بررسی پایداری اسیدهای چرب امگا-۳ طی شرایط مختلف خشک کردن و نگهداری در اسپاگتی غنی شده

نادیا پاشائی[a]، مانیا صالحی فر[b]*، مریم فهیم دانش[b]

[a] *دانش آموخته کارشناسی ارشد، واحد شهر قدس، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران*
[b] *دانشیار گروه علوم و صنایع غذایی، واحد شهر قدس، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران*

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۳/۰۱/۱۵ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۷/۰۶/۱۸

چکیده

مقدمه: محصولات خمیری به عنوان غذاهای سالم شناخته می‌شوند، ولی مقدار اندک امگا-۳ در این فرآورده‌ها سبب شده است تا غنی سازی با اسیدهای چرب زنجیره بلند امگا-۳ موجود در منابع دریایی به دلیل اثرات سلامت بخشی در بدن مورد توجه قرار گیرد.

مواد و روش‌ها: جهت غنی‌سازی پودر میکروکپسول امگا-۳ حاوی حداقل ۹٪ اسیدهای چرب زنجیره بلند امگا-۳ در سطح ۱/۲٪ استفاده گردید. پس از خشک کردن تحت شرایط دمایی مختلف (۹۰°C، ۷۵° C، ۵۵°C) پایداری اسیدهای چرب ایکوزاپنتاانوئیک اسید (EPA) و دوکوزاهگزاانوئیک اسید(DHA) از طریق تجزیه متیل استرهای اسیدهای چرب به مدت هجده ماه و ویژگی‌های کیفی اسپاگتی (عدد لعاب، پخت و چسبندگی) مورد ارزیابی قرار گرفتند.

یافته‌ها: خشک کردن اسپاگتی تحت شرایط دمایی مختلف از نظر پایداری اسیدهای چرب زنجیره بلند امگا-۳ قبل و بعد از پخت دارای تاثیر معناداری بود ($P<۰/۰۱$). خشک کردن در دمای ^{o}C ۹۰ در مقایسه با دمای ^{o}C ۵۵ و ^{o}C ۷۵ سبب کاهش پایداری گردید. بالاترین محتوای اسیدهای چرب امگا-۳ بعد از پخت در اسپاگتی تولید شده تحت شرایط دمایی ^{o}C ۷۵ مشاهده شد.

نتیجه‌گیری: نتایج کلی نشان داد از طریق غنی‌سازی این قبیل از محصولات می‌توان ویژگی‌های کیفی و تغذیه ای آنها را افزایش داد.

واژه‌های کلیدی: *ایکوزاپنتاانوئیک اسید (EPA)، امگا-۳، اسپاگتی، دوکوزاهگزاانوئیک اسید(DHA)، غنی سازی، میکروکپسول*

* نویسنده مسئول مکاتبات email: salehifarmania@yahoo.com

مقدمه

غذا از مهمترین فاکتورهای ضروری برای رشد و بقاء زندگی می‌باشد. در عین حال هیچ غذایی به تنهایی نمی‌تواند سلامتی انسان‌ها را تضمین کند. به همین دلیل امروزه تولید غذاهای عملگرا[1] جهت مقابله با رژیم‌های غذایی نامناسب سبب ایجاد رقابت در بین تولیدکنندگان گردیده است. بر اساس تعریف ارائه شده توسط سازمان خواروبار و کشاورزی[2]، غذاهای عملگرا از نظر ظاهری مشابه با غذاهای معمولی بوده که علاوه بر تأمین نیازهای طبیعی، دارای ترکیبات زیست فعال با پتانسیل بالا جهت ارتقاء سلامتی یا کاهش خطر بیماری‌ها می‌باشند (Freitas, 2012). اسیدهای چرب ضروری امگا-۳ به عنوان یکی از ترکیبات غذایی مورد استفاده در تولید غذاهای عملگرا، به دلیل عدم وجود آنزیم‌های لازم جهت سنتز در بدن و تأمین آنها از طریق رژیم های غذایی امروزه بسیار مورد توجه قرار گرفته‌اند. از جمله اسیدهای چرب ضروری امگا-۳ می‌توان به ایکوزاپنتاانوئیک اسید[3] و دوکوزاهگزاانوئیک اسید[4] در غذاهای دریایی اشاره داشت. به‌طوری‌که اثرات سلامت بخشی آنها در کاهش بیماری‌های قلبی-عروقی، تورم مفاصل، درمان برخی از انواع سرطان‌ها، پیشگیری از آلزایمر و کاهش افسردگی و درمان بسیاری از بیماری‌های دیگر به اثبات رسیده است (Henna & Norziah, 2011). بر اساس بیانیه اعلام شده از سوی سازمان سلامت در کشور انگلستان[5] میزان مصرف این دو اسید چرب ۱/۵ گرم در هفته یا معادل با مصرف دو مرتبه ماهی چرب در هفته بیان شده است (Kolanowski, 2007). کارشناسان تغذیه نسبت متعادل بین اسیدهای چرب امگا-۶ به امگا-۳ در بدن را به صورت ۱:۱ و حداکثر۵ :۱ بیان کرده‌اند. متاسفانه امروزه به دلیل افزایش مصرف اسیدهای چرب امگا-۶ از طریق مصرف گوشت، دانه‌های روغنی و غذاهای آماده[6] و عدم تمایل برخی از افراد نسبت به مصرف غذاهای دریایی به عنوان اسیدهای چرب چند غیراشباع امگا-۳[7]، سبب تغییر نسبت اسیدهای چرب امگا-۶ به امگا-۳ به صورت ۳۰-۲۰ :۱ گردیده است. به طوریکه مصرف امگا-۶ در اغلب افراد ۳۰ برابر مصرف امگا-۳ می باشد. در نتیجه اسیدهای چرب امگا-۳ فاقد اثرات مثبت بر روی سلامتی می‌باشند. به علت عدم تمایل برخی از افراد نسبت به مصرف منابع دریایی و پایین بودن سرانه مصرف در ایران (۷/۱ کیلوگرم در سال) در مقایسه با میانگین مصرف جهانی (۱۷/۸ کیلوگرم در سال) غنی‌سازی مواد غذایی به عنوان موثرترین راهکار می تواند مورد استفاده قرار گیرد (Freitas, 2012) اسیدهای چرب زنجیره بلند امگا-۳ به علت وجود باندهای دوگانه متعدد در ساختار شیمیایی خود دارای حساسیت بسیار بالایی می‌باشند و در صورت استفاده از آن در محصولات غذایی برحسب شرایط مختلف مانند زمان طولانی فرآیند تولید، درجه حرارت های بالا و بسیاری از عوامل دیگر می‌توانند بر میزان کارایی این ترکیبات زیست فعال و کاهش ماندگاری غذای عملگرا موثر باشند (Hall, 2005). تحقیقات انجام شده حاکی از آن است میکروکپسوله کردن امگا-۳ و کاربرد آن در ترکیبات غذایی مختلف می‌تواند در افزایش پایداری محصول غنی شده موثر باشد (Verardo *et al*, 2009). استفاده از روغن ماهی در مقایسه با نوع میکروکپسوله در نان توسط برخی محققین در سال‌های ۲۰۱۲ و ۲۰۱۱ بیانگر افزایش پایداری میکروکپسول امگا-۳ در زمان تولید و نگهداری محصول می‌باشد. تحقیقات انجام شده جهت غنی‌سازی اسپاگتی با امگا-۳ توسط Iafelice و همکاران در سال ۲۰۰۸ نشان از افزایش مقاومت روغن ماهی میکروکپسوله بعد از عملیات پخت (تقریبا ۹۰٪) و قابلیت پذیرش بالا می‌باشد. در سال ۲۰۱۰، Akillioglu و همکاران، پایداری و قابلیت پذیرش کلوچه غنی شده با پودر میکروکپسول امگا-۳ حاوی روغن ماهی را مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج نشان داد بیشترین میزان کاهش امگا-۳ (۵٪) بعد از ۲۸ روز ایجاد شده و افزودن امگا-۳ سبب ایجاد پس طعم نامطلوب نگردیده است. در همین راستا غنی سازی ترکیبات غذایی پر مصرف بسیار مورد توجه قرار گرفته است. پاستا به عنوان یک نام عمومی برای کلیه فرآورده‌های خمیری از قبیل ماکارونی، اسپاگتی، نودل، لازانیا و غیره به کار برده می‌شود. به دلیل ارزش غذایی بالا، تنوع زیاد، قابلیت نگهداری و امکان تهیه

[1] Functional Foods [2] Food and Agriculture Organization (FAO) [3] Eicosapentaenoic acid (EPA)
[4] Docosahexaenoic Acid (DHA) [5] United Kingdom Department of Health [6] Fast Food
[7] Polyunsaturated Fatty Acid (PUFA)

غذا در مدت زمان کوتاه سبب شده سرانه تولید و مصرف در سال‌های اخیر در بسیاری از کشورهای جهان افزایش چشمگیری داشته به طوری که بعد از نان دارای بیشترین میزان مصرف می‌باشد. با توجه به ارزش غذایی بالا در این گروه از ترکیبات غذایی اما به دلیل پایین بودن مقدار اسیدهای چرب امگا-۳ قادر به تامین نیاز روزانه بدن نبوده به‌طوریکه مقدار اسیدهای چرب امگا-۳ موجود در محصولات خمیری فقط مربوط به آلفالینولنیک اسید بوده که تقریبا ۴/۳ ٪ کل اسیدهای چرب موجود را به خود اختصاص داده‌اند. بنابراین می‌توان از آن به عنوان یک ترکیب غذایی با پتانسیل بالا جهت غنی سازی با اسیدهای چرب ضروری امگا-۳ استفاده کرد (Iafelice, 2008). با توجه به حساسیت اسیدهای چرب امگا-۳ نسبت به حرارت و خشک کردن به عنوان یکی از مراحل اصلی در تولید محصولات خمیری و عملیات پخت قبل از مصرف، هدف از انجام این پژوهش معرفی بهترین شرایط خشک کردن جهتتولید محصولی با بالاترین ارزش غذایی و کیفیت مطلوب جهت ارتقاء سلامت جامعه می‌باشد.

مواد و روش‌ها

آرد سمولینا مورد مصرف جهت تولید اسپاگتی از شرکت آرد زر تهیه شد. در این تحقیق جهت غنی‌سازی از پودر میکروکپسول امگا-۳ حاوی ترکیباتی از قبیل روغن ماهی تصفیه شده، نشاسته اصلاح شده، ساکاروز، سدیم آسکوربات، دی اکسید سیلیکون، عصاره رزماری، مخلوطی از توکوفرول‌ها و آسکوربیل پالمیتات و دارای حداقل ۹٪ اسیدهای چرب زنجیره بلند امگا-۳ (ایکوزاپنتاانوئیک اسید و دوکوزاهگزاانوئیک اسید) تولید شده در شرکت Roche ساخت کشور سوئیس استفاده شد. جهت انجام آزمون‌های شیمیایی از مواد و محلول‌های شرکت Merck آلمان استفاده شد.

- آزمون‌های شیمیایی آرد سمولینای مصرفی

آزمون‌های رطوبت، خاکستر، گلوتن مرطوب و خشک مطابق روش AACC به ترتیب شماره های ۱۶-۴۴، ۰۱-۰۸، ۱۲-۳۸ انجام شد (AACC, 2000).

- تولید اسپاگتی

در این پژوهش نمونه‌ها در سطح آزمایشی توسط دستگاه ماکارونی ساز در ۶ بچ (۳ تیمار شاهد – ۳ تیمار غنی شده) درحجم‌های ۵ کیلوگرم به صورت اسپاگتی تولید گردید. پس از افزودن آب به نسبت ۳۰٪ وزن آرد در خمیرگیر، مخلوط کردن به مدت ۱۵ دقیقه با سرعت ۸۰rpm و تشکیل شبکه گلوتنی انجام شد. پس از انتقال خمیر به مخلوط کن تحت خلاء ،اکسترود کردن با دمای ۴۵-۴۰ ^{o}C و فشار ۱۵۰ میلی‌متر جیوه جهت جلوگیری از ایجاد حباب در محصول نهایی صورت گرفت (Villeneuve & Gelinas, 2007). جهت تولید اسپاگتی غنی شده، پودر میکروکپسول امگا-۳ به میزان ۱/۲٪ بر اساس وزن آرد پیش از افزودن آب و تهیه خمیر، به آرد سمولینا اضافه شده و عملیات همزدن در داخل مخلوط کن به مدت ۱۰ دقیقه انجام شد (Verardo, 2009; Iafelice, 2008). جهت رسیدن رطوبت نهایی به ۱۲-۱۱٪ خشک کردن اسپاگتی‌های شاهد (۳ تیمار) و غنی شده (۳ تیمار) تحت سه شرایط دمایی مختلف به شرح زیر انجام شد :

- خشک کردن در دمای ۵۵ ^{o}C با رطوبت نسبی ۵۲-۵۰٪ به مدت بیست ساعت (Zhang , 2012).
- خشک کردن در دمای ۷۵ ^{o}C با رطوبت نسبی ۷۰-۶۵٪ به مدت هشت ساعت (Guler , 2002).
- خشک کردن در دمای ۹۰ ^{o}C با رطوبت نسبی ۸۰-۷۰٪ به مدت چهار ساعت (Guler , 2002).

در نهایت بسته بندی توسط فیلم پلی پروپیلن انجام گرفت . تغییرات حاصل در روز اول تولید، بعد از گذشت نه و هجده ماه نگهداری دردمای محیط مورد ارزیابی قرار گرفت.

- آزمون‌های انجام شده بر روی پودر میکروکپسول امگا-۳ و اسپاگتی

- استخراج چربی

جهت استخراج روغن از پودر میکروکپسول امگا-۳، تیمارهای شاهد و غنی شده از روش استخراج سرد استفاده شد (Folch, 1957). بطوریکه پس از توزین۳۵-۳۰ گرم نمونه در مخلوطی از حلال‌های هگزان و متانول به نسبت حجمی ۱:۲ به طور مداوم به مدت ۲۴ ساعت توسط استیرر همزده شد. پس از جداسازی فاز آبی در دکانتور و عبور

هگزان به همراه چربی محلول از سولفات سدیم بدون آب، حذف حلال در دستگاه تقطیرگردان تحت خلاء ۱۰۰ میلی متر جیوه و دمای ۳۵ ^{o}C انجام گردید. به دلیل عملیات پخت بر روی اسپاگتی قبل از مصرف، میزان پایداری اسیدهای چرب امگا-۳ بعد از پخت نیز مورد ارزیابی قرار گرفت. جهت استخراج چربی از اسپاگتی پخته شده، ابتدا میزان ۲۰ گرم اسپاگتی در ظرف فلزی استوانه ای دارای ۵۰۰ میلی لیتر آب مقطر در حال جوش قرار گرفت و حداقل به مدت ۱۵ دقیقه عملیات جوشاندن تا زمانی که نقاط سفید رنگ در بخش مرکزی مشاهده نشد ادامه یافت و سپس آبکشی گردید و عملیات استخراج طبق روش بیان شده ادامه یافت (بی‌نام، ۱۳۷۱).

- شناسایی اسید های چرب

تهیه متیل استرهای اسیدهای چرب و شناسایی آن ها با استفاده از استاندارد ملی ایران به شماره ۴۰۹۰ و ۴۰۹۱ انجام شد. جهت تهیه پروفایل اسیدهای چرب از دستگاه گاز کروماتوگراف ساخت شرکت Perkin Elmer مدل 500 Clarus مجهز به آشکارساز یونی[1] و ستون با مشخصات SP-2560(100m× 0.25ml× 0.25µl) و از گاز ازت به عنوان حامل استفاده شد. درجه حرارت محل تزریق نمونه ۲۵۰ ^{o}C و دمای ۲۶۰ ^{o}C در آشکارساز استفاده شد. سرعت جریان گاز حامل ۲ میلی‌لیتر در دقیقه و میزان تزریق نمونه ۰/۵ میکرولیتر بود. مدت زمان آنالیز ۶۹ دقیقه و ۱۷ ثانیه بر اساس افزایش دما با سرعت تقریبی ۲ درجه سانتی‌گراد در هر دقیقه انجام شد. از مقایسه منحنی های ترسیم شده توسط دستگاه با منحنی استاندارد (ترکیب ۳۷ اسید چرب مختلف) و براساس زمان بازداری نسبی آن‌ها نوع اسیدهای چرب شناسایی شد. مقدار اسیدهای چرب با محاسبه سطح زیر منحنی‌های حاصل توسط نرم‌افزار تعیین گردید. برای محاسبه درصد نابودی اسیدهای چرب ایکوزاپنتاانوئیک اسید و دوکوزاهگزاانوئیک اسید بعد از عملیات خشک کردن، پخت و در نهایت افت کلی در اسپاگتی غنی شده از روابط ذیل استفاده گردید (Iafelice, 2008):

$$\text{درصد افت در اثر خشک کردن} = \frac{M_2}{M_1}\times 100$$

$$\text{درصد افت در اثر پخت} = \frac{M_3}{M_2}\times 100$$

$$\text{درصد افت کلی} = \frac{M_3}{M_1}\times 100$$

M_1 = مجموع درصد EPA و DHA در اسپاگتی قبل از خشک کردن

M_2 = مجموع درصد EPA و DHA در اسپاگتی بعد از خشک کردن

M_3 = مجموع درصد EPA و DHA در اسپاگتی بعد از پخت

- ویژگی‌های پخت اسپاگتی

ویژگی‌های پخت اسپاگتی از نظر عدد پخت، لعاب و چسبندگی از طریق استاندارد ملی ایران به شماره ۲۱۳ مورد ارزیابی قرار گرفت.

- تجزیه و تحلیل آماری

به منظور تجزیه و تحلیل داده ها، از آزمایش فاکتوریل ۳*۲ در قالب طرح بلوک های کاملاً تصادفی با در نظر گرفتن اثر متقابل بین عوامل موجود در مدل استفاده شده و اثر زمان به عنوان بلوک در نظر گرفته و ۳ تکرار به ازای هر تیمار انجام شد. تجزیه و تحلیل داده های حاصله با کمک نرم افزارSAS 9.1 و مقایسه میانگین ها با آزمون چند دامنه ای دانکن (در سطح ۵٪) صورت گرفت.

یافته ها

نتایج مربوط به آزمون‌های شیمیایی بر روی آرد سمولینای مصرفی در جدول ۱ نشان داده شده است . نتایج بدست آمده از بررسی اسیدهای چرب موجود در اسپاگتی شاهد تحت شرایط دمایی مختلف در خشک‌کن (۹۰ ^{o}C- ۵۵ ^{o}C-۷۵ ^{o}C) در جدول ۲ نشان داد دماهای مختلف تاثیر معنی‌داری بر روی درصد اسیدهای چرب در اسپاگتی نداشته است (P>۰/۰۵). از گروه اسیدهای چرب اشباع، تک-غیراشباع و چندغیراشباع بالاترین درصد اسیدهای چرب شناسایی شده در هر گروه به ترتیب مربوط به پالمیتیک اسید (C16:0)، اولئیک اسید (C18:1n-9) و لینولئیک اسید (C18:2n-6) می‌باشد (لینولئیک اسید در

[1] Flame Ionization Detector (FID)

گروه اسیدهای چرب امگا-۶ بالاترین درصد را در بین تمام اسیدهای چرب شناخته شده در اسپاگتی دارا می‌باشد). سه اسید چرب ذکر شده به طورتقریبی۹۲ ٪ از اسیدهای چرب موجود را به خود اختصاص داده‌اند. لذا تنها منبع مربوط به اسیدهای چرب امگا-۳ در اسپاگتی مربوط به آلفا-لینولنیک اسید (C18:3n-3) بوده که درصد کمی از اسیدهای چرب موجود را دارا می‌باشند (~۴٪). به علت بالا بودن محتوای اسیدهای چرب امگا-۶ در این گروه از ترکیبات غذایی، نسبت اسیدهای چرب امگا-۳ به امگا-۶ که در حقیقت از نسبت میان آلفا- لینولنیک (~۴٪) و لینولئیک اسید (~۵۵/۸۰٪) بدست آمد، به صورت ۱۴:۱ گزارش گردید. افزودن پودر میکروکپسول امگا-۳ به علت درصد بالای ایکوزاپنتاانوئیک اسید (۱۴/۸۲٪) و دوکوزاهگزاانوئیک اسید(۱۶/۷۲٪) سبب حضور اسیدهای چرب زنجیره بلند امگا-۳ در اسپاگتی غنی شده گردید. به طوریکه تغییرات ایجاد شده در بهبود نسبت اسیدهای چرب امگا-۳ به امگا-۶ موثر واقع شد.

جدول ۱- ویژگی های شیمیایی آرد سمولینای مصرفی

ویژگی	درصد
رطوبت	۱۳/۶۷ ± ۰/۳۱
خاکستر	۰/۶۵ ± ۰/۰۱۸
چربی	۱/۲ ± ۰/۰۴
گلوتن مرطوب	۳۲/۰ ± ۰/۹
گلوتن خشک	۱۱/۵۵ ± ۰/۵۶

جدول ۲- ترکیب اسیدهای چرب موجود در پودر میکروکپسول امگا-۳ و مقایسه میانگین ترکیب اسیدهای چرب تحت شرایط دمایی مختلف در خشک کن

نوع اسیدهای چرب	پودر میکروکپسول امگا-۳	اسپاگتی غنی شده (پیش از عملیات خشک کردن)	اسپاگتی شاهد (پیش از عملیات خشک کردن)	اسپاگتی شاهد (دمای خشک کن)		
	درصد اسیدهای چرب			۹۰ °C	۷۵ °C	۵۵ °C
C14:0	۸/۶۵ ± ۰/۲۲	۱/۴۲ ± ۰/۳۸^{a}	۰/۱۳ ±۰/۰۴^{b}	۰/۱۴ ±۰/۰۵^{b}	۰/۱۱ ±۰/۰۲^{b}	۰/۱۲ ±۰/۰۷^{b}
C16:0	۲۱/۹۲ ± ۰/۶۳	۲۱/۲۹ ± ۰/۸۷^{a}	۲۱/۲۷۶ ±۰/۴۲^{a}	۲۱/۱۸ ±۰/۵۵^{a}	۲۱/۱۶ ±۰/۷۸^{a}	۲۱/۰۴ ±۰/۸۹^{a}
C18:0	۴/۷۲ ± ۰/۴۱	۲/۱۵ ± ۰/۲۹^{a}	۱/۵۱ ±۰/۸۴^{b}	۱/۵۰ ±۰/۱۳^{b}	۱/۴۶ ±۰/۳۴^{b}	۱/۴۷ ±۰/۳۰^{b}
Other SFA	۰/۶۷ ± ۰/۰۷	۰/۵۱ ± ۰/۰۷^{a}	۰/۴۰ ±۰/۰۹^{b}	۰/۴۱ ±۰/۱۲^{b}	۰/۳۹ ±۰/۱۰^{b}	۰/۴۰ ±۰/۱۷^{b}
∑SFA	۳۵/۹۶ ± ۰/۷۸	۲۵/۳۷ ± ۰/۶۸^{a}	۲۳/۷۸ ±۰/۶۲^{b}	۲۳/۲۳ ±۰/۵۶^{b}	۲۳/۱۲ ±۰/۶۶^{b}	۲۳/۰۳ ±۰/۷۳^{b}
C16:1	۷/۹۷ ± ۰/۳۸	۱/۴۴ ± ۰/۳۱^{a}	۰/۱۲ ±۰/۰۵^{b}	۰/۱۲ ±۰/۰۲^{b}	۰/۱۴ ±۰/۰۸^{b}	۰/۱۱ ±۰/۰۶^{b}
C18:1	۱۵/۹۷ ± ۰/۷۰	۱۵/۷۶ ± ۰/۷۰^{a}	۱۵/۶۷ ±۰/۲۶^{a}	۱۵/۳۰ ±۰/۹۲^{a}	۱۵/۲۷ ±۰/۴۶^{a}	۱۵/۳۱ ±۰/۸۷^{a}
Other MUFA	۳/۳۳ ± ۰/۲۳	۲/۲۵ ± ۰/۲۳^{a}	۱/۱۴ ±۰/۲۲^{b}	۱/۱۸ ±۰/۳۶^{b}	۱/۱۱ ±۰/۲۱^{b}	۱/۱۶ ±۰/۴۵^{b}
∑MUFA	۲۷/۲۷ ± ۰/۸۵	۱۹/۴۶ ± ۰/۸۵^{a}	۱۶/۲۲ ±۰/۴۱^{b}	۱۶/۶۰ ±۰/۸۶^{b}	۱۶/۵۲ ±۰/۵۳^{b}	۱۶/۵۸ ±۰/۷۲^{b}
C18:2n-6	۲/۳۱ ± ۰/۴	۴۲/۳۰ ± ۰/۵۲^{a}	۵۵/۷۷ ±۰/۵۲^{b}	۵۵/۶۶ ±۰/۳۲^{b}	۵۵/۹۰ ±۰/۲۷^{b}	۵۵/۹۱ ±۰/۴۳^{b}
C18:3n-3	۲/۰۳ ± ۰/۱۸	۳/۷۱ ± ۰/۴۸^{b}	۳/۹۵ ±۰/۲۸^{a}	۳/۹۹ ±۰/۳۴^{ab}	۴/۰۲ ±۰/۳۹^{a}	۳/۹۹ ±۰/۴۱^{ab}
C20:5n-3	۱۴/۸۲ ± ۰/۳۴	۳/۹۴ ± ۰/۳۴	–	–	–	–
C22:6n-3	۱۶/۷۲ ± ۰/۵۲	۴/۴۱ ± ۰/۵۲	–	–	–	–
Other PUFA	۰/۸۹ ± ۰/۰۵	۰/۸۱ ± ۰/۰۸^{a}	۰/۵۰ ±۰/۰۴^{bc}	۰/۵۱ ±۰/۰۵^{b}	۰/۴۴ ±۰/۰۳^{bc}	۰/۴۹ ±۰/۰۶^{b}
∑PUFA	۳۶/۷۷ ± ۰/۲۳	۵۵/۱۷ ± ۰/۳۶^{b}	۶۱/۳۶ ±۰/۷۹^{a}	۶۰/۱۷ ±۰/۴۸^{a}	۶۰/۳۶ ±۰/۳۶^{a}	۶۰/۳۹ ±۰/۵۱^{a}
∑n-3 PUFA	۳۳/۵۷ ± ۰/۶۸	۱۲/۰۶ ± ۰/۶۸^{b}	۴/۱۵ ±۰/۳۱^{a}	۴/۱۲ ±۰/۴۶^{a}	۴/۰۲ ±۰/۴۶^{a}	۴/۱۰ ±۰/۲۶^{a}
∑Lc n-3 PUFA	۳۱/۵۴ ± ۰/۰۴	۸/۳۵± ۰/۳۱	–	–	–	–
ω3 /ω6	۱ : ۱۵	۱ : ۳/۵^{a}	۱:۱۴^{b}	۱:۱۴^{b}	۱:۱۴^{b}	۱:۱۴^{b}

* در هر سطر میانگین های دارای حروف متفاوت در سطح احتمال ۵٪ با یکدیگر تفاوت معنی دار دارند.

- بررسی پایداری اسیدهای چرب زنجیره بلند امگا-۳

جداول ۳ ، ۴ و ۵ به بررسی مقایسه میانگین اثر زمان بر پایداری اسیدهای چرب زنجیره بلند امگا-۳ تحت شرایط دمایی مختلف (۹۰ °C، ۷۵ °C، ۵۵ °C) پرداخته است. نتایج بدست آمده از بررسی پایداری اسیدهای چرب زنجیره بلند امگا-۳ تحت دماهای مختلف در خشک کن نشان داد دما و زمان در میزان پایداری اسیدهای چرب زنجیره بلند امگا-۳ دارای تاثیر معنی‌داری بوده است ($P<۰/۰۱$). بر اساس جداول ۳ و ۴ تحت شرایط دمایی ۵۵ °C و ۷۵ °C بعد از گذشت نه ماه اختلاف معنی‌داری در کاهش درصد اسیدهای چرب زنجیره بلند امگا-۳ در تیمارها قبل و بعد از پخت وجود نداشته ولی بعد از گذشت هجده ماه این اختلاف به صورت معنی‌دار بیان شد. تحت شرایط دمایی ۹۰ °C (جدول ۵) قبل و بعد از پخت اسپاگتی کاهش درصد اسیدهای چرب زنجیره بلند امگا-۳ در طی ماه نهم و هجدهم نسبت به روز اول به صورت معنی‌دار بود.

- بررسی نتایج آزمون‌های مربوط به درصد افت اسیدهای چرب زنجیره بلند

بر اساس نتایج آماری بدست آمده اثر متقابل دماهای مختلف در خشک‌کن و دوره نگهداری بر درصد افت اسیدهای چرب زنجیره بلند امگا-۳ در اثر خشک کردن دارای تاثیر معناداری می‌باشد ($P<۰/۰۱$). بر اساس نمودار ۱ در روز اول تحت شرایط دمایی ۵۵ °C، ۷۵ °C و ۹۰ °C

جدول۳- مقایسه میانگین اثر زمان بر پایداری درصد اسیدهای چرب زنجیره بلند امگا-۳ تحت شرایط دمایی۵۵ °C در خشک کن

زمان	روز اول	ماه نهم	ماه هجدهم	روز اول	ماه نهم	ماه هجدهم
اسیدهای چرب	قبل از پخت			بعد از پخت		
C20:5n-3	۳/۷۳ ±۰/۴۰^{a}	۳/۶۴ ±۰/۴۵^{a}	۳/۳۷ ±۰/۴۲^{b}	۳/۲۰ ±۰/۳۲^{a}	۳/۱۷ ±۰/۱۵^{a}	۲/۹۰ ±۰/۳۸^{b}
C22:6n-3	۴/۱۸ ±۰/۳۵^{a}	۴/۰۸ ±۰/۲۲^{a}	۳/۸۶ ±۰/۲۵^{b}	۳/۶۹ ±۰/۲۱^{a}	۳/۶۰ ±۰/۳۲^{ab}	۳/۴۰ ±۰/۲۶^{b}

* در هر سطر میانگین های دارای حروف متفاوت در سطح احتمال ۵٪ با یکدیگر تفاوت معنی دار دارند .

جدول٤- مقایسه میانگین اثر زمان بر پایداری درصد اسیدهای چرب زنجیره بلند امگا-۳ تحت شرایط دمایی۷۵ °C در خشک کن

زمان	روز اول	ماه نهم	ماه هجدهم	روز اول	ماه نهم	ماه هجدهم
اسیدهای چرب	قبل از پخت			بعد از پخت		
C20:5n-3	۳/۵۵ ±۰/۲۸^{a}	۳/۴۷ ±۰/۳۸^{ab}	۳/۳۱ ±۰/۳۱^{b}	۳/۲۹ ±۰/۲۸^{a}	۳/۲۳ ±۰/۴۱^{ab}	۳/۰۸ ±۰/۴۳^{b}
C22:6n-3	۴/۰۰ ±۰/۶۸^{a}	۳/۹۱ ±۰/۱۲^{ab}	۳/۷۷ ±۰/۳۴^{b}	۳/۷۰ ±۰/۳۴^{a}	۳/۶۲ ±۰/۲۱^{ab}	۳/۴۷ ±۰/۳۵^{b}

* در هر سطر میانگین های دارای حروف متفاوت در سطح احتمال ۵٪ با یکدیگر تفاوت معنی دار دارند .

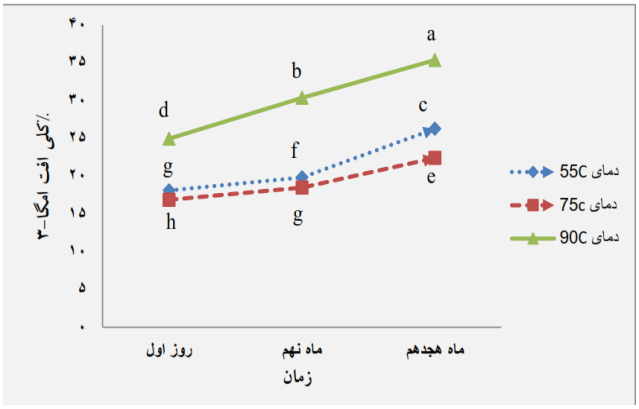
جدول۵- مقایسه میانگین اثر زمان بر پایداری درصد اسیدهای چرب زنجیره بلند امگا-۳ تحت شرایط دمایی۹۰ °C در خشک‌کن

زمان	روز اول	ماه نهم	ماه هجدهم	روز اول	ماه نهم	ماه هجدهم
اسیدهای چرب	قبل از پخت			بعد از پخت		
C20:5n-3	۳/۲۱ ±۰/۴۳^{a}	۲/۹۴ ±۰/۲۵^{b}	۲/۷۰ ±۰/۵۰^{c}	۲/۹۸ ±۰/۱۸^{a}	۲/۷۲ ±۰/۳۵^{b}	۲/۵۰ ±۰/۴۰^{c}
C22:6n-3	۳/۶۲ ±۰/۵۴^{a}	۳/۴۰ ±۰/۲۸^{b}	۳/۱۸ ±۰/۴۱^{c}	۳/۳۸ ±۰/۴۴^{a}	۳/۲۱ ±۰/۲۰^{ab}	۳/۰۰ ±۰/۲۴^{b}

* در هر سطر میانگین های دارای حروف متفاوت در سطح احتمال ۵٪ با یکدیگر تفاوت معنی دار دارند.

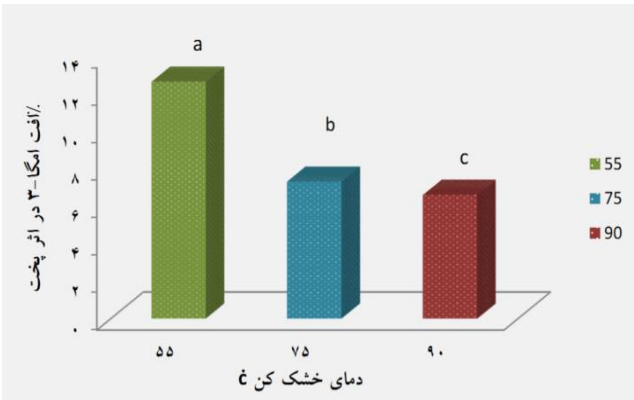
درصد افت امگا-۳ بعد از خشک کردن به ترتیب برابر با ۵/۲۱٪ ، ۹/۴۶٪ ، ۱۸/۰۸٪ بوده و بعد از هجده ماه به ترتیب برابر ۱۳/۵۳٪ ، ۱۴/۹۲٪ و ۲۹/۴۰٪ می‌باشد. بر اساس نمودار۲ خشک کردن اسپاگتی تحت شرایط دمایی مختلف در حفظ اسیدهای چرب زنجیره بلند امگا-۳ بعد از پخت تاثیر معنی‌داری داشته است (P<۰/۰۱). تحت شرایط دمایی ۵۵ °C ، ۷۵ °C و ۹۰ °C میزان افت امگا-۳ بعد از پخت به ترتیب برابر۱۲/۶۴٪ ،۷/۳۱٪ ، ۶/۶٪ می باشد. با افزایش دمای خشک کن درصد افت امگا-۳ در اثر پخت کاهش یافته است

مقایسه میانگین ویژگی‌های اسپاگتی شاهد و غنی شده و محتوای اسیدهای چرب زنجیره بلند امگا-۳ بعد از پخت اسپاگتی (mg/100gr) در جداول ۶ و ۷ نمایش داده شده است. بر اساس نتایج بدست آمده بیشترین و کمترین محتوای اسیدهای چرب امگا-۳ بعد از پخت به ترتیب مربوط به شرایط دمایی ۷۵ °C و ۹۰ °C می‌باشد.



نمودار۱- مقایسه میانگین درصد افت امگا-۳ بر اساس زمان و دما

* حروف لاتین متفاوت نشان دهنده معنی دار بودن میانگین تیمارها می باشد .



نمودار۲- مقایسه میانگین درصد افت امگا-۳ در اثر پخت بر اساس دمای خشک کن

* حروف لاتین متفاوت نشان دهنده معنی دار بودن میانگین تیمارها می باشد .

جدول ٦- مقایسه میانگین ویژگی های پخت در اسپاگتی شاهد و غنی شده

	اسپاگتی شاهد			اسپاگتی غنی شده		
	۵۵ °C	۷۵ °C	۹۰ °C	۵۵ °C	۷۵ °C	۹۰ °C
عدد لعاب	۷/۹۱^{a}	۶/۳۵^{b}	۵/۳۷^{c}	۷/۲۰^{a}	۶/۱۵^{b}	۵/۱۸^{c}
پخت	۵۶/۶۰^{a}	۵۳/۸۶^{b}	۵۲/۸۰^{c}	۵۶/۸۶^{a}	۵۴/۰۳^{b}	۵۲/۹۵^{c}
چسبندگی	۴/۱۶^{a}	۲/۴۵^{b}	۱/۴۲^{c}	۳/۳۸^{a}	۲/۳۴^{b}	۱/۳۱^{c}

* در هر سطر میانگین های دارای حروف متفاوت در سطح احتمال ۵٪ با یکدیگر تفاوت معنی دار دارند .

جدول ۷- محتوای اسیدهای چرب زنجیره بلند امگا-۳ بعد از پخت اسپاگتی(mg/100gr)

زمان	روز اول			ماه نهم			ماه هجدهم		
دمای خشک‌کن	۵۵ °C	۷۵ °C	۹۰ °C	۵۵ °C	۷۵ °C	۹۰ °C	۵۵ °C	۷۵ °C	۹۰ °C
c20:5n-3	۴۷/۹۰	۴۹/۴	۴۴/۸	۴۷/۵۵	۴۸/۳	۴۰/۸۵	۴۳/۵	۴۶/۲	۳۷/۹
c22:6n-3	۵۵/۴۵	۵۵/۵	۵۰/۸	۵۴/۰۵	۵۴/۴۵	۴۸/۲۰	۵۰/۷۵	۵۲/۳	۴۵
EPA+DHA	۱۰۳/۳۵	۱۰۴/۹	۹۵/۶	۱۰۱/۶	۱۰۲/۷۵	۸۹/۰۵	۹۴/۲۵	۹۸/۵	۸۲/۹

بحث

بر اساس بیانیه اعلام شده، نسبت متعادل میان اسیدهای چرب امگا-۳ به امگا-۶ به صورت ۱:۱ یا حداکثر ۵:۱ در رژیم‌های غذایی روزانه بیان گردیده است (WHO/ FAO, 1994). بنابراین می‌توان نتیجه گرفت اسپاگتی به عنوان یک غذای سالم و دارای محبوبیت زیاد در میان مصرف‌کنندگان، اما به علت بالا بودن نسبت اسیدهای چرب امگا-۶ به امگا-۳ و پایین بودن محتوای اسیدهای چرب ضروری امگا-۳ قادر به تامین نیاز روزانه بدن نمی‌باشد. بررسی انجام شده بر روی ترکیب اسیدهای چرب در اسپاگتی غنی شده پیش از عملیات خشک کردن حاکی از تغییرات ایجاد شده در ترکیب اسیدهای چرب نسبت به اسپاگتی شاهد می‌باشد. به طوریکه قبل از غنی-سازی، نتایج بیانگر عدم وجود اسیدهای چرب زنجیره بلند امگا-۳ در این ترکیب غذایی بوده و غنی‌سازی سبب گردید درصد اسیدهای چرب امگا-۳ موجود در اسپاگتی غنی‌شده (~۱۲/۰۶٪) که مجموع اسیدهای چرب آلفا-لینولنیک اسید، ایکوزاپنتاانوئیک اسید و دوکوزاهگزاانوئیک اسید بوده در مقایسه با اسپاگتی شاهد (~۴٪) که فقط مربوط به آلفا-لینولنیک اسید می‌باشد افزایش یابد. در نتیجه نسبت اسیدهای چرب امگا-۳ به امگا-۶ به صورت۱: ۳/۵ بهبود یافته در صورتی که نسبت آن‌ها در اسپاگتی شاهد به صورت ۱۴:۱ گزارش گردید (Iafelice, 2008).

- بررسی پایداری اسیدهای چرب زنجیره بلند امگا-۳

Fennema و همکاران در سال ۲۰۰۷، بیان داشتند دما به عنوان یکی از عوامل تاثیرگذار به علت وجود باندهای دوگانه متعدد در ساختار شیمیایی ایکوزاپنتاانوئیک اسید و دوکوزاهگزاانوئیک اسید می‌تواند در پایداری آن‌ها موثر باشد. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت به علت حساسیت اسیدهای چرب زنجیره بلند امگا-۳ نسبت به حرارت تحت شرایط دمایی ۹۰ °C در طی دوران نگهداری نسبت به روز اول دارای اختلاف معنی-داری نسبت به یکدیگر می‌باشند (Hall, 2005). با توجه به نتایج آماری و عدم معنی‌دار بودن اثر متقابل تیمارها قبل و بعد از پخت اما نتایج نشان داد روند کاهش محتوای اسیدهای چرب زنجیره بلند امگا-۳ تحت سه شرایط دمایی مختلف، قبل و بعد از پخت اسپاگتی در طی دوران نگهداری یکسان بوده و پخت اسپاگتی در کاهش محتوای اسیدهای چرب زنجیره بلند امگا-۳ موثر می‌باشد. در حقیقت علت را می‌توان به جذب آب در اسپاگتی نسبت داد. پخت پاستا در دمای بالاتر از نقطه‌ی ژلاتینه شدن گرانول‌های نشاسته (۵۹/۵ °C) از طریق نابودی باندهای هیدروژنی موجود در ساختار ملکول‌های نشاسته سبب افزایش سرعت جذب آب می‌گردد. در اثر جذب آب این امکان فراهم می‌گردد تا مقداری از ملکول های نشاسته از بافت پاستا خارج شده و به آب پخت وارد گردد بنابراین می‌توان نتیجه گرفت از طریق خروج مواد جامد از بافت اسپاگتی هنگام پخت، امکان ورود مقداری از امگا-۳ افزوده شده به آب پخت فراهم گردیده است (Iafelice, 2008; Lee, 2004).

- بررسی نتایج آزمون‌های مربوط به درصد افت اسیدهای چرب زنجیره بلند

تحت شرایط دمایی پایین(۵۵ °C) و بالا (۷۵ °C) میزان درصد افت امگا-۳ بعد از هجده ماه کمتر از ۱۵٪ بوده ولی در دمای بسیار بالا (۹۰ °C) درصد افت امگا-۳ تقریباً دو برابر شرایط دمای پایین و بالا می باشد. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت، دمای ۹۰ °C به طور معنی‌داری در کاهش محتوای اسیدهای چرب ایکوزاپنتاانوئیک اسید و دوکوزا هگزاانوئیک اسید در مقایسه با دمای ۵۵ °C و ۷۵ °C موثر می‌باشد. که نتایج بدست آمده با تحقیقات انجام شده توسط Fennema و همکاران در سال ۲۰۰۷ مطابقت داشت . تحت شرایط دمایی ۵۵ °C درصد افت امگا-۳ بر اثر پخت تقریباً دو برابر شرایط دمایی ۹۰ °C می‌باشد. علت را می‌توان به موارد عنوان شده شده نسبت داد:

- Grant و همکاران در سال ۱۹۹۳ در تحقیقات انجام شده نشان دادند که محتوای آمیلوز باقی مانده در پاستا بعد از

پخت وابسته به دمای خشک‌کن می‌باشد. با افزایش دما در خشک‌کن به دلیل بهبود ویژگی های پخت (کاهش عدد لعاب، پخت و چسبندگی) مقدار آمیلوز باقی مانده بعد از پخت در پاستا در مقایسه با دمای پایین بیشتر می‌باشد (بر اساس جدول ۶). تحت شرایط دمایی بالا در خشک کن به علت تغییرات فیزیکوشیمیایی ایجاد شده، امکان تشکیل پیوند میان ملکول‌های آمیلوز و لیپید در مقایسه با دمای پایین بیشتر می‌باشد. بنابراین آمیلوز به صورت آزاد کمتر حضور داشته، هنگام پخت محتوای آمیلوز وارد شده به آب پخت کاهش می‌یابد (Zhang, 2012; Gu¨ler, 2002). می‌توان نتیجه گرفت تحت شرایط دمایی ۷۵°C و ۹۰°C در مقایسه با دمای ۵۵ °C به علت افزایش پیوندهای ایجاد شده میان ملکول‌های آمیلوز و لیپید، آمیلوز به صورت آزاد کمتر حضور داشته و امکان خروج آن از بافت اسپاگتی و وارد شدن به آب پخت کاهش می‌یابد. در نتیجه با افزایش محتوای آمیلوز باقی مانده در اسپاگتی تحت شرایط دمایی ۷۵°C و ۹۰°C، امکان خروج امگا-۳ و ورود آن به آب پخت کاهش می‌یابد. زنجیره ملکولی در آمیلوز حالت هلیکس دارد که هر دور آن از شش ملکول گلوکز درست شده است. این یک ویژگی مهم در مورد آمیلوز است زیرا می‌تواند مواد مختلفی نظیر اسیدهای چرب را در درون این ساختمان مارپیچ جای دهد و آن‌ها را نگه دارد (فاطمی، ۱۳۸۴). با توجه به نتایج بدست آمده می توان بیان داشت با افزایش دما در خشک‌کن، مقدار آمیلوز باقی‌مانده در اسپاگتی در مقایسه با دمای پایین بیشتر بوده و وجود آمیلوز بیشتر بعد از پخت این امکان فراهم گردیده تا از خروج اسیدهای چرب امگا-۳ نسبت به دمای پایین جلوگیری گردد Dexter و همکاران در سال ۱۹۸۱ بیان داشتند، تحت شرایط دمایی بالا امکان دناتوره شدن مقدار بیشتری از پروتئین‌ها در مقایسه با دمای پایین فراهم می‌گردد. در نتیجه پروتئین دناتوره شده به‌صورت لایه‌ای بر روی سطح رشته‌ها قرار گرفته و باعث افزایش استحکام و مانع خروج بیشتر مواد جامد از بافت ماکارونی می‌گردد. با توجه به نتایج بدست آمده می‌توان بیان داشت تحت شرایط دمایی پایین در مقایسه با دمای بالا و بسیار بالا شبکه گلوتنی دارای استحکام پایین‌تری بوده، در نتیجه این امکان فراهم گردیده تا هنگام پخت مقدار بیشتری از نشاسته به آب پخت وارد گردد. بنابراین با افزایش لعاب در هنگام پخت امکان خروج مقدار بیشتری از اسیدهای چرب زنجیره بلند امگا-۳ به آب پخت فراهم می‌گردد (Zhang, 2012).

- محتوای اسیدهای چرب زنجیره بلند امگا-۳ بر حسب میلی گرم در صد گرم اسپاگتی پخته شده

نتایج بدست آمده از بررسی محتوای اسیدهای چرب زنجیره بلند امگا-۳ بر حسب میلی‌گرم در صد گرم اسپاگتی پخته شده در جدول ۷ نشان داده شده است. بر اساس بیانیه اعلام شده از سوی سازمان سلامت در کشور انگلستان و دانشگاه علوم تغذیه در اروپا، میزان متعادل مصرف ایکوزاپنتاانوئیک اسید و دوکوزاهگزاانوئیک اسید ۱۵۰۰ میلی-گرم در هفته (تقریباً ۲۰۰ میلی‌گرم در روز) بیان شده است (Kolanowski, 2007). بر اساس نتایج بدست آمده در این تحقیق در مطلوب ترین شرایط تولید (دمای ۷۵° C) بعد از پخت و در طی دوران نگهداری اسپاگتی غنی شده حاوی تقریباً ۱۰۴/۹۰-۹۸/۹۵۰ میلی گرم ایکوزاپنتاانوئیک اسید و دوکوزاهگزاانوئیک اسید در صد گرم اسپاگتی می‌باشد. بنابراین با مصرف صد گرم اسپاگتی غنی‌شده تقریباً ۵۲-۴۸٪ از نیاز روزانه بدن به این ترکیبات تامین خواهد گردید.

نتیجه‌گیری

نتایج بدست آمده از این پژوهش نشان داد محصولات خمیری (اسپاگتی) بعنوان یک ترکیب غذایی محبوب از سوی مصرف‌کنندگان اما به‌دلیل پایین بودن نسبت اسیدهای چرب امگا-۳ به امگا-۶ به صورت ۱۴:۱ قادر به تأمین نیاز روزانه بدن نبوده، به طوریکه آلفالینولنیک اسید به عنوان تنها منبع امگا-۳ درصد کمی(~۴٪) از اسیدهای چرب موجود را به خود اختصاص داده است. غنی‌سازی توسط پودر میکروکپسول امگا-۳ سبب گردید علاوه بر افزایش محتوای اسیدهای چرب امگا-۳ (~۱۲/۰۶٪) نسبت آن‌ها به صورت ۱: ۴ بهبود یافت. همچنین خشک کردن اسپاگتی غنی شده تحت شرایط دمایی مختلف در خشک کن (۹۰°C، ۷۵° C ، ۵۵°C) تاثیر متفاوتی بر روی پایداری اسیدهای چرب ایکوزاپنتاانوئیک اسید و دوکوزاهگزاانوئیک اسید داشته است. به طوریکه اسپاگتی تولید شده در دماهای ۹۰°C، ۵۵°C به ترتیب کمترین و بیشترین محتوای اسیدهای اسیدهای چرب امگا-۳ را به خود اختصاص دادند. به جهت بهبود ویژگی‌های پخت در دماهای بالا (کاهش عدد پخت، لعاب و چسبندگی) شاهد کاهش درصد افت امگا-۳ در دمای ۷۵°C و ۹۰°C نسبت به دمای ۵۵°C

بودیم. در نهایت با بررسی درصد افت اسیدهای چرب زنجیره بلند امگا-۳ در اثر خشک کردن و پخت مشخص شد، شرایط دمایی $75^{\circ}C$ به عنوان مطلوب‌ترین شرایط جهت تولید، با حفظ بیش از ۷۵٪ امگا-۳ افزوده شده بعد از پخت طی هجده ماه، قادر به تامین ۵۲-۴۸٪ از نیاز روزانه در ازای مصرف صد گرم اسپاگتی غنی شده می‌باشد.

سپاسگزاری

بدین‌وسیله از همکاری شرکت کشت و صنعت دانه‌های روغنی و واحد تحقیق و توسعه شرکت زر ماکارون به جهت در اختیار گذاشتن امکانات جهت انجام این پروژه تحقیقاتی و همکاری‌های لازم نهایت تشکر و قدردانی را داریم.

منابع

بی‌نام. (۱۳۷۱). ماکارونی ویژگی‌ها و روش‌های آزمون، موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، استاندارد شماره ۲۱۳ ایران.

بی‌نام. (۱۳۷۱). روش تهیه متیل استرهای اسیدچرب، موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، استاندارد شماره ۴۰۹۰ ایران.

بی‌نام. (۱۳۷۱). تجزیه متیل استرهای اسیدهای چرب به روش گاز کروماتوگرافی، موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، استاندارد شماره ۴۰۹۱ ایران.

فاطمی، ح. (۱۳۸۴). شیمی مواد غذایی. انتشارات سهامی انتشار، صفحات ۱۴۵-۱۴۰.

Anon. (2000). American Association of cereal Chemists. Approved method the AACC, 10th ed. The Association, St. Paul, MN.

Akillioglu, H. G. & Yalcin, E. (2010). Some quality characteristics and nutritional properties of traditional egg pasta. Food Science and Biotechnology, 19 (2) 417-424.

Borneo, R., Kocer, D., Ghai, G., Tepper, B. J. & Karwe, M. V. (2007). Stability and consumer acceptance of long-chain omega-3 fatty acids (eicosapentaenoic acidb, 20:5, n-3 and docosahexaenoic acid, 22:6, n-3) in cream-filled sandwich cookies. Journal of Food Science, 72, 49-54.

Fennema, O. R., Parkin, K. L. & Srinivasan, D. (2007). Fennemas' Food Chemistry, Madison, Wisconsin, USA, CRC Press, Taylor & Francis Group.

Freitas, A. C., Rodrigues, D., Rocha-Santos, T. A. P., Gomes, A. M. P. & Duarte, A. C. (2012). Marine biotechnology advances towards applications in new functional foods. Biotechnology Advances, 30, 1506-1515.

Folch, J., Lees, M. & Sloane Stanley, G. H. (1957). A simple method for the isolation and purification of total 48ipids from animal tissues. Journal of Biological Chemistry, 226, 497–509.

Gu¨ler, S., Ko¨ksel, H. & Ng, P. K. W. (2002). Effects of industrial pasta drying temperatures on starch properties and pasta quality. Food Research International, 35, 421–427.

Hall, C. A., Manthey, F. A., Lee, R. E. & Niehaus, M. (2005). Stability of a-linolenic acid and secoisolariciresinol diglucoside in flaxseed-fortified macaroni. Journal of. Food Chemistry, 70, 483–489.

Henna Lu, F. S. & Norziah, M. H. (2010). Stability of docosahexaenoic acid and eicosapentaenoic acid in breads after baking and upon storage. International Journal of Food Science & Technology, 45, 821–827.

Henna Lu, F. S. & Norziah, M. H. (2011). Conribution of microencapsulated n−3 PUFA powder toward sensory and oxidative stability of bread. Journal of Food Processing and Preservation, 35, 596–604.

Iafelice, G., Caboni, M. F., Cubadda, R., Di Criscio, T., Trivisonno, M. C. & Marconi, E. (2008). Development of functional spaghetti enriched with long chain omega-3 fatty acids. Cereal Chemistry, 85, 146–151.

Kolanowski, W., Jaworska, D. & Weißbrodt, J. (2007). Importance of instrumental and sensory analysis in the assessment of oxidative deterioration of omega-3 long-chain polyunsaturated fatty acid-rich foods. Journal of Science Food Agriculture, 87, 181-191.

Verardo, V., Ferioli, F., Riciputi, Y., Iafelice, G., Marconi, E. & Caboni, M. F. (2009). Evaluation of lipid oxidation in spaghetti pasta enriched with long chain n−3 polyunsaturated fatty acids under different storage conditions. Food Chemistry, 114, 472−477.

Villeneuve, S. & Gelinas, P. (2007). Drying kinetics of whole durum wheat pasta according to temperature and relative humidity. LWT, 40, 465 – 471.

WHO/FAO. (1994). Fats and oils in human nutriti on. FAO.

Zhang, L., Takahisa, N., Hayakawa, S. H., Nakashima, R. & Goto, K. (2012). Effects of different drying conditions on water absorption and gelatinization properties of pasta. Food Bioprocess Technology, 7, 5-6.