



بررسی ترکیب شیمیایی و محتوای اسیدهای چرب فیله کپور نقره‌ای (*Hypophthalmichthys molitrix*) پس از سرخ کردن سریع، نگهداری به صورت منجمد و سرخ کردن نهایی

خدیدجه نورزائی^۱، اسحق زکی پور رحیم آبادی^{۲*}، ابراهیم علیزاده دوغیکلانی^۳

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه فرآوری محصولات شیلاتی، دانشگاه زابل، زابل، ایران

۲- دانشیار، گروه شیلات، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه زابل، زابل، ایران

۳- دانشیار، گروه شیلات، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه گیلان، صومعه سرا، ایران

۴- دانشیار، گروه شیلات، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه زابل، زابل، ایران

دریافت: ۱۳۹۳/۰۹/۱۰ پذیرش: ۱۳۹۴/۰۸/۱۶

*نویسنده مسئول: e_zakipour@yahoo.com

چکیده:

تغییر در ترکیب اسید چرب فیله کپورنقره‌ای با روکش خوراکی و بدون روکش پس از سرخ کردن سریع، نگهداری به صورت منجمد و سرخ کردن نهایی بررسی شد. فیله‌ها پس از فرایند سرخ کردن سریع به مدت ۳۰ ثانیه، سرد و بسته‌بندی شده و پس از انجماد به مدت سه ماه در فریزر نگهداری شده و سپس مجدداً تحت تیمار سرخ کردن نهایی قرار گرفتند. نتایج نشان داد که سرخ کردن سریع و نهایی باعث افزایش میزان چربی کل آنها شده، به طوری که محتوای چربی نمونه‌های خام در روز صفر (۵/۰۷ درصد) به ترتیب به ۱/۹۷ ± ۹/۵۲ و ۲/۸۰ ± ۷/۵۴ درصد پس از سرخ کردن سریع و به ۰/۷۰ ± ۹/۳۳ و ۰/۲۴ ± ۹/۳۹ درصد پس از سرخ کردن نهایی در نمونه‌های بدون روکش و با روکش تغییر یافت. محتوای رطوبت نمونه‌ها پس از سرخ کردن کاهش و بعد از نگهداری به مدت ۳ ماه در فریزر افزایش نشان داد ($p < 0.05$). تعداد ۲۶ نوع اسید چرب از انواع اشباع و غیراشباع در نمونه‌ها شناسایی گردید. نسبت اسیدهای چرب امگا-۳ به امگا-۶ در نمونه‌های شاهد ۳/۳۷ بود. این نسبت در تیمار بدون روکش و روکش دار پس از سرخ کردن سریع به ترتیب ۰/۸۲ و ۰/۶۵ بود و در روز ۹۰ پس از سرخ کردن نهایی به ۰/۶۶ و ۰/۲۸ کاهش یافت. شاخص‌های آتروجنیک (AI) و تروموجنیک (TI) در

روز ۹۰ پس از سرخ کردن نهایی به ترتیب در تیمار بدون روکش و تیمار روکش دار، ۰/۶۰، ۰/۵۳ و ۰/۵۷، ۰/۶۹ بود.

کلید واژگان: فیله ماهی، روکش خوراکی، پروفایل اسید چرب، سرخ کردن سریع، نگهداری به صورت منجمد.

مقدمه

افزایش بی وقفه جمعیت جهانی، نیاز روزافزون به تولید و نگهداری مواد غذایی را به دنبال داشته و موجبات رشد و توسعه فناوری فرآورده های غذایی به ویژه محصولات شیلاتی را فراهم کرده است. علاوه بر موضوع تهیه غذا، فراهم آوردن غذای سالم نیز باید مدنظر باشد. امروزه ماهی از جمله مواد غذایی شناخته شده ای است که اثرهای پیشگیری و درمان آن بر بیماری ها مختلف مورد تأیید دانشمندان قرار گرفته است و متخصصان علوم تغذیه نسبت به تأمین و قرار دادن آن در سبد غذایی خانوار توصیه می کنند (Moradi and Safi Yari, 2005). ماهیان حاوی مقادیر زیادی از ترکیبات مغذی، ویتامین های محلول در چربی (اساساً A و D)، املاح معدنی نظیر I, Fe, Ca, Cu, Zn و به ویژه اسیدهای چرب چند غیراشباع بلند زنجیره می باشند (Perez-Alonso et al., 2003). چربی ماهیان منبع مهمی از اسیدهای چرب ضروری به ویژه اسیدهای چرب بلند زنجیره چند غیراشباعی از خانواده امگا-۳ (EPA^۱ and DHA^۲) را فراهم می کنند (Haliloglu et al., 2004). از جمله اثرهای مثبت اسیدهای چرب ضروری خانواده امگا-۳ می توان به کاهش فشار خون (Tükkän et al., 2008; Gladyshev et al., 2006)، کمک به بهبود شرایط افراد دیابتی، علاج بیماری قلبی - عروقی^۳

و انواع سرطان ها، تنگی نفس و جلوگیری از مرگ در اثر حمله قلبی (Köse et al., 2001) اشاره کرد. محتوای چربی ماهی و پروفایل اسید چرب آن تحت تأثیر عوامل مختلف از جمله عمل آوری قرار دارد (Aubourg et al., 2002). اگرچه در بعضی از مناطق دنیا ماهی به صورت خام هم خورده می شود ولی روش مرسوم، طبخ ماهی و مصرف آن است. از حرارت برای پختن غذا، افزایش طعم و مزه، غیر فعال کردن میکروارگانیسم های بیماری زا و افزایش زمان نگهداری محصول استفاده می کنند (Bongar, 1998). در زمان نگهداری محصول منجمد، هیدرولیز و اکسیداسیون چربی ماهی اتفاق می افتد که بر ماندگاری و پذیرش آن برای مصرف مؤثر است (Aubourg et al., 2002). در فرایند پخت ماهی، واکنش ها و تغییرات فیزیوشیمیایی رخ می دهد، که نوع و میزان آن بستگی به شیوه پخت و محتوای چربی فیله خام دارد (García-Arias et al., 2003; Gall et al., 1983). برخی از تغییرات در خلال عمل آوری و آماده سازی غذاهای پخته شده به سبب اکسیداسیون چربی است، که باعث تغییراتی در کیفیت ماده غذایی می گردد (Shahidi., 1997; Jittrepotch et al., 2006). چربی نقش کلیدی در ایجاد طعم غذا در خلال عمل آوری از طریق هیدرولیز و اکسیداسیون دارد که این نقش نیز به میزان زیادی به ترکیب اسید چرب نمونه بستگی دارد (Gandemer, 2002). عوامل زیادی مانند کیفیت روغن، دما و مدت زمان سرخ کردن، ترکیب ماده غذایی (برای مثال

1. Eicosapentaenoic acid
2. Docosahexaenoic acid
3. Cardiovascular

اما روش سرخ کردن کاهش ناپیزی را در محتوای اسیدهای چرب نشان داد. Bakar و همکاران (2008)، ویژگی‌های چربی فیله ماهی قباد (*Scomberomorus guttatus*) اقیانوس هند را که با چهار روش مختلف پخت (کباب کردن، بخارپز کردن، سرخ کردن سطحی و مایکروویو)، پخته و طی دو روز در دمای ۵ درجه سانتی‌گراد نگهداری شده بود را پس از گرم کردن دوباره بررسی کردند. در روش سرخ کردن نسبت به سایر روش‌های پخت، نسبت PUFA/SFA تغییر بیشتری داشته و محتوای EPA در نمونه‌های سرخ شده و همچنین محتوای DHA در تمامی نمونه‌های پخته‌شده کاهش معناداری نشان داد ($p < 0.05$). نسبت n-6/n-3 در تمامی تیمارهای پخته و دوباره گرم شده، به جز نمونه سرخ شده تغییر یافت که قابل توجه نبود.

با وجود تحقیقات زیاد درباره تأثیرات سرخ کردن و نگهداری محصول سرخ شده در فریزر یا یخچال در برخی زمینه‌ها به‌ویژه تأثیر نگهداری بر پروفایل اسیدچرب محصول سرخ شده پیش از سرخ کردن نهایی، اطلاعات ناقص است. بنابراین در این تحقیق علاوه بر بررسی تأثیر روکش در جذب روغن و تغییرات پروفایل اسیدچرب به بررسی روند تغییرات در جریان تولید محصولات شیلاتی آماده مصرف، به‌ویژه در انتهای دوره نگهداری در فریزر و پس از سرخ کردن نهایی پرداخته خواهد شد.

مواد و روش‌ها

تهیه و تیمارها

۱۰ قطعه ماهی تازه کپور نقره‌ای (*H. molitrix*) با وزن متوسط ۱/۵ کیلوگرم از بازار ماهی‌فروشان شهرستان زابل خریداری و در جعبه‌های حاوی یخ به آزمایشگاه

محتوای رطوبت و مواد جامد آن، تخلخل، سطح و شکل ماده غذایی، تیمارهای پیش از سرخ کردن (مانند خشک کردن و آنزیم‌بری)، پوشش‌دهی ماده غذایی و اندازه ماده غذایی را در جذب روغن در ماده غذایی هنگام سرخ کردن عمیق مؤثر دانسته‌اند (Pinthus et al., 1995). برای تهیه غذا در مقیاس وسیع یا برای مکان‌هایی که امکان طبخ عادی غذا وجود ندارد از شیوه‌های مختلف تهیه غذا آماده نظیر شیوه پخت، انجماد و گرم کردن مجدد (CFR^1) استفاده می‌گردد. شیوه CFR، یک سیستم جایگزین برای آماده‌سازی غذا است که در فرایند تولید آن، ابتدا غذا با استفاده از شیوه سرخ کردن سریع (یا سایر روش‌های جایگزین) آماده و منجمد شده و کمی پیش از مصرف مجدد با استفاده از شیوه‌های مختلف (نظیر سرخ کردن نهایی) گرم می‌شود (Skjöldebrand et al., 1984).

García-Arias و همکاران در سال ۲۰۰۳ به بررسی اثر (CFR) بر ترکیبات اسید چرب فیله‌های ساردین با استفاده از سه روش متفاوت پخت (سرخ کردن، پخت در اجاق و کباب کردن) و نگهداری به‌صورت منجمد در دمای ۲۰- درجه سانتی‌گراد به مدت ۴ ماه و سپس استفاده از دو سیستم گرم کردن مجدد (سنتی و مایکروویو) پرداختند و دریافتند که سرخ کردن عمیق به‌طور معناداری ترکیب اسیدهای چرب فیله‌های ماهی ساردین را تغییر داد.

Gladyshev و همکاران در سال ۲۰۰۶، تأثیر روش‌های مختلف پخت را روی اسیدهای چرب غیراشباع ضروری در بافت ماهیچه‌ای آزاد ماهی هامپ‌بک (*Oncorhynchus gorbuscha*) مطالعه کردند. نتایج نشان داد که در تمامی روش‌های حرارتی به‌کار گرفته شده کاهش در محتوای EPA و DHA فیله آزاد ماهی هامپ‌بک مشاهده نگردید،

4. Cooking-freezing-reheat

فراوری محصولات شیلاتی دانشکده منابع طبیعی دانشگاه زابل منتقل گردید. پس از شستشو با آب شیر، تخلیه شکمی، جداکردن پوست و سر به صورت دستی و شستشوی مجدد با آب شیر، فیله‌های ۱۰۰ گرمی تهیه شدند. فیله‌های بدون روکش و روکش‌دار تهیه شدند. فیله‌ها با لعاب حاصل از آرد گندم (۳۰ درصد)، آرد ذرت (۱۰ درصد) و آب سرد (۴ درجه سانتی‌گراد) لعاب‌زنی و با استفاده از پودر سوخاری روکش‌دار شدند. نمونه‌ها پس از فرایند سرخ‌کردن سریع (flash fry) (Moreira et al., 1997) به مدت ۳۰ ثانیه در روغن سرخ‌کردنی کیمبال (شرکت آراین پخش پیشرو، ایران) با دمای ۱۸۰ درجه سانتی‌گراد، سرد شدن و جذب روغن اضافی (با قرار دادن فیله‌ها روی توری استیل در دمای اتاق)، در پاکت‌های پلاستیکی معمولی زیپ‌دار بسته‌بندی و در فریزر با دمای ۱۸- درجه سانتی‌گراد به مدت ۹۰ روز (سه ماه) به صورت منجمد نگهداری شدند. در انتهای دوره، فیله‌های منجمد پس از خروج از فریزر و قرار گرفتن در یخچال به مدت ۲۴ ساعت (۴ درجه سانتی‌گراد) به صورت عمیق در روغن سرخ‌کردنی کیمبال با دمای ۱۸۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۶-۵ دقیقه در سرخ‌کن (Aaura, Tefal, Iran) سرخ شدند (Moreira et al., 1997). نمونه‌های بدون روکش و روکش‌دار پیش از سرخ‌کردن (نمونه خام)، پس از سرخ‌کردن سریع، در انتهای دوره نگهداری (پس از انجمادزدایی) و پس از سرخ‌کردن نهایی مورد آزمایش‌های شیمیایی (پروتئین، چربی، رطوبت و خاکستر) قرار گرفته و پروفایل اسید چرب فیله تعیین شد.

آزمایش‌های شیمیایی

بررسی ترکیب شیمیایی پروتئین، چربی، رطوبت و خاکستر از روش (AOAC 2005) صورت پذیرفت.

استخراج و آنالیز اسید چرب

برای استخراج چربی به منظور بررسی پروفایل اسید چرب از حلال‌های کلروفرم و متانول از روش Bakar و همکاران (2008) و برای متیل استر کردن اسیدهای چرب از روش Metcalf و همکاران (1966) استفاده شد. در این روش، پس از اضافه کردن سود متانولی، استاندارد داخلی و هگزان به لوله آزمایش حاوی نمونه روغن، لوله آزمایش به مدت ۱۰ دقیقه در حمام آب جوش قرار می‌گیرد. سپس محلول بور تری فلورید متانولی به آن اضافه شده و مجدد در حمام آب جوش قرار گرفته و پس از خنک شدن هگزان و نمک طعام اشباع به آن اضافه شده و به شدت تکان داده شده و سپس بدون حرکت گذاشته شده تا محلول به دو فاز تقسیم شود. از فاز بالایی برای تزریق به دستگاه گاز کروماتوگراف استفاده می‌گردد.

بررسی پروفایل اسید چرب با استفاده از دستگاه گاز کروماتوگراف (Unicam-4600) انجام شد. برای این منظور از ستون نوع (30m×0.25 mm, Film tekness BPX7) استفاده گردید. دمای قسمت تزریق نمونه ۲۵۰ درجه سانتی‌گراد و دمای دتکتور ۲۸۰ درجه سانتی‌گراد بود. برنامه دمایی آون دستگاه به قرار زیر بوده است: دمای اولیه ۱۶۰ درجه برای مدت ۶ دقیقه، افزایش دما به ۱۸۰ درجه با نرخ ۲۰ درجه در دقیقه و حفظ دما به مدت ۹ دقیقه و سپس افزایش مجدد دما به ۲۰۰ درجه با نرخ ۲۰ درجه در دقیقه و حفظ دما برای مدت ۵ دقیقه. از گاز هلیوم به عنوان گاز حامل استفاده شد. مقدار ۰/۱ میکرولیتر نمونه به دستگاه تزریق گردید. برای شناسایی اسیدهای چرب از زمان نگهداری، اسیدهای

چرب استاندارد شناخته شده استفاده گردید. نرخ اسپلیت ۱۰ به ۱ بود. در بررسی پروفایل اسید چرب ماهیان، علاوه بر شاخص‌های معمول نظیر محتوای اسیدهای چرب اشباع، غیراشباع و نسبت‌های آنها، شاخص‌های C22:6/C16:0، Σ PUFA/ Σ SFA، آتروجنیک^۵ و ترمبوجنیک^۶ (Garaffo et al., 2011) بررسی گردید.

$$AI = (4 \times C14:0) + C16:0 + C18:0 / \Sigma MUFA + \Sigma n-6 PUFA + \Sigma n-3 PUFA$$

$$TI = C14:0 + C16:0 + C18:0 / (0.5 \times MUFA) + (0.5 \times n-6 PUFA) + (3 \times n-3 PUFA) + (n-3 PUFA / n-6 PUFA)$$

تجزیه و تحلیل آماری

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها در قالب طرح کاملاً تصادفی با استفاده از نرم‌افزار Minitab، نسخه ۱۳ انجام شد. به منظور بررسی وجود یا نبود اختلاف معنادار بین تیمارها و مقایسه میانگین‌ها از روش تجزیه واریانس یک‌طرفه (One Way ANOVA) و آزمون توکی در سطح ۵ درصد استفاده گردید.

نتایج و بحث

آزمایش‌های شیمیایی

تأثیر تیمارهای بدون روکش و روکش‌دار بر ترکیب

شیمیایی فیله کپور نقره‌ای

نتایج حاصل از تأثیر تیمارهای بدون روکش و روکش‌دار بر ترکیب شیمیایی فیله ماهی کپور نقره‌ای در جدول ۱ آورده شده است.

5. Atherogenic index

6. Thrombogenic index

جدول ۱ ترکیب شیمیایی تیمارهای شاهد، بدون روکش و روکش دار شده فیله ماهی کپور نقره‌ای

ترکیبات شیمیایی (درصد)	تیمار	بدون روکش خوراکی						با روکش خوراکی	
		روز صفر پس از سرخ کردن سریع	روز ۹۰ پیش از سرخ کردن نهایی	روز ۹۰ پس از سرخ کردن نهایی	روز صفر پس از سرخ کردن سریع	روز ۹۰ پیش از سرخ کردن نهایی	روز ۹۰ پس از سرخ کردن نهایی	روز ۹۰ پیش از سرخ کردن نهایی	روز ۹۰ پس از سرخ کردن نهایی
پروتئین	18.42 ± 0.05^B	18.96 ± 3.03^{Ba}	15.75 ± 0.78^b	16.54 ± 0.14^b	28.51 ± 0.41^{Aa}	17.73 ± 0.07^b	18.50 ± 1.33^b	از سرخ کردن نهایی	پیش از سرخ کردن نهایی
چربی	5.07 ± 3.36^A	9.52 ± 1.97^{Aa}	7.88 ± 0.04^b	9.33 ± 0.70^a	7.54 ± 2.80^{Ac}	9.04 ± 0.05^b	9.39 ± 0.24^a	از سرخ کردن نهایی	پیش از سرخ کردن نهایی
رطوبت	73.32 ± 1.96^A	67.67 ± 1.20^{Bc}	72.93 ± 0.06^a	70.78 ± 0.01^b	60.92 ± 1.20^{Cc}	70.14 ± 0.06^a	68.53 ± 0.51^b	از سرخ کردن نهایی	پیش از سرخ کردن نهایی
خاکستر	2.65 ± 0.58^A	3.85 ± 0.58^{Aa}	3.44 ± 0.14^a	3.35 ± 0.58^a	3.03 ± 0.55^{Aab}	3.10 ± 0.01^b	3.58 ± 0.18^a	از سرخ کردن نهایی	پیش از سرخ کردن نهایی

مقادیر بیانگر میانگین $\pm$ انحراف معیار است. حروف متفاوت کوچک (a, b, c, ...) در هر ردیف نشان دهنده وجود اختلاف معنادار بین نمونه‌های هر تیمار (باروکش یا بدون روکش) در روزهای مختلف و حروف بزرگ (A, B, C, ...) نشان دهنده وجود اختلاف معنادار بین تیمارهای مختلف ($p < 0.05$) در روز صفر است.

محتوای رطوبت شاهد نسبت به نمونه‌های سرخ شده بیشتر بوده است، به طوری که محتوای رطوبت در نمونه شاهد، بدون روکش و با روکش خوراکی در روزهای صفر، روز ۹۰ پیش از سرخ کردن و روز ۹۰ پس از سرخ کردن به ترتیب 73.35 ، 67.67 ، 72.93 ، 70.78 ، 60.92 ، 70.14 و 68.53 درصد است. در نمونه‌های با روکش خوراکی در روز صفر پس از سرخ کردن سریع کمترین محتوای رطوبت مشاهده گردید. همچنین کاهش رطوبت در نمونه‌های با روکش خوراکی در سطح ۵ درصد معنادارتر است. نتایج مشابهی از سوی Waters (1988) و García-Arias و همکاران (2003) ارائه شده است. در تیمارها در روز ۹۰ پیش از سرخ کردن نهایی رطوبت به طور معناداری ($p < 0.05$) افزایش یافت که می‌توان گفت در خلال نگهداری به صورت منجمد میزان رطوبت افزایش می‌یابد. هنگام سرخ کردن مجدد در نمونه‌های بدون روکش، کاهش رطوبت محسوس‌تری مشاهده گردید. در زمان سرخ کردن، پس از آنکه بخشی از رطوبت به وسیله تبخیر از دست رفت، روغن به درون ماهی نفوذ می‌کند که این جابه‌جایی در ماهیان پرچرب بسیار کمتر از ماهیان کم‌چرب است

(García-Arias et al., 2003)). در نمونه بدون روکش خوراکی در روز صفر مقدار چربی افزایش معناداری ($p < 0.05$) از خود نشان داد. افزایش چربی می‌تواند به دلیل تبخیر رطوبت در حین سرخ کردن و در نتیجه جذب روغن در فیله باشد (Saguy and Dana, 2003). با توجه به نتایج مشاهده می‌گردد که در روز صفر پس از سرخ کردن سریع، تیمار با روکش خوراکی چربی کمتری نسبت به تیمار بدون روکش خوراکی جذب کرده است ($p > 0.05$) که می‌تواند به دلیل محافظت روکش خوراکی از فیله در برابر تبخیر رطوبت و در نتیجه کاهش جذب روغن در این تیمار باشد. نتایج حاضر مشابه با نتایج Candela و همکاران (1998) است. روند تغییرات محتوای پروتئین در دو نمونه بدون روکش و باروکش متفاوت بوده است. پروتئین موجود در آرد گندم و آرد ذرت روکش خوراکی می‌تواند دلیل این اختلاف باشد. در تیمارها در روز ۹۰ پیش از سرخ کردن عمیق کاهش قابل توجهی در میزان پروتئین مشاهده شد که در تیمار بدون روکش، پروتئین از 18.96 درصد در روز صفر، به 15.75 درصد در روز ۹۰ پیش از سرخ کردن عمیق رسیده و در نمونه با

روکش، از ۲۸/۵۱ درصد در روز صفر، به ۱۷/۷۳ در روز ۹۰ پیش از سرخ کردن عمیق رسید که این کاهش قابل توجه است. Mills (1975) بیان کرد دلیل کاهش پروتئین می تواند، دناتوره شدن پروتئین در طی دوره نگهداری به صورت منجمد باشد. Asgharzadeh و همکاران (2010) نیز در بررسی پروتئین گوشت چرخ شده کپور نقره ای مشاهده کردند که میزان پروتئین به طور کلی در طی شش ماه نگهداری به صورت منجمد در دمای ۱۸- درجه سانتی گراد کاهش می یابد.

ترکیب اسید چرب در فیله های بدون روکش و روکش دار کپور نقره ای پیش و پس از سرخ کردن نهایی

۲۶ نوع اسیدهای چرب متفاوت از گروه های: اسیدهای چرب اشباع (SFA)، اسیدهای چرب غیر اشباع با یک پیوند دوگانه (MUFA) و اسیدهای چرب چند غیر اشباعی (PUFA) در تیمارهای بدون روکش و با روکش در روز صفر، روز ۹۰ پیش از سرخ کردن نهایی و روز ۹۰ پس از سرخ کردن نهایی شناسایی شدند. این اسیدهای چرب جزء اسیدهای چرب دارای زنجیره کربنی متوسط و طویل بین ۱۴ تا ۲۲ کربن می باشند. جدول ۲ ترکیب اسیدهای چرب استخراج شده از نمونه های سرخ شده (بدون روکش و با روکش) و نگهداری شده به صورت منجمد ماهی کپور نقره ای را نشان می دهد.

جدول ۲ ترکیب اسید چرب (گرم در ۱۰۰ گرم اسید چرب) در تیمارهای مختلف (شاهد، بدون روکش و روکش دار)

تیمار		بدون روکش خوراکی		روکش خوراکی		اسید چرب	
شاهد	روز صفر پس از سرخ کردن سریع	روز ۹۰ پیش از سرخ کردن عمیق	روز ۹۰ پس از سرخ کردن عمیق	روز صفر پس از سرخ کردن سریع	روز ۹۰ پیش از سرخ کردن عمیق	روز ۹۰ پس از سرخ کردن عمیق	
ND	ND	ND	ND	۰/۰۳ ± ۰/۰۰ ^{Aa}	۰/۱۲ ± ۰/۰۱ ^b	۰/۳۳ ± ۰/۱۵ ^a	C10:0
۰/۱۳ ± ۰/۰۲ ^A	۰/۱۱ ± ۰/۰۴ ^{Ab}	۰/۱۳ ± ۰/۰۲ ^{ab}	۰/۱۷ ± ۰/۰۱ ^a	۰/۱۲ ± ۰/۰۱ ^{Ab}	۰/۱۲ ± ۰/۰۱ ^b	۰/۳۳ ± ۰/۱۵ ^a	C12:0
۴/۱۹ ± ۰/۰۳ ^A	۲/۴۲ ± ۰/۰۳ ^{Ca}	۱/۲۳ ± ۰/۰۲ ^c	۲/۰۵ ± ۰/۰۲ ^b	۲/۵۳ ± ۰/۰۳ ^{Ba}	۱/۵۲ ± ۰/۰۲ ^b	۱/۴۶ ± ۰/۰۱ ^c	C14:0
ND	ND	۰/۲۵ ± ۰/۰۱ ^a	۰/۲۳ ± ۰/۰۲ ^a	ND	۰/۱۷ ± ۰/۰۱ ^a	۰/۱۵ ± ۰/۰۲ ^a	C15:0
ND	ND	۰/۱۱ ± ۰/۰۱ ^a	۰/۱۱ ± ۰/۰۱ ^a	ND	۰/۰۶ ± ۰/۰۱ ^a	۰/۰۴ ± ۰/۰۱ ^a	C15:1
۱۹/۱۲ ± ۰/۰۱ ^C	۲۰/۱۶ ± ۰/۰۱ ^{Bc}	۲۴/۱۷ ± ۰/۰۱ ^b	۲۵/۱۰ ± ۰/۰۱ ^a	۲۱/۴۲ ± ۰/۰۲ ^{Ab}	۲۱/۱۳ ± ۰/۰۲ ^c	۲۶/۶۳ ± ۰/۰۱ ^a	C16:0
ادامه جدول							
۸/۳۶ ± ۰/۰۴ ^A	۵/۲۴ ± ۰/۰۴ ^{Ba}	۵/۲۳ ± ۰/۰۱ ^a	۲/۹۹ ± ۰/۰۰ ^b	۵/۲۱ ± ۰/۰۲ ^{Ba}	۲/۰۴ ± ۰/۰۱ ^b	۱/۴۸ ± ۰/۰۲ ^c	C16:1
۰/۸۰ ± ۰/۰۱ ^A	۰/۴۴ ± ۰/۰۲ ^{Bb}	۰/۴۸ ± ۰/۰۰ ^a	۰/۳۹ ± ۰/۰۱ ^c	۰/۴۱ ± ۰/۰۳ ^{Ba}	۰/۲۹ ± ۰/۰۰ ^b	۰/۲۴ ± ۰/۰۳ ^c	C17:0
۰/۴۵ ± ۰/۰۳ ^A	۰/۳۲ ± ۰/۰۲ ^{Bb}	۰/۳۹ ± ۰/۰۲ ^a	۰/۲۹ ± ۰/۰۱ ^b	۰/۳۱ ± ۰/۰۲ ^{Ba}	۰/۲۲ ± ۰/۰۲ ^b	۰/۱۳ ± ۰/۰۱ ^c	C17:1
۳/۴۵ ± ۰/۰۴ ^B	۳/۶۲ ± ۰/۰۳ ^{Ac}	۴/۳۵ ± ۰/۰۰ ^b	۴/۳۸ ± ۰/۰۱ ^a	۳/۵۰ ± ۰/۰۳ ^{Bc}	۴/۲۸ ± ۰/۰۱ ^a	۴/۱۷ ± ۰/۰۲ ^b	C18:0
۰/۴۲ ± ۰/۰۲ ^A	۰/۳۱ ± ۰/۰۳ ^B	ND	ND	۰/۲۳ ± ۰/۰۱ ^C	ND	ND	C18:1 t
۲۰/۰۲ ± ۰/۰۲ ^C	۲۶/۸۹ ± ۰/۰۱ ^{Bc}	۳۱/۵۳ ± ۰/۰۱ ^b	± ۰/۰۲ ^a	۲۷/۲۲ ± ۰/۰۲ ^{Ac}	۲۹/۸۷ ± ۰/۰۲ ^b	۳۶/۶۵ ± ۰/۰۱ ^a	C18:1 c (cis)
۰/۲۱ ± ۰/۰۲ ^B	۰/۲۲ ± ۰/۰۲ ^{Ba}	۰/۰۹ ± ۰/۰۰ ^b	۰/۰۵ ± ۰/۰۱ ^c	۰/۳۳ ± ۰/۰۱ ^{Aa}	۰/۰۳ ± ۰/۰۱ ^c	۰/۰۸ ± ۰/۰۲ ^b	C18:2 t (n-9)
۳/۹۱ ± ۰/۰۳ ^C	۱۷/۴۰ ± ۰/۰۳ ^{Ba}	۱۶/۹۵ ± ۰/۰۱ ^b	± ۰/۰۲ ^c	۱۸/۴۳ ± ۰/۰۳ ^{Ac}	۲۶/۸۵ ± ۰/۰۲ ^a	± ۰/۰۲ ^b	C18:2c (n-6)
۲/۰۶ ± ۰/۰۱ ^A	۱/۵۱ ± ۰/۰۲ ^B	ND	ND	۱/۲۵ ± ۰/۰۱ ^C	ND	ND	C18:4 n-3

0.74 ± 0.03 ^b	1.02 ± 0.06 ^a	0.34 ± 0.03 ^{Ac}	1.35 ± 0.01 ^a	0.91 ± 0.01 ^b	0.35 ± 0.03 ^{Ac}	0.21 ± 0.03 ^B	C20:0
1.36 ± 0.02 ^c	1.82 ± 0.01 ^b	2.03 ± 0.01 ^{Ba}	1.86 ± 0.01 ^b	1.54 ± 0.00 ^c	1.97 ± 0.02 ^{Ca}	3.03 ± 0.01 ^A	C18:3 (n-3)
0.03 ± 0.01 ^c	0.08 ± 0.01 ^b	0.58 ± 0.02 ^{Ba}	0.09 ± 0.00 ^c	0.48 ± 0.01 ^b	0.59 ± 0.02 ^{Ba}	0.81 ± 0.01 ^A	C20:1
0.24 ± 0.01 ^b	0.36 ± 0.01 ^a	0.13 ± 0.03 ^{Bc}	0.66 ± 0.01 ^b	0.72 ± 0.01 ^a	0.72 ± 0.01 ^{Aa}	0.13 ± 0.01 ^B	C22:0
0.54 ± 0.03 ^c	0.92 ± 0.01 ^b	1.17 ± 0.02 ^{Ca}	ND	ND	1.49 ± 0.01 ^B	2.82 ± 0.01 ^A	C20:4 (n-6)
ND	ND	0.79 ± 0.01 ^C	ND	ND	0.99 ± 0.02 ^B	1.62 ± 0.03 ^A	C20:4 n-3
1.47 ± 0.02 ^c	2.30 ± 0.01 ^b	3.25 ± 0.04 ^{Ca}	2.79 ± 0.01 ^b	2.77 ± 0.01 ^c	3.96 ± 0.02 ^{Ba}	7.22 ± 0.02 ^A	C20:5 (n-3)
ND	0.21 ± 0.02 ^b	1.13 ± 0.01 ^{Aa}	0.22 ± 0.00 ^a	0.11 ± 0.01 ^b	0.12 ± 0.01 ^{Bb}	ND	C24:0
0.03 ± 0.02 ^b	0.04 ± 0.01 ^b	0.63 ± 0.01 ^{Ca}	0.05 ± 0.01 ^b	0.03 ± 0.01 ^b	0.76 ± 0.03 ^{Ba}	1.52 ± 0.02 ^A	C22:5 (n-6)
0.20 ± 0.01 ^c	0.53 ± 0.15 ^a	0.61 ± 0.04 ^{Ca}	0.46 ± 0.15 ^c	0.72 ± 0.04 ^b	0.86 ± 0.04 ^{Ba}	1.31 ± 0.04 ^A	C22:5 (n-3)
2.76 ± 0.15 ^b	2.29 ± 0.02 ^c	5.30 ± 0.02 ^{Ca}	5.33 ± 0.02 ^b	5.01 ± 0.00 ^c	6.83 ± 0.02 ^{Ba}	12.64 ± 0.04 ^A	C22:6 (n-3)
1.77 ± 0.01 ^c	3.85 ± 0.01 ^a	3.05 ± 0.02 ^{Bb}	2.56 ± 0.03 ^c	2.90 ± 0.01 ^a	2.72 ± 0.02 ^{Cb}	5.57 ± 0.02 ^A	Others

مقادیر بیانگر میانگین $\pm$ انحراف معیار است. حروف متفاوت کوچک (a, b, c, ...) در هر ردیف نشان‌دهنده وجود اختلاف معنادار بین نمونه‌های هر تیمار (باروکش یا بدون روکش) در روزهای مختلف و حروف بزرگ (A, B, C, ...) نشان‌دهنده وجود اختلاف معنادار بین تیمارهای مختلف ($p < 0.05$) در روز صفر است.

جدول ۳ مجموع و نسبت اسیدهای چرب شناسایی شده در تیمارهای مختلف

اسید چرب		تیمار		بدون روکش خوراکی		با روکش خوراکی	
		نمونه	روز	روز ۹۰ پیش از	روز ۹۰ پس از	روز ۹۰ پیش از	روز ۹۰ پس از
		شاهد	صفر	سرخ کردن عمیق	سرخ کردن عمیق	سرخ کردن عمیق	سرخ کردن عمیق
ΣSFA	28.03	27.94	32.35	34.55	29.61	29.10	33.96
ΣMUFA	30.06	33.35	37.74	36.72	33.55	32.27	38.33
ΣPUFA	36.34	35.99	27.01	26.17	33.79	34.78	25.94
SFA/PUFA	0.77	0.77	0.83	0.75	0.87	1.19	0.76
ΣPUFA+MUFA/SFA	2.37	2.48	2.00	1.82	2.27	2.30	1.89
C22:6/C16:0	0.66	0.34	0.20	0.21	0.25	0.10	0.10
ادامه جدول							
n-3 fatty acids	27.88	16.12	9.94	10.62	13.23	6.94	5.79
n-6 fatty acids	8.25	19.65	16.98	15.50	20.23	27.81	20.07
n-3/n-6 ratio	3.37	0.82	0.58	0.66	0.65	0.24	0.28
AI	0.54	0.43	0.51	0.60	0.47	0.46	0.57
TI	0.25	0.34	0.51	0.53	0.40	0.52	0.69

تعداد اسیدهای چرب شناسایی شده در نمونه خام (شاهد) ۲۲ نوع است. پالمیتیک اسید (C16:0) شاخص اسیدهای چرب اشباع (SFA) با محتوای ۱۹/۱۲ (گرم در ۱۰۰ گرم اسیدچرب) مشخص شد. شاخص اسیدهای چرب تک غیراشباعی (MUFA) اولئیک اسید (C18:1) با محتوای ۲۰/۰۲ (گرم در ۱۰۰ گرم اسیدچرب) و به‌دنبال آن پالمیتوئیک اسید (C16:1) با محتوای ۸/۳۶ (گرم در ۱۰۰ گرم اسیدچرب) بود. دوکوزاهگزانوئیک اسید

(C22:6) با محتوای ۱۲/۶۴ (گرم در ۱۰۰ گرم اسیدچرب) نیز شاخص اسیدهای چرب چند غیراشباع (PUFA) در نمونه خام مشخص گردید. بیشترین مقدار اسیدهای چرب شناسایی شده در نمونه خام مربوط به اسیدهای چرب چند غیراشباعی (PUFA) با محتوای ۳۶/۳۴، سپس اسیدهای چرب تک غیراشباعی (MUFA) با محتوای ۳۰/۰۶ (گرم در ۱۰۰ گرم اسیدچرب) و کمترین محتوای آن در نمونه خام مربوط به اسیدهای چرب اشباع (SFA) با مقدار ۲۸/۰۳ (گرم در ۱۰۰ گرم اسیدچرب) بود. مطالعه حاضر همچنین مشابه تحقیق Gladyshev و همکاران (2006) بر روی تأثیر روش پخت بر محتوای اسیدهای چرب چند غیراشباعی ضروری در فیله ماهی آزاد هامپبک است. در بررسی ایشان در تمامی روش‌های حرارتی به‌کار گرفته شده، کاهشی در محتوای EPA و DHA فیله آزاد ماهی هامپبک مشاهده نشد، اما روش سرخ‌کردن کاهش ناچیزی در محتوای این اسیدهای چرب را نشان داد. اسیدچرب شاخص در گروه SFA، در نمونه بدون روکش در روز صفر پس از سرخ‌کردن سریع و روز ۹۰ پیش از سرخ‌کردن نهایی و پس از سرخ‌کردن نهایی، پالمیتیک اسید با محتوای ۲۰/۱۶، ۲۴/۱۷ و ۲۵/۱۰ (گرم در ۱۰۰ گرم اسیدچرب) بوده است. در تیمار با روکش در روز ۹۰ پیش و پس از سرخ‌کردن نهایی نیز اسیدچرب شاخص SFA، همان پالمیتیک اسید با محتوای ۲۱/۱۳ و ۲۶/۶۳ (گرم در ۱۰۰ گرم اسیدچرب) مشاهده گردید. اسید چرب شاخص MUFA در تیمار بدون روکش، در روز ۹۰ پیش و پس از سرخ‌کردن نهایی، اولئیک اسید با محتوای ۳۱/۵۳ و ۳۳/۲۴ (گرم در ۱۰۰ گرم اسیدچرب) مشاهده شد و در تیمار با روکش، در روز ۹۰ پیش و پس از سرخ‌کردن نهایی نیز اولئیک اسید با محتوای ۲۴/۸۷ و ۳۶/۶۵ (گرم در ۱۰۰ گرم اسیدچرب) بود و در نهایت شاخص PUFA در نمونه

بدون روکش، روز ۹۰ پیش و پس از سرخ‌کردن نهایی اسید لینولئیک با محتوای ۱۶/۹۵ و ۱۵/۴۵ و در نمونه با روکش به‌ترتیب ۲۶/۸۵ و ۱۹/۵۰ (گرم در ۱۰۰ گرم اسیدچرب) مشخص گردید. در روز ۹۰ پس از نگهداری به‌صورت منجمد در نمونه بدون روکش پیش و پس از سرخ‌کردن نهایی، بیشترین مقدار اسیدهای چرب، مربوط به اسیدهای چرب تک غیراشباع با محتوای ۳۷/۷۴ و ۳۶/۷۲ (گرم در ۱۰۰ گرم اسیدچرب) و به‌دنبال آن، اسیدهای چرب اشباع با محتوای ۳۲/۳۵ و ۳۴/۵۵ و در نهایت اسیدهای چرب چند غیراشباع با محتوای ۲۷/۰۱ و ۲۶/۱۷ (گرم در ۱۰۰ گرم اسیدچرب) بود. مقدار اولئیک اسید در هر دو نمونه بدون روکش و باروکش خوراکی در روز ۹۰ پس از سرخ‌کردن نهایی افزایش یافته در صورتی پالمیتولئیک اسید در همه نمونه‌ها از روز صفر تا روز ۹۰ پس از سرخ‌کردن نهایی روند نزولی داشته است. همچنین در نمونه با روکش طی نگهداری به‌صورت منجمد و پس از آن، در روز ۹۰ پیش از سرخ‌کردن نهایی، بیشترین مقدار PUFA، با محتوای ۳۴/۷۸ (گرم در ۱۰۰ گرم اسیدچرب) و سپس MUFA با محتوای ۳۲/۲۷ (گرم در ۱۰۰ گرم اسیدچرب) و در نهایت SFA با محتوای ۲۹/۱۰ (گرم در ۱۰۰ گرم اسیدچرب) مشاهده گردید و در روز ۹۰ پس از سرخ‌کردن نهایی، بیشترین مقدار مربوط به گروه MUFA با محتوای ۳۸/۳۳ (گرم در ۱۰۰ گرم اسیدچرب) و به‌دنبال آن SFA با محتوای ۳۳/۹۶ (گرم در ۱۰۰ گرم اسیدچرب) و در نهایت PUFA با محتوای ۲۵/۹۴ (گرم در ۱۰۰ گرم اسیدچرب) بود. مجموع اسیدهای چرب اشباع (SFA) در هر دو نمونه بدون روکش و باروکش خوراکی از روز صفر تا ۹۰ طی نگهداری به‌صورت منجمد و پس از سرخ‌کردن عمیق افزایش یافت. مجموع اسیدهای چرب تک غیراشباع (MUFA) در نمونه بدون روکش خوراکی

در روز ۹۰ پیش از سرخ کردن عمیق افزایش و پس از سرخ کردن عمیق کاهش اندکی داشته است. در نمونه با روکش خوراکی در روز ۹۰ پیش از سرخ کردن عمیق کاهش و پس از سرخ کردن عمیق افزایش داشت. تفاوت در اسیدهای چرب هر گروه از تیمارها می تواند به دلیل نگهداری به صورت منجمد و یا اکسیداسیون طی نگهداری و سرخ کردن باشد. در مطالعه مشابه García-Arias و همکاران (2003) که تأثیر پخت-انجماد-گرم کردن مجدد بر ترکیب اسیدچرب فیله های ساردین را بررسی کردند، مجموع SFA، MUFA و PUFA، در نمونه های پخته پیش از انجماد، انجماد و دوباره گرم شده با مایکروویو به ترتیب مقادیر زیر را مشاهده کردند: SFA: ۴/۵۳، ۴/۵۶ و ۵/۳۲، MUFA: ۱۲/۵، ۱۲/۴ و ۱۶/۴ و PUFA: ۴/۳۰، ۳/۳۷ و ۳/۸۴ (گرم در ۱۰۰ گرم اسید چرب). Bakar و همکاران (2008) ویژگی های چربی در فیله پخته شده، منجمد و گرم کردن مجدد ماهی ماکرل (*Scomberomorus guttatus*) اقیانوس هند و آرام به ترتیب در نمونه شاهد، پخته شده و دوباره گرم شده به صورت زیر مشاهده شد: SFA: به ترتیب ۴۹/۳۷، ۴۷/۶۰ و ۴۷/۰۵، MUFA: ۶/۸۶، ۷/۱۵ و ۷/۴۲ و PUFA: ۴۳/۷۸، ۴۲/۲۶ و ۴۵/۵۲ (گرم در ۱۰۰ گرم اسیدچرب). در ماهیان کم چرب مبادله چربی بین غذا و روغن سرخ شدنی صورت می گیرد (Sanchez-Varela and Ruiz-Roso, 1992; Muniz et al., 1992). سرخ کردن ترکیب اسیدهای چرب فیله های کپور نقره ای را به طور چشمگیری تغییر داد (جدول ۲). Sanchez-Muniz و همکاران (1992) بیان کردند که تغییر اسید چرب در غذا و در زمان سرخ کردن نتیجه افت آن است. در بررسی اکسیداسیون چربی ماهی در خلال مرحله طبخ-انجماد-حرارت دهی مجدد، از شاخص نسبت C22:6/C16:0 نیز استفاده شده است (García-Arias et al., 2003). در مطالعه

حاضر کاهش مقادیر PUFA در حالت منجمد دلیل کاهش C22:6/C16:0 است. مقدار C22:6/C16:0 در نمونه بدون روکش، پیش و پس از سرخ کردن نهایی به ترتیب ۰/۲۱ و ۰/۲۰ بود و در نمونه با روکش در روز ۹۰ پیش و پس از سرخ کردن، ۰/۱۰ مشاهده شد که بین تیمارها پیش و پس از سرخ کردن نهایی تغییر چندانی در مقدار C22:6/C16:0 مشاهده نشد. ولی هر دو تیمار نسبت به روز صفر کاهش داشتند که بیانگر اکسیداسیون طی فرایند نگهداری به صورت منجمد است (Rezaei et al., 2006). نسبت اسیدهای چرب امگا-۳ به امگا-۶ در نمونه بدون روکش در روز ۹۰، پیش و پس از سرخ کردن نهایی به ترتیب ۰/۵۸ و ۰/۶۶ مشاهده گردید و در نمونه با روکش این نسبت در روز ۹۰ پیش و پس از سرخ کردن نهایی به ترتیب ۰/۲۴ و ۰/۲۸ بوده است. Zakipour Rahimabadi و همکاران (۲۰۱۱) نسبت اسیدهای چرب خانواده امگا-۳ به اسیدهای چرب خانواده امگا-۶ (n-3/n-6) را در نمونه گوشت خام ۴/۶۵ و در نمونه سوریمی ۷/۷۷ گزارش کردند. بدیهی است که با بالا بودن اسیدهای چرب امگا-۳، نسبت ω-3/ω-6 نیز بیشتر می شود که در تحقیق حاضر این نسبت در هر دو تیمار در روز ۹۰ پس از سرخ کردن نهایی بیشتر بود. شاخص های TI و AI برای چربی استخراج شده از فیله های بدون روکش و با روکش خوراکی طی روز ۹۰ پیش و پس از سرخ کردن عمیق به ترتیب AI: ۰/۵۱، ۰/۶۰، ۰/۴۶ و ۰/۵۷ و TI: ۰/۵۱، ۰/۵۳، ۰/۵۲ و ۰/۶۹ است (جدول ۳). Kaya و Turan (2008) مقدار دو شاخص TI و AI را برای ماهی آنجوی به ترتیب در محدوده بین ۰/۲۶-۰/۲۷ و ۱/۴۲-۱/۴۶ و همچنین Kaya و همکاران (2008) میزان این دو شاخص را برای ماهی خاویاری ۰/۳۱ و ۱/۰۱ گزارش کردند. در تحقیقات دیگری که از سوی Rueda و همکاران (2001) صورت گرفت،

شاخص‌های TI و AI را برای گونه‌ی پرورشی ماهی *Sharpsnout seabream* ۰/۲۴ و ۰/۵۱ و برای گونه‌ی وحشی این ماهی ۰/۳۵ و ۰/۵۳ عنوان کردند. همچنین Turan و همکاران (2007) میزان شاخص TI و AI را برای ماهی *Thorn back ray* ۰/۶۳ و ۲/۳۷ گزارش کردند. شاخص‌های AI و TI در هر دو تیمار بدون روکش خوراکی و با روکش خوراکی در روز صفر و ۹۰ پیش از سرخ کردن کمتر از روز ۹۰ پس از سرخ کردن عمیق بود که کمتر بودن این دو شاخص و بیشتر بودن درصد امگا-۳ بیانگر مناسب‌تر بودن چربی برای سلامت انسان است. در روز ۹۰ پس از سرخ کردن نهایی محتوای این شاخص‌ها افزایش یافته که نشان‌دهنده‌ی اکسیداسیون و کاهش اسیدهای چرب امگا-۳ است.

نتیجه‌گیری

نتایج نشان داد که سرخ کردن، میزان اسیدهای اولئیک و لینولئیک را افزایش و در مقابل میزان اکثر اسیدهای چرب دیگر را کاهش می‌دهد. بنابراین محتوای PUFA کاهش می‌یابد، در حالی که نسبت اسید چرب امگا-۳ به امگا-۶ و اسیدهای چرب تک اشباعی MUFA افزایش می‌یابد. همچنین به دلیل نگهداری به صورت منجمد و اکسیداسیون، میزان PUFA در هر دو نمونه با روکش و بدون روکش کاهش می‌یابد. نسبت C22:6/C16:0 در نمونه‌های روز ۹۰ پیش و پس از سرخ کردن عمیق نسبت به نمونه‌های روز صفر روند کاهشی داشته است که ایجاد مجدد اکسیداسیون گرمایی در فرایند گرمادهی را نشان می‌دهد. همچنین افزایش شاخص‌های TI و AI پس از نگهداری به صورت منجمد و سرخ کردن می‌توان نتیجه گرفت که پس از سرخ کردن نهایی مقدار اسیدهای امگا-۳ در هر دو تیمار کاهش داشته که این کاهش در نمونه با روکش بیشتر بود.

منابع

- AOAC. 2005. Official method of analysis chemists. In W. Horwitz (Ed.), Method 950.46 (18th ed). Maryland, USA: Official Method of Analysis Chemists.
- Asgharzadeh, A., Shabanpour, B., Aubourg, S. P. and Hosseini, H. 2010. Chemical changes in silver carp (*Hypophthalmichthys molitrix*) minced muscle during frozen storage: Effect of a previous washing process. *Grasas y Aceites*, 61: (1).
- Aubourg, S. P., Lehmann, I. and Gallardo, J. 2002. Effect of previous chilled storage on rancidity development in frozen horse mackerel (*Trachurus trachurus*). *Journal of the Science of Food Agriculture*, 82: 1764-1771.
- Bakar, J., Zakipour Rahimabadi, E. and Che Man, Y. 2008. Lipid characteristics in cooked, chill-reheated fillets of Indo-Pacific king mackerel (*Scomberomorous guttatus*). *LWT – Food Science and Technology*, 41(10): 2144-2150.
- Bongar, A. 1998. Comparative study of frying to the other cooking techniques. Influence on the nutritive value. *Grasas y Aceites*, 49: 250-260.
- Candela, M., Astiararan, I. and Bello, J. 1998. Deep-fat frying modifies high-fat fish fraction. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 46: 2793-2796.
- Gall, K. L., Otwell, W. S., Koburger, J. A. and Appledorf, H. 1983. Effects of four cooking methods on the proximate, mineral and fatty acid composition of fish fillets. *Journal of Food Science*, 48: 1068-1073.
- Gandemer, G. 2002. Lipids in muscles and adipose tissues, changes during processing and sensory properties of meat products. *Journal of Meat Science*, 62 (3): 309-321.
- Garaffo, M. A., Vassallo-Agius, R., Nengas, Y., Lembo, E., Rando, R., Maisano, R., Dugo, G. and Giuffrida, D. 2011. Fatty acids profile, Atherogenic (IA) and Thrombogenic (IT) health lipid indices, of raw roe of Blue Fin Tuna (*Thunnus thynnus* L.) and their salted product 'Bottarga'. *Food and Nutrition Sciences*, 2: 736-743.

(Industrial and homemade). Safavi publication. Zanjan, Iran. 78 pp. (In Persian)

Moreira, R. G., Sun, X. Z. and Chen, Y. H. 1997. Factors affecting oil uptake in tortilla chips in deep-fat frying. *Journal of Food Engineering*, 31: 480-498.

Perez-Alonso, F., Arias, C. and Aubourg, S. P. 2003. Lipid deterioration during chilled storage of Atlantic pomfret (*Brama brama*). *European Journal of Lipid Science and Technology*, 105: 661- 667.

Pinthus, E. J., Weinberg, P. and Saguy, I. S. 1995. Oil uptake in deep-fat frying as affected by porosity. *Journal of Food Science*, 60: 767-769.

Rezaei, M., Sahari, M. A. and Moeini, S. 2006. Quality assessment of lipid in Anchovy Kilka (*Clupeonella engrauliformis*) during frozen storage at different temperature. *Journal of Agriculture and Natural Resources, Isfahan University of Technology*, 10(4): 435-445. (Abstract in English)

Rueda, F. M., Hernandez, M. D., Egea, M. A., Aguado, F., Garcia, B. and Martinez, F. J. 2001. Differences in tissue fatty acid composition between reared and wild Sharpsnout Sea Bream. *Diplodus puntazzo* (Cetti, 1777). *British Journal of Nutrition*, 86 (5): 617-622.

Saguy, I. S. and Dana, D. 2003. Integrated approach to deep fat frying: engineering, nutrition, health and consumer aspects. *Journal of food engineering*, 56(2): 143-152.

Sanchez-Muniz, F. J., Viejo, J. M. and Medina, R. 1992. Deep frying of sardines in different culinary fats. Changes in the fatty acid composition of sardines and frying fats. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 40: 2252-2256.

Shahidi, F. 1997. Assessment of lipid oxidation and off-flavor development in meat and meat products. P 247-266, In Shahidi, F.(eds.), *Flavor of meat and meat products*, Chapman and Hall, USA, 429p.

Skjoldebrand, C., Ohlsson, T. H., O Sullivan, K., and Turner, M. 1984. Reheating of food in catering, P 425-431, In: Varela, G (eds.), *Thermal processing and quality of foods*. Elsevier Applied Science Publishers Ltd, New York, USA.

Tukkan, A. U., Cakli, S. and Kilinc, B. 2008. Effects of cooking methods on the proximate composition and fatty acid composition of seabass (*Dicentrarchus labrax*, Linnaeus, 1758). *Food and Bioproducts Processing*, 86: 163-166.

García-Arias, M. T., Alvarez Pontes, E., García-Linares, M. C., García- Fernandez, M. C. and Sanchez-Muniz, F. J. 2003. Cooking-freezing-reheating (CFR) of sardine (*Sardina pilchardus*) fillets. Effect of different cooking and reheating procedures on the proximate and fatty acid composition. *Food Chemistry*, 83: 349-356.

Gladyshev, M. I., Sushchik, N. N., Gubanenko, G. A., Demirchieva, S. M. and Kalachova, G. S. 2006. Effect of way of cooking on content of essential polyunsaturated fatty acids in muscle tissue of humpback salmon (*Oncorhynchus gorbusha*). *Food Chemistry*, 96: 446-451.

Haliloglu, H. I., Bayir, A., Sirkeciolu, A. N., Aras, N.M. and Atamanalp, M. 2004. Comparison of fatty acid composition in some tissues of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) living in seawater and freshwater. *Food Chemistry*, 86 (1): 55-59.

Jittrepotch, N., Ushio, H. and Ohshima, T. 2006. Oxidative stabilities of triacylglycerol and phospholipids fractions of cooked Japanese sardine meat during low temperature storage. *Journal of Food Science*, 99: 360-367.

Kaya, Y., Turan, H. and Erdem, M. E. 2008. Fatty acid and amino acid composition of raw and hot smoked sturgeon (*Huso huso*, L. 1758). *International Journal of Food Science and Nutrition*. 59 (7-8): 635-642.

Kaya, Y. and Turan, H. 2008. Fatty acids composition of anchovy (*Engraulis encrasicolus* L. 1758) oil produced in Sinop- Turkey. *Journal of Fisheries Sciences*, 2(5): 693-697.

Kose , S., Karacam, H., Kutlu, S. and Boran, M. 2001. Investigating the shelf- life of the anchovy dish called 'Hamsikusu' in frozen storage at - 18±1°C .*Turkish Journal of Veterinary and Animal Sciences*, 25: 651-656.

Metcalf, L. D., Schmitz, A. A. and Pelka, J. R. 1966. Rapid preparation of fatty acid esters from lipids for gas chromatographic analysis. *Analytical chemistry*, 38(3): 514-515.

Mills, A. 1975. Measuring changes that occur during frozen storage of fish: a review. *International Journal of Food Science and Technology*, 10(5): 483-496.

Moradi, G. A. and Safi Yari, S. 2005. Manual on processing of value added seafood products

Waters, M. E. 1988. Chemical composition of frozen storage of weakfish (*Cynoscion regalis*). *Marine Fish Reviews*, 50: 27–33.

Zakipour Rahimabadi, E., Elyasi, A., Sahari, M.A. and Zare, P. 2011. Effects of frying on proximate and fatty acid characteristics of fish fingers made from mince and surimi of common carp (*Cyprinus carpio*). *Iranian Journal of Food Science and Technology*, 8(29): 1-11. (Abstract in English)

Turan, H., Sonmez, G. and Kaya, Y. 2007. Fatty acid profile and proximate composition of the thornback ray (*Raja clavata*, L. 1758) from the Sinop coast in the Black Sea. *Journal of Fisheries Sciences*, 1(2): 97-103.

Varela, G. and Ruiz-Roso, B. 1992. Some effects of deep frying on dietary fat intake. *Nutrition Reviews*, 50(9): 256-262.

Proximate analysis and fatty acid composition of silver carp (*Hypophthalmichthys molitrix*) fillet after flash frying, frozen storage and deep-fat frying

Khadijeh Noorzaee¹, Eshagh Zaki pour Rahimabadi^{2,3*}, Ebrahim Alizadeh Doughikollae⁴

1-M.Sc. Student, Department of Fish Processing Technology, University of Zabol, Zabol, Iran

2-Associate Professor, Fisheries Department, University of Zabol, Faculty of Natural Resources, University of Zabol, Zabol, Iran

3-Associate Professor, Fisheries Department, Faculty of Natural Resources, University of Guilan, Sowmeih Sara, Iran

4- Associate Professor, Fisheries Department, University of Zabol, Faculty of Natural Resources, University of Zabol, Zabol, Iran

Received: 01.12.2014 Accepted : 07.11.2015

*Corresponding author : e_zakipour@yahoo.com

Abstract

The fatty acid composition and changes in silver carp fillet after flash frying, frozen storage and deep frying of was studied. For this purpose, fillets with edible coating and uncoated were tested. Fillets after flash frying for 30s, cooling, packaging and cooling were kept in freezer for three months, then deep fried. Flash frying and final deep frying increased the amount of total fat in fillets. The fat content of samples (5.07% at day 0) changed to 9.52 ± 1.97 and 7.54 ± 2.80 % after flash frying and to 9.33 ± 0.70 and 9.39 ± 0.24 % after final deep frying in uncoated and coated samples, respectively. Moisture content decreased after frying and increased after 3 months frozen storage ($P < 0.05$). Twenty six saturated and unsaturated fatty acids were detected in samples. N-3/n-6 ratio was 3.37 in control samples. This ratio was 0.82 and 0.65 for uncoated and coated samples, respectively after flash frying and decreased to 0.66 and 0.28 after final deep frying. Atherogenic index (AI) and thrombosis index (TI) in day 90 after final deep frying in uncoated and coated treatments were 0.60, 0.53 and 0.57 and 0.69, respectively.

Keywords: Fish fillet, Edible coating, Fatty acid profile, Flash fry, Frozen storage