دانشگاه گنبد کاووس
نشریه "پژوهش‌های ماهی‌شناسی کاربردی"
دوره هفتم، شماره دوم، تابستان ۹۸
http://jair.gonbad.ac.ir

ارزیابی پاسخ‌های رفتاری بچه‌ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum, 1792) در مواجهه با تغییرات محیطی (دما و آمونیاک محلول)

احمد محمدی یلسوئی*[۱]، عبدالمجید حاجی مرادلو[۲]، رسول قربانی[۳]، ولی‌اله جعفری[۳]

[۱] دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد تکثیر و پرورش آبزیان، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران
[۲] استاد گروه شیلات، دانشکده شیلات و محیط زیست، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران
[۳] دانشیار گروه شیلات، دانشکده شیلات و محیط زیست، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران

تاریخ ارسال: ۹۴/۸/۳۰ ؛ تاریخ پذیرش: ۹۴/۱۰/۱۷

چکیده

تعداد ۸ قطعه ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان (*O. mykiss*) با میانگین وزنی ۲±۶ گرم و طول کل ۲±۵ سانتی‌متر در دو گروه تیمار (تیمار دما و آمونیاک) و شاهد با چهار تکرار در مخازن استوانه‌ای به حجم ۵ لیتر که دارای یک ورودی و خروجی آب بودند، قرار داده شد. فرآیند آزمایش به سه بازه زمانی تقسیم شد. بازه اول شامل افزایش مقدار دما و آمونیاک در تیمارها بود. بازه دوم مدت زمانی بود که مقادیر دما و آمونیاک طی آن ثابت ماند و بازه نهایی (بازه سوم) شامل کاهش میزان دما و آمونیاک به مقدار اولیه آنها در شروع آزمایش بود (ابتدای بازه اول). الگوهای شنای مطالعه شده شامل شش شاخصه میانگین سرعت شنا، کل مسافت طی شده، میزان حرکت شتابدار، درصد حرکت، میانگین تغییر جهت جابه‌جایی و میانگین فاصله از مرکز بود. نتایج به‌دست آمده نشان داد بین الگوی شنای ماهیان در تیمار دما و آمونیاک در مقایسه با گروه شاهد تفاوت معناداری وجود دارد. بین الگوی شنای تیمار در بازه اول آزمایش نسبت به بازه سوم آزمایش تفاوت معناداری وجود داشت. 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 نظارت بر تنش‌های محیطی است.

***واژه‌های کلیدی*: *O. mykiss*، دما، آمونیاک، پاسخ‌های رفتاری، الگوهای شنا**

*نویسنده مسئول: ahmad_m.yalsuyi@yahoo.com

[Downloaded from jair.gonbad.ac.ir on 2026-11-13]

مقدمه

میزان تولید موجودات آبزی وابسته به شرایط محیطی اطراف آنهاست. یکی از مهمترین شرایط محیطی که رشد تمامی موجودات آبزی را تحت تأثیر قرار می‌دهد کیفیت آب است (Osofero *et al.*, 2007; Moradi *et al.*, 2013). آلودگی می‌تواند بر کیفیت مولدین و تخم آنان تأثیر بگذارد (Miller, 1993; Johnston and Leggett, 2002; Holocomb *et al.*, 2004). ماهیان نیز مانند سایر موجودات زنده جهت تأمین بقاء و گسترش نسل باید با محیط زیست خود سازش یابند (Imanpour and Zadmajid, 2009). آبزی‌پروری علاوه بر اینکه یک صنعت رو به رشد در سال‌های اخیر است، یک راهکار مطمئن برای تأمین ذخایر اکوسیستم‌های طبیعی نیز می‌باشد (Soutar, 2004). پرورش متراکم ماهی به خودی‌خود با موانعی همچون حمل و نقل، تراکم، تغذیه، کیفیت آب و بیماری همراه است (Bennison, 2004). این مشکلات منجر به کاهش کیفیت محیط آبی می‌شوند که کاهش سودآوری را به‌همراه دارند (Conte, 2004). شوری، دما، آمونیاک، کاهش اکسیژن محلول در آب و بیماری، از عوامل محدودکننده و تأثیرگذار در کیفیت محیط پرورش هستند (Timmons *et al.*, 2002).

تولید ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان به‌علت سازگاری ماهی با محیط متراکم پرورشی، داشتن رشد سریع و ضریب تبدیل غذایی و همچنین دوره نسبتاً کوتاه تخم‌گشایی، امکان بارورسازی و تخم‌ریزی ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان در هر زمان از سال با ایجاد شرایط دمای بهینه به‌منظور رسیدگی جنسی، سودآور و بهینه است (Munro and Waddell, 1987). بهترین بازه دمایی برای رشد و نگهداری آنها ۱۴-۸ درجه سانتی‌گراد می‌باشد، البته در بازه ۲۰-۴ درجه سانتی‌گراد نیز دارای رشد و تغذیه می‌باشند (Matschak *et al.*, 1998). میزان کشندگی (سمیت) آمونیاک باتوجه به میزان pH و دما متغیر است، به گونه‌ای که با افزایش pH از ۷ به ۷/۳ حتی در دمای ثابت میزان سمیت آمونیاک دو برابر می‌شود. به‌همین دلیل میزان آمونیاک محلول در آب باید زیر ۰/۰۵ میلی‌گرم در لیتر (mg/L) باشد هرچند ماهی میزان آمونیاک محلول را تا مرز ۰/۱ در لیتر تحمل می‌کند (Medinor, 1995). در رابطه با شاخصه‌های دیگر توصیه شده میزان اکسیژن محلول (O_2) بالاتر از ۹ میلی‌گرم در لیتر (mg/l) و pH بین ۸-۷ باشد (Munro and Waddell, 1987; Matschak *et al.*, 1998).

مطالعات گذشته نشان داده است، بسیاری از ماهیان در محیط‌های طبیعی می‌توانند بازه وسیعی از تغییرات دمایی را تحمل کنند؛ با این وجود افزایش دما نباید به شکل یکباره افزایش یابد و به‌عبارت دیگر شوک دمایی رخ دهد (Finstad *et al.*, 1988; Svobodova *et al.*, 1993). ماهیان در بازه محدودی دارای بهترین عملکرد متابولیکی و یا بالاترین بازده متابولیکی هستند. به‌عنوان مثال، میزان متابولیسم ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان در دمای پایین، نسبت به دمای بالاتر از ۲۰ درجه سانتی‌گراد بیشتر است و کارآیی بالاتری دارد. همچنین ماهیان در دمای ۱۵ درجه سانتی‌گراد بهترین عملکرد را

[Downloaded from jair.gonbad.ac.ir on 2026-11-13]

دارند (Schmidt-Nielsen, 1991). درحال حاضر مشخص شده است دما بر نرخ رشد بسیاری از آبزیان تأثیر چشمگیر دارد و بیشتر واکنش‌های فیزیولوژیکی آبزیان را تحت تأثیر قرار می‌دهد و در برخی موارد کنترل می‌کند (Ojanguren *et al.*, 1999; Buentello *et al.*, 2000; Moradi *et al.*, 2013). از طرفی افزایش دما باعث افزایش سمیت آمونیاک می‌گردد. دمای محیط آبی در کنار میزان pH دو عامل تعیین‌کننده در میزان سمیت آمونیاک هستند (Broderius *et al.*, 1985). هرچه میزان دمای محیط بیشتر باشد سمیت آمونیاک افزایش می‌یابد. آمونیاک به دو شکل یون آمونیوم (NH_4^+) و شکل مولکولی آمونیاک (NH_3) در محیط‌های آبی و مایعات زیستی یافت می‌گردد. در این میان شکل مولکولی آن برای آبزیان خطرناک است (Thurston *et al.*, 1981).

از طرفی مطالعات گذشته نمایانگر تأثیر نامطلوب آمونیاک بر فعالیت‌های عصبی مغز است. به‌عنوان مثال اسوودوبا و همکاران (Svobodova *et al.*, 1993) بیان داشته‌اند، آمونیاک با تأثیر بر عملکرد نورون‌ها بر فعالیت مغز اثر می‌گذارد. مسمومیت با آمونیاک دارای نشانه‌های مختلفی مانند اضطراب، افزایش تنفس و ضربان نامنظم سرپوش آبششی، شنای نزدیک به سطح، افزایش موکوس و رنگ پریدگی پوست، شنای شدید و از دست دادن تعادل می‌باشد. در موارد آلودگی شدید، بیرون پریدن ماهی از آب، شنای نا متعادل و مرگ با دهان باز نیز اتفاق می‌افتد (Thurston *et al.*, 1981).

مطالعات متعددی بر رفتار ماهیان در مواجهه با تنش‌های محیطی صورت گرفته است. به‌عنوان مثال لیتل و فینگر (Little and Finger, 1990) اثر مقادیر تحت کشنده سموم بر رفتار شنای ماهیان، راندال و تسای (Randall and Tsui, 2002) اثر سمیت آمونیاک را بر ماهیان و همینطور اورتگا و همکاران (Ortega *et al.*, 2005) اثر آمونیاک بر ماهی قزل‌آلا را مورد مطالعه قرار دادند. با این وجود مطالعات مربوط به رفتارشناسی به آهستگی درحال گسترش است، زیرا تغییرات در رفتار ممکن است مربوط به عوامل زیست‌محیطی مانند شکار، صید طعمه، مقاومت در برابر استرس، طول عمر و تولید مثل باشد (Kane *et al.*, 2004). آشنایی با رفتارهای خاص (طبیعی و غیرطبیعی) ماهیان، برای مدیریت عوامل استرس‌زا امری حیاتی است (Conte, 2004). 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 سوال، امری حیاتی برای مدیریت منابع آبی است. شناخت هرچه بهتر و گسترده‌تر از ویژگی‌های رفتاری در کنار خصوصیات فیزیولوژیکی آبزیان و یافتن پل ارتباطی میان این دو ویژگی، منجر به مدیریت کارآمدتر و مؤثرتری خواهد بود.

مواد و روش‌ها

۱۰۰ عدد ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان با میانگین وزنی ۲±۵ گرم از کارگاه تکثیر و پرورش دشت سبز (ایران، تهران، فیروزکوه، کیلومتر ۲ جاده کلفور) تهیه شد و به سالن آبزی پروری دانشکده شیلات،

[Downloaded from jair.gonbad.ac.ir on 2026-11-13]

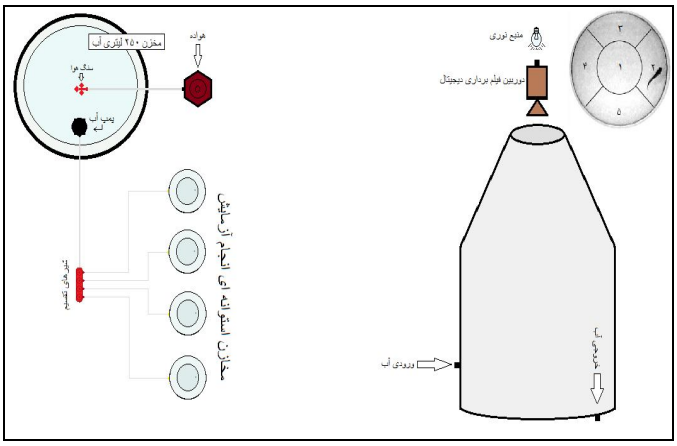
دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان انتقال یافت. این ماهیان در شرایط محیطی مشابه در دو تانک فایبرگلاس مدور ۲۷۰ لیتری به‌مدت دو هفته جهت سازگاری با شرایط آزمایشگاهی نگهداری شدند. حجم آبگیری هر مخزن ۲۵۰ لیتر و تعداد ماهیان هر تانک ۵۰ عدد بود. در طول این مدت ماهیان به‌وسیله جیره غذایی بیومار (FFT1)، دو وعده در روز، معادل ۳٪ وزن ماهیان تغذیه شدند. آمونیاک مورد استفاده در این آزمایش محصول لابراتور دکتر مجللی با خلوص ۲۵٪ بود. برای گرم کردن آب از شش عدد بخاری آبی (المنت برقی ضد آب، 200W-Atman) استفاده شد.

برای طراحی محیط آزمایش از ۸ عدد مخزن استوانه‌ای به حجم ۵ لیتر (ارتفاع ۱۰ سانتی‌متر و عرض مقطع ۱۴/۵ سانتی‌متر) از جنس پلاستیک و رنگ سفید (مات) استفاده شد. هریک از مخازن دارای یک مجرای ورودی و خروجی آب بودند. 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 ۰/۰۰۲ لیتر در ثانیه (L/Sec) بود. داده‌های تصویری به‌وسیله هشت دوربین فیلم‌برداری دیجیتال (Canon, SX230 Hs, 5.0-70mm) به‌طور همزمان ثبت گردید. برای ثبت بهتر تصاویر علاوه بر نور محیط در بالای هریک از مخازن یک منبع نوری ۶۰ وات طراحی شد. قرارگیری منبع نور به‌شکلی بود که سایه‌ای در داخل ظرف ایجاد نشود؛ همین‌طور از آنجایی که هیچ‌گونه هوادهی در محیط اصلی آزمایش (مخازن ۵ لیتری) صورت نمی‌پذیرفت تلاطم و جریانی وجود نداشت (شکل۱).

با بهره‌گیری از روش مطالعاتی کین و همکاران (Kane *et al.*, 2004) و محمدی و همکاران (Mohamadi *et al.*, 2014) مراحل آزمایش به شرح ذیل ایجاد گردید. پس از زمان سازگاری (۲ هفته) ماهیان در مخازن نگهداری، ۸ عدد ماهی (شاهد و تیمار دما و آمونیاک) به شکل کاملاً تصادفی انتخاب شدند. هر یک از ماهیان به یکی از مخازن پنج لیتری آزمایش انتقال یافتند (هر مخزن ۵ لیتری آزمایش حاوی یک عدد ماهی بود). برای سازگاری با محیط، این انتقال ۲۴ ساعت قبل از شروع آزمایش دما و آمونیاک صورت پذیرفت. همچنین در این مدت (۲۴ ساعت) غذادهی انجام نشد. شرایط فیزیکوشیمیایی آب (دما ۰/۴±۱۶/۴ سانتی‌گراد، آمونیاک ۰/۰۱±۰/۰۲۵ میلی‌گرم در لیتر، اکسیژن ۴±۸۰٪ درصد حد اشباع و pH معادل ۰/۰۴±۷/۶ بود) و سرعت جریان آب در همه مخازن برابر (۰/۰۰۲ لیتر در ثانیه) بود. زمان آزمایش به دو بازه زمانی ۴۲ دقیقه‌ای و یک بازه زمانی ۱۰ دقیقه‌ای تقسیم شد. بازه زمانی ۴۲ دقیقه‌ای ابتدایی، زمانی بود که در آن آمونیاک و دما به‌ترتیب از ۰/۰۲۵ میلی‌گرم در لیتر و ۱۷ درجه سانتی‌گراد به ۱۰ میلی‌گرم در لیتر و ۳۲ درجه سانتی‌گراد افزایش می‌یابد (بازه رفت). بازه ۱۰ دقیقه‌ای میانی، زمانی بود که ماهی در دمای ثابت ۳۲ درجه سانتی‌گراد و غلظت ۱۰ میلی‌گرم در لیتر آمونیاک به‌مدت ۱۰ دقیقه نگهداری می‌شدند. ۴۲ دقیقه انتهایی، مربوط به بازه‌ای بود که در آن میزان آمونیاک و دما به مقدار اولیه خود (آمونیاک ۰/۰۲۵ میلی‌گرم در لیتر و دما ۱۷ درجه سانتی‌گراد) در ابتدای آزمایش باز می‌گشت (بازه برگشت). شکل ۳ بیانگر مراحل آزمایش است.

[Downloaded from jair.gonbad.ac.ir on 2026-11-13]

در تمام مدت آزمایش شرایط فیزیکوشیمیایی آب برای گروه شاهد تقریباً ثابت و برابر با میانگین دمای ۱۶/۴±۰/۴ سانتی‌گراد، آمونیاک ۰/۰۲۵±۰/۰۱ میلی‌گرم درلیتر، اکسیژن ۸۰±۴ درصد حد اشباع و pH معادل ۷/۶±۰/۰۴ بود.



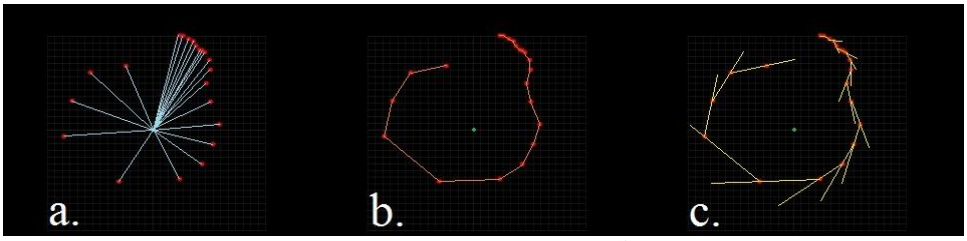
شکل ۱- تصویر شماتیک محیط آزمایش به‌همراه اجزای تشکیل‌دهنده آن و سیستم‌های فیلم‌برداری و جمع‌آوری اطلاعات بررسی ارزیابی پاسخ‌های رفتاری بچه‌ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان (*O. mykiss*) در مواجهه با تغییرات محیطی

ابتدا تصاویر به‌دست آمده با نرم‌افزار تحلیل تصاویر و عکس Adobe after effects (AAE CS6) تدوین شد و ۲۰ ثانیه ابتدایی هر بازه زمانی جدا گردید (هر مرحله آزمایش دارای پنج بازه زمانی بود). طراحی این نرم افزار به شکلی بود که با دنبال نمودن مسیر حرکت سوژه تعریف شده (در این آزمایش ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان)، می‌تواند در انتها، مسیر حرکت سوژه را روی صفحه مدرج ترسیم نماید (شکل۲). حرکت ماهیان مطابق با شاخصه‌های جدول۱ در هر سه مرحله مورد بررسی قرار گرفت. انتخاب این نرم‌افزار برای تحلیل تصاویر بر پایه مطالعات اولیه، امکانات موجود و مزایای نسبی آن بود. برای مطالعه میزان همبستگی، بین داده‌های تحقیق از آزمون اسپرمن در محیط نرم‌افزار SPSS-20 استفاده شد؛ همچنین برای تجزیه و تحلیل داده‌ها از آنالیز واریانس یک‌طرفه (Oneway-ANOVA) استفاده گردید. تفاوت معنی‌داری در سطح ۰/۰۵ بین میانگین‌ها از طریق آزمون دانکن (Duncan) انجام گرفت. مجموع زمان مورد مطالعه در هر آزمایش به ۱۰ بازه زمانی برابر (یازده دقیقه‌ای) تقسیم شد که در آن پنج بازه ابتدایی (رفت) مربوط به زمان افزایش دما و آمونیاک بوده است و پنج بازه انتهایی (بازگشت) مربوط زمان کاهش دما و آمونیاک است. نمونه‌هایی از تصاویر اولیه تهیه شده از مسیر حرکت ماهیان در ۲۰ ثانیه اول بازه زمانی در شکل ۴ آورده شده است.

[Downloaded from jair.gonbad.ac.ir on 2026-11-13]

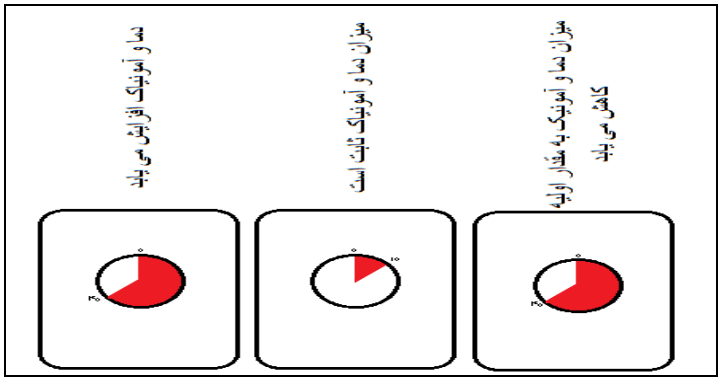
جدول ۱- شاخص‌های حرکتی ماهیان (برگرفته از مطالعات کین و همکاران (Kane *et al.*, 2004) **همراه با تعدیل و بهینه سازی)**

شاخصه	توضیحات
میانگین سرعت شنا	میانگین سرعت ماهی، زمانی که ماهی در زمان t ثانیه X سانتیمتر جابه‌جا می‌شود ($V=\frac{x}{t}$). میانگین سرعت شنا رابطه مستقیم با تنش محیط دارد و جزء اولین پاسخ‌های رفتاری ماهیان در مقابله با تنش محیطی است که ناشی از میل به فرار ماهیان می‌باشد.
کل مسافت طی شده	مجموع جابه‌جایی ماهی در زمان t ثانیه را گویند. تابعی از میانگین سرعت شناست ($X = Vt$).
حرکت جهشی	مجموع مسافتی که در آن ماهی در بازه زمانی t_0 (معادل یک ثانیه)، سرعت اش بیش از دو برابر میانگین سرعت کل باشد ($V_t>2V_{avr.}$). هرچه میزان حرکت جهشی یا پرتابه‌ای بیشتر باشد، میزان اضطراب ماهی بیشتر است.
درصد حرکت	هنگامی که ماهی معادل دو سوم طول بدن خود جابه‌جا شود، می‌گویند 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. این شاخصه مشخص می‌نماید که ماهی چه میزان در حال شنا بوده یا به چه میزان بی‌حرکت مانده است.
میانگین تغییر جهت جا به جایی	زمانی که ماهی از نقطه A به نقطه B و در ادامه به نقطه C می‌رود زاویه بین دو خط AB و BC برابر است با میزان تغییر جهت جابه‌جایی. تغییر جهت جابه‌جایی در کنار میزان حرکت شتابدار و درصد حرکت سه شاخصه مهم در بیان تنش ماهیان است. هرچه میانگین تغییر جهت جابه جایی کمتر باشد الگوی شنای ماهیان همگن‌تر و منظم‌تر است.
میانگین فاصله از مرکز	بیانگر میانگین فاصله ماهی از مرکز مخزن است. این شاخصه بیانگر میل ماهی برای گریز از محیط 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.

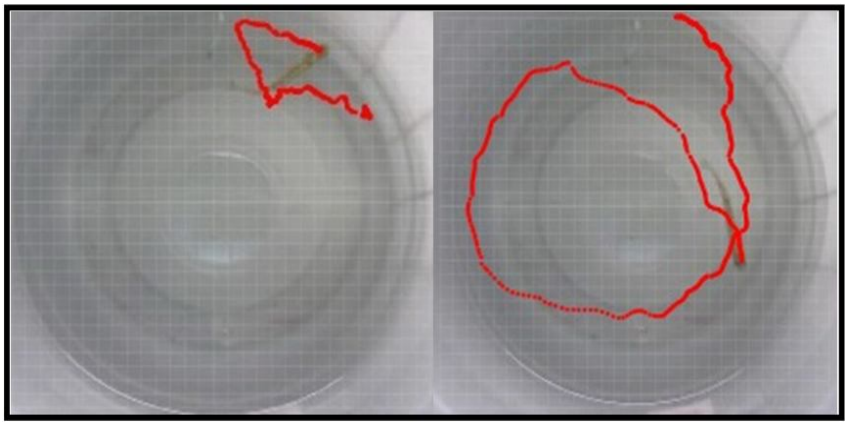


شکل ۲- نمونه‌ای از الگوهای به‌دست آمده حاصل از تجزیه و تحلیل تصاویر با استفاده از نرم‌افزار Adobe after effects (AAE CS6). شامل بیست ثانیه از شنای ماهی می‌شود. a) میانگین فاصله از مرکز. b) کل مسافت طی شده. C) میانگین تغییر جهت جابه‌جایی بررسی ارزیابی پاسخ‌های رفتاری بچه‌ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان (*O. mykiss*) در مواجهه با تغییرات محیطی

[Downloaded from jair.gonbad.ac.ir on 2026-11-13]



شکل ۳- طرح شماتیک نشان دهنده میزان زمان هر بازه آزمایش به‌همراه ترتیب انجام مراحل آزمایش بررسی ارزیابی پاسخ‌های رفتاری بچه‌ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان (*O. mykiss*) در مواجهه با تغییرات محیطی



شکل ۴- نمونه‌هایی از تصاویر اولیه تهیه شده از مسیر حرکت بچه‌ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان (*O. mykiss*) در ۲۰ ثانیه اول بازه زمانی است که با کمک ابزار Adobe after effects (AAE CS6) تهیه شده است. مسیر قرمز، سیر حرکت ماهی است. پس از این مرحله به‌کمک همین نرم‌افزار بیست نقطه به ازای هر ثانیه، در مسیر حرکت ماهی مشخص و انتخاب می‌شود.

نتایج

بررسی و تحلیل داده نشان داد بین الگوی شنای ماهیان در تیمار دما و آمونیاک نسبت به گروه شاهد تفاوت معناداری وجود داشت ($p<۰/۰۵$). مقایسه بین الگوی شنای تیمار دما و آمونیاک در بازه‌های زمانی متفاوت نمایانگر وجود اختلاف معناداری بین آنها بود ($p<۰/۰۵$). همچنین بین الگوی

[Downloaded from jair.gonbad.ac.ir on 2026-11-13]

شنای تیمار دما و آمونیاک در بازه ابتدایی آزمایش نسبت به بازه انتهایی آزمایش اختلاف معناداری وجود داشت (p<۰/۰۵) (جداول ۲ و ۳).

جدول ۲- مقایسه الگوی شنای بچه‌ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان (*O. mykiss*) در تیمار دما و آمونیاک با گروه شاهد در زمان‌های یکسان (میانگین± انحراف معیار).

مرحله	زمان (دقیقه)		میانگین سرعت شنا (cm/sec.)			کل مسافت طی شده (cm)			میزان حرکت شتابدار (cm)		
			شاهد	تیمار	p	شاهد	تیمار	p	شاهد	تیمار	p
ابتدایی	۰-۱۱		۲/۵۰±۰/۳۲	۳/۳۱±۰/۲۰	o	۵۰/۰۶±۶/۴۸	۷۸/۲۰±۴/۱۴	o	۱۵/۵۶±۳/۷	۱۲/۰۸±۰/۲۴	o
	۱۱-۲۲		۳/۳۱±۰/۲۰	۵/۱۹±۰/۹۸	o	۶۶/۲۸±۴/۰۸	۱۰۳/۸±۱۲/۹۳	o	۰/۰۰±۰/۰۰	۱۲/۱۰±۰/۳۲	o
	۲۲-۳۲		۲/۹۴±۰/۲۳	۲/۹۹±۰/۴۱	×	۵۸/۹۵±۴/۶۲	۵۹/۸۰±۸/۲۳	×	۰/۰۰±۰/۰۰	۱۴/۴۱±۰/۴۳	o
	۳۲-۴۲		۳/۳۱±۰/۵۲	۵/۳۶±۰/۲۲	o	۷۴/۹۹±۱۰/۳۳	۵۱/۲۰±۴/۹۴	o	۰/۰۰±۰/۰۰	۵/۵۰±۰/۹۰	o
میانی	۱۰	۵	۳/۳۱±۰/۵۴	۵/۳۶±۰/۲۲	o	۶۶/۳۴±۱/۱۱	۱۰۷/۲۰±۴/۴۷	o	۶/۷۲±۱/۵۹	۰/۰۰±۰/۰۰	o
		۵	۳/۴۰±۰/۱۶	۵/۸۹±۰/۳۸	o	۶۸/۰۸±۳/۲۶	۱۱۷/۸۰±۷/۷۱	o	۰/۰۰±۰/۰۰	۵/۳۱±۰/۴۳	o
انتهایی	۰-۱۱		۳/۸۰±۰/۲۵	۵/۴۲±۰/۳۸	o	۷۶/۱۸±۴/۹۶	۱۰۸/۸۴±۷/۵۷	o	۰/۰۰±۰/۰۰	۰/۰۰±۰/۰۰	×
	۱۱-۲۲		۲/۲۸±۰/۲۰	۵/۱۱±۰/۲۶	o	۴۵/۵۴±۴/۰۶	۱۰۲/۲۰±۵/۲۵	o	۰/۰۰±۰/۰۰	۴/۰۱±۰/۲۰	o
	۲۲-۳۲		۴/۸۰±۰/۱۶	۴/۸۶±۰/۸۰	×	۹۶/۰۸±۳/۲۵	۹۷/۲۰±۷/۳۸	×	۹/۱۸±۱/۳۴	۹/۷۳±۰/۱۰	×
	۳۲-۴۲		۳/۱۱±۰/۲۸	۴/۶۶±۰/۱۵	o	۶۲/۳۳±۵/۶۰	۹۵/۲۰±۳/۰۲	o	۰/۰۰±۰/۰۰	۱۳/۲۲±۰/۸۰	o

o. نشان‌دهنده وجود اختلاف معنادار بین مقادیر دو سطر کنار هم است (p<۰/۰۵).

×. نشان‌دهنده عدم وجود اختلاف معنادار بین مقادیر دو سطر کنار هم است (p> ۰/۰۵).

جدول ۳- مقادیر (میانگین± انحراف معیار) الگوی شنای بچه‌ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان (*O. mykiss*).

مرحله	زمان (دقیقه)		درصد حرکت (٪)			میانگین تغییر جهت جابه‌جایی (θ°)			میانگین فاصله از مرکز (cm)		
			شاهد	تیمار	p	شاهد	تیمار	p	شاهد	تیمار	p
ابتدایی	۰-۱۱		۸۰/۰۰±۹/۱۳	۹۸/۰۰±۰/۰۰	o	۲۷/۶۸±۲/۱۷	۵۴/۰۰±۳/۳۲	o	۹/۴۰±۰/۶۰	۹/۲۰±۰/۳۹	×
	۱۱-۲۲		۹۹/۲۵±۰/۵۰	۹۸/۰۰±۰/۰۰	o	۳۴/۱۱±۱/۷۶	۳۴/۴۷±۲/۳۹	×	۹/۰۹±۰/۶۶	۹/۸۳±۰/۵۱	×
	۲۲-۳۲		۹۸/۰۰±۰/۰۰	۶۷/۵۰±۸/۶۶	o	۲۹/۶۸±۱/۵۷	۴۹/۴۷±۹/۴۳	o	۸/۷۹±۰/۷۵	۷/۴۰±۰/۹۹	o
	۳۲-۴۲		۸۵/۰۰±۴/۰۸	۵۳/۷۵±۴/۷۹	o	۳۱/۱۶±۱/۴۴	۳۷/۴۲±۱۱/۱۷	o	۹/۱۵±۰/۴۴	۶/۸±۱/۰۶	o
میانی	۱۰	۵	۹۵/۰۰±۰/۰۰	۹۸/۰۰±۰/۰۰	o	۳۸/۹۵±۱/۰۱	۴۷/۶۱±۲/۰۶	o	۸/۲۲±۰/۳۶	۱۱/۲۱±۰/۴۰	o
		۵	۹۵/۰۰±۵/۷۷	۹۸/۰۰±۰/۰۰	o	۴۳/۳۱±۱/۶۰	۵۱/۲۱±۱/۸۶	o	۷/۲۳±۰/۸۵	۱۱/۷۶±۱/۹۷	o
انتهایی	۰-۱۱		۹۸/۰۰±۵/۷۷	۹۸/۰۰±۰/۰۰	×	۳۸/۵۳±۴/۹۰	۵۱/۴۴±۳/۴۴	o	۷/۴۳±۰/۶۵	۱۱/۹۸±۰/۵۵	o
	۱۱-۲۲		۹۰/۰۰±۵/۷۷	۹۸/۰۰±۰/۰۰	o	۲۹/۹۴±۱/۹۸	۴۵/۳۲±۱/۲۷	o	۴/۹۴±۰/۳۶	۱۲/۳۰±۰/۴۳	o
	۲۲-۳۲		۹۸/۲۵±۰/۵۰	۹۰/۲۵±۵/۵۰	o	۴۶/۶۵±۴/۱۱	۴۲/۳۲±۴/۳۶	×	۷/۴۰±۰/۸۵	۱۱/۴۵±۰/۴۰	o
	۳۲-۴۲		۹۵/۰۰±۰/۰۰	۸۵/۰۰±۰/۰۰	o	۳۹/۵۰±۳/۸۲	۳۶/۷۲±۱/۹۷	×	۸/۲۰±۰/۵۵	۱۰/۲۱±۰/۵۷	o

o. نشان‌دهنده وجود اختلاف معنادار بین مقادیر دو سطر کنار هم است (p<۰/۰۵).

×. نشان‌دهنده عدم‌وجود اختلاف معنادار بین مقادیر دو سطر کنار هم است (p>۰/۰۵).

میانگین سرعت شنای ماهیان در تیمار دما و آمونیاک، نسبت به گروه شاهد در تمام بازه‌های زمانی بجز بازه زمانی ۴۲-۳۲ دقیقه مرحله ابتدایی، نسبت به گروه شاهد بیشتر بود (اختلاف معنادار داشت، p<۰/۰۵). هرچند در برخی از بازه‌های زمانی از میزان این اختلاف کاسته شد، ولی در دما و

[Downloaded from jair.gonbad.ac.ir on 2026-11-13]

غلظت بالا آمونیاک (انتهای بازه ابتدایی و اوایل بازه انتهایی) این اختلاف بسیار مشهود بود. میزان حرکت شتابدار در گروه شاهد برخلاف تیمار دما و آمونیاک در بسیاری از زمان ها (۷۰٪ مواقع)، صفر بوده و اختلاف معناداری با تیمار داشت ($p<۰/۰۵$). از همین روی الگوی حرکتی شاهد دارای پراکندگی کمتر و یکنواختی بیشتری از جنبه میانگین سرعت شنا بود. بررسی داده‌های مربوط به درصد حرکت ماهیان مشخص می‌نماید ماهیان در تیمار دما و آمونیاک، تنها در دمای بالای ۲۸ درجه سانتی‌گراد و غلظت ۸ میلی‌گرم در لیتر آمونیاک دارای تحرک بیشتری نسبت به گروه شاهد هستند؛ در دمای پایین‌تر ۲۸ درجه سانتی‌گراد و غلظت ۸ میلی‌گرم در لیتر آمونیاک هرچند میزان حرکت ماهیان کاهش می‌یابد، ولی به‌دلیل میانگین سرعت شنای بالاتر نسبت به گروه شاهد میزان کل مسافت طی‌شده با گروه شاهد اختلاف معناداری داشت و از آن بیشتر بود ($p<۰/۰۵$). نتایج به‌دست آمده از تحلیل داده‌های مربوط به میانگین فاصله از مرکز، نشان داد فاصله از مرکز در تیمار دما و آمونیاک در مقایسه با گروه شاهد تفاوت معناداری داشت ($p<۰/۰۵$). ماهیان در مواجهه با افزایش دما و آمونیاک به سمت دیواره‌ها متمایل می‌شوند. ماهیان در نزدیکی و رو به دیواره شنا می‌کنند و مدام به آن ضربه می‌زنند. تغییر جهت جابه‌جایی همچون میانگین فاصله از مرکز و میزان حرکت شتابدار با افزایش مقدار دما و آمونیاک در طول آزمایش افزایش یافت و تفاوت معناداری با گروه شاهد داشت ($p<۰/۰۵$). این افزایش ناشی از تنش و استرس در ماهیان بود.

تحلیل داده‌ها نشان داد میان میانگین سرعت شنا و میزان کل مسافت طی‌شده، درصد حرکت و میانگین فاصله از مرکز همبستگی وجود داشت (جدول ۴). بین دیگر شاخصه‌ها هیچ همبستگی وجود نداشت. هر چه کل مسافت طی شده افزایش یابد، میانگین سرعت شنا و به دنبال آن درصد حرکت نیز افزایش می‌یابد. هرچند این یک قاعده کلی است و بین درصد حرکت و کل مسافت طی شده یک ارتباط کامل و یک به یک برقرار نیست.

جدول ۴- میزان همبستگی میان شاخص‌های بررسی شده الگوی شنای بچه‌ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان (*O. mykiss*) در دما و آمونیاک.

	میانگین سرعت	کل مسافت طی شده	درصد حرکت	حرکت شتابدار	میانگین تغیر جهت جابه‌جایی	میانگین فاصله از مرکز
میانگین سرعت	-	۰۰/۱**	۸۸/۰**	-۴۳/۰	۱۶/۰	۹۲/۰**
کل مسافت طی شده		-	۸۸/۰**	-۴۳/۰	۱۶/۰	۹۲/۰**
درصد حرکت			-	-۰/۲۵	۳۶/۰	۸۳/۰**
حرکت شتابدار				-	-۰/۳۲	-۵۰/۰
میانگین تغیر جهت جابه‌جایی					-	۲۶/۰
میانگین فاصله از مرکز						-

** نشان‌دهنده همبستگی در سطح معنادار ۰/۰۱ است.

[Downloaded from jair.gonbad.ac.ir on 2026-11-13]

بررسی الگوهای شنای ماهیان در تیمار دما و آمونیاک در غلظت‌های متفاوت (جدول ۵) نشـان داد که بیشترین میانگین فاصله از مرکز، میانگین سرعت شـنا، کـل مسـافت طـی‌شـده، درصـد حرکـت و میانگین تغییر جهت جابه‌جایی مربوط بـه دمـای بـالای ۲۸ درجـه سـانتی‌گـراد و غلظـت آمونیـاک ۸ میلی‌گرم در لیتر می‌باشد.

جدول ۵- بررسی الگوی شنای بچه‌ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان (*O. mykiss*) تیمار دما و آمونیاک در مقایسه دما و غلظت مختلف آمونیاک (به‌صورت میانگین ± انحراف).

دما و آمونیاک		سرعت	مسافت	حرکت شتابدار	درصد حرکت	تغییر جهت	فاصله از مرکز
۱۷	۰/۰۹	۳/۹۱±۰/۲۱^{d}	۷۸/۲۰±۴/۱۴^{d}	۱۲/۰۸±۰/۲۴^{c}	۹۸/۰۰±۰/۰۰^{a}	۵۴/۰۰±۳/۱۶^{a}	۹/۲۰±۰/۳۹^{d}
۲۱	۲/۶۸	۵/۱۹±۰/۶۵^{bc}	۱۰۳/۸۰±۱۲/۹۳^{bc}	۱۲/۱۰±۰/۳۲^{c}	۹۸/۰۰±۰/۰۰^{a}	۳۴/۴۷±۲/۳۸^{e}	۹/۸۳±۰/۵۱^{cd}
۲۵	۵/۲۳	۲/۹۹±۰/۴۱^{e}	۵۹/۸۰±۸/۲۳^{e}	۱۴/۴۱±۰/۴۳^{a}	۶۵/۵۰±۸/۶۶^{d}	۴۹/۴۷±۹/۴۳^{ab}	۷/۴۰±۰/۹۹^{e}
۲۸	۷/۹۶	۲/۵۶±۰/۲۵^{e}	۵۱/۲۰±۴/۹۴^{e}	۵/۵۰±۰/۹۰^{e}	۵۳/۷۵±۴/۷۹^{e}	۳۷/۳۶±۱/۵۰^{de}	۶/۸۰±۱/۰۵^{e}
۳۲	۱۰	۵/۳۶±۰/۲۲^{ab}	۱۰۷/۲۰±۴/۴۶^{ab}	۰/۰۰±۰/۰۰^{g}	۹۸/۰۰±۰/۰۰^{a}	۴۷/۶۱±۲/۰۶^{bc}	۱۱/۲۱±۰/۴^{b}
۳۲	۱۰	۵/۸۹±۰/۳۸^{a}	۱۱۷/۸۰±۷/۷۱^{a}	۵/۳۱±۰/۴۳^{e}	۹۸/۰۰±۰/۰۰^{a}	۵۱/۲۱±۱/۸۶^{ab}	۱۱/۷۶±۰/۲۰^{ab}
۲۸	۷/۹۶	۵/۴۲±۰/۳۸^{ab}	۱۰۸/۴۰±۷/۵۷^{ab}	۰/۰۰±۰/۰۰^{g}	۹۸/۰۰±۰/۰۰^{a}	۵۱/۴۴±۳/۴۴^{ab}	۱۱/۹۸±۰/۵۵^{ab}
۲۵	۵/۳۲	۴/۸۶±۰/۳۷^{bc}	۱۰۲/۲۰±۵/۲۵^{bc}	۴/۵۴±۰/۲۰^{f}	۹۸/۰۰±۰/۰۰^{a}	۴۵/۳۲±۱/۲۷^{bc}	۱۲/۳۰±۰/۴۳^{a}
۲۱	۲/۶۸	۴/۶۶±۰/۱۵^{bc}	۹۷/۲۰±۷/۳۸^{bc}	۹/۷۳±۰/۱۰^{d}	۹۰/۲۵±۵/۵۰^{b}	۴۲/۳۲±۴/۳۶^{cd}	۱۱/۴۵±۰/۴۰^{ab}
۱۷	۰/۰۹	۴/۵۹±۱/۱۰^{c}	۹۵/۲۰±۳/۸^{c}	۱۳/۲۲±۰/۸۰^{b}	۸۵/۰۰±۰/۰۰^{c}	۳۶/۷۲±۱/۹۷^{de}	۱۰/۲۱±۰/۵۷^{c}

حروف لاتین مشابه در هر ستون نشان‌دهنده عدمو جود تفاوت معناداری است.

جدول ۶- بررسی الگوهای شنا بچه ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان (*O. mykiss*) تیمار دما و آمونیاک در درجه حرارت یکسان و غلظت های برابر است (میانگین ± انحراف معیار).

تیمار	دما	آمونیاک	رفت	برگشت	p
میانگین سرعت شنا (ثانیه/سانتیمتر)	۱۷	۰/۰۹	۳/۹۱±۰/۲۱	۴/۶۶±۰/۱۵	۰/۰۱**
	۲۱	۲/۶۸	۵/۱۹±۰/۶۴	۴/۸۶±۰/۳۷	۰/۴۱
	۲۵	۵/۲۳	۲/۹۹±۰/۴۱	۵/۱۱±۰/۲۶	۰/۰۰**
	۲۸	۷/۹۶	۲/۵۶±۰/۲۵	۵/۴۲±۰/۳۸	۰/۰۰**
	۳۲	۱۰	۵/۳۶±۰/۲۲	۵/۸۹±۰/۳۸	۰/۰۵*
کل مسافت طی‌شده (سانتیمتر)	۱۷	۰/۰۹	۷۸/۲۰±۴/۱۴	۹۵/۲۰±۳/۰۲	۰/۰۱**
	۲۱	۲/۶۸	۱۰۳/۸۰±۱۲/۹۳	۹۵/۲۰±۳/۰۲	۰/۲۴
	۲۵	۵/۲۳	۱۰۳/۸۰±۱۲/۹۳	۱۰۲/۲۰±۵/۲۵	۰/۸۳
	۲۸	۷/۹۶	۵۱/۲۰±۴/۹۴	۱۰۸/۴۰±۷/۵۷	۰/۰۰**
	۳۲	۱۰	۱۰۷/۲۰±۴/۴۷	۱۱۷/۸۰±۷/۷۱	۰/۰۵*
حرکت شتابدار (سانتیمتر)	۱۷	۰/۰۹	۱۲/۰۸±۰/۲۴	۱۳/۲۲±۰/۸۰	۰/۰۳*
	۲۱	۲/۶۸	۱۲/۱۰±۰/۳۲	۹/۷۳±۰/۱۰	۰/۰۰**
	۲۵	۵/۲۳	۱۲/۱۰±۰/۳۲	۴/۵۴±۰/۲۰	۰/۰۰**

[Downloaded from jair.gonbad.ac.ir on 2026-11-13]

	۲۸	۷/۹۶	۵/۵۰±۰/۹۰	۰/۰۰±۰/۰۰	۰/۰۰**
	۳۲	۱۰	۰/۰۰±۰/۰۰	۵/۳۱±۰/۴۳	۰/۰۰**
درصد حرکت (٪)	۱۷	۰/۰۹	۹۸/۰۰±۰/۰۰	۸۵/۰۰±۰/۰۰	۰/۰۰**
	۲۱	۲/۶۸	۹۸/۰۰±۰/۰۰	۹۰/۲۵±۵/۵۰	۰/۰۳*
	۲۵	۵/۲۳	۶۷/۵۰±۸/۶۶	۹۸/۰۰±۰/۰۰	۰/۰۰**
	۲۸	۷/۹۶	۵۳/۷۵±۴/۷۹	۹۸/۰۰±۰/۰۰	۰/۰۱**
	۳۲	۱۰	۹۸/۰۰±۰/۰۰	۹۸/۰۰±۰/۰۰	۰/۶۷
تغییر جهت (θ°)	۱۷	۰/۰۹	۵۴/۰۰±۳/۱۶	۳۶/۷۲±۱/۹۷	۰/۰۰**
	۲۱	۲/۶۸	۳۴/۴۷±۲/۳۹	۴۲/۳۲±۴/۳۶	۰/۰۲*
	۲۵	۵/۲۳	۴۹/۴۷±۹/۴۳	۴۵/۳۲±۱/۲۷	۰/۴۲
	۲۸	۷/۹۶	۵۳/۷۵±۴/۷۹	۵۱/۴۴±۳/۴۴	۰/۴۶
	۳۲	۱۰	۴۷/۶۱±۲/۰۶	۵۱/۲۱±۱/۸۶	۰/۰۴*
فاصله از مرکز (سانتیمتر)	۱۷	۰/۰۹	۹/۲۰±۰/۳۹	۱۰/۲۱±۰/۵۷	۰/۰۳*
	۲۱	۲/۶۸	۹/۸۳±۰/۵۱	۱۱/۴۵±۰/۴۰	۰/۰۳*
	۲۵	۵/۲۳	۷/۴۰±۰/۹۹	۱۲/۳۰±۰/۴۳	۰/۰۰**
	۲۸	۷/۹۶	۶/۸۰±۱/۰۵	۱۱/۹۸±۰/۵۵	۰/۰۰**
	۳۲	۱۰	۱۱/۲۱±۰/۴۰	۱۱/۷۶±۰/۲۰	۰/۰۵*

** دارای تفاوت معناداری در سطح ۰/۰۱.

* دارای تفاوت معناداری در سطح ۰/۰۵.

الگوی شنای تیمار دما و آمونیاک در بازه زمانی ابتدای آزمایش (رفت) نسبت به مرحله انتهای آزمایش (برگشت) در تمام بازه‌ها تفاوت معناداری داشت (جدول ۶). تنها در فواصل ۲۸-۲۵ درجه سانتی‌گراد (غلظت ۷/۹۶-۵/۲۳ میلی‌گرم در لیتر آمونیاک) بین میانگین تغییر جهت جابه‌جایی بازه رفت و بازگشت تفاوت معناداری وجود نداشت ($p>0/05$). بین درصد حرکت ماهیان در دمای ۳۲ درجه سانتی‌گراد (غلظت آمونیاک ۱۰ میلی‌گرم در لیتر) نیز تفاوت معناداری نبود ($p>0/05$).

نمودار حاصل برای بیشتر شاخصه‌ها از یک الگوی چند جمله‌ای با شیب افزایشی و یا کاهشی پیروی می‌کند. نمودارهای مربوط به الگوی شنا تیمار دما و آمونیاک در بیشتر موارد فراتر از نمودار مربوط به الگوی شنا شاهد بود و تنها در برخی موارد، مانند نمودار درصد حرکت به زیر نمودار گروه شاهد سقوط می‌کرد. بین میانگین سرعت شنا در بازه رفت (۳/۳۷ cm/sec) و بازه برگشت (۵/۰۵ cm/sec) تفاوت معناداری وجود داشت ($p<0/05$).

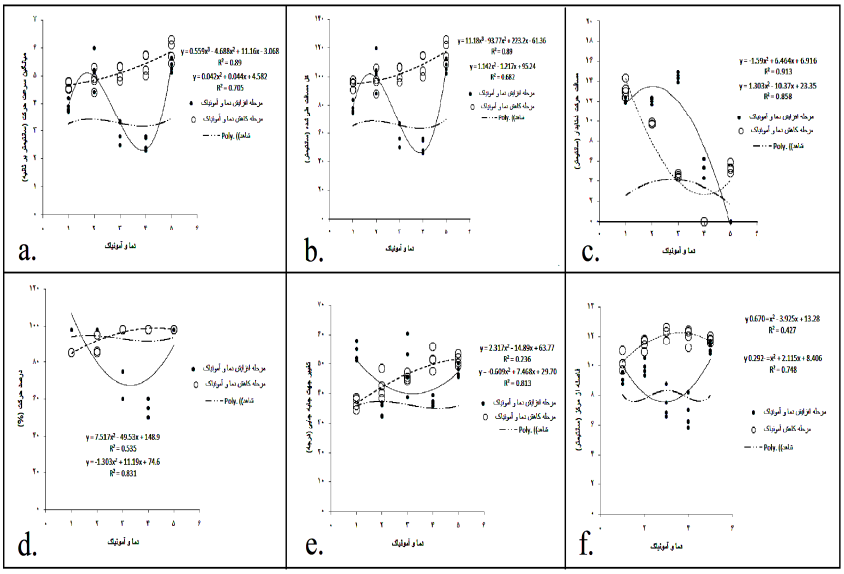
میزان میانگین تغییر جهت جابه‌جایی در هر دو بازه رفت (۴۵/۵۶ درجه) و بازه برگشت (۴۵/۷۶ درجه) بیشتر از میزان آن در شاهد (۳۵/۸۶ درجه) بود. اما مقایسه بین میانگین تغییر جهت جابه‌جایی در بازه رفت با بازه انتهایی تفاوت معناداری را نشان نداد ($p>0/05$). بین میزان حرکت شتابدار در بازه رفت (۸/۸۲ cm) در مقایسه با بازه برگشت (۶/۶۲ cm) تفاوت معناداری وجود نداشت ($p>0/05$).

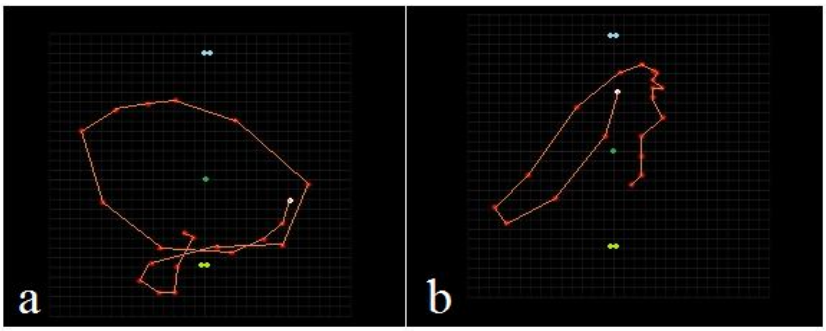
[Downloaded from jair.gonbad.ac.ir on 2026-11-13]

میانگین سرعت شنا و کل مسافت طی‌شده در بازه رفت، در ابتدا کمی افزایش یافت و در ادامه افت کرده و در نزدیک انتهای بازه رفت، افزایش یکباره یافت. کل مسافت طی شده در بازه برگشت به تأثیر از کاهش سرعت شنا با شیب ملایمی کاهش یافت. نمودار کل مسافت طی شده در بازه بازگشت برخلاف بازه رفت یک نمودار چند جمله‌ای درجه دو با یک شیب کاهشی است. میزان حرکت شتابدار در ابتدای بازه رفت کمی افزایش یافته ولی در ادامه با افت شدید مواجه بود. در بازه بازگشت برخلاف بازه رفت میزان حرکت شتابدار در ابتدا کمی کاهش یافت، ولی در ادامه مسیر با شیب زیادی افزایش پیدا نمود. درصد حرکت در بازه رفت دارای یک روند کاهشی است؛ اما در میانه مسیر تا انتهای بازه رفت روند افزایشی به‌خود می‌گیرد؛ الگوی نمودار درصد حرکت تیمار در بازه بازگشت با بازه رفت متفاوت است. میزان درصد حرکت تا نیمه‌های بازه برگشت تقریباً روند ثابتی دارد؛ ولی در انتهای مسیر کاهش می‌یابد. میانگین تغییر جهت جابه‌جایی نیز مشابه درصد حرکت تا میانه بازه رفت با کاهش همراه است اما از آنجا تا به انتها یک‌روند افزایشی را طی می‌کند. همچنین نمودار میانگین تغییر جهت جابه‌جایی تیمار در بازه بازگشت هم مشابه بازه رفت، با نمودار درصد حرکت در بازه بازگشت مشابهت‌هایی دارد. شیب نمودار تغییر جهت جابه‌جایی تا نزدیک انتهای مسیر تقریباً ثابت است و در انتها کاهش می‌یابد. ماهی در تیمار دما و آمونیاک در ابتدای بازه ابتدایی به مرکز مخزن متمایل می‌شوند ولی در انتها این بازه از آن فاصله می‌گیرند؛ ماهیان در بازه بازگشت برخلاف بازه رفت، از ابتدای بازه بازگشت از مرکز مخزن دور می‌شوند و متمایل به کناره‌های مخزن و نزدیک ورودی آب شنا می‌کنند؛ از میانه‌ی بازه بازگشت، ماهیان به سمت مرکز ظرف متمایل می‌شوند.

باتوجه الگوهای ایجاد شده در مرحله رفت و مقایسه آن با مرحله بازگشت این واقعیت مشخص می‌شود هرچند بین میانگین تغییر جهت جابه جایی در بازه ابتدایی نسبت به بازه انتهایی در یک برآیند کلی تفاوتی وجود نداشت، ولی ماهیان در بازه رفت بیشتر در نزدیکی خروجی آب شنا می‌کردند؛ درحالی‌که در بازه بازگشت کاملاً متفاوت بود و ماهیان بیشتر به سمت ورودی آب تمایل داشتند (شکل ۵).

[Downloaded from jair.gonbad.ac.ir on 2026-11-13]





شکل ۵- نمونه‌ای از الگوی شنای بچه‌ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان (*O. mykiss*) در مراحل مختلف آزمایش (دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد و غلظت ۵/۲۳ میلی‌گرم در لیتر آمونیاک). a. مسیر حرکت ماهی در بازه رفت را نشان می‌دهد که ماهیان بیشتر به خروجی آب متمایل هستند، b. مسیر حرکت ماهی در بازه بازگشت را نشان می‌دهد که ماهیان بیشتر به ورودی آب تمایل دارند.

بحث و نتیجه‌گیری

مطالعات گذشته نشان‌دهنده این واقعیت است که دستکاری و تغییرات فیزیولوژیکی می‌تواند ماهی را وادار به تغییر رفتار نماید (Israeli and Kimmel, 1996). کیفیت آب مجموعه‌ای از شاخصه‌های شیمیایی، فیزیکی و بیولوژیکی است که رشد و شرایط زیستی ماهیان پرورشی را تحت تأثیر قرار

[Downloaded from jair.gonbad.ac.ir on 2026-11-13]

می‌دهد. موفقیت یک فعالیت تجاری آبزی‌پروری نیازمند شرایط پرورشی مطلوب برای داشتن بالاترین شتاب رشد و در مقابل کمترین میزان بهره‌برداری از منابع است. به‌همین دلیل کیفیت آب عنصر بسیار مهمی است که بر سرعت رشد، سلامتی ماهیان و میزان بهره‌وری تأثیر مستقیم دارد (Timmons *et al.*, 2002).

در این مطالعه، اثر دما و آمونیاک بر الگوهای شنا شامل میانگین سرعت شنا، کل مسافت طی شده، میزان حرکت شتابدار (حرکت جهشی)، درصد حرکت، میزان میانگین تغییر جهت جابه‌جایی و میانگین فاصله از مرکز بود. نتایج نشان داد که تغییرات دما و آمونیاک بر الگوهای شنا تأثیر دارد. بین الگوهای شنا در مرحله افزایش متغیرها (دما و آمونیاک) نسبت به مرحله کاهش آنها در تیمار، اختلاف معنی‌داری وجود داشت. همچنین نتایج مطالعه حاضر نشان داد الگوی رفتاری ماهیان در برابر تغییرات محیطی، دارای الگوهای مشخصی است.

محمدی و همکاران (Mohamadi *et al.*, 2014)، در مطالعه پاسخ‌های رفتاری ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان (*O. mykiss*) در مواجهه با غلظت مختلف آمونیاک محلول دریافتند ماهیانی که در معرض مقادیر فزاینده آمونیاک قرار داشتند در مقایسه با شاهد دارای میانگین سرعت شنا، کل مسافت طی شده، میانگین تغییر جهت جابه‌جایی و میانگین فاصله از مرکز بالاتری بودند. نتایج مطالعات آنان در این موارد مشابه مطالعه حاضر بود. همچنین آنان اعلام داشتند میانگین سرعت شنا و کل مسافت طی شده تیمار آمونیاک در مواجهه با میزان کاهنده آمونیاک (مرحله پایانی آزمایش) به‌شدت افت می‌کند و ماهیان بیشتر مواقع بی‌حرکت در کناره‌های محیط آزمایش متوقف می‌مانند؛ این بخش از نتایج حاصل از مطالعه آنان متفاوت از نتایج مطالعه حاضر بود. در انتها محمدی و همکاران (Mohamadi *et al.*, 2014) مجموعه‌ای از علائم بالینی مانند استرس، تیرگی رنگ، افزایش ضربان سرپوش آبششی و افزایش ترشح موکوس را در ماهیانی که در معرض غلظت بالای آمونیاک قرار داشتند گزارش کردند، که این مشاهدات با یافته‌های مطالعه حاضر مطابقت داشت.

ترستون و همکاران (Thurston *et al.*, 1981) بیان کردند، مسمومیت با آمونیاک دارای نشانه‌های مختلفی مانند استرس، افزایش تنفس و ضربان نامنظم سرپوش آبششی، شنای نزدیک به سطح، افزایش موکوس و رنگ‌پریدگی پوست، شنای شدید و از دست دادن تعادل است که این امر مطابق با تحقیقات حاضر بود. ماهیانی که در معرض میزان بالای دما و غلظت آمونیاک محلول قرار داشتند، مجموعه‌ای از علایم بالینی مانند بیرون پریدن از آب و افزایش ضربان سرپوش آبششی را نشان دادند.

ایسرائیلی و کیمل (Israeli and Kimmel, 1996) تغییرات رفتاری ماهی قرمز (*Carassius auratus*) را در مواجهه با شرایط کمبود اکسیژن، بوسیله سیستم نظارتی مبتنی بر کامپیوتر مورد بررسی قرار دادند. نتایج مطالعات آنان نشان داد میانگین سرعت شنای ماهیان در مواجهه با کمبود

[Downloaded from jair.gonbad.ac.ir on 2026-11-13]

اکسیژن کاهش یافت. همچنین میانگین فاصله از مرکز در تیمارها با تداوم شرایط کمبود اکسیژن افزایش یافت. بررسی مطالعات این محققین و مطالعه حاضر نتیجه‌گیری می‌شود ماهیان در مواجهه با تنش‌های محیطی میل به گریز از محیط دارند و بی‌درنگ، میل به خروج از محیط‌های دارای تنش را از خود نشان می‌دهند. استنباط این موضوع از طریق مطالعه داده‌های جمع‌آوری شده در زمینه شاخصه فاصله از مرکز قابل دریافت است.

برور و همکاران (Brewer *et al.*, 2001) اختلالات رفتاری و فیزیولوژی ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان را در مواجهه با مواد شیمیایی مهارکننده کولین استراز (Cholinesterase-inhibiting) را مورد مطالعه قرار دادند. این مهارکننده‌ها همچون آمونیاک بر فعالیت عصبی آبزیان تأثیر می‌گذارند. نتایج حاصله از مطالعات آنان نشان داد سرعت و مسافت طی‌شده توسط ماهیان در یک مسیر خطی در تیمارها نسبت به گروه شاهد کاهش شدیدی داشته‌اند.

کین و همکاران (Kane *et al.*, 2004) سیستم تحلیل الگوهای حرکتی، مبتنی بر تصاویر ویدئویی را برای بررسی و الگوهای شنا و پاسخ‌های رفتاری ماهیان در مواجهه با تنش‌های محیطی را طراحی کردند. نتایج حاصل از مطالعه آنها نشان داد میان گروه شاهد و تیمار از نظر سرعت شنا، پیچیدگی مسیر، تغییر جهت و کل مسافت طی شده توسط ماهی کیلی (*Fundulus heteroclitus*) در مواجهه با مقادیر مختلف سم MS222 تفاوت معناداری وجود دارد که با نتایج به‌دست آمده از مطالعه حاضر مطابقت داشت.

کازنووا و همکاران (Cazenave *et al.*, 2008) تغییرات الگوی شنا و فعالیت ترانسفراز گلوتاتیون-اس (glutathione *S*-transferase) در ماهیان *Jenynsia multidentata* که با میکروسیستین (microcystin-RR) مواجه شده بودند را مورد بررسی قرار دادند. نتایج حاصل از آزمایش بیانگر افزایش سرعت شنای ماهی‌ها در مواجهه با میکروسیستین است که این افزایش سرعت شنا در مقادیر بالاتر این ماده سمی همچنان افزایش می‌یابد. نتایج حاصل از تیمار دما و آمونیاک با مطالعه کازنووا و همکاران (Cazenave *et al.*, 2008) مطابقت نداشت، هرچند هر دو باعث تغییر الگوی شنا تیمار شده بودند.

هوانگ و همکاران (Huang *et al.*, 2014) تأثیر غلظت‌های مختلف دلتامترین (Deltamethrin) را بر ماهی گورخری (*Danio rerio*) مطالعه کردند. نتایج حاصل از آزمایش آنها نشان داد که آلودگی بر روی الگوهای شنا تأثیر دارد که نتایج حاصل از آزمایش آنها با مطالعه حاضر مطابقت دارد. الگوهای شنا در تیمار دما و آمونیاک در مقایسه با گروه شاهد در بازه‌های زمانی مشابه در یک نگاه کلی تفاوت معناداری داشت.

ماهیان در برابر انواع تنش‌های محیطی پاسخ‌های رفتاری یکسانی بروز نمی‌دهند. هرچند برخی از این پاسخ‌های رفتاری مانند شاخص میانگین فاصله از مرکز و تغییر جهت جابه‌جایی در بیشتر مواقع

[Downloaded from jair.gonbad.ac.ir on 2026-11-13]

قابل رویت است، ولیکن در بسیاری موارد همچون میانگین سرعت شنا، میـزان حرکـت شـتابدار و کـل مسافت طی شده بسته به نوع عامل محرک شاهد رفتارهای متفاوتی هستیم. درک و دریافت کامل این قبیل پاسخ‌های رفتاری که ما را در تشخیص و مدیریت عوامـل تـنش‌زا در محـیط رهنمـود مـی‌سـازد، نیازمند تحقیقات بیشتر و جامع‌تری است.

تشکر و قدردانی

مطالعه حاضر با تکیه بر محیط آموزشی و امکانات پژوهشی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان صورت گرفت. از کمک و همکاری مهنـدس جـافر و مهنـدس نعیمـی مسـئولین محتـرم سـالن آبزی‌پروری و آزمایشگاه دانشکده شیلات و محـیط زیسـت دانشـگاه علـوم کشـاورزی و منـابع طبیعـی گرگان تشکر می‌گردد. از جناب آقای مهندس فروهر و جناب آقای اسلامی کمـال تشـکر و قـدردانی را دارد.

منابع

Bennison S. 2004. Welfare Underwater: issues with aquatic animals. Australia Scientific Seminar held at the Telstra Theatre, Australian War Memorial. Published by RSPCA, Canberra, Australia. 38 P.

Brewer S.K., Little E.E., Delonay A.J., Beauvais S.L., Jones S.B., Ellersieck M.R. 2001. Behavioral dysfunctions correlate to altered physiology in rainbow (*Oncorhynchus mykiss*) exposed to cholinesterase-inhibiting chemicals. Archives of Environmental Contamination and Toxicology, 40: 70-76.

Broderius S.J., Drummond R.A., Fiandt J.T., Russom C.L. 1985. Toxicity of ammonia to smallmouth bass, *Micropterus dolomieui*, as related to pH. Environmental Toxicology and Chemistry, 9(4): 228-234.

Buentello J.A., Gatlin D.M., Neill W.H. 2000. Effects of water temperature and dissolved oxygen on daily feed consumption, feed utilization and growth of channel catfish (*Ictalurus punctatus)*. Aquaculture, 182: 339-352.

Cazenave J., Nores M.L., Miceli M., Diaz M.P., Wunderlin D.A., Bistoni M.A. 2008. Changes in the swimming activity and the glutathione S-transferase activity of *Jenynsiamultidentata* fed with microcystin-RR. Water Research, 42: 1299-1307.

Conte F.S. 2004. Tress and the welfare of cultured fish. Applied Animal Behaviour Science, 86: 205-223.

Finstad B., Staurnes M., Reite O.B. 1988. Effect of low temperature on sea-water tolerance in rainbow trout. *Salmon gairdneri*. Aquaculture, 72: 319-328.

[Downloaded from jair.gonbad.ac.ir on 2026-11-13]

Holocomb M., Cloud J.G., Woosley J., Ingermann R.L. 2004. Oxygen consumption in unfertilized salmonid eggs: an indicator of egg quality? Comparative Biochemistry & Physiology, 138: 349-354.

Huang Y., Zhang J., Han X., Huang T. 2014. The use of Zebra fish (*Danio rerio)* behavioral responses in indentifying sub lethal exposure to Deltamethrin. International Journal of Environment Research, 11: 3650-3660.

Imanpour M., Zadmajid V. 2009. Introduction to Fish Breeding. Gorgan University of Agriculture Sciences and Nature Recourse, Gorgan, Iran. 166 P. (In Persian).

Israeli D., Kimmel E. 1996. Monitoring the behavior of hypoxia-stressed *Carassius auratus* using computer vision. Aquaculture, 15(6): 423-440.

Johnston T.A., Leggett W.C. 2002. Maternal and environmental gradient in the egg size of an iteroparous fish. Ecology, 83: 1777-1791.

Kane A.S., Salierno J.D., Gipson G.T., Molteno T.C.A., Hunter C. 2004. A video-based movement analysis system to quantify behavioral stress responses of fish. Water Research, 38: 3993-4001.

Little E.E., Finger S.E. 1990. Swimming behavior as an indicator of sub lethal toxicity in fish. Environmental Toxicology and Chemistry, 9: 13-19.

Matschak T.W., Hhopcroft T., Smason P., Crook A.R., Stickland N.C. 1998. Temperature and Oxygen tension influence the development of muscle cellularity in embryonic rainbow trout. Journal of Fish Biology, 53(3): 581-590.

Medinor 1995. List of maximum allowable concentrations and relatively safe of exposure to hazardous substances in water of fish ponds. Russian Fish-Breeding Committee. Moscow, Russia. 25 P.

Miller M.A. 1993. Maternal transfer of organochlorine compounds in salmonines to their eggs. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 50: 1405-1413.

Mohamadi A., Hajimoradloo A.M., Ghorbani R., Jafari V.A. 2014. Assessment of behavioral responses of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) in the face of various concentrations of ammonia solution (NH_3). Journal of Fisheries - Islamic Azad University of Azadshahr, 10(2): 75-90. (In Persian).

Moradi S.E., Kazeminiya S., Shabani A., Mansuori P. 2013. The investigation of genetic 11 diversity in Iranian native hens using RAPD markers. Journal of Utilization and Cultivation of Aquatics, 2 (2): 107-119. (In Persian).

Munro A.L.S., Waddell I.F. 1987. Growth of salmon and trout farming in Scotland. In: Bailey RS, Parish BB (Eds.). Developments in fisheries research in Scotland. Fishing News Books Ltd., Farnham, UK, pp: 246-263.

Ojanguren A.F., Reyes-Gavilan F.G., Munoz R.R. 1999. Effects of temperature on growth and efficiency of yolk utilization in eggs and pre-feeding larval stages of Atlantic salmon. Aquaculture International, 7: 81-87.

Ortega V.A., Renner K.J., Bernier N.J. 2005. Appetite-suppressing effect of ammonia exposure in rainbow trout associated with regional and temporal

[Downloaded from jair.gonbad.ac.ir on 2026-11-13]

activation of brain monoaminergic and CRF system. The Journal of Experimental Biology, 208: 1855-1866.

Osofero S., Otubusin S., Daramola J. 2007. Effect of stocking density on Tilapia (*Oreochromis niloticus*) growth and survival in bamboo-net cages trial. Journal of Fisheries International, 2: 182-185.

Randall D.J., Tsui T.K. 2002. Ammonia toxicity in fish. Marine Pollution Bulletin, 45: 17-23.

Schmidt-Nielsen K. 1991. Animal Physiology; Adaptation and Environment. Fourth Edition. Cambridge: Cambridge University Press, USA. 602 P.

Soutar R. 2004. The welfare of farmed fish-recent developments. Applied Animal Behavior Science, 86: 225-250

Svobodova Z., Richard L., Jana M., Blanka V. 1993. Water Quality and Fish Health. EIFAC Technical Paper. FAO. Rome, Italy. 59 P.

Thurston R.V., Phillips G.R., Russo R.C. 1981. Increased toxicity of ammonia to rainbow trout (*Salmo gairdneri*) resulting from reduced concentrations of dissolved oxygen. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 38: 983-988.

Timmons M.B., James M.E., Fred W.W., Sreven T.S., Brain J.V. 2002. Reticulating Aquaculture Systems. NRAC publication. No. 01-002. University of Maryland, Maryland, USA.

[Downloaded from jair.gonbad.ac.ir on 2026-11-13]