

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 راه 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

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 جذب کننده 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-

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^{۱۶} 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^{۱۷}، آواگری جنس نر فعالیت‌های تخمدانی را در ماهیان ماده تحریک می‌کند (۳).
وال‌ها مانند دلفین‌ها^{۱۸}، صوتی منتشر می‌کنند که از آن برای موقعیت‌یابی، جهت‌یابی و یافتن مکان شکار استفاده می‌کنند (۳).

- 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 صدا ها، 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 گونه های ماهیان مثل *Myripristis* و *Holocentrus* ثبت شده است؛ (البته نام گذاری صداها بسیار تقریبی است). مثلاً گونه *Holocentrus ascensionis* به هنگام دفاع از شکاف صخره ای که در آن مستقر است، صدای خرخر مانندی تولید می کند. حضور ماهیان بزرگ یا شکارچیان سبب تولید صداهای بریده بریده، همراه با عقب نشینی به سمت شکاف های صخره ای می شود. در ماهیان گونه های جنس *Myripristis* معمولاً صداهای تولید شده به ۲ صورت هستند: به هنگام فرآیند تعقیب هم نوعان خود در حرکات گروهی^۶ صداهای غرغر کردن، کوبیدن یا صدای تق تق و صدای تلپ تلپ، و به هنگام اختلالاتی که غواصان و شکارچیان در آب ایجاد می کنند، صداهای خرخر کردن یا نالیدن، غرغر کردن و صدای بریده بریده یا منقطع، تولید می کنند. تنوع صداهای تولید شده به دلیل تفاوت در ساختاری است که ماهی برای تولید صوت بکار می برد و همچنین هدف آن ماهی از ایجاد صدا (۵).

مکانیسم تولید صدا در ماهیان

ماهیان توسط مکانیسم های مختلفی می توانند صدا تولید کنند. برخی از گربه ماهیان^۷، قورباغه ماهیان^۸، روغن ماهیان^۹ و سه انگشتی ماهیان^{۱۰} با استفاده از ماهیچه ها از کیسه شنا صدا تولید می کنند. برخی گربه ماهیان با سائیدن استخوان های کمر بند شانهای صدا تولید می کنند، حال آنکه برخی

سیکلیدها^{۱۱} و گورامی ها^{۱۲} با سایش دندان های حلقی صدا تولید می کنند. این در حالی است که گروه دیگری از گورامی ها^{۱۳}، با ارتعاش زردپی های شعاع های باله، هنگام کوبیدن سریع باله های سینه ای شان صداهای ضربه ای تولید می کنند. یلی ماهیان^{۱۴} وسیله اختصاصی برای تولید صدا دارند؛ که شامل جفت ماهیچه های امتداد یافته از ناحیه خلفی جمجمه به سطح پشتی کیسه شنا می باشد. در سایر ماهی های تولید کننده صوت که از ماهیچه ها استفاده می کنند، مثل روغن ماهیان، سه انگشتی ماهیان و شوریده ماهیان، ماهیچه ها از ساختمان عضلانی تنه مشتق شده و از دیواره بدن منشا می گیرند (۳).

فیزیولوژی تولید صدا در ماهیان:

کیسه شنا و عضلات صوتی^{۱۵}

کیسه شنا اندامی است که در تنفس، تولید صدا و دریافت اصوات در برخی از ماهیان نقش دارد (۳). ماهیان با استفاده از ماهیچه هایی که بر روی یا نزدیک کیسه شنا وجود دارند و عضلات صوتی، صداهای طبل مانند تولید می کنند (۲). عضلات صوتی کیسه شنا ماهیان، سریع ترین ماهیچه ها در میان ماهیچه های مهره داران بوده و دارای فیبرهایی با سازگاری های متعدد بیوشیمیایی و ساختاری برای سرعت هستند. ماهیچه های صوتی به دو شکل اند: متشکل از رشته ها یا فیبرهای قرمز (دارای میتوکندری های متعدد و محتوی گلیکوژن بالا) و فیبرهای سفید^{۱۶} (۱).

کیسه شنا در انواع مختلفی از صداهای تولید شده توسط ماهیان نقش دارد. عضلات کیسه شنا که در تولید صوت به کار گرفته می شوند به دو صورت درونی و بیرونی هستند؛ ماهیچه های صوتی درونی به طور کامل به دیواره کیسه شنا متصل شده اند. ماهیچه های 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 بین عضلانی‌اند که به کمان عصبی متصل می‌شوند. دو مهره اول دارای دنده‌های فوق عصبی^۳ هستند، که در تمام جهات قابلیت حرکت داشته و توسط یک تاندون انتهایی به کیسه شنا متصل می‌شود. دنده‌های فوق عصبی، 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 mourlani و *Carapus acus*

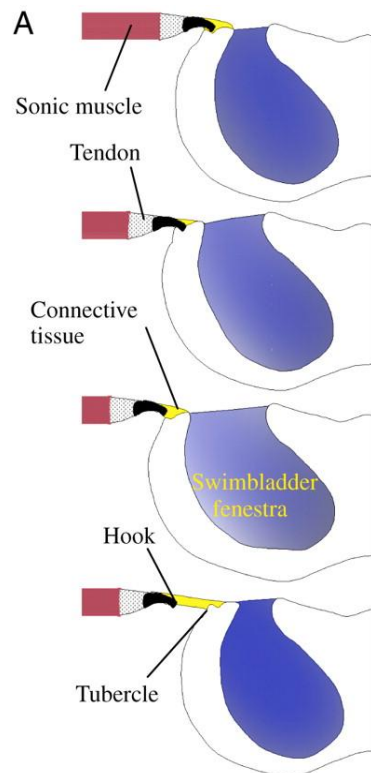
صداها تولید شده به واسطه کیسه شنا، فرکانس پایه با رنج ۷۵ تا ۳۰۰ هرتز دارند، که به سرعت انقباض ماهیچه‌ای مربوط می‌شود، این سرعت بسیار زیاد عضلات کیسه شنا، ناشی از سرعت استراحت^۲ بسیار سریع آن‌هاست. این ویژگی، از سازگاری‌های متعدد مورفولوژیکی و بیوشیمیایی ناشی می‌شود؛ به عنوان مثال، وجود ایزوفرم‌های پروتئین 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

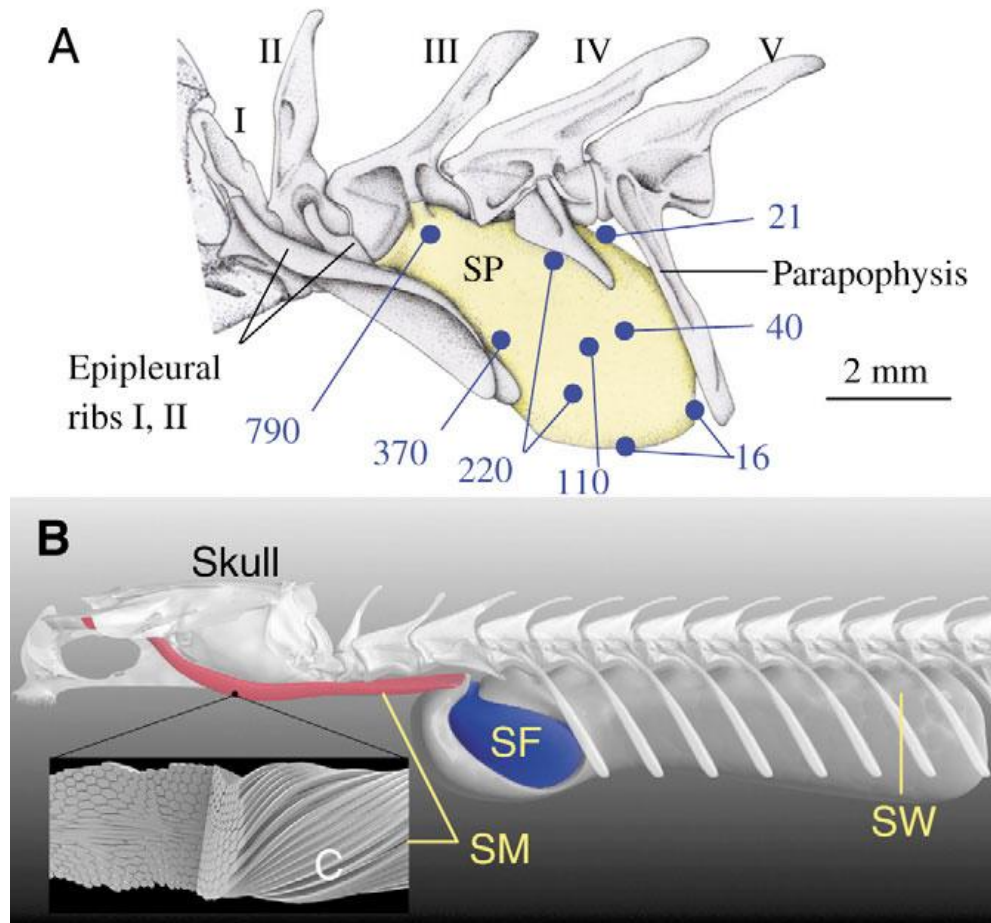
1- fastcontracting
2- Relaxation



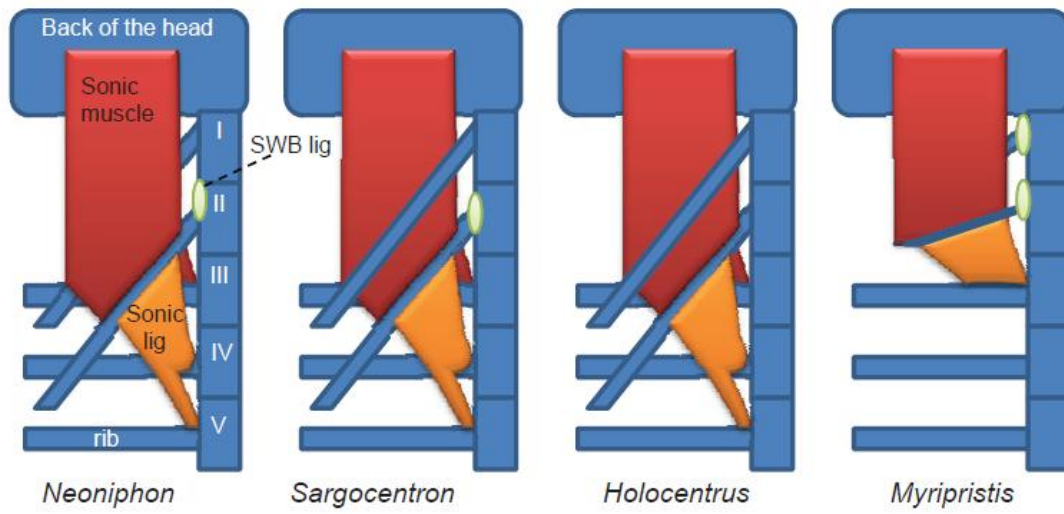
شکل ۱- روند تولید صدا بوسیله روزنه کیسه شنا (۱)

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).

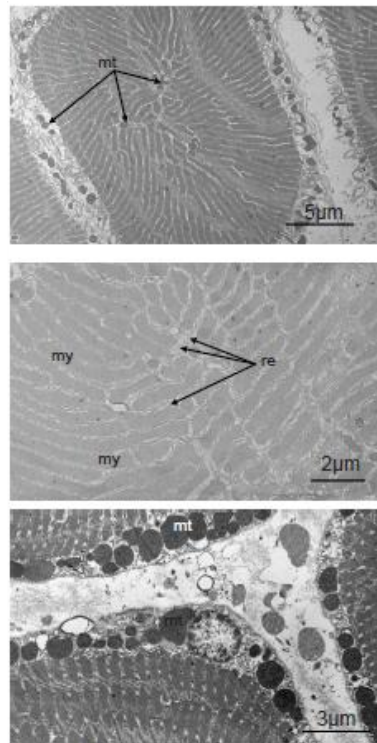
در مطالعه‌ای که بر روی ماهیان *Carapid* انجام شد مشخص شد: این ماهیان با مکانیسم پیچیده کیسه شنا صدا تولید می‌کنند، که شامل اجزای اسکلتی و رشته‌های ماهیچه‌ای صوتی خارجی با ساختار میوفیبری حلزونی خاصی است؛ وقتی



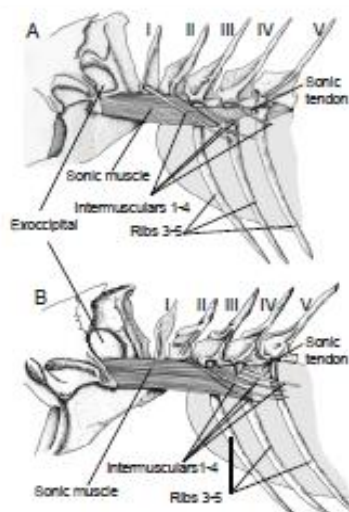
شکل ۲- مکانیسم صوتی در ماهی *Carapus boraborensis*. A: نگاه سمت چپ، به ۵ مهره اول با دنده‌های متصل به آن‌ها و صفحه کیسه شنا. اعداد در صفحه کیسه شنا، ضخامت آن را مشخص می‌کنند، که به صورت جانبی و به سمت حاشیه خلفی کاهش پیدا می‌کند. B: نگاه جانبی چپ شماتیک به استخوان (دنده‌های فوق‌عصبی و کیسه شنا بدون صفحه)، 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 مازماهی‌ها 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، پیامی‌ست که این صداها برای انسان می‌توانند داشته باشند.

منابع

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