

بکارگیری مخلوط امولسیون نانو اسانس گیاهان آویشن (*Thymus vulgaris*)، سیر (*Allium sativum*) و پونه کوهی (*Origanum vulgare*) در تغذیه لارو ماهیان کپور معمولی (*Cyprinus carpio*) و تأثیر آن بر پارامترهای رشد، ترشح ترکیبات متابولیکی و اتلاف انرژی

زهرا کوهستانی، حجت‌الله جعفریان*، حسین آدینه، ضیاء کردجری

گروه شیلات، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه گنبد کاووس، گنبد کاووس، ایران.

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۵/۰۲

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۲/۲۵

چکیده

تحقیق حاضر با هدف بررسی تأثیر امولسیون نانواسانس ترکیبی آویشن، پونه کوهی و سیر بر پارامترهای رشد، تغذیه، نرخ ترشح ترکیبات متابولیکی و اتلاف انرژی لاروهای کپور معمولی (*Cyprinus carpio*) طی ۵۶ روز طراحی و اجرا شد. برای انجام آزمایش تعداد ۳۶۰ قطعه لارو با وزن متوسط $2/43 \pm 0/37$ گرم تهیه شد. لاروها پس از انتقال به محل انجام آزمایش و سازگاری یک هفته‌ای به‌طور تصادفی در ۱۲ مخزن پلاستیکی با تراکم ۳۰ عدد لارو در هر مخزن معرفی شدند. لاروها در طول دوره اجرای تحقیق با جیره‌های مکمل‌سازی شده توسط ۰ (شاهد)، ۳/۵، ۷ و ۱۴ میکرولیتر نانواسانس در هر گرم جیره غذایی تغذیه شدند. براساس نتایج به‌دست آمده بهترین شاخص‌های رشد و تغذیه (وزن نهایی، نرخ رشد ویژه، کارایی تبدیل رشد، نسبت‌های کارایی تغذیه‌ای و شاخص گاستروسوماتیک) در تیمار ۷ میکرولیتر به‌دست آمد، در حالی که کمترین میزان غذای مصرفی، ترشح آمونیاک و اوره، و اتلاف انرژی مرتبطاً در تیمارهای ۳،۵ و ۱۴ میکرولیتر مشاهده شد ($P < 0/05$). پس از حمل و نقل، تیمار ۷ میکرولیتر کاهش معنی‌داری در ترشح متابولیت‌ها و اتلاف انرژی نشان داد ($P < 0/05$). در مجموع براساس نتایج به‌دست آمده امولسیون نانواسانس گیاهی، به‌ویژه در دوز ۷ میکرولیتر بر گرم خوراک، موجب بهبود شاخص‌های رشد و بهره‌وری تغذیه‌ای و همچنین کاهش استرس متابولیکی پس از حمل و نقل در لاروهای کپور معمولی شد. بنابراین، استفاده از این ترکیب طبیعی می‌تواند روشی مؤثر در افزایش کارایی زیستی و پایداری در سیستم‌های پرورش ماهی باشد.

کلید واژگان: گیاهان دارویی، کارایی تغذیه، پارامترهای رشد، کپور معمولی

مقدمه

صنعت گیاهان دارویی با ارزش جهانی حدود ۶۲ میلیارد دلار، سالانه رشدی ۵ تا ۱۰ درصدی را تجربه می‌کند و پیش‌بینی می‌شود تا سال ۲۰۵۰ به ۵ تریلیون دلار برسد (Maggon, 2005). استفاده از گیاهان دارویی از طب سنتی آغاز شده و با توسعه فناوری گیاه‌درمانی (فیتوتراپی)، کاربردهای نوینی در حوزه‌های مختلف از جمله آبزی پروری یافته است (Jones, 1997). گیاهان دارویی به دلیل دارا بودن ترکیبات زیست‌فعال، مانند آنتی‌اکسیدان‌ها و مواد ضد میکروبی، به‌عنوان منابعی ایمن و مقرون‌به‌صرفه برای بهبود رشد، تقویت سیستم ایمنی، و کنترل بیماری‌ها در آبزیان شناخته می‌شوند (Prasad and Variyur Padhyoy, 1993). در طول چند دهه گذشته، عوامل گیاهی به‌طور گسترده مورد بررسی قرار گرفته‌اند و گزارش شده است که پتانسیل ارزشمندی در ارتقاء رشد، سیستم ایمنی و کنترل پاتوژن‌های ماهی دارند (AlSafah and Al-Faragi, 2017).

پونه کوهی (*Origanum vulgare*) از خانواده نعناعیان، با ترکیبات فعال مانند کارواکرول و تیمول، خواص ضدباکتریایی، ضدالتهابی، آنتی‌اکسیدانی، و تعدیل‌کننده ایمنی دارد و رشد آبزیان را بهبود می‌بخشد (Abdel-Latif et al., 2020). آویشن (*Thymus vulgaris*)، گیاهی معطر از همین خانواده، حاوی تیمول، کارواکرول، سیمون، و اوژنول است که با تحریک آنزیم‌های گوارشی نظیر آمیلاز و لیپاز، هضم مواد مغذی و عملکرد تغذیه‌ای را در آبزیان تقویت می‌کند (AlSafah and Al-Faragi, 2017). سیر (*Allium sativum*) نیز با ترکیباتی مانند آلیسین، سولفور، و اسیدهای آمینه، به‌عنوان محرک ایمنی و مکمل غذایی در پرورش آبزیان استفاده می‌شود و متابولیسم پروتئین و سلامت عمومی را بهبود می‌بخشد (Sivam, 2013).

مطالعات نشان داده‌اند که افزودن عصاره‌های گیاهی به جیره غذایی آبزیان، مانند کپور کوی (*Cyprinus carpio*)، قزل‌آلای رنگین‌کمان (*Oncorhynchus mykiss*)، و تیلاپیای نیل (*Oreochromis niloticus*)، رشد، ایمنی، و کارایی تغذیه‌ای را بهبود می‌بخشد (Shourbela et al., 2021; Farahi et al., 2020; Abdel-Latif et al., 2020). برای مثال، Gholipour Kanani و همکاران (2010). گزارش کردند که مکمل‌سازی جیره فیل‌ماهی (*Huso huso*) با سیر و زنجبیل، رشد و پارامترهای خونی را

تقویت می‌کند. Nazerian و همکاران (۲۰۱۶) نیز گزارش دادند استفاده از پودر سیر و گیاه سرخارگل (*Echinacea purpurea*) تأثیر معنی‌داری بر رشد، تقویت سیستم ایمنی و بهبود پارامترهای خونی فیل‌ماهیان پرورشی داشت. تنگستانی و همکاران (۱۳۹۰) نیز نشان دادند که اسانس سیر وضعیت فیزیولوژیک فیل‌ماهی را بهبود می‌بخشد. در مطالعه‌ای دیگر Farhangi و همکاران (۲۰۲۲) بیان کردند که بکارگیری سیر در جیره غذایی ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان (*O. mykiss*) منجر به افزایش مقاومت و بهبود آسیب‌های بافتی و شاخص‌های خونی و ایمنی طی مسمومیت با فاز حاد مس شد. درحالی‌که، پیغان و همکاران (۱۳۹۳) تأثیر معنی‌داری طی استفاده از عصاره سیر بر رشد کپور معمولی گزارش نکردند.

کپور معمولی یکی از گونه‌های کلیدی آبزی پروری است که در سال ۱۴۰۲ حدود ۲۵۹،۹۹۴ تن از تولید ماهیان گرمابی را در ایران به‌خود اختصاص داد (سالنامه آماری شیلات ایران، ۱۴۰۲). تولید جهانی این گونه در سال ۲۰۲۰ به ۴/۲ میلیون تن رسید که ۷/۷ درصد از کل تولید آبزی پروری جهان را تشکیل می‌داد (FAO, 2020). پرورش اولیه این ماهی در مراحل لاروی و نوزادی اهمیت ویژه‌ای دارد و استفاده از مکمل‌های گیاهی، مانند نانوامولسیون‌ها، می‌تواند کارایی تغذیه‌ای و متابولیسم را بهبود بخشد. این مطالعه با هدف بررسی تأثیر نانوامولسیون ترکیبی آویشن، پونه کوهی، و سیر بر رشد، دفع متابولیت‌های نیتروژنی، و اتلاف انرژی در بچه‌ماهیان کپور معمولی انجام شد تا راهکاری پایدار برای بهینه‌سازی پرورش این گونه ارائه دهد.

مواد و روش‌ها

شرایط آزمایش: نوزادان ماهی کپور معمولی از مرکز تکثیر و پرورش کپورماهیان شهید چمران (گرگان، گلستان) تهیه و با استفاده از کیسه‌های پلاستیکی دو لایه به آزمایشگاه آبزی پروری دانشگاه گنبد کاووس منتقل شدند. برای آزمایش، ۳۶۰ قطعه بچه‌ماهی با میانگین وزنی $2/43 \pm 0/38$ گرم (میانگین \pm انحراف معیار) پس از یک هفته دوره سازگاری، به‌صورت تصادفی در ۴ تیمار آزمایشی با ۳ تکرار (در مجموع ۱۲ مخزن پلاستیکی مدور با حجم ۳۰ لیتر و تراکم ۳۰ بچه‌ماهی در هر مخزن) توزیع شدند. امولسیون نانواسانس تهیه‌شده از گیاهان آویشن، پونه و سیر به‌صورت

جدول ۱- ترکیبات موجود در جیره غذایی ماهی کپور (%)

عامل مغذی	پروتئین خام	چربی خام	فیبر خام	خاکستر	رطوبت
میزان در غذا (%)	۳۸-۴۰	۴-۸	۳-۶	۷-۱۱	۵-۱۱

شدند. به منظور کاهش استرس ناشی از دستکاری، تغذیه ماهیان به مدت ۲۴ ساعت پیش از زیست‌سنجی به طور کامل متوقف گردید. بر پایه داده‌های زیست‌سنجی و میزان خوراک مصرف‌شده روزانه، شاخص‌های رشد و تغذیه‌ای با استفاده از فرمول‌های استاندارد محاسبه شدند (Hevroy *et al.*, 1995; De Silva and Anderson, 2005).

$$100 \times [\text{مدت مطالعه} / (\text{وزن اولیه} - \text{وزن نهایی})] =$$

میانگین رشد روزانه

$$[\text{زمان} / (\text{لگاریتم طبیعی میانگین وزن اولیه به گرم} -$$

$$\text{لگاریتم طبیعی میانگین وزن نهایی به گرم})] \times 100 = \text{نرخ}$$

رشد ویژه

$$[\text{میانگین درجه حرارت به سانتی‌گراد} \times \text{زمان} / (\text{وزن}$$

$$\text{توده زنده اولیه ماهی به گرم} - \text{وزن توده زنده نهایی}$$

$$\text{ماهی به گرم})] = \text{ضریب رشد حرارتی}$$

$$(\text{میانگین وزن اولیه به گرم} + \text{میانگین وزن نهایی به گرم}$$

$$\times [\text{زمان} / (\text{میانگین وزن اولیه به گرم} - \text{میانگین وزن}$$

$$\text{نهایی به گرم})] \times 100 = \text{سرعت رشد وزنی (درصد)}$$

$$[\text{میانگین طول اولیه} + \text{میانگین طول نهایی}] \times \text{زمان} /$$

$$\text{میانگین طول اولیه} - \text{میانگین طول نهایی})] \times 100 =$$

$$\text{سرعت رشد طولی (درصد)}$$

$$100 \times (\text{غذای نسبی خورده شده} / \text{نرخ رشد ویژه}) = (\%)$$

کارایی تبدیل رشد

$$(\text{میانگین طول انتهایی دوره به سانتی‌متر}) / \text{میانگین وزن انتهایی}$$

$$\text{دوره به گرم}) \times 100 = \text{شاخص وضعیت}$$

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

تبدیل غذایی

$$[\text{زمان} \times 2 / (\text{میانگین وزن اولیه به گرم} + \text{میانگین وزن}$$

$$\text{نهایی به گرم})] / \text{غذای خورده شده} \times 100 = \text{غذای خورده}$$

شده روزانه

$$\text{مقدار مصرف پروتئین (گرم)} / \text{افزایش وزن (گرم)} = \text{نسبت}$$

کارایی پروتئین

$$\text{مقدار چربی خورده شده (گرم)} / \text{افزایش وزن (گرم)} =$$

نسبت کارایی چربی

$$\text{مقدار انرژی خورده شده (کیلوژول)} / \text{افزایش وزن (گرم)} =$$

نسبت کارایی انرژی

تجاری از شرکت فناور طلای طبیعت کوه‌رنگ (پارک علم و فناوری خراسان رضوی، مشهد) تأمین شد. تیمارهای آزمایشی شامل ۳/۵، ۷ و ۱۴ میکرولیتر امولسیون نانواسانس به‌ازای هر گرم غذای تجاری شرکت فردانه (خوراک آغازین SFC) بودند. مقادیر مورد نظر روی غذا اسپری و از ژلاتین ۴ درصد برای تثبیت اسانس روز غذا استفاده شد. تیمارهای آزمایشی به‌ترتیب با نام‌های Herbal oil1، Herbal oil2 و Herbal oil3 شناخته شدند. همچنین، یک گروه شاهد نیز در نظر گرفته شد که در آن لاروها با جیره غذایی پایه بدون هیچ‌گونه افزودنی تغذیه شدند. مشخصات غذای تجاری مورد استفاده در جدول ۱ ارائه شده است. غذای آماده شده پس از خشک شدن در دمای اتاق به مدت ۲ ساعت به ماهی‌ها خورانده شد (Nazerian *et al.*, 2016).

غذای مصرف‌نشده پس از هر وعده غذایی از مخازن جمع‌آوری و از مقدار کل غذای داده‌شده کسر گردید. آب مخازن از آب شهری تأمین شد که پیش از استفاده، به مدت ۲۴ ساعت با هوادهی کلرزدایی شد. هوادهی مخازن به‌صورت مداوم با پمپ هوای الکتریکی انجام شد. دوره نوری شامل ۱۲ ساعت روشنایی و ۱۲ ساعت تاریکی بود و روزانه ۲۵ درصد آب مخازن در تیمارهای آزمایشی تعویض شد.

تعیین شاخص‌های فیزیکی شیمیایی آب: اکسیژن

محلول (DO) با دستگاه پرتابل کیفیت‌سنج آب Hack ساخت کشور آمریکا اندازه‌گیری شد (APHA, 2012). درجه حرارت آب با دما سنج جیوه‌ای اندازه‌گیری شد. میزان pH نیز با دستگاه pH متر دیجیتال (Metrohm pH/Ion meter) ساخت کشور سوئیس سنجش شد. میزان قلیائیت، آمونیاک و نیترات نیز براساس روش‌های استاندارد آزمایشگاهی اندازه‌گیری شد (APHA, 2012). اندازه‌گیری دی‌اکسید کربن مترشحه و میزان فسفات با استفاده از روش‌های تیتراسیون صورت پذیرفت (APHA, 2012).

تعیین شاخص‌های رشد و تغذیه: برای تعیین

اثرگذاری امولسیون نانواسانس گیاهی بر وضعیت رشد و تغذیه و بچه ماهیان تمامی لاروها در هر تیمار آزمایشی در آغاز و پایان دوره آزمایش به‌صورت انفرادی زیست‌سنجی

کیسه‌های پلاستیکی در دوره کوتاه مدت به مدت ۵ ساعت انجام گرفت. قبل و بعد از فرآیند حمل و نقل ماهیان، ترکیبات مترشحه نظیر آمونیاک، اوره به روش ذکر شده در بالا انجام پذیرفت. نتایج به صورت انحراف معیار \pm میانگین ارائه شد.

تجزیه و تحلیل آماری: تحلیل داده‌ها با نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۳ انجام شد. نرمال بودن داده‌ها از طریق آزمون شاپیرو-ویلک بررسی شد و داده‌ها با استفاده از آنالیز واریانس یک‌طرفه (One-way ANOVA) با سطح اطمینان ۹۵٪ و آزمون دانکن تحلیل شدند.

نتایج

پارامترهای فیزیکی و شیمیایی آب: برخی از معیارهای کیفی آب ورودی به حوضچه‌های پرورشی نوزادان کپور ماهی معمولی در جدول ۲ ارائه شده است که در حد قابل قبول برای پرورش نوزادان ماهی کپور بود (Adhikari, 2006).

شاخص‌های رشد: نتایج مربوط به مقایسه شاخص‌های رشد بین تیمارهای مورد بررسی در جدول ۳ نشان داده شده است. براساس نتایج به دست آمده اختلاف آماری معنی‌داری بین پارامترهای رشد در تیمارهای آزمایشی و گروه شاهد به دست آمد ($P < 0.05$). بالاترین وزن نهایی، طول نهایی، میانگین رشد روزانه، کارایی تبدیل رشد، نرخ رشد ویژه، ضریب رشد حرارتی، سرعت رشد طولی، سرعت رشد وزنی، و فاکتور وضعیت در تیمارهای آزمایشی تحت تأثیر اسانس گیاهی به دست آمد. بیشترین وزن نهایی، نرخ رشد ویژه، سرعت رشد وزنی، ضریب چاقی، میانگین رشد روزانه، کارایی تبدیل رشد و ضریب رشد حرارتی در تیمار Herbal oil1 مشاهده شد؛ تیماری که تحت تأثیر جیره‌های مکمل‌سازی شده با ۷ میکرولیتر نانوامولسیون در هر گرم خوراک قرار داشت و این شاخص‌ها به‌طور معنی‌داری بالاتر از گروه شاهد و سایر تیمارهای آزمایشی بودند ($P < 0.05$). درحالی‌که طول نهایی و سرعت رشد طولی اختلاف آماری معنی‌داری بین تیمارهای آزمایشی مشاهده نشد ($P > 0.05$).
شاخص‌های تغذیه: نتایج شاخص‌های تغذیه‌ای در جدول ۴ ارائه شده است. براساس داده‌های به دست آمده، ضریب تبدیل غذایی در تیمار Herbal oil3 (با دوز ۱۴ میکرولیتر در هر گرم خوراک) به‌طور معنی‌داری بیشتر از سایر تیمارها

اندازه‌گیری ترکیبات متابولیکی: اندازه‌گیری متابولیت‌های نیتروژنی در دو آزمایش جداگانه انجام شد. در آزمایش اول، دفع آمونیاک و اوره در پایان دوره آزمایش ارزیابی شد. برای این منظور، پنج بچه‌ماهی به صورت تصادفی از هر تکرار انتخاب و پس از توزین، به مدت ۲۴ ساعت در ظروف ۱۰ لیتری بدون هوادهی قرار گرفتند. برای حذف اثر ترشحات نیتروژنی ناشی از باکتری‌ها و سایر میکروارگانیسم‌ها، یک ظرف ۱۰ لیتری حاوی آب مشابه، بدون ماهی، به‌عنوان کنترل در نظر گرفته شد. پس از ۲۴ ساعت نمونه آب از هر ظرف به‌طور جداگانه تهیه شد و غلظت آمونیاک از طریق روش فنول-پیوکلوئید (Solorzano, 1969)، آمونیاک کل از تفریق مقدار به دست آمده با مقدار آمونیاک تانک بدون ماهی و غلظت اوره با استفاده از آنزیم اوره آز براساس فرمول‌های ذیل اندازه‌گیری شد (Elliott, 1976).

ترشح آمونیاک و اوره

آمونیاک ترشح شده از ماهی کپور ($\text{g Kg}^{-1} \text{ BW day}^{-1}$) (Engin and Carter, 2001)

وزن بچه ماهیان پرورشی در هر حوضچه (kg) / حجم آب \times]
آمونیاک اولیه (mg/l) - آمونیاک نهایی (mg/l) =
اوره ترشح شده ($\text{g Kg}^{-1} \text{ BW day}^{-1}$) (Engin and Carter, 2001)

وزن بچه ماهیان پرورشی در هر حوضچه (kg) / حجم آب \times]
اوره اولیه (mg/l) - اوره نهایی (mg/l) =
انرژی اتلافی بر اساس آمونیاک ترشح شده ($\text{Kj Kg}^{-1} \text{ BW day}^{-1}$) (Brafeld, 1985)

(گرم/کیلوژول) $24/83 \times (1000)$ / (میلی گرم بر کیلوگرم

وزن ماهی در روز) آمونیاک مترشحه) =

انرژی اتلافی بر اساس اوره ترشح شده ($\text{Kj Kg}^{-1} \text{ BW day}^{-1}$) (Elliott, 1976)

(گرم/کیلوژول) $23 \times (1000)$ / (میلی گرم بر کیلوگرم

وزن ماهی در روز) اوره مترشحه) =

محاسبه دی‌اکسید کربن تولیدی با استفاده از فرمول زیر بر مبنای تیتراسیون انجام پذیرفت (Klaus, 2023).

حجم نمونه آب / $(44000 \times \text{نرمالیتة سود} \times x) = Y$ که Y میزان دی‌اکسید کربن و X مقدار سود 0.22 نرمال مصرفی در فرآیند تیتراسیون می باشد. در آزمایش دوم ترکیبات متابولیکی در فرآیند حمل و نقل بچه ماهیان کپور که در

جدول ۲- کیفیت آب ورودی مخازن پرورشی در تیمارهای نانوامولسیون گیاهی

شاخص	دما (°C)	اکسیژن محلول (mg/l)	شوری (mg/l)	هدایت الکتریکی (μs/cm)	pH
مقدار	۲۵/۱±۲/۱۲	۷/۶۵±۰/۲۵	۴۲۰/۱۲±۱۵/۱۰	۸۵۰/۱۵±۲۰/۴۵	۷/۲۰±۰/۱۰

جدول ۳- مقایسه شاخص‌های رشد بچه‌ماهیان تحت تاثیر غلظت‌های مختلف نانوامولسیون گیاهی

شاخص	تیمار			
	Herbal oil 3	Herbal oil 2	Herbal oil 1	شاهد
وزن اولیه (گرم)	۲/۴۴±۰/۳۷	۲/۴۸±۰/۳۷	۲/۴۰±۰/۳۶	۲/۴۳±۰/۳۸
طول نهایی (سانتی‌متر)	۷/۶۲±۱/۳۷	۷/۸۷±۱/۰۸	۷/۵۹±۱/۲۳	۷/۴۱±۰/۰۹
وزن نهایی (گرم)	۷/۹۶±۱/۹۹ ^{ab}	۸/۵۱±۲/۴۹ ^{ab}	۹/۰۶±۲/۰۳ ^a	۷/۰۸±۲/۱۶ ^b
نرخ رشد ویژه (درصد در روز)	۳/۰۷±۰/۸۵ ^{ab}	۳/۴۸±۰/۹۲ ^{ab}	۳/۵۹±۰/۸۷ ^a	۲/۹۶±۰/۹۷ ^b
سرعت رشد وزنی (درصد)	۲/۶۱±۰/۹۸ ^b	۲/۹۸±۰/۶۷ ^{ab}	۳/۰۲±۰/۷۸ ^a	۲/۶۰±۰/۸۳ ^b
سرعت رشد طولی (درصد)	۱/۰۴±۰/۴۱	۱/۱۴±۰/۳۰	۱/۰۴±۰/۲۸	۱/۰۱±۰/۰۵
ضریب چاقی	۱/۶۴±۰/۳۵ ^b	۱/۶۸±۰/۲۴ ^b	۲/۱۶±۰/۹۷ ^a	۱/۶۷±۰/۳۷ ^b
میانگین رشد روزانه	۷/۳۵±۱/۹۵ ^{ab}	۸/۰۴±۲/۵۰ ^{ab}	۸/۷۲±۲/۰۷ ^a	۶/۲۳±۱/۹۸ ^b
کارایی تبدیل رشد	۱۸/۴۱±۲/۱۴ ^{ab}	۱۹/۳۴±۳/۹۸ ^{ab}	۲۲/۱۸±۳/۶۰ ^a	۱۳/۵۱±۲/۷۰ ^b
ضریب رشد حرارتی	۰/۶۸±۰/۲۵ ^{ab}	۰/۷۶±۰/۱۸ ^{ab}	۰/۷۹±۰/۳۷ ^a	۰/۶۳±۰/۱۳ ^b

*حروف لاتین غیر همنام روی هر شاخص در هر ردیف نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح $P < 0.05$ است.

جدول ۴- مقایسه شاخص‌های تغذیه‌ای بچه‌ماهیان تحت تاثیر غلظت‌های مختلف نانوامولسیون گیاهی

شاخص	تیمار			
	Herbal oil 3	Herbal oil 2	Herbal oil 1	شاهد
ضریب تبدیل غذایی	۳/۵۵±۰/۹۲ ^a	۲/۷۱±۰/۵۰ ^b	۲/۶۷±۰/۹۷ ^b	۳/۳۷±۱/۰۳ ^b
نسبت کارایی پروتئین	۰/۹۳±۰/۳۰ ^{ab}	۰/۹۹±۰/۲۸ ^{ab}	۱/۰۶±۰/۳۵ ^a	۰/۸۲±۰/۱۵ ^b
نسبت کارایی چربی	۳/۱۰±۰/۶۹ ^{ab}	۳/۳۲±۰/۷۱ ^{ab}	۳/۵۲±۰/۶۳ ^a	۲/۷۶±۰/۵۴ ^b
نسبت کارایی انرژی	۲/۴۷±۰/۴۹ ^{ab}	۲/۶۴±۰/۵۸ ^{ab}	۲/۸۲±۰/۳۷ ^a	۲/۲۰±۰/۴۱ ^b
غذای نسبی خورده شده	۲۰/۸۱±۰/۵۳ ^b	۱۷/۹۷±۰/۴۱ ^b	۱۶/۶۷±۰/۳۷ ^b	۲۳/۴۴±۰/۵۱ ^a
شاخص گاستروسوماتیک	۸/۷۷±۱/۳۱ ^b	۱۰/۵۷±۰/۵۰ ^a	۸/۶۱±۰/۱۸ ^b	۸/۵۷±۲/۸۴ ^b
شاخص کیدی	۰/۳۱±۰/۱۸	۰/۳۴±۰/۲۰	۰/۲۵±۰/۱۲	۰/۴۷±۰/۶۰

* وجود حروف غیر همسان در هر ردیف نشانه وجود اختلاف معنی‌دار است ($P < 0.05$).

تیمار Herbal oil 2 (با دوز ۷ میکرولیتر در گرم خوراک) به‌طور معنی‌داری بیشتر از سایر تیمارها و گروه شاهد بود ($P < 0.05$)، اما بین سایر تیمارها و گروه شاهد تفاوت آماری معنی‌داری مشاهده نشد ($P < 0.05$). همچنین، شاخص کیدی بین هیچ‌یک از تیمارهای آزمایشی و گروه شاهد تفاوت معنی‌داری نشان نداد ($P < 0.05$).

متابولیت‌های نیتروژنی مترشحه: نتایج اثرگذاری نانوامولسیون گیاهی بر دفع نیتروژن و اتلاف انرژی لاروهای کپور معمولی در جدول ۵ ارائه شده است. براساس نتایج به‌دست آمده دفع نیتروژن (آمونیاک و اوره) در تیمارهای Herbal oil 1 و Herbal oil 3 نسبت به گروه شاهد کاهش یافت، اما این تفاوت معنی‌دار نبود ($P < 0.05$). بیشترین دفع آمونیاک و اوره مربوط به تیمار Herbal oil 2 بود. مصرف

و گروه شاهد بود ($P < 0.05$). در حالی که تیمارهای Herbal oil 1 و Herbal oil 2 اختلاف آماری معنی‌داری با گروه شاهد نداشتند ($P < 0.05$)، با این حال، کمترین ضریب تبدیل غذایی مربوط به تیمار Herbal oil 1 (با دوز ۳/۵ میکرولیتر در گرم خوراک) بود. نسبت‌های کارایی چربی، پروتئین و انرژی در تمامی تیمارهای آزمایشی به‌طور معنی‌داری بالاتر از شاهد گزارش شد ($P < 0.05$) و بیشترین مقادیر این شاخص‌ها در تیمار Herbal oil 1 مشاهده گردید. میزان غذای نسبی خورده‌شده در همه تیمارهای آزمایشی به‌طور معنی‌داری کمتر از گروه شاهد بود ($P < 0.05$). هرچند اختلاف آماری معنی‌داری بین تیمارهای آزمایشی با یکدیگر مشاهده نشد ($P < 0.05$) اما کمترین مقدار آن در تیمار Herbal oil 1 ثبت گردید. شاخص گاستروسوماتیک در

جدول ۵- مقایسه نرخ ترشح متابولیت‌ها و تغییرات انرژی اتلافی بجه ماهیان تحت تأثیر غلظت‌های مختلف نانومولسیون گیاهی

تیمار			شاخص	شاهد
Herbal oil 3	Herbal oil 2	Herbal oil1		
۴/۳۳±۰/۱۰ ^b	۷/۵۶±۰/۳۷ ^a	۴/۶۵ ±۱/۱۴ ^b	۶/۹۳±۰/۵۵ ^b	ترشح آمونیاک (mg/kg/h)
۰/۷۹±۰/۰۵ ^b	۱/۵۴±۰/۱۳ ^a	۰/۹۰ ±۰/۲۲ ^b	۱/۳۳±۰/۱۶ ^a	ترشح اوره (mg/kg/h)
۴۲/۲۹±۵/۷۵	۴۹/۳۴±۱۰/۵۹	۳۷/۴۳ ±۸/۰۵	۳۸/۱۳±۳/۶۰	ترشح دی‌اکسید کربن (mg/kg/h)
۶۹/۲۴±۴/۲۸ ^{ab}	۶۸/۵۴±۵/۸۵ ^a	۴۰/۵۶ ±۷/۱۳ ^b	۴۷/۴۴±۵/۰۵ ^{ab}	مصرف اکسیژن (mg/kg/h)
۰/۰۲±۰/۰۰۱ ^b	۰/۰۶±۰/۰۰۳ ^{ab}	۰/۰۹ ±۰/۰۰۳ ^a	۰/۰۳±۰/۰۰۱ ^b	ترشح فسفات (mg/kg/h)
۰/۶۰±۰/۰۱ ^b	۰/۷۲±۰/۱۰ ^{ab}	۰/۹۰ ±۰/۴۱ ^a	۰/۸۰±۰/۰۹ ^{ab}	نسبت دی‌اکسید کربن به اکسیژن
۰/۱۰±۰/۰۱ ^b	۰/۱۵±۰/۰۳ ^a	۰/۱۲ ±۰/۰۱ ^{ab}	۰/۱۴±۰/۰۲ ^a	نسبت دی‌اکسید کربن به آمونیاک
۱۶/۰۶±۱/۵۵	۱۷/۱۶±۳/۴۲	۱۳/۴۲±۳/۳۵	۱۴/۹۷±۱/۸۱	مخارج انرژی (Kj/kg/h)
۱۰۸/۱۷±۲/۵۱ ^b	۱۸۹/۰۷±۹/۳۰ ^a	۱۱۶/۲۰۲±۲۸/۶ ^b	۱۷۳/۱۷±۱۳/۹ ^a	انرژی اتلافی از ترشح آمونیاک (J/kg/h)
۱۸/۳۳±۱/۱۹ ^b	۳۵/۴۹±۳/۱۷ ^a	۲۰/۷۶±۵/۳۹ ^b	۳۰/۶۱±۳/۸۱ ^a	انرژی اتلافی از ترشح اوره (J/kg/h)

* وجود حروف غیر همسان در هر ردیف نشانه وجود اختلاف معنی‌دار است ($P < 0.05$).

Herbal oil3 ثابت شد. مخارج انرژی و ترشح دی‌اکسید کربن بین تیمارهای آزمایشی و گروه شاهد فاقد هر گونه اختلاف آماری معنی‌داری بود ($P > 0.05$).

نتایج مقایسه دفع متابولیت‌های نیتروژنی لاروها پس از فرآیند حمل و نقل کوتاه‌مدت در جدول ۶ ارائه شده است. براساس نتایج به‌دست آمده دفع آمونیاک و اوره در تیمار Herbal oil2 به‌طور معنی‌داری کمتر از سایر تیمارهای آزمایشی و گروه شاهد بود ($P < 0.05$). مصرف اکسیژن و مخارج انرژی در تیمارهای Herbal oil1 و Herbal oil3 به‌طور معنی‌داری کمتر از گروه شاهد بود ($P < 0.05$); اما اختلاف آماری معنی‌داری بین تیمار Herbal oil2 و گروه شاهد وجود نداشت ($P < 0.05$). نسبت دی‌اکسید کربن تولیدی به اکسیژن مصرفی در تمامی تیمارهای آزمایشی به‌طور معنی‌داری بیشتر از گروه شاهد بود ($P < 0.05$); اما بین تیمارهای آزمایشی اختلاف معنی‌داری وجود نداشت ($P < 0.05$). نسبت آمونیاک تولیدی به اکسیژن مصرفی و انرژی اتلافی از دفع آمونیاک و اوره در تیمار Herbal oil3 به‌طور معنی‌داری بیشتر از تیمار Herbal oil2 و گروه شاهد وجود نداشت ($P < 0.05$). کمترین نسبت دی‌اکسید کربن تولیدی به اکسیژن مصرفی و ترشح آمونیاک به اکسیژن مصرفی در تیمارهای Herbal oil1 و Herbal oil3 بود ($P < 0.05$); اما اختلاف آماری معنی‌داری بین تیمار Herbal oil2 و گروه شاهد وجود نداشت ($P < 0.05$). نسبت ترشح آمونیاک به اکسیژن مصرفی در تیمار Herbal oil3 ثابت شد. انرژی اتلافی ناشی از دفع آمونیاک و اوره نیز در تیمارهای Herbal oil1 و Herbal oil3 به‌طور معنی‌داری کمتر از گروه شاهد بود ($P < 0.05$); اما اختلاف آماری معنی‌داری بین تیمار Herbal oil2 و گروه شاهد وجود نداشت ($P > 0.05$). کمترین انرژی اتلافی از ترشح آمونیاک و اوره در تیمار

اکسیژن در تیمار Herbal oil2 به‌طور معنی‌داری کمتر از گروه شاهد بود؛ اما در تیمار Herbal oil1 به‌طور معنی‌داری بیشتر از گروه شاهد بود ($P < 0.05$); بین تیمار Herbal oil3 و گروه شاهد اختلاف آماری معنی‌داری وجود نداشت ($P > 0.05$). دفع فسفات در تیمارهای Herbal oil1 و Herbal oil2 به‌طور معنی‌داری بیشتر از گروه شاهد بود ($P < 0.05$); اما بین تیمار Herbal oil3 و گروه شاهد تفاوت معنی‌داری وجود نداشت ($P < 0.05$). بیشترین دفع فسفات مربوط به تیمار Herbal oil1 بود. نسبت دی‌اکسید کربن تولیدی به اکسیژن مصرفی در تیمار Herbal oil1 به‌طور معنی‌داری بیشتر از گروه شاهد و در تیمار Herbal oil3 به‌طور معنی‌داری کمتر از گروه شاهد بود ($P < 0.05$); اما اختلاف آماری معنی‌داری بین تیمار Herbal oil2 و گروه شاهد وجود نداشت ($P > 0.05$). نسبت ترشح آمونیاک به اکسیژن مصرفی نیز در تیمارهای Herbal oil1 و Herbal oil3 به‌طور معنی‌داری کمتر از گروه شاهد بود ($P < 0.05$); اما اختلاف آماری معنی‌داری بین تیمار Herbal oil2 و گروه شاهد وجود نداشت ($P < 0.05$). کمترین نسبت دی‌اکسید کربن تولیدی به اکسیژن مصرفی و ترشح آمونیاک به اکسیژن مصرفی در تیمار Herbal oil3 ثابت شد. انرژی اتلافی ناشی از دفع آمونیاک و اوره نیز در تیمارهای Herbal oil1 و Herbal oil3 به‌طور معنی‌داری کمتر از گروه شاهد بود ($P < 0.05$); اما اختلاف آماری معنی‌داری بین تیمار Herbal oil2 و گروه شاهد وجود نداشت ($P > 0.05$). کمترین انرژی اتلافی از دفع آمونیاک و اوره در تیمار

جدول ۶- مقایسه نرخ ترشح متابولیت‌ها و انرژی اتلافی بچه‌ماهیان تحت تأثیر غلظت‌های نانوامولسیون گیاهی در حمل‌ونقل کوتاه‌مدت

تیمار			شاهد	شاخص
Herbal oil 3	Herbal oil 2	Herbal oil 1		
۲/۵۳±۰/۱۴ ^a	۱/۱۵±۰/۰۳ ^c	۱/۷۲±۰/۰۴ ^b	۱/۷۹±۰/۰۱ ^b	ترشح آمونیاک (mg/kg/h)
۰/۶۳±۰/۰۳ ^a	۰/۲۹±۰/۰۱ ^c	۰/۴۳±۰/۰۱ ^b	۰/۴۵±۰/۰۰ ^b	ترشح اوره (mg/kg/h)
۱۹/۴۸±۰/۴۸	۳۱/۹۳±۴/۰۸	۲۲/۷۵±۵/۱۰	۱۲/۸۹±۲/۶۸	ترشح دی اکسید کربن (mg/kg/h)
۳۳/۶۴±۲/۵۹ ^b	۴۴/۸۳±۳/۰۵ ^a	۳۶/۵۷±۲/۳۳ ^b	۴۸/۰۹±۳/۵۰ ^a	مصرف اکسیژن (mg/kg/h)
۰/۵۸±۰/۰۳ ^a	۰/۷۱±۰/۰۴ ^a	۰/۶۱±۰/۰۳ ^a	۰/۲۷±۰/۰۳ ^b	نسبت دی‌اکسید کربن به اکسیژن
۰/۰۷۶±۰/۰۱۰ ^a	۰/۰۲۶±۰/۰۰۱ ^c	۰/۰۴۷±۰/۰۰۷ ^b	۰/۰۳۷±۰/۰۰۳ ^b	نسبت دی‌اکسید کربن به آمونیاک
۱۱/۴۹±۱/۰۳ ^b	۱۶/۹۳±۱/۲۸ ^a	۱۳/۱۷±۱/۳۵ ^b	۱۶/۵۷±۱/۴۰ ^a	مخارج انرژی (Kj/kg/h)
۶۳/۴۹±۳/۳۴ ^a	۲۸/۷۸±۵/۳۱ ^c	۴۲/۹۴±۱۰/۴۰ ^b	۴۴/۶۹±۱/۰۵ ^b	انرژی اتلافی از ترشح آمونیاک (J/kg/h)
۱۴/۶۰±۰/۹۵ ^a	۶/۶۲±۱/۱۴ ^c	۹/۸۷±۲/۴۱ ^b	۱۰/۲۷±۱/۱۲ ^b	انرژی اتلافی از ترشح اوره (J/kg/h)

* وجود حروف غیر همسان در هر ردیف نشانه وجود اختلاف معنی‌دار است ($P < 0.05$).

(Mugwanya *et al.*, 2024). در همین ارتباط، نتایج مطالعه حاضر نشان داد که استفاده از نانوامولسیون ترکیبی اسانس گیاهان آویشن، پونه کوهی و سیر (به‌ویژه تیمار Herbal oil 1 با ۳/۵ میکرولیتر بر گرم) تأثیرات مثبت و معنی‌داری بر افزایش وزن نهایی، نرخ رشد ویژه، کارایی تبدیل غذایی و ضریب رشد حرارتی شد. بهبود شاخص‌های رشد احتمالاً تحت تأثیر خواص زیستی ترکیبات زیست‌فعال موجود در گیاهان مورد استفاده است. تیمول و کارواکرول موجود در ساختار ترکیبات گیاهی از جمله آویشن و پونه کوهی می‌تواند ترشح آنزیم‌های گوارشی نظیر آمیلاز و لیپاز را تحریک کند که قابلیت هضم مواد مغذی را افزایش می‌دهند (Jones, 2020; Abdel-Latif *et al.*, 1997). سیر نیز با ترکیباتی همچون آلیسین و سولفور، عملکرد سیستم ایمنی و متابولیسم پروتئینی را ارتقاء می‌دهد (Agarwal, 1996; Sivam, 2013). حضور این ترکیبات احتمالاً در بهبود طعم خوراک نیز مؤثر خواهد بود (Abdel-Latif and Khalil, 2014). در تأیید این موارد افزودن ۰/۵ تا ۲ درصد اسانس ترخون به جیره غذایی بچه ماهیان قزل‌آلای رنگین‌کمان به‌طور معنی‌داری باعث بهبود وضعیت رشد شد (Hajirezaee *et al.*, 2024). Abdel-Latif و همکاران (۲۰۲۰) نیز تأثیر مثبت و معنی‌دار اسانس پونه کوهی را بر کارایی مصرف خوراک و رشد کپور معمولی را گزارش کردند. این محققین نتایج به‌دست آمده را ناشی از حضور تیمول و کارواکرول در پونه کوهی گزارش داد که احتمالاً موجب تحریک تولید آنزیم‌های گوارشی و بهبود وضعیت رشد می‌شود. Zhang و همکاران (۲۰۲۰) نشان دادند که استفاده از اسانس پونه کوهی با بهبود وضعیت میکروبیوم روده و

شاهد تفاوت معنی‌داری داشت ($P < 0.05$). ترشح دی‌اکسید کربن فاقد هر گونه اختلاف آماری معنی‌دار بین تیمارهای آزمایشی و گروه شاهد بود ($P > 0.05$).

بحث

این مطالعه به منظور بررسی بکارگیری مخلوط امولسیون نانو اسانس گیاهان آویشن، سیر و پونه کوهی در تغذیه لاروهای ماهی کپور معمولی و اثر آن بر پارامترهای رشد، ترشح ترکیبات متابولیکی و اتلاف انرژی بود. به‌عنوان جایگزینی برای مواد شیمیایی مصنوعی، گیاهان دارویی طبیعی می‌توانند به‌طور قابل توجهی سلامت و پتانسیل رشد ماهی‌ها را بهبود بخشند (Faisal *et al.*, 2024). افزودن گیاهان دارویی به‌عنوان مکمل خوراک، رویکردی نویدبخش برای بهینه‌سازی کارایی تغذیه و متابولیسم در گونه‌های آبزی ارائه می‌دهد (Shao *et al.*, 2021) و در عین حال هیچ خطری برای سلامت ماهی‌ها ایجاد نمی‌کند (Menanteau-Ledouble *et al.*, 2015). پژوهش‌ها نشان داده‌اند که فیتوبیوتیک‌ها و فیتوژنیک‌های مشتق از گیاهان معطر می‌توانند پاسخ‌های ایمنی و رشد را در ماهی‌ها تقویت کنند (Abdel-Khafaga *et al.*, 2020; Latif *et al.*, 2021). ترکیبات فیتوشیمیایی، جایگزینی ایمن و مؤثر برای آنتی‌بیوتیک‌های مصنوعی جهت افزایش نرخ رشد و کارایی خوراک در جیره‌های آبزی پروری هستند (Munglue, 2016). افزون بر فراهم‌سازی جیره‌های غذایی متعادل، استفاده از مکمل‌های عملکردی به‌منظور بهبود عملکرد و کاهش اثرات منفی استرس بر سلامت موجودات آبزی توصیه شده است (Dawood *et al.*, 2022).

گیاهی با تأثیر بر میکروبیوم روده، جذب مواد مغذی را بهبود می‌بخشد و در نتیجه بار متابولیکی را کاهش می‌دهند (Brenes and Roura, 2010; Fortes da Silva *et al.*, 2014; Reverter *et al.*, 2010). کاهش اتلاف انرژی از طریق ترشح آمونیاک و اوره نیز در تیمار 3 Herbal oil نشان‌دهنده کارایی بالاتر متابولیسم انرژی است. این موضوع با گزارش‌های Brafeld (۱۹۸۵) و Elliott (۱۹۷۶) همخوانی دارد که کاهش دفع نیتروژن را با کاهش هزینه‌های متابولیکی و افزایش ذخیره انرژی برای رشد مرتبط می‌دانند. ترکیبات فیتوشیمیایی موجود در اسانس‌های گیاهی مانند کارواکرول و آلیسین، با خواص آنتی‌اکسیدانی و ضدالتهابی، استرس اکسیداتیو را کاهش داده و مخارج انرژی را بهینه می‌کنند. این ترکیبات با مهار تولید گونه‌های فعال اکسیژن (ROS) و تنظیم مسیرهای متابولیکی، به حفظ تعادل انرژی در ماهیان نیز کمک می‌کنند (Aprotosoae *et al.*, 2018; Huang *et al.*, 2020). از دیگر نتایج تحقیق حاضر کاهش معنی‌دار میزان انرژی اتلافی ناشی از ترشح آمونیاک و اوره در تیمارهای گیاهی بود. به‌طور خاص، تیمار 3 Herbal Oil بیشترین کاهش را در اتلاف انرژی را نشان داد که با یافته‌های Elliott (۱۹۷۶) و Shourbela و همکاران (۲۰۲۱) در مورد بهبود تعادل انرژی در ماهیان تغذیه‌شده با اسانس‌های گیاهی مطابقت داشت. همچنین نسبت دی‌اکسیدکربن مترشحه به اکسیژن مصرفی (RQ) و نسبت نیتروژن مترشحه به اکسیژن مصرفی (NQ) در تیمارهای اسانس گیاهی نیز کاهش معنی‌داری داشت که بیانگر بهبود عملکرد تنفسی و سوخت‌وساز سلولی می‌باشد (Firmino *et al.*, 2020). تنگستانی و همکاران (۱۳۹۰) نشان دادند که استفاده از اسانس سیر با بهبود وضعیت فیزیولوژیک فیل‌ماهیان، دفع متابولیت‌های نیتروژنی را کاهش می‌دهد. همچنین، پیغان و همکاران (۱۳۹۳) گزارش کردند که عصاره سیر، اگرچه تأثیر مستقیمی بر رشد کپور معمولی نداشت، اما با بهبود سلامت کبد و کاهش استرس متابولیکی، می‌تواند دفع نیتروژن را تعدیل کند.

تأثیر اسانس‌های گیاهی بر حمل و نقل‌های کوتاه‌مدت لاروهای کپور معمولی کاهش ترشح آمونیاک و اوره در تیمارهای حاوی اسانس گیاهی بود که نشان‌دهنده افزایش مقاومت بچه‌ماهیان به استرس است. طبق گزارش Li و همکاران (۲۰۲۲) استفاده از ترکیبات گیاهی می‌تواند با

افزایش جذب مواد مغذی، عملکرد رشد کپور کوی را بهبود می‌بخشد. El-Hawarry و همکاران (۲۰۱۸) شاهد افزایش معنی‌داری پارامترهای رشد در پی افزودن اسانس پونه کوهی به جیره غذایی ماهی تیلاپپای نیل بودند. در مورد تأثیرات آویشن نیز Al-Safah و Al-Faragi (۲۰۱۷) گزارش دادند که تیمول و کارواکرول موجود در اسانس آویشن با تحریک آنزیم‌های گوارشی و کاهش استرس اکسیداتیو باعث بهبود وضعیت رشد و کارایی تغذیه‌ای در ماهی کپور معمولی شد. در تحقیقی دیگر Gholipour Kanani و همکاران (۲۰۱۴) نیز نشان دادند که مکمل‌سازی جیره غذایی بچه فیل‌ماهی (*Huso huso*) با سیر و زنجبیل باعث بهبود رشد و پارامترهای خونی می‌شود، که با نتایج این مطالعه همخوانی دارد. Gholamhosseini و همکاران (۲۰۲۱) پس از ۶۰ روز مصرف ۱ تا ۳ درصد ترخون، بهبود معنی‌دار رشد بچه ماهیان قزل‌آلای رنگین‌کمان را مشاهده کردند. این محققین نتایج به‌دست آمده را به اثرات ترخون بر اشتها، عملکرد پانکراس و نیز ترکیبات فنولیک و معطر در این گیاه نسبت دادند (Hajirezaee *et al.*, 2024). در سایر مطالعات نیز نتایج مشابهی گزارش شد (Heluy *et al.*, 2020; Mohammadi *et al.*, 2020; Shourbela *et al.*, 2021; Magouz *et al.*, 2022).

کاهش ترشح آمونیاک و اوره در تیمارهای حاوی نانومولسیون اسانس‌های گیاهی نشان‌دهنده بهبود متابولیسم نیتروژن و کاهش بار متابولیکی در بچه‌ماهیان کپور معمولی بود. این یافته با مطالعات اخیر همخوانی دارد که نشان می‌دهند ترکیبات زیست‌فعال گیاهی، مانند تیمول، کارواکرول و آلیسین، می‌توانند با تنظیم متابولیسم پروتئین و کاهش فعالیت آنزیم‌های کاتابولیک، دفع متابولیت‌های نیتروژنی را کاهش دهند (Firmino *et al.*, 2020, 2021). به‌ویژه، تیمار 1 Herbal oil (با غلظت ۳/۵ میکرولیتر بر گرم) کمترین میزان دی‌اکسید کربن مترشحه را نشان داد، که احتمالاً به دلیل بهبود کارایی تنفسی و کاهش استرس متابولیکی است. این نتایج با یافته‌های Dosdat و همکاران (۱۹۹۵) که نشان دادند جیره‌های غذایی غنی‌شده می‌توانند مصرف اکسیژن و تولید دی‌اکسید کربن را بهینه کنند، سازگار است. یافته‌های Engin و Carter (۲۰۰۱) نیز ارتباط مستقیمی بین کیفیت جیره غذایی و کاهش دفع ترکیبات نیتروژنی در ماهیان پرورشی نشان داد. از طرفی، اسانس‌های

قزل‌آلای رنگین‌کمان (*Oncorhynchus mykiss*) منجر به افزایش باکتری‌های مفید مانند *Streptococcus dutetiensis* *Oscillospirales* و *Methylobacterium-Methylorubrum* و کاهش پاتوژن‌های بالقوه مانند *Mycoplasma Morganellaceae* و *Paenalcaligenes* شد که نشان‌دهنده تعدیل میکروبیوتای روده بود (Ding et al., 2024). این تغییرات میکروبی احتمالاً نه تنها دفع نیتروژن را کاهش می‌دهند، بلکه با بهبود هضم و جذب مواد مغذی، کارایی تغذیه‌ای و متابولیسم انرژی را افزایش می‌دهند. در مجموع، نتایج تحقیق حاضر نشان داد که استفاده از نانوامولسیون اسانس‌های گیاهی به‌ویژه در دوز ۷ میکرولیتر بر گرم خوراک، نه تنها موجب ارتقای شاخص‌های رشد و تغذیه‌ای شد، بلکه با کاهش تولید متابولیت‌های زائد و کاهش انرژی اتلافی، وضعیت متابولیکی مطلوب‌تری را در لاروهای کپور ایجاد کرد. بنابراین، استفاده از این ترکیب گیاهی طبیعی می‌تواند به‌عنوان افزودنی کارآمد در جیره غذایی ماهیان پرورشی مطرح شده و گامی مؤثر در جهت افزایش پایداری، بهره‌وری و کاهش فشارهای زیست‌محیطی در سیستم‌های آبی‌پروری به‌شمار رود.

تقدیر و تشکر

نویسندگان از همکاری شرکت فناور طلای طبیعت کوه‌رنگ در خصوص در اختیار گذاشتن محصول امولسیون نانواسانس ترکیبی گیاهان آویشن، پونه و سیر و همچنین حمایت مالی، کمال تشکر و قدردانی را داریم.

کاهش پاسخ‌های استرسی در بهبود هموستازی فیزیولوژیک نیز مؤثر است. در تأیید این موارد افزودن ۵ میلی‌گرم/لیتر تیمول به آب حمل و نقل کپور معمولی به‌طور مؤثری غلظت آمونیاک را کاهش داد (Mirzargar et al., 2021). Yousefi و همکاران (۲۰۲۴) نیز نشان دادند که افزودن تیمول و کارواکرول به آب حمل و نقل کپور معمولی متابولیت‌های نیتروژنی را به‌طور معنی‌داری کاهش داد. این اثرات احتمالاً به‌دلیل خواص ضد استرسی و تعدیل‌کنندگی ایمنی اسانس‌های گیاهی است که از طریق تنظیم محور هیپوتالاموس-هیپوفیز-آدرنال (HPA) عمل می‌کنند (Ben-Azu et al., 2023; Fung et al., 2021;) (Fernandes et al., 2021; Alam et al., 2024). از طرفی تأیید شده است، که اسانس‌های گیاهی می‌توانند تعادل میکروبی روده را به نفع باکتری‌های مفید، مانند باسیلوس‌ها و لاکتوباسیلوس‌ها تغییر دهند و حضور باکتری‌های بیماری‌زا مانند *Vibrio* را کاهش دهد (Huyben et al., 2021; Chen et al., 2023; Dang et al., 2024; Trejo-Ramos et al., 2025; Lin et al., 2025). در همین ارتباط Zaminhan-Hassemer و همکاران (۲۰۲۲) گزارش دادند که استفاده ترکیبی از اسانس‌ها (کارواکرول، تیمول و سینامالدهید) در جیره غذایی بچه ماهیان تیلاپیا (*Oreochromis niloticus*) باعث افزایش فراوانی جنس‌های باکتریایی مفید مانند *Candidatus xiphinematobacter* و *Staphylococcus* و کاهش باکتری‌های بیماری‌زا مانند *Pseudomonas* و *Lactobacillus* شد. در تحقیقی دیگر نیز بکارگیری اسانس پونه کوهی در جیره غذایی ماهی

منابع

- بیغان ر.، رضایی ا.، زادپرور ن. ۱۳۹۳. مطالعه تاثیر عصاره سیر خام بر میزان رشد و هیستوپاتولوژی کبد، کلیه و حباب رودهای در ماهی کپور معمولی (*Cyprinus carpio* L). *مجله تحقیقات دامپزشکی و فرآورده‌های بیولوژیک*. ۲۷(۴): ۶۸-۷۶.
- تنگستانی ر.، علیزاده دوغیکالی ا.، ابراهیمی ع.، زارع پ. ۱۳۹۰. اثر اسانس گیاه سیر بر شاخص‌های هماتولوژیک فیل ماهیان جوان پرورشی (*Huso huso*). *مجله تحقیقات دامپزشکی و فرآورده‌های بیولوژیک*. ۳(۳): ۲۱۵-۲۰۹.
- سالنامه آماری شیلات ایران. ۱۴۰۲. معاونت برنامه‌ریزی و توسعه مدیریت. دفتر برنامه و بودجه سازمان شیلات ایران، ۶۴ صفحه.
- Abdel-Latif H.M.R., Abdel-Tawwab M., Khafaga A.F., Dawood M.A.O. 2020. Dietary oregano essential oil improved the growth performance via enhancing the intestinal morphometry and hepato-renal functions of common carp (*Cyprinus carpio* L.) fingerlings. *Aquaculture* 526, 431-439.
- Adhikari S. 2006. Soil and water quality management in aquaculture. *Handbook of Fisheries and Aquaculture*, Indian Council of Agricultural Research, New Delhi. pp. 1-30.

- Agarwal K.C. 1996.** Therapeutic action of garlic constituents. *Medicinal Research Reviews* 16, 111-124.
- Alagawany M., Farag M.R., Salah A.S., Mahmoud M.A. 2020.** The role of oregano herb and its derivatives as immunomodulators in fish. *Reviews in Aquaculture* 12, 2481-2492.
- Alam S., Urva-til-wusqa Z.I., Qamar M.R., Moeen Afzal G.M., Ali H.M., Hussain R. 2024.** Immunostimulation and stress reduction in farmed fish fed herbal extracts. *Complementary and Alternative Medicine: Botanicals/Homeopathy/Herbal Medicine*, Unique Scientific Publishers, Faisalabad, Pakistan. pp: 422-430.
- AlSafah A.H., Al-Faragi J.K. 2017.** Influence of thyme (*Thymus vulgaris*) as feed additives on growth performance and antifungal activity on *Saprolegnia* spp. in *Cyprinus carpio* L. *Entomology and Zoology Studies* 5(6), 1598-1602.
- APHA. 2012.** Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 22nd ed. American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation, Washington D.C., USA.
- Aprotosoai A.C., Luca V.S., Trifan A., Miron A. 2018.** Antigenotoxic potential of some dietary non-phenolic phytochemicals. *Studies in Natural Products Chemistry* 60, 223-297.
- Ben-Azu B., Adebayo O.G., Moke E.G., Omogbiya A.I., Oritsemuelebi B., Chidebe E.O., Chukwuma C. 2023.** Geraniol attenuates behavioral and neurochemical impairments by inhibitions of HPA-axis and oxido-inflammatory perturbations in mice exposed to post-traumatic stress disorder. *Journal of Psychiatric Research* 168, 165-175.
- Brafield A.E. 1985.** Laboratory studies of energy budgets. In: Tytler, P., Calow, P. (Eds.), *Fish Energetics: New Perspectives*. Croom Helm, London. pp: 257-282.
- Brenes A., Roura E. 2010.** Essential oils in poultry nutrition: Main effects and modes of action. *Animal Feed Science and Technology* 158(1-2), 1-14.
- Chen J., Wu S., Wu R., Ai H., Lu X., Wang J., Cao J. 2023.** Essential oil from *Artemisia argyi* alleviated liver disease in zebrafish (*Danio rerio*) via the gut-liver axis. *Fish & Shellfish Immunology* 140, 108962.
- Crab R., Defoirdt T., Bossier P., Verstraete W. 2012.** Biofloc technology in aquaculture: Beneficial effects and future challenges. *Aquaculture* 356, 351-356.
- Dang Y., Zhao C., Kuan K.C.S., Cao X., Wang B., Ren Y. 2024.** Effects of dietary oregano essential oil-mediated intestinal microbiota and transcription on amino acid metabolism and *Aeromonas salmonicida* resistance in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture International* 32(2), 1835-1855.
- De Silva S.S., Anderson T.A. 1995.** *Fish Nutrition in Aquaculture*. Chapman & Hall, London. 319 p.
- Dosdat A., Metailler R., Tetu N., Servais F., Chartois H., Huelvan C., Desbruyeres E. 1995.** Nitrogenous excretion in juvenile turbot, *Scophthalmus maximus* under controlled conditions. *Aquaculture* 26, 639-650.
- Ebeling J.M., Timmons M.B., Bisogni J.J. 2006.** Engineering analysis of the stoichiometry of photoautotrophic, autotrophic, and heterotrophic removal of ammonia-nitrogen in aquaculture systems. *Aquaculture* 257(1), 346-358.
- Elliott J.M. 1976.** Energy losses in the waste products of brown trout (*Salmo trutta* L). *Animal Ecology* 45, 561-580.
- Engin K., Carter C.G. 2001.** Ammonia and urea excretion rates of juvenile Australian short-finned eel (*Anguilla australis australis*) as influenced by dietary protein level. *Aquaculture* 199, 123-136.
- FAO. 2020.** *The State of World Fisheries and Aquaculture 2020. Sustainability in Action*. FAO, Rome.
- Farahi A., Kasiri M., Sudagar M., Iraei M.S., Shahkolaei M.D. 2010.** Effect of garlic (*Allium sativum*) on growth factors, some hematological parameters and body compositions in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture, Aquarium, Conservation & Legislation* 3(4), 317-323.
- Farhangi M., Adineh H., Harsij M. 2022.** Protective, immunologic, and histopathologic effects of garlic extract (*Allium sativum*) on rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) exposed to acute toxicity with copper (Cu²⁺). *Iranian Journal of Veterinary Science and Technology* 14(4), 26-36.
- Fernandes L.C.B., Costa I.M., Freire M.A.M., Lima F.O.V., Neta F.I., de Souza Lucena E.E., Guzen F.P. 2021.** Essential oils in experimental models of neuropsychiatric disorders: A systematic review. *Current Neuropharmacology* 19(10), 1738-1759.

- Firmino J.P., Vallejos-Vidal E., Balebona M.C., Ramayo-Caldas Y., Cerezo I.M., Salomón R., Gisbert E. 2021.** Diet, immunity, and microbiota interactions: An integrative analysis of the intestine transcriptional response and microbiota modulation in gilthead seabream (*Sparus aurata*) fed an essential oils-based functional diet. *Frontiers in Immunology* 12, 625297.
- Firmino J.P., Vallejos-Vidal E., Sarasquete C., Ortiz-Delgado J.B., Balasch J.C., Tort L., Gisbert E. 2020.** Unveiling the effect of dietary essential oils supplementation in *Sparus aurata* gills and its efficiency against the infestation by *Sparicotyle chrysophrii*. *Scientific Reports* 10(1), 17764.
- Fortes da Silva R., Martínez F.J., Villarroel M., Sanchez-Vazquez F.J. 2010.** Daily feeding patterns and self-selection of dietary oil in Nile tilapia. *Aquaculture Research* 42(1), 1-10.
- Fung T.K., Lau B.W., Ngai S.P., Tsang H.W. 2021.** Therapeutic effect and mechanisms of essential oils in mood disorders: Interaction between the nervous and respiratory systems. *International Journal of Molecular Sciences* 22(9), 4844.
- Gholamhosseini A., Hosseinzadeh S., Soltanian S. 2021.** Effect of dietary supplements of *Artemisia dracunculus* extract on the haemato-immunological and biochemical response, and growth performance of the rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture Research* 52(5), 2097-2109.
- Gholipour Kanani H.G., Nobahar Z., Kakoolaki S., Jafarian H. 2014.** Effect of ginger- and garlic-supplemented diet on growth performance, some hematological parameters and immune responses in juvenile *Huso huso*. *Fish Physiology and Biochemistry* 40(2), 481-490.
- Hajirezaee S., Khanjani M.H., Ahani S., Ghiasvand Z. 2024.** Tarragon (*Artemisia dracunculus*) essential oil at optimized dietary levels prompted growth, immunity, and resistance to enteric red-mouth disease in the rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture Research* 2024(1), 3273850.
- Hevroy E.M., Espe M., Waagbo R., Sandness K., Rund M., Hemer G.I. 2005.** Nutrition utilization in Atlantic salmon (*Salmo salar*) fed increased level of fish protein hydrolysate during a period of fast growth. *Aquaculture Nutrition* 11, 301-313.
- Huang W., Yao C., Liu Y., Xu N., Yin Z., Xu W., Ai Q. 2020.** Dietary allicin improved the survival and growth of large yellow croaker (*Larimichthys crocea*) larvae via promoting intestinal development, alleviating inflammation and enhancing appetite. *Frontiers in Physiology* 11, 587674.
- Huyben D., Chiasson M., Lumsden J.S., Pham P.H., Chowdhury M.A.K. 2021.** Dietary microencapsulated blend of organic acids and plant essential oils affects intestinal morphology and microbiome of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Microorganisms* 9(10), 2063.
- Jones W.B. 1997.** Researching alternative medicine. *Nature Medicine* 3(8), 824-826.
- Li M., Wei D., Huang S., Huang L., Xu F., Yu Q., Liu M., Li P. 2022.** Medicinal herbs and phytochemicals to combat pathogens in aquaculture. *Aquaculture International* 30, 1239-1259.
- Lin Z., An S., Zhou C., Chen Y., Gao Z., Feng J., Yu W. 2025.** Effects of eucalyptus essential oil on growth, immunological indicators, disease resistance, intestinal morphology and gut microbiota in *Trachinotus ovatus*. *Microorganisms* 13(3), 537.
- Maggon K. 2005.** Best selling human medicine 2002–2004. *Drug Discovery Today* 11, 739-742.
- Nazerian S., Gholipour Kanani H., Jafaryan H., Soltani M., Patimar R., Esmaili Mola A. 2016.** Effect of purple coneflower (*Echinacea purpurea*) and garlic (*Allium sativum*) as a supplemented dietary intake on some non-specific immune status, hematological parameters and growth performance in grower (*Huso huso*). *Iranian Journal of Veterinary Science and Technology* 8, 29-39.
- Prasad S., Variyur Padhyoy K. 1993.** Chemical investigation of some commonly used spices. *Aryavaidyan* 6(4), 262-267.
- Reverter M., Bontemps N., Lecchini D., Banaigs B., Sasal P. 2014.** Use of plant extracts in fish aquaculture as an alternative to chemotherapy: Current status and future perspectives. *Aquaculture* 433, 50-61.
- Shourbela R.M., El-Hawarry W.N., Elfadadny M.R., Dawood M.A.O. 2021.** Oregano essential oil enhanced the growth performance, immunity, and antioxidative status of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) reared under intensive systems. *Aquaculture* 542, 351-362.
- Sivam G.P. 2013.** Recent advances on the nutritional effects associated with the use of garlic as supplement. *American Social Nutrition Science* 131, 1106-1108.
- Solorzano L. 1969.** Determination of ammonia in natural waters by the phenolhypochlorite method. *Limnology and Oceanography* 14, 799-801.

- Trejo-Ramos D.A., Rodríguez-Arana C.O., Cruz-Flores R., Hernández-Rodríguez M. 2025.** Effect of oregano essential oil on growth and composition of gut prokaryote microbiota on striped bass (*Morone saxatilis*). *Microorganisms* 13(2), 264.
- Zaminhan-Hassemer M., Zagolin G.B., Perazza C.A., Barbosa D.A., Menegidio F.B., Coutinho L.L., Hilsdorf A.W.S. 2022.** Adding an essential oil blend to the diet of juvenile Nile tilapia improves growth and alters the gut microbiota. *Aquaculture* 560, 738581.
- Zhang R., Wang X.W., Liu L.L., Cao Y.C., Zhu H. 2020.** Dietary oregano essential oil improved the immune response, activity of digestive enzymes, and intestinal microbiota of the koi carp, *Cyprinus carpio*. *Aquaculture* 518, 235-244.

Application of a nanoemulsion blend of thyme (*Thymus vulgaris*), garlic (*Allium sativum*), and oregano (*Origanum vulgare*) essential oils in the diet of common carp (*Cyprinus carpio*) larvae and its effects on growth performance, metabolic excretion, and energy loss

Zahra Kohestani, Hojatollah Jafaryan*, Hossein Adineh, Zia Kordjazi

Department of Fisheries, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Gonbad Kavous University, Gonbad Kavous, Iran.

*Corresponding author: hojat.jafaryan@gmail.com

Received: 15.May.2025

Accepted: 24.Jul.2025

Abstract

This study was conducted to evaluate the effects of a nanoemulsion containing a combination of thyme, oregano, and garlic essential oils on growth performance, nutritional indices, metabolic excretion rates, and energy loss in common carp (*Cyprinus carpio*) larvae over a 56-day period. A total of 360 larvae with an average weight of 2.43 ± 0.37 g was randomly distributed into 12 plastic tanks (30 larvae per tank) after a one-week acclimation period. The larvae were fed diets supplemented with 0 (control), 3.5, 7, and 14 μL of nanoemulsion per gram of feed. The best growth and nutritional performance indicators—including final weight, specific growth rate, feed conversion efficiency, nutrient utilization ratios, and gastro-somatic index—were observed in the group receiving 7 $\mu\text{L}/\text{g}$ of nanoemulsion. The lowest feed intake, ammonia and urea excretion, and associated energy loss were primarily found in the 3.5 and 14 $\mu\text{L}/\text{g}$ treatment groups ($P < 0.05$). Following a five-hour transport stress test, larvae in the 7 $\mu\text{L}/\text{g}$ group showed a significant reduction in metabolite excretion and energy loss ($P < 0.05$). Overall, the results suggest that the herbal nanoemulsion, particularly at a dose of 7 $\mu\text{L}/\text{g}$ of feed, can enhance growth performance and feed efficiency while reducing metabolic stress following transport in common carp larvae. Thus, these natural additive holds promise as an effective strategy to improve biological efficiency and sustainability in aquaculture systems.

Keywords: Medicinal plants, Nutritional efficiency, Growth parameters, Common carp