Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

Journal of Utilization and Cultivation of Aquatics

Online ISSN: 2345-427X
Print ISSN: 2345-4288

Comparison of functional properties of protein extracted from (*Spirulina Platensis*) by different methods

Sanaz Urajeh[*1], Parastoo Pourashouri[2], Bahareh Shabanpour[3], Seyed Vali Hoseini[4]

1. Corresponding Author, M.Sc. Student in Dept. of Seafood Processing, Faculty of Fisheries and Environmental Sciences, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran. E-mail: urajeh.s72@gmail.com
2. Associate Prof., Dept. of Seafood Processing, Faculty of Fisheries and Environmental Sciences, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran. E-mail: pourashouri.p@gmail.com
3. Professor, Dept. of Seafood Processing, Faculty of Fisheries and Environmental Sciences, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran. E-mail: b-shabanpour@yahoo.com
4. Associate Prof., Dept. of Fisheries, University of Tehran, Karaj, Iran. E-mail: hosseini.seyedvali@gmail.com

Article Info

Article type:
Full Length Research Paper

Article history:
Received: 05.30.2022
Revised: 07.01.2022
Accepted: 08.20.2022

Keywords:
Freeze-Thawing,
Functional properties,
Protein extraction,
Spirulina,
Ultrasonic waves

ABSTRACT

The purpose of this research was to investigate different methods of protein extraction and compare and choose the best method for the functional properties of protein from spirulina microalgae. Microalgae are one of the most important sources of protein. Proteins play a very important role in human health and are widely used in various industries. In this research, different methods (freezing-thawing, homogenization, ultrasonic waves and soaking in ethanol and water solutions) were investigated to extract and isolate protein from spirulina microalgae. The functional properties of extracted proteins (water retention capacity, foam production and stability, and emulsifying capacity of the samples) were investigated. According to the results, the extraction method had an effect on the functional properties of the protein ($P<0.05$). According to the obtained results, the use of mechanical methods for protein extraction resulted in better preservation of functional properties. The functional properties of protein (Water holding capacity, emulsion stability index, foam stability, foam ability, samples extracted with the help of homogenization, ultrasound, freezing and thawing methods were more than other treatments ($P<0.05$). The index of emulsification capacity and water holding capacity in samples extracted with 4 freeze-thaw cycles was higher than all treatments. The highest level of emulsion stability and foam production was in the samples extracted with ultrasonic waves. According to the results, the use of ultrasonic waves and freeze-thawing cycle is suggested for protein extraction from spirulina microalgae.

Cite this article: Urajeh, Sanaz, Pourashouri, Parastoo, Shabanpour, Bahareh, Hoseini, Seyed Vali. 2023. Comparison of functional properties of protein extracted from (*Spirulina Platensis*) by different methods. *Journal of Utilization and Cultivation of Aquatics*, 12 (2), 133-144.

© The Author(s).
DOI: 10.22069/japu.2023.20252.1669
Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

نشریه بهره‌برداری و پرورش آبزیان

شاپا آنلاین: ۲۳٤٥-٤۲۷X
شاپا چاپی: ۲۳٤٥-٤۲۸۸

مقایسه خواص عملکردی پروتئین استخراج‌شده از ریزجلبک اسپیرولینا (*Spirulina Platensis*) با روش‌های مختلف

ساناز اورجه*[۱]، پرستو پورعاشوری[۲]، بهاره شعبانپور[۳]، سید ولی حسینی[٤]

۱. نویسنده مسئول، دانشجوی کارشناسی‌ارشد فرآوری محصولات شیلاتی، دانشکده شیلات و محیط زیست، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران. رایانامه: urajeh.s72@gmail.com

۲. دانشیار گروه فرآوری محصولات شیلاتی، دانشکده شیلات و محیط زیست، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران. رایانامه: pourashouri.p@gmail.com

۳. استاد گروه فرآوری محصولات شیلاتی، دانشکده شیلات و محیط زیست، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران. رایانامه: b-shabanpour@yahoo.com

٤. دانشیار گروه شیلات، دانشگاه تهران، کرج، ایران. رایانامه: hosseini.seyedvali@gmail.com

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
مقاله کامل علمی- پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱٤۰۱/۰۳/۰۹
تاریخ ویرایش: ۱٤۰۱/۰٤/۱۰
تاریخ پذیرش: ۱٤۰۱/۰٥/۲۹

واژه‌های کلیدی:
اسپیرولینا،
استخراج پروتئین،
امواج فراصوت،
انجماد- انجمادزدایی،
خواص کاربردی

چکیده

هدف از این پژوهش بررسی روش‌های مختلف استخراج پروتئین و مقایسه و انتخاب بهترین روش برای خواص کاربردی پروتئین از ریزجلبک اسپیرولینا بود. یکی از منابع بسیار مهم پروتئین، ریزجلبک‌ها هستند. پروتئین‌ها نقش بسیار مهمی در سلامت انسان‌ها و در صنایع مختلف کاربرد فراوانی دارند. در این پژوهش روش‌های مختلف (انجماد-انجمادزدایی، هموژنیزاسیون، امواج فراصوت و خیساندن در حلال‌های اتانول و آب) برای استخراج و جداسازی پروتئین از ریزجلبک اسپیرولینا مورد بررسی قرار گرفت. خواص کاربردی پروتئین‌های استخراجی (ظرفیت نگهداری آب، میزان تولید و پایداری کف و میزان ظرفیت امولسیون‌کنندگی نمونه‌ها) مورد آزمایش قرار گرفت. طبق نتایج روش استخراج بر خواص کاربردی پروتئین تأثیرگذار بود ($P<۰/۰٥$). با توجه به نتایج به‌دست آمده، استفاده از روش‌های مکانیکی برای استخراج پروتئین سبب حفظ بهتر خواص کاربردی گردید. خواص عملکردی پروتئین (ظرفیت نگه‌داری آب، شاخص پایداری امولسیون، میزان پایداری کف، میزان توانایی کف)، نمونه‌های استخراج شده با کمک روش‌های هموژنیزاسیون و امواج فراصوت و انجماد و انجمادزدایی بیش‌تر از سایر تیمارها بود ($P<۰/۰٥$). میزان شاخص ظرفیت امولسیون‌کنندگی و ظرفیت نگه‌داری آب در نمونه‌های استخراج شده با ٤ چرخه انجماد-انجمادزدایی بیش‌تر از همه تیمارها بود. بیش‌ترین میزان پایداری امولسیون و تولید کف در نمونه‌های استخراج شده

با امواج فراصوت بود. طبق نتایج استفاده از امواج فراصوت و چرخه انجماد–انجمادزدایی برای استخراج پروتئین از ریزجلبک اسپیرولینا پیشنهاد می‌گردد.

استناد: اورجه، ساناز، پورعاشوری، پرستو، شعبانپور، بهاره، حسینی، سید ولی (۱۴۰۲). مقایسه خواص عملکردی پروتئین استخراج‌شده از ریزجلبک اسپیرولینا (*Spirulina Platensis*) با روش‌های مختلف. *نشریه بهره‌برداری و پرورش آبزیان*، ۱۲ (۲)، ۱۴۴-۱۳۳.
DOI: 10.22069/japu.2023.20252.1669

ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

© نویسندگان.

مقدمه

پرورش و تولید ریزجلبک‌ها منبع درآمدی برای انسان‌ها شده است. امروزه ریزجلبک‌ها به صورت تجاری مورد بهره‌برداری قرار می‌گیرند. جنس‌های *Dunaliella, Chlorella, Arthrospira* برای تولید غذاهای فراسودمند و استخراج پروتئین و کلروفیل مورد استفاده قرار گرفته‌اند. پروتئین ۵۰ تا ۷۰ درصد از وزن خشک اسپیرولینا، ۳۸-۵۸ درصد کلرلا و ۴۵-۵۰ درصد هماتوکوکوس را تشکیل می‌دهد (۱). *Spirulina platensis* که به عنوان اسپیرولینا شناخته می‌شود، شناخته‌شده‌ترین گونه ریزجلبکی به‌دلیل میزان بالای پروتئین و منبع عالی از رنگدانه‌های خوراکی مانند فیکوبیلی‌پروتئین‌ها، کلروفیل و کاروتنوئید بوده و دارای ارزش تغذیه‌ای بالایی می‌باشد (۲). اسپیرولینا یک سیانوباکتری خوراکی، فتوسنتزی و مارپیچی شکل است. این جلبک‌های سبز-آبی منبع غنی از پروتئین‌ها و ویتامین‌ها به ویژه ویتامین (B12)، مواد معدنی، کاروتنوئیدها و اسیدهای چرب امگا ۳ هستند و بنابراین در سال‌های اخیر توجه بیش‌تری را به خود جلب کرده‌اند. مکمل‌های غذایی یکی دیگر از ویژگی‌های بارز اسپیرولینا هضم آسان آن به دلیل عدم وجود سلولز در دیواره سلولی است (۳).

با توجه به مزایا ریزجبک‌ها و ترکیبات زیست‌فعال آن‌ها، توسعه روش‌های مؤثر برای استخراج و بازیابی آن‌ها از اسپیرولینا ضروری است. فرایند شکست دیواره سلولی در سلول‌های ریزجلبکی برای آزادسازی و استخراج ترکیبات مرتبط ضروری است، که می‌تواند با روش‌های فیزیکی یا شیمیایی به‌دست آید. روش‌های گزارش شده برای استخراج پروتئین شامل استفاده از امواج فراصوت و آسیاب کردن است (٤). پروتئین در دیواره سلولی، سیتوپلاسم، کلروپلاست و به علاوه در اندامک‌های درونی جلبک وجود دارد. شکست دیواره سلولی و استخراج ترکیبات با استفاده از روش‌های سخت مانند فشار بالا یا استفاده از دمای بالا، می‌تواند اثرات نامطلوبی بر کیفیت و خلوص پروتئین داشته باشد. از این‌رو برای حفظ عملکرد پروتئین‌ها، شکست دیواره سلولی باید تحت شرایط ملایم انجام شود اما استفاده از این روش‌ها نیز سبب کاهش بازده می‌شود (۵، ٦) اغلب روش‌ها با توجه به بازده، اثرات نامطلوب بر محصول، هزینه بالا، استفاده از انرژی و دمای بالا بر میزان و کیفیت استخراج پروتئین، کلروفیل و سایر ترکیبات دارند و این موارد سبب مطالعات بیش‌تر بر یافتن روش‌های با هزینه معقول، کیفیت و بازده بالاتر را ادامه‌دار نموده است (٦). جهت استخراج ترکیبات موردنظر، روش‌های بسیاری برای شکست دیواره سلولی ریزجلبک‌ها مانند تیمار اسید و قلیا، مایکروویو، میدان الکتریکی پالسی، هموژنایزر فشار بالا، فناوری‌های فراصوت، استخراج با سیال فوق بحرانی استفاده شده است (۱، ۷، ۸). مطالعات مختلفی در زمینه استخراج ترکیبات مختلف موجود در ریزجلبک‌ها انجام شده است. ترکیباتی مانند فیکوسیانین (۹)، پروتئین (۱، ۱۰) استخراج و بررسی شده‌اند. طبق نتایج سافی و همکاران (۵) استفاده از هموژنایزر فشار بالا روشی با هزینه و انرژی پایین جهت استخراج پروتئین از ریزجلبک نانوکلروپسیس است. در مطالعه دیگر روش پیش خیساندن و فراصوت در استخراج پروتئین از ریزجلبک‌ها (کلرولا) تأثیرگذار بوده است (۱۰). مطالعه ژانگ و همکاران (٦) نشان داد که استفاده هم‌زمان هیدرولیز آنزیمی، فراصوت و فشار بالا بازده استخراج پروتئین را به‌طور چشم‌گیری افزایش خواهد داد. در مطالعه گارسیا- وکورو و همکاران (۱۱) خواص عملکردی عصاره‌های پروتئینی تولید شده از جلبک قهوه‌ای *Himanthalia elongate* (*Linnaeus*) *S.F. Gray* ارزیابی شد. طبق مطالعات پروتئین استخراج شده از جلبک‌ها در فرمولاسیون طیف گسترده‌ای از محصولات غذایی از جمله سوسیس،

نان، کیک، سوپ و سالاد می‌تواند استفاده شود (۱۲). با توجه مطالب بیان شده هدف از این پژوهش بررسی خواص عملکردی پروتئین استخراج‌شده از ریزجلبک اسپیرولینا با روش‌های مختلف می‌باشد.

مواد و روش‌ها

روش استخراج پروتئین: برای استخراج پروتئین در تیمار حمام آبی (WB) پودر ریزجلبک اسپیرولینا با نسبت ۱:۱۰ در آب مقطر (گرم/میلی‌لیتر) خیسانده شد و به دور از نور قرار داده شد و مخلوط آب و ریزجلبک روی همزن به مدت دو ساعت، ۱۰۰۰ دور در دقیقه گذاشته تا به خوبی عمل آبگیری انجام شود. سپس به مدت ٢٤ ساعت در حمام آبی با دمای ۵۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند. پس از این مدت نمونه‌ها جهت جداسازی به‌مدت ۱۵ دقیقه سانتریفیوژ شد (۱۱/۲۰۰ g، ٤ درجه سانتی‌گراد). برای اطمینان از استخراج پروتئین شستشوی نمونه‌ها سه بار تکرار شد. سپس سوپرناتانت را جمع‌آوری و در پتری‌دیش ریخته شد. برای خشک شدن نمونه‌ها در فریزدرایر قرار گرفتند. در تیمار استخراج با اتانول (Eth) ریزجلبک در اتانول ٦٠ درصد خیسانده شد و به دور از نور قرار گرفتند و مخلوط اتانول و ریزجلبک روی همزن به مدت دو ساعت گذاشته تا به خوبی حل شوند انجام شود. سایر مراحل طبق تیمار قبلی انجام شد. در تیمار انجماد-انجمادزدایی (FD) نمونه‌ها در فریزر ۲۰- به مدت ٤ ساعت منجمد و ۲ ساعت انجمادزدایی شدند. این سیکل برای ٤ دفعه انجام شد. در استخراج با کمک امواج فراصوت (UL) پس از آبگیری کامل، به مدت ۱۰ دقیقه با ٤۰۰ وات (۲ ثانیه روشن، ۲ ثانیه خاموش) در دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد، تیمار شد. در استخراج به کمک هموژنایزر دور بالا (HO) به مدت ۱۰ دقیقه هموژن شدند (٢٤۰۰۰ دور، دمای اتاق). برای خشک شدن نمونه‌ها از فریزدرایر استفاده شد (٦).

خواص کاربردی روی نمونه‌های پروتئین استخراج‌شده

اندازه‌گیری ظرفیت نگه‌داری آب: اندازه‌گیری ظرفیت نگه‌داری آب طبق روش (۱۳) تعیین شد. پروتئین استخراج‌شده و آب مقطر به نسبت ۱ به ۱۰ مخلوط و به مدت ۲۰ دقیقه در ۱۸۰۰ g سانتریفیوژ شد. و از رابطه تفاوت بین حجم اولیه آب و مایع رویی بعد از سانتریفیوژ به‌عنوان یک میلی‌لیتر از آب جذب شده در هر گرم پروتئین به‌عنوان ظرفیت نگه‌داری آب با استفاده از رابطه زیر محاسبه گردید.

(۱)

(حجم سوپرناتانت ثانویه بعد از سانتریفیوژ - حجم آب اولیه قبل از سانتریفیوژ) = (درصد) جذب آب در گرم پروتئین

اندازه‌گیری شاخص‌های امولسیون‌کنندگی: شاخص ظرفیت امولسیون‌کنندگی و شاخص پایداری امولسیون طبق روش (١٤) تعیین شد. ۱۰ میلی‌لیتر از روغن با ۳۰ میلی‌لیتر محلول پروتئین (۱ درصد وزنی/ حجمی) اضافه شد و مخلوط در ۲۰۰۰۰ rpm برای یک دقیقه هموژن شد. سپس ۵۰ میکرولیتر محلول با استفاده از ۳ میکرولیتر ۱ درصد SDS رقیق شد (۱۰۰ برابر). جذب در دو زمان ابتدا و ۱۰ دقیقه تشکیل امولسیون و در ۵۰۰ نانومتر اندازه‌گیری شد و با استفاده از رابطه ۲ برای تعیین شاخص ظرفیت امولسیون‌کنندگی و شاخص پایداری امولسیون استفاده شد.

(۲)

(غلظت پروتئین (۱ درصد)× ۰/۲۵) / (۲×۲/۳۰۳×A۵۰۰) = (میلی‌گرم) شاخص ظرفیت امولسیون‌کنندگی

$$((A0) \times (t/A))= \text{(دقیقه) شاخص پایداری امولسیون}$$

$$t = \text{۱۰ دقیقه} \qquad A = A0 - A10$$

میزان تشکیل و پایداری کف: میزان توانایی تشکیل کف (FA)[1] و پایداری (FS)[2] به روش (۱۴) اندازه‌گیری شد. ۲۰ میلی‌لیتر از محلول نمونه (۱ درصد وزنی/ حجمی) هموژن شد (۱۶۰۰ دور در ۱ دقیقه). بعد از هموژن کل حجم اندازه‌گیری شد (۰/۵، ۵، ۱، ۴۰، ۶۰ دقیقه). میزان توانایی تشکیل کف کف در۰ دقیقه و پایداری کف در طول زمان (۶۰-۰ دقیقه) و با استفاده از رابطه زیر محاسبه شد.

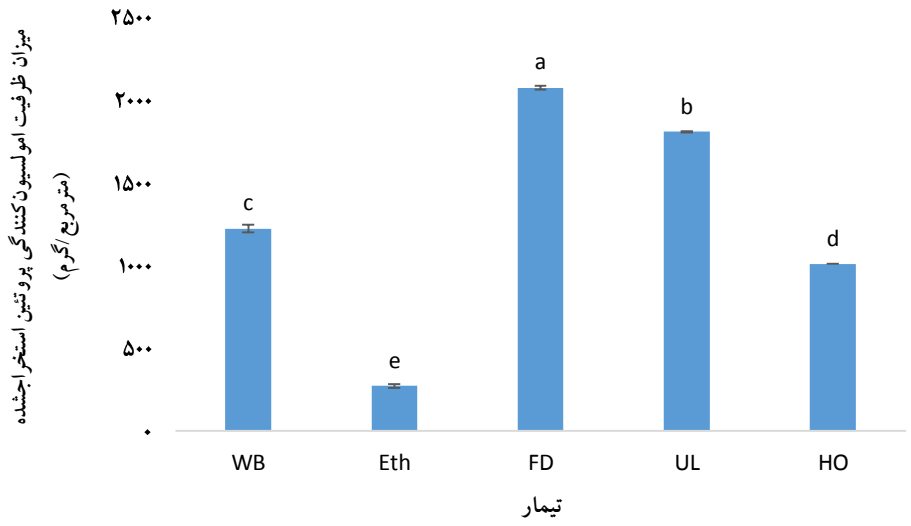
(۳)

۱۰۰ × (حجم بعد از هموژن کردن) ÷ (حجم قبل از هموژن کردن – حجم بعد از هموژن کردن)) = (درصد) میزان پایداری کف

آنالیز آماری: نتایج به‌دست آمده از آزمایش‌های انجام شده در قالب طرح کاملاً تصادفی با استفاده از آنالیز واریانس یک‌طرفه انجام شد. جهت مقایسات میانگین از آزمون دانکن در سطح اطمینان ۹۵ درصد استفاده شد. نتایج به کمک نرم‌افزار IBM SPSS Statistics 22 مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند.

نتایج و بحث

شاخص ظرفیت امولسیون‌کنندگی (EAI): مقدار شاخص ظرفیت امولسیون‌کنندگی پروتئین استخراج شده از ریزجلبک اسپیرولینا بررسی شد (شکل ۱). طبق شکل ۱ میزان شاخص ظرفیت امولسیون‌کنندگی (EAI)[3] در پروتئین استخراجی بین تیمارها اختلاف معنی‌داری داشت (P<۰/۰۵). بیش‌ترین مقدار شاخص ظرفیت امولسیون‌کنندگی (EAI) در نمونه‌های استخراج‌شده در تیمار (FD) و کم‌ترین مقدار در تیمار (Eth) بود.



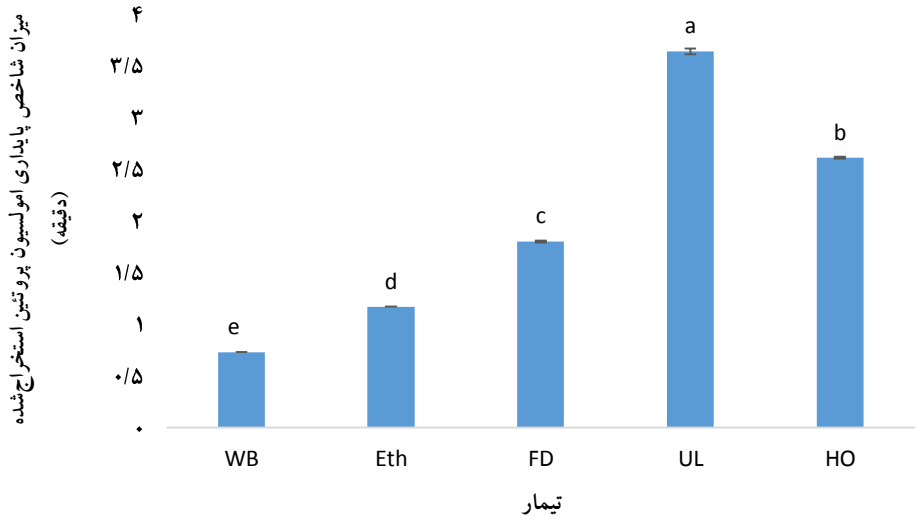
شکل ۱- میزان ظرفیت امولسیون‌کنندگی پروتئین استخراج‌شده.

WB تیمار حمام آبی، Eth تیمار اتانول، FD انجماد-انجمادزدایی، UL تیمار فراصوت، HO تیمار هموژنیزاسیون (a-b-c-d-e) حروف متفاوت بیانگر تفاوت معنی‌دار در بین تیمارها می‌باشد.

1- Foaming Ability
2- Foaming Stability
3- Emolsion Acumen Index

پروتئین دارای خواص آبگریز و آب دوست است که بر اتصال روغن و آب در غذاهای مختلف تأثیر می‌گذارد. خواص اتصال آب و روغن یک ارزیابی برهمکنش فیزیکوشیمیایی پروتئین‌ها با سایر اجزای موجود در غذا است. آبگریزی سطحی، شاخصی از برهمکنش ظرفیت پروتئین با سایر مولکول‌ها در محیط آبی قطبی و به شدت با فعالیت امولسیونی در ارتباط است (۱۵). در مطالعه بشیر و همکاران (۱۵) از ریزجلبک اسپیرولینا میزان ظرفیت امولسیون‌کنندگی ۵۶/۳۲ (درصد) بیان کردند. در بین تیمارهای مکانیکی و شیمیایی، تیمار مکانیکی (UL، FD) عملکرد بهتری داشتند، به‌دلیل این‌که تیمارهای مکانیکی، بهتر دیواره سلولی را شکسته و پروتئین بیش‌تری استخراج شده و ظرفیت امولسیون‌کنندگی بهتری را نشان دادند.

شاخص پایداری امولسیون (ESI): شاخص پایداری امولسیون (ESI)[1] پروتئین ریزجلبک اسپیرولینا در شکل ۲ نشان داده شده است.



شکل ۲- میزان شاخص پایداری امولسیون پروتئین استخراج‌شده با روش‌های مختلف.
WB تیمار حمام آبی، Eth تیمار اتانول، FD انجماد-انجمادزدایی، UL تیمار فراصوت، HO تیمار هموژنیزاسیون
(a-b-c-d-e) حروف متفاوت بیانگر تفاوت معنی‌دار در بین تیمارها می‌باشد.

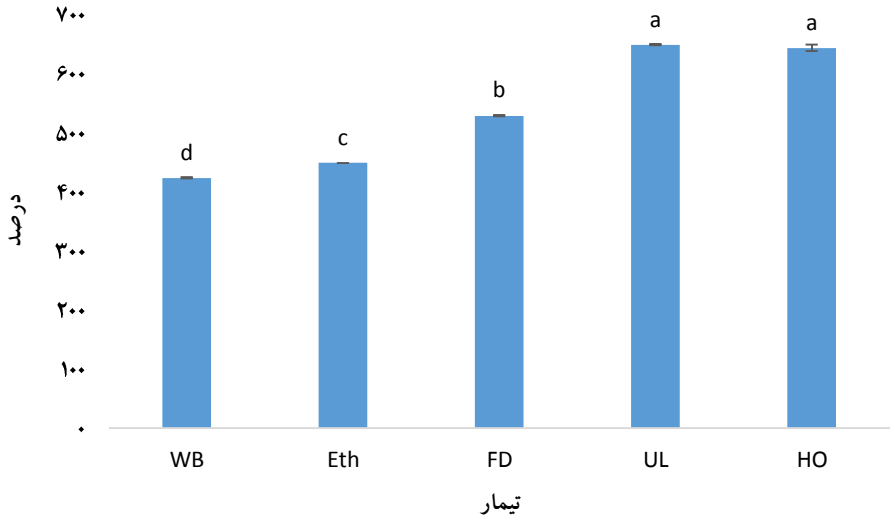
بین تیمارها اختلاف معنی‌داری وجود داشت (P<۰/۰۵). در مقایسه بین تیمارها بیش‌ترین مقدار شاخص پایداری امولسیون (ESI) به ترتیب در تیمار (UL)، (HO)، (FD) بود.

پروتئین‌های ریزجلبک و مشتقات آن‌ها می‌توانند به‌عنوان جایگزین‌های بیولوژیکی برای امولسیفایرهای شیمیایی تجاری و عوامل کف‌کننده در محصولات مراقبت شخصی مانند کرم‌های مرطوب‌کننده، لوسیون‌ها، شامپوها، صابون‌ها، کف مو، کف اصلاح به‌کار روند. این خواص با پروتئین‌های آن‌ها مرتبط است (۱۶). تیمارهای مکانیکی نتایج بهتری در میزان پایداری امولسیون داشتند و امولسیون تولیدی در زمان بیش‌تری پایدار بودند. در مطالعه بلیکلی و همکاران (۱۲) خواص عملکردی و زیست‌فعال عصاره‌های پروتئینی تولید شده از *Spirulina platensis* و

1- Emolsion Stability Index

Isochrysis galbana T-Iso، میزان شاخص امولسیون و میزان شاخص پایداری امولسیون ریزجلبک اسپیرولینا با روش فراصوت در مقایسه با پروتئین بذر کتان بدون چربی ایزوله و پروتئین آب پنیر را ضعیف نشان دادند. عصاره پروتئین *Spirulina sp.* شاخص پایداری امولسیون (۸۵/۹۱ درصد) را هنگام ارزیابی در روغن زیتون نشان داد. پایداری امولسیون می‌تواند تحت‌تأثیر عوامل متعددی از جمله pH، اندازه قطرات، بار خالص، کشش سطحی، ویسکوزیته و ترکیب پروتئین باشد (۱۲).

پایداری کف (FS): پایداری کف (FS) پروتئین ریزجلبک اسپیرولینا در شکل ۳ نشان داده شده است. در بین تیمارها جز تیمارهای (UL، HO)، اختلاف معنی‌داری وجود داشت (P<۰/۰۵). بیش‌ترین مقدار پایداری کف (FS) در تیمار (UL) و کم‌ترین مقدار در تیمار (WB) بود. در تیمارهای UL و HO بیش‌ترین میزان پایداری کف بود به دلیل تعامل بیش‌تر در هوا و آب در این تیمارها بود. مقایسه بین روش‌های فیزیکی و شیمیایی نشان می‌دهد که تیمارهای فیزیکی میزان پایداری کف بیش‌تری را دارند و به دلیل تعامل بیش‌تر هوا و آب در این تیمارها بود. خاصیت تشکیل کف‌های پایدار پروتئین برای غذاهای کاربردی متنوع حیاتی است. کف یک سیستم دو فازی که از سلول‌های هوا که توسط یک لایه مایع پیوسته نازک جدا شده‌اند و فاز لایه‌ای است. پایداری کف به تشکیل یک لایه چسب ضخیم اطراف حباب‌های هوا بستگی دارد (۱۵).



شکل ۳- میزان پایداری کف پروتئین استخراج‌شده با روش‌های مختلف.

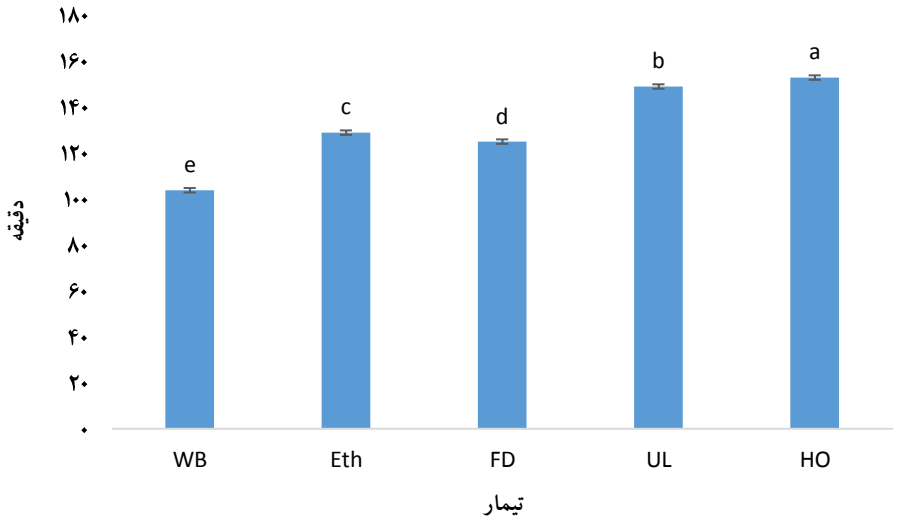
WB تیمار حمام آبی، Eth تیمار اتانول، FD انجماد-انجمادزدایی، UL تیمار فراصوت، HO تیمار هموژنیزاسیون

(a-b-c-d-e) حروف متفاوت بیانگر تفاوت معنی‌دار در بین تیمارها می‌باشد.

پروتئین‌های ریزجلبک و مشتقات آن‌ها دارای خواص حفظ رطوبت هستند و مواد مغذی را برای پوست و مو فراهم می‌کنند و آن‌ها را کاندیدای خوبی برای لوازم آرایشی کاربردی می‌کند (۱۶).

میزان توانایی تشکیل کف (FA): میزان توانایی و پایداری کف پروتئین‌ها می‌تواند بر خواص حسی، طعم و فرمولاسیون مواد غذایی اثر داشته باشد و می‌تواند نرمی، سبکی و خوش طعم بودن محصول غذایی را بهبود بخشد (۱۲). میزان توانایی کف کردن بستگی به انتشار پروتئین در هوا و آب و باز شدن ساختار آن در حین کف کردن دارد (۱۵).

میزان توانایی تشکیل کف (FA) پروتئین ریزجلبک اسپیرولینا در بین تیمارها اختلاف‌معنی‌داری وجود داشت ($P<0/05$). بیش‌ترین مقدار میزان توانایی تشکیل کف (FA) به ترتیب در تیمارهای (HO)، (UL) و کم‌ترین مقدار در تیمارهای (WB) بود.

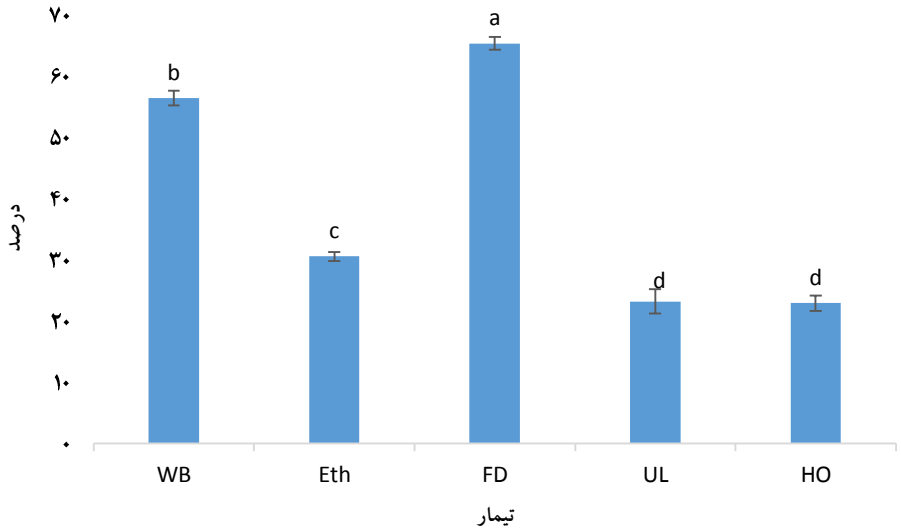


شکل ٤- میزان توانایی تشکیل کف پروتئین استخراج‌شده با روش‌های مختلف.
WB تیمار حمام آبی، Eth تیمار اتانول، FD انجماد-انجمادزدایی، UL تیمار فراصوت، HO تیمار هموژنیزاسیون
(a-b-c-d-e) حروف متفاوت بیانگر تفاوت معنی‌دار در بین تیمارها می‌باشد.

مقدار توانایی تشکیل کف برای تیمارها محاسبه شد شکل ٤ بیش‌ترین مقدار برای توانایی تشکیل کف برای تیمارهای (UL) و (HO) بود. توانایی تشکیل کف در زمان صفر بعد از همزدن محاسبه می‌شود که برای تیمارهای (UL) و (HO) بیش‌ترین مقدار بودند.

پروتئین‌ها با باز شدن در سطح مشترک و سپس ایجاد لایه‌های منسجم در اطراف سلول‌های هوا، کف‌ها را تولید و پایدار می‌کنند پروتئین‌هایی که در نقاط ایزوالکتریک خود محلول باقی می‌مانند عموماً خواص کف‌کنندگی خوبی از خود نشان می‌دهند (۱۷). طبق برخی منابع اسپیرولینا دارای توانایی تشکیل کف و پایداری کف ۲۷ درصد است (۱۸). بالا بودن میزان توانایی تشکیل کف و پایدای کف به دلیل محتوای چربی و پروتئین اسپیرولینا است که به تشکیل و تثبیت گاز پراکنده یعنی هوای موجود کمک می‌کند (۱۸).

ظرفیت نگه‌داری آب: ظرفیت نگه‌داری آب پروتئین در بین تیمارها جز (UL) و (HO) اختلاف معنی‌داری وجود داشت (P<۰/۰۵). کم‌ترین مقدار ظرفیت نگه‌داری آب در تیمارهای (UL) و (HO) بود و بیش‌ترین مقدار در تیمار (FD) بود.



شکل ۵- میزان ظرفیت نگه‌داری آب پروتئین استخراج‌شده با روش‌های مختلف.
WB تیمار حمام آبی، Eth تیمار اتانول، FD انجماد-انجمادزدایی، UL تیمار فراصوت، HO تیمار هموژنیزاسیون
(a-b-c-d-e) حروف متفاوت بیانگر تفاوت معنی‌دار در بین تیمارها می‌باشد.

ظرفیت نگه‌داری آب در غذا را به‌عنوان توانایی نگه داشتن آب و آب اضافه‌شده در حین اعمال نیرو، فشار و سانتریفیوژ می‌توان دانست. WHC[1] نقش مهمی در فرمولاسیون اکثر مواد غذایی دارد و نقش عمده‌ای در بافت غذا و خمیرهای پخته‌شده و فراورده‌های گوشتی دارد (۱۹). اسپیرولینا دارای ظرفیت اتصال به آب ۱/٤٥ گرم آب در گرم پروتئین است (۱۸). کم‌ترین مقدار ظرفیت نگه‌داری آب در تیمار (UL) و (HO) و این مقدار به ترتیب: ۲۳/۱۷ و ۲۲/۸۹ (درصد) بود. این نتایج مخالف مطالعه بوخاری و همکاران (۱۹) بود که نشان دادند تیمار (UL) تأثیر قابل‌توجهی بر خواص و مقدار استخراج پروتئین از اسپیرولینا داشت و ظرفیت نگهداری آب ٤/۹۷ (WHC) (آب/گرم) اسپیرولینا بود (۱۹).

تیمار مکانیکی انجماد-انجمادزدایی نسبت به استفاده از حلال ظرفیت جذب آب بهتری داشت.

نتیجه‌گیری کلی

در بررسی خواص پروتئین استخراج‌شده، ظرفیت نگه‌داری آب، میزان تشکیل و پایداری کف، میزان ظرفیت امولسیون‌کنندگی و شاخص پایداری امولسیون نشان داد که ظرفیت نگه‌داری آب و میزان تشکیل و پایداری کف به ترتیب در تیمارهای مکانیکی بهتر بود. طبق نتایج اسفاده از روش‌های مکانیکی چرخه انجماد-انجمادزدایی به عنوان روشی با هزینه پایین استخراج و استفاده از امواج فراصوت جهت استخراج پروتئین از ریزجلبک اسپیرولینا پیشنهاد می‌گردد.

1- Water holding Capacity

منابع

1. Safi, C., Charton, M., Ursu, A. V., Laroche, C., Zebib, B., Pontalier, P. Y., & Vaca-Garcia, C. (2014). Release of hydro-soluble microalgal proteins using mechanical and chemical treatments. *Algal Research*, 3, 55-60.
2. Beheshtipour, H., Mortazavian, A.M., Haratian, P., & Darani, K.K. (2012). Effects of Chlorella vulgaris and Arthrospira platensis addition on viability of probiotic bacteria in yogurt and its biochemical properties. *European Food Research and Technology*, 235 (4), 719-728.
3. Mohammadi, M., Soltanzadeh, M., Ebrahimi, A. R., & Hamishehkar, H. (2022). *Spirulina platensis* protein hydrolysates: Techno-functional, nutritional and antioxidant properties. *Algal Research*, 65, 102739.
4. Rajakumar, M. S., & Muthukumar, K. (2018). Influence of pre-soaking conditions on ultrasonic extraction of *Spirulina platensis* proteins and its recovery using aqueous biphasic system. *Separation Science and Technology*, 53 (13), 2034-2043.
5. Safi, C., Cabas Rodriguez, L., Mulder, W. J., Engelen-Smit, N., Spekking, W., van den Broek, L. A. M., Olivieri, G., & Sijtsma, L. (2017). Energy consumption and water-soluble protein release by cell wall disruption of *Nannochloropsis gaditana*. *Bioresource Technology*, 239, 204-210.
6. Zhang, R., Chen, J., & Zhang, X. (2018). Extraction of intracellular protein from *Chlorella pyrenoidosa* using a combination of ethanol soaking, enzyme digest, ultrasonication and homogenization techniques. *Bioresource Technology*, 247, 267-272.
7. Grimi, N., Dubois, A., Marchal, L., Jubeau, S., Lebovka, N. I., & Vorobiev, E. (2014). Selective extraction from microalgae *Nannochloropsis sp.* using different methods of cell disruption. *Bioresource Technology*, 153, 254-259.
8. Garcia, C. (2014). Release of hydro-soluble microalgal proteins using mechanical and chemical treatments. *Algal Reaserach*, 3, 55-60.
9. Tavanandi, H. A., & Raghavarao, K. (2019). Recovery of chlorophylls from spent biomass of Arthrospira platensis obtained after extraction of phycobiliproteins. *Bioresource technology*, 271, 391-401.
10. Sujatha, M., & Muthukumar, K. (2018). Influence of pre-soaking conditions on ultrasonic extraction of *Spirulina platensis* proteins and its recovery using aqueous biphasic system. *Separation Science and Technology*. 53, 1-10. **10.1080/01496395.2018.1442860.**
11. Garcia-Vaquero, M., Lopez-Alonso, M., & Hayes, M. (2017). Assessment of the functional properties of protein extracted from the brown seaweed *Himanthalia elongata* (Linnaeus) S. F. Gray. *Food Res. Int.* 99, 971-978.
12. Bleakley, S., & Hayes, M. (2021). Functional and Bioactive Properties of Protein Extracts Generated from *Spirulina platensis* and *Isochrysis galbana T-Iso*. *Applied Sciences*, 11 (9), 3964.
13. Taheri, A., Anvar, S. A. A., Ahari, H., & Fogliano, V. (2013). Comparison the functional properties of protein Hydrolysates from poultry byproducts and rainbow trout. *IFRO*, 12 (1), 154-169.
14. Rajabzadeh, M., Pourashouri, P., Shabanpour, B., & Alishahi, A. (2018). Amino acid composition, antioxidant and functional properties of protein hydrolysates from the roe of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *International Journal of Food Science & Technology*, 53 (2), 313-319.
15. Bashir, Shahid, Sharif, Mian Kamran Butt, & Masood Sadiq Shahid, Muhammad, (2016). Functional properties and amino acid profile of *Spirulina platensis* protein isolates. *Biological Sciences-PJSIR*, 59 (1), 12-19.
16. Matos, Â. P. (2019). Microalgae as a potential source of proteins in Proteins: sustainable source, processing and applications. *Elsevier*. Pp: 63-96.
17. Poole, S., West, S. I., & Walters, C. L. (1984). Protein-protein interactions: Their importance in the foaming of

heterogeneous protein systems. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 35 (6), 701-711.

18. Malik, P., Kempanna, C., & Poul, A. (2013). Quality characteristics of ice cream enriched with *Spirulina powder*. *International Journal of Food and Nutrition Science*, 2 (1), 44-50.

19. Boukhari, N., Doumandji, A., & Ferradji, A. (2018). Effect of ultrasound treatment on protein content and functional properties of *Spirulina* powder grown in Algeria. *Mediterranean Journal of Nutrition and Metabolism*, 11 (3), 235-249.