نشریه شیلات، مجله منابع طبیعی ایران
دوره ٦٦، شماره ٢، تابستان ١٣٩٢

تاریخ دریافت: ١٣٩١/٩/٣٠
تاریخ پذیرش: ١٣٩٢/١/٢١

آثار جایگزینی پودر و روغن ماهی با منابع گیاهی در جیرهٔ غذایی ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان (*Oncorhynchus mykiss*)

❖ **رضا جلیلی** *؛ گروه شیلات، دانشکدهٔ منابع طبیعی دانشگاه ارومیه، ایران
❖ **ناصر آق**؛ پژوهشکدهٔ آرتمیا و جانوران آبزی دانشگاه ارومیه، ایران
❖ **فرزانه نوری**؛ پژوهشکدهٔ آرتمیا و جانوران آبزی دانشگاه ارومیه، ایران
❖ **احمد ایمانی**؛ گروه شیلات، دانشکدهٔ منابع طبیعی دانشگاه ارومیه، ایران

چکیـــده

هدف از این مطالعه بررســی تأثیرات جایگزینی پودر و روغن ماهی با منابع گیاهی در شــاخص‌های رشد، کارایی تغذیه، ترکیب شــیمیایی و ترکیب اســیدهای چرب بافت عضلهٔ ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان اســت. ماهیان با میانگین وزنی ٢±١٥ گرم در ١٢ مخزن پرورشی (٣٠٠ لیتری) با تراکم ٥٠ قطعه در هر مخزن توزیع و به مدت ٦٠ روز با جیره‌های آزمایشی تغذیه شدند. ترکیب روغن‌های گیاهی کانولا، بزرک و گلرنگ (به ترتیب با نسبت‌های ٤٠، ٣٠ و ٣٠ درصد) به طور کامل جایگزین روغن ماهی شد و از ترکیب منابع پروتئین گیاهی (گلوتن گندم، گلوتن ذرت و کنجالهٔ سویا) در ٣ سطح ٤٠، ٧٠ و ١٠٠ درصد به‌منزلهٔ جایگزین پودر ماهی اســتفاده شــد. منبع پروتئین و روغن جیرهٔ گروه شاهد فقط شــامل پودر ماهی و روغن ماهی بود. نتایج نشان داد که جایگزینی ٤٠ درصد پودر ماهی جیره با ترکیب منابع گیاهی تأثیرات منفی معنی‌داری در شــاخص‌های رشــد، کارایی تغذیه و ترکیب شــیمیایی عضلهٔ ماهیان تیمارهای مختلف نداشــت ($P>0/05$). جایگزینی ٧٠ و ١٠٠ درصد پودر ماهی جیره با ترکیب منابع پروتئین گیاهی موجب کاهش معنی‌دار وزن نهایی، ضریب تبدیل غذا، محتوای پروتئین بافت عضله، ضریب کارایی چربی و پروتئین و همچنین، شــاخص ارزش تولیدی پروتئین در مقایســه با گروه شــاهد شــد ($P<0/05$). جایگزینی روغن ماهی با روغن‌های گیاهی سبب افزایش معنی‌دار درصد اسیدهای چرب اسید واکسنیک، اسید لینولئیک و اسید لینولنیک و کاهش معنی‌دار اسیدهای چرب اسید مریستیک، اسید پالمیتیک، اسید اولئیک، اسید آراشیدونیک، اسید ایکوزاپنتانوئیک و اسید دوکوزاهگزانوئیک در عضلهٔ ماهیان شد ($P<0/05$).

واژگان کلیدی: پودر ماهی، رشد، روغن ماهی، منابع گیاهی، (*Oncorhynchus mykiss*).

* نویسنده مسئول تلفن: ٠٩١٤٩٧٤٩٤٢٩
E. mail: Re.Jalili@gmail.com

۱. مقدمه

صنعت آبزی‌پروری در سال‌های اخیر رشد درخور ملاحظه‌ای داشته است. با توجه به رشد این صنعت و تمایل پرورش‌دهندگان به پرورش متراکم آبزیان، میزان وابستگی پرورش آبزیان به غذای دستی افزایش یافته است؛ در حالی که، تولید سالانهٔ روغن ماهی طی ۲۵ سال گذشته روند صعودی نداشته است. بنابراین، تحقق توسعهٔ آتی صنعت آبزی‌پروری با تکیه بر ذخایر ماهیان دریایی برای تولید روغن ماهی غیرممکن به نظر می‌رسد (Turchini *et al*., 2009). میزان تقاضای جهانی آبزی‌پروری برای پودر ماهی معادل ۲/۰۹ میلیون تن در سال ۱۹۹۹ بوده است که این مقدار در سال‌های ۲۰۱۵ و ۲۰۳۰ به ترتیب به ٤/٦ و ۱۰/٤ میلیون تن افزایش خواهد یافت (New and Wijkström, 2002). با توجه به اینکه در سال‌های اخیر میزان برداشت از منابع دریایی روند ثابت و تقریباً نزولی داشته است، یافتن جایگزین مناسب برای تداوم رشد و توسعهٔ صنعت آبزی‌پروری در سال‌های آینده همچنین، حفظ منابع دریایی برای آیندگان امری اجتناب‌ناپذیر است؛ علاوه بر این، تقاضای زیاد برای منابع در دسترس پودر ماهی فشار درخور ملاحظه‌ای بر بازار جهانی و پیرو آن بر قیمت غذا خواهد داشت (Panserat, 2009).

هزینهٔ تهیهٔ غذا تقریباً نیمی از هزینه‌های تولید ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان را شامل می‌شود، که حدود ٦۷ درصد آن مربوط به منابع پروتئینی جیرهٔ غذایی است (Higgs *et al*., 1995). از آنجا که منابع پروتئین و روغن‌های گیاهی، در مقایسه با منابع حیوانی، ارزان‌تر و در دسترس‌ترند، می‌توان با جایگزین بخشی از منابع پروتئین و چربی جیرهٔ غذایی آبزیان هزینه‌های غذا و وابستگی صنعت آبزی‌پروری کشور به واردات پودر ماهی و روغن ماهی را کاهش داد. با توجه به اهمیت این مسئله در سال‌های اخیر، جایگزین پودر و روغن ماهی با منابع گیاهی از جنبه‌های اقتصادی و بوم‌شناختی ضرورتی انکار ناپذیر برای توسعه پایدار صنعت آبزی پروری محسوب می‌شود (Tidwell and Allan, 2002). منابع پروتئین گیاهی می‌تواند، به صورت نسبی یا به طور کامل، جایگزین پودر ماهی در جیرهٔ غذایی آبزیان پرورشی شود، به شرطی که نیاز اسیدهای آمینهٔ آبزی مورد نظر را تأمین کند و سبب کاهش طعم و خوش‌خوراکی غذا نشود. همچنین، بایستی مقدار عناصر ضد مغذی منابع گیاهی کاهش یابد (Francis *et al*., 2001). گلوتن گندم یک منبع پروتئینی مطلوب محسوب می‌شود که دارای ۷۰-۸۰ درصد پروتئین با قابلیت هضم بالا (۹۹ درصد) برای ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان و احتمالاً سایر گونه‌های ماهی است. گلوتن ذرت نیز دارای حداقل ٦۰ درصد پروتئین است که از قابلیت هضم بالایی (۹۷ درصد) برای ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان برخوردار است (Suqiara *et al*.,1998). گلوتن گندم و ذرت با داشتن پروتئین بالا، فیبر و مواد ضد تغذیه‌ای و نشاستهٔ پایین از محدودیت استفادهٔ کمتری در جیرهٔ غذایی ماهیان گوشت‌خوار برخوردارند و می‌توان از آنها با نسبت‌های بیشتری در جیرهٔ غذایی این ماهیان استفاده کرد (Robaina, 1997). گلوتن گندم بدون تأثیرات منفی در رشد و ضریب تبدیل غذایی می‌تواند جایگزین ۲۵-٤۰ درصد پودر ماهی جیرهٔ غذایی ماهی آزاد اقیانوس اطلس (*Salmo salar*) شود (Storebakken *et al*., 2000).

ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان برای رشد بهینهٔ خود به اسیدهای چرب اسید ایکوزاپنتانوئیک (EPA[1])، اسید دکوزاهگزانوئیک (DHA[2]) و اسید آراشیدونیک (AA[3]) نیاز دارد (Sargent *et al*., 1997). روغن‌های گیاهی مانند روغن بزرک و کانولا حاوی درصد بالایی اسید لینولنیک n-۳ ۱۸:۳ (به ترتیب ۵۳ و ۱۲ درصد) و فاقد اسیدهای چرب بلندزنجیرهٔ غیراشباع مانند EPA، DHA و AA هستند (NRC, 1993). ماهیان آب شیرین از جمله قزل‌آلای رنگین‌کمان و کپور معمولی

1. Eicosapentanoic acid
2. Docosahexanoic acid
3. Arachidonic acid

توانایی تبدیل زیستی اسید لینولئیک ۱۸:۲ n-۶ به اسید آراشیدونیک (AA) و اسید لینولنیک ۱۸:۳ n-۳ به اسیدهای چرب بلندزنجیرهٔ EPA و DHA را دارند (Bell *et al*., 2001). روغن‌های گیاهی می‌توانند، بدون داشتن تأثیرات منفی در شاخص‌های رشد و کارایی تغذیه‌ای ماهیان، جایگزین بخشی از روغن ماهی (Bell *et al*., 2003; Torstensen *et al*., 2005) یا کل روغن ماهی در جیرهٔ آزاد ماهیان شوند. ترکیب اسیدهای چرب بافت عضلهٔ ماهیان ارتباط مستقیمی با ترکیب اسیدهای چرب جیرهٔ غذایی آنها دارد (Sargent *et al*., 2002). جانشینی روغن ماهی با روغن‌های گیاهی باعث کاهش درصد اسیدهای چرب DHA و EPA و افزایش اسیدهای چرب سری ۱۸ کربنی مانند اسید لینولنیک و اسید لینولئیک در بافت عضلهٔ ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان می‌شود (Ballestrazzi *et al*., 2003; Drew *et al*., 2007; Oo *et al*., 2007). با توجه به اهمیت جایگزینی منابع گیاهی در جیرهٔ غذایی آبزیان و اینکه مطالعات کمی در خصوص جایگزینی هم‌زمان پودر ماهی و روغن ماهی با منابع گیاهی در جیرهٔ غذایی ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان صورت گرفته است، مطالعهٔ حاضر با هدف بررسی تأثیرات جایگزینی پودر و روغن ماهی با منابع گیاهی بومی کشور در شاخص‌های رشد، کارایی تغذیه، ترکیب شیمیایی و ترکیب اسیدهای چرب بافت عضله در ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان انجام گرفت.

۲. مواد و روش کار

۱.۲. تهیهٔ جیره‌های غذایی

در این پژوهش روغن ماهی افزوده‌شده به جیره به طور کامل با ترکیب روغن‌های گیاهی کانولا (*Brassica napus*)، بزرک (*Linum usitatissimum*) و گلرنگ (*Carthamus tinctorius*) (به ترتیب با نسبت‌های ۴۰، ۳۰ و ۳۰ درصد) جایگزین شد. ترکیب منابع پروتئین گیاهی (گلوتن گندم، گلوتن ذرت و کنجالهٔ سویا) در ۳ سطح ۴۰، ۷۰ و ۱۰۰ درصد جایگزین پودر ماهی جیرهٔ غذایی ماهیان شد. منابع پروتئین و روغن جیره در گروه آزمایشی ۱ (شاهد) (روغن ماهی+پودر ماهی)، گروه آزمایشی ۲ (ترکیب روغن‌های گیاهی+۴۰ درصد جانشین پودر ماهی)، گروه آزمایشی ۳ (ترکیب روغن‌های گیاهی+۷۰ درصد جانشین پودر ماهی) و گروه آزمایشی ٤ (ترکیب روغن‌های گیاهی+۱۰۰ درصد جانشین پودر ماهی) بود. ترکیب اجزای غذایی جیره‌های آزمایشی در جدول ۱ آمده است. پس از آنالیز شیمیایی اجزای سازندهٔ جیره، جیره‌های آزمایشی طبق احتیاجات غذایی ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان به کمک نرم‌افزار WUFFDA نوشته شدند. تمامی جیره‌ها از پروتئین (۴۵ درصد)، چربی (۲۰ درصد) و انرژی (۵ کیلوکالری در گرم) یکسانی برخوردار بودند (جدول ۲). اجزای جیره پس از آسیاب‌شدن با یکدیگر مخلوط شدند سپس، به وسیلهٔ چرخ گوشت به صورت پلت‌هایی با قطر ۳ میلی‌متر درآمدند (Hosseini *et al*., 2010). پلت‌ها در دمای آون ۵۰ درجهٔ سانتی‌گراد خشک و تا زمان مصرف در یخچال (٤°C) نگهداری شدند.

۲.۲. شرایط نگهداری و تغذیهٔ ماهی‌ها

ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان با وزن متوسط ۲±۱۵ گرم پس از ۲ هفته سازگاری داخل ۱۲ مخزن پلی‌اتیلنی (۳۰۰ لیتری) با تراکم ۵۰ قطعه در هر مخزن با جیره‌های مختلف آزمایشی تغذیه شدند. طی دورهٔ پرورش pH آب ورودی ۰/۲±۷/۵، دما ۱±۱٤ (درجهٔ سانتی‌گراد)، اکسیژن محلول ۰/۵±۸/۵ (میلی‌گرم در لیتر) و دبی آب ورودی مخازن ۰/۵±۷/۵ (لیتر در دقیقه) بود. غذادهی ماهیان بر حسب ۳ درصد وزن بدن و روزانه در ۳ نوبت به مدت ۶۰ روز انجام شد.

۳.۲. زیست‌سنجی و آنالیز ترکیب شیمیایی عضله

زیست‌سنجی ماهیان برای محاسبهٔ شاخص‌های رشد در ابتدا و انتهای دورهٔ پرورش و با استفاده از ۹ قطعه ماهی از هر واحد آزمایشی (مخزن) صورت گرفت. همچنین، تعیین وزن تودهٔ زندهٔ ماهیان هر مخزن برای تعیین مقدار غذای روزانه و میانگین افزایش وزن ماهیان با فواصل ۱۰ روز انجام شد. ترکیب شیمیایی اجزای

جدول ۱. ترکیب اجزای غذایی جیره‌های آزمایشی (بر حسب درصد)

	گروه‌های آزمایشی			
اجزای جیره	۱ (شاهد)	۲	۳	۴
پودر ماهی	۵۸/۲۵	۳۵	۱۸/۲۵	-
گلوتن گندم	-	۱۵/۵	۲۶	۴۲
گلوتن ذرت	-	۵	۱۱	۱۰
کنجالهٔ سویا	-	۱۵	۱۵	۱۵
روغن ماهی	۱۲/۸۹	-	-	-
روغن گیاهی[۱]	-	۱۴/۰	۱۶/۱۳	۱۸/۵۷
پودر خون	۴	۴	۴	۴
آرد گندم	۱۴/۵	-	-	-
نشاسته	۵/۲۵	۲/۹۴	۰/۸	-
مکمل ویتامینی[۲]	۱/۵	۱/۵	۱/۵	۱/۵
مکمل معدنی[۳]	۱	۱	۱	۱
ال- متیونین	۱/۲	۱/۲	۱/۲	۱/۲
ال- لیزین	-	۰/۸	۰/۸	۱/۵
سایر مکمل‌ها[۴]	۱/۵	۴	۴/۳۲	۵/۲۳

[۱] ترکیب روغن‌های گیاهی کانولا، بزرک و گلرنگ (با نسبت ۴۰، ۳۰ و ۳۰ درصد)، [۲]ترکیب مکمل ویتامینی (IU / کیلوگرم غذا): ویتامین A ۱۶۰۰۰۰۰، ویتامین D۳ ۴۰۰۰۰۰، کولین کلراید ۱۲۰۰۰، نیاسین ۴۰۰۰، ریبوفلاوین ۸۰۰۰، پیریدوکسین ۴۰۰۰، فولیک اسید ۲۰۰۰، ویتامین B۱۲ ۸۰۰۰، اینوزیتول ۲۰۰۰۰، ویتامین C ۶۰۰۰۰، ویتامین B۲ ۸۰۰۰، ویتامین K۳ ۲۰۰۰، ویتامین E ۴۰۰۰۰، [۳]ترکیب مکمل معدنی (گرم/ کیلوگرم غذا): روی ۱۲/۵، آهن ۲۶، منگنز ۱۵/۸، مس ۴/۲، کبالت ۰/۴۸، سلنیوم ۲، ید ۱، [۴]سایر مکمل‌ها شامل دی کلسیم فسفات، کربنات کلسیم و آنزیمیت به مقدار ۵ گرم در هر کیلو غذا از هر کدام و ترکیب فیبر خام و پوستهٔ صدف به‌منزلهٔ پرکننده است.

غذایی جیره‌های آزمایشی (۳ نمونه از هر جیره) و ترکیب شیمیایی بافت عضله در شروع (۵ نمونه از کل جمعیت) و پایان آزمایش (٤ نمونه ماهی از هر تکرار) طبق روش AOAC (۱۹۹۰) تعیین شد. جیره‌ها و نمونه‌های بافت عضلهٔ ماهیان در دمای آون ۱۰۵ درجهٔ سانتی‌گراد تا رسیدن به وزن ثابت، خشک شدند. سپس، درصد رطوبت و مادهٔ خشک محاسبه شد (AOAC, 1990). محتوای پروتئین خام نمونه‌ها (N×٦/۲۵) به روش کجلدال (Behrotest WD40, Germany) انجام شد. استخراج چربی کل با استفاده حلال دی‌اتیل‌اتر صورت پذیرفت. مقدار خاکستر با سوزاندن در کورهٔ الکتریکی در دمای ۵۵۰ درجهٔ سانتی‌گراد به مدت ٦ ساعت اندازه‌گیری شد. مقدار فیبر بعد از استخراج چربی و رقیق‌سازی در اسید سولفوریک ۰/۲ نرمال و جوشاندن در سود ۰/۳ نرمال تعیین شد. سرانجام مقدار کربوهیدرات از تفاضل صد از مجموع مقدار پروتئین، چربی، رطوبت و خاکستر محاسبه شد و مقدار انرژی با استفاده از ضرایب موجود برای پروتئین، چربی و کربوهیدرات (به ترتیب ٥/٦٤، ۹/٤۳ و ٤/۱۱ کیلوکالری در گرم) در وزن خشک نمونه‌ها محاسبه شد (AOAC, 1990). ترکیب اسیدهای چرب بافت عضلهٔ ماهیان (۳ نمونه از هر تکرار) در انتهای دورهٔ پرورش با استریفیکاسیون در ترکیب محلول استیل کلراید و متانول و ترکیب اسیدهای چرب نمونه‌های جیره‌های آزمایشی (۳ نمونه از هر جیره) در ابتدای مطالعه پس از استخراج چربی با حلال اتر و متیل‌استرشدن بر اساس روش Lepage و Roy در سال ۱۹۸٤ با دستگاه Agilent 7890A GC System, USA تعیین شد.

آنالیز واریانس و مقایسهٔ میانگین نتایج در محیط

جدول ۲. تجزیهٔ شیمیایی و ترکیب اسیدهای چرب جیره‌های غذایی

	گروه‌های آزمایشی			
	۱(شاهد)	۲	۳	۴
رطوبت (٪)	۸/۱	۷/۸	۷/۷	۷/۹
پروتئین (٪ مادهٔ خشک)	۴۵/۳	۴۴/۸	۴۵	۴۵/۲
پروتئین پودر ماهی (٪ از کل پروتئین)	۸۹/۳	۴۵/۸	۲۳/۲	-
پروتئین منابع گیاهی (٪ از کل پروتئین)	۲/۵	۵۰	۷۰	۹۲/۲
چربی (٪ مادهٔ خشک)	۱۹/۹	۲۰/۱	۲۰/۱	۱۹/۹
کربوهیدرات (٪ مادهٔ خشک)	۱۴/۹	۱۴/۸	۱۵/۲	۱۵/۶
انرژی (کیلوکالری/ گرم)	۵/۰۴	۵/۰۵	۵/۰۴	۵/۰۵
ترکیب اسید چرب (٪)				
اسید میریستیک ۱۴:۰	۲/۰۷	۰/۳۵	۰/۲۱	۰/۰۸
اسید پالمیتیک ۱۶:۰	۱۹/۶۸	۹/۷۴	۸/۴۱	۶/۱۷
اسید استئاریک ۱۸:۰	۷/۲۵	۱/۲۹	۱/۴۶	۱۵/۰
اسید پالمیتولئیک ۱۶:۱ n-۷	۳/۹۳	۰/۶۴	۰/۴۱	۰/۱۴
اسید اولئیک ۱۸:۱ n-۹	۲۲/۰۹	۱۲/۷۵	۱۲/۲۹	۱۱/۸۸
اسید واکسنیک ۱۸:۱ n-۷	۳/۹۰	۴/۳۱	۴/۸۶	۵/۷۳
اسید لینولئیک ۱۸:۲ n-۶	۹/۱۳	۱۹/۵	۲۱/۷	۲۴/۸
اسید لینولنیک ۱۸:۳ n-۳	۲/۷۷	۱۹/۴	۲۰/۸	۲۱/۱
اسید آراشیدونیک ۲۰:۴ n-۶	۰/۷۳	۰/۱	۰/۰۵	-
اسید ایکوزاپنتانوئیک ۲۰:۵ n-۳	۵/۴۲	۰/۶۱	۰/۳۱	-
اسید دکوزاهگزانوئیک ۲۲:۶ n-۳	۱۱/۱۸	۲/۰۳	۱/۰۱	۰/۰۶

نرم‌افزار SPSS (نسخهٔ ۱۶) انجام شد. مقایسهٔ میانگین‌ها با آزمون چنددامنه‌ای دانکن (Duncan) در سطح ۹۵ درصد انجام شد ($P<0/05$).

شاخص‌های رشد و کارایی تغذیه طبق روابط زیر محاسبه شد (Espe *et al*., 2008):

ضریب رشد روزانه = ۱۰۰×[(وزن اولیه)$^{1/3}$− (وزن ثانویه)$^{1/3}$]/ طول دورهٔ پرورش (روز)؛ میزان رشد ویژه (درصد در روز) = ۱۰۰×[(لگاریتم وزن اولیه (گرم)− لگاریتم وزن ثانویه (گرم)]/ طول دورهٔ پرورش (روز)؛ ضریب تبدیل غذایی = غذای مصرفی (گرم)/ وزن زندهٔ به‌دست‌آمده (گرم)؛ شاخص کبدی (%) = ۱۰۰× (وزن بدن/ وزن کبد)؛ شاخص تودهٔ احشایی (%) = ۱۰۰× [وزن تودهٔ احشایی (گرم)/ (وزن بدن (گرم)]؛ نرخ کارایی پروتئین = گرم وزن به‌دست‌آمده/ گرم پروتئین مصرفی؛ ارزش تولیدی پروتئین = گرم پروتئین ابقاشده/ گرم پروتئین مصرفی؛ نرخ کارایی چربی = گرم وزن به‌دست‌آمده/ گرم چربی مصرفی؛ ارزش تولیدی چربی = گرم چربی ابقاشده/ گرم چربی مصرفی.

۳. نتایج

۱.۳. شاخص‌های رشد

شاخص‌های رشد ماهیان گروه‌های مختلف آزمایشی در جدول ۳ آمده است. نتایج نشان داد که شاخص وزن نهایی ماهیان با جایگزینی ۴۰ درصد پودر ماهی و ۱۰۰ درصد روغن ماهی جیره با منابع گیاهی در گروه آزمایشی ۲ (۳±۷۲/۴) اختلاف معنی‌داری با گروه شاهد (۲±۷۱/۱) نداشت ($P>0/05$)، ولی با افزایش درصد جایگزینی پودر ماهی جیره (گروه‌های آزمایشی

جدول ۳. شاخص‌های رشد ماهیان گروه‌های آزمایشی در انتهای دورهٔ پرورش

	گروه‌های آزمایشی			
	۱ (شاهد)	۲	۳	۴
وزن نهایی ماهیان (گرم)	۷۱/۱±۲ [a*]	۷۲/۴±۳ [a]	۵۶/۴±۱ [b]	۴۹/۱±۱ [c]
طول کل (سانتی‌متر)	۱۸/۴±۰/۲ [a]	۱۸/۷±۰/۳ [a]	۱۷±۰/۱ [b]	۱۶/۹±۰/۱ [b]
افزایش وزن (گرم/ ماهی)	۵۵/۵±۲ [a]	۵۷/۱±۳[a]	۴۰/۷±۱ [b]	۳۳/۸±۲ [c]
غذای مصرفی (گرم/ ماهی)	۵۴±۲/۶[a]	۵۴/۵±۱/۸ [a]	۵۱/۵±۰/۵ [ab]	۴۶±۳[c]
ضریب رشد روزانه (گرم/ ماهی)	۲/۸۲±۰/۰۷ [a]	۲/۹۰±۰/۱۴ [a]	۲/۳±۰/۰۵ [b]	۲±۰/۰۸ [c]
میزان رشد ویژه (درصد در روز)	۱/۱۳±۰/۰۲ [a]	۱/۱۶±۰/۰۵ [a]	۰/۹۶±۰/۰۱ [bc]	۰/۸۷±۰/۰۳ [c]
شاخص کبدی	۱/۴۹±۰/۰۴ [a]	۱/۳۳±۰/۰۳ [ab]	۱/۴۵±۰/۰۷ [a]	۱/۳۳±۰/۰۷ [ab]
شاخص احشایی	۱۴±۰/۳ [a]	۱۴/۲±۰/۷ [a]	۱۴/۷±۰/۱ [a]	۱۳/۶±۱/۴ [ab]
ضریب چاقی	۱/۱۴±۰/۰۱ [a]	۱/۱±۰/۶ [a]	۱/۱۴±۰/۷ [a]	۱±۰/۱ [a]

[*] مقادیر ارائه‌شده نشان‌دهندهٔ میانگین ± انحراف از معیار ۳ تکرار از هر تیماراست. اعداد در یک ردیف با حروف متفاوت دارای اختلاف معنی‌دارند (P<۰/۰۵).

۳ و ٤) با منابع گیاهی، شاخص وزن نهایی ماهیان در این گروه‌های آزمایشی (۱±٥٦/٤ و ۱±٤۹/۱ به ترتیب برای گروه‌های ۳ و ٤) در مقایسه با گروه شاهد کاهش معنی‌داری را نشان داد (P<۰/۰٥). ضریب رشد روزانه و رشد ویژه نیز در گروه‌های آزمایشی ۳ و ٤ نسبت به گروه شاهد همچنین، گروه آزمایشی ۲ به طور معنی‌داری کمتر بود؛ با وجود این، بین گروه شاهد و گروه ٤۰ درصد جایگزینی پودر ماهی و ۱۰۰ درصد روغن ماهی با منابع گیاهی اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد (P>۰/۰٥). از سوی دیگر، شاخص‌های کبدی و احشایی گروه‌های آزمایشی تفاوت معنی‌داری نداشتند (P>۰/۰٥). میانگین ضریب چاقی در گروه آزمایشی ٤ پایین بود، ولی مانند سایر گروه‌های آزمایشی اختلاف معنی‌داری با گروه شاهد نداشت (P>۰/۰٥).

۲.۳. ترکیب شیمیایی و پروفیل اسیدهای چرب عضلهٔ ماهیان

نتایج مربوط به ترکیب شیمیایی و اسیدهای چرب بافت عضلهٔ ماهیان در انتهای دورهٔ پرورش در جدول ٤ ارائه شده است. مقدار پروتئین بافت عضلهٔ ماهیان در گروه‌های آزمایشی ۲ و ۳ (به ترتیب ۰/٥±۷۱/۱ و ۰/٥±٦۹/٥) اختلاف معنی‌داری با گروه شاهد (۰/٥±۷۰/۷) نداشت (P>۰/۰٥)، ولی مقدار پروتئین گروه آزمایشی ٤ (۱/۱±٦۷/۳) نسبت به گروه شاهد به طور معنی‌داری کمتر بود (P<۰/۰٥).

مقدار چربی بافت عضلهٔ ماهیان در گروه آزمایشی ۲ (۰/٥±۱٤/۰) اختلاف معنی‌داری با گروه شاهد (۰/۸±۱۳/۷) نداشت (P>۰/۰٥)، ولی مقدار چربی گروه‌های آزمایشی ۳ و ٤ (به ترتیب ۰/۸±۱٥/۸ و ۰/۷±۱۸/۲) به طور معنی‌داری نسبت به گروه شاهد بیشتر بود (P<۰/۰٥). مقدار خاکستر بافت عضلهٔ ماهیان در گروه‌های آزمایشی ۳ و ٤ (به ترتیب ۰/۱±٦/۳ و ۰/۲±٥/۰) به طور معنی‌داری نسبت به گروه شاهد و گروه آزمایشی ۲ (به ترتیب ۰/۳±۷/٤ و ۰/۱±٦/۹) کمتر بود (۰/۰٥ >P). جایگزینی پودر ماهی و روغن ماهی با منابع گیاهی باعث افزایش معنی‌دار درصد اسیدهای چرب ۱۸:۰، n-۷ ۱۸:۱، n-٦ ۱۸:۲ و n-۳ ۱۸:۳ و کاهش درصد اسیدهای چرب ۱٤:۰، ۱٦:۰، n-۹ ۱۸:۱، n-٦ ۲۰:٤، n-۳ ۲۰:٥ و n-۳ ۲۲:٦ در جیرهٔ

غذایی ماهیان شد (جدول ۲). همچنین، جایگزینی پودر ماهی و روغن ماهی با منابع گیاهی در گروه‌های آزمایشی ۲، ۳ و ٤ سبب افزایش معنی‌دار درصد اسیدهای چرب n-۷ ۱۸:۱، n-٦ ۱۸:۲ و n-۳ ۱۸:۳ و کاهش معنی‌دار درصد اسیدهای چرب ۱٤:۰، ۱٦:۰، n۱۸:۱-۹، n-٦ ۲۰:٤، n-۳ ۲۰:۵ و n-۳ n۲۲:٦ در بافت عضلهٔ ماهیان نسبت به گروه شاهد شد (P<۰/۰۵) (جدول ٤).

جدول ٤. ترکیب شیمیایی و اسیدهای چرب بافت عضلهٔ ماهیان گروه‌های آزمایشی در انتهای دورهٔ پرورش

		گروه‌های آزمایشی			
		۱ (شاهد)	۲	۳	۴
رطوبت (٪)		۷۴/۴±۱/۱^{a}	۷۱/۳±۳^{ab}	۷۲/۱±۳^{ab}	۷۲/۳±۱/۵^{ab}
پروتئین (٪ مادهٔ خشک)		۷۰/۷±۰/۵^{a*}	۷۱/۱±۰/۵^{a}	۶۹/۵±۰/۵^{ab}	۶۷/۳±۱/۱^{b}
چربی (٪ مادهٔ خشک)		۱۳/۷±۰/۸^{c}	۱۴±۰/۵^{bc}	۱۵/۸±۰/۸^{b}	۱۸/۲±۰/۷^{a}
خاکستر (٪ مادهٔ خشک)		۷/۴±۰/۳ ^{a}	۶/۹±۰/۱^{a}	۶/۳±۰/۱^{b}	۵/۰±۰/۲^{c}
اسید میریستیک	۱۴:۰	۱/۱±۰/۰۱^{a}	۰/۸±۰/۰۲^{bc}	۰/۷۲±۰/۰۲^{cd}	۰/۶۲±۰/۰۲^{d}
اسید پالمیتیک	۱۶:۰	۱۷/۳±۰/۵ ^{a}	۱۱/۶±۰/۱^{c}	۱۲/۸۵±۰/۲^{bc}	۱۱/۵±۰/۲^{c}
اسید استئاریک	۱۸:۰	۴/۸۷±۰/۲ ^{a}	۴/۷۷±۰/۰۶^{a}	۵/۰±۰/۰۵^{a}	۴/۵۵±۰/۳۸^{ab}
اسید پالمیتولئیک	۱۶:۱ n-۷	۳/۶۲±۰/۰۷^{a}	۱/۴۸±۰/۰۵^{b}	۱/۷۶±۰/۰۱^{b}	۱/۳۸±۰/۰۸^{b}
اسید اولئیک	۱۸:۱ n-۹	۳۱/۱±۲/۶۷^{a}	۲۳/۸±۰/۵^{b}	۲۳/۲±۰/۴۵^{b}	۲۳/۰±۷/۷^{b}
اسید واکسنیک	۱۸:۱ n-۷	۲/۲۶±۰/۰۸^{b}	۳/۷۹±۰/۰۶^{a}	۳/۸±۰/۰۳^{a}	۳/۸۱±۰/۳۲^{a}
اسید لینولئیک	۱۸:۲ n-۶	۱۰/۹±۰/۸۳^{b}	۲۱/۶±۰/۵^{a}	۲۱/۵±۰/۳^{a}	۲۴/۴±۰/۲^{a}
اسید لینولنیک	۱۸:۳ n-۳	۱/۱۷±۰/۰۴^{b}	۵/۰۲±۰/۱^{a}	۵/۳۰±۰/۲^{a}	۵/۴۳±۰/۰۶^{a}
اسید آراشیدونیک	۲۰:۴ n-۶	۱/۰۳±۰/۲^{a}	۰/۶۹±۰/۰۸^{b}	۱/۰۵±۰/۰۸^{a}	۰/۷۵±۰/۰۲^{b}
اسید ایکوزاپنتانوئیک	۲۰:۵ n-۳	۳/۸۴±۰/۳ ^{a}	۱/۶±۰/۲^{b}	۲/۰±۰/۳^{b}	۱/۳±۰/۲^{b}
اسید دکوزاهگزانوئیک	۲۲:۶ n-۳ -۳	۹/۴±۲/۵^{a}	۴/۷۹±۰/۷^{b}	۶/۰۵±۰/۳^{b}	۵/۵۴±۰/۳^{b}

۳.۳. شاخص‌های کارایی تغذیه‌ای

نتایج ضریب تبدیل غذایی و کارایی تغذیه‌ای پروتئین و چربی ماهیان در انتهای دورهٔ پرورش در جدول ۵ آمده است. شاخص ضریب تبدیل غذایی در گروه آزمایشی ۲ (۰/۹۵±۰/۰۳) اختلاف معنی‌داری با گروه شاهد (۰/۹۷±۰/۰۷) نداشت، ولی در گروه‌های آزمایشی ۳ و ٤ (به ترتیب ۱/۲٦±۰/۰۳ و ۱/۳٦±۰/۰٤) در مقایسه با گروه شاهد به طور معنی‌داری بیشتر بود (P<۰/۰۵). شاخص‌های ارزش تولیدی پروتئین، ضریب کارایی پروتئین و ارزش تولیدی چربی در گروه آزمایشی ۲ اختلاف معنی‌داری با گروه شاهد نداشت، اما در گروه‌های آزمایشی ۳ و ٤ به طور معنی‌داری نسبت به گروه شاهد کمتر بود (P<۰/۰۵). شاخص ارزش تولیدی چربی اختلاف معنی‌داری بین گروه‌های آزمایشی نداشت (P>۰/۰۵).

جدول ۵. ضریب تبدیل غذایی و کارایی تغذیه‌ای ماهیان گروه‌های آزمایشی در انتهای دورهٔ پرورش

	گروه‌های آزمایشی			
	۱ (شاهد)	۲	۳	۴
ضریب تبدیل غذایی	۰/۹۷±۰/۰۷ ^{c*}	۰/۹۵±۰/۰۳ ^{c}	۱/۲۶±۰/۰۳ ^{ab}	۱/۳۶±۰/۰۴ ^{a}
ارزش تولیدی پروتئین	۰/۳۸±۰/۰۲^{a}	۰/۴۰±۰/۰۱^{a}	۰/۳۰±۰/۰۱^{b}	۰/۲۵±۰/۰۱^{c}
میزان کارایی پروتئین	۲/۲۵±۰/۱۲^{a}	۲/۳۲±۰/۰۷^{a}	۱/۷۵±۰/۰۳^{b}	۱/۶۳±۰/۰۵^{b}
ارزش تولیدی چربی	۰/۱۸±۰/۰۲^{a}	۰/۱۷±۰/۰۱^{a}	۰/۱۵±۰/۰۱^{a}	۰/۱۷±۰/۰۱^{a}
میزان کارایی چربی	۵/۱۵±۰/۴^{a}	۵/۱±۰/۲^{a}	۳/۹±۰/۱^{b}	۳/۶±۰/۱^{b}

*مقادیر ارائه‌شده نشان‌دهندهٔ میانگین ± انحراف از معیار ۳ تکرار از هر تیماراست. اعداد در یک ردیف با حروف متفاوت اختلاف معنی‌داری دارند($P<۰/۰۵$).

٤. بحث و نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش نشان داد که جایگزینی ۱۰۰ درصد روغن ماهی و ٤۰ درصد پودر ماهی جیره با منابع گیاهی، بدون هیچ گونه اثر منفی در شاخص‌های رشد، کارایی تغذیه‌ای و ترکیب شیمیایی بافت عضلهٔ ماهیان، امکان‌پذیر است. این نتایج با یافته‌های برخی مطالعات پیشین، که حاکی از جایگزینی ۱۰۰ درصد روغن ماهی با روغن‌های گیاهی در جیرهٔ ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان است، مطابقت دارد (Rosenlund *et al*., 2001; Torstensen *et al*., 2005). در این مطالعه ترکیب روغن‌های گیاهی کانولا، بزرک و گلرنگ جایگزین روغن ماهی شد. این روغن‌های گیاهی به علت ترکیب اسیدهای چرب انتخاب شدند. روغن بزرک و کانولا حاوی درصد بالایی اسید لینولنیک n–۳ ۱۸:۳ (به ترتیب ۵۳ و ۱۲ درصد) و روغن گلرنگ حاوی درصد بالای اسید لینولئیک (۷۷ درصد) است (NRC, 1993). عموماً روغن‌های گیاهی فاقد اسیدهای چرب بلندزنجیرهٔ غیراشباع (مانند EPA، DHA و AA) در ترکیب خود هستند (NRC, 1993). با توجه به اینکه ترکیب اسیدهای چرب بافت عضلهٔ ماهیان رابطهٔ مستقیمی با ترکیب اسیدهای چرب جیرهٔ غذایی دارد (Sargent *et al*., 2002)، جایگزینی روغن ماهی با روغن‌های گیاهی باعث افزایش درصد اسیدهای چرب n–٦ ۱۸:۲ و n–۳ ۱۸:۳ و کاهش اسیدهای چرب n–٦ ۲۰:٤، n–۳ ۲۰:۵ و n–۳ ۲۲:٦ در بافت عضلهٔ ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان می‌شود (Rosenlund *et al*., 2001; Ballestrazzi *et al*., 2003; Drew *et al*., 2007; Oo *et al*., 2007) که با نتایج این مطالعه هم‌خوانی دارد.

قزل‌آلای رنگین‌کمان توانایی تبدیل زیستی اسید لینولئیک n–٦ ۱۸:۲ به آراشیدونیک اسید (AA) و اسید لینولنیک n–۳ ۱۸:۳ به اسیدهای چرب بلندزنجیرهٔ EPA و DHA را دارد (Bell *et al*., 2001). همچنین، مطالعات حاکی از آن است که وجود روغن‌های گیاهی در جیرهٔ ماهیان مختلف باعث افزایش فعالیت آنزیم‌های مربوط به تبدیل زیستی اسیدهای چرب در کبد ماهیان می‌شود (Buzzi *et al*., 1996; Tocher *et al*., 2001). همچنین، مشخص شده است که وجود اسیدهای چرب غیراشباع بلندزنجیرهٔ گروه n–۳ مانند EPA یا DHA و سطوح بالای اسید لینولنیک در جیرهٔ غذایی ماهیان مانع تبدیل زیستی اسیدهای چرب در سلول‌های کبدی ماهیان می‌شود (Alvarez *et al*., 2000). در مطالعهٔ حاضر جیرهٔ غذایی گروه آزمایشی ٤ فاقد اسیدهای چرب n–۳ ۲۰:۵ و n–۳ ۲۲:٦ بود (جدول ۲)، ولی مقدار این اسیدهای چرب در بافت عضلهٔ ماهیان این گروه در پایان دورهٔ پرورش اختلاف معنی‌داری با گروه‌های آزمایشی ۲ و ۳ نداشت که جیرهٔ آزمایشی آنها حاوی درصد بیشتری از اسیدهای چرب n–۳ ۲۰:۵ و n–۳ ۲۲:٦ بود. این نتایج حاکی از افزایش تبدیل زیستی اسیدهای چرب با کاهش مقدار اسیدهای چرب EPAو DHA در جیرهٔ ماهیان است. Greene و Selivonchick (1990) و Skonberg و همکاران (۱۹۹٤) اظهار کردند

که در بافت عضلهٔ ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان تغذیه‌شده با روغن‌های گیاهی، میزان ساخت و تبدیل زیستی n–۳ ۲۰:۵ کمتر از n۲۲:٦ ۳– است که با نتایج مطالعهٔ حاضر مطابقت دارد.

جایگزینی ٤۰ درصد پودر ماهی با منابع گیاهی تغییرات معنی‌داری در شاخص‌های رشد ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان ایجاد نکرد که با نتایج جایگزینی ۳۵ درصد از کل پروتئین جیره با گلوتن گندم در جیرهٔ ماهی آزاد اقیانوس اطلس Atlantic salmon (Storebakken *et al*., 2000)، ۳۰ درصد در جیرهٔ کفشک ماهی اقیانوس اطلس *Atlantic halibut* (Helland and Grisdale–Helland, 2006) و جایگزینی ۵۰ درصد پروتئین با گلوتن ذرت در جیرهٔ ماهی آزاد اقیانوس اطلس (Mente et al., 2003) مطابقت دارد. همچنین، با افزایش میزان جایگزینی منابع پروتئین گیاهی از ٤۰ درصد به ۷۰ و ۱۰۰ درصد شاخص‌های رشد ماهیان کاهش یافت. مطالعات زیادی دربارهٔ آثار منفی سطوح بالای منابع گیاهی در جیرهٔ غذایی آزاد ماهیان انجام شده است (Francesco *et al*., 2004; Palmegiano *et al*., 2006; Drew *et al*., 2007; Santigosa *et al*., 2008). عوامل مختلفی می‌توانند سبب بروز تأثیرات منفی استفاده از سطوح بالای منابع پروتئین گیاهی در جیرهٔ غذایی این خانواده از ماهیان شوند. یکی از مشکلات استفاده از منابع پروتئین گیاهی در جیرهٔ غذایی آزادماهیان سطوح بالای کربوهیدرات در این منابع است، چرا که توانایی هضم کربوهیدرات و متابولیسم گلوکز در این ماهیان پایین است (Hemre et al., 2002). با توجه به اینکه مقدار کربوهیدرات جیره‌ها در مطالعهٔ حاضر یکسان بود، تفاوت در مقدار کربوهیدرات منابع گیاهی در مقایسه با پودر ماهی نمی‌تواند علت کاهش شاخص‌های یادشده در سطوح بالای پروتئین‌های گیاهی در جیره‌های آزمایشی باشد. همچنین، پروتئین‌های گیاهی فاکتورهای ضد تغذیه‌ای دارند که می‌توانند باعث کاهش فعالیت آنزیم‌های گوارشی (Alarcon *et al*., 1999)، کاهش زیست‌فرآهمی مواد معدنی از طریق کلاته‌کردن آنها (Sugiura *et al*., 1999) یا کاهش زیست‌فرآهمی پروتئین (Moyano *et al*., 1999) یا ایجاد آسیب‌های بافتی در رودهٔ ماهیان (Krogdahl *et al*., 1999) شوند و ضمن محدودکردن مراحل هضم مواد غذایی باعث کاهش شاخص‌های رشد و کارایی تغذیه‌ای ماهیان شوند (Olvera–Novoa *et al*., 2002).

Santigosa و همکاران (۲۰۰۸) به بررسی میزان فعالیت آنزیم‌های گوارشی ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان با جایگزینی پروتئین‌های گیاهی در سطوح مختلف در جیرهٔ غذایی این ماهی پرداختند. مطالعهٔ آنها نشان داد که میزان فعالیت آنزیم پروتئاز کل در گروه تغذیه‌شده با جیرهٔ حاوی پودر ماهی (به‌منزلهٔ یگانه منبع پروتئینی) بعد از ۳ ساعت به اوج خود رسید و در گروه‌های با ۵۰ و ۷۰ درصد جایگزینی منابع گیاهی میزان فعالیت آنزیم پروتئاز کل به‌آرامی افزایش یافت، ولی میزان فعالیت این آنزیم‌ها در گروه ۱۰۰ درصد جایگزینی هیچ‌گاه به اوج مورد اشاره در گروه اول نرسید. این محققان اظهار داشتند که کاهش میزان فعالیت آنزیم‌های گوارشی، با افزایش سطوح جایگزینی پودر ماهی با منابع گیاهی، می‌تواند علت اصلی کاهش میزان رشد ماهیان در تیمارهای ۷۵ و ۱۰۰ درصد جایگزینی پودر ماهی با منابع گیاهی باشد. در تحقیق حاضر امکان آنالیز آنزیم‌های گوارشی وجود نداشت، ولی با توجه به یافته‌های Santigosa و همکاران (۲۰۰۸)، احتمالاً اختلاف در میزان ترشح و فعالیت آنزیم‌های گوارشی در گروه‌های مختلف آزمایشی می‌تواند از علل اصلی کاهش شاخص‌های رشد در در سطوح جایگزینی ۷۰ و ۱۰۰ درصد باشد.

Drew و همکاران (۲۰۰۷) گزارش کردند که جایگزینی پودر ماهی با منابع گیاهی در جیره تفاوت معنی‌داری در شاخص کبدی ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان ایجاد نکرد که با نتایج این مطالعه مطابقت دارد. جانشینی ٤۰ درصد پودر ماهی جیره با منابع گیاهی، در مقایسه با گروه شاهد، اثر متمایزی در کارایی تغذیه‌ای پروتئین و مقدار پروتئین بافت عضلهٔ ماهیان نداشت. با وجود این، جایگزینی ۷۰ و ۱۰۰ درصد پودر ماهی با ترکیب منابع

پروتئینی باعث کاهش معنی‌دار کارایی تغذیه‌ای پروتئین و مقدار پروتئین بافت عضلهٔ ماهیان در مقایسه با گروه شاهد شد. یافته‌های Pfeffer و همکاران (۱۹۹۲) و Palmegiano و همکاران (۲۰۰۶) دربارهٔ جایگزینی منابع مختلف پروتئین گیاهی در جیرهٔ ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان نتایج مطالعهٔ حاضر را تأیید می‌کند.

نتایج تحقیق حاضر نشان داد که مقدار چربی بافت عضلهٔ ماهیان با افزایش میزان جایگزینی پودر ماهی با منابع پروتئین گیاهی به طور معنی‌داری افزایش یافت. طبق یافته‌های Helland و Grisdale-Helland (۲۰۰۶) کاهش مقدار پروتئین و افزایش مقدار چربی بافت عضلهٔ ماهیان با افزایش مقدار گلوتن گندم جیره می‌تواند به علت متعادل‌نبودن برخی اسیدهای آمینه در جیرهٔ غذایی ماهیان باشد. همچنین، Pfeffer و همکاران (۱۹۹۲) گزارش کردند ماهیان قزل‌آلای رنگین‌کمان که از گلوتن گندم، به‌منزلهٔ منبع پروتئینی، تغذیه کرده بودند، در مقایسه با گروه تغذیه‌شده با جیرهٔ غذایی دارای ترکیب پودر ماهی و گلوتن گندم درصد پروتئین کمتر و چربی بیشتری در عضلهٔ خود داشتند که با نتایج مطالعهٔ حاضر مطابقت دارد.

این مطالعه نشان داد که جایگزینی کامل روغن ماهی و ۴۰ درصد پودر ماهی جیره (گروه آزمایشی ۲) با منابع گیاهی تأثیرات منفی در شاخص‌های رشد، کارایی تغذیه‌ای و ترکیب شیمیایی عضلهٔ ماهیان ندارد. با وجود این، جایگزینی روغن ماهی با منابع گیاهی باعث کاهش درصد اسیدهای چرب گروه امگا ۳ در عضلهٔ ماهیان شد. بنابراین، پیشنهاد می‌شود در تحقیقات آتی، با جایگزین‌کردن سطوح مختلف روغن ماهی با منابع گیاهی، سطح مناسب جایگزینی روغن ماهی بدون کاهش ارزش غذایی محصول نهایی به دست آید.

تقدیر و تشکر

نویسندگان از ریاست، کارشناسان و کارکنان پژوهشکدهٔ آرتمیا و جانوران آبزی دانشگاه ارومیه برای همکاری‌های صمیمانه‌شان در انجام‌دادن این تحقیق تقدیر و تشکر می‌کنند.

References

[1]. Alarcon, F.J., Moyano, F.J., Diaz, M., 1999. Effect of inhibitors present in protein sources on digestive proteases of juvenile sea bream (*Sparusaurata*). Aquatic Living Resource 12, 233–238.

[2]. Alvarez, M.J., Diez, A., Lopez-Bote, C.J., Gallego, M., Bautista, J.M., 2000. Short-term modulation of lipogenesis by macronutrients in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) hepatocytes. The Journal of Nutrition. 84, 619–628.

[3]. AOAC., 1990. Official Methods of Analysis of the Association official Analytical Chemists, 15th edn. Association of official Analytical Chemists, Washington, DC, USA.

[4]. Ballestrazzi, R., Rainis, S., Tulli, F., Bracelli, A., 2003. The effect of dietary coconut oil on reproductive traits and egg fatty acid composition in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). Aquaculture International, 11(3):289-299.

[5]. Bell, G.J., McGhee, F., Campbell, P.J., Sargent, J.R., 2003. Rapeseed oil as an alternative to marine fish oil in diets of post-smolt Atlantic salmon (Salmo salar): changes in flesh fatty acid composition and effectiveness of subsequent fish oil "wash out". Aquaculture 218, 515–528.

[6]. Bell, J.G., McEvoy, J., Tocher, D.R., McGhee, F., Campbell, P.J., Sargent, J.R., 2001. Replacement of fish oil with rapeseed oil in diets of Atlantic salmon (Salmo salar) affects tissue lipid compositions and hepatocyte fatty acid metabolism. The Journal of Nutrition 131, 1535–1543.

[7]. Buzzi, M., Henderson, R.J., Sargent, J.R., 1996. The desaturation and elongation of linolenic acid and eicosapentaenoic acid by hepatocytes and liver microsomes from rainbow trout (Oncorhynchus mykiss) fed diets containing fish oil or olive oil. Biochimica et Biophysica Acta 1299, 235–244.

[8]. Drew, M.D., Ogunkoya, A.E., Janz, D.M., Van Kessel, A.G., 2007. Dietary influence of replacing fish meal and oil with canola protein concentrate and vegetable oils on growth performance, fatty acid composition and organochlorine residues in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). Aquaculture 267, 260–268.

[9]. Espe, M., Hevrøy, E.H., Liaset, B., Lemme, A., El-Mowafi, A., 2008. Methionine intake affect hepatic sulphur metabolism in Atlantic salmon, Salmosalar. Aquaculture 274, 132–141.

[10]. Francesco, M., Parisi, G., Medale, F., Kaushik, S.J., Poli, B.M., 2004. Effect of long term feeding with a plant protein mixture based diet on growth and body/fillet quality traits of large rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). Aquaculture 263, 413–429.

[11]. Francis, G., Makkar, H.P.S., Becker, K., 2001. Antinutritional factors present in plant-derived alternate fish feed ingredients and their effects in fish. Aquaculture 199, 197–227.

[12]. Greene., D.H.S., Selivonchick., D.P., 1990. Efects of dietary vegetable, animal and marine lipids on muscle lipid and hematology of rainbow trout (Oncorhynchus mykiss). Aquaculture 89,167180.

[13]. Guillou, A., Soucy, P., Khalil, M., Adambounou, L., 1995. Effects of dietary vegetable and

marine lipid on growth, muscle fatty acid composition and organoleptic quality of flesh of brook charr (*Salvelinus fontinalis*). Aquaculture 136, 351–362.

[14]. Helland, S.J., Grisdale-helland, B., 2006. Replacement of fish meal with wheat gluten in diets for Atlantic halibut (Hippoglossus hippoglossus): Effect on whole-body amino acid concentrations. Aquaculture 261:1363 - 1370.

[15]. Hemre, G-I., Mommsen, T. P., Krogdahl, A., 2002. Carbohydrates in fish nutrition: effects on growth, glucose metabolism and hepatic enzymes. Aquaculture Nutrition, 8 (3): 175-194.

[16]. Higgs, D.A., Dosanj, B.S., Prendergast, A.F., Beams, R.M., Hardy, R.W., Riley, W., Deacon, G., 1995. Use of rapeseed/canola protein products in finfish diets. Nutrition and Utilization technology in Aquaculture. AOAC Press. PP: 130-156.

[17]. Hosseini, S.V., Kenari, A.A., Regenstein, J.M., Grant, A.A., 2010. Effects of alternative dietary lipid sources on growth performance and fatty acid composition of Beluga Sturgeon, Huso huso, juveniles. Journal Of The World Aquaculture Society, 41(4), 471-489.

[18]. Ketola, H.G., 1983. Requirement for dietary lysine and arginine by fry of rainbow trout. Journal of animal science 56, 101–107.

[19]. Krogdahl, A., Nordrum, S., Sorensen, M., Brudeseth, L., Rosjo, C., 1999. Effects of diet composition on apparent nutrient absorption along the intestinal tract and of subsequent fasting on mucosal disaccharidase activities and plasma nutrient concentration in Atlantic salmon Salmo salar L. Aquaculture Nutrition 5, 121–133.

[20]. Lepage, G., Roy, C.C., 1984. Improved recovery of fatty acid through direct transesterification without prior extraction or purification. Journal Lipid Research 25, 1391–1396.

[21]. Mente, E., Deguara, S., Santos, M.B., Houlihan, D.F., 2003. White muscle free amino acid concentrations following feeding a maize gluten dietary protein in Atlantic salmon (Salmo salar L.). Aquaculture 225, 133–147.

[22]. Moyano, F.J., Martinez, I., Diaz, M., Alarcon, F.J., 1999. Inhibition of digestive proteases by vegetable meals in three fish species; seabream (Sparus aurata), tilapia (Oreochromis niloticus) and African sole (Solea senegalensis). Comparative Biochemistry and Physiology B 122, 327–332.

[23]. New, M.B., Wijkström, U.N., 2002. Use of Fish Meal and Fish Oil in Aquafeeds: Further Thoughts on the Fish Meal Trap. Food and Agriculture Organizations of the United Nations Fish Circ. No. 975, Food and Agriculture Organizations of the United Nations, Rome, Italy, 68 pp.

[24]. NRC (National Research Council)., 1993. Nutrient Requirements of Fish. National Academy Press, Washington, DC.

[25]. Olvera-Novoa M.A., Olivera-Castillo L., Martınez-Palacios C.A., 2002. Sunflower seed meal as a protein source in diets for Tilapia rendalli (Bounlanger, 1896) fingerlings. Aquaculture Research 23:223–229.

[26]. Oo, A. N., Satoh, S., Tsuchida, N., 2007. Effect of replacements of fish meal and fish oil on growth and dioxin contents of rainbow trout. Fisheries Science 750-759.

[27]. Palmegiano, G.B., Dapra, F., Forneris, G., Gai, F., Gasco, L., Guo, K., Peiretti, P.G., Sicuro, B., Zoccarato, I., 2006. Rice protein concentrate meal as a potential ingredient in practical diets for rainbow trout (Oncorhynchus mykiss). Aquaculture 258:357–367.

[28]. Panserat, S., 2009. Molecular regulation of intermediary metabolism focusing on utilization of dietary carbohydrate. In: Overturf, K. (Edt.). Molecular Research in Aquaculture. Wiley-Blackwell, 261-278.

[29]. Pfeffer, E., Al-Sabty, H., Haverkamp, R., 1992. Studies on lysine requirements of rainbow trout (Oncorhynchus mykiss) fed wheat gluten as only source of dietary protein. Animal Nutrition 67, 74–82.

[30]. Pfeffer, E., Kinzinger, S., Rodenhutscord, M., 1995. Influence of the proportion of poultry slaughter by-products and of untreated or hydrothermically treated legume seeds in diets for rainbow trout, Oncorhynchus mykiss Walbaum, on apparent digestibilities of their energy and organic components. Aquaculture Nutrition 1, 111–117.

[31]. Regost, C., Arzel, J., Kaushik, S. J., 1999. Partial or total replacement of fish meal by corn gluten meal in diet for turbot (Psetta maxima). Aquaculture 180:99-117.

[32]. Robaina, L., Moyano, F.J., Izquierdo, M.S., Socorro, J., Vergara, J.M., Montero, D., 1997. Corn gluten meal and meat and bone meals as protein sources in diets for gilthead seabream (Sparus aurata): nutritional and histological implications. Aquaculture 157, 347–359.

[33]. Rosenlund, G., Obach, A., Sandberg, M.G., Standal, H., Tveit, K., 2001. Effect of alternative lipid sources on long-term growth performance and quality of Atlantic salmon (Salmo salar L.). Aquaculture Research 32, 323–328.

[34]. Santigosa, E., Sánchez, J., Médale, F., Kaushik, S., Pérez-Sánchez, J., Gallardo, M. A., 2008. Modifications of digestive enzymes in trout (Oncorhynchus mykiss) and sea bream (Sparus aurata) in response to dietary fish meal replacement by plant protein sources. Aquaculture 282, 68-74.

[35]. Sargent, J.R., Bell, J.G., McEvoy, L., Tocher, D.R., Estevez, A., 1999. Recent developments in the essential fatty acid nutrition of fish. Aquaculture 177, 191–199.

[36]. Sargent, J.R., Tocher, D.R., Bell, J.G., 2002. The lipids. Fish Nutrition. Academic Press, San Diego, pp. 181–257.

[37]. Singh, R.P., Nose, T., 1967. Digestibility of carbohydrates in young rainbow trout. Bull. Freshwater Fish Research Laboratory 17, 21–25.

[38]. Skonberg, D.I., Rasco, B.A., Dong, F.M., 1994. Fatty acid composition of salmonid muscle changes in response to a high oleic acid diet. Journal of Nutrition 124, 1628–1638.

[39]. Storebakken, T., Shearer, K.D., Baeverfjord, G., Nielsen, B.G., Asgard, T., Scott, T.M., De Laporte, A., 2000. Digestibility of macronutrients, energy and amino acids, absorption of elements and absence of intestinal enteritis in Atlantic salmon, Salmo salar, fed diets with wheat gluten. Aquaculture 184, 115–132.