شیلات، مجله منابع طبیعی ایران
دوره ۷۴، شماره ۲، تابستان ۱۴۰۰
صفحات ۲۸۰-۲۷۱

تعیین غلظت میانه کشنده (LC_{50}) آلومینیم، مس و روی در لارو ماهی تیلاپیای نیل (*Oreochromis niloticus*)

عیسی ابراهیمی درچه[1*]، سارا کریمی[2]، فاطمه پیکان حیرتی[3]، پدرام ملک‌پوری[4]

۱. دانشیار گروه شیلات، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران
۲. دانشجوی دکتری گروه شیلات، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران
۳. استادیار گروه شیلات، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران
۴. دکتری تخصصی بهداشت و بیماری آبزیان، دانشگاه شهید چمران، اهواز، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰ /۰۱/۲۶ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۲/۰۶

چکیده

ارزیابی اثر آلاینده‌ها در مراحل اولیه حیات موجودات زنده به همراه سایر جنبه‌های سم شناسی آبزیان به درک بهتر سمیت آلاینده‌ها و برنامه‌ریزی جهت مقابله با شرایط ایجاد شده، کمک می‌کند. آلومینیم، روی و مس از جمله عناصر کمیابی هستند که میزان آن‌ها در اکوسیستم‌های آبی بر اثر فعالیت‌های انسانی در حال افزایش است. در مطالعه حاضر سمیت حاد آلومینیم، مس و روی بر بقاء لارو دارای کیسه زرده ماهی تیلاپیای نیل (*Oreochromis niloticus*) برر سی و غلظت میانه کشنده آنها (LC_{50}-96h) بر ا ساس پروتکل OECD 203 تعیین گردید. به این منظور، ۲۰۰ قطعه لارو دارای کیسه زرده در محدوده وزنی ۰/۰۱۵۶ - ۰/۰۱۳۲ گرم و طول کل ۴/۷۵-۴/۲۵ میلی‌متر در معرض غلظت‌های مختلف آلومینیم (صفر (شاهد)، ۲۴/۰، ۲۸/۸، ۳۴/۵۶، ۴۱/۴۷، ۴۹/۷۶، ۵۹/۷۱ و ۷۱/۶۵ میلی‌گرم بر لیتر)، روی (صفر (شاهد)، ۱۰، ۱۲، ۱۴/۴، ۱۷/۲۸ و ۲۰/۷۳ میلی‌گرم بر لیتر) و مس (صفر (شاهد)، ۰/۶۲۵، ۱/۲۵، ۲/۵، ۵ و ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر) به‌مدت ۹۶ ساعت قرار گرفتند. میزان تلفات طی ۲۴، ۴۸، ۷۲ و ۹۶ ساعت بررسی و ثبت گردید. فراسنجه‌های فیزیکی و شیمیایی آب نیز بصورت روزانه اندازه گیری شد. با استفاده از آنالیز رگرسیون پروبیت، میزان LC_{50}-96h برای آلومینیم، مس و روی به ترتیب ۶۱/۸۳۹، ۱/۳۹۷ و ۱۴/۰۵۶ میلی‌گرم بر لیتر به‌دست آمد. غلظت ها در محدوده اطمینان ۹۵درصدی برحسب میلی‌گرم بر لیتر برای آلومینیم ۶۷/۸۵۱- ۵۵/۴۴۹، مس ۱/۱۵۷-۱/۶۳۷ و روی۱۶/۴۱۱-۱۲/۲۹۳ تعیین گردید. نتایج حاصل سمیت بیشتر مس در مقایسه با روی و آلومینیم در لارو ماهی تیلاپیا نیل را ثابت کرد.

واژگان کلیدی: عناصر کمیاب، *Oreochromis niloticus*، LC_{50}، سمیت، لارو ماهی

* نویسنده مسئول: عیسی ابراهیمی درچه
Email: e_ebrahimi@iut.ac.ir

Journal of Fisheries
Vol. 74, No. 2, Summer 2021
pp. 259-280

Determination of lethal concentration of Aluminum, Copper and Zinc (LC_{50}-96h) on Nile tilapia larvae (*Oreochromis niloticus*)

Eisa Ebrahimi Dorche[1*], Sara Karimi[2], Fatemeh Peykan Heyrati[3], Pedram Malekpouri[4]

1. Associate Professor, Departement of Natural Resources, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran
2. PhD Student, Departement of Natural Resources, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran
3. Assistant professor, Departement of Natural Resources, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran
4. PhD of Aquatic Animal health, Shahid Chamran University, Ahvaz, Iran

Received: 18-Apr-2021 **Accepted: 28-Apr-2021**

Abstract
Assessing the toxic effects of pollutants in the early stages of living organism life, along with other aspects of aquatic toxicology, help better understanding the toxicity of contaminants and to plan for coping with the conditions created. Aluminum, zinc and copper are some of the trace elements that are increasing in aquatic ecosystems due to human activities. In this study, the acute toxicity of aluminum, copper and zinc were investigated on the survival of the trout *Oreochromis niloticus* yolk sac larvae and the lethal concentration (LC50-96h) was determined based on the OECD 203 protocol. For this purpose, 200 pieces of larvae with a weight range of 0.0132-0.0156 g and total length of 4.25- 4.75 mm, exposed to different concentrations of aluminum (zero (control), 24, 28.8, 34.56, 41.47, 49.76, 59.71 and 71.65 mg/l), zinc (0 (control), 10, 12, 14.4. 17.28 and 20.73 mg/l) and copper (zero (control), 0.625, 1.25, 2.5, 5 and 10 mg/l) for 96 hours. The mortality was recorded at 24, 48, 72 and 96 hours. The physical and chemical parameters of water were also measured daily. Using probit regression analysis, LC50-96hrs for aluminum, copper and zinc was 61.839, 1.397 and 14.056 mg/l, respectively. The concentrations were determined at 95% confidence interval in mg / l for aluminum 55.449-67.851, copper 1.157-1.637 and zinc 12.293-16.411. The results, proved that copper was more toxic than zinc and aluminum in tilapia fish larvae.

Key words: Trace elements, *Oreochromis niloticus*, LC_{50}, toxicity, Fish larvae

Corresponding author: Eisa Ebrahimi Dorche Email: e_ebrahimi@iut.ac.ir

۱. مقدمه

در سال‌های اخیر آلودگی‌های محیط زیستی به‌ویژه فلزات به‌عنوان یک مانع جهت توسعه آبزی پروری مطرح شده است (Ozden, 2010). آلاینده‌ها می‌توانند عملکرد فیزیولوژیک آبزیان را مختل نمایند. این تغییرات می‌تواند شامل اختلال در دستگاه گردش خون، تنفس، تولید مثل و غیره باشد (Sayer *et al*., 1993). آلومینیم سومین فلز موجود در پوسته زمین و یکی از فلزاتی است که به‌طور عمده در صنایع تولید رنگ، تولید ظروف، تولید کاغذ و علف‌کش‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد. آلومینیم از فاکتورهای مهم در سمیت آب‌های اسیدی برای ماهیان آب شیرین محسوب می‌شود. این فلز از طرق مختلف مانند پساب صنایع وارد اکوسیستم‌های آبی شده و آن را آلوده می‌سازد (Fernandez-Davila *et al*., 2012; Sayer *et al*., 1991). روی و مس به عنوان عناصر ضروری نقش مؤثری در فرآیندهای فیزیولوژیک یک نظیر رشد، تقسیمات سلولی و متابولیسم موجود زنده ایفا می‌کنند (Syed and Coombs, 1982; Vallee and Falchuk, 1993; Watanabe *et al*., 1997). با این حال، درصورتی‌که غلظت آنها از حد معین تجاوز کند باعث بروز مشکلاتی نظیر اختلال در تعادل اسید-باز، اختلال در تنظیم یونی، آسیب به بافت آبشش و غیره در آبزیان می‌شوند (Hogstrand *et al*., 1994). آلاینده‌های فلزی بر فرآیندهای فیزیولوژیکی از جمله تولیدمثل و تکامل مؤثر هستند. اثر فلزات بر ماهیان به عواملی چون گونه ماهی، عوامل محیطی مؤثر بر سمیت فلز، میزان جذب و تجمع‌پذیری فلز توسط موجود بستگی دارد (Dave and Xiu, 1991). همچنین حساسیت بیشتر ماهی نسبت به آلاینده‌ها در مراحل لاروی نسبت به دوران نوجوانی و بلوغ، ثابت شده است، بنابراین سلامت آنها می‌تواند به عنوان شاخص آلودگی سیستم‌های آبی مطرح باشد (Azmat *et al*., 2012; Lawrence and Hemingway, 2003).

فلزات در مراحل اولیه لاروی بسیار کشنده و سمی‌اند و می‌توانند منجر به کاهش رشد در لارو و در نهایت مرگ و میر در ماهی شوند (Kazlauskiene and Vosyliene, 2008; Stasiunaite, 2005; Wu *et al*., 2003). فلزات همچنین نرخ مصرف مواد مغذی زرده توسط لارو را کاهش می‌دهند (Peterson *et al*., 1983). آلاینده‌ها و سموم نه تنها برای آبزی بلکه در نهایت برای انسان خطرناک است چرا که در حال حاضر در اغلب نقاط دنیا آبزیان جزء غذاهای اصلی محسوب می‌شوند. فلزات سمی می‌توانند در فرایندهای متابولیسمی جایگزین بسیاری از عناصر ضروری مانندکلسیم، آهن و غیره شده و در نهایت باعث بروز ناهنجاری در ماهی شوند. تحقیقات صورت گرفته ثابت کرده است که سمیت آلاینده‌ها و فلزات منجر به کاهش محتوای فسفر و کلسیم در بافت ماهی می شود. این دو ماده معدنی در استخوان‌سازی و معدنی شدن بافت استخوان نقش بسزایی دارند و کاهش آنها سبب کاهش محتوای مواد معدنی و افزایش نقص استخوانی می‌شوند (Grosell, 2004; Wong, 2000).

ماهی تیلاپیا به‌عنوان یکی از مهم‌ترین گونه‌های پرورشی نقش مهمی در تامین پروتئین مورد نیاز بسیاری از کشورهای در حال پیشرفت ایفا می‌کند (Pullin *et al*., 1997). تیلاپیای نیل (*Oreochromis niloticus*) از گونه های پرورشی است که به طور گسترده در آفریقا پرورش می‌یابد. این ماهی متعلق به خانواده (Linnaeus, 1758 Cichlidae)، دومین ماهی گرمابی پرورشی بعد از کپور معمولی است که در سال‌های اخیر به لحاظ اقتصادی مورد توجه بسیاری از پرورش دهندگان قرار گرفته است. تیلاپیای نیل به دلیل تحمل نوسانات شوری و دما جایگاه ویژه‌ای را در صنعت آبزی‌پروری به خود اختصاص داده است. این گونه دارای نرخ رشد زیاد و بلوغ جنسی زودهنگام بوده و در ۶ ماهگی بالغ می‌شود (EI-Sayed, 2002). به‌طور کلی تیلاپیا به عنوان گونه‌ای مقاوم حتی در برابر مواد سمی شناخته شده است (Murungi and Robinson, 1987)، با این حال تحقیقات اندکی در مورد میزان غلظت مؤثر فلزات بر سلامت این ماهی در دوره لاروی در دسترس است.

آلودگی‌های ایجاد شده ناشی از فلزات در اکوسیستم‌های طبیعی باعث شده تا بسیاری از اکولوژیست‌ها به دنبال معرفی راه حل‌های مختلف جهت پایداری محیط زیست باشند. اولین گام در جهت رسیدن به این مهم ارزیابی اثر فلزات بر چرخه زیست ارگانیزم‌ها است. هدف از تحقیق حاضر ارزیابی و مقایسه میزان سمیت سه آلاینده آلومینیم، روی و مس بر مراحل لاروی چرخه زندگی ماهی تیلاپیا به عنوان یک گونه با اهمیت در آبزی پروری بود. امید است نتایج حاصل مقدمه‌ای برای مطالعات بیشتر و برنامه ریزی بهتر جهت مقابله با این گروه از آلاینده‌ها در زیست‌بوم‌های آبی کشور باشد.

۲. مواد و روش‌ها

مطالعه حاضر در سالن آبزی پروری دانشگاه صنعتی اصفهان انجام شد. تعیین غلظت میانه کشنده ۹۶ ساعته آلومینیم برای لارو تیلاپیای نیل بر اساس پروتکل OECD 203 انجام شد. بدلیل عدم وجود اطلاعات کافی از میزان غلظت نیمه کشنده‌ی آلومینیم، روی و مس برای لارو دارای کیسه زرده تیلاپیای نیل ابتدا حدود تقریبی غلظت کشنده هر سه فلز از طریق روش بالا و پایین[1] به‌دست آمد (OECD 203). تعداد ۱۵۰ قطعه لارو دارای کیسه زرده تیلاپیای نیل(*O. niloticus*) با محدوده وزنی ۰/۰۱۵۶ - ۰/۰۱۳۲ گرم و طول کل ۴/۷۵-۴/۲۵ میلی‌متر بلافاصله بعد از تفریخ در معرض غلظت های مختلف آلومینیم صفر (شاهد)، ۲۴/۰، ۲۸/۸، ۳۴/۵۶، ۴۱/۴۷، ۴۹/۷۶، ۵۹/۷۱ و ۷۱/۶۵ میلی‌گرم بر لیتر، روی صفر (شاهد)، ۱۰، ۱۲، ۱۴/۴، ۱۷/۲۸ و ۲۰/۷۳ میلی‌گرم بر لیتر و مس صفر (شاهد)، ۰/۶۲۵، ۱/۲۵، ۲/۵، ۵ و ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر در ظروف ۵ لیتری به مدت ۹۶ ساعت قرار گرفتند. طی این دوره، اکسیژن، هدایت الکتریکی، سختی، دما و pH به‌صورت روزانه اندازه گیری و ثبت شد. تعویض کامل آب تیمارها با آب دارای غلظت مشابه هر تیمار هر ۲۴ ساعت انجام شد. فراسنجه‌های فیزیکی و شیمیایی آب نظیر اکسیژن محلول (۶/۹ - ۶/۱ میلی‌گرم بر لیتر)، دما (۲۷/۷ - ۲۷/۰ درجه سانتیگراد)، pH (۷/۵۶ - ۷/۳۲)، سختی (۱۱۱ – ۱۱۰ میلی‌گرم بر لیتر کربنات کلسیم) و EC (۶۷۶ -۵۴۳ میکروزیمنس بر سانتی‌متر) نیز روزانه اندازه‌گیری شد. میزان تلفات طی ۶ ساعت اول، ۲۴، ۴۸، ۷۲ و ۹۶ ساعت بررسی و ثبت گردید و با استفاده از آنالیز رگرسیون پروبیت در نرم افزار SPSS مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت.

۳. نتایج

بر اساس جدول ۱، مقادیر LC_{10} وLC_{50} تقسیم بر ۱۰) به‌ترتیب برای سه فلز روی (۱۱/۸۷۳ و ۱/۴۰۵ میلی‌گرم بر لیتر)، مس (۱/۰۹۳ و ۰/۱۳۹ میلی‌گرم بر لیتر) و آلومینیم (۲۶/۶۰۱ و ۶/۱۸۳ میلی‌گرم بر لیتر) اندازه‌گیری و به عنوان حداقل غلظت موثر[2](LOEC) و غلظت غیر موثر[3](NOEC) تعیین شدند (TRC, 1984; Finney, 1990).

نتایج نشان داد که میزان سمیت هر سه فلز روی، مس و آلومینیم با افزایش زمان مواجهه زیاد می‌شود و غلظت کمتری از فلز لازم است تا سبب تلفات در لارو ماهی شود؛ به‌عنوان مثال روی طی ۲۴ ساعت اول در غلظت بیشتر (۱۶/۷۰۴ میلی‌گرم بر لیتر) نسبت به ۹۶ ساعت (۱۴/۰۵۶ میلی‌گرم بر لیتر) منجر به بروز تلفات در لارو می‌شود. این روند در فلز آلومینیم و مس نیز مشاهده شد. همچنین در محدوده اطمینان ۹۵درصدی دامنه غلظت میانه برای آلومینیم ۶۷/۸۵۱- ۵۵/۴۴۹ میلی‌گرم بر لیتر ، برای مس ۱/۱۵۷-۱/۶۳۷ میلی‌گرم بر لیتر و برای روی ۱۶/۴۱۱- ۱۲/۲۹۳ میلی‌گرم بر لیتر تعیین گردید (جدول۲).

[1] Up and down
[2] Lowest observed effect concentration
[3] No observed effect concentration (LC_{50}/10)

جدول۱- غلظت‌های کشنده (LC_1-LC_{99}) فلزات روی، مس و آلومینیم ۹۶ ساعته در لارو ماهی تیلاپیای نیل جهت تعیین LOEC و NOEC (بر حسب میلی‌گرم بر لیتر)

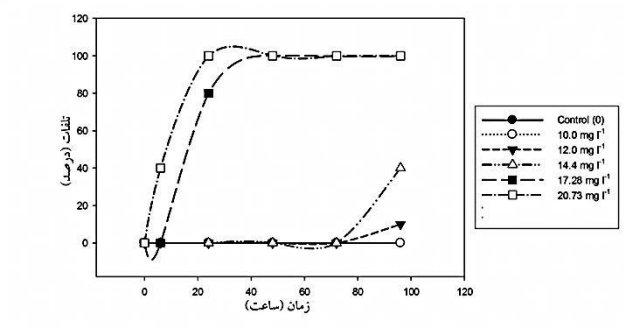
LCx-96h	روی	مس	آلومینیم
۱	۱۰/۳۴۸	۰/۸۹۵	۱۳/۳۷۳
۵	۱۱/۳۱۹	۱/۰۲۰	۲۰/۹۴۳
۱۰	۱۱/۸۷۳	۱/۰۹۳	۲۶/۶۰۱
۲۵	۱۲/۸۶۱	۱/۲۲۸	۳۹/۶۶۸
۵۰	۱۴/۰۵۶	۱/۳۹۷	۶۱/۸۳۹
۷۵	۱۵/۳۶۱	۱/۵۸۹	۹۶/۴۰۱
۹۰	۱۶/۶۳۹	۱/۷۸۴	۱۴۳/۷۵۵
۹۵	۱۷/۴۵۴	۱/۹۱۲	۱۸۲/۵۹۲
۹۹	۱۹/۰۹۳	۲/۱۷۹	۲۸۵/۹۵۸

جدول۲- غلظت میانه کشنده (۹۶-۲۴ ساعته) فلز روی، مس و آلومینیم طی ۴ روز با استفاده از آزمون پروبیت (اعداد بر حسب میلی‌گرم بر لیتر)*

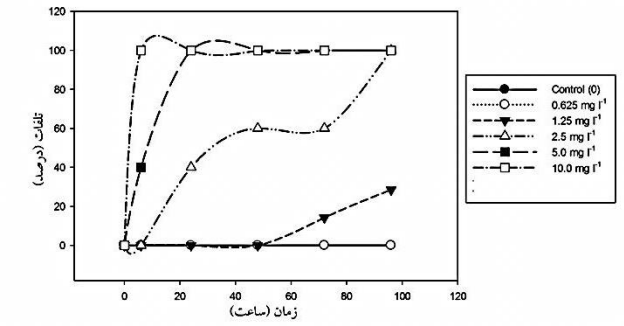
زمان / فلز	۲۴	۴۸	۷۲	۹۶
روی	۱۶/۷۰۴	۱۵/۷۶۷ (۱۱/۰۱۹-۲۳/۵۸۳)	۱۵/۷۶۷ (۱۱/۰۱۹-۲۳/۵۸۳)	۱۴/۰۵۶ (۱۲/۲۹۳-۱۶/۴۱۱)
مس	۲/۶۴۱	۲/۳۶۱	۲/۰۷۸ (۱/۷۶-۲/۳۹۶)	۱/۳۹۷ (۱/۶۳۷-۱/۱۵۷)
آلومینیم	-	۷۲/۹۶۸	۶۱/۸۳۹ (۵۵/۴۴۹ -۶۷/۸۵۱)	۶۱/۸۳۹ (۵۵/۴۴۹ -۶۷/۸۵۱)

* اعداد بالایی نشان دهنده میانگین و اعداد پایینی دامنه غلظت را نشان می‌دهند.

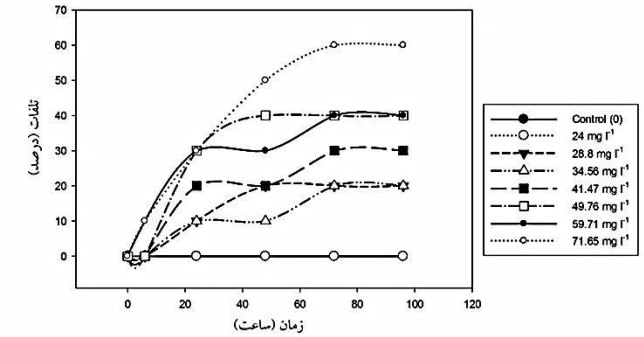
همچنین در نمودار مربوط به فلز مس بیشترین درصد تلفات در ۲۴ ساعت اولیه رخ داده است (نمودار شکل۲). علاوه بر این تعداد تلفات بر اساس فراوانی تجمعی حاکی از آن است که با افزایش غلظت هر فلز طی ۴ روز، میزان تلفات افزایش می‌یابد. به عنوان مثال، در نمودار مربوط به فلز روی، با افزایش غلظت فلز میزان تلفات افزایش یافته است، بطوری که در غلظت‌های بیشتر از ۱۷/۲۸ میلی‌گرم بر لیتر به‌طور قابل ملاحظه‌ای نسبت به تیمار شاهد افزایش نشان می‌دهد. در فلزات مس وآلومینیم نیز این روند مشاهده می‌شود (نمودار شکل‌های ۱، ۲ و ۳). در عین حال مقایسه بین سه فلز نشان می‌دهد که مس هم در غلظت پایین‌تر و هم با شیب تندتر اثر مخرب خود را اعمال و باعث تلفات در لاروها شده است (نمودار شکل ۲). با استفاده از آنالیز رگرسیون پروبیت، میزان LC50-96h برای آلومینیم، مس و روی به ترتیب ۶۱/۸۳۹، ۱/۳۹۷ و ۱۴/۰۵۶ میلی‌گرم بر لیتر به‌دست آمد (جدول۲).



شکل ۱- نمودار فراوانی تجمعی تلفات لارو ماهی تیلاپیای نیل در اثر افزایش غلظت فلز روی (غلظت بر اساس میلی‌گرم بر لیتر)



شکل۲- نمودار فراوانی تجمعی تلفات لارو ماهی تیلاپیای نیل در اثر افزایش غلظت فلز مس (غلظت بر اساس میلی‌گرم بر لیتر)



شکل ۳- نمودار فراوانی تجمعی تلفات لارو ماهی تیلاپیای نیل در اثر افزایش غلظت فلز آلومینیم (غلظت بر اساس میلی‌گرم بر لیتر)

۴. بحث

به‌طور کلی آزمایش‌هایی در خصوص تعیین غلظت نیمه کشنده فلزات مختلف بر سلامت و بقاء آبزیان انجام شده است. اما اطلاعات چندانی در خصوص اثر سمیت عناصر فلزی بر دوره‌ی لاروی و جنینی آبزیان وجود ندارد. یافته‌های مذکور نشاندهنده اثر فلزات سمی بر بروز اختلال در عملکردهای فیزیولوژیک آبزیان مانند رشد، تغییر در ضربان قلب، اندازه کیسه زرده و غیره می‌باشد (Naz and Javed, 2013).

افزایش میزان تلفات لاروها همزمان با افزایش غلظت و مدت زمان در معرض قرارگیری نشان دهنده سمیت بیشتر فلزات در شرایط این آزمایش برای لاروهای تیلاپیا نیل بود. در تایید یافته های این تحقیق، افزایش میزان سمیت فلزات روی و کادمیوم برای لارو دارای شنای آزاد

ماهی سیم دریایی قرمز (*Pagrus major*) همزمان با افزایش طول دوره مواجهه با بروز تلفات بیشتر در لاروها به اثبات رسیده است (Cao *et al*., 2009; Huang *et al*., 2010). همچنین، بررسی اثر سمیت کادمیم بر لارو دارای کیسه زرده همین ماهی نشان داد که با افزایش زمان در معرض قرارگیری میزان تلفات افزایش یافته و غلظت نیمه کشنده فلز کادمیم از ۱۸/۹ میلی‌گرم بر لیتر در ۲۴ ساعت به ۵/۶ میلی‌گرم بر لیتر در ۹۶ ساعت کاهش یافت (Cao *et al*., 2009).

نتایج حاصل همچنین نشان داد که در شرایط تحقیق حاضر فلز مس در بین سایر فلزات مورد آزمایش، از سمیت بیشتری برخوردار بوده و در غلظت‌های کمتر برای لاروها کشنده است. با توجه به یافته‌های سایر محققین، دلیل این امر را می‌توان حساسیت متفاوت لاروها نسبت به سمیت فلزات مختلف عنوان کرد (Witeska *et al*., 2010; Naz and javed, 2013). تفاوت در شدت سمیت فلزات مختلف بر گونه‌های مختلف ماهی در تحقیقات سایر محققین نیز به اثبات رسیده است. به عنوان مثال مقایسه اثر سمیت مس و کادمیم بر بچه ماهیان کفال انگشت قد (*Mugil seheli*) بیانگر سمیت بیشتر مس نسبت به کادمیم بود (Abou El-Naga *et al*., 2005). در ماهی دو گرمی تیلاپیای نیل (*O. niloticus*) حساسیت ماهی نسبت به سمیت فلز آهن نسبت به کبالت بیشتر (آهن ۸/۵ میلی‌گرم بر لیتر و کبالت ۱۰۴ میلی‌گرم بر لیتر) ارزیابی شد (Oliveira-Filho *et al*., 2013). مقایسه‌ی اثر دو عنصر فلزی روی و مس بر ماهی کپور معمولی (*C. carpio*) نیز بیانگر سمیت بیشتر مس نسبت به روی بود (Wong *et al*., 1977). بررسی اثر سمیت فلز روی و کادمیم بر ماهی کپور علفخوار ۵ گرمی (*Ctenopharyngodon idella*) میزان LC_{50}-96h کادمیم (۳۳/۱۴ میلی‌گرم بر لیتر) را بیشتر از فلز روی (۲۶/۸۶ میلی‌گرم بر لیتر) نشان داد (Hua and Qixing, 2009). بر خلاف اینکه در مطالعه‌ی حاضر غلظت فلزات آلومینیم، روی و مس در محدوده میلی‌گرم بر لیتر برای لارو کشندگی ایجاد کرد در دیگر گزارش‌ها غلظت میانه کشنده‌ی فلزاتی هم‌چون کادمیم در حدود میکروگرم بر لیتر (۲۰۵ میکروگرم بر لیتر) در لارو دارای کیسه زرده ماهی تیلاپیای موزامبیک (*O. mossambicus*) منجر به بروز تلفات شده است (Hwang *et al*., 1995).

غلظت میانه کشنده ۹۶ ساعته فلز مس برای لارو ماهی تیلاپیای نیل (*O. niloticus*) در تحقیق ما برابر ۱/۳۹ میلی‌گرم بر لیتر تعیین شد. این در حالیست که این میزان برای گربه ماهی آفریقایی (*Clarias gariopinus*) ۶ گرمی در pH برابر ۷ و سختی ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر کربنات کلسیم، برابر ۰/۷۱-۰/۶ میلی‌گرم بر لیتر گزارش شده است (Olaifa *et al*., 2004). غلظت نیمه کشنده‌ی مس برای لارو تازه هچ شده ماهی قزل‌آلای سرفولادی (*Oncorhynchus mykiss*) و ماهی آزاد چینوک (*O. tshawytscha*) در pH خنثی و سختی ۲۴ میلی‌گرم بر لیتر، به ترتیب برابر ۲۸ و ۲۶ میکروگرم بر لیترتعیین شد (Chapman, 1978). در تمام این تحقیقات غلظت نیمه کشنده کمتر از مقداری است که در تحقیق حاضر به‌دست آمده است. این تفاوت‌ها می‌تواند تاییدی بر حساسیت متفاوت گونه‌ها در مقابل اثر سمیت فلزات باشد. در تایید یافته‌های تحقیق حاضر، در آبزیان دیگر نظیر میگوی هندی (*Penaeus indicus*) در مرحله پست لاروی (۰/۲ گرم) غلظت میانه کشنده مس ۲/۵۳ میلی‌گرم بر لیتر گزارش شد که در مقایسه با فلزات کادمیم، روی و سرب، از سمیت بیشتری برخوردار بوده است (Chinni and yallapragda, 2000). در عین حال گزارش‌هایی نیز مبنی بر حساسیت کمتر جنین ماهی زبرا (*D. rerio*) نسبت به فلز روی در مقایسه با لارو ۵ روزه این ماهی ارائه شده است (Ansari and Ansari, 2015).

به‌طور کلی علاوه بر دلایل گفته شده در فوق، علت اختلاف در میزان سمیت فلزات در مطالعات مختلف می‌تواند ناشی از تفاوت پارامترهای کیفی آب یا تفاوت در مراحل تکاملی گونه‌های مختلف ماهی باشد. به‌عنوان مثال سختی بالا و افزایش pH منجر به کاهش سمیت مس می‌شود. همچنین دوره‌ی جنینی نسبت به سایر دوران تکاملی (لاروی و بالغ) نسبت به سمیت فلزات از حساسیت کمتری برخوردار است (Chapman, 1978; Extoxnet, 1996; Gillis *et al*., 2008).

در مطالعه‌ی حاضر، غلظت میانه کشنده فلز روی برای لارو ماهی تیلاپیای نیل ۱۴/۰۵۶ میلی‌گرم بر لیتر برآورد شد. اما این غلظت در آلوین ماهی آزاد چینوک (*O. tshawytscha*) تقریبا ۶۶۱ میکروگرم بر لیتر و در آلوین ماهی قزل آلای سرفولادی (*O.mykiss*) ۸۱۵ میکروگرم بر لیتر تعیین شده است (Chapman, 1978). همچنین در لارو دارای کیسه زرده ماهی سیم دریایی قرمز (*P. major*) در pH، ۸/۲ و سختی ۱۸۳ میلی‌گرم بر لیتر کربنات کلسیم، تقریبا ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر گزارش شده است (Huang *et al*., 2010). یافته‌های فوق می‌تواند نشان‌دهنده مقاومت زیاد لارو تیلاپیای نیل نسبت به آلاینده‌های فلزی در مقایسه با سایر گونه‌ها باشد. در ماهی بالغ تیلاپیای نیل (*O. niloticus*) غلظت نیمه کشنده فلز روی ۷۲/۴۳۱ میلی‌گرم بر لیتر تعیین شده است که احتمالا علت این تفاوت علاوه بر تفاوت در اندازه ماهی سختی بالا (۲۳۰-۲۲۵ میلی‌گرم بر لیتر کربنات کلسیم) در مقایسه با سختی آب در مطالعه حاضر است (Ezeonyejiaku and Obiakor, 2011). در لارو ۵ روزه ماهی زبرا (*D. rerio*) غلظت میانه کشنده ۹۶ ساعته فلز روی در دمای ۲۸ درجه سانتی‌گراد و pH خنثی ۱۲/۰۱ میلی‌گرم بر لیتر گزارش شد (Ansari and Ansari, 2015) که این عدد در مقایسه با سایر مطالعات به نتیجه به دست آمده برای لارو ماهی تیلاپیای نیل بسیار نزدیک است.

میزان غلظت میانه کشنده آلومینیم برای لارو تیلاپیای نیل در تحقیق حاضر ۶۱/۸۳۹ میلی‌گرم بر لیتر به دست آمد. درحالی که نتایج حاصل از سایر تحقیقات بر روی ماهیانی هم‌چون ماهی روهو انگشت قد (*Labeo rohita*) (۳۲/۵ میلی‌گرم بر لیتر) و ماهی کاتلا ۲ گرمی (*Catla catla*) (۵۳/۱ میلی‌گرم بر لیتر) گزارش شده است. تفاوت مشاهده شده علاوه بر اختلاف در گونه‌ها و اندازه آنها می‌تواند ناشی از اختلاف در ویژگی‌های فیزیکو شیمیایی محیط پرورش باشد. علاوه بر این در ماهی ۵ گرمی زبرا (*Brachyodanio rerio*) در pH ۶/۸، غلظت میانه کشنده ۵۶/۹۲ میلی‌گرم بر لیتر تعیین شد که کمتر از میزان برآورد شده در این تحقیق است (Selvam *et al*., 2014; Maharajan and Parurukmani, 2012; Anandhan and Hemalatha, 2009). این اختلاف اندک در غلظت نیمه کشنده آلومینیم در ماهی زبرا در مقایسه با تیلاپیا می‌تواند ناشی از کاهش pH باشد. گاندرسن و همکاران (۱۹۹۴)؛ pH و سختی آب را دو عامل بسیار مهم در میزان سمیت آلومینیم و تلفات در ماهی نوجوان قزل‌آلای رنگین کمان (*O. mykiss*) دانستند (Gundersen *et al*., 1994). در مجموع می‌توان گفت، سمیت فلزات بسته به گونه ماهی، خصوصیات فیزیکوشیمیایی آب، نوع فلز و مرحله تکامل در آبزیان متفاوت است.

در مطالعه حاضر با توجه به نتایج به دست آمده کمترین غلظت میانه کشنده مربوط به فلز مس بود. بنابراین از میان سه فلز مورد ارزیابی در این تحقیق، مس سمیت بیشتری را دارا است. با توجه به اینکه برخی از فلزات در غلظت‌های بسیار اندک برای لارو آبزیان کشنده است و همچنین محدود بودن اطلاعات در مورد اثر مخرب آلاینده‌های فلزی در دوره‌ی اولیه تکاملی آبزیان، جهت موفقیت در برنامه پرورش آبزیان به خصوص در بحث لاروی کالچر بررسی دقیق آلاینده‌ها و کنترل اثرات آن‌ها ضروری است.

۵. منابع

References

Aalm, M.N., 1998. Studies on toxicity of a pesticide Met acid 50 to the fingerlings of *Cirrhina mrigala*. *The Indian Zoologist* 12(1-2), 45-47 .

Abou El-Naga, E.H., El-Moselhy, K.M., Hamed, M.A., 2005. Toxicity of cadmium and copper and their effect on some biochemical parameters of marine fish *Mugil sheheli Egyptian Journal Aquatic of Research* 31(2), 60-71.

Anandhan, R., S. Hemalatha., 2009. Acute toxicity of aluminum to Zebra fish (*Branchydanio rerio*). *The Internet Journal of Veterinary Medicine* 7 (1), 26-28.

Ansari, S., Ansari, B.A., 2015. Effects of heavy metals on the embryo and larvae of zebrafish, (*Danio rerio*). Scholars *Academic Journal of Biosciences* 3, 52-56.

Azmat, H., Javed, M., Jabeen. G., 2012. Acute toxicity of aluminum to the fish (*Catla catla, Labeo rohita* and *Cirrhina mrigala*). *Pakistan Veterinary Journal* 31, 85-87.

Chapman, G.A., 1978. Toxicities of cadmium, copper, and zinc to four juvenile stages of chinook salmon and steelhead. *Transactions of the American Fisheries Society* 107(6), 841-847.

Cao, L., Huang, W., Shan, X., Xiao, Z., Wang, Q. Dou, S., 2009. Cadmium toxicity to embryonic–larval development and survival in red sea bream *Pagrus major*. *Ecotoxicology and environmental safety* 72(7), 1966-1974.

Chinni, S., Yallapragda, P.R., 2000. Toxicity of copper, cadmium, zinc and lead to *Penaeus indicus* post larvae; Effects of individual metals. *Journal of Environmental Biology* 21, 255-258.

Dave, G., Xiu, R., 1991. Toxicity of mercury, copper, nickel, lead and cobalt to embryos and larvae of zebrafish (*Brachydanio rerio*). Archives of *Environmental Contamination and Toxicology* 21(1), 126–134.

EI-Sayed, A. M., 2002. Effect of stocking density and feeding levels on growth and feed efficiency of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus* L.) fry. *Aquaculture Research* 33, 621-626.

Extoxnet., 1996. Rotenone Pesticide Information Profile. Extension Toxicology Network. Available at http://extoxnet.orst.edu/ pips/rotenone.htm.

Ezeonyejiaku, C. D., Obiakor, M. O., 2011. Toxicological study of single action of zinc on tilapia species (*Oreochromis niloticus*). *Online Journal of Animal and Feed Research* 1(4), 139-143.

Fernandez-Davila, M. L.; Razo-Estrada, A. C.; Garcia-Medina, S.; Gomez-Olivan, L. M.; Pinon-Lopez, M. J.; Ibarra, R. G., Galar-Martinez, M., 2012. Aluminum-induced oxida¬tive stress and neurotoxicity in grass carp (*Cyprinidae, Ctenopharyngodon idella*). *Ecotoxicology and Environmental Safety* 76, 87–92.

Finney, D., 1990. Probit Analysis Cambridge University, Press; pp. 1 –222.

Grosell, M.; McDonald, M.; Wood, C.M., Walsh, P.J., 2004. Effects of prolonged copper exposure in the marine gulf toadfish (*Opsanus beta*). I. Hydromineral balance and plasma nitrogenous waste products. Aquatic Toxicology 68(3), 249–262.

Gundersen, D.T., Bustaman, S., Seim, W.K., Curtis, L.R., 1994. pH, hardness, and humic acid influence aluminum toxicity to rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) in weakly alkaline waters. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 51(6), 1345-55.

Hogstrand, C., Wilson, R.W., Polgar, D., Wood, C.M., 1994. Effects of zinc on the kinetics of branchial Ca uptake in freshwater rainbow trout during adaptation to water borne zinc. Journal of *Experimental Biology* 186, 55-73.

Hua, T., Qixing. Z., 2009. Joint toxic effect of Cd and Zn on grass carp (*Ctenopharyngodon idella*) and SOD activity. *Acta Sciences Curricum* 29, 312-31.

Huang, W., Cao, L., Shan, X., Xiao, Z., Wang, Q., Dou, S., 2010. Toxic effects of zinc on the development, growth, and survival of red sea bream *Pagrus major* embryos and larvae. Archives of environmental contamination and toxicology 58(1), 140-150.

Hwang, P.P., Lin, S.W. and Lin, H.C., 1995. Different sensitivities to cadmium in tilapia larvae (*Oreochromis mossambicus*; Teleostei). *Archives of Environmental Contamination and Toxicology* 29(1), 1-7.

Kazlauskiene, N., Vosyliene, M.Z., 2008. Characteristic features of the effect of Cu and Zn mixtures on rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) in ontogenesis. *Polish Journal of Environmental Studies* 17(2), 291-299.

Lawrence, A.J., Hemingway, K.C., 2003. Effects of Pollution on Fish. Blackwell Publishing, 342.

Maharajan, A., Parurukmani, P., 2012. Effect of aluminum chloride toxicity against histopathology of gill and liver tissue of Indian Major Carp, *Catla catla*. *International Journal of Pharmacy and Biology Sciences* 3(3), 523 – 530.

Murungi, J.I., Robinson, J.W., 1987. Synergistic Effects of pH and Aluminium Concentration on Life Expectancy of Tilapia (*mosambicus*) Fingerlings. *Journal of Environmental Science and Health* 22 (5), 391.

Naz, S., Javed, M., 2013. Studies on the toxic effects of lead and nickel mixture on two freshwater fishes, *Ctenopharyngodon idella* and *Hypophthalmichthys molitrix*. *The Journal of Animal and Plant Sciences* 23(3), 798-804.

Olaifa, F.E., Olaifa, A.K., Onwude, T.E., 2004. Lethal and sub-lethal effects of copper to the African catfish (*Clarias gariepinus*) juveniles. *African Journal of Biomedical Research* 7(2), 65 -70.

Oliveira-Filho, E.C., de Freitas Muniz, D.H., Freire, I.S., de Gois Aquino, F., de Andrade, L.R.M., 2013. Comparative Susceptibility of Freshwater Fish Species to Metals from Ultramafic Soils. *Ecotoxicology and Environmental Contamination* 8(1), 119-123.

Ozden, O., 2010. Micro, macro mineral and proximate composition of Atlantic bonito and horse mackerel: a monthly differentiation. *International Journal of Food Science & Technology* 45, 578-586.

Peterson, R.H., Metcalfe, J.L., Ray, S., 1983. Effects of cadmium on yolk utilization, growth, and survival of Atlantic salmon alevins and newly feeding fry. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology* 12(1), 37-44.

Pullin, R.S., Palmares, M. L., Casal, C.V., Dey, M.M., Pauly, D., 1997. Environmental impacts of tilapias. Pages 554-572 in K. Fitzsimmons, (Eds). Proceedings of the fourth international symposium on tilapia in aquaculture. Northeast Regional Agricultural Engineering Service, Ithaca, New York.

Sayer, M.D.J., Reader, J.P., Dalziel, T.R.K., 1993. Freshwater acidification: effects on the early life stages of fish, Review. *Fish Biology* 3, 95–132.

Selvam, A., Anandhan, R., Kavitha, V., 2014. Acute Toxicity of Aluminum Chloride to Freshwater Fish *Labeo Rohita* (Ham). *International Journal of Research in Fisheries and Aquaculture* 4(2), 104-107.

Stasiunaite, P. 2005. Toxicity of copper to embryonic development of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Acta Zoologica Lituanica* 15(3), 259-265.

Syed, M.A., Coombs, T.L., 1982. Copper metabolism in the plaice, (*Pleuronectes platessa* L.), *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 63, 281-296.

T.R.C., 1984. O.E.C.D. Guideline for Testing of Chemical Section 2, Effects on biotic systems, pp. 1-39.

Vallee, B. L., Falchuk, K.H., 1993. The biochemical basis of zinc physiology. *Physiological Reviews* 73, 79-118.

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

Witeska, M., Bilska, K., Sarnowski, P., 2010. Effects of copper and cadmium on growth and yolk utilization in Barbel (*Barbus Barbus* L.) larvae polish *Journal of Environmental Studies* 19(1), 227-230.

Wong, M.H., Luk, K.C., Choi, K.Y., 1977. The effects of zinc and copper salts on *Cyprinus carpio* and *Ctenopharyngodon idellus*. cells tissues. *Organs* 99(4), 450-454.

Wong, C.K.C., Wong. M.H., 2000. Morphological and biochemical changes in the gills of Tilapia (*Oreochromis mossambicus*) to ambient cadmium exposure. *Aquatic Toxicology* 48(4), 517–527.

Wu, S.M., Jong, K.J., Kuo. S.Y., 2003. Effects of copper sulfate on ion balance and growth of tilapia larvae (*Oreochromis mossambicus*). *Archives of Environmental Contamination and Toxicology* 45(3), 357-363.