیل و هیدروفوب (به‌خصوص در اسیدهای‌آمینه سطحی پروتئین) و نیز دناتوراسیون پروتئین که بر تعادل گفته شده اثر می‌گذارد؛ می‌تواند بر اختلاف در حلالیت آردهای مختلف اثر داشته باشند (Adebowale & Lawal, 2004). هرقدر میزان حلالیت پروتئین آرد بیشتر باشد، قابلیت تلفیق و ادغام آن با موادغذایی بیشتر و راحت‌تر و ارزش غذایی آن‌ها بیشتر خواهد شد، ولی تا حدی قابلیت تشکیل ژل، چسبندگی و امولسیون‌کنندگی آنها کمتر می‌گردد (Singh *et al*., 2008). به‌طور کلی حلالیت آرد شنبلیله در pHهای مختلف همچنین از آرد نخود خلر و باقلا نیز بیشتر می‌باشد (Abdel- Aal, 1986) همچنین میزان حلالیت آرد شنبلیله مورد استفاده در این پژوهش که بومی ایران است در مقایسه با آردهای لوبیاچیتی، لوبیاقرمز، عدس و نخود (اسدپور و همکاران، ۱۳۸۹) نیز بیشتر بود.

همان‌طور که در شکل ۱ مشاهده می‌شود، حلالیت پروتئین هر دو آرد کاملاً وابسته به تغییرات pH می‌باشد. داده‌های این نمودار سه ناحیه را برای حلالیت پروتئین نشان می‌دهد: حلالیت در ناحیه اسیدی، نزدیک به pH ایزوالکتریک (pI) و در ناحیه قلیایی. کمترین میزان حلالیت پروتئین در pI معادل۴ تا ۴/۵ بود، این یافته با نتایج بیان شده توسط Abdel-Aal و همکاران (۱۹۸۶)،El-Hawwary (۱۹۸۸) و El Nasri و El Tinay (۲۰۰۷) که در زمینه آرد و ایزوله پروتئین شنبلیله پژوهش نموده‌اند و نیز با نتایج Heywood و همکاران (۲۰۰۲) که بررسی حلالیت انواع آرد سویای کم‌چرب و فاقد چربی پرداخته است؛ مشابه می‌باشد. علت این پدیده را می‌توان به صفر بودن برآیند بارالکتریکی در pI و تعادل بین بارالکتریکی مثبت و منفی و درنتیجه کاهش نیروهای دافعه نسبت داد. مجموع این دلایل باعث کاهش حلالیت پروتئین می‌گردد.



شکل ۱- اثر تغییرات pH بر حلالیت آردهای شنبلیله و سویا

همان‌طور که در شکل ۱ مشاهده می‌گردد با فاصله گرفتن از نقطه ایزوالکتریک میزان حلالیت افزایش می‌یابد. در pH های قلیایی و اسیدی به‌ترتیب به دلیل افزایش بار منفی ناشی از گروه‌های کربوکسیل و بار مثبت ناشی از گروه‌های آمین، نیروهای دافعه الکتروستاتیک بین اسیدهای آمینه با بارهای هم‌نام افزایش یافته و در نتیجه حلالیت بیشتر می‌شود.

در مورد آرد شنبلیله بین میزان حلالیت در pHهای معادل ۸، ۹ و ۱۰ اختلاف آماری معنی‌دار

($P< ۰/۰۵$) وجود نداشت و همواره میزان حلالیت پروتئین در این pHها بیشتر از pH معادل ۳ (اسیدی) بود. در مورد آرد سویا نیز حلالیت درpH معادل ۷ و نیز pH های قلیایی ۸، ۹ و ۱۰ به‌صورت معنی‌دار ($P< ۰/۰۵$) بیشتر از pH اسیدی معادل ۳ بود، ولی برخلاف آرد شنبلیله بین حلالیت پروتئین در pHهای قلیایی اختلاف آماری معنی‌دار ($P< ۰/۰۵$) وجود داشت. بیشتر بودن میزان حلالیت پروتئین آردها در pH های قلیایی در مقایسه با pH های اسیدی یافته‌ای است که با نتایج محققان دیگر مشابه می‌باشد. اسدپور و همکاران (۱۳۸۹) به‌منظور بررسی حلالیت پروتئین چهار نمونه آرد نخود، لوبیاچیتی، عدس و لوبیاقرمز pH های ۲ تا ۱۰ را مورد آزمون قرار دادند و مشاهده کردند که میزان حلالیت پروتئین عدس و لوبیاچیتی در pH های قلیایی بیشتر از ۷، به‌صورت معنی‌دار ($P< ۰/۰۵$) از pHهای اسیدی معادل ۲ و ۳ بیشتر بود. احتمالاً در مورد آردهاpH های قلیایی در ترسیب و جداسازی سایر ترکیبات متصل به آنها نظیر کربوهیدرات‌ها و همچنین افزایش گروه‌های هیدروفیل در سطح پروتئین مؤثرتر از pH های اسیدی می‌باشند.

آردها، کنسانتره‌ها و ایزوله‌های پروتئینی که دارای قابلیت حلالیت بالایی هستند به منظور استفاده در نوشیدنی‌ها مناسب می‌باشند (Kinsella, 1979). بر این اساس با توجه به سطح بالاتر حلالیت آرد شنبلیله در مقایسه با سویا می‌توان از آن در انواع نوشیدنی‌ها استفاده نمود.

ظرفیت جذب آب و روغن

ظرفیت جذب آب در مواد غذایی مختلف به ترکیب اسیدهای آمینه، آرایش فضایی پروتئین، میزان آبدوستی و آبگریزی پروتئین و همچنین حضور کربوهیدرات‌های آبدوست بستگی دارد (Sikorski, 2002; Seena & Sridhar, 2005)، به‌علاوه وجود فیبر خام نیز می‌تواند بر جذب آب مؤثر باشد (Ragab *et al*., 2004). پارامتر قابل توجه دیگر میزان چربی در نمونه است به طوری‌که با افزایش چربی قابلیت جذب آب کاهش می‌یابد، علت این پدیده پوشانده شدن و کاهش بخش‌های در دسترس برای اتصال گروه‌های هیدروفیل با آب می‌باشد (Heywood *et al*., 2002; Adebowale *et al*., 2005).

جدول ۳- مقایسه خصوصیات عملکردی آرد شنبلیله با آرد سویا

نوع آرد / ویژگی عملکردی	آرد شنبلیله	آرد سویا
حلالیت (میلی‌گرم/ میلی‌لیتر)	۶/۹۸ ± ۰/۹۱ [a*]	۱/۷ ± ۰/۱۵ [b]
ظرفیت جذب آب (میلی‌لیتر/ گرم)	۱/۷۵ ± ۰/ ۳۵[a]	۲/۶ ± ۰/۱۴[a]
ظرفیت جذب روغن (میلی‌لیتر/ گرم)	۲/۴۵ ± ۰/۳۵[a]	۱/۷۵ ± ۰/۲۱ [a]
ظرفیت کف‌کنندگی (درصد)	۲۸ ± ۰/۸۲ [a]	۲۴/۲ ± ۰/۹۳ [a]
پایداری کف (درصد)	۳۰ ± ۰/۴۱ [a]	۳۲ ± ۰/۵۲[a]
ظرفیت امولسیون‌کنندگی (درصد)	۳۵ ± ۰/۴۱[a]	۲۳ ± ۰/۹۰[b]
پایداری امولسیون (درصد)	۵۳ ± ۱/۸[a]	۷۳/۰۷ ± ۰/۵۴[a]

*میانگین ۲ تکرار ± انحراف استاندارد

*نتایج در هرردیف که دارای حروف غیرمشابه می‌باشند، دارای اختلاف آماری معنی‌دار ($p< ۰/۰۵$) هستند.

همان‌طور که در جدول ۳ مشاهده می‌گردد بین ظرفیت جذب آب آرد شنبلیله و سویا اختلاف آماری معنی‌داری وجود ندارد ($P< ۰/۰۵$). ظرفیت جذب آب آرد شنبلیله در این پژوهش ۱/۷۵ و آرد سویا ۲/۶ میلی‌لیتر بر گرم آرد بود. Abdel-Aal و همکاران (۱۹۸۶) ظرفیت جذب آب آرد شنبلیله را ۴۸۷/۳ درصد عنوان کردند، که در مقایسه با باقلا و نخود خلر بیشتر بیان شد. رواقی و همکاران (۱۳۸۹) ظرفیت

جذب آب آرد سویا فاقد چربی را ۲/۱۴ گرم/ گرم آرد و Heywood و همکاران (۲۰۰۲) در مورد نمونه آرد سویا با ۷ درصد چربی، این میزان را ۶/۱۹ گرم/ گرم آرد بیان کردند.

به‌طور کلی ظرفیت جذب و نگهداری آب پارامتری است که در فرآورده‌هایی نظیر نان‌ها، کیک‌ها، ماکارونی و فرآورده‌های قنادی کاربرد دارد (Singh *et al*., 2008). همچنین این ویژگی در مورد مواد غذایی ویسکوز همانند سوپ‌ها، خمیرها و فرآورده‌های پخت حائز اهمیت می‌باشد، زیرا در این محصولات به حبس و نگهداری آب بدون انحلال پروتئین نیاز است تا ویسکوزیته لازم تامین گردد (Adeyeye *et al*., 1994; Seena & Sridhar, 2005).

قابلیت جذب روغن خاصیت عملکردی مهمی است که محققان بسیاری آن را محبوس کردن فیزیکی روغن عنوان نموده اند (Kinsella, 1982) و بیشتر یک پدیده‌ی فیزیکی است. ترکیبات و بیوپلیمرهای موجود در نمونه آرد یا ایزوله پروتئینی باعث محبوس شدن و به دام افتادن قطرات روغن در داخل خود می شوند. محققان، این پدیده را به برهم‌کنش بین زنجیره‌های غیرقطبی پروتئین با زنجیره‌های جانبی هیدروکربنی روغن، و همچنین به شکل فضایی پروتئین نسبت می‌دهند. در نتیجه اختلاف بین این عوامل در مواد غذایی متنوع را دلیل تفاوت در اعداد بدست آمده برای جذب روغن پیشنهاد می‌کنند (Kaur & Singh, 2007)، همچنین Adebowale و همکاران (۲۰۰۵) به این نتیجه رسیدند که هر چه اسیدهای آمینه غیرقطبی در زنجیره جانبی پروتئین‌ها بیشتر باشد، ظرفیت جذب روغن نیز بیشتر خواهد بود.

همان‌طور که در جدول ۳ مشاهده می‌گردد قابلیت جذب روغن آرد شنبلیله و سویا به‌ترتیب ۲/۴۵ و ۱/۷۵ میلی‌لیتر بر گرم بود. این اختلاف اگرچه معنی‌دار نمی‌باشد ($P<$ ۰/۰۵)، ولی نسبت بین آن‌ها با قابلیت جذب آب دو آرد رابطه عکس دارد. می‌توان اینگونه نتیجه‌گیری نمود که هرقدر قابلیت جذب آب نمونه‌ای بیشتر باشد ظرفیت جذب روغن آن کمتر می‌گردد. این یافته با نتایج اسدپور و همکاران (۱۳۸۹) در مورد آرد عدس و نخود مشابه است، در این پژوهش آرد نخود با ۵/۱۷ درصد چربی کمترین قابلیت جذب آب را داشت درحالی‌که جذب روغن آن در کنار لوبیاقرمز در سطح اول بود و آرد عدس با ۲/۴۳ درصد چربی کمترین جذب روغن را داشت ولی جذب آب آن پس از لوبیاقرمز در دومین سطح قرار گرفت. اما در پژوهش اسدپور و همکاران (۱۳۸۹) در مورد آرد لوبیاقرمز با ۱/۶ درصد چربی و رواقی و همکاران (۱۳۸۹) در مورد آرد سویا فاقد چربی با ۱ درصد چربی مشاهده شد که این دو آرد با سطح چربی پایین دارای بالاترین قابلیت جذب آب و روغن می‌باشند.

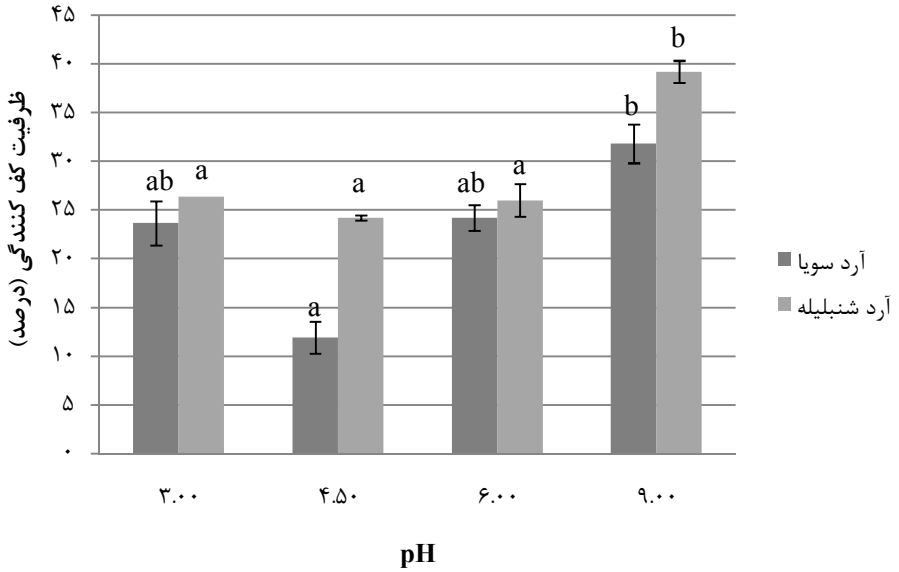
بالا بودن ظرفیت جذب روغن پارامتری مهم در قابلیت نگهداری عطر و طعم می‌باشد (Kinsella, 1979). آردها با قابلیت جذب روغن بالا در تهیه محصولاتی نظیر فرانکفورترها، سوسیس‌ها و دونات‌ها مطلوب و کارآمد هستند (Singh *et al*., 2008).

ظرفیت کف‌کنندگی و پایداری کف

کف در مواد غذایی شامل پراکندگی حباب‌های 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 و بستنی نقش اساسی دارد (Oladele & Aina, 2007). پروتئین‌ها دو نقش عمده در تشکیل کف ایفا می‌کنند که یکی از آن‌ها نقش پروتئین در کاهش کشش سطحی به عنوان عامل فعال سطحی است و دیگری حفظ پایداری حباب به علت ایجاد فیلم چسبنده در سطح میانی آب- هوا می‌باشد (جهانیان و همکاران، ۱۳۸۳). پایداری سیستم توسط کاهش کشش بین سطح گاز- مایع و تشکیل لایه پروتئینی مقاوم در برابر پاره شدن با کشش پذیری (الاستیسیته) بالا در اطراف حباب‌ها و تغییر ویسکوزیته فاز مایع ایجاد می شود (Aremo *et al*., 2007).

همان‌طور که در جدول ۳ مشاهده می‌شود بین ظرفیت کف‌کنندگی آرد شنبلیله (۲۸ درصد) و آرد سویا (۲۴/۲ درصد) در pH های طبیعی آنها به‌ترتیب معادل ۶/۰۶ و ۶/۳۵ ، اختلاف معنی‌دار ($P<$ ۰/۰۵) وجود نداشت. رواقی و همکاران (۱۳۸۹) ظرفیت

کف‌کنندگی آرد بدون چربی سویا (با ۳/۶۷ درصد چربی) در محلول ۳ درصد را بر اساس فقط تفاضل حجم کل از حجم اولیه، ۲۶۰ درصد بیان کردند که در مقایسه با آرد برشته، کم‌چرب و کامل سویا بیشتر بود. ظرفیت کف‌کنندگی آردهای شنبلیله و سویا در این پژوهش همچنین از ظرفیت کف‌کنندگی محلول ۵ درصد آردهای لوبیاقرمز، لوبیاچیتی، عدس و نخود در پژوهش اسدپور و همکاران (۱۳۹۰) کمتر بود. علت این امر را می‌توان استفاده از محلول‌هایی با غلظت‌های بیشتر آرد در دو پژوهش گفته شده دانست زیرا هرچه غلظت پروتئین بیشتر باشد حباب‌های هوای کوچک و نرم با ویسکوزیته بالا، بیشتر تشکیل می‌گردند و درنتیجه ظرفیت کف‌کنندگی بیشتر می‌شود (Lawal, 2004). مهم‌ترین عاملی که باعث می‌شود پروتئین در شرایط مختلف نظیر pH های متفاوت به‌عنوان یک عامل کف‌زای مطلوب فعالیت کند، قابلیت جذب سریع آن در سطح بین آب – هوا و همچنین تغییرات ساختاری سریع در پروتئین در سطح آب – هوا می‌باشد (Fidantsi & Doxastakis, 2001).



شکل ۲- اثر تغییرات pH بر ظرفیت کف‌کنندگی آردهای شنبلیله و سویا

*در مورد هر آرد نتایجی که دارای حروف غیرمشابه می‌باشند، دارای اختلاف آماری معنی‌دار ($P<$ ۰/۰۵) هستند.

شکل ۲ وابستگی ظرفیت کف‌کنندگی دو آرد شنبلیله و سویا را به pH نشان می‌دهد. همان‌طور که در شکل ۲ مشاهده می‌شود در مورد آرد شنبلیله اختلاف آماری معنی‌دار ($P<$ ۰/۰۵) بین ظرفیت کف‌کنندگی در pH های ۳، ۴/۵ و ۶ وجود نداشت و فقط در pH قلیایی شدیدتر یعنی ۹ ظرفیت کف‌کنندگی به‌طور معنی‌دار افزایش یافت. شاید بتوان علت این امر را افزایش حلالیت پروتئین آرد شنبلیله در pHهای قلیایی‌تر دانست که احتمالا به انعطاف‌پذیری بیشتر پروتئین کمک کرده و مانع برهم‌کنش‌های هیدروفوب–هیدروفوب بین مولکول‌های پروتئین می‌گردد و باعث می‌شود پروتئین راحت‌تر به سطح بین دو فاز منتقل شود و حباب‌های هوا را محصور نماید. این امر به‌طور خفیف‌تر در مورد آرد سویا نیز صادق است. در مورد آرد سویا کمترین میزان کف‌کنندگی در pI مشاهده گردید که با نتایج اسدپور و همکاران (۱۳۹۰)، El Nasri و El Tinay (۲۰۰۷)، و Lawal (۲۰۰۴) مشابه می‌باشد. در مورد آرد سویا نیز در pH معادل ۹ بیشترین میزان ظرفیت کف‌کنندگی مشاهده شد که اختلاف آماری معنی‌دار ($P<$ ۰/۰۵) با pH های معادل ۶ و ۳ نداشت.

به‌طور کلی تغییرات ظرفیت کف‌کنندگی دو آرد شنبلیله و سویا در مقابل pH هم‌جهت و متناسب با تغییرات حلالیت پروتئین آنها می‌باشد. این یافته مشابه نتایج اعلام شده توسط Adebowale و همکاران (۲۰۰۵)، El Nasri و El Tinay (۲۰۰۷)، و Lawal

(۲۰۰۴) است. همچنین رواقی و همکاران (۱۳۹۱) نیز اعلام کردند کنسانتره‌هایی که از نمونه‌های آرد سویا با PDI کمتر تولید می‌شوند دارای ظرفیت کف‌کنندگی کمتری هستند، PDI شاخصی از میزان حلالیت است (Kinsella, 1979).

قابلیت ایجاد کف پایدار به نوع پروتیئن، دما، درجه دناتوراسیون پروتیئن، pH و روش مورد استفاده بستگی دارد (Kinsella, 1979). آردها، کنسانتره‌ها و ایزوله‌های پروتئینی با قابلیت کف‌کنندگی مطلوب به‌منظور استفاده در کیک‌های بدون روغن[1]، تاپینگ‌ها[2] و برخی فرآورده‌های قنادی مناسب می‌باشند (Kinsella, 1979; Singh *et al*., 2008).

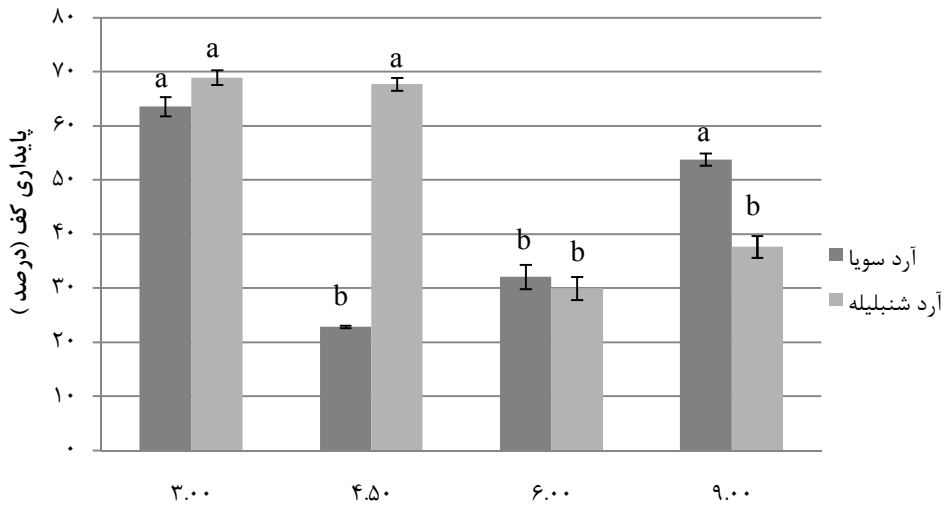
همان‌طور که در جدول ۳ مشاهده می‌شود بین میزان پایداری کف دو آرد در زمان ۹۰ دقیقه اختلاف آماری معنی‌دار ($P<$۰/۰۵) وجود نداشت. به‌عبارتی دیگر هر دو آرد در pH طبیعی خود به‌طور یکسان قابلیت ایجاد لایه‌ای ویسکوز اطراف حباب‌های هوا را داشتند.

همان‌طور که در شکل ۳ مشاهده می‌شود بیشترین میزان پایداری کف در مورد آرد شنبلیله مربوط به pH های معادل ۵/ ۴ و ۳ بود. pH معادل ۴/۵ نقطه ایزوالکتریک آرد شنبلیله می‌باشد، پایداری در pI را می‌توان به صفر بودن برآیند بارالکتریکی در pI، کاهش نیروهای دافعه الکتروستاتیک و افزایش پایداری و استحکام برهم‌کنش‌های هیدروفوب–هیدروفوب بین مولکول‌های پروتئین و در نتیجه ایجاد یک لایه ویسکوز و پایدار اطراف حباب‌های هوا نسبت داد. در pH معادل ۳ نیز همانطور که در شکل ۱ مشاهده گردید میزان حلالیت پروتئین آرد شنبلیله پایین بود بنابراین مشاهده درصدهای پایداری بالا در این pH نیز دور از انتظار نمی‌باشد و در واقع تغییرات پایداری کف در مقابل pH تقریباً عکس تغییرات حلالیت می‌باشد. این نتایج با یافته‌های Lawal (۲۰۰۴) در مورد ایزوله پروتئین لوبیای لوکاس، اسدپور و همکاران (۱۳۹۰) در مورد آردهای عدس، نخود، لوبیا قرمز و لوبیا چیتی و نیز یافته‌های محققانی نظیر Seena و Sridhar (۲۰۰۵) و Arogundade و همکاران (۲۰۰۶) مشابه می‌باشد.

در مورد آرد سویا نتایج متفاوت بود به‌طوریکه در pHهای ۳ و ۹ پایداری کف بیشتر از ۴/۵ (pI) بود. این مشاهده با نتایج El Nasri و El Tinay (۲۰۰۷) در مورد ایزوله پروتئین شنبلیله مشابه است. در پژوهش این محققین، ایزوله پروتئین شنبلیله در pHهای ۲ و ۱۰ پایداری بیشتری در مقایسه با pI (۴/۵) داشت، هرچند که در پژوهش آنها میزان حلالیت و همچنین قابلیت ایجاد کف در دو pH گفته شده نیز جزء بیشترین مقادیر بود.

همان‌طور که در نمودار حلالیت آرد سویا مشاهده شد میزان حلالیت آرد سویا به‌طور کلی کمتر از آرد شنبلیله بود. می‌توان اینطور نتیجه‌گیری نمود که میزان حلالیت آرد سویا در pH معادل ۹ به میزانی است که تعادل هیدروفوب و هیدروفیل را به‌گونه‌ای حفظ نماید تا قابلیت ایجاد کف و پایداری آن در حد متعادل و یکسانی حفظ شود و هیچ‌یک از برهم-کنش‌های هیدروفوب و یا هیدروفیل نمی‌توانند بر هم غلبه کامل داشته باشند و در نتیجه ظرفیت ایجاد کف و پایداری آن در این pH عکس یکدیگر عمل نمی‌کنند.

1- Angel cakes
2- Toppings



شکل ۳ –اثر تغییرات pH بر پایداری کف آردهای شنبلیله و سویا

*در مورد هر آرد نتایجی که دارای حروف غیرمشابه می‌باشند، دارای اختلاف آماری معنی‌دار ($P<$ ۰/۰۵) هستند.

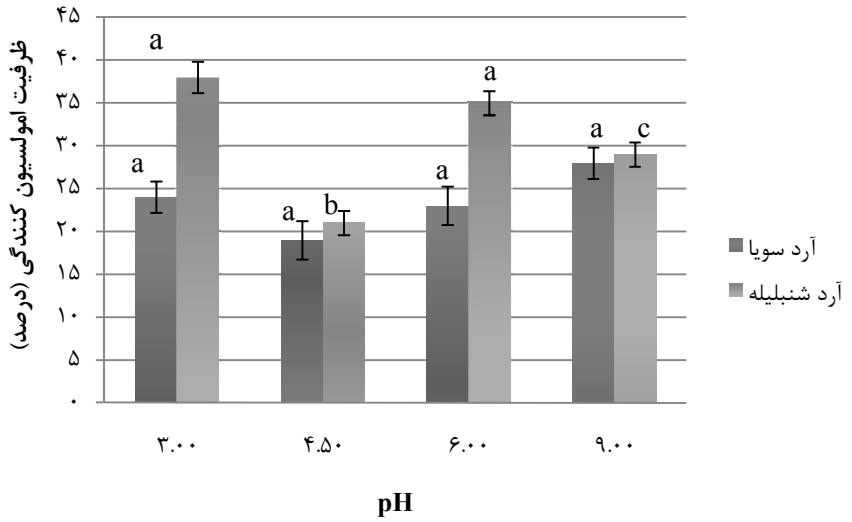
ظرفیت امولسیون‌کنندگی و پایداری امولسیون

همان‌گونه که در جدول ۳ مشاهده می‌شود بین ظرفیت امولسیون‌کنندگی آردهای شنبلیله و سویا در pH طبیعی آنها به‌ترتیب معادل ۵/۹ و ۶/۳، اختلاف آماری معنی‌دار ($P<$ ۰/۰۵) وجود داشت، به‌طوریکه ظرفیت امولسیون‌کنندگی آرد شنبلیله ۳۵ درصد و آرد سویا ۲۳ درصد بود. وجود مقادیر نسبتا زیاد چربی (۷/۱۳ درصد) در آرد سویا در مقایسه با آرد شنبلیله (۱/۲۴ درصد) باعث بلوکه شدن مکان‌ها و گروه‌هایی می‌شود که قابلیت برقراری پیوندهای هیدروفوب را دارند، در نتیجه هیدروفوبی سطحی کاهش یافته و منجر به کاهش خواص امولسیون‌کنندگی می‌گردد. این پدیده مشابه نتایجی است که رواقی و همکاران (۱۳۹۱) در مورد بررسی خاصیت امولسیون‌کنندگی آردهای مختلف سویا مشاهده کردند به‌طوری‌که آرد بدون چربی سویا بیشترین و آرد کامل سویا کمترین فعالیت امولسیون‌کنندگی و پایداری امولسیون را داشتند. ظرفیت امولسیون‌کنندگی آرد نخود با ۵/۱۷ درصد چربی نیز کمتر از آرد لوبیاقرمز و لوبیاچیتی به ترتیب با ۱/۶ و ۱/۶۷ درصد چربی می‌باشد (اسدپور و همکاران، ۱۳۹۰).

آردها، کنسانتره‌ها و ایزوله‌های پروتئینی با قابلیت امولسیون‌کنندگی بالا به‌منظور کاربرد در فرانکفورترها، سوسیس‌ها، انواع نان، کیک‌ها و سوپ‌ها مناسب هستند (Kinsella, 1979; Singh *et al*., 2008). بر این اساس، با توجه به بالاتر بودن ظرفیت امولسیون‌کنندگی آرد شنبلیله در مقابل آرد سویا می‌توان کاربرد این آرد را در محصولات گفته شده پیشنهاد نمود.

همان‌طور که در شکل ۴ مشاهده می‌شود، ظرفیت امولسیون‌کنندگی آرد سویا تحت تأثیر تغییرات pH قرار نگرفت، علت این پدیده را می‌توان درصد نسبتاً بالای چربی (۷/۱۳ درصد) در آرد سویا دانست که باعث بلوکه شدن گروه‌های هیدروفوب می‌گردند به‌طوری‌که حتی تغییرات pH و تغییر در گروه‌های باردار نمی‌تواند به بهبود خاصیت هیدروفوبی سطحی کمک نماید.

ظرفیت امولسیون‌کنندگی آرد شنبلیله تابع تغییرات pH بود که این وابستگی به دلیل اثر pH بر تعادل هیدروفوب – هیدروفیل پروتئین می‌باشد.



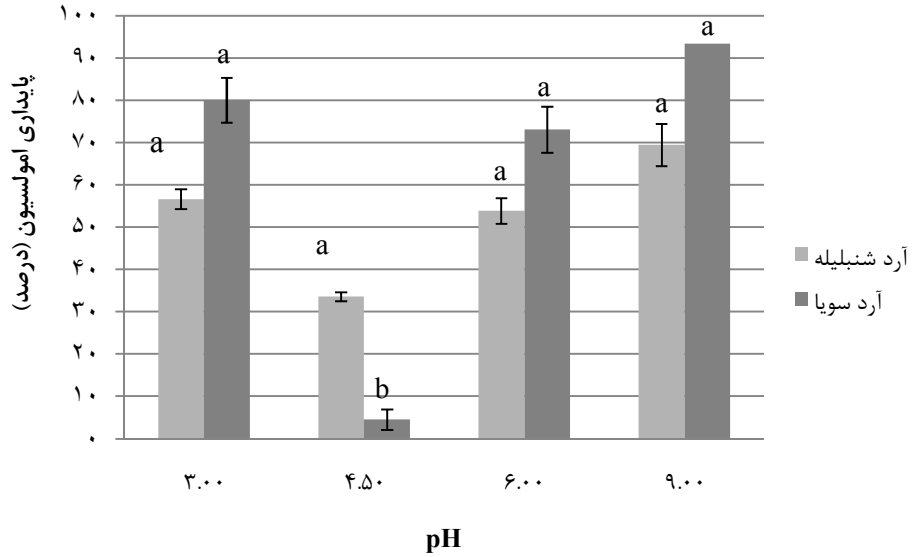
شکل ۴- اثر تغییرات pH بر ظرفیت امولسیون‌کنندگی آردهای شنبلیله و سویا

*در مورد هر آرد نتایجی که دارای حروف غیرمشابه می‌باشند، دارای اختلاف آماری معنی‌دار ($P<$ ۰/۰۵) هستند.

کمترین میزان ظرفیت امولسیون‌کنندگی در pI آرد شنبلیله مشاهده شد. این مشاهده مشابه با نتایج El Nasri و El Tinay (۲۰۰۷) در مورد ایزوله پروتئین شنبلیله، Lawal (۲۰۰۴) در مورد ایزوله پروتئین لوبیای لوکاس و اسدپور و همکاران (۱۳۹۰) در مورد آرد حبوبات مختلف می‌باشد. بیشترین ظرفیت امولسیون‌کنندگی آرد شنبلیله در pH های ۳ و ۶ و سپس در pH معادل ۹ مشاهده شد.

اسدپور و همکاران (۱۳۹۰)، El Nasri وEl Tinay (۲۰۰۷) به ترتیب بیشترین ظرفیت امولسیون‌کنندگی آرد چهار نوع حبوبات و ایزوله پروتئین شنبلیله را pHهای قلیایی عنوان کردند. احتمالاً در مورد آرد شنبلیله در pH های قلیایی شدید نظیر ۹ هیدروفیلی سطحی و درنتیجه حلالیت به میزان زیادی افزایش می‌یابد و باعث می‌گردد پروتئین در فاز آبی از پایداری بیشتر و سطح انرژی کمتر برخوردار باشد و در نتیجه نتواند بخوبی به سطح بین دو فاز منتقل شود و باعث کاهش کشش‌سطحی و افزایش ظرفیت امولسیون‌کنندگی گردد.

بین پایداری امولسیون دو نوع آرد اختلاف آماری معنی‌دار ($P<$ ۰/۰۵) مشاهده نشد (جدول ۳).



شکل ۵ –اثر تغییرات pH بر پایداری امولسیون آردهای شنبلیله و سویا

*در مورد هر آرد نتایجی که دارای حروف غیرمشابه می‌باشند، دارای اختلاف آماری معنی‌دار ($P<$ ۰/۰۵) هستند.

در مورد آرد شنبلیله بجز در pH ایزوالکتریک که کمترین میزان پایداری امولسیون را داشت در سایر pH ها میزان پایداری به‌طور معنی‌دار ($P<$ ۰/۰۵) بالاتر بوده و به‌علاوه با یکدیگر اختلاف آماری معنی‌دار ($P<$ ۰/۰۵) نداشتند. Nasri El و El Tinay (۲۰۰۷) بیشترین قابلیت پایداری امولسیون را در مورد ایزوله پروتئین شنبلیله pI (معادل ۴/۵) عنوان نمودند. در حالیکه Lawal (۲۰۰۴) اعلام داشت کمترین پایداری امولسیون ایزوله پروتئین لوبیای لوکاس در pI آن می‌باشد. Lawal علت احتمالی کاهش پایداری امولسیون در pI را کاهش بیش از اندازه نیروهای دافعه در این pH و درنتیجه تشدید اتصال، تجمع و نهایتاً لخته شدن مولکول‌های پروتئین بیان داشت، که در واقع این دلیل می‌تواند دلیل اختلاف بین یافته‌های پژوهش و این پژوهش با تحقیق El Nasri وEl Tinay نیز باشد.

همان‌طور که در شکل ۵ مشاهده می‌گردد همانند ظرفیت امولسیون‌کنندگی، تغییرات pH بر پایداری امولسیون آرد سویا نیز هیچ‌گونه اثری نداشته است که علت این پدیده را می‌توان همچنان درصد بالای چربی آرد سویا در این پژوهش دانست. به‌طور کلی کاهش پایداری امولسیون‌ها به علت تماس بیشتر بین قطرات روغن به عنوان فاز پراکنده و درنتیجه پیوستن آنها به یکدیگر است.

نتیجه‌گیری

خواص عملکردی بین آردهای مختلف به علت اختلاف در درصد پروتئین آن‌ها، نوع پروتئین، وجود و مقدار سایر ترکیبات شیمیایی در آن‌ها نظیر لیپیدها و کربوهیدرات‌ها و همچنین سایر عوامل فیزیکوشیمیایی نظیر pH های مختلفی که در حین فرآیند اعمال می‌شود، متفاوت می‌باشد. در این بین هر یک از خواص عملکردی به‌تنهایی و یا تلفیق چند خاصیت با یکدیگر باعث می‌گردد که هر آرد به‌منظور کاربرد در گروه یا نوع ویژه‌ای از محصولات مناسب باشد. در این پژوهش آرد شنبلیله در مقایسه با آرد سویا از حلالیت و ظرفیت امولسیون‌کنندگی بالاتری برخوردار بود که یک علت آن درصد کمتر چربی در آرد شنبلیله در مقایسه با آرد سویا می‌باشد و در مورد خاصیت حلالیت علت دیگر آن بهره‌مندی بیشتر آرد شنبلیله از فراکسیون پروتئین آلبومین- محلول در آب- می‌باشد. بر این اساس می‌توان از این آرد در فرآورده‌های نانوایی و پخت، فرآورده‌های گوشتی نظیر سوسیس و فرانکفورتر استفاده نمود.

منابع

۱- اسدپور، الف. جعفری، س. م. صادقی ماهونک، ع. و قربانی، م. ۱۳۸۹. بررسی میزان پروتئین محلول و ظرفیت جذب آب و روغن آرد حاصل ار حبوبات مختلف. مجله پژوهش‌های علوم و صنایع غذایی ایران، ۳: ۱۸۴- ۱۹۲.

۲- اسدپور، الف. جعفری، س. م. صادقی ماهونک، ع. و قربانی، م. ۱۳۹۰. بررسی ظرفیت امولسیون‌کنندگی و کف‌کنندگی و تاثیر اسیدیته و قدرت یونی بر این ویژگی‌های آرد حاصل ار حبوبات مختلف. مجله پژوهش‌های علوم و صنایع غذایی ایران، ۷: ۸۰- ۹۱.

۳- جهانیان، ل. حمیدی اصفهانی، ز.، و مرتضوی، ع. ۱۳۸۳. بررسی اثر زانتان و کاراجینان بر خصوصیات کف ایزوله پروتئین سویا. مجله علوم و صنایع غذایی ایران، ۱: ۳۹ - ۴۸.

۴- رواقی، م. مظاهری تهرانی، م.، و آسوده. الف. ۱۳۸۹. ارزیابی خصوصیات عمل‌کنندگی چهار نوع آرد سویا تولیدی ایران. نشریه پژوهش‌های علوم و صنایع غذایی ایران، ۶: ۲۲۳- ۲۳۸.

۵- رواقی، م. مظاهری تهرانی، م.، و آسوده. الف. ۱۳۹۱. بررسی تغییر خصوصیات شیمیایی و عملکردی حین تولید کنسانتره پروتئینی سویا از آردهای صنعتی سویا. نشریه پژوهش‌های علوم و صنایع غذایی ایران، ۸: ۱۶– ۲۹.

6- Abdel-Aal, E.M., Shehta, A.A., El-Mahdy, A.R. &Youssef, M.M. 1986. Extractability and functional properties of some legume proteins isolated by three different methods. Journal of the Science of Food and Agriculture, 37: 553-559.

7- Adebowale, K.O. & 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: 355-365.

8- Adebowale, Y.A., Adeyemi, I.A. & Oshodi, A.A. 2005. Functional and physicochemical properties of flours of six Mucuna species. African Journal of Biotechnolog, 4: 1461-1468.

9- Adeyeye, E.I., Oshodi, A.A. & Lpinmoroti, K.O. 1994. Functional properties of some varieties of African yam bean (*Sphenostylis stenocarpa*) flour ll. Food Chemistry, 55: 450-459.

10- Aluko, R.E. & Yada, R.Y. 1995. Structure-function relationship of cowpea (*Vigna unguiculata*) globulin isolate: influence of pH and NaCl on physicochemical and functional properties. Food Chemistry, 53: 259-265.

11- AOAC. Association of official method of analysis. 1990. Official methods of analysis of AOAC International (13th ed.). Washington, DC.

12- Aremo, M.O. & Olaofe, O. 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.

13- Arogundade, L. A. 2006. Functional characterization of Tef (Eragosticstef) protein concentrate: Influence of altered chemical environment on its gelation, foaming, and water hydration properties. Food Hydrocolloids, 20: 831-838.

14- Arogundade, L.A., Akinfenwa, M.O. & Salawu, A.A. 2004. Effect of NaCl and its partial or complete replacement with KCl on some functional properties of defatted Colocynthis citrullus L. seed flour. Food Chemistry, 84: 187-193.

15- Arogundade, L.A., Tshay, M., Shumey, D. & Manazie, S. 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.

16- Bera, M.B. & Mukherjee, M.R.K. 1989, Solubility, emulsifying, and foaming properties of rice bran protein concentrates. Journal of Food Science, 54: 142-145.

17- Beuchat, L.R. 1977. Functional and electrophoretic characteristics of succinylated peanut flour proteins. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 25: 258.

18- Coffman, C.W. & Garcia, V.V. 1977. Functional properties and amino acid content of protein isolate from mung bean flour. Journal of Food Technology, 12: 473-483.

19- El-Hawwary, N.A. 1988. Relation between iso-electric point and soluble protein extracted from plant seeds at pH 10. Agricultural Research Review, 66: 433-439.

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

21- Fidantsi, A. & Doxastakis, G. 2001. Emulsifying and foaming properties of Amaranth seed protein isolate. Journal of Colloids and Surfaces - B, 21: 119–124.

22- Guillon, F. & Champ, M. 1996. Grain legumes and transit in human. Grain Legumes AEP, 11: 18-21.

23- Heywood, A.A. Myers, D.J. Bailley, T.B. & Johnson, L.A. 2002. Functional properties of low-fat Soy flour produced by an extrusion-expelling system. Journal of American Oil Chemist Society, 79: 1249-1253.

24- Hooda, S. & Jood, S. 2005. Effect of fenugreek flour blending on physical, organoleptic and chemical characteristics of wheat bread. Nutrition & Food Science, 35: 229-242.

25- Idouraine, A. 1993. Isolation, characterization, functional properties and biological evaluation of tepary bean (Phaseo*l*us *acutifolius*) proteins. Bell & Howell Information, University of Arizona.

26- Kanu, P.J., Kerui, Z., Ming, Z. H., Haifeng, Q., Kanu, J. B. & Kexue, Z. 2007. Sesame protein 11: Functional properties of sesame (*Sesamum indicum* L.) protein isolate as influenced by PH, temperature, time and ratio of flour to water during its production. Asian Journal of Biochemistry, 5: 289-301.

27- Khalil, M.O. & Sarkadi, L.S. 1991. Biochemical studies of some non-conventional sources of protein, Part 5. Extraction and characterization of protein from fenugreek seed (*Trigonella foenum* L.). Die Nahrung, 3: 303-308.

28- Kinsella, J.E. 1979. Functional properties of soy protein. Journal of American Oil Chemist Society, 56: 242–249.

29- Kinsella, J.E. 1982. Relationship between structural and functional properties of food protein. P. 51- 60. In P.F. Fox & Condon, J.J. (Ed.) Food proteins. Applied Science Publishers, London.

30- 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: 345-355.

31- Leela, N.K. & Shafeekh, K.M. 2008. .Fenugreek, In V.A. Parthasarathy., Chempakam, B., & Zachariah, T. J, Chemistry of spices, CAB International. London.

32- Neto, V.Q., Narain, N., Silva, J.B. & Bora, P.S. 2001. Functional properties of raw and heat processed cashew nut (*Anarca-duim occidentale*, L.) kernel protein isolate. Nahrung/Food, 45: 258–262.

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

34- Oshodi, A.A. & Ojokan, E. 1997. Effect of salts on some of the functional properties of bovine plasma protein concentrate. Food Chemistry, 59: 333-338.

35- Owusu-Apenten, R.K. 2002. Food protein analysis Quantitative effects on processing. Marcel Dekker, Inc. New York. Basel.

36- Patil, S.P., Niphadkar, P.V. & Bapat, M.M. 1997. Allergy of fenugreek (Trigonella foenum graecum). Annals of Allergy, Asthma and Immunology, 78: 297-300.

37- Ragab, D.M. & Babiker. E.E. 2004. Fractionation, solubility and functional properties of cowpea (Vignaunguiculata) proteins as affected by pH and/or salt concentration. Food Chemistry, 84: 207-212.

38- Rao, P.U., Sesikaeran, B., Rao, P.S., Naidu, A.N., Rao, V.V. & Ramachandran, E.P. 1996. Short term nutritional and safety evaluation of fenugreek. Nutrition Research, 16: 1495-1505.

39- Sauvaire, Y.D., Baccou, J.F. & Kobrehel, K. 1984. Solubilization and Characterization of Fenugreek Seed Proteins. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 32: 41-47.

40- Seena, S.K. & Sridhar, R. 2005. Physiochemical, functional and cooking properties of Canavalia, Food Chemistry, 32: 406- 412.

41- Sikorski, Z.E. 2002. Chemical and functional properties of food components. Florida, CRC Press.

42- Sirtori, C.R. & Lovati, M.R. 2001. Soy proteins and cardiovascular disease. Curr Atheroscler. Rep, 3: 47-53.

43- Srinivasan, K. 2007. Fenugreek (*Trigonella foenum graecum*): a review of health beneficial physiological effects. Food Reviews International, 22: 203-224.

44- Wrostad, R.E. & Smith. D.E. 2010. Color analysis. P. 574-587. In S.S. Nielsen (ed.) Food analysis. 4th ed. Springer science, New York.

Study of chemical compositions, color carameters, and functional properties of fenugreek flour and their comparision with those of soy flour

Samira Feyzi[1], Mehdi Varidi[2], Fatemeh Zare[3], Mohammadjavad Varidi[4]

1- MSc. student, Department of Food Science & Technology, Ferdowsi University of Mashhad
2- Assistant professor, Department of of Food Science & Technology, Ferdowsi University of Mashhad
* Corresponding author (m.varidi@um.ac.ir)
3- Researcher, Agriculture and Agri-Food Canada, Montreal, Canada.
4- Associate professor, Department of of Food Science & Technology, Ferdowsi University of Mashhad

Abstract

At the present research, the differences between proximate chemical composition, color parameters, and functional properties of "Fenugreek" and "Soy" flours were studied. Also the effect of pH changes on protein solubility, foaming capacity and stability, as well as emulsifying capacity and stability of two flours were investigated. Protein and fat content of defatted fenugreek flour were determined to be 51.4% and 1.24%, respectively; while in defatted soy flour they were measured to be 66% and 7.13%, respectively. The protein solubility and emulsifying capacity of soy flour was lower than fenugreek flour due to the high amount of fat content in defatted soy flour, and the difference between protein type in two flours. There was no significant difference ($P< 0.05$) between other functional properties of flours. These results show high amount of protein content in the specific flour does not contribut to better functionalities in comparison with the other flours in all cases. pH changes had noticible effect on foaming capacity and stability, and also emulsifying capacity and stability of fenugreek flour, while only foaming capacity and stability of soy flour showed to be sensitive to these conditions. L* and a* parameters of fenugreek flour were lower, but its b* was higher than soy flour.

Keywords: Color parameters, Fenugreek flour, Functional properties, Proximate chemical composition, Soy flour.