اثر مکمل ال‌کارنیتین بر فراسنجه‌های خونی و رشد ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان (*Oncorhynchus mykiss*)

سید محمد علی جلالی حاجی آبادی[1*]، علی اصغر صادقی[1]، نصراله محبوبی صوفیانی[2]، محمد چمنی[1] و غلامحسین ریاضی[3]

(تاریخ دریافت: ۱۳۸۷/۷/۱۵ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۸۷/۱۲/۲۴)

چکیده

به‌منظور بررسی اثر ال‌کارنیتین بر رشد و برخی فراسنجه‌های (پارامترهای) خونی ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان پرواری، آزمایشی با ۱۴۴ قطعه ماهی با میانگین وزنی ۵ ±۱۳۰ گرم به‌مدت ۸ هفته انجام گرفت. ماهی‌های آزمایشی در یک طرح کاملاً تصادفی به ۹ گروه ۱۶ قطعه‌ای در ۳ تیمار و سه تکرار تقسیم شدند. تیمارهای آزمایشی شامل سه سطح صفر، ۱ و ۲ گرم مکمل ال‌کارنیتین در کیلوگرم جیره بود. نتایج نشان داد که میزان رشد ویژه، وزن کل بدن، افزایش وزن و نسبت بازده پروتئین در سطح یک گرم ال‌کارنیتین در کیلوگرم جیره افزایش معنی‌دار یافت (P<۰/۰۵). به‌طور مشابه ضریب تبدیل غذایی نیز در اثر مصرف ال‌کارنیتین در سطح یک گرم، در مقایسه با جیره شاهد بهبود نشان داد. در همین سطح از ال‌کارنیتین جیره، میزان پروتئین خام گوشت فیله ماهی افزایش معنی‌دار (P<۰/۰۵) و چربی خام آن کاهش معنی‌داری (P<۰/۰۱) در مقایسه با جیره شاهد نشان داد. کلسترول، پروتئین تام، گلوبولین و آلبومین سرم خون نیز در پایان آزمایش تحت تأثیر ال‌کارنیتین جیره افزایش معنی‌دار یافت (P<۰/۰۵) در حالی‌که میزان گلوکز خون تحت تأثیر ال‌کارنیتین قرار نگرفت. مکمل ال کارنیتین سبب کاهش شاخص چربی محوطه شکمی و افزایش شاخص کبدی شد. در مجموع نتایج این تحقیق نشان داد که افزودن یک گرم ال‌کارنیتین به هر کیلوگرم از جیره غذایی ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان سبب بهبود بازده و عملکرد ماهی در دوره رشد می‌شود.

واژه‌های کلیدی: ال کارنیتین تارترات، ضریب تبدیل غذایی، پروتئین، قزل‌آلای رنگین‌کمان

مقدمه

ال‌کارنیتین ماده مغذی غیر ضروری است که گاهی اوقات به‌صورت یک ترکیب شبه اسیدآمینه‌ای نیز شناخته می‌شود. این ترکیب در سال ۱۹۰۵در ماهیچه شناسایی شد و نام آن به‌علت جدا شدن این ترکیب از گوشت گرفته شده است (۲۳). در سال ۱۹۲۷ فرمول شیمیایی ($C_7H_{15}NO_3$) و ساختمانی آن به‌صورت گاما – تری متیل بتا– هیدروکسی بوتیرات مشخص گردید. از لحاظ ساختار شیمیایی دو نوع ایزومر D و L آن وجود دارد که

۱. به ترتیب دانشجوی دکتری تخصصی و استادیاران علوم دامی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران

۲. دانشیار شیلات، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان

۳. استادیار بیوشیمی و بیوفیزیک دانشگاه تهران

* : مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: fish.nutritionist@gmail.com

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-18]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1388.13.47.10.8]

در تغذیه انسان و حیوانات فقط فرم L کارنیتین اهمیت دارد (۳۰) و فرم D کارنیتین از لحاظ بیولوژیکی غیرفعال است (۲۲). در تحقیقی با استفاده از مکمل غذایی D و L کارنیتین به مقدار ۲۵۰ میلی‌گرم به‌ازای هر کیلوگرم وزن بدن ماهی باس دریایی، مشخص شد که میزان رشد ماهی‌هایی که از فرم D استفاده کردند در مقایسه با گروه شاهد (بدون کارنیتین) کمتر بوده ولی گروهی که از فرم L آن تغذیه کردند سرعت رشد بیشتری در مقایسه با گروه شاهد نشان دادند(۳۷). ال‌کارنیتین در بدن عمدتاً در کبد ساخته شده (۳۰) و در بافت‌هایی مانند ماهیچه اسکلتی و قلب که اسیدهای چرب به‌عنوان عمده‌ترین منبع تأمین انرژی است، تجمع می‌یابد. برای ساخت زیستی کارنیتین به اسیدهای آمینه لیزین و متیونین و ویتامین‌های اسید اسکوربیک، نیاسین (به فرم نیکوتین آمید آدنین دی نوکلئوتید،NAD) و ب ۶ و نیز فلز آهن (Fe^{++}) نیاز است(۹). اولین توجه زیست شناسان ماهی به نقش کارنیتین وقتی صورت گرفت که مشخص شد این ترکیب انتقال و اکسیداسیون اسیدهای چرب بلند زنجیره را در میتوکندری ماهی آزاد افزایش می‌دهد (۸). در اثر کمبود کارنیتین، اکسیداسیون اسیدهای چرب کاهش یافته و اسیدهای چرب به‌ویژه در کبد به سمت ساخت تری آسیل گلیسرول منتقل می‌شوند (۲۷). ال‌کارنیتین با همراهی کردن اسیدهای چرب فعال (آسیل کوآنزیم آ) جهت انتقال به داخل ماتریکس میتوکندری نقش مهمی در تولید انرژی دارد. بنابراین این ترکیب برای ورود اسیدهای چرب بلند زنجیره (به فرم استر آسیل کارنیتین) به داخل میتوکندری ضروری است (۲۳) و مکمل کارنیتین در جیره می‌تواند با بهبود بازده استفاده از انرژی ناشی از اکسیداسیون چربی ها، عملکرد ماهی را افزایش دهد (۳۱). منابع حیوانی، بهترین منبع کارنیتین است که ۱۰ تا ۲۰ برابر کارنیتین بیشتری در مقایسه با اقلام گیاهی دارد. اما خوراک مورد استفاده در آبزی پروری باید با کارنیتین با منشا خارجی مکمل شود زیرا منابع پودر ماهی که مهم‌ترین منبع حیوانی جیره است، در آینده نزدیک کاهش خواهد یافت و جستجو برای یافتن جایگزینی برای آن، بیشتر متمرکز بر دانه‌های روغنی، دانه‌های حبوبات و غلات است (۳۰). جیره غذایی ماهی در مقایسه با سایر حیوانات پرورشی به سطح پروتئین بیشتری نیاز دارد زیرا پروتئین به‌جای مصرف جهت رشد، برای تولید انرژی نیز مورد استفاده قرار می‌گیرد. از طرفی بخش اقلام پروتئینی جیره هزینه زیادی داشته (۴۱) بنابراین صرفه‌جویی در مصرف پروتئین برای تولید انرژی اهمیت دارد. اکسیداسیون چربی سبب تولید انرژی بیشتری شده و کارنیتین با تحریک اکسیداسیون چربی سبب بهبود صرفه‌جویی در مصرف پروتئین جهت تولید انرژی می‌شود. افزایش سرعت رشد و کاهش چربی بدن در گونه‌هایی مانند باس دریایی(۳۷) و گربه ماهی آفریقایی(۳۱) که با جیره‌های دارای مکمل ال‌کارنیتین تغذیه شده‌اند گزارش شده است. ولی تحقیق دیگری که به بررسی اثرات مکمل ال‌کارنیتین (۱۰۰۰میلی‌گرم در کیلوگرم) در جیره غذایی گربه ماهی انگشت قد و با سطوح مختلف لیزین انجام گرفت نشان داد که هرچند کارنیتین تأثیری بر رشد نداشت ولی مقدار لیپید کبد و ماهیچه را کاهش داد (۱۰). در پژوهشی که با ماهی قزل‌آلای انگشت قد (وزن اولیه ۱۳گرم) و با سطوح مختلف ۱، ۲، ۳ و ۴ گرم مکمل ال‌کارنیتین انجام شد مشخص شد که ال‌کارنیتین هیچ تأثیری بر وزن نهایی(۴۲-۴۶گرم)، رشد ویژه و بازده خوراک ندارد. علاوه براین افزودن ۴ گرم ال‌کارنیتین به‌ازای هر کیلوگرم از جیره به جیره‌های دارای سطوح مختلف چربی (۵، ۱۰ و ۱۵ درصد) نیز تأثیری بر شاخص‌های فوق در ماهی با وزن اولیه ۱/۲ گرم نداشت (۳۵). اکثر پژوهش‌ها در ارتباط با اثر استفاده از ال‌کارنیتین در ماهی، با بچه ماهی و ماهی‌هایی با وزن اولیه کمتر از ۳۰ گرم انجام گرفته است زیرا استدلال این است که به دلیل رشد سریع در مراحل اولیه زندگی تقاضای ال‌کارنیتین بافت‌ها در مقایسه با ساخت آن در بدن زیاد است (۲۳). ولی چنین به‌نظر می‌رسد که عواملی مانند سن، ترکیب خوراک و نیازهای متابولیکی گونه، همگی در پاسخ ماهی به مکمل ال‌کارنیتین مؤثر است(۳۰). بنابراین این پژوهش به‌منظور بررسی اثر سطوح مختلف مکمل ال کارنیتین بر عملکرد، رشد،

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-18]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1388.13.47.10.8]

فراسنجه‌های خون و ترکیب شیمیایی گوشت ماهی قزل‌آلای جوان پرواری انجام گرفت.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در مرکز تکثیر و پرورش ماهی قزل‌آلای تکاب واقع در ۴۰کیلومتری اصفهان به‌مدت۱۰ هفته انجام گرفت. برای سازش ماهی با شرایط آزمایش، تعداد ۱۴۴ قطعه ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان با وزن اولیه ۵ ± ۱۳۰ گرم به‌صورت انفرادی توزین و به‌طور تصادفی در ۹ قفس به ابعاد ۱×۱×۱ متر که در یک استخر سیمانی(عرض۳،عمق ۱ و طول ۳۰ متر) قرار داشتند، منتقل گردید. دمای آب به‌طور روزانه اندازه‌گیری و در مدت انجام آزمایش در دامنه ۱۳/۵-۱۶/۸درجه سانتی‌گراد قرار داشت. هر دو هفته یک‌بار کیفیت آب بررسی شد و مقدار pH آن ۰/۲ ±۸/۱، مقدار اکسیژن ۰/۵± ۱۰ و غلظت یون آمونیوم ۰/۰۶ ±۰/۶۱ میلی‌گرم در لیتر بود. برای تهیه جیره‌هایی با سطح صفر(شاهد)، یک و دو گرم مکمل ال‌کارنیتین در کیلوگرم جیره، از ال کارنیتین تارترات شرکت شهر دارو و جیره پایه تجاری GF_2 شرکت رشد دانه استفاده شد (جدول۱). بر حسب نوع جیره آزمایشی و پس از آسیاب جیره پایه، ال کارنیتین تارترات، گچ و مکمل فاقد ال کارنیتین و مخلوط روغن سویا و روغن ماهی کیلکا به جیره پایه اضافه و با استفاده از چرخ گوشت خوراک به‌صورت پلت‌هایی با قطر ۴ میلی‌متر درآمد و به‌مدت ۱۲ ساعت در داخل خشک‌کن با دمای ۴۰درجه سانتی‌گراد قرار گرفت تا خشک شود. برای این‌که جیره کنترل از همه جهت شبیه به جیره‌های دارای ال‌کارنیتین باشد و بین دو جیره‌ای که ال‌کارنیتین دارند تفاوت فقط مربوط به سطح ال‌کارنیتین باشد از گچ (۳۰،۳۱، ۳۲و ۳۳) برای پر کردن جیره‌ها استفاده شد. هم‌چنین چون مکمل ال‌کارنیتین خالص نبود از بخش فاقد ال‌کارنیتین در مکمل، برای یکسان کردن جیره‌ها استفاده گردید (جدول ۱). پلت‌های آماده شده تا زمان استفاده در یخچال و در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد نگه‌داری گردید. ماهی‌ها به‌مدت دو هفته با جیره شاهد (فاقد ال کارنیتین) تغذیه شده و پس از سازگاری، در شروع آزمایش به‌صورت گروه‌های ۱۶ قطعه‌ای با ترازوی دیجیتال با دقت ۵ ± گرم توزین و به‌صورت تصادفی به ۳ قفس هر تیمار غذایی (سطح صفر، یک و دو گرم در کیلوگرم ال‌کارنیتین) به‌گونه‌ای اختصاص یافتند که میانگین وزن ماهی قفس‌ها تفاوت معنی‌داری نداشت. خوراک‌دهی در کل دوره به‌صورت دستی و بر اساس ۱/۵ درصد وزن بدن در روز و در دو نوبت صبح و عصر (ساعت ۸ و ۱۶) انجام گرفت. ماهی‌ها به‌مدت ۸ هفته با جیره‌های آزمایشی تغذیه شدند و زیست سنجی انفرادی ماهی‌ها شامل اندازه طول استاندارد با دقت ۰/۲سانتی‌متر و وزن ماهی با دقت ۰/۰۱ گرم در شروع و پایان دوره و پس از بی‌هوشی با تری کائین متان سولفونات (۱۰۰میلی‌گرم در لیتر) انجام گرفت. در پایان آزمایش از هر قفس ۳ ماهی به‌صورت تصادفی انتخاب و پس ازخون‌گیری از ورید ناحیه دمی، وزن چربی حفره شکمی، کبد و لاشه شکم خالی ماهی اندازه‌گیری و ثبت شد تا وزن تام و نسبت وزنی آنها به وزن کل بدن محاسبه شود. گوشت فیله ماهی‌های (۳ماهی) هر قفس جدا و با آسیاب قهوه هموژن شد و به نسبت مساوی مخلوط شد تا مقدار پروتئین خام (به روش کلدال) (۷) و چربی خام (۱۹) همانند نمونه خوراک بر اساس ماده خشک اندازه‌گیری شود. نمونه‌های خون پس از تشکیل لخته، به‌مدت ۱۰ دقیقه در دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد و با دور ۵۰۰۰ سانتریفیوژ گردید. سرم جدا شده مربوط به ماهی‌های هر قفس به نسبت مساوی مخلوط و در دمای ۲۰- درجه سانتی‌گراد نگه‌داری گردید تا غلظت گلوکز (به روش گلوکزاکسیداز)، کلسترول (به روش کلسترول اکسیداز)، تری‌گلیسرید (به روش لیپوپروتئین‌لیپاز)، پروتئین تام (به روش بیوره)، آلبومین (به روش بروموکروزل گرین) به روش نورسنجی و با استفاده از کیت‌های زیست شیمی و با دستگاه اتوآنالیزر (Technicon RA-1000) اندازه‌گیری گردید(۳). گلوبولین با تفاضل آلبومین از پروتئین سرم خون محاسبه گردید. تمامی اندازه‌گیرهای خون و بافت با دو تکرار انجام گرفت. شاخص

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-18]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1388.13.47.10.8]

جدول۱.ترکیب جیره‌های آزمایشی با سطوح مختلف مکمل ال‌کارنیتین

اقلام جیره (گرم/کیلوگرم)	سطح مکمل کارنیتین(گرم\کیلوگرم)		
	۰	۱	۲
جیره پایه [۱]	۹۳۸/۸	۹۳۸/۸	۹۳۸/۸
روغن [۲]	۵۵	۵۵	۵۵
ال کارنیتین [۳]	۰	۲/۵	۵/۰
مکمل فاقد ال کارنیتین [۴]	۲	۱	۰
گچ	۴/۲	۲/۷	۱/۲
ترکیب شیمیایی(٪)			
پروتئین خام [۵]	۴۵/۰۰	۴۵/۰۵	۴۵/۱۰
چربی خام [۶]	۱۵/۳۴	۱۵/۳۷	۱۵/۳۶
خاکستر [۷]	۱۳/۴۵	۱۳/۴۲	۱۳/۴۴
ماده خشک	۹۲/۲	۹۲/۱	۹۲/۰

۱- پودر ماهی ۴۵/۵درصد، کنجاله سویا ۲۰/۵ درصد، آرد گندم ۱۰درصد، کنجاله آفتاب گردان ۴درصد، مخمر ساکرومایسیز ۴ درصد، کولین کلراید ۰/۲ درصد، دی ال متیونین ۰/۱ درصد، لیزین هیدروکلراید ۰/۴۳ درصد، ویتامین C ۰/۰۵ درصد، مکمل ویتامین E ۰/۵ درصد، نمک ۰/۳ درصد، ملاس ۱ درصد، مکمل مواد معدنی۱/۲ درصد، مکمل ویتامین۱/۷ درصد، دی کلسیم فسفات۰/۴ درصد و ژلاتین ۴ درصد.

۲- مخلوط۵۰:۵۰ از روغن سویا و روغن ماهی. ۳- مخلوط ال کارنیتین دارای ۶۰درصد ال کارنیتین تارترات (۴۰درصد ال کارنیتین خالص). ۴- لاکتوز، نشاسته، سلولز میکروکریستال و استئارات منیزیم. ۵، ۶ و ۷ - براساس ماده خشک

چاقی یا فربهی، شاخص کبدی (Hepatosomatic index)، شاخص چربی محوطه شکمی(Visceral fat index)، شاخص رشد ویژه (Specific growth rate)، افزایش وزن، ضریب تبدیل غذایی (Feed conversion ratio) و نسبت بازده پروتئین (Protein efficiency ratio) با استفاده از روابط زیر محاسبه شد(۳۰):

شاخص چاقی (K): $K=(W/L^3)\times 100$؛ W وزن بدن (گرم) و L طول کل بدن (سانتی‌متر).

شاخص کبدی: [وزن کبد(گرم) ÷ وزن کل بدن(گرم)]× ۱۰۰

شاخص چربی محوطه شکمی: [وزن چربی محوطه شکمی (گرم) ÷ وزن کل بدن (گرم)]× ۱۰۰

شاخص رشد ویژه (SGR): $SGR=(\ln W_2-\ln W_1)\times 100/(T)$؛ Ln لگاریتم طبیعی، W_2 وزن نهایی ماهی (گرم)، W_1 وزن اولیه ماهی (گرم)، T مدت انجام آزمایش (۵۶ روز).

افزایش وزن= وزن نهایی(گرم) - وزن اولیه (گرم).

ضریب تبدیل غذایی= خوراک مصرفی در طول دوره پرورش (گرم) ÷ افزایش وزن ماهی (گرم).

نسبت بازده پروتئین (PER)= افزایش وزن ماهی (گرم)÷ پروتئین مصرف شده (گرم).

تجزیه واریانس داده‌های حاصل از آزمایش به‌صورت طرح کاملاً تصادفی و با استفاده از برنامه SAS و با رویهٔ GLM، و مقایسه میانگین‌ها با آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۰/۰۵ انجام شد(۳۸). داده‌هایی که بر اساس درصد بودند به Arcsin√x تبدیل و سپس مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفتند ولی اعداد گزارش شده درصدهای واقعی هستند. برای مقایسه وزن نهایی و وزن لاشه شکم خالی ماهی‌ها به ترتیب

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-18]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1388.13.47.10.8]

وزن اولیه و وزن زنده ماهی‌های هر قفس به‌عنوان متغیر همراه (کوواریت) وارد و داده‌ها تصحیح شدند. برای بررسی تأثیر الکارنیتین بر شاخصه‌های مورد ارزیابی بدون توجه به سطح آن، مقایسه‌های مستقل در سطح احتمال ۵ درصد نیز انجام گرفت.

نتایج

با توجه به مقایسه‌های مستقل مشخص گردید که استفاده از الکارنیتین تارترات سبب بهبود شاخص رشد ویژه ماهی می‌شود که بیشترین رشد ویژه در سطح ۱ گرم مکمل کارنیتین به‌دست آمد (جدول ۲). افزایش وزن و نسبت بازده پروتئینی ماهی‌هایی که از سطح یک گرم الکارنیتین در جیره استفاده کردند افزایش معنی‌دار نسبت به ماهی‌های گروه شاهد نشان داد (P<۰/۰۵). ضریب تبدیل غذایی ماهی‌هایی که با مکمل کارنیتین تغذیه شدند نیز کاهش معنی‌دار یافت (P<۰/۰۵) و کمترین ضریب تبدیل غذایی در سطح یک گرم مکمل کارنیتین مشاهده شد. مصرف خوراک تحت تأثیر الکارنیتین قرار نگرفت (جدول ۲). علاوه بر این سطح پروتئین خام و چربی خام گوشت فیله ماهی در پایان آزمایش تحت تأثیر مکمل کارنیتین قرار گرفت (شکل۱) و درصد پروتئین افزایش، و چربی کاهش معنی‌دار (P<۰/۰۱) نشان داد که بیشترین مقدار پروتئین (شکل ۱-الف) و کمترین مقدار چربی(شکل ۱-ب) در ماهی‌هایی که از جیره با سطح یک گرم مکمل الکارنیتین استفاده کردند مشاهده شد. میزان گلوکز سرم خون تحت تأثیر الکارنیتین قرار نگرفت اما کلسترول، تری گلیسرید و لیپوپروتئین با چگالی بسیار پایین سرم خون ماهی‌هایی که از سطح ۲ گرم الکارنیتین به شکل نمک تارترات در مدت ۵۶ روز استفاده کردند، بیشترین مقدار را نشان داد (جدول ۳). اگرچه کمترین سطح تری گلیسرید و لیپوپروتئین با چگالی بسیار پایین در سطح ۱گرم الکارنیتین مشاهده شد ولیکن تفاوت معنی‌داری را با گروه شاهد نشان نداد. با افزایش سطح الکارنیتین در جیره سطح پروتئین تام، گلوبولین و آلبومین سرم خون ماهی روند افزایشی و معنی‌دار نشان داد (P<۰/۰۵) به‌طوری‌که بیشترین مقدار سطح آنها در سرم خون ماهی‌هایی مشاهده شد که از سطح ۲گرم مکمل الکارنیتین در جیره تغذیه کردند و کمترین آنها در ماهی‌های تغذیه شده با جیره فاقد مکمل الکارنیتین مشاهده شد که بین آنها اختلاف معنی‌دار وجود داشت (جدول ۳).

وزن کل بدن، وزن کبد و شاخص کبد ماهی‌ها در پایان آزمایش تحت تأثیر الکارنیتین قرار گرفت اما بر وزن لاشه و شاخص لاشه تأثیر معنی‌داری نداشت. هم‌چنین شاخص چاقی ماهی‌ها تحت تأثیر تیمارهای آزمایشی قرار نگرفت (جدول ۴). مقایسه مستقل نشان داد (جدول ۴) که وزن چربی محوطه شکمی و شاخص آن در ماهی‌هایی که از الکارنیتین استفاده کردند کاهش، ولی وزن کبد و شاخص آن افزایش معنی‌دار داشت(P<۰/۰۵).

بحث

بر خلاف اغلب گزارش‌های موجود که حاکی از عدم تأثیر مکمل الکارنیتین بر عملکرد و بازده خوراک ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان می‌باشد (۱۲، ۳۴و ۳۹)، نتایج این تحقیق نشان داد که افزودن یک گرم الکارنیتین به‌صورت نمک تارترات سبب افزایش در اضافه وزن، رشد ویژه و بازده پروتئین و نیز بهبود ضریب تبدیل غذایی می‌شود. علت تفاوت در پاسخ به مکمل الکارنیتین ممکن است به‌دلیل تفاوت سن ماهی مورد استفاده در آزمایش حاضر و آزمایش‌های قبلی (ماهی‌های انگشت قد و کوچک‌تر از آن) باشد. زیرا نشان داده شده است که بیوسنتز الکارنیتین در مراحل اولیه زندگی ناقص می‌باشد (۹). البته گزارش‌ها در این ارتباط بسیار متناقض است به‌طوری‌که الکارنیتین در بچه ماهی و یا ماهی‌های انگشت قد برخی گونه‌های ماهی سبب بهبود عملکرد و رشد ماهی‌ها شده (۱۱ و ۴۰) در حالی که در برخی گونه‌ها افزودن الکارنیتین به جیره تأثیری بر عملکرد نداشته است (۲۴).

استفاده از مکمل الکارنیتین در سطوح ۱، ۲، ۳ و ۴ گرم جیره تأثیری بر عملکرد ماهی قزل‌آلای انگشت قد با وزن اولیه

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-18]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1388.13.47.10.8]

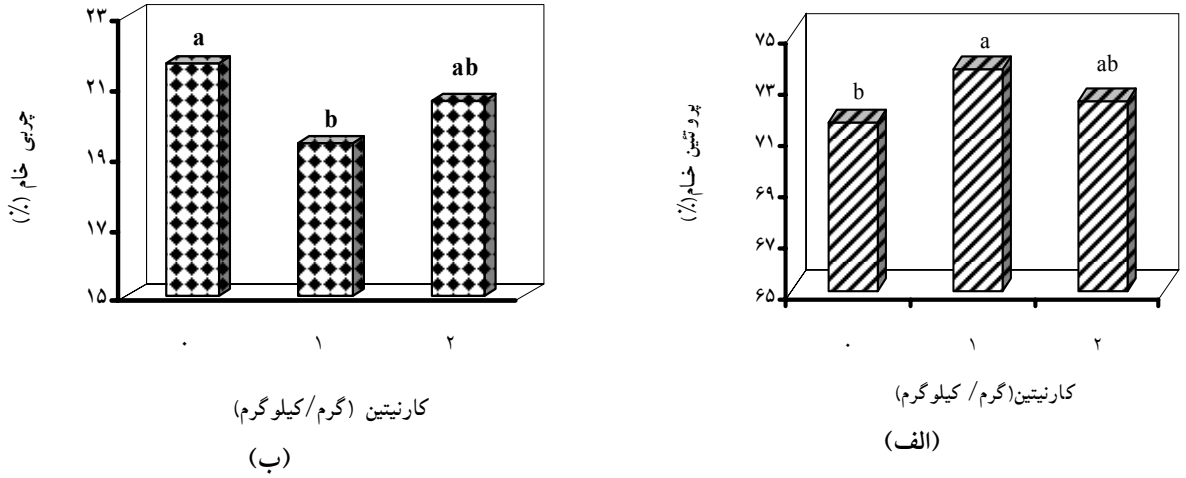
جدول۲. اثر سطوح مختلف مکمل غذایی ال‌کارنیتین بر عملکرد ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان

	کارنیتین(گرم\کیلوگرم)				SEM	احتمال	مقایسات مستقل		احتمال
فراسنجه	۰	۱	۲				−	+	
رشد ویژه	۰/۹۳^{b}	۱/۰۳^{a}	۰/۹۶^{ab}		۰/۰۲۲	*	۰/۹۳	۰/۹۹۵	*
افزایش وزن (گرم\ماهی)	۹۷/۱۷^{b}	۱۱۰/۵۴^{a}	۱۰۲/۰۰^{ab}		۲/۹۲	*	۹۷/۱۷	۱۰۶/۲۷	*
مصرف خوراک(گرم\ماهی)	۱۴۱/۸	۱۴۳/۵	۱۴۳/۱		۱/۶۷	ns	۱۴۱/۸	۱۴۳/۲	ns
ضریب تبدیل غذایی	۱/۴۶^{a}	۱/۳۰^{b}	۱/۴۰^{ab}		۰/۰۲۷	*	۱/۴۶	۱/۳۵	*
نسبت بازده پروتئین	۱/۶۵^{b}	۱/۸۵^{a}	۱/۷۲^{ab}		۰/۰۳۷	*	۱/۶۵	۱/۷۸۵	*

حروف غیر مشابه در هر سطر بیانگر وجود تفاوت معنی‌دار است.

ns: غیر معنی‌دار. * : معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد.

SEM: خطای استاندارد میانگین.



شکل۱. اثر سطوح مختلف مکمل غذایی ال‌کارنیتین بر درصد پروتئین خام (الف) و چربی خام (ب) گوشت فیله ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان.

– حروف غیر مشابه روی هر ستون بیانگر وجود تفاوت معنی‌دار است.

۱۳ گرم نداشته است (۱۲). هم‌چنین سطوح ۴۰۰، ۸۰۰ و ۱۲۰۰میلی‌گرم ال‌کارنیتین در هر کیلوگرم جیره نیز تأثیری بر رشد، ضریب تبدیل غذایی، رشد ویژه و مقدار پروتئین و چربی بدن بچه ماهی قزل‌آلا با وزن متوسط ۱ گرم نشان نداده است (۲). عدم پاسخ بچه ماهی و ماهی‌های جوان به مکمل ال‌کارنیتین در برخی پژوهش‌های دیگر نیز وجود دارد به‌طوری که استفاده از مکمل ال‌کارنیتین در تغذیه بچه ماهی سفید (*Rutilus frisii kutum*) با وزن اولیه ۲۷۵میلی‌گرم (۵)، ماهی قره برون (*Acipenser persicus*) با وزن اولیه ۲۸/۵گرم (۱)، فیل ماهی (*Huso huso*) با وزن اولیه ۲۲/۵گرم (۶) تأثیری بر رشد و مقدار چربی و پروتئین بدن ماهی نداشت. اما استفاده از ال‌کارنیتین با سطوح ۳۰۰، ۶۰۰ و ۹۰۰ میلی‌گرم در جیره فیل ماهی با وزن اولیه ۹۵ گرم (۴) و ۸۷۰ گرم (۲۹) سبب بهبود عملکرد و افزایش وزن بدن ماهی شده اما بر پروتئین و چربی کل بدن تأثیری نداشته است.

چنین به‌نظر می‌رسد که اندازه و سن ماهی بر نیاز و بیوسنتز ال‌کارنیتین تأثیر داشته و از عوامل محدود کننده در پاسخ به مکمل ال‌کارنیتین باشد. افزایش سن و اندازه ماهی نیاز

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-18]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1388.13.47.10.8]

جدول۳. اثر مکمل غذایی ال‌کارنیتین بر فراسنجه‌های سرم خون ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان

فراسنجه	کارنیتین(گرم\کیلوگرم)				SEM	احتمال	مقایسات مستقل	
	۰	۱	۲				−	+	احتمال
گلوکز (میلی‌گرم در دسی لیتر)	۸۸/۰۰	۷۷/۳۳	۷۹/۳۳		۳/۳۴	ns	۸۸/۰۰	۷۸/۳۳	*
کلسترول (میلی‌گرم در دسی لیتر)	۳۸۳/۳^{b}	۴۱۶/۰^{ab}	۴۳۳/۰^{a}		۱۱/۹۲	*	۳۸۳/۳	۴۲۴/۵	*
تری گلیسرید (میلی‌گرم در دسی لیتر)	۴۳۴/۷ ^{ab}	۴۱۶/۰^{b}	۴۵۲/۷^{a}		۵/۲۷	*	۴۳۴/۷	۴۳۴/۳	ns
لیپوپروتئین با چگالی بسیار پایین	۸۶/۹ ^{ab}	۸۳/۲ ^{b}	۹۰/۵^{a}		۱/۰۵	*	۸۶/۹	۸۶/۸	ns
پروتئین تام (گرم در دسی لیتر)	۴/۵۰ ^{b}	۵/۷۰ ^{ab}	۶/۷۰ ^{a}		۰/۳۷۱	*	۴/۵۰	۶/۲۰	*
آلبومین (گرم در دسی لیتر)	۲/۳۳ ^{b}	۲/۶۰ ^{ab}	۲/۹۰ ^{a}		۰/۱۰۲	*	۲/۳۳	۲/۷۵	*
گلوبولین (گرم در دسی لیتر)	۲/۱۷ ^{b}	۳/۱۰ ^{ab}	۳/۸۰ ^{a}		۰/۲۷۶	*	۲/۱۷	۳/۴۵	*

حروف غیر مشابه در هر سطر بیانگر وجود تفاوت معنی‌دار است.

ns: غیر معنی‌دار

*: معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد

SEM: خطای استاندارد میانگین

جدول۴. اثر مکمل غذایی ال‌کارنیتین بر وزن کل بدن، وزن لاشه و وزن اندام‌های داخلی ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان

فراسنجه	کارنیتین(گرم\کیلوگرم)				SEM	احتمال	مقایسات مستقل	
	۰	۱	۲				−	+	احتمال
وزن کل بدن در شروع (گرم)	۱۴۸/۹	۱۵۴/۴	۱۴۸/۴		۴/۹۳	ns	۱۴۸/۹	۱۵۱/۴	ns
وزن کل بدن در پایان(گرم)	۲۳۱/۱ ^{b}	۲۵۰/۳ ^{a}	۲۵۴/۱ ^{a}		۱/۶۸۹	**	۲۳۱/۱	۲۵۲/۲	***
وزن لاشه [۱] (گرم)	۱۹۶/۳	۲۰۷/۰	۲۰۳/۸		۴/۱۵	ns	۱۹۶/۳	۲۰۵/۴	ns
وزن کبد (گرم)	۲/۱۸ ^{b}	۲/۶۵ ^{a}	۳/۰۳ ^{a}		۰/۰۱۴	*	۲/۱۸	۲/۸۴	**
وزن چربی محوطه شکمی (گرم)	۵/۴۶	۳/۹۳	۴/۲۱		۰/۷۰۱	ns	۵/۴۶	۴/۰۷	*
شاخص لاشه (٪)	۸۴/۹	۸۲/۶	۸۰/۲		۱/۴۵	ns	۸۴/۹	۸۱/۴	ns
شاخص کبدی (٪)	۰/۹۴ ^{b}	۱/۰۶ ^{ab}	۱/۲۰ ^{a}		۰/۰۴۳	*	۰/۹۴	۱/۱۳	*
شاخص چربی شکمی(٪)	۲/۳۵	۱/۵۷	۱/۶۴		۰/۲۹۱	ns	۲/۳۵	۱/۶۱	*
شاخص چاقی	۱/۲۵	۱/۳۲	۱/۳۵		۰/۰۴۸	ns	۱/۲۵	۱/۳۳	ns

۱. وزن ماهی شکم خالی

*،** و ***: به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵، ۱ و ۰/۱ درصد

ns: غیر معنی‌دار

حروف غیر مشابه در هر سطر بیانگر وجود تفاوت معنی‌دار است.

SEM: خطای استاندارد میانگین

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-18]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1388.13.47.10.8]

متابولیکی ماهی قزل‌آلا (تحقیق حاضر) و فیل ماهی (۴ و ۲۹) را افزایش داده و این امر ممکن است همراه با افزایش اکسیداسیون اسیدهای چرب در ماهی باشد و بنابراین نیاز به ال‌کارنیتین به‌صورت یک مکمل افزودنی به جیره افزایش یابد. اندازه بدن ماهی قزل‌آلا بر خصوصیات بیوشیمیایی خون و فعالیت برخی آنزیم‌ها تأثیر دارد و فعالیت کارنیتین پالمیتوئیل ترانسفراز (به‌عنوان شاخص اکسیداسیون اسیدهای چرب بلند زنجیره در میتوکندری(۳۴)) در ماهی با وزن بیش از ۱۰۰گرم در مقایسه با ماهی کمتر از ۲۰ گرم بیشتر بوده که بازتابی از تطابق متابولیکی برای افزایش اکسیداسیون اسیدهای چرب در ماهی قزل‌آلایی است که وزن بیشتری دارد (۳۶). علاوه بر این در ماهی قزل‌آلای بزرگ نسبت ماهیچه قرمز به توده بدن بیشتر از ماهی کوچک است، بنابراین اکسیداسیون در ماهیچه‌های اسکلتی آنها بیشتر بوده که ممکن است ظرفیت نیاز متابولیکی حیوان را افزایش دهد (۲۱). با توجه به موارد فوق به‌نظر می‌رسد در ماهی قزل‌آلا با وزن بیش از ۱۰۰گرم، نیاز به افزودن مکمل ال‌کارنیتین برای بهبود رشد و بازده پروتئین وجود دارد حتی اگر جیره دارای منابع حیوانی مانند پودر ماهی باشد که در مقایسه با منابع گیاهی از نظر کارنیتین غنی‌تر است.

نکته دیگر میزان زیست فراهمی(Bioavailabiltiy) مکمل‌های مختلف ال‌کارنیتین است که بسته به نوع آزاد، استری و یا نمکی آن متفاوت است. به‌طوری‌که فرم‌های نمکی آن مانند ال‌کارنیتین تارترات (L-Carnitine Tartrate) در آب قابلیت حل کمتر ولی قابلیت جذب بالاتری در مقایسه با شکل استری (مانند استیل ال‌کارنیتین) و آزاد ال‌کارنیتین دارد (۱۶). بنابراین نوع مکمل ال‌کارنیتینی به‌کار رفته در جیره غذایی جهت مقایسه نتایج بسیار مهم است ولی بیان این موضوع در تحقیقات انجام گرفته کمتر مشاهده می‌شود (۵ و ۲۹). برخی محققین از نوع خالص و آزاد آن که حلالیت بسیار بالایی در آب داشته و زیست فراهمی آن پایین است در جیره غذایی استفاده کرده‌اند (۱۲). روش استفاده از مکمل ال‌کارنیتین عامل دیگری است که در پاسخ ماهی به آن مؤثر است. افشانه کردن ال‌کارنیتین روی خوراک سبب کاهش دریافت کارنیتین توسط ماهی می‌شود و استفاده از ال‌کارنیتین به‌صورت مخلوط با جیره غذایی سبب افزایش رشد می‌شود (۶). نکته مهم دیگر این است که علاوه بر مشخص کردن ترکیب جیره پایه باید در جیره شاهد مشخص کرد که به‌جای ال‌کارنیتین و سایر مواد همراه آن چه ماده‌ای به جیره افزوده می‌شود تا مقایسه‌های انجام شده بین سطوح مختلف ال‌کارنیتین، مقایسه دقیقی باشد به‌طوری که حل کردن ال‌کارنیتین در آب و افزودن آن به جیره (۲۹) و مشخص نبودن ماده پر کننده در جیره شاهد (۵)، ممکن است سبب تداخل در سطوح مواد مغذی مانند پروتئین و انرژی جیره شاهد شده و بنابراین اثر ال‌کارنیتین دیده نشود.

استفاده از ۱گرم ال‌کارنیتین سبب افزایش پروتئین و کاهش چربی ماهیچه فیله می‌شود (شکل ۱) که با تحقیق انجام شده با ماهی آزاد آتلانتیک مطابقت دارد (۲۵). هرچند پروتئین به وفور در ماهیچه سفید ماهی وجود دارد اما در متابولیسم هوازی مشارکت زیادی ندارد و منابع لیپیدی داخل ماهیچه‌ای، نقش مهمی در اکسیداسیون لیپید در ماهی قزل‌آلا دارد (۲۶). از طرفی ماهیچه سفید ماهی قزل‌آلا و دیگر ماهی‌های آزاد دارای اندوخته‌های قابل توجهی از لیپید است (ماهی چرب) که عمدتاً برای سوخت مصرف می‌شود (۲۸). بنابراین اندازه‌گیری مقدار چربی و پروتئین در بافت ماهیچه سفید و فیله می‌تواند به‌عنوان شاخصی از اکسیداسیون اسیدهای چرب در ماهی آزاد و قزل‌آلا باشد که مشخص شد با مصرف ال‌کارنیتین میزان چربی موجود در آن کاهش می‌یابد که نشان‌دهنده افزایش اکسیداسیون اسیدهای چرب در فیله ماهی است. اما کاهش چربی ممکن است در تمامی بدن اتفاق نیفتد که دلیلی بر تفاوت‌های مشاهده شده بین تحقیقات مختلف است زیرا در برخی پژوهش‌ها که به بررسی اثر ال‌کارنیتین بر سطح پروتئین و چربی تمام بدن پرداخته شده، تغییری در مقدار آنها دیده نشده است (۲ و ۳۵). کاهش چربی و افزایش پروتئین در ماهیچه ماهی سازگار با بهبود تثبیت نیتروژن همراه با اکسیداسیون چربی است (۲۵). در تحقیقی که با افزودن یک گرم در کیلوگرم ال‌کارنیتین به‌صورت

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-18]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1388.13.47.10.8]

تارترات به جیره گربه ماهی آفریقایی (وزن اولیه ۶۱ گرم) انجام گرفت، نشان داده شد که مقدار آدنوزین تری فسفات ماهیچه سفید افزایش و مقدار آمونیاک آن کاهش یافت که نشان‌دهنده اثر ممانعتی کارنیتین بر کاتابولیسم پروتئین از طریق افزایش هدایت اسیدهای چرب به سمت سیکل کربس و بنابراین صرفه‌جویی در مصرف پروتئین است (۳۰). به‌نظر می‌رسد که بین مکمل کارنیتین و سطح چربی جیره ارتباط وجود دارد و با افزایش سطح چربی جیره، سطح بالاتری از مکمل ال‌کارنیتین برای ایجاد رشد و بهبود ضریب تبدیل غذایی مورد نیاز باشد. در پژوهشی که با گربه ماهی آفریقایی و با سطوح مختلف ال‌کارنیتین (۱۲۵ تا ۳۲۹۰ میلی‌گرم در کیلوگرم جیره) انجام گرفت، مشخص شد که در جیره‌هایی با سطح چربی ۹۶ و ۱۵۵گرم در کیلوگرم، بهترین ضریب تبدیل غذایی به ترتیب با سطح ۲۳۶/۷ و ۴۴۸/۸ میلی‌گرم ال‌کارنیتین جیره به‌دست می‌آید. هم‌چنین در اثر مصرف کارنیتین نسبت بازده پروتئین، تثبیت پروتئین و انرژی بهبود یافت (۴۰). کاهش چربی محوطه شکمی و افزایش شاخص کبدی می‌تواند در جهت بهبود مصرف چربی توسط ماهی برای تولید انرژی مورد نیاز باشد (جدول ۴). به‌نظر می‌رسد که اثر مثبت ال‌کارنیتین به‌دلیل بهبود استفاده از خوراک و به احتمال زیاد نقش صرفه‌جویی در مصرف پروتئین (protein-sparing action) توسط ماهی باشد (۲۳).

این موضوع که سطح ۲ گرم ال‌کارنیتین تأثیری بر عملکرد ماهی نداشت، ممکن است به این دلیل باشد که چون مقدار چربی تمام جیره‌ها حدود ۱۵/۳۵٪ بود (جدول ۱) و تفاوتی در خوراک مصرفی تیمارهای مختلف وجود نداشت (جدول۲) بنابراین مقدار چربی دریافت شده توسط تیمارهای مختلف ثابت بوده ولی ال‌کارنیتین مصرف شده توسط ماهی‌ها در تیمارهای صفر، ۱ و ۲ گرم ال‌کارنیتین روند افزایشی داشت. بنابراین می‌توان نتیجه‌گیری کرد که در این سطح از چربی جیره بهترین سطح مکمل ال‌کارنیتین به فرم تارترات ۱گرم در کیلوگرم جیره است. از طرفی چون برای انجام واکنش کارنیتین با آسیل کوآنزیم آ و تشکیل آسیل کارنیتین و عبور آن از غشای میتوکندی نیاز به کارنیتین و آسیل کو آ است (۲۰)، ازدیاد یکی از مواد اولیه سبب محدودیت انجام واکنش می‌شود. هم چنین ممکن است بتا اکسیداسیون اسیدهای چرب در سطح ۲گرم ال‌کارنیتین سبب افزایش تولید استیل کوآ به مقدار بیش از ظرفیت اکسیداسیون و عدم ورود آن به سیکل کربس شود در نتیجه استیل کوآهای تولیدی در ساخت چربی بافت مانند چربی موجود در گوشت فیله (شکل ۱–ب) و یا ساخت تری گلیسرید و کلسترول در کبد به‌کار رفته و سبب افزایش آنها و لیپوپروتئین با چگالی پایین در سرم خون (جدول ۳) شود (۱۴و۱۷).

لیپوپروتئین با چگالی بسیار پایین در سرم خون نقش ناقل تری گلیسیرید از کبد به بافت‌ها را داشته (۱۷) در حالی که آلبومین نقش اتصال اسیدهای چرب غیر استریفیه و انتقال و جابه‌جایی آنها در بین بافت‌های بدن را دارد (۳۶). بنابراین تغییر سطح این متابولیت‌ها در خون ممکن است مربوط به تغییر در فرایند سوخت و ساز بدن باشد. در تحقیقاتی که با موش (۱۳) و خرگوش (۱۵) انجام شده، مشخص گردید که مصرف ال‌کارنیتین سبب کاهش تری گلیسرید و لیپو پروتئین با چگالی بسیار پایین می‌شود که با نتایج این تحقیق در سطح ۱ گرم ال‌کارنیتین تطابق دارد ولیکن در سطح ۲ گرم ال‌کارنیتین، مقدار این فراسنجه‌ها در خون ماهی افزایش داشت (در مقایسه با سطح ۱گرم ال‌کارنیتین). این اختلاف ممکن است مربوط به تفاوت بین ماهی و سایر مهره‌داران باشد زیرا مشخص شده است که گردش اسید چرب به فرم تری گلیسرید در ماهی قزل‌آلا در مقایسه با سایر مهره‌داران بیشتر است که سبب شده میزان تبادل اسید چرب بین بافت‌های ماهی قزل‌آلا هم برای اکسیداسیون و هم برای استریفیه مجدد بالا باشد (۳۵). تحقیق دیگری نشان داده است که مکمل ال‌کارنیتین (سطح ۶۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم) سبب افزایش پروتئین تام (همانند پژوهش حاضر)، کلسترول و لیپوپروتئین با چگالی بسیار بالا و کاهش گلوکز در سرم خون گربه ماهی شده ولی

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-18]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1388.13.47.10.8]

بر تری‌گلیسرید اثری نداشت (۳۰) که تفاوت مشاهده شده در این تحقیق با پژوهش حاضر ممکن است مربوط به سطوح متفاوت مکمل ال‌کارنیتین استفاده شده باشد. افزایش آلبومین سرم خون در ماهی‌های که از ال‌کارنیتین در جیره غذایی خود استفاده کردند (جدول ۳) ممکن است در پاسخ به افزایش انتقال اسیدهای چرب از بافت‌ها جهت فرایند اکسیداسیون باشد (۱۸) و افزایش دیگر پروتئین‌های خون نشان‌دهنده اثر صرفه‌جویی در مصرف پروتئین توسط بتا اکسیداسیون اسیدهای چرب باشد که سبب ساخت بیشتر پروتئین و بالاتر بودن سطح پروتئین تام و گلوبولین در سرم خون شود. با توجه به نتایج این پژوهش مشخص گردید که افزودن یک گرم ال‌کارنیتین به فرم نمک تارترات به جیره‌های تجاری دارای ۱۵ درصد چربی می‌تواند سبب بهبود ضریب تبدیل غذایی، رشد، بازده پروتئین و افزایش پروتئین فیله ماهی قزل‌آلا با وزن بیش از ۱۳۰گرم شود و برای سطوح چربی بیشتر و ماهی بزرگ‌تر نیاز به پژوهش‌های بیشتری است.

سپاسگزاری

از تلاش‌ها و زحمات آقایان مهندس متقی و اسداله کارشناسان آزمایشگاه شیلات دانشگاه صنعتی اصفهان تشکر کرده و از شرکت فرادانه و آقای مهندس یدالهی به‌دلیل تأمین ماهی و در اختیار قرار دادن تاسیسات پرورشی مورد نیاز این پژوهش تشکر و قدردانی می‌شود.

منابع مورد استفاده

۱. جرجانی، م. ۱۳۸۱. بررسی اثر ال کارنیتین بر روی رشد بچه ماهی قره برون. پایان‌نامه کارشناسی ارشد دانشکده علوم و فنون دریایی، دانشگاه آزاد اسلامی.

۲. حسینی، س. ن.، س. ج. سیف آبادی، م. ر. کلباسی و ا. س. ویلکی. ۱۳۸۱. تأثیر ماده ال کارنیتین روی مراحل اولیه رشد و ترکیبات بدن قزل‌آلای رنگین‌کمان. مجله علوم و فنون دریایی ایران ۱(۲):۴۱-۴۵.

۳. خواجه، غ. و ر. پیغان. ۱۳۸۶. بررسی برخی فاکتورهای بیوشیمیایی سرم خون ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان پرورش یافته در استخرهای خاکی. مجله تحقیقات دام‌پزشکی ۳: ۱۹۷-۲۰۳.

۴. غفاری، م. ۱۳۸۰. بررسی تأثیر ماده ال کارنیتین بر رشد فیل ماهی. پایان نامه کارشناسی ارشد دانشکده علوم و فنون دریایی، دانشگاه آزاد اسلامی.

۵. سیف آبادی، س. ج.، ح. اورجی و م. نظری رجب. ۱۳۸۱. تأثیر ال کارنیتین روی مراحل اولیه رشد ماهی سفید دریای خزر (*Rutilus frisii kutum*). مجله علوم و فنون دریایی ایران ۱(۴): ۷۷-۸۳.

۶. صالحپور، م. ۱۳۸۱. تأثیر ال کارنیتین بر رشد و نسبت چربی و پروتئین در مراحل اولیه رشد فیل ماهی. پایان‌نامه کارشناسی ارشد دانشکده علوم و فنون دریایی، دانشگاه آزاد اسلامی.

7. AOAC, 2000. Official methods of analysis. Association of Official Analytical Chemists. Gaithersburg, Maryland, USA.
8. Bilinski, E. and R. E. E. Jonas. 1970. Effects of coenzyme A and carnitine on fatty acid oxidation in rainbow trout mitochondria. J. Fish. Res. Board Can. 27: 857–864.
9. Bremer, J. 1983. Carnitine metabolism and functions. Annu. Rev. Physiol. 63: 1420-1480.
10. Burtle, G. J. and Q. Liu. 1994. Dietary carnitine and lysine affect channel catfish lipid and protein composition. J. World Aquac. Soc. 25: 169–174.
11. Chatzifotis, S., T. Takeuchi and T. Seikai. 1996. The effect of dietary carnitine supplementation on growth of red sea bream (*Pagrus major*) fingerlings at two levels of dietary lysine. Aquaculture 147: 235–248.
12. Chatzifotis, S., T. Takeuchi, T. Watanabe and S. Satoh. 1997. The effect of dietary carnitine supplementation on growth of rainbow trout fingerlings. Fish. Sci. 63: 321–322.

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-18]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1388.13.47.10.8]

13. Dayanandan, A., P. Kumar, T. Kalaiselvi and C. Panneerselvam. 1994. Effect of L-carnitine on blood lipid composition in athero-sclerotic rats. J. Clin. Biochem. Nutr. 17: 81-87.
14. De Silva S. S. and T. A. Anderson. 1995. Fish Nutrition in Aquaculture. Chapman and Hall London.
15. Diaz, M., F. Lopez, F. Hernandez and J. A. Urbina. 2000. L-Carnitine effects on chemical composition of plasma lipoproteins of rabbits fed with normal and high cholesterol diets. Lipids. 35: 627-632.
16. Eder, K., J. Felgner, K. Becker and H. Kluge. 2005. Free and total carnitine concentrations in pig plasma after oral ingestion of various L-carnitine compounds. Int. J. Vitam. Nutr. Res. 75: 3-9.
17. Evans, D. H. 1998. The Physiology of Fishes. 2nd ed., CRC Press., Florida.
18. Fellows F. C. I., F. J. R. Hird, R. M. McLean and T. I.Walker. 1980. A survey of the non-esterified fatty acids and binding proteins in the plasma of selected animals. Comp. Biochem. Physiol. 67B :593–597.
19. Folch, J., M. Lees and G. H. Sloane-Stanley. 1957. A simple method for the isolation and purification of total lipids from animal tissues. J. Biol. Chem. 226: 497-509.
20. Frøyland, L., L. Madsen, K. M. Eckhoff, O. Lie and R. K. Berge. 1998. Carnitine palmitoyltransferase I, carnitine palmitoyltransferase II, and acyl-CoA oxidase activities in Atlantic salmon (*Salmo salar*). Lipids. 33: 923-30.
21. Goolish E. M. 1989. The scaling of aerobic and anaerobic muscle power in rainbow trout. J Exp. Biol. 147:493–505.
22. Gross, C. J. and L. M. Henderson. 1984. Absorption of d- and l-carnitine by the intestine and kidney tubule in the rat. Biochem. Biophys. Acta. 772: 209–219.
23. Harpaz, S. 2005. L-Carnitine and its attributed functions in fish culture and nutrition. A review. Aquaculture 249: 3– 21.
24. Harpaz, S., K. Becker and R. Blum. 1999. The efect of dietary L-carnitine supplementation on cold tolerance and growth of the ornamental cichlid fish Pelvicachromis pulcher preliminary results. J. Thermal Biol. 24:57-62
25. Ji, H., T. M. Bradley and G. C. Tremblay. 1996. Atlantic Salmon (*Salmo salar*) fed l-carnitine exhibit altered intermediary metabolism and reduced tissue lipid, but no change in growth rate. J. Nutr. 126: 1937-1950.
26. Kam J. C. and C. L. Milligan. 2006. Fuel use during glycogenesis in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss* Walbaum) white muscle studied in vitro. The J. Exper. Biol. 209: 871-880 .
27. McDowell, L. R. 1989. Vitamin-like substances. PP. 388– 399. *In*: McDowell, L.R. (Ed.), Vitamins in Animal Nutrition Comparative Aspects to Human Nutrition. Academic Press Inc., New York.
28. Milligan, C. L. 2004. Of fish, fat, and fuel: fatty acid transport in trout muscle. Am. J. Physiol. Regul. Integr. Comp. Physiol. 286: R23–R24.
29. Mohseni, M. J. Seyfabadi, H. Pourali, M. Poutkazemi and M. Bahmani. 2007. Effects of supplemental dietary L-carnitine on growth and body composition of beluga (*Huso huso*) juvenile. Iranian J. Fisheries Sci. 7: 157-170.
30. Ozorio, R. O. A. 2001. Dietary L-carnitine and energy and lipid metabolism in African catfish (*Clarias gariepinus*) juveniles. PhD. dissertation no. 3092. Wageningen University, Netherlands.
31. Ozorio, R. O. A., J. L. A. Uktoseja, E. A. Huisman and J. A. J. Verreth. 2001. Changes in fatty acid concentrations in tissues of African catfish, *Clarias gariepinus* Burchell, as a consequence of dietary carnitine, fat and lysine supplementation. Brit. J. Nutr. 86: 623– 636.
32. Ozorio, R. O. A., V. Vanginneken, G. Vandenthillart, M. Verstegen1 and J. Verreth. 2005. Dietary carnitine maintains energy reserves and delays fatigue of exercised Africancatfish (*Clarias gariepinus*) fed high fat diets. Sci. Agric. 62: 208-213.
33. Ozorio, R. O. A., J. A. J. Verreth, C. R. Aragao, C. J. Vermeulen, J. W. Schrama, M. W. A. Verstegen and E. A. Huisman. 2003. Dietary carnitine supplements increased lipid metabolism and decreased protein oxidation in African catfish (*Clarias gariepinus*) juveniles fed high fat levels. J. Aquac. Trop. 18: 225–238.
34. Richards, J.G., A. Bonen, G. J. F. Heigenhauser and C. M. Wood. 2004. Membranes of rainbow trout Palmitate movement across red and white muscle. Am. J. Physiol. Regul. Integr. Comp. Physiol. 286: R46–R53.
35. Rodehutscord, M. 1995. Effects of supplemental dietary L-carnitine on growth and body composition of rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* fed high fat diets. J. Anim. Physiol. Anim. Nutr. 73: 276–279.
36. Rodnick, K. J. and S. R. Williams. 1999. Effects of body size on biochemical characteristics of trabecular cardiac muscle and plasma of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) Part A. Comp. Biochem. Phys. 122: 407–413.
37. Santulli, A. and V. D'Amelio. 1986. Effects of supplemental dietary carnitine on the growth and lipid metabolism of hatchery reared sea bass (*Dicentrarchus labrax* L.). Aquaculture 59: 177–186.
38. SAS Institute. 1993. SAS User's guide: Statistics. Version 6.03 edition, SAS Inst. Inc., Cary, NC.
39. Schuhmacher, A. and J. M.Gropp. 1998. Carnitine -a vitamin for rainbow trout? J. Appl. Ichthyol. 14: 87–90.
40. Torreele E., A. V. D. Sluiszen and J. Verreth, 1993. The effect of dietary L-carnitine on the growth performance in fingerlings of the African catfish (*Clarias gariepinus*) in relation to dietary lipid. Brit. J. Nutr. 69: 289-299.
41. Wilson, R. P. 2002. Amino Acids and Proteins. *In*: Halver, J.E. and R.W. Hardy (Eds.), Fish Nutrition. 3rd ed., Academic Press, San Diego.

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-18]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1388.13.47.10.8]