روش‌شناسی مطالعات فیلوژنی صوتی و مولکولی در پرندگان آوازه‌خوان
مطالعه موردی: خانواده مگس‌گیرها Muscicapidae

- **زهره نصیری**: گروه محیط‌زیست، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس، نور، صندوق پستی: ۳۵۶-٤٦٤١٤
- **سیدمحمود قاسمپوری***: گروه محیط‌زیست، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس، نور، صندوق پستی: ۳۵٦-٤٦٤١٤
- **منصور علی‌آبادیان**: گروه زیست‌شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه فردوسی مشهد، صندوق پستی: ۱۱۱۱-۹۱۷۷۵

تاریخ دریافت: شهریور ۱۳۹۵ تاریخ پذیرش: آذر ۱۳۹۵

چکیده

پرندگان از جمله مهره‌دارانی می‌باشند که از اصوات متنوع برخوردارند و این ویژگی به خاطر وجود اندام تخصصی تولید صدا یا همان جعبه صوت (syrinx) می‌باشد. خانواده مگس‌گیرها (Muscicapidea) گروهی از پرندگان آوازخوان و خانواده‌ای از راسته گنجشک‌سانان می‌باشند که در زیستگاه‌های متنوعی دیده می‌شوند و قادر به یادگیری و تقلید صدا هستند. هم‌چنین این خانواده در رده‌بندی در سطح جنس و گونه براساس مطالعات مولکولی از ابهامات بسیاری برخوردار می‌باشد که انجام مطالعات اصوات این گروه و ترسیم فیلوژنی صوتی و مقایسه آن با فیلوژنی مولکولی احتمالاً می‌تواند به بعضی از این مسائل پاسخ دهد. در این راستا آوازهای مربوط به تعدادی از گونه‌های جنس‌های مختلف این خانواده مورد تجزیه و تحلیل توسط نرم‌افزار Raven Pro version ۱,۵ قرار گرفت و هفت ویژگی آوایی کدگذاری گردید و در نهایت فیلوژنی صوتی با دو الگوریتم نزدیک‌ترین همسایه (NJ) و روش جفت گروه بدون وزن با میانگین حسابی (UPGMA) توسط نرم‌افزارهای Phylip ۳,٦۰ و PAUP ٤,۰ ترسیم شد. نتایج حاکی از عدم انطباق نسبی بین درخت حاصل از فیلوژنی صوتی با آخرین فیلوژنی پذیرفته شده مولکولی این خانواده بود. موارد عدم انطباق می‌تواند به‌میزان یادگیری و تقلید صدا در این خانواده مربوط باشد. در مجموع درخت فیلوژنی ترسیم شده به‌روش NJ با ٦۲ درصد انطباق در مقابل درخت فیلوژنی به‌روش UPGMA با ٤۵ درصد انطباق با درخت مولکولی، از ارزش تاکسونومیکی بالاتری در فیلوژنی صوتی برخوردار می‌باشد.

کلمات کلیدی: اصوات، Muscicapidae، فیلوژنی صوتی، فیلوژنی مولکولی

* پست الکترونیکی نویسنده مسئول: ghasempm@modares.ac.ir

مقدمه

پرندگان بیشترین توانایی تولید صدا را در میان مهره‌داران دارا هستند و مجموعه اصوات آن‌ها در میان شاخه جانوران از غنا و تنوع بسیاری برخوردار است. اصوات در پرندگان می‌تواند به دو دسته اصلی آواز (Song) و ندا (Call) تقسیم شود(Catchpole و همکاران، ۲۰۰۸). اغلب نداها نسبت به آوازها دارای نت‌های ساده‌تری می‌باشند. یک آواز از بخش‌هایی مانند هجا (syllable)، عبارت (phrase) و نت (note) تشکیل شده است (Baker،۲۰۰۱؛ Spector، ۱۹۹۴). تنوع در آوازها بسته به اندازه بدن و مورفولوژی منقار متفاوت است و این ویژگی‌ها قادرند سیگنال‌های صوتی را در پرنده تکامل ببخشند. به‌عنوان مثال در پرندگان با جثه و منقاربزرگ، آوازها با نرخ پایین از تکرار هجا و فرکانس، تکامل پیدا کرده است (Podos، ۲۰۰۱). اصوات پرندگان، در برخی از گونه‌ها حتی قابلیت بهتری نسبت به ریخت‌شناسی برای شناسایی دارا هستند (Gill، ۲۰۰۷). اندام ویژه تولید صدا یا همان سرینکس (Brackenbury، ۱۹۸۹)در پرندگان آوازخوان که گروه خاصی از راسته گنجشک‌سانان می‌باشند را به‌خاطر وجود ماهیچه‌های Syringeal متعدد و پیچیده از سایرین مجزا کرده است و به‌همین علت است که به این گروه از پرندگان آواز خوان، آوازخوان‌های حقیقی گفته می‌شود (Catchpole و همکاران، ۲۰۰۸). پرندگان آوازخوان این توانایی را دارند که صداهای اطراف خود را بیاموزند و تقلید نمایند (Marler، ۱۹۹۰؛ Kroodsma و Baylis، ۱۹۸۲). خانواده Muscicapidae یا همان Chats and flycatchers از پرندگان آوازخوانی محسوب می‌شوند که متنوع‌ترین تاکسون را دارا هستند. ارزیابی‌های متفاوتی در مورد طبقه‌بندی فیلوژنی جنس‌های موجود در خانواده Muscicapidae براساس مطالعات مولکولی بر پایه ژن‌های میتوکندریایی و ریخت شناسی در آن‌ها صورت گرفته است. در بعضی از رده‌بندی‌ها این خانواده از ۴۸ جنس و ۲۷۵ گونه (Clements و همکاران، ۲۰۱۶؛ Dickinson، ۲۰۰۳) در بعضی دیگر ۱۸ جنس و ۱۱۶ گونه (del Hoyo و همکاران، ۲۰۰۶) و در جدیدترین طبقه‌بندی از ۵۷ جنس و ۳۰۳ گونه تشکیل شده است (Dickinson، ۲۰۱۴). اعضای این خانواده در زیستگاه‌های متنوعی از جنگل‌های بارانی، بیابان‌ها، کوه‌ها و تندراهای قطبی یافت می‌شوند (Cramp، ۱۹۸۸). فاکتورهای اکولوژیکی و شرایط زیستگاه‌ها یکی از فاکتورهایی است که می‌تواند نقش مهمی در شکل‌گیری آواهای گونه‌ها داشته باشد هرچند که گونه‌ها از نظر فیلوژنی ارتباط نزدیکی با یکدیگر داشته باشند (Hunter و Krebs، ۱۹۷۹؛ Nottebohm، ۱۹۷۵).

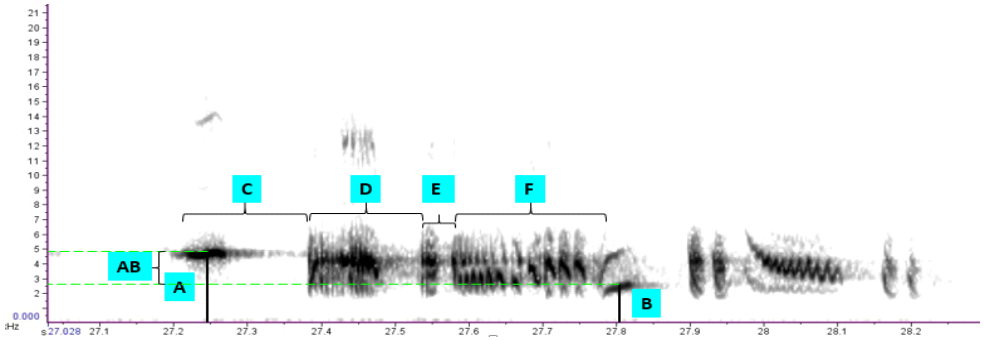
از آن‌جایی که آواها شاخص‌هایی حساس از گونه‌زایی و واگرایی جمعیتی هستند، به‌طور معمول می‌توانند در رده‌بندی جدید در سطح گونه (Alstrom و همکاران، ۲۰۰۷؛ Athreya ، ۲۰۰۶؛ Cuervo و همکاران، ۲۰۰۵) کشف گونه‌های جدید از دل گونه‌های پنهان (Marten و Eck، ۱۹۹۱)، ارزیابی رده‌بندی تاکسونومیک در سطح آرایه‌ها (Roselaar،۱۹۹۴) و استنباط روابط خویشاوندی (Miller، ۱۹۹۶)، مورد استفاده قرار گیرند. آواها به‌خصوص آواهای ساده در گونه‌هایی که قابلیت یادگیری اصوات را ندارند، حاوی اطلاعات فیلوژنتیکی می‌باشند (McCracken و همکاران، ۱۹۹۷) هم‌چنین مطالعه اصوات در مورد گونه‌هایی که توانایی یادگیری دارند می‌توانند مفید واقع شود (Raposo و Hofling، ۲۰۰۳). معمولاً مطالعاتی که در مورد اصوات صورت گرفته است در زمینه نداها بوده است. نتایج James و همکاران (۱۹۸۶) نشان داده که استفاده از نداها در مرغ طوفان می‌تواند تاکسون‌های مرغ طوفان را به‌صورت معنی‌دار از بقیه جدا کند تا در مطالعات سیستماتیک به‌کار گرفته شود. Iddi (۲۰۰۸) به بررسی فیلوژنی خانواده Nectarinidae براساس آواها نموده که نتایج نشان‌دهنده تبعیت Flowerpeckers از طبقه‌بندی قدیمی و عدم جداسازی Sunbirdsها از Spiderhunters، اما همین تحقیقات موقعیت کلاد منشا در Sunbirdsها را مطابق با تحقیقات مولکولی یافت. با وجود این، تاکنون مطالعات کمی در مورد استفاده از آوازها برای مطالعات فیلوژنی صورت گرفته است.

هدف از انجام این مطالعه ترسیم فیلوژنی صوتی برای خانواده Muscicapidae براساس آواز این پرندگان می‌باشد و بررسی کارایی این نوع فیلوژنی برای این خانواده پیچیده و پاسخ به این سوال که آیا فیلوژنی صوتی مطابق با فیلوژنی مولکولی می‌باشد یا خیر؟ و آیا ممکن است این روش به برخی از ابهامات تاکسونومیک در این خانواده پیچیده پاسخ بدهد؟

مواد و روش‌ها

برای ترسیم فیلوژنی صوتی، اولین مرحله انتخاب گونه‌ها به‌طور یکنواخت از روی درخت فیلوژنی مولکولی ترسیم شده خانواده Muscicapidae بود (Sangster و همکاران، ۲۰۱۰). آواز مربوط به دم سرخ‌ها از ارتفاعات البرز مرکزی شمالی حد فاصل کجور (حوضه نوشهر) تا کدیر (غرب حوضه شهرستان نور) ضبط شد. اصوات سایر گونه‌های این خانواده، از منابع چهار جلدی لوح فشرده صدای پرندگان اروپا Jean-Claude Roche و پایگاه‌های آنلاین دریافت گردید. در مجموع

آواز مربوط به حدود ۴۰ گونه مورد استفاده قرارگرفت. برای ترسیم اسپکتوگرام‌های اصوات براساس فرکانس در محور زمان، اصوات در نرم‌افزار Format Factory version ۳,۳,۳ به‌صورت WAV درآمده تا وارد محیط نرم‌افزاری Raven Pro version ۱,۵ محصول بخش پرنده شناسی دانشگاه کورنل گردد. به‌کمک عوامل زمان، بسامد و قدرت اصوات که در نمودار شماتیکی plus-minus نرم‌افزار به‌دست آمده بود اغتشاشات محیطی و اصوات ناخواسته سایر پرندگان از متن اصلی صوت پرندهٔ هدف تفکیک شد. سپس سطح روشنایی و کنتراست اسپکتوگرام‌های به‌دست آمده از نمودارهای مذکور تنظیم گردید و تصاویر هر کدام برای اندازه‌گیری زمان به‌طور جداگانه ذخیره شد. در این مرحله ویژگی‌های صوتی اسپکتوگرام‌های مربوط به هر گونه از جنس‌های مورد مطالعه، توسط نرم‌افزار Microstructure Measurement پس از کالیبره شدن بر روی محور زمان اندازه‌گیری شد تا هر یک از پارامترهای مورد توجه در صوت پرنده با دقت صدم ثانیه به‌دست آید (شکل ۱). در مرحله بعد، برای ترسیم درخت فیلوژنی براساس داده‌های صوتی توسط نرم‌افزار PAUP ۴,۰، داده‌های زیست‌سنجی مربوط به هفت ویژگی صوتی به کدهای باینری یعنی ۰-۱ تبدیل شد. تبدیل اندازه‌ها به کدهای عددی با نرم‌افزار Phylip ۳,۶۰ انجام شد (شکل ۲) (Felsenstein، ۱۹۸۹). خروجی نرم‌افزار Phylip ۳,۶۰ برای ورود به نرم‌افزار PAUP ۴,۰ به فرمت نکسوس تبدیل شد (Swofford، ۱۹۹۶). در نهایت درخت فیلوژنی صوتی در دو الگوریتم مختلف یعنی فاصله اقلیدوسی UPGMA و روش نزدیک‌ترین همسایه NJ ترسیم گردید.



شکل ۱: ویژگی‌های هفت گانه اصوات در یکی از اعضای خانواده Muscicapidae

```
#NEXUS

begin data;
        dimensions ntax=40 nchar=38;
        format datatype=standard missing=?;

matrix

1           11111111111111011111111011111111111111
2           11111000111100011110110011001110011111
3           11110000111110001100011111111111111111110
4           11110000111111010000111111111111111111111
5           11111100111110011101111111111111111111111
6           11111000111100011110111111111111111111100
7           11111100111110011110111111111111111111111
8           11111110111111111111011101111111100100000
9           11111100111110011110111111111111111111111
10          11111000111100011110111111111111111111111
11          11100000111111001000011111111111111111111
12          11100000111100001110011111111111111011100
13          10000000111110000000011101110111011101110
14          11110000111100011100111111111111111111100
15          11000000110000011100100010001111111111111
16          11111000111100011110111011111111111111111
17          10000000100000011110110010001000011000
18          11100000111000011100111011101110111011100
19          11111110111111101111011001100111001111010
20          11000000111000011000111111111111111111111
21          11000000111111000000111011101110111011110
22          11100000110000011110000000000000000010000
23          11111000111110011100111111111111111111111
24          00000000000000001111011111111111111111111
25          11110000111100011100111111111111111111111
26          11111100111111001111010001110111011111111
27          11111000111000011111111011111111111111111
28          11111000111100011100111011111111111111111
29          11110000111110011100111111111111111111111
30          11110000111100011000111111111111111111111
31          11110000111000011110111111111111111111111
32          11100000111100011000111011101111111111111
33          11111100111111001111011111111111111111111
34          11000000111111001000011101111111111011111
35          11111111111111011111110001110111011111111
36          11111100111111001111011111111111111111110
37          11110000111111001100011001110111000000000
38          11111000111111011000111111101111111111111
39          11111111111111011111111111111111111111111
40          11111100111100011111111101111111011111

;
end;
```

شکل ۲: ورودی داده‌های باینری مستخرج از نرم افزار Phylip ۳,۶۰ برای ترسیم درخت تبارشناسی با PAUP ۴,۰

جدول ۱: ویژگی‌های اندازه‌گیری شده از اسپکتروگرام‌های حاصل از Raven Pro ۱,۵

F	E	D	C	AB	B	A	*Sicencific Name*
۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۵۴	۰/۴۱	۱/۹۲	۲/۳۳	*Alethedia_demata*
۰/۰۰	۱/۸۱	۰/۶۹	۰/۸۵	۰/۹۷	۴/۴۸	۵/۴۵	*Alethepotio_cephala*
۰/۵۲	۰/۲۱	۰/۲۷	۰/۳۲	۳/۰۰	۲/۹۲	۵/۹۲	*Brachypteryx_Montana*
۰/۰۷	۰/۲۸	۰/۲۵	۰/۲۷	۳/۸۵	۱/۸۸	۵/۷۳	*Campicoloides_bifasciatus*
۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۴۴	۰/۴۴	۱/۳۵	۲/۹۱	۴/۲۶	*Catharus_fuscater*
۱/۷۱	۰/۳۳	۰/۳۲	۰/۳۵	۰/۶۳	۳/۹۳	۴/۵۶	*Cercomela_familiaris*
۰/۰۵	۰/۰۶	۰/۱۰	۰/۱۵	۱/۰۹	۳/۰۳	۴/۱۳	*Cercotrichasg_alactotes*
۳/۶۴	۲/۰۶	۰/۲۸	۰/۹۲	۱/۴۰	۱/۳۵	۲/۷۰	*Copsychusluz_oniensis*
۰/۲۹	۰/۲۰	۰/۲۶	۰/۲۷	۱/۴۵	۲/۵۴	۳/۹۹	*Cossypha_heuglini*
۰/۴۴	۰/۲۴	۰/۲۹	۰/۲۶	۰/۶۸	۳/۹۱	۴/۵۹	*Cyanoptilacya_nomelaena*
۰/۴۱	۰/۴۰	۰/۱۸	۰/۳۱	۳/۹۹	۳/۲۲	۷/۲۱	*Cyornispoli_ogenys*
۱/۸۸	۱/۱۴	۰/۲۶	۰/۲۸	۱/۶۵	۵/۳۷	۷/۰۲	*Enicurusrufi_capillus*
۱/۲۵	۰/۵۱	۰/۵۸	۰/۵۸	۴/۴۸	۴/۳۹	۸/۸۴	*Erithacus_rubacula*
۲/۲۰	۰/۳۷	۰/۳۹	۰/۳۵	۱/۸۵	۳/۹۱	۵/۷۶	*Eumyias_indigo*
۰/۱۷	۰/۲۵	۲/۵۱	۳/۴۹	۲/۰۴	۶/۰۱	۸/۰۶	*Ficedula_hyperythra*
۰/۰۰	۰/۲۶	۰/۰۵	۰/۵۶	۰/۸۰	۴/۴۶	۵/۲۶	*Ficedula_strophiata*
۳/۱۸	۲/۹۰	۲/۶۹	۲/۴۸	۱/۰۲	۸/۰۰	۹/۰۲	*Fraseria_cinerascens*
۱/۵۷	۰/۹۷	۰/۵۱	۰/۵۶	۱/۸۸	۵/۱۸	۷/۰۷	*Fraseria_ocreata*
۱/۲۵	۱/۵۴	۲/۱۹	۱/۶۳	۱/۱۷	۲/۲۳	۳/۴۰	*Heinrichia_calligyna*
۰/۱۸	۰/۱۴	۰/۲۱	۰/۲۴	۲/۷۶	۵/۱۶	۷/۹۳	*Hodgsonius_phaenicuriodes*
۰/۹۵	۰/۶۸	۱/۰۱	۱/۴۳	۵/۹۹	۲/۳۲	۸/۳۱	*Luscinia_luscinia*
۳/۵۵	۴/۵۵	۴/۷۱	۳/۸۱	۱/۲۶	۵/۷۲	۶/۹۸	*Melaenornis_microrhynchus*
۰/۱۴	۰/۱۵	۰/۱۵	۰/۱۸	۲/۱۳	۲/۸۱	۴/۸۸	*Monticola_solitaries*
۰/۱۲	۰/۰۸	۰/۰۷	۰/۰۶	۰/۶۷	۸/۸۳	۹/۵۱	*Muscicapa_sibirica*
۰/۱۸	۰/۲۳	۰/۲۰	۰/۴۱	۱/۷۹	۳/۸۹	۵/۶۸	*Myiomela_leucura*
۰/۰۸	۱/۴۹	۱/۴۶	۳/۰۱	۱/۱۱	۲/۹۸	۴/۰۹	*Myrmecocichla_aethiops*
۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۶۴	۰/۰۰	۴/۵۰	۴/۵۰	*Neocossyphus_poensis*
۰/۳۲	۰/۱۱	۰/۲۷	۰/۷۱	۱/۶۳	۴/۱۸	۵/۸۱	*Niltava_vivida*
۰/۲۱	۰/۰۸	۰/۱۳	۰/۱۵	۲/۴۱	۳/۲۸	۵/۶۹	*Oenanthe_oenanth*
۰/۲۱	۰/۱۷	۰/۱۴	۰/۱۸	۲/۷۸	۳/۵۹	۶/۳۸	*Oenanthe_pleschanka*
۰/۲۶	۰/۲۷	۰/۲۹	۰/۱۴	۱/۲۸	۴/۸۴	۶/۱۲	*Phoenicurus_ochruros*
۰/۴۹	۰/۲۶	۰/۷۵	۰/۹۶	۳/۰۹	۳/۵۸	۶/۶۷	*Phoenicurus_phoenicurus*
۰/۱۸	۰/۲۴	۰/۴۶	۰/۳۲	۰/۵۸	۳/۱۷	۳/۷۵	*Pogonocichla_stellate*
۰/۳۲	۰/۵۳	۰/۳۰	۰/۸۶	۴/۳۴	۳/۴۷	۷/۸۱	*Rhinomyias_olivaceus*
۰/۰۰	۰/۷۲	۱/۲۱	۲/۵۲	۰/۲۷	۱/۷۴	۲/۰۱	*Stizorhina_finschi*
۰/۵۴	۰/۲۴	۰/۲۷	۰/۲۱	۰/۸۳	۳/۴۱	۴/۲۴	*Stiphrornisery_throthorax*
۵/۰۰	۰/۶۴	۰/۶۴	۱/۶۴	۲/۹۳	۲/۸۳	۵/۷۶	*Saxicola_caprata*
۰/۳۵	۰/۳۳	۱/۲۴	۰/۳۱	۲/۷۷	۲/۲۷	۵/۰۵	*Turdus_merula*
۰/۰۹	۰/۰۴	۰/۰۴	۰/۰۸	۰/۲۳	۱/۷۲	۱/۹۵	*Sheppardia aequatorialis*
۰/۰۰	۰/۶۳	۰/۳۸	۰/۸۱	۰/۲۶	۳/۹۳	۴/۱۹	*Swynnertonis wynnertoni*

نتایج

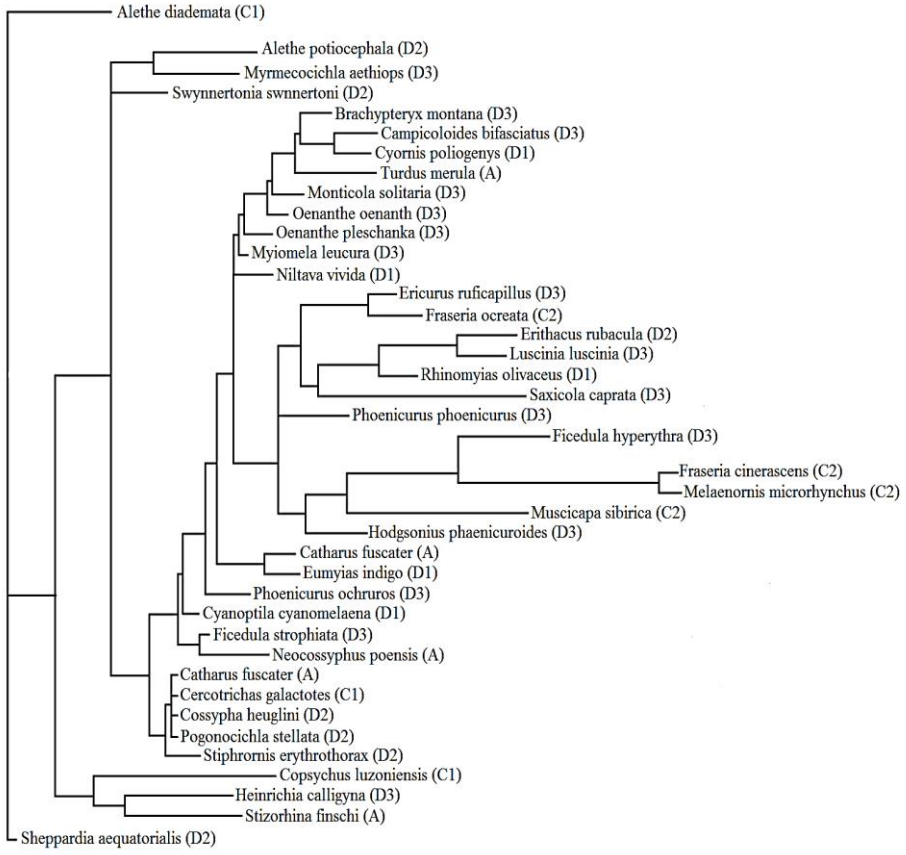
اندازه‌گیری‌های مربوط به ۴۰ گونه پرنده از خانواده Muscicupidae که در هفت ویژگی برجسته صوتی خود مورد مطالعه قرار گرفتند در جدول ۱ آمده است. سه ستون اول یعنی A، B و AB به‌ترتیب حد وسط فرکانس شروع، حد وسط فرکانس پایانی و اختلاف فرکانس بین صدای شروع و پایانی پرنده برحسب kHz می‌باشد. چهار ستون C، D، E و F نیز مربوط به طول ویژگی‌های چهارگانه اصوات می‌باشد. آماره‌های مربوط به ویژگی‌های هفت‌گانه در جدول ۲ نشان داده شده است. حد میانی فرکانس شروع با میانگین ۵/۶۵، انحراف استاندارد ۱/۹۱، حداقل ۱/۹۵و حداکثر ۹/۵۱ کیلو هرتز نسبت به بقیه عوامل مورد مطالعه رقم بالاتری را نشان داده است. هم‌چنین، نتایج حاکی از آن است کم و بیش پرندگانی در این خانواده وجود دارند که با نداشتن حداقل یکی از ویژگی‌های چهارگانه دوم (C، D، E، F) بر حسب ثانیه تفاوت بارزی در الگوی صوتی با سایر خویشاوندان خود دارند.

جدول ۲: آماره‌های توصیفی اسپکتروگرام اصوات گونه‌های مطالعه شده در خانواده Muscicapidae

	فرکانس‌های سه‌گانه (kHz)			فاصله زمانی، ویژگی‌های صوتی، چهارگانه (ثانیه)				
	A	B	AB	C	D	E	F
میانگین	۵/۵۶	۳/۷۴	۱/۸۲	۰/۸۶	۰/۶۸	۰/۶۳	۰/۷۹
انحراف استاندارد	۱/۹۱	۱/۵۸	۱/۳۵	۰/۹۷	۰/۹۴	۰/۸۹	۱/۱۹
حداقل	۱/۹۵	۱/۳۵	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰
حداکثر	۹/۵۱	۸/۸۳	۵/۹۹	۳/۸۱	۴/۷۱	۴/۵۵	۵/۰۰

بحث

خانواده Muscicapidae عضو گروهی از پرندگان آوازخوانی می‌باشد که در بعضی از جنس‌ها میزان تقلید صدا و یادگیری بالاست (Kurashkina، ۲۰۱۲). دو نوع درخت به‌دست آمده با Sangster و همکاران(۲۰۱۰)مقایسه‌شدوموارد هم‌خوانی جایگاه گونه در الگوریتم مذکور با علامت "+" و عدم هم‌خوانی‌با علامت "-" در مقابل هر گونه مشخص‌شد (شکل ۳). از آن‌جایی صوت پرنده می‌تواند حالت اکتسابی پیدا کند قادر خواهد بود که جایگاه گونه را در فیلوژنی صوتی تغییر دهد. فیلوژنی صوتی این گروه، با دشواری بالا در فیلوژنی مولکولی، کمی از اصول تاکسونومیک صوتی پیروی می‌کنند و گروه‌های اصلی (گروه Dشامل زیر خانواده‌های Niltavinae، Erithacinae، Saxicolinae و گروه C شامل زیر خانواده Muscicapinae) و گروه‌های درونی (کلاد D۳ زیرخانواده Saxicolinaeوکلاد C۲ تبار Muscicapini) در درخت NJ شباهت بیش‌تری به فیلوژنی مولکولی نسبت به درخت UPGMA را از خود نشان می‌دهد و این احتمالاً به‌خاطر شباهت‌های زیستگاهی برخی از آنان باشد. می‌توان گفت یکی از دلایل عدم تطبیق برخی از جنس‌ها به‌دلیل تاثیرپذیری اصوات پرندگان از یکدیگر نیز می‌باشد که باعث ابهام در فیلوژنی صوتی گشته است.



الف	ب
-	-
-	+
-	+
-	+
+	+
+	+
+	+
-	-
+	+
+	+
+	+
+	+
+	+
-	-
-	-
+	+
+	+
+	+
+	+
-	+
-	-
-	+
+	+
+	+
-	-
-	-
-	-
+	+
+	+
-	-
-	+
-	+
+	-

شکل۳: نمودار درختی NJ و صحت آن برای تاکسون‌ها (الف) در مقایسه با همان گونه‌ها براساس UPGMA (ب) ۲۵ مورد آرایه‌بندی صحیح در برابر۱۸ مورد. علامت‌ها + تابعیت درخت‌ها را از درخت مولکولی نشان می‌دهد (درخت مولکولی از Sangster و همکاران در ۲۰۱۰ اقتباس شده است).

در درخت NJ پیشگام‌ترین شاخه‌ها مربوط به گروه C است که با یک چرخش ۱۸۰درجه به قسمت گروه بیرونی در پایین می‌رسد. در دو گروه‌بالا درشاخه‌های تبارشناسی NJنظم بیش‌تری در حضور گروه‌های D۲ وD۳ در بین شاخه‌ها دیده می‌شود و نشان‌دهنده این است که درخت NJحاصل از اصوات ارزش تاکسونومی بالاتری نسبت به درخت UPGMA دارد. نتایج ترسیم درخت فیلوژنی با الگوریتم UPGMA

که براساس شباهت‌های ظاهری عمل می‌کند، بیانگر عدم تطابق جایگاه بعضی از گونه ها با رده بندی تاکسونومی است. به عنوان تنها نتیجه از نمودار درختی UPGMA می‌توان گفت علی‌رغم این‌که در گروه‌های اصلی در مقایسه با گروه‌بندی مولکولی در هم آمیختگی و بی نظمی وجود دارد اما آرایه Muscicapini هم‌چنان به عنوان یک گروه بیرونی از جایگاه خودبرخوردار است. از آن‌جایی که این گروه یعنی خانواده Muscicapidae هنوز هم در دل خود گونه‌های جدیدی را از یک گروه کمپلکس گونه‌ای نشان می‌دهد (Förschler و همکاران، ۲۰۱۰). می‌توان این پیشنهاد را ارائه کرد که به کمک روش‌های مولکولی و با پشتیبانی تحلیل‌های صوتی می‌توان به وضوح بهتری در سیستماتیک آن‌ها نائل آمد. هرچندکه به‌صورت نتیجه‌گیری کلی مشخص شد، درخت NJبرتری‌های مشخصی به درخت UPGMA در تحلیل‌های خویشاوندی تکاملی پرندگان دارد اما باید برای جلوگیری از قرارگیری نادرست برخی از گونه‌ها در دارنگار صوتی و آرایه‌های پرت، یعنی جنس‌هایی که با حروف D۱،C۲ و A (گروه بیرونی) مشخص شده‌اند، پیشنهاد می‌گردد که انتخاب گونه‌ها از هر جنس و بررسی اصوات آن‌ها به یک منطقه مشخص محدود گردد و شرایط زیستگاه نیز در نظر گرفته شود.

منابع

۱. **Alström, P.; Olsson, U.; Rasmussen, P.C.; Yao, C.T.; Ericson, P.G.P. and Sundberg, P., 2007.** Morphological, vocal and genetic divergence in the Cettia acanthizoides complex (Aves: Cettiidae). Zoological Journal of the Linnean Society. Vol. 149, pp: 437-452.

۲. **Athreya, R., 2006.** A new species of Liocichla (Aves: Timaliidae) from Eaglenest Wildlife Santuary, Arunachel Pradesh, India. Indian Birds. Vol. 2, pp: 82-94.

۳. **Brackenbury, J.H., 1989.** Functions of the syrinx and the control of sound production. In: Form and Function in Birds (ed. A.S. King & J. McLelland), pp. 193-220. San Diego, CA: Academic Press.

٤. **Baker, M.C., 2001.** Bird Song Research: The Past 100 Years. Bird Behavior. Vol. 14, pp: 3-50.

٥. **Clements, J.F.; Schulenberg, T.S.; Iliff, M.J.; Roberson, D.; Fredericks, T.A.; Sullivan, B.L. and Wood, C.L., 2016.** The eBird/Clements checklist of birds of the world: v2016. http://www.birds.cornell.edu/clementschecklist/download/.

٦. **Cramp, S., 1988.** The Birds of the Western Palearctic. Vol. 5, Oxford UP, Oxford.

۷. **Catchpole, C. K. and Slatera, P. J. B., 2008.** Bird Song: Biological Themes and Variations. Retrieved (www.cambridge.org/9780521872423).

۸. **Cuervo, A.M.; Cadena, C.D. and Krabbe, N., 2005.** Scytalopus stilesi, a new species of tapaculo (Rhinocryptidae) from the Cordillera Central of Colombia. Auk. Vol. 122, pp: ٤٤٥-٤٦٣.

۹. **Dickinson, E.C., 2003.** The Howard and Moore Complete Checklist of the Birds of the World (3rd ed.). Christopher Helm, London.

۱۰. **Dickinson, E.C. and Chistdis, E., 2014.** The Howard & Moore Coluplete checklist of the birds of the World. Vol. 2, Passerines. Aves Press, Eastbourne.

۱۱. **del Hoyo, J.; Elliott, A. and Christie, D.A., 2006.** Handbook of the Birds of the world. Vol. 11, Old world warbler. Lynx Edicions, Barcelona.

۱۲. **Felsenstein, J., 1989.** PHYLIP-Phylogeny Inference Package (Version 3.2). Cladistics. Vol. 5, pp: 163-166.

۱۳. **Förschler, M.I.; Khoury, F.; Bairlein, F. and Aliabadian, M., 2010.** Phylogeny of the mourning wheatear Oenanthe lugens complex. Molecular Phylogenetics and Evolution. Vol, 56, pp: 758-767.

۱٤. **Gill, F.B., 2007.** Ornithology. 766 p.

۱٥. **Hunter, M.L. and Krebs, J.R., 1979.** Geographical variation in the song of the great tit (Parus major) in relation to ecological factors. The Journal of Animal Ecology. Vol. 48, pp: 759-785.

۱٦. **Iddi, K.N., 2008.** Phylogenies of the sunbirds, spider hunters and flower peckers (Nectariniidae) based on analyses of vocalizations (Doctoral dissertation, University of Greenwich).

۱۷. **James, P.C. and Robertson, H.A., 1986.** How Useful Are Vocalizations in Petrel Systematics? Emu. Vol. 86, pp: 186-189.

۱۸. **Kroodsma, D.E. and Baylis, J.R., 1982.** A world survey of evidence for vocal learning in birds. In D. E. Kroodsma and E. H. Miller (eds). Acoustic communication in birds. Vol. 2, pp: 311-337.

۱۹. **Kurashkina, N.A., 2012.** The formation and motivation of onomatopoeic ornithonyms as a result of ecological and communicative interactions of man and birds. European Online Journal of Natural and Social Sciences. Vol. 1, pp: 5.

۲۰. **Martens, J. and Eck, S., 1991.** Pnoepyga Immaculata N. speine Neue Bodenbewohnende Timalie Aus Dem Nepal-Himalaya. Journal für Ornithologie. Vol. 132, pp: 179-98.

۲۱. **Marler, P., 1990.** Song learning: The interface between behavior and neuroethology. Philosophical Transactions of the Royal Society of London B. Biological Sciences. Vol. 329, pp: 109-114.

۲۲. **McCracken, K.G. and Sheldon, F.H., 1997.** Avian vocalizations and phylogenetic signal. Proceedings of the National Academy of Sciences. Vol. 94, pp: 3833-3836.

۲۳. **Nottebohm, F., 1975.** Continental patterns of song variability in Zonotrichia capensis: some possible ecological correlates. The American Naturalist. Vol. 109, pp: 605-624.

۲٤. **Podos, J., 2001.** Correlated Evolution of Morphology and Vocal Signal Structure in Darwin's Finches. Nature. Vol. 409, pp: 185-188.

۲٥. **Roselaar, C.S., 1994.** Systematic notes on Megapodiidae (Aves, Galliformes), including the description of five new subspecies. Bulletin Zoologisch Museum. Vol. 14, pp: 9-36.

۲٦. **Sangster, G.; Alström, P.; Forsmark, E. and Olsson, U., ۲۰۱۰.** Multi-locus phylogenetic analysis of Old World chats and flycatchers reveals extensive paraphyly at family, subfamily and genus level (Aves: Muscicapidae). Molecular Phylogenetics and Evolution. Vol. 57, pp: 380-392.

۲۷. **Spector, D.A., 1994.** Definition in Biology: The Case of 'Bird Song'. Journal of Theoretical Biology. Vol. 168, pp: 373-381.

۲۸. **Swofford, David L., 1996**. Phylogenetic analysis using parsimony. Options. Vol. 42, pp: 294-307.

۲۹. **Raposo, M.A. and Höfling, E., 2003**. Overestimation of vocal characters in Suboscine taxonomy (Aves: Passeriformes: Tyranni): causes and implications. Lundiana. Vol. 4, pp: 35-42.