

مطالعه پاسخ‌های رفتاری ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان (*Oncorhynchus mykiss*) در

مواجهه با غلظت‌های مختلف آمونیاک محلول

*احمد محمدی یلسوئی^۱، عبدالمجید حاجی مرادلو^۲، رسول قربانی^۳ و ولی‌الله جعفری^۴

^۱ دانش‌آموخته کارشناسی ارشد مهندسی منابع طبیعی (شیلات- تکثیر و پرورش آبزیان)، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

^۲ استاد گروه تکثیر و پرورش آبزیان، دانشکده شیلات و محیط زیست، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

^۳ دانشیار گروه تولید و بهره‌برداری آبزیان، دانشکده شیلات و محیط زیست، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

^۴ استادیار گروه شیلات، دانشکده شیلات و محیط زیست، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

تاریخ دریافت: ۹۴/۱۰/۸؛ تاریخ پذیرش: ۹۵/۳/۲۵

چکیده

هدف از این تحقیق، مطالعه پاسخ‌های رفتاری ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان (*Oncorhynchus mykiss*) در مواجهه با تغییرات آمونیاک بود. به همین منظور، ۸ عدد ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان را با میانگین وزنی 2 ± 6 گرم در دو گروه تیمار (تیمار آمونیاک) و شاهد، با چهار تکرار در ۸ مخزن استوانه‌ای ۵ لیتری که دارای یک ورودی و خروجی آب بود، قرار گرفتند. کل زمان آزمایش به سه بازه زمانی تقسیم شد. بازه اول شامل افزایش مقدار آمونیاک در تیمارها بود. بازه دوم مدت زمانی بود که مقدار آمونیاک در بالاترین سطح تعیین شده، ثابت ماند؛ در انتها، بازه نهایی (بازه سوم)، شامل کاهش غلظت آمونیاک به مقدار اولیه‌اش در شروع آزمایش بود. الگوی شنای ماهیان شامل شش شاخصه‌ی میانگین سرعت شنا، کل مسافت طی شده، میزان حرکت جهشی (شتابدار)، درصد حرکت، میانگین تغییر جهت جابه‌جایی و میانگین فاصله از مرکز بود. نتایج بدست آمده از این آزمایش نشان داد بین الگو شنای ماهیان در تیمار آمونیاک نسبت به گروه شاهد تفاوت معنی‌داری وجود داشت ($P < 0.05$). بین الگوی شنای ماهی (تیمار آمونیاک) در بازه اول آزمایش نسبت به بازه سوم آزمایش تفاوت معنی‌داری وجود داشت ($P < 0.05$). نتایج حاصل از مطالعه حاضر نشان داد، الگوی شنای آبزیان نه تنها در مواجهه با تنش‌های محیطی تغییر می‌کند بلکه دارای الگوهای مشخصی نیز است؛ همچنین این مطالعه نشان داد، بررسی بیشتر الگوهای رفتاری آبزیان راه مؤثری برای کنترل تنش‌های محیطی است.

واژه‌های کلیدی: آمونیاک، پاسخ‌های رفتاری، الگوی شنا ماهی، قزل‌آلای رنگین‌کمان

مقدمه

(ایمانپور و زادمجید، ۱۳۸۸). همچنین مطالعات گذشته نشان داده است، آلودگی می‌تواند روی کیفیت تخم مولدین و بقای لاروها تاثیر بگذارند (Miller, ۱۹۹۳؛ Johnston و Laggett، ۲۰۰۲؛ Holcomb، ۲۰۰۴). هرچند محیط‌های آبی طبیعی پرورشی دارای ساختارهای پیچیده‌ای هستند و مجموعه‌ای از عوامل در شکل‌گیری پدیده خاصی دخالت دارند؛ ولیکن تنها تعداد کمی از عوامل موجود در ساختار نقش تاثیرگذار بر کیفیت محیط آبی دارند.

آبی پروری یک صنعت رو به رشد در سال‌های اخیر است. پرورش متراکم ماهی به خودی خود با مواعی همچون حمل و نقل، تراکم، تغذیه، کیفیت آب و بیماری همراه است (Bennison، ۲۰۰۴). ماهیان همچون سایر موجودات زنده جهت تامین بقا و رشد باید با محیط زیست خود سازش یابند

*نویسنده مسئول: ahmad_m.yalsuyi@yahoo.com

نشانه‌های مختلفی مانند اضطراب، افزایش تنفس و حرکت نامنظم سرپوش آبخشی، شنای نزدیک به سطح، افزایش موكوس و رنگ پریدگی پوست، از دست دادن تعادل و در نهایت مرگ است (Thurston و همکاران، ۱۹۸۱).

بروز رفتار حاصل اثر متقابل عوامل درونی و بیرونی است؛ از همین روی لحظه بروز رفتار ماهی و دیگر موجودات برای ارزیابی عوامل استرس‌زا در محیط، بسیار ارزشمند است. این دسته از رفتارها، در کنار عوامل بیوشیمیایی و فیزیولوژیکی می‌تواند افق گسترده‌تری را از سطح عوامل استرس‌زا و آلودگی‌های زیست محیطی برای ما فراهم سازد (Brewer و همکاران، ۲۰۰۱؛ Vogel و همکاران، ۱۹۹۹). Bailey و Smith (۱۹۸۸) در زمینه گسترش سیستم‌های هشدار دهنده تغییرات نامناسب محیطی، مبتنی بر الگوی رفتار ماهیان مطالعه داشته‌اند. Little و Finger (۱۹۹۰) اثر مقادیر زیر کشنده سموم را روی رفتار شنای ماهیان بررسی کردند؛ برور و همکاران (۲۰۰۱)، اختلالات رفتاری و فیزیولوژی ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان را در مواجهه با مواد شیمیایی مهارکننده کولین استراز (-Cholinesterase inhibiting) را مطالعه کردند. Kane و همکاران (۲۰۰۴) روی طراحی سیستم‌های تحلیل الگوهای حرکتی، مبتنی بر تصاویر ویدئویی مطالعه کردند؛ کین و همکاران الگوها و پاسخ‌های رفتاری ماهی کیلی (*Fundulus heteroclitus*) در مواجهه با مقادیر مختلف ماده متان تری‌کائین سولفانات (MS222) را ارزیابی کردند. مطالعات گذشته نشان داد، تغییرات رفتاری آبیان در مواجهه با تنش‌های محیطی، اطلاعات نو و بدیعی را در مقایسه با دیگر روش‌های سنتی (مثل مواجهه کوتاه مدت و بلند مدت ماهیان، در معرض غلظت کشنده سموم و همچنین آزمون میزان کشندگی آنها) در اختیار ما قرار می‌دهد. چنان

شاخصه‌های اصلی کیفیت آب عبارتند از دما، مواد جامد معلق، نیتريت، آمونیاک، قلیائیت، میزان دی‌اکسید کربن و اکسیژن محلول در آب (Timmons و همکاران، ۲۰۰۲). تغییرات نامطلوب هریک از این شاخصه‌ها می‌تواند منجر به کاهش کیفیت محیط پرورشی و کاهش سود آوری شود (Kane و همکاران، ۲۰۰۴).

ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان (*Oncorhynchus mykiss*)، در بسیاری از کشورهای جهان بعنوان یک گونه پرورشی معرفی و پذیرفته شده است. بازه مناسب رشد و نگهداری این گونه ۶-۱۸ درجه سانتی‌گراد، pH ۷-۸ و میزان اکسیژن محلول (DO) بالاتر از ۹ میلی‌گرم در لیتر است (Matschak و همکاران، ۱۹۹۸؛ Tikeogly، ۲۰۰۰). هرچند ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان می‌تواند غلظت آمونیاک محلول را تا مرز ۰/۱ میلی‌گرم در لیتر (mg/L) تحمل کند؛ ولیکن میزان آمونیاک محلول در آب باید زیر ۰/۰۵ میلی‌گرم در لیتر باشد (Industry standard، ۱۹۸۸؛ Medinor، ۱۹۹۵).

آمونیاک موجود در محیط آبی دارای دو منشا آلی و معدنی است. آمونیاک موجود به دو شکل یون آمونیاک (NH_4^+) و شکل مولکولی آمونیاک (NH_3) در محیط‌های آبی و مایعات زیستی یافت می‌گردد. رابطه بین این دو شکل از آمونیاک رابطه مستقیمی با میزان pH و دمای محیط دارد. دیواره‌های سلولی در ماهیان نسبت به ورود NH_4^+ نسبتاً نفوذناپذیر هستند، ولی شکل مولکولی آمونیاک (NH_3) می‌تواند در جهت شیب غلظت به راحتی از دیواره‌های سلولی عبور کند. آمونیاک مولکولی از دیواره آبشش عبور کرده و از طریق خون انتشار می‌یابد؛ این ماده با تاثیر مخرب روی عملکرد نوروهای انتقال‌دهنده پیام عصبی، روی فعالیت مغز تاثیر می‌گذارد (Svobodova و Blanka، ۱۹۹۳). مسمومیت با آمونیاک دارای

حد اشباع و pH معادل 7.6 ± 0.4 بود). حجم آبیگری هر مخزن ۲۵۰ لیتر و تعداد ماهیان هر تانک ۵۰ عدد بود. در طول این مدت ماهیان به وسیله جیره غذایی بیومار (FFT1) به شکل دو وعده در روز و معادل ۳ درصد وزن ماهیان تغذیه شدند.

آمونیاک: آمونیاک مورد استفاده در این آزمایش محصول لابراتور دکتر مجلی با خلوص ۲۵ درصد بود.

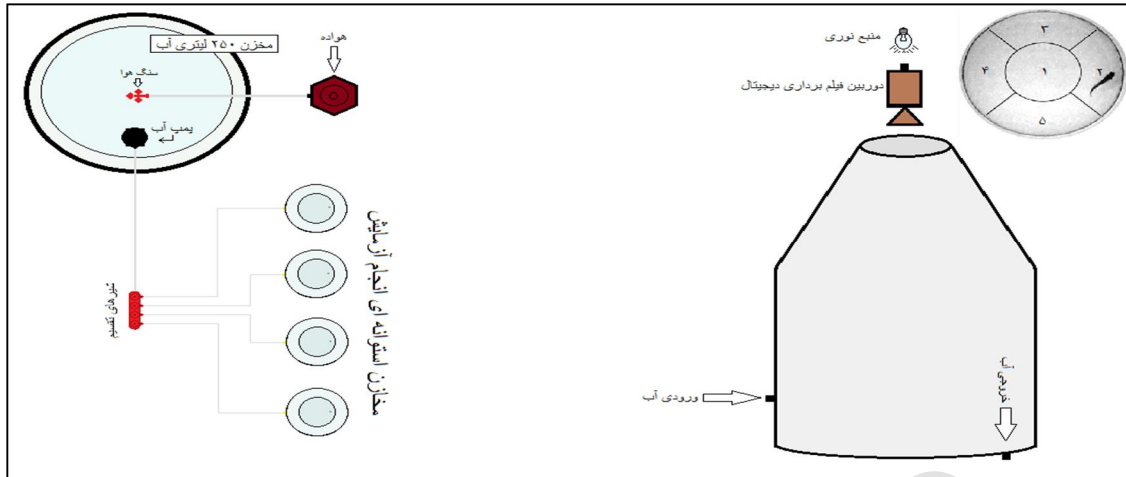
طراحی سیستم: با اقتباس از روش مطالعاتی Kine و همکاران (۲۰۰۵) و امکانات موجود آزمایشگاهی، مراحل آزمایش به شکل ذیل ایجاد گشت؛ در ابتدا ۸ عدد مخزن استوانه‌ای به حجم ۵ لیتر (ارتفاع ۱۰ سانتی‌متر و قطر مقطع ۲۹ سانتی‌متر) از جنس پلاستیک (PVC) و رنگ سفید برای محیط آزمایش در نظر گرفته شد. هریک از مخازن دارای یک مجرای ورودی و خروجی آب بودند که این دو مجرا در دورترین فاصله ممکن از یکدیگر قرار داشتند. مجرای ورودی آب روی دیواره و مجرای خروجی آب در کف مخزن طراحی شد. سرعت ورود و خروج آب یکسان و معادل ۲ سی‌سی در ثانیه (cc/Sec) بود. داده‌های تصویری به وسیله چهار دوربین فیلمبرداری دیجیتال (Canon, SX230 Hs, 5.0-70mm) ثبت گردید. برای ثبت بهتر تصاویر علاوه بر نور محیط در بالای هریک از مخازن یک منبع نوری ۶۰ آمپر طراحی شد. قرارگیری منبع نور به شکلی بود که هیچ‌گونه سایه‌ای در داخل ظرف ایجاد نشد؛ همینطور از آنجایی که هیچ‌گونه هوادهی در محیط اصلی آزمایش (مخازن پنج لیتری) صورت نمی‌پذیرفت تلاطم و جریانی وجود نداشت (شکل ۱).

که دستیابی به این اطلاعات در برخی موارد از مسیر قبلی امکان‌پذیر نیست (Little و Finger، ۱۹۹۰؛ Bridges، ۱۹۹۷؛ Saglio و Trijasse، ۱۹۹۸). با این وجود مطالعات مربوط به رفتارشناسی به آهستگی درحال گسترش است، زیرا تغییرات در رفتاری ممکن است ناشی از دیگر عوامل مانند شکار و شکارچی، مقاومت در برابر استرس، بلوغ، تولید مثل و بیماری باشد (Kine و همکاران، ۲۰۰۵).

نکته مبهم در مورد تغییرات رفتاری این مسئله است که آیا تغییرات رفتاری در ماهیان دارای الگوهای یکسانی است؛ آیا ماهیان در مواجهه با تغییرات محیطی الگوی یکسانی را بروز می‌دهند. یافتن پاسخ این پرسش، گام مفیدی در راه کنترل هرچه بهتر محیط‌های طبیعی و پرورشی است. ثبت رفتار ماهیان در کنار پیگیری روند تغییرات محیطی می‌تواند در آینده ما را از انجام آزمایش‌های پی‌درپی و صرف هزینه بی‌نیاز سازد.

مواد و روش‌ها

ماهی: با توجه به امکانات آزمایشگاهی و مطالعه‌ی اولیه، ۲۰۰ عدد ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان (*Oncorhynchus mykiss*) با میانگین وزنی 6 ± 2 گرم از کارگاه تکثیر و پرورش دشت سبز (ایران، تهران، فیروز کوه، کیلومتر ۲ جاده کلفور) تهیه شد و به سالن آبی‌پروری دانشکده شیلات و محیط‌زیست، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان انتقال یافت. تمام ماهیان در شرایط محیطی مشابه در تانک‌های فایبرگلاس مدور ۲۷۰ لیتری به مدت دو هفته جهت سازگاری با شرایط آزمایشگاهی نگهداری شدند (دما 17 ± 0.4 سانتی‌گراد، آمونیاک 0.25 ± 0.01 میلی‌گرم در لیتر، اکسیژن 8.0 ± 0.4 درصد



شکل ۱- شکل شماتیک محیط آزمایش

همچنین در تمام مدت آزمایش شرایط فیزیکی و شیمیایی آب برای گروه شاهد ثابت بود (دمای 17 ± 0.4 سانتی‌گراد، آمونیاک 0.25 ± 0.1 میلی‌گرم در لیتر، اکسیژن 4 ± 0.8 درصد حد اشباع و pH معادل 7.6 ± 0.4).

تحلیل داده‌ها

تصاویر بدست آمده توسط نرم‌افزار تحلیل تصاویر و عکس (Adobe after effects (AAE CS6 مورد بررسی قرار گرفت. حرکت ماهیان مطابق جدول (۱-۳) در سه بازه زمانی مورد بررسی قرار گرفت. برای مطالعه میزان همبستگی، میان داده‌های تحقیق، از آزمون اسپرمن (Spearman) در محیط نرم‌افزار SPSS (IBM SPSS Statistics 20) استفاده شد. همچنین برای تجزیه و تحلیل داده‌ها از آنالیز واریانس یکطرفه (Oneway-ANOVA) استفاده شد. تفاوت معنی‌داری در سطح 0.05 بین میانگین‌ها از طریق آزمون لاس‌دی (LSD) انجام گرفت. مجموع زمان مورد مطالعه در مراحل ابتدایی و انتهایی آزمایش به 10 بازه زمانی برابر ($30'' : 10'' : 0''$) تقسیم شد؛ چهار بازه ابتدایی (رفت) مربوط به زمان افزایش آمونیاک بود و چهار بازه انتهایی (بازگشت) مربوط به زمان کاهش آمونیاک است. بازه میانی به دو بازه 5 دقیقه‌ای تقسیم شد.

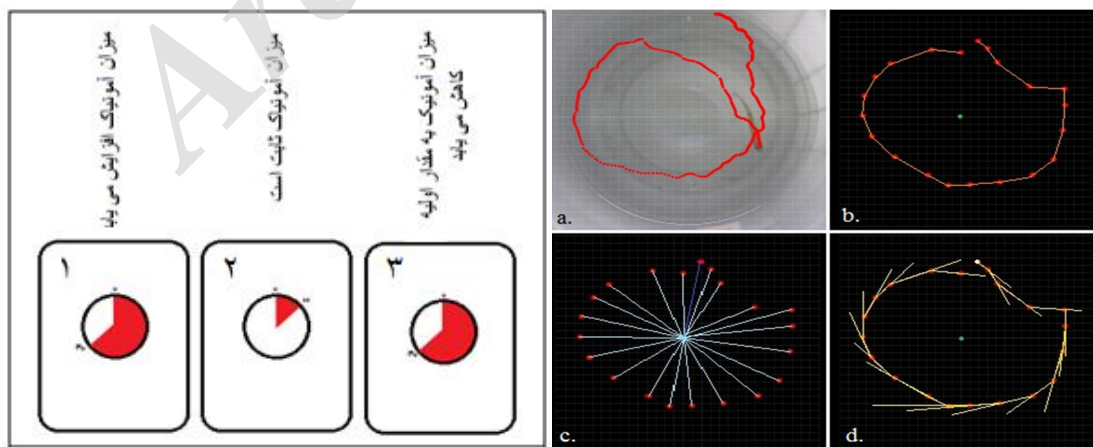
آزمایش اصلی: پس از زمان سازگاری (2 هفته) ماهیان در مخازن نگهداری، 8 عدد ماهی به شکل کاملاً تصادفی از میان آنها انتخاب شد. هر یک از ماهیان به یکی از مخازن پنج لیتری آزمایش انتقال یافت (هر مخزن 5 لیتری آزمایش حاوی یک عدد ماهی بود). دسته‌بندی مخازن به صورت دو گروه (شاهد و تیمار آمونیاک) با چهار عضو (تکرار) بود. برای سازگاری با محیط، این انتقال 24 ساعت قبل از شروع آزمایش آمونیاک صورت پذیرفت؛ دوربین‌های فیلمبرداری و منابع نوری از زمان انتقال در محل‌های خود قرار گرفت تا در روز آزمایش باعث تحریک ماهیان و ایجاد خطا نگردد. همچنین در این مدت (24 ساعت) غذادهی صورت نپذیرفت. زمان آزمایش به دو بازه زمانی 42 دقیقه‌ای و یک بازه زمانی 10 دقیقه تقسیم شد. بازه زمانی ابتدایی، بازه‌ای بود که در آن آمونیاک از 0.25 میلی‌گرم در لیتر به 10 میلی‌گرم در لیتر افزایش یافت (بازه رفت- 42 دقیقه). بازه 10 دقیقه‌ای میانی، زمانی بود که ماهی در غلظت ثابت 10 میلی‌گرم در لیتر آمونیاک نگهداری شد. بازه انتهایی، زمانی است که طی آن میزان آمونیاک به مقدار اولیه خود در ابتدای آزمایش رسید (بازه برگشت- 42 دقیقه)؛ «شکل ۲» بیانگر مراحل آزمایش است.

میانگین سرعت شنا رابطه‌ی مستقیم با تنش محیط دارد و جزء اولین پاسخ‌های رفتاری ماهیان در مواجهه با تنش محیطی است. افزایش سرعت شنا ماهی ناشی از میل ماهی به فرار است. کل مسافت طی شده نیز تابعی از میانگین سرعت شنا است و از فرمول $X=Vt$ (X: کل مسافت طی شده، V: سرعت حرکت، t: زمان حرکت) محاسبه می‌گردد. هرچه میزان حرکت جهشی یا پرتابه‌ای بیشتر باشد، میزان اضطراب ماهی بیشتر است. درصد حرکت مشخص می‌نماید که ماهی چه میزان در حال شنا بوده یا به چه میزان بی‌حرکت مانده است. تغییر جهت جابه‌جایی در کنار میزان حرکت

شنا‌بدار و درصد حرکت سه شاخصه مهم در بیان تنش ماهیان است. هرچه میانگین تغییر جهت جابه‌جایی کمتر باشد الگوی شنای ماهیان همگن‌تر و منظم‌تر است. هرچه میانگین فاصله از مرکز در مواجهه با عوامل استرس‌زا افزایش یابد میل ماهی برای گریز از محیط نیز به همان میزان افزایش می‌یابد. در مفهوم کلی حرکت تنها زمانی رخ داده است که ماهی معدل دوسوم (۶۶ درصد) طول بدن خویش جابه‌جا شود (Little و Finger، ۱۹۹۰؛ Kine و همکاران، ۲۰۰۵).

جدول ۱- شاخص‌های حرکتی ماهیان (برگرفته از مطالعات کین و همکاران، ۲۰۰۴ همراه با تعدیل و بهینه‌سازی).

توضیحات	شاخصه
میانگین سرعت ماهی، زمانی که ماهی در زمان t ثانیه X سانتی‌متر جابه‌جا می‌شود ($V = \frac{X}{t}$).	میانگین سرعت شنا
مجموع جابه‌جایی ماهی در زمان t ثانیه را گویند. تابعی از میانگین سرعت شنا است ($X = Vt$).	کل مسافت طی شده
مجموع مسافتی که در آن ماهی در بازه زمانی t ₀ (معادل یک ثانیه)، سرعت اش بیش از دو برابر میانگین سرعت کل باشد ($V_t > 2V_{avr}$).	حرکت جهشی (شنا‌بدار)
هنگامی که ماهی معادل دو سوم طول بدن خود جابه‌جا شود، می‌گوییم ماهی حرکت کرده است. تعداد نقاطی (بازه زمانی) که ماهی حرکت داشته تقسیم بر تمام نقاط (کل بازه زمانی) ضربدر صد، نمایانگر درصد حرکت است.	درصد حرکت
زمانی که ماهی از نقطه A به نقطه B و در ادامه به نقطه C میرود زاویه بین دو خط BA و CB برابر است با میزان تغییر جهت جابه‌جایی است.	میانگین تغییر جهت جابه‌جایی
بیانگر میانگین فاصله ماهی از مرکز مخزن است.	میانگین فاصله از مرکز



شکل ۲- الف) نمونه‌ای از الگوهای بدست آمده حاصل از تجزیه و تحلیل تصاویر با استفاده از نرم‌افزار Adobe after effects (CS6). شامل بیست ثانیه از شنای ماهی می‌شود. (a) مسیر حرکت ماهی. (b) کل مسافت طی شده (c) میانگین فاصله از مرکز. (d) میانگین تغییر جهت جابه‌جایی. (ب) طرح شماتیک نشان‌دهنده میزان زمان هر بازه آزمایش به همراه ترتیب انجام مراحل می‌باشد.

نتایج

بررسی و تحلیل داده نشان داد؛ بین الگوی شنای ماهیان در تیمار آمونیاک نسبت به گروه شاهد تفاوت معنی‌داری وجود داشت ($P < 0/05$). مقایسه بین الگوی شنای تیمار آمونیاک در بازه‌های زمانی متفاوت نمایانگر وجود اختلاف معنی‌داری مابین آنها بود ($P < 0/05$)؛ همچنین بین الگوی شنای تیمار آمونیاک در بازه ابتدایی آزمایش نسبت به بازه انتهایی آزمایش تفاوت معنی‌دار وجود داشت ($P < 0/05$).

درصد حرکت، کل مسافت طی شده و میانگین سرعت شنا ماهی در تیمار آمونیاک در بازه بازگشت کاهش شدیدی داشت. در تمام زمان‌های مطالعه درصد حرکت و میانگین فاصله از مرکز ماهی در تیمار آمونیاک نسبت به گروه شاهد تفاوت معنادار داشت (جدول ۲). میانگین فاصله از مرکز ماهی در

تیمار آمونیاک نسبت به گروه شاهد در تمام مدت آزمایش بیشتر بود و نسبت به آن اختلاف معنی‌داری داشت ($P < 0/05$).

درصد حرکت ماهیان در تیمار آمونیاک نسبت به گروه شاهد در ۸۰ درصد بازه‌های زمانی، کمتر از گروه شاهد بود و در تمام زمان‌ها اختلاف معنی‌داری با گروه شاهد داشت ($P < 0/05$). بین میانگین سرعت شنای ماهی تیمار آمونیاک در مجموع بازه رفت (۴۲-۰ دقیقه) نسبت به گروه شاهد تفاوت معنی‌داری وجود نداشت ($P > 0/05$). با این وجود، بین میانگین سرعت شنای ماهیان (تیمار آمونیاک) در مجموع بازه بازگشت (۴۲-۰ دقیقه) نسبت به گروه شاهد تفاوت معنی‌داری وجود داشت ($P < 0/05$). میانگین سرعت شنا ماهی در گروه شاهد بیشتر بود

جدول ۲- مقایسه الگوی شنای ماهی در تیمار آمونیاک با گروه شاهد (در زمان‌های یکسان) است (میانگین \pm انحراف معیار).

مرحله	زمان (دقیقه)	میانگین سرعت شنا (cm/sec.)		کل مسافت طی شده (cm)		میزان حرکت شتابدار (cm)	
		شاهد	تیمار	P	شاهد	P	تیمار
ابتدایی	۰-۱۱	۲/۵۰ \pm ۰/۳۲	۳/۵۲ \pm ۰/۱۰	○	۵۰/۰۶ \pm ۶/۴۸	○	۷۰/۴۰ \pm ۱/۹۸
	۱۱-۲۲	۳/۳۱ \pm ۰/۲۰	۳/۱۴ \pm ۰/۹۲	×	۶۶/۲۸ \pm ۴/۰۸	×	۶۲/۹۱ \pm ۱۸/۲۲
	۲۲-۳۲	۲/۹۴ \pm ۰/۱۲	۳/۵۹ \pm ۰/۳۳	×	۵۸/۹۵ \pm ۴/۶۲	×	۷۱/۹۰ \pm ۱۳/۱۰
	۳۲-۴۲	۳/۷۵ \pm ۰/۵۲	۲/۵۶ \pm ۰/۰۶	○	۷۴/۹۹ \pm ۱۰/۳۳	○	۵۱/۲۰ \pm ۱/۲۱
	۵	۳/۳۱ \pm ۰/۵۴	۴/۰۴ \pm ۰/۵۴	○	۶۶/۳۴ \pm ۱/۱۱	○	۸۰/۸۰ \pm ۱۰/۷۷
۱۰	۳/۴۰ \pm ۰/۱۶	۷/۲۶ \pm ۱/۸۹	○	۶۸/۰۸ \pm ۳/۲۶	○	۱۴۵/۹۱ \pm ۳۷/۲۵	
انتهایی	۰-۱۱	۳/۸۰ \pm ۰/۲۵	۲/۶۱ \pm ۰/۴۶	○	۷۶/۱۸ \pm ۴/۹۶	○	۵۲/۱۷ \pm ۹/۱۷
	۱۱-۲۲	۲/۲۸ \pm ۰/۲۰	۰/۹۱ \pm ۰/۲۲	○	۴۵/۵۴ \pm ۴/۰۶	○	۱۸/۳۲ \pm ۴/۱۸
	۲۲-۳۲	۴/۸۰ \pm ۰/۱۶	۰/۷۵ \pm ۰/۳۰	○	۹۶/۰۸ \pm ۳/۲۵	○	۱۴/۹۶ \pm ۳/۸۹
	۳۲-۴۲	۳/۱۱ \pm ۰/۲۸	۳/۱۱ \pm ۰/۸	○	۶۲/۳۳ \pm ۵/۶۰	○	۶/۲۸ \pm ۱/۶۴
	۵	۸۰/۰۰ \pm ۹/۱۳	۹۸/۰۰ \pm ۹/۱۳	○	۲۷/۶۸ \pm ۲/۱۷	○	۳۲/۷۸ \pm ۳/۱۷
ابتدایی	۰-۱۱	۹۹/۲۵ \pm ۰/۵۰	۹۸/۰۰ \pm ۰/۸۲	○	۳۴/۱۱ \pm ۱/۷۶	○	۲۶/۲۲ \pm ۱/۳۸
	۱۱-۲۲	۹۸/۰۰ \pm ۰/۰۰	۷۵/۰۰ \pm ۵/۷۷	○	۲۹/۶۸ \pm ۱/۵۷	○	۲۷/۲۰ \pm ۱/۶۱
	۲۲-۳۲	۸۵/۰۰ \pm ۴/۰۸	۷۵/۰۰ \pm ۷/۰۷	○	۳۱/۱۶ \pm ۱/۴۴	○	۲۶/۴۳ \pm ۲/۴۸
	۳۲-۴۲	۸۰/۰۰ \pm ۹/۱۳	۹۸/۰۰ \pm ۹/۱۳	○	۲۷/۶۸ \pm ۲/۱۷	○	۳۲/۷۸ \pm ۳/۱۷

ادامه جدول ۲-

مرحله	زمان (دقیقه)	درصد حرکت (%)		میانگین تغییر جهت جابه‌جایی (θ)		میانگین فاصله از مرکز (cm)		
		شاهد	تیمار	P	شاهد	P	شاهد	تیمار
میان	۵	۹۵/۰۰±۰/۰۰	۹۸/۰۰±۰/۰۰	○	۳۸/۹۵±۱/۰۱	۶۷/۸۳±۶/۵۳	۸/۲۲±۰/۳۶	۱۲/۸۰±۱/۳۶
	۵	۹۵/۰۰±۰/۷۷	۹۸/۰۰±۰/۰۰	○	۴۳/۳۱±۱/۶۰	۱۰۲/۰۰±۱۲/۳۵	۷/۲۳±۰/۸۵	۱۰/۶۹±۱/۱۳
	۰-۱۱	۹۸/۰۰±۰/۷۷	۶۰/۰۰±۴/۰۸	○	۳۸/۵۳±۴/۹۰	۲۴/۷۵±۶/۶۰	۷/۴۳±۰/۶۵	۱۱/۵۲±۰/۴۱
انتهایی	۱۱-۲۲	۹۰/۰۰±۰/۷۷	۴۰/۰۰±۷/۰۸	○	۲۹/۹۴±۱/۹۸	۲۷/۲۵±۲/۶۳	۴/۹۴±۰/۳۶	۱۱/۵۰±۰/۵۴
	۲۲-۳۲	۹۸/۲۵±۰/۵۰	۴۰/۰۰±۰/۰۰	○	۴۶/۶۵±۴/۱۱	۲۱/۳۲±۱/۷۶	۷/۴۰±۰/۸۵	۱۰/۴۴±۰/۶۱
	۳۲-۴۲	۹۵/۰۰±۰/۰۰	۵/۰۰±۰/۰۰	○	۳۹/۵۰±۳/۸۲	۲/۱۴±۱/۴۴	۸/۲۰±۰/۵۵	۱۱/۸۰±۰/۹۵

○ نشان‌دهنده وجود اختلاف معنی‌دار بین مقادیر دو سطر کنار هم است ($P < 0.05$).

× نشان‌دهنده عدم وجود اختلاف معنی‌دار بین مقادیر دو سطر کنار هم است ($P > 0.05$).

بین میانگین سرعت شنا تیمار آمونیاک در بازه رفت ($3/37 \text{ cm/Sec}$) در مقایسه با بازه بازگشت ($2/14 \text{ cm/Sec}$) تفاوت معنی‌داری وجود نداشت ($P > 0.05$). از طرفی در مقایسه نقطه به نقطه بین نقاط مشابه بازه رفت با بازه بازگشت (جدول ۴) تفاوت معنی‌داری وجود داشت ($P < 0.01$). کل مسافت طی شده و میزان حرکت جهشی بازه رفت در مقایسه نقطه به نقطه با بازه بازگشت تفاوت معنی‌داری داشت ($P < 0.01$).

کمترین میزان درصد حرکت، کل مسافت طی شده، میانگین سرعت شنا، تغییر جهت جابه‌جایی مربوط به غلظت $0.09-2/68$ بازه برگشت بود (جدول ۳). بیشترین میانگین سرعت شنا، کل مسافت طی شده، حرکت شتابدار، تغییر جهت جابه‌جایی و فاصله از مرکز در انتهای بازه رفت، مربوط به غلظت 10 میلی‌گرم در لیتر آمونیاک بود. همچنین در ابتدای بازه برگشت (غلظت 10 میلی‌گرم در لیتر آمونیاک) تیمار آمونیاک دارای بیشترین میانگین سرعت شنا، کل مسافت طی شده، درصد حرکت و تغییر جهت جابه‌جایی بود.

جدول ۳- بررسی الگو شنای ماهی (تیمار آمونیاک) در غلظت‌های مختلف آمونیاک (به صورت میانگین \pm انحراف). حروف لاتین مشابه در هر ستون نشان‌دهنده عدم وجود تفاوت معنی‌داری است.

فاصله از مرکز (cm)	تغییر جهت (θ)	درصد حرکت (%)	حرکت شتابدار (cm)	مسافت (cm)	سرعت (cm/sec)	غلظت آمونیاک (ml/l)
۸/۰۲±۰/۴۲ ^d	۳۲/۷۸±۳/۱۷ ^c	۹۸/۰۰±۰/۰۰ ^a	۰/۰۰±۰/۰۰ ^d	۷۰/۴۰±۱/۹۸ ^{bc}	۳/۵۲±۰/۹۹ ^{bc}	۰/۰۹
۱۰/۵۰±۱/۳۰ ^c	۲۶/۲۲±۱/۳۸ ^{cd}	۹۸/۰۰±۰/۸۲ ^a	۰/۰۰±۰/۰۰ ^d	۶۲/۹۱±۱۸/۲۲ ^{bc}	۳/۱۴±۰/۹۲ ^{bc}	۲/۶۸
۱۲/۲۰±۰/۷۲ ^{ab}	۲۷/۲۰±۱/۶۱ ^{cd}	۷۵/۰۰±۰/۷۷ ^b	۵/۷۰±۰/۳۸ ^c	۷۱/۹۰±۱۳/۱۰ ^{bc}	۳/۵۹±۰/۶۵ ^{bc}	۵/۳۲
۱۱/۷۸±۱/۱۵ ^{abc}	۲۶/۴۳±۲/۴۸ ^{cd}	۷۵/۰۰±۰/۰۷ ^b	۱۴/۴۶±۵/۶۲ ^b	۵۱/۲۰±۱/۲۱ ^c	۲/۵۶±۰/۶۰ ^c	۷/۹۶
۱۲/۸۰±۱/۳۶ ^a	۶۷/۸۳±۶/۵۳ ^b	۹۸/۰۰±۰/۰۰ ^a	۲۳/۰۶±۲/۲۳ ^a	۸۰/۸۰±۱۰/۷۷ ^b	۴/۰۴±۰/۵۴ ^b	۱۰
۱۰/۶۹±۱/۱۳ ^{bc}	۱۰۲/۰۰±۱۲/۳۵ ^a	۹۸/۰۰±۰/۰۰ ^a	۰/۰۰±۰/۰۰ ^d	۱۴۵/۹۰±۳۷/۲۵ ^a	۷/۲۶±۱/۸۸ ^a	۱۰
۱۱/۵۲±۰/۴۱ ^{abc}	۲۴/۷۵±۶/۶۰ ^{cd}	۶۰/۰۰±۴/۰۸ ^c	۲۲/۶۲±۲/۳۹ ^a	۵۲/۱۷±۹/۱۶ ^c	۲/۶۱±۰/۴۶ ^c	۷/۹۶
۱۱/۵۰±۰/۵۴ ^{abc}	۲۷/۲۵±۲/۶۳ ^{cd}	۴۰/۰۰±۷/۰۷ ^d	۱۱/۱۷±۲/۱۰ ^b	۱۸۳۲±۴/۱۸ ^d	۰/۹۱±۰/۲۲ ^d	۵/۳۲
۱۰/۴۴±۰/۶۱ ^c	۲۱/۳۲±۱/۷۶ ^d	۴۰/۰۰±۰/۰۰ ^d	۱۳/۱۷±۱/۹۷ ^b	۱۴/۹۶±۳/۸۹ ^d	۰/۷۵±۰/۱۹ ^d	۲/۶۸
۱۱/۸۰±۰/۹۵ ^{abc}	۲/۱۴±۱/۴۴ ^e	۵/۰۰±۰/۰۰ ^e	۰/۰۰±۰/۰۰ ^d	۶/۲۸±۱/۶۳ ^d	۰/۳۱±۰/۸۲ ^d	۰/۰۹

تفاوت معنادار وجود داشت. ماهیان در مواجهه با مقادیر بالای آمونیاک دارای تغییر جهت‌های مکرر و حرکات رفت و برگشتی بودند.

در مجموع تمام زمان آزمایش، ماهیان در گروه شاهد نسبت به تیمار آمونیاک مسافت بیشتری را شنا کردند؛ کل مسافت طی شده توسط ماهی در گروه شاهد معادل ۶۶۴/۸۳ سانتی‌متر و در تیمار آمونیاک معادل ۵۷۴/۸۶ سانتی‌متر بود. کل مسافت طی شده ماهی در گروه شاهد در تمام بازه‌های زمانی هیچگاه فراتر از محیط مخزن آزمایش (۹۲ سانتی‌متر) نرفت؛ در حالی که ماهیان در تیمار آمونیاک در انتهای مرحله رفت (غلظت ۱۰ میلی‌گرم آمونیاک) معادل ۱/۶ برابر محیط ظرف شنا کردند.

بین میانگین فاصله از مرکز تیمار آمونیاک در مقایسه نقطه به نقطه بازه رفت با بازگشت تنها در غلظت ۰/۰۹ میلی‌گرم در لیتر، تفاوت معنی‌داری وجود داشت ($P < 0/01$). بین میانگین درصد حرکت ماهی در مجموع مرحله افزایش آمونیاک (معادل ۹۲/۴) و مرحله کاهش آمونیاک (معادل ۴۹/۶) تفاوت معنادار وجود داشت ($P < 0/05$).

بین میانگین تغییر جهت جابه‌جایی در مجموع مرحله رفت (۳۶/۱ درجه) در مقایسه با میانگین تغییر جهت جابه‌جایی در مجموع مرحله بازگشت (۳۵/۵ درجه) تفاوت معنی‌داری وجود نداشت. در مقایسه نقطه به نقطه میانگین تغییر جهت جابه‌جایی تیمار آمونیاک در بازه رفت نسبت به بازه بازگشت تنها در غلظت‌های ۰/۰۹ و ۲/۶۸ میلی‌گرم در لیتر آمونیاک

جدول ۴- بررسی الگوهای شنای ماهی در تیمار آمونیاک.

p	بازگشت	رفت	غلظت آمونیاک (ml/L)
۰/۰۰**	۰/۳۱±۰/۸۲	۳/۵۲±۰/۹۹	۰/۰۹
۰/۰۲*	۰/۷۵±۰/۱۹	۳/۱۴±۰/۹۲	۲/۶۸
۰/۰۰**	۰/۹۱±۰/۲۱	۳/۵۹±۰/۶۵	۵/۲۳
۰/۸۴	۲/۶۱±۰/۴۶	۲/۵۶±۰/۶۰	۷/۹۶
۰/۰۳*	۷/۲۶±۱/۸۹	۴/۰۴±۰/۵۴	۱۰
۰/۰۰**	۶/۲۸±۰/۸۲	۷۰/۴۰±۱/۹۹	۰/۰۹
۰/۰۲*	۱۴/۹۶±۳/۸۹	۶۲/۹۱±۱۸/۲۲	۲/۶۸
۰/۰۰**	۱۸/۳۲±۴/۱۸	۷۱/۹۰±۱۳/۱	۵/۲۳
۰/۸۴	۵۲/۱۷±۹/۱۶	۵۱/۲±۱/۲۱	۷/۹۶
۰/۰۳*	۱۴۵/۹۰±۱/۸۹	۸۰/۸۰±۱۰/۷۷	۱۰
۱	۰/۰۰±۰/۰۰	۰/۰۰±۰/۰۰	۰/۰۹
۰/۰۰**	۱۳/۱۷±۱/۹۷	۰/۰۰±۰/۰۰	۲/۶۸
۰/۰۲*	۱۱/۱۷±۲/۱۰	۵/۷±۰/۳۸	۵/۲۳
۰/۰۳*	۲۲/۶۲±۲/۳۹	۱۴/۲±۱/۲۱	۷/۹۶
۰/۰۰**	۰/۰۰±۰/۰۰	۲۳/۰۶±۲/۲۳	۱۰
۰/۰۰**	۵/۰۰±۰/۰۰	۹۸/۰۰±۰/۰۰	۰/۰۹
۰/۰۰**	۴۰/۰۰±۰/۰۰	۹۸/۰۰±۰/۸۲	۲/۶۸
۰/۰۰**	۴۰/۰۰±۷/۰۷	۷۵/۰۰±۵/۷۷	۵/۲۳
۰/۰۱**	۶۰/۰۰±۴/۰۸	۷۵/۰۰±۷/۰۷	۷/۹۶
۰/۰۰**	۹۸/۰۰±۰/۰۰	۹۸/۰۰±۰/۰۰	۱۰

سرعت (cm/sec.)

کل مسافت طی شده (cm)

حرکت شتابدار (cm)

درصد حرکت (/)

ادامه جدول ۴-

p	بازگشت	رفت	غلظت آمونیاک (ml/L)	
۰/۰۰**	۲/۱۴±۰/۹۵	۳۲/۷۸±۳/۱۷	۰/۰۹	میانگین تغییر جهت جابه جایی (θ)
۰/۰۵*	۲۱/۳۲±۱/۷۶	۲۶/۲۲±۱/۳۸	۲/۶۸	
۰/۹۷	۲۷/۲۵±۲/۶۳	۲۷/۲۰±۱/۶۱	۵/۲۳	
۰/۶۵	۲۴/۷۵±۶/۶۰	۲۶/۴۳±۲/۴۸	۷/۹۶	
۰/۰۳*	۱۰۲/۰۰±۱۲/۳۵	۶۷/۸۳±۶/۵۳	۱۰	
۰/۰۰**	۱۱/۸۰±۰/۹۵	۸/۰۲±۰/۴۲	۰/۰۹	فاصله از مرکز (cm)
۰/۹۳	۱۰/۴۴±۰/۶۱	۱۰/۵۰±۱/۳۰	۲/۶۸	
۰/۱۷	۱۱/۵۰±۰/۵۴	۱۲/۲۰±۰/۷۲	۵/۲۳	
۰/۶۸	۱۱/۵۲±۰/۴۱	۱۱/۷۸±۱/۱۵	۷/۹۶	
۰/۰۵۵	۱۰/۶۹±۱/۱۳	۱۲/۸۰±۲/۲۳	۱۰	

در غلظت‌های یکسان آمونیاک است. مقادیر بصورت میانگین ± انحراف معیار بیان شده‌اند.

** تفاوت معنی داری در سطح ۰/۰۱ * تفاوت معنی داری در سطح ۰/۰۵

میانگین تغییر جهت جابه‌جایی در تیمار آمونیاک در سطح ۰/۰۵ همبستگی وجود داشت (جدول ۵) بین دیگر شاخصه‌ها هیچ همبستگی معنی‌داری وجود نداشت ($P > 0/05$).

بررسی داده‌های حاصل از مطالعه حاضر نشان داد، بین شاخصه‌های میانگین سرعت شنا، کل مسافت طی شده، حرکت جهشی و در سطح ۰/۰۱ همبستگی وجود داشت. همچنین بین شاخصه‌های گفته شده با

جدول ۵- میزان همبستگی میان شاخص‌های الگو شنای ماهی در تیمار آمونیاک.

میانگین فاصله از مرکز	میانگین تغییر جهت جابه‌جایی	حرکت جهشی	درصد حرکت	کل مسافت طی شده	میانگین سرعت شنا	
۰/۱۱	۰/۸۲**	۰/۹۲**	-۰/۴۴	۱/۰۰**	-	میانگین سرعت شنا
۰/۱۱	۰/۸۲**	۰/۹۲**	-۰/۴۴	-	-	کل مسافت طی شده
۰/۴۵	-۰/۲۵	-۰/۱۶	-	-	-	درصد حرکت
-۰/۰۶	۰/۳۶*	-	-	-	-	حرکت جهشی
۰/۰۲	-	-	-	-	-	میانگین تغییر جهت جابه‌جایی
-	-	-	-	-	-	میانگین فاصله از مرکز

** نشان‌دهنده همبستگی در سطح معنادار ۰/۰۱ است. * نشان‌دهنده تفاوت معنی‌داری در سطح ۰/۰۵ است.

جمله‌ای درجه دوم با شیب کاهش‌ی بود. البته با گذشت زمان از شیب آن کاسته شد (شکل ۳-ab). با افزایش تدریجی آمونیاک سرعت حرکت ماهی از روند ثابتی تبعیت نکرد. با افزایش غلظت آمونیاک تا حدود غلظت ۸ میلی‌گرم در لیتر، سرعت شنا ماهی به کندی افزایش یافت و با افزایش غلظت

میانگین سرعت شنا و کل مسافت طی شده ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان در مواجهه با میزان فزاینده آمونیاک (مرحله رفت) یک نمودار چند جمله‌ای با شیب افزایشی بود. همچنین نمودار میانگین سرعت شنا و کل مسافت طی شده ماهی در مواجهه با مقادیر کاهنده آمونیاک (مرحله بازگشت)، یک نمودار چند

آمونیاک از این مقدار میانگین سرعت شنا بسرعت افزایش یافت.

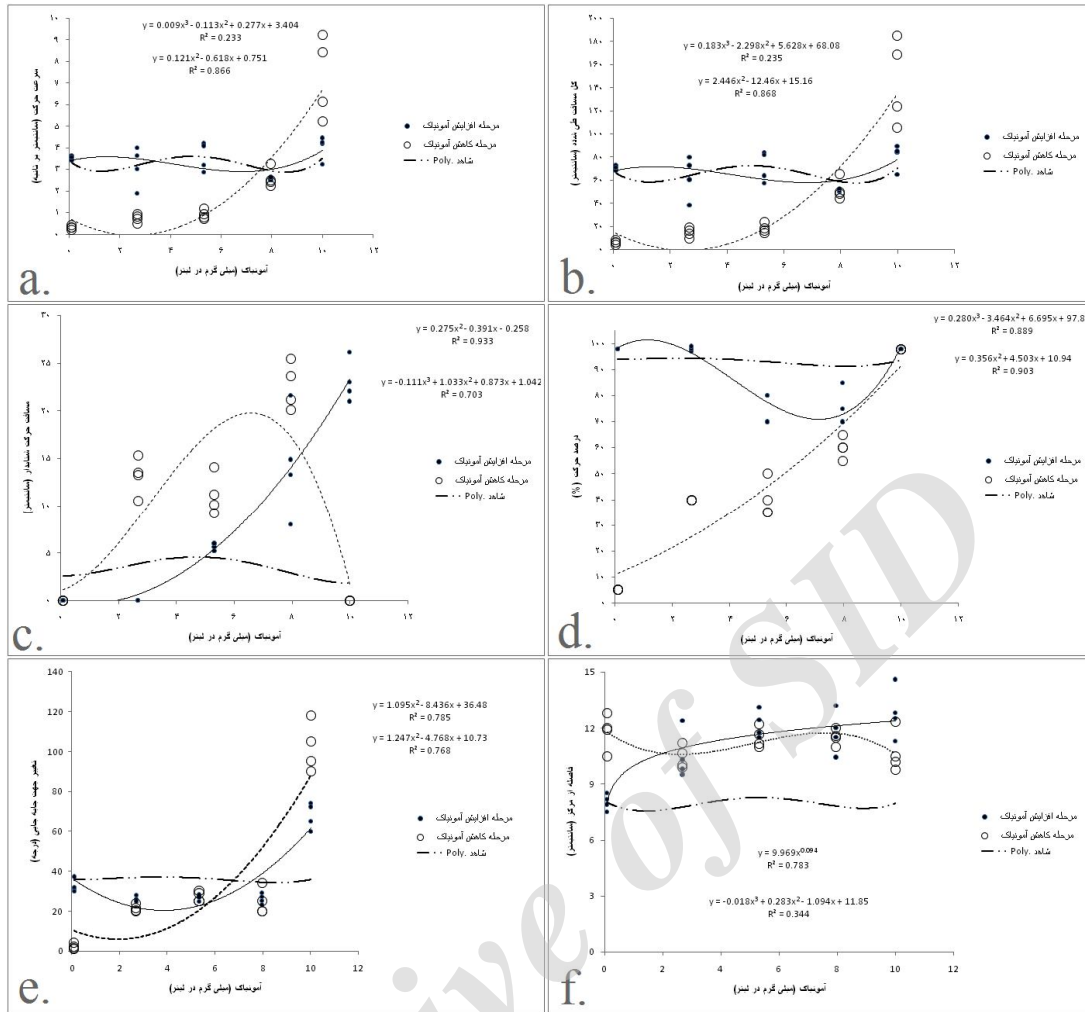
نمودار مربوط به حرکت جهشی در مرحله‌ی رفت یک نمودار نمایی افزایشی سطح دوم بود که با افزایش میزان آمونیاک شیب آن نیز افزایش یافت. در مرحله بازگشت نمودار به شکل منحنی بود که در دو سر این نمودار میزان حرکت شتابدار صفر بود (شکل ۳-۳c).

نمودار درصد حرکت تیمار آمونیاک در مرحله رفت، یک نمودار چند جمله‌ای مرتبه سوم با روند افزایش بود که در آن بیشترین درصد حرکت در غلظت ۱۰ میلی‌گرم در لیتر آمونیاک بود. نمودار مربوط به درصد حرکت تیمار آمونیاک در مرحله بازگشت، یک نمودار چند جمله‌ای درجه دوم با شیب کاهشی بود که با گذشت زمان شیب آن زیاد شد. درصد حرکت تیمار آمونیاک در مرحله رفت تا حدود غلظت ۸ میلی‌گرم در لیتر آمونیاک کاهش یافت، ولی از این غلظت به بعد با شیب زیادی افزایش یافت و به حدود درصد حرکت گروه شاهد رسید. میزان درصد حرکت در بازه بازگشت بر خلاف بازه رفت همراه با کاهش آمونیاک کاهش یافت (شکل ۳-۳d).

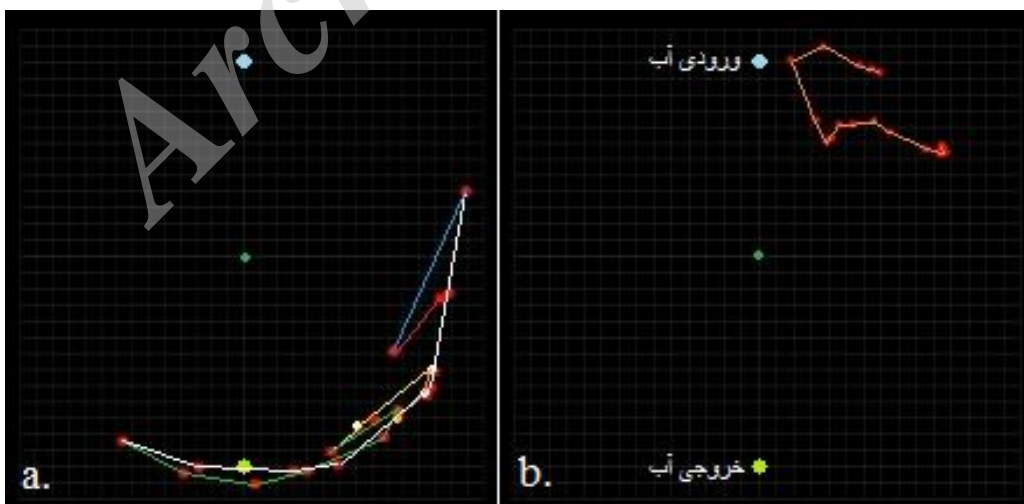
نمودار میانگین تغییر جهت جابه‌جایی تیمار آمونیاک در مرحله رفت، یک نمودار چند جمله‌ای درجه دوم با شیب افزایشی بود. با افزایش میزان غلظت آمونیاک بر شیب نمودار تغییر جهت جابه‌جایی در مرحله رفت افزوده شد. همچنین نمودار میانگین تغییر جهت جابه‌جایی تیمار آمونیاک در مرحله بازگشت مشابه مرحله رفت بود با این تفاوت که شیب

نمودار روند کاهشی داشت و همزمان با کاهش آمونیاک از شیب آن کاسته شد (شکل ۳-۳e). نمودار میانگین فاصله از مرکز تیمار آمونیاک در مرحله رفت و مرحله بازگشت، دو نمودار چند جمله‌ای مرتبه سوم با یک روند افزایشی بود (شکل ۳-۳f). شیب نمودار در ابتدای مرحله رفت به شدت افزایش یافت؛ ولی از حدود غلظت ۳ میلی‌گرم در لیتر شیب نمودار بسیار کاهش یافت و نمودار با یک شیب ملایم پیش رفت. شیب نمودار میانگین فاصله از مرکز تیمار آمونیاک در ابتدا مرحله بازگشت افزایش یافت؛ هرچند در ادامه (غلظت ۸-۲ میلی‌گرم در لیتر) شیب نمودار کاهش یافت ولی مقدار فاصله از مرکز در این بازه باز بیشتر از گروه شاهد بود و با آن اختلاف معنادار داشت ($P < 0.05$). بین میانگین فاصله از مرکز تیمار آمونیاک در مجموع کل مرحله رفت (۱۱/۰۶ سانتی‌متر) نسبت به مرحله بازگشت (۱۱/۲۰ سانتی‌متر) تفاوت معنی‌داری وجود نداشت ($P < 0.05$).

شنا سریع، بیرون پریدن از آب، تیرگی رنگ و عدم تعادل در ماهیانی که در معرض مقادیر فوق حاد آمونیاک (۱۰ میلی‌گرم در لیتر) قرار داشتند مشاهده شد. ماهیان در مرحله افزایش آمونیاک بیشتر در نزدیکی خروجی در حال شنا بودند؛ در حالیکه در مرحله بازگشت آنها بیشتر بی‌حرکت در کنار ورودی بودند (شکل ۴). همچنین با افزایش آمونیاک میزان زنب سربوش آبششی ماهیان نیز افزایش یافت.



شکل ۴- تغییرات شاخص‌های الگوی شنای ماهی در تیمار آمونیاک، برحسب بازه زمانی آمده است. **a.** میانگین سرعت شنا (حرکت)، **b.** کل مسافت طی شده، **c.** میزان حرکت شتابدار، **d.** درصد حرکت، **e.** میانگین تغییر جهت جابه جایی، **f.** میانگین فاصله از مرکز.



شکل ۵- نمونه‌ای از الگوی شنا ماهی در مراحل مختلف آزمایش (غلظت ۲/۶۸ میلی‌گرم در لیتر آمونیاک). **a.** مسیر حرکت ماهی در بازه رفت را نشان می‌دهد که بیشتر به خروجی آب متمایل بود، **b.** مسیر حرکت ماهی در بازه بازگشت را نشان می‌دهد که بیشتر به ورودی آب متمایل بود.

همچنین ماهیان در غلظت‌های بالاتر از ۸ میلی‌گرم در لیتر آمونیاک دارای شنای سریع، تیرگی پوست و افزایش موکوس، اضطرات و افزایش زنش سرپوش آبششی بودند. هیچ کدام از ماهیان در طول آزمایش نمردند.

بحث و نتیجه‌گیری

موفقیت یک فعالیت تجاری آبی پروری نیازمند شرایط پرورشی مطلوب است؛ به همین دلیل کیفیت آب عنصر بسیار مهمی است. کیفیت آب تاثیر مستقیمی بر سلامتی ماهیان و میزان بازده فعالیت اقتصادی دارد (Timmons و همکاران، ۲۰۰۲).

در مطالعه حاضر اثر آمونیاک روی الگوی شنا ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان (سرعت شنا، کل مسافت طی شده، میزان حرکت جهشی، درصد حرکت، میانگین تغییر جهت جابه‌جایی و میانگین فاصله از مرکز) بررسی شد؛ نتایج نشان داد عمده تفاوت ماهی در تیمار آمونیاک نسبت به گروه شاهد مربوط به میانگین سرعت شنا، کل مسافت طی شده، درصد حرکت و فاصله از مرکز بود. عمده تفاوت بازه افزایش غلظت آمونیاک نسبت به بازه کاهش غلظت آمونیاک، ناشی از کاهش سرعت شنا، کل مسافت طی شده و کاهش درصد حرکت بود. ماهیان در مواجهه با افزایش آمونیاک به سمت دیواره‌های مخزن متمایل شدند و تا انتهای آزمایش این فاصله را حفظ کردند. این افزایش فاصله و تمایل ماهیان برای شنا در کناره دیواره‌ها، نمایانگر میل ماهی برای فرار از محیط بود. هر چند درصد حرکت ماهی در ابتدای مرحله افزایش آمونیاک (۲-۸ میلی‌گرم در لیتر) کاهش داشت، ولی به دلیل بالا بودن میزان میانگین سرعت شنای ماهی، اثر این کاهش در میزان کل مسافت طی شده مشاهده نشد. شکل کلی الگوی حرکتی ماهی در گروه شاهد

دایره‌وار بود؛ ماهیان در حوالی مرکز ظرف در مسیرهای دایره‌وار شنا می‌کردند در حالی که ماهیان در تیمار آمونیاک در بازه رفت و ابتدای بازه برگشت دارای حرکات رفت و برگشتی در کنار دیواره ظرف بودند؛ همین امر باعث افزایش میزان تغییر جهت جابه‌جایی در مرحله افزایش آمونیاک شد؛ همچنین حرکت به سمت دیواره‌ها هم عاملی برای تغییر جهت جابه‌جایی ماهی (تیمار آمونیاک) در مجموع بازه رفت نسبت به بازه بازگشت تفاوت معنی‌داری نداشت، ولی تغییر جهت جابه‌جایی ماهی در مرحله بازگشت برخلاف مرحله رفت، بیشتر ناشی از تغییر جهت سر و بدن بدون داشتن حرکت بود؛ به عبارتی در مرحله رفت آزمایش تغییر زاویه سر و بدن، همراه با حرکت و جابه‌جایی بود. به دلیل توقف و ساکن ماندن ماهی در بازه بازگشت بخش عمده‌ای از جابه‌جایی ماهی در بازه بازگشت به صورت حرکت شتابدار تفسیر شد، زیرا میانگین سرعت ماهی در این بازه به علت توقف طولانی ماهی بسیار ناچیز بود و پراکندگی حرکتی بالایی داشت. ماهیان (تیمار آمونیاک) در مرحله رفت آزمایش بیشتر به خروجی آب و در مرحله کاهش آمونیاک به نزدیکی ورودی آب متمایل بودند؛ علت اولیه این موضوع می‌تواند کیفیت بهتر آب در محل خروجی (مرحله رفت) و ورودی (مرحله بازگشت) آب باشد. دلیل دوم می‌تواند میل به فرار در ماهیان باشد؛ ماهیان به محیط‌هایی که دارای بار آلودگی کمتر بود، تمایل داشتند.

Thurston و همکاران (۱۹۸۱) تاثیر کاهش اکسیژن محلول (DO)، بر میانگین غلظت کشنده آمونیاک (LC₅₀) را روی ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان (*Onchorhynchus mykiss*) مطالعه کردند. آنها ۱۵

Xu و همکاران (۲۰۰۵) روی پاسخ‌های رفتاری ماهی تیلایپا (*Oreochromis niloticus*) در مواجهه با مقادیر مختلف آمونیاک را مورد بررسی قرار دادند. آنها در مطالعه خویش دسته‌هایی پانزده‌تایی ماهیان تیلایپا با میانگین وزنی $12/1 \pm 75/2$ را در مخازنی که گنجایش ۵۰ ماهی را داشت، ریختند؛ در ادامه، آنها ماهیان را به مدت یک روز در معرض سه غلظت ۲/۰، ۱۲/۰ و ۴۰/۰ میلی‌گرم آمونیاک قرار دادند. ژو و همکاران، رفتار ماهیان را از جهت رفتارهای گروهی شامل؛ میزان شنا و شکل گروه (شکل حرکت گروه در محیط) بررسی کردند. نتایج حاصل از مطالعات آنها نشان داد الگو رفتار اجتماعی ماهیان مثل شاخصه هندسی گروه در مواجهه با مقادیر فوق حاد آمونیاک دچار تغییر می‌شود؛ همچنین آنها بیان کردند الگوهای رفتاری ماهیان فارغ از رفتارهای جمعی نسبت به گروه شاهد (شرایط قبل از آزمایش) تفاوت معنی‌داری داشت. هر چند ژو و همکاران بر روی گونه‌ای دیگر تحقیق کرده بودند و شاخصه‌های جمعی و حرکت گروهی ماهیان را مدنظر قرار داشتند، ولی بخشی از نتایج آنها که مربوط به افزایش سرعت شنا و حرکت ماهیان به اطراف (دور شدن از مرکز) در مواجهه با میزان فوق حاد آمونیاک بود با مطالعه ما همخوانی داشت.

Kang و همکاران (۲۰۰۹) روی تشخیص وجود مواد شیمیایی در نهرها با تکیه بر تحلیل الگوی شنای ماهیان مطالعه کردند. آنها در مطالعه خود سه گونه ماهی مداکا (*Oryzias latipes*)، جنس ماده گوپی (*Poecilia reticulata*) و گونه‌ای از ماهی قنات (*Tanichthys albonubes*) را به مدت یک ساعت در ظروف شیشه ۱/۶ لیتری در معرض سیانید پتاسیم (KCN) - غلظت ۱ تا ۵ میلی‌گرم در لیتر با چهار

عدد ماهی را به مدت ۹۶ ساعت در دامنه وسیعی از تیمارها (۲/۶-۸/۶ میلی‌گرم در لیتر اکسیژن محلول) در معرض میانگین غلظت کشنده آمونیاک (LC_{50}) قرار دادند. آنها در بخشی از نتایج خود (مربوط به تعیین سطح LC_{50}) بیان داشتند مسمومیت با آمونیاک دارای نشانه‌های مختلفی مانند اضطراب، افزایش تنفس و حرکت نامنظم سرپوش آبششی، شنای نزدیک به سطح، افزایش موکوس و تیرگی پوست، شنای شدید و از دست دادن تعادل بود؛ این بخش از مطالعه ترستون و همکاران با نتایج مطالعه حاضر مطابقت داشت.

Kane و همکاران (۲۰۰۴) روی طراحی سیستم‌های تحلیل الگوهای حرکتی، مبتنی بر تصاویر ویدئویی مطالعه کردند؛ آنها در مطالعه خود ۲۰ ماهی کیلی (*Fundulus heteroclitus*) را به مدت ۲۴ ساعت در مواجهه با مقادیر مختلف سم M222 قرار دادند. در تمام این مدت شدت جریان برابر و ثابت آب با کمک پمپ چند کاناله توییپی (peristaltic pumps) در تمام مخازن برقرار بود. الگو حرکت ماهیان با استفاده از دوربین‌های مادون قرمز در طول آزمایش ثبت شد. Kane و همکاران در نهایت ۳۰ دقیقه از آن فیلم را جدا کردند و ۳ ثانیه ابتدایی آن را با کمک نرم‌افزار Video ScriptTM مورد بررسی قرار دادند. نتایج حاصل از مطالعه آنها، نشان داد میان الگو شنای تیمار از نظر سرعت شنا، پیچیدگی مسیر، تغییر جهت و کل مسافت طی شده نسبت به گروه تفاوت معنی‌داری وجود داشت ($P < 0/05$). آنها بیان کردند، آلودگی محیطی باعث تغییر رفتار آبزیان شد که این بخش از مطالعات آنها با نتایج این مطالعه مطابقت داشت.

پاسخ‌های رفتاری که ما را در تشخیص و مدیریت عوامل تنش‌زا در محیط‌های پرورشی و طبیعی رهنمود می‌سازد، نیازمند تحقیقات بیشتر و جامع‌تری است. لازم است، رفتار ماهیان در مواجهه با کاهش یا افزایش مخاطره آمیز دیگر شاخصه‌های فیزیکی‌شیمیایی آب، مورد مطالعه قرار گیرد. ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان بیشتر میل به شنای گروهی و حرکت در اجتماع دارد (Tikeogly, 2000). مطالعه اثر تنش‌های محیطی روی رفتارهای اجتماعی ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان زمینه مطالعاتی مناسبی است که می‌تواند، زمینه مطالعات بعدی باشد.

تشکر و قدردانی

مطالعه حاضر با تکیه بر محیط آموزشی و امکانات پژوهشی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان صورت پذیرفت. همچنین از کمک و همکاری مهندس جعفر و مهندس نعیمی مسئولین محترم سالن آبی‌پروری و آزمایشگاه دانشکده شیلات و محیط زیست دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان تشکر می‌نمایم. از جناب آقای اسلامی کمال تشکر و قدردانی را دارم.

تکرار)، سیانید سدیم (NaCN- غلظت ۱ تا ۵ میلی‌گرم در لیتر با چهار تکرار) و سم کشاورزی الدی‌کاب (aldicarb- غلظت ۵ میلی‌گرم در لیتر با چهار تکرار) قرار دادند. نتایج مطالعات بر روی آنها نشان داد سرعت شنای ماهیان در مواجهه با این سه ترکیب شیمیایی نسبت به گروه شاهد تفاوت معنی‌داری داشت ($P < 0.05$). بیشترین تفاوت مربوط به حداکثر سرعت شنا بود. در انتها Kang و همکاران بیان داشتند تنش‌های محیطی باعث تغییر الگوی شنا ماهیان شد و راه مؤثری برای تشخیص آلودگی‌های محیطی است. این بخش از نتایج مطالعات آنها با مطالعه حاضر مطابقت داشت.

ماهی در برابر تنش‌های محیطی متفاوت، پاسخ‌های رفتاری یکسانی بروز نمی‌دهد. هرچند برخی از این پاسخ‌های رفتاری مانند شاخصه میانگین فاصله از مرکز و تغییر جهت جابه‌جایی در بیشتر مواقع قابل رویت است؛ ولیکن در بسیاری موارد همچون میانگین سرعت شنا، میزان حرکت شتابدار و کل مسافت طی شده بسته به روند عامل تحریک کننده و مدت زمان تنش محیطی ماهیان رفتارهای متفاوتی بروز دادند. درک و دریافت کامل این قبیل

منابع

- ایمانپور، م.ر.، و زادمجید، و.، ۱۳۸۸. مقدمه‌ای بر تکنیر آبیان. دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان. صفحه ۱۹۰.
- Bennison, S. 2004. Animal welfare in the Australian aquaculture industry. Welfare underwater.
- Brewer, S.K., Little, E.E., Delonay, A.J., Beauvais, S.L., Jones, S.B., and Ellersieck, M.R., 2001. Behavioral dysfunctions correlate to altered physiology in rainbow (*Oncorhynchus mykiss*) exposed to cholinesterase-inhibiting chemicals. Arch. Environ. Contam. Toxicol. 40, 70-76.
- Bridges, C.M., 1997. Tadpole swimming performance and activity affected by acute exposure to sublethal levels of carbaryl. Environ. Toxicol. Chem. 16 (9), 1935-1939.
- Conte, F.S., 2004. Stress and the welfare of cultured fish. Applied Ani. Behavi. Sci. 86: 205-223.
- Holcomb, M., Cloud, J.G., Woosley, J., and Ingermann, R.L., 2004. Oxygen consumption in unfertilized salmonid egg: an indicator of egg quality? Comp. Biochem. Physiol., Part A 138, 349-354.

- Industry standard, 1988. The Nature Conservancy. Hydrosphere. Water for fish farms. General requirements and standards. Moscow. Handout.
- Israeli, D., and Kimmel, E., 1996. Monitoring the behavior of hypoxia-stressed *Carassius auratus* using computer vision. *Aquaculture Eng.* 15(6), 423-440.
- Johnston, T.A., and Laggett, W.C., 2002. Maternal and environmental gradients in the egg size of an iteroparous fish. *Ecol.* 83, 1777-1791.
- Kane, A.S., Salierno, J.D., Gipson, G.T., Molteno Timothy, C.A., and Hunter, C., 2004. A video-based movement analysis system to quantify behavioral stress responses of fish. *Water Research* 38, 3993-4001.
- Kang, I.J., Moroishi, J., Nakamura, A., Nagafuchi, K., Kim, S.G., and Oshima, Y., 2009. Biological monitoring for detection of toxic chemicals in water by the swimming behavior of small freshwater fish. *Aquatic Biomonitoring and Environmental Laboratory, Department of Bioscience and Biotechnology, Faculty of Agriculture, Kyushu University, Fukuoka 812-8581, Japan*
- Little, E.E., and Finger, S.E., 1990. Swimming behavior as an indicator of sublethal toxicity in fish. *Environ. Toxicol. Chem.* 9, 13-19.
- Matschak, H., Mason, C., and Stickland, 1998. Temperature and Oxygen tension influence the development of muscle cellularity in embryonic rainbow trout. *Journal of Fish Biology.* P 53.
- Medinor, 1995. List of maximum allowable concentrations and relatively safe of exposure to hazardous substances in water of fish ponds. Moscow. Handout.
- Miller, M.A., 1993. Maternal transfer of organ chlorine compounds in salmonines to their eggs. *Can. J. of Fish. and Aqua. Sci.* 50, 1405-1413.
- Ortega, V.A., Renner, K.J., and Bernier, N.J., 2005. Appetite-suppressing effect of ammonia exposure in rainbow trout associated with regional and temporal activation of brain monoaminergic and CRF system. *J. Exp. Biol.* 208, 1855-1866.
- Saglio P. and Trijasse, S., 1998. Behavioral responses to atrazine and diuron in goldfish. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.* 35, 484-491.
- Smith, E.H., and Bailey H.C., 1988. Development of a system for continuous bio monitoring of a domestic water source for early warning of contaminants. In: D.S. Gruber and J.M. Diamond, Ellis Horwood, *Automated bio monitoring: living sensors as environmental monitors.* Chichester, U.K. 182-205 pp.
- Svobodova, R., and Blanka, J., 1993. Water quality and fish health. EIFAC Technical paper. Handout.
- Thurston, P., and Russo, 1981. Increased toxicity of ammonia to rainbow trout (*Salmo gairdneri*) resulting from reduced concentrations of dissolved oxygen. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 38, 983-988.
- Tikeogly, N., 2000. *İc Su Balıkçılığı Yetiştiriciliği, Cukurova Üniversitesi Su Ürünleri Fakültesi Ders kitabı, 2, Adana, Turkey.*
- Timmons, J., Sreven, F., and Brain, 2002. *Recirculating Aquaculture Systems.* NRAC publication. 01-02.
- Vogel, C., Grillitsch, B., Wytek, R., Hunrich Spieser, O., and Scholz, W., 1999. Qualification of spontaneous undirected locomotor behavior of fish for sublethal toxicity testing. Part I. Variability of measurement parameters under general test conditions. *Environ. Toxicol. Chem.* 18(12), 2736-2742.
- Xu Jian-yu, Miao Xiang-wen, Liu ying, Cui Shao-rong, 2005. Behavioral response of tilapia (*Oreochromis niloticus*) to acute Ammonia stress monitored by computer vision. *J. Zhejiang Univ. Sci.* 6B(8), 812-816.

Yi hang, J., Xiabo, H., and Tinglin, H., 2014. The use of Zebrafish (*Danio rerio*) behavioral responses in indentifying sublatheral exposure to Deltamethrin. Int. J. of Envirom. Res. Public Health 11, 3650-3660.

Archive of SID