مجله علوم و صنایع غذایی ایران

سایت مجله: www.fsct.modares.ac.ir

مقاله علمی_پژوهشی

ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و عملکردی پروتئین استخراج‌شده از سیب‌زمینی

نادیا شکرانه[۱]، مزدک علیمی[۲*]، سید احمد شهیدی[۳]، مریم میزانی[٤]، محمد بامنی‌مقدم[٥]

۱-دانشجوی دکتری، گروه علوم و صنایع غذایی، واحد آیت ا... آملی، دانشگاه آزاد اسلامی، آمل، ایران.

۲-استادیار گروه علوم و صنایع غذایی، واحد آیت ا... آملی، دانشگاه آزاد اسلامی، آمل، ایران.

۳-دانشیار گروه علوم و صنایع غذایی، واحد آیت ا... آملی، دانشگاه آزاد اسلامی، آمل، ایران.

٤-دانشیار گروه علوم و صنایع غذایی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

٥-استاد گروه آمار، دانشگاه علامه طباطبایی، تهران، ایران.

اطلاعات مقاله

تاریخ های مقاله :

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۶/۱۲

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۷/۱۷

کلمات کلیدی:

استخراج پروتئین،

خصوصیات عملکردی،

دیافیلتراسیون،

سیب‌زمینی،

فراپالایش.

DOI: 10.22034/FSCT.19.130.269

DOR: 20.1001.1.20088787.1401.19.130.22.1

* مسئول مکاتبات:

ahooora_mazdak@yahoo.com

چکیده

هدف از این مطالعه استخراج پروتئین سیب‌زمینی با تلفیق فرآیند فراپالایش و دیافیلتراسیون در زمان‌های مختلف (۹۰، ۲۸۵ و ٤۸۰ دقیقه) و سپس بررسی خصوصیات فیزیکوشیمیایی و عملکردی پروتئین حاصل می‌باشد. برای این منظور پروتئین تراوه و ناتراوه تغلیظ شده در زمان‌های مختلف از لحاظ خصوصیات عملکردی (حلالیت، ظرفیت جذب آب و روغن، اندیس فعالیت امولسیون کنندگی و اندیس پایداری امولسیون) با پروتئین سیب‌زمینی شاهد مقایسه شدند. در پروتئین ناتراوه و نمونه شاهد با افزایش pH از ۳ تا ۷ به‌طور معنی‌داری (p<۰/۰۵) حلالیت افزایش یافت اما با افزایش pH از هفت تا نه به‌طور معنی‌داری (P<۰/۰۵) از میزان حلالیت کاسته شد. بااین‌وجود در نمونه‌های پروتئین تراوه با افزایش pH از سه تا نه به‌طور معنی‌داری (P<۰/۰۵) میزان حلالیت افزایش یافت. علاوه براین‌ها مشخص شد که میزان حلالیت پروتئین‌ها ناتراوه به‌طور معنی‌داری (P<۰/۰۵) بالاتر از پروتئین‌های تراوه و پروتئین سیب‌زمینی شاهد بود. نمونه‌های پروتئین ناتراوه به‌طور معنی‌داری (p<۰/۰۵) دارای ظرفیت جذب آب بالاتری نسبت به پروتئین‌های تراوه و نمونه پروتئین شاهد داشتند. ظرفیت جذب روغن پروتئین‌ها نیز به‌طور معنی‌داری (P<۰/۰۵) وابسته به زمان دیافیلتراسیون و نوع فرآیند بود. به‌طوری‌که با افزایش زمان دیافیلتراسیون ظرفیت جذب روغن پروتئین‌ها ناتراوه و تراوه کاهش یافت. همچنین مشخص شد که ظرفیت جذب روغن پروتئین‌های ناتراوه (۵۹/۰۹ g oil/ g protein دیافیلتراسیون ۹۰ دقیقه) به‌طور معنی‌داری (P<۰/۰۵) بیشتر از پروتئین‌های تراوه (۳۲/۱۳ g oil/ g protein دیافیلتراسیون ۹۰ دقیقه) بود. اندیس فعالیت امولسیفایری و اندیس پایداری امولسیون با افزایش زمان دیافیلتراسیون در نمونه‌های ناتراوه به‌طور معنی‌داری افزایش یافت اما این شاخص‌ها با افزایش زمان دیافیلتراسیون در نمونه‌های پروتئین تراوه به‌طور معنی‌داری کاهش یافتند. آنالیز حرارتی پروتئین ناتراوه در مقایسه با پروتئین نمونه شاهد نشان داد که پروتئین ناتراوه سیب‌زمینی (۰/۳۵ ± ۱۸/۸۵ گرم آب به ازای هر گرم پروتئین در زمان ٤۸۰ دقیقه) دارای ظرفیت جذب آب بالاتری می‌باشد.

۱- مقدمه

سیب‌زمینی (*Solanum tuberosum*) چهارمین گیاه تولیدشده در دنیا بعد از برنج، گندم و ذرت می‌باشد. بر اساس آخرین آمارنامه وزارت جهاد کشاورزی، در ارتباط با محصولات کشاورزی، در سال ۱۳۹۳، میزان تولید سیب‌زمینی ٤/۹۹ میلیون تن در سال، در سطح کلیه استان‌های کشور گزارش شده است که معادل ٦/۷۳ درصد از میزان تولید محصولات زراعی و ۳۰/۸ درصد از کل میزان تولید سبزی‌ها می‌باشد که در صنایع مختلف مورد استفاده قرار می‌گیرد [۱]. یکی از صنایع تبدیلی مهم سیب‌زمینی در دنیا، تولید نشاسته، فیبر، پروتئین، سیب‌زمینی سرخ‌شده و چیپس می‌باشد که متأسفانه در ایران بخش تولید فیبر و پروتئین رشد چندانی نداشته است. ضایعات سیب‌زمینی در کارخانه‌های تولید نشاسته و فرآورده‌های سیب‌زمینی (چیپس و سیب‌زمینی سرخ‌شده) به دو بخش تقسیم می‌شود، بخشی که حاوی پوست و پالپ سیب‌زمینی است و بخشی که به‌عنوان دوغاب (آب سیب‌زمینی[1]) دور ریخته می‌شود. در کارخانه‌های تولید نشاسته، در حدود m^3 ۱۲-۵ دوغاب در ازای مصرف هر تن سیب‌زمینی حاصل می‌شود که تقریباً حاوی ۲۵ گرم پروتئین در هر کیلوگرم دوغاب وجود دارد. ورود این ضایعات به سیستم فاضلاب به واسطه BOD^2 بالایی که دارد آلودگی زیست‌محیطی ایجاد می‌کند. مواد جامد موجود در این دوغاب خروجی شامل، ۳۵٪ پروتئین خام، ۳۵٪ قند کل، ۲۰٪ مواد معدنی، ٤٪ اسیدهای ارگانیک و ٦٪ مواد دیگر است [۲]. با وجود اینکه غلظت پروتئین سیب‌زمینی کم است، اما به دلیل طیف اسیدهای آمینه موجود در سیب‌زمینی همچون ترئونین، تریپتوفان و متیونین، این گیاه از نظر علم تغذیه معادل پروتئین حیوانی (لیزوزیم پروتئین تخم‌مرغ) محسوب می‌شود. همچنین عکس دیگر پروتئین‌های گیاهی و غلات، دارای بخش زیادی اسیدآمینه ضروری لیزین و اسیدآمینه‌های سولفوردار همچون متیونین و سیستئین است [۵-۳]. پروتئین‌های سیب‌زمینی به سه گروه اصلی پاتاتین (حدود ٤۰٪)، ممانعت کننده‌های پروتئاز (حدود ۵۰٪) و پروتئین‌های دیگر (حدود ۱۰٪) تقسیم می‌شوند. پروتئین سیب‌زمینی در مقایسه با دیگر پروتئین‌های گیاهی، به دلیل ارزش غذایی بالا، توانایی در تنظیم سطح کلسترول سرم خون و کاهش جذب مواد غذایی از طریق افزایش گردش سطح کلیسستوکینین، پتانسیل بالایی برای مصرف در صنعت غذا را دارد [٤]. همچنین پروتئین‌های سیب‌زمینی، ویژگی‌های عملکردی خوبی مانند حلالیت، قابلیت ایجاد کف و خصوصیت امولسیفایری را دارد. ویژگی-های عملکردی از مهم‌ترین خصوصیات در فرآیندهای مواد غذایی محسوب می‌شوند. نتایج مطالعات نشان می‌دهد که ویژگی‌های عملکردی پروتئین‌ها به ساختار آنها بستگی دارد. بطوریکه پروتئین‌هایی با ساختار دست نخورده ویژگی‌های بهتر و مطلوب‌تری دارند. در ارتباط با پروتئین سیب‌زمینی نیز، مطالعات حاکی از این امر است که روش‌های مختلف استخراج می‌تواند بر روی این خصوصیات تأثیرگذار باشد. این موضوع یک چالش بزرگ در فرآیند تولید این نوع از پروتئین-ها می‌باشد. استخراج به روش‌های کوآگولاسیون حرارتی و رسوب‌دهی با اسید از متداول‌ترین روش‌های استخراج پروتئین سیب‌زمینی می‌باشد. اگرچه راندمان تولید این دو روش بالا است، اما به دلیل اعمال حرارت و شرایط اسیدی، ویژگی‌های عملکردی پروتئین کاهش‌یافته و کاربرد آن را تنها به‌عنوان غذای دام و استفاده در کودهای کشاورزی محدود می‌کند [۸-٦]. تاکنون روش‌های مختلف استخراج با هدف تولید پروتئین دست نخورده سیب‌زمینی معرفی شده‌اند که عبارت‌اند از رسوب‌دهی با نمک، رسوب‌دهی با حلال‌های ارگانیک، کمپلکس سازی با کربوکسی‌متیل‌سلولز، کروماتوگرافی، اولترافیلتراسیون و ترکیبی از روش‌های ذکر شده [٤ و ۱۲-۹]. باتوجه به پتانسیل بالای کنسانتره پروتئین سیب‌زمینی، این ماده

1. Potato Fruit Juice: PFJ
2. Bioavailable Oxygen Demand

می‌تواند در صنایع مختلف ازجمله تولید غذای دام، بیوتکنولوژی و صنعت غذا (عامل ایجاد کننده کف، عامل کدورت زدا، امولسیفایر و پایدارکننده سیستم‌های روغن و آب) کاربرد داشته باشد. به همین علت، هدف از این پژوهش، استخراج پروتئین دست نخورده سیب‌زمینی و بررسی ویژگی-های عملکردی آن به‌وسیله فرآیند فراپالایش همراه با زمان‌های مختلف دیافیلتراسیون می‌باشد.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- مواد

سیب‌زمینی گونه آگریا (*Solanum tuberosum* var. Agria) از بازار محلی در تهران (ایران) خریداری شد. روغن سویا از شرکت روغن لادن (ایران) خریداری شد. متا بی‌سولفیت سدیم، اسید کلریدریک، سدیم هیدروکسید و سدیم دو دسیل سولفات از شرکت مرک (آلمان) خریداری شدند. پروتئین سیب‌زمینی به‌عنوان نمونه شاهد از شرکت لیکبی (سوئد) تهیه گردید. این نمونه پس از استخراج با روش خشک‌کن پاششی، خشک شده بود.

۲- ۲- استخراج پروتئین سیب‌زمینی

پس از چندین مرتبه شستشو، سیب‌زمینی به‌وسیله یک آب‌میوه‌گیر خانگی (پارس خزر، ایران)، آب آن گرفته و توسط یک پارچه تنظیف دولایه فیلتر شد. سپس جهت ته‌نشینی نشاسته، مدت ۳۰ دقیقه استراحت داده شد، همچنین به‌منظور جلوگیری از قهوه‌ای شدن نیز از محلول متا بی‌سولفیت‌سدیم (۲۰ ppm) استفاده گردید. در ادامه، محلول رویی در دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد با دور g×۸۰۰۰ به مدت ۲۰ دقیقه باهدف حذف باقی‌مانده نشاسته سانتریفوژ (Universal 320R Homogenizer, Hettich, Germany) گردید. در نهایت جهت استخراج پروتئین سیب‌زمینی، محلول رویی جمع‌آوری شده به روش اولترافیلتراسیون توسط پمپ Master flex-L/S (Coleman-Palmer, United State) و فیلتر هدروفیل ۳۰ کیلودالتون (Vivafow, Sartorius, Gottigen, Germany) فیلتر شده و در حین فیلتراسیون نیز از دیافیلتراسیون با زمان‌های مختلف (۹۰، ۲۸۵ و ۴۸۰ دقیقه) استفاده گردید. پروتئین مرطوب به دست آمده، با روش خشک‌کن پاششی (مدل SP-1500 FAnyuan Instrument, FYI, China) خشک شد. دمای ورودی خشک‌کن پاششی ۱۸۰ درجه سلسیوس و دمای خروجی ۱۰۰ درجه سلسیوس و فشار دستگاه نیز ۰/۱ میلی بار تنظیم گردید. پروتئین استخراج‌شده در دمای حداقل ۲۵- درجه سلسیوس تا زمان انجام آزمایش‌ها نگهداری شد [۱۴ و ۱۳].

۲-۳- آنالیز ترکیبات شیمیایی

رطوبت نمونه‌ها با استفاده از روش آون‌گذاری در دمای ۱۰۵ درجه سلسیوس به مدت ۲۴ ساعت تا زمان رسیدن به وزن ثابت صورت گرفت [۱۵]. میزان پروتئین خام نمونه‌ها طبق روش کلدال و محتوی نیتروژن کل به‌وسیله ۶/۲۵ به محتوی پروتئین تبدیل شد [۱۶]. تعیین محتوی چربی خام با استفاده از روش استخراج سوکسله انجام شد [۱۵]. اندازه‌گیری میزان خاکستر نمونه‌ها پس از کربن‌زدایی (سوختن روی شعله) با استفاده از کوره الکتریکی در دمای ۵۵۰ درجه سلسیوس به مدت ۸ صورت گرفت [۱۵]. محتوی نشاسته نیز با استفاده از کیت آزمایشگاهی نشاسته تعیین شد [۱۵].

۲- ۴- حلالیت پروتئین

۵۰۰ میلی‌گرم از پروتئین در ۵۰۰ میلی‌لیتر آب دیونیزه مخلوط و در pH های (۳، ۵، ۷ و ۹) مختلف نگهداری شدند. مخلوط به مدت یک ساعت همزده و سپس به مدت ۳۰ دقیقه با دور g×۵۰۰ سانتریفوژ گردید. مقدار پروتئین فاز رویی به روش بردفورد اندازه‌گیری شد. محلول استاندارد مورد استفاده نیز آلبومین گاو بود. حلالیت بر اساس نسبت وزنی پروتئین فاز رویی به پروتئین کل بر اساس درصد بیان گردید [۱۸ و ۱۳].

=(٪)حلالیت

١٠٠× مقدار پروتئین در فاز رویی / مقدار پروتئین در نمونه

٢- ٥- ظرفیت جذب آب و جذب روغن

مقدار ٠/٥ میلی‌گرم از نمونه‌های پروتئین در داخل یک لوله فالکون ١٠ میلی‌لیتری وزن شده و سپس پنج میلی‌لیتر آب مقطر یا روغن سویا به آن اضافه و به مدت یک دقیقه مخلوط شدند. بعد از ٣٠ دقیقه استراحت، به مدت ٣٠ دقیقه با دور g× ١٤٠٠ در دمای اتاق سانتریفوژ شدند. بعد از جداسازی محلول رویی، مقدار آب یا روغن جذب شده توسط پروتئین محاسبه گردید [١٧، ١٩ و ٢٠].

٢-٦- اندیس فعالیت امولسیون کنندگی و اندیس پایداری امولسیون

مقدار ٢ میلی‌لیتر روغن سویا به شش میلی‌لیتر محلول پروتئین (١٪ w/v) اضافه شده و پس از هموژن شدن توسط هموژنایزر (Ultra- Turrax Homogenizer, 1KA, T18D, Staufen, Germany)، به مدت یک دقیقه با دور g×١٠٠٠٠ سانتریفوژ گردید. مقدار ٥٠ میکرولیتر از امولسیون تهیه‌شده در زمان‌های ٠ و ١٠ دقیقه پس از هموژن کردن برداشته شده و با پنج میلی‌لیتر محلول سدیم دو دسیل سولفات (SDS ٪ ٠/١) مخلوط و جذب آنها در طول‌موج ٥٠٠nm توسط اسپکتروفتومتر (Cary 60 UV-Vis Spectrophotometer, Aligent Technologies, Santa Clara, CA, USA) خوانده شدند [٢٢ و ٢١].

٢- ٧- آنالیز توزین حرارتی (TGA)[3]

آنالیز توزین حرارتی به‌وسیله دستگاه DSC (TA-Q600, USA) اندازه‌گیری شد. در ظروف مخصوص دستگاه از جنس آلومینیوم مقدار ٢٠ میلی‌گرم از هریک از نمونه‌ها به‌صورت جداگانه پر و در بندی شدند. در کنار ظرف خالی به‌عنوان استاندارد در دامنه حرارتی ٢٠ تا ١٥٠ درجه سلسیوس با نرخ ١٠ °C/min و در شرایط اتمسفر حرارت داده شدند.

٢- ٨- تجزیه‌وتحلیل آماری

آزمایش‌ها در قالب طرح کاملاً تصادفی انجام شدند و همه به‌صورت سه بار تکرار بررسی شدند. به‌منظور مقایسه میانگین داده‌ها از نتایج تحلیل واریانس (ANVOA) و از روش مقایسه میانگین بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن استفاده شد. تجزیه‌وتحلیل آماری توسط نرم‌افزار IBM SPSS Statistics 21 صورت گرفت. رسم نمودارها نیز با استفاده از نرم‌افزار Excel 2013 انجام شد.

٣- نتایج و بحث

٣- ١- ترکیبات شیمیایی

ترکیبات شیمیایی پروتئین ناتراوه در زمان ٤٨٠ دقیقه و پروتئین نمونه شاهد ازلحاظ محتوی رطوبت، محتوی پروتئین، محتوی چربی و خاکستر موردبررسی قرار گرفت (جدول ١). بر اساس نتایج به‌دست‌آمده مشخص شد که محتوی رطوبت، پروتئین، چربی، خاکستر و نشاسته پروتئین سیب‌زمینی نمونه شاهد به ترتیب برابر با ٠/٢٥ ± ٤/٤١ درصد، ٠/٤٢ ± ٨٥/٣٣ درصد، ٠/٢٢ ± ٠/٧٣ درصد، ٠/٤٥ ± ٣/٦١ درصد، ٠/٣٨ ± ٥/٩٢ درصد بودند. بااین‌وجود پروتئین ناتراوه سیب‌زمینی استخراج‌شده با فراپالایش و روش دیافیلتراسیون در زمان ٤٨٠ دقیقه دارای محتوی رطوبت ٠/٣٤ ± ٤/٦٧ درصد، محتوی پروتئین ٠/٥٧ ± ٨٣/١٢ درصد، چربی ٠/١٤ ± ١/٠٢ درصد، خاکستر ٠/٢٩ ± ٤/٠٨ درصد و نشاسته ٠/٦٣ ± ٧/١١ درصد بود. این تفاوت‌ها احتمالاً ناشی از روش استخراج، روش خشک‌کردن و شرایط محیطی نگهداری محصول نهایی می‌باشد [٢٣].

3 Thermal Gravimetric Analysis

Table 1 Chemical analysis of potato proteins in different diafiltration times

Sample	Protein (%)	Carbohydrate (%)	Ash (%)	Moisture (%)	Fat (%)
Control	85.33 ± 0.42 [a]	5.92 ± 0.38 [d]	3.61 ± 0.45 [b]	4.41 ± 0.25 [c]	0.73 ± 0.22 [a]
Permeate90min (P_{90})	39.00 ± 0.21 [d]	39.90 ± 1.10 [a]	9.92 ± 0. 10 [a]	10.18 ± 0.66 [a]	0.94 ± 0.15 [a]
Retentate 90 min (R_{90})	54.66 ± 0.28 [c]	34.12 ±0.66 [b]	4.205 ± 0.64 [b]	6.23 ± 0.73 [bc]	0.80 ± 0.21 [a]
Permeate 285 min (P_{285})	39.26 ± 0.40 [d]	39.74 ± 0.63 [a]	8.825 ± 0.67 [a]	11.40 ± 0.25 [a]	0.77 ± 0.28 [a]
Retentate 285 min (R_{285})	75.28 ± 0.85 [b]	14.01 ±2.52 [c]	4.06 ± 0.16 [b]	6.65 ± 0.12 [b]	0.95 ± 0.92 [a]
Permeate 480 min (P_{480})	39.06 ± 0.54 [d]	40.41 ± 0.86 [a]	9.50 ± 0.64 [a]	10.12 ± 0.33 [a]	0.870 ± 0.17 [a]
Retentate 480 min (R_{480})	83.12 ± 0.57 [a]	7.11 ± 0.63 [d]	4.08 ± 0.29 [b]	4.67 ± 0.34 [c]	1.02 ± 0.14 [a]

*Means within the same column with different letters are significantly different ($P < 0.05$).

۳-۲- حلالیت

حلالیت پروتئین‌ها نه‌تنها در ارتباط با ساختار و محتوی پروتئین می‌باشد بلکه تحت تأثیر شرایط pH محیط نیز می‌باشد [۷]. نتایج حاصل از تأثیر زمان‌های مختلف دیافیلتراسیون (۹۰، ۲۸۵ و ٤٨٠ دقیقه) روی حلالیت پروتئین‌های استخراج‌شده از سیب‌زمینی در pH های متفاوت (۳، ۵، ۷ و ۹) در نمونه‌های تراوه و ناتراوه و مقایسه میانگین داده‌ها بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در جدول ۲ نشان داده شده است. بر اساس نتایج تحلیل واریانس داده‌ها مشخص شد که حلالیت پروتئین‌های سیب‌زمینی به‌طور معنی‌داری (p<۰/۰۵) تحت تأثیر نوع نمونه (تراوه یا ناتراوه)، زمان فرآیند دیافیلتراسیون (۹۰، ۲۸۵ و ٤٨٠ دقیقه) و pH محیط (۳، ۵، ۷ و ۹) می‌باشد. براین اساس همان‌طور که در جدول ۲ نشان داده شده است حلالیت پروتئین‌های ناتراوه به‌طور معنی‌داری (p<۰/۰۵) بالاتر از حلالیت پروتئین‌های تراوه در همه pHهای مورد مطالعه می‌باشد. از این‌رو بیشترین حلالیت مربوط به نمونه پروتئین ناتراوه در همه pHها ثبت شد و کمترین حلالیت در همه pHها نیز مربوط به پروتئین تراوه به دست آمد. همان‌طور که جدول ۲ نشان می‌دهد پروتئین ناتراوه در زمان دیافیلتراسیون ٤٨٠ دقیقه و pH معادل ۷ به‌طور معنی‌داری (p<۰/۰۵) از بیشترین حلالیت نسبت به سایر تیمارها برخوردار می‌باشد و کمترین حلالیت در بین همه نمونه‌ها نیز مربوط به نمونه پروتئین تراوه در زمان ۲۸۵ دقیقه بود. علت بالا بودن میزان حلالیت نمونه‌های ناتراوه نسبت به نمونه‌های تراوه و شاهد، به دلیل وجود میزان بالاتر پروتئین پاتاتین در این نمونه‌ها و نیز وجود پلی‌فنول‌ها در نمونه‌های تراوه می‌باشد. پروتئین پاتاتین دارای وزن مولکولی بین ٤٥-٤٠ کیلو دالتون است و گروه وزنی ٤١ کیلودالتون این گلیکوپروتئین‌ها، در فرم دیمر با وزن مولکولی ۸۸ کیلودالتون نیز وجود دارند. این پروتئین‌ها ٤٠-۳۵ درصد پروتئین‌های سیب‌زمینی را شامل می‌شوند و نقش مهمی در ویژگی‌های عملکردی ایزوله پروتئین سیب‌زمینی دارند [۲٤ و ٤]. همچنین وجود پلی‌فنول‌ها در پروتئین‌های تراوه و قابلیت واکنش این ترکیبات از طریق پیوندهای کووالانسی یا غیر کووالانسی با پروتئین می‌تواند منجر به کاهش حلالیت در نمونه‌های پروتئین تراوه شود [۲۵].

علاوه بر این‌ها pH محیط نیز به‌طور معنی‌داری (p<۰/۰۵) حلالیت پروتئین‌ها را تحت تأثیر قرار داد به‌طوری‌که در نمونه شاهد و نمونه‌های ناتراوه با افزایش pH از ۳ تا ۷ به‌طور معنی‌داری (p<۰/۰۵) حلالیت پروتئین‌ها افزایش یافت اما با افزایش pH از ۷ تا ۹ به‌طور معنی‌داری (p<۰/۰۵) حلالیت آن‌ها را کاهش داد. بااین‌وجود در نمونه‌های پروتئین تراوه با افزایش pH از ۳ تا ۹ به‌طور معنی‌داری (p<۰/۰۵) حلالیت پروتئین افزایش یافت. پایین بودن میزان حلالیت در محدوده pH، ۳ تا ۵ به دلیل قرار گرفتن پروتئین‌های سیب‌زمینی در نقطه ایزوالکتریک خود می‌باشد که منجر به تغییرات ساختاری در نتیجه ایجاد اتصالات عرضی و تغییر در بار خنثی پروتئین‌ها می‌شود [۲۸-۲٦]. به‌طوری‌که این نقطه برای گلیکوپروتئین‌های پاتاتین بین ٤/۸- ۵/۲ گزارش شده است [۲۹]. نتایج مطالعات گذشته نیز نشان می‌دهد که حلالیت ایزوله‌های پروتئینی حاصل از سیب‌زمینی در محدوده‌ی pH ٤ تا ٦ در کمترین مقدار و در محدوده‌ی ۸ تا ۹ در بالاترین حد خود است [۷].

بررسی نتایج از نظر تأثیر زمان دیافیلتراسیون بر میزان حلالیت پروتئین‌ها نیز حاکی از این امر است که با افزایش زمان دیافیلتراسیون، میزان حلالیت نیز افزایش یافته است؛ زیرا باعث شستشوی بیشتر پروتئین و خالص‌سازی بیشتر پروتئین بیشتر خواهد شد [۳۰]. در واقع زمان دیافیلتراسیون فاکتوری کلیدی در افزایش میزان حلالیت پروتئین بوده است که این امر نیز در مطالعات Zwijnenberg و همکاران [۳۱] نیز تأیید شده است.

Table 2 Solubility of potato proteins in different pH and diafiltration times.

sample	pH 3	pH 5	pH 7	pH 9
control	0.64 ± 0.014^{dB}	0.65 ± 0.007^{eB}	0.68 ± 0.000^{dA}	0.64 ± 0.003^{dB}
Permeate90min (P_{90})	0.22 ± 0.014^{eD}	0.41 ± 0.010^{eC}	0.42 ± 0.014^{gB}	0.69 ± 0.001^{cA}
Retentate 90 min (R_{90})	19.79 ± 0.014^{cD}	25.98 ± 0.007^{cC}	52.07 ± 0.028^{cA}	46.65 ± 0.056^{cB}
Permeate 285 min (P_{285})	0.21 ± 0.007^{eD}	0.33 ± 0.007^{fC}	0.49 ± 0.014^{fB}	0.53 ± 0.021^{eA}
Retentate 285 min (R_{285})	26.78 ± 0.028^{bD}	31.85 ± 0.021^{bC}	68.30 ± 0.001^{bA}	60.31 ± 0.007^{bB}
Permeate 480 min (P_{480})	0.24 ± 0.014^{eD}	0.35 ± 0.007^{fC}	0.56 ± 0.000^{eB}	0.64 ± 0.007^{dA}
Retentate 480 min (R_{480})	33.20 ± 0.007^{aD}	39.64 ± 0.014^{aC}	82.11 ± 0.021^{aA}	70.47 ± 0.021^{aB}

* Means within the same column and rows with different letters (small and capital respectively) are significantly different ($P < 0.05$).

۳-۳- ظرفیت جذب آب

کنفورماسیون فضایی پروتئین‌ها، تعادل هیدروفیلیک-هیدروفوبیک اسیدهای آمینه و سایر خصوصیات ذاتی آن‌ها در ارتباط با ظرفیت جذب آب پروتئین‌ها شناخته می‌شوند. علاوه براین‌ها شرایط استخراج (ترسیب) پروتئین و شرایط محیطی نیز روی ظرفیت جذب آب پروتئین‌ها مؤثر هستند [۳۲]. نتایج حاصل از اندازه‌گیری ظرفیت جذب آب توسط پروتئین استخراج‌شده از سیب‌زمینی و مقایسه میانگین داده‌ها بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در شکل ۱ نشان داده شده است. نتایج مقایسه میانگین داده‌ها بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن نشان داد که ظرفیت جذب آب پروتئین‌های سیب‌زمینی (تراوه و ناتراوه) در مقایسه با نمونه شاهد به‌طور معنی‌داری (p<۰/۰۵) وابسته به زمان فرآیند دیافیلتراسیون و نوع نمونه (تراوه و ناتراوه) می‌باشد. براین اساس همان‌طور که در شکل ۱ نشان داده شده است نمونه‌های ناتراوه در همه زمان‌های دیافیلتراسیون به‌طور معنی‌داری (p<۰/۰۵) دارای بالاترین ظرفیت جذب آب در مقایسه با نمونه شاهد و نمونه پروتئین تراوه می‌باشند. همچنین مشخص شد که با افزایش زمان دیافیلتراسیون از ۹۰ دقیقه تا ٤٨٠ دقیقه میزان جذب آب پروتئین‌ها ناتراوه به‌طور معنی‌داری (p<۰/۰۵) افزایش و میزان جذب آب پروتئین‌های تراوه کاهش می‌یابد. به‌طوری‌که بالاترین میزان جذب آب پروتئین‌های ناتراوه (۰/۳۵ ± ۱۸/۸۵ گرم آب به ازای هر گرم پروتئین) در زمان ٤٨٠ دقیقه و بالاترین میزان جذب آب پروتئین‌های تراوه (۰/۸٦ ± ۲/٥٤ گرم آب به ازای هر گرم پروتئین) در زمان ۹۰ دقیقه به دست آمد. همچنین مشخص شد که در همه زمان‌های استخراج پروتئین سیب‌زمینی ظرفیت جذب آب پروتئین ناتراوه به‌طور معنی‌داری (p<۰/۰۵) بالاتر از نمونه شاهد بود اما در همه زمان‌های استخراج ظرفیت جذب آب پروتئین‌های تراوه سیب‌زمینی به‌طور معنی‌داری (p<۰/۰۵) پایین‌تر از ظرفیت جذب آب پروتئین‌های سیب‌زمینی شاهد بود.

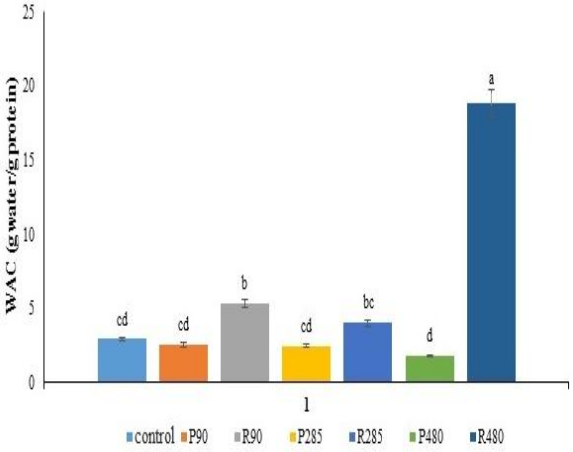

Fig 1 Water absorption capacity (WAC) of potato proteins in different diafiltration times.

دلیل این تفاوت‌ها احتمالاً در ارتباط با موارد مختلفی می‌باشد. وجود گروه‌های آب‌دوست بیشتر و محتوی پروتئین بالاتر از مهم‌ترین عوامل قابلیت جذب و نگهداری آب در ساختار پروتئین‌ها می‌باشند؛ بنابراین با استفاده از فرآیند دیافیلتراسیون احتمالاً پروتئین‌های بیشتری استخراج (تغلیظ) می‌شوند که محتوی پروتئین کل را نیز افزایش می‌دهند. با افزایش زمان فرآیند دیافیلتراسیون پروتئین‌های بیشتری تغلیظ می‌شوند و از طرف دیگر پروتئین کمتری از فیلتر عبور می‌نماید. با افزایش تغلیظ پروتئین، محتوی ترکیبات پروتئینی و محتوی ترکیبات آب‌دوست نیز بیشتر خواهد شد که همراه با افزایش میزان جذب آب توسط پروتئین‌های سیب‌زمینی می‌گردد [٣٤-٣٣]. این یافته‌ها با نتایج دیگر محققین از لحاظ ظرفیت جذب آب مطابقت داشت. Jukkola و همکاران [۳٥] به مطالعه استخراج پروتئین از گلبول‌های چربی شیر با استفاده از فرآیند میکرودیافیلتراسیون پرداختند. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده توسط این محققین مشخص شد که افزایش زمان میکرو-دیافیلتراسیون منجر به افزایش محتوی پروتئین استخراج شده خواهد شد که همراه با افزایش قابلیت جذب و نگهداری

پروتئین‌های استخراج شده بود. براین اساس، این محققین اعلام نمودند که افزایش محتوی پروتئین استخراج‌شده توسط فرآیند دیافیلتراسیون از گلبول‌های چربی شیر همراه با افزایش بخش آب‌دوست پروتئین‌ها خواهد بود که می‌تواند منجر به افزایش قابلیت جذب آب توسط آن‌ها شود.

۳- ٤- جذب روغن (OAC)

مکانیسم جذب روغن می‌تواند در ارتباط با به دام اندازی فیزیکی روغن و قابلیت اتصال زنجیرهای چربی گروه‌های جانبی غیرقطبی پروتئین‌ها نسبت داد. قابلیت جذب روغن می‌تواند مزایایی را از قبیل اتصال به ترکیبات طعمی و کاهش میزان ترشیدگی اکسیداتیو داشته باشد [۳٦]. جدول ۳ نتایج مربوط به تغییرات میزان جذب روغن پروتئین سیب‌زمینی استخراج شده با فرآیند فراپالایش و زمان‌های مختلف دیافیلتراسیون (۹۰، ۲۸۵ و ٤۸۰ دقیقه) در نمونه‌های پروتئین تراوه و ناتراوه در مقایسه با نمونه شاهد و مقایسه میانگین داده‌ها بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن را نشان می‌دهد. بر اساس نتایج تحلیل واریانس داده‌ها نشان داد که ظرفیت جذب روغن پروتئین‌های سیب‌زمینی (تراوه و ناتراوه) در مقایسه با نمونه شاهد به‌طور معنی‌داری (p<۰/۰۵) وابسته به زمان فرآیند دیافیلتراسیون و نوع نمونه (تراوه و ناتراوه) می‌باشد. ازاین‌رو همان‌طور که در جدول ۳ نشان داده شده است نمونه پروتئین‌های ناتراوه سیب‌زمینی به‌طور معنی‌داری (p<۰/۰۵) دارای ظرفیت جذب روغن بالاتری نسبت به نمونه‌های پروتئین تراوه و نمونه شاهد می‌باشند. نتایج نشان داد که در بین همه نمونه‌ها، نمونه شاهد به‌طور معنی‌داری (p<۰/۰۵) دارای کمترین میزان جذب روغن (۰/۱٤ ± ۱/۸۰ درصد) و نمونه پروتئین ناتراوه در زمان دیافیلتراسیون ۹۰ دقیقه به‌طور معنی‌داری (p<۰/۰۵) دارای بالاترین ظرفیت جذب روغن (۱/۲۱ ± ۵۹/۰۹ درصد) می‌باشد؛ بنابراین احتمالاً پروتئین‌های ناتراوه به دلیل گروه‌های جانبی چربی‌دوست بیشتری که دارند قابلیت جذب و نگهداری روغن بیشتری نسبت به پروتئین‌های تراوه دارند [۱۳]. این یافته‌ها با نتایج دیگر محققین نیز در ارتباط با جذب روغن توسط پروتئین سیب‌زمینی مطابقت داشت. Jeżowski و همکاران [۳۷] به مطالعه جذب روغن توسط پروتئین‌های استخراج‌شده از ضایعات آب سیب‌زمینی با استفاده از روش فراپالایش پرداختند. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده توسط این محققین مشاهده کردند که پروتئین سیب‌زمینی به دلیل وجود برخی از گروه‌های آب‌دوست در زنجیرهای جانبی خود قابلیت جذب و نگهداری فیزیکی روغن بودند که این محققین استفاده از این پروتئین را برای جایگزینی گوشت در محصولات شبیه‌سازی شده گوشت پیشنهاد دادند؛ بنابراین بر اساس نتایج به‌دست‌آمده در پژوهش حاضر پروتئین‌های ناتراوه سیب‌زمینی دارای ظرفیت جذب روغن مناسبی هستند که برای به‌کارگیری در محصولات غذایی مختلف نظیر جایگزین گوشت و سوسیس‌های گیاهی مناسب می‌باشند.

Table 3 Oil absorption capacity (OAC) of potato proteins in different diafiltration times.

sample	OBC (g oil/ g protein)
Control	1.80 ± 0.14 [d]
Permeate90min (P90)	32.13 ± 1.754 [c]
Retentate 90 min (R90)	59.09 ± 1.214 [a]
Permeate 285 min (P285)	33.09 ± 1.17 [c]
Retentate 285 min (R285)	39.48 ± 1.80 [b]
Permeate 480 min (P480)	28.72 ± 1.12 [c]
Retentate 480 min (R480)	32.94 ± 2.43 [c]

Means with different letters are significantly different (P < 0.05).

۳- ۵- اندیس فعالیت امولسیون کنندگی و اندیس پایداری امولسیون

جدول ٤ نتایج مربوط به تغییرات میزان اندیس فعالیت امولسیون کنندگی و اندیس پایداری امولسیون توسط پروتئین‌های استخراج‌شده از سیب‌زمینی با فرآیند فراپالایش و زمان‌های مختلف دیافیلتراسیون (۹۰، ۲۸۵ و ٤۸۰ دقیقه) در نمونه‌های پروتئین تراوه و ناتراوه در مقایسه با نمونه شاهد و مقایسه میانگین داده‌ها بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن را نشان می‌دهد. بر اساس نتایج تحلیل واریانس داده‌ها نشان داد که اندیس فعالیت امولسیون کنندگی و اندیس پایداری امولسیون توسط پروتئین‌های استخراج‌شده از سیب‌زمینی (تراوه و ناتراوه) در مقایسه با نمونه شاهد به‌طور معنی‌داری (p<۰/۰۵) وابسته به زمان فرآیند دیافیلتراسیون و نوع نمونه

(تراوه و ناتراوه) می‌باشد. همان‌طور که در جدول ٤ نشان داده شده است بالاترین اندیس فعالیت امولسیون کنندگی در بین همه نمونه‌ها مربوط به نمونه شاهد (۸۲/۳۳ ± ۰/۰۲۸ m^2/g) می‌باشد. بر این اساس همان‌طور که در جدول ٤ نشان داده شده است با افزایش زمان دیافیلتراسیون میزان اندیس فعالیت امولسیون کنندگی در کلیه نمونه‌های تراوه به‌طور معنی‌داری (p<۰/۰۵) از ۰/۲۳۸ ± ۵/۲٦ m^2/g تا ۰/۰۰ ± ۰/۰۰ m^2/g کاهش یافت به‌طوری‌که نمونه پروتئین تراوه استخراج‌شده از سیب‌زمینی در زمان دیافیلتراسیون ٤۸۰ دقیقه فاقد فعالیت امولسیون کنندگی بود. با این وجود افزایش زمان دیافیلتراسیون به‌منظور استخراج پروتئین از سیب‌زمینی به‌طور معنی‌داری (p<۰/۰۵) منجر به افزایش اندیس فعالیت امولسیون کنندگی از ۰/۳۳ ± ۳۳/۸۰ m^2/g تا ۰/۰۳ ± ۷۱/۸۰ m^2/g در پروتئین‌ها ناتراوه سیب‌زمینی شد. علت این امر می‌تواند به دلیل حضور پروتئین پاتاتین بیشتر در نمونه‌های با اندیس فعالیت امولسیون کنندگی بالا باشد؛ زیرا این گروه از پروتئین-ها در مقایسه با پروتئین‌های ممانعت کننده پروتئاز نقش بیشتری در قابلیت امولسیون کنندگی پروتئین سیب‌زمینی دارند [٢٤]. علاوه براین‌ها مشخص شد که با افزایش زمان دیافیلتراسیون از ۹۰ تا ٤۸۰ دقیقه به‌طور معنی‌داری (p<۰/۰۵) اندیس پایداری امولسیون توسط پروتئین‌های تراوه سیب‌زمینی از ۷/۲۳۲ ± ۱٤۷/٤۸ min تا ۰/۰۰ ± ۰/۰۰ min کاهش یافت. همچنین با افزایش زمان دیافیلتراسیون به‌طور معنی‌داری (p<۰/۰۵) اندیس پایداری امولسیون از ۲/۷۷ ± ۱۸/۳۳ m^2/g تا ۰/٤۳ ± ۱۰٦/۰۸ m^2/g افزایش یافت. پایداری امولسیون می‌تواند به‌عنوان توانایی سیستم برای مقابله با تغییر خصوصیات فیزیکوشیمیایی محصول در گذشت زمان تعریف نمود. پایداری امولسیون یک عامل کلیدی و حیاتی در برخی از کاربردهای صنعتی ازجمله پوشش‌ها، انکپسولاسیون و طراحی محصولات جدید می‌باشد. تفاوت در روش‌ها و تیمارها می‌تواند پایداری امولسیونی توسط پروتئین‌ها را تحت تأثیر قرار دهد [۳۸]. همان‌طور که گفته شد تفاوت در اندیس فعالیت امولسیون کنندگی و درنتیجه اندیس پایداری امولسیونی می‌تواند در ارتباط با محتوی پاتاتین پروتئین استخراج شده از سیب‌زمینی باشد. این پروتئین حدود ٤۰ درصد از پروتئین‌های تشکیل دهنده سیب‌زمینی را شامل می‌شود عامل اصلی خصوصیات تکنولوژیکی و عملکردی پروتئین سیب‌زمینی می‌باشد. براین اساس مطالعات نشان داده که این پروتئین دارای فعالیت امولسیون کنندگی مناسب می‌باشد [٢٤ و ۳۹]. ازاین‌رو محتوی بالاتر این پروتئین در حین فرآیند استخراج می‌تواند منجر به فعالیت امولسیون کنندگی و پایداری امولسیونی بیشتر شود [٤۰]. به همین خاطر احتمالاً با افزایش زمان دیافیلتراسیون محتوی بالاتری پروتئین و در نتیجه پاتاتین استخراج می‌شود که باعث افزایش خاصیت امولسیون کنندگی و افزایش پایداری امولسیون خواهد شد. این یافته‌ها با نتایج دیگر محققین در ارتباط با فعالیت امولسیون کنندگی و پایداری امولسیونی پروتئین‌ها مطابقت داشت. Elsohaimy و همکاران [٤۱] به مطالعه فعالیت امولسیون کنندگی و پایداری امولسیونی توسط پروتئین استخراج‌شده از کینوآ پرداختند. بر اساس نتایج این محققین مشخص شد که افزایش محتوی پروتئین استخراج‌شده از دانه کینوآ منجر به افزایش قابلیت امولسیون کنندگی و پایداری امولسیونی شد. آن‌ها این خاصیت امولسیون کنندگی را به پروتئین‌های غالب دانه کینوآ با وزن مولکولی ۵۵ کیلودالتون (گلوبولین‌ها) نسبت دادند. همچنین Waglay و همکاران [۱۰] به مطالعه قابلیت امولسیون کنندگی ایزوله پروتئین سیب‌زمینی پرداختند. بر اساس نتایج این محققین مشخص شد که ایزوله پروتئین سیب‌زمینی به دلیل دارا بودن محتوی بالاتر پروتئین پاتاین از قابلیت امولسیون کنندگی بالایی برخوردار بود. آن‌ها این قابلیت را خاصیت امولسیفایری این پروتئین و قرارگیری آن در سطح مشترک آب-روغن نسبت دادند.

Table 4 Emulsion activity and stability of potato proteins in different diafiltration times.

Sample	Emulsifying activity Index	Emulsion Stability Index
Control	82.33 ± 0.02 [a]	138.30 ± 7.28 [a]
Permeate90min (P90)	5.26 ± 0.23 [d]	147.48 ± 2.23 [a]
Retentate 90 min (R90)	8.33 ± 0.33 [b]	18.33 ± 3.77 [d]
Permeate 285 min (P285)	3.00 ± 0.87 [e]	73.72 ± 2.74 [c]
Retentate 285 min (R285)	6.68 ± 0.58 [c]	76.71 ± 0.57 [c]
Permeate 480 min (P480)	0.00 ±0.00 [f]	0.00 ± 0.00 [e]
Retentate 480 min (R480)	8.71 ± 0.03 [b]	106.08 ± 0.43 [b]

*Means within the same column with different letters are significantly different (P < 0.05).

۳- ٦- خصوصیات حرارتی

نتایج آنالیز حرارتی نمونه‌های پروتئین شاهد و نمونه پروتئین سیب‌زمینی ناتراوه در زمان دیافیلتراسیون ٤٨٠ دقیقه (R_{480}) در دامنه حرارتی ٤٠ تا ١٥٠ درجه سلسیوس در شکل ٢ نشان داده شده است.

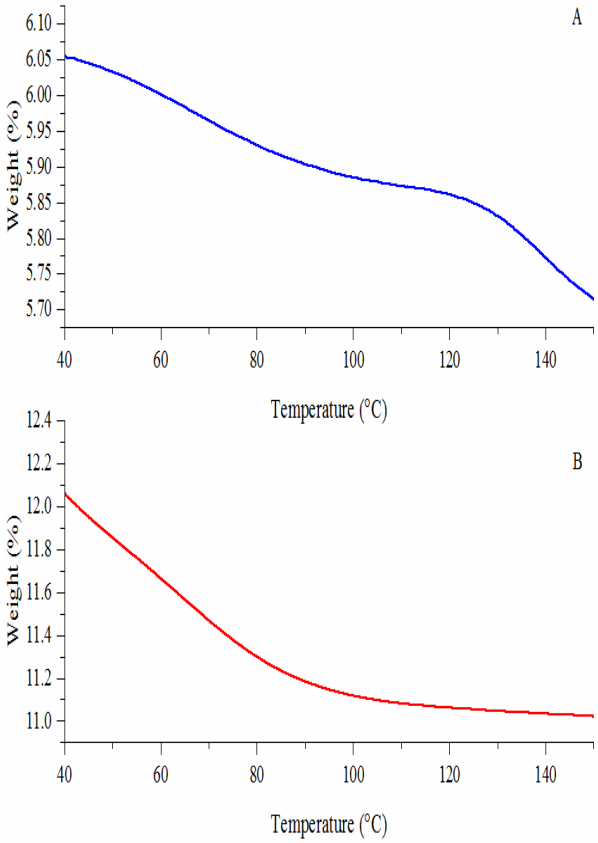

Fig 2 Differential Scanning Calorimetry (DSC) of potato proteins. (A) blank, (B) potato protein with 480 min diafiltration time.

بر اساس نتایج حاصل از آنالیز حرارتی هر دو نمونه پروتئین مشخص شد که میزان افت وزن به‌طور معنی‌داری ($p<$٠/٠٥) وابسته به نوع نمونه می‌باشد. براین اساس همان‌طور که در شکل ٢ نشان داده شده است نمونه شاهد دارای افت وزن کمتری نسبت به نمونه پروتئین ناتراوه حاصل از زمان ٤٨٠ دقیقه دیافیلتراسیون می‌باشد. این امر بیانگر افت رطوبت و شکست پیوندهای هیدروژنی بیشتر در نمونه R_{480} می‌باشد؛ بنابراین می‌توان گفت که قابلیت آب دوستی و جذب آب پروتئین‌های سیب‌زمینی R_{480} بیشتر از نمونه شاهد می‌باشد [٤٢]. این یافته‌ها با نتایج دیگر محققین از لحاظ خصوصیات حرارتی مطابقت داشت. Li و همکاران [٤٣] به مطالعه تشکیل کمپلکس فیبرهای محلول در آب و ترکیبات پلی فنولی در ریشه درخت کنار را مورد ارزیابی و مطالعه قرار دادند. بر اساس نتایج آنالیز حرارتی نمونه‌ها توسط این محققین مشخص شد که نمونه‌ها در دامنه ١٥٠-٤٠ درجه سلسیوس دچار افت وزن شدند. آن‌ها این افت وزن را به تبخیر رطوبت و شکستن پیوندهای هیدروژنی نسبت دادند. براین اساس محققین بیان کردند که نمونه‌هایی که دچار افت وزن بیشتری شدند از قابلیت آب‌دوستی و جذب آب بالاتری برخوردار می‌باشند.

٤- نتیجه‌گیری

این مطالعه استخراج پروتئین از سیب‌زمینی به‌عنوان منبع بالقوه از پروتئین‌های با خصوصیات عملکردی مناسب صورت گرفت. برای این منظور پروتئین عصاره سیب‌زمینی با استفاده از فرآیند فراپالایش همراه با فرآیند دیافیلتراسیون در زمان‌های مختلف ٩٠ تا ٤٨٠ دقیقه استخراج شد و خصوصیات پروتئین تراوه و ناتراوه در این زمان‌های مختلف با پروتئین سیب‌زمینی نمونه شاهد مقایسه شد. خصوصیات عملکردی پروتئین‌های استخراج‌شده از لحاظ حلالیت، ظرفیت جذب آب و روغن، اندیس فعالیت امولسیون کنندگی و اندیس پایداری امولسیون مورد ارزیابی قرار گرفت و در نهایت خصوصیات حرارتی پروتئین استخراج‌شده سیب‌زمینی با پروتئین نمونه شاهد مقایسه شد. حلالیت پروتئین‌ها در دامنه pH ٣ تا ٩ ارزیابی شد. نتایج حلالیت پروتئین‌های تراوه نشان داد که اگرچه با افزایش pH از ٣ تا ٩ میزان حلالیت آن‌ها به‌طور معنی‌داری ($p<$٠/٠٥) افزایش می‌یابد اما در نمونه‌ها پروتئین ناتراوه و پروتئین شاهد با افزایش pH از ٣ تا ٧ میزان حلالیت آن‌ها به‌طور معنی‌داری ($p<$٠/٠٥) افزایش یافت ولی با افزایش میزان pH از ٧ تا ٩ به‌طور معنی‌داری ($p<$٠/٠٥) حلالیت این پروتئین‌ها کاهش یافت. مقایسه میزان حلالیت پروتئین‌ها نشان داد که میزان حلالیت پروتئین‌های ناتراوه به‌طور معنی‌داری ($p<$٠/٠٥) از پروتئین‌های شاهد و پروتئین‌های نمونه تراوه بالاتر بود. علاوه بر این نتایج نشان داد که در نمونه‌های پروتئین ناتراوه سیب‌زمینی میزان ظرفیت جذب آب نیز بیشتر از سایر نمونه‌ها می‌باشد. مقایسه ظرفیت جذب روغن پروتئین‌های ناتراوه با سایر پروتئین‌ها نشان داد که میزان جذب روغن پروتئین ناتراوه به‌طور معنی‌داری ($p<$٠/٠٥) بیشتر از پروتئین تراوه می‌باشد. ارزیابی فعالیت امولسیفایری و پایداری

امولسیون کنندگی نشان داد که با افزایش زمان دیافیلتراسیون به‌طور معنی‌داری ($p<۰/۰۵$) فعالیت امولسیفایری و پایداری امولسیون کنندگی در نمونه ناتراوه بیشتر شد ولی این شاخص‌ها در نمونه تراوه به‌طور معنی‌داری ($p<۰/۰۵$) کاهش یافتند. آنالیز حرارتی پروتئین ناتراوه در مقایسه با پروتئین نمونه شاهد نشان داد که پروتئین ناتراوه سیب‌زمینی دارای ظرفیت جذب آب بالاتری می‌باشد. به‌طورکلی بر اساس نتایج به‌دست‌آمده می‌توان نتیجه گرفت که با استفاده از فرآیند فراپالایش همراه با فرآیند دیافیلتراسیون در زمان ٤٨٠ دقیقه می‌توان پروتئین‌های سیب‌زمینی با خصوصیات عملکردی مناسب استخراج نمود که خصوصیات عملکردی آن‌ها با پروتئین‌های تجاری سیب‌زمینی قابل مقایسه می‌باشد.

۵- منابع

[1] Faridi Myvan, F., Jami Al-Ahmadi, M., Eslami, S. V., & Shojaei Noferest, K. (2022). Role of potassium in modifying the potato physiological responses to irrigation regimes under different planting patterns. *Potato Research*, 1-20.

[2] Singh, J., Colussi, R., McCarthy, O. J., & Kaur, L. (2016). Potato starch and its modification. In *Advances in potato chemistry and technology* (pp. 195-247). Academic Press.

[3] Leonel, M., Do Carmo, E. L., Fernandes, A. M., Soratto, R. P., Ebúrneo, J. A. M., Garcia, É. L., & Dos Santos, T. P. R. (2017). Chemical composition of potato tubers: the effect of cultivars and growth conditions. *Journal of food science and technology*, 54(8), 2372-2378.

[4] Hussain, M., Qayum, A., Xiuxiu, Z., Liu, L., Hussain, K., Yue, P., ... & Li, X. (2021). Potato protein: An emerging source of high quality and allergy free protein, and its possible future based products. *Food Research International*, *148*, 110583.

[5] Karimi, F., Hamidian, Y., Behrouzifar, F., Mostafazadeh, R., Ghorbani-HasanSaraei, A., Alizadeh, M., Mortazavi, S.M., Janbazi, M. and Asrami, P.N. (2022). An applicable method for extraction of whole seeds protein and its determination through Bradford's method. *Food and Chemical Toxicology*, *164*, 113053.

[6] Wojnowska, I., Poznanski, S., & Bednarski, W. (1982). Processing of potato protein concentrates and their properties. *Journal of Food Science*, 47(1), 167-172.

[7] Ralet, M. C., & Guéguen, J. (2000). Fractionation of potato proteins: solubility, thermal coagulation and emulsifying properties. *LWT-Food Science and Technology*, *33*(5), 380-387.

[8] Ovissipour, M., Kenari, A. A., Motamedzadegan, A., Rasco, B., & Nazari, R. M. (2011). Optimization of protein recovery during hydrolysis of yellowfin tuna (Thunnus albacares) visceral proteins. *Journal of Aquatic Food Product Technology*, *20*(2), 148-159.

[9] Waglay, A., Karboune, S., & Alli, I. (2014). Potato protein isolates: Recovery and characterization of their properties. *Food chemistry*, 142, 373-382.

[10] Waglay, A., Achouri, A., Karboune, S., Zareifard, M. R., & L'Hocine, L. (2019). Pilot plant extraction of potato proteins and their structural and functional properties. *LWT*, *113*, 108275.

[11] Omrani Khiabanian, N., Motamedzadegan, A., Naghizadeh Raisi, S., & Alimi, M. (2020). Chemical, textural, rheological, and sensorial properties of wheyless feta cheese as influenced by replacement of milk protein concentrate with pea protein isolate. *Journal of texture studies*, *51*(3), 488-500.

[12] Mohammadi, A., Shahidi, S. A., Rafe, A., Naghizadeh Raeisi, S., & Ghorbani-HasanSaraei, A. (2022). Extraction and characterization of rice bran protein and its utilization in low-fat dairy dessert as a substitute for dairy protein. *Journal of food science and technology (Iran)*, *19*(124), 157-170.

[13] Miedzianka, J., Pęksa, A., & Aniołowska, M. (2012). Properties of acetylated potato protein preparations. *Food Chemistry*, *133*(4), 1283-1291.

[14] Dabestani, S., Arcot, J., & Chen, V. (2017). Protein recovery from potato processing water: Pre-treatment and membrane fouling minimization. *Journal of Food Engineering*, 195, 85-96.

[15] AOAC (American Society of Brewing Chemists). (1958). Methods of analysis. American Society of brewing chemists. 16th ed. Washington, DC. Methods No. 923.03, 925.09, 960.36, 996.11.

[16] Van Gelder, W. M. J. (1981). Conversion factor from nitrogen to protein for potato tuber protein. *Potato Research*, *24*(4), 423-425.

[17] Wu, H., Wang, Q., Ma, T., & Ren, J. (2009). Comparative studies on the functional properties of various protein concentrate preparations of peanut protein. *Food Research International*, 42(3), 343-348.

[18] Mazinani, S., Motamedzadegan, A., Naghizadeh Raeisi, S., & Alimi, M. (2020). Impact of pea protein isolate in partial substitution of milk protein concentrate on the microstructural, rheological, and sensory properties of bacteriologically acidified feta□type cheese. *Journal of Food Processing and Preservation*, *44*(6), e14448.

[19] Ghorbani□HasanSaraei, A., Rafe, A., Shahidi, S. A., & Atashzar, A. (2019). Microstructure and chemorheological behavior of whipped cream as affected by rice bran protein addition. *Food Science & Nutrition*, *7*(2), 875-881.

[20] Stone, A. K., Karalash, A., Tyler, R. T., Warkentin, T. D., & Nickerson, M. T. (2015). Functional attributes of pea protein isolates prepared using different extraction methods and cultivars. *Food research international*, 76, 31-38.

[21] Karaca, A. C., Low, N., & Nickerson, M. (2011). Emulsifying properties of canola and flaxseed protein isolates produced by isoelectric precipitation and salt extraction. *Food Research International*, 44(9), 2991-2998.

[22] Liang, H. N., & Tang, C. H. (2013). pH-dependent emulsifying properties of pea [Pisum sativum (L.)] proteins. *Food Hydrocolloids*, 33(2), 309-319.

[23] Zhang, M., Mu, T-H. (2017). Antioxidant peptides from sweet potato protein hydrolysates by alcalase under high pressure. *Innovative Food science & Emerging Technology*, 43, 92-101.

[24] Fu, Y., Liu, W. N., & Soladoye, O. P. (2020). Towards potato protein utilisation: Insights into separation, functionality and bioactivity of patatin. *International Journal of Food Science & Technology*, 55(6), 2314-2322.

[25] Mu, T. H., Tan, S. S., & Xue, Y. L. (2009). The amino acid composition, solubility and emulsifying properties of sweet potato protein. *Food Chemistry*, 112(4), 1002-1005.

[26] Van Koningsveld, G. A., Gruppen, H., de Jongh, H. H., Wijngaards, G., van Boekel, M. A., Walstra, P., & Voragen, A. G. (2001). Effects of pH and heat treatments on the structure and solubility of potato proteins in different preparations. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 49(10), 4889-4897.

[27] Sarabi□Aghdam, V., Hosseini□Parvar, S. H., Motamedzadegan, A., & Razi, S. M. (2021). Phase behavior and rheological properties of basil seed gum/whey protein isolate mixed dispersions and gels. *Food Science & Nutrition*, *9*(4), 1881-1895.

[28] Naghizadeh Raeisi, S., Mohamadi Rami, A., Shahidi, S. A., & Ghorbani-HasanSaraei, A. (2019). Functional characteristics of rice bran protein isolate (Hashemi cultivar). *Journal of food science and technology (Iran)*, *15*(85), 467-478.

[29] van Koningsveld, G. A., Gruppen, H., de Jongh, H. H. J., Wijngaards, G., van Boekel, M. A. J. S., Walstra, P., & Voragen, A. G. J. (2002). The solubility of potato proteins from industrial potato fruit juice as influenced by pH and various additives. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 82(1), 134-142.

[30] Ribeiro, C., Santos, E. T., Costa, L., Brazinha, C., Saraiva, P., & Crespo, J. G. (2022). Nannochloropsis sp. Biorefinery: Recovery of Soluble Protein by Membrane Ultrafiltration/Diafiltration. *Membranes*, 12(4), 401.

[31] Zwijnenberg, H. J., Kemperman, A. J., Boerrigter, M. E., Lotz, M., Dijksterhuis, J. F., Poulsen, P. E., & Koops, G. H. (2002). Native protein recovery from potato fruit juice by ultrafiltration. *Desalination*, 144(1-3), 331-334.

[32] Chen, Y., Chen, J., Chang, C., Chen, J., Cao, F., Zhao, J., ... & Zhu, J. (2019). Physicochemical and functional properties of proteins extracted from three microalgal species. *Food Hydrocolloids*, *96*, 510-517.

[33] Bao, Y., & Ertbjerg, P. (2019). Effects of protein oxidation on the texture and water-holding of meat: A review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 59(22), 3564-3578.

[34] Ma, D., & Kim, Y. H. B. (2020). Proteolytic changes of myofibrillar and small

heat shock proteins in different bovine muscles during aging: Their relevance to tenderness and water-holding capacity. *Meat science*, 163, 108090.

[35] Jukkola, A., Partanen, R., Rojas, O. J., & Heino, A. (2018). Effect of heat treatment and pH on the efficiency of micro-diafiltration for the separation of native fat globules from cream in butter production. *Journal of Membrane Science*, 548, 99-107.

[36] Kinsella, J. E. (1979). Functional properties of soy proteins. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 56(3Part1), 242-258.

[37] Jeżowski, P., Polcyn, K., Tomkowiak, A., Rybicka, I., & Radzikowska, D. (2020). Technological and antioxidant properties of proteins obtained from waste potato juice. *Open Life Sciences*, 15(1), 379-388.

[38] Goodarzi, F., & Zendehboudi, S. (2019). A comprehensive review on emulsions and emulsion stability in chemical and energy industries. *The Canadian Journal of Chemical Engineering*, 97(1), 281-309.

[39] García-Moreno, P.J., Jacobsen, C., Marcatili, P., Gregersen, S., Overgaard, M.T., Andersen, M.L., Sørensen, A.D.M. and Hansen, E.B. (2020). Emulsifying peptides from potato protein predicted by bioinformatics: Stabilization of fish oil-in-water emulsions. *Food Hydrocolloids*, 101, 105529.

[40] Schmidt, J. M., Damgaard, H., Greve-Poulsen, M., Larsen, L. B., & Hammershøj, M. (2018). Foam and emulsion properties of potato protein isolate and purified fractions. *Food Hydrocolloids*, 74, 367-378.

[41] Elsohaimy, S. A., Refaay, T. M., & Zaytoun, M. A. M. (2015). Physicochemical and functional properties of quinoa protein isolate. *Annals of Agricultural Sciences*, *60*(2), 297-305.

[42] Jing, Y., Huang, J., & Yu, X. (2019). Maintenance of the antioxidant capacity of fresh-cut pineapple by procyanidin-grafted chitosan. *Postharvest Biology and Technology*, 154, 79-86.

[43] Li, S., Li, J., Zhu, Z., Cheng, S., He, J., & Lamikanra, O. (2020). Soluble dietary fiber and polyphenol complex in lotus root: Preparation, interaction and identification. *Food Chemistry*, 314, 126219.

Journal of Food Science and Technology (Iran)

Homepage:www.fsct.modares.ir

Scientific Research

Physicochemical and Functional Properties of Protein Extracted from Potato

Shokraneh, N. [1], Alimi, M. [1,*], Shahidi, S. A.[1], Mizani, M. [1], Bameni Moghadam, M. [2]

1. Department of Food Science and Technology, Ayatollah Amoli Branch, Islamic Azad University, Amol, Iran.
2. Department of Statistics, Allameh Tabataba'i University, Tehran, Iran.

ARTICLE INFO

Article History:

Received 2022/ 09/ 03
Accepted 2022/ 10/ 09

Keywords:

Diafiltration,
Functional Properties,
Potato,
Protein Extraction,
Ultrafiltration.

DOI: 10.22034/FSCT.19.130.269
DOR: 20.1001.1.20088787.1401.19.130.22.1

*Corresponding Author E-Mail:
ahooora_mazdak@yahoo.com

ABSTRACT

The aim of this study is extraction of potato protein via incorporation of ultrafiltration with different diafiltration times (90, 285 and 480 min), and evaluation of physicochemical and functional properties of extracted protein. So, in terms of functional characteristics (solubility, water and oil absorption capacity, emulsifying activity and emulsion stability) the concentrated permeate and retentate proteins, have been compared with control sample. In retentate and control samples the solubility increases significantly ($P<0.5$) with raising the pH from 3 to 7, inverse it decreased between the 7 to 9. In addition, it was found that the solubility of retentate proteins were significantly ($P<0.5$) more than control and permeated proteins. Also, the water absorption capacity of retentate proteins (18.85 g Water/ g protein Retentate 480 min) were more than the other samples (2.54 g Water/ g protein Permeate 90 min). Whereas, oil absorption capacity was significantly ($P<0.5$) depended on diafiltration time and process. In a way that, by increasing the time this parameter dropped in all of the samples. It was also found that, the oil absorption of retentate samples (59.09 g oil/ g protein Retentate 90 min) were significantly ($P<0.5$) more than the permeate ones (32.13 g oil/ g protein Permeate 90 min). Emulsifying activity and solubility of retentate samples were significantly grew by addition of diafiltration time, while these indexes reduced in permeate samples. The thermal analysis of retentate sample (with 480 diafiltration time) indicated that, it had higher water absorption capacity than control.