

مروری بر رفتار و فیزیولوژی تولید صوت در ماهیان

سیده نرجس طباطبائی^{*۱}

tahoora.d@gmail.com

محمد علی نعمت‌اللهی^۲

چکیده

بسیاری از گونه‌های ماهیان قادر به تولید صداهایی جهت ایجاد ارتباط با یکدیگر هستند. فرآیند ایجاد چنین صداهایی که آوا محسوب می‌شوند، بیشتر در ارتباط با اندام کیسه‌شنا، عضلات و ساختار اسکلتی مربوط به آن است. تنوع صداهای تولید شده در ماهیان نیز به نوع ساختار به‌کار رفته و هدف آن ماهی از ایجاد صدا، وابسته است. این توانایی شگفت‌آور ماهیان را، می‌توان در جهت شناسایی و حفاظت از گونه‌های ماهیان و محل‌های تولید مثل آن‌ها شناخت و در سیاست‌های مدیریتی به‌کار گرفت.

کلمات کلیدی: صدا و آوا، گونه‌های ماهیان، کیسه‌شنا و حفاظت گونه‌ها.

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد رشته بوم‌شناسی آبزیان شیلاتی دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران (مسئول مکاتبات).

۲- استادیار دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران.

مقدمه

آمیز باله‌ها و حتی پریدن به بیرون آب همراه است، در بسیاری از خانواده‌های ماهیان (ماهیان خاویاری^۲، کپورها^۳، کاراسیدها^۴، روغن‌ماهی‌ها^۵، قورباغه‌ماهی‌ها^۶، آفتاب‌ماهی‌ها^۷، سنگسرماهی-ها^۸، شوریده‌ماهی‌ها^۹، دارترها^{۱۰}، دوشیزه‌ماهی‌ها^{۱۱}، سیکلیدها^{۱۲}، سیکلیدها^{۱۳}، گل‌خورک‌ها^{۱۴} و گاوماهی‌ها^{۱۵}) دیده می‌شود (۳).

تولید صدا یک فرآیند جدایی‌ناپذیر در رفتار تولیدمثلی بسیاری از ماهیان است. برخی از صداهای تولیدشده توسط ماهیان جنس نر زمردهماهیان و شوریده‌ماهیان، سایر ماهیان نر تعدی-کننده را دور می‌سازد. ماهیانی مانند قورباغه‌ماهی‌ها، خورشیدماهی‌ها و گاوماهی‌ها، با آواگری^{۱۵} ماهیان ماده را به خود نزدیک می‌کنند. زمانی که ماهی ماده نزدیک‌تر می‌شود و در طول تخم‌ریزی، سرعت علامت‌دهی و تولید صدا متناوباً افزایش می‌یابد، که این ارتباط صوتی می‌تواند هم‌زمانی تولیدمثلی میان دو جنس را ایجاد کند. دست‌کم در یکی از گونه‌های دهان‌لانه ماهیان آفریقایی^{۱۶}، آواگری جنس نر فعالیت‌های تخمدانی را در ماهیان ماده تحریک می‌کند (۳).
وال‌ها مانند دلفین‌ها^{۱۷}، صوتی منتشر می‌کنند که از آن برای موقعیت‌یابی، جهت‌یابی و یافتن مکان شکار استفاده می‌کنند (۳).

در میان تمامی جانوران، صدا عاملی مهم جهت برقراری ارتباطات اجتماعی است. بسیاری از گونه‌های ماهیان، مکانیسم‌های توسعه‌یافته‌ای در انتشار صدا برای ارتباطات اجتماعی دارند (۱). تاکنون بیش از ۸۰۰ گونه از ماهیان به عنوان ماهیان تولیدکننده صدا شناخته شده‌اند. صداهای تولید شده توسط ماهیان بر دو نوع است؛ ۱- آواها: که بسیاری از ماهیان با ساختارهای خاص خودشان قادر به تولید آن هستند. این صداها با منظور و هدف خاصی تولید می‌شوند، و در مواردی مثل هشدار به شکارچیان و رقیبان، برقراری ارتباط با جنس مخالف و به هنگام ترس مورد استفاده قرار می‌گیرند. ۲- صداهای غیرعمدی: که در اثر فعالیت‌هایی مثل غذا خوردن، حرکت‌های ناگهانی یا دسته‌جمعی ایجاد می‌شود، و صداهای گوشخراش^۱، که از طریق مالش ساختارها و اجزای اسکلتی بر روی یکدیگر ایجاد می‌شوند (۲). تولید صدا در بیش از ۵۰ خانواده از ماهیان غضروفی و استخوانی رخ می‌دهد. هدف از انتشار آواها می‌تواند ۱- پیام‌های دورکننده (هنگامی که شکار، بواسطه شکارچی تهدید می‌شود و مورد هجوم واقع می‌شود)، ۲- پیام‌های جذب‌کننده جفت و همراهی، ۳- پیام‌های دورکننده (برای رقیبان بر سر جفت یا غذا)، ۴- پیام‌های همراهی و جذب گروه باشد (۳).

تولید صداهای ناگهانی می‌تواند سبب ترساندن شکارچی و تردید آن شده و امکان فرار ماهی را فراهم آورد. حتی ممکن است سبب جذب شکارچیان بزرگتر شود؛ زمانی که شکارچی کوچکی شکاری را در دهان دارد، برای فرار از شکارچیان بزرگتری که جذب آن شده‌اند احتمالاً شکار خود را رها خواهد کرد. تولید این صداها همانند علامت هشدار برای سایر افراد هم‌نوع نیز می‌باشد که می‌تواند آن‌ها را از حضور شکارچی آگاه سازد (۳).

تولید صدا در زمان جفت‌گیری، عموماً بوسیله ماهیان نر، که اغلب با برخی حرکات نمایشی، شنای سریع، حرکات اغراق-

- 2- Sturgeons
- 3- Minnows
- 4- Characids
- 5- Codfishes
- 6- Toadfishes
- 7- Sunfishes
- 8- Grunts
- 9- Scienids
- 10- Darters
- 11- Damsel-fishes
- 12- Cichlids
- 13- Blennies
- 14- Gobies
- 15- Vocalization
- 16- African mouth-breeding cichlid
- 17- Cetaceans

- 1- stridulations

انواع آوا در ماهیان:

انواع مختلفی از صداها، غرغر کردن^۱، کوبیدن یا صدای تق تق^۲، خرخر کردن یا نالیدن^۳، صدای بریده بریده یا منقطع^۴، صدای تلپ تلپ^۵، در بعضی از گونه‌های ماهیان مثل *Myripristis* و *Holocentrus* ثبت شده است؛ (البته نام‌گذاری صداها بسیار تقریبی است). مثلاً گونه *Holocentrus ascensionis* به هنگام دفاع از شکاف صخره‌ای که در آن مستقر است، صدای خرخر مانندی تولید می‌کند. حضور ماهیان بزرگ یا شکارچیان سبب تولید صداها بریده بریده، همراه با عقب‌نشینی به سمت شکاف‌های صخره‌ای می‌شود. در ماهیان گونه‌های جنس *Myripristis* معمولاً صداها تولید شده به ۲ صورت هستند: به هنگام فرآیند تعقیب هم‌نوعان خود در حرکات گروهی^۶ صداها غرغر کردن، کوبیدن یا صدای تق تق و صدای تلپ تلپ، و به هنگام اختلالاتی که غواصان و شکارچیان در آب ایجاد می‌کنند، صداها خرخر کردن یا نالیدن، غرغر کردن و صدای بریده بریده یا منقطع، تولید می‌کنند. تنوع صداها تولید شده به دلیل تفاوت در ساختاری است که ماهی برای تولید صوت بکار می‌برد و همچنین هدف آن ماهی از ایجاد صدا (۵).

مکانیسم تولید صدا در ماهیان

ماهیان توسط مکانیسم‌های مختلفی می‌توانند صدا تولید کنند. برخی از گربه‌ماهیان^۷، قورباغه‌ماهیان^۸، روغن‌ماهیان^۹ و سه‌انگشتی ماهیان^{۱۰} با استفاده از ماهیچه‌ها از کیسه شنا صدا تولید می‌کنند. برخی گربه‌ماهیان با سائیدن استخوان‌های کمر بند شانه‌ای صدا تولید می‌کنند، حال آنکه برخی

سیکلیدها^{۱۱} و گورامی‌ها^{۱۲} با سایش دندان‌های حلقی صدا تولید می‌کنند. این درحالی است که گروه دیگری از گورامی‌ها^{۱۳}، با ارتعاش زردپی‌های شعاع‌های باله، هنگام کوبیدن سریع باله‌های سینه‌ای‌شان صداها ضربه‌ای تولید می‌کنند. یلی‌ماهیان^{۱۴} وسیله اختصاصی برای تولید صدا دارند؛ که شامل جفت ماهیچه‌های امتداد یافته از ناحیه خلفی جمجمه به سطح پشتی کیسه‌شنا می‌باشد. در سایر ماهی‌های تولیدکننده صوت که از ماهیچه‌ها استفاده می‌کنند، مثل روغن‌ماهیان، سه‌انگشتی ماهیان و شوریده ماهیان، ماهیچه‌ها از ساختمان عضلانی تنه مشتق شده و از دیواره بدن منشا می‌گیرند (۳).

فیزیولوژی تولید صدا در ماهیان:

کیسه‌شنا و عضلات صوتی^{۱۵}

کیسه‌شنا اندامی است که در تنفس، تولید صدا و دریافت اصوات در برخی از ماهیان نقش دارد (۳). ماهیان با استفاده از ماهیچه‌هایی که بر روی یا نزدیک کیسه‌شنا وجود دارند و عضلات صوتی، صداها طبل‌مانند تولید می‌کنند (۲). عضلات صوتی کیسه‌شنا ماهیان، سریع‌ترین ماهیچه‌ها در میان ماهیچه‌های مهره‌داران بوده و دارای فیبرهایی با سازگاری‌های متعدد بیوشیمیایی و ساختاری برای سرعت هستند. ماهیچه‌های صوتی به دو شکل اند: متشکل از رشته‌ها یا فیبرهای قرمز (دارای میتوکندری‌های متعدد و محتوی گلیکوژن بالا) و فیبرهای سفید^{۱۶} (۱).

کیسه‌شنا در انواع مختلفی از صداها تولید شده توسط ماهیان نقش دارد. عضلات کیسه‌شنا که در تولید صوت به کار گرفته می‌شوند به دو صورت درونی و بیرونی هستند؛ ماهیچه‌های صوتی درونی به‌طور کامل به دیواره کیسه‌شنا متصل شده‌اند. ماهیچه‌های صوتی بیرونی منشا متفاوتی دارند که از سایر

- 1- Growl
- 2- knock
- 3- grunt
- 4- staccato
- 5- thump
- 6- schooling
- 7- Siluriformes
- 8- Batrachoididae
- 9- Gadidae
- 10- Triglidae

- 11- Cichlids
- 12- Gouramis (Anabantoidei)
- 13- Trichopsis
- 14- Terapontid grunters
- 15- Sonic muscles
- 16- Alkali-stable ATPase

فرآیند تولید صدا، در ناحیه ۶ مهره اول رخ می‌دهد. مهره‌های اول و دوم فاقد دنده هستند، اما هر کدام دارای استخوان‌های بین‌عضلانی‌اند که به کمان عصبی متصل می‌شوند. دو مهره اول دارای دنده‌های فوق‌عصبی^۳ هستند، که در تمام جهات قابلیت حرکت داشته و توسط یک تاندون انتهایی به کیسه شنا متصل می‌شود. دنده‌های فوق‌عصبی، دنده‌هایی هستند که در ابتدای ستون فقرات بوده و نسبت به دنده‌های دیگر، بالاتر قرار دارند. مهره سوم دارای یک صفحه استخوانی پهن است، که به کیسه شنا متصل شده و به چهارمین مهره متصل می‌شود. دنده‌ها از جسم مهره‌های ۳ تا ۵ و بخش کوتاه مهره ششم^۴، مفصل می‌شوند. هر دنده دارای ۳ رباط است و در این بخش زردپی‌هایی هم وجود دارند که تشخیصشان از رباط‌ها مشکل است. به نظر می‌رسد، بخش جلویی-پشتی کیسه شنا به دلیل کمتر شدن ضخامت لایه پوششی نازک‌تر می‌باشد. باحرکات جلو و عقب دنده‌ها به طور همزمان، غشای خارجی کیسه‌شنا نیز به حرکت درمی‌آید. انقباض‌های عضلات صوتی، استخوان‌های درون ماهیچه‌ای، دنده‌ها و رباط‌های کیسه‌شنا را به حرکت در می‌آورد. در طول دوره انقباض عضلات، رباط‌ها و زردپی‌ها به بازگرداندن مجموعه به حالت اول نقش دارند (۵).

اجزای اسکلتی منشا می‌گیرند (۴). صداها اغلب بوسیله عملکرد اختصاصی ماهیچه‌های مخطط سریع منقبض شونده^۱، تولید می‌شوند. صداها در برخی از گونه‌های ماهیان به صورت کاملاً اختصاصی ست (۱):

Carapus homei, *Carapus boraborensis*
Carapus murlani و *Carapus acus*

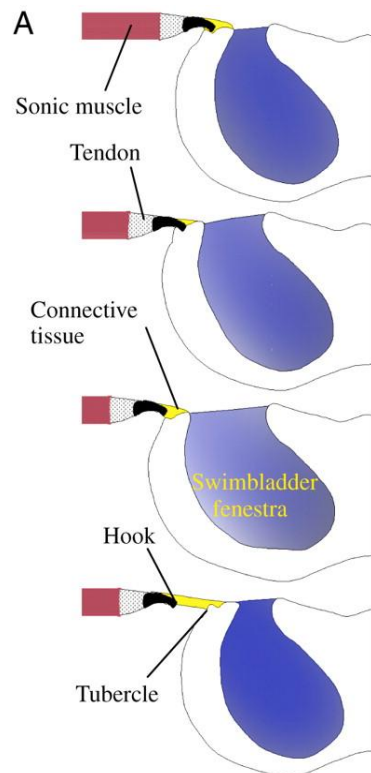
صداها تولید شده به واسطه کیسه شنا، فرکانس پایه با رنج ۷۵ تا ۳۰۰ هرتز دارند، که به سرعت انقباض ماهیچه‌ای مربوط می‌شود، این سرعت بسیار زیاد عضلات کیسه شنا، ناشی از سرعت استراحت^۲ بسیار سریع آن‌هاست. این ویژگی، از سازگاری‌های متعدد مورفولوژیکی و بیوشیمیایی ناشی می‌شود؛ به عنوان مثال، وجود ایزوفرم‌های پروتئین تخصص‌یافته منحصر به فردی که به فرآیند استراحت کمک می‌کند (ایزوفرم پارآلبومین، که درواقع، آلبومین باند شده با کلسیم است و وزن مولکولی پایینی دارد)، غلظت بالای محتویات سلولی (میتوکندری‌های بیشتر)، فیبرها و میوفیبریل‌های نازک‌تر عضلات صوتی، شبکه سارکوپلاسمی توسعه‌یافته پیچیده و نزدیک‌تر بودن آن‌ها به رگ‌های خونی. مجموعه این ویژگی‌ها، می‌تواند سبب جریان سریع متابولیت‌ها و کلسیم شود (۴)، (۱) و (۵).

مهره‌ها و اجزای اسکلتی

منطقه خلفی کیسه شنا، دراز و باریک بوده و به مهره‌های شکمی متصل می‌شود. منفذ کیسه شنا به شکل قطره اشکی در هر طرف قرار دارد، و بخشی از بافت کیسه به دو قسمت از ناحیه پشتی متصل شده‌است. جفت عضلات صوتی از دیواره بالایی چشم (حده) تا وجه پیشین کیسه شنا در جلوی منفذ کیسه شنا کشیده شده‌اند. این عضلات ساختار حلزونی را ایجاد می‌کنند (شکل ۱ C). میوفیبریل‌های مرکزی به صورت مستقیم و خطی‌اند، در حالی که، میوفیبریل‌های پیرامونی بیشتر پیچ‌خورده‌اند (۱).

3- Epineural ribs
4- Parapophysis

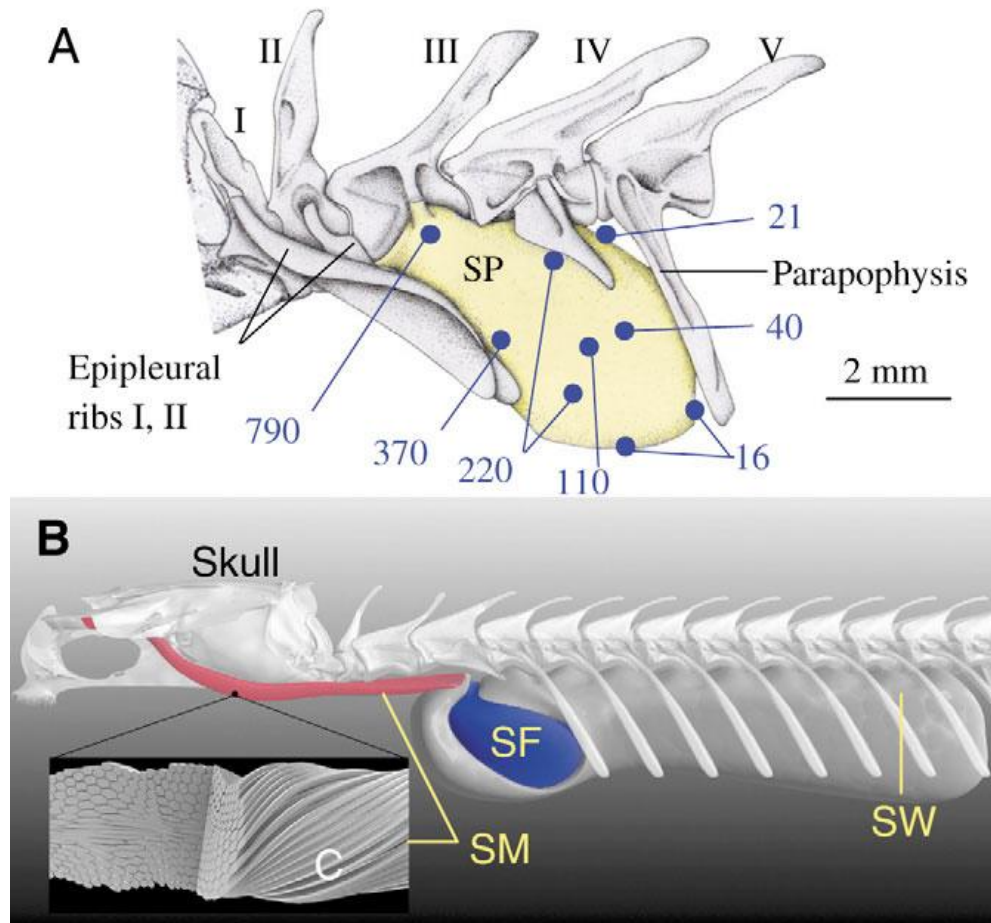
1- fastcontracting
2- Relaxation



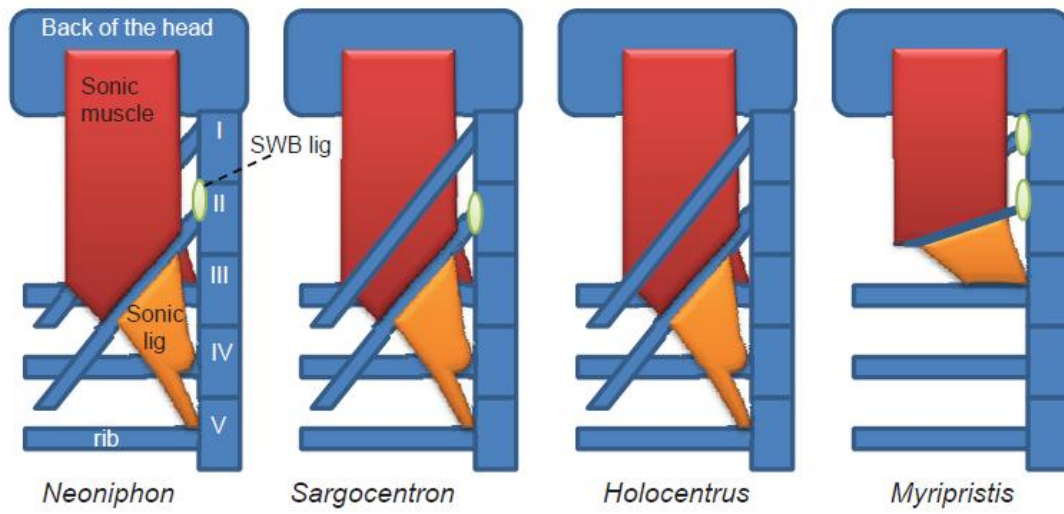
شکل ۱- روند تولید صدا بوسیله روزنه کیسه شنا (۱)

ماهیچه‌های صوتی منقبض می‌شوند، کششی در قسمت قدامی کیسه شنا ایجاد و در نتیجه آن یک روزنه باریکی اتساع می‌یابد. زمانی که سیستم در حال کشش، رها می‌شود و روزنه متسع شده به حالت اولیه خود بازمی‌گردد صدا تولید می‌شود (۱).

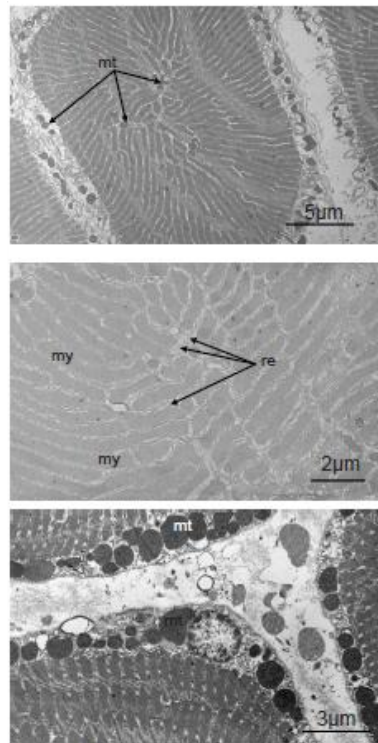
در مطالعه‌ای که بر روی ماهیان *Carapid* انجام شد مشخص شد: این ماهیان با مکانیسم پیچیده کیسه شنا صدا تولید می‌کنند، که شامل اجزای اسکلتی و رشته‌های ماهیچه‌ای صوتی خارجی با ساختار میوفیبری حلزونی خاصی است؛ وقتی



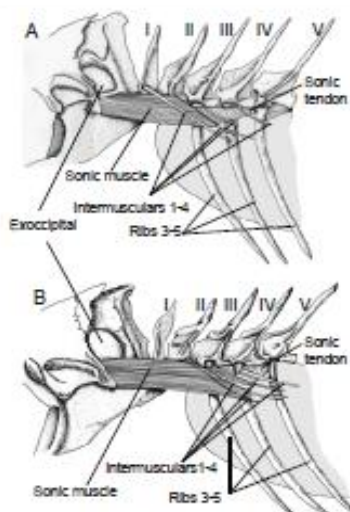
شکل ۲- مکانیسم صوتی در ماهی *Carapus boraborensis*. A: نگاه سمت چپ، به ۵ مهره اول با دنده‌های متصل به آن‌ها و صفحه کیسه شنا. اعداد در صفحه کیسه شنا، ضخامت آن را مشخص می‌کنند، که به صورت جانبی و به سمت حاشیه خلفی کاهش پیدا می‌کند. B: نگاه جانبی چپ شماتیک به استخوان (دنده‌های فوق‌عصبی و کیسه شنا بدون صفحه)، عضلات صوتی و کیسه شنا. C: ساختار مارپیچ میوفیبریل‌ها را در یک فیبر منفرد عضله صوتی با میوفیبریل‌های مستقیم مرکزی نشان می‌دهد. SF: منفذ کیسه شنا، SM: عضله صوتی، SP: صفحه کیسه شنا، SW: کیسه شنا (۱).



شکل ۳- ساختارهای تولید صوت در جنس‌های خانواده holocentridae (۵).



شکل ۴- نگاه میکروسکوپی به عضلات صوتی (۵)، (My): میوفیبریل، (Mt): میتوکندری، (Re): شبکه سارکوپلاسمی



شکل ۵ - نگاه جانبی چپ از ساختار ایجاد صدا در *Sargocentron diadema* (A) و *Neoniphon samara* (B) (۵)

Kathla axillaris به عنوان مطالعه موردی در نظر گرفته شد. در این ماهیان، افراد با تشخیص این صداها قادر به برقراری ارتباط به هنگام رفتارهای تولید مثلی و تخم‌ریزی بودند. این صداها می‌تواند شاخصی جهت تشخیص و شناسایی مناطق تخم‌ریزی این ماهیان باشد. البته این ماهیان به هنگام رفتارهای تهاجمی نیز صدا تولید می‌کنند. در این مطالعه مشخص شد اعضای این گونه قادر به تولید صداهای قوی، در محدوده کمتر از ۵۰ تا ۵۰۰ هرتز، به کمک عضلات خاص کیسه شنای خود می‌باشند (۲).

در مطالعه جنس‌های (*Holocentrus*, *Myripristis*) از خانواده *Holocentridae* (*Neoniphon*, *Sargocentron*) که از ماهیان تولید کننده صوت در مناطق مرجانی‌اند مشخص شد، صداهای تولید شده در محدوده ۸۰ تا ۱۱۰ هرتزاند. بررسی‌های بیشتر بر روی ماهی *Holocentrus rufus* نشان داد که صداها در نتیجه انقباض دوطرفه جفت عضلات قرار گرفته بر روی جمجمه و دنده‌های ردیف اول که به بخش جلویی کیسه شنا مرتبطاند تولید می‌شود. سرعت انقباض ماهیچه‌ها به سرعت تحریک پایانه‌های عصبی آکسون‌های تحریک کننده و وضعیت عضلات صوتی بستگی

مجاورت نزدیک اندام صوتی مازمایی‌ها یا گورامی‌ها^۱ به حفره فوق آبششی، که برای تنفس هوایی به کار می‌رود، حاکی از آن است که این حفره مملو از هوا ممکن است رزونانس یا ارتعاش صدای تولید شده را افزایش دهد (۳). در ماهیان با افزایش اندازه بدن فرکانس صوت تولید شده کاهش می‌یابد؛ چرا که نوسان صدا، تحت تاثیر مقاومت عضلات در برابر خستگی می‌باشد (۵).

حفاظت و شناسایی ماهیان با استفاده از صداها:

ماهیان خانواده شوریده ماهیان^۲ را *Drums* (=طبیل) نیز می‌نامند که این نام آن‌ها مشتق شده از صفت تولیدکننده صوت است که حاصل ارتعاش ماهیچه‌های متصل به کیسه‌شنا است (۳). ماهیان این خانواده به علت تواناییشان در تولید صداهای کلاغ مانند و طبیل مانند معروفاند. برای شناخت و شناسایی محل‌های تخم‌ریزی شوریده‌ماهیان و حفاظت از آن‌ها می‌توان از صداهایشان استفاده نمود. این ماهیان صداهای خاص گونه‌ای دارند، که به رفتار تولید مثلی آن‌ها مربوط می‌باشد. اغلب این صداها در فصل تولیدمثل تولید می‌شوند و صداها از غروب آفتاب تا نیمه‌های شب به گوش می‌رسد. در پژوهشی، ماهی

1- Anabantoids
2- Sciaenidae

- Fine, M. L., 2006. Sound production mechanism in carapid fish: first example with a slow sonic muscle. J. Experimental Biology 209, 2952-2960.
2. Veerappan, N., Pandi, V., Balasubramanian, T., 2009. Sound Production Behaviour in a Marine Croaker Fish, *Kathala axillaris* (Cuvier). J Fish and Marine Sciences 1(3): 206-211.
 3. Helfman, G. S., Collette, B. B., Facey, D. E., Bowen, B. W. The diversity of fishes. Wiley Blackwell publication, 737 pp.
 4. Parmentier, E., Boyle, K. S., Berten, L., Brie, C., Lecchini, D. 2011. Sound production and mechanism in *Heniochus chrysostomus* (Chaetodontidae). J Experimental Biology 214, 2702-2708.
 5. Parmentier, E., Vandewalle, P., Brie, C., Dinraths, L., Lecchini, D. 2011. Comparative study on sound production in different Holocentridae species. J Frontirrs in zoology, 8:12.

دارد که فرکانس اساسی صدا را در این گونه‌ها تعیین می‌کند (۵).

نتیجه‌گیری

انواع مختلفی از صداها در میان ماهیان وجود دارد، که به فیزیولوژی تولید آن بازمی‌گردد. در این زمینه، کیسه‌شنا و عضلات مربوط به آن نقش عمده‌ای ایفا می‌کنند. تولید صدا در ماهیان همانند سایر جانداران حایز اهمیت است. وجود ارتباط میان اعضای گونه‌ها، به ویژه در ماهیانی که به صورت دسته جمعی زندگی می‌کنند، حیاتی است. وجود آواهای خاص گونه‌ای می‌تواند در شناسایی و حفاظت گونه‌های مختلف ماهیان سودمند واقع شود. بسیاری از این ماهیان در فصول تولیدمثل، صداهایی برای برقراری ارتباط با جنس مخالف و قلمروطلبی تولید می‌کنند، فرآیند حفاظت از مناطق تولیدمثل آن‌ها و ماهیان در حال تولید مثل، پیامی است که این صداها برای انسان می‌توانند داشته باشند.

منابع

1. Parmentier, E., Lagardere, J.P., BBraquegnier, J. B., Vandewalle, P.,