دانشگاه آزاد اسلامی، واحد اراک
شاپا ۴۶۶۸-۲۰۰۸
http://jer.iau-arak.ac.ir

فصلنامه تخصصی تحقیقات حشره‌شناسی
(علمی- پژوهشی)
جلد ۸ ، شماره ۱، سال ۱۳۹۵، (۱۱-۲۷)

کلید شناسایی ۱۶ گونه از راست‌بالان شاخک‌بلند (Orthoptera: Ensifera) بر اساس ویژگی‌های بیواکوستیکی

شبنم جعفری [۱]، محمدحسین کاظمی [۲]، محمود شجاعی [۳]، حسین لطفعلی‌زاده [۴]، محسن مفیدی نیستانک [۵]*

۱- دانش‌آموخته، دکتری تخصصی حشره‌شناسی کشاورزی، گروه گیاه‌پزشکی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران
۲- استاد، گروه گیاه‌پزشکی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تبریز
۳- استاد، گروه گیاه‌پزشکی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران
۴- دانشیار، بخش تحقیقات گیاه‌پزشکی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان آذربایجان‌شرقی، تبریز
۵- استادیار، موسسه تحقیقات گیاه‌پزشکی کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران

چکیده

سیگنال‌های صوتی در بسیاری از راسته‌های حشرات متداول بوده و راست‌بالان یکی از شناخته شده‌ترین راسته‌های حشرات در فعالیت‌های صوتی می‌باشند. در تحقیق کنونی، آواز فراخوانی ۱۶ گونه از راست بالان شاخک بلند متعلق به خانواده‌های Gryllidae، Gryllotalpidae و Tettigoniidae ثبت گردید. صداها در طبیعت یا آزمایشگاه از حشرات زنده ضبط شدند. سیگنال‌های صوتی توسط نرم‌افزار MATLAB (نسخه ۲۰۱۳) پردازش و کلید شناسایی تا سطح گونه بر اساس ویژگی‌های صوتی به‌دست آمده طراحی گردیدند.

واژه‌های کلیدی: سیگنال‌های بیواکوستیکی، آواز فراخوانی، سیلابل، اکم، Ensifera

* نویسنده رابط، پست الکترونیکی: *mhkazemi@iaut.ac.ir*
تاریخ دریافت مقاله (۹۴/۷/۱۸) - تاریخ پذیرش مقاله (۹۴/۱۲/۱۹)

مقدمه

صدا در فیبک ارتعاشی است که توسط امواج مکانیکی و در نتیجه آزاد شدن انرژی از چشمه صوت، در محیط‌هایی همانند هوا (با سرعت ۳۴۳ m/s در ۲۰° C)، آب (با سرعت ۱۴۸۴ m/s در ۲۰° C) و زمین (با سرعت تقریبی ۵۰۰۰ m/s؛ بسته به‌میزان تخلخل آن) تحت‌تاثیر دما انتشار می‌یابد. بنابراین جهت تولید و انتشار سیگنال‌های صوتی وجود ماده ضروری است و سرعت امواج صوتی در مواد جامد به‌دلیل تراکم زیاد مولکول‌ها، بیشتر از مایعات و در مایعات نیز بیشتر از گازها می‌باشد (Obrist *et al*., 2010). فرکانس صوتی عبارت است از تعداد سیکل در ثانیه که با هرتز[1] بیان می‌گردد. محدوده فرکانس شنوایی برای گوش انسان ۲۰–۲۰۰۰۰ هرتز است که این محدوده، «صدای قابل شنیدن» نامیده می‌شود (Obrist *et al*., 2010; Ragge & Reynolds, 1998).

علم بیواکوستیک[2] تلفیقی از دو علم زیست‌شناسی و مهندسی صوت بوده و به‌عنوان مطالعه ارتباطات صوتی حیوانات تعریف شده است. سیگنال‌های صوتی اختصاصی گونه[3] بوده و همانند اثر انگشت در انسان‌ها، برای شناسایی افراد مورد استفاده قرار می‌گیرند (Alexander, 1957; Walker, 1964)؛ تغییرات جهانی آب و هوا و تنوع زیستی و گونه‌ای در حشرات نیاز بشر به استفاده از ابزارهای سریع و دقیق جهت شناسایی گونه‌های مختلف را نشان می‌دهد. امروزه جمع‌آوری صدای حشرات به‌عنوان یک ابزار ارزشمند در تحقیقات رده‌بندی و تنوع گونه‌ای به رسمیت شناخته شده است. این ابزار در سال‌های اخیر به‌عنوان یکی از روش‌های شناسایی و تعیین هویت گونه در بسیاری از رده‌های جانوری رواج یافته و در علم حشره‌شناسی نیز با توجه به غنای گونه‌ای و وجود ارتباطات صوتی بین حشرات، مورد توجه قرار گرفته است (Chenz and Maher, 2006; Hao *et al.,* 2012).

نتایج آنالیز سیگنال‌های صوتی حشرات می‌تواند به تنهایی در تفکیک گونه‌ها و همراه با مشخصات مرفولوژی مورد استفاده قرار گیرند (Oliveira *et al*., 2001; Montealegre-Z & Morrs 1999; Ragge, 1990). این اطلاعات در مطالعات رده‌بندی و اکولوژیکی کاربردهای فراوانی داشته و بسیاری از پژوهشگران در بررسی‌های تنوع زیستی از صدای حشرات استفاده می‌کنند (Chesmore & Ohya, 2004; Riede, 1993). همچنین استفاده از این تکنیک، قابلیت شناسایی حشرات در پوشش‌های گیاهی متراکم و حتی در فواصل قابل توجه را دارا می‌باشد؛ به‌طوری‌که مطالعه گونه‌ها به‌روشی غیرتهاجمی (بدون نیاز به شکار آن‌ها) و اقتصادی امکان‌پذیر گردیده و امکان شناسایی افراد در زیستگاه‌های مختلف را که مشاهدات بصری در آن‌ها دشوار یا حتی غیرممکن است فراهم می‌نماید (Miyoshi *et al*., 2007; Gaston & O'Neill, 2004). محققان متعددی، موفقیت استفاده از سیگنال‌های صوتی حشرات در تفکیک گونه‌های مخفی را اذعان نموده و این تکنیک را به‌عنوان روشی کاربردی و دقیق در علم سیستماتیک معرفی نموده‌اند (Sueur & Puissant, 2007; Gerhardt, 2005; David *et al*., 2003; Walker, 1964). بنابراین با توجه به موارد فوق استفاده از این ابزار دقیق و قدرتمند در شناسایی گونه‌ها به‌خصوص در حجم انبوه و در کوتاه‌ترین مدت زمان ضروری می‌باشد.

راست‌بالان (Orthoptera) یکی از باستانی‌ترین و شناخته‌شده‌ترین راسته‌های حشرات در فعالیت‌های صوتی بوده که اکثر گونه‌های آن مجهز به دستگاه تولید صوت می‌باشند (Heller, 2006). بسیاری از گونه‌های راست‌بالان، مجهز به دستگاه تولید صدا هستند که بخش مهمی از فرآیند تولید مثلی آن‌ها است. غالب افراد نر زیرراسته Ensifera در زمان

[1] - Hz
[2] - Bioacoustic
[3] - Species-specific

جفت‌گیری اقدام به تولید آواز فراخوانی می‌نمایند که از مالش بسیار سریع دو بخش تخصص یافته بر قاعده بال‌پوش‌ها[1] تولید می‌گردد. این عمل نقش مهمی در هدایت افراد ماده به سمت آن‌ها دارد (Oliveira *et al*., 2001).

جهت توصیف صدای گونه‌های مورد مطالعه از اصطلاحات زیر استفاده گردید (Heller, 2006; Huber *et al*., 1989; Ragge & Reynolds, 1998):

آواز فراخوانی[2]: صدای تولید شده توسط یک فرد نر جهت جذب افراد ماده هم‌گونه خود

اکم[3]: یک دسته سیلابل متوالی

سیلابل[4]: صدای تولید شده از یک‌بار باز و بستن بال‌ها

فایل[5]: دندانه‌های منظم و مرتبی که اسکلروتینه بوده و بر حسب گونه روی اندام خاصی از بدن حشره (در افراد زیرراسته Ensifera در سطح داخلی بال‌پوش‌ها مشاهده می‌گردد). قرار گرفته که در زمان تولید صدا توسط اسکریپر مالش داده می‌شوند.

اسکریپر یا پلکتروم[6]: لبه تیزی که روی اندام خاصی از بدن حشره (در افراد زیر راسته Ensifera در سطح بیرونی بال‌پوش‌ها مشاهده می‌گردد) قرار گرفته که در زمان تولید صدا روی دندانه‌های فایل کشیده می‌شود

ایمپالس[7]: صدای تولید شده از برخورد یک دندانه (موجود بر فایل) با پلکتروم

وقفه بین اکم‌ها[8]: فاصله زمانی از آخرین ایمپالس موجود در آخرین سیلابل یک اکم تا اولین ایمپالس موجود در اولین سیلابل اکم بعدی

مدت زمان اکم[9]: فاصله زمانی اولین ایمپالس اولین سیلابل تا آخرین ایمپالس آخرین سیلابل در هر اکم

وقفه سیلابلی[10]: فاصله زمانی آخرین ایمپالس تا اولین ایمپالس سیلابل بعدی

مدت زمان سیلابل[11]: فاصله زمانی بین اولین ایمپالس تا آخرین ایمپالس هر سیلابل

دوره سیلابلی[12]: مدت زمان لازم از شروع اولین ایمپالس یک سیلابل تا آغاز اولین ایمپالس سیلابل بعدی،

میکروسیلابل[13]: سیلابل‌های کوچکی که مدت زمان آن‌ها کمتر از ده میلی‌ثانیه است.

ماکروسیلابل[14]: سیلابل‌های نرمالی که مدت زمان آن‌ها بیش از ده میلی‌ثانیه است.

فرکانس اصلی[15]: طول موج غالب یک آواز

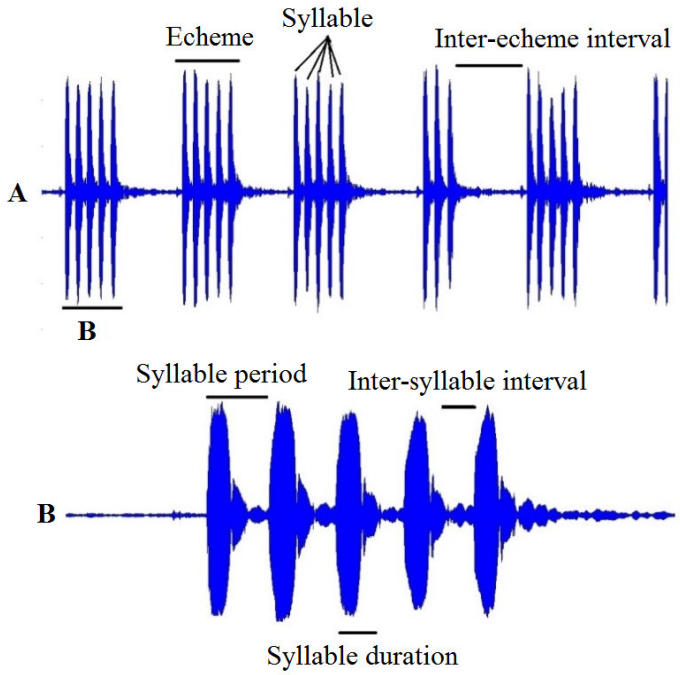
چیرپ[16]: آوازهای کوتاه و بریده متشکل از یک یا چند سیلابل

ترل[17]: آوازی گوش خراش و متشکل از اکم‌های پیوسته و بلند.

---

[1] - Stridulation
[2] - Calling Song
[3] - Echeme
[4] - Syllable
[5] - File
[6] - Scraper, Plectrum
[7] - Impulse
[8] - Inter-echeme interval
[9] - Echeme duration
[10] - Inter-syllable interval
[11] - Syllable duration
[12] - Syllable period
[13] - Microsyllable
[14] - Macrosyllable
[15] - Fundamental frequency
[16] - Chirp
[17] - Trill

جهت درک بهتر ترمینولژی مورد استفاده، شکل۱ پردازش صدای *Gryllus bimaculatus* (De Geer, 1773) را که هر اکم آن متشکل از ۵–۳ سیلابل منظم و هم‌اندازه می‌باشد، نشان می‌دهد.



شکل۱– (A) توالی اکم‌ها در آواز فراخوانی جیرجیرک *G. bimaculatus*، (B) سیلابل‌های موجود در یک اکم (اصلی)

Fig. 1- Echemes sequence in male calling song of *G. bimaculatus*, B) Syllable sequence in one echeme (Original)

بر اساس منابع موجود، در ایران تاکنون در مورد توصیف و رده‌بندی سیگنال‌های صوتی راسته راست‌بالان بررسی‌های چندانی صورت نپذیرفته است. البته بررسی‌هایی بر آواز فراخوانی زنجره‌هایی همانند *Psalmocharias alhageos* (Kolenati, 1857)، *Cicadatra platyptera* (Fieber, 1876) و *Cicadatra barbodi* (Mozaffarian & Sanborn, 2013) انجام یافته (Mozaffarian & Sanborn, 2013; Zamanian *et al.*, 2008)، ولی نیاز به تحقیقات اساسی در زمینه جمع‌آوری و طبقه‌بندی سیگنال‌های صوتی راست‌بالان جهت استفاده از این ابزار در تعیین هویت گونه‌ها ضروری می‌باشد. هدف اساسی این تحقیق جمع‌آوری سیگنال‌های صوتی مربوط به آواز فراخوانی تعدادی از افراد زیر راسته Ensifera و پردازش و توصیف آن‌ها توسط نرم افزار MATLAB می‌باشد که در نهایت داده‌های جمع‌آوری شده در قالب یک کلید صوتی برای گونه‌های مورد مطالعه تنظیم گردیدند.

مواد و روش‌ها

در تحقیق حاضر، آواز فراخوانی ۱۶ گونه از افراد زیرراسته Ensifera در مناطق مختلفی از شمال‌غرب ایران و شمال‌شرق ترکیه (سواحل دریای سیاه) طی سال‌های ۹۰–۹۳ مورد مطالعه قرار گرفت. مناطق مورد مطالعه و مشخصات جغرافیایی آن‌ها در جدول ۱ تنظیم گردیده است. آواز فراخوانی حشرات در آزمایشگاه یا طبیعت توسط دستگاه ضبط دیجیتالی Canon (PC1192) از فاصله ۱۰–۱۵ سانتی‌متری حشره ضبط گردید (Otte, 1992). پس از ضبط صدا، حشره توسط الکل اتیلیک ۷۰ درصد یا شیشه سم حاوی سیانور قطع حیات گشته و جهت شناسایی و تفکیک گونه اتاله گردید.

شناسایی گونه‌ها بر اساس مشخصات مختلف ریخت‌شناسی و دستگاه زادآوری نر و ماده صورت پذیرفت (Eades *et al*., 2015; Iorgu & Iorgu, 2008; Otte & Cade, 1984).

جدول۱- محل‌های نمونه‌برداری و مشخصات جغرافیایی آن‌ها

Table 1- Collecting sites and their coordinates

Country	Collecting site	Altitude (m)	North latitude	East longitude
Iran	Tabriz	1350	38º 3' 8.89"	46º 17' 5.98"
Iran	Azar Shahr	1468	37º 44' 59.95"	45º 58' 44.5"
Iran	Maragheh	1478	37º 22' 18.55"	46º 12' 18.11"
Iran	Miandoab	1314	36º 58' 12"	46º 6' 0"
Turkey	Trabzon	Zero	41º 0' 0"	39º 44' 0"
Turkey	Akçaabat	Zero	41º 1' 0"	39º 33' 0"
Turkey	Sürmene	Zero	40º 54' 21.16"	40º 7' 40.52"

پردازش بیواکوستیکی سیگنال‌ها توسط نرم‌افزار MATLAB (ورژن ۲۰۱۳) صورت پذیرفت. از هر گونه حداقل ده صدای فراخوانی افراد نر ثبت گردیده و باتوجه به این‌که هر صدا متشکل از صدها اکم و سیلابل می‌باشد، قطعاتی از آن به‌صورت تصادفی برش داده شده و حداقل ۵۰ اکم جهت پردازش و توصیف صدای هر گونه انتخاب گردیدند. فرکانس اصلی هر گونه بر اساس نمودار تبدیل فوریه[1] و چگالی طیف توان[2] محاسبه گردید، بدین صورت که فرکانسی که در نمودار مذکور دارای بیشترین دامنه بود، به‌عنوان فرکانس اصلی صدا تعیین گردید. نتایج حاصل جهت شناسایی گونه‌ها در قالب کلید شناسایی گونه‌ها تنظیم گردیدند.

نتایج

در تحقیق کنونی، آواز فراخوانی افراد نر مربوط به ۱۶ گونه از ۱۱ جنس متعلق به سه خانواده Tettigoniidae، Gryllotalpidae و Gryllidae مورد بررسی قرار گرفت. گونه‌های مورد مطالعه عبارتند از:

۱- خانواده Tettigoniidae، الف) زیرخانواده Phaneropterinae

I) ملخ *Polysarcus denticauda* (Charpentier, 1825): افراد متعلق به این گونه در اواخر خردادماه از ارتفاعات قرمزگل آذرشهر جمع‌آوری گردید. حشره مذکور بومی کشورهای اروپایی بوده و اخیرا از ایران گزارش شده است (Jafari *et al*., 2016). این گونه روزفعال بوده و افراد نر اغلب در طول روز و ساعات آفتابی اقدام به تولید آواز فراخوانی از نوع ترل می‌نمایند. هر اکم شامل سیلابل‌های منظم و فراوانی است که دو نوع سیلابل به‌صورت جفت و به‌طور متناوب تکرار می‌گردند. مدت زمان سیلابل نوع اول در دمای ۲۶ درجه سلسیوس (۵۰-۲۰) ۲/۲۹±۳۲ میلی‌ثانیه بوده و دو برابر

[1] - Fast Fourier Transforms (FFT)
[2] - Power Spectral Density (PSD)

مدت زمان سیلابل نوع دوم با احتساب (۲۵–۱۰) ۱۶±۱/۷۸ میلی‌ثانیه می‌باشد (شکل ۳E-H). فرکانس اصلی آواز ۱۳/۶۳±۰/۲۶ کیلوهرتز است.

II) ملخ *Phaneroptera falcata* (Poda, 1761): سیگنال‌های صوتی افراد نر از نوع چیرپ بوده و در اوقات عصر ماه‌های تیر و مرداد از مناطق جنگلی و مراتع و بوته‌زارهای آذرشهر و سورمنه ثبت شد. صدای این گونه بسیار کوتاه با فاصله اکم‌های طولانی است و تشخیص صدای این حشره به‌دقت زیادی نیاز دارد. هر اکم متشکل از ۸–۱۶ سیلابل هم‌شکل ولی نامساوی است که سیلابل‌های ابتدایی و انتهایی بسیار کوچک می‌باشند. مدت زمان هر سیلابل در دمای ۲۴ درجه سلسیوس (۱۳–۲) ۶/۷۴±۱/۰۳ میلی‌ثانیه می‌باشد (شکل ۵A-D). فرکانس اصلی آواز ۱۸/۰۶±۰/۳۵ کیلوهرتز محاسبه گردید.

ب) زیرخانواده Tettigoniinae

I) ملخ *Decticus albifrons* (Fabricius, 1775): این گونه اغلب در مناطق خشک و زمین‌های آیش و مراتع یافت می‌شود. حشرات بالغ در تمام طول تابستان قابل مشاهده بوده و از مزارع، مراتع و صیفی‌کاری‌های اطراف تبریز و آذرشهر جمع‌آوری گردید. آواز فراخوانی از نوع چیرپ بوده و از اکم‌های بسیار کوتاه و منظم تشکیل یافته است. دو نوع سیلابل ناهمگن و متوالی در پردازش سیگنال‌های صوتی این حشرات مشاهده می‌گردد. سیلابل‌ها با وجود این‌که از لحاظ شکل ناهمگن هستند ولی از لحاظ اندازه زمانی تقریبا برابر بوده و در دمای ۲۱ درجه سلسیوس سیلابل اول (۳۰–۱۵) ۲۰±۱/۲۸ میلی‌ثانیه و سیلابل دوم (۳۲–۱۸) ۲۲±۱/۶۸ میلی‌ثانیه طول می‌کشد (شکل ۵E-H). فرکانس اصلی آواز ۸/۸۲±۰/۲۴ کیلوهرتز می‌باشد.

II) ملخ *Decticus verrucivorus* (Linnaeus, 1758): این گونه روزفعال بوده و در چمن‌زارها، مراتع و جنگل‌ها یافت می‌شود. صدای افراد نر از نوع چیرپ بوده و اغلب در ساعات آفتابی از مراتع و جنگل‌های اطراف ترابزون و آکچابات ثبت گردید. هر اکم متشکل از چهار سیلابل هم‌شکل ولی نامساوی است. سیلابل اول کوچک‌ترین آن‌ها با مدت زمان (۴–۷) ۵/۲±۰/۷۳ میلی‌ثانیه در دمای ۲۶ درجه سلسیوس بوده و سیلابل آخر بزرگ‌ترین آن‌ها با مدت زمان (۳۱–۲۲) ۲۴±۱/۱۶ میلی‌ثانیه است (شکل ۴O-R). فرکانس اصلی صدا ۱۳/۶۵±۰/۱۸ کیلوهرتز محاسبه گردید.

III) ملخ *Tettigonia viridissima* (Linnaeus, 1758): افراد بالغ آن در اغلب زیستگاه‌ها از جمله مراتع، پارک‌ها، مزارع، جنگل‌ها و چمن‌زارها یافت شده و آواز فراخوانی حشرات نر از نوع ترل بوده و در اوقات عصر و شب فصل تابستان، از مناطق میاندوآب، مراغه، سورمنه و آکچابات ضبط گردید. در طول هر اکم دو سیلابل مشابه ولی نامساوی به‌صورت جفت و به‌طور متناوب پشت سر هم تکرار می‌شوند. مدت زمان سیلابل اول کوتاه‌تر از سیلابل دوم بوده در درجه حرارت ۱۸ درجه سلسیوس سیلابل اولی (۲۴–۱۸) ۲۱±۰/۸۴ میلی‌ثانیه و سیلابل دومی (۲۸–۲۳) ۲۵±۰/۷۱ میلی‌ثانیه طول می‌کشد (شکل ۳A-D). فرکانس اصلی ۱۰/۱۶±۰/۳۲ کیلوهرتز است.

IV) ملخ *Tettigonia caudata* (Charpentier, 1842): این گونه اغلب در مراتع پرپشت، دامنه کوه‌ها و مزارع کشاورزی یافت شده و صدای افراد نر در ساعات مختلفی از شبانه‌روز و از مناطق میاندوآب، آذرشهر و ترابزون ثبت گردید. آواز فراخوانی افراد متعلق به این گونه نیز همانند گونه *T. viridissima* از نوع ترل بوده با این تفاوت که اولا اندازه سیلابل‌ها از ابتدا تا انتهای هر اکم روند افزایشی داشته و سیلابل‌های موجود در ابتدای هر اکم دارای دامنه و مدت زمان

بسیار کوتاهی نسبت به سیلابل‌های انتهایی هستند. ثانیا شکل موج همه سیلابل‌ها مشابه می‌باشد. مدت زمان سیلابل‌ها با توجه به روند افزایشی آن‌ها در طول اکم بسیار متغییر و در دمای ۲۸ درجه سلسیوس در محدوده ۴-۲۳ میلی‌ثانیه می‌باشد (شکل 2E-H). فرکانس اصلی صدا ۰/۲۹±۹/۳۳ کیلوهرتز می‌باشد.

V) ملخ *Platycleis affinis* (Fieber, 1853): صدای افراد نر این گونه، در اوقات مختلف روز و شب و در تمام طول تابستان به‌گوش می‌رسد. آواز فراخوانی این افراد از مناطق گیاهی فقیر و مراتع خشک و زمین‌های آیش مراغه و اطراف تبریز ثبت گردید. صدا از نوع ترل بوده و از اکم‌های متفاوت کوتاه و نسبتا بلند تشکیل یافته است. هر اکم شامل دو نوع سیلابل (ماکروسیلابل و میکروسیلابل) می‌باشد که ماکروسیلابل‌ها در ابتدای اکم قرار گرفته و تعداد آن‌ها بسیار متغییر (۲-۵۰ عدد) است. یک یا دو ماکروسیلابل ابتدایی هر اکم کوچک‌تر از بقیه ماکروسیلابل‌هاست. هر اکم معمولا به ۳-۱۲ میکروسیلابل منتهی می‌گردد. شکل موج ماکروسیلابل‌ها پهن و عریض بوده و شکل موج میکروسیلابل‌ها باریک و خطی می‌باشد. مدت زمان محاسبه شده برای ماکروسیلابل‌ها و میکروسیلابل‌ها به‌ترتیب ۳۰-۱۲۰ و ۳-۱۰ میلی‌ثانیه می‌باشد (شکل 2I-L). فرکانس اصلی صدا ۰/۲۴±۱۴/۳۷ کیلوهرتز محاسبه گردید.

VI) ملخ *Platycleis escalerai* (Bolivar, 1899): افراد بالغ در تمام طول تابستان قابل مشاهده بوده و آواز فراخوانی آن‌ها از مراتع و زمین‌های آیش آذرشهر، میاندوآب و اطراف تبریز ثبت گردید. آواز فراخوانی این گونه نیز همانند گونه *P. affinis* از نوع ترل بوده ولی از لحاظ تعداد، مدت زمان و شکل موج ماکروسیلابل‌ها دارای تفاوت‌های اساسی می‌باشند. بدین صورت که در ابتدای هر اکم بر خلاف گونه قبلی که یک یا دو ماکروسیلابل ابتدایی کوچک‌تر از بقیه ماکروسیلابل‌ها بود، در این گونه ۲۰-۱۴ ماکروسیلابل ابتدایی کوچک بوده و به‌تدریج روند افزایشی داشته و بزرگ‌تر می‌شوند. همچنین تعداد ماکروسیلابل‌ها در مقایسه با گونه قبلی به‌طور معنی‌داری بیشتر بوده و ۹۸-۶۵ عدد شمارش گردید (شکل 2M-P). با توجه متفاوت بودن اندازه ماکروسیلابل‌ها در ابتدا و اواسط طول هر اکم، مدت زمان محاسبه شده آن‌ها در دمای ۲۶ درجه سلسیوس نیز بین ۶۲-۲۴ میلی‌ثانیه متغیر بوده و فرکانس اصلی صدا ۰/۱۷±۱۵/۸۳ کیلوهرتز می‌باشد.

VII) ملخ *Platycleis intermedia* (Serville, 1838): افراد متعلق به این گونه از زمین‌های آیش، مراتع و درختچه‌های خشک مناطق آذرشهر، تبریز و آکچابات یافت شده و آواز فراخوانی حشرات نر در اوقات عصر و شب و در تمام طول تابستان به‌گوش می‌رسد. آواز فراخوانی این گونه از نوع چیرپ بوده و از توالی اکم‌های منظم و فراوان تشکیل یافته است. هر اکم متشکل از دو سیلابل مشابه است (شکل 4K-N). در دمای ۲۸ درجه سلسیوس هر سیلابل (۵۵-۲۷) ۱/۰۴±۳۹ میلی‌ثانیه طول کشیده و فرکانس اصلی ۰/۲۷±۱۳/۹۵ کیلوهرتز است.

۲- خانواده Gryllotalpidae، الف) زیرخانواده Gryllotalpinae

I) آبدزدک *Gryllotalpa gryllotalpa* (Linnaeus, 1758): صدای افراد نر در مناطق بسیار مرطوب و نزدیکی برکه‌ها یا نهر آب شنیده می‌شود (Kazemi *et al*., 2012). چندین صدا، دقایقی قبل از غروب آفتاب شروع و اکثر نرها هم‌زمان با غروب اقدام به آوازخوانی در داخل تونل صوتی خود می‌نمایند (Jafari *et al*., 2015). آواز افراد نر از شهرستان‌های میاندوآب و آذرشهر در ماه‌های اردیبهشت و خرداد ثبت گردید. صدا از نوع ترل بوده و هر اکم متشکل از سیلابل‌های بسیار منظم و مشابهی است که مدت زمان هر سیلابل در دمای ۱۸ درجه سلسیوس (۱۵-۱۰) ۱/۱۵±۱۲ میلی‌ثانیه می‌باشد (شکل 2A-D). فرکانس اصلی ۰/۰۶±۱/۷۸ کیلوهرتز محاسبه گردید.

۳- خانواده Gryllidae، الف) زیرخانواده Gryllinae

I) جیرجیرک *Gryllus bimaculatus* (De Geer, 1773): آواز فراخوانی حشرات نر از نوع چیرپ بوده و در تمام طول تابستان در پناهگاه‌های مختلف نظیر تخته‌سنگ‌ها و بوته‌های گیاهی از زمان غروب تا نیمه‌های شب شنیده می‌شود. صدای این افراد از شهرهای تبریز، آذرشهر، مراغه و ترابزون ثبت گردید. هر اکم حامل ۳–۵ سیلابل هم‌شکل و هم‌اندازه بوده که در دمای ۱۹ درجه سلسیوس مدت زمان هر سیلابل (۴۰–۲۵) ۲/۲۶±۳۵ میلی‌ثانیه است (شکل ۳M-P). فرکانس اصلی ۰/۰۶±۴/۷ کیلوهرتز است.

II) جیرجیرک *Gryllus campestris* (Linnaeus, 1758): آواز حشرات نر اغلب در دهانه تونل خاکی که خود حفر نموده‌اند از زمان عصر به‌گوش رسیده ولی پس از غروب آفتاب تعداد حشرات مولد صدا بیشتر می‌شود. ثبت صدا در ماه‌های خرداد و تیر از شهرهای مراغه، آذرشهر و تبریز بود. آواز فراخوانی این حشره از نوع چیرپ بوده و هر اکم متشکل از ۵–۴ سیلابل (عموما ۴ سیلابل) می‌باشد که اولین سیلابل به‌وضوح کوچک‌تر از بقیه سیلابل‌ها است. در دمای ۲۲ درجه سلسیوس مدت زمان سیلابل‌های هر اکم نیز بین ۱۰/۲ تا ۳۸/۶۵ میلی‌ثانیه متغییر بوده (شکل ۴A-D) و فرکانس اصلی صدا ۰/۰۸±۴/۶ کیلوهرتز است.

III) جیرجیرک *Melanogryllus desertus* (Pallas, 1771): صدای حشرات نر در اوقات عصر و شب از زیر بوته‌های گیاهی و تخته‌سنگ‌ها شنیده می‌شود. سیگنال‌های صوتی گونه مذکور در شهرهای ترابزون و میاندوآب و در ماه‌های خرداد و تیر ثبت گردید. صدای فراخوانی افراد این گونه نیز از نوع چیرپ بوده ولی مدت زمان اکم‌های آواز این جیرجیرک، طولانی‌تر از دو گونه قبلی است. هر صدا متشکل از توالی اکم‌هایی مشتمل بر ۱۵–۱۲ سیلابل است که معمولا سیلابل‌های اولی در هر اکم کوچک‌تر از بقیه سیلابل‌ها بوده و اندازه سیلابل‌ها روند افزایشی دارند. شکل موج سیلابل‌ها در طول هر اکم نیز بسیار متنوع بوده و شکل موج مشخص و ثابتی برای سیگنال‌های صوتی این گونه قابل تعریف نمی‌باشد. در دمای ۲۱ درجه سلسیوس مدت زمان لازم برای هر سیلابل (۲۶–۱۰) ۱/۷۶±۲۱/۲۶ میلی‌ثانیه برآورد شد (شکل ۵I-O). فرکانس اصلی آواز ۰/۰۴±۴/۶۶ کیلوهرتز است.

IV) جیرجیرک *Eumodicogryllus bordigalensis* (Latreille, 1804): این افراد اغلب در مناطق خشک و آفتابی که دارای سنگ‌ریزه فراوان است یافت شده و در اوقات روز، زیر سنگ‌ها مخفی می‌گردند. آواز فراخوانی حشرات نر در تمام طول تابستان از مناطق مختلف تبریز، آذرشهر و مراغه ثبت گردید. سیگنال‌های بیواکوستیکی از نوع چیرپ بوده و اکم‌های بلند آن متشکل از ۱۱–۲۱ سیلابل است که معمولا سیلابل‌های ابتدایی دارای وقفه طولانی‌تری نسبت به سیلابل‌های انتهایی می‌باشند. در دمای ۲۶ درجه سلسیوس مدت زمان هر سیلابل (۱۲–۸) ۰/۶۴±۱۰ میلی‌ثانیه بوده (شکل ۳I-L) و فرکانس اصلی آواز ۰/۱۲±۵/۲۱ کیلوهرتز برآورد شد.

V) جیرجیرک *Modicogryllus frontalis* (Fieber, 1844): این افراد در مناطق خشک و سنگلاخی یافت شده و در شکاف خاکی یا زیر سنگ‌ها مخفی می‌شوند. آواز حشرات نر از اردیبهشت تا شهریورماه هنگام عصر و شب به گوش می‌رسد. سیگنال‌های صوتی آن‌ها از مراغه و تبریز ثبت و پردازش گردید. صدای این گونه نیز از نوع چیرپ بوده و اکم‌های نسبتا طویل آن متشکل از ۲۱–۲۵ سیلابل است که دارای دو نوع آرایش در ابتدای هر اکم هستند. در برخی اکم‌ها سیلابل‌های ابتدایی با بقیه سیلابل‌های موجود در آن تقریبا هم‌اندازه هستند ولی در نوع دیگر، ۳–۸ سیلابل ابتدایی بسیار کوچک‌تر از بقیه سیلابل‌های آن اکم بوده و اندازه سیلابل‌ها روند افزایشی دارند. شکل موج سیلابل‌های این حشرات نیز

بسیار متنوع بوده و دارای الگوی مشخصی نمی‌باشند. در دمای ۲۳ درجه سلسیوس هر سیلابل (۳/۳-۶) ۰/۴۳±۵ میلی‌ثانیه طول کشیده (شکل ۵P-S) و فرکانس اصلی ۰/۰۵±۷/۱۳ کیلوهرتز است.

VI) جیرجیرک *Acheta domesticus* (Linnaeus, 1758): افراد متعلق به این گونه در داخل منازل، ساختمان‌ها و به‌ویژه در نانوایی‌ها زندگی می‌کنند. صدای حشرات نر در تبریز، ترابزون و آذرشهر به ثبت رسید. آواز فراخوانی این حشره از نوع چیرپ بوده و شب هنگام و در تمام طول فصل تابستان به‌گوش می‌رسد. هر آواز متشکل از اکم‌های بسیار کوتاه شامل ۲-۴ سیلابل مخروطی شکل است که در دمای ۳۱ درجه سلیسیوس مدت زمان لازم برای هر سیلابل (۲۸-۱۲) ۳/۷۳±۱۸ میلی‌ثانیه (شکل ۴E-H) و فرکانس اصلی صدا ۰/۰۶±۴/۵۵ کیلوهرتز محاسبه گردید.

کلید شناسایی گونه‌های مورد مطالعه براساس ویژگی‌های صوتی هر گونه به‌قرار زیر تنظیم گردیده است:

۱- آواز فراخوانی از نوع ترل (خانواده‌های Gryllotalpidae و Tettigoniidae) ۲

- آواز فراخوانی از نوع چیرپ (خانواده‌های Gryllidae و Tettigoniidae)..... ۷

۲- تنها یک نوع سیلابل (هم‌شکل) در طول اکم ۳

- بیش از یک نوع سیلابل در طول اکم ۴

۳- تمام سیلابل‌ها در طول اکم هم‌شکل و هم‌اندازه (شکل۲A-D)..... *Gryllotalpa gryllotalpa*

-روند افزایشی در اندازه سیلابل‌ها (شکل۲E-H)..... *Tettigonia caudata*

۴- وجود میکروسیلابل‌ها در انتهای اکم‌ها (جنس *Platycleis* spp.) ۵

- نبود میکروسیلابل‌ها در انتهای اکم‌ها ۶

۵- بین دو تا۵۰ ماکروسیلابل در ابتدای هر اکم؛ یک تا دو ماکروسیلابل ابتدیی کوچک‌تر از سایر ماکروسیلابل‌ها (شکل۲I-L)..... *Platycleis affinis*

-بیش از ۶۰ ماکروسیلابل در ابتدای اکم؛ بیش از ده ماکروسیلابل ابتدایی کوچک‌تر از بقیه ماکروسیلابل‌ها (شکل۲M-P)..... *Platycleis escalerai*

۶- تکرار دو سیلابل هم‌شکل ولی نامساوی در طول اکم (شکل۳A-D)..... *Tettigonia viridissima*

-تکرار دو سیلابل غیرهم‌شکل و نامساوی در طول اکم (شکل۳E-H)..... *Polysarcus denticauda*

۷- سیلابل‌های موجود در طول هر اکم هم‌شکل ۸

- سیلابل‌های موجود در طول هر اکم غیر هم‌شکل ۱۴

۸- فرکانس اصلی صدا کمتر از ۶ کیلوهرتز ۹

-فرکانس اصلی صدا بیشتر از ۱۲ کیلوهرتز ۱۲

۹-بیش از ده سیلابل در طول اکم (شکل۳I-L)..... *Eumodicogryllus bordigalensis*

- حداکثر پنج سیلابل در طول اکم ۱۰

۱۰- تمامی سیلابل‌های موجود در هر اکم هم‌اندازه (شکل۳M-P)..... *Gryllus bimaculatus*

- سیلابل‌های موجود در هر اکم متفاوت ۱۱

۱۱- هر اکم متشکل از ۵-۴ سیلابل؛ اولین سیلابل کوچک‌تر از بقیه سیلابل‌ها (شکل۴A-D) *Gryllus campestris*.....

-هر اکم متشکل از ۴-۲ سیلابل مخروطی شکل(شکل۴E-J)..... *Acheta domesticus*

۱۲- هر اکم متشکل از دو سیلابل مشابه (شکل۴K-N)..... *Platycleis intermedia*

- وجود بیش از دو سیلابل در طول هر اکم ۱۳

۱۳- وجود چهار سیلابل مشابه ولی نامساوی در طول هر اکم (شکل۴O-R)..... *Decticus verrucivorus*

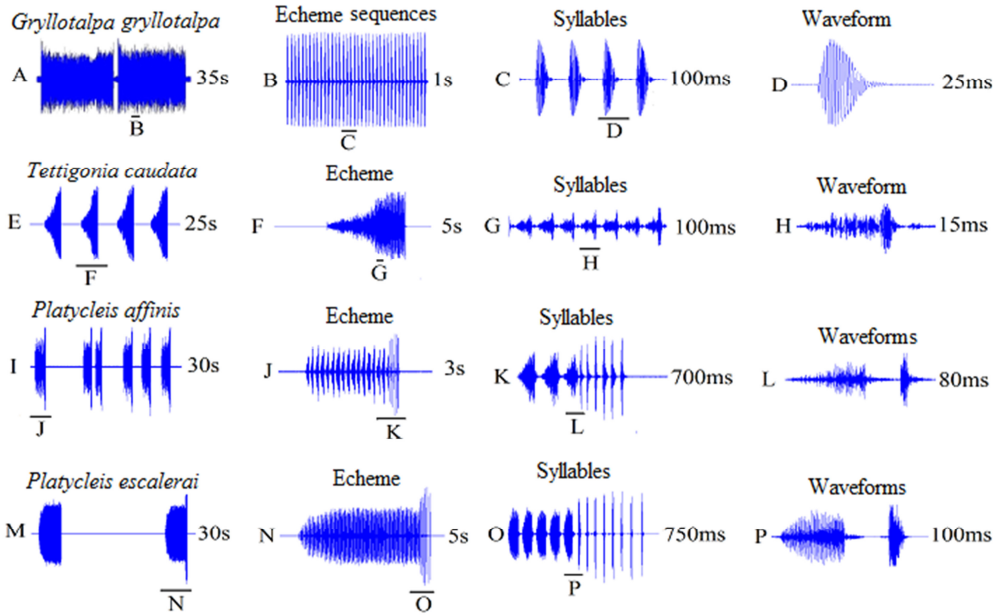
- وجود ۱۶-۸ سیلابل هم‌شکل و نامساوی در طول هر اکم؛ سیلابل‌های ابتدایی و انتهایی هر اکم کوچک‌تر از سیلابل-های میانی (شکل۵A-D)..... *Phaneroptera falcata*

۱۴- دو سیلابل ناهمگن در هر اکم (شکل۵E-H) ..... *Decticus albifrons*

- بیش از دو سیلابل ناهمگن در هر اکم ۱۵

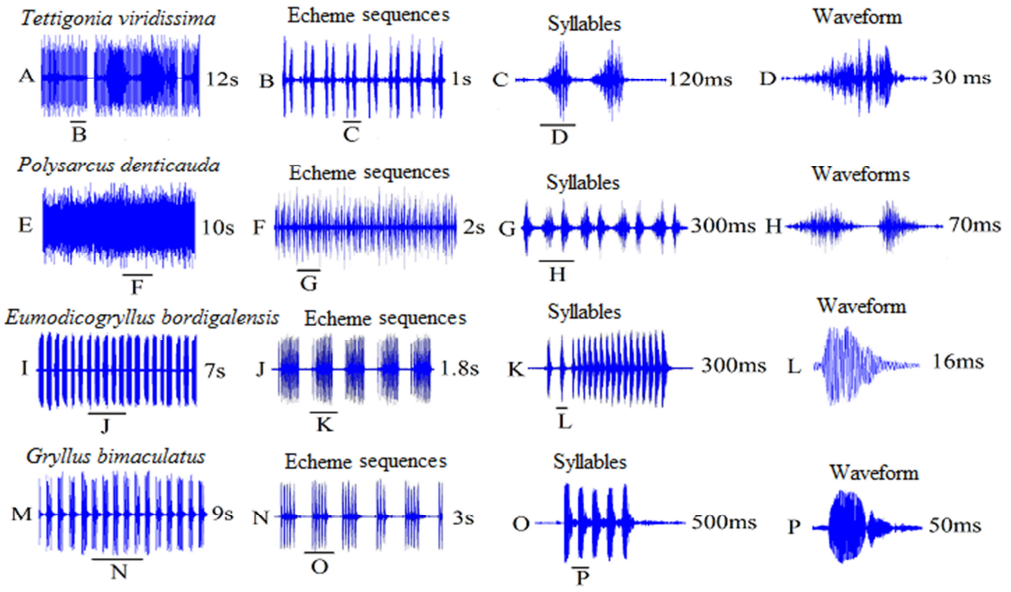
۱۵- بین ۱۲ تا ۱۵ سیلابل با روند افزایشی (در اندازه) در تمام اکم‌ها (شکل۵I-O)..... *Melanogryllus desertus*

-بین ۲۱ تا ۲۵ سیلابل در هر اکم؛ وجود روند افزایشی سیلابل‌ها در برخی اکم‌ها (شکل۵P-S) *Modicogryllus frontalis*.....



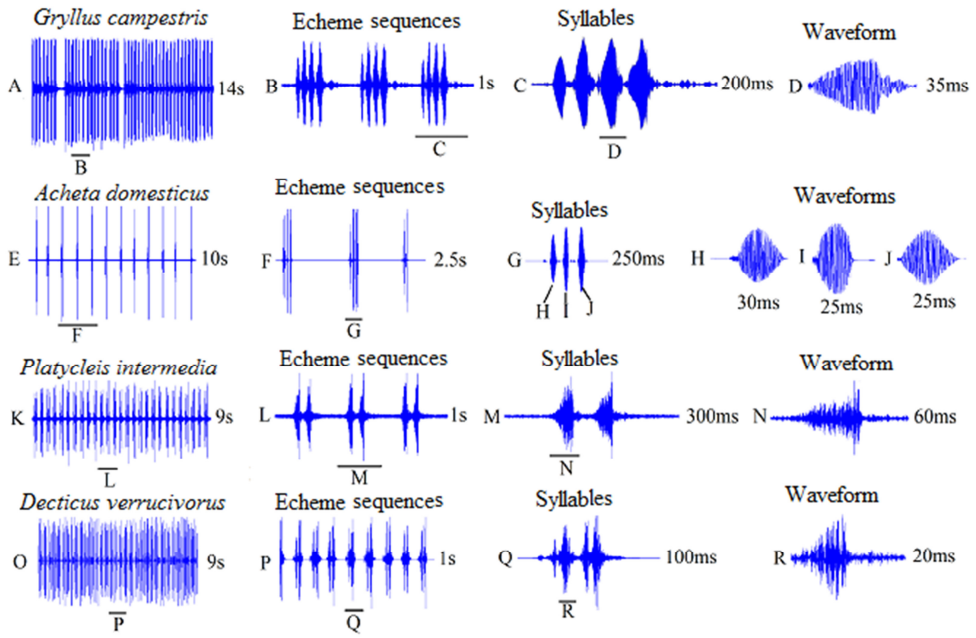
شکل۲- پردازش آواز فراخوانی گونه‌های (A-D) *G. gryllotalpa*، (E-H) *T. caudata*، (I-L) *P. affinis* و (M-P) *P. escalerai* (اصلی)

Fig. 2- Calling song analysis of species (A-D) *G. gryllotalpa*, (E-H) *T. caudate*, (I-L) *P. affinis* and (M-P) *P. escalerai* (Original)



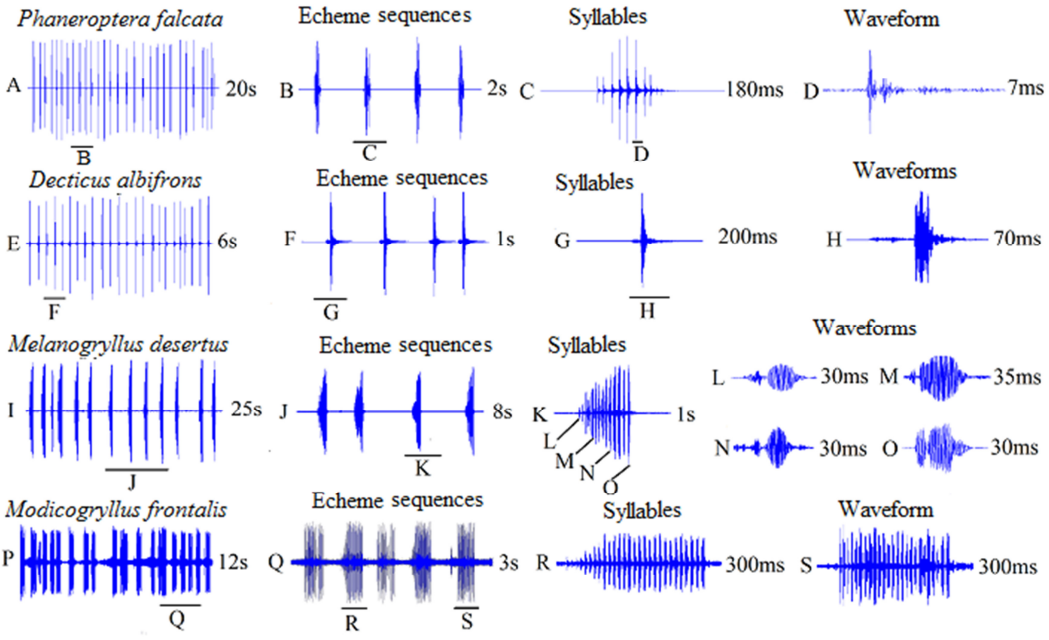
شکل۳- پردازش آواز فراخوانی گونه‌های (A-D) *T. viridissima*، (E-H) *P. denticauda*، (I-L) *E. bordigalensis* و (M-P) *G. bimaculatus* (اصلی)

Fig. 3- Calling song analysis of species (A-D) *T. viridissima*, (E-H) *P. denticauda*, (I-L) *E. bordigalensis* and (M-P) *G. bimaculatus* (Original)



شکل۴- پردازش آواز فراخوانی گونه‌های *G. campestris* (A-D)، *A. domesticus* (E-H)، *P. intermedia* (K-N) و *D. verrucivorus* (O-R) (اصلی)

Fig. 4- Calling song analysis of species (A-D) *G. campestris*, (E-H) *A. domesticus*, (K-N) *P. intermedia* and (O-R) *D. verrucivorus* (Original)



شکل۵- پردازش آواز فراخوانی گونه‌های *Ph. falcata* (A-D)، *D. albifrons* (E-H)، *M. desertus* (I-O) و *M. frontalis* (P-S) (اصلی)

Fig. 5- Calling song analysis of species (A-D) *Ph. falcata*, (E-H) *D. albifrons*, (I-O) *M. desertus* and (P-S) *M. frontalis* (Original)

بحث

اغلب گونه‌های راست‌بالان شاخص زیستی به‌شمار می‌آیند که در تعیین کیفیت زیستگاه در اکولوژی مورد استفاده قرار می‌گیرند، بنابراین استفاده از یک ابزار قدرتمند و سریع در پایش زیستی یک منطقه ضروری می‌باشد. با توجه به‌این‌که شناسایی گونه‌ها بر اساس روش‌های کلاسیک ریخت‌شناسی وقت‌گیر، هزینه‌بر و نیازمند افراد متخصص است؛ بنابراین نیاز به استفاده از روش‌هایی سریع و مطمئن جهت تفکیک گونه‌ها ضروری می‌باشد که علم بیواکوستیک می‌تواند این نیاز را برآورده سازد. همچنین علاوه بر موارد فوق با مجهز شدن به ابزار شناسایی گونه بر اساس سیگنال‌های صوتی، نیاز به استخدام و به‌کارگیری افراد متخصص فراوان در پایش‌های بلند مدت منتفی شده و نظارت بر گونه‌های نادر و شناسایی گونه‌های مهاجم تسهیل می‌گردد.

در مورد گونه‌های نزدیک به‌هم این ضرورت بیشتر احساس می‌گردد. به‌عنوان مثال دو گونه جیرجیرک صحرایی *G. campestris* و جیرجیرک دولکه‌ای *G. bimaculatus* که ویژگی‌های ریخت‌شناسی نزدیک به‌هم داشته و تفکیک آن‌ها برای افراد غیرمتخصص دشوار می‌باشد، توجه به ویژگی‌های صوتی می‌تواند بسیار سودمند واقع گردد. بدین ترتیب که در سیگنال‌های صوتی جیرجیرک صحرایی، اولین سیلابل هر اکم به‌وضوح کوچک‌تر ازبقیه سیلابل‌های بوده و مدت زمان هر اکم ۲۱±۱۵۳ میلی‌ثانیه می‌باشد (شکل۴A-D)؛ درحالی‌که در آواز فراخوانی جیرجیرک دو لکه‌ای، تمام سیلابل‌های هر اکم هم‌شکل و هم‌اندازه بوده و مدت زمان هر اکم (۱۸±۳۰۰ میلی‌ثانیه) نیز حدود دو برابر مدت زمان اکم‌های صوتی جیرجیرک صحرایی است (شکل۳M-P).

همچنین دو گونه جیرجیرک *E. bordigalensis* و *M. frontalis* نیز از لحاظ خصوصیات ریخت‌شناسی بسیار نزدیک بوده و نیز با توجه به مخفی بودن این افراد در زیر تخته‌سنگ‌ها، شکار آن‌ها بسیار دشوار می‌باشد. بنابراین همانند گونه‌های قبلی توجه به تفاوت‌های اکوستیکی به‌عنوان یک ابزار قدرتمند و سریع بدون نیاز به شکار آن‌ها قادر به شناسایی گونه‌های مورد نظر در مناطق مورد مطالعه می‌باشد. در گونه *E. bordigalensis* هر اکم متشکل از ۱۸ سیلابل است که دو سیلابل اول دارای وقفه طولانی‌تری نسبت به سایر سیلابل‌ها بوده (شکل۳I-L) و فرکانس اصلی آواز نیز حدود ۵/۵ کیلوهرتز می‌باشد، در حالی‌که در گونه *M. frontalis* اکم‌ها بلندتر و متشکل از ۲۳ سیلابل متوالی بوده (شکل۵P-S) و فرکانس غالب صوتی (۷/۵ کیلوهرتز) به‌وضوح بیشتر از گونه قبلی است. بنابراین توجه به تفاوت‌های موجود در مشخصه‌های صوتی هر گونه می‌تواند در تفکیک گونه‌ها مورد استفاده قرار گیرد.

علاوه بر موارد فوق، با توجه به تشابهات بسیار زیاد ریخت‌شناسی در مورد سه گونه مورد بحث از جنس *Platycleis* در تحقیق حاضر که عملا تفکیک آن‌ها برای افراد غیر متخصص غیرممکن می‌باشد نیز، استفاده از تفاوت‌های واضح در آواز فراخوانی افراد نر کمک شایانی به شناسایی و تعیین هویت گونه‌ها می‌نماید. بدین ترتیب که در آواز فراخوانی گونه *P. intermedia* میکروسیلابل مشاهده نمی‌گردد ولی در انتهای اگم‌های سیگنال‌های صوتی دو گونه *P. affinis* و *P. escalerai* تعداد ۳-۱۲ عدد میکروسیلابل قابل مشاهده است. البته با این تفاوت آشکار که در سیگنال‌های صوتی ملخ *P. affinis* تعداد ۲-۵۰ ماکروسیلابل در ابتدای هر اگم مشاهده می‌گردد که مدت زمان تقریبی هر ماکروسیلابل ۳۰-۱۲۰ میلی‌ثانیه بوده و ۱-۲ ماکروسیلابل ابتدایی کوچک‌تر از بقیه ماکروسیلابل‌ها می‌باشند (شکل۲I-L)؛ درحالی‌که در آواز فراخوانی گونه *P. escalerai* تعداد ماکروسیلابل‌ها در مقایسه با گونه قبلی به‌طور معنی‌داری بیشتر بوده و ۶۵-۹۸ عدد شمارش گردید. به‌علاوه مدت زمان تقریبی هر ماکروسیلابل بین ۲۴-۶۲ میلی‌ثانیه متغییر بوده و در این گونه ۱۴-۲۰ ماکروسیلابل ابتدایی کوچک بوده و به‌تدریج روند افزایشی داشته و بزرگ‌تر می‌شوند (شکل۲M-P). لازم به ذکر است که

در سال۱۹۹۰، پژوهشگری به‌نام Ragge اقدام به مطالعه سیگنال‌های صوتی ۱۱ گونه از ملخ‌های شاخک‌بلند *Platycleis* spp. نمود. با توجه به این‌که، افراد این جنس از لحاظ شکل‌شناسی بسیار شبیه هم بوده و عموما به‌رنگ قهوه‌ای مایل به خاکستری با لکه‌های تیره بر روی بال‌پوش‌ها مشاهده می‌گردند، تفکیک گونه‌های مختلف آن نیاز به مهارت و تخصص بسیار زیادی دارد. بنابراین وی علاوه بر ارایه کلید شناسایی گونه‌های مختلف این جنس بر اساس ویژگی‌های شکل‌شناسی، اقدام به طراحی و ارایه کلید شناسایی بر اساس مشخصه‌های صوتی آن‌ها نیز نمود که با کمی مهارت در علم پردازش صوت و ویژگی‌های صوتی، می‌توان حتی در گونه‌های بسیار نزدیک به تفاوت‌های واضح سیگنال‌های بیواکوستیکی پی برده و به آسانی آن‌ها را از هم تفکیک نمود.

References

Alexander, R. D. 1957. Sound production in associated behavior in insects. Ohio Journal of Science, 57(6): 101-13.

Chenz, Z. X. and Maher, R. C. 2006. Semi-automatic classification of bird vocalizations using spectral peak tracks. Journal of the Acoustical Society of America, 120: 2974-2984.

Chesmore, E. D. and Ohya, E. 2004. Automated identification of field recorded songs of four British grasshoppers using bioacoustic signal recognition. Bulletin of Entomological Research, 94(4): 319-330.

David, J. A. O., Zefa, E. and Fontanetti, C. S. 2003. Cryptic species of *Gryllus* in the light of bioacoustic (Orthoptera: Gryllidae). Neotropical Entomology, 32(1): 75-80.

Eades, D. C, Otte, D., Cigliano, M. M. and Braun, H. 2015. Orthoptera Species File. Version 5.0/5.0. http://Orthoptera.SpeciesFile.org (Accessed on 8 May 2015).

Gaston, K. J. and O'Neill, M. A. 2004. Automated species identification: Why not? The Royal Society, 359: 655-667.

Gerhardt, H. C. 2005. Acoustic spectral preferences in two cryptic species of grey treefrogs: implications for mate choice and sensory mechanisms. Animal Behaviour, 70 (1): 39-48.

Hao, Y., Campana, B. and Keogh, E. 2012. Monitoring and mining animal sounds in visual space. Journal of Insect Behavior, 25(6): 1-28.

Heller, K. G. 2006. Song evolution and speciation in bush-crickets. In: Drosopoulos S, Claridge MF. (Eds) Inst sounds and communication: Physiology, behavior, ecology and evolution. CRC Press, Boca Raton (FL), USA, 532 pp.

Huber, F., Moore, T. E. and Loher, W. 1989. Cricket behavior and neurobiology. Cornell University, 867 pp.

Iorgu, I. S. and Iorgu, E. I. 2008. Bush crickets, crickets and grasshoppers from Moldavia (Romania). Pim, Iaşi, 294 pp.

Jafari, S., Kazemi, M. H. and Lotfalizadeh, H. 2015. Acoustic burrow structure of European mole cricket, *Gryllotalpa gryllotalpa* (Orth.: Gryllotalpidae) in north-western Iran. North-Western Journal of Zoology, 11(1): 58-61.

Jafari, S., Kazemi, M. H., Shojaei, M., Lotfalizadeh H. and Mofidi-Neyestanak M. 2016. First report of *Polysarcus denticauda* (Orth.: Tettigoniidae: Phaneropterinae) from Iran and its bioacoustic characteristics. Journal of Entomological Society of Iran. (In press), 6(1/2): 21-31.

Kazemi, M. H., Jafari, S., Lotfalizadeh, H., Jafarloo, M. and Vahdani Manaf, N. 2012. Sound production in European mole cricket, *Gryllotalpa gryllotalpa* (Orthoptera: Gryllotalpidae) a north-western population of Iran. Journal of Field Crop Entomology, 1: 1-10.

Miyoshi, A. R., Zefa, E., Martins, L. P., Dias, P. G. B. S., Drehmer, C. J. and Dornelles, J. E. F. 2007. Stridulatory file and calling song of two populations of the tropical bush cricket *Eneoptera surinamensis* (Orthoptera, Eneopterinae). Iheringia, Serie Zoologia, 97(4): 461-465.

Montealegre-Z, F. and Morrs, G. K. 1999. Songs and systematics of some Tettigoniidae from Colombian and Ecuador, part I. Pseudophyllinae. Journal of Orthoptera Research, 9: 163-237.

Mozaffarian, F. and Sanborn, A. F. 2013. A new species of the genus *Cicadatra* from Iran (Hemiptera: Auchenorrhyncha: Cicadidae). Acta Entomologica Musei Nationalis Pragae, 53(1): 39-48.

Obrist, M. K., Pavan, G., Sueur, J., Riede, K., Llusia, D. and Marquez, R. 2010. Bioacoustics approaches in biodiversity inventories. Abc Taxa, 8: 68-99.

Oliveira, P., Simoes, P. and Quartau, J. 2001. Calling songs of certain orthopteran species (Insecta, Orthoptera) in southern Portugal. Animal Biodiversity and Conservation, 24: 65-79.

Otte, D. 1992. Evolution of cricket songs. Journal of Orthoptera Research, 1: 25-49.

Otte, D. and Cade, D. 1984. African crickets (Gryllidae). 6. The genus *Gryllus* and some related genera (Gryllinae, Gryllini). Proceedings of the Academy of Natural Sciences of Philadelphia, 136: 98-122.

Ragge, D. R. 1990. The songs of the western European bush-crickets of the genus *Platycleis* in relation to their taxonomy (Orthoptera: Tettiginiidae). Bulletin of the British Museum of Natural History (Entomology), 59(1): 1-35.

Ragge, D. R. and Reynolds, J. W. 1998. The songs of the grasshoppers and crickets of western Europe. Harley Books, Essex, 591 pp.

Riede, K. 1993. Monitoring biodiversity: Analysis of Amazonian rainforest sounds. Ambio, 22: 546-548.

Sueur, J. and Puissant, S. 2007. Similar look but different song: A new *Cicadetta* species in the Montana complex (Insecta, Hemiptera, Cicadidae). Zootaxa, 1442: 55-68.

Walker, T. J. 1964. Cryptic species among sound producing Ensiferan Orthoptera (Gryllidae and Tettigoniidae). The Quarterly Review of Biology, 39: 345-55.

Zamanian, H., Mehdipour, M. and Ghaemi, N. 2008. The study and analysis of the mating behavior and sound production of male cicada *Psalmocharias alhageos* (Homoptera: Cicadidae) to make disruption in mating. Pakistan Journal of Biological Sciences, 11(17): 2062-72.

Journal of Entomological Research

Volume 8, Issue 1, pages: 11-27

Islamic Azad University, Arak Branch
ISSN 2008-4668
http://jer.iau-arak.ac.ir

Key to the identification of 16 Ensiferan species (Orthoptera: Ensifera) based on bioacoustic characters

Sh. Jafari[1], M. H. Kazemi[2*], M. Shojaei[3], H. Lotfalizadeh[4] ,M. Mofidi-Neyestanak[5]

1- Graduated student of Agricultural Entomology, Department of Plant Protection, Islamic Azad University, Tehran Science and Research Branch, Tehran, Iran
2- Professor, Department of Plant Protection, Islamic Azad University, Tabriz branch, Tabriz, Iran
3- Professor, Department of Plant Protection, Islamic Azad University, Tehran Science and Research, Branch Tehran, Iran
4- Associate Professor, Department of Plant Pests and Diseases, Agricultural and Natural Resources Research Center of East Azarbaijan, Tabriz, Iran
5- Assistant Professor, Iranian Research Institute of Plant Protection, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Tehran, Iran

Abstract

Acoustic signaling is widespread amongst several orders of insect. Particularly, the orthopterans are one of the most well-known acoustically active orders. In the present work, the calling songs of 16 species belonging to the families Gryllidae, Gryllotalpidae and Tettigoniidae were sampled. The songs were recorded in the field or in laboratory from live animals. They were analyzed via MATLAB (version 2013) software and the identification key to the species level was provided based on extracted acoustic features.

Key words: Bioacoustic signals, Calling songs, Syllable, Echeme, Ensifera

* Corresponding Author, E-mail: *mhkazemi@iaut.ac.ir*
Received: 10 Oct. 2015– Accepted: 9 March 2016