نشریه‌ی‌حشره‌شناسی گیاهان زراعی سال ششم، شماره‌ی اول، بهار و تابستان ۱۳۹۵، صفحه‌های ۲۳-۱۱
شاپا : ۷۴۴۸-۲۲۵۱

پردازش سیگنال‌های بیواکوستیکی هفت گونه از افراد بالاخانواده‌ی Grylloidea (Orthoptera: Ensifera)

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

۱- دانش‌جوی دکترای تخصصی حشره‌شناسی کشاورزی، گروه گیاه‌پزشکی، واحد علوم و تحقیقات تهران، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران
۲- استاد گروه گیاه‌پزشکی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تبریز، تبریز، ایران
* مسئول مکاتبات e-mail: mhkazemi@iaut.ac.ir
۳- استاد گروه گیاه‌پزشکی، واحد علوم و تحقیقات تهران، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران
۴- دانشیار بخش تحقیقات گیاهپزشکی، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی آذربایجان‌شرقی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تبریز، ایران
۵- استادیار بخش تحقیقات رده‌بندی حشرات، مؤسسه‌ی تحقیقات گیاه‌پزشکی کشور، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۶/۱۷، تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۱۱/۱۹

چکیده

آواز فراخوانی اغلب توسط افراد نر و به‌منظور جفت‌گیری در برخی از حشرات نظیر راسته‌ی Orthoptera تولید می‌گردد. سیگنال‌های بیواکوستیکی هفت گونه از دو خانواده‌ی Gryllotalpidae (*Gryllotalpa gryllotalpa*) و Gryllidae (*Melanogryllus desertus, Eumodicogryllus bordigalensis, Acheta domesticus*، *Gryllus bimaculatus*، *Gryllus campestris* و *Modicogryllus frontalis*) متعلق به بالاخانواده‌ی Grylloidea ثبت گردید. صداها در طبیعت یا آزمایشگاه از حشرات زنده ضبط و توسط نرم‌افزار MATLAB آنالیز گردید. کمینه، بیشینه، میانگین و انحراف معیار ضرایب کپسترال در گونه‌های مورد مطالعه به‌دست آمد. براساس نتایج به‌دست آمده، گونه‌ی *Gryllus campestris* با کمترین ضریب و گونه‌ی *Gryllotalpa gryllotalpa* با بالاترین ضریب معرفی گردید. پردازش سیگنال‌های صوتی نشان داد که مشخصات صداها دارای تفاوت‌های زیادی هستند و می‌توانند در شناسایی افراد مورد استفاده قرار گیرند.

واژگان کلیدی: سیگنال‌های صوتی، Grylloidea، *Modicogryllus*، چیرپ، آواز فراخوانی.

مقدمه

بیواکوستیک[1] تلفیقی از علوم زیستی و پردازش صوت بوده که در سال‌های اخیر به‌عنوان یکی از روش‌های شناسایی و تعیین هویت گونه در بسیاری از رده‌های جانوری رواج یافته است. مطالعات بیواکوستیکی از نیمه دوم قرن بیستم با وجود وسایل ابتدایی موجود در سال‌های ۱۸۰۰ و ۱۹۰۰ آغاز گردید (Alexander 1957,Walker 1962, 1964). هرچند ضعف دستگاه‌ها و ابزار در آن سال‌ها مانع از پیش‌رفت سریع و گسترده‌ی این نوع پژوهش‌ها گردید، ولی در دهه‌های اخیر، پیش‌رفت‌های قابل توجه در تجهیز و توسعه‌ی وسایل الکترونیکی و رایانه‌ای افق‌های جدیدی جهت مطالعه‌ی این علم پدید آورده است (Gaston and O'Neill 2004, Hao *et al.* 2012). در علم حشره‌شناسی استفاده از این ابزار با توجه به غنای گونه‌ها و وجود ارتباطات صوتی بین حشرات، مورد توجه است (David *et al*. 2003, Hao *et al.* 2012, Kowalski and Lakes-Harlan 2010). با استفاده از این تکنیک مطالعه و شناسایی حشرات در پوشش‌های گیاهی متراکم و حتی در فواصل قابل توجه در روشی غیر تهاجمی و اقتصادی مقدور بوده، امکان شناسایی گونه‌ها در زیستگاه های مختلف که مشاهدات بصری در آن‌ها دشوار یا حتی غیرممکن است فراهم می‌گردد (Gaston and O'Neill 2004, Miyoshi *et al*. 2007). همچنین تکنیک پردازش سیگنال‌های بیواکوستیکی می‌تواند بسیاری از گونه‌های

1. Bioacoustic

مخفی[1] فاقد اختلافات ریخت‌شناسی معنی‌دار را از هم تشخیص دهد و حتی در برخی موارد این روش کارآمدی بیشتری از سایر روش‌ها در تفکیک گونه‌های نزدیک به‌هم دارد (David *et al*. 2003, Szövényi *et al*. 2012). انواع مختلف مشخصه‌های صوتی استخراج و الگوریتم‌های کلاس‌بندی متفاوتی (از قبیل شبکه‌های عصبی مصنوعی، بردار ماشین پشتیبان، تصمیم‌گیری درختی) در تفکیک اصوات ارائه شده‌اند که ضرایب کپسترال به‌عنوان یکی از مشخصه‌های صدا با دقت بالا، در سیگنال‌های صوتی حشرات جایگاه ویژه‌ای یافته است (Le-Qing 2011).

در علم پردازش صوتی حشرات، توجه به دمای محیط نیز از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. با توجه به خون‌سرد بودن حشرات، بسیاری از رفتارها و اعمال فیزیولژیکی بدن آن‌ها تحت تأثیر دمای محیط بوده، درجه‌ی حرارت محیط قادر به ایجاد تغییراتی در برخی مشخصه‌های صدا در محدوده‌ی تعریف شده‌ی هر گونه است. بدین ترتیب که با افزایش دما تا دمای بهینه (که برای هر حشره اختصاصی است)، سرعت بال‌زدن حشره افزایش یافته، این امر سبب افزایش سرعت اگم‌ها و سیلابل‌ها می‌گردد. همچنین فرکانس و برخی ویژگی‌های دیگر صوتی نیز تحت تأثیر دما قرار می‌گیرند که منحنی تغییرات در گونه‌های مختلف متفاوت است (Hedrick and Weber 1998, Walker and Cade 2003).

راست‌بالان یکی از شناخته‌شده‌ترین راسته‌ی حشرات در فعالیت‌های صوتی هستند و مطالعات گسترده‌ای جهت درک رفتارهای صوتی، شنوایی، ارتباط با سیستم عصبی مرکزی و نیز جنبه‌های بیوفیزیکی تولید صدا و پردازش آن‌ها صورت گرفته است (Heller 2006, Robinson and Hall 2002). بسیاری از گونه‌های راست‌بالان، مجهز به دستگاه تولید صدا هستند که بخش مهمی از فرآیند تولیدمثلی آن‌هاست. هرگونه حشره‌ای دارای الگو و فرکانس صدای اختصاصی است که تحت کنترل ژن‌ها بوده، کوچک‌ترین تغییر در مشخصات صدا، به مفهوم وجود دو گونه‌ی سیمپاتریک[2] است (Le-Qing 2011, Walker 1962). این اطلاعات در مطالعات تاکسونومیک و اکولژیک کاربرد دارد و برخی از محققان در بررسی‌های تنوع زیستی گروه‌های خاصی از حشرات از پردازش صدای آن‌ها استفاده می‌کنند (Chesmore and Ohya 2004, Kowalski and Lakes-Harlan 2010).

افراد متعلق به بالاخانواده‌ی Grylloidea شامل جیرجیرک‌ها و آبدزدک‌ها بوده و در زمان جفت‌گیری، حشرات نر با ایجاد صدای مخصوص گونه‌ی خود، افراد ماده را به‌سمت خود جلب می‌نمایند. دستگاه تولید صدا در این بالاخانواده همانند سایر افراد زیرراسته‌ی Ensifera، روی بال‌های جلویی قرار گرفته و حشره‌ی مولد صدا با مالش آن‌ها به یک‌دیگر اقدام به تولید صدا می‌نماید (Jafari *et al*. 2015, Montealegre *et al*. 2011, Walker 1962). مطالعات گسترده‌ای درباره‌ی نحوه‌ی تولید صدا، توصیف صدا و ارتباط اصوات تولید شده با ویژگی‌های فردی و شرایط محیطی صورت پذیرفته است (Heller 2006, Ragge and Reynolds 1998, Szövényi *et al*. 2012). در ایران نیز روی صدای زنجره‌ها از جمله گونه‌های *Psalmocharias alhageos* (Kolenati 1857) ، *Cicadatra platyptera* (Fieber 1876) و *Cicadatra barbodi* (Mozaffarian and Sanborn 2013) بررسی‌هایی انجام یافته (Mozaffarian and Sanborn 2013, Zamanian *et al*. 2008)، ولی بر اساس منابع موجود تاکنون در مورد توصیف سیگنال‌های صوتی راست‌بالان در ایران تحقیقات چندانی صورت نپذیرفته است.

مواد و روش‌ها

در تحقیق حاضر، آواز فراخوانی هفت گونه از شش جنس متعلق به دو خانواده‌ی Gryllidae و Gryllotalpidae در مناطق مختلفی از شمال‌غرب ایران و شمال‌شرق ترکیه (سواحل دریای سیاه) طی سال‌های ۹۳-۹۰ مورد مطالعه قرار گرفت. مناطق مورد مطالعه عبارت بودند از: آذرشهر (طول جغرافیایی ۴۵ درجه‌ی شرقی و عرض جغرافیایی ۳۷ درجه‌ی شمالی) - تبریز (طول جغرافیایی ۴۶ درجه و ۲۶ دقیقه‌ی شرقی و عرض جغرافیایی ۳۸ درجه و ۶ دقیقه‌ی شمالی) - مراغه (طول جغرافیایی ۴۶ درجه‌ی شرقی و عرض جغرافیایی ۳۷ درجه‌ی شمالی)- میاندواب (طول جغرافیایی ۴۶ درجه‌ی شرقی و عرض جغرافیایی ۳۶

1. Cryptic species
2. Sympatric speciation

درجه‌ی شمالی)- ترابزون[1] (طول جغرافیایی ۳۹ درجه و ۴۳ دقیقه‌ی شرقی و عرض جغرافیایی ۴۱ درجه‌ی شمالی).

جمع‌آوری، شناسایی و ضبط صدا

صدای حشرات نر در طبیعت یا آزمایشگاه توسط دستگاه ضبط دیجیتالی (Canon PC1192) و از فاصله‌ی ۱۵-۱۰ سانتی‌متری حشره‌ی مولد صدا ثبت و درجه‌ی حرارت محیط یادداشت گردید (Otte 1992). حدقل ده صدای فراخوانی از هر گونه ضبط و ۵۰ اگم مربوط به هر آواز مورد بررسی قرار گرفت. شکار حشرات با دست، تعبیه تله گودالی و یا پاشیدن مقداری آب و مواد شوینده بر روی حشره‌ی مولد صدا در طبیعت صورت پذیرفت. بدین صورت که پس از پاشش محلول آب و مواد شوینده در محل شنیده شدن آواز فراخوانی حشره، فرد مولد صوت از مخفیگاه خود بیرون می‌آمد و مدتی بی‌هوش روی خاک باقی می‌ماند که فرصت مناسبی برای شکار آن‌ها بود. پس از ضبط صدا، حشره داخل شیشه‌ی الکل یا سیانور کشته شد و برای شناسایی و تفکیک گونه اتاله گردید. شناسایی گونه‌ها بر اساس مشخصات مختلف ریخت‌شناختی از قبیل تعداد و اندازه‌ی خارهای ساق پا، نقش و نگارهای سر و پیش‌گرده، رنگ بدن، اندازه و رگ‌بندی بال‌های جلویی، صفحات زیرجنسی و دستگاه زادآوری نر و ماده صورت پذیرفت (Cordero *et al*. 2007, Eades *et al*. 2015, Iorgu and Iorgu 2008, Otte and Cade 1984).

گونه‌های جمع‌آوری شده

۱- آب‌دزدک معمولی *Gryllotalpa gryllotalpa* (Linnaeus 1758): چندین صدا، دقایقی قبل از غروب آفتاب شروع و اکثر نرها همزمان با غروب اقدام به آوازخوانی می‌نمایند. آواز افراد نر از شهرستان‌های میاندوآب و آذرشهر در ماه‌های اردیبهشت و خرداد ثبت گردید.

۲- جیرجیرک دولکه‌ای *Gryllus bimaculatus* (De Geer 1773): آواز فراخوانی حشرات نر در تمام طول تابستان و از زمان غروب تا نیمه‌های شب و به دفعات زیاد از شهرهای تبریز، آذرشهر، مراغه و ترابزون ثبت گردید.

۳- جیرجیرک صحرایی *Melanogryllus desertus* (Pallas 1771): صدای افراد نر در اوقات عصر و شب از ترابزون و میاندواب و در ماه‌های خرداد و تیر ثبت گردید. تعدادی از افراد نر ساعتی قبل از غروب آفتاب اقدام به تولید صدا نموده و پس از غروب ده‌ها فرد نر در نزدیکی یک‌دیگر ماده‌ها را به‌سمت خود فرا می‌خواندند.

۴- جیرجیرک خانگی *Acheta domesticus* (Linnaeus 1758): صدای حشرات نر در تبریز، ترابزون و آذرشهر به ثبت رسید. آواز فراخوانی این حشره شب هنگام و در تمام طول تابستان به‌گوش می‌رسد.

۵- جیرجیرک *Gryllus campestris* (Linnaeus 1758) : آواز حشرات نر از 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 مورد بررسی قرار گرفت.

۶- جیرجیرک *Eumodicogryllus bordigalensis* (Latreille 1804): آواز فراخوانی حشرات نر از اواخر خرداد تا اواسط شهریور از مناطق مختلف تبریز، آذرشهر و مراغه ثبت گردید.

۷- جیرجیرک *Modicogryllus frontalis* (Fieber 1844): آواز حشرات نر از اردیبهشت تا شهریور هنگام عصر و شب به‌گوش می‌رسد. آواز فراخوانی این حشره از مراغه و تبریز ثبت و پردازش گردید.

پردازش صداهای ضبط شده

پس از بررسی مقدماتی صداهای ضبط شده اقدام به حذف اصوات مزاحم پس زمینه از قبیل صداهای مربوط به باد و پرندگان گردید؛ بدین صورت که پس از پردازش صداهای مذکور و مشخص شدن محدوده‌ی فرکانسی آواز آن‌ها، اقدام به طراحی فیلتر میان‌گذر[2] و حذف فرکانس‌های خارج از محدوده‌ی تعریف شده در نرم افزار MATLAB[3] گردید (Hao *et al*. 2012, Soysal and Soysal 2007).

نمودارهای ویژگی ضرایب کپسترال در مقیاس مل[4] و تبدیل فوریه[5] (برای مشاهده‌ی توزیع انرژی در حوزه‌ی

1. Trabzon

2. Band-Pass filter
3. Matrix laboratory
4. Mel Frequency Cepstral Coefficients (MFCC)
5. Fast Fourier Transforms (FFT)

فرکانس و محاسبه‌ی فرکانس غالب صدا) جهت توصیف دقیق‌تر هر آواز و نمایش اختلافات صداهای گونه‌های مختلف استخراج گردید. ضرایب کپسترال قابل استخراج از سیگنال‌های صوتی می‌باشند و یک‌سری ضرایب عددی هستند که برای گونه‌های مختلف متفاوت بوده، دارای مشخصه‌های مناسبی جهت تفکیک صداهای مختلف می‌باشند. جهت افزایش دقت تشخیص از مقیاس مل در آنالیز کپسترال استفاده می‌گردد (Mollabashi and Askari 2009).

برخی از اصطلاحات متداول صوتی حشرات بر اساس تعاریف (Heller 2006, Ragge and Reynolds 1998) به‌قرار زیر است: آواز فراخوانی: صدای تولید شده توسط یک فرد نر جهت جذب افراد ماده، اگم[1] : یک دسته سیلابل، سیلابل: صدای تولید شده از یک‌بار باز و بسته کردن بال‌ها، دوره‌ی سیلابلی[2] : مدت زمان لازم از شروع اولین ایمپالس یک سیلابل تا آغاز اولین ایمپالس سیلابل بعدی، وقفه‌ی سیلابلی[3] : زمان موجود از اتمام آخرین ایمپالس تا شروع اولین ایمپالس سیلابل بعدی، ایمپالس[4] : صدای تولید شده از برخورد یک دندانه (موجود بر فایل) با اسکریپر، فرکانس غالب: طول موج اساسی یا پایه‌ی یک آواز، ترل[5]: آوازی گوش‌خراش و متشکل از اگم‌های پیوسته و بلند، چیرپ[6] : آوازهای کوتاه و بریده متشکل از یک یا چند چند سیلابل.

نتایج

آب‌دزدک معمولی *Gryllotalpa gryllotalpa*:
پردازش صدا در دمای ۱۸ درجه‌ی سلسیوس بدین شرح می‌باشد: صدا از نوع ترل بوده، از اگم‌های پیوسته و بلندی تشکیل یافته است. بسته به شرایط فیزیکی حشره، توالی اگم‌ها ۳/۴۶±۱۳ ثانیه (۴۵-۵) طول کشیده، پس از یک وقفه‌ی کوتاه ۳-۲ ثانیه‌ای، توالی اگم‌های بعدی شروع می‌گردد. هر اگم متشکل از سیلابل‌های منظم و پیوسته‌ای است که دوره‌ی سیلابلی ۲/۲۷±۲۰ میلی‌ثانیه (۲۵-۱۴) می‌باشد. فرکانس غالب ۱/۶ کیلوهرتز محاسبه گردید (شکل۱).

جیرجیرک دولکه‌ای *Gryllus bimaculatus*:
توصیف صدای جیرجیرک دولکه‌ای در دمای ۱۹ درجه‌ی سلسیوس بدین شرح است: صدا از نوع چیرپ و متشکل از توالی اگم‌های کوتاه و متوازن می‌باشد. هر اگم ۱۸±۳۰۰ میلی‌ثانیه (۳۲۰-۱۶۳) طول کشیده، حامل ۵-۳ سیلابل هم‌شکل و هم‌اندازه است. وقفه‌ی بین اگم‌ها ۲۳±۳۶۴ میلی‌ثانیه (۵۰۰-۳۰۰) است. دوره‌ی سیلابلی ۲/۳±۶۰ میلی‌ثانیه (۶۴-۵۵) محاسبه گردید. فرکانس غالب ۴/۴ کیلوهرتز برآورد شد (شکل۲).

جیرجیرک صحرایی *Melanogryllus desertus*:
طول اگم‌های آواز این جیرجیرک، بلندتر از جیرجیرک دولکه‌ای بوده، هر صدا متشکل از توالی اگم‌هایی مشتمل بر ۱۵-۱۲ سیلابل است. پردازش صوتی در دمای ۲۱ درجه‌ی سلسیوس نشان داد که مدت زمان لازم برای هر اگم ۳۷±۴۶۲ میلی‌ثانیه (۶۰۰-۳۶۰) و وقفه‌ی بین اگم‌ها در دمای مذکور ۲-۱ ثانیه است. دوره‌ی سیلابلی ۳/۶±۳۳/۵۷ میلی‌ثانیه (۴۰-۳۰) برآورد شد. فرکانس غالب آواز ۴/۵ کیلوهرتز می‌باشد (شکل۳).

جیرجیرک خانگی *Acheta domesticus*: پردازش سیگنال‌های صوتی ثبت شده در دمای ۲۹ درجه‌ی سلیسیوس نشان می‌دهد که هر آواز متشکل از اگم‌های بسیار کوتاه با زمان ۳۲±۱۷۵ میلی‌ثانیه (۲۲۳- ۱۴۰) است. وقفه‌ی بین اگم‌ها در دمای مذکور ۵۳±۶۴۴ میلی‌ثانیه (۸۰۰-۵۰۰) و هر اگم متشکل از ۳-۲ سیلابل می‌باشد. زمان لازم برای هر سیلابل ۱/۷±۲۰ میلی‌ثانیه (۲۵-۱۶/۲) و فرکانس غالب صدا ۴/۶ کیلوهرتز است (شکل۴).

جیرجیرک *Gryllus campestris*: توصیف صدای این گونه در دمای ۲۲ درجه‌ی سلسیوس نشان داد که آواز از نوع چیرپ است. هر اگم متشکل از ۵-۴ سیلابل (عموماً ۴ سیلابل) است که اولین سیلابل به‌وضوح کوچکتر از بقیه‌ی سیلابل‌ها می‌باشد (برخلاف صدای جیرجیرک دولکه‌ای که تمام سیلابل‌ها مشابه یک‌دیگرند). مدت زمان هر اگم

1. Echeme
2. Syllable period
3. Inter syllable interval
4. Impulse
5. Trill
6. Chirp

۱۵۳±۲۱ میلی‌ثانیه (۱۸۷-۱۰۷) طول می‌کشد. وقفه‌ی بین اگم‌ها ۱۵۶±۳۲ میلی‌ثانیه (۲۰۰-۱۰۰) بوده ولی در دماهای پایین‌تر تا یک ثانیه هم طول می‌کشد. دوره‌ی سیلابلی ۲۲±۴/۴ (۴۶/۷۵-۱۲/۲) میلی‌ثانیه و فرکانس غالب با محاسبات تبدیل فوریه ۴/۳ کیلوهرتز است (شکل ۵).

جیرجیرک *Eumodicogryllus bordigalensis*:
پردازش صدای فراخوانی در دمای ۲۶ درجه‌ی سلسیوس نشان داد که اگم‌های بلند آن اغلب متشکل از ۱/۳±۱۸ سیلابل (۲۱-۱۱) بود و هر اگم ۳۷±۲۰۰ میلی‌ثانیه (۲۶۹-۱۲۴) طول می‌کشد. وقفه‌ی بین اگم‌ها ۱۱±۱۴۷میلی‌ثانیه (۱۷۰-۱۲۰) و مدت زمان هر سیلابل ۰/۶۴±۱۰ میلی‌ثانیه (۱۲-۸) می‌باشد. دو سیلابل اول دارای وقفه‌ی طولانی‌تری نسبت به سایر سیلابل‌ها بود و فرکانس غالب آواز ۵/۵ کیلوهرتز برآورد شد (شکل۶).

جیرجیرک *Modicogryllus frontalis*: آنالیز صدا در دمای ۲۳ درجه‌ی سلسیوس به‌قرار زیر پردازش شد: اگم‌های نسبتاً طولانی این آواز متشکل از ۱/۱±۲۳ سیلابل (۲۵-۲۱) است. مدت زمان هر اگم ۲۳±۲۵۰ میلی‌ثانیه (۲۸۶-۲۱۱) و وقفه‌ی بین اگم‌ها بسیار متغیر و ۳۵/۲۸±۳۲۲ میلی‌ثانیه (۵۰۰-۱۵۰) است که حتی در دماهای پایین‌تر بیشتر بوده، تا ۳-۲ ثانیه هم طول می‌کشد. زمان لازم برای هر سیلابل ۰/۴۳±۵ میلی‌ثانیه (۸-۲/۳) طول کشیده، فرکانس غالب آواز ۷/۵ کیلوهرتز برآورد شد (شکل۷).

میانگین، بیشینه، کمینه و انحراف معیار ضرایب کپسترال در مقیاس مل برای گونه‌های مورد مطالعه در جدول۱ آورده شده است. این مقادیر به‌عنوان یکی از ویژگی‌های صدا، اختصاصی بوده و در گونه‌های مختلف متفاوت هستند. بدین ترتیب می‌توانند در تفکیک افراد مورد استفاده قرار گیرند. آب‌دزدک *G. gryllotalpa* دارای بیشترین و جیرجیرک *G. campestris* کمترین مقدار عددی این ضرایب هستند. میانگین ضرایب کپسترال در صدای گونه‌ی *E. bordigalensis* کمترین و در گونه‌ی *A. domesticus* بیشترین مقدار عددی را دارد. شکل ۸ شامل نمودارهای ضرایب کپسترال در مقیاس مل برای گونه‌های مورد مطالعه است. اطلاعات عددی فوق، در الگوریتم KNN[1] کلاس‌بندی می‌شود و پس از آموزش الگو جهت تفکیک ضرایب کپسترال مربوط به هر گونه، بازشناسی داده‌ها در مدت زمان اندک حاصل می‌گردد.

بحث

توجه به سیگنال‌های بیواکوستیکی در سال‌های اخیر از اهمیت ویژه‌ای برخوردار بوده و محققین بسیاری به توصیف صدای حشرات همراه با مشخصات ریخت‌شناختی آن‌ها پرداخته‌اند (Miyoshi *et al.* 2007, Montealegre *et al.* 2011). حتی در مورد گونه‌های بسیار نزدیک و مشابه، نظیر ملخ‌های شاخک‌بلند جنس *Platycleis* که شناسایی آن‌ها بر اساس ویژگی‌های شکل‌شناسی بسیار دشوار می‌باشد، کلید شناسایی گونه بر اساس ویژگی‌های صوتی طراحی گردیده است (Ragge 1990). در تحقیق حاضر به پردازش و توصیف صدای فراخوانی هفت گونه از افراد بالاخانواده‌ی Grylloidea پرداخته شد. پردازش دقیق مشخصه‌های صدا در گونه‌های مورد مطالعه نشان می‌دهد که در حقیقت صدای حشرات مختص گونه بوده و با شنیدن و ثبت آواز آن‌ها، می‌توان بر اساس ویژگی‌های خاص هر آواز به هویت حشره‌ی مولد صدا پی‌برد. با توجه به این‌که تفکیک گونه‌ها بر اساس ویژگی‌های ریخت‌شناختی نیازمند افراد متخصص می‌باشد و همچنین به‌دلیل زندگی مخفی برخی گونه‌ها، شکار آن‌ها با مشکلاتی همراه می‌باشد، توجه به تکنیک پردازش صوت به‌عنوان یک ابزار ارزشمند و قوی در تحقیقات رده‌بندی و تنوع گونه‌ای ضروری می‌باشد. به‌عنوان مثال در این مطالعه به توصیف صدای آب‌دزدک *G. gryllotalpa* پرداخته شد که با توجه به شباهت‌های فراوان ریخت‌شناختی با گونه‌ی دیگر موجود در ایران با نام علمی *G. africana* (Beauvois 1805) و زندگی زیر زمینی و شب‌فعال بودن هر دو گونه، استفاده از تکنیک پردازش سیگنال‌های بیواکوستیکی حشرات نر بدون نیاز به شکار آن‌ها، یکی از سریع‌ترین و مطمئن‌ترین روش‌ها جهت تفکیک دو گونه‌ی مذکور است.

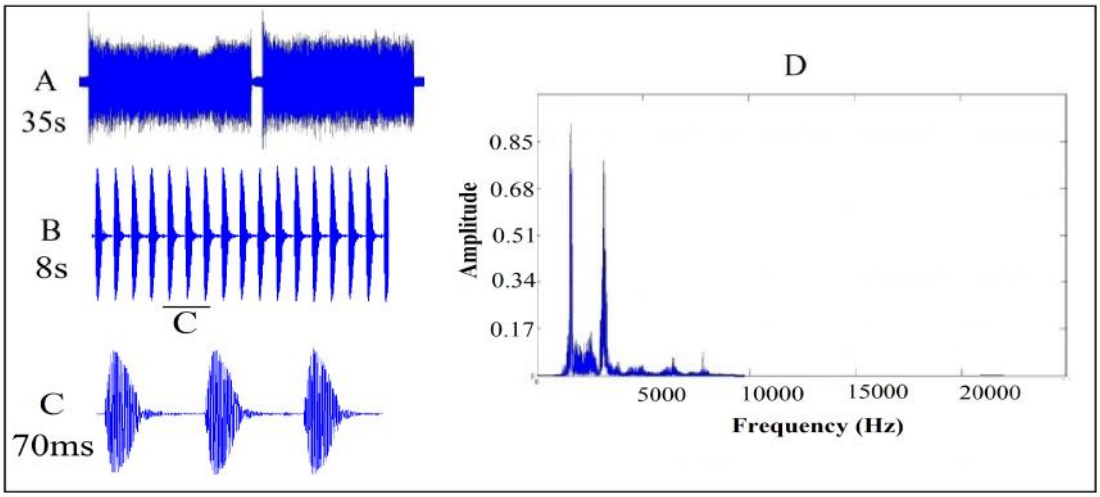
1. K Nearest Neighbor

در سیگنال‌های صوتی آب‌دزدک *G. africana*، فرکانس صوتی ۲/۵ کیلوهرتز و دوره‌ی سیلابلی ۱۷-۱۰/۵ میلی‌ثانیه است (Graaf *et al.* 2005) که در مقایسه با ویژگی‌های صوتی آب‌دزدک معمولی *G. gryllotalpa* و ثبت فرکانس صوتی ۱/۶ کیلوهرتز و دوره‌ی سیلابلی ۲۵-۱۴ میلی‌ثانیه‌ای، تفاوت‌های قابل توجهی مشاهده می‌گردد. علاوه بر موارد فوق شکل موج‌های صدای دو گونه نیز بسیار متفاوت است و گونه‌ی اول سیلابل‌های پهن‌تری نسبت به گونه‌ی دوم دارد.

در مورد دو گونه جیرجیرک صحرایی *G. campestris* و جیرجیرک دولکه‌ای *G. bimaculatus* که ویژگی‌های ریخت‌شناختی نزدیک به‌هم دارند و تفکیک آن‌ها برای افراد غیرمتخصص دشوار است نیز توجه به ویژگی‌های صوتی می‌تواند بسیار سودمند واقع گردد، بدین ترتیب که در سیگنال‌های صوتی جیرجیرک صحرایی اولین سیلابل هر اگم به‌وضوح کوچک‌تر از بقیه‌ی سیلابل‌ها بوده، مدت زمان هر اگم ۲۱±۱۵۳ میلی‌ثانیه می‌باشد، در حالی‌که در آواز فراخوانی جیرجیرک دولکه‌ای، تمام سیلابل‌های هر اگم هم‌شکل و هم‌اندازه بوده، مدت زمان هر اگم (۱۸±۳۰۰ میلی‌ثانیه) نیز حدود دو برابر مدت زمان اگم‌های صوتی جیرجیرک صحرایی است.

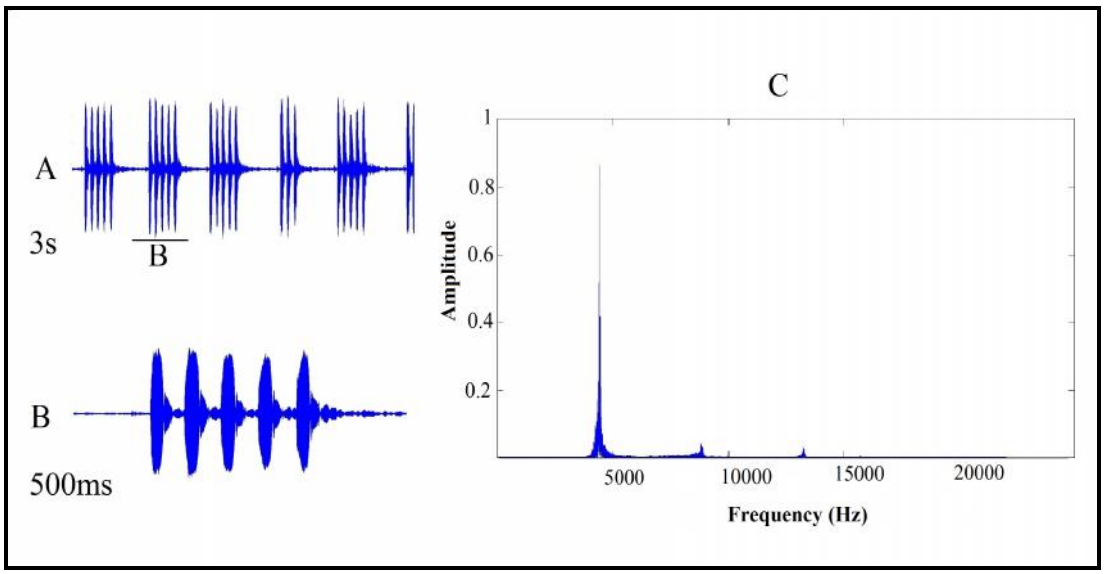
علاوه بر موارد فوق، دو گونه جیرجیرک *E. bordigalensis* و *M. frontalis* نیز از لحاظ ریخت‌شناختی بسیار نزدیک بوده، با توجه به مخفی بودن آن‌ها در زیر تخته‌سنگ‌ها، شکار آن‌ها بسیار دشوار می‌باشد. بنابراین همانند گونه‌های قبلی، تفاوت‌های اکوستیکی به‌عنوان یک ابزار قدرتمند و سریع بدون نیاز به شکار آن‌ها، شناسایی گونه‌های مورد نظر را در مناطق مورد مطالعه امکان‌پذیر می‌سازد. در گونه‌ی *E. bordigalensis* هر اگم متشکل از ۱۸±۱/۳ سیلابل است که دو سیلابل اول دارای وقفه‌ی طولانی‌تری نسبت به سایر سیلابل‌ها بوده، فرکانس غالب آواز نیز ۵/۵ کیلوهرتز می‌باشد، در حالی‌که در گونه‌ی *M. frontalis* اگم‌ها متشکل از ۲۳±۱/۱ سیلابل متوالی بوده، فرکانس غالب صوتی (۷/۵ کیلوهرتز) به‌وضوح بیشتر از گونه‌ی قبلی است.

در کل می‌توان اذعان نمود که با پیش‌رفت تکنولژی در عصر حاضر، علم پردازش سیگنال‌های صوتی باتوجه به استخراج ویژگی‌هایی همانند شکل موج، تعداد سیلابل‌های هر اگم، ضرایب کپسترال در مقیاس مل و فرکانس غالب صوتی قادر است با قدرت و سرعت بالا تعداد فراوانی از گونه‌ها را در زمانی اندک و بدون نیاز به شکار حشرات شناسایی نموده و در خدمت علم سیستماتیک و رده‌بندی حشرات باشد.



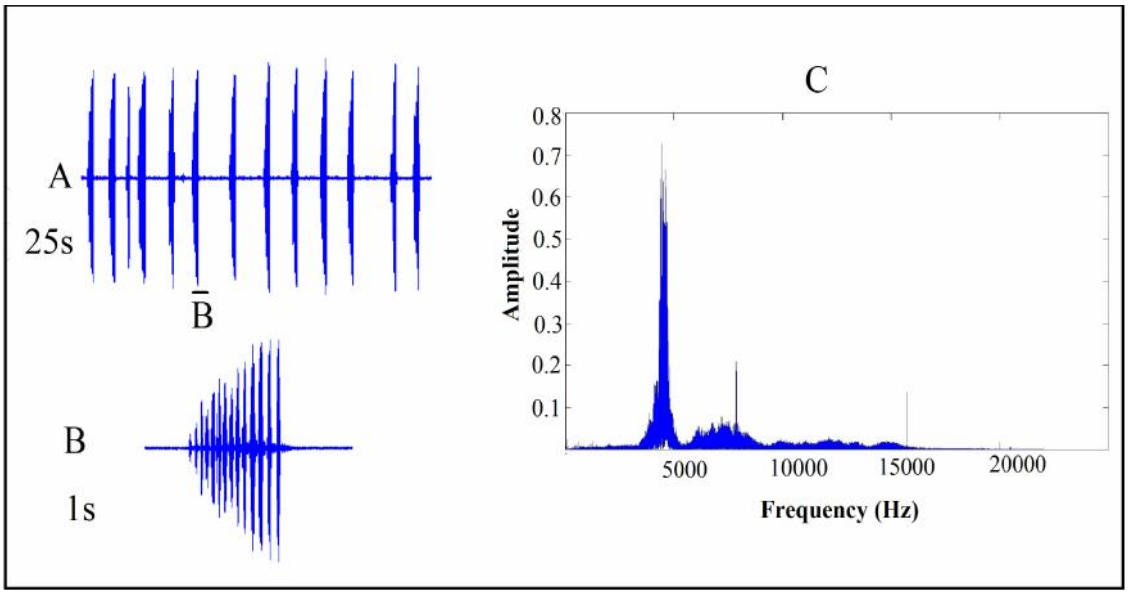
شکل۱- A) آواز فراخوانی *G. gryllotalpa* در ۱۸ درجه‌ی سلسیوس در ۳۵ ثانیه، **B)** توالی اگم‌ها در ۸ ثانیه، **C)** توالی سیلابل‌ها در ۷۰ میلی‌ثانیه، **D)** تبدیل فوریه

Figure 1. A) Calling song of *G. gryllotalpa* in 18 °C at 35 s, **B)** Echemes sequence at 8 s, **C)** Syllable sequence at 70 ms, **D)** FFT



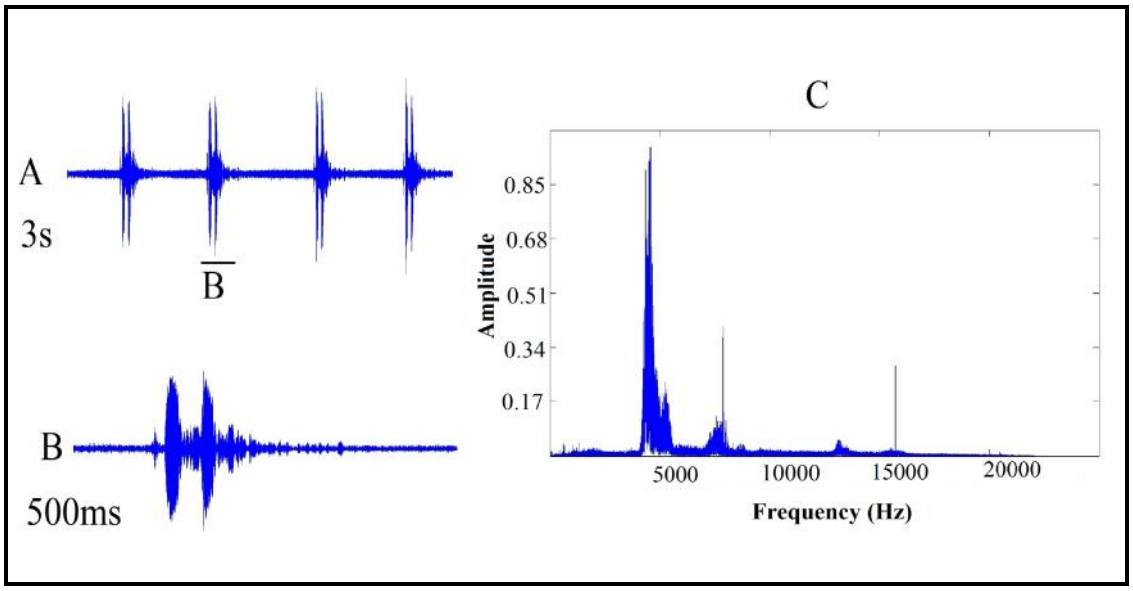
شکل۲- A) آواز فراخوانی *G. bimaculatus* در ۱۹ درجه‌ی سلسیوس در ۳ ثانیه، **B)** توالی سیلابل‌ها در ۵۰۰ میلی‌ثانیه، **C)** تبدیل فوریه

Figure 2. **A)** Calling song of *G. bimaculatus* in 19 °C at 3 s, **B)** Syllable sequence at 500 ms, **C)** FFT



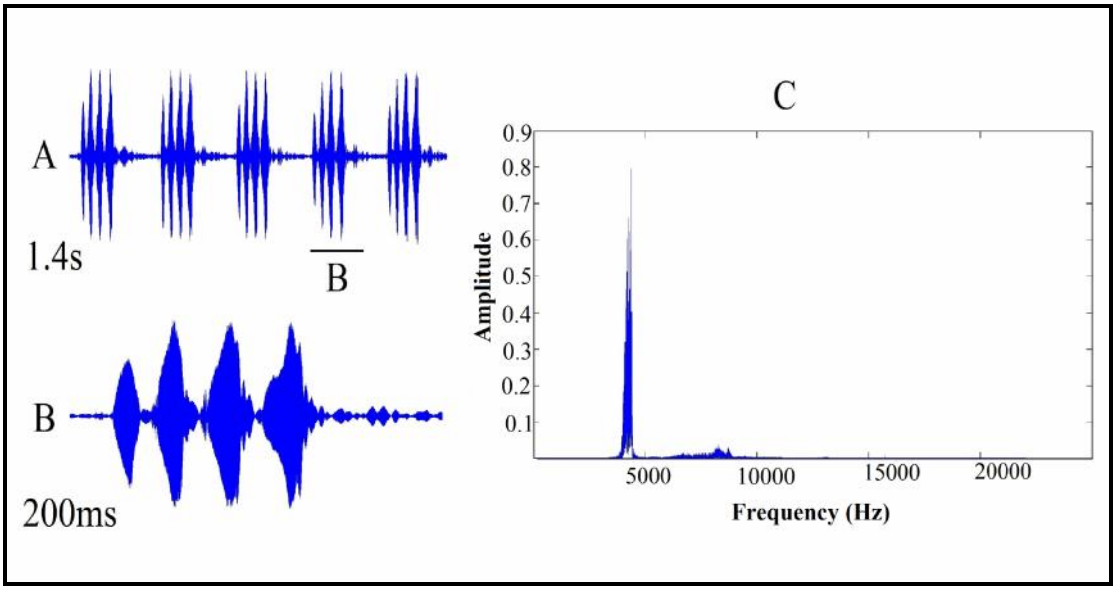
شکل۳- A) توالی اگم‌ها در آواز فراخوانی *M. desertus* در ۲۱ درجه‌ی سلسیوس در ۲۵ ثانیه، **B)** توالی سیلابل‌ها در یک ثانیه، **C)** تبدیل فوریه

Figure 3. **A)** Echemes sequence in calling song of *M. desertus* in 21 °C at 25 s, **B)** Syllable sequence at 1 s, **C)** FFT



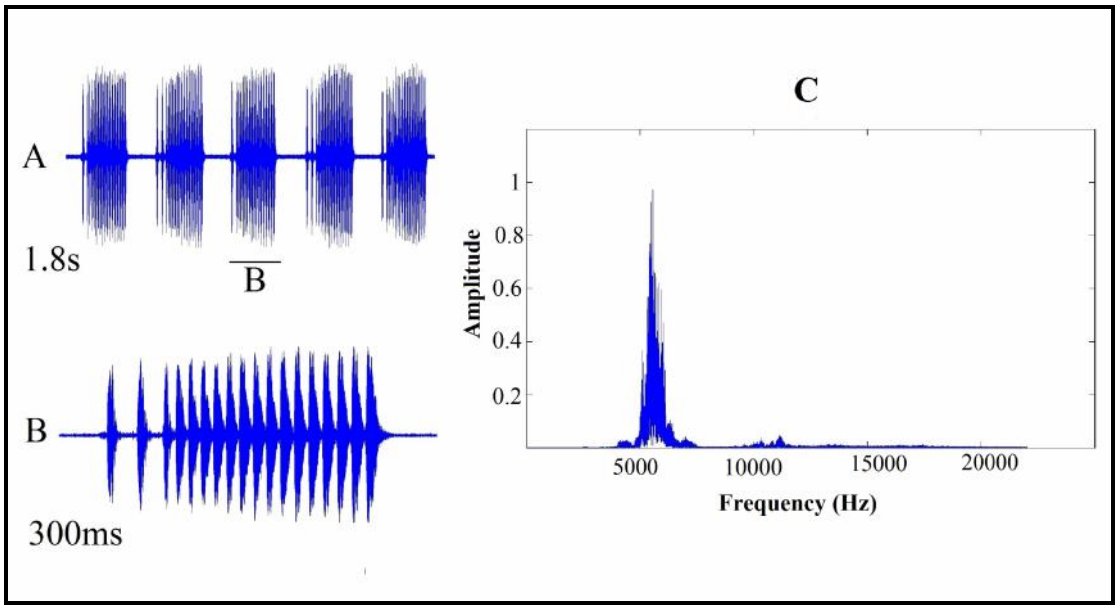
شکل۴- A) توالی اگم‌ها در آواز *A. domesticus* در ۲۹ درجه‌ی سلسیوس در ۳ ثانیه، **B)** توالی سیلابل‌ها در ۵۰۰ میلی‌ثانیه، **C)** تبدیل فوریه

Figure 4. A) Echemes sequence in calling song of *A. domesticus* in 29 °C at 3 s, **B)** Syllable sequence at 500 ms, **C)** FFT



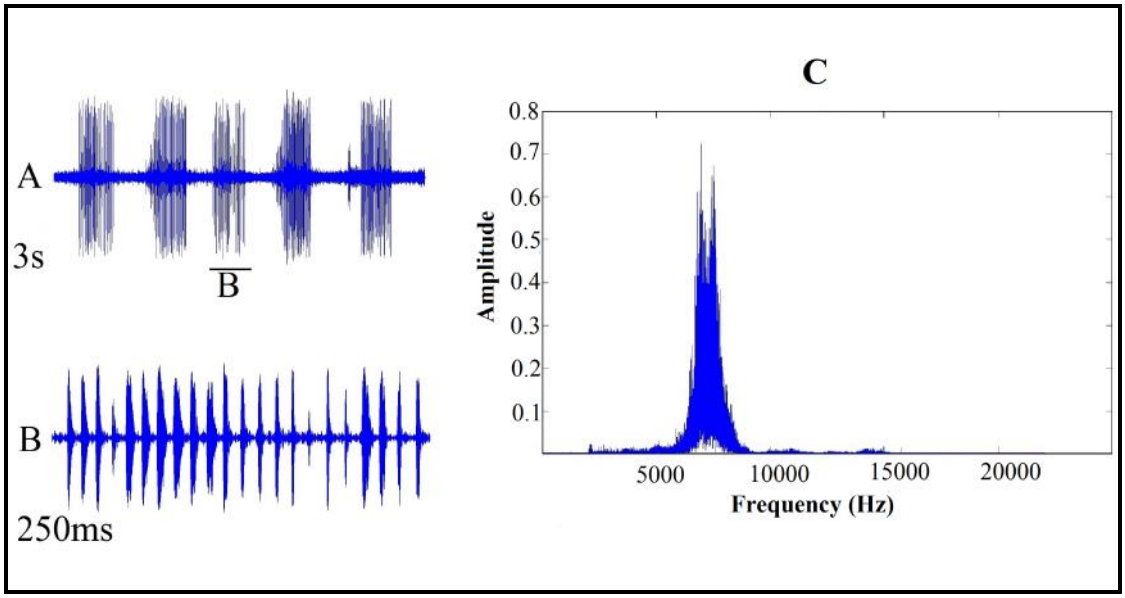
شکل۵- A) توالی اگم‌ها در آواز *G. campestris* در ۲۲ درجه‌ی سلسیوس در ۱/۴ ثانیه، **B)** توالی سیلابل‌ها در ۲۰۰ میلی ثانیه، **C)** تبدیل فوریه

Figure 5. **A)** Echemes sequence in calling song of *G. campestris* in 22 °C at 1.4 s, **B)** Syllable sequence at 200 ms, **C)** FFT



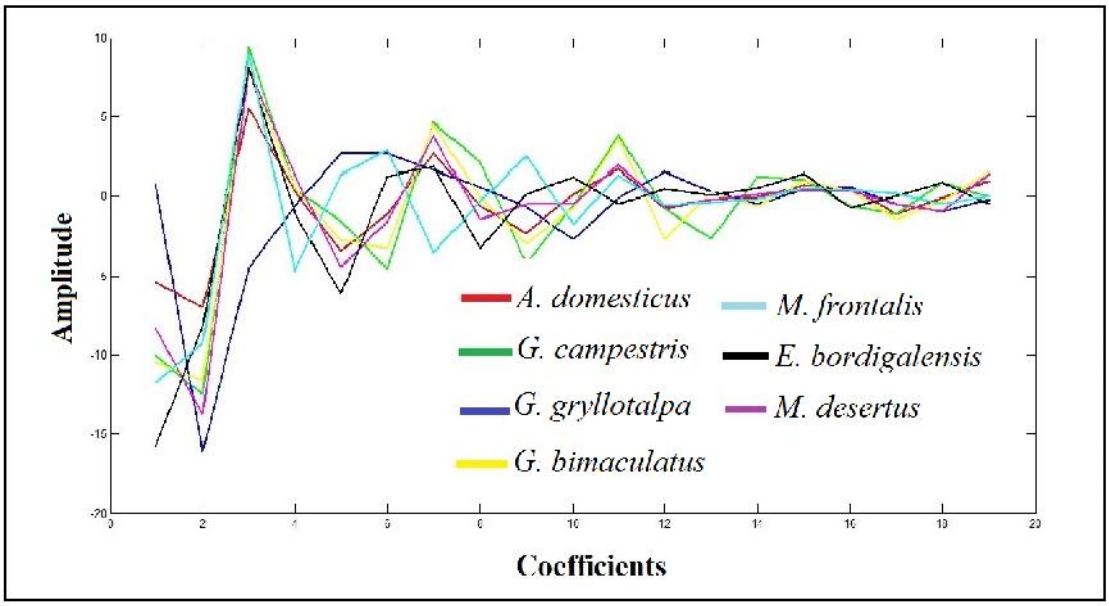
شکل۶- A) توالی اگم‌ها در آواز *E. bordigalensis* در ۲۶ درجه‌ی سلسیوس در ۱/۸ ثانیه، **B)** توالی سیلابل‌ها در ۳۰۰ میلی ثانیه، **C)** تبدیل فوریه

Figure 6. A) Echemes sequence in calling song of *E. bordigalensis* in 26 °C at 1.8 s, **B)** Syllable sequence at 300 ms, **C)** FFT



شکل۷- A) توالی اگم‌ها در آواز *M. frontalis* در ۲۳ درجه‌ی سلسیوس در۳ ثانیه، **B)** توالی سیلابل‌ها در۲۵۰ میلی‌ثانیه، **C)** تبدیل فوریه

Figure 7. **A)** Echemes sequence in calling song of *M. frontalis* in 23 °C at 3 s, **B)** Syllable sequence at 250 ms, **C)** FFT



شکل۸- نمودار ضرایب کپسترال در مقیاس مل در هفت گونه از راست بالان (آب‌دزدک و جیرجیرک‌ها)
Figure 8. MFCC diagrams in seven species of crickets and mole cricket (Orthoptera)

جدول۱- برخی ویژگی‌های ضرایب کپسترال در مقیاس مل در هفت گونه از راست بالان (آب‌دزدک و جیرجیرک‌ها)
Table1. Some characters of MFCC in seven species of crickets and mole cricket (Orthoptera).

Species گونه	Mean میانگین	Max بیشینه	Min کمینه	SD
G. gryllotalpa	-۰/۷۹۰۷	۹/۳۷۸۶	-۱۲/۴۹۶۹	۴/۸۷۲۸
G. bimaculatus	-۰/۹۰۶۴	۷/۹۵۸۹	-۱۱/۶۱۵۸	۴/۵۲۳۳
M. desertus	-۰/۸۱۴۴	۸/۰۴۱۷	-۱۳/۷۴۰۹	۴/۴۶۹۱
A. domesticus	-۰/۵۰۸۷	۵/۵۳۰۱	-۷/۰۰۰۹	۲/۷۶۰۸
G. campestris	-۰/۸۱۲۵	۲/۷۲۱۶	-۱۶/۰۴۳۵	۴/۰۵۴۸
E. bordigalensis	-۱/۰۶۳۹	۸/۱۰۳۵	-۱۵/۷۶۰۲	۴/۸۳۱۸
M. frontalis	-۰/۷۸۳۰	۸/۹۴۶۳	-۱۱/۷۶۴۸	۴/۴۱۲۳

رهیافت ترویجی

امروزه با پیش‌رفت تکنولژی، علم پردازش سیگنال‌های صوتی باتوجه به استخراج ویژگی‌هایی همانند شکل موج، تعداد سیلابل‌های هر اگم، ضرایب کپسترال در مقیاس مل و فرکانس غالب صوتی قادر است با قدرت و سرعت بالا تعداد فراوانی از گونه‌ها را در زمانی اندک و بدون نیاز به شکار حشرات شناسایی نموده و در خدمت علم سیستماتیک و رده‌بندی حشرات باشد. چرا که پردازش سیگنال‌های صوتی نشان می‌دهد مشخصات صداها دارای تفاوت‌های زیادی هستند و می‌توانند در شناسایی افراد مورد استفاده قرار گیرند.

References

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

Chesmore E, 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.

Cordero PJ, Llorente V, Aparicio JM. 2007. A new cricket (Orthoptera, Gryllidae) for castilla-la manchaand the Iberian Peninsula. *Graellsia* 63(2): 305-313.

David JAO, Zefa E, Fontanetti CS. 2003. Cryptic species of *Gryllus* in the light of bioacoustic (Orthoptera: Gryllidae). *Neotropical Entomology* 32(1): 75-80.

Eades DC, Otte D, Cigliano MM, Braun H. 2015. *Orthoptera Species File*. Version 5.0/5.0. http://Orthoptera.SpeciesFile.org [Accessed on 6 January 2015].

Gaston KJ, O'Neill MA. 2004. Automated species identification: Why not? *The Royal Society* 359: 655–667.

Graaf JD, Schoeman AS, Brandenburg RL. 2005. Stridulation of *Gryllotalpa africana* Palisot de Beauvios (Orthoptera: Gryllotalpidae) on turfgrass in south Africa. *Florida Entomologist* 88(3): 292-299.

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

Hedrick AV, Weber T. 1998. Variance in female responses to the fine structure of male song in the field cricket, *Gryllus integer*. *Behavioral Ecology* 9: 582–591.

Heller KG. 2006. Song evolution and speciation in bush-crickets. In: Drosopoulos S, Claridge MF. (eds.) *Insect Sounds and Communication: Physiology, Behavior, Ecology and Evolution.* CRC Press, Boca Raton (FL), USA, pp. 151-165.

Iorgu IS, Iorgu EI. 2008. *Bush Crickets, Crickets and Grasshoppers from Moldavia (Romania).* Pim, Iaşi, 294 pp.

Jafari S, Kazemi M.H., 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.

Kowalski K, Lakes-Harlan R. 2010. Sounds, behavior, and auditory receptors of the Armored ground cricket, *Acanthoplus longipes*. *Insect Science* 10(59): 1-15.

Le-Qing Z. 2011. Insect sound recognition based on MFCC and PNN. International Conference on Multimedia and Signal Processing, May 2011, China. Pp. 42-46.

Miyoshi AR, Zefa E, Martins LP, Dias PGBS, Drehmer CJ, Dornelles JEF. 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.

Mollabashi EO, Askari M. 2009. Develop a speaker-independent speech recognition system, for farsi digits, using hidden Markov model. M.Sc. Thesis on Computer Engineering, University of Arak, 79 pp. [In Persian]

Montealegre-Z F, Jonsson T, Robert D. 2011. Sound radiation and wing mechanics in stridulating field crickets (Orthoptera: Gryllidae). *Journal of Experimental Biology* 214: 2105–2117.

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

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

Otte D, Cade W. 1984. African crickets (Gryllidae) east and south African species of *Modicogryllus* and several related genera (Gryllinae, Modicogryllini). *Proceedings of the Academy of Natural Sciences of Philadelphia* 136: 67-97.

Ragge DR. 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 DR, Reynolds JW. 1998. *The Songs of the Grasshoppers and Crickets of Western Europe.* Harley Books, Essex. 591 pp.

Robinson DJ, Hall M. 2002. *Sound signalling in Orthoptera*. http://oro.open.ac.uk/128/1/Sound_signalling_in_Orthoptera. [Accessed on 14 May 2014]

Soysal H, Soysal O. 2007. Wind farm noise and regulations in the Eastern United States. Second International Meeting on Wind Turbine Noise, September 2007, Lyon France. Pp. 72-74.

Szövényi G, Puskás G, Orci KM. 2012. *Isophya nagyi*, a new phaneropterid bush–cricket (Orthoptera: Tettigonioidea) from the eastern Carpathians (Caliman Mountains, North Romania). *Zootaxa* 3521: 67–79.

Walker TJ. 1962. Factors responsible for intraspecific variation in the calling song of crickets. *Evolution* 16(4): 407-428.

Walker TJ. 1964. Cryptic species among sound producing Ensiferan Orthoptera (Gryllidae and Tettigoniidae). *The Quarterly Review of Biology* 39: 345–55.

Walker SE, Cade WH. 2003. The effects of temperature and age on calling song in a field cricket with a complex calling song, *Teleogryllus oceanicus* (Orthoptera: Gryllidae). *Canadian Journal of Zoology* 81: 1414–1420.

Zamanian H, Mehdipour M, 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 Field Crop Entomology, Vol. 6, No. 1, 2016, pp. 11-23

Bioacoustic signal analysis of seven Grylloidean (Orthoptera: Ensifera) species

Shabnam Jafari[1], Mohammad Hossein Kazemi[2]*, Mahmood Shojaei[3], Hossein Lotfalizadeh[4] and Mohsen Mofidi-Neyestanak[5]

1. Ph.D. student of Agricultural Entomology, Department of Plant Protection, Islamic Azad University, Tehran Science and Research Branch, Tehran, Iran.
2. Professor, Department of Plant Protection, Faculty of Agriculture,Tabriz Branch, Islamic Azad University, Tabriz, Iran. (*Corresponding author, e-mail: mhkazemi @iaut.ac.ir)
3. Professor, Department of Plant Protection, Islamic Azad University, Tehran Science and Research Branch, Tehran, Iran.
4. Associate Professor of Department of Plant Protection, East-Azarbaijan Agricultural and Natural Resources Research Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tabriz, Iran
5. Assistant professor, Insect Taxonomy Research Department & Hayk Mirzayans Insect Museum (HMIM), Iranian Research Institute of Plant Protection, Tehran, Iran.

Received: 8 Sept. 2014, Accepted: 8 Feb. 2015

Abstract

Calling songs are generated usually by males of insects such as Orthopterans for mating. Bioacoustic signals of seven species belonging to the families: Gryllotalpidae (*Gryllotalpa gryllotalpa*) and Gryllidae (*Acheta domesticus, Eumodicogryllus bordigalensis, Melanogryllus desertus, Gryllus campestris, Gryllus bimaculatus* and *Modicogryllus frontalis*) of Grylloidea were sampled. The songs were recorded in the field or in laboratory from live animals and were analyzed with MATLAB software. Minimum, maximum, mean and standard deviation of the studied species in MFCC was obtained. The lowest level was at *Gryllus campestris*, while, *Gryllotalpa gryllotalpa* was introduced with the highest coefficient. Signal processing showed that song characters indicate great differences among species and can be used for identification of them.

Key words: Bioacoustic signals, Grylloidea, *Modicogryllus*, Chirp, Calling songs.