شیلات، مجله منابع طبیعی ایران
دوره ۷۴، شماره ۳، پاییز ۱۴۰۰
صفحات ۳۳۸-۳۲۵

تاثیر روش‌های مختلف خشک کردن ضایعات استخوانی ماهی تون زرد باله (*Thunuus albacares*) بر مواد مغذی موجود در آن

روح الله نامدار طالشانی[۱]، هانیه رستم زاد[۲*]، سید مهدی موسوی[۳]

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه گیلان، صومعه سرا، ایران
۲. استادیار گروه شیلات، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه گیلان، صومعه سرا، ایران
۳. دکتری تخصصی سازمان دامپزشکی استان گیلان، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰ /۰۲/۱۴ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۶/۰۷

چکیده

افزایش جمعیت جهان، تغییر سبک زندگی و الگوی مصرف غذا، موجب افزایش تقاضای مواد غذایی با منشاء دریایی شده است. استفاده مناسب از تمامی منابع غذایی دریایی تولید شده، علاوه بر افزایش راندمان تولید، موجب تامین مواد مغذی و تغذیه پایدار انسان می شود. ضایعات استخوانی حاصل از فرآوری آبزیان، منابعی غنی از پروتئین و عناصر معدنی ضروری است که عمدتا مورد مصرف مستقیم انسان قرار نمی‌گیرند. لذا، جهت استفاده بهینه از این ضایعات، در تحقیق حاضر از استخوان‌های ماهی تون زرد باله، به عنوان محصول اولیه عمده مورد استفاده درکارخانجات تولید کنسرو ماهی تون، استفاده شد و به منظور دستیابی به بهترین روش خشک کردن آنها، از ۳ روش خشک کردن در هوای آزاد، خشک کردن با دستگاه آون و خشک کردن در دستگاه فریز درایر استفاده شد. پس از تهیه پودرهای استخوان مذکور، مقدار مواد مغذی آن اعم از پروتئین خام، چربی کل، خاکستر، رطوبت و عناصر معدنی (کلسیم، فسفر و منیزیم) اندازه‌گیری شد. نتایج بدست آمده حاکی از این بود که مقدار پروتئین (۳۱/۰۳ درصد) و خاکستر (۴۹/۵۳ درصد) پودر استخوان خشک شده با روش فریز درای، دارای اختلاف معنی دار با دو تیمار دیگر است ($P<0/05$) و عناصر مغذی بیشتری را در خود حفظ خواهد کرد. درصد رطوبت در این تیمار ۲/۵۵ درصد و کمتر از سایر تیمارها بود و نسبت به سایر روش ها اختلاف معنی دار را نشان داد ($P<0/05$) که نشان از فرآیند خشک شدن بهتر استخوان‌ها با روش فریز درای بود. بررسی میزان کلسیم و منیزیم تیمار خشک شده با دستگاه فریز درای نیز نشان از مقادیر بیشتر و معنی دار نسبت به دو روش دیگر داشت گرچه رابطه معکوس با میزان رطوبت را نشان داد. لذا، می‌توان با استفاده از روش فریز درایینگ (خشک کردن انجمادی)، اقدام به خشک کردن ضایعات استخوانی ماهی در کمترین زمان ممکن همراه با حداقل آسیب وارده به ترکیب بیوشیمیایی آن نمود.

واژگان کلیدی: خشک کن انجمادی، خشک کردن، پودر استخوان، ضایعات استخوانی، ماهی تون.

* نویسنده مسئول: هانیه رستم زاد
Email: haniyeh_rostamzad@yahoo.com

Journal of Fisheries
Vol. 74, No. 3, Autumn 2021
pp. 325-338

The effect of different methods of drying bone lesions of yellowfin tuna (*Thunuus albacares*) on its nutrient compounds

Roholla Namdar Taleshani[1], Haniyeh Rostamzad[2*], Seyed Mahdi Mousavi [3]

1. MSc. Student, Department of Fisheries, Faculty of Natural Resources, University of Guilan, Sowmeh Sara, Guilan, Iran
2. Assistant Professor, Department of Fisheries, Faculty of Natural Resources, University of Guilan, Sowmeh Sara, Guilan, Iran
3. Ph.D.Guilan Province Veterinary Organization. Guilan, Iran

Received: 03-May-2021 **Accepted: 27-Aug-2021**

Abstract

Global human population growth, changes in lifestyle and food consumption patterns have led to an increase in demand for marine source foods production. Proper use of all produced seafood sources, in addition to increasing the production efficiency, provides nutrients and sustainable human nutrition. Bone lesions yielded from aquatic processing are rich sources of essential protein and minerals, which are mainly not intended for direct human consumption. Therefore, in order to make the best use of these valuable wastes, at the present study, for the optimal use of these valuable lesions, bone lesions of yellowfin tuna as the raw material for tuna processing factories has been used. In order to achieve the best drying method, three drying methods were considered: drying in the open air, drying in the hot air oven and drying in a freeze dryer. After providing the above-mentioned bone powders, the amount of their nutrients including crude protein, total fat, ash, moisture and main mineral elements (calcium, phosphorus and magnesium) were measured. The results showed that the amount of protein (31.03%) and ash (49.53%) of bone-dried powder by freeze drying method had a significant difference compared to other two methods ($P<0.05$) and It retains more nutrients in all cases. The moisture content of this treatment was 2.55% which was less than other treatments and there showed a significant difference compared to other methods ($P<0.05$, indicating a better drying process of bones by freeze drying method. Examination of the amount of calcium and magnesium in the freeze-dried treatment also shows higher and significant amounts of these two elements than the other two methods, however it had negative trend to rate of moisture. Therefore, method of freeze drying, was known as the shortest time for drying the fish bone and conserving its biochemical and nutrients**.**

Keywords: Freeze dryer, Drying, Bone powder, Bone lesions, tuna.

Corresponding author: Haniyeh Rostamzad Email: haniyeh_rostamzad@yahoo.com

۱. مقدمه

افزایش جمعیت جهان، پیشرفت فناوری و تغییر سبک زندگی و الگوی مصرف در مردم، به ویژه در کشور های در حال توسعه، مصرف مواد غذایی با منشاء دریایی را افزایش داده است که نتیجه آن، نیاز به افزایش پرورش آبزیان جهت تولید مواد غذایی پروتئینی بوده است (FAO, 2017) به همین دلیل، استفاده مناسب از تمامی منابع پروتئینی، علاوه بر افزایش راندمان تولید، موجب تامین مواد غذایی و تغذیه پایدار انسان می شود. بر اساس آخرین آمار رسمی ارائه شده در سال ۲۰۱۸، تولید جهانی غذا به ۱/۱ میلیارد تن رسید که در مقایسه با سال ۲۰۱۷، دارای ۳ درصد افزایش رشد و در ۵ سال گذشته، دارای میانگین رشد سالانه ۲/۵ در صد بوده است (Alltech, 2019). مصرف پروتئین های حیوانی، جزء اساسی رژیم غذایی انسان بوده و روند افزایشی مصرف این منابع غذایی با گذشت زمان، نسبتا پایدار بوده است. کمبود پروتئین موضوعی جهانی و نگران کننده است و تحقیقات گسترده ای برای یافتن منابع جدید پروتئین پایدار ادامه دارد. آداب، رسوم و عادات مصرف گوشت، روش های برداشت محصول و مقررات وضع شده توسط دولت ها، برداشت و مصرف انسانی بسیاری از منابع غذایی حیوانی، ارگان ها و بافت های مختلف آن را محدود می کند که موجب افزایش میزان ضایعات حاصل از مواد پروتئینی می شود. ضایعات تولید شده حاصل از مصرف غذای انسان، موجب از بین رفتن حدود یک سوم مواد غذایی تولید شده در سراسر جهان می شود (FAO, 2011). بسیاری از سازمان های غیردولتی بین المللی، بر ضرورت محدود کردن ضایعات و بازیابی منابع و ترکیبات با ارزش تاکید دارند (Seas at Risk, 2014; Randone *et al*., 2017).

محصولات فرعی فرآوری آبزیان، شامل تمام قسمت های ماهیان پرورشی و صید شده (سر، باله ها، فلس، پوست، استخوان و احشای بدن) و سخت پوستان و صدف ها (کاراپاکس، اسکلت بیرونی، پوسته و خرده های باقی مانده) است که در طی مراحل فرآوری (فیله کردن، تولید کنسرو و بسته بندی)، از محصول جدا می شوند. این محصولات فرعی، غنی از مواد مغذی بوده و عموما از آنها جهت تولید پودر و روغن ماهی برای استفاده در تغذیه حیوانات استفاده می شود. با این وجود، استفاده بهینه از این محصولات، همچنان بسیار پایین است (Olsen *et al*., 2014) که منجر به آسیب های اقتصادی و زیست محیطی بسیار بالا می شود (Li *et al*., 2019).

تون ماهیان (*Thunnus* sp.) از گونه های مهم و کاربردی در صنعت فرآوری آبزیان هستند که مجموع صید تجاری آنها، از ۱ میلیون تن در سال ۱۹۵۰ به بیش از ۷/۴ میلیون تن در سال ۲۰۱۶ افزایش یافته است (FAO, 2016). یکی از عمده ترین گونه های مهم تون ماهیانی که در صنعت مورد استفاده قرار می گیرد، ماهی تون زرد باله (*Thunuus albacares*) است. از آنجایی که فقط از عضلات سفید ماهی تون در صنعت کنسرو سازی و یا تولید غذاهایی مانند سوشی و ساشیمی استفاده می شود، مقدار ضایعات بر جای مانده از این محصول بسیار بالا بوده که بسیاری از آنها حاوی پروتئین ها و مواد معدنی با کیفیت بسیار بالا هستند (Guerouali *et al*., 1995; Sayana and Sirajudheen, 2017). در بین ضایعات ماهی تون، استخوان ها و عضلات تیره از اهمیت ویژه ای برخوردار هستند که مقدار آنها در مجموع به ۱۷/۹ درصد وزن لاشه بدون سر می رسد (Stone, 2007). در حالت معمول تمامی ضایعات ماهی تون مستقیما جهت تهیه پودر ماهی بکار گرفته می شود (Kompiag and Creswell, 1980; Sayana and Sirajudheen, 2017).

امروزه جهت رقابتی کردن پودر ماهی تولیدی در بازارهای جهانی و افزایش کیفیت آن، اقدام به جداسازی استخوانهای ماهی از سایر ضایعات می کنند تا میزان خاکستر محصول تا زیر ۲۰ درصد کاهش یابد. نتیجه جدا سازی استخوان از ضایعات ماهی، بالاتر رفتن میزان پروتئین محصول نهایی در واحد حجم خواهد بود (Thankappan *et al*., 1998; Sayana and Sirajudheen, 2017). بافت استخوانی باقی مانده، یکی از مهمترین قسمت های ضایعات ماهی تون است که دارای دو بخش مواد آلی (۳۰ درصد) که عمدتا از کلاژن ساخته شده است (Nagai *et al*., 2004; Herpandi *et al*., 2011) و مواد معدنی (۶۰ تا ۷۰ درصد) که یکی از مهم ترین شاخص های تشکیل دهنده بافت استخوانی محسوب می شوند (Aronove *et al*., 2007; Barakat *et al*., 2008). این بخش شامل عناصری چون کلسیم و فسفر، و به میزان کمتری منیزیم، سدیم، پتاسیم، سولفات

و فلوراید است و منبعی عالی از مواد معدنی است. تمامی مواد معدنی موجود در استخوان ماهی تون به استثناء فلوراید، جزو مواد معدنی ضروری هستند و جهت داشتن تغذیه ای مناسب، مصرف آنها در انسان و حیوانات الزامی است(Williams, 1989). مهمترین عامل اهمیت استفاده از فرآورده های استخوانی، نسبت متعادل کلسیم و فسفر (۲ به ۱) آن است(Yoon *et al.*, 2005). فرم معدنی طبیعی اصلی کلسیم تشکیل دهنده بافت استخوانی ماهی تون، هیدروکسی آپاتیت (HA) است (Park *et al.*, 2000). حضور منیزیم در ترکیب هیدروکسی آپاتیت مشتق شده از استخوان ماهی تون، موجب افزایش حلالیت آن می شود (Seo *et al.*, 2008). فرآورده های استخوانی تهیه شده از ضایعات ماهی تون، دارای فعالیت های آنتی اکسیدانی است. مشخص شده است که نوعی پپتید آنتی اکسیداتیو در ستون فقرات ماهی تون وجود دارد که به طور قابل توجهی مانع از پراکسیداسیون چربی در سیستم امولسیون اسید لینولئیک شده و موجب دفع و مهار رادیکال های آزاد می شود (Je et al., 2007) .

پپتیدهای موجود در استخوان ماهی(FBP II) می توانند تشکیل نمک های کلسیم نا محلول در pH خنثی را مهار کنند. دلایل فوق، اهمیت استفاده از این منبع را جهت تهیه نوعی افزودنی غذایی و استفاده از آن در جیره غذایی انسان و حیوانات روشن می سازد. در همین راستا، فعالیت های زیادی جهت استفاده از پودر استخوان ماهی در محصولات نانوایی (Luu and Nguyen, 2009; Nemati *et al.*, 2016; Benjakul and Karnjanapratum, 2018). و مواد غذایی مثل سوسیس جهت غنی سازی و اصلاح بافت آن (Hemung et al., 2018).

یکی از مراحل تهیه پودر استخوان، خشک کردن ضایعات استخوانی است که معمولا با استفاده از روش های مختلفی چون خشک کردن در هوای آزاد و زیر نور خورشید، استفاده از جریان هوای گرم، استفاده از روش های با دمای پایین مانند استفاده از خشک کن انجمادی، استفاده از امواج ماکروویو، خشک کردن با استفاده از پمپ هوای گرم و خشک کردن با استفاده از امواج مادون قرمز صورت می گیرد. استفاده از هر یک از این روش ها به علت شرایط حاکم بر روند مراحل خشک کردن، دارای مزایا و معایبی است. در تحقیق حاضر، اقدام به خشک کردن ضایعات استخوانی ماهی تون زردباله با ۳ روش مختلف شد و مقدار عناصر مغذی پودرهای استخوان تولید شده تعیین شد تا بهترین روش خشک کردن، با کمترین آسیب به ترکیب شیمیایی و عناصر مغذی موجود در پودر استخوان، انتخاب شود.

۲. مواد و روش کار

۲.۱. تهیه و آماده سازی ضایعات استخوانی

به منظور تهیه پودر استخوان ماهی، ابتدا اقدام به تهیه ضایعات استخوانی از کارخانه تولید کنسرو ماهی تن پارس کادوس واقع در جاده انزلی به رضوانشهر شد. گونه ماهی استفاده شده، ماهی تن زردباله یا گیدر (*Thunuus albacares*) بود و وزن لاشه‌ها، بین ۹ تا ۵۰ کیلوگرم متغیر بود. ضایعات استخوانی حاصل از فرآوری این ماهیان، همراه با تکه‌های یخ (نسبت استخوان به یخ ۱ به ۳)، درون کیسه‌های پلی اتیلن قرار گرفت و در همان روز به آزمایشگاه فرآوری دانشکده منابع طبیعی دانشگاه گیلان منتقل شد و تا زمان استفاده، در دمای فریزر ۱۸- درجه سانتی‌گراد نگهداری شد. مراحل آماده سازی در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد و pH ثابت و کنترل شده با مقدار ۷/۲ انجام شد (Nagai *et al.*, 2000).

جهت تهیه پودر استخوان خالص، ابتدا اقدام به حذف اضافات گوشت از روی تکه‌های استخوانی شد و بلافاصله قبل از استفاده از ضایعات استخوانی، به منظور حذف کامل گوشت، بافت چربی و بافت پیوندی از استخوان و جلوگیری از حذف املاح و حفظ پروتئین‌های کلاژنی، اقدام به غوطه‌وری تکه‌های استخوانی در محلول آنزیمی تریپسین (Merck) شد. بدین صورت که در دمای محیط، محلولی آنزیمی با غلظت ۱ درصد ساخته و pH محلول را روی ۶/۹ ثابت نگه داشته و تکه‌های استخوان به مدت ۳ ساعت در محلول غوطه‌ور شدند (Malde *et al.*, 2010b). پس از این مرحله، رطوبت سطحی استخوان‌های جدا شده، در جریان هوای آزاد و نور غیر مستقیم خورشید حذف شد.

۲.۲. خشک کردن استخوان‌ها

استخوان‌های آماده شده در مرحله قبل، جهت

اعمال روش‌های مختلف خشک کردن به ۳ تیمار تقسیم شدند. در تیمار اول، تکه‌های استخوانی با استفاده از دستگاه خشک‌کن انجمادی(Alpha 1-2 LDplus, Martin Christ, Germany) ، به مدت ۷۲ ساعت به صورت کامل خشک شدند (Malde *et al*., 2010b). در تیمار دوم استخوان‌ها به مدت ۲ ساعت در دستگاه آون (PID Circulator OVEN, Model SHFH 100, SHIMAZ Co., Iran) دارای جریان هوای گرم ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفت و خشک شدند (Nemati *et al*., 2016). در تیمار سوم، نمونه‌های استخوانی به مدت ۴ روز در معرض جریان هوای آزاد و نور مستقیم خورشید قرار گرفت و خشک شدند. در انتها استخوان‌ها توسط دستگاه خردکن به قطعات کوچکتر تقسیم شد و با استفاده از آسیاب صنعتی پودر شدند.

۳.۲. تجزیه بیوشیمیایی پوداستخوان

تجزیه بیو شیمیایی تقریبی تیمارها بر اساس روش استاندارد به صورت زیر انجام شد. بر این اساس، درصد رطوبت بر اساس خشک کردن نمونه در دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد آون و وزن نمونه خشک شده محاسبه شد (AOAC, 2005). میزان چربی کل به روش سوکسله و استفاده از حلال بدست آمد (AOAC, 2005) ، درصد پروتئین خام به روش دوماس محاسبه شد (Rutherford *et al*., 2008). مقدار خاکستر نمونه نیز بر اساس از بین بردن مواد آلی به وسیله کوره الکتریکی در دمای ۵۵۰ درجه سانتی‌گراد تعیین شد (AOAC, 2005). سپس پودر استخوان جهت انجام آزمایش‌های تکمیلی به آزمایشگاه مرکزی دامپزشکی منتقل شد. تجزیه مواد معدنی (فسفر، کلسیم و منیزیم) با استفاده از روش کوره الکتریکی جهت تهیه خاکستر و دستگاه اسپکتروفتومتر جذب اتمی برای سنجش کلسیم و منیزیم (Martinez-Valverde *et al*., 2000) و دستگاه اسپکتوفترومتر مرئی فرابنفش جهت سنجش فسفر انجام شد (AOAC, 2005).

۴.۲. تجزیه و تحلیل آماری داده ها

جهت تجزیه و تحلیل آماری داده ها از نرم‌افزار SPSS ویرایش ۲۵ استفاده شد. جهت بررسی نرمال بودن داده‌ها، از آزمون کولموگراف- اسمیرنوف استفاده شد. جهت مقایسه داده‌ها بین تیمارها، از آنالیز واریانس یک طرفه (One-Way ANOVA)، و برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون دانکن (در سطح ۵ درصد) استفاده شد. برای رسم نمودارها از نرم‌افزار Excel 2010 استفاده گردید. تمامی آزمایش‌ها، دارای حداقل سه تکرار بودند.

۳. نتایج

۱,۳.تجزیه بیوشیمایی پودر استخوان

تجزیه بیو شیمیایی پودر استخوان ماهی تون زرد باله خشک شده با سه روش مذکور در جدول ۱ ارائه شده است. بر این اساس، بالاترین میزان پروتئین خام و خاکستر و پایین‌ترین میزان رطوبت، مربوط به استخوان‌های خشک شده با فریز درایر است. پایین‌ترین میزان چربی کل را نیز، تیمار خشک شده با دستگاه فریز درایر داراست و در تمامی موارد غیر از چربی کل، با تیمارهای خشک شده با دستگاه آون و هوای آزاد، اختلاف معنی‌دار دارد (P<۰/۰۵). تیمارهای خشک شده در هوای آزاد و دستگاه آون، در هیچ یک از موارد، اختلاف معنی‌داری را نشان ندادند (P>۰/۰۵).

جدول ۱– **تجزیه بیو شیمیایی تیمارهای پودر استخوان ماهی تون زرد باله (درصد) (میانگین ± انحراف معیار، ۳ تکرار).**

تیمار	تیمار خشک شده با هوای آزاد	تیمار خشک شده با آون	تیمار خشک شده با فریز درایر
پروتئین خام	۲۹/۲۴±۰/۹۶^{b}	۲۹/۰۹±۰/۲۳^{b}	۳۱/۰۳±۰/۰۸^{a}
چربی کل	۰۷/۱۱±۰/۴۳^{a}	۰۶/۴۸±۰/۵۲^{a}	۰۴/۸۴±۰/۹۲^{a}
خاکستر	۴۵/۸۷±۰/۱۱^{b}	۴۶/۹۳±۱/۰۰^{b}	۴۹/۵۳±۰/۴۱^{a}
رطوبت	۰۴/۳۳±۰/۳۳^{a}	۰۳/۰۰±۰/۰۰^{a}	۰۲/۵۵±۰/۱۹^{b}

-حروف انگلیسی یکسان در بالای اعداد در هر ردیف نشان دهنده وجود عدم تفاوت معنی دار در بین تیمارها ست.

۲،۳.تجزیه عناصر معدنی اصلی (کلسیم، منیزیم و فسفر)

تجزیه عناصر معدنی اصلی پودر استخوان ماهی تون زرد باله خشک شده با سه روش مذکور در جدول ۲ ارائه شده است. بر این اساس، میزان کلسیم و منیزیم موجود در تیمار خشک شده با روش فریز درای، بیشتر از دو تیمار دیگر بود (P<۰/۰۵). طبق نتایج ثبت شده در جدول شماره ۲، میانگین مقدار فسفر موجود در تیمار خشک شده با دستگاه فریز درایر ۷/۶۲ درصد، تیمار خشک شده با دستگاه آون ۷/۳۱ در صد و تیمار خشک شده در هوای آزاد ۷/۶۳ بود که علی‌رقم بالاتر بودن مقدار فسفر نمونه خشک شده در هوای آزاد، اختلاف معنی داری بین تیمارها مشاهده نشد (P>۰/۰۵).

جدول ۲- تجزیه عناصر معدنی (کلسیم، منیزیم و فسفر) تیمارهای پودر استخوان ماهی تون زرد باله (درصد) (میانگین ± انحراف معیار، ۳ تکرار).

تیمار	تیمار خشک شده با هوای آزاد	تیمار خشک شده با آون	تیمار خشک شده با فریز درایر
کلسیم	۱۹/۳۱±۰/۰۵^{b}	۱۸/۳۸±۰/۰۱^{c}	۲۰/۸۷±۰/۰۲^{a}
منیزیم	۰/۲۶±۰/۰۱^{c}	۰/۲۸±۰/۰۱^{b}	۰/۳۴±۰/۰۱^{a}
فسفر	۷/۶۳±۰/۰۳^{a}	۷/۳۱±۰/۰۲^{b}	۰۷/۶۲±۰/۰۶^{a}

-حروف انگلیسی یکسان در بالای اعداد در هر ردیف نشان دهنده وجود عدم تفاوت معنی دار در بین تیمارها ست.

۳،۲ تجزیه عناصر معدنی اصلی (کلسیم، منیزیم و فسفر)

تجزیه عناصر معدنی اصلی پودر استخوان ماهی تون زرد باله خشک شده با سه روش مذکور در جدول ۲ ارائه شده است. بر این اساس، میزان کلسیم و منیزیم موجود در تیمار خشک شده با روش فریز درای، بیشتر از دو تیمار دیگر بود (P<۰/۰۵). طبق نتایج ثبت شده در جدول شماره ۲، میانگین مقدار فسفر موجود در تیمار خشک شده با دستگاه فریز درایر ۷/۶۲ درصد، تیمار خشک شده با دستگاه آون ۷/۳۱ در صد و تیمار خشک شده در هوای آزاد ۷/۶۳ است که علی‌رقم بالاتر بودن مقدار فسفر نمونه خشک شده در هوای آزاد، اختلاف معنی داری بین تیمارها مشاهده نشد (P>۰/۰۵).

۴. بحث

عناصری چون کلسیم، منیزیم و فسفر جزو مواد معدنی ضروری و پر مصرف بدن انسان و حیوانات اند و کمبود آنها، به ویژه در دوران شیردهی پستانداران و حیوانات جوان در حال رشد، موجب آسیب ها و نارسایی‌های شدید در آنها می‌شود (Williams, 1989). نتایج حاصل از تحقیقات نشان داده است که استخوان‌های ماهی تون، سرشار از کلسیم و سایر عناصر معدنی مغذی است و دارای فرآهمی زیستی بسیار بالایی بوده و جهت تهیه مکمل‌های کلسیمی و مصرف در غذای انسان و حیوانات مناسب است (Malde *et al.*, 2010a). در تحقیق حاضر، ضایعات استخوانی ماهی تون خشک شده با استفاده از روش فریز درای، دارای مواد مغذی بیشتری نسبت به روش‌های دیگر بود. اختلاف معنی‌دار در مقدار پروتئین خام تیمار خشک شده با روش فریز درای و دو روش دیگر، نشان از تاثیر دمای بالا و نور خورشید در تغییرترکیب پروتئین موجود در استخوان ماهی دارد (Doe, 1998). استفاده از خشک کردن در هوای آزاد و نور خورشید، به علت تمرکز بر کاهش میزان آب، موجب کاهش یا توقف فعالیت میکرو ارگانیسم‌ها می‌شود (Farid *et al.*, 2014)، اما به دلیل سرعت پایین خشک شدن و تماس مستقیم و طولانی مدت با نور آفتاب و اکسیژن، تاثیرات منفی بر محتوای پروتئین گذاشته و

موجب اکسیداسیون سریع‌تر اسیدهای چرب غیر اشباع (به ویژه امگا-۶)، تخریب ویتامین‌ها و از دست رفتن عطر و طعم و رنگ محصول می شود(Smida *et al*., 2014). کاهش حلالیت ناشی از تجمیع و تغلیظ پروتئین، که به طور عمده به وسیله تشکیل پیوندهای دی‌سولفیدی، همانند پیوندهای ایزوپپتیدی به وجود می‌آیند، از اثرات عمده این تاثیرات است (Thippeswamy *et al*., 2001). در پژوهشی، با در نظر گرفتن نیتروژن موجود در استخوان به عنوان منبع پروتئینی آن، تاثیر دو عامل دما و میزان آب موجود در استخوان در تجزیه منابع پروتئینی آن را مورد بررسی قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که افزایش میزان دما و آب موجود در بافت استخوانی موجب تسریع در تجزیه نیتروژن موجود در آن می‌شود (Ortner *et al*., 1972). با در نظر گرفتن پژوهش فوق، می‌توان علت بالاتر بودن پروتئین خام نمونه‌های استخوانی خشک شده به روش فریز درای را، عملکرد بهتر فرآیند خشک شدن در دمای پایین و در زمانی کوتاه متصور بود. محتوای پروتئین بالاتر تیمار خشک شده با دستگاه فریز درای که عمده آن شامل اسیدهای آمینه موجود در کلاژن مثل گلیسین، لوسین، پرولین، هیدروکسی پرولین و لیزین است، علاوه بر تامین برخی از نیازهای انسان و حیوانات به منابع پروتئینی، موجب افزایش هضم و جذب عناصر معدنی پودر استخوان خواهد شد و فرآهمی زیستی آن را نیز افزایش می‌دهد (Suntornsaratoon *et al*., 2014; Thammayon *et al*., 2017). چربی موجود در گوشت ماهی، سرشار از اسیدهای چرب امگا-۳ است که این حقیقت را می‌توان برای چربی موجود در استخوان‌های ماهی نیز متصور بود (Mumthaz *et al*., 2010). هیچ نوع اختلاف معنی داری در سطح چربی کل تیمارهای مورد آزمون مشاهده نشد. علت مقدار کمتر چربی موجود در تیمار خشک شده با فریز درای را می‌توان به خروج چربی از تکه‌های استخوانی، به صورت قطرات روغن در شرایط خلاء دستگاه فریز درایر به دلیل تفاوت مقدار آب موجود در چربی موجود در استخوان با سایر قسمت‌ها و آب شدن چربی موجود در استخوان نسبت داد (Harguindeguy and Fissore, 2020). با این حال، محتوای بالای چربی موجود در استخوان های ماهی، موجب حساسیت آن به فساد اکسیداتیو می شود که با توجه به اهمیت بالاتر عناصر معدنی در این محصول، کاهش آن در پودر استخوان ارزشمندتر است (Je *et al*., 2007). با این حال، میزان اسیدهای چرب تک غیر اشباع (MUFA) استخوان های ماهی تون و میزان EPA و DHA موجود در آن، علی‌رقم پایین‌تر بودن نسبت به فیله این ماهی، در صد بالایی را در میان سایر اسیدهای چرب موجود در آن به خود اختصاص می‌دهد (Moreira *et al*., 2001; Stevanato *et al*., 2008; Nemati *et al*., 2017). استفاده از روش فریز دراییینگ در خشک کردن ضایعات استخوانی، به دلیل سرعت بالا، دمای پایین و عدم تماس با اکسیژن و نور به مدت طولانی، روند اکسیداسیون چربی موجود در محصول را در طی فرآیند خشک کردن کند می‌کند (Ma *et al*., 2018). مقدار بالاتر خاکستر و پایین‌تر رطوبت تیمارهای خشک شده با روش فریز درای و اختلاف معنی‌دار آن با دو تیمار دیگر، نشان از خشک شدن بهتر استخوان‌ها با استفاده از روش فریز درای دارد.

در مجموع، ۶۰ تا ۷۰ درصد ترکیبات تشکیل دهنده استخوان ماهی را مواد غیر آلی تشکیل می‌دهد که قسمت عمده آن هیدروکسی آپاتیت به شکل متبلور فسفات کلسیم است (Nagai *et al*., 2004). استخوان ماهی تون دارای نسبت بسیار مناسب کلسیم به فسفر (بین ۲/۵ تا ۲/۷ به ۱) بوده و سرشار از دی‌کلسیم فسفات می‌باشد که ارزش استفاده از آن را به عنوان یک مکمل غذایی، افزایش می‌دهد (Chatterjee and Shinde 1995; Sultanbawa and Aksnes 2006). بر اساس تحقیقات Zhang و همکاران (2016) روی استخوان ماهی، اعمال تیمارهای حرارتی روی استخوان ماهی، موجب خارج شدن بافت استخوانی از حالت متراکم، به فرمی متخلخل می‌شود که در نتیجه سست شدن پیوند مستحکم بین فاز آلی (پروتئین کلاژن) و فاز معدنی (هیدروکسی آپاتیت) بافت استخوانی است. این امر به دلیل شکسته شدن پیوندهای هیدروژنی پروتئین کلاژن موجود در بافت استخوان ماهی و باز شدن ساختار مارپیچ سه‌گانه کلاژن (Arnoczky and Aksan, 2000) و همچنین ایجاد مزاحمت بیشتر در ترکیب و آرایش مواد معدنی و مواد آلی ماتریس استخوانی است (Shimp, 2008). فرآیند فوق موجب جدا شدن راحت‌تر بخشی از عناصر معدنی، به ویژه کلسیم از بافت استخوانی می شود. نتایج حاصل از تجزیه عناصر معدنی استخوان ماهی تون زرد باله نشان

دهنده اختلاف معنی‌دار مقدار کلسیم، منیزیم و فسفر موجود در هر یک از تیمارها است که در تیمار خشک شده با فریز دارای، دارای مقادیر بیشتری از این عناصر دیده شد. علت بالاتر بودن مقدار کلسیم و فسفر موجود در تیمار خشک شده با روش فریز درای را می‌توان در خروج بیشتر آب و چربی از ضایعات استخوانی در طول فرآیند خشک کردن نیز جستجو کرد که نسبتی عکس با میزان عناصر معدنی در استخوان دارد (Talib and Zailanie, 2017; Nawaz *et al*., 2020). بررسی ظاهری و مقایسه تیمارها با یکدیگر، حاکی از روشن و شفاف‌تر بودن رنگ پودر استخوان خشک شده با روش فریز درای بود که نشان از بالاتر بودن غلظت عناصر معدنی در آن به دلیل خروج چربی و روغن از بافت استخوانی در دستگاه فریز درایر است. این بررسی با یافته‌های ژانگ و همکاران (Zhang *et al*., 2016) و ناواز و همکاران (Nawaz *et al*., 2020) مطابقت دارد. مقایسه نتایج تجزیه مقدار عناصر معدنی اصلی (کلسیم، منیزیم و فسفر) تیمارهای مورد آزمون در جدول۲ نشان داده شده است. باید در نظر داشت که تخلخل حاصل از اعمال تیمار حرارتی در بافت استخوان ماهی، موجب دستیابی به ذرات استخوانی بسیار کوچک در فرآیند آسیاب کردن استخوان می شود (Yin *et al*., 2015). از آنجا که اندازه ذرات، به طور واضح بر انتشار و انحلال آنها تاثیر می‌گذارد (Al-Rabadi *et al*., 2009; Mosharraf and Nystrom, 1995; Wang *et al*., 2006)، استخوان‌های ماهی تیمار شده با حرارت بالا می‌تواند میزان فراهمی زیستی کلسیم و فسفر موجود در استخوان‌های ماهی را افزایش دهد.

نتیجه گیری کلی

در تحقیق حاضر اقدام به خشک کردن ضایعات استخوانی ماهی تون زرد باله با سه روش هوای آزاد، جریان هوای گرم و فریز درای شد. سپس تجزیه مواد مغذی و عناصر معدنی اصلی (کلسیم، منیزیم و فسفر) تیمارها ارزیابی و مقایسه شد. نتایج بدست آمده نشان از غنای بالای استخوان ماهی از پروتئین، چربی و عناصر معدنی بود. نسبت بسیار مناسب کلسیم به فسفر، وجود ترکیبات آنتی اکسیدانی و فراهمی زیستی بالای این محصول، موجب ارزش بالقوه آن در تولید مکمل‌های معدنی و غنی سازی مواد غذایی انسان و حیوانات است. استفاده از روش فریز درای برای خشک کردن استخوان، موجب بهره‌مندی حداکثری از مواد مغذی موجود در استخوان‌های ماهی و آسیب حداقلی به پروتئین‌های موجود در آن شد. نشان داده شد که اعمال فرآیند حرارتی روی استخوان‌ها، علی‌رقم آسیب کمی به پروتئین و چربی موجود در استخوان، فراهمی زیستی عناصر معدنی به ویژه کلسیم و فسفر را افزایش داد و موجب بهبود عملکرد دریافت این عناصر از این محصول شد.

تشکر و قدردانی

نویسندگان از کارکنان بخش شیلات دانشگاه گیلان و اساتید محترم جهت تامین مالی و همکاری و ارائه امکانات لازم تشکر می‌کنند.

۵. منابع

References

Alltech, 2019. Global feed survey. Available from https://www.alltech.com/feed-survey. Accessed 20th Novomber 2019.

Al-Rabadi, G.J., Gilbert, R.G., Gidley, M.J., 2009. Effect of particle size on kinetics of starch digestion in milled barley and sorghum grains by porcine alpha-amylase. *Journal of Cereal Science* 50(2), 198-204.

AOAC, 2005. Official Methods of Analysis of AOAC International (18th edition.), MD, Gaithersburg, USA Association of Official Analytical Chemistry.

Arnoczky, S.P., Aksan, A., 2000. Thermal modification of connective tissues: basic science considerations and clinical implications. *JAAOS-Journal of the American Academy of*

Orthopaedic Surgeons 8(5), 305-313.

Aronov, D., Karlov, A., Rosenman, G., 2007. Hydroxyapatite Nanoceramics: Basic physical properties and biointerface modification. *Journal of the European Ceramic Society* 27(13-15), 4181-4186.

Barakat, N.A., Khalil, K.A., Sheikh, F.A., Omran, A.M., Gaihre, B., Khil, S.M., Kim, H.Y., 2008. Physiochemical characterizations of hydroxyapatite extracted from bovine bones by three different methods: extraction of biologically desirable HAp. *Materials Science and Engineering*: *C* 28(8), 1381-1387.

Benjakul, S., Karnjanapratum, S., 2018. Characteristics and nutritional value of whole wheat cracker fortified with tuna bone bio-calcium powder. *Food chemistry* 259, 181-187.

Chatterjee, M.N., Shinde, R., 1995. Text Book of Medical Biochemistry (8th edition). Jaypee Brothers Medical Publishers, New Delhi, 876 p.

Doe, P.E. ed., 1998. Fish drying and smoking: Production and quality, CRC Press, New York, 258 p.

Farid, F.B., Latifa, G.A., Nahid, M.N. and Begum, M., 2014. Effects of Sun–drying on proximate composition and pH of Shoal fish (*C. striatus*; Bloch, 1801) treated with Salt and Salt–turmeric storage at Room Temperature (27° C–30° C). *Journal of Agriculture and Veterinary Science* 7(9), pp.1-8.

Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO)., 2011. Global food losses and food waste Extent, causes and prevention, Rome, 38 p.

Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO)., 2017. The future of food and agriculture Trends and challenges, Annual Report, Rome, 163 p.

Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO)., 2018. FAO Yearbook. Fishery and Aquaculture Statistics 2016, Rome, 104 p.

Guerouali, A., Zahar, M., Benkerroum, N., 1995. Preparation and utilization of fish silage as feed supplement for ruminants. *In Annales de zootechnie* 44(1), 102-102.

Harguindeguy, M., Fissore, D., 2020. On the effects of freeze-drying processes on the nutritional properties of foodstuff: A review. *Drying Technology*, 38(7), 846-868.

Hemung, B.O., Yongsawatdigul, J., Chin, K.B., Limphirat, W., Siritapetawee, J., 2018. Silver carp bone powder as natural calcium for fish sausage. *Journal of aquatic food product technology* 27(3), 305-315.

Herpandi, N.H., Rosma, A., Wan Nadiah, W.A., 2011. The tuna fishing industry: a new outlook on fish protein hydrolysates. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety* 10(4), 195-207.

Je, J.Y., Qian, Z.J., Byun, H.G. and Kim, S.K., 2007. Purification and characterization of an antioxidant peptide obtained from tuna backbone protein by enzymatic hydrolysis. *Process Biochemistry* 42(5, 840-846.

Kompiang, I.P., Creswell, D.C., 1980. Fish silage in diets for broiler chicken. In: First Asian-Australian Animal Congress, September 2-5, Serdang, Selangor, Malaysia, pp.7-10.

Li, W., Liu, Y., Jiang, W., Yan, X., 2019. Proximate composition and nutritional profile of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) heads and skipjack tuna (*Katsuwonus pelamis*) heads. *Molecules* 24(17), 1420-3049.

Luu, P. H., Nguyen, M. H., 2009. Recovery and utilization of calcium from fish bones by-products as a rich calcium source. *Journal of Science and Technology-Vietnam Academic of Science and Technology* 47(6), 91 103.

Ma, Y., Wu, X., Zhang, Q., Giovanni, V., Meng, X., 2018. Key composition optimization of meat processed protein source by vacuum freeze-drying technology. *Saudi journal of biological sciences* 25(4), 724-732.

Malde, M.K., Bugel, S., Kristensen, M., Malde, K., Graff, I.E., Pedersen, J.I., 2010a. Calcium from salmon and cod bone is well absorbed in young healthy men: a double-blinded randomized crossover design. *Nutrition and metabolism* 7(1), 1-9.

Malde, M.K., Graff, I.E., Siljander-Rasi, H., Venalainen, E., Julshamn, K., Pedersen, J.I., Valaja, J., 2010b. Fish bones–a highly available calcium source for growing pigs. *Journal of animal physiology and animal nutrition* 94(5), 66-76.

Martínez-Valverde, I., Periago, M.J., Santaella, M., Ros, G., 2000. The content and nutritional significance of minerals on fish flesh in the presence and absence of bone. *Food Chemistry* 71(4), 503-509.

Moreira, A. B., Visentainer, J. V., De Souza, N. E., Matsushita, M., 2001. Fatty acids profile and cholesterol contents of three Brazilian Brycon freshwater fishes. *Journal of food composition and analysis* 14(6), 565-574.

Mosharraf, M., Nyström, C., 1995. The effect of particle size and shape on the surface specific dissolution rate of microsized practically insoluble drugs. *International journal of pharmaceutics* 122(1-2), 35-47.

Mumthaz, V.R., Yathavamoorthi, R., Thomas, A., James, R., Gopal, T.K.S., 2010. A comparative evaluation of the biochemical composition of three tuna species. In: Coastal Fishery Resources of India, Society of Fisheries Technologists, India, Cochin, pp.742-753.

Nagai, T., Suzuki, N., 2000. Isolation of collagen from fish waste material-skin, bone and fins. *Food*

Chemistry 68(3), 277-281.

Nagai, T., Izumi, M., Ishii, M., 2004. Fish scale collagen. Preparation and partial characterization. *International journal of food science and technology* 39(3), 239-244.

Nawaz, A., Li, E., Irshad, S., Hammad, H. H. M., Liu, J., Shahbaz, H. M., Ahmed, W., Regenstein, J. M., 2020. Improved effect of autoclave processing on size reduction, chemical structure, nutritional, mechanical and in vitro digestibility properties of fish bone powder. *Advanced Powder Technology* 31(6), 2513-2520.

Nemati, M., Huda, N., Ariffin, F., 2017. Development of calcium supplement from fish bone wastes of yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) and characterization of nutritional quality. *International Food Research Journal* 24(6), 2419-2426.

Nemati, M., Kamilah, H., Huda, N., Ariffin, F., 2016. In vitro calcium availability in bakery products fortified with tuna bone powder as a natural calcium source. *International journal of food sciences and nutrition* 67(5), 535-540.

Olsen, R.L., Toppe, J., Karunasagar, I., 2014. Challenges and realistic opportunities in the use of by-products from processing of fish and shellfish. *Trends in Food Science and Technology* 36(2), 144-151.

Ortner, D. J., Von Endt, D. W., Robinson, M. S., 1972. The Effect of Temperature on Protein Decay in Bone: It's Significance in Nitrogen Dating of Archaeological Specimens. *American Antiquity* 37(4), 514-520.

Park, J.S., Huh, J.S., Kim, H.S., 2000. Sintering properties of hydroxyapatite derived from tuna bone. *Journal of the Korean Ceramic Society* 37(12), 1131-1134.

Randone, M., Di Carlo, G., Costantini, M., Tzanetti, T., Haferkamp, D., Portafaix, A., Smits, M., Antoniades, V., Kachaner, N., Osborne, A., Chaudhry, T., 2017. Reviving the economy of the Mediterranean Sea: actions for a sustainable future. WWF Mediterranean Marine Initiative, Rome, Italy.

Rutherford, P.M., McGill, W.B., Arocena, J.M., Figueiredo, C.T., 2008. Total nitrogen. Soil sampling and methods of analysis, 2, pp.239-250.

Sayana, K.S., Sirajudheen, T.K., 2017. By-products from Tuna processing wastes an economic approach to coastal waste management. In: Proceedings of the International Seminar on Coastal Biodiversity Assessment, pp.411-420.

Seas at Risk 2014. Available from https://seas-at risk.org/images/pdf/archive/ 2014/Joint_NGO_position_paper_-_aquaculture_-_FINAL_ 15_August_2014.pdf, Accessed 11th December 2019.

Seo, D.S., Kim, Y.G., Hwang, K.H., Lee, J.K., 2008. Preparation of hydroxyapatite powder derived from tuna bone and its sintering property. *Journal of the Korean Ceramic Society* 45(10), 594-599.

Shimp, L., 2008. Heat resistance of allograft tissue. Cell and tissue banking, 9(4), pp.259-266.

Smida, M.A.B., Bolje, A., Ouerhani, A., Barhoumi, M., Mejri, H. and Fehri-Bedoui, R., 2014. Effects of Drying on the Biochemical Composition of *Atherina boyeri* from the Tunisian Coast. Food and Nutrition Sciences 5(14), 1399 p.

Stevanato, F. B., Almeida, V. V., Matsushita, M., Oliveira, C. C., Souza, N. E., Visentainer, J. V., 2008. Fatty acids and nutrients in the flour made from tilapia (*Oreochromis niloticus*) heads. *Food Science and Technology* 28(2), 440-443.

Stone, R., 2007. A business manual on value added products from tuna and tuna by-catch, Development of tuna fisheries in the Pacific ACP countries (DEVFISH) project, 19 p.

Sultanbawa, Y., Aksnes, A., 2006. Tuna process waste-an unexploited resource. Infofish international, 3, 37 p.

Suntornsaratoon, P., Kraidith, K., Teerapornpuntakit, J., Dorkkam, N., Wongdee, K., Krishnamra, N., Charoenphandhu, N., 2014. Pre-suckling calcium supplementation effectively prevents lactation-induced osteopenia in rats. *American Journal of Physiology-Endocrinology and Metabolism* 306(2), E177-E188.

Talib, A., Zailanie, K., 2017. Extraction and purification of yellowfin tuna fishbone flour as an ingredient of future traditional medicine. *Internasional Journal of Pharmacy* 7(11), 08-14.

Thammayon, N., Wongdee, K., Lertsuwan, K., Suntornsaratoon, P., Thongbunchoo, J., Krishnamra, N., Charoenphandhu, N., 2017. Na+/H+ exchanger 3 inhibitor diminishes the amino-acid-enhanced transepithelial calcium transport across the rat duodenum. *Amino acids* 49(4), 725-734.

Thankappan, T.K., George, C., Nair, K.G.R., 1998. Utilization of tuna and tuna waste, Technological Advancements in Fisheries, pp.329-333.

Thippeswamy, S., Ammu, K., Joseph, J., 2001. Changes in Protein during Drying of Milk Fish (*Chanos chanos*) at 60^{o}C, *Fish Technol* 38(2), 97-101.

Wang, Q., Ellis, P.R., Ross-Murphy, S.B., 2006. Dissolution kinetics of guar gum powders-III. Effect of particle size. *Carbohydrate Polymers* 64(2), 239-246.

Williams, S.R., Schlenker, E.D., 1989. Essentials of Nutrition and Diet Therapy (7th Edition), St Louis, Mosby, 729 p.

Yin, T., Park, J.W., Xiong, S., 2015. Physicochemical properties of nano fish bone prepared by wet

media milling. *LWT-Food Science and Technology* 64(1), 367-373.

Yoon, G.A., Kim, Y.M., Chi, G.Y., Hwang, H.J., 2005. Effects of tuna bone and herbal extract on bone metabolism in ovariectomized rats. *Nutrition research* 25(11), 1013-1019.

Zhang, J., Yin, T., Xiong, S., Li, Y., Ikram, U., Liu, R., 2016. Thermal treatments affect breakage kinetics and calcium release of fish bone particles during high-energy wet ball milling. *Journal of Food Engineering* 183, 74-80.