University of Guilan with collaboration of Iranian Aquaculture Society

Aquatic Animals Nutrition

Vol. 8, No. 3, 2022, pages: 67-83
DOI: 10.22124/janb.2023.24089.1192

Effects of dietary vitamin E and Zn on growth performance and metabolism rate of common carp (*Cyprinus carpio*, Linnaeus 1758) during exposure to chronic hypoxia

Ahmad Mohamadi Yalsuyi[1*], Abdolmajid Hajimoradloo[1], Hamed Paknejad[1], Aliakbar Hedayati[2], Rasul Ghorbani[2]

1- Department of Aquaculture, College of Fisheries and Environment, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Golestan, Iran.

2- Department of Production and Utilization Aquatics, College of Fisheries and Environment, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Golestan, Iran.

Received 5 May 2022 Revised 18 September 2022 Accepted 20 September 2022

KEYWORDS

Dietary supplements
Freshwater fish
Oxidative stress
Metabolic rate
Production efficiency

ABSTRACT

Oxygen concentration is known as one of the limiting factors in aquaculture production. The present study aimed to evaluate the effects of vitamin E and zinc (Zn) on the metabolic rate and some growth indices in common carp *Cyprinus carpio* exposed to chronic low oxygen levels. So, 495 fingerling fish with an average weight of 15.38 ± 1.23 g were randomly selected and divided into two independent groups and fed with diets containing different amounts of vitamin E and Zn for 8 weeks. The vitamin E and Zn (E:Zn) concentrations were 0:0, 60:0, 0:20, 60:20 mg/kg for the control groups (C_1-C_4) and 0:0, 60:0, 0:20, 60:20, 0:40, 120:0 and 120:40 mg/kg for the treatment groups (T_1-T_4), respectively. All the physicochemical parameters of water except oxygen were the same for both control and treatment groups. Oxygen concentration for the control and the treatment groups were 8.7 ± 0.43 and 4.1 ± 0.38 mg/L, respectively. Chronic hypoxia led to a significant decrease in growth indices such as final weight and body length ($p<0.05$). In addition, the level of fish basic metabolic rate and maximum fish metabolic rate, aerobic metabolism scope in chronic hypoxia conditions were significantly lower than the control group ($p<0.05$). Nevertheless, using dietary supplements in the fish diet led to a significant improvement in the examined parameters in the treatment groups ($p<0.05$). The results of the present study showed that using food supplements, in addition to improving the metabolic rate of fish under chronic hypoxia condition, lead to an elevated efficiency of feeding and growth, which is directly related to the production efficiency of aquaculture systems.

*Corresponding author: Ahmad_m.yalsuyi@yahoo.com

دانشگاه گیلان با مشارکت انجمن آبزی‌پروری ایران

تغذیه آبزیان

سال هشتم، شماره سوم، تابستان ۱۴۰۲، صفحات ۸۳-۶۷

DOI: 10.22124/janb.2023.24089.1192

"مقاله پژوهشی"

تأثیر رژیم‌های غذایی حاوی مکمل‌های روی (Zn) و ویتامین E بر نرخ سوخت و ساز و برخی شاخص‌های رشد ماهی کپور معمولی (*Cyprinus carpio*) در مواجهه با کمبود مزمن اکسیژن محلول در آب

احمد محمدی یلسوئی[1*]، عبدالمجید حاجی مرادلو[1]، حامد پاک‌نژاد[1]، سید علی اکبر هدایتی[2]، رسول قربانی[2]

۱- گروه تکثیر و پرورش آبزیان، دانشکده شیلات و محیط زیست، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گلستان

۲- گروه تولید و بهره‌برداری آبزیان، دانشکده شیلات و محیط زیست، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گلستان

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۲/۱۵ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۰۶/۲۷ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۶/۲۹

چکیده

غلظت اکسیژن به عنوان یکی از فراسنجه‌های فیزیکوشیمیایی آب همواره یکی از عوامل محدود کننده در تولیدات آبزی پروری بوده است. هدف از مطالعه حاضر، ارزیابی تأثیر استفاده از ویتامین E و روی (Zn) بر نرخ سوخت و ساز و برخی از شاخص‌های رشد ماهی کپور معمولی (*Cyprinus carpio*) در مواجهه با کمبود مزمن اکسیژن بود. برای این منظور، ۴۹۵ قطعه ماهی انگشت قد با میانگین وزنی ۱/۲۳ ± ۱۵/۳۸ گرم به روش کاملاً تصادفی انتخاب، و در دو گروه مستقل تقسیم شدند و با جیره‌های حاوی مقادیر مختلف ویتامین E و Zn به مدت ۸ هفته تغذیه شدند. غلظت ویتامین E و Zn (E:Zn) برابر ۰:۰، ۶۰:۰، ۰:۲۰، ۶۰:۲۰ mg/kg برای گروه شاهد (C_1-C_4) و ۰:۰، ۶۰:۰، ۰:۲۰، ۶۰:۲۰، ۰:۴۰، ۱۲۰:۰ و ۱۲۰:۴۰ mg/kg جیره برای گروه تیمار (T_1-T_7) بود. تمام شاخص‌های فیزیکوشیمیایی آب بجز اکسیژن برای هر دو گروه شاهد و تیمار یکسان بود. غلظت اکسیژن برای گروه شاهد و تیمار به ترتیب ۰/۴۳ ± ۸/۷ و ۰/۳۸ ± ۴/۱ میلی‌گرم در لیتر بود. نرخ سوخت و ساز و فراسنجه‌های رشد در پایان دوره ارزیابی شد. تجزیه و تحلیل داده‌ها نشان داد که کمبود مزمن اکسیژن منجر به کاهش معنی‌دار شاخص‌های رشد از قبیل وزن نهایی و درازای بدن شد ($p<0/05$). هم‌چنین، سطح نرخ سوخت و ساز پایه ماهی و بیشینه نرخ سوخت و ساز ماهی، دامنه یا افق سوخت و ساز هوازی ماهی در شرایط کمبود اکسیژن به شکل معنی‌دار کمتر از گروه شاهد بود ($p<0/05$). با وجود این، استفاده از مکمل‌های خوراکی مورد اشاره در رژیم غذایی ماهی منجر به بهبود معنی‌دار شاخص‌های مورد مطالعه در گروه تیمار شد ($p<0/05$). نتایج مطالعه حاضر نشان داد که استفاده از مکمل‌های خوراکی علاوه بر بهبود نرخ سوخت و ساز ماهی در شرایط کمبود مزمن اکسیژن، منجر به افزایش کارایی تغذیه و رشد ماهی در این شرایط می‌شود که ارتباط مستقیم با بازده تولید تأسیسات آبزی پروری دارد.

کلمات کلیدی

مکمل‌های خوراکی

ماهیان آب شیرین

استرس اکسیداتیو

نرخ سوخت و ساز

بازده تولید

نویسنده مسئول: Ahmad_m.yalsuyi@yahoo.com

مقدمه

آبزی‌پروری یکی از صنایع در حال رشد در سال‌های اخیر بوده است (Forouhar Vajargah et a. 2017; Yalsuyi et al. 2021). آبزی‌پروری به عنوان یک راهکار عملی در ارتباط با ایجاد اشتغال، توسعه پایدار و ارتقا امنیت غذایی در کشورهای در حال توسعه همواره مورد توجه بوده است؛ به گونه‌ای که در یک برآورد انجام شده در سال ۲۰۱۶ حدود ۸۰٪ تولیدات آبزی‌پروری متعلق به کشورهای در حال توسعه بوده است (Phillips et al. 2016). با وجود این، توسعه آبزی پروری در تمام نقاط جهان به ویژه کشورهای در حال توسعه همواره با مخاطراتی از قبیل تغییرات اقلیمی و رخدادهای طبیعی نظیر خشکسالی و سیل، آلودگی منابع آبی، کمبود زمین و بیماری مواجه بوده است (Sattari et al. 2020a; Vajargah et al. 2021). از سوی دیگر تراکم و بار مواد آلی در محیط‌های پـرورشی معمولا بـیش‌تر از محیط‌های طبیعی است که این امر می‌تواند تا حدود زیادی زمینه‌ی تغییرات حاد و مزمن محیطی را فراهم سازد (Oyugi et al. 2012; Vajargah et al. 2013). شاخص های فیزیکوشیمیایی آب از قبیل دما، غلظت آمونیاک و غلظت اکسیژن محـلول از شناخته شده‌ترین عوامل محدودکننده تولیدات آبزی پروری هستند (Zhao et al. 2018). غلظت اکسیژن محلول ارتباط مستقیمی با تنفس یاخته ای و سوخت و ساز ماهی دارد (Mallya. 2007).

ماهی به عنوان یک جاندار آبزی همواره در تعامل با محیط اطراف خود است (Vali et al. 2022)؛ این تعامل از طریق پاسخ‌های رفتاری و فیزیولوژیک بروز و نمود می‌یابد (Mohamadi Yalsuyi et al. 2022). جهت و هدف نهایی تمام این پاسخ‌ها تداوم بقا و حفظ هموستازی بدن یا هم‌ایستایی جاندار است (Pichavant et al. 2001; Sattari et al., 2020b). در ارزیابی پاسخ‌های رفتاری و فیزیولوژیک معمولا با چندین مسیر و نقطه تلاقی مواجه هستیم. به عبارتی تمام پاسخ های جانداران اعم از رفتاری و فیزیولوژیک حاصل برهم‌کنش محرک‌های داخلی و خارجی به ترتیب از قبیل حس گرسنگی و تغییرات فیزیکوشیمیایی آب است (Manning and Kime. 1984; Hajiahmadian et al. 2012)؛ با این حال تمام جانداران شامل ماهی و دیگر آبزیان تنها قادر هستند در بازه مشخصی از تغییرات محیطی و فیزیولوژیک سازگاری یابند و موفق باشند (Fiess et al. 2007; Sattari et al. 2020c). ماهی و دیگر جانداران برای تطبیق با تغییرات محیطی ملزم به صرف انرژی هستند. از این رو، هرچه دامنه تغییرات وسیع‌تر باشد ماهی انرژی بیش‌تری مصرف خواهد کرد که این صرف انرژی می‌تواند منجر به کاهش رشد، شانس بقا و سطح سلامت ماهی شود (Mandic et al. 2009).

استفاده از افزودنی‌های خوراکی از قبیل ویتامین‌ها و مکمل‌های معدنی در جیره غذایی آبزیان یکی از راهکارهای عملی در راستای مدیریت مزارع و بهبود عملکرد آبزیان در مواجه با شرایط استرس‌زا است (Martínez et al. 2017). ویتامین‌ها در واقع ترکیبات آلی هستند که در بدن اغلب جانوران به مقدار کم وجود دارند یا برای رفع نیاز فیزیولوژیک جاندار به مقدار کافی در بدن تولید نمی شود؛ اغلب جانوران برای تأمین به اندازه این ترکیبات، به منابع غذایی خود وابسته‌اند (Woodward, 1994). کمبود ویتامین در بدن معمولا منجر به اختلال در عملکرد اندام‌های مختلف و بروز نارسایی از قبیل کاهش رشد، ضعف دستگاه ایمنی بدن، نارسایی در ساخـتار اسـکلتی، کـم خونی و فلج شدگی می شود (Ravisankar et al. 2015). افزودنی‌های معدنی همان عناصر معدنی هستند که جانداران برای تداوم حیات به آن‌ها نیازمند است. به دلیل ماهیت غیرآلی این عناصر جانداران برای تأمین آن کاملاً به محیط وابسته هستند (Oliva-Teles. 2015). کمبود مزمن عناصر معدنی می‌تواند منجر به کاهش رشد، مشکلات حرکتی، کم‌خونی، نارسایی مزمن اندام‌های داخلی و در برخی موارد مرگ شود (Velasco-Santamaría and Corredor-Santamaría, 2011).

ویتامین E به عنوان یک ضداکسایش طبیعی، عملکردی مشابه گلوتاتیون پراکسیداز (Glutathione peroxidase) دارد و از غشـای یاخته‌ای در برابر رادیکال‌های آزاد چربی تولید شده در مسیر واکنش زنجیره‌ای پراکسیداسیون چربی محافظت می‌کند (Hess, 2017)؛ حذف رادیکال‌های آزاد مانع از ادامه واکنش‌های اکسیداسیون می‌شود (Wang and Quinn, 1999). روی (Zn) عنصر فلزی با عدد اتمی ۳۰ است که از نظر فیزیکی در دمای اتاق کمی شکننده است و رنگ مایل به خاکستری و براق است (Prakash et al. 2015). روی از عناصر معدنی کمیاب و ضروری برای جانداران است که ساختار بیش از ۳۰۰ آنزیم و در حدود ۱۰۰۰ ساختار پروتئینی مسئول رونویسی رشته DNA برای سنتز رشته‌های پروتئینی نقش دارد (Cherasse and

Urade, 2017). گستره‌ی عمل روی منجر شده است پس از آهن رتبه دوم را در میان عناصر کمیاب ضروری داشته باشد (Hambidge and Krebs, 2007).

تاثیر معنی دار ویتامین E و Zn بر فرآیندهای بیولوژیک و ضرورت مدیریت غلظت اکسیژن به عنوان یک عامل محدود کننده تولیدات آبزی پروری، در کنار اهمیت کپور معمولی (*Cyprinus carpio* L.) به عنوان یکی از گونه‌های شناخته شده ماهیان آب شیرین که در گستره وسیعی از مزارع پرورش آبزیان از غرب اروپا تا شرق آسیا، آمریکی شمالی و جنوبی و در نهایت آفریقا گسترش یافته است و بخش عمده‌ای از تولیدات آبزی پروری را به خود اختصاص داده است (Nuwansi et al. 2016). تحقیق پیش روی با هدف ارزیابی تأثیر استفاده از مکمل‌های خوراکی در بهبود شاخص های رشد و نرخ سوخت و ساز ماهی در شرایط کمبود مزمن اکسیژن طراحی و اجرا شد.

مواد و روش‌ها

تهیه جیره غذایی

جیره غذایی مورد استفاده در مطالعه حاضر حاوی ۳۲۰ گرم پروتئین خام به ازای هر کیلوگرم جیره بود؛ هم‌چنین میزان چربی، کربوهیدرات، رطوبت و خاکستر جیره مصرفی به ترتیب ۸۰، ۳۳۰، ۱۲۳ و ۱۴۷ گرم به ازای هر کیلوگرم جیره بود (Khara et al. 2016). غلظت مواد مصرفی در جیره در کنار روش تهیه و ذخیره آن بر اساس مطالعات Woodward (۱۹۹۴)، Watanabe و همکاران (۱۹۹۷)، Wang و Quim (۱۹۹۹)، Velasco-Santamaría و Corredor-Santamaría (۲۰۱۱)، Traber و Bruno (۲۰۲۰) و امکانات آزمایشگاهی بود. به این ترتیب که از کازئین (کمپانی Ingredia Dairy Experts، آراس، فرانسه) و آرد ماهی فاقد چربی (تولید TASA، لیما، پرو) به عنوان منبع پروتئین استفاده شد. روغن کبد ماهی کاد (تولید صنایع Ourons، لینکلن شایر، بریتانیا) و روغن ذرت تصفیه شده (تولید صنایع تک ماکارون، تهران، ایران) به‌عنوان منبع چربی بود. دکسترین (محصول کمپانی Zhucheng XingMao Corn Development، شاندونگ، چین) و نشاسته ذرت (محصول شرکت زر فروکتوز، صنایع غذایی زر، البرز ایران) به‌عنوان منبع تأمین هیدروکربن استفاده شد (جدول ۱). آرد ماهی بدون چربی قبل از ترکیب با دیگر اقلام برای حذف محتوای احتمالی ویتامین E با نسبت ۲ به ۱ (اتانول/پودر ماهی- حجمی/وزنی) در اتانول جوشان حل شد (Saheli et al. 2021). هم‌چنین، روغن‌های مورد استفاده براساس مشخصات تولید فاقد ضداکسایش‌های تولید شده بودند. پس از ترکیب اقلام مذکور ویتامین E (DL-آلفا توکوفرول استات، صنایع شیمیایی Sigma، اشتاینهام، آلمان) و روی (ترکیب سولفات روی، محصول صنایع KIRKMAN®، اورگان، ایالات متحده) با نسبت‌های مشخص به جیره پایه افزوده شد. تمام جیره‌های تهیه شده پس از قالب زدن و اتمام فرآیند آب‌گیری در بسته‌بندی شد و تا زمان استفاده در دمای منفی ۱۷ درجه سانتی‌گراد نگهداری شد (Roosta et al. 2014).

تهیه ماهی و دوره سازگاری

تعداد ۶۰۰ قطعه بچه ماهی کپور معمولی انگشت قد با میانگین وزنی ۱/۷۵ ± ۱۲/۸۴ گرم از مزرعه تکثیر و پرورش ماهیان گرمابی واقع در کردکوی، گلستان، ایران تهیه شد و پس از انتقال به محیط آزمایش در شش مخزن نگهداری آبزیان از جنس پلی وینیل کلراید به حجم ۱۵۰۰ لیتر به تعداد مساوی تقسیم شدند؛ مدت زمان دوره سازگاری ۲ هفته بود (Vali et al. 2022). غذادهی تا ۲۴ ساعت پس از انتقال غذادهی متوقف شد و تعداد مرگ و میر ماهیان همراه با شرایط فیزیکوشیمیایی آب، روزانه ثبت شد (Mohamadi Yalsuyi et al. 2022). میزان غذادهی در طی این دوره ۳٪ وزن بدن ماهیان و تعداد وعده‌های غذادهی ۲ بار در روز بود (Goolish and Adelman. 1984). میانگین متغیرهای فیزیکوشیمیایی آب در طی دوره‌ی سازگاری به شرح ذیل بود. میانگین غلظت اکسیژن محلول معادل ۰/۰۴ ± ۸/۷ میلی گرم در لیتر، میانگین دمای آب و pH به ترتیب ۲ ± ۲۶ درجه سانتی‌گراد و ۰/۷ ± ۷/۸، سختی ۱۹۴ میلی‌گرم در لیتر کربنات کلسیم، غلظت آمونیاک مولکولی کمتر از ۰/۰۵ میلی‌گرم در لیتر، نسبت دوره تاریکی به روشنایی ۱:۱ (۱۲ ساعت روشنایی: ۱۲ ساعت تاریکی) بود. در نهایت، هواده جداگانه و نرخ تعویض آب در مخازن نگهداری معادل ۰/۸ لیتر در دقیقه بود (Nuwansi et al. 2016).

جدول ۱ ترکیب جیره مورد استفاده در مطالعه حاضر.

ردیف	نام اقلام مورد استفاده	مقدار (g/kg)
۱	آرد ماهی بدون چربی	۲۳۰
۲	کازئین	۲۳۰
۳	روغن جگر ماهی کاد	۳۰
۴	روغن ذرت	۵۰
۵	نشاسته ذرت	۲۰۰
۶	دکسترین	۱۷۰
۷	آلفا سلولز	۸۰
۸	نمک	۲
۹	ویتامین E	*<۱
۱۰	روی (Zn)	*<۱
۱۱	گلاتین	۶
محتوای جیره		**مقدار (g/kg)**
پروتئین خام		۳۲۰
چربی خام		۸۰
کربوهیدرات		۳۳۰
رطوبت		۱۲۳
خاکستر		۱۴۷

نکته: * وابسته به غلظت ویتامین E و روی در جیره غذایی سهم ترکیبات مذکور متفاوت بود.

آزمایش اصلی

پس از دوره سازگاری ۲۹۷ قطعه ماهی انگشت قد با میانگین وزنی ۱/۲۳ ± ۱۵/۳۸ گرم به ۳۳ مخزن نگهداری آبزیان از جنس پلی‌وینیل‌کلراید به حجم ۲۵۰ لیتر (حجم آب‌گیری ۲۱۰ لیتر) به صورت کاملا تصادفی در قالب دو گروه اصلی شاهد و تیمار به صورت مساوی تقسیم شدند (Win et al. 2019). گروه شاهد (C) دارای ۴ زیر گروه و هر زیر گروه دارای ۳ تکرار بودند. تنها وجه تمایز زیرگروه-های شاهد غلظت ویتامین E و روی (Zn) بود. غلظت مکمل‌های مورد مطالعه در به شرح زیر بود:

غلظت ویتامین E و Zn (E:Zn) در گروه‌های C_1 تا C_4 به ترتیب ۰:۰، ۰:۲۰، ۶۰:۰ و ۶۰:۲۰ mg/kg بود. گروه تیمار (T) دارای ۷ زیر گروه و مشابه گروه قبل هر زیر کروه دارای ۳ تکرار بود. غلظت ویتامین E و Zn در زیر گروه‌های T_1 تا T_7 به ترتیب ۰:۰، ۰:۲۰، ۶۰:۰ و ۶۰:۲۰، ۰:۴۰، ۱۲۰:۰ و ۱۲۰:۴۰ mg/kg بود. مدت زمان آزمایش ۸ هفته بود (Li et al., 2014). در این مدت ماهی‌ها با توجه به گروه‌بندی انجام شده دو وعده در روز معادل ۳٪ وزن بدن با جیره‌های غذایی منتخب تغذیه شدند (Roosta et al. 2014). تمام شرایط فیزیکوشیمیایی آب به جز غلظت اکسیژن مشابه دوره سازگاری بود.

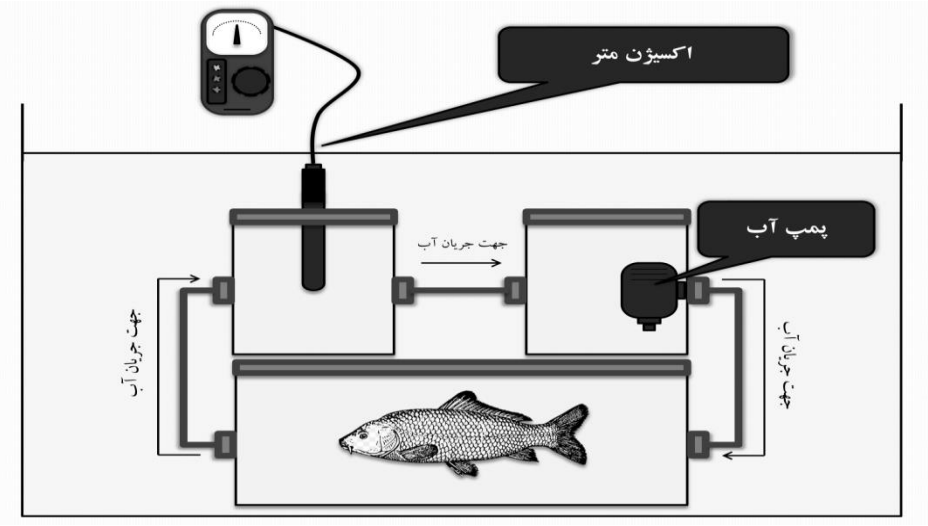
برای القای شرایط مزمن کمبود اکسیژن محلول، غلظت اکسیژن آب قبل از پمپاژ به مخازن نگهداری ماهی مربوط به زیرگروه تیمار گاز نیتروژن با تکیه بر فشار مخزن نگهداری گاز و سنگ هوا با نرخ ۱۵ میلی لیتر در ثانیه به داخل آب تزریق شد که پس از زمان حدود ۸۰ دقیقه (نرخ کاهش اکسیژن با این روش ۰/۰۵ میلی گرم در دقیقه بود) به حدود ۵ میلی‌گرم در لیتر رسید (Butler et al. 1994).

جمع آوری داده‌ها

داده‌های مربوط به متغیرهای فیزیکوشیمیایی آب و مرگ و میر ماهیان به صورت روزانه جمع آوری و ثبت شد (Li et al., 2014). هم‌چنین داده‌های مربوط به رشد ماهی شامل

وزن نهایی و درازای بدن در پایان دوره دوره اندازه‌گیری و ثبت شد (Roosta et al. 2014). به منظور به منظور جلوگیری از خطا آزمایش ۲۴ ساعت قبل از اندازه گیری غذادهی قطع شد و برای کاهش استرس و سکون ماهی از محلول ۱۸۰ mg/L عصاره میخک استفاده شد (Watanabe et al. 1997).

سوخت و ساز پایه (SMR)، بیشترین سطح سوخت و ساز (MMR) و افق (دامنه) سوخت و ساز (AMS) ماهیان در پایان دوره بر اساس مطالعات Bolduc و همکاران (۲۰۰۲)، Rosewarne و همکاران (۲۰۱۶) با استفاده از دستگاه رسپیرومتر (اکسیژن سنج) ارزیابی شد. رسپیرومتر متشکل از ۳ مخزن، شیلنگ‌های اتصال و دستگاه گردش آب (پمپ آب) بود (شکل ۱). مجموع حجم داخلی آن ۱۵ لیتر بود. در زمان آزمایش ماهی در یکی از مخازن قرار می‌گرفت و در مخزن دیگر دستگاه سنجش اکسیژن کار ثبت غلظت اکسیژن را برعهده داشت. سرعت جریان آب کمتر از ۲ m/Sec و مدت زمان این آزمون ۱۰ دقیقه بود و میزان اکسیژن در فواصل زمانی ۲ دقیقه اندازه‌گیری و ثبت شد (Rosewarne et al. 2016). ماهی‌ها ۲۴ ساعت قبل از شروع آزمایش به مخزن آزمایش منتقل شدند (Bolduc et al. 2002). شرایط فیزیکوشیمیایی آب مخازن متناسب با هریک از تیمارها در دوره تغذیه (۸ هفته) بود. برای محاسبه بیشترین سطح سوخت و ساز، ماهی پس از محاسبه سطح سوخت و ساز پایه به یک مخزن جداگانه متناسب با شرایط پرورش منتقل شد و با یک جسم خارجی (انتهای کند سوزن) تحریک به واکنش شد (Serrano. 2013). در این فاصله آب مخزن آزمایش کاملا تعویض و شرایط فیزیکوشیمیایی به ابتدای آزمون محاسبه نرخ سوخت و ساز پایه بازگردانده شد. تحریک ماهی تا زمانی ادامه داشت که ماهی پاسخ معنی داری به محرک ندهد، در این لحظه ماهی بلافاصله به محیط دستگاه باز گردانده شد و مشابه مرحله قبل اندازه‌گیری صورت گرفت (Francis et al. 2002).



شکل ۱ نمایی شماتیک از دستگاه رسپیرومتر و اجزای آن؛ در هنگام آزمون پس از قرار گرفتن بخش شناساگر دستگاه اکسیژن سنج درب قسمت مربوط به مخزن پمپ آب بسته و ارتباط بین داخل دستگاه با خارج آن قطع شد. در تمام مدت دستگاه در داخل آب بود.

برای محاسبه غلظت واقعی ویتامین E و مکمل معدنی روی (Zn) در جیره‌های تهیه شده به ترتیب از روش‌های کروماتوگرافی مایع با کارایی بالا (HPLC) و اسپکتروفتومتری (AAS) استفاده شد (Da-Col et al. 2009; Pinheiro-Sant'Ana et al. 2011).

تجزیه و تحلیل داده‌ها

محاسبه سطح سوخت و ساز پایه از طریق رابطه زیر بود که میلی‌گرم اکسیژن مصرفی را به ازای هر کیلوگرم ماهی بیان می‌کند (Rosewarne et al. 2016).

$$Y = [\beta(K_1V_1 - K_2V_2)]M^{-1}$$

β ضریب انحلال اکسیژن در دما و شوری آب آزمایش است

K_1 و K_2 به ترتیب نرخ کاهش اکسیژن (شیب نمودار) در زمان خالی بودن و حاوی ماهی بودن رسپیرومتر در زمان ۱۰ دقیقه است.

V_1 و V_2 به ترتیب حجم آب موجود در رسپیرومتر در زمان خالی و حاوی ماهی بودن است.

M وزن بدن ماهی به کیلوگرم است.

از آنجا که وزن ماهیان متفاوت بود برای تصحیح مقادیر از شاخص وزن میانگین ($Y_{0.15kg^{-1}}$) استفاده شد. نحوه محاسبه آن به شرح معادله زیر است:

$$\mathrm{Y}_{0.15kg^{-1}} = y_M(M0.15^{-1})^{1-A}$$

y_M؛ نرخ سوخت و ساز ماهی بر اساس وزن

M؛ وزن ماهی

A؛ ضریب ثابت بین میزان مصرف و جرم بدن است که برای ماهی ۰/۸ در نظر گرفته می‌شود.

پس از بررسی نرمال بودن داده‌ها با استفاده از آزمون کولموگروف-اسمیرنوف، به منظور یافتن تفاوت معنی‌دار بین تیمارها از آزمون واریانس یک‌طرفه (One-Way ANOVA) تحت نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۷ در سطح خطای ۵٪ و آزمون چند دامنه‌ای دانکن استفاده شد. برای ارزیابی ارتباط خطی معنی‌دار بین فراسنجه‌های اندازه-گیری شده از آزمون‌های Pearson (درصورت نرمال بودن توزیع داده‌ها) و Spearman (در صورت توزیع غیر نرمال داده‌ها) در سطح ۱٪ استفاده شد. در نهایت تمام داده‌ها بصورت میانگین ± انحراف معیار بیان شد و برای بیان غلظت ویتامین E و روی از غلظت اسمی استفاده شد.

نتایج

غلظت واقعی ویتامین ویتامین E و روی در جیره

تجزیه و تحلیل شیمیایی جیره نشان داد غلظت واقعی ویتامین E و روی کمی بیشتر از غلظت اسمی آنها بود (جدول ۲). غلظت حقیقی ویتامین E و Zn در جیره پایه (جیره شاهد) به ترتیب ۰/۸۶ ± ۹/۸ و ۱/۱۲ ± ۶/۳۴ میلی گرم به ازای هر کیلوگرم جیره بود.

ارزیابی رشد و شانس بقا

تجزیه و تحلیل داده‌های مطالعه حاضر نشان داد که ارتباط معنی‌دار بین کاهش غلظت اکسیژن و افزایش نرخ مرگ و میر ماهیان وجود دارد ($p<0/01$). گروه T_1 با میانگین ۱/۵۳ ± ۶۲/۳۳٪ کمترین میزان نرخ بقا و اعضای گروه شاهد C_1 تا C_4 با نرخ بقای بالای ۹۳٪، بیشترین میزان بازماندگی را داشتند (جدول ۳).

ارزیابی نرخ مرگ‌ومیر اعضای ماهیان نشان داد افزایش غلظت ویتامین E و Zn علاوه بر بهبود شانس بقای ماهی در گروه شاهد، منجر به افزایش شانس بقای اعضای گروه تیمار T_2 تا T_7 شد به گونه‌ای که بین شانس بقای گروه T_7 در مقایسه با گروه C_1 تفاوت معنی داری وجود نداشت ($p>0/05$).

جدول ۲ نتیجه تجزیه تحلیل شیمیایی غلظت واقعی ویتامین E و روی در جیره‌های مورد استفاده در مطالعه حاضر.

گروه‌های آزمایشی		غلظت اکسیژن (mg/L)	غلظت (mg/kg) ویتامین E		روی	
			غلظت اسمی	غلظت واقعی	غلظت اسمی	غلظت واقعی
C	C_1	۸/۷ ± ۰/۴۳	۰	۹/۲۸ ± ۰/۸۶	۰	۶/۳۴ ± ۰/۸۳
	C_2		۰	۹/۲۷ ± ۰/۹۳	۲۰	۲۶/۷۳ ± ۰/۹۶
	C_3		۶۰	۶۸/۸۳ ± ۱/۰۸	۰	۶/۳۵ ± ۰/۷۹
	C_4		۶۰	۶۹/۰۳ ± ۱/۱۷	۲۰	۲۷/۰۳ ± ۱/۰۳
T	T_1	۴/۱ ± ۰/۳۸	۰	۹/۲۸ ± ۰/۸۶	۰	۶/۳۴ ± ۰/۸۳
	T_2		۰	۹/۲۷ ± ۰/۹۳	۲۰	۲۶/۷۳ ± ۰/۹۶
	T_3		۶۰	۶۸/۸۳ ± ۱/۰۸	۰	۶/۳۵ ± ۰/۷۹
	T_4		۶۰	۶۹/۰۳ ± ۱/۱۷	۲۰	۲۷/۰۳ ± ۱/۰۳
	T_5		۰	۹/۲۸ ± ۰/۸۲	۴۰	۴۷/ ۱۱± ۱/۰۵
	T_6		۱۲۰	۱۲۹/۴۷ ± ۰/۹۶	۰	۶/۳۵ ± ۰/۷۳
	T_7		۱۲۰	۱۲۹/۵۷ ± ۱/۰۹	۴۰	۴۶/۹۶ ± ۰/۹۷

نکته: غلظت اکسیژن محلول و غلظت واقعی به صورت میانگین ± انحراف معیار بیان شده است.

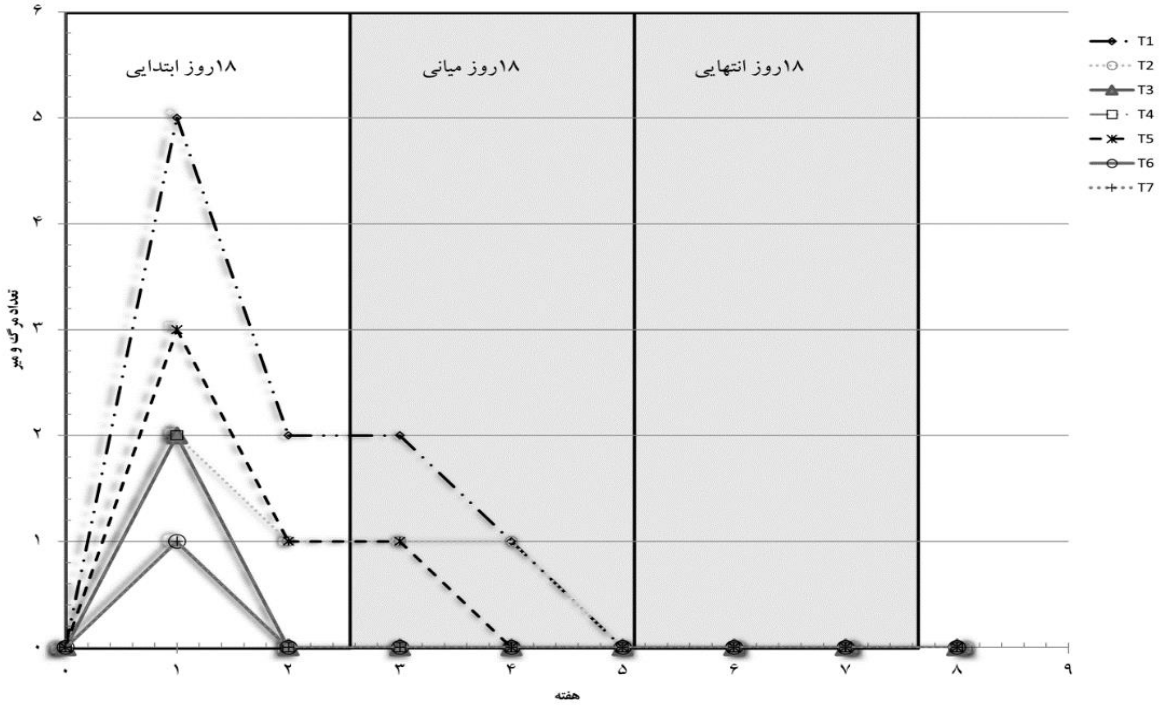
جدول ۳ ارزیابی شاخص های رشد و نرخ بازماندگی کپور معمولی (*Cyprinus carpio*) تغذیه شده با سطوح مختلف ویتامین E و Zn در شرایط بهینه اکسیژن محلول (گروه شاهد-C) و کمبود مزمن اکسیژن (گروه تیمار-T). شاخص های رشد شامل وزن نهایی(FW)، طول بدن (BL) و نرخ بازماندگی (SR) بود. غلظت اسمی ویتامین E و Zn (E:Zn) در گروه‌های C_1 تا C_4 به ترتیب ۰:۰، ۰:۲۰، ۶۰:۰ و ۶۰:۲۰ میلی گرم به ازای هرکیلوگرم جیره (mg/kg) و در گروه‌های T_1 تا T_7 به ترتیب ۰:۰، ۰:۲۰، ۶۰:۰، ۶۰:۲۰، ۰:۴۰، ۱۲۰:۰ و ۱۲۰:۴۰ mg/kg بود.

گروه‌ها (علائم اختصاری)		غلظت اکسیژن (mg/L)	شاخص‌های رشد		
			FW (g)	BL (cm)	SR (%)
گروه شاهد-C	C_1	۸/۷ ± ۰/۴۳	۴۸/۲۰±۰/۸۵^{d}	۱۰/۵۲±۰/۱۳^{b}	۹۳/۳۳±۱/۵۲^{b}
	C_2		۴۸/۹۴±۰/۳۳^{d}	۱۱/۵۴±۰/۰۶^{a}	۹۹/۰۰±۱/۰۰^{a}
	C_3		۵۲/۷۷±۱/۲۰^{b}	۱۱/۵۸±۰/۴۷^{a}	۱۰۰/۰±۰/۰۰^{a}
	C_4		۵۴/۱۶±۱/۱۳^{a}	۱۱/۴۳±۰/۳۹^{a}	۱۰۰/۰±۰/۰۰^{a}
گروه تیمار-T	T_1	۴/۱ ± ۰/۳۸	۳۶/۷۳±۰/۳۲^{g}	۸/۴۳±۰/۲۱^{d}	۶۲/۳۳±۱/۵۳^{e}
	T_2		۴۳/۷۰±۰/۴۰^{f}	۹/۲۴±۰/۰۹^{c}	۸۲/۰۰±۲/۰۰^{d}
	T_3		۴۴/۹۵±۰/۱۶^{d}	۹/۲۵±۰/۰۸^{c}	۹۲/۶۷±۱/۱۵^{bc}
	T_4		۴۷/۵۴±۰/۵۷^{f}	۹/۶۲±۰/۰۴^{c}	۹۱/۰۰±۱/۰۰^{c}
	T_5		۴۵/۲۱±۰/۵۴^{e}	۹/۶۱±۰/۰۴^{c}	۸۳/۳۳±۱/۱۵^{d}
	T_6		۵۱/۰۸ ± ۰/۸۶^{c}	۱۰/۲۴±۰/۰۸^{b}	۹۴/۳۳±۰/۵۸^{b}
	T_7		۵۱/۶۰ ± ۰/۴۷^{bc}	۱۱/۴۲±۰/۰۸^{a}	۹۴/۶۷±۰/۵۸^{b}

نکته: حروف لاتین مشابه (a-d) بیانگر عدم تفاوت معنی داری در مقادیر ستون‌های مشابه است (p>۰/۰۵).

مقایسه عملکرد ویتامین E و Zn در بهبود شانس بقای ماهی کپور معمولی در شرایط کمبود مزمن اکسیژن محلول نشان داد ویتامین E نسبت به روی عملکرد بهتری در کاهش نرخ مرگ و میر ماهی داشت (p<۰/۰۵)؛ با این

وجود، بهترین عملکرد همچنان مربوط به تیمار T_7 بود که غلظت اسمی ویتامین E و Zn به ترتیب برابر ۱۲۰ و ۴۰ (دو برابر غلظت گروه شاهد) میلی‌گرم در کیلوگرم بود. بررسی نمودار مربوط به نرخ مرگ و میر ماهیان در مواجهه با شرایط مزمن کمبود اکسیژن محلول نشان داد که شیب نمودار مرگ‌ومیر در هفته اول آزمایش بالاتر از هفته‌های دیگر بود و پس از آن، شیب نمودار کاهش معنی‌دار داشت و در یک مقایسه کمی بین سهم مرگ و میر ماهیان در مجموع ۱۸ روز ابتدایی، میانی و انتهایی (در مجموع ۵۴ روز) بخش عمده‌ای از مرگ و میر ماهیان (حدود ٪۸۰) مربوط به ۱۸ روز ابتدایی بود (شکل ۲).



شکل ۲ تعداد مرگ و میر کپور معمولی (*Cyprinus carpio*) در گروه‌های تیمار دریافت کننده غلظت‌های مختلف ویتامین E و Zn در مواجهه با شرایط کمبود مزمن اکسیژن. غلظت اسمی ویتامین E و Zn در زیر گروه‌های T_1 تا T_7 به ترتیب ۰:۰، ۲۰:۰، ۶۰:۰ و ۶۰:۲۰، ۴۰:۰، ۱۲۰:۰ و ۱۲۰:۴۰ mg/kg بود.

نتایج مطالعه حاضر نشان داد بین کاهش سطح اکسیژن محلول و افت نرخ افزایش وزن ماهی کپور معمولی ارتباط معنی داری وجود داشت ($p<۰/۰۵$). بالاترین و پایین‌ترین وزن متعلق به ترتیب متعلق به گروه‌های C_4 و T_1 بود (جدول ۳). افزودن مکمل‌های خوراکی علاوه بر افزایش معنی‌دار وزن نهایی اعضای گروه‌شاهد (C_2 تا C_4) منجر به بهبود عملکرد ماهی در شرایط کمبود مزمن اکسیژن شد به گونه‌ای که به وزن نهایی ماهی ازای دریافت ۴۰ mg/kg مکمل معدنی روی و ۱۲۰ mg/kg ویتامین E (تیمار T_7) در شرایط کمبود مزمن اکسیژن ضمن اینکه تفاوت معنی داری با گروه C_3 (Zn:E ۰:۶۰mg/kg) نداشت، وزن نهایی ماهی در گروه‌های T_6 و T_7 به شکل معنی داری بالاتر از اعضای گروه C_1 و C_2 بود. میانگین وزن نهایی برای گروه C_1 تا C_3 به ترتیب ۰/۸۵ ± ۴۸/۲۰، ۰/۳۳ ± ۴۸/۹۴ و ۱/۲۰ ± ۵۲/۷۷ گرم و برای گروه‌های T_6 و T_7 به‌ترتیب برابر با ۰/۸۶ ± ۵۱/۰۸ و ۰/۴۷ ± ۵۱/۶۰ گرم بود. در مورد درازای بدن، افزایش غلظت اسمی ویتامین E و Zn منجر به ایجاد تفاوت معنی‌دار در میان اعضای گروه شاهد نشد ($p>۰/۰۵$)؛ با این‌حال، کاهش مزمن غلظت اکسیژن در گروه تیمار (T) منجر به کاهش معنی‌دار درازای نهایی بدن شد ($p<۰/۰۵$)؛ با این وجود، افزایش غلظت ویتامین E و Zn منجر به بهبود معنی‌دار عملکرد ماهیان در مواجه با کمبود مزمن اکسیژن شد (جدول ۳).

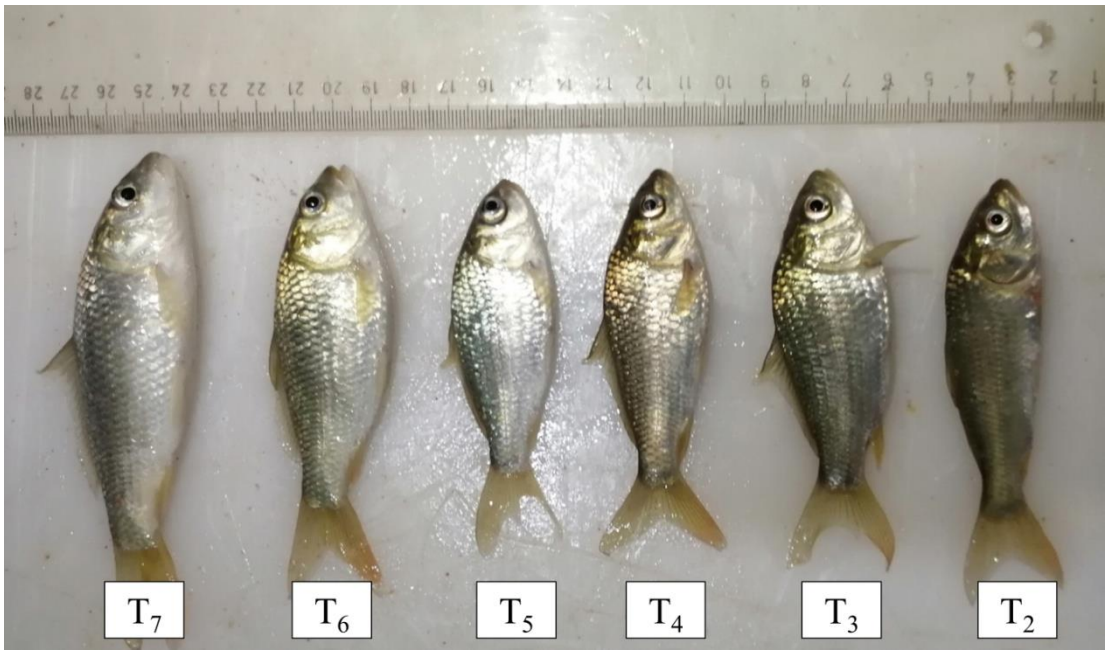
در مطالعه حاضر، در مقایسه شـکل ظاهری ماهی در گروه-های همسان (غلظت اسمی مشابه E و Zn) تفاوت ظاهری مشهود بود. بچه‌ماهی‌هایی که در معرض کمبود مزمن اکسیژن محلول بودند، علاوه بر کاهش رشد، در برخی از موارد نواقص ظاهری از قبیل انحراف ستون فقرات مشهود بود (شکل ۳).

شکل ۳ تفاوت ظاهری بچه ماهی کپور معمولی (*Cyprinus carpio*) در شرایط متفاوت پرورش از نظر غلظت‌های متفاوت اکسیژن محلول: a) گروه شاهد (C_1) غلظت اکسیژن ۰/۴۳ ± ۸/۷ میلی گرم در لیتر؛ b) گروه تیمار (T_1) غلظت اکسیژن ۰/۳۸ ± ۴/۱ میلی گرم در لیتر. غلظت اسمی ویتامین E و Zn در جیره گروه‌ها برابر با صفر بود.

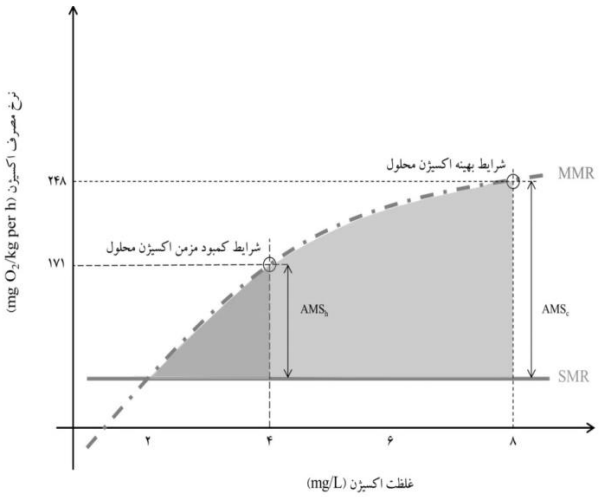
اگرچه ویتامین E در مقایسه با Zn عملکرد بهتری در بهبود عملکرد ماهی شامل وزن نهایی داشت ($p<0/05$). با وجود این، استفاده هم‌زمان از ویتامین E و Zn در جیره غذایی ماهی کپور نسبت به حالت‌های دیگر چه در شرایط بهینه اکسیژن محلول و چه در شرایط کمبود مزمن اکسیژن بالاترین بازده را داشت. علاوه بر این تغییرات ظاهری وابسته به وزن و درازای ماهی نیز مؤید آن بود (شکل ۴).

ارزیابی نرخ سوخت و ساز

ارزیابی داده‌های کمی در مطالعه حاضر نشان داد که تفاوت معنی‌داری بین دامنه سوخت و ساز هوازی (AMS) بچه-ماهی کپور معمولی در شرایط کمبود مزمن اکسیژن محلول (غلظت اکسیژن محلول ۵-۴ میلی گرم در لیتر) در مقایسه با شرایط بهینه اکسیژن (غلظت اکسیژن محلول بالاتر از ۸ mg/L) وجود داشت (شکل ۵).

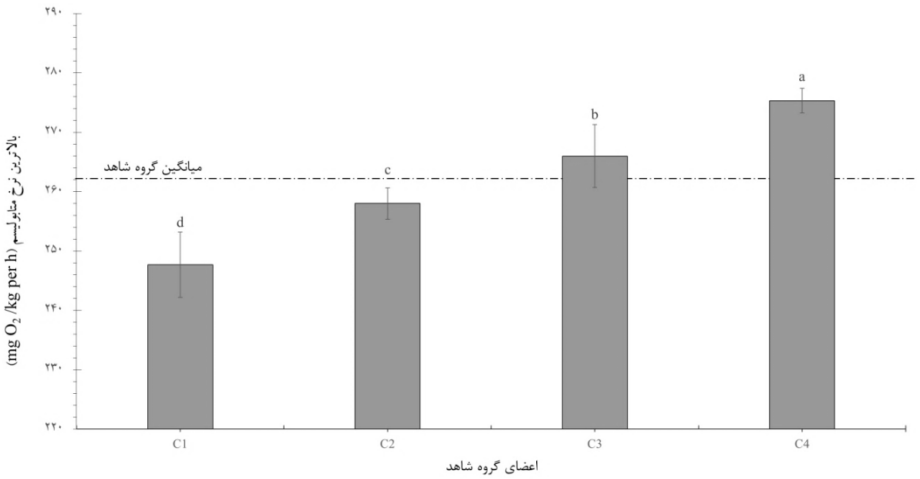


شکل ۴ شکل ظاهری اعضای گروه تیمار ماهی کپور معمولی (*Cyprinus carpio*) در مواجهه با کمبود مزمن اکسیژن محلول (۵-۴ میلی گرم در لیتر). غلظت اسمی ویتامین E و Zn (E:Zn) در گروهای T_2 تا T_7 به ترتیب برابر با ۰:۰، ۲۰:۰، ۶۰:۰، ۶۰:۲۰، ۴۰:۰، ۱۲۰:۰ و ۴۰:۱۲۰ mg/kg و مدت تغذیه ماهی ۸ هفته بود.



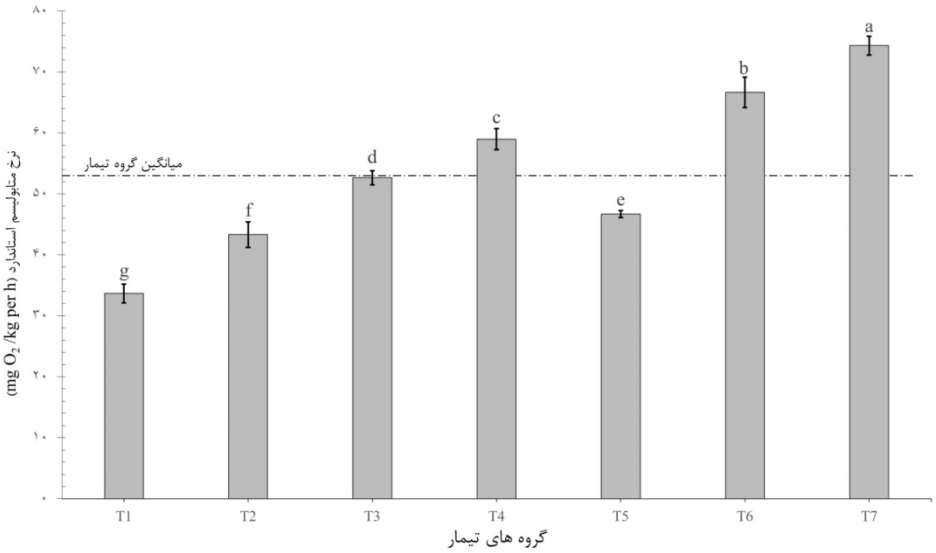
شکل ۵ تغییرات بالاترین نرخ سوخت و ساز (MMR)، نرخ سوخت و ساز پایه (SMR) و دامنه سوخت و ساز هوازی (AMS) بچه ماهی کپور معمولی در مربوط به گروه C_1 در غلظت‌های مختلف اکسیژن محلول؛ AMS_c) دامنه سوخت و ساز هوازی در شرایط بهینه اکسیژن؛ AMS_h) دامنه سوخت و ساز هوازی در شرایط کمبود مزمن اکسیژن. غلظت‌های اسمی ویتامین E و Zn در جیره غذایی ماهیان در گروه C_1 معادل صفر برای هر دو افزودن خوراکی بود. (نمودار بر اساس داده‌های کمی جمع آوری شده در مطالعه حاضر شبیه سازی شده است).

افزودن غلظت‌های اسمی مکمل‌های خوراکی شامل ویتامین E و Zn در جیره غذایی بچه ماهی کپور انگشت قد هرچند تاثیر معنی داری بر روی نرخ سوخت و ساز پایه ماهی در شرایط بهینه اکسیژن نداشت ($p>۰/۰۵$). با وجود این، تأثیر معنی‌دار بر افزایش سطح بیشترین نرخ سوخت و ساز (MMR) و دامنه سوخت و ساز هوازی اعضای گروه شاهد (C) داشت ($p<۰/۰۵$). بالاترین و پایین MMR به‌ترتیب مربوط به گروه C_4 و C_1 بود (شکل ۶).



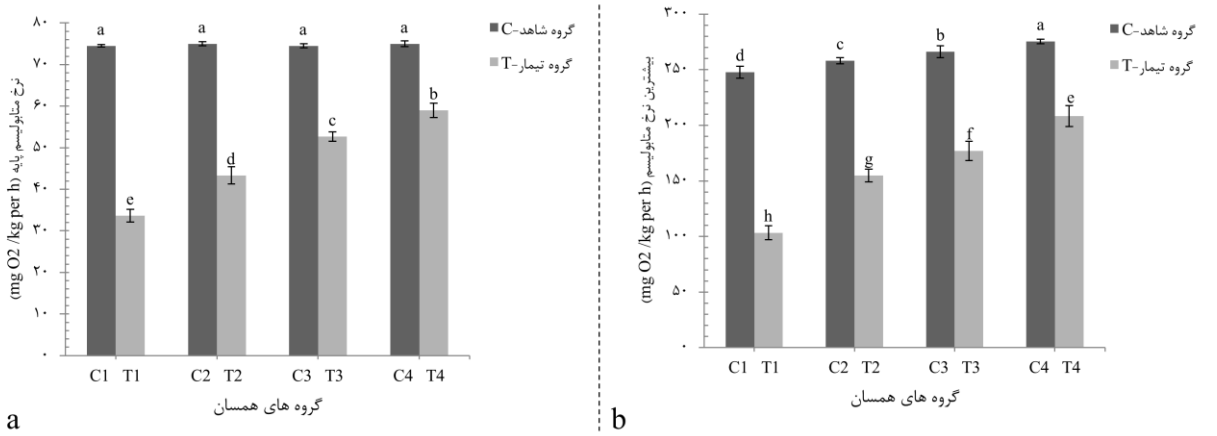
شکل ۶ تغییرات بالاترین نرخ سوخت و ساز (MMR) وابسته به غلظت اسمی ویتامین E و Zn در بچه ماهی انگشت قد کپور معمولی (*Cyprinus carpio*) در شرایط بهینه اکسیژن (میانگین اکسیژن بالای mg/L ۸). غلظت اسمی ویتامین E و Zn (E:Zn) در گروه‌های C_1 تا C_4 به ترتیب ۰:۰، ۲۰:۰، ۶۰:۰ و ۶۰:۲۰ میلی گرم به ازای هر کیلوگرم بود؛ حروف لاتین متفاوت (a-d) بیانگر تفاوت معنی‌دار در مقادیر ستون‌ها است (p>۰/۰۵).

تجزیه و تحلیل داده‌های آماری نشان داد نرخ سوخت و ساز پایه اعضای گروه تیمار ارتباط مستقیم با تغییرات غلظت اسمی ویتامین E و Zn داشت (p<۰/۰۵). ارزیابی مقایسه‌ای عملکرد ویتامین E و Zn در بهبود سطح سوخت و ساز پایه بچه ماهی کپور در مواجهه با کاهش مزمن اکسیژن محلول در مطالعه حاضر نشان داد که سطح سوخت و ساز ماهیان در گروه‌های دریافت‌کننده ویتامین E در مقایسه با گروه‌های دریافت کننده Zn بالاتر بود و عملکرد بهتری داشتند. با وجود این، همچنان استفاده همزمان ویتامین E و Zn در جیره غذایی بچه‌ماهی کپور معمولی بالاترین تأثیر جبرانی در بهبود سطح سوخت و ساز پایه ماهی در مواجهه با کمبود مزمن اکسیژن محلول داشت (شکل ۷).



شکل ۷ تغییرات نرخ سوخت و ساز پایه (SMR) وابسته به تغییرات غلظت اسمی ویتامین E و Zn در بچه ماهی کپور معمولی انگشت قد (*Cyprinus carpio*) در شرایط کمبود مزمن اکسیژن محلول (میانگین اکسیژن ۵-۴ میلی گرم در لیتر). غلظت اسمی ویتامین E و Zn (E:Zn) در گروه‌های T_1 تا T_4 به ترتیب۰:۰، ۲۰:۰، ۶۰:۰ و ۶۰:۲۰، ۴۰:۰، ۱۲۰:۰ و ۱۲۰:۴۰ میلی گرم به ازای هر کیلوگرم بود؛ حروف لاتین متفاوت (a-g) بیانگر تفاوت معنی داری در مقادیر ستون‌ها است (p<۰/۰۵).

در خصوص بیشینه نرخ سوخت و ساز (MMR) و نرخ نتایج ارزیابی داده‌های کمی نشان داد گروه شاهد در هر دو شاخص به طور معنی‌دار عملکرد بهتری داشت ($p<۰/۰۵$)؛ با این وجود، افزایش غلظت اسمی ویتامین E و Zn منجر به کاهش معنی‌دار اختلاف سطح شاخص‌های مورد ارزیابی در زیرگروه‌های تیمار نسبت به اعضای گروه شاهد شد (شکل ۸).



شکل ۸ a) مقایسه نرخ سوخت و ساز پایه یا استاندارد (SMR)؛ b) مقایسه بیشترین نرخ سوخت و ساز (MMR) بچه ماهی انگشت قد کپور معمولی (*Cyprinus carpio*) در گروه‌های همسان غلظت اسمی ویتامین E و Zn؛ غلظت اکسیژن محلول برای در گروه شاهد و گروه تیمار به ترتیب ۰/۴۳ ± ۸/۷ و ۰/۳۸ ± ۴/۱ میلی گرم در لیتر بود. غلظت ویتامین E و Zn (E:Zn) در گروه‌های آزمایش به ترتیب زیر بود $T_1=C_1$= ۰:۰، $T_2=C_2$= ۰:۲۰، $T_3=C_3$= ۶۰:۰، $T_4=C_4$= ۶۰:۲۰ میلی گرم به ازای هر کیلوگرم بود. حروف لاتین متفاوت (a-g) بیانگر تفاوت معنی‌دار در مقادیر ستون‌هاست ($p<۰/۰۵$).

بحث

مطالعات گذشته نشان داده است بین کاهش غلظت اکسیژن و تشکیل رادیکال‌های آزاد، استرس اکسیداتیو و افزایش نرخ مرگ و میر یک رابطه خطی وجود دارد (Mallya, 2007). نتایج مطالعه حاضر مؤید این مطلب بود. کاهش غلظت اکسیژن ارتباط مستقیم با افزایش مرگ و میر و کاهش نرخ بازماندگی بچه ماهی کپور معمولی شد. بر اساس مطالعات انجام شده، متوسط بازماندگی ماهی کپور معمولی در شرایط متداول پرورش ۹۴٪ است. با وجود این، بسته به شرایط محیطی، تغذیه و سلامت ماهیان این درصد کاهش یا افزایش معنی‌دار می‌یابد (Saad and Habashy, 2002). متوسط نرخ بازماندگی بچه ماهی کپور معمولی در مطالعه حاضر در شرایط متداول پرورش بالاتر از ۹۳٪ بود، با این‌حال با توجه به شرایط محیطی و تغذیه ماهی این مقدار در گروه تیمار (شرایط مزمن کمبود اکسیژن) بین ۹۵-۶۲٪ متغیر بود که در راستای مطالعات گذشته مؤید تأثیر تغذیه و شرایط محیطی بر نرخ بازماندگی ماهی بود. مقایسه پراکندگی و مقایسه زمانی مرگ و میر ماهی‌ها در مطالعه حاضر با نتایج مطالعه گذشته، بیان‌گر این مطلب است که تأثیر استفاده از مکمل‌های خوراکی وابسته به زمان است و در کوتاه مدت تأثیر معنی‌دار ندارد. همان‌طور که Ninwichian و همکاران (۲۰۲۰) گزارش کردند تأثیر استفاده از مکمل‌های خوراکی بر بازماندگی کپور معمولی پس از ۳ هفته معنی‌دار بود.

در ارتباط با تفاوت عملکرد ویتامین E نسبت به Zn در مطالعه حاضر می‌توان به مطالعه Velasco-Santamarían و Corredor-Santamaría (۲۰۱۱) اشاره کرد. آنها بیان داشتند که مکمل‌های معدنی در مقایسه با ویتامین‌ها پایدارتر هستند و نیاز ماهیان آب شیرین به آنها در مقایسه با ویتامین‌ها از قبیل ویتامین C و E به مراتب پایین‌تر است. از سوی دیگر، تشکیل رادیکال-های آزاد و القای استرس اکسیداتیو عامل اصلی و تاثیرگذار بر سلامت ماهی در شرایط تغییرات مزمن و حاد اکسیژن است (Hussein et al. 2022)؛ از این روی نقش و عملکرد ترکیبات آنتی اکسیدانی جیره از قبیل ویتامین E

نسبت به دیگر ترکیبات بارزتر است (Afsharnezhad et al. 2017).

کاهش سطح سوخت و ساز پایه ارتباط مستقیمی با توانایی ماهی در مدیریت تغییرات محیطی، رشد و حفظ هموستازی بدن دارد تمام پاسخ‌های رفتاری و فیزیولوژیک موجودات از قبیل ماهی نیازمند صرف انرژی است (Mandic et al. 2009). تشدید پاسخ‌های تطبیقی و جبرانی منجر به افزایش سطح سوخت و ساز پایه جاندار می‌شود (Rosewarne et al. 2016). نتایج مطالعه حاضر نشان داد ویتامین استفاده از ویتامین E و Zn در جیره غذایی ماهی کپور معمولی منجر به بهبود این شاخص رشد و بازماندگی ماهی در مواجهه با شرایط مزمن کاهش اکسیژن شد. سرعت و سطح سوخت و ساز ماهی ممکن است تحت تاثیر عوامل درونی از قبیل صفات فیزیولوژیک و عوامل بیرونی از قبیل شرایط محیطی از قبیل غلظت اکسیژن قرار می‌گیرد (Chabot et al., 2016). افزایش نرخ سوخت و ساز ماهی ارتباط مستقیم با وزن، ضریب تبدیل غذایی و کارایی پروتئین جیره دارد (Rosewarne et al. 2016). ماهیانی که سطح سوخت و ساز آنها بالاتر است به دلیل دسترسی بیشتر به انرژی معمولاً پاسخ‌های فیزیولوژیک بهتری به تغییرات استرس‌زا محیط می‌دهند (Yarmohammadi et al. 2015). نتایج به‌دست آمده در خصوص شاخص‌های رشد ماهی در مطالعه حاضر نیز نشان داد که MMR و AMS علاوه بر افزایش معنی‌دار دامنه سوخت و ساز هوازی، ارتباط معنی‌دار با افزایش بازماندگی و افزایش وزن ماهی در مواجهه با شرایط مزمن کمبود اکسیژن داشت.

مجموع ارزیابی‌های انجام شده و نتایج به‌دست آمده نشان داد که به دلیل همبستگی معنی‌دار بین متغیرهای مورد مطالعه و ارتباط معنی‌دار روند تغییرات آنها با سطح اکسیژن محلول در محیط آبی، کاهش مزمن غلظت اکسیژن محلول علاوه بر کاهش نرخ بازماندگی ماهی، منجر به کاهش رشد ماهی شد و بازده تولید به طور معنی‌دار کاهش یافت. کاهش مزمن اکسیژن منجر به تحمیل استرس اکسیداتیو شد که ظرفیت حمل اکسیژن توسط ماهی را تحت الشعاع قرار داد که تأثیر آن در کاهش نرخ سوخت و ساز، کاهش رشد و شانس بقای ماهی بیان شد. استفاده از غلظت‌های مختلف ویتامین E و Zn علاوه بر بهبود بازده تولید ماهی در شرایط بهینه اکسیژن، تا حدود زیاد اثرات نامطلوب استرس اکسیداتیو ناشی از کاهش غلظت اکسیژن را تعدیل کرد. در مقام مقایسه ویتامین E عملکرد بهتری در تمام شاخص‌ها داشت. با وجود این، بهترین عملکرد در استفاده توأم ویتامین E و Zn بود. با توجه به طیف وسیع مکمل‌های خوراکی و ارتباط تنگاتنگ استرس اکسیداتیو با شاخص‌های خونی و سلامت بافت ماهیان استفاده از انواع مکمل‌های خوراکی از قبیل ویتامین C و سلنیوم و تأثیر آنها بر شاخص‌های خونی و سلامت ماهی در معرض تنش حاد و مزمن اکسیژن می‌تواند زمینه مطالعات آینده باشد.

تشکر و قدردانی

مطالعه حاضر به پشتوانه فنی و مالی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان در قالب رساله دکتری به سرانجام رسیده است. نویسندگان در پایان از تمام عزیزانی که ایشان را در مسیر این مطالعه علمی یاری رساندند، کمال تشکر و قدردانی را دارند.

تعارض منافع

نویسندگان هیچ گونه تعارض منافعی را در این پژوهش شناسایی نکردند.

منابع

Afsharnezhad, M., Shahangian, S.S., Panahi, E., Sariri, R. 2017. Evaluation of the antioxidant activity of extracts from some fruit peels. Caspian Journal of Environmental Sciences 15: 213-222.

Bolduc, M., Lamarre, S., Rioux, P. 2002. A simple and inexpensive apparatus for measuring fish metabolism. Advances in Physiology Education 26: 129-132.

Butler, I.B., Schoonen, M.A., Rickard, D.T. 1994. Removal of dissolved oxygen from water: a comparison of four common techniques. Talanta 41: 211-215.

Chabot, D., Steffensen, J.F., Farrell, A.P. 2016. The determination of standard metabolic rate in fishes. Journal of Fish Biology 88: 81-121.

Cherasse, Y., Urade, Y. 2017. Dietary zinc acts as a sleep modulator. International Journal of Molecular Sciences 18: p.2334.

Da-Col, J.A., Domene, S.M., Pereira-Filho, E.R. 2009. Fast determination of Cd, Fe, Pb, and Zn in food using AAS. Food Analytical Methods 2: 110-115.

Fiess, J.C., Kunkel-Patterson, A., Mathias, L., Riley, L.G., Yancey, P.H., Hirano, T., Grau, E.G. 2007. Effects of environmental salinity and temperature on osmoregulatory ability, organic osmolytes, and plasma hormone profiles in the Mozambique tilapia (*Oreochromis mossambicus*). Comparative Biochemistry and Physiology 146A: 252-264.

Francis, G., Makkar, H.P., Becker, K. 2002. Dietary supplementation with a Quillaja saponin mixture improves growth performance and metabolic efficiency in common carp (*Cyprinus carpio* L.). Aquaculture 203: 311-320.

Forouhar Vajargah, M., Mohammadi Yalsuyi, A., Hedayati, A. 2017. Acute toxicity of povidone-iodine (Betadine) in common carp (*Cyprinus carpio* L. 1758). Pollution 3: 589-593.

Goolish, E.M., Adelman, I.R. 1984. Effects of ration size and temperature on the growth of juvenile common carp (*Cyprinus carpio* L.). Aquaculture 36: 27-35.

Hajiahmadian, M., Vajargah, M.F., Farsani, H.G., Chorchi, M.M. 2012. Effect of *Spirulina platensis* meal as feed additive on growth performance and survival rate in golden barb fish, *Punius gelius* (Hamilton, 1822). Journal of Fisheries International 7: 61-64.

Hambidge, K.M., Krebs, N.F. 2007. Zinc deficiency: a special challenge. The Journal of Nutrition 137: 1101-1105.

Hussein, S.S., Al-Bayar, M.A. 2022. Effects of different levels of dietary zinc supplementation on the testis parameters of the Japanese quail males. Caspian Journal of Environmental Sciences 20: 799-803.

Khara, H., Sayyad Borani, M., Sayyad-Borani, M. 2016. Effects of α-tocopherol (vitamin E) and ascorbic acid (vitamin C) and their combination on growth, survival and some hematological and immunological parameters of Caspian brown trout, *Salmo trutta caspius* juveniles. Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences 16: 385-393.

Li, J., Liang, X.F., Tan, Q., Yuan, X., Liu, L., Zhou, Y., Li, B., 2014. Effects of vitamin E on growth performance and antioxidant status in juvenile grass carp *Ctenopharyngodon idella*. Aquaculture 430: 21-27.

Mandic, M., Todgham, A.E., Richards, J.G. 2009. Mechanisms and evolution of hypoxia tolerance in fish. Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences 276: 735-744.

Manning, N.J., Kime, D.E., 1984. Temperature regulation of ovarian steroid production in the common carp, *Cyprinus carpio* L., in vivo and in vitro. General and Comparative Endocrinology 56: 376-388.

Martínez, Y., Li, X., Liu, G., Bin, P., Yan, W., Más, D., Valdivié, M., Hu, C.A.A., Ren, W., Yin, Y. 2017. The role of methionine on metabolism, oxidative stress, and diseases. Amino Acids 49: 2091-2098.

Mohamadi Yalsuyi, A., Forouhar Vajargah, M., Hajimoradloo, A., Mohammadi Galangash, M., Prokić, M.D., Faggio, C. 2022. Can Betadine (10% povidone-iodine solution) act on the survival rate and gill tissue structure of Oranda goldfish (*Carassius auratus*)? Veterinary Research Communications 46: 389-396.

Ninwichian, P., Chookird, D., Phuwan, N. 2020. Effects of dietary supplementation with natural carotenoid sources on growth performance and skin coloration of fancy carp, *Cyprinus carpio* L. Iranian Journal of Fisheries Sciences 19: 167-181.

Nuwansi, K.K.T., Verma, A.K., Prakash, C., Tiwari, V.K., Chandrakant, M.H., Shete,

A.P. Prabhath, G.P.W.A. 2016. Effect of water flow rate on polyculture of koi carp (*Cyprinus carpio* var. koi) and goldfish (*Carassius auratus*) with water spinach (*Ipomoea aquatica*) in recirculating aquaponic system. Aquaculture International 24: 385-393.

Oliva-Teles, A. 2012. Nutrition and health of aquaculture fish. Journal of Fish Diseases 35: 83-108.

Phillips, M., Subasinghe, R.P., Tran, N., Kassam, L., Chan, C.Y. Aquaculture Big Numbers. 2016. Aquaculture big numbers. FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper No. 601. Rome, FAO.

Pichavant, K., Person-Le-Ruyet, J., Bayon, N.L., Severe, A., Roux, A.L., Boeuf, G. 2001. Comparative effects of long-term hypoxia on growth, feeding and oxygen consumption in juvenile turbot and European sea bass. Journal of Fish Biology 59: 875-883.

Pinheiro-Sant'Ana, H.M., Guinazi, M., da Silva Oliveira, D., Della Lucia, C.M., de Lazzari Reis, B., Brandão, S.C.C. 2011. Method for simultaneous analysis of eight vitamin E isomers in various foods by high performance liquid chromatography and fluorescence detection. Journal of Chromatography A, 1218: 8496-8502.

Prakash, A., Bharti, K., Majeed, A.B.A. 2015. Zinc: indications in brain disorders. Fundamental & Clinical Pharmacology 29: 131-149.

Ravisankar, P., Reddy, A.A., Nagalakshmi, B., Koushik, O.S., Kumar, B.V., Anvith, P.S. 2015. The comprehensive review on fat soluble vitamins. IOSR Journal of Pharmacy 5: 12-28.

Roosta, Z., Hajimoradloo, A., Ghorbani, R., Hoseinifar, S.H. 2014. The effects of dietary vitamin C on mucosal immune responses and growth performance in Caspian roach (*Rutilus rutilus caspicus*) fry. Fish Physiology and Biochemistry 40: 1601-1607.

Rosewarne, P.J., Wilson, J.M., Svendsen, J.C. 2016. Measuring maximum and standard metabolic rates using intermittent-flow respirometry: a student laboratory investigation of aerobic metabolic scope and environmental hypoxia in aquatic breathers. Journal of Fish Biology 88: 265-283.

Saad, A., Habashy, M. 2002. Survival and growth rates of early stages of some fish species reared with the freshwater crayfish, *Procambarus clarkii* (gerard, 1852). Egyptian Journal of Aquatic Biology and Fisheries 6: 163-180.

Sattari, M., Bibak, M., Forouhar Vajargah, M. 2020a. Evaluation of trace elements contaminations in muscles of *Rutilus kutum* (Pisces: Cyprinidae) from the Southern shores of the Caspian Sea. Environmental Health Engineering and Management Journal 7: 89-96.

Sattari, M., Imanpour Namin, J., Bibak, M., Forouhar Vajargah, M., Bakhshalizadeh, S., Faggio, C. 2020b. Determination of trace element accumulation in gonads of *Rutilus kutum* (Kamensky, 1901) from the south Caspian Sea trace element contaminations in gonads. Proceedings of the National Academy of Sciences, India Section B: Biological Sciences 90: 777-784.

Sattari, M., Bibak, M., Forouhar Vajargah, M., Faggio, C. 2020c. Trace and major elements in muscle and liver tissues of *Alosa braschnikowy* from the South Caspian Sea and potential human health risk assessment. Journal of Materials and Environmental Science 11: 1129-1140.

Serrano, Jr,A.E. 2013. Effects of *Quillaja saponins* on growth, feed efficiency, digestive enzyme activities and metabolism of common carp (*Cyprinus carpio* L). Aquaculture Nutrition 19: 468-474.

Traber, M.G., Bruno, R.S. 2020. Vitamin E. In: Marriott, B.P., Birt, D.F., Stallings, V.A., Yates, A.A. (Eds.). Present Knowledge in Nutrition, Eleventh Edition. London, United Kingdom: Academic Press (Elsevier), 115-136.

Vajargah, M.F., Hossaini, S.A., Niazie, E.H.N., Hedayati, A., Vesaghi, M.J.

2013. Acute toxicity of two pesticides Diazinon and Deltamethrin on tench (*Tinca tinca*) larvae and fingerling. International Journal of Aquatic Biology 1: 138-142.

Vajargah, M.F., Hashemi, G., Bibak, M., Yalsuyi, A.M. 2021. The effect of vitamin c-fortified artemia on growth and survival of *Sepia pharaonis* larvae. Journal of Environmental Treatment Techniques 9: 815-818.

Vali, S., Majidiyan, N., Yalsuyi, A.M., Vajargah, M.F., Prokić, M.D., Faggio, C. 2022. Ecotoxicological effects of silver nanoparticles (Ag-NPs) on parturition time, survival rate, reproductive success and blood parameters of adult common molly (*Poecilia sphenops*) and their larvae. Water 14: 1-11.

Velasco-Santamaría, Y., Corredor-Santamaría, W. 2011. Nutritional requirements of freshwater ornamental fish: a review. Revista MVZ Córdoba, 16: 2458-2469.

Wang, X., Quinn, P.J. 1999. Vitamin E and its function in membranes. Progress in Lipid Research 38: 309-336.

Watanabe T., Kiron V., Satoh, S. 1997. Trace minerals in fish nutrition. Aquaculture 151: 185-207.

Win, H.H., Myint, S., Lwin, N. 2019. Effect of stocking density on the growth rate of common carp *Cyprinus carpio* Linnaeus, 1758. Journal of Entomology and Zoology Studies 7: 1276-1280.

Woodward, B. 1994. Dietary vitamin requirements of cultured young fish, with emphasis on quantitative estimates for salmonids. Aquaculture 124: 133-168.

Yalsuyi, A.M., Hajimoradloo, A., Ghorbani, R., Jafari, V.A., Prokić, M.D. Faggio, C. 2021. Behavior evaluation of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) following temperature and ammonia alterations. Environmental Toxicology and Pharmacology, 86: 103648.

Yarmohammadi, M., Pourkazemi, M., Kazemi, R., Pourdehghani, M., Hassanzadeh Saber, M. Azizzadeh, L. 2015. Effects of starvation and re-feeding on some hematological and plasma biochemical parameters of juvenile Persian sturgeon, *Acipenser persicus* Borodin, 1897. Caspian Journal of Environmental Sciences 13: 129-140.