ارزیابی آواهای زیستی در پارک‌های شهر اصفهان با استفاده از شاخص‌های اکوستیک

میلاد لطیفی[۱]، مهرداد رعنایی[۱]، سیما فاخران[۱*] و مینو مشتاقی[۲]

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۱۱/۱ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۶/۱۰)

چکیده

تجزیه و تحلیل آوای منظر به‌ویژه آواهای زیستی با استفاده از شاخص‌های اکوستیک اطلاعات بوم‌شناختی ارزشمندی را به منظور ارزیابی تنوع زیستی، بررسی الگوهای رفتاری گونه‌ها و ارزیابی آلودگی‌های صوتی در اختیار پژوهشگران قرار می‌دهد. در این پژوهش، به منظور تجزیه و تحلیل آواهای زیستی و انسانی در شش پارک شهری اصفهان در فصل بهار از شش شاخص اکوستیک شامل: شاخص پیچیدگی اکوستیک، شاخص تنوع اکوستیک، شاخص یکنواختی اکوستیک، شاخص زیستی اکوستیک، شاخص اختلاف نرمال‌شده آوای منظر و شاخص بی‌نظمی استفاده شد که با استفاده از بسته آماری Seewave ارزش این شاخص‌ها در محیط نرم‌افزار R محاسبه شد. پس از اندازه‌گیری مقادیر این شش شاخص در پارک‌های شهر اصفهان، میزان همبستگی بین آنها مشخص شده و برای تعیین معنی‌دار بودن تفاوت بین شاخص‌های اکوستیک بین جفت پارک‌ها از آزمون توکی در نرم‌افزار R استفاده شد. با توجه به نتایج آزمون ANOVA و آزمون تکمیلی توکی بیشترین مقدار شاخص‌های زیستی اکوستیک، اختلاف نرمال‌شده آوای منظر، پیچیدگی اکوستیک، تنوع اکوستیک، یکنواختی اکوستیک و بی‌نظمی اکوستیک مربوط به پارک صفه با مقادیر ۵۱/۶۳ ، ۰/۹۹، ۲۲۶۷، ۱/۴۶، ۰/۸۹ و ۰/۸۲ و کمترین مقدار این شاخص‌ها به‌ترتیب متعلق به پارک‌های محمودآباد با مقادیر ۱۶/۵۶ و ۰/۴۹-، ایثارگران با مقدار ۱۷۸۷ و باغ غدیر با مقادیر ۰/۰۵، ۰/۶۷ و ۰/۴۱ است. همچنین بیشترین اختلاف معنی‌دار شاخص زیستی اکوستیک و شاخص اختلاف نرمال‌شده آوای منظر بین پارک‌های صفه و محمودآباد محاسبه شد که بیانگر تأثیرگذاری عواملی مانند میزان اثر حاشیه و تنوع زیستی پرندگان بر ارزش شاخص‌ها است. با توجه به نتایج پژوهش می‌توان گفت شاخص‌های اکوستیک زیستی و اختلاف نرمال‌شده آوای منظر معیارهای مناسبی برای ارزیابی فعالیت‌های انسانی و زیستی در فضاهای سبز شهری هستند.

واژه‌های کلیدی: آوای منظر، شاخص زیستی اکوستیک، بسته Seewave، تنوع زیستی پرندگان، پارک صفه

۱. گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان.

۲. گروه محیط زیست، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اصفهان، خوراسگان.

*: مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: Fakheran@iut.ac.ir

مقدمه

در طی سال‌های اخیر، رشد جمعیت و افزایش وسایل نقلیه در کلان‌شهرها سبب افزایش آواهای انسانی و در نتیجه افزایش آلودگی صوتی شده است (۱ و ۳۱). در میان پیچیدگی‌های صوتی موجود در شهرها، پارک‌ها و فضاهای سبز شهری به‌دلیل حضور پرندگان مکان‌های مناسبی برای شنیدن و ضبط آواهای زیستی بوده (۸، ۱۰ و ۲۳) و مکان‌های امنی در برابر آلودگی-های صوتی شهری هستند (۷). بنابراین پارک‌های شهری با توجه به خصوصیات بوم‌شناختی آنها بستر مناسبی برای تحقیق در مورد آواهای زیستی و بررسی الگوهای رفتاری پرندگان بر مبنای تجزیه و تحلیل آواهای ثبت شده می‌باشند (۱۱).

در پارک‌های شهری، پرندگان منبع اصلی تولید آواهای زیستی (Biophony) محسوب می‌شوند (۱۸). آلودگی صوتی موجب تغییر رفتار و گستره خانگی پرندگان شده و این مسئله به نوبه خود باعث اختلال در آواهای زیستی و آوازخوانی پرندگان می‌شود (۲۵). وجود انواع مختلفی از آواها با منابع متفاوت در پارک‌های شهری تجزیه و تحلیل این آواها را با مشکل روبه‌رو کرده است. به‌تازگی دانش جدیدی به نام آوای منظر (Soundscape) توسعه یافته که تا حد زیادی به رفع این مشکل کمک کرده است (۵). آوای منظر یک ترکیب صوتی برخاسته از سیمای سرزمین است که در سه قسمت کلی تعریف می‌شود: آواهای طبیعی منشأ گرفته از محیط غیرزنده شامل زمین، محیط آبی، هوا و باد (Natural sounds)، آواهای انسانی منشأ گرفته از انسان (Anthropophony) و آواهای زیستی (منشأ گرفته از گونه‌های حیات وحش).

امروزه از شاخص‌های اکوستیک (Acoustic Indices) به‌عنوان ابزاری برای تحلیل آواهای زیستی و طبیعی (آوای منظر) استفاده می‌شود (۵). شاخص‌های اکوستیک اطلاعات ارزشمندی در مورد مناطق زیستگاهی و شهری در اختیار پژوهشگران قرار می‌دهند که با استفاده از این اطلاعات می‌توان الگوی تنوع صوتی شهری را بهتر درک کرد (۹). از نتایج به‌دست آمده از تحلیل شاخص‌های اکوستیک می‌توان به‌منظور ارزیابی تنوع زیستی پرندگان شهری (۴)، بررسی تغییر اقلیم (۱۷) و بررسی تغییرات جمعیتی و رفتار گونه‌های جانوری (بر اساس ارتباطات صوتی) استفاده کرد (۶) که این موارد می‌توانند به مدیریت بهتر زیستگاه‌های حیات وحش در فضاهای سبز شهری کمک کنند (۶). انواع مختلفی از شاخص‌های اکوستیک وجود دارند، از جمله شاخص پیچیدگی اکوستیک (Acoustic Complexity Index)، شاخص تنوع اکوستیک (Acoustic Diversity Index)، شاخص یکنواختی اکوستیک (Acoustic Evenness Index)، شاخص زیستی اکوستیک (Bioacoustics Index)، شاخص اختلاف نرمال‌شده آوای منظر (Normalized Difference Soundscape Index) و شاخص بی‌نظمی اکوستیک (Entropy) که هر یک تصویر و درک متفاوتی از آوای منظر در اختیار پژوهشگران قرار می دهد (۶).

تاکنون پژوهش‌های متعددی در زمینه ارزیابی آوای منظر در سطح جهان انجام شده (۶، ۲۸ و ۳۳)، در حالی‌که این موضوع در ایران به‌نسبت کمتر مورد توجه قرار گرفته و تنها می‌توان به پژوهش رحیمی و فاخران (۳۰) و خروشی و مشتاقی (۱۶) اشاره کرد. رحیمی و فاخران (۳۰) تغییرپذیری آوای منظر در سطح شهر اصفهان را مورد بررسی قرار دادند. طبق نتایج مطالعه آنها مشخص شد که با حرکت از مرکز شهر به سمت حومه، میزان آواهای انسانی و زیستی به ترتیب کاهش و افزایش می‌یابد. بیشتر تحقیقات انجام شده در سایر کشورها در مورد آوای منظر با هدف تجزیه و تحلیل آواهای زیستی و ارزیابی تنوع زیستی بوده است (۴، ۹، ۳۳ و ۳۴). در این ارتباط می‌توان به مطالعه فربیاس و همکاران (۴) اشاره کرد که با استفاده از چهار شاخص اکوستیک، تنوع زیستی شهر لندن را ارزیابی کردند. بر اساس نتایج مطالعه آنها مشخص شد که بین شاخص‌های اختلاف نرمال‌شده آوای منظر، شاخص زیستی اکوستیک و شاخص تنوع اکوستیک با فعالیت‌های انسانی و گونه‌های جانوری رابطه معناداری وجود دارد به‌طوری‌که بر مبنای تحلیل مقادیر این سه شاخص می‌توان تنوع زیستی پرندگان شهری را ارزیابی کرد. امروزه شاخص‌های اکوستیک کاربردهای

ویژه‌ای در زمینه بوم‌شناسی و رفتارشناسی پرندگان دارند (۶). برای مثال، گاسک و همکاران (۷) از هفت شاخص اکوستیک برای تحلیل صدای پرندگان استفاده کردند. نتایج آنها نشان داد که استفاده از شاخص‌های اکوستیک با در نظر گرفتن فیلترهای صوتی مناسب، افزایش دفعات تکرار ضبط و شناسایی گروه‌های اصلی جوامع پرندگان می‌تواند نقش بسزایی در برآورد تنوع زیستی پرندگان داشته باشد. از شاخص‌های اکوستیک همچنین به‌منظور بررسی تنوع زیستی گونه‌های دریایی استفاده شده است. از جمله پژوهش‌های مهم در این زمینه مطالعه هریس و همکاران (۹) است که از شاخص‌های پیچیدگی صوتی، غنای اکوستیک و آنتروپی اکوستیک برای برآورد تنوع زیستی ماهیان صخره‌ای در شمال شرقی نیوزیلند استفاده کردند. نتایج این تحقیق نشان داد که دو شاخص بی‌نظمی اکوستیک و پیچیدگی اکوستیک با شاخص‌های تنوع شانون و یکنواختی گونه‌ای همبستگی بالایی داشته و بنابراین می‌توان شاخص اکوستیک را به‌عنوان یک روش مناسب برای برآورد تنوع زیستی گونه‌های آبزی در نظر گرفت. سور و همکاران (۳۳) نیز در مطالعه خود شاخص‌های اکوستیک جدیدی را برای ارزیابی آوای منظر معرفی کردند. آنها در مطالعه خود به بررسی عملکرد این شاخص‌ها پرداخته و بیان کردند که استفاده از شاخص‌های اکوستیک می‌تواند روشی کارآمد برای ارزیابی تنوع زیستی باشد. به‌دلیل پیچیدگی صوتی (اختلالات صوتی) بوم‌سازگان‌های شهری و همچنین وجود جوامع غنی از پرندگان شهری، شاخص‌های اکوستیک می‌تواند ابزار مناسبی برای ارزیابی آواهای انسانی و زیستی باشد (۱۲).

هدف از این پژوهش بررسی آواهای زیستی (آوای پرندگان) در شش پارک شهری اصفهان در فصل بهار است که با استفاده از شاخص‌های اکوستیک (یکنواختی اکوستیک، پیچیدگی اکوستیک، تنوع اکوستیک، اختلاف نرمال‌شده آوای منظر، بی‌نظمی اکوستیک و شاخص زیستی اکوستیک) مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرند.

روش کار

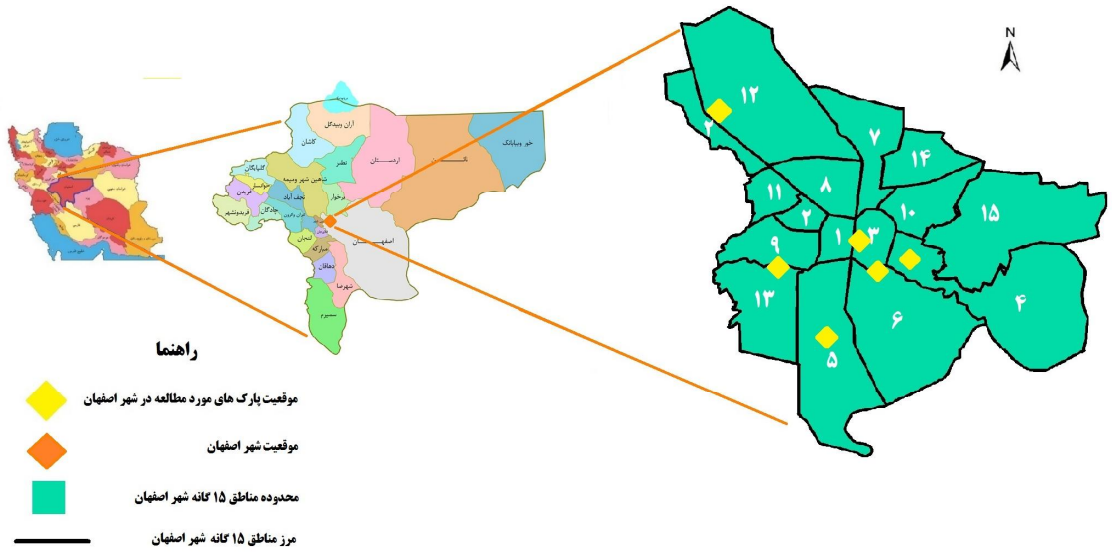
معرفی منطقه مطالعه

شهر اصفهان با مساحت بالغ بر ۱۷۵۸۵ هکتار در محدوده طول جغرافیایی "۴۰ ′۳۹ °۵۱ شرقی و عرض جغرافیایی "۳۰ ′۳۸ °۳۲ شمالی در مرکز ایران واقع شده و دارای ۱۵ منطقه شهری است (شکل ۱). این شهر در ارتفاع ۱۵۷۵ متر از سطح دریا و بر روی آبرفت زاینده‌رود واقع شده و اقلیم خشک و نیمه‌بیابانی دارد (۲۲). در حال حاضر وسعت فضای سبز شهری در شهر اصفهان ۳۰ میلیون مترمربع است. از این میزان ۴،۷۷۷،۴۵۵ مترمربع به فضای سبز مربوط است که ۹۵ پارک شهری را تشکیل می‌دهد (۱۴). این مطالعه در محدوده شش پارک شهری انجام شد که موقعیت مکانی آنها در شکل ۱ نشان داده شده است.

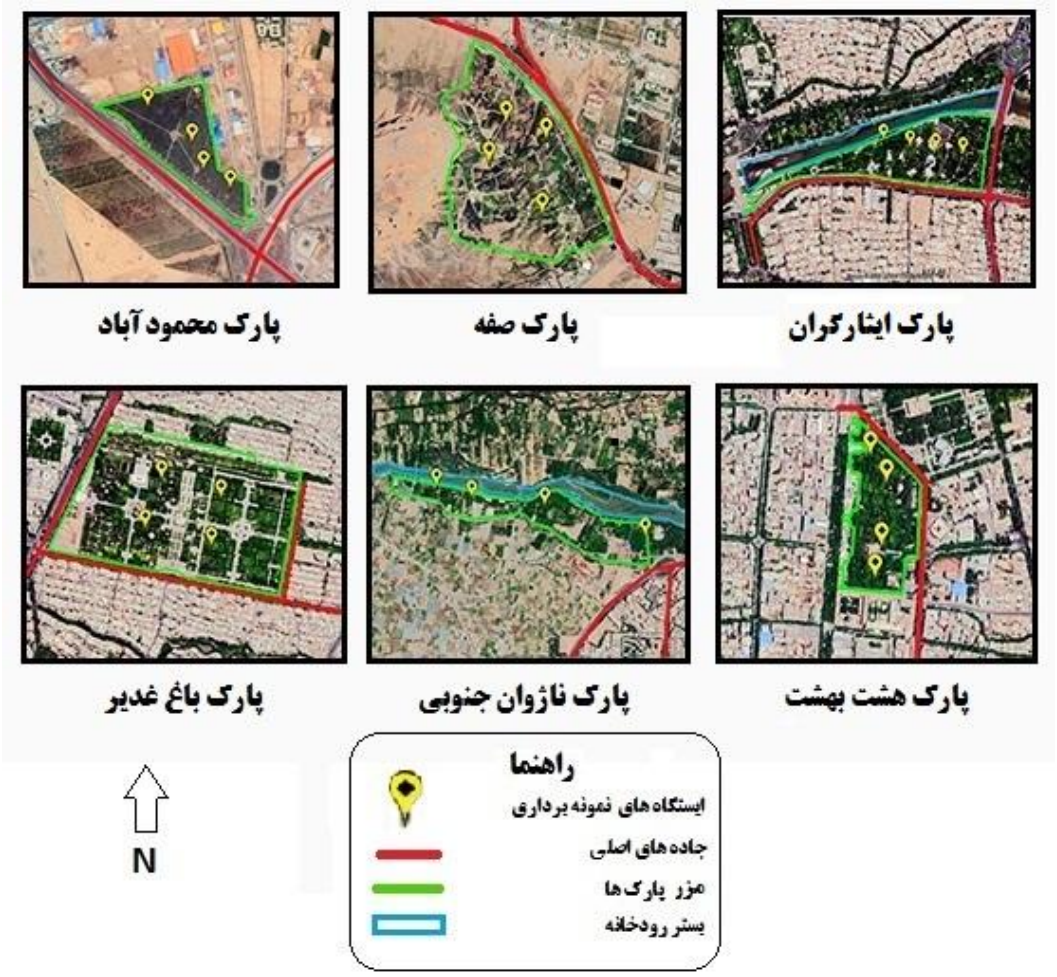
روش نمونه‌برداری

نمونه‌برداری آواهای زیستی در پارک‌ها در فصل بهار انجام شد چرا که فعالیت‌های آوازخوانی پرندگان در این فصل نسبت به فصول دیگر بیشتر است (۲). در این پژوهش، ۶ پارک شهری از بخش‌های مرکزی (پارک ایثارگران و هشت‌بهشت)، شمال (پارک محمودآباد)، جنوب (پارک صفه)، شرق (پارک باغ غدیر) و غرب (پارک ناژوان) شهر اصفهان (هر کدام از یکی از مناطق ۱۵گانه) برای نمونه‌برداری شاخص‌های اکوستیک و ضبط آواهای زیستی انتخاب شدند. این پارک‌ها بر اساس گرادیان شهری و قرارگیری آنها در مکان‌های کم‌تردد و پرتردد انتخاب شدند (۲۹). موقعیت ایستگاه‌های نمونه‌برداری صوت به‌همراه جاده‌های واقع در حاشیه هر پارک در شکل ۲ نشان داده شده است.

برای تعیین مکان ایستگاه‌های نمونه‌برداری از روش ترسیم دوایر متحدالمرکز (کرنل) استفاده شد (شکل ۳) (۲۴). در این روش، برای جلوگیری از بروز اثر حاشیه و ضبط صداهای اضافی، ابتدا یک فاصله ۵۰ متری از حاشیه پارک‌ها تا ایستگاه نمونه‌برداری در نظر گرفته شد (۱۸). سپس از مرکز پارک، دوایر متحدالمرکزی به فاصله ۵۰ تا ۲۵۰ متر (با توجه به



شکل ۱. موقعیت شهر اصفهان و پارک‌های شهری مورد مطالعه در محدوده مناطق ۱۵گانه شهر (رنگی در نسخه الکترونیکی)



شکل ۲. محدوده جغرافیایی پارک‌های مورد مطالعه و موقعیت ایستگاه‌های نمونه‌برداری صوت. موقعیت جاده و بستر رودخانه زاینده‌رود نسبت به پارک‌ها در شکل مشخص شده است. (رنگی در نسخه الکترونیکی)

شکل ۳. تعیین ایستگاه‌های نمونه‌برداری به روش دوایر متحدالمرکز (۵۰ متر تا ۲۵۰ متر) و با فواصل مشخص از حاشیه هر پارک شهری (۵۰ متر) (رنگی در نسخه الکترونیکی)

وسعت، نوع پوشش گیاهی و کاربری‌های مختلف هر پارک) ایجاد شد که در نهایت ایستگاه‌های نمونه‌برداری با زاویه ۹۰ درجه نسبت به یکدیگر از مرکز پارک روی دوایر قرار گرفتند. همچنین ایستگاه‌های حاشیه پارک‌ها که بر روی دوایر با زاویه ۹۰ درجه نسبت به ایستگاه‌های دیگر قرار گرفتند اما فاصله کمتر از ۵۰ متری با حاشیه پارک داشتند برای نمونه‌برداری صوت در نظر گرفته نشد. با استفاده از این روش، نمونه‌برداری در تمام جهات در پارک انجام شد که سبب به حداقل رساندن خطای نمونه‌برداری و جمع‌آوری بیشترین میزان داده شد.

نمونه‌برداری آواهای زیستی

دستگاه‌های متعددی برای ضبط آواهای زیستی وجود دارد که دستگاه Song Meter از جمله دستگاه‌های پیشرفته‌ای است که برای ضبط اکوستیک در فرکانس‌های بالا استفاده می شود (۳۱). برای ضبط آواهای طبیعی و صدای پرندگان از دستگاه ضبط صدا با برند Lender مدل PV4 و میکروفون شات‌گان برند Boya استفاده شد که به سیستم تنظیم درصد حساسیت شدت صوت و سیستم کاهش نویز مجهز است. در این مطالعه، به سبب افزایش فعالیت‌های آوازخوانی پرندگان در فصل بهار، نمونه‌برداری آواهای زیستی (صدای پرندگان) در این فصل انجام شد (۲۷). با توجه به زمان اوج فعالیت آوازخوانی پرندگان در شبانه‌روز (۳۲)، ضبط آواها از ساعت ۷:۳۰ صبح تا ساعت ۱۲ ظهر انجام شد. ضبط صداها در هر پارک بر اساس ایستگاه‌های تعیین شده در مدت زمان ۳۰ دقیقه و در شرایط مساعد آب و هوایی و زمان‌های کم‌تردد انجام شد. به‌منظور حذف نویزهای اضافی (صداهای پس‌زمینه مانند وزش باد)، فایل‌های صوت جمع‌آوری شده با استفاده از نرم‌افزار Audacity Sound Normalizer v5.71 فیلتر شدند.

شاخص‌های اکوستیک مورد استفاده در این پژوهش

۱) شاخص یکنواختی اکوستیک

شاخص یکنواختی اکوستیک با تأکید بر سیگنال صوتی ایجاد-شده بالای ۵۰ دسی‌بل در هر قسمت از فرکانس صوتی طیف-سنج محاسبه می‌شود. این شاخص میزان نوسانات و طیف‌های ایجادشده در کل فرکانس صوتی را محاسبه می‌کند. ارزش این شاخص بین صفر تا یک است که اگر مقدار آن به یک نزدیک باشد فایل صوتی از یکنواختی آوایی بیشتری برخوردار است. به دلیل اینکه آواهای انسانی از یکنواختی اکوستیک برخوردارند

(مانند بوق و صدای ماشین)، این شاخص روش مناسبی برای پیش‌بینی آلودگی صوتی و اختلالات صوتی است (۳۷).

۲) شاخص تنوع اکوستیک

در این شاخص تعداد دفعات سیگنال ایجادشده در بازه‌های فرکانسی مشخص محاسبه شده و انرژی سیگنال‌های صوتی نیز در طیف‌سنج در نظر گرفته می‌شود. پیش‌فرض‌های فرکانسی و شدت صوتی برای این شاخص ۱۰۰۰ هرتز و ۵۰ دسی‌بل است. این شاخص بر خلاف شاخص یکنواختی اکوستیک برای آواهایی که از تنوع اکوستیک بیشتری برخوردارند (مانند آواهای زیستی) مورد استفاده قرار می‌گیرد. (۳۷).

۳) شاخص پیچیدگی اکوستیک

شاخص پیچیدگی اکوستیک بر اساس بازه زمانی، شدت صوتی و فرکانس صوتی محاسبه می‌شود به صورتی‌که میزان نوسانات سیگنال‌های ایجادشده در طیف‌سنج را در کل زمان ضبط صدا در نظر می‌گیرد. این شاخص در زمینه تحلیل صدای پرندگان و رفتارشناسی گونه‌های جانوری کاربرد دارد و بیشتر برای بررسی تغییرات شدت صدای پرندگان استفاده می‌شود. شاخص پیچیدگی اکوستیک، شدت صوتی سیگنال‌ها را در بازه‌های فرکانسی و زمانی مختلف محاسبه می‌کند (۲۹).

۴) شاخص زیستی اکوستیک

این شاخص بر سیگنال‌های صوتی بالای ۲۰۰۰ هرتز (محدوده آواهای زیستی) متمرکز است و فراوانی آواهای ایجادشده در بازه فرکانسی ۲۰۰۰ تا ۱۱۰۰۰ هرتز را محاسبه می‌کند. به دلیل اینکه بسیاری از پرندگان در فرکانس‌های بالای ۲۰۰۰ هرتز آوازخوانی می‌کنند این شاخص روش مناسبی برای تحلیل فعالیت‌های آوازخوانی پرندگان و پیش‌بینی حضور آنها است. مقادیر این شاخص تابعی از سطح و تعداد باندهای فرکانسی است (۱).

۵) شاخص اختلاف نرمال‌شده آوای منظر

این شاخص نسبت میزان آواهای زیستی ایجادشده در بازه ۲۰۰۰ تا ۱۱۰۰۰ هرتز و آواهای انسانی ایجادشده در محدوده ۱۰۰۰ تا ۲۰۰۰ هرتز در بازه زمانی ضبط صدا را اندازه‌گیری می‌کند. بازه مقدار ارزش این شاخص بین ۱- تا ۱+ است. اگر ارزش شاخص به ۱+ نزدیک شود وجود آواهای زیستی را نشان می‌دهد، و چنانچه به ۱- نزدیک شود نشان‌دهنده وجود صداهای انسانی در محیط است. بنابراین این شاخص معیار مناسبی برای پیش‌بینی آلودگی‌های صوتی و حضور پرندگان آوازخوان است (۱۲).

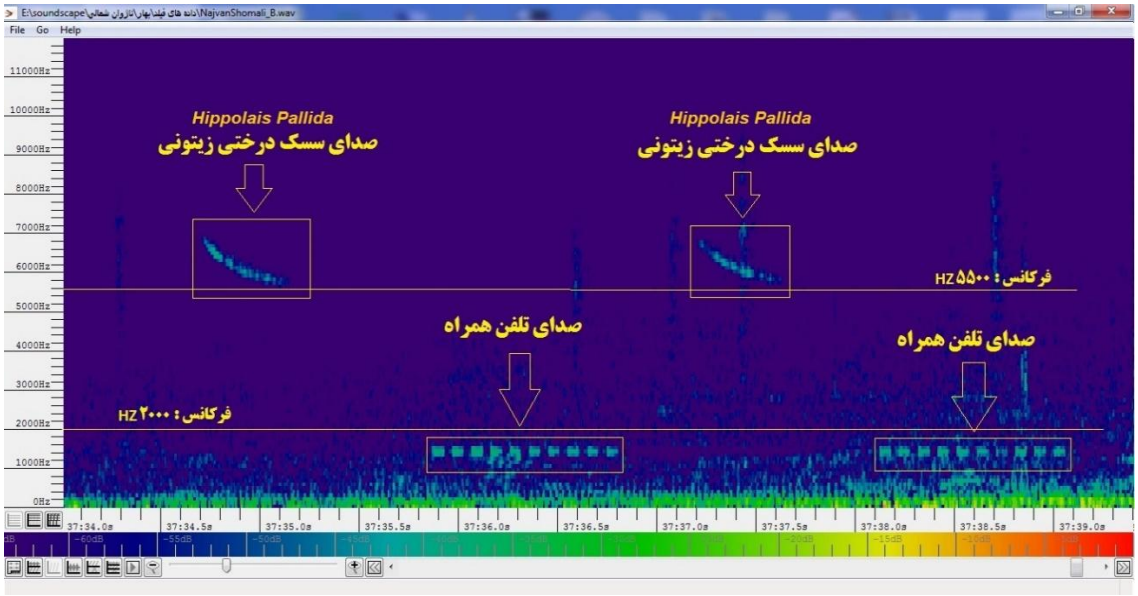
۶) شاخص بی‌نظمی اکوستیک

شاخص بی‌نظمی اکوستیک میزان بی‌نظمی سیگنال‌های صوتی ایجادشده را بر اساس بازه زمانی مشخص در فریم‌های فرکانسی محاسبه می‌کند و ارزش آن بین صفر تا یک است. این شاخص به دلیل اینکه میزان بی‌نظمی اکوستیک آواهای ضبط-شده را نشان می‌دهد، می‌تواند ابزار مناسبی برای سنجش گستردگی و پیچیدگی فضاهای صوتی در بوم‌سازگان‌های شهری باشد (۳۴).

با توجه به لزوم تعیین محدوده فرکانسی آواها جهت محاسبه شاخص‌های اکوستیک، پیش از تحلیل فایل‌های صوتی در نرم‌افزار R، تمام آواهای ضبط‌شده در محیط اسپکتوگرام نرم‌افزار Songscope طیف‌سنجی شده و بر اساس محدوده فرکانسی آواهای زیستی و انسانی ایجاد شده در محیط، بازه فرکانسی آواهای انسانی بین ۱۰۰۰ تا ۲۵۰۰ هرتز و برای آواهای زیستی از ۲۵۰۰ تا ۱۱۰۰۰ هرتز در نظر گرفته می‌شود (۳۷).

روش تحلیل آماری شاخص‌های اکوستیک

بسته‌های آماری متعددی برای تجزیه و تحلیل شاخص‌های اکوستیک وجود دارد که از میان آنها بسته آماری Seewave یکی از پرکاربردترین روش‌های تجزیه و تحلیل این شاخص‌ها است، به‌طوری‌که در بیشتر تحقیقاتی که برای ارزیابی شاخص اکوستیک انجام شده، همانند تحقیق حاضر از این بسته آماری استفاده شده است (۱۲، ۱۵ و ۳۴). بسته آماری Seewave توسط سوئر و همکاران (۳۵) تهیه شده و از قابلیت‌های



شکل ۴. بازه فرکانسی آواهای انسانی (صدای تلفن همراه) در محدوده ۱۰۰۰ تا ۲۰۰۰ هرتز و بازه فرکانسی آواهای زیستی (صدای پرنده) در محدوده ۵۵۰۰ تا ۷۰۰۰ هرتز (رنگی در نسخه الکترونیکی)

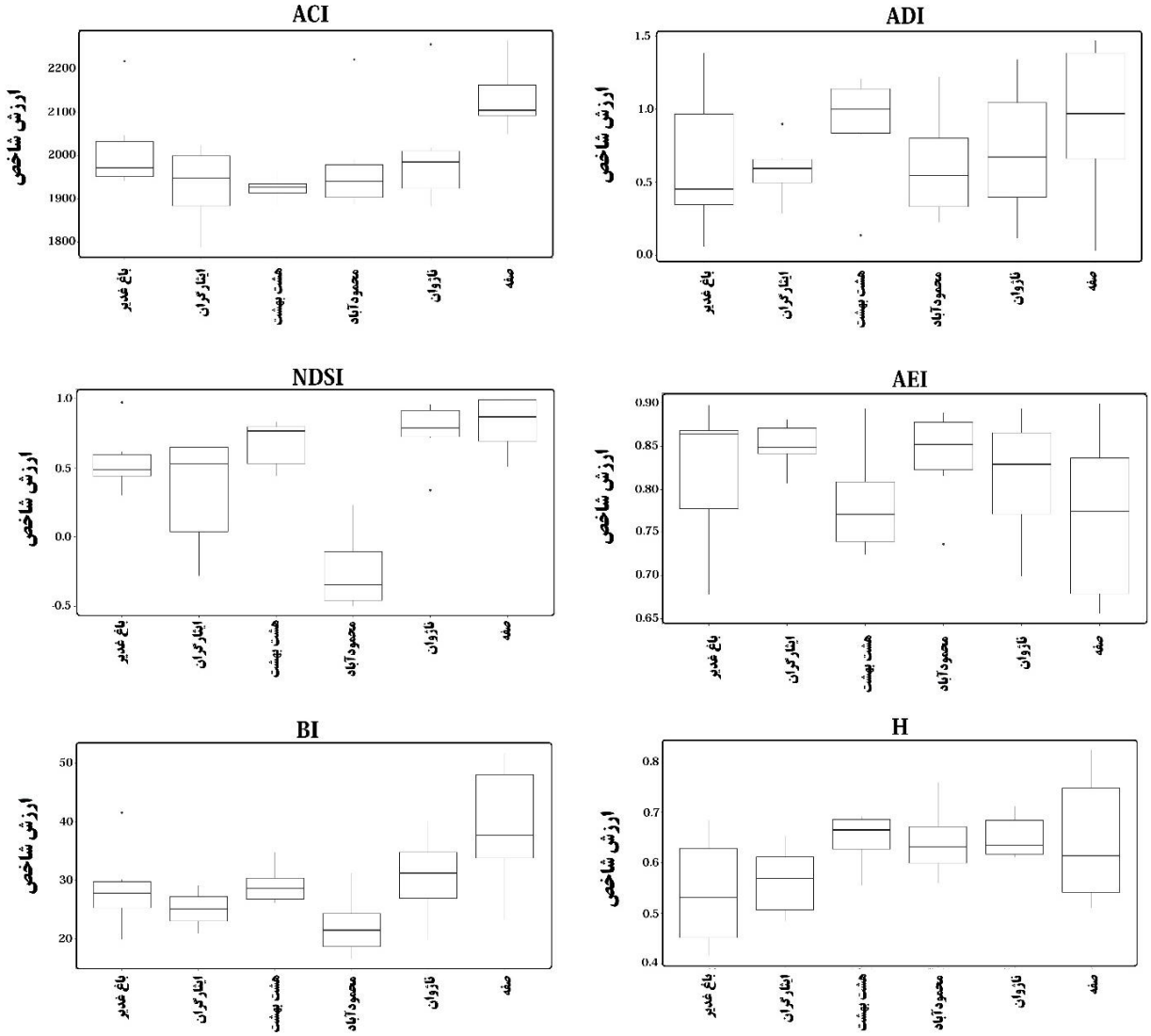
مختلفی برای تجزیه و تحلیل، نمایش، ویرایش و سنتز امواج زمانی برخوردار است (۴). در این مطالعه، به منظور محاسبه شاخص‌های اکوستیک، ابتدا فایل‌های صوتی با فرمت WAV وارد بسته آماری Seewave شده و سپس شاخص‌های پیچیدگی اکوستیک، تنوع اکوستیک، یکنواختی اکوستیک، شاخص زیستی اکوستیک، اختلاف نرمال‌شده آوای منظر و بی‌نظمی اکوستیک محاسبه شد. مقدار هر یک از شاخص‌های اکوستیک بر اساس بازه فرکانسی، شدت صوت، و مدت زمان آواهای زیستی و انسانی ایجادشده توسط نرم‌افزار محاسبه شد (۶).

بعد از محاسبه مقادیر شاخص‌ها، نرمال‌بودن توزیع ارزش شاخص‌های اکوستیک با استفاده از آزمون کولموگروف-اسمیرنف مورد بررسی قرار گرفت. در مرحله بعد، برای بررسی معنادار بودن تفاوت مقادیر شاخص های اکوستیک بین پارک‌ها و در هر پارک از آزمون ANOVA در نرم‌افزار R استفاده شد. برای مقایسه بهتر و نشان‌دادن معنادار بودن تفاوت بین شاخص‌های اکوستیک از نمودار جعبه‌ای استفاده شد. به‌منظور بررسی رابطه میان شاخص‌های اکوستیک در پارک‌های شهری اصفهان، از روش‌های تحلیل همبستگی، آنالیز واریانس و آزمون توکی استفاده شد. در این آزمون درجه آزادی به میزان ۰/۰۵ در نظر گرفته شد.

نتایج

با توجه به طیف‌سنجی انجام‌شده برای تمام فایل‌های صوتی در نرم‌افزار Songscope، آواهای زیستی در بازه فرکانسی ۲۵۰۰ تا ۷۰۰۰ هرتز و آواهای انسانی در بازه ۱۰۰۰ تا ۲۵۰۰ هرتز قرار گرفته است (شکل ۴). با توجه به شکل ۴ الگوی طیفی آواها نشان می‌دهد بیشترین آواهای زیستی در محدوده فرکانسی ۵۵۰۰ کیلوهرتز قرار دارد و آواهای انسانی در محدوده ۲۰۰۰ کیلوهرتز تولید شده است.

نتایج آزمون ANOVA در شکل ۵ نشان داده شده که همان‌طور که مشاهده می‌شود، بالاترین مقادیر شاخص‌های اکوستیک برای پارک صفه به‌دست آمد. همچنین برای این پارک شاخص‌های پیچیدگی اکوستیک و شاخص اختلاف نرمال‌شده آوای منظر تفاوت آماری معنی‌داری نشان می‌دهند. در مقابل برای پارک محمود آباد، شاخص‌های زیستی اکوستیک، اختلاف نرمال‌شده آوای منظر و پیچیدگی اکوستیک کمترین مقدار را در



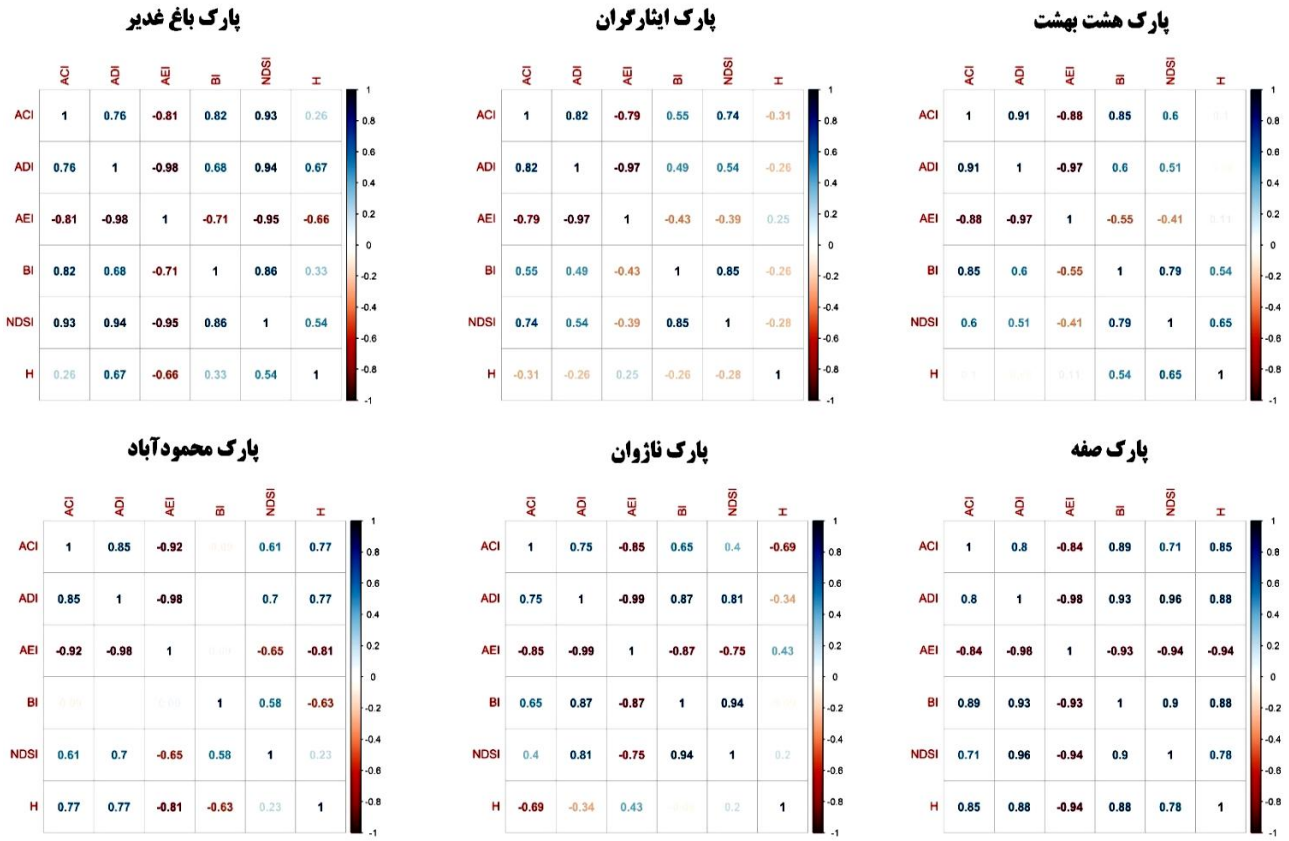
شکل ۵. نمودارهای جعبه‌ای مربوط به شاخص پیچیدگی اکوستیک (ACI)، شاخص تنوع اکوستیک (ADI)، شاخص یکنواختی اکوستیک (AEI)، شاخص زیستی اکوستیک (BI)، شاخص اختلاف نرمال‌شده آوای منظر (NDSI) و شاخص بی‌نظمی اکوستیک (H) در پارک‌های مورد مطالعه شهر اصفهان در فصل بهار

بین تمام پارک‌ها دارد. مقادیر شاخص اختلاف نرمال‌شده آوای منظر و شاخص زیستی اکوستیک محاسبه شده برای این پارک نیز اختلاف نسبتاً معنی‌داری با مقادیر شاخص‌های محاسبه شده برای سایر پارک‌ها نشان می‌دهد.

همان‌طور که در نمودارهای جعبه‌ای در شکل ۵ نشان داده شده، بیشترین اختلاف معنی‌دار بین پارک‌ها مربوط به شاخص اختلاف نرمال‌شده آوای منظر و شاخص زیستی اکوستیک است. مقدار محاسبه‌شده شاخص اختلاف نرمال‌شده آوای منظر برای پارک محمودآباد با پارک‌های دیگر اختلاف معنادار زیادی دارد که بیشترین اختلاف آن با پارک صفه است. بیشترین و کمترین میزان شاخص اختلاف نرمال‌شده آوای منظر به‌ترتیب مربوط به پارک صفه با مقدار ۰/۹۹ و پارک محمود آباد با مقدار ۰/۰۳- است. برای شاخص زیستی اکوستیک نیز همانند شاخص اختلاف نرمال‌شده آوای منظر، بیشترین اختلاف معنادار بین پارک صفه و پارک محمودآباد به‌دست آمد که مقدار شاخص آنها به‌ترتیب برابر با ۵۱/۶۳ و ۱۶/۵۶ است. با توجه به

جدول ۱. اطلاعات مکانی مربوط به پارک‌های مورد مطالعه در سطح شهر اصفهان

منطقه شهری	نام پارک	مساحت (مترمربع)	محیط (متر)	اثر حاشیه	نوع پارک	موقعیت مکانی در شهر
منطقه ۳	پارک هشت‌بهشت	۹۷۱۴۶	۱۸۲۸	۰/۰۱۸۸	پارک شهری	مرکز شهر
منطقه ۴	پارک باغ غدیر	۳۶۷۱۵۶	۲۵۷۴	۰/۰۰۷	پارک شهری	شرق شهر
منطقه ۵	پارک صفه	۹۱۲۵۹۷	۳۹۷۷	۰/۰۰۴	جنگلی و کوهستانی	جنوب شهر
منطقه ۶	پارک ایثارگران	۱۱۶۲۲۹	۲۲۸۹	۰/۰۱۹	پارک شهری	مرکز شهر
منطقه ۱۲	پارک محمودآباد	۱۰۰۱۰۶	۱۶۶۳	۰/۰۱۶	پارک جنگلی	شمال شهر
منطقه ۱۳	پارک نازوان	۳۲۰۲۷۱	۴۱۱۸	۰/۰۱۲	پارک جنگلی	غرب شهر

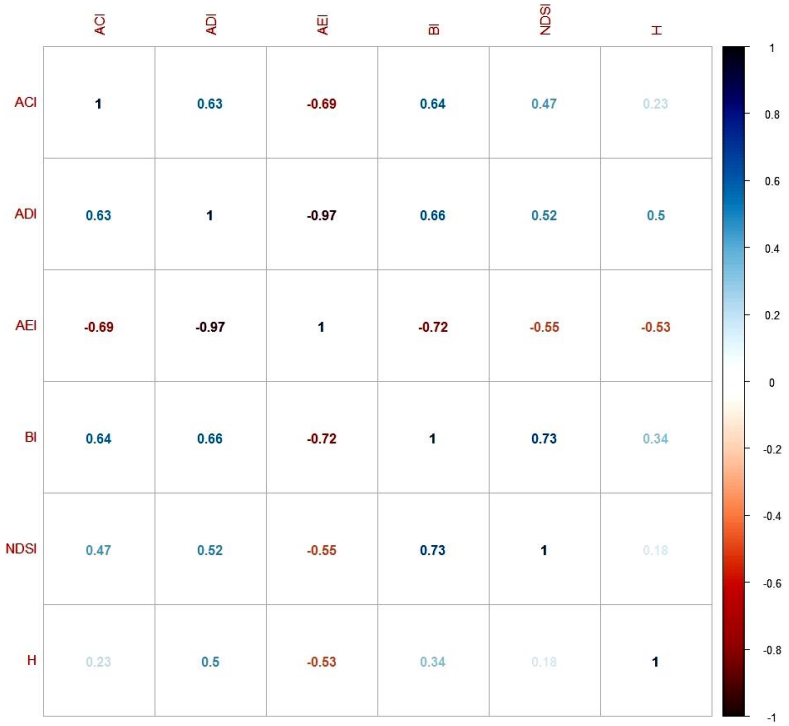


شکل ۶. میزان همبستگی بین شاخص‌های اکوستیک در هر پارک (رنگی در نسخه الکترونیکی)

شکل ۵، بین مقدار شاخص پیچیدگی اکوستیک در پارک صفه و دیگر پارک‌ها اختلاف معنی‌دار زیادی وجود دارد. کمترین میزان شاخص پیچیدگی اکوستیک با مقدار ۱۷۸۷ متعلق به پارک ایثارگران و بیشترین مقدار آن برابر با ۲۲۶۷ متعلق به پارک صفه است.

میزان اثر حاشیه شش پارک مورد مطالعه بر اساس مساحت و محیط به‌دست آمده توسط نرم‌افزار ArcGIS10.5 محاسبه شد (جدول ۱). بر اساس نتایج جدول ۱ بیشترین و کمترین اثر حاشیه به‌ترتیب مربوط به پارک ایثارگران و صفه است.

همان‌طور که در شکل ۶ مشاهده می‌شود، بیشترین میزان همبستگی با مقدار بیش از ۰/۹۷ بین شاخص‌های تنوع اکوستیک و یکنواختی اکوستیک وجود دارد. بیشترین همبستگی بین شاخص‌ها در پارک صفه مشاهده می‌شود. شاخص



شکل ۷. میزان همبستگی بین شاخص‌های اکوستیک (شاخص‌های زیستی اکوستیک، اختلاف نرمال‌شده آوای منظر، پیچیدگی اکوستیک، تنوع اکوستیک، یکنواختی اکوستیک و بی‌نظمی اکوستیک) در تمام پارک‌ها (رنگی در نسخه الکترونیکی)

پیچیدگی اکوستیک در تمام پارک همبستگی بسیار زیادی با سایر شاخص‌ها نشان می‌دهد. در مقابل، شاخص بی‌نظمی کمترین میزان همبستگی را با شاخص‌های دیگر در پارک‌ها دارد. شاخص‌های زیستی اکوستیک و اختلاف نرمال‌شده آوای منظر نیز همبستگی مثبتی را در تمام پارک‌ها نشان می‌دهند. بیشترین میزان همبستگی این دو شاخص در پارک ناژوان با مقدار ۰/۹۴ و کمترین میزان آن در پارک محمودآباد با مقدار ۰/۵۸ محاسبه شد.

با توجه به شکل ۷، بیشترین همبستگی بین شاخص‌ها در پارک‌ها مربوط به شاخص‌های یکنواختی اکوستیک و تنوع اکوستیک با میزان همبستگی ۰/۹۷- است. همچنین بالاترین میزان همبستگی بین شاخص‌های زیستی اکوستیک و اختلاف نرمال‌شده آوای منظر و با مقدار ۰/۷۴- به‌دست آمد. در بین شش شاخص اکوستیک، شاخص بی‌نظمی اکوستیک کمترین میزان همبستگی را با دیگر شاخص‌ها دارد.

نتایج آزمون توکی برای شاخص پیچیدگی اکوستیک، شاخص اختلاف نرمال‌شده آوای منظر و شاخص زیستی اکوستیک در جدول ۲ آمده است. همان‌طور که نتایج آزمون توکی نشان می‌دهد، اختلاف معنی‌داری بین مقادیر شاخص زیستی اکوستیک در پارک صفه و ایثارگران و همین‌طور بین پارک صفه و محمودآباد در محدوده اطمینان ۹۵ درصد وجود دارد. بین پارک‌های محمودآباد - باغ غدیر، محمودآباد - ایثارگران، صفه - ایثارگران، محمودآباد - هشت‌بهشت، ناژوان - محمودآباد و صفه - محمودآباد نیز اختلاف معنی‌داری ($p \leq ۰/۰۵$) در مقدار شاخص اختلاف نرمال‌شده آوای منظر در سطح اطمینان ۹۵ درصد وجود دارد. شاخص پیچیدگی اکوستیک نیز بین پارک‌های صفه و ایثارگران اختلاف معناداری ($p \leq ۰/۰۵$) نشان داد.

بحث

امروزه شاخص‌های اکوستیک به‌عنوان روش‌های کارآمدی برای ارزیابی تنوع زیستی محسوب می‌شوند (۵، ۶، ۲۰ و ۳۳). این

جدول ۲. نتایج آزمون توکی برای شاخص‌های زیستی اکوستیک، اختلاف نرمال‌شده آوای منظر و پیچیدگی اکوستیک در بین تمام پارک-های مورد مطالعه (درجه آزادی ۰/۰۵)

	p adj (ACI)	p adj (BI)	p adj (NDSI)
ایثارگران - باغ غدیر	۰/۶۷	۰/۹۳	۰/۷۱
هشت‌بهشت - باغ غدیر	۰/۶۰	۰/۹۹	۰/۹۶
محمودآباد - باغ غدیر	۰/۹۸	۰/۵۸	*۰/۰۰
ناژوان - باغ غدیر	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۷۵
صفه - باغ غدیر	۰/۳۵	۰/۱۱	۰/۵۳
هشت‌بهشت - ایثارگران	۰/۹۹	۰/۸۹	۰/۲۵
محمودآباد - ایثارگران	۰/۹۵	۰/۹۷	۰/۰۰*
ناژوان - ایثارگران	۰/۷۸	۰/۷۰	۰/۰۹
صفه - ایثارگران	۰/۰۱*	۰/۰۱*	۰/۰۴*
محمودآباد - هشت‌بهشت	۰/۹۲	۰/۴۹	۰/۰۰*
ناژوان - هشت‌بهشت	۰/۷۲	۰/۹۹	۰/۹۹
صفه - هشت‌بهشت	۰/۱۲	۰/۱۴	۰/۹۴
ناژوان - محمودآباد	۰/۹۹	۰/۲۸	۰/۰۰*
صفه - محمودآباد	۰/۱۱	۰/۰۰*	۰/۰۰*
صفه - ناژوان	۰/۲۶	۰/۲۸	۰/۹۹

* وجود اختلاف معنادار بین دو پارک ($p \leq ۰/۰۵$)

شاخص‌ها به‌ویژه در مناطق شهری که پیچیدگی‌های اکوستیک فراوانی وجود دارد روش مناسبی برای ارزیابی تنوع زیستی پرندگان و آواهای زیستی است (۴). در این مطالعه، شش پارک با موقعیت‌های مکانی مختلف نسبت به یکدیگر به منظور ضبط آواهای زیستی در فصل بهار مورد مطالعه قرار گرفتند. به‌دلیل ثابت بودن تغییرات تنوع گونه‌ای پرندگان مهاجر در فصل بهار (یکنواخت‌بودن میزان آواهای زیستی در طول فصل) نیاز به ضبط هم‌زمان آواهای زیستی در شش پارک مورد مطالعه نبوده و در اواسط فصل، نمونه‌برداری انجام شد تا تمام پرندگان مختص فصل بهار و بومی شهر اصفهان مورد بررسی قرار گیرد (۲۷). همچنین به دلیل اوج‌گیری فعالیت پرندگان از ساعات اولیه صبح تا قبل از ظهر ضبط آواها در این بازه زمانی صورت گرفت (۳۲). نتایج تحلیل آواهای زیستی پارک‌های شهری نشان داد که پارک صفه بیشترین سهم از آواهای زیستی و همچنین بیشترین مقادیر شاخص‌های زیستی اکوستیک و اختلاف نرمال-شده آوای منظر را در بین پارک‌ها داراست. خروشی و مشتاقی (۱۶) نیز در مطالعه خود به نتیجه مشابهی دست یافتند و نشان دادند که حجم آواهای زیستی در پارک صفه به‌نسبت بالاست. در پژوهشی دیگر رحیمی و فاخران (۳۰) نشان دادند که حاشیه شهر اصفهان که پارک صفه در محدوده آن واقع شده از آواهای زیستی بیشتری نسبت به مرکز شهر اصفهان برخوردار است که دلیل آن وجود حجم زیادی از فعالیت‌های انسانی در مرکز شهر بیان شده است (۲۱ و ۳۰). بر این اساس می‌توان گفت قرارگیری پارک صفه در حاشیه شهر اصفهان و داشتن کمترین میزان اثر حاشیه (۱۰) و وجود جنگل درختان سوزنی‌برگ در این پارک موجب شده که کمترین میزان آلودگی‌های صوتی در آن وجود داشته باشد. همچنین وضعیت توپوگرافی این پارک (ارتفاع زیاد از سطح شهر و بزرگراه‌های اطراف) به‌عنوان عاملی مهم توانسته بر روی میزان آلودگی تأثیر بگذارد (۲۵)، همان-گونه که نتایج تحقیق نصیری و فرهنگ (۲۵) نشان داده که

میزان تراز معادل فشار صوت با افزایش ارتفاع از سطح بزرگراه (منبع صوتی) کاهش می‌یابد و به ازای هر ۳ متر ارتفاع از منبع صوت تراز معادل فشار صوت به میزان ۳/۴۸ دسی‌بل کم می‌شود. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت عدم آلودگی صوتی در بسیاری از نقاط پارک صفه باعث افزایش میزان تنوع زیستی پرندگان و فعالیت‌های آوازخوانی آنها (آواهای زیستی) شده (۲، ۲۶ و ۲۷) که در نهایت مقدار ارزش شاخص‌های اکوستیک (مانند شاخص زیستی اکوستیک) را برای پارک صفه با افزایش چشمگیری روبه‌رو کرده است (۳۳). نتایج این مطالعه نشان داد که پارک‌های هشت‌بهشت و ایثارگران مقدار شاخص زیستی اکوستیک کمتری نسبت به پارک صفه دارند که دلیل آن قرار گرفتن آنها در مرکز شهر (با تردد زیاد وسایل نقلیه) و وجود آلودگی‌های اکوستیک در بخش مرکزی شهر است (۳۰). با توجه به نتایج آزمون توکی مشخص شد که بین پارک صفه و ایثارگران از نظر شاخص‌های زیستی اکوستیک، پیچیدگی اکوستیک و اختلاف نرمال‌شده آوای منظر اختلاف معنادار ($p \leq ۰/۵$) وجود دارد. بر این اساس می‌توان نتیجه گرفت آواهای انسانی تأثیر مستقیمی بر آوازخوانی و تنوع زیستی پرندگان (۲۷) دارند و حجم آواهای زیستی را در پارک‌ها کاهش می‌دهند (۱۵، ۲۶ و ۳۵)، به‌طوری‌که در بعضی از پارک‌ها آواهای انسانی نسبت به آواهای زیستی غالب بوده است. بیشترین مقدار شاخص یکنواختی اکوستیک و کمترین مقدار شاخص زیستی اکوستیک در بین پارک‌های شهری اصفهان متعلق به پارک محمودآباد و ایثارگران است که مقدار آنها بیان‌کننده حجم آواهای انسانی موجود در این پارک‌ها است (۵). از آنجا که مشخص شده فعالیت‌های انسانی باعث اختلال در آواهای زیستی و ارتباطات صوتی پرندگان می‌شود (۳)، می‌توان گفت که وجود حجم زیادی از آواهای انسانی سبب شده که پرندگان در این دو پارک فرصتی برای ارتباطات صوتی (تولید آوای زیستی)، جفت‌گیری و تعیین قلمرو نداشته باشند و ارزش شاخص زیستی اکوستیک محیط کاهش یابد (۱۵).

یکی از کاربردهای شاخص پیچیدگی اکوستیک ارزیابی فعالیت آوازخوانی پرندگان و آواهای زیستی است (۲۸). در این مطالعه، مقدار شاخص پیچیدگی اکوستیک برای پارک صفه و پارک باغ غدیر بیشتر از پارک هشت‌بهشت به‌دست آمد. با توجه به نتایج مطالعه تشکر و همکاران (۳۶) که نشان دادند غنای گونه‌ای پرندگان در پارک غدیر (۱۴ گونه) بیشتر از پارک هشت‌بهشت (۱۱ گونه) است، می‌توان بیان کرد که پارک باغ غدیر به دلیل داشتن تعداد گونه‌های پرنده بیشتر نسبت به پارک هشت‌بهشت از آواهای زیستی (آوازخوانی) بیشتری برخوردار بوده و در نتیجه، دارای شاخص پیچیدگی اکوستیک بیشتری نیز می‌باشد (۲۸). با در نظر گرفتن متغیربودن شاخص‌های زیستی اکوستیک، پیچیدگی اکوستیک و اختلاف نرمال‌شده آوای منظر در بین پارک‌های شهر اصفهان و همچنین با توجه به نتایج مطالعه سوور و همکاران (۳۴) که تأثیر تنوع گونه‌ای پرندگان آوازخوان را بر ارزش شاخص‌های اکوستیک قابل توجه دانسته‌اند، می‌توان گفت که تغییرات تنوع گونه‌ای پرندگان در سطح شهر اصفهان (۳۶) سبب تنوع در آواهای زیستی پارک‌ها و اختلاف در مقدار شاخص اکوستیک آنها شده است (۳۱).

نتایج آزمون توکی نشان داد که بین شمالی‌ترین پارک (محمودآباد) و جنوبی‌ترین پارک (صفه) در شهر اصفهان از نظر مقادیر شاخص‌های زیستی اکوستیک و اختلاف نرمال‌شده آوای منظر اختلاف معناداری ($p \leq ۰/۰۵$) وجود دارد، چرا که مقدار زیاد اثر حاشیه پارک محمودآباد نسبت به پارک صفه و همچنین وجود شهرک صنعتی در حاشیه این پارک سبب ورود حجم زیادی از آلودگی صوتی به این پارک در مقایسه با پارک صفه شده است. با توجه به اینکه آلودگی صوتی بر روی غنای پرندگان، شاخص‌های تنوع اکوستیک و اختلاف نرمال‌شده آوای منظر تأثیر منفی دارد (۱۵ و ۳۵)، می‌توان گفت افزایش آلودگی صوتی در پارک محمودآباد باعث شده تنوع زیستی پرندگان و ارزش شاخص زیستی اکوستیک با کاهش چشمگیر روبه‌رو شود (۴، ۱۵ و ۲۷).

نتایج تحلیل همبستگی بین شاخص‌های اکوستیک در بین تمام پارک‌ها و درون هر پارک نشان داد که شاخص زیستی

اکوستیک با شاخص اختلاف نرمال‌شده آوای منظر بیشترین همبستگی مثبت را دارد. این نتیجه نشان‌دهنده آن است که آواهای زیستی می‌توانند به‌صورت مستقیم بر هر دو شاخص اکوستیک تأثیر بگذارند (۳۴) و هرکدام به‌تنهایی معرف میزان آواهای زیستی در محیط باشند، با این تفاوت که شاخص اختلاف نرمال‌شده آوای منظر حجم آواهای انسانی را نیز بیان می‌کند. (۴). اگر تجزیه و تحلیل شاخص‌های زیستی اکوستیک و اختلاف نرمال‌شده آوای منظر در فصول دیگر محاسبه شود می‌توان مقایسه بهتری انجام داد و نوسانات صوتی را در بازه یک‌ساله بررسی کرد (۲).

نتیجه‌گیری و پیشنهادات

طبق نتایج تحلیل شاخص‌های اکوستیک، پارک صفه به‌ترتیب بیشترین و کمترین سهم از آوای زیستی و آوای انسانی را در بین پارک‌های دیگر شهر اصفهان دارد. این نتیجه بیانگر آن است که باید از تنوع زیستی پرندگان پارک صفه حفاظت بیشتری به‌عمل آید. همچنین در پارک محمود آباد که بیشترین آواهای انسانی را در بین پارک‌های شهری دیگر داراست ضرورت دارد عملیات بهسازی مانند ایجاد پوشش گیاهی متراکم و مناسب (مثل کاشت درخت اقاقیا)، محدودیت عبور و مرور وسایل نقلیه در پارک، ساخت آشیانه‌های پرندگان و محدودیت فعالیت‌های انسانی (مثل ماشین‌های چمن‌زنی و دستگاه بادزن) در راستای کاهش آلودگی‌های صوتی و ایجاد مکانی امن برای پرندگان انجام شود. نتایج این مطالعه نشان داد که پارامترهایی به‌غیر از موقعیت مکانی پارک‌ها، مانند تنوع گونه‌ای پرندگان و اثر حاشیه نیز می‌تواند نقش بسزایی در حجم آواهای زیستی پارک‌ها داشته باشد. بنابراین پیشنهاد می‌شود در مطالعات آینده، شاخص‌های تنوع زیستی نیز با شاخص‌های اکوستیک در بلندمدت مقایسه شود. همچنین با توجه به اینکه ضبط آواها در یک دوره زمانی ۵ ساعته (از ۷:۳۰ صبح تا ۱۲ ظهر) انجام شد و فعالیت و آوازخوانی پرندگان در اوایل روز بیشتر از اواسط روز است، توصیه می‌شود برای مقایسه مناطق مختلف از نظر آواهای زیستی، ثبت آواها در همه مناطق در زمان مشخصی از روز انجام گیرد و از دستگاه‌های ثابت ضبط اکوستیک ۲۴ ساعته به‌طور هم‌زمان در پارک‌ها استفاده شود. بر اساس نتایج به‌دست آمده در این مطالعه می‌توان بیان کرد شاخص‌های اکوستیک (به‌ویژه شاخص‌های زیستی اکوستیک و اختلاف نرمال‌شده آوای منظر) ابزار بسیار کاربردی و کارآمد برای پیش‌بینی آلودگی صوتی و ارزیابی تنوع زیستی پرندگان در پارک‌های شهری هستند. شاخص‌های اکوستیک می‌توانند به‌عنوان یکی از شاخص‌های مهم زیست‌محیطی به منظور انتخاب اکوپارک شهری در مدیریت فضاهای سبز شهری کاربرد داشته باشند و حتی می‌توانند در مکان‌یابی مناطق دارای اهمیت برای پرنده‌نگری شهری نیز مورد استفاده قرار گیرند.

منابع مورد استفاده

1. Boelman, N. T., G. P. Asner, P. J. Hart and R. E. Martin. 2007. Multi-trophic invasion resistance in Hawaii: bioacoustics, field surveys, and airborne remote sensing. *Ecological Applications* 17(8): 2137-2144.
2. Brumm, H. 2004. The impact of environmental noise on song amplitude in a territorial bird. *Journal of Animal Ecology* 73(3): 434-440.
3. Duarte, M. H. L., R. S. Sousa-Lima, R. J. Young, A. Farina, M. Vasconcelos, M. Rodrigues and N. Pieretti. 2015. The impact of noise from open-cast mining on Atlantic forest biophony. *Biological Conservation* 191:623-631.
4. Fairbrass, A. J., P. Rennett, C. Williams, H. Titheridge and K. E. Jones. 2017. Biases of acoustic indices measuring biodiversity in urban areas. *Journal of Ecological Indicators* 83:167-177.
5. Farina, A. 2014. Soundscape ecology (principles, patterns, methods and applications). Springer, Pesaro-Urbino, Italy.
6. Farina, A. and S. H. Gage. 2017. Ecoacoustics: the ecological role of sounds. John Wiley and Sons., New Jersey, USA.

7. Gasc, A., S. Pavoine, L. Lellouch, P. Grandcolas and J. Sueur. 2015. Acoustic indices for biodiversity assessments: analyses of bias based on simulated bird assemblages and recommendations for field surveys. *Journal of Biological Conservation* 191: 306-312.
8. Ghodsi, F. and M. Amiri. 2017. Development and management of parks and green spaces for the conservation of birds in urban areas. *Human & Environment* 15(3): 81-89. (In Farsi)
9. Harris, S. A., N. T. Shears and C. A. Radford. 2016. Ecoacoustic indices as proxies for biodiversity on temperate reefs. *Methods in Ecology and Evolution* 7(6): 713-724.
10. Hemami, M. and A. Z. Amirani. 2011. Influence if urban park size and shape on bird species richness: case study of Isfahan City. *Journal of Environmental Studies* 37(59): 55-62. (In Farsi)
11. Hellström, B., M. E. Nilsson, Ö. Axelsson and P. Lundén. 2014. Acoustic design artifacts and methods for urban soundscapes: a case study on the qualitative dimensions of sounds. *Journal of Architectural and Planning Research* 31(1): 57-71.
12. Kasten, E. P., S. H. Gage, J. Fox and W. Joo. 2012. The remote environmental assessment laboratory's acoustic library: an archive for studying soundscape ecology. *Journal of Ecological Informatics* 12: 50-67.
13. Katorani, S. 2019. Evaluation of noise pollution caused by urban traffic and its effect on the level of anxiety of citizens in Sanandaj city. *Journal of Urban Studies* 8(32): 117-127. (In Farsi)
14. Khademolhoseini, A., S. Ghaedrahmati and Z. Jamshidi. 2016. Assessment of sustainability in urban green space in 15 districts of Isfahan. *Human Geography Research* 48(4): 751-763. (In Farsi)
15. Khanaposhtani, M. G., A. Gasc, D. Francomano, L. J. Villanueva-Rivera, J. Jung, M. J. Mossman and B. C. Pijanowski. 2019. Effects of highways on bird distribution and soundscape diversity around Aldo Leopold's shack in Baraboo, Wisconsin, USA. *Journal of Landscape and Urban Planning* 192: 103666.
16. Khoroushi, N. and M. Moshtaghie. 2017. Investigation of false voices in mountain park of Soffe (urban park) in Isfahan. *Journal of Environmental Science Studies* 2(1): 69-74. (In Farsi)
17. Krause, B. and A. Farina. 2016. Using ecoacoustic methods to survey the impacts of climate change on biodiversity. *Journal of Biological Conservation* 195: 245-254.
18. Liddle, M. 1997. Recreation ecology: the ecological impact of outdoor recreation and ecotourism. Chapman & Hall, Melbourne, Australia.
19. Liu, J., J. Kang and H. Behm. 2014. Birdsong as an element of the urban sound environment: a case study concerning the area of Warnemünde in Germany. *Acta Acustica united with Acustica* 100(3): 458-466.
20. McLaren, J. 2012. Monitoring techniques for temperate bird diversity: uncovering relationships between soundscape analysis and point counts. University of Notre Dame, Environmental Research Center, Land O'Lakes, WI.
21. Merchan, C. I., L. Diaz-Balteiro and M. Soliño. 2014. Noise pollution in national parks: soundscape and economic valuation. *Journal of Landscape and Urban Planning* 123:1-9.
22. Mohammadi, J., J. Mohammadi and R. Shaykh Baygloo. 2010. Analysis of climatic parameters of wind and rainfall considering on urban design (case study: Isfahan). *Geography and Environmental Planning* 21(3): 61-82. (In Farsi)
23. Moharramnejad, N. and M. Safaripour. 2009. The impact of urban development on noise pollution in district one of Tehran and presenting management strategies to improve conditions. *Journal of Environmental Science and Technology* 10(4): 43-70. (In Farsi)
24. Moshtaghie, M. and M. Kaboli, 2015. Finding the best location for installing wildlife signs using kernel density estimation in Khojir National Park. *International Journal of Environmental Health Engineering* 4(3): 1-6.
25. Nasiri, P. and F. Farhang. 2003. Dependence of traffic noise pollution on increasing the height and distance from the edge of Sheikh Fadlallah Highway in Tehran. *Journal of Environmental Science and Technology* 5(3): 75-86. (In Farsi)
26. Nemeth, E., N. Pieretti, S. A. Zollinger, N. Geberzahn, J. Partecke, A. C. Miranda and H. Brumm. 2013. Bird song and anthropogenic noise: vocal constraints may explain why birds sing higher-frequency songs in cities. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences* 280(1754): 20122798.
27. Ortega, C. P. 2012. Effects of noise pollution on birds: a brief review of our knowledge. *Journal of Ornithological Monographs* 74(1): 6-22.
28. Pieretti, N., A. Farina and D. Morri. 2011. A new methodology to infer the singing activity of an avian community: The Acoustic Complexity Index (ACI). *Journal of Ecological Indicators* 11(3): 868-873.
29. Rahimi, M. 2015 .Analysis of variability in soundscape and landscape metrics along an urban-natural gradient in the central part of Isfahan Province. Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran. (In Farsi)
30. Rahimi, M. and S. Fakheran. 2013. Analysis of variability in soundscapes along an urban–natural area. In: Proceedings of 1st International Conference of IALE. Esfahan, Iran. (In Farsi)
31. Razzaghian, F., M. Rahnama, M. Tavangar and H. Aghajani. 2013. Ecological analysis of urban parks (case study: Mashhad). *Journal of Environmental Studies* 38(4): 155-168. (In Farsi)
32. Robbins, C. S. 1981. Effect of time of day on bird activity. *Studies in Avian Biology* 6(3): 275-286.

33. Sueur, J., A. Farina, A. Gasc, N. Pieretti and S. Pavoine. 2014. Acoustic indices for biodiversity assessment and landscape investigation. *Acta Acustica united with Acustica* 100(4): 772-781.
34. Sueur, J., S. Pavoine, O. Hamerlynck and S. Duvail. 2008. Rapid acoustic survey for biodiversity appraisal. *PloS ONE* 3(12): e4065.
35. Summers, P. D., G. M. Cunnington and L. Fahrig. 2011. Are the negative effects of roads on breeding birds caused by traffic noise?. *Journal of Applied Ecology* 48(6): 1527-1534.
36. Tashakor, S., M. Hemami, B. Riazi and R. Jafari. 2013. Impacts of green space parameters on bird species richness of city parks: case study of Isfahan city. *Journal of Environmental Science and Technology* 15(1): 137-151. (In Farsi)
37. Villanueva-Rivera, L. J., B. C. Pijanowski, J. Doucette and B. Pekin. 2011. A primer of acoustic analysis for landscape ecologists. *Journal of Landscape ecology* 26(9): 1233-1246.

IJAE
Iranian Journal of Applied Ecology

Evaluation of Biophonies in Isfahan Parks, Using Acoustic Indices

M. Latifi[1], M. Ranaie[1], S. Fakheran[1*] and M. Moshtaghie[2]

(Received: January 21-2020; Accepted: August 31-2020)

Abstract

Soundscape analysis, using acoustic indices, provides researchers with valuable ecological information to assess biodiversity, species behavior, and noise pollution. In this study, to analyze biophonies and anthrophony in six urban parks in Isfahan city in spring, six acoustic indices, including Acoustic complexity index (ACI), Acoustic Diversity Index (ADI), Acoustic Evenness Index (AEI), and Bioacoustic Index (BI), Normalized Difference Soundscape Index (NDSI) and Entropy Index (H) were used and quantified using Seewave Package in R software. In the next step, using ANOVA test, we evaluated the significance of difference between values of the indices among the six parks. We also calculated the degree of correlation between pairs of the indices among and within the parks using Tukey test. According to the results of ANOVA and Tukey tests, the highest values of BI, NDSI, ACI, ADI, AEI and H indices were obtained for Sofeh Park with values of 51.63, 0.99, 2267, 1.46, 0.89 and 0.82, respectively and the lowest values of the these indices were also calculated for Mahmoud-Abad (16.56 and - 0.49), Isargaran (1787) and Bagh-Ghadir (0.05, 0.67 and 0.41) Parks. Among the indices, the most significant difference was calculated for the two indices of ADI and NDSI and between the Sofeh and Mahmoud-Abad Parks, indicating the effect of factors such as edge effect and birds diversity on these indices. Based on the results, it can be concluded that NDSI and BI indices are suitable tools for evaluating ecosystem quality and can be used in green space management and urban biodiversity assessment.

Keywords: Soundscape, Bioacoustic Index, Seewave Package, Birds diversity, Sofeh Park

1. Department of Environment, Faculty of Natural Resources, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.
2. Department of Environment, Faculty of Agricultural and Natural Resources Islamic Azad University Isfahan (Khorasgan) Branch, Isfahan, Iran.
*: Corresponding Author, Email: Fakheran@iut.ac.ir