

بررسی برخی خواص عملکردی و رئولوژیکی پودر پروتئین ماهی تهیه شده از عضله و ضایعات سر ماهی تون زرده (*Thunnus affinis*)

سید علی جعفرپور^{۱*}، امیر آقا بابایی^۲، مسعود رضایی^۲

۱- دانشیار گروه شیلات دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

۲- دانش آموخته کارشناسی ارشد گروه فرآوری دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی نور، دانشگاه تربیت مدرس

۳- استاد گروه فرآوری دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی نور، دانشگاه تربیت مدرس

(تاریخ دریافت: ۹۳/۰۵/۰۱ تاریخ پذیرش: ۹۴/۰۱/۱۷)

چکیده

در این پژوهش به منظور معرفی راهکاری جهت ارزش افزایی به محصولات جنبی (سر ماهی) ماهی تون زرده (*Thunnus affinis*) اقدام به تولید پودر پروتئینی به روش تیمار حرارتی از این مواد خام گردید. پودر پروتئین عضله این ماهیان به عنوان نمونه شاهد در نظر گرفته شد. نتایج سنجش خواص عملکردی نشان داد که ظرفیت نگهداری آب، ظرفیت امولسیون و ظرفیت جذب روغن در پودر پروتئینی عضله بیشتر در حالیکه میزان جذب آب و پایداری امولسیونی آن کمتر از پودر پروتئینی تولید شده از ضایعات سر بود ($p < 0.05$). در خصوص پارامترهای رنگ مشاهده گردید که مقادیر L^* و b^* در پودر پروتئینی سر کمتر و مقدار a^* آن بالاتر از پودر پروتئینی عضله بود ($p < 0.05$) که این مقادیر منجر به تولید پودری با سفیدی کمتر از قسمت سر ماهی گردید. در ادامه با بررسی خواص ویسکوالاستیک، با وجود دامنه خطی بین مدول ذخیره (G') و مدول افت (G'') در آزمایش های تنش روبشی و فرکانس روبشی، مشاهده گردید که پارامتر مدول ذخیره انرژی در طی آزمون روبش دمایی نه تنها از یک سیکل لگاریتمی عبور ننموده بلکه میزان عددی آن از نقطه شروع آزمایش نیز کمتر ثبت گردید. این امر بدین معناست که پودرهای پروتئینی مورد بررسی قابلیت تشکیل ژل مستحکمی از خود نشان نداده و ویژگی های بافتی هر دو نوع پودر پروتئینی بسیار ضعیف بوده و این آزمایش نیز تاییدی بر قابلیت ضعیف پودرهای تولید شده به روش تیمار حرارتی در تشکیل شبکه سه بعدی ژل الاستیک می باشد.

کلید واژگان: پودر پروتئین ماهی، خواص عملکردی، ویژگی های رئولوژیکی، ماهی تون زرده (*Thunnus affinis*)

* مسئول مکاتبات: a.jafarpour@sanru.ac.ir

۱- مقدمه

گذار است تعریف شده [۷] و معمولا با اصطلاحاتی چون آبیوشانی^۳، حلالیت^۴، قابلیت اتصال^۵، تشکیل زل^۶ و رفتار رئولوژیکی^۷ بیان می‌شود. خواص عملکردی پروتئین‌ها با عوامل بسیاری از جمله ترکیب اسیدهای آمینه و توالی آنها، اندازه و شکل مولکول، توزیع بار الکتریکی و اتصالات بین مولکولی و درون مولکولی ارتباط نزدیک دارند.

یکی از منابع اصلی تولید محصولات جنبی در صنایع فرآوری کشور کارخانه‌های کنسرو تون ماهیان می‌باشد، که عمده‌ترین این منابع شامل: سر، امعا و احشاء، استخوان‌ها، باله‌ها، کبد و تا حدودی گوشت تیره می‌باشد. در حال حاضر بیش از ۱۳۴ واحد تولید کننده کنسرو ماهی با ظرفیت کمتر از ۱۰۰۰ تن در سال مشغول به فعالیت می‌باشند [۸]. پراکندگی توزیع این واحدها در کشور، هزینه بالای تجهیزات برای تولید پودر ماهی، و ... سبب شده ضایعات ماهی حاصل از این واحدها یا دور ریز گردیده و یا با قیمت بسیار پایین جهت تولید غذای دام به فروش می‌رسد. بنابراین با عنایت به موارد فوق و لزوم استفاده بهینه از این محصولات جنبی، یکی از راه‌کارهای پیشنهادی تولید پودر پروتئین از این مواد خام می‌باشد. در این تحقیق از محصولات جنبی ماهی تون زرده (*Thunnus affinis*) که گونه‌ای پر مصرف در کارخانه‌های تولید کنسرو ماهی می‌باشد استفاده شده است.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- مواد خام اولیه

ماهی تون زرده (*Thunnus affinis*) از سردخانه کارخانه کنسرو (میرود بابلسر، ایران) بصورت منجمد تهیه گردید و سپس سر و عضلات آن جدا سازی شد. نمونه‌های سر و عضلات ماهی در یونولیت‌های مجزا و با حالت یخ پوشی (۱ به ۳)، کمتر از ۱ ساعت به سردخانه آزمایشگاه مرکزی دانشکده علوم دریایی دانشگاه تربیت مدرس (نور، ایران) منتقل گردید. مواد خام اولیه با استفاده از چرخ گوشت صنعتی (Braun G 1500)

محصولات جنبی حاصل از صنایع فرآوری ماهی و گونه‌های کم مصرف، منابعی برای تهیه مواد غذایی مبتنی بر پروتئین و ترکیبات غذایی بوده و اخیرا جهت تولید ترکیبات فعال برای مکمل‌های غذایی یا مواد غذایی عملکردی مورد استفاده قرار گرفته‌اند [۱].

پروتئین ماهی حاصل از این مواد خام به طور سنتی در تولید آرد ماهی و سیلاژ ماهی استفاده می‌شود، اما جایگزین‌های دیگر که ارزش افزوده تلقی می‌شوند، مانند تولید پروتئین هیدرولیز شده و بازیافت پروتئین با استفاده از محلول‌های اسیدی یا قلیایی و همچنین تولید پروتئین ماهی به شکل پودر در سال‌های اخیر توجه ویژه‌ای را به خود جلب نموده است [۲].

پودر پروتئین ماهی (FPP) از منابع مواد خام مختلف و البته با روش‌های متفاوت تولید شده است. از جمله روش‌های تولید آن خشک کردن انجمادی^۲ می‌باشد که در این فرایند ابتدا آب موجود در ماده مرطوب با روش مناسبی منجمد شده و سپس با تنظیم شرایط عملیاتی در زیر نقطه سه گانه آب، رطوبت منجمد شده تصعید می‌گردد [۳]. خشک کردن انجمادی یکی از روش‌های انتخابی برای ثبات مواد ناپایدار می‌باشد که به طور گسترده در صنعت داروسازی برای تولید داروهای پروتئینی و دیگر فرآورده‌های بیوتکنولوژی مورد استفاده قرار می‌گیرد [۴].

پروتئین ماهی به شکل پودر مزایایی همانند عدم نیاز به شرایط نگهداری خاص و سهولت کاربرد به عنوان یک ترکیب در غذاها را دارا می‌باشد [۵]. ویژگی‌های عملکردی، پایداری و خواص حسی پودر پروتئین ماهی نقش مهمی را در ترکیب پروتئین غذاهای فرموله شده بازی می‌کند [۶] و اهمیت بالاتری در پذیرش محصولات فرموله شده دارد. این ویژگی‌ها تحت تاثیر روش‌های خشک کردن، افزودنی‌ها و شرایط فرآوری می‌باشند [۶].

برای بررسی ویژگی‌ها و کاربرد هر نوع پروتئین، خواص عملکردی آن‌ها سنجیده می‌شود. خواص عملکردی به عنوان خواص فیزیکوشیمیایی که بر رفتار پروتئین‌ها در سیستم‌های غذایی در طول فرآوری، ذخیره سازی، آماده‌سازی و مصرف تاثیر

3. Hydration
4. Solubility
5. Binding
6. Gelation
7. Rheological properties

1. Fish Protein Powder
2. Freeze Drying

۲-۵- خاصیت قابلیت جذب آب^۱

یک گرم پودر پروتئین ماهی در یک دسیکاتوری که متصل به پمپ خلا و حاوی محلول نمک (NaCl) اشباع (۱۷/۲۵ درصد = Rh) است در دمای اتاق قرار گرفت. پس از یک هفته نمونه‌ها مجدداً توزین شده و قابلیت جذب آب به صورت گرم رطوبت جذب شده در گرم ماده خشک، بیان گردید [۱۳].

(رابطه ۲) $100 \times (\text{وزن خشک} / \text{رطوبت جذب شده}) = \text{قابلیت جذب آب}$

۲-۶- ظرفیت نگهداری آب

۰/۵ گرم پودر پروتئین به ۲۰ میلی‌لیتر آب مقطر اضافه شد. سپس به مدت ۳۰ ثانیه ورتکس گردیبهو به مدت ۴ ساعت در دمای اتاق قرار گرفت. در ادامه نمونه به مدت ۳۰ دقیقه با دور rpm ۸۰۰۰ سانتریفیوژ شد. تفاوت بین حجم اولیه و ثانویه آب مقطر اندازه‌گیری شده و نتایج به عنوان میلی‌لیتر آب جذب شده در هر گرم پودر پروتئینی گزارش گردید [۱۴].

۲-۷- ظرفیت جذب چربی

۰/۵ گرم نمونه پودر پروتئین داخل یک لوله سانتریفیوژ قرار داده شده و ۱۰ میلی‌لیتر روغن آفتابگردان به آن اضافه گردید. نمونه با یک قاشقک استیل به طور کامل مخلوط شده، سپس به مدت ۳۰ دقیقه در دمای اتاق نگه داشته شد و مخلوط کردن به صورت متناوب هر ۱۰ دقیقه صورت گرفته و در ادامه به مدت ۲۵ دقیقه سانتریفیوژ گردید. جذب چربی نمونه از اختلاف وزن محاسبه شد. ظرفیت جذب چربی به صورت میلی‌لیتر جذب چربی در ۱ گرم پروتئین پودر بیان گردید [۱۵].

۲-۸- خصوصیات رئولوژیکی پودر پروتئینی

آزمون‌های دینامیکی نوسانی با استفاده از دستگاه رئومتر صورت گرفت. در ابتدا یک محلول حاوی ۱۷/۵٪ پروتئین، رطوبت ۸۰٪ و ۲/۵٪ نمک از پودر پروتئین سر و عضله ماهی تهیه شده و در ادامه طبق روش Sathivel و همکاران (۲۰۰۹) با اندکی تغییر آزمون‌های روبش تنشی، روبش فرکانسی و روبش دمیانجام گرفت. پروب مورد استفاده صفحه و صفحه با فاصله ۱ و ۲ میلی‌متر بود [۱۵].

(Taiwan)، با دیسک قطر منافذ ۲ میلی متر کاملاً چرخ شدند. سپس مقداری از آن جهت آنالیز ترکیبات شیمیایی برداشته شد. بقیه مواد چرخ شده در ظروف پلاستیکی قرار داده و در دمای ۱۸- درجه سانتی گراد منجمد شدند.

۲-۲- روش تولید پودر پروتئین

با استناد به روش Jafarpour و Gorczyca (۲۰۰۸) و با اندکی تغییرات، گوشت چرخ شده عضله و قسمت سر ماهی با آب مقطر به نسبت ۱:۳ (آب: گوشت یا ضایعات) مخلوط گردیده و با دستگاه مخلوط کن به صورت هموزن درآمد [۹]. در خصوص عضله، با کمک دستگاه سانتریفیوژ یخچال دار با دور بالا و در سرعت rpm ۱۲۰۰۰ به مدت ۲۰ دقیقه مخلوط را به سه فاز لایه نازک چربی در بالا، فاز آبی در وسط و قسمت پروتئین‌های رسوبی در پایین تفکیک نموده که لایه چربی را به همراه محلول آبی تخلیه نموده و پروتئین‌های رسوب یافته بازیابی شد.

در مورد سر ماهی، مخلوط را بعد از ترکیب با آب و هموزن کردن به مدت ۶۰ دقیقه در دمای ۸۵ درجه سانتی گراد حرارت داده و سپس سانتریفیوژ گردید. در این حالت نیز سه فاز تشکیل شد که فاز اول لایه نازک چربی بوده، لایه وسط پروتئین بازیافتی و لایه سوم مربوط به پروتئین‌های نامحلول به همراه ذرات استخوان و پوست بود [۱۰].

پروتئین حاصله را در دمای ۲۰- درجه سانتی‌گراد منجمد نموده و سپس در دستگاه خشک کن انجمادیه مدت ۷۲ ساعت در دمای ۶۰- درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند تا رطوبت نمونه‌ها تبخیر شده و پودر پروتئینی ماهی به دست آمد [۹].

۲-۳- آنالیز تقریبی

برای تعیین میزان رطوبت، خاکستر، پروتئین و چربی از روش استاندارد AOAC (۲۰۰۵) استفاده گردید [۱۱].

۲-۴- اندازه گیری رنگ

به منظور تعیین پارامترهای L^* ، a^* و b^* از دستگاه رنگ سنج Hunter Lab استفاده شد. سفیدی پودرهای پروتئینی با استفاده از رابطه ۱ بر طبق مستندات کدکس محاسبه گردید [۱۲].

$$\text{Whiteness} = [100 - (100 - L^*)^2 + a^{*2} + b^{*2}]^{0.5}$$

¹.Hygroscopicity

۲-۹- آنالیز داده‌ها

به منظور تجزیه و تحلیل داده‌ها از نرم افزار SPSS استفاده گردید. در این راستا از آزمون T غیر جفتی برای مقایسه ترکیب شیمیایی و خواص عملکردی پودر سر ماهی تون و پودر عضله استفاده شده و سطح معنی دار بودن اختلاف بین میانگین‌ها $P < 0.05$ انتخاب گردید.

۳- نتایج

۳-۱- آنالیز تقریبی

نتایج حاصل از آنالیز تقریبی ترکیبات شیمیایی گوشت عضله و سر ماهی تون زرده بر حسب درصد از ماده خشک در جدول ۱ آمده است. همانطور که در جدول انشان داده شده است بین رطوبت عضله و سر اختلاف معنی دار مشاهده نشد، اما در مقدار پروتئین، چربی کل و خاکستر اختلاف معنی دار وجود داشت. در مورد دلیل مقادیر بالای خاکستر گوشت تهیه شده از ضایعات سر می توان به وجود استخوان‌ها، جمجمه، آبشش‌ها، و چشم‌ها اشاره کرد.

Table 1 Proximate analyses of mince prepared from flesh and head of Yellowtail Tuna (*Thunnus affinis*)

Fish Mince type	Protein (%)	Fat (%)	Ash (%)	Moisture (%)
Fillet	24.44±1.0 ^a	2.51±0.56 ^b	2.58±0.8 ^b	70.94±0.3 ^a
Head	18.57±0.7 ^b	4.25±1.2 ^a	6.94±0.7 ^a	70.58±0.2 ^a

Each value in the table represents the mean ± standard deviation of triplicate analysis. Different superscripts within each column represent significant difference at $P < 0.05$.

ماده خام اولیه بعد از چرخ شدن) بر حسب درصد از ماده خشک در جدول ۲ نشان داده شده است.

نتایج حاصل از آنالیز تقریبی ترکیبات شیمیایی پودر پروتئین عضله و سر ماهی و همچنین بازده پودر پروتئین (بدست آمده از

Table 2 Proximate analyses of protein powder prepared from flesh and head of Yellowtail Tuna (*Thunnus affinis*)

Fish Mince type	Protein (%)	Fat (%)	Ash (%)	Moisture (%)	Yield
Fillet	90.22±0.4 ^a	1.01±0.2 ^b	1.53±0.1 ^b	2.94±0.6 ^b	15.3±1.0
Head	86.34±0.6 ^b	2.53±0.1 ^a	5.47±0.4 ^a	6.38±0.1 ^a	5.3±0.5

Each value in the table represents the mean ± standard deviation of triplicate analysis. Different superscripts within each column represent significant difference at $P < 0.05$.

و سالمون قرمز صورت گرفت گزارش شد که فرایند حرارتی میزان چربی را در پودر پروتئین سالمون صورتی کاهش داده اما در سالمون قرمز، فرایند حاضر نتوانسته ذرات چربی را تجزیه نماید و در نتیجه میزان چربی کل در پودر پروتئین آن افزایش یافته است. میزان خاکستر سر سالمون صورتی و سالمون قرمز به ترتیب ۷/۱٪ و ۹/۴٪ بدست آمد [۱۵]. درصد چربی پودر پروتئین ماهی به نوع ماده خام استفاده شده در فرایند استخراج و درصد خاکستر به نوع فرایند آماده سازی بستگی دارد [۱].

تبدیل گوشت عضله و گوشت سر ماهی تون زرده به پودر پروتئینی به ترتیب ۱۵/۳٪ و ۵/۳٪ بازدهی داشت (جدول ۲). اختلاف در بازدهی به این علت است که بعد از سانتریفیوژ نمودن

نکته قابل توجه در مقایسه جداول ۱ و ۲ تفاوت قابل توجه در درصد رطوبت گوشت در مقایسه با پودر حاصله بعد از فرایند انجام خشک می باشد که بیانگر کارایی فرایند خشک کردن انجمادی در کاهش رطوبت ماده با حفظ ویژگی های عملکردی آن می باشد. علاوه بر این کاهش رطوبت در پودر پروتئینی تهیه شده از عضله و ضایعات سر ماهی تون منجر به تغییر در درصد سایر اجزا به خصوص میزان پروتئین گردید. درصد پروتئین پودرهای پروتئین عضله و سر ماهی تون زرده شباهت بسیاری به دیگر پودرهای پروتئینی که از مواد خام مختلف تولید شدند نشان داد [16-18]. در مطالعه ای که توسط Sathivel و همکاران (۲۰۰۶) با هدف تولید پودر پروتئین ماهی از سر سالمون صورتی

به یک ماده با رطوبت ۹۵٪ بعد از خشک نمودن انجمادی بیشتر خواهد بود.

۳-۳- اندازه‌گیری رنگ

نتایج اندازه‌گیری شاخص های رنگ دو تیمار پودر پروتئینی در جدول ۳ نشان داده شده است.

محلول عضله آنچه که در کف لوله سانتریفیوژ باقی می‌ماند پروتئین‌های میوفیبریل است که حالت خمیری داشته و حجم گسترده‌ای از آب محلول به علت سانتریفیوژ کاهش یافته است اما در رابطه با گوشت سر، پروتئین‌های میوفیبریل بعد از حرارت دهی و سانتریفیوژ نمودن به صورت محلول در لایه میانی لوله-های سانتریفیوژ قرار گرفته که تقریباً ۹۵٪ رطوبت دارند. بدیهی است که بازده یک ماده خمیری شکل با رطوبت ۴۰-۵۰٪ نسبت

Table 3 Color parameters of protein powder prepared from flesh and head of Yellowtail Tuna (*Thunnus affinis*)

Fish Mince type	<i>L</i> *	<i>a</i> *	<i>b</i> *	whiteness
Fillet	53.3±0.5 ^b	3.8±0.08 ^a	20.49±0.2 ^b	48.61±0.6 ^b
Head	77.44±2.6 ^a	1.75±0.05 ^a	25.9±1.8 ^a	65.53±2.4 ^a

Each value in the table represents the mean ± standard deviation of triplicate analysis. Different superscripts within each column represent significant difference at $P < 0.05$.

احتمالاً به علت بیشتر بودن چگالی توده‌ای پودر پروتئین سر (۶۵/۰) نسبت به پودر پروتئین عضله (۰/۳) می‌باشد چون معمولاً با افزایش چگالی توده‌ای خاصیت جذب آب نیز افزایش می‌یابد.

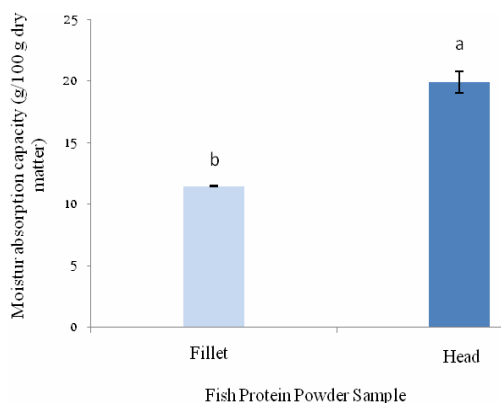


Fig. 1 Moisture absorption capacity of fish protein powder prepared from head and fillet of Yellowtail Tuna (*Thunnus affinis*); Different superscripts represent significant difference at $P < 0.05$.

۳-۴- ظرفیت نگهداری آب

نتایج ظرفیت نگهداری آب پودر پروتئین عضله و پودر پروتئین سر ماهی تون زرده در شکل ۲ نشان داده شده است. ظرفیت نگهداری آب برای پودر پروتئین عضله ماهی $1/05 \pm$ ۹/۲۵ (میلی لیتر در ۱ گرم پروتئین) و برای پودر پروتئین سر ماهی

با توجه به جدول ۳ شاخص روشنایی و زردی پودر پروتئین سر به ترتیب (۷۷/۴۴) و (۲۵/۹) و برای پودر پروتئین عضله (۵۳/۰۳) و (۲۰/۴۹) بدست آمد که با یکدیگر اختلاف معنی‌دار نیز داشتند ($P < 0/05$). شاخص سفیدی پودر پروتئین سر ماهی (۴۸/۶۱) که در مقایسه با پودر پروتئین سر (۶۵/۵۳) بود که به طور قابل ملاحظه‌ای با یکدیگر اختلاف معنی‌دار داشتند ($P < 0/05$). فرایند حرارتی در پروتئین سر کمک بیشتری به خارج کردن خونابه‌ها، میوگلوبین‌ها، رنگدانه‌های گوشت و مجموعاً پروتئین‌های سارکوپلاسما میک نموده است، و در نتیجه سبب روشن‌تر شدن رنگ پودر پروتئین سر نسبت به پروتئین عضله بعد از خشک شدن انجمادی گردید.

۳-۲- قابلیت جذب آب

شکل ۱ قابلیت جذب آب برای پودر پروتئین عضله و پودر پروتئین سر را نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌شود پودر پروتئین سر و پودر پروتئین عضله با یکدیگر تفاوت معنی‌دار داشتند ($P < 0/05$). پودر سوریمی و گوشت چرخ‌شده ماهی کپور خاصیت جذب آب به ترتیب ۱۳۷/۹۷ و ۱۴/۲۸ را داشتند که رطوبت اولیه آنها به ترتیب ۵/۵ و ۳/۲ بود [۱۹].

اما نتایج این تحقیق نشان داد که پودر پروتئین سر که دارای رطوبت ۶/۹۴٪ بود خاصیت جذب آب بالاتری (۱۹/۹۱) نسبت به پودر پروتئین عضله (۱۱/۴۴) با رطوبت ۲/۵۴٪ داشت که

پروتئینی عضله در مقایسه با پودر سر بوده و به علاوه ظرفیت جذب بیشتر روغن توسط پودر پروتئین عضله را می‌توان با درصد کمتر میزان چربی آن $1/01\%$ نسبت به پودر پروتئین سر $2/53\%$ توجیه کرد (جدول ۲) به این دلیل که هنگام اضافه کردن روغن، پودر پروتئینی که چربی کمتری دارد (عضله)، کمبود چربی را با جذب بیشتر روغن جبران می‌کند. اختلاف در جذب چربی پودرهای پروتئینی مختلف ممکن است مربوط به چگالی توده‌ای پروتئین‌ها باشد که توسط Kinsella (۱۹۷۶) مورد بررسی است [۲۳]. به بیانی دیگر وجود مقادیر بالاتر رشته‌های پروتئینی که دارای سایتهای اتصال پذیر بیشتری هستند منجر می‌گردد تا نقش امولسیفایری بهتری در تماس با ذرات روغن در فاز روغن-آب ایفا نمایند.

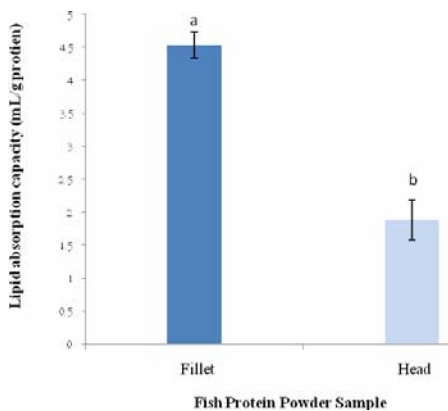


Fig. 3 Lipid absorption capacity of fish protein sample prepared from head and fillet of Yellowtail Tuna (*Thunnus affinis*); Different superscripts within each column represent significant difference at $P < 0.05$.

۳-۶- خواص رئولوژیکی

به منظور بررسی ویژگی‌های رئولوژیکی آزمون‌های روبش تنشی، روبش فرکانسی و روبش دمایی انجام شد. بدین منظور در ابتدا یک محلول حاوی $17/5\%$ پروتئین، 80% رطوبت و $2/5\%$ نمک تهیه گردید. در رابطه با پودر پروتئین سر همانطور که در آزمون تهیه ژل بیان شد در رطوبت 80% محلول پروتئینی کاملاً رقیق بوده و با توجه به تعریفی که از رفتار ویسکوالاستیک ارائه شده است نتیجه می‌گیریم که یک محلول رقیق هیچ گونه رفتار ویسکوالاستیکی از خود نشان نمی‌دهد. در حالیکه بر خلاف پودر پروتئین سر، پودر پروتئین عضله در رطوبت 80% به صورت یک

بدست $7/21 \pm 0/5$ با یکدیگر اختلاف معنی‌دار داشتند ($P < 0/05$). فرایند خشک کردن انجمادی می‌تواند ظرفیت نگهداری آب را کاهش دهد و هرچه در دماهای بالاتری خشک شدن انجام گیرد، ظرفیت نگهداری آب بیشتر کاهش پیدا می‌کند [۲۰] که این حالت را می‌توان با دناتوره شدن پروتئین‌ها در دماهای بالاتر توجیه کرد [21]. Ramirez و همکاران (۱۹۹۹) بیان کردند که رطوبت قابل بیان در سیستمهای غذایی به طور معکوس با ظرفیت نگهداری آب مربوط است [۲۲]. بنابراین می‌توان عنوان کرد تیمار حرارتی که بر روی پودر پروتئین سر ماهی تون صورت گرفته، سبب دناتوره شدن پروتئین شده و بدین شکل ظرفیت نگهداری آب آن با پودر پروتئین عضله اختلاف معنی‌داری داشته است. علاوه بر این ظرفیت نگهداری آب هر دو نوع پودر پروتئینی نسبت به سایر مطالعات گزارش شده از گونه‌های مختلف مقدار کمتری بدست آمد که از مهم‌ترین دلایل آن می‌توان به عدم تازگی و ویژگی‌های فیزیولوژیکی ماهی تون زرده اشاره نمود.

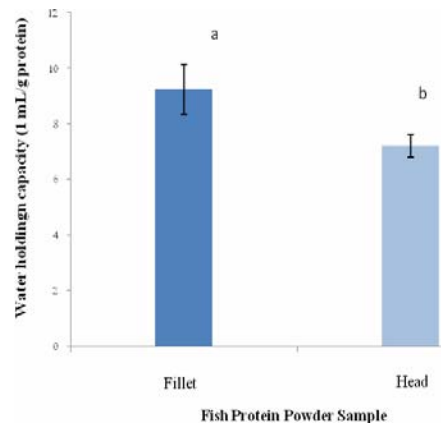


Fig. 2 Water holding capacity of fish protein sample prepared from head and fillet of Yellowtail Tuna (*Thunnus affinis*); Different superscripts within each column represent significant difference at $P < 0.05$.

۳-۵- ظرفیت جذب چربی

شکل ۳ ظرفیت جذب چربی پودر پروتئین عضله و پودر پروتئین سر تولید شده را نشان می‌دهد. ظرفیت جذب چربی پودر پروتئین عضله برابر $4/54$ (میلی‌لیتر در یک گرم پروتئین) و بیشتر از پودر پروتئین تهیه شده از ضایعات سر ($1/89$) بدست آمد ($P < 0/05$). این نتایج بیانگر برتری ویژگی‌های عملکردی پودر

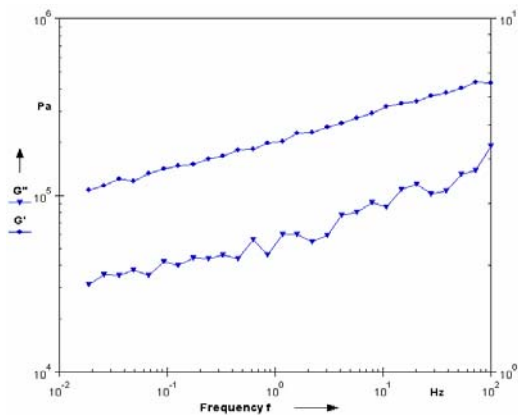


Fig. 5 Frequency sweep test of fish protein powder prepared from the fillet of Yellowtail Tuna (*Thunnus affinis*); plate and plate type at 10 °C, from 0.01-100 Hz at stress of 10 Pa.

شکل ۵ نشان دهنده آن است که در فرکانس 10^{-2} Hz تا 10^2 دامنه ویسکوالاستیک خطی می‌باشد. پودر پروتئین عضله دارای یک G' و G'' اولیه بترتیب با مقدار ۱۰۰ و ۵۰ کیلو پاسکال بوده که در ادامه با افزایش فرکانس، مقدار G' و G'' نیز به موازات آن افزایش می‌یابد که رفتاری شبیه مواد جامد الاستیک را به نمایش می‌گذارد.

شکل ۶ نتایج آزمون روبش دمایی پودر پروتئین عضله ماهی تون زرده را نشان می‌دهد. در این آزمون تنش ۱۰ پاسکال و فرکانس ۱ هرتز (دامنه ویسکوالاستیک خطی آزمون روبش فرکانسی) در نظر گرفته شد. بیان شده است که ژل‌های قوی دارای G' بیشتر از G'' و بدون وابستگی مدول‌های دینامیکی به فرکانس هستند- [25] [26]. از طرف دیگر در شرایطی که مقدار مدول ذخیره (G') بیشتر از مدول افت (G'') باشد، بیان شده است که اگر مدول ذخیره وابسته به فرکانس باشد در اینصورت نمونه مورد نظر حالت یک خمیر را خواهد داشت [27]. Fukushima و همکاران (۲۰۰۷)، گزارش داده‌اند در دمای 37°C ، خمیر ماهی‌های منتخب ایشان تشکیل ژل می‌دهد اما در دمای 5°C تا 30°C تشکیل خمیر می‌دهد. دلیل این امر را عدم وابستگی G' به فرکانس در دمای 37°C و وابستگی G' به فرکانس در دماهای 5°C تا 30°C ذکر کردند. از طرف دیگر، وابستگی مدول‌ها به فرکانس (با غالب بودن G' نسبت به G'') را به تشکیل شبکه‌های ژل مانند نسبت داده‌اند که به ژل‌های ضعیف شهرت دارند [۲۸-۳۰]. بیان شده است که در ژل‌های ضعیف،

خمیر چسبناک در آمده و بدین ترتیب می‌توان خواص ویسکوالاستیک آن را بررسی نمود. نتایج آزمون روبش تنشی پودر پروتئین عضله ماهی تون زرده در شکل ۴ نشان داده شده است.

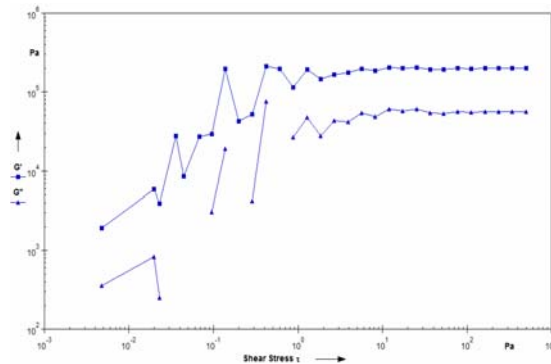


Fig. 4 Stress sweep test of fish protein powder prepared from the fillet of Yellowtail Tuna (*Thunnus affinis*); plate and plate type at 10 °C, from 0.01-500 Pa at frequency of 1 Hz.

در شکل ۴-۵ مشاهده می‌شود تقریباً در ناحیه ۱ تا ۵۰۰ پاسکال روبش تنشی در دامنه ویسکوالاستیک خطی قرار دارد. در تنش‌های پایین‌تر از ۱ Pa مقدار G' و G'' بسیار ناپایدار می‌باشد اما در تنش‌های بالاتر مقدار G' (۱۱۰ kPa) و G'' (۹۰ kPa) بدست آمده در دامنه ویسکوالاستیک خطی قرار داشته و حتی با افزایش میزان تنش به مرز ۱۰۰۰ kPa نیز تلاقی بین دو مولفه مدول ذخیره و مدول افت مشاهده نگردید. این امر بدین معناست که انتخاب میزان تنش ۱۰۰ kPa برای انجام آزمون تنش فرکانسی و روبشی منطقی می‌باشد.

نتایج آزمون روبش فرکانسی پودر پروتئین عضله ماهی تون زرده در شکل ۵ نشان داده شده است. در این آزمون دما ۱۰ درجه سانتی‌گراد و تنش ۱۰۰ پاسکال (دامنه ویسکوالاستیک خطی آزمون روبش تنشی) در نظر گرفته شد. در این آزمون مشخص شد که مقدار $G'' < G'$ می‌باشد. بر اساس نمودار ثبت شده میزان مدول ذخیره و افت به عنوان تابعی وابسته به میزان فرکانس می‌باشند به طوریکه با افزایش مقدار فرکانس، مقدار این دو پارامتر نیز افزایش می‌یابد که این پدیده به عنوان شاخص شبکه‌های ژلی ضعیف می‌باشد.

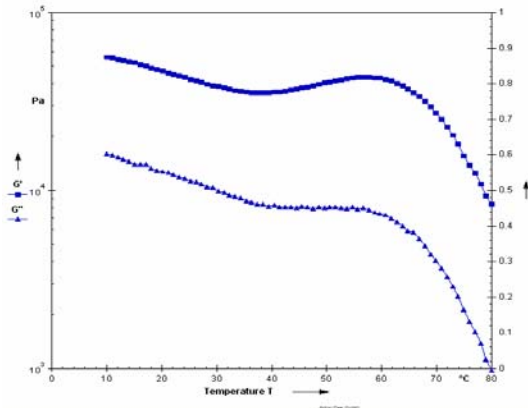


Fig. 7 Temperature sweep test of fish protein powder prepared from the fillet of Yellowtail Tuna (*Thunnus affinis*); plate and plate type (gap size 2 mm), from 10-90 °C at 10 Pa stress and 1 Hz frequency

مقدار اولیه G' برابر 80 kPa و G'' برابر 30 kPa بدست آمد که نسبت با حالت قبلی با 1 mm gap میلی متر بسیار افت کرد. اما رفتار روبش دمایی آن کاملاً شبیه به حالت قبل بود. می توان از رفتار روبش دمایی خمیر پودر پروتئین عضله ماهی تون زرده، عدم تشکیل ژل را توجیه کرد بدین معنی که در دمای 60 تا 80 درجه سانتی گراد که ژل پروتئینی تشکیل می شود اما عکس آن اتفاق افتاده و ساختار آن به طور کامل از هم گسسته و هیچ گونه ارتباطات و پیوندهای تشکیل ژل در خمیر تهیه شده صورت نمی پذیرد.

به عبارتی دیگر افت در مقدار G' تا دمای حدود 40 درجه سانتی گراد برای نمونه های پودر پروتئینی عضله و سر ماهی تون را می توان به عوامل مختلف همچون فعالیت آنزیم های پروتئولیتیک اندوژن درون عضله ماهی، جداسازی در ساختار شبکه اکتین-میوزین، تخریب ساختار شکل گرفته در مرحله اول که از طریق پیوندهای هیدروژنی ایجاد شده بود و دناتوراسیون میوزین نسبت داد [33]. به عبارت دیگر، باز شدن پروتئین می تواند موجب افزایش سیالیت ساختار ژل مانند، شکسته شدن برخی پیوندها میان پروتئین ها و در نتیجه کاهش G' گردد [34-35]. بر اساس مطالعات انجام شده، در مورد تغییر فرم رشته های پروتئینی و انتقال از فرم هلیکس به کوئل پروتئین میوزین و شکسته شدن شبکه تازه شکل گرفته پروتئینی عامل افزایش سیالیت نمونه های

مقدار وابستگی مدول های دینامیکی به فرکانس نسبت به ژل های قوی بیشتر شده که نشان دهنده وجود فرآیندهای آسایش از تنش حتی در زمان های کوتاه است و نیز مقدار اختلاف میان G' و G'' در ژل های ضعیف، کمتر از ژل های قوی است که نشان دهنده درصد پایتتر بازیافت انرژی ذخیره شده است [31 و 32].

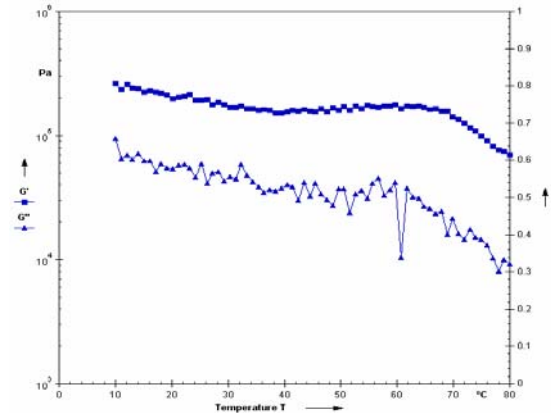


Fig. 6 Temperature sweep test of fish protein powder prepared from the fillet of Yellowtail Tuna (*Thunnus affinis*); plate and plate type (gap size 1 mm), from 10-90 °C at 10 Pa stress and 1 Hz frequency

در خصوص آزمون روبش دمایی، شکل 6 نشان می دهد که در دمای 10 درجه سانتی گراد مقدار G' (500 kPa) بیشتر از مقدار G'' (100 kPa) می باشد. با افزایش دما تا 45 درجه سانتی گراد مقدار مدول ذخیره و مدول افت کاهش یافته اما بعد از این تا دمای 60 درجه سانتی گراد مقدار آنها به طور جزئی افزایش می یابد که در این بازه دمایی (45 تا 60 درجه سانتی گراد) اتصالات لازم برای تشکیل ژل رخ می دهد. در ادامه در دما 60 تا 80 درجه سانتی گراد که باید تشکیل ژل پروتئینی کامل گردد مشاهده می نماید که با افت شدید G' و G'' مواجه هستیم که نشان دهنده این است که ساختار ژل به طور کامل از هم گسسته و تخریب می شود.

آزمون روبش دمایی، این بار با 2 mm gap میلی متر صورت پذیرفت که در شکل 7 مشاهده می نماید.

(که بیش از ۹۰٪ وزن مجموع ضایعات این کارخانه‌ها در برمی‌گیرد) مورد بررسی و آزمون قرار گیرد.

۵- منابع

- [1] Pires, C., Costa, S., Batista, A. P., Nunes, M. C., Raymundo, A., & Batista, I. (2012). Properties of protein powder prepared from Cape hake by-products. *Journal of Food Engineering*, 108(2), 268-275.
- [2] Sathivel, S., Bechtel, P. J., Babbitt, J. K., Prinyawiwatkul, W., & Patterson, M. (2005). Functional, nutritional, and rheological properties of protein powders from arrowtooth flounder and their application in mayonnaise. *Journal of Food Science*, 70(2), 57-63.
- [3] Niki, H., Matsuda, Y. & Suzuki, T. (1992). Dried forms of surimi. In: T.C. Lanier & C.M. Lee. eds. *Surimi Technology*. Marcel Dekker, New York, 209-244.
- [4] Barresi, A. A., Pisano, R., Rasetto, V., Fissore, D., & Marchisio, D. L. (2010). Model-based monitoring and control of industrial freeze-drying processes: effect of batch non uniformity. *Drying Technology*, 28(5), 577-590.
- [5] Damodaran, S. (2008). Amino acids, peptides and proteins. In: S. Damodaran, ed. *Fennema's Food Chemistry* (Vol. 4). Boca Raton, FL: CRC press, 425-439.
- [6] Schenz TW and Morr CR. (1996). Viscosity, In: MG. Hall, ed. *Methods of Testing Protein Functionality*. Chapman & Hall, London, 62-73.
- [7] Kinsella, J. E., & Melachouris, N. (1976). Functional properties of proteins in foods: a survey. *Critical Reviews in Food Science & Nutrition*, 7(3), 219-280.
- [8] Office of Planning., Department of Statistics and the development Studies of fisheries., Statistical year book of Iran fisheries organization(2000-2012), 54
- [9] Jafarpour, A., & Gorczyca, E. M. (2008). Alternative techniques for producing a quality surimi and kamaboko from common carp

سوریمی [۳۶] و اکتومیوزین گوازیما ماهیان ۱ [۳۷] ذکر شده است.

پس از کاهش مقدار G' یک افزایش در آن رخ داده است که دلیل آن را می‌توان به تشکیل شبکه ژل مانند با جمع شدن و در هم تنیده شدن مولکول‌های پروتئین باز شده نسبت داد که از طریق پیوندهای غیر اختصاصی هیدروفوبی و سولفیدریل-دی سولفید رخ داده است. در حقیقت، حالت طبیعی پروتئین‌ها به صورت تا خورده است و تیمار حرارتی یا شیمیایی می‌تواند تغییر ساختاری در شکل طبیعی پروتئین‌ها ایجاد کند. با تغییر ساختار و باز شدن پروتئین‌ها که ناشی از کاهش آلفا هلیکس و تغییر حالت آن به صفحه بتا است [۳۸] گروه‌های فعال پروتئین‌های میوفیبریلی و بخصوص میوزین در معرض واکنش قرار گرفته و می‌تواند با مولکول‌های پروتئین همسایه پیوندهای بین مولکولی تشکیل دهند. این پیوندها اساساً از طریق برهمکنش‌های هیدروفوبی و یا پیوندهای کووالان دی-سولفیدی ایجاد می‌گردد. در نتیجه این عمل و زمانی که به اندازه کافی از این پیوندها ایجاد شد واکنش‌های پروتئین-پروتئین منجر به شکل‌گیری شبکه ژل سه بعدی می‌گردد [۳۹-۴۰].

۴- نتیجه گیری

نتایج سنجش خواص عملکردی نشان داد که ظرفیت نگهداری آب و ظرفیت جذب روغن در پودر پروتئینی عضله به طور معنی داری بیشتر از پودر سر بوده در حالیکه میزان جذب آب پودر پروتئینی سر بیشتر از پودر عضله بود. اما انجام آزمایشات رئولوژیکی بیانگر این واقعیت است که پودرهای پروتئینی تولید شده از عضله و ضایعات سر ماهی تون قابلیت بالایی در تشکیل یک ژل مستحکم نداشته و لذا استفاده از تیمار حرارتی در تولید این نوع پودر پروتئینی توصیه نمی‌گردد. از سویی دیگر با توجه به حجم بسیار بالای محصولات جنبی کارخانه کنسرو ماهی تون در کشور توصیه می‌گردد از سایر روشها مانند تغییر pH یا آبکافت آنزیمی در تولید پودر پروتئینی از سر ماهی تون

- (*Oncorhynchus nerka*) enzymatic hydrolysates. *Journal of Food Science*, 70(6), 401-406.
- [20] Bagherimofidi, M., Jafarpour, A., & Motamedzadegan, A. (2014). Functional properties of freeze-dried fish protein powders prepared from Common carp (*Cyprinus carpio*). *Fisheries Science Journal*, 42(11), 117-128.
- [21] Huda, N., Abdullah, A., & Babji, A. S. (2001, March). Substitution of tapioca flour with surimi powder in traditional crackers. *In: 16th scientific conference nutrition society of Malaysia, Kuala Lumpur, March*, 24-25.
- [22] Musa, K. H., Aminah, A., & Wan-Aida, W. M. (2005). Functional properties of surimi related to drying methods. *Malaysian Applied Biology*, 34(2), 83.
- [23] Ramírez, J., Díaz-Sobac, R., Morales, O., & Vázquez, M. (1999). Evaluation of Freeze-Dried surimi from Tilapia and Fat sleeper as emulsifier. *Science Technology*, 2(4), 210-214.
- [24] Kinsella, J. E., & Melachouris, N. (1976). Functional properties of proteins in foods: a survey. *Critical Reviews in Food Science & Nutrition*, 7(3), 219-280.
- [25] Almdal, K., J. Dyre, S. Hvidt and O. Kramer, 1993. Towards a Phenomenological Definition of the Term 'Gel', *Polymer Gels and Networks*, vol. 1, pp. 5-17.
- [26] Fukushima, H., E. Okazaki, Y. Fukuda and S. Watabe, 2007. Rheological properties of selected fish paste at selected temperature pertaining to shaping of surimi-based products, *Journal of Food Engineering*, vol. 81, p. 492-499.
- [27] Kavanagh, G., and S. Ross-Murphy, 1998. Rheological characterization of polymer gels, *Progress in Polymer Science*, vol. 23, p. 533-562.
- [28] Ross-Murphy, S., and K. Shatwell, 1993. Polysaccharide strong and weak gels," *Biorheology*, vol. 30, pp. 217-227.
- [29] Stading, M., M. Langton and A. Hermansson, 1995. Small and large deformation studies of protein gels," *Journal of Rheology*, vol. 39, p. 1445-1450.
- [30] Clark A. H., and S. B. Ross-Murphy, 1987. Structural and mechanical properties of biopolymer gels," in *Advances in Polymer Science*, vol. 83, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, , pp. 57-192.
- (*Cyprinus carpio*). *Journal of Food Science*, 73(9), E415-E424.
- [10] Sathivel, S., Yin, H., Bechtel, P. J., & King, J. M. (2009). Physical and nutritional properties of catfish roe spray dried protein powder and its application in an emulsion system. *Journal of Food Engineering*, 95(1), 76-81.
- [11] AOAC. (1995) Official methods of analysis. 16th ed. Association of Official Analytical Chemists, Arlington, Virginia, 684.
- [12] Park, J. W. (2005). Ingredient technology for surimi and surimi seafood. *Surimi and surimi seafood*, 649-707.
- [13] Renata V.T., Catherine B., Miriam D.H. (2008). Influence of process conditions on the physicochemical properties of acai (*Euterpeoleraceae* Mart.) powder produced by spray drying. *Journal of Food Engineering*, 88(3), 411-418
- [14] Coob, B. F., & Hyder, K. (1972). Development of a process for preparing a fish protein concentrate with rehydration and emulsifying capacities. *Journal of Food Science*, 37(5), 743-750.
- [15] Souissi, N., Bougatef, A., Triki-Ellouz, Y., Nasri, M. 2007. Biochemical and Functional Properties of Sardinella (*Sardinella aurita*) By-Product Hydrolysates. *Food Technol. Biotechnol.* 45 (2): 187-194.
- [16] Sathivel, S., Bechtel, P. J., & Prinyawiwatkul, W. (2006). Physicochemical and rheological properties of salmon protein powders. *International Journal of Food Engineering*, 2(2), 1556-1562
- [17] Shaviklo, G. R., Thorkelsson, G., Sveinsdottir, K., & Rafipour, F. (2011). Chemical properties and sensory quality of ice cream fortified with fish protein. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 91(7), 1199-1204.
- [18] Shaviklo, G. R., Thorkelsson, G., Arason, S., & Sveinsdottir, K. (2012). Characteristics of freeze-dried fish protein isolated from saithe (*Pollachius virens*). *Journal of food science and technology*, 49(3), 309-318.
- [19] Sathivel, S., Smiley, S., Prinyawiwatkul, W., & Bechtel, P. J. (2005). Functional and nutritional properties of red salmon

- [36] Esturk O., and J. W. Park, 2014. Comparative Study on Degradation, Aggregation and Rheological Properties of Actomyosin from Cold, Temperate and Warm Water Fish Species," *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, vol. 14, pp. 67-75.
- [37] Yin T., and J. W. Park, 2014. Effects of nano-scaled fish bone on the gelation properties of Alaska pollock surimi," *Food Chemistry*, vol. 150, p. 463-468.
- [38] Yongsawatdigu J., and J. Park, 2003. Thermal denaturation and aggregation of threadfin bream actomyosin," *Food Chemistry*, vol. 83, p. 409-416.
- [39] Egeland, B., K. Fretheim and K. Samejima, 1986. Dynamic Rheological Measurements on Heat-induced Myosin Gels: Effect of Ionic Strength, Protein Concentration and Addition of Adenosine Triphosphate or Pyrophosphate," *Journal of the Science of Food and Agriculture*, vol. 37, pp. 915-926.
- [40] Liu, W., 2007. Studies on Heat-induced Gelation of Myofibrillar Protein Pastes with Emphasis on Stabilization of Added Fat, Phd dissertation : North Carolina State University .
- [31] Rao, M. A. 2007. Rheological Behavior of Processed Fluid and Semisolid Foods," in *Rheology of Fluid and Semisolid Foods: Principles and Applications*, New York, Springer Science+Business Media, , pp. 223-338.
- [32] Ross-Murphy, S. B., 1995. Rheological Characteristics of Gels. *Journal of Texture Studies*, vol. 26, p. 391-400,.
- [33] Yoon, W., S. Gunasekaran and J. Park, 2004. Characterization of thermorheological behavior of Alaska Pollock and Pacific Whiting surimi," *Journal of Food Science*, vol. 69, p. 338-343,.
- [34] Liu, R., S. Zhao, S. Xiong, B. Xie and H. Liu, 2007. Studies on fish and pork paste gelation by dynamic rheology and circular dichroism," *Journal of Food Science*, vol. 72, pp. 399-403,.
- [35] Zhang, F., L. Fang, C. Wang, L. Shi, T. Chang, H. Yang and M. Cui, 2013. Effects of starches on the textural, rheological, and color properties of surimi-beef gels with microbial transglutaminase," *Meat Science*, vol. 93, p. 533-537.

Evaluation of Functional and Rheological Properties of Fish Protein Powder Prepared from fillet and head wastes of Yellowtail Tuna (*Thunnus affinis*)

Jafarpour, S. A. ^{1*}, Aghababaei, A. ², Rezaei, M. ³

1. Associate Professor, Department of Fisheries, Sari University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Sari-Iran
2. Postgraduate Student, Department of seafood Processing, Faculty of Natural Resources and Marine Science, Tarbiat Modares University, Nour-Iran
3. Professor, Department of seafood Processing, Faculty of Natural Resources and Marine Science, Tarbiat Modares University, Nour-Iran

(Received: 2014/07/23 Accepted: 2015/04/06)

This study was conducted to produce fish protein powder (FPP) from the by-product (head section) of *Thunnus affinis* tuna known as HFPP in order to introduce a value-addition approach in this regard. FPP was also produced from the muscle (MFPP) of tuna fish as the control. In terms of functional properties, water holding capacity, Emulsion capacity, and oil absorption capacity of MFPP was significantly ($p < 0.05$) higher compared with HEPP, whereas the water absorption capacity and emulsion stability of HEPP was higher ($p < 0.05$) than the FPP produced from the muscle section. By analyzing the color parameters, it was revealed that L^* and b^* values of HFPP were significantly lower than those from MFPP, whereas its a^* value was higher ($p < 0.05$), in which the HFPP had lower whiteness compared to the MFPP. Despite the presence of linear viscoelastic region between storage modulus (G') and loss modulus (G'') during the stress and frequency sweep tests, but the viscoelastic properties of either MFPP or HFPP was reported as weak. By running the temperature sweep test from 10 to 80 C, the values of G' for both MFPP and HFPP were very low, indicating the production of a weak gel form obtained protein powders during the heating.

Key words: Fish Protein Powder, Functional Properties, Rheological Properties, Yellowtail Tuna (*Thunnus affinis*)

* Corresponding Author E-Mail Address: a.jafarpour@sanru.ac.ir