پاسخ اپتوموتوری در ماهی گوپی (*Poecilia reticulate*)

• **هاله رحمانی**: گروه زیست‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه گیلان، رشت

تاریخ دریافت: اردیبهشت ۱۳۹۵ تاریخ پذیرش: مرداد ۱۳۹۵

چکیده

پاسخ اپتوموتوری رفتار حرکتی یک جانور است که با جابجایی نمونه‌های تحریکی قابل تکرار القاء می‌شود. این آزمایش اطلاعات معتبری درباره عملکرد بینایی فراهم می‌کند و در ضمن یک آزمایش ساده، ارزان و سریع می‌باشد. هدف از مطالعه حاضر، بررسی پاسخ اپتوموتوری در ارزیابی رفتار بینایی (*Poecilia reticulate*) Guppy بود. در این پژوهش از دستگاهی دست‌ساز استفاده شد. دستگاه از دو استوانه شیشه‌ای که یکی در داخل دیگری قرار دارد تشکیل شده است. دور تا دور استوانه بزرگ‌تر دیواره شفافی از جنس سلوفان با نقوش قابل تعویض قرار داشت که در ارزیابی بینایی استفاده گردید. دیواره شفاف توسط یک‌دستگاه الکترو موتور با سرعت‌های مختلف گردش می‌کرد، به‌طوری‌که خطوط موجود را در خلاف جهت حرکت عقربه‌های ساعت به حرکت در می‌آورد. آزمایش با نوارهایی مختلف (۰، ۱، ۲، ۷/۵ و ۱۰ سانتی‌متری) سیاه و سفید و هم‌چنین با پهنای ۲ سانتی‌متری با نوارهایی به رنگ قرمز-خاکستری، سبز- خاکستری، قرمز- سبز، نارنجی- قرمز و نارنجی - زرد در در سرعت‌های مختلف ۲، ٤، ۷، ۱۰ و ۱۵ دور در دقیقه انجام گرفت. نتایج مربوط به پهنای مختلف سیاه و سفید نشان داد که بهترین سرعت ۱۵دوردردقیقه بوده و بهترین قابلیت دید ماهی‌ها در پهنای ۰/۵ سانتی‌متری ارزیابی گردید. پاسخ اپتوموتوری در ماهیان در آزمایش دیدرنگی، در سرعت ۱۰ دور در دقیقه به‌طور معنی‌داری بیش‌ترین مقدار و هم‌چنین بیش‌ترین پاسخ را در نوار نارنجی- زرد نشان داد. نتایج حاصل از ANOVA دو طرفه، اختلاف معنی‌داری را در پهناهای سیاه و سفید و نوارهای رنگی با سرعت‌های مختلف نشان داد ($p<0/05$). هم‌چنین اثر متقابل معنی‌داری بین فاکتورهای سرعت و پهناها و نوارهای رنگی مشاهده شد ($p<0/05$).

کلمات کلیدی: اپتوموتور، دید، سرعت، پهنای مختلف سیاه و سفید و رنگی

* پست الکترونیکی نویسنده مسئول: haleh_rah@yahoo.com

مقدمه

پاسخ اپتوموتوری یک الگوی آزمایشی ساده‌ای است که به‌طور گسترده در مطالعه عملکرد سیستم بینایی استفاده می‌شود (Maaswinkel و Li، ۲۰۰۳). این پاسخ شامل یک‌پارچه‌سازی اطلاعات به‌وسیله سیستم عصبی مرکزی، هماهنگ کردن فعالیت حرکتی و توان شنا کردن می‌باشد (Heath، ۱۹۹۵). هم‌چنین یک گرایش خود به‌خودی در بسیاری از جانوران است که برای دید حرکت می‌تواند استفاده شود و توانایی بینایی در تشخیص حرکت برای شناسایی اشیاء می‌باشد (Mora-Ferrer و Neumeyer، ۲۰۰۹) و در واقع به حفظ وضعیت ثابت به محرک بصری در حال حرکت اطلاق می‌شود. ماهی این عمل را برای حفظ وضعیت طعمه و در ارتباط با جریان‌های شدید ساحلی به‌کار می‌برد (Heath، ۱۹۹۵). درک حرکت یکی از مهم‌ترین عناصر توانایی‌های بینایی می‌باشد (Mora-Ferrer و Neumeyer، ۲۰۰۹). مباحثی که با استفاده از اپتوموتور مورد مطالعه قرار گرفته است: عملکرد نواحی مختلف شبکیه چشم (Saidl و Fabiane، ۱۹۹۸)، مغز (Spinger و همکاران، ۱۹۷۷)، دیدرنگی و نقش انتقال‌دهنده‌های عصبی در تشخیص حرکت (Mora-Ferrer، ۲۰۰۲؛ Anstis و همکاران، ۱۹۹۸؛ Schaerer و Neumeyer، ۱۹۹۷)، گسترش درک بینایی (Clark، ۱۹۸۱)، اختلال بینایی (Redfern و همکاران، ۲۰۱۱) و آبزی پروری (Herbert و همکاران، ۲۰۱۱). الگوهای تحریکی می‌تواند از خطوط عمودی سیاه و سفید، کنترانست متفاوت خاکستری (Maaswinkel و Li، ۲۰۰۳) و رنگ‌های مختلف باشد (Schaere و Neumeyer، ۱۹۹۷). سیستم بینایی در ماهی مدت زیادی است که مورد توجه بیولوژیست‌ها و نوروفیزیولوژیست‌ها قرار گرفته است (Weadick و Chang، ۲۰۰۷). بینایی یک سیستم مهم حسی برای اکثر گونه‌های ماهی است و بیش‌تر گونه‌ها دارای دیدرنگی هستند. بعضی می‌توانند اشعه ماورای بنفش را ببینند و برخی دیگر حساس به نور پلاریزه می‌باشند (Campbell و Reece، ۲۰۰۵؛ Van der Salm و همکاران، ۲۰۰۴).

از ماهیان استخوانی کوچک به‌ویژه گوپی، زبرا (گورخری) و گلدفیش که عموماً به‌عنوان مدلی مناسب برای مطالعه فیزیولوژی بینایی هستند (با توجه به شباهت شبکیه چشم آن‌ها به دیگر مهرداران) استفاده می‌شود (Cameron و همکاران، ۲۰۱۳؛ Mueller و Neuhauss، ۲۰۱۰؛ Mora-Ferrer و Neumeyer، ۲۰۰۹).

ماهی گوپی (*Poecilia reticulata*) ماهی کوچک آب شیرین و از گونه‌های متعلق به مناطق گرمسیری از خانواده Poecilidae می‌باشد، که به‌صورت فراوانی در تحقیقات آزمایشگاهی استفاده می‌گردد و عموماً در آب‌های کم عمق شفاف زندگی می‌کند (Zion و همکاران، ۲۰۰۸؛ Smith و همکاران، ۲۰۰۱). گوپی‌ها به‌عنوان یک مدل در زمینه‌های بیولوژیک، اکولوژی، تکامل، رفتار و انتخاب جفت مورد مطالعه قرار می‌گیرند (Magurran، ۲۰۰۵؛ Endler و همکاران، ۲۰۰۱). این ماهیان دارای دید عالی هستند و شبکیه چشم آن‌ها حاوی مخروطی‌هایی با پیک جذب (UV or UVS)، (SWS or "blue")، (MWS or "green")، (LWS or "red") می‌باشد (Endler و همکاران، ۲۰۰۱). آزمایش پاسخ اپتوموتوری، رفتاری است که بعضی از ماهیان مانند زبرا و گوپی قادر به انجام آن هستند (Krauss و Neumeyer، ۲۰۰۳). در این پاسخ ماهی، نحوه شنا کردن خود را به شکلی تنظیم می‌کند که آب موجود در اطرافش حرکت چندانی نداشته باشد و به سمت جلو حرکت کند. شنا کردن به سمت جلو هر گونه حرکات و لرزش‌های آب در اطراف ماهی را از بین می‌برد (Miller و Gerlari، ۲۰۰۷).

هدف از این تحقیق، بررسی پاسخ اپتوموتوری در ارزیابی رفتار بینایی ماهی guppy (*Poecilia reticulate*) در آزمایش با پهناهای مختلف سیاه و سفید و رنگی به‌منظور بررسی تغییرات رفتاری بود.

مواد و روش‌ها

در این تحقیق از ماهیguppy (*Poecilia reticulate*) و از هر دو جنس نر و ماده استفاده شد. تیمارها ابتدا در جهت سازش با محیط و کاهش استرس وارده، به‌مدت ۴۸ ساعت در آکواریومی با حجم ۱۰۰ لیتر، مجهز به هواده در دمای ۲۰-۱۸ درجه سانتی‌گراد و سپس جداگانه در بشرهای ۸۰۰ میلی‌لیتری و به جهت کنترل میزان نور در زیر پوشش تیره رنگ قرار گرفتند. هوادهی به‌طور دائم انجام گرفت. دوره‌نوری ۱۲ ساعت روشنایی و ۱۲ ساعت تاریکی به‌میزان ۶۲ لوکس نوری با لامپ فلورسنت برای تمام ظرف‌ها اعمال شد. میزان pH آب در محدوده ۸-۷/۶ و میزان اکسیژن ۱۰میلی‌گرم در لیتر در تمام طول آزمایش و تمام ظروف ثابت نگه داشته شد (در هر تیمار ۳۰ نمونه).

برای مطالعه و بررسی بینایی ماهی گوپی دستگاهی الگوبرداری، طراحی و آماده گردید (رحمانی و همکاران، ۱۳۹۳؛ Krauss و Neumeyer، ۲۰۰۳؛ Bilotta، ۲۰۰۰). دستگاه از دو استوانه شیشه‌ای که یکی در داخل دیگر قرار دارد تشکیل شده است. استوانه شیشه‌ای داخلی به ارتفاع ۵ سانتی‌متر و قطر ۳ سانتی‌متر، درصورتی‌که استوانه شیشه‌ای خارجی ارتفاعی برابر ۱۵ سانتی‌متر و قطر ۱۱ سانتی‌متر دارد. تیمار در فضای موجود بین دو استوانه امکان حرکت داشت. دور تا دور استوانه شیشه‌ای خارجی دیواره شفافی از جنس سلوفان (به قطر ۱۴ سانتیم‌تر) با نقوش قابل تعویض (خطوط عمودی سیاه و سفید و رنگی با پهنای متفاوت) که در ارزیابی بینایی استفاده می‌گردید درنظر گرفته شد. دیواره شفاف توسط یکدستگاه الکترو

موتور با سرعت‌های متغیر ۲، ۴، ۷، ۱۰ و ۱۵ دور در دقیقه (rpm) قابلیت گردش داشته، به‌طوری‌که خطوط موجود بر دیواره شفاف را در خلاف جهت حرکت عقربه‌های ساعت به حرکت در می‌آورد. ارزیابی به طریقی بود که ماهی در صورت مشاهده خطوط متحرک دیواره شفاف سلوفان، همراه (هم جهت) با محرک شنا نموده و در صورت عدم مشاهده خطوط متحرک از جهت حرکتی تبعیت نمی‌نمود.

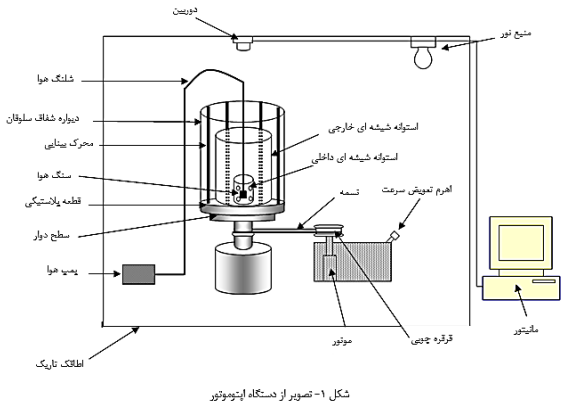
جهت جلوگیری از استرس و نظارت بدون مزاحمت بر رفتار بینایی ماهی گوپی، از یک دوربین مادون قرمز که دید در تاریکی را نیز فراهم می‌نمود یک دستگاه مانیتور استفاده گردید.

آزمایش با پهنای نوار ۰/۵، ۱، ۲، ۷ و ۱۰ سانتی‌متر سیاه و سفید و نوار ۲ سانتی‌متری رنگی با رنگ‌های قرمز-خاکستری، سبز- خاکستری، قرمز-سبز، قرمز- نارنجی، نارنجی-زرد صورت گرفت.

ابتدا ماهی‌ها(تک تک) به استوانه شیشه‌ای خارجی منتقل شدند و با سرعت‌های ۲، ۴، ۷، ۱۰ و ۱۵ دور در دقیقه مورد آزمایش قرار گرفتند. برای هر قطعه ماهی در طی ۱۵ دقیقه (متوالی) تعداد دورهایی که ماهی در خلاف جهت حرکت عقربه‌های ساعت و هم‌چنین در جهت حرکت عقربه‌های ساعت شنا می‌نمود شمرده می‌شد. تعداد چرخش ماهی در هر دو جهت پس از شمارش در فرمول بهره اپتوموتوری محاسبه می‌گردید. نتایج به‌دست آمده در این آزمایش به معنای بهره اپتوموتوری می‌باشد، یعنی در مجموع ۱۵ دقیقه ماهی چند دور در خلاف و یا موافق با جهت حرکت استوانه (محرک) حرکت می‌کند. اعداد مثبت نشان‌دهنده این است که ماهی هم جهت با حرکت استوانه شنا کرده است یعنی نوارها باعث جلب توجه ماهی گشته و بهتر توانسته سیستم بینایی آن را تحریک کند و هرچه اعداد مثبت بزرگ‌تر باشند یعنی ماهی دید بهتری دارد و اعداد منفی نشان دهنده این است که ماهی عکس حرکت گردش استوانه شنا نموده و به محرک پاسخ نداده یا پاسخ ضعیف بوده است پس از آزمایش، تعداد دورهای شمرده شده را در فرمول زیر جای‌گذاری و بهره اپتوموتوری به‌دست آمد (Krauss و Neumeyer، ۲۰۰۳):

$$\text{بهره اپتوموتوری} = \frac{\text{تعداد دورها در جهت عقربه های ساعت - تعداد دورها در خلاف جهت عقربه های ساعت}}{\text{سرعت}} \times \frac{۱}{۱۵}$$

داده های به‌دست آمده توسط آزمون آنالیز واریانس یک‌طرفه و دوطرفه و پس آزمون دانکن در سطح خطای ۵٪ و با استفاده از نرم-افزار SPSS۱۹ تحت Windows مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند.



شکل ۱- تصویر از دستگاه اپتوموتور

شکل ۱: تصویر از دستگاه اپتوموتور

نتایج

نتایج حاصل از بررسی پاسخ اپتوموتوری ماهیان به نوارهای سیاه و سفید در پهناها و سرعت‌های مختلف در جدول۱ آورده شده است.

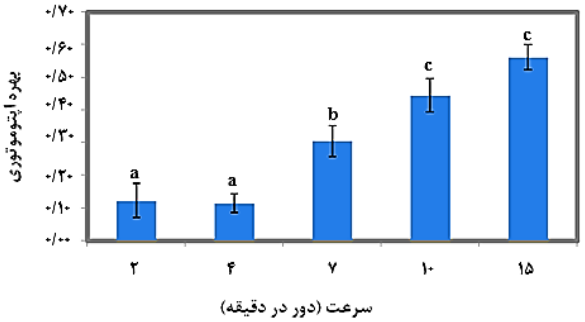
جدول ۱ : میانگین‌های اپتوموتوری در سرعت‌ها و پهناهای مختلف (خطای استاندارد±میانگین)

سرعت (دور در دقیقه) / پهنا (سانتی‌متر)	۲	۴	۷	۱۰	۱۵
۰/۵	۰/۳۳±۰/۲۴$^{a\ \alpha}$	۰/۳۳±۰/۰۸$^{a\ \alpha}$	۰/۴۱±۰/۱۲$^{a\ \alpha}$	۰/۵۹±۰/۱۰$^{a\ \alpha}$	۰/۶۴±۰/۱۱$^{a\ \alpha}$
۱	۰/۰۱±۰/۰۳$^{a\ \alpha}$	۰/۰۲±۰/۰۱$^{a\ \beta}$	۰/۱۵±۰/۱۰$^{ab\ \alpha}$	۰/۳۵±۰/۱۴$^{bc\ \alpha}$	۰/۵۹±۰/۰۷$^{c\ \alpha}$
۲	۰/۰۷±۰/۰۲$^{a\ \alpha}$	۰/۰۷±۰/۰۴$^{a\ \beta}$	۰/۳۸±۰/۱۰$^{b\ \alpha}$	۰/۴۷±۰/۱۲$^{bc\ \alpha}$	۰/۶۴±۰/۰۵$^{c\ \alpha}$
۷	۰/۰۳±۰/۰۱$^{a\ \alpha}$	۰/۰۵±۰/۰۳$^{a\ \beta}$	۰/۱۷±۰/۰۸$^{ab\ \alpha}$	۰/۳۵±۰/۱۰$^{b\ \alpha}$	۰/۶۰±۰/۰۷$^{c\ \alpha}$
۱۰	۰/۱۷±۰/۰۸$^{ab\ \alpha}$	۰/۱۰±۰/۰۶$^{a\ \beta}$	۰/۴۱±۰/۱۰$^{bc\ \alpha}$	۰/۴۷±۰/۱۱$^{c\ \alpha}$	۰/۳۳±۰/۰۷$^{abc\ \beta}$

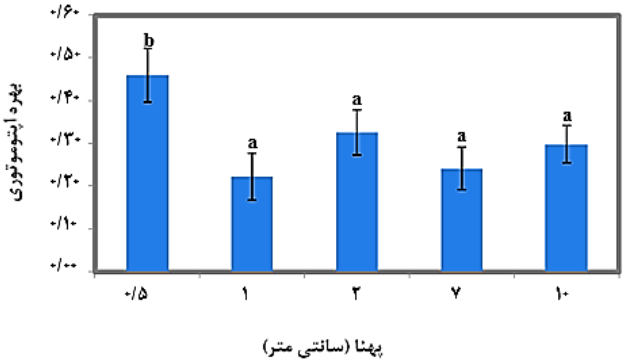
اختلاف معنی‌دار در هر ردیف با حروف انگلیسی متفاوت و در هر ستون با حروف یونانی مختلف نشان داده شده است.

نتایج حاصل از ANOVA دو طرفه اختلاف معنی‌داری را در پهناها و سرعت‌های مختلف نشان داد ($p<۰/۰۵$). هم‌چنین اثر متقابل معنی‌داری بین فاکتورهای سرعت و پهنا مشاهده شد ($p<۰/۰۵$). پاسخ اپتوموتوری در ماهیان در سرعت ۱۵ دور در دقیقه بیش‌ترین مقدار (۰/۵۶±۰/۰۴) ($p<۰/۰۵$) و در سرعت ۴ دور در دقیقه کم‌ترین مقدار (۰/۱۲±۰/۰۳) ($p<۰/۰۵$) را نشان داد. ولی بین سرعت‌های ۱۰ و ۱۵ دور در دقیقه و هم‌چنین سرعت‌های ۲ و ۴ دور در دقیقه اختلاف معنی‌داری وجود نداشت($p>۰/۰۵$)(شکل۲).ماهیان به‌طور معنی‌داری

بیش‌ترین پاسخ اپتوموتوری را در پهنای ۰/۵ سانتی‌متری (۰/۴۶±۰/۰۶) (p<۰/۰۵) از خود نشان دادند (شکل ۳). نتایج حاصل از بررسی پاسخ اپتوموتوری ماهیان به نوارهای رنگی و سرعت‌های مختلف در جدول ۲ آورده شده است.



شکل۲: ارزیابی کلی سرعت‌ها درکل پهناها



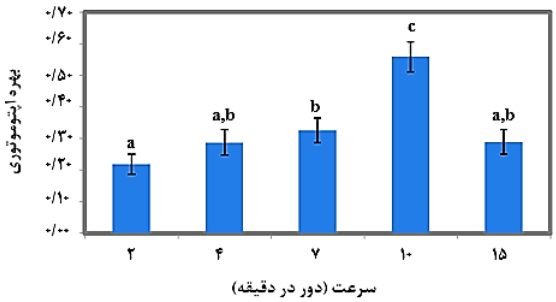
شکل۳: ارزیابی کلی پهناهای مختلف

جدول ۲ : میانگین‌های اپتوموتور در سرعت‌ها و رنگ‌ها (خطای استاندارد±میانگین)

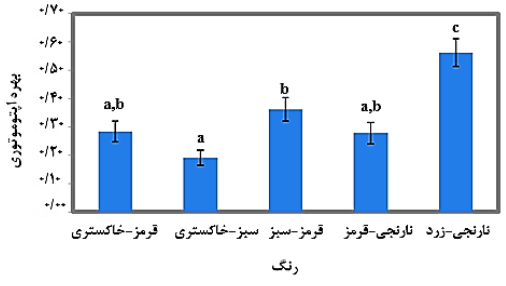
سرعت (دور در دقیقه) / رنگ	۲	۴	۷	۱۰	۱۵
قرمز- خاکستری	۰/۱۱±۰/۲۶$^{a\ \alpha}$	۰/۲۲±۰/۰۸$^{ab\ \alpha}$	۰/۲۱±۰/۰۵$^{ab\ \alpha}$	۰/۵۵±۰/۰۶$^{c\ \beta}$	۰/۳۳±۰/۰۵$^{b\ \beta}$
سبز- خاکستری	۰/۱۶±۰/۰۵$^{a\ \alpha}$	۰/۲۶±۰/۰۸$^{a\ \alpha}$	۰/۱۸±۰/۰۴$^{a\ \alpha}$	۰/۲۶±۰/۰۶$^{a\ \alpha}$	۰/۰۹±۰/۰۴$^{a\ \alpha}$
قرمز- سبز	۰/۲۷±۰/۰۸$^{a\ \alpha}$	۰/۲۳±۰/۱۰$^{a\ \alpha}$	۰/۴۲±۰/۰۶$^{ab\ \beta\alpha}$	۰/۶۰±۰/۰۸$^{b\ \beta}$	۰/۲۸±۰/۰۷$^{a\ \beta}$
نارنجی- قرمز	۰/۲۳±۰/۰۸$^{a\ \alpha}$	۰/۲۶±۰/۰۷$^{ab\ \alpha}$	۰/۲۸±۰/۰۸$^{ab\ \alpha}$	۰/۴۹±۰/۱۰$^{b\ \beta}$	۰/۱۳±۰/۰۵$^{a\ \alpha}$
نارنجی- زرد	۰/۳۲±۰/۰۹$^{a\ \alpha}$	۰/۴۷±۰/۱۱$^{ab\ \alpha}$	۰/۵۴±۰/۱۱$^{ab\ \beta}$	۰/۸۹±۰/۰۳$^{c\ \gamma}$	۰/۶۰±۰/۰۲$^{b\ \gamma}$

اختلاف معنی‌دار در هر ردیف با حروف انگلیسی متفاوت و در هر ستون با حروف یونانی مختلف نشان داده شده است.

نتایج حاصل از ANOVA دو طرفه اختلاف معنی‌داری را در نوارهای رنگی و سرعت‌های مختلف نشان داد (p<۰/۰۵). هم‌چنین اثر متقابل معنی‌داری بین فاکتورهای سرعت و نوارهای رنگی مشاهده گردید (p<۰/۰۵). پاسخ به اپتوموتوری در ماهیان در سرعت ۱۰ دور در دقیقه به‌طور معنی‌داری بیش‌ترین مقدار (۰/۵۶±۰/۰۵) (p<۰/۰۵) و در سرعت ۲ دور در دقیقه کم‌ترین مقدار (۰/۰۳ ±۰/۲۲) (p<۰/۰۵) را نشان داد. با افزایش سرعت تا ۱۰ دور در دقیقه میزان پاسخ اپتوموتوری افزایش یافت اما با افزایش بیش‌تر سرعت تا ۱۵ دور در دقیقه میزان آن (۰/۰۴±۰/۲۹) به‌طور معنی‌داری کاهش یافت (p<۰/۰۵) (شکل ۴). ماهیان به‌طور معنی‌داری بیش‌ترین پاسخ اپتوموتوری را در نوار نارنجی-زرد (۰/۰۵±۰/۵۶) (p<۰/۰۵) و کم‌ترین مقدار را در نوار سبز-خاکستری (۰/۰۳±۰/۱۹) (p<۰/۰۵) نشان دادند (شکل ۵).



شکل۴: ارزیابی کلی سرعت‌ها درکل پهناها



شکل۵: عملکرد کلی ماهیان در نوارهای رنگی

بحث

مطالعات فراوانی روی پاسخ اپتوموتوری از گذشته تاکنون صورت گرفته است. ارزیابی بینایی در مهره‌دارانی مثل ماهی به‌وسیله یک رفتار غریزی به‌نام پاسخ اپتوموتوری مورد بررسی قرار می‌گیرد. از این روش می‌توان برای هرگونه ماهی با اندازه مشابه به کار برد (Kroger و همکاران، ۲۰۰۳). در ضمن توسط پاسخ اپتوموتوری سرعت و رفتار ماهی کنترل می‌شود (Herbert و Wells، ۲۰۰۲). اپتوموتور در واقع یک محرک هماهنگ و هم‌زمان برای حرکت می‌باشد که مشخصه‌ای برای رفتار است (Imada و همکاران، ۲۰۱۰). هم‌چنین این آزمایش اطلاعات قابل اطمینان و معتبری درباره عملکرد بینایی فراهم می‌کند و در ضمن یک آزمایش ساده، ارزان و سریع می‌باشد (Meziane و همکاران، ۲۰۰۵). گزارش دیگر از این الگوی رفتاری، نقش رنگ را در تشخیص حرکت بیان می‌کند (Kelber و Osorio، ۲۰۱۰؛ Krauss و Neumeyer، ۲۰۰۳). آزمایش اپتوموتوری در بررسی نقص و عیوب بینایی ماهیان استفاده می‌شود (Darland و Dowling، ۲۰۰۱). کلمه پاسخ معانی بسیار متفاوت در فیزیولوژی و زیست‌شناسی تکاملی دارد. در اینجا به معنی واکنش است (Endler و همکاران، ۲۰۰۱).

نتایج در این آزمایش براساس یک‌سری عوامل ذیل به‌دست آمده است (Krauss وNeumeyer، ۲۰۰۳؛ رحمانی و همکاران، ۱۳۹۳):

۱- اندازه پهنای نوار

۲- سرعت حرکت نوار بر روی استوانه

۳- زمان (مدت زمانی است که ماهی قابلیت دنبال کردن محرک را دارد (زمان ۱۵ دقیقه)).

در آزمایش با نوارهایی با پهناهای مختلف سیاه و سفید، ماهی‌ها، نوارهای در حال حرکت با سرعت‌های ۱۰ و ۱۵ دور در دقیقه بهتر دنبال کردند. در سرعت‌های کم (سرعت‌های ۲ و ۴ دور در دقیقه) ماهی‌ها پاسخ‌های مناسبی نشان ندادند. چون حرکت آهسته محرک پاسخ مناسبی در آن‌ها ایجاد نکرد. گزارش مشابه Krauss و Neumeyer (۲۰۰۳) و رحمانی و همکاران (۱۳۹۳) در مورد ماهی گورخری نشان می‌دهد که بهترین عملکرد در این ماهی در سرعت ۱۰ دور در دقیقه و ضعیف‌ترین آن در سرعت ۲ دور در دقیقه بوده است. نتایج از پهناهای مختلف نیز نشان داد که تحریکاتی که در اثر چرخش (دور در دقیقه) خطوط موازی سیاه و سفید با پهنای ۰/۵ سانتی‌متری بر سیستم بینایی ماهی گوپی ایجاد شد، مناسب‌ترین پاسخ تحریکی بود. در پایان آزمایش، از یک صفحه سفید (فاقد خطوط سیاه) با سرعت ۱۰ دور در دقیقه استفاده شد. پاسخ تمام تیمارها نسبت به آزمایش صفر بود. بنابراین نتیجه حاصل از این آزمایش با آن‌چه که Bilotta (۲۰۰۰) و رحمانی (۱۳۹۳) گزارش نموده‌اند مشابه می‌باشد. این نتیجه نشان داد که حرکت سطح دوار بر حرکت و رفتار ماهی تاثیری ندارد.

اساس پاسخ‌های ماهی گوپی می‌تواند بستگی به توانایی یا درک بینایی گیرنده پیام (Cheney و همکاران، ۲۰۱۳؛ Meunier و همکاران، ۲۰۰۹؛ Weadick و Chang، ۲۰۰۷؛ Schaere و Neumeyer ، ۱۹۹۷)، نیازهای فیزیولوژیکی (Hutado-Gonzales و همکاران، ۲۰۱۴؛ Cheney و همکاران، ۲۰۱۳؛ Kelley و همکاران، ۲۰۱۲؛ Faisal و همکاران، ۲۰۰۸؛ Protasove، ۱۹۷۹) محیط یا بستر (که در آن پیام دریافت شده) (Cheney و همکاران، ۲۰۱۳)، نور محیط (شدت روشنایی) (Hutado-Gonzales و همکاران، ۲۰۱۴؛ Herbert و همکاران، ۲۰۱۱؛ Clement و همکاران، ۲۰۰۵؛ Maaswinkel و Li، ۲۰۰۳؛ Endler و همکاران، ۲۰۰۱)، ماهیت گونه (Weadick و Chang، ۲۰۰۷)، تغییرات ژنتیکی (Endler و همکاران، ۲۰۰۱)، خواص فیزیکی زیستگاه و پارامترهای حسی دریافتی (Hutado-Gonzales و همکاران، ۲۰۱۴)، اندازه، رنگ و سن ماهی (Clement و همکاران، ۲۰۰۵؛ Herbert و Wells، ۲۰۰۲)، خصوصیات اکولوژیکی (Maaswinkel و Li، ۲۰۰۳)، روان‌شناختی (Cheney و همکاران، ۲۰۱۳) و مراحل پردازش اطلاعات در سیستم عصبی و سیستم حرکتی (Faisal و همکاران، ۲۰۰۸) داشته باشد. هم‌چنین عوامل دیگری مثل سطح نور، زمانی از روز وقتی که آزمایش انجام می‌شد، سرعت شنا ماهی، روش آزمایش، کیفیت آب، صداهای پیوسته، وارد آمدن ناخواسته استرس به ماهی و توانایی فیزیکی ماهی می‌توانند دخیل باشند (Krauss و Neumeyer، ۲۰۰۳؛ Kim و Wardle، ۲۰۰۳؛ Maaswinkel و Li، ۲۰۰۳؛ Bilotta، ۲۰۰۰).

دیدرنگی: رنگ‌ها به‌عنوان یک عامل مهم در زندگی همه موجودات زنده نقش عمده ای را ایفا می‌کنند. جانوران برای انواع مقاصد ارتباطی از جمله برای جذب جفت، تشخیص افراد، دفاع از قلمرو و هشدار برای شکارچی از رنگ استفاده می‌کنند (Cheney و همکاران، ۲۰۱۳). دیدرنگی توانایی موجود برای تمایز و تشخیص نور در سیستم بینایی است. برای این تعریف حداقل دو شرایط لازم می‌باشد: استفاده هم‌زمان از حداقل دو نوع گیرنده و مسیر عصبی مناسب برای درک طیف نوری (Kelber و Osorio، ۲۰۱۰؛ Parry و همکاران، ۲۰۰۵).

مقایسه سیستم دیدرنگی در گونه‌های متفاوت مهره‌داران بر اساس اطلاعات رفتاری نشان می‌دهد، دیدرنگی تری‌کروماتیک یا تتراکروماتیک توسعه یافته‌ای باید در مهره‌داران قدیمی‌تر مثل ماهیان، دوزیستان، خزندگان و پرندگان باشد. این نوع دیدرنگی در نخستینی‌ها وجود نداشت (Neumeyer، ۲۰۱۲).

به‌طورکلی نتایج نشان می‌دهد که ماهی‌های استخوانی می‌توانند تا ۵ حساسیت گیرنده نوری را داشته باشند اما نیازی نیست که همه

به‌طور هم‌زمان برای دیدرنگی همکاری یا مشارکت داشته باشند (Sabbah و همکاران، ۲۰۱۰). پاسخ اپتوموتور به‌شدت به‌واسطه حساسیت مخروطی طول موج بلند (LWS) می‌باشد (Anstis و همکاران، ۱۹۹۸). مخروطی‌های LWS نقش مهم را در این پاسخ دارند (Endler و همکاران، ۲۰۰۱). استفاده از طول موج بلند برای تشخیص حرکت دیدرنگی بین همه موجودات مشترک است (Maaswinkel و Li، ۲۰۰۳). در آزمایش‌های مختلف ثابت شده که ماهیان گورخری، گوپی و گلدفیش دارای دیدرنگی هستند. علی‌رغم طبیعت رنگی ماهیان، دانش درباره پردازش بینایی رنگ و الگو در ماهی محدود است (Siebeck و همکاران، ۲۰۰۸). در ماهی مثل پستانداران با دامنه وسیعی از محرک، می‌توان رابطه بین رنگ و حرکت را در تصاویر ساده قابل تفکیک بررسی کرد (Orger و Baier، ۲۰۰۵). Schaere و Neumeye (۱۹۹۷) و Krauss و Neumeye (۲۰۰۳) با مطالعه به‌وسیله تکنیک اپتوموتور برای ارزیابی بینایی در دو ماهی بالغ زبرا و گلدفیش بیان نمودند که فقط نوع مخروطی LWS نقش دارد.

در آزمایش حاضر، ماهی‌ها، از بین نوارهای رنگی بهترین پاسخ را به نوار نارنجی-زرد نشان دادند. این تحقیق نشان می‌دهد که این نوار بهترین پاسخ تحریکی را برای ماهی‌ها ایجاد نموده است. هم‌چنین، سرعت ۱۰ دور در دقیقه مناسب‌ترین سرعت در نوارهای رنگی بود. هم‌چنین ماهی‌ها، واکنش مناسبی در سرعت ۱۵ دور در دقیقه نداشتند. دو دلیل به‌نظر می‌رسد: یکی واضح نبودن محرک و دومی نرسیدن ماهی‌ها به سرعت بالای چرخش محرک (رحمانی و همکاران، ۱۳۹۳؛ Krauss و Neumeyer، ۲۰۰۳).

داده‌های میکرواسپکتروسکوپی (MSP) نشان می‌دهد که ماهی گوپی بیش از یک نوع اپسین حساس به طول موج بلند (LWS opsin) دارد (Watson و همکاران، ۲۰۱۱؛ Archer و Lythgoe، ۱۹۹۰) و رنگ نارنجی ترکیب مهمی در انتخاب جفت برای این ماهیان می‌باشد (Korner و همکاران، ۲۰۰۶). ماهی گوپی به رنگ‌های قرمز، نارنجی و زرد تمایل دارد و این رنگ‌ها بیش‌تر برای ماهی جلوه می‌کند (Endler، ۱۹۹۱؛ Houde و Endler، ۱۹۹۰). با این‌حال رنگ‌ها نتیجه‌ای از سیستم بینایی است (White و همکاران، ۲۰۰۵). همه این داده‌ها نشان می‌دهند که وقتی که مخروطی‌های LWS به‌شدت بیش‌تری تحریک شوند منجر به یک پاسخ قوی‌تر می‌گردند. امکان دارد پاسخ‌ها شامل: تغییرات در عملکردهای متفاوت میان مخروطی‌های LWS، MWS، SWS و UVS بین ۱ یا تعداد بیش‌تر مخروطی‌ها و استوانه‌ها، تغییرات در فراوانی فتورسپتور و یا تغییرات در سیگنال‌های پردازش در مغز باشد. واکنش‌های متفاوت از سیستم پردازشی بینایی متفاوت از مورد یکسان، درک متفاوتی از الگوهای رنگی دارند (Endler و همکاران، ۲۰۰۱). آزمایش‌های رفتاری تایید می‌کنند که دیدرنگی در یک محدوده طیفی است (Cheney و همکاران، ۲۰۱۳).

Cheney و همکاران (۲۰۱۳) مطالعه‌ای بر روی ماهی Trigger fish (ماهی صخره مرجانی) انجام دادند. در این آزمایش برای تحریک ماهی از چهار رنگ قرمز، سبز، زرد و نارنجی استفاده گردید. رنگ قرمز پیشنهادی، رنگ اصلی غذا ماهی بود. علاوه بر آن از یک محدوده وسیعی از غذاها که شامل تمام این چهار رنگ بود استفاده شد. با این حال تمایل به رنگ قرمز در آن‌ها بیش‌تر بود. بنابر گزارش تمایل به رنگ قرمز از یک نیاز برای کارتنوئید بود. کارتنوئید برای فرایندهای فیزیولوژی مورد نیاز است و نقش مهمی در تنظیم رنگ ماهی و تولید رنگ‌های قرمز، زرد و نارنجی دارند. در ضمن بیان نمود که تمایل به رنگ قرمز در ماهیان متفاوت است (رنگ قرمز رنگ هشداردهنده می‌باشد). بنابراین اظهار داشت تمایل به رنگ‌ها را باید در ماهیان با رژیم‌های غذایی مختلف آزمایش کرد.

تحقیق در مورد دیدرنگی ماهیان به‌روش‌های گوناگون قابل انجام است مانند: آزمایش‌های رفتاری (Siebeck و همکاران، ۲۰۰۸؛ Risner و همکاران، ۲۰۰۶)، الکتروفیزیولوژی (الکترورتینوگرام (ERG)) (Hawryshyn و همکاران، ۲۰۱۰) و اندازه‌گیری میکرواسپکتروفتومتری (MSP) از حساسیت‌های رسپتورهای نوری‌فرد (Marshall و همکاران، ۲۰۰۶؛ Waller، ۲۰۰۵؛ Losey و همکاران، ۲۰۰۳).

به‌طورکلی درک توانایی‌های بینایی و سیگنال‌های دریافتی روان شناختی به تکامل و عملکرد رنگ‌ها و الگوها کمک خواهد کرد (Cheney و همکاران، ۲۰۱۳). در ضمن بروز پاسخ‌های منفی به محرک می‌تواند نتایجی از رفتارهای خودبه خودی جانور و یا یک نشانه برای حرکات مشخص در جهت مخالف باشد (Krauss و Neumeyer، ۲۰۰۳؛ Maaswinkel و Li، ۲۰۰۳). مطالعات متعددی ارائه شده که نور محیط و فیزیولوژی بینایی تاثیر به‌سزایی در این نوع آزمایش‌ها دارد (Hutado-Gonzales و همکاران، ۲۰۱۴).

منابع

۱. **رحمانی، ه.؛ شعبانی‌پور، ن. و روضاتی، ع.، ۱۳۹۳.** پاسخ اپتوموتوری در ماهی گورخری (*Danio rerio*) به محرک سیاه -سفید، سبز-خاکستری و قرمز- خاکستری. مجله علوم و فنون دریایی. دوره ۱۱، شماره ۳، صفحات ۹۱ تا ۱۰۰.

۲. **Abdeljalil, J.; Hamid, M.; Abdel-Mouttalib, O.; Stephane, R.; Romand, R.; Johan, A.; Jose, S.; Pierre, C. and Serege, P., ۲۰۰۵.** The optomotor response: A robust first-line visual screening method for mice. Vision Research. Vol. ٤٥, No.١١ , pp: ١٤٣٩-١٤٤٦.

۳. **Anstis, S.; Hutahajan, P. and Cavanagh, P., ۱۹۹۸.** Optomotor test for wavelength sensitivity in guppyfish (*Poecilia reticulata*). Vision Research.Vol. ۳۸, No.1, pp: ۴۵-۵۳.

۴. **Archer, S.N. and Lythgoe, J.N., ۱۹۹۰.** The visual pigment basis for cone polymorphism in the guppy, *Poecilia reticulata*. Vision Research. Vol. ۳۰, No.۲ , pp: ۲۲۵-۲۳۳.

۵. **Bilotta, J., ۲۰۰۰.** Effects of abnormal lighting on the development of zebrafish visual behavior .Behaviour Brain Research. Vol. ۱۱۶, No.۱, pp: ۸۱-.۸۷

۶. **Cameron, D.J.; Rassamdana, F.; Tam, P.; Dang, K.; Yanez, C.; Ghaemmaghami, S. and Dehkord, M.I., ۲۰۱۳.** The optokinetic response as a quantitative measure of visual acuity in zebrafish. Journal of Visualized Experiments. Vol. ۸۰, e۵۰۸۳۲ p.

۷. **Campbell, N.A. and Reece, J.B., ۲۰۰۵.** Biology. ۷rd Ed. Benjamin Cummings, San Francisco, California. ۱۳۱۲ p.

۸. **Cheney, K.L.; Newport, C.; McClure, Eva. C. and Marshal, N.J., ۲۰۱۳.** Colour vision and response bias in a coral reef fish, The Journal of Experimental Biology. Vol. ۲۱۶, No. ۱۵, pp: ۲۹۶۷-۲۹۷۳.

۹. **Clark, D.T., ۱۹۸۱.** Visual responses in developing zebrafish (*Brachydanio rerio*). Ph.D. Dissertation. University of Oregon Press, Eugene. ۲۷۶ p.

۱۰. **Clement, T.S.; Parikh, V.; Schrumpf, M. and Fernald, R.D., ۲۰۰۵.** Behavioral coping strategies in a cichlid fish: the role of social status and acute stress response in direct and displaced aggression. Hormones and Behavior. Vol.۴۷ , No. ۳, pp: ۳۳۶-۳۴۲.

۱۱. **Darland, T. and Dowling, J.E., ۲۰۰۱.** Behavioral screening for cocaine sensitivity in mutagenized zebrafish, Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA. Vol. ۹۸, No. ۲۰ , pp: ۱۱۶۹۱-۱۱۶۹۶.

۱۲. **Endler, J.A., ۱۹۹۱.** Variation in the appearance of guppy color patterns to guppies and their predators under different visual conditions. Vision Research. Vol. ۳۱, No. ۳, pp: ۵۸۷-۶۰۸.

۱۳. **Endler, J.A.; Basolo, A.; Glowacki, S. and Zerr, J., ۲۰۰۱.** Variation in response to artificial selection for light sensitivity in Guppies (*Poecilia reticulata*). American Naturalist. Vol. ۱۵۸, No. ۱, pp: ۳۶-۴۸.

۱۴. **Faisal, A.A.; Selen, L.P.J. and Wolpert, D.M., ۲۰۰۸.** Noise in the nervous system. Nature Reviews Neuroscience. Vol. ۹, No. ۴, pp: ۲۹۲-۳۰۳.

۱۵. **Hawryshyn, C.W.; Ramsden, S.D.; Betke, K.M. and Sabbah, S., ۲۰۱۰.** Spectral and polarization sensitivity of juvenile Atlantic salmon (*Salmo salar*): phylogenetic considerations. Journal of Experimental Biology. Vol. ۲۱۳, No.۱۸ , pp: ۳۱۸۷-۳۱۹۷.

۱۶. **Heath, A.G., ۱۹۹۵.** Water pollution and fish physiology. Inc. CRC press۲ nd Ed, United States of America. ۲۸۷ p.

۱۷. **Herbert, N.A.; Kadri, S. and Huntingford F., ۲۰۱۱.** A moving light stimulus elicits a sustained swimming response in farmed Atlantic salmon, *Salmo salar* L. Fish Physiol Biochemistry. Vol. ۳۷, No. ۲, pp: ۳۱۷-۳۲۵.

۱۸. **Herbert, N.A. and Wells, R.M.G., ۲۰۰۲.** The effect of strenuous exercise and beta-adrenergic blockade on the visual performance of juvenile rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*. Journal of Comparative Physiology B. Vol. ۱۷۲, No. ۸, pp: ۷۲۵-۷۳۱.

۱۹. **Houde, A.E. and Endler, J.A., ۱۹۹۰.** Correlated evolution of female mating preferences and male colour patterns in the guppy, *Poecilia reticulata*. Science (Washington). Vol. ۲۴۸, No. ۴۹۶۱, pp: ۱۴۰۵_۱۴۰۸.

۲۰. **Hurtado-Gonzales, J.L.; Loew, E.R. and Uy, J.A.C., ۲۰۱۴.** Variation in the Visual Habitat May Mediate the Maintenance of Color Polymorphism in a Poeciliid Fish. Plos One. Vol. ۹, No. ۷, e۱۰۱۴۹۷ p.

۲۱. **Imada, H.; Hoki, M.; Suehiro, Y.; Okuyama, T.; Kurabayashi, D.; Shimada, A.; Naruse, K.; Takeda, H.; Kubo, T. and Takeuchi, H., ۲۰۱۰.** Coordinated and cohesive movement of two small conspecific fish induced by eliciting a simultaneous optomotor response. Plos One. Vol. ۵, No. ۶e ۱۱۲۴۸ p.

۲۲. **Kelber, A. and Osorio, D., ۲۰۱۰.** From spectral information to animal colour vision: experiments and concepts. Proceedings of the Royal Society of London B: Biological Sciences. Vol. ۲۷۷, No. ۱۶۸۸, pp: ۱۶۱۷_۱۶۲۵.

۲۳. **Kelley, J.L.; Phillips, B.; Cummins, G.H. and Shand, J., ۲۰۱۲.** Changes in the visual environment affect colour signal brightness and shoaling behaviour in a freshwater fish. Animal Behaviour. Vol. ۸۳, No. ۳, pp: ۷۸۳-۷۹۱.

۲۴. **Kim, K.H. and Wardle, C.S., ۲۰۰۳.** Optomotor response, erratic response: quantitative analysis of fish reaction to towed fishing gears. Fish Research. Vol. ۶۰, No. ۲, pp: ۴۵۵-۴۷۰.

۲۵. **Korner, K.E.; Schlupp, I.; Plath, M. and Loew, E.R., ۲۰۰۶.** Spectral sensitivity of mollies: comparing surface- and cave-dwelling Atlantic mollies, *Poecilia mexicana*. Journal of Fish Biology. Vol. ۶۹, No.۱ , pp: ۵۴-۶۵.

۲۶. **Krauss, A. and Neumeyer, C., ۲۰۰۳.** Wavelength dependence of the optomotor response in zebrafish. Brain Research.Vol. ۴۳, No. ۱۱, pp: ۱۲۷۵-۱۲۸۴.

۲۷. **Kröger, H.H.; Knoblauch, B. and Wagner, H.J., ۲۰۰۳.** Rearing in different photic, spectral environments changes the optomotor response to chromatic stimuli in the cichlid fish *Aequidens pulcher*. The Journal of Experimental Biology. Vol. ۲۰۶, No. ۱۰, pp: ۱۶۴۳-۱۶۴۸.

۲۸. **Losey, G.S.; McFarl, W.N. and Loew, E.R., ۲۰۰۳.** Visual biology of Hawaiian coral reef fishes. Ocular transmission, visual pigments. Copeia. Vol. ۲۰۰۳, No. ۳, pp: ۴۳۳-۴۵۴.

۲۹. **Maaswinkel, H. and Li, L., ۲۰۰۳.** Spatio-temporal frequency characteristics of the optomotor response in zebrafish, Vision Research. Vol. ۴۳, No.1, pp: ۲۱-۳۰.

۳۰. **Magurran, A.E., ۲۰۰۵.** Evolutionary ecology: The Trinidadian Guppy. New York: Oxford University Press on Demand. ۲۲۴ p.

۳۱. **Marshall, N.J.; Vorobyev, M. and Siebeck, U.E., ۲۰۰۶.** "What does a reef fish see when it sees a reef fish? Eating 'Nemo'," in *Fish Communication*. Edited by B. G. Kapoor, F. Ladich, S. P. Collin and W. G. Raschi. Enfield New Hampshire, USA: Science Publisher, Inc. pp: ۳۹۳-۴۲۲.

۳۲. **Meunier, B.; Yavno, S.; Ahmed, S. and Corkum, L.D., ۲۰۰۹.** First documentation of spawning and nest guarding in the laboratory by the invasive fish, the round goby (*Noegobius melanostomus*). Journal of Great Lakes Research. Vol. ۳۵, No. ۴, pp: ۶۰۸-۶۱۲.

۳۳. **Miller, N. and Gerlari, R., ۲۰۰۷.** Quantification of shoaling behaviour in zebrafish (*Danio rerio*). Behavioural brain research. Vol. **۱۸۴**, No. ۲, pp: ۱۵۷-۱۶۶.

۳۴. **Mora-Ferrer, C., ۲۰۰۲.** Motion detection in goldfish: retinal GABA versus dopamine. The Association for Research in Vision

۳۵. **Mora-Ferrer, C. and Neumeyer, C., ۲۰۰۹.** Neuropharmacology of vision in goldfish: A review. Vision Research. Vol. ۴۹, No. ۹, pp: ۹۶۰-۹۶۹.

۳۶. **Mueller, K.P. and Neuhauss, S.C.F., ۲۰۱۰.** Quantitative measurements of the optokinetic response in adult fish.Journal of Neuroscience Methods. Vol. ۱۸۶, No. ۱, pp: ۲۹-۳۴.

۳۷. **Neumeyer, C., ۲۰۱۲.** Color vision in goldfish and other vertebrates. In Lazareva, Olga; Shimizu, Toru; Wasserman, Edward. How Animals See the World: Comparative Behavior, Biology, and Evolution of Vision. Oxford Scholarship. ۲۵ p.

۳۸. **Orger, M.B. and Haier, H., ۲۰۰۵.** Channeling of red and green cone inputs to the zebrafish. Optomotor response. Visual Neuroscience. Vol. ۲۲, No. ۰۳, pp: ۲۷۵-۲۸۱.

۳۹. **Parry, J.W.L.; Carleton, K.L.; Spady, T.; Carboo, A.; Hunt, D.M. and Bowmaker, J.K., ۲۰۰۵.** Mix and match color vision: tuning spectral sensitivity by differential opsin gene expression in Lake Malawi cichlids. Current Biology. Vol. ۱۵, No. ۱۹, pp: ۱۷۳۴-۱۷۳۹.

۴۰. **Protasov, V.R., ۱۹۷۰.** Vision, near orientation of fish. IPST publications (translated from Russian). ۱۷۵ p.

۴۱. **Redfern, W.S.; Storey, S.; Tse, K.; Hussain, Q.; Maung K.P.; Valentin, J. P.; Ahmed, G.; Bigley, A.; Heathcote, D. and McKay, J.S., ۲۰۱۱.** Evaluation of a convenient method of assessing rodent visual function in safety pharmacology studies: Effects of sodium iodate on visual acuity and retinal morphology in albino and pigmented rats and mice. Journal of Pharmacological and Toxicological Methods. Vol. ۶۳, No. ۱, pp: ۱۰۲-۱۱۴.

۴۲. **Risner, M.L.; Lemerise, E.; Vukmanic, E.V. and Moore, A., ۲۰۰۶**. Behavioral spectral sensitivity of the zebrafish (Danio rerio). Vision Research. Vol. ٤٦, No .۱۷, pp: ۲٦۲٥-۲٦۳٥.

۴۳. **Sabbah, S.; Laria, R.L.; Gray, S.M. and Hawryshyn, C.W., ۲۰۱۰**. Functional diversity in the color vision of cichlid fishes. □□□ Biology. Vol. ۸, No. ۱, pp: ۱۳۳-۱۴۸.

۴۴. **Saidel, W.M. and Fabiane, R.S., ۱۹۹۸.** Optomotor response of *Anableps anableps* depends on the field of view. Vision Research. Vol. ۳۸, No. ۱۳, pp: ۲۰۰۱-۲۰۰۶.

۴۵. **Schaerer, S. and Neumeyer, C., ۱۹۹۷.** Motion detection in goldfish investigated with the optomotor response is color blind. Vision Research. Vol. ۳۶, No. ۲۴, pp: ۴۰۲۵-۴۰۳۴.

۴۶. **Siebeck, U.E.; Wallis, G.M. and Litherland, L., ۲۰۰۸.** Colour vision in coral reef fish. The Journal of Experimental Biology. Vol. ۲۱۱, No. ۳, pp: ۳٥٤-۳٦۰.

۴۷. **Smith, E.J.; Partridge, J.C.; Parsons, K.N.; White, E.M.; Cuthill, I.N.; Bennett, A.T.D. and Church, S.C., ۲۰۰۱.** Ultraviolet vision and mate choice in the guppy (*Poecilia reticulata*). Behavioral Ecology. Vol. ۱۳, No. ۱, pp: ۱۱-۱۹.

۴۸. **Spinger, A.D.; Easter, S.S. and Agranoff, B.W., ۱۹۷۷.** The role of the optic tectum in various visually mediated behaviors of goldfish. Brain Research. Vol. ۱۲۸, No. ۳, pp: ۳۹۳-۴۰۴.

۴۹. **Van der Salm, A.L.; Martinez, M.; Flik, G. and Wendelaar Bonga, S.E., ۲۰۰۴.** Effects of husbandry conditions on the skin colour and stress response of red Porgy (*Pagrus pagrus*). Aquaculture. Vol. ۲۴۱, No. ۱, pp: ۳۷۱-۳۸۶.

۵۰. **Waller, S.J., ۲۰۰۵.** Ontogenetic colour change and visual ecology of reef fish. Brisbane: The University of Queensland. ۳۴۸ p.

۵۱. **Watson, C.T.; Gray, S.M.; Hoffmann, M.; Lubieniecki, K.P.; Joy, J.B.; Sandkam, B.A.; Weigel, D.; Loew, E.; Dreyer, C.; Davidson, W.S. and Breden, F., ۲۰۱۱.** Gene duplication and divergence of long wavelength-sensitive opsin genes in the guppy, Poecilia reticulata. Journal of Molecular Evolution. Vol. ۷۲, No. ۲, pp: ۲٤۰-۲٥۲.

۵۲. **Weadick, C.J. and Chang, B.S.W., ۲۰۰۷.** Long-wavelength sensitive visual pigments of the guppy (*Poecilia reticulata*): six opsins expressed in a single individual. BMC Evolutionary Biology. Vol.۷ , No. ۱.

۵۳. **White, E.M.; Church, S.C.; Willoughby, L.J.; Hudson, S.J. and Partridge, J.C., ۲۰۰۵.** Spectral irradiance and foraging efficiency in the guppy, *Poecilia reticulata*. Animal behavior. Vol. ۶۹, No. ۳, pp: ۵۱۹-۵۲۷.

۵۴. **Zion, B.; Alchanatis, A.; Ostrovsky, V.; Barki, A. and Karplus, I., ۲۰۰۸.** Classification of guppies' (*Poecilia reticulata*) gender by computer vision. Aquacultural Engineering.Vol. ۳۸, No. ۲, pp: ۹۷-۱۰۴.

and Ophthalmology, Annual Meeting Abtract. Vol.۴۳, No. ۱۳, pp: ۴۷-۶۰.