

مروری بر رفتار و فیزیولوژی تولید صوت در ماهیان

سیده نرجس طباطبائی^{*۱}

ns_tabatabaei@yahoo.com

محمد علی نعمت اللهی^۲

چکیده

بسیاری از گونه‌های ماهیان قادر به تولید صداهایی جهت ارتباط با یکدیگر هستند. فرآیند ایجاد چنین صداهایی، 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 شگفت آور 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، حفاظت گونه‌ها.

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد بوم‌شناسی آبریزان شیلاتی، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران^۳ (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 به وسیله ماهیان نر، که اغلب با برخی حرکات نمایشی، شناهای سریع، حرکات اغراق‌آمیز 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، آفتاب-ماهی‌ها^۷، سنگسرماهی‌ها^۸، شوریده‌ماهی‌ها^۹، دارترها^{۱۰}، دوشیزه-ماهی‌ها^{۱۱}، سیکلیدها^{۱۲}، گل‌خورک‌ها^{۱۳} و گاوماهی‌ها^{۱۴}) دیده می‌شود (۳).

تولید صدا یک فرآیند جدایی‌ناپذیر در رفتار تولیدمثلی بسیاری از ماهیان است. برخی از صداهای تولید شده توسط ماهیان جنس نر زمرده‌ماهیان و شوریده‌ماهیان، سایر ماهیان نر تعدی‌کننده را دور می‌سازد. ماهیانی مانند قورباغه ماهی‌ها، 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}، اصواتی 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- Damselfishes
 - 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 تپ تپ^۵، در بعضی از گونه‌های ماهیان مثل *Holocentrus* و *Myripristis* ثبت شده است؛ (البته نام گذاری صداها بسیار تقریبی است). مثلاً گونه *Holocentrus ascensionis* به هنگام دفاع از شکاف صخره‌ای که در آن مستقر است، صدای خرخرمانندی 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 تپ تپ، 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 کیسه‌شنا صدا تولید می‌کنند. برخی گربه‌ماهیان با ساییدن 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 مجمله 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}

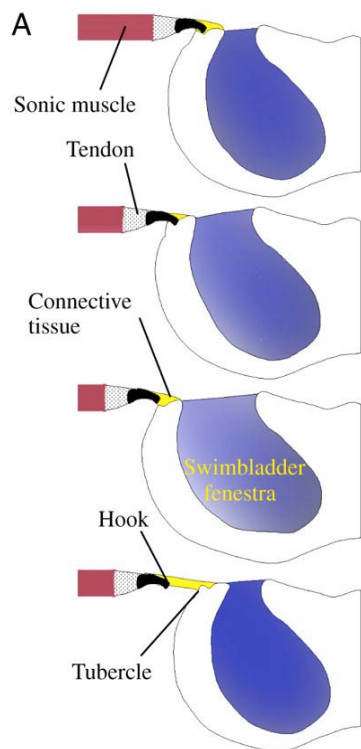
کیسه‌شنا اندامی است که در تنفس، تولید صدا و دریافت اصوات در برخی از ماهیان نقش دارد (۳). ماهیان با استفاده از ماهیچه‌هایی که بر روی یا نزدیک کیسه‌شنا وجود دارند و عضلات صوتی، صداها طبل‌مانند تولید می‌کنند (۲). عضلات صوتی کیسه‌شنا ماهیان، سریع‌ترین ماهیچه‌ها در میان ماهیچه‌های مهره‌داران بوده و دارای فیبرهایی با سازگاری‌های متعدد بیوشیمیایی و ساختاری برای سرعت هستند. ماهیچه‌های صوتی به دو شکل‌اند: 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 به‌کار 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 اجزای اسکلتی منشا می‌گیرند (۴). صداها اغلب به وسیله عملکرد اختصاصی ماهیچه‌های مخطط سریع منقبض

- 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

می شوند. دو مهره اول دارای دنده های فوق عصبی^۳ هستند، که در تمام جهات قابلیت حرکت داشته و توسط یک تاندون انتهایی به کیسه شنا متصل می شود. دنده های فوق عصبی، دنده هایی هستند که در ابتدای ستون فقرات بوده و نسبت به دنده های دیگر، بالاتر قرار دارند. مهره سوم دارای یک صفحه استخوانی پهن است، که به کیسه شنا متصل شده و به چهارمین مهره متصل می شود. دنده ها از جسم مهره های ۳ تا ۵ و بخش کوتاه مهره ششم^۴، مفصل می شوند. هر دنده دارای ۳ رباط است و در این بخش زردپی هایی هم وجود دارند که تشخیص آنها از رباطها مشکل است. به نظر می رسد، بخش جلویی-پشتی کیسه شنا به دلیل کمتر شدن ضخامت لایه پوششی نازک تر می باشد. باحرکات جلو و عقب دنده ها به طور همزمان، غشای خارجی کیسه شنا نیز به حرکت درمی آید. انقباض های عضلات صوتی، استخوان های درون ماهیچه ای، دنده ها و رباط های کیسه شنا را به حرکت در می آورد. در طول دوره انقباض عضلات، رباطها و زردپی ها به بازگرداندن مجموعه به حالت اول نقش دارند (۵).



شکل ۱- روند تولید صدا به وسیله روزنه کیسه شنا (۱)

شونده^۱، تولید می شوند. صداها در برخی از گونه های ماهیان به صورت کاملا 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 ماهیچه ای مربوط می شود، این سرعت بسیار زیاد عضلات کیسه شنا، ناشی از سرعت استراحت^۲ بسیار سریع آن هاست. این ویژگی، از سازگاری های متعدد مورفولوژیکی و بیوشیمیایی ناشی می شود؛ به عنوان مثال، وجود ایزوفرم های پروتئین تخصص یافته منحصر به فردی که به فرآیند استراحت کمک می کند (ایزوفرم پارآلبومین، که در واقع، آلبومین باند شده با کلسیم است و وزن مولکولی پایینی دارد)، غلظت بالای محتویات سلولی (میتوکندری های بیشتر)، فیبرها و میوفیبریل های نازک تر عضلات صوتی، شبکه سارکوپلاسمی توسعه یافته پیچیده و نزدیک تر بودن آنها به رگ های خونی. مجموعه این ویژگی ها، می تواند سبب جریان سریع متابولیت ها و کلسیم شود (۴)، (۱) و (۵).

مهره ها و اجزای اسکلتی

منطقه خلفی کیسه شنا، دراز و باریک بوده و به مهره های شکمی متصل می شود. منفذ کیسه شنا به شکل قطره اشکی در هر طرف قرار دارد، و بخشی از بافت کیسه به دو قسمت از ناحیه پشتی متصل شده است. جفت عضلات صوتی از دیواره بالایی چشم (حده) تا وجه پیشین کیسه شنا در جلوی منفذ کیسه شنا کشیده شده اند. این عضلات ساختار حلزونی را ایجاد می کنند (شکل ۱ C). میوفیبریل های مرکزی به صورت مستقیم و خطی اند، در حالی که میوفیبریل های پیرامونی بیشتر پیچ خورده اند (۱).

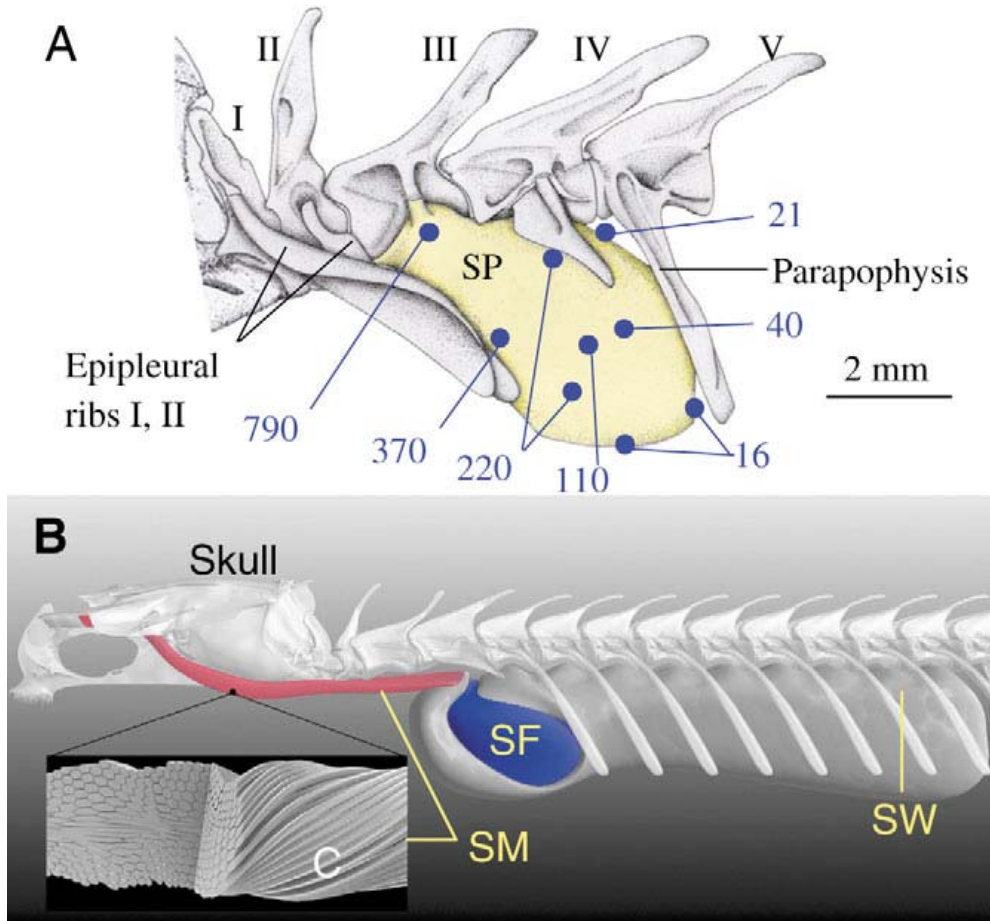
فرآیند تولید صدا در ناحیه ۶ مهره اول رخ می دهد. مهره های اول و دوم فاقد دنده هستند، اما هر کدام دارای استخوان های بین عضلانی اند که به کمان عصبی متصل

3- Epineural ribs
4- Parapophysis

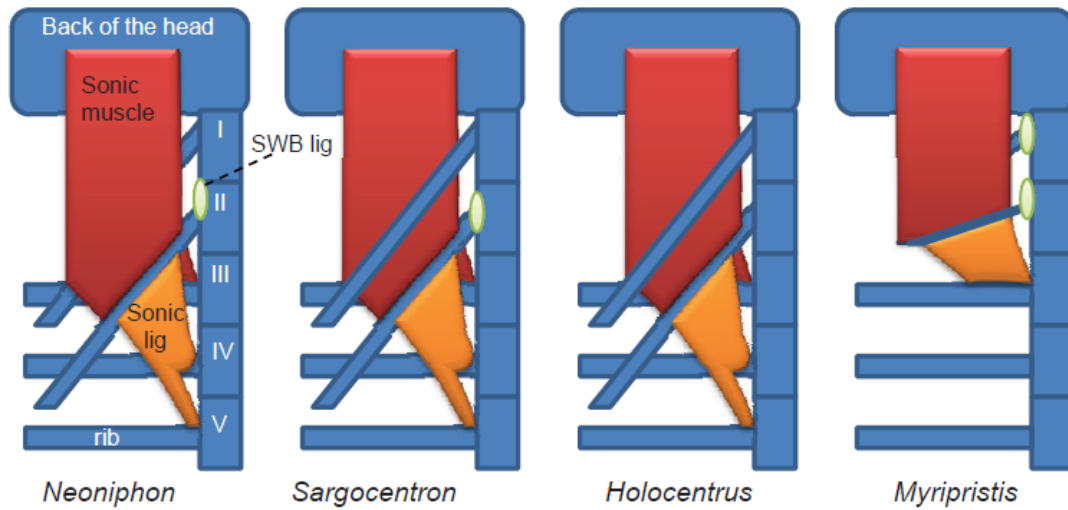
1- fastcontracting
2- Relaxation

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).

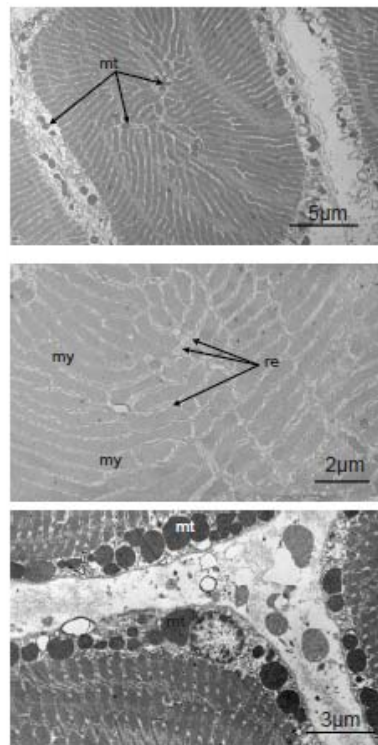
در مطالعه ای که بر روی ماهیان Carapid انجام شد مشخص شد: این ماهیان با مکانیسم پیچیده کیسه شنا صدا تولید می‌کنند، که شامل اجزای اسکلتی و رشته های ماهیچه ای صوتی خارجی با ساختار میوفیبری حلزونی خاصی است؛ وقتی ماهیچه های صوتی منقبض می‌شوند، کششی در



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 آنرا مشخص می‌کنند، که بصورت جانبی و به سمت حاشیه خلفی کاهش پیدا می‌کند. B: نگاه جانبی چپ شماتیک به استخوان (دنده‌های فوق عصبی و کیسه شنا بدون صفحه)، عضلات صوتی و کیسه شنا. C: ساختار مارپیچ میوفیبریل هارا 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).

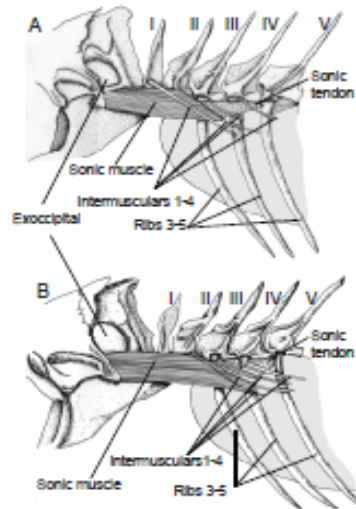


شکل ۳- ساختارهای تولید صوت در جنس های خانواده holocentridae (۵).



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

(B) *Neoniphon samara* (۵)

پژوهشی، ماهی *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 تخم ریزی بودند. این صداها می‌تواند شاخصی جهت تشخیص و شناسایی مناطق تخم ریزی 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 صداها می‌باشد. مطالعه مشخص شد اعضای این گونه قادر به تولید صداها می‌باشد. قوی، در محدوده کمتر از ۵۰ تا ۵۰۰ هرتز، به کمک عضلات خاص کیسه شنای خود می‌باشند (۲).

در مطالعه جنس‌های (*Holocentrus*, *Myripristis*, *Neoniphon*, *Sargocentron*) از خانواده *Holocentridae* که از ماهیان تولید کننده صوت در مناطق مرجانی اند مشخص شد صداها تولید شده در محدوده ۸۰ تا ۱۱۰ هرتز باشد. 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 مرتبط اند تولید می‌شود. سرعت انقباض ماهیچه‌ها به سرعت تحریک پایانه‌های عصبی آکسون‌های تحریک کننده و وضعیت عضلات صوتی بستگی دارد که فرکانس اساسی صدا را در این گونه‌ها تعیین می‌کند (۵).

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 می‌دهد (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* (طبل) 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 توانایی شان در تولید صداها کلاغ مانند و طبل مانند معروف‌اند. برای شناخت و شناسایی محل‌های تخم ریزی شوریده‌ماهیان و حفاظت از آن‌ها می‌توان از صداهاشان استفاده نمود. این ماهیان صداها خاص گونه‌ای دارند، که به رفتار تولید مثلی آن‌ها مربوط می‌باشد. اغلب این صداها در فصل تولیدمثل تولید می‌شود و صداها از غروب آفتاب تا نیمه‌های شب به گوش می‌رسد. در

1- Anabantoids
2- Sciaenidae

- 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.

نتیجه گیری

انواع مختلفی از صداها در میان ماهیان وجود دارد، که به فیزیولوژی تولید آن بازمی‌گردد. در این زمینه، کیسه شنا 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 می‌کند، 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., Fine, M. L., 2006. Sound production mechanism in carapid fish: first