

تأثیر جایگزینی نخود پرتوتابی شده با پودر ماهی بر شاخص‌های رشد، ترکیبات بدنی و قابلیت هضم ظاهری جیره بچه ماهی قزل‌آلای رنگین کمان (*Oncorhynchus mykiss*)

رضا حسام پور^۱، رضا ملک زاده و بایه^۲، پروین شورنگ^۳، محمدجواد محمدی^{۴*}، دانش مدد پور داریونی^۵

۱- گروه شیلات، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، آذربایجان غربی

۲- گروه شیلات، پژوهشکده آرتمیا و آبزیان، دانشگاه ارومیه، ارومیه، آذربایجان غربی

۳- پژوهشکده تحقیقات کشاورزی، پزشکی و صنعتی سازمان انرژی اتمی، کرج، البرز

۴- گروه شیلات، دانشکده منابع طبیعی دریا، دانشگاه علوم و فنون دریایی خرمشهر، خرمشهر، خوزستان

۵- گروه شیلات، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه زابل، زابل، سیستان و بلوچستان

تاریخ پذیرش: ۹۴/۴/۳۱

تاریخ دریافت: ۹۳/۱۲/۲۰

چکیده

این تحقیق با هدف معرفی منبع پروتئینی جدید به جای پودر ماهی در جیره غذایی ماهی قزل‌آلای رنگین کمان (*Oncorhynchus mykiss*) انجام شده است. در این مطالعه دانه نخود کابلی معمولی (*Cicer arietinum*) و دانه نخود پرتوتابی شده جایگزین پروتئین پودر ماهی در جیره شد و اثرات آن بر شاخص‌های رشد، تغذیه‌ای، قابلیت هضم‌پذیری و ترکیبات بدنی بچه ماهی مورد بررسی قرار گرفت. این مطالعه در سالن تکثیر و پرورش پژوهشکده آرتمیا و آبزیان دانشگاه ارومیه انجام شد. تعداد ۷۲۰ عدد ماهی قزل‌آلا (۴ ± ۶۰ گرم) به صورت تصادفی در هشت تیمار با سه تکرار به طور مساوی تقسیم و به مدت ۶۰ روز با جیره‌های آزمایشی تغذیه شدند. جیره‌های آزمایشی شامل غذایی تجاری، غذایی دست‌ساز بدون نخود (شاهد)، جیره‌های غذایی ۲۰، ۳۰ و ۴۰ درصد نخود معمولی و غذای حاوی ۲۰، ۳۰ و ۴۰ درصد نخود پرتوتابی شده بودند. زیست‌سنجی در ابتدا و انتهای دوره (روز ۶۰) انجام شد. نتایج نشان دادند که پرتوتابی تأثیر معنی‌داری بر ترکیبات غذایی (پروتئین، چربی و ماده خشک) نخود نداشته و شاخص‌های رشد در تیمارهای مختلف نداشت ($P > 0.05$)، ولی با افزایش جایگزینی نخود در جیره تغییرات معنی‌داری در شاخص‌های تغذیه‌ای و قابلیت هضم‌پذیری مشاهده شد ($P < 0.05$). در نتیجه می‌توان بیان کرد که افزایش جایگزینی نخود پرتوتابی شده تا حد ۴۰٪ در جیره بچه ماهی قزل‌آلای رنگین کمان تأثیر منفی بر شاخص‌های رشد ندارد. لذا پروتئین دانه نخود پرتوتابی شده مورد مناسبی برای جایگزینی با پودر ماهی در فرمول جیره ماهیان است.

کلمات کلیدی: قزل‌آلای رنگین کمان، نخود، پرتوتابی، شاخص‌های رشد، هضم‌پذیری، ترکیبات بدنی

مقدمه

مهم‌ترین مسئله در تکثیر و پرورش ماهیان تهیه غذا و تغذیه آنهاست. در اغلب موارد، غذا بیش از نیمی از هزینه‌های تولید را به خود اختصاص می‌دهد. به همین جهت، توجه محققان به تهیه غذاهای با کیفیت و تغییر در فرموله کردن غذاهای آبزیان افزایش یافته است (Jafri and Hassan, 1999). به طور معمول، ماهیان گوشتخوار از جمله آزاد ماهیان، منابع پروتئینی جانوری مانند پودر ماهی را برای تأمین انرژی ترجیح می‌دهند (Papatriphon and Soares, 2001). پودر ماهی به دلیل دارا بودن ترکیبی از اسیدهای آمینه مورد نیاز و قابلیت هضم بالای آن، به عنوان منبع اصلی پروتئین برای تهیه غذای ماهیان گوشتخوار مطرح است. تولید گسترده آبزیان پرورشی مخصوصاً قزل‌آلا، ماهی آزاد و میگو و مصرف بالای پودر ماهی در غذای آنها که در حدود ۳۵٪ تولید جهانی پودر ماهی را در بر می‌گیرد، فشار زیادی را روی ذخایر طبیعی تأمین کننده پودر و روغن ماهی ایجاد کرده است (Hardy, 2000). منابع طبیعی تأمین پودر ماهی روز به روز کاهش می‌یابند و امکان تهیه مقادیر مورد نیاز از منابع آبی و دریایی امکان‌پذیر نیست. به همین منظور، محققان در اندیشه یافتن جایگزین‌های مناسب و کم هزینه‌تری برای پودر ماهی بوده‌اند. یکی از این راه‌های ارزان قیمت، جایگزینی منابع پروتئینی گیاهی، به جای پودر ماهی است (Foster et al. 1999). ثابت شده که منابع پروتئینی گیاهی می‌توانند تا حد زیادی جایگزین پروتئین‌های جانوری، به خصوص پودر ماهی در جیره غذایی ماهیان شوند. پروتئین‌های گیاهی به سبب تعدیل هزینه‌های تولید و کاهش وابستگی به پودر ماهی اهمیت زیادی یافته‌اند (Hansen et al. 2007). لذا، مواد گیاهی منبع خوبی از ویتامین‌های گروه B هستند (Kaushik et al. 2004). در سال‌های اخیر مطالعات متعددی در خصوص جایگزینی پودر ماهی با انواع مختلفی از اقلام گیاهی انجام شده است. مؤثر بودن این جایگزینی‌ها بر عملکرد رشد باعث شده است که گونه‌های زیادی از ماهیان در شرایط آزمایش قرار گیرند و شرایط آزمایشی مختلفی برای هر گونه خاص فراهم شود (Eid et al. 2008).

نخودها در بسیاری از مناطق جهان منبع غذایی مهمی برای تغذیه انسان و دام به شمار می‌آیند (Singh et al. 2004).

نخودها بر اساس رنگ و پراکندگی جغرافیایی آنها به دو گروه تقسیم می‌شوند: نخود کابلی (در نواحی مدیترانه و خاورمیانه) و Desi (در شبه قاره هند) (Chavan et al. 1989). یکی از مهم‌ترین گونه‌های بقولات در جهان نخود کابلی^۱ (*Cicer arietinum*) است (Maheri-Sis et al. 2008). نخود سومین محصول مهم کشاورزی با تولید جهانی سالانه ۹/۷ میلیون تا ۱۱/۵ میلیون تن در هکتار است (Ganjeal et al. 2011). در حدود ۲۰٪ دانه‌های نخود در طی فرآیند برداشت و فرآوری تخریب می‌شوند که به عنوان محصول جانبی با قیمت پایین‌تر برای استفاده در تغذیه دام مصرف می‌شوند (Torres et al. 2011). نخودها منبع با ارزشی از کربوهیدرات‌های پیچیده، پروتئین، فیبرهای تغذیه‌ای و دارای مقادیر قابل توجهی از ویتامین‌ها، مواد معدنی و انرژی هستند (Nielsen, 1991; Morrow, 1991). نخود به دلیل در دسترس بودن و قیمت پایین نسبت به منابع پروتئینی دیگر بیشتر مورد توجه متخصصان تغذیه قرار گرفته است (Miao et al. 2009). نخودها به طور معمول حدود ۲۲٪ پروتئین، ۴/۵٪ چربی، ۶۳٪ کربوهیدرات، ۸٪ فیبر خام و ۲/۷ درصد خاکستر دارند. پروتئین نخود به عنوان یک ماده مغذی با ترکیب اسیدهای آمینه مختلف و با سطح پایین مواد ضد تغذیه‌ای بیشتر مورد توجه است (Zhang et al. 2011). همچنین این نوع پروتئین، از اسیدهای آمینه لایزین و آرژنین و نیز منابع کلسیم، فسفر، منیزیم و آهن غنی است (Maheri-Sis et al. 2008). قابلیت هضم پروتئین نخود از ۱۶ تا ۷۸٪ متفاوت است (Huisman and Vander, 1994).

جایگزینی پودر ماهی با پروتئین‌های گیاهی در جیره غذایی آبزیان یک ضرورت است. پروتئین‌های گیاهی به‌رغم دارا بودن مزیت‌های فراوان، به دلیل وجود مواد ضدتغذیه‌ای مانند تانن، لکتین، اسید فایتیک و غیره در سوخت و ساز موجودات تک‌معدده‌ای به خصوص آبزیان ایجاد مشکل می‌کنند (Kaushik, 1990). تاکنون روش‌های مختلف عمل‌آوری برای کاهش مواد ضد تغذیه‌ای مورد استفاده قرار گرفته است (Farag, 1998; El-Niely, 2001). پرتوتابی به عنوان روشی مناسب، می‌تواند موجب کاهش مواد ضدتغذیه‌ای در ترکیبات گیاهی شود و کیفیت آنها را افزایش دهد. به این طریق، می‌توان سهم

^۱ Chickpea

با توجه به معایب روش‌های مرسوم عمل‌آوری و حذف مواد ضد تغذیه‌ای، پرتوتابی با پرتوهای الکترومغناطیسی به عنوان روشی مناسب و مطمئن در سال‌های اخیر مورد توجه قرار گرفته است (El Shazali et al. 2011). فرآیند حرارت‌دهی شامل اکستروژن، پرتو مادون قرمز، اتوکلاو، بخار و پوست کندن است (Nestares et al. 1999). از روش‌های معمول عمل‌آوری حرارتی می‌توان به برشته کردن و اتوکلاو کردن (Mckinnon et al. 1995; Sadeghi and Waltz and Stern, 2006) نواری کردن (Shawrang, 2006) میکرونیزه کردن (Sattar et al. 1990) و عمل‌آوری با مایکروویو (Sadeghi et al. 2005; Nikkhah et al. 2006) اشاره کرد. معمولاً پرتوتابی با واحد "کیلو گری"^۲ سنجیده و نشان داده می‌شود. کاربرد پرتوهای یون ساز گاما و الکترون با هدف استفاده از انرژی این پرتوها برای ایجاد پیوندهای عرضی در پروتئین‌ها، شکستن پیوندهای کووالانسی ترکیبات حلقوی و پلی ساکاریدها، در جهت بهبود ارزش غذایی مواد خوراکی است (Siddhuraju et al. 2002). از پرتوتابی با اشعه گاما برای حذف یا کاهش ترکیبات ضد تغذیه‌ای از جمله تریپسین، اسید فایتیک، تانن‌ها و الیگوساکارایدها استفاده شده است (Abu-Tarboush, 1998; Sattar et al. 2003; Mahdi et al. 1990). مطالعات مختلفی استفاده از پرتوتابی برای حذف و یا کاهش اثرات ترکیبات ضدتغذیه‌ای را گزارش کرده‌اند (Sattar et al. 1990; Al-Kaisey et al. 2003; Batt et al. 2007). در همین راستا Mahdi و همکاران (۲۰۰۳) بیان کردند که با افزایش دوز پرتوگاما از ۲ تا ۱۰ کیلوگری، فعالیت ممانعت کننده تریپسین و محتوای اسید فایتیک در لوبیا کاهش می‌یابد. علاوه بر کاهش ترکیبات ضدتغذیه‌ای، یکی دیگر از اهداف عمل‌آوری مواد خوراکی در تغذیه آبزیان، افزایش قابلیت هضم پروتئین و در نتیجه، بهبود ارزش غذایی آنهاست (Waltz and Stern, 1989). قابلیت هضم پروتئین مواد خوراکی تحت تأثیر مقدار و نوع زیر واحدهای پروتئین‌های مواد خوراکی، ترکیب و نوع توالی اسیدهای آمینه زیرواحدها و نوع ساختمان پروتئین قرار دارد (Wallace, 1997). از جمله مزایای پرتوتابی می‌توان به آسیب کمتر به مواد مغذی به ویژه پروتئین‌ها، عدم ایجاد

پروتئین‌های گیاهی در جیره غذایی آبزیان را افزایش و هزینه‌های تولید را کاهش داد. با وجود مزایای منابع پروتئینی گیاهی، آنها مشکلات و محدودیت‌های تغذیه‌ای نیز دارند. اغلب منابع گیاهی فاقد اسیدهای چرب ضروری غیراشباع امگا-۳ هستند و از نظر طعم، کیفیت بالایی ندارند و برخی از این منابع با نیازهای ماهی تطابق کمی دارند (Bureau et al. 2000). یکی از محدودیت‌های استفاده از منابع پروتئینی گیاهی، وجود مواد یا ترکیبات ضد تغذیه‌ای^۱ در آنهاست (Drew et al. 2007). عوامل ضدتغذیه‌ای به دو دسته مقاوم و ناپایدار در برابر گرما تقسیم می‌شوند (Refstie et al. 2001; Csaky and Fekete, 2001; Francis et al. 2004). بقولات غنی از عوامل ضدتغذیه‌ای ناپایدار در برابر گرما هستند. مهم‌ترین عوامل ضدتغذیه‌ای مقاوم در برابر گرما در غذاهای پرتئین گیاهی که در حال حاضر برای ماهی مصرف می‌شوند، اسید فایتیک، ساپونین و آنتی‌ژن‌ها هستند (Arnesen et al. 1989; Bureau et al. 1998; Refstie et al. 1998). ترکیبات ضدتغذیه‌ای در دستگاه گوارش حیوانات تک معده‌ای مانند ماهیان، اختلال ایجاد می‌کنند و اثرات فیزیولوژیک متفاوتی دارند. از این اثرات می‌توان اختلال در هضم پروتئین و کربوهیدرات‌ها با ایجاد مجتمع بین آنها، اختلال در استفاده از ید، ایجاد مجتمع با مواد معدنی و پروتئین‌ها، کاهش جذب مواد معدنی، کم خونی به دلیل تشکیل مجتمع با آهن، کاهش خوش خوراکی، کاهش وزن و رشد را نام برد (Francis et al. 2001). در مقایسه با پروتئین حیوانی، پروتئین‌های گیاهی عموماً حاوی اسیدهای آرژنین، لایزین و متیونین کمی هستند (Guillaume et al. 1999). تابلوی اسیدهای آمینه ضروری بقولات، به رغم کمبود متیونین، متناسب با نیاز ماهی است (Drew et al. 2007). در مقایسه با بقولات دیگر همچون سویا، نخود فرنگی و لوبیا، نخودها مقادیر نسبتاً کمتری از ممانعت کننده‌های تریپسین و کیموتریپسین دارند. با وجود این، برای افزایش قابلیت هضم‌پذیری پروتئین و انرژی ضروری است که مواد ضد تغذیه‌ای موجود در نخود حذف شوند (Nestares et al. 1999).

^۲ Kilo Gray

^۱ Anti-nutrient factors

شدند (Holm and Berry, 1970). برای پرتوتابی با پرتو الکترون نیز بسته‌های ۲ کیلوگرمی نخود در نایلون‌های پلی‌اتیلنی بسته‌بندی و با دوز ۳۰ کیلوگری الکترون پرتوتابی شدند. پرتوتابی الکترونی با استفاده از دستگاه "رودوترون^۲" و با انرژی ۱۰ مگا الکترون ولت و جریان باریکه الکترونی ۶ میلی‌آمپر در مرکز پرتو فرآیند یزد وابسته به سازمان انرژی اتمی ایران انجام شد. در عمل‌آوری مایکروویو نیز ابتدا رطوبت دانه‌های نخود تا حدود ۲۵٪ کاهش یافت. سپس، دانه‌ها در سینی‌های مخصوص قرار گرفتند و به مدت ۴ دقیقه در مایکروویو (شرکت بوتان، مدل ۲۴۵، ساخت ایران) با قدرت ۸۰۰ وات پرتوتابی شدند. نمونه‌های پرتوتابی شده مورد آنالیز شیمیایی قرار گرفتند و مقادیر پروتئین خام، چربی، رطوبت و خاکستر آنها سنجش شد.

غذای آزمایشی

تیمارهای غذایی شامل جایگزینی پودر ماهی با نخود پرتوتابی شده با پرتوهای الکترونی به نسبت ۲۰، ۳۰ و ۴۰٪ بودند. پس از مشخص کردن ارقام غذایی در دسترس و مورد نیاز، مواد و ترکیبات اصلی موجود در جیره (پروتئین، چربی، خاکستر و رطوبت) مورد آنالیز قرار گرفت و با استفاده از نرم‌افزار UFFDA^۳ جیره غذایی فرموله شد. آنالیز ترکیبات مورد استفاده در جیره‌ها بر اساس جدول NRC (1993) (NRC, 1993) بررسی و در جدول شماره ۱ و ۲ آورده شده است. پس از مشخص شدن فرمول جیره‌های غذایی و آماده کردن ارقام مورد نیاز، تهیه جیره‌های غذایی به صورت زیر انجام شد: ارقام غذایی استفاده شده در ساخت هر یک از جیره‌های غذایی با ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۰۰۱ گرم توزین و به صورت دستی مخلوط شدند. پس از ۵ دقیقه مخلوط کردن روغن و آب مورد نیاز به طور تدریجی به مخلوط غذایی اضافه و هم زده شد. پس از شکل‌گیری، مخلوط حاصل، با چرخ گوشت به صورت رشته‌هایی به قطر ۲/۵ سانتی‌متر در آمد. رشته‌ها روی سینی گسترده و در دمای ۵۰ درجه سانتی‌گراد انکوباتور به مدت ۱۲ ساعت نگه داشته تا کاملاً خشک شدند. بعد از خشک شدن، جیره‌های غذایی شماره‌گذاری و در کیسه‌های پلاستیکی

فرآورده‌های غیرقابل هضم مانند فرآورده‌های میلارد، حذف آلودگی‌های میکروبی و قارچی از مواد خوراکی و افزایش قابلیت هضم‌پذیری مواد مغذی اشاره کرد. مطالعاتی برای ارزیابی سلامت غذاهای پرتوتابی شده و اثرات پرتوها بر رشد، تولیدمثل و سلامت عمومی حیوانات انجام شده‌اند که در آنها هیچ نوع اثر نامطلوب، پرتوتابی در مواد خوراکی مشاهده نشده است (Durante et al. 2002). بهبود کیفیت در پروتئین سویا و لوبیای پهن پس از از بین بردن مهارکننده تریپسین و هموزلاتینه شدن به وسیله پرتوتابی نیز گزارش شده است (El-Niely, 2001; Farag, 1998). تنها عیب استفاده از پرتودهی به عنوان یک روش عمل‌آوری در حال حاضر، نبودن تجهیزات و امکانات پرتوتابی در مقیاس صنعتی و به تعداد زیاد در نقاط مختلف است که این موضوع در شرایط کنونی سبب زیاد شدن هزینه‌های این نوع عمل‌آوری می‌شود.

این تحقیق با دو هدف یکی معرفی منبع پروتئینی جدید نخود معمولی (*C. arietinum*) به جای پودر ماهی در جیره غذایی ماهی قزل‌آلای رنگین کمان (*Oncorhynchus mykiss*) و دیگری امکان استفاده از پرتوتابی با مایکروویو، گاما و الکترون در صنعت خوراک آبزیان طراحی و انجام شده است.

مواد و روش‌ها

تهیه دانه نخود و پرتوتابی

نخود مورد استفاده در این تحقیق گونه نخود کابلی (*C. arietinum*) بود. دانه‌های نخود از مزارع کشاورزی اطراف شهر ارومیه تهیه شد و برای پرتوتابی و آنالیزهای شیمیایی به پژوهشکده تحقیقات کشاورزی، پزشکی و صنعتی سازمان انرژی اتمی ایران منتقل شدند. پرتوتابی با استفاده از پرتوهای گاما و بر اساس روش فریک، دوزیمتری انجام شد. ابتدا رطوبت دانه‌ها به حدود ۲۵٪ رسانده شد تا بهترین محل برای جاگذاری نمونه‌ها در دستگاه "گاماسل^۱" مشخص شود (Fricke and Hart, 1996) سپس، نمونه‌های ۵۰۰ گرمی در نایلون‌های پلی‌اتیلنی بسته‌بندی و با دوز ۳۰ کیلوگری پرتوتابی شدند. پرتوهای گاما از منبع کبالت ۶۰ با سرعت ۰/۳۶ گری در ثانیه در دمای 1 ± 25 درجه سانتی‌گراد پرتوتابی

تیمار ۱: جایگزینی ۲۰٪ نخود معمولی به جای پودر ماهی
 تیمار ۲: جایگزینی ۳۰٪ نخود معمولی به جای پودر ماهی
 تیمار ۳: جایگزینی ۴۰٪ نخود معمولی به جای پودر ماهی
 تیمار ۴: جایگزینی ۲۰٪ نخود پرتوتابی شده به جای پودر ماهی
 تیمار ۵: جایگزینی ۳۰٪ نخود پرتوتابی شده به جای پودر ماهی
 تیمار ۶: جایگزینی ۴۰٪ نخود پرتوتابی شده به جای پودر ماهی.

بسته‌بندی و تا زمان مصرف در دمای ۲۰- درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند (Glencross et al. 2003; Thiessen et al. 2004).

تیمارهای تغذیه‌ای

تیمارهای تغذیه‌ای عبارت بودند از: تیمار غذای تجاری مخصوص ماهی قزل‌آلا (تیمار تغذیه کرده با غذای تجاری)، تیمار شاهد (غذای دست‌ساز بدون نخود)،

جدول ۱- اجزای جیره‌های آزمایشی در غذای دست‌ساز.

اجزاء غذایی	کنترل	تیمار ۱ ^(۱)	تیمار ۲ ^(۲)	تیمار ۳ ^(۳)
پودر ماهی	۵۰	۴۰	۳۵	۳۰
نخود	۰	۱۰	۱۵	۲۰
گلوتن گندم	۱۰/۸۹	۱۸/۶۷	۲۳	۲۵/۵
آرد گندم	۱۴/۵	۸/۷۳	۶	۴/۸
کنجاله سویا	۸	۶	۴	۴
روغن ماهی	۹/۷۵	۹	۹	۷/۴
روغن سویا	۴	۴	۴	۳/۸
مخلوط مکمل ویتامینی ^۴	۰/۵	۰/۵	۰/۵	۰/۵
مخلوط مکمل معدنی ^۵	۰/۵	۰/۵	۰/۵	۰/۵
دی کلسیم فسفات	۰/۹	۰/۵	۰/۵	۰/۵
بنتونیت	۱	۱	۱	۱
لازین (۹۸٪)	۰	۰/۷	۱	۱/۴
متیونین (۹۸٪)	۰	۰/۴	۰/۵	۰/۶

(۱) از لحاظ اقلام با تیمار ۴ که ۲۰٪ نخود پرتوتابی دارد، برابر است.

(۲) از لحاظ اقلام با تیمار ۵ که ۳۰٪ نخود پرتوتابی دارد، برابر است.

(۳) از لحاظ اقلام با تیمار ۶ که ۴۰٪ نخود پرتوتابی است، برابر است.

(۴) هر کیلوگرم مخلوط مکمل ویتامینی شامل: ویتامین A IU ۱۶۰۰۰۰۰، ویتامین IU D3 ۴۰۰۰۰۰۰، کولین کلراید ۱۲۰۰۰ میلی‌گرم، نیاسین ۴۰۰۰ میلی‌گرم، ریبولوین ۸۰۰۰ میلی‌گرم، پیریدوکسین ۴۰۰۰ میلی‌گرم، فولیک اسید ۲۰۰۰، ویتامین B₁₂ ۸۰۰۰ میلی‌گرم، بیوتین ۱ mg، اینوزیتول ۲۰۰۰۰، ویتامین C ۶۰۰۰۰، ویتامین B₂ ۸۰۰۰ میلی‌گرم، ویتامین K₃ ۲۰۰۰، ویتامین E ۴۰۰۰۰ (mg یا IU در هر کیلوگرم غذا).
 (۵) مخلوط مکمل معدنی شامل آهن ۲۶ گرم، روی ۱۲/۵ گرم، سلنیوم ۲ گرم، کبالت ۴۸۰ میلی‌گرم، مس ۴/۲، منگنز ۱۵/۸، ید ۱ گرم.

جدول ۲- آنالیز تقریبی جیره‌های غذایی آزمایشی.

آنالیز تقریبی (%)	کنترل	تیمار ۱ ^(۱)	تیمار ۲ ^(۲)	تیمار ۳ ^(۳)
ماده خشک	۹۲/۲	۹۱/۴	۹۲/۱	۹۱/۸۵
پروتئین خام	۵۳/۵۸	۵۳/۳۳	۵۳/۱۶	۵۳/۰۶
چربی خام	۱۳/۲۰	۱۲/۲۰	۱۲/۸۰	۱۳/۱۵
خاکستر	۵/۵۴	۵/۸۳	۶/۱۹	۵/۷۲
کربوهیدرات ^۴	۱۹/۸۸	۲۰/۰۴	۱۹/۹۵	۱۹/۸۹
انرژی ^۵ (KCal/kg)	۵۰۸۳	۴۹۸۱	۵۰۲۵	۵۰۴۹

(۱) از لحاظ ترکیب شیمیایی با تیمار ۴ که ۲۰٪ نخود پرتوتابی دارد، برابر است.

(۲) از لحاظ ترکیب شیمیایی با تیمار ۵ که حاوی ۳۰٪ نخود پرتوتابی دارد، برابر است.

(۳) از لحاظ ترکیب شیمیایی با تیمار ۶ که حاوی ۴۰٪ نخود پرتوتابی دارد، برابر است.

(۴) کربوهیدرات = (رطوبت + خاکستر + چربی + پروتئین) - ۱۰۰.

(۵) محاسبه انرژی از روی منبع NRC که میزان پروتئین، چربی و کربوهیدرات جیره به ترتیب ۴، ۴ و ۹ کیلو کالری/گرم لحاظ شده است.

تهیه ماهی و تیمار بندی

این مطالعه در سالن تکثیر و پرورش پژوهشکده آرتمیا و آبزیان دانشگاه ارومیه و در حوضچه‌های پلی‌اتیلنی ۳۰۰ لیتری با جریان آب ۱۰ لیتر در دقیقه و دمای 12 ± 2 درجه سانتی‌گراد انجام شد و تمام شرایط فیزیکی شیمیایی آب برای همه تیمارها یکسان بود. تعداد ۷۲۰ قطعه ماهی با میانگین وزنی 4 ± 60 گرم به صورت تصادفی در ۸ تیمار غذایی با ۳ تکرار توزیع شدند. ماهیان یک هفته نگهداری شدند تا با شرایط آزمایشگاهی سازگار شوند. طی این یک هفته با جیره تجاری مخصوص ماهی قزل‌آلا (خوراک دام بیضاء، ایران) تغذیه شدند. سپس تیمارها بر اساس جیره‌های آزمایشی تهیه شده به مدت دو ماه مورد تغذیه قرار گرفتند.

زیست‌سنجی^۱ و محاسبه شاخص‌های رشد و تغذیه

برای زیست‌سنجی ماهیان، ۲۴ ساعت قبل از نمونه‌برداری، غذادهی قطع شد و از هر تکرار ۱۵ قطعه ماهی به طور کاملاً تصادفی انتخاب و با پودر گل میخک بی‌هوش شدند (مهرابی، ۱۳۷۸). زیست‌سنجی در روزهای صفر و ۶۰ انجام شد.

شاخص‌های رشد بر اساس فرمول‌های زیر مورد بررسی قرار گرفتند. همچنین، شاخص کبدی^۲ و احشایی^۳ بر اساس داده‌های مربوط به رشد و اندازه‌گیری وزن کبد و احشای ماهیان به دست آمد (Johnsen et al. 2002; Xue et al. 2006; Farhangi and Carter, 2007). درصد افزایش وزن (BWI)^۴: افزایش وزن بدن در تیمارها به صورت درصد BWI محاسبه شد که در این فرمول BWI متوسط وزن اولیه (گرم) و BWF متوسط وزن نهایی (گرم) است (Hung et al. 2008).

$$BWI (\%) = (BWF - BWI) / BWI \times 100$$

فاکتور وضعیت (CF)^۵: با استفاده از فرمول زیر محاسبه شد. در این فرمول L طول کل ماهی بر حسب سانتی‌متر و W وزن ماهی بر حسب گرم است (Bagenal, 1978). ضریب تبدیل غذایی (FCR)^۶، ضریب رشد روزانه (DGR)^۷ و ضریب رشد ویژه (SGR)^۸ با استفاده از فرمول‌های زیر محاسبه شدند افزایش رشد روزانه به درصد بیان شده است (Bagenal, 1978).

5 Condition Factor
6 Feed Conversion Ratio
7 Daily Growth Rate
8 Specific Growth Ratio

1 Biometry
2 Hepatosomatic index
3 Viscera somatic index
4 Body Weight Increase

$$CF = [W / L^3] \times 100$$

FCR = افزایش وزن بدن (گرم) / غذای خورده شده (گرم)

$$DGR = 100 \times \text{دوره آزمایش (روز)} / \text{وزن اولیه به گرم} - \text{وزن ثانویه به گرم}$$

$$SGR = 100 \times (\ln W_2 - \ln W_1) / \text{دوره پرورش به روز}; \ln W_1 = \text{لگاریتم وزن اولیه}, \ln W_2 = \text{لگاریتم وزن نهایی}$$

نسبت بازده پروتئین (PER)^۱ و نسبت بازده غذایی (FER)^۲، این شاخص‌ها توسط فرمول‌های زیر محاسبه گردیدند (Tacon and Akiyama, 1997):

$$PER = \text{مقدار پروتئین مصرفی (گرم)} / \text{افزایش وزن بدن (گرم)}$$

$$FER = \text{مقدار غذای خورده شده (گرم)} / \text{افزایش وزن بدن (گرم)}$$

$$HSI = [100 \times \text{وزن بدن (گرم)} / \text{وزن کبد (گرم)}]$$

$$VSI (\%) = [100 \times \text{وزن بدن (گرم)} / \text{وزن توده احشایی (گرم)}]$$

حوضچه‌های پرورش جمع‌آوری شد تا با مدفوع ماهی تداخل پیدا نکند. پس از گذشت ۲۴ ساعت از زمان غذادهی، جمع‌آوری مدفوع از هر حوضچه انجام شد. برای تعیین هضم پذیری، از روش سنجش مقایسه‌ای مقادیر اکسید کروم موجود در نمونه‌های مدفوع استفاده شد (Divakaran et al., 2002).

محاسبه هضم پذیری ظاهری (ADC)^۳

برای تعیین میزان هضم پذیری جیره‌های غذایی از روش Gul و همکاران (۲۰۰۷) استفاده شد. بچه ماهیان به مدت ۷ تا ۱۰ روز با جیره‌های حاوی ۰/۵٪ اکسید کروم (Cr₂O₅) مورد تغذیه قرار گرفتند. پس از پایان زمان غذادهی در هر روز، غذای مصرف نشده و یا از دسترس ماهی خارج شده، از کف

$$ADC (\%) = 100 - [100 \times (\text{درصد اکسید کروم در مدفوع} \times \text{درصد اکسید کروم در جیره}) / (\text{درصد ماده مغذی در جیره} \times \text{درصد ماده مغذی در مدفوع})]$$

مطالعه تأثیر پرتوتابی بر ساختار پروتئین‌ها

برای تعیین وضعیت زیر واحدهای پروتئین تحت تأثیر پرتوتابی، از تکنیک الکتروفورز ژل پلی‌آکریل‌آمید به روش Laemmli (۱۹۷۰) استفاده شد. در این آزمایش، از دستگاه الکتروفورز عمودی مدل VEU:7305D (شرکت پایا پژوهش) استفاده شد.

آنالیز ترکیبات بدنی ماهیان

برای آنالیز شیمیایی ترکیبات بدنی ماهیان، در پایان دوره آزمایش تعداد ۶ قطعه ماهی از هر تکرار به طور تصادفی صید و مقدار یک گرم از عضله از ناحیه پشتی آنها برداشته و تا زمان

آنالیزهای شیمیایی

اندازه‌گیری ترکیبات ضد تغذیه‌ای مواد خوراکی

اندازه‌گیری تانن نخود به روش وانیلین-اسیدکلریدریک (Burns, 1971) انجام شد. مقدار فیتات یا اسید فایتیک نخود با استفاده از روش de Boland و همکاران (۱۹۷۵) اندازه‌گیری شد. اسید فایتیک نمونه‌ها با فرمول زیر محاسبه شد.

$$28/18 / (100 \times \text{فسفر فیتات}) = \text{مقدار فیتات}$$

3 Apparent digestibility coefficients

1 Protein Efficiency Ratio
2 Food Efficiency Ratio

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

برای آنالیزهای آماری از نرم‌افزار SPSS نسخه ۱۹ و برای تجزیه و تحلیل داده‌ها از روش آنالیز واریانس یکطرفه (ANOVA) و آزمون Tukey استفاده شد. قبل از انجام آزمون، نرمال بودن داده‌های به دست آمده با استفاده از آزمون کولموگروف-اسمیرنوف بررسی و در صورت نرمال نبودن، تبدیل داده‌ها انجام شد. حداقل سطح معنی‌دار بودن تفاوت‌ها $P \leq 0.05$ در نظر گرفته شد.

نتایج

نتایج حاصل از بررسی تأثیر پرتودهی بر ترکیب شیمیایی نخود در جدول شماره ۳ آورده شده است. مقادیر ترکیب شیمیایی نخود عمل‌آوری شده با پرتوهای مختلف تفاوت معنی‌داری با تیمار شاهد (نخود طبیعی) نداشتند ($P > 0.05$). با وجود این، میزان تانن و اسید فایتیک در نخود عمل‌آوری شده با پرتو الکترون نسبت به دیگر پرتوها و در مقایسه با تیمار شاهد در کمترین مقدار خود و از لحاظ آماری، دارای تفاوت معنی‌دار با دیگر تیمارها بود ($P < 0.05$). بیشترین میزان تانن ۱/۷٪ مربوط به تیمار شاهد و پرتوتابی با گاما در دوز ۳۰ کیلوگری بوده است.

انجام آزمایش‌ها در فریزر ۲۰- درجه سانتی‌گراد نگهداری شد. برای تعیین درصد پروتئین، رطوبت و خاکستر از روش‌های استاندارد (AOAC, 1990) استفاده شد.

برای تعیین میزان پروتئین از طریق تعیین نیتروژن کل به روش کلدال و بر اساس فرمول زیر محاسبه گردید:

$$6.25 \times \text{نیتروژن } (\%) = \text{پروتئین } (\%)$$

برای تعیین درصد چربی در بافت ماهیان از روش حل کردن در اتر و تعیین مقدار آن با سوکسله استفاده شد. برای محاسبه میزان کربوهیدرات در درصد ماده خشک از فرمول زیر استفاده شد (Aksnes et al. 2006):

$$\text{پروتئین} + \text{چربی} + \text{رطوبت} + \text{خاکستر} - 100 = \text{کربوهیدرات } (\%)$$

برای تعیین درصد رطوبت از طریق خشک کردن نمونه‌ها در آون در دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ استفاده شد. خاکستر از طریق قرار دادن نمونه‌ها در کوره الکتریکی در دمای ۵۵۰ درجه سانتی‌گراد تا سوختن کامل (۱۲ ساعت) تعیین شد.

جدول ۳- مقایسه ترکیبات شیمیایی نخود در روش‌های مختلف عمل‌آوری.

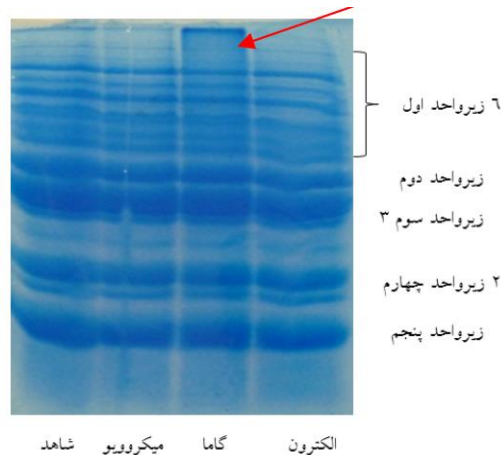
انواع نخود	ماده خشک	خاکستر خام	چربی خام	پروتئین خام	پروتئین حقیقی	تانن	اسید فایتیک
نخود عمل‌آوری نشده	۹۰/۱۰ ± ۲/۱۵	۲/۶ ± ۰/۰۱	۵/۲ ± ۰/۳۳	۲۱/۵۹ ± ۰/۸۲	۱۸/۶۷ ± ۰/۸۷	۱/۷ ± ۰/۱۱ ^a	۳/۳۹ ± ۰/۱۶ ^a
پرتوتابی شده با مایکروویو (۸۰۰ وات در ۴ دقیقه)	۹۲/۱۲ ± ۱/۳۶	۲/۳ ± ۰/۰۴	۵/۳ ± ۰/۲۹	۲۱/۶۷ ± ۰/۳۹	۱۸/۵۸ ± ۰/۷۲	۱/۴ ± ۰/۲۱ ^{ab}	۳/۳۳ ± ۰/۲۷ ^a
پرتوتابی شده با گاما (۳۰ کیلوگری)	۹۲/۰۵ ± ۱/۷۵	۲/۶ ± ۰/۰۲	۵/۴ ± ۰/۴۹	۲۱/۸۳ ± ۰/۱۸	۱۸/۶۷ ± ۰/۵۴	۱/۷ ± ۰/۰۸ ^a	۳/۳۴ ± ۰/۴۱ ^a
پرتوتابی شده با الکترون (۳۰ کیلوگری)	۹۰/۱۴ ± ۱/۹۶	۲/۵ ± ۰/۰۵	۵/۲ ± ۰/۴۲	۲۱/۵۷ ± ۰/۶۷	۱۸/۳۶ ± ۰/۳۲	۱/۰ ± ۰/۱۷ ^b	۱/۰۵ ± ۰/۲۴ ^b

* مقادیر تانن و اسید فایتیک بر حسب میلی‌گرم در گرم ماده خشک است. در هر ستون، اعداد با حروف مختلف دارای تفاوت آماری معنی‌دار هستند ($P < 0.05$).

ایجاد کردند و پروتئین دانه نخود بیشتر تحت تأثیر پرتوتابی گاما قرار گرفته، به طوری که بخشی از زیرواحدهای آن تحت تأثیر پرتوتابی در قسمت بالای ژل باقی مانده‌اند. وجود باند در بخش بالایی ژل جداکننده نشان دهنده واسرشتگی پروتئین‌ها بر اثر پرتوتابی است.

الکتروفورز پروتئین نخود عمل‌آوری شده

نتیجه الکتروفورز پروتئین نخود شاهد و عمل‌آوری شده با پرتوهای میکروویو، گاما و الکترون در شکل ۱ نشان داده شده است. همان‌طور که در شکل دیده می‌شود، پرتوتابی با پرتوهای گاما و الکترون تغییراتی در الگوی زیرواحدهای پروتئین نخود



شکل ۱- الگوی پروتئین نخود عمل‌آوری نشده (شاهد) و عمل‌آوری شده با پرتوهای میکروویو، گاما و الکترون بر روی ژل پلی‌آکریل آمید.

Fermentas برای تعیین وزن مولکولی زیر واحدهای مورد مطالعه استفاده شد. وزن مولکولی زیرواحدهای پروتئینی در حدود ۹۲ تا ۲۵ کیلو دالتون است و بیش از ۷۰٪ این زیرواحدها دارای وزن مولکولی کمتر از ۵۳ کیلو دالتون هستند.

وزن مولکولی و نسبت زیرواحدهای پروتئین نخود در جدول ۲ آورده شده است. برای تعیین وضعیت زیرواحدهای پروتئین مواد خوراکی عمل‌آوری نشده و پرتوتابی شده، الکتروفورز پروتئین‌ها با استفاده از تکنیک الکتروفورز ژل پلی‌آکریل‌آمید به روش (Laemmli 1970) انجام و از مارکر پروتئینی

جدول ۴- وزن مولکولی و نسبت هر یک از زیرواحدهای پروتئین نخود.

زیر واحد	وزن مولکولی (کیلو دالتون)	نسبت (درصد پروتئین)
۱	۹۲/۶	۱۶
۲	۷۴/۲	۱۲
۳	۵۳/۷	۳۲
۴	۳۹/۲	۱۷
۵	۲۴/۸	۲۳

آنالیز ترکیب شیمیایی جیره‌های آزمایشی

مشابه بودند. میانگین مقادیر پروتئین، چربی و کربوهیدرات جیره‌ها به ترتیب ۵۳، ۱۳ و ۲۰٪ و میانگین میزان انرژی جیره‌های آزمایشی (۵۰۰۰ Kcal/kg) بود.

نتایج مربوط به آنالیز ترکیب شیمیایی جیره‌های آزمایشی در جدول ۵ گزارش شده‌اند. بر اساس نتایج حاصل، جیره‌های آزمایشی از نظر مقادیر پروتئین، چربی، انرژی و کربوهیدرات

جدول ۵ - آنالیز شیمیایی جیره‌های غذایی آزمایشی.

شاهد*	تجاری	۲۰ درصد نخود	۳۰ درصد نخود	۴۰ درصد نخود
ماده خشک	۹۲/۲	۹۲/۶	۹۱/۴	۹۱/۸۵
پروتئین	۵۳/۵۸	۴۹	۵۳/۳۳	۵۳/۰۶
چربی	۱۳/۲۰	۱۳/۸۰	۱۲/۲۰	۱۳/۱۵
کربوهیدرات	۱۹/۸۸	۲۳/۳۱	۲۰/۰۴	۱۹/۸۹
خاکستر	۵/۵۴	۶/۴۹	۵/۸۳	۵/۷۲
انرژی (Kcal/kg)	۵۰۸۳	۵۰۲۳	۴۹۸۱	۵۰۴۹

*جیره شاهد غذای دست‌ساز بدون پودر نخود بود. مقادیر بر اساس درصد در وزن خشک آورده شده است.

شاخص‌های رشد و تغذیه

معنی‌داری نداشتند ($P > 0.05$). اختلاف معنی‌داری در بین مقادیر ضریب رشد ویژه، ضریب رشد روزانه و ضریب چاقی با تیمارها مشاهده نشد ($P > 0.05$). مقدار شاخص کبدی در تیمار تغذیه شده با غذای تجاری و شاخص احشایی در تیمار ۳ به طور معنی‌داری بالاتر از دیگر تیمارها بود ($P < 0.05$).

نتایج حاصل از بیومتری ماهیان و محاسبه شاخص‌های رشد در جدول ۶ آورده شده‌اند. بر اساس نتایج حاصل، شاخص‌های وزن و طول نهایی در بین تیمارهای مختلف از لحاظ آماری اختلاف

جدول ۶ - مقادیر (میانگین \pm انحراف معیار) شاخص‌های رشد ماهیان مورد بررسی در انتهای دوره پرورشی.

تیمارها	BWI (g)	SGR (%/day)	CF	DGR (%)	HSI (%)	VSI (%)
شاهد	۱۶۹/۲۳ \pm ۸/۰۲	۰/۹۸ \pm ۰/۰۲	۱/۱۲ \pm ۰/۰۵	۳/۶۸ \pm ۰/۰۹	۰/۷۹ \pm ۰/۰۵ ^a	۶/۸۱ \pm ۰/۴۷ ^{bd}
تجاری	۱۶۸/۵۶ \pm ۷/۲۱	۰/۹۶ \pm ۰/۰۷	۱/۰۸ \pm ۰/۰۲	۳/۶۶ \pm ۰/۰۱	۰/۹۹ \pm ۰/۰۶ ^b	۷/۴۹ \pm ۰/۵۱ ^{abc}
تیمار ۱	۱۶۹/۸۱ \pm ۶/۴۳	۰/۹۸ \pm ۰/۰۱	۱/۱۴ \pm ۰/۰۴	۳/۶۸ \pm ۰/۰۶	۰/۸۶ \pm ۰/۰۶ ^a	۶/۲۸ \pm ۰/۳۴ ^d
تیمار ۲	۱۶۸/۴۶ \pm ۷/۰۶	۰/۹۶ \pm ۰/۰۱	۱/۱۲ \pm ۰/۰۱	۳/۶۶ \pm ۰/۰۱	۰/۸۳ \pm ۰/۰۹ ^a	۶/۸۷ \pm ۰/۷۲ ^{bcd}
تیمار ۳	۱۶۶/۶۶ \pm ۶/۵۲	۰/۹۶ \pm ۰/۰۲	۱/۱۰ \pm ۰/۰۱	۳/۶۳ \pm ۰/۰۴	۰/۸۱ \pm ۰/۱۰ ^a	۷/۶۶ \pm ۰/۲۶ ^a
تیمار ۴	۱۷۰/۳۸ \pm ۶/۵۵	۰/۹۸ \pm ۰/۰۲	۱/۱۴ \pm ۰/۰۴	۳/۷۰ \pm ۰/۱۲	۰/۸۵ \pm ۰/۰۵ ^a	۷/۱۱ \pm ۰/۶۲ ^{abc}
تیمار ۵	۱۶۹/۶ \pm ۸/۰۲	۰/۹۸ \pm ۰/۰۱	۱/۱۲ \pm ۰/۰۳	۳/۶۸ \pm ۰/۰۴	۰/۸۳ \pm ۰/۰۹ ^a	۷/۱۶ \pm ۰/۴۷ ^{abc}
تیمار ۶	۱۶۷/۴۴ \pm ۸/۶۳	۰/۹۶ \pm ۰/۰۵	۱/۱۱ \pm ۰/۰۱	۳/۶۵ \pm ۰/۰۵	۰/۷۹ \pm ۰/۰۹ ^a	۷/۵۵ \pm ۰/۵۶ ^{ab}

در هر ردیف، اعداد با حروف مختلف دارای تفاوت آماری معنی‌دارند ($P < 0.05$).

غذایی، نرخ کارایی پروتئین و نرخ کارایی چربی در تیمار تجاری مشاهده شدند که به طور معنی‌داری بالاتر از دیگر تیمارهای آزمایشی بودند ($P < 0.05$). کمترین مقادیر ضریب کارایی غذایی و نرخ کارایی پروتئین مربوط به تیمار ۳ و کمترین مقدار نرخ کارایی چربی مربوط به تیمار شاهد بود. در بین تیمارهای آزمایشی از لحاظ ضریب دمایی رشد اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد ($P > 0.05$).

نتایج مربوط به اندازه‌گیری شاخص‌های تغذیه‌ای ماهیان مورد مطالعه در جدول ۷ آورده شده است. ضریب تبدیل غذایی در تیمارهای آزمایشی دارای تفاوت معنی‌داری با تیمار شاهد بودند ($P < 0.05$). به طوری که بیشترین مقادیر ضریب تبدیل غذایی مربوط به تیمار ۳ بود. میزان هضم پذیری ظاهری پروتئین در تیمار ۳ به طور معنی‌داری پایین‌تر و در تیمار ۴ بالاتر از دیگر تیمارها بودند ($P < 0.05$). بیشترین مقادیر ضریب کارایی

جدول ۷ - مقادیر شاخص‌های تغذیه‌ای ماهیان مورد بررسی در انتهای دوره پرورشی.

تیمار	FCR	PER	FER	هضم پذیری پروتئین	هضم پذیری چربی	ضریب دمایی رشد	کارایی چربی
شاهد	۰/۸۶ ± ۰/۰۴ ^{bc}	۲/۱۴ ± ۰/۱۰ ^{bc}	۱/۱۴ ± ۰/۰۵ ^{bc}	۸۶/۳۳ ± ۰/۱ ^c	۸۸/۲۷ ± ۰/۴ ^e	۲/۶۳ ± ۰/۰۱	۸/۰۹ ± ۰/۳۹ ^b
تجاری	۰/۸۰ ± ۰/۰۲ ^d	۲/۵۰ ± ۰/۰۸ ^a	۱/۲۲ ± ۰/۰۴ ^a	۸۵/۱۸ ± ۰/۳ ^e	۸۹/۴۶ ± ۰/۴ ^b	۲/۶۱ ± ۰/۰۳	۸/۹۲ ± ۰/۲۹ ^a
تیمار ۱	۰/۸۴ ± ۰/۰۳ ^{cd}	۲/۱۶ ± ۰/۰۷ ^b	۱/۱۷ ± ۰/۰۳ ^{ab}	۸۶/۳۱ ± ۱/۲ ^c	۸۷/۱۳ ± ۰/۶ ^f	۲/۶۳ ± ۰/۰۶	۸/۵۲ ± ۰/۲۸ ^{ab}
تیمار ۲	۰/۹۱ ± ۰/۰۱ ^{ab}	۲/۰۲ ± ۰/۰۴ ^{cd}	۱/۰۸ ± ۰/۰۱ ^{cd}	۸۵/۱۷ ± ۰/۶ ^e	۸۶/۵۷ ± ۰/۸ ^g	۲/۶۱ ± ۰/۰۹	۸/۱۲ ± ۰/۰۸ ^b
تیمار ۳	۰/۹۲ ± ۰/۰۲ ^a	۱/۹۸ ± ۰/۰۲ ^d	۱/۰۷ ± ۰/۰۲ ^d	۸۴/۴۲ ± ۱/۴ ^f	۸۵/۴۰ ± ۰/۸ ^h	۲/۵۷ ± ۰/۰۳	۸/۴۰ ± ۰/۱۸ ^{ab}
تیمار ۴	۰/۸۳ ± ۰/۰۱ ^{cd}	۲/۱۹ ± ۰/۰۳ ^b	۱/۱۹ ± ۰/۰۱ ^{ab}	۸۶/۹۸ ± ۰/۴ ^a	۸۹/۸۸ ± ۰/۳ ^a	۲/۶۴ ± ۰/۰۳	۸/۶۶ ± ۰/۱۳ ^{ab}
تیمار ۵	۰/۸۶ ± ۰/۰۳ ^{bc}	۲/۰۹ ± ۰/۰۸ ^{bcd}	۱/۱۴ ± ۰/۰۴ ^{bc}	۸۶/۶۷ ± ۰/۵ ^b	۸۸/۹۱ ± ۰/۵ ^c	۲/۶۳ ± ۰/۰۵	۸/۴۱ ± ۰/۶۱ ^{ab}
تیمار ۶	۰/۸۸ ± ۰/۰۴ ^{abc}	۲/۰۷ ± ۰/۰۶ ^{dbc}	۱/۱۲ ± ۰/۰۳ ^{bcd}	۸۵/۹۶ ± ۱/۳ ^d	۸۸/۸۰ ± ۰/۴ ^d	۲/۶۰ ± ۰/۰۳	۸/۸۳ ± ۰/۳۷ ^a

در هر ردیف، اعداد با حروف مختلف دارای تفاوت آماری معنی‌دارند ($P < 0.05$).

آنالیز ترکیبات بدنی ماهیان

نتایج مربوط به آنالیز ترکیب شیمیایی بافت عضله ماهیان تغذیه شده با تیمارهای مختلف غذایی در جدول ۸ آورده شده‌اند. بر اساس نتایج به دست آمده، میزان پروتئین در ماهیان تیمار ۴ به طور معنی‌داری بالاتر از دیگر تیمارها بود ($P < 0.05$). بیشترین و کمترین مقادیر چربی بافت عضله ماهیان به ترتیب مربوط به تیمارهای شاهد و ۴ بودند. ولی در مجموع، مقادیر چربی بافت ماهیان در بین تیمارهای آزمایشی تفاوت آماری معنی‌داری با یکدیگر نداشتند ($P > 0.05$).

در حالی که پروتئین موجود در بافت ماهیان تغذیه شده با غذای تجاری به طور معنی‌داری پایین‌تر از دیگر تیمارها بود ($P < 0.05$). بیشترین و کمترین مقادیر چربی بافت عضله ماهیان به ترتیب مربوط به تیمارهای شاهد و ۴ بودند. ولی در مجموع، مقادیر چربی بافت ماهیان در بین تیمارهای آزمایشی تفاوت آماری معنی‌داری با یکدیگر نداشتند ($P > 0.05$).

جدول ۸ - ترکیب شیمیایی بافت عضله ماهیان مورد مطالعه در انتهای دوره پرورشی.

تیمار	پروتئین (%)	چربی (%)	رطوبت (%)	خاکستر (%)
شاهد	۸۱/۰۶ ± ۲/۹۲ ^c	۱۸/۶۰ ± ۰/۵ ^a	۷۶/۴۶ ± ۰/۴۳ ^{ab}	۵/۹۱ ± ۰/۰۹
تجاری	۶۵/۸۷ ± ۲/۵۰ ^g	۱۶/۴۰ ± ۰/۸۵ ^c	۷۵/۱۹ ± ۰/۳۰ ^b	۶/۷۷ ± ۰/۱۳
تیمار ۱	۸۲/۳۲ ± ۳/۷۵ ^b	۱۵/۱۳ ± ۰/۶ ^d	۷۶/۸۰ ± ۱/۵۸ ^{ab}	۶/۰۳ ± ۰/۴۲
تیمار ۲	۸۰/۵۰ ± ۲/۷۶ ^d	۱۵/۴۶ ± ۰/۸۵ ^d	۷۶/۵۰ ± ۱/۸۳ ^{ab}	۶/۲۷ ± ۰/۵۰
تیمار ۳	۷۶/۵۴ ± ۳/۸۱ ^f	۱۵/۷۵ ± ۰/۲ ^d	۷۸/۶۶ ± ۱/۲ ^a	۶/۷۷ ± ۰/۴۱
تیمار ۴	۸۴/۴۵ ± ۱/۰۶ ^a	۱۴/۳۶ ± ۰/۷ ^e	۷۵/۱۰ ± ۰/۳ ^b	۶/۱۲ ± ۰/۲۸
تیمار ۵	۸۱/۸۳ ± ۰/۹۷ ^{bc}	۱۴/۸۲ ± ۰/۴۳ ^e	۷۴/۲۰ ± ۰/۶۵ ^b	۶/۱۲ ± ۰/۲۸
تیمار ۶	۷۹/۵۹ ± ۱/۸۲ ^e	۱۷/۰۵ ± ۰/۱۵ ^b	۷۷/۶۶ ± ۱/۵۹ ^{ab}	۵/۶۹ ± ۰/۳۴

مقادیر به صورت میانگین ± انحراف معیار نشان داده شده‌اند. در هر ردیف، اعداد با حروف مختلف دارای تفاوت آماری معنی‌دارند ($P < 0.05$).

بحث

نتایج حاصل از بررسی پرتوهای مختلف بر روی دانه نخود نشان داد بیشترین تأثیر را پرتوهای الکترون بر روی مواد ضدتغذیه‌ای داشته است، به طوری که پرتوهای الکترون تأثیری بر روی چربی، خاکستر، پروتئین، ایف خام و ماده خشک نخود نداشته است، ولی بر روی مواد ضدتغذیه‌ای تانن و اسید فایتیک دانه نخود تأثیر داشته و میزان این مواد را در دانه نخود کاهش داده است. این نتایج با تحقیقات انجام شده در این رابطه همخوانی دارد. به طور مثال Ebrahimi و Taghinejad (۲۰۰۹) در تحقیقی استفاده از پرتوهای الکترون در دوزهای ۱۵، ۳۰ و ۴۵ کیلوگری روی دانه‌های کانولا و سویا، به نتایج مشابهی رسیدند. در مطالعه‌ای که روی دانه ذرت علوفه‌ای انجام شده است، نیز مشاهده شد که پرتوهای الکترون در دوزهای ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵ و ۳۰ کیلوگری تأثیری بر مقادیر خاکستر، چربی، پروتئین و

نتایج حاصل از بررسی پرتوهای مختلف بر روی دانه نخود نشان داد بیشترین تأثیر را پرتوهای الکترون بر روی مواد ضدتغذیه‌ای داشته است، به طوری که پرتوهای الکترون تأثیری بر روی چربی، خاکستر، پروتئین، ایف خام و ماده خشک نخود نداشته است، ولی بر روی مواد ضدتغذیه‌ای تانن و اسید فایتیک دانه نخود تأثیر داشته و میزان این مواد را در دانه نخود کاهش داده است. این نتایج با تحقیقات انجام شده در این رابطه همخوانی دارد. به طور مثال Ebrahimi و Taghinejad (۲۰۰۹) در تحقیقی استفاده از پرتوهای الکترون در دوزهای ۱۵، ۳۰ و ۴۵ کیلوگری روی دانه‌های کانولا و سویا، به نتایج مشابهی رسیدند. در مطالعه‌ای که روی دانه ذرت علوفه‌ای انجام شده است، نیز مشاهده شد که پرتوهای الکترون در دوزهای ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵ و ۳۰ کیلوگری تأثیری بر مقادیر خاکستر، چربی، پروتئین و

تانن در این مطالعه نسبت به دیگر تحقیقات در دوزهای مشابه، کمتر بوده است که این می‌تواند به دلیل خصوصیات بیوشیمیایی متفاوت در نوع گونه گیاهی مورد آزمایش باشد. نتایج پژوهش حاضر نشان داد که پرتو میکروویو و گاما تأثیر معنی‌داری بر ترکیب شیمیایی و مواد ضدتغذیه‌ای دانه نخود نداشته است. این نتایج با مطالعه Khattoon و Prakash (۲۰۰۴)، Aljazi و Al-Adawg (۲۰۰۶)، Shawrang و همکاران (۲۰۰۸)، Ebrahimi و همکاران (۲۰۱۰) که اثر پرتوهای میکروویو و گاما را بر ۸ گونه از بقولات بررسی کردند، همخوانی دارد. اگرچه در تحقیقاتی در همین رابطه Khattab و Arntfield (۲۰۰۹) بیان کردند که پرتوتابی با میکروویو می‌تواند میزان تانن را تا ۹۰٪ در گیاهان کاهش دهد که با نتایج این تحقیق مغایرت دارد. مطالعات مشابهی در رابطه با استفاده از پرتوهای گاما برای کاهش میزان فیتات در محصولات گیاهی انجام شده اند که اکثراً بر این نکته تأکید دارند که با افزایش دوز پرتو تا یک میزان تعریف شده می‌توان مقدار ماده ضد تغذیه‌ای را کاهش داد (Mehi et al. 2005; Brigide and Canniatti-Brazaca, 2006; Toledo et al. 2007).

عدم کاهش مقادیر تانن و اسید فایتیک در گیاه نخود تحت بررسی پرتوهای گاما و میکروویو را می‌توان به نوع گونه‌های گیاهی و همچنین به دلیل پایین بودن سرعت دستگاه "گاماسل" نیز دانست. به علاوه، عوامل دیگری هم در عدم کاهش مقادیر تانن و اسید فایتیک در بقولات مؤثرند که از جمله آنها می‌توان به پایداری ترکیبات فنولی در این گیاهان اشاره کرد (Debnath et al. 2005).

جایگزینی پروتئین‌های گیاهی به جای پودر ماهی، در جیره غذایی ماهیان مختلف مورد توجه و بررسی قرار گرفته است. نتایج پژوهش حاضر نشان داد که جایگزینی نخود به جای پودر ماهی تا میزان ۴۰٪ تأثیر منفی بر رشد ماهی قزل‌آلا نداشته است، ولی تغییرات معنی‌داری در شاخص‌های تغذیه‌ای و قابلیت هضم پذیری با افزایش درصد جایگزینی نخود در جیره مشاهده شد. بررسی شاخص‌های رشد و تغذیه‌ای نشان داد که ضریب رشد ویژه ماهیان در مطالعه حاضر در بین تیمارهای آزمایشی تفاوت معنی‌داری نداشته است. نتایج تحقیق Sitjá

الیاف خام این گیاه نداشته است (Shawrang et al. 2011). استفاده از پرتوهای الکترون در دوزهای ۲/۵ تا ۱۰ کیلوگری سبب کاهش اسید فایتیک در گیاه لوبیا شده است (Al-Kaisey et al. 2003). در مطالعه‌ای دیگر مشخص شد که پرتوتابی با پرتوهای الکترون با دوز ۱۵ کیلوگری موجب کاهش اسید فایتیک به میزان ۴۳ تا ۸۳٪ و در دوزهای ۳۰ و ۴۵ کیلوگری موجب حذف کامل آن به ترتیب در دانه‌های کانولا و سویا شده است (Taghinejad et al. 2010). نتایج تحقیق حاضر با مطالعات انجام شده در خصوص تأثیر پرتوتابی الکترون بر مقادیر فیتات در بقولات نواحی گرمسیری و کنجاله کانولا همخوانی دارند (Siddhuraju et al. 2002; Taghinejad et al. 2009). پرتوتابی با پرتوهای الکترون به عنوان یک روش فرآوری فیزیکی، دارای مزایای بیشتری نسبت به روش‌های مرسوم برای کاهش مواد ضد تغذیه‌ای است و کمترین تأثیر را بر ترکیبات مغذی گیاهان دارد (Bhat and Sridhar, 2008). Bhat و همکاران (۲۰۰۷) گزارش کردند که پرتوتابی با الکترون در دوزهای ۱۵ تا ۳۰ کیلوگری نسبت به دیگر روش‌های عمل‌آوری، تأثیر بهتری در کاهش میزان اسید فایتیک در دانه‌های گیاهی دارد. تفاوت در نتایج این پرتوتابی‌ها با نتایج حاصل از این بررسی ممکن است به دلیل تفاوت در مقادیر رطوبت و چربی در گیاهان بررسی شده باشد. علت کاهش یا از بین رفتن اسید فایتیک توسط پرتوهای الکترون را می‌توان به شکستگی در ساختار فیتات نسبت داد (Duodu et al. 1999). این امر همچنین، می‌تواند با تغییر در ساختار اینوزیتول فسفات اسید فایتیک مرتبط باشد که در پی آن، اینوزیتول باعث فعالیت رادیکال‌های آزاد می‌شود و در نتیجه، می‌تواند باعث کم شدن میزان اسید فایتیک شود (De Boland et al. 1975). دوزهای الکترون مورد استفاده در پژوهش حاضر موجب کاهش تانن به میزان ۴۱٪ و فایتیک به میزان ۶۹٪ در دانه نخود شد. در مطالعه Shawrang و همکاران (۲۰۱۱)، پرتوتابی با الکترون در دوزهای ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵ و ۳۹ کیلوگری موجب کاهش تانن به ترتیب به میزان ۲۸، ۳۰، ۴۲، ۸۳ و ۸۶٪ درصد در ذرت علوفه‌ای شده است. کاهش

2002) باشد. یافته‌های Espe و همکاران در سال ۲۰۰۶ نشان داد که کاهش میزان اسید آمینه لایزین می‌تواند باعث کاهش میزان کارآیی پروتئین شود و در نتیجه، از تجمع آن در بافت عضله جلوگیری کند. به نظر می‌رسد این مسئله از دلایل کاهش میزان پروتئین عضله در ماهیان تغذیه شده با ۴۰٪ نخود باشد. اگرچه عوامل دیگری از جمله پیوند اسید فایتيک با برخی از اسیدهای آمینه، پروتئین و یا نسبت اسیدهای آمینه در پروتئین می‌توان اشاره کرد که باعث عدم جذب پروتئین کافی در لوله گوارش می‌شود. Helland و همکاران در سال ۲۰۰۶ اظهار داشتند که نسبت اسیدهای آمینه در پروتئین خام می‌تواند در میزان پروتئین، رطوبت، چربی و خاکستر بافت عضله ماهیان تأثیرگذار باشد. جایگزینی پودر ماهی با منابع گیاهی متنوع از قبیل گلوتن گندم و کنسانتره سویا به میزان ۲۵، ۵۰ و ۷۵٪، تأثیری بر شاخص کبدی ماهی کاد نداشته است، در حالی که در جایگزینی ۱۰۰٪ پروتئین گیاهی، مقدار شاخص کبدی این ماهی به طور معنی‌داری کاهش یافته است (Hansen et al. 2007). در این مطالعه نیز در تیمارهای مختلف آزمایشی از لحاظ شاخص کبدی تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد، بجز در تیمار تجاری که بالاترین مقدار (۰/۹۹) بوده است که احتمالاً دلیل آن را می‌توان به میزان بالای کربوهیدرات جیره نسبت داد. در جایگزینی پروتئین کنسانتره سویا با سطوح جایگزینی ۲۰، ۳۵ و ۵۳٪ در جیره غذایی قزل‌آلای رنگین کمان، شاخص احشایی این ماهی افزایش یافت. دلیل این افزایش، ذخیره چربی در ناحیه احشایی دانسته شده است (Palmegiano et al. 2006).

بر اساس نتایج حاصل، قابلیت هضم پذیری ظاهری پروتئین و چربی با افزایش میزان نخود در جیره غذایی ماهیان مورد بررسی کاهش یافت است. همچنین، تیمارهای تحت تأثیر عمل‌آوری با پرتوهای الکترون دارای قابلیت هضم پذیری بهتری نسبت به دیگر تیمارها بودند. در مطالعات مشابه (Olli and Krogdahl, 1994; Mwachireya et al. 1999; Borgeson et al. 2006) نیز مشخص شد که یکی از عوامل مؤثر در کاهش میزان هضم‌پذیری در تیمارهای عمل‌آوری نشده نخود، حضور فیتات است. هر دو شکل فسفات و اینوزیتول در گیاهان به صورت فیتات ذخیره می‌شود (Mohamed et al. 2011). به نظر می‌رسد که افزایش میزان هضم پذیری

Bobadilla و همکاران (۲۰۰۵) تحت عنوان جایگزینی پودر ماهی با منابع مختلف گیاهی در سوف دریایی با نتایج تحقیق حاضر همخوانی دارد. در مطالعه‌ای که توسط Regost و همکاران (۲۰۰۱) در رابطه با جایگزینی بخشی از پودر ماهی با گلوتن ذرت در جیره غذایی کفشک (*Psetta maxima*) انجام شد، بهترین میزان جایگزینی ۲۰٪ معرفی شد. با افزایش جایگزینی گلوتن ذرت مقادیر ضریب رشد، قابلیت هضم ظاهری کاهش و ضریب تبدیل غذایی افزایش یافت. افزایش ضریب تبدیل غذایی با افزایش درصد جایگزینی نخود در بررسی حاضر، با نتایج مطالعه Hansen و همکاران (۲۰۰۷) مطابقت دارد. در مطالعه‌ای دیگر مشخص شد که با افزایش سهم جایگزینی پودر ماهی با پروتئین‌های گیاهی، وزن نهایی در تیمارهایی با سطح جایگزینی بالا کاهش یافت و عنوان شد که این مسئله ممکن است به دلیل کاهش خوش‌خوراکی جیره غذایی گیاهی باشد (Pratoomyot et al. 2010). در تحقیق حاضر همچنین، وزن نهایی با افزایش جایگزینی پروتئین نخود به جای پودر ماهی، به تدریج کاهش یافت که این یافته با نتایج Pratoomyot (۲۰۱۱) که بر روی جایگزینی پودر ماهی به وسیله پروتئین‌های گیاهی در جیره غذایی ماهی آزاد اقیانوس اطلس (*Salmo salar* L.) بررسی داشته‌اند، در یک راستا است. در مطالعه حاضر نیز با افزایش سطح نخود در جیره غذایی قزل‌آلای رنگین کمان میزان پروتئین به طور معنی‌داری کاهش و میزان چربی افزایش یافته است. با وجود این، با افزایش جایگزینی پروتئین گیاهی به جای پودر ماهی، میزان رشد ماهی کاهش یافته که این نتیجه با بررسی‌های قبلی انجام شده بر روی ماهی قزل‌آلای رنگین کمان در رابطه با جایگزینی منابع پروتئینی گیاهی در جیره غذایی هم‌خوانی دارد (Stickney et al. 1996; Aksnes et al. 2006; Hansen et al. 2007; Snyder et al. 2012). تحقیقات نشان داده است که کاهش نرخ کارایی پروتئین و کارایی تغذیه در سطوح بالای جایگزینی پروتئین‌های گیاهی به جای پودر ماهی در جیره غذایی آزاد ماهیان، ممکن است به دلیل افزایش سطوح کربوهیدرات‌های قابل هضم از جمله نشاسته و غیر قابل هضم مانند لیاف (Hemre et al. 2002; Opstvedt et al. 2003)، کاهش خوش‌خوراکی و حضور مواد ضدتغذیه‌ای (Francis et al. 2001; Oliva-Teles and Pereira, 2001)

قیمت یک ضرورت محسوب می‌شود. بقولات به عنوان گزینه‌های جایگزین پروتئین حیوانی به خصوص پودر ماهی، می‌تواند مورد توجه قرار گیرد. دانه نخود به عنوان یکی از دانه‌های پروتئینی، منبع مناسبی برای جایگزینی پودر ماهی است. در پژوهش حاضر بعد از بررسی داده‌های مربوط به مواد مغذی و مواد ضد تغذیه‌ای نخود پرتوتابی شده، پرتوهای الکترون و دوز ۳۰ کیلوگری به عنوان بهترین نوع و سطح پرتوتابی انتخاب شدند. در انتهای دوره آزمایش و با سنجش شاخص‌های زیست شناختی در ماهیان بررسی شده، مشخص شد که جایگزینی دانه نخود تا سطح ۴۰٪ پودر ماهی موفقیت‌آمیز بوده و ماهیان این تیمار غذایی از نظر شاخص‌های رشد، تغذیه و ترکیب لاشه هم‌راستا و در بعضی موارد حتی بهتر از تیمار شاهد بوده اند. لذا می‌توان بیان کرد که جایگزینی پودر ماهی با دانه نخود عمل‌آوری شده با دوز ۳۰ کیلوگری پرتو الکترون تا سطح ۴۰٪، در جیره غذایی ماهی قزل‌آلای رنگین کمان امکان‌پذیر است و تأثیر منفی بر شاخص‌های زیستی این ماهی ندارد.

تقدیر و تشکر

از کلیه عزیزانی که در انجام مراحل این تحقیق همکاری لازم را به عمل آوردند سپاسگزاری می‌گردد.

منابع

مهرابی، ی. ۱۳۷۸. مطالعه مقدماتی اثر بیپوشی پودر گل میخک (*Syzygium aromaticum*) بر روی ماهی قزل‌آلای رنگین کمان. مجله پژوهش و سازندگی، ۴۲: ۱۶۰-۱۶۲.

ظاهری پروتئین در غذاهای حاوی نخود پرتوتابی شده، به دلیل حذف عوامل ضد تغذیه‌ای نخود در اثر پرتودهی باشد. این امر می‌تواند نشان دهنده کارآمدی و قابلیت استفاده از پرتوهای الکترون در فراوری ترکیبات غذایی گیاهی باشد. در تحقیقی دیگر، پرتوتابی با الکترون در دوزهای ۲۰، ۲۵ و ۳۰ کیلوگری، سبب افزایش معنی‌دار قابلیت هضم پروتئین در دانه سورگوم شده است (Van der Poel, Shawrang et al. 2011). همچنین در تحقیقی دیگر افزایش قابلیت هضم پروتئین لوبیا پس از پرتوتابی را به افزایش برخی فعالیت‌های آنزیمی به دلیل حذف عوامل ضد تغذیه‌ای، نسبت داده‌اند. Arora (۱۹۸۳)، Bressani و همکاران (۱۹۸۷) و El-Niely و همکاران (۲۰۰۶) گزارش کرده‌اند که پایین بودن ارزش غذایی و قابلیت هضم بقولات به دلیل حضور برخی اشکال پروتئینی مانند ممانعت کننده‌های تریپسین و کیموتریپسین و هموژلاتین است که سبب جلوگیری از فعالیت برخی آنزیم‌های هضم‌کننده بقولات می‌شود. تحقیقات مشابه انجام شده نشان داده که جیره‌های آزمایشی تکمیل شده با فیتات سبب کاهش قابلیت هضم پروتئین (Cheryan, Richardson et al. 1989; Reddy et al. 1980) و کاهش میزان رشد در ماهی آزاد چینوک (*O. tshawytscha*) (Richardson et al. 1985)، قزل‌آلای رنگین کمان (Spinelli et al. 1983) و کپور (*Cyprinus carpio*) (Hossain and Jauncey, 1993) شده است. در تحقیق حاضر، علت پایین بودن میزان رشد در مقادیر بالای جایگزینی (۴۰٪) را می‌توان به افزایش میزان تانن و اسید فایتیک نسبت داد که با پرتوتابی الکترونی ساختار میزان زیادی از این مواد ضد تغذیه‌ای شکسته می‌شود. به طور کلی برای پایداری صنعت آبی‌پروری جایگزینی پودر و روغن ماهی با ترکیبات منشأ گیاهی قابل دسترس و ارزان

Abu-Tarboush, H.M. 1998. Irradiation inactivation of some anti-nutritional factors in plant seeds. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 46: 2698-2702.

Aksnes, A., Hope, B., Jönsson, E., Jönsson, B.T., Albrektsen, S. 2006. Size-fractionated fish hydrolysate as feed ingredient for rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fed high plant protein diets. I: Growth, growth regulation

and feed utilization. *Aquaculture* 261: 305-317.

Aljaji, S., El-Adawy, T. 2006. Nutritional composition of chickpea (*Cicer arietinum* L.) as affected by microwave cooking and other traditional cooking methods. *Journal of Food Composition and Analysis* 19: 806-812.

Al-Kaisey, M. T., Abdul-Kader, H. A., Mohammad, M.H., Saeed, A.H. 2003.

- Effect of gamma irradiation on antinutritional factor in broad bean. *Radiation and Physics and Chemistry* 67: 439-496.
- Arnesen, P., Brattas, L.E., Olli, J., Krogdahl, A. 1989. Soybean carbohydrates appear to restrict utilisation of nutrients by Atlantic salmon (*Salmo salar* L.). In: Proceedings of the Third International Symposium Feeding and Nutrition in Fish, Toba, Japan, August 8 September 1, 273-281.
- Arora, S.K. 1983. *Chemistry and Biochemistry of Legumes*. Hodder Arnold H&S. 376 p.
- Bagenal, T. 1978. *Methods for assessment of fish production in fresh waters*. Blackwell Science Inc; 384P.
- Batt, A.L., Kim, S., Aga, D.S. 2007. Comparison of the occurrence of antibiotics in four full-scale wastewater treatment plants with varying designs and operations. *Chemosphere* 68: 428-435.
- Bhat, R., Sridhar, K.R. 2007. Nutritional quality evaluation of electron beam-irradiated lotus (*Nelumbo nucifera*) seeds. *Food Chemistry* 107: 174-184.
- Bhat, R., Sridhar, K.R. 2008. Effect of electron beam irradiation on the quality characteristics of an underutilized economically valued tropical legume *Mucuna pruriens* L. DC. *Electronic Journal of Environmental, Agricultural and Food Chemistry* 7: 2565-2581.
- Borgeson, T.L., Racz, V.J., Wilkie, D.C., White, L.J., Drew, M.D. 2006. Effect of replacing fishmeal and oil with simple or complex mixtures of vegetable ingredients in diets fed to Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Aquaculture Nutrition* 12:141-149.
- Bressani, R., Brenes, R.S., Garcia, A., Elias, L.G. 1987. Chemical composition, amino acid content and protein quality of *Canavalia* spp. seeds. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 40: 17-23.
- Brigide, P., Canniatti-Brazaca S.G. 2006. Anti-nutrients and “in vitro” availability of iron in irradiated common beans (*Phaseolus vulgaris*). *Food Chemistry* 98: 85-89.
- Bureau, D.P., Harris, A.M., Cho, C.Y. 1998. Apparent digestibility of rendered animal protein ingredients for rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture* 180: 345-358.
- Bureau, D.P., Harris, A.M., Bevan, D.J., Simmons, L.A., Azevedo, P.A., Cho, C.Y. 2000. Feather meals and meat and bone meals from different origins as protein sources in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) diets. *Aquaculture* 18: 281-291.
- Burns, R.R. 1971. Methods for estimation of tannins in grain, sorghum. *Agronomic Journal* 63: 511-512.
- Chavan, J.K., Kadam, S.S., Salunkhe, D.K. 1989. Chickpea. In: Salunkhe, D.K., Kadam, S.S. (Eds.), *CRC Hand book of World Food Legumes: Nutritional Chemistry, Processing Technology and Utilization*, Vol. I. CRC Press, Inc., Boca Raton, FL, USA, 247-288.
- Cheryan, M. 1980. Phytic acid interactions in food systems. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 13: 297-335.
- Csaky, I., Fekete, S. 2004. Soybean: feed quality and safety. Part 1. Biologically active components a review. *Acta Veterinaria Hungarica* 52: 299-313.
- De Boland, A.R., Garner, G.B., Obell, B.L. 1975. Identification and properties of Phytate in cereal grains and oil seed products. *Journal of Agriculture and Food Chemistry* 23: 1186-1189.
- Debnath, D., Sahu, N.P., Pal, A.K., Baruah, K., Yengkokpam, S., Mukherjee, S.C. 2005. Present scenario and future prospects of phytase in aquafeed (Review). *Aquaculture Research* 36: 180-187.
- Divakaran, S., Obaldo, L., Forster, I.P. 2002. Note on the methods for determination of chromic oxide in shrimp feeds. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 50: 464-467.

- Drew, M.D., Borgeson, T.L., Thiessen, D.L. 2007. A review of processing of feed ingredients to enhance diet digestibility in finfish. *Animal Feed Science and Technology* 138: 118-136.
- Duodu, K.G., Minnaar, A., Taylor, J.R.N. 1999. Effect of cooking and irradiation on the labile vitamins and anti-nutrient content of a traditional African sorghum porridge and spinach relish. *Food Chemistry* 66: 21-27.
- Durante, M., George, K., Wu, H., Cucinotta, F.A. 2002. Karyotypes of human lymphocytes exposed to high-energy iron ions. *Radiation Research* 158: 581-590.
- Ebrahimi, S.R., Nikkhah, A., Sadeghi, A.A. 2010. Changes in nutritive value and digestion kinetics of canola seed due to microwave irradiation. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences* 3: 347-354.
- Ebrahimi, S.R., Taghinejad, M. 2011. Investigation of electron beam irradiation effects on anti-nutritional factors, chemical composition and digestion kinetics of whole cottonseed, soybean and canola seeds. *Radiation Physics and Chemistry* 80: 1441-1447.
- Eid, A.E., Elfattah, B.A., Mohamed, K. 2008. Effect of fishmeal substitution by plant protein sources on growth performance and body composition of gilthead sea bream (*Sparus aurata*) Fingerlings. *Arabian Aquaculture Society* 3: 58-79.
- El-Niely, H.F.G. 2001. Biochemical and nutritional studies on radiation processed peanuts. Ph.D. dissertation, Department of Biochemistry and Nutrition, Women's College, Ain Shams University. Cairo, Egypt.
- El-Niely, H.F.G. 2006. Effect of radiation processing on antinutrients, in-vitro protein digestibility and protein efficiency ratio bioassay of legume seeds. *Radiation Physics and Chemistry* 76: 1050-1057.
- Farag, M.D.E.H. 1998. The nutritive value for chicks of full-fat soybean irradiated at up to 60 KGy. *Animal feed Science Technology* 73: 319-328.
- Foster, T., Gillespie, K., McClelland, R. 1999. Risk factors for suicide independent of DSM-III-R Axis I disorder. Case-control psychological autopsy study in Northern Ireland. *British Journal of Psychiatry* 175: 175-179.
- 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.
- Fricke, H., Hart, E.J. 1966. Chemical dosimetry. In Attix, F.H., Raesch, W.C. (Eds), *Radiation dosimetry*, New York: Academic Press. 167-239.
- Glencross, B.D., Hawkins, W.E., Curnow, J.C. 2003. Nutritional assessment of Australian canola meals. II. Evaluation of the influence of the canola oil extraction method on the protein value of canola meal fed to the red seabream (*Pagrus auratus*, Paulin). *Aquaculture Research* 35: 25-34.
- Guillaume, J., Kaushik, S., Bergot, P., Metailler, R. 1999. Nutrition and feeding of fish and crustaceans. Springer Praxis Publishing. Chichester, UK.
- Gul, Y., Salim, M., Rabbani B. 2007. Evaluation of apparent digestibility coefficients of different dietary protein levels with and without fish meal for *Labeo rohita*. *Pakistan Veterinary Journal* 27: 121-125.
- Hansen, A., Rosenlund, G., Karlsen, O., Koppe, W., Hemre, G. 2007. Total replacement of fish meal with plant proteins in diets for Atlantic cod (*Gadus morhua* L.) effects on growth and protein retention. *Aquaculture* 272: 599-611.
- Hardy, R.W. 2000. New developments in aquatic feed ingredient, and potential of enzyme supplements. A vances en Nutricion Acuicola V. memorias V, Simposium Internacional de nutricion Acuicola. 19-22 Noviembre Merdia, Yucatan, Mexico. 216-227.

- Helland, I.B., Saugstad, O.D., Saarem, K., Van Houwelingen, A.C., Nylander, G., Drevon, C.A. 2006. Supplementation of n-3 fatty acids during pregnancy and lactation reduces maternal plasma lipid levels and provides DHA to the infants. *Journal of Maternal-Fetal Neonatal Medicine* 19: 397-406.
- Hemre, G.I., Mommsen, T.P., Krogdahl, A. 2002. Carbohydrates in fish nutrition: effects on growth, glucose metabolism and hepatic enzymes. *Aquaculture Nutrition* 8: 175-194.
- Holm, N.W., Berry, R.J. 1970. *Manual on Radiation Dosimetry*. Dekker, New York, USA.
- Hossain, M.A., Jauncey, K. 1993. The effects of varying dietary phytic acid, calcium and magnesium levels on the nutrition of common carp (*Cyprinus carpio*). In: *Fish Nutrition in Practice. IVth International Symposium on Fish Nutrition and Feeding*, Biarritz, France, June 24-27. INRA, Paris, France, 705-715.
- Huisman, J., Van Der Poel, A.F.B. 1994. Aspects of the nutritional quality and use of cool season food legumes in animal feed. Kluwer Academic Publishers. Dordrecht, the Netherlands: 53-76.
- Jafri, A.K., Hassan, M.A. 1999. Energy digestibility coefficients of commonly used feedstuffs in different size-classes of Indian major carps, *Labeo rohita* (Hamilton) and *Cirrhinus mrigala* (Hamilton). *Asian Fisheries Science Journal* 12: 155-163.
- Kaushik, S.J. 1990. Use of alternative protein sources for the intensive rearing of carnivorous fish. In: *Mediterranean Aquaculture* (eds Flos, R., Tort, L., Torres, P.), Ellis Horwood Limited: 125-138.
- Kaushik, S.J., Covès, D., Dutto, G. Blanc, D. 2004. Almost total replacement of fish meal by plant protein sources in the diet of a marine teleost, the European seabass, *Dicentrarchus labrax*. *Aquaculture* 230: 391-404.
- Khatoon, N., Prakash, J. 2004. Nutritional quality of microwave-cooked and pressure cooked legumes. *International Journal of Food Sciences and Nutrition* 55: 441-448.
- Khattab, R.E., Arntfield, S.D. 2009. Nutritional quality of legume seeds as affected by some physical treatments 2. Anti-nutritional factors. *L.W.T – Food Science and Technology* 42: 1113-1118.
- Laemmlli, U.K. 1970. Cleavage of structural proteins during the assembly of the head of bacteriophage T4. *Nature* 227: 680-685.
- Mahdi, T., Al-Kaisey, Abdul-Kader, H., Alwan, Mohammad, M.H., Saeed, A.H. 2003. Effect of gamma irradiation on antinutritional factors in broad bean. *Radiation Physics and Chemistry* 67: 493-496.
- Maheri-Sis, N., Chamani, M., Sadeghi, A.A., Aghazadeh, A.M., Aghajanzadeh-Golshani, A. 2008. Nutritional evaluation of kabuli and desi type chickpeas (*Cicer arietinum* L.) for ruminants using in vitro gas production technique. *African Journal of Biotechnology* 7: 2946-2951.
- McKinnon, J.J., Olubobokun, J.A., Mustafa, A., Christensen, R.D.H. 1995. Influence of dry heat treatment of canola meal on site and extent of nutrient disappearance in ruminants. *Animal Feed Science and Technology* 56: 243-252.
- Mechi, R., Brazaca, S.G.C., Arthur, V. 2005. Avaliação química, nutricional e fatores antinutricionais do feijão preto (*Phaseolus vulgaris* L.) irradiado. *Ciencia e Tecnologia de Alimentos* 25: 109-114.
- Miao, M., Zhang, T., Jiang, B. 2009. Characterisations of kabuli and desi chickpea starches cultivated in China. *Food Chemistry* 113: 1025-1032.
- Morrow, B. 1991. The rebirth of legumes: legume production, consumption and export are increasing as more people become aware of legumes nutritional benefits. *Food Technology* 45: 96-121.
- Mwachireya, S.A., Beames, R.M., Higgs, D.A., Dosanjh, B.S. 1999. Digestibility of

- canola protein products derived from the physical, enzymatic and chemical processing of commercial canola meal in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss* Walbaum) held in freshwater. *Aquaculture* 5: 73-82.
- Nestares, T., Barrionuevo, M., Urbano, G., Lopez-Frias, M. 1999. Effect of processing methods on the calcium, phosphorus, and phytic acid contents and nutritive utilization of chickpea (*Cicer arietinum* L.). *Journal Agriculture Food Chemistry* 47: 2807-2812.
- Nielsen, S.S. 1991. Digestibility of legume protein: studies indicate that the digestibility of heated legume protein is affected by the presence of other seed components and the structure of the protein. *Food Technology* 45: 112-114.
- Nikkhah, A., Plaizier, J.C., Furedi, C.J. 2006. Response in diurnal variation of circulating blood metabolites to nocturnal vs diurnal provision of fresh feed in lactating cows. *Journal of Animal Science* 84, 111.
- NRC (National Research Council). 1993. Nutrient requirements of fish. National Academy Press, Washington, D.C., USA.
- Olli, J.J., Krogdahl, A. 1994. Nutritive value of four soybean meal products in diets for rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*, Walbaum) reared in fresh water. *Acta Agriculture Scandinavica* 44: 185-192.
- Opstvedt, J., Aksnes, A., Hope, B., Pike, I.H. 2003. Efficiency of feed utilization in Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) fed diets with increasing substitution of fish meal with vegetable proteins. *Aquaculture* 221: 365-379.
- Palmegiano, G.B., Daprà, F., Forneris, G., Gai, F., Gasco, L., Guo, K., eiretti, 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.
- Papatryphon, E., Soares Jr, J.H. 2001. The effect of phytase on apparent digestibility of four practical plant feedstuffs fed to striped bass, *Morone saxatilis*. *Aquaculture* 14: 120-129.
- Pereira, T.G., Oliva-Teles, A. 2002. Preliminary evaluation of pea seed meal in diets for gilthead sea bream (*Sparus aurata*) juveniles. *Aquaculture Research* 33: 1183-1189.
- Pratoomyot, J., Bendiksen, E.Å., Campbell, P.J., Jauncey, K.J., Bell, J.G., Tocher, D.R. 2011. Effects of different blends of protein sources as alternatives to dietary fishmeal on growth performance and body lipid composition of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) *Aquaculture* 316: 44-52.
- Reddy, N.R., Pierson, M.D., Sathe, S.K., Salunkhe, D.K. 1989. Phytate in Cereals and Legumes. CRC Press Inc., Baton Raton, FL, USA, 152 P.
- Refstie, S., Storebakken, T., Baevefjord, G., Roem, A.J. 2001. Long-term protein and lipid growth of Atlantic salmon (*Salmo salar*) fed diets with partial replacement of fish meal by soy protein products at medium or high lipid level. *Aquaculture* 193: 91-106.
- Refstie, S., Storebakken, T., Roem, A.J. 1998. Feed consumption and conversion in Atlantic salmon (*Salmo salar*) fed diets with fish meal, extracted soybean meal or soybean meal with reduced content of oligosaccharides, trypsin inhibitors, lectins and soya antigens. *Aquaculture* 162: 301-312.
- Regost, C., Arzel, J., Kaushik, S.J. 2001. Partial or total replacement of fish meal by corn gluten meal in diet for turbot (*Psetta maxima*). *Aquaculture* 180: 99-117.
- Richardson, N.L., Higgs, D.A., Beames, R.M., McBride, J.R. 1985. Influence of dietary calcium, phosphorus zinc and sodium phytate level on cataract incidence, growth and histopathology in juvenile chinook salmon (*Oncorhynchus tshawytscha*). *Journal of Nutrition* 115: 553-567.

- Sadeghi, A.A., Shawrang, P. 2006. Effects of microwave irradiation on ruminal degradability and in vitro digestibility of canola meal. *Animal Feed Science and Technology* 127: 45-54.
- Sadeghi, A.A., Nikkhah, A., Shawrang, P. 2005. Effects of microwave irradiation on ruminal degradation and in vitro digestibility of soya-bean meal. *Animal Science* 80: 369-375.
- Sattar, A., Neelofar, X., Akhtar, M.A. 1990. Effect of radiation and soaking on phytate content of soybean. *Acta Alimentaria an International Journal of Food Science* 19: 331-336.
- Shawrang, P., Nikkhah, A., Zare-Shahneh, A., Sadeghi, A.A., Raisali, G., Moradi-Shahrehabak, M. 2008. Effects of g-irradiation on chemical composition and ruminal protein degradation of canola meal. *Radiation Physics and Chemistry* 77: 918-922.
- Shawrang, P., Sadeghi, A.A., Behgar, M., Zareshahi, H., Shahhoseini, G. 2011. Study of chemical compositions, anti-nutritional contents and digestibility of electron beam irradiated sorghum grains. *Food Chemistry* 125: 376-379.
- Siddhuraju, P., Makkar, H.P.S., Becker, K. 2002. The effect of ionizing radiation on antinutritional factors and the nutritional value of plant materials with reference to human and animal food. *Food Chemistry* 78: 187-205.
- Singh, N., Sandhu, S.K., Kaur, M. 2004. Characterization of starches separated from Indian chickpea (*Cicer arietinum* L.) cultivars: *Journal of Food engineering* 63: 441-449.
- Sitjá-Bobadilla, A., Penã-Llopis, S., Gómez-Requeni, P., Me'dale, F., Kaushik, S., Pe'rez-Sa'nchez, J. 2005. Effect of fish meal replacement by plant protein sources on non-specific defense mechanisms and oxidative stress in gilthead sea bream (*Sparus aurata*). *Aquaculture* 249: 387-400.
- Snyder, S.G., Gaylord, G.T., Barrows, F.T., Overturf, K., Cain, K., Hill, R., Hardy, R.W. 2012. Effects of carnosine supplementation to an all-plant protein diet for rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture* 338-341: 72-81.
- Spinelli, J., Houle, C.R., Wekell, J.C. 1983. The effect of phytates on the growth of rainbow trout (*Salmo gairdneri*) fed purified diets containing varying quantities of calcium and magnesium. *Aquaculture* 30: 71-83.
- Stickney, R., Hardy, R.W., Koch, K., Harrold, R., Seawright, D., Masee, K. 1996. The effects of substituting selected oilseeds protein concentrates for fish meal in rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* diets. *Journal of the World Aquaculture Society* 27: 57-63.
- Tacon, A.G.J., Akiyama, D.M. 1997. Feed ingredients. In: D'Abramo, L.R., Conklin, D.E., Akiyama, D.M. (Eds.), *Crustacean Nutrition. Advances in World Aquaculture*, vol. 6, World Aquaculture Society, Baton Rouge, LA, USA: 411-472.
- Taghinejad, M., Shawrang, P., ARezapour, A.A. Sadeghi, S.R. Ebrahimi. 2009. Changes in Anti- Nutritional Factor, Ruminal Degradability and in vitro protrin digestibility of gamma irradiation Canola meal. *Journal of Animal and Veterinary Advances* 8: 1298-1304.
- Taghinejad, M., Ebrahimi, S.R., Azizi, S., Shawrang, P. 2010. Effects of electron beam irradiation on chemical composition, antinutritional factors, ruminal degradation and in vitro protein digestibility of canola meal. *Radiation Physics and Chemistry* 79: 1264-1269.
- Thiessen, D.L., Maenez, D.D., Newkirk, R.W., Classen, H.L., Drew, M.D. 2004. Replacement of fishmeal by canola protein concentrate in diets fed to rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture Nutrition* 10: 379-388.
- Toledo, T.C.F., Canniatti-Brazacab, S.G., Arthurc, V., Piedaded, S.M.S. 2007.

- Effects of gamma radiation on total phenolics, trypsin and tannin inhibitors in soybean grains. *Radiation Physics and Chemistry* 76: 1653-1656.
- Torres, F.C., Alaiz, M., Vioque, J. 2011. Affinity purification and characterization of chelating peptides from chickpea protein hydrolysates. *Food Chemistry* 129: 485-490.
- Van der Poel, A.F.B. 1990. Effect of processing on antinutritional factors and protein nutritional value of dry beans. *Animal Feed Science and Technology* 2: 179-208.
- Wallace, R.J. 1997. Peptide metabolism and its efficiency in ruminant production. In: *Rumen Microbes and Digestive Physiology in Ruminants* (Onodera, R. eds.), 95-105. Satellite Symposium of the 8th Animal Science Congress, Kyoto.
- Waltz, D.M., Stern, M.D. 1989. Evaluation of various methods for protecting soybean protein from degradation by rumen bacteria. *Animal Feed Science and Technology* 25: 111-122.
- Xue, C.W., Zender, L., Miething, C., Dickins, R.A., Hernando, E., Krizhanovsky, V., Cordon-Cardo, C., Lowe, S.W. 2006. G protein-coupled receptor Gpr4 senses amino acids and activates the cAMP-PKA pathway in *Cryptococcus neoformans*. *Molecular Biology of the Cell* 17: 667-679.
- Zhang, T., Li, Y., Miao, M., Jiang, B. 2011. Purification and characterization of a new antioxidant peptide from chickpea (*Cicer arietium* L.) protein hydrolysates. *Food Chemistry* 128: 28-33.

Effects of replacing fish meal with irradiated chickpea in diet on growth performance, body compositions and apparent digestibility of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*)

Reza Hessam Pour¹, Reza Malekzadeh Viayeh², Parvin Shawrang³, Mohammad Javad Mohammadi^{4*}, Dansh madad pour⁵

- 1- Department of Fisheries, Faculty of Natural Resources, Urmia University, Urmia, Azerbaijan-e-Gharbi, Iran
- 2- Department of Fisheries, Artemia and Aquatic Animals Research Institute, Urmia University, Urmia, Azerbaijan-e-Gharbi, Iran
- 3- Nuclear Agriculture Research School, Nuclear Science and Technology Research Institute, Atomic Energy Organization of Iran, Karaj, Alborz, Iran
- 4- Department of Fisheries, Faculty of Marine Natural Resources, Khorramshahr University of Marine Science and Technology, Khorramshahr, Khuzestan, Iran
- 5- Department of Fisheries, Faculty of Natural Resources, Zabol University, Zabol, Sistan and Baluchistan, Iran

Received 11 March 2015; accepted 22 July 2015

Abstract

This study aimed to introduce new protein sources to replace fish powder in diets for rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*. In this study, fish powder protein was replaced with the typical Kabuli chickpea (*Cicer arietinum*) and irradiated pea seeds in the diet followed by assessing their effects on growth and nutritional indices, digestion and body composition of rainbow trout. The study was conducted in the Artemia and Aquatics Propagation Research Institute, University of Urmia, Urmia, Iran. 720 juvenile *O. mykiss* (60 ± 4 g) were randomly divided equally into eight treatments with three replicates, and were fed with experimental diets for 60 days. The experimental diets were commercial food, homemade food without pea (control), typical pea diets containing 20, 30 and 40% and diets containing 20, 30 and 40% irradiated pea. The results showed that radiation has not significantly affected the food ingredients of peas (protein, fat and dry matter) and growth parameters ($P > 0.05$), but there were significant changes in nutritional indicators and digestibility of the diet along with increasing the percent of peas replacement ($P < 0.05$). As a result, the increase in radiation as well as 40% peas in the diet of *O. mykiss* did not exhibit negative impact on growth performance. Therefore, the irradiated pea protein can be a good food item to replace fish powder in the fish diet.

Keywords: *Oncorhynchus mykiss*, Chickpea, Radiation, Growth performance, Digestibility, Body composition.

* Corresponding author: mohammadimjm@gmail.com