اثرات جایگزینی آرد ماهی با منابع پروتئین گیاهی بر شاخص‌های رشد، کارایی تغذیه‌ای و ترکیب اسیدهای چرب بافت عضله قزل‌آلای رنگین کمان (*Oncorhynchus mykiss*)

- **رضا جلیلی***: گروه شیلات، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه ارومیه، صندوق پستی ١٦٥-٥٧١٥٣
- **ناصر آق**: پژوهشکده آرتمیا و جانوران آبزی دانشگاه ارومیه، صندوق پستی ١٦٥-٥٧١٥٣
- **فرزانه نوری**: پژوهشکده آرتمیا و جانوران آبزی دانشگاه ارومیه، صندوق پستی ١٦٥-٥٧١٥٣
- **ماریا محسنی**: گروه شیلات، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه ارومیه، صندوق پستی ١٦٥-٥٧١٥٣
- **احمد ایمانی**: گروه شیلات، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج صندوق پستی ٤٣١٤-٣١٥٨٥

تاریخ دریافت: تیر ١٣٩٠ تاریخ پذیرش: آبان ١٣٩٠

چکیده

هدف از این تحقیق بررسی اثرات جایگزینی آرد ماهی با منابع پروتئین گیاهی در سطوح بالا بر شاخص‌های رشد، کارایی تغذیه‌ای، ترکیب شیمیایی و ترکیب اسیدهای چرب بافت عضله ماهی قزل آلای رنگین کمان می‌باشد. ٧٠٠ عدد ماهی با وزن متوسط ٢±١٥ گرم انتخاب و در داخل ١٢ تانک (٣٠٠ لیتری) با تراکم ٥٠ عدد در هر تانک نگهداری و به مدت ٦٠ روز با جیره‌های آزمایشی تغذیه شدند. از منابع پروتئین گیاهی در ٣ سطح ٤٠، ٧٠ و ١٠٠ درصد جایگزین آرد ماهی به همراه یک گروه شاهد، استفاده شد. نتایج نشان داد که جایگزینی٤٠ درصد آرد ماهی جیره با منابع گیاهی اثرات منفی معنی‌داری بر شاخص‌های رشد (وزن نهایی ٢/٠±٦٩/٠ گرم)، کارایی تغذیه ای و ترکیب شیمیایی بافت عضله ماهیان در مقایسه با گروه شاهد (وزن نهایی ٢/٠±٧١/١ گرم) را نداشت (P>٠/٠٥). جایگزینی ٧٠ و ١٠٠ درصد آرد ماهی جیره با منابع پروتئین گیاهی باعث کاهش معنی‌دار شاخص‌های وزن نهایی (بترتیب، ١/٠±٥٦/٩ و ٣/٠±٤٧/٩)، ضریب تبدیل غذایی، پروتئین بافت عضله، ضریب کارایی چربی و پروتئین و ارزش تولیدی پروتئین در ماهیان گردید (P<٠/٠٥). با افزایش میزان جایگزینی آرد ماهی با منابع پروتئین گیاهی درصد اسیدهای چرب ٦-٢n:١٨ و ٣-٣n:١٨ در بافت عضله ماهیان در مقایسه با گروه شاهد بطور معنی‌داری افزایش یافت (P<٠/٠٥).

کلمات کلیدی: آرد ماهی، پروتئین گیاهی، رشد، پروفیل اسیدهای چرب، قزل‌آلای رنگین کمان

پست الکترونیکی نویسنده مسئول: Re.Jalili@gmail.com

مقدمه

صنعت آبزی‌پروری در سالهای اخیر رشد قابل ملاحظه‌ای داشته است. با توجه به رشد این صنعت و افزایش تمایل به متراکم‌سازی مزارع پرورشی، میزان وابستگی تولید آبزیان به غذای دستی افزایش یافته که این خود باعث ایجاد رقابت شدید در منابع محدود آرد ماهی و روغن ماهی گردیده است. میزان تقاضای جهانی آبزی‌پروری برای آرد ماهی ۲/۰۹ میلیون تن در سال ۱۹۹۹ بود که این میزان در سالهای ۲۰۱۵ و ۲۰۳۰ بترتیب به ۴/۶ و ۱۰/۴ میلیون تن افزایش خواهد یافت (۱۵). با توجه به اینکه در سالهای اخیر میزان برداشت از منابع دریایی روند ثابت و تقریباً نزولی داشته است، یافتن جایگزین مناسب جهت ادامه رشد و توسعه صنعت آبزی‌پروری در سالهای آینده و همچنین حفظ منابع دریایی برای آیندگان امری اجتناب‌ناپذیر است. علاوه بر این، تقاضای زیاد برای منابع قابل دسترس آرد ماهی، فشار قابل ملاحظه‌ای بر بازار جهانی و در پی آن بر قیمت غذا خواهد داشت (۶). در مزارع پرورش ماهی قزل‌آلا غذا تقریباً نصف هزینه‌های تولید را شامل می‌شود و همچنین ۶۷ درصد از هزینه غذا مربوط به منابع پروتئینی است (۸). از آنجا که منابع پروتئین گیاهی ارزانتر و قابل دسترس‌تر می‌باشند، می‌توان با جایگزینی بخشی از منابع پروتئینی در جیره غذایی آبزیان هزینه‌های غذا و وابستگی صنعت آبزی‌پروری کشور به واردات آرد ماهی را کاهش داد. بنابراین در سالهای اخیر جایگزینی آرد ماهی با منابع گیاهی از جنبه‌های اقتصادی و اکولوژیک بعنوان ضرورتی برای توسعه پایدار صنعت آبزی‌پروری تبدیل شده است (۲۶). منابع پروتئین گیاهی می‌تواند بصورت نسبی یا کامل جایگزین آرد ماهی در جیره آبزیان شود به شرطی که نیاز اسیدهای آمینه گونه آبزی مورد نظر را تأمین نموده و سبب کاهش طعم و خوش خوراکی غذا نگردد. همچنین بایستی میزان عناصر ضد غذایی منابع گیاهی کاهش یابد (۶). گلوتن گندم بعنوان یک منبع عالی پروتئینی محسوب می‌شود که دارای۷۰-۸۰ درصد پروتئین با قابلیّت هضم پذیری بالا (۹۹ درصد) برای ماهی قزل‌آلای رنگین کمان و احتمالاً سایر گونه‌های ماهی مطرح است. گلوتن ذرّت نیز دارای حداقل ۶۰ درصد پروتئین می‌باشد و از قابلیّت هضم‌پذیری بالایی (۹۷ درصد) برای ماهی قزل‌آلای رنگین کمان برخوردار می‌باشد (۲۵). گلوتن گندم و ذرّت با داشتن پروتئین بالا، فیبر و اثرات ضد تغذیه‌ای و نشاسته پایین محدودیت استفاده کمتری را برای ماهیان گوشتخوار دارند و بنابراین می‌توان از آنها در نسبتهای بالاتری از جیره غذایی این ماهیان استفاده کرد (۲۰). گلوتن گندم می‌تواند تا ۲۵ تا ۴۰ درصد بدون اثرات منفی بر رشد و ضریب تبدیل غذایی در ماهی آزاد اطلس (*Salmo salar* L.) جایگزین آرد ماهی جیره گردد (۲۴).

مطالعات زیادی درخصوص جایگزینی منابع پروتئینی گلوتن در سطوح بالا به جای آرد ماهی در جیره ماهی قزل‌آلای رنگین کمان صورت نگرفته است.

مطالعه حاضر با هدف بررسی اثرات جایگزینی سطوح بالای آرد ماهی با منابع پروتئین گیاهی بر شاخص‌های رشد، کارایی تغذیه‌ای، ترکیب شیمیایی و ترکیب اسیدهای چرب بافت عضله در ماهی قزل‌آلای رنگین کمان انجام گرفت.

مواد و روشها

این تحقیق در پژوهشکده آرتمیا و جانوران آبزی دانشگاه ارومیه انجام پذیرفت. ۷۰۰ عدد ماهی قزل‌آلای رنگین کمان با وزن متوسط ۲±۱۵ گرم انتخاب و پس از دو هفته سازگاری داخل ۱۲ تانک پلی‌اتیلنی (۳۰۰ لیتری) با تراکم ۵۰ عدد در هر تانک نگهداری شدند. میانگین pH آب ورودی تانکهای پرورشی ۰/۲±۷/۵، دما ۱±۱۴ (درجه سانتیگراد)، اکسیژن محلول ۰/۵±۸/۵ (میلی‌گرم در لیتر) و میزان آب ورودی تانک‌ها ۰/۵±۷/۵ (لیتر در دقیقه) در طول دوره پرورش بود. از منابع پروتئین گیاهی ترکیب گلوتن گندم، گلوتن ذرّت و کنجاله سویا در سه سطح ۴۰، ۷۰ و ۱۰۰ درصد جایگزین آرد ماهی گردید و به همراه یک جیره شاهد در قالب طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار استفاده شد. ترکیب اجزای غذایی جیره‌های آزمایشی در جدول ۱ آمده است. پس از آنالیز شیمیایی اجزای جیره‌ها، جیره‌های آزمایشی طبق احتیاجات غذایی ماهی با کمک نرم‌افزار WUFFDA نوشته شدند. تمام جیره‌ها از میزان پروتئین، چربی و انرژی یکسانی برخودار بودند (جدول ۲). اجزای جیره پس از آسیاب شدن، با یکدیگر مخلوط و سپس بوسیله چرخ گوشت به صورت پلت‌هایی با قطر ۳ میلیمتر در آمدند (۹). پلت‌ها پس از خشک شدن در آون ۵۰ درجه سانتیگراد، تا زمان مصرف در یخچال نگهداری شدند. میزان غذادهی ماهیان نیز ۳ درصد وزن بدن و روزانه در سه نوبت و به مدت ۶۰ روز انجام شد. زیست‌سنجی ماهیان برای محاسبه شاخص‌های رشد در ابتدا و انتهای دوره پرورشی و با ۹ عدد ماهی از هر تکرار صورت گرفت.

همچنین تعیین وزن توده زنده ماهیان هر تانک جهت تعیین میزان غذای روزانه با فواصل هر ۱۰ روز انجام گردید. تجزیه شیمیایی اجزای غذایی، جیره‌های آزمایشی (۳ نمونه از هر جیره) و ترکیب شیمیایی بافت عضله در شروع (۵ نمونه از کل جمعیّت) و پایان آزمایش (۴ نمونه ماهی از هر تکرار) طبق روش AOAC (۱۹۹۰) صورت گرفت. اجزای غذایی و جیره‌های آزمایشی آسیاب شده و توزین گردیدند. در نهایت جیره‌ها و نمونه بافت عضله ماهیان در آون با ۱۰۵ درجه سانتیگراد به مدت ۲۴ ساعت برای رسیدن به وزن ثابت خشک گردیدند. سپس درصد رطوبت و ماده خشک محاسبه شد (۲). درصد پروتئین خام (N×۶/۲۵) به روش کلدال و با استفاده از دستگاه (Behrotest WD40, Germany) انجام شد. استخراج چربی کل با استفاده حلال اتر صورت پذیرفت و میزان خاکستر با سوزاندن در کوره الکتریکی با حرارت ۵۵۰ درجه سانتیگراد به مدت ۶ ساعت، میزان فیبر بعد از استخراج چربی و رقیق‌سازی در اسید (اسید سولفوریک ۰/۲ نرمال) و جوشاندن در باز (سود ۰/۳ نرمال) تعیین گردید. سرانجام میزان کربوهیدرات از تفاضل صد از مجموع میزان پروتئین، چربی، رطوبت و خاکستر محاسبه گردید و میزان انرژی با استفاده از ضرایب برحسب میزان پروتئین، چربی و کربوهیدرات (بترتیب، ۵/۶۴، ۹/۴۳ و ۴/۱۱) در وزن خشک نمونه‌ها با واحد کیلوکالری در هر گرم نمونه، تعیین شد (۲). ترکیب اسیدهای چرب بافت عضله ماهیان (۳ نمونه از هر تکرار) در انتهای دوره 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 متیل استر شدن براساس روش Lepage و Roy (۱۹۸۴) با استفاده از دستگاه (Agilent 7890A GC System, USA) با مقایسه زمان‌های تثبیت استاندارد متیل استرهای اسید چرب تعیین شد (جدول ۲).

فرمولهای محاسباتی (۴) :

- (وزن ثانویه)$^{1/3}$]/ طول دوره پرورشی(روز) = ضریب رشد روزانه
۱۰۰×[(وزن اولیه)$^{1/3}$

/ طول دوره پرورشی(روز) = میزان رشد ویژه (درصد در روز)
۱۰۰× [(لگاریتم وزن اولیه(گرم)- لگاریتم وزن ثانویه (گرم)]

/ وزن زنده بدست آمده(گرم) = ضریب تبدیل غذایی
غذای مصرفی (گرم)

۱۰۰× (وزن بدن / وزن کبد) = شاخص کبدی (درصد)

/ (وزن بدن (گرم)] = شاخص توده احشایی(درصد)
۱۰۰× [وزن توده احشایی(گرم)

/ گرم پروتئین مصرفی = نرخ کارایی پروتئین
گرم وزن بدست آمده

/ گرم پروتئین مصرفی = ارزش تولیدی پروتئین
گرم پروتئین ابقا شده

گرم وزن بدست آمده / گرم چربی مصرفی = نرخ کارایی چربی

گرم چربی ابقا شده / گرم چربی مصرفی = ارزش تولیدی چربی

در پایان آزمایش، نتایج بدست آمده با استفاده از نرم‌افزار SPSS (نسخه ۱۶) مورد تجزیه واریانس قرار گرفت. مقایسه میانگین‌ها توسط آزمون چند دامنه دانکن (Duncan) در سطح ۹۵ درصد انجام شد (P<۰/۰۵).

جدول ۱: ترکیب اجزای غذایی جیره های آزمایشی (بر حسب درصد)

اجزای جیره	گروه شاهد	میزان جایگزینی آرد ماهی جیره (درصد)		
		٤٠ درصد	٧٠ درصد	١٠٠ درصد
آرد ماهی	٥٨/٢٥	٣٥	١٨/٢٥	---
گلوتن گندم	---	١٥/٥	٢٦	٤٢
گلوتن ذرت	---	٥	١١	١٠
کنجاله سویا	---	١٥	١٥	١٥
روغن ماهی	١٢/٨٩	١٤/٠٦	١٦/١٣	١٨/٥٧
آرد خون	٤	٤	٤	٤
آرد گندم	١٤/٥	---	---	---
نشاسته	٥/٢٥	٢/٩٤	٠/٨	---
مکمل ویتامینی[1]	١/٥	١/٥	١/٥	١/٥
مکمل معدنی[2]	١	١	١	١
ال- میتیونین	١/٢	١/٢	١/٢	١/٢
ال- لیزین	---	٠/٨	٠/٨	١/٥
سایر مکمل‌ها[3]	١/٥	٤	٤/٣٢	٥/٢٣

۱-ترکیب مکمل ویتامینی (IU / کیلوگرم غذا): ویتامین A ۱۶۰۰۰۰۰، ویتامین D3 ۴۰۰۰۰۰، کولین کلراید ۱۲۰۰۰، نیاسین ۴۰۰۰، ریبوفلاوین ۸۰۰۰، پیریدوکسین ۴۰۰۰، فولیک اسید ۲۰۰۰، ویتامین B12 ۸۰۰۰، اینوزیتول ۲۰۰۰۰، ویتامین C ۶۰۰۰۰، ویتامین B2 ۸۰۰۰، ویتامین K3 ۲۰۰۰ ، ویتامین E ۴۰۰۰۰.

۲-ترکیب مکمل معدنی (گرم/کیلوگرم غذا) : روی ۱۲/۵، آهن ۲۶، منگنز ۱۵/۸، مس ۴/۲، کبالت ۰/۴۸، سلنیوم ۲، ید ۱.

۳-سایر مکمل ها: شامل دی کلسیم فسفات، کربنات کلسیم و آنزیمیت به میزان ۵ گرم در هر کیلو غذا از هر کدام و ترکیب فیبر خام و پوسته صدف به عنوان پرکننده می باشد.

جدول ۲: تجزیه شیمیایی و ترکیب اسیدهای چرب جیره‌های آزمایشی

	گروه شاهد	میزان جایگزینی آرد ماهی جیره (درصد)		
		٤٠ درصد	٧٠ درصد	١٠٠ درصد
رطوبت (درصد)	٨/١	٧/٦	٨/٢	٨/١
پروتئین (درصد از ماده خشک)	٤٥/٣	٤٤/٥	٤٥/١	٤٥/٥
پروتئین آرد ماهی (درصد از کل پروتئین)	٨٩/٣	٤٥/٨	٢٣/٢	---
پروتئین منابع گیاهی (درصد از کل پروتئین)	٢/٥	٥٠/٠	٧٠/٠	٩٢/٢
چربی (درصد ماده خشک)	١٩/٩	١٩/٨	٢٠/١	١٩/٨
کربوهیدرات (درصد ماده خشک)	١٤/٩	١٥/٠	١٤/٩	١٥/٤
انرژی (کیلوکالری/گرم)	٥/٠٤	٥/٠٣	٥/٠٥	٥/٠٤
ترکیب اسید چرب (درصد)				
١٨:٠	٧/٢٥	٦/٨٥	٨/٣٩	٩/١٣
١٨:٢n-٦	٩/١٣	١٠/٧٥	١١/٨٩	١٥/٧٤
١٨:٣n-٣	٢/٥١	٢/٧٧	٢/٨٩	٣/١٣
٢٠:٤n-٦	٠/٧٣	٠/٦٧	٠/٦٠	٠/٥١
٢٠:٥n-٣	٥/٤٢	٥/١٠	٤/٦٢	٤/١٣
٢٢:٦n-٣	١١/١٨	١٠/١٨	٩/٩٠	٩/١٧

نتایج

نتایج تجزیه شیمیایی و ترکیب اسیدهای چرب جیره های آزمایشی در جدول ۲ آمده است. طی نتایج حاصله میزان پروتئین (۰/۳±۴۷ درصد)، چربی (۰/۵±۲۰ درصد) و انرژی (۰/۱±۵ کیلوکالری در گرم) جیره‌ها در بین گروه‌های آزمایشی یکسان بود. همچنین جایگزینی آرد ماهی با منابع پروتئین گیاهی باعث افزایش درصد اسیدهای چرب ۱۸ کربنه مانند ۱۸:۰، ۱۸:۲n-۶ و ۱۸:۳n-۳ و کاهش درصد اسیدهای چرب بلند زنجیره مانند ۲۰:۴n-۶، ۲۰:۵n-۳ و ۲۲:۶n-۳ در جیره غذایی ماهیان شد. نتایج حاصل از شاخص‌های رشد ماهیان در جدول ۳ گزارش شده است. نتایج نشان می‌دهند که شاخص وزن نهایی ماهیان در گروه ۴۰ درصد جایگزینی آرد ماهی با منابع گیاهی (۰/۲±۶۹/۰) اختلاف معنی‌داری را با گروه شاهد (۰/۲±۷۱/۱) نداشت (P>۰/۰۵). ولی با افزایش میزان جایگزینی آرد ماهی جیره از ۴۰ درصد، شاخص وزن نهایی ماهیان در گروه‌های ۷۰ و ۱۰۰ درصد جایگزینی (بترتیب ۱/۰±۵۶/۹ و ۰/۳±۴۷/۹) در مقایسه با گروه شاهد کاهش معنی‌داری نشان دادند (P<۰/۰۵). ضریب رشد روزانه و میزان رشد ویژه نیز در گروههای ۷۰ و ۱۰۰ درصد جایگزینی نسبت به گروه شاهد و گروه ۴۰ درصد جایگزینی نسبت به گروه شاهد بطور معنی داری پایین بود، با این وجود بین گروه شاهد و گروه ۴۰ درصد جایگزینی آرد ماهی با منابع گیاهی اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد (P>۰/۰۵). همچنین اختلاف معنی‌داری بین گروه‌های آزمایشی از نظر شاخص‌های کبدی و احشایی مشاهده نگردید (جدول ۳). میانگین ضریب چاقی در گروه آزمایشی ۱۰۰ درصد جایگزینی آرد ماهی، پایین بود ولی مانند سایر گروه‌های آزمایشی اختلاف معنی‌داری با گروه شاهد نداشت (P>۰/۰۵).

نتایج مربوط به ترکیب شیمیایی و ترکیب اسیدهای چرب بافت عضله ماهیان در انتهای دوره پروش در جدول ۴ گزارش شده است. میزان رطوبت در گروه آزمایشی ۱۰۰ درصد جایگزینی آرد ماهی نسبت به سایر گروه‌ها بطور معنی‌داری پایین بود، ولی در سایر گروه‌ها اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد (P>۰/۰۵). میزان پروتئین بافت عضله ماهیان در گروه‌های جایگزینی ۴۰ و ۷۰ درصد آرد ماهی با منابع پروتئین گیاهی (بترتیب ۰/۹±۶۹/۰ و ۱/۰±۶۹/۰) اختلاف معنی‌داری با گروه شاهد (۰/۱±۷۰/۷) دیده نشد (P>۰/۰۵)، ولی میزان پروتئین گروه ۱۰۰ درصد جایگزینی آرد ماهی (۲/۰±۶۵/۱) نسبت به گروه شاهد بطور معنی‌داری پایین بود (P<۰/۰۵). میزان چربی بافت عضله ماهیان در گروه ۴۰ درصد جایگزینی (۰/۴±۱۳/۹) اختلاف معنی‌داری با گروه شاهد (۰/۸±۱۳/۷) نداشت (P>۰/۰۵) ولی میزان چربی گروه‌های ۷۰ و ۱۰۰ درصد جایگزینی آرد ماهی (بترتیب ۰/۷±۱۵/۷ و ۰/۷±۱۸/۱) بطور معنی‌داری نسبت به گروه شاهد بیشتر بود (P<۰/۰۵). جایگزینی آرد ماهی با منابع پروتئین گیاهی باعث افزایش معنی‌دار اسیدهای چرب ۱۸:۲n-۶و ۱۸:۳n-۳ در بافت عضله ماهیان در پایان دوره پرورشی در گروه‌های ۴۰، ۷۰ و ۱۰۰ درصد جایگزینی آرد ماهی با منابع گیاهی در مقایسه با گروه شاهد شد (P<۰/۰۵). ولی در ترکیب سایر اسیدهای چرب اختلاف معنی‌داری مشاهده نگردید (جدول ۴) (P>۰/۰۵). نتایج ضریب تبدیل غذایی و کارایی تغذیه‌ای پروتئین و چربی ماهیان در انتهای دوره پرورشی در جدول ۵ آمده است. شاخص ضریب تبدیل غذایی در گروه ۴۰ درصد جایگزینی آرد ماهی (۰/۰۳±۱/۰۴) اختلاف معنی‌داری با گروه شاهد (۰/۰۷±۰/۹۷) نداشت، ولی در گروه‌های ۷۰ و ۱۰۰ درصد جایگزینی (بترتیب ۰/۰۳±۱/۱۷ و ۰/۰۴±۱/۳۳) در مقایسه با گروه شاهد بطور معنی‌داری بالا بود (P<۰/۰۵). شاخص‌های ارزش تولیدی پروتئین، ضریب کارایی پروتئین و ارزش تولیدی چربی با افزایش منابع درصد پروتئین گیاهی در جیره کاهش یافت، میزان این شاخص‌ها در گروه ۴۰ درصد جایگزینی آرد ماهی اختلاف معنی‌داری با گروه شاهد نداشت اما در گروه‌های ۷۰ و ۱۰۰ درصد جایگزینی آرد ماهی با منابع گیاهی بطور معنی‌داری نسبت به گروه شاهد پایین بود (P<۰/۰۵). شاخص ارزش تولیدی چربی در بین گروه‌های آزمایشی اختلاف معنی‌داری نداشت (P>۰/۰۵).

جدول ۳: شاخص‌های رشد ماهیان گروه‌های آزمایشی در انتهای دوره پرورش میانگین (± انحراف معیار)

	گروه شاهد	میزان جایگزینی آرد ماهی جیره (درصد)		
		٤٠ درصد	٧٠ درصد	١٠٠ درصد
وزن نهایی ماهیان (گرم)	٧١/١±٢/٠^{a}	٦٩/٠±٢/٠^{a}	٥٦/٩±١/٠^{b}	٤٧/٩±٣/٠^{c}
طول کل (سانتیمتر)	١٨/٤±٠/٢^{a}	١٨/٢±٠/٣^{a}	١٦/٨±٠/٣^{b}	١٦/٥±٠/٤^{b}
افزایش وزن (گرم/ ماهی)	٥٥/٥±٢/٠^{a}	٥٣/٥±١/٠^{a}	٤١/٧±١/٠^{b}	٣٢/٤±٣/٠^{c}
غذای مصرفی (گرم/ ماهی)	٥٤/٠±٢/٦^{ab}	٥٦/٠±١/٥^{a}	٤٩/٠±٠/٥^{bcd}	٤٦/٠±٢/٠^{cd}
ضریب رشد روزانه (گرم / ماهی)	٢/٨٢±٠/٠٧^{a}	٢/٧٧±٠/٠٥^{a}	٢/٣٦±٠/٠٤^{b}	١/٩٦±٠/١٣^{c}
میزان رشد ویژه (درصد در روز)	١/١٣±٠/٠٢^{a}	١/١١±٠/٠١^{a}	٠/٩٩±٠/٠١^{b}	٠/٨٤±٠/٠٥^{cd}
شاخص کبدی	١/٤٩±٠/٠٤^{a}	١/٤٢±٠/٠٣^{a}	١/٢٩±٠/١١^{ab}	١/٤٦±٠/٠٨^{a}
شاخص احشایی	١٤/٠±٠/٣^{ab}	١٤/٢±٠/٥^{a}	١٤/٥±٠/٦^{a}	١٤/٤±٠/٢^{a}
ضریب چاقی	١/١٤±٠/٠١^{ab}	١/١٤±٠/٠٥^{ab}	١/١٨±٠/٠٤^{a}	١/٠٦±٠/٥^{bc}

اعداد در یک ردیف با حروف متفاوت دارای اختلاف معنی‌دار هستند (P<٠/٠٥).

جدول ٤: ترکیب شیمیایی جیره‌ها و ترکیب اسیدهای چرب بافت عضله ماهیان گروه‌های آزمایشی در انتهای دوره پرورش میانگین (± انحراف معیار)

	گروه شاهد	میزان جایگزینی آرد ماهی جیره (درصد)		
		٤٠	٧٠	١٠٠
رطوبت (درصد)	٧٧/٤±٠/٠٤^{a}	٧٠/٣±٣^{ab}	٧١/٥±٠/١^{ab}	٦٩/٠±٣/٠^{b}
پروتئین (درصد ماده خشک)	٧٠/٧±٠/١^{a}	٦٩/٠±٠/٩^{a}	٦٩/٠±١/٠^{a}	٦٥/١±٢/٠^{b}
چربی (درصد ماده خشک)	١٣/٧±٠/٨^{d}	١٣/٩±٠/٤^{cd}	١٥/٧±٠/٧^{bc}	١٨/١±٠/٧^{a}
خاکستر (درصد ماده خشک)	٧/٤±٠/٣^{a}	٦/٩±٠/٠^{a}	٦/٤±٠/١^{b}	٤/٧±٠/٢^{c}
١٦:٠	١٧/٣±٠/٥^{a}	١٥/٨±٠/٧^{a}	١٤/٩±٢/٥^{ab}	١٦/٨±٠/١^{a}
١٨:٠	٤/٨٧±٠/٢^{ab}	٤/٩٨±٠/١^{ab}	٥/٧٤±٠/٩^{a}	٤/٥٧±٠/٠^{b}
١٨:٢n-٦	١٠/٩±٠/٨٣^{b}	١٥/٨±٠/٩٧^{a}	١٦/٧±٠/٠٤^{a}	١٧/٤±٠/٣^{a}
١٨:٣n-٣	١/٠٣±٠/٢^{c}	٢/٠٦±٠/٢١^{b}	٢/٧٦±٠/٦^{ab}	٣/٠٥±٠/٢^{a}
٢٠:٤n-٦	١/١٧±٠/٠٤^{ab}	٠/٩٨±٠/٢^{bc}	١/١٥±٠/٠٤^{ab}	١/٢٨±٠/٠٣^{a}
٢٠:٥n-٣	٣/٨٤±٠/٣^{a}	٣/٦±٠/٣^{a}	٣/٥±٠/٣^{a}	٣/٢٤±٠/١^{a}
٢٢:٦n-٣	٩/٤±٢/٥^{a}	٨/٠٧±١/٢^{ab}	٧/٦٣±٠/٣^{ab}	٦/٦٨±٠/٢^{ab}

اعداد در یک ردیف با حروف متفاوت دارای اختلاف معنی‌دار هستند (P<٠/٠٥).

جدول ٥: ضریب تبدیل غذایی و کارایی تغذیه‌ای ماهیان گروه‌های آزمایشی در انتهای دوره پرورش

میانگین (± انحراف معیار)

	گروه شاهد	میزان جایگزینی آرد ماهی جیره (درصد)		
		٤٠	٧٠	١٠٠
ضریب تبدیل غذایی	٠/٩٧±٠/٠٧ ^{c}	١/٠٤±٠/٠٣ ^{c}	١/١٧±٠/٠٣ ^{b}	١/٣٣±٠/٠٤ ^{a}
ارزش تولیدی پروتئین	٠/٣٨±٠/٠٢^{a}	٠/٣٥±٠/١^{ab}	٠/٣١±٠/٠١^{b}	٠/٢٢±٠/٠٣^{d}
میزان کارایی پروتئین	٢/٢٥±٠/١٢^{a}	٢/١٢±٠/٠٦^{ab}	١/٨٩±٠/٠٣^{bc}	١/٥٥±٠/١٨^{e}
ارزش تولیدی چربی	٠/١٨±٠/٠٢^{a}	٠/١٥±٠/٠١^{a}	٠/١٦±٠/٠١^{a}	٠/١٦±٠/٠٢^{a}
میزان کارایی چربی	٥/١٥±٠/٤^{a}	٤/٧±٠/١^{a}	٤/٣±٠/١^{b}	٣/٥±٠/٤^{c}

اعداد در یک ردیف با حروف متفاوت دارای اختلاف معنی‌دار هستند (P<٠/٠٥).

بحث

نتایج حاصل از جایگزینی ۴۰ درصد آرد ماهی (۵۰ درصد کل پروتئین جیره) با منابع گیاهی سبب ایجاد اختلاف معنی‌دار در شاخص‌های رشد ماهی قزل‌آلای رنگین کمان نگردید. که این با نتایج حاصل از جایگزینی ۳۵ درصد از کل پروتئین جیره با گلوتن گندم در جیره ماهی آزاد اقیانوس اطلس (*Salmo salar* L.) (۲۴)، جایگزینی ۳۰ درصد گلوتن گندم در جیره ماهی کفشک اقیانوس اطلس (*Hippoglossus hippoglossus* L.) (۷) و جایگزینی ۵۰ درصد گلوتن ذرّت در جیره ماهی آزاد اقیانوس اطلس (*Salmo salar* L.) (۱۳) مطابقت دارد. همچنین با افزایش میزان جایگزینی منابع پروتئین گیاهی از ۴۰ درصد به ۷۰ و ۱۰۰ درصد شاخص‌های رشد ماهیان کاهش یافت. مطالعات زیادی حاکی از اثرات منفی سطوح بالای منابع گیاهی در جیره غذایی آزاد ماهیان وجود دارد (۳، ۵، ۱۷ و ۲۱). دلایل مختلفی می‌تواند سبب بروز اثرات منفی استفاده از سطوح بالای منابع پروتئین گیاهی در جیره غذایی این خانواده از ماهیان باشد. یکی از مشکلات کاربرد منابع پروتئین گیاهی در جیره غذایی آزاد ماهیان سطوح بالای کربوهیدرات می‌باشد چرا که توانایی هضم کربوهیدرات و متابولیسم گلوکز در این ماهیان پایین می‌باشد (۲۳). با توجه به اینکه میزان کربوهیدرات جیره‌ها در مطالعه حاضر یکسان بود، بنابراین تفاوت در میزان کربوهیدرات منابع گیاهی در مقایسه با آرد ماهی نمی‌تواند دلیل کاهش شاخص‌های یاد شده در سطوح بالای وجود پروتئین‌های گیاهی در جیره‌های آزمایشی باشد. منابع مختلف پروتئین گیاهی می‌توانند اثرات مختلفی در کارایی ماهیان داشته باشند. بسیاری از منابع پروتئین گیاهی سطح پروتئین و میزان اسیدهای آمینه ضروری کمتری در مقایسه با آرد ماهی دارند. منابع پروتئینی گلوتن از سطح پروتئین بالایی برخوردارند ولی میزان برخی اسیدهای آمینه ضروری مانند لیزین و متیونین آنها کم یا ناکافی می‌باشد و به تنهایی نمی‌تواند جوابگوی نیازهای اسیدهای آمینه آبزیان باشند (۱۹).

Ketola (۱۹۸۳) اظهار کرد که میزان نیاز ماهی قزل‌آلای رنگین کمان به اسید آمینه لیزین ۲/۹ درصد وزن خشک جیره می‌باشد که این میزان در جیره حاوی ۳۰ درصد گلوتن گندم تا حد ۳ درصد وزن خشک جیره تأمین می‌شود. Pfeffer و همکاران (۱۹۹۲) گزارش کردند که اسیدهای آمینه ترئونین یا آرژنین در جیره ماهی قزل‌آلای رنگین کمان که تنها منبع پروتئینی آن گلوتن گندم است تأمین کننده نیازهای تغذیه‌ای ماهی می‌باشد. در این بررسی مکمل اسیدهای آمینه متیونین و لیزین برای جبران این کمبودها به جیره‌های آزمایشی اضافه گردید. اما به نظر می‌رسد که احتمالاً تفاوت در ترکیب اسیدهای آمینه در گروه‌های آزمایشی می‌تواند بعنوان یکی از دلایل کاهش شاخص‌های رشد ماهیان در گروه‌های تغذیه شده با سطوح بالای پروتئین گیاهی باشد. همچنین پروتئین‌های گیاهی دارای فاکتورهای ضد تغذیه‌ای هستند که می‌توانند باعث کاهش فعالیّت آنزیم‌های گوارشی (۱)، کاهش زیست فرآهمی مواد معدنی از طریق کلاته کردن آنها (۲۵) یا کاهش زیست فرآهمی پروتئین (۱۴) یا ایجاد آسیبهای بافتی در روده ماهیان (۱۱) باعث محدودیّت مراحل هضم مواد غذایی و در نهایت کاهش

شاخص‌های رشد و کارایی تغذیه‌ای ماهیان شوند (۱۶). Santigosa و همکاران (۲۰۰۸) به بررسی میزان فعالیّت آنزیم‌های گوارشی ماهی قزل‌آلای رنگین کمان با جایگزینی پروتئین‌های گیاهی در سطوح مختلف در جیره غذایی این ماهی پرداختند. مطالعات آنان نشان داد که میزان فعالیّت آنزیم پروتئاز کل در گروه تغذیه کرده از جیره حاوی آرد ماهی (بعنوان تنها منبع پروتئینی) بعد از ۳ ساعت به اوج خود رسید، ولی در گروه ۵۰ و ۷۰ درصد جایگزینی میزان فعالیّت آنزیم پروتئاز کل به آرامی افزایش یافت و در گروه ۱۰۰ درصد جایگزینی میزان فعالیّت آنزیم پروتئاز کل هیچگاه به اوج خود نرسید. این محققین اظهار داشتند که کاهش میزان فعالیّت آنزیمهای گوارشی با افزایش سطوح جایگزینی آرد ماهی با منابع گیاهی می‌تواند بعنوان دلیل اصلی کاهش میزان رشد ماهیان در تیمارهای ۷۵ و ۱۰۰ درصد جایگزینی آرد ماهی با منابع گیاهی باشد.

Drew و همکاران (۲۰۰۷) گزارش کردند که با جایگزینی منابع گیاهی در جیره تفاوت معنی‌داری در شاخص کبدی ماهی قزل‌آلای رنگین کمان مشاهده نشد، که با نتایج حاصل از این تحقیق نیز مطابقت دارد. جایگزینی ۴۰ درصد آرد ماهی جیره با منابع گیاهی در میزان کارایی تغذیه‌ای پروتئین و میزان پروتئین بافت عضله ماهیان اختلاف معنی‌داری در مقایسه با گروه شاهد نداشت. ولی جایگزینی ۷۰ و ۱۰۰ درصد آرد ماهی باعث کاهش معنی‌دار میزان کارایی تغذیه‌ای پروتئین و میزان پروتئین بافت عضله ماهیان در مقایسه با گروه شاهد شد. این نتایج مطابق با گزارشات Pfeffer و همکاران (۱۹۹۲) و Palmegiano و همکاران (۲۰۰۶) در ارتباط با جایگزینی منابع مختلف پروتئین گیاهی در جیره ماهی قزل‌آلای رنگین کمان می‌باشد.

میزان چربی بافت عضله ماهیان نیز با افزایش میزان جایگزینی آرد ماهی با منابع پروتئین گیاهی افزایش یافت. Helland و Grisdale-Helland (۲۰۰۶) اظهار داشتند که کاهش میزان پروتئین خام و افزایش میزان چربی بافت عضله ماهیان با افزایش میزان گلوتن گندم جیره می‌تواند بدلیل کمبود برخی اسیدهای آمینه در جیره ماهیان باشد. Pfeffer و همکاران (۱۹۹۲) گزارش کردند که ماهیان قزل‌آلای رنگین کمانی که تنها از پروتئین گلوتن گندم تغذیه کرده بودند از میزان پروتئین پایین و میزان چربی بیشتری در بافت عضله خود در مقایسه با گروهی که از ترکیب پروتئینی آرد ماهی و گلوتن گندم تغذیه کرده بودند، داشتند. آنها همچنین گزارش کردند که این علائم با افزودن مکمل اسید آمینه لیزین به جیره تا حد زیادی کاهش می‌یابد. در حالی که افزودن مکمل اسیدهای آمینه آرژنین یا ترئونین تأثیری در ترکیب شیمیایی بافت عضله ماهیان نداشت. Espe و همکاران (۲۰۰۸) گزارش کردند که جایگزینی سطوح بالای پروتئین گیاهی بجای آرد ماهی منجر به تفاوت معنی‌داری در میزان ارزش تولیدی پروتئین و ضریب کارایی پروتئین در گروههای آزمایشی نشد که دلیل این نتیجه را توازن ترکیب اسیدهای آمینه جیره در بین گروههای آزمایشی بیان کردند.

ترکیب اسیدهای چرب بافت عضله ماهیان رابطه مستقیم با ترکیب اسیدهای چرب جیره غذایی دارد (۲۲). جایگزینی آرد ماهی با منابع پروتئین گیاهی باعث افزایش درصدی اسیدهای چرب ۶-۱۸:۲n و ۳-۱۸:۳nدر جیره شد که به نوبه خود سبب افزایش میزان این اسیدهای چرب در بافت عضله ماهیان در پایان دوره پرورشی گردید. بنابراین جایگزینی آرد ماهی با منابع گیاهی از طرفی باعث افزایش درصدی اسیدهای چرب ۶-۱۸:۲n و ۳-۱۸:۳n در بافت عضله ماهیان می‌شود و از طرف دیگر با افزایش میزان چربی بافت عضله، باعث افزایش مقدار اسیدهای چرب در واحد وزنی ماهیان بعنوان شاخص کیفی در ارزشیابی تغذیه‌ای محصول تولیدی، می‌گردد. نتایج حاصل از این تحقیق نشان می‌دهد که جایگزینی۴۰ درصد آرد ماهی جیره (۵۰ درصد کل پروتئین جیره) با منابع گیاهی فاقد اثرات منفی بر شاخص‌های رشد، کارایی تغذیه‌ای و ترکیب شیمیایی بافت عضله ماهیان می‌باشد. نتایج این تحقیق حاکی از امکان استفاده هر چه بیشتر از منابع گیاهی در جیره آبزیان بعنوان ابزاری اساسی در راستای کاهش هزینه‌های تولیدی غذا، کاهش وابستگی صنعت آبزی‌پروری به آرد ماهی و نیز حفظ ذخایر اکولوژیک ماهیان می‌باشد.

تشکر و قدردانی

بدینوسیله از ریاست، کارشناسان و کارکنان مرکز تحقیقات آرتمیا و جانوران آبزی دانشگاه ارومیه بدلیل همکاری‌های صمیمانه در انجام این تحقیق تشکر و قدردانی می‌گردد.

منابع

1-Alarcon, F.J.; Moyano, F.J. and Diaz, M., 1999. Effect of inhibitors present in protein sources on digestive proteases of juvenile sea bream (*Sparusaurata*). Aquat. Living Res., 12:233–238.

2-AOAC., 1990. Official Methods of Analysis of the Association Official Analytical Chemists, 15th edn. Association of Official Analytical Chemists, Washington, DC, USA.

3-Drew, M.D.; Ogunkoya, A.E.; Janz, D.M. and 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.

4-Espe, M.; Hevrøy, E.H.; Liaset, B.; Lemme, A. and El-Mowafi, A., 2008. Methionine intake affect hepatic sulphur metabolism in Atlantic salmon, *Salmosalar*. Aquaculture, 274:132–141.

5-Francesco, M.; Parisi, G.; Medale, F.; Kaushik, S.J. and 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.

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

7-Helland, S.J. and 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.

8-Higgs, D.A.; Dosanj, B.S.; Prendergast, A.F.; Beams, R.M.; Hardy, R.W.; Riley, W. and Deacon, G., 1995. Use of rapeseed/canolaprotein products in finfish diets. Nutrition and utilization technology in aquaculture. AOAC Press. pp.130-156.

9-Hosseini, S.V.; Kenari, A.A.; Regenstein, J.M. and Grant, A.A., 2010. Effects of alternative dietary lipid sources on growth performance and fatty acid composition of Beluga sturgeon, *Huso huso*, juveniles. J. World Aquacult. Soc., Vol. 41, No. 4, pp.471-489.

10-Ketola, H.G., 1983. Requirement for dietary lysine and arginine by fry of rainbow trout. J. Anim. Sci. 56:101–107.

11-Krogdahl, A.; Nordrum, S.; Sorensen, M.; Brudeseth, L. and 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. Aquacult. Nutr. 5:121–133.

12-Lepage, G. and Roy, C.C., 1984. Improved recovery of fatty acid through direct transesterification without prior extraction or purification. J. Lipid Res., 25:1391–1396.

13-Mente, E.; Deguara, S.; Santos, M.B. and 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.

14-Moyano, F.J.; Martinez, I.; Diaz, M. and 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). Comp. Biochem. Physiol., B., 122:327–332.

15-New, M.B. and 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 circular. No. 975, Rome, Italy, 68P.

16-Olvera-Novoa M.A.; Olivera-Castillo L. and Martınez-Palacios C.A., 2002. Sunflower seed meal as a protein source in diets for tilapia *rendalli* (Bounlanger, 1896) fingerlings. Aquacult. Res., 23:223–229.

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

18-Pfeffer, E.; Al-Sabty, H. and Haverkamp, R., 1992. Studies on lysine requirements of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fed wheat gluten as only source of dietary protein. Anim. Nut., 67:74–82.

19-Pfeffer, E.; Kinzinger, S. and 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. Aquacult. Nut., 1:111–117.

20-Robaina, L.; Moyano, F.J.; Izquierdo, M.S.; Socorro, J.; Vergara, J.M. and 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.

21-Santigosa, E.; Sánchez, J.; Médale, F.; Kaushik, S.; Pérez-Sánchez, J. and 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.

22-Sargent, J.R.; Bell, J.G.; McEvoy, L.; Tocher, D.R. and Estevez, A., 1999. Recent developments in the essential fatty acid nutrition of fish. Aquaculture, 177:191–199.

23-Sargent, J.R.; Tocher, D.R. and Bell, J.G., 2002. The lipids. Fish Nutrition. Academic Press, San Diego, USA. pp.181–257.

24-Singh, R.P. and Nose, T., 1967. Digestibility of carbohydrates in young rainbow trout. Bull. Freshwater Fish. Res. Lab., 17:21–25.

25-Sugiura, S.H.; Dong, F.M.; Rathbone, C.K. and Hardy, R.W., 1998. Apparent protein digestibility and mineral availabilities in various feed ingredients for salmonid feeds. Aquaculture, 159:177–202.

26-Tidwell, J.H. and Allan, G.L., 2002. Fish as food: aquaculture's contribution. Ecological and economic impacts and contributions of fish farming and capture fisheries. World Aquacult., 33:44-48.