«اکو-آکوستیک[1]»: ابزاری جدید برای بررسی پیچیدگی اکولوژیکی

چکیده | ظرفیت قابل‌توجه رویکرد اکو-آکوستیک در دهه‌های اخیر به واسطهٔ نظریه‌ها و اصول جدید و با استفاده از فنآوری‌های پیشرفتهٔ دیجیتال برای ضبط صدا و با ظرفیت پردازش حجم زیادی از اطلاعات به طور همزمان، در حال تکوین یافتن است. آگاهیِ امروزی از نفوذ صداهای ناشی از فعالیت انسانی (تکنوفون‌ها[2]) در مناظر طبیعی و تغییریافته توسط انسان و ضرورت به‌کارگیریِ فوری ابزارهای پیش‌بینی در کوتاه‌مدت برای جبران تأثیر تغییرات اقلیمی بر روی زمین، اکو-آکوستیک را به عنوان یک رشتهٔ مهم در اکولوژی معرفی می‌کند. اکو-آکوستیک که به کاوش در پیچیدگی مناظر شنیداری[3] می‌پردازد، ابزارهای اکولوژیکی بیشتری را برای بررسی و تفسیر ساختار و دینامیک‌های مناظر بکر و تغییریافته ارائه می‌دهد.

واژگان کلیدی | اکو-آکوستیک، منظر شنیداری، منظر، تغییرات اقلیمی، نوفه.

آلمو فارینا، دکتری علوم طبیعی، دانشگاه اوربینو، ایتالیا.
ترجمه : امین حبیبی
farina@uniurb.it

پرتال جامع علوم انسانی

طبیعت پر از صداهایی است که توسط اتمسفر، آب و جامدات منتقل میشوند. صدا شکلی از انرژی است که به واسطهٔ ارتعاش اشیاء در اثر یک نیروی حاصل از رخدادهای طبیعی (ژئوفون‌ها[۴] و بیوفون‌ها[۵]) و یا منابع انسانی (تکنوفون‌ها) تولید می‌شود (Farina, 2014). اکثر گونه‌های جانوری یا به صداها حساس هستند یا خود مولد صوت هستند. همچنین مشاهده شده است که برخی از گیاهان در واکنش به ارتعاشات آکوستیک، ساختار سلولی‌شان را تغییر می‌دهند (Appel & Cocroft, 2014). اخیراً صداهای طبیعی و انسانی، به عنوان اجزای فعال دینامیک‌های اکولوژیکی در سیستم‌های آبی و خشکی شناخته شده‌اند و در نتیجه تمایل رو به رشدی در استفاده از صداهای محیطی، برای بررسی مکانیسمهایی که در محیط زیست پیچیدگی اکولوژیکی ایجاد می‌کنند، وجود دارد (Farina 2014; Towsey et al. 2014). شواهد تجربی متعددی وجود دارد که صداهای زیستی و غیرزیستی، عوامل دقیقی برای بررسی و تفسیر فرآیندهای مختلف اکولوژیکی هستند (Towsey et al. 2014). با رویکرد اکوآکوستیک، توصیف پدیده‌های پیچیده‌ای که توسط ارتباطات آکوستیک (صوتی) حیوانات و مکانیسم‌های ادراکی آنها فعال می‌شوند، امکان پذیر است (Sueur et al. 2014). منابع صدا، استفاده از صداها برای اهداف رفتاری و اکولوژیکی، و صداها به عنوان نماینده‌هایی از واکنش‌های زیست‌محیطی به محرک‌های داخلی و خارجی، در این مقاله، با هدف نشان دادن اهمیت استفاده از صداها برای تفسیر بهتر پیچیدگی محیط زیست مورد توجه قرار گرفته‌اند. به علاوه، برخی از ظرفیت‌های استفاده از صدا در زمینه کاربردی مدیریت پایدار زمین و استفاده اخلاقی از منابع در مقیاس منظر بیان می‌شود.

آکوستیک یک موضوع پیچیده است؛ زیرا صداها، نماینده‌هایی فعال در طیفی گسترده از مقیاس‌ها هستند و کشف این موضوع از دیدگاه‌های مختلف قابل اجراست.

چشم‌انداز منظر شنیداری

صداها توسط منابع مستقل تولید می‌شوند که با هم ترکیب‌شده و در فضا و زمان، منظرهای شنیداری متمایزی ایجاد می‌کنند (Pijanowski et al. 2011a,b). مناظر شنیداری، نهادهای ادراکی هستند که منابع‌شان در منظر است و توسط ویژگی‌های آن شکل می‌گیرند. ارتباط محکمی بین منظر شنیداری و منظر وجود دارد. هنگامی‌که یک منظر با یک منظر شنیداری مرتبط می‌شود، دو نوع گونه‌شناسی موزاییک در تماس با یکدیگر وارد می‌شوند: موزاییکِ کاربری زمین یا زیستگاه‌ها و موزاییکِ نهادهای صوتی که فارینا (Farina, 2014: 17) آن را «سونوتوپ[۶]» نامیده است. سونوتوپ‌ها نتیجهٔ ترکیب ژئوفون‌ها، بیوفون‌ها و تکنوفون‌ها هستند که در مقیاس لکه‌های منظر[۷] رخ می‌دهند. با توجه به سهم مختلف سه منبع صوتی، سونوتوپ‌ها به لکه‌های صوتی با کیفیت و دینامیک‌های مختلف حاصل از فرآیندهای اکولوژیکی، تفکیک می‌شوند. تفکیک‌پذیری فضایی سونوتوپ‌ها بهتر از موزاییک زمین بوده و به همین دلیل محیط صوتی حاوی اطلاعات بیشتری نسبت به محیط جغرافیایی است. بااین‌حال، سونوتوپ‌ها ممکن است دربردارندهٔ اطلاعات آکوستیک زیادی با منشأ زیستی نیز باشند. در این صورت در داخل یک سونوتوپ، ممکن است زیرواحدها یا «ساوندتوپ[۸]»های (Farina, 2014: 19) هدایت‌شده توسط فرآیندهای رفتاری تشخیص داده شود. در مرزهای سونوتوپ‌ها، همانند موزاییک زمین، یک منطقهٔ حاشیه‌ای وجود دارد. این منطقه بوم‌مرز یا یک «اکوتونِ آکوستیک[۹]» (Forman and Godron 1986; Hansen and di Castri 1992) و یا «سونوتون[۱۰]» (فارینا، ۲۰۱۴: ۱۹-۲۰) در نظر گرفته می‌شود که در آن یک همپوشانی صوتی ممکن است رخ دهد. نتایج چشم‌انداز منظر شنیداری، در ارزیابی منظر و طراحی اهمیت دارد (Farina, 2014).

چشم‌انداز «جامعهٔ آکوستیک[۱۱]»

هنر، فن‌آوری صدا، جامعه‌شناسی و همچنین زیست‌شناسی (آکوستیک زیستی[۱۲])، اکولوژی و به‌ویژه اکو-آکوستیک، از اصطلاح «جامعهٔ آکوستیک» استفاده می‌کنند. از دیدگاه انسانیِ «ر. موری شافر[۱۳]» جامعهٔ آکوستیک را می‌توان به این صورت تعریف کرد: «یک نهاد سیاسی، جغرافیایی، مذهبی یا اجتماعی» که در آن صدای انسان به‌عنوان ابزار اصلی برای تعریف حدود جامعه استفاده می‌شود (Schafer, 1977: 215). نویسنده‌ای دیگر، «تراکس» (Truax, 1984: 58) جامعهٔ آکوستیک را به‌صورت «هر منظر شنیداری که در آن اطلاعات آکوستیک نقش فراگیری در زندگی ساکنان ایفا می‌کند» تعریف کرده است.

در قلمرو بیولوژیکی، اصطلاح «جامعهٔ آکوستیک» برای توصیف گروهی از موجودات زنده استفاده می‌شود که از نظر شنوایی با یکدیگر در یک زیستگاه خاص (مانند جنگل، پارک شهری و یا کشت زار، سیستم های آب شیرین و دریایی) در تعامل هستند (Drewry and Rand 1983; Price 1984; Sueur et al. 2008; Luther 2009; Gasc et al. 2013; Lellouch et al. 2014).

هر جامعه آکوستیک توسط یک اثر آکوستیک متمایز نشان داده می‌شود که بسامدها و دامنه سیگنال‌های صوتی را توصیف میکند و این‌گونه تعریف می‌شود: انگشت نگارهای که از توزیع دسته‌بندی‌های فرکانس

اصوات منتشرشده توسط گونه‌های دربرگیرندهٔ یک جامعه آکوستیک پدید می‌آید؛ و «معادل یک کد بیولوژیکی در نظر گرفته می‌شود (Barbieri, 2015) و برای هرگونه و جامعهٔ خاص، منحصربه‌فرد است» (Farina and Pieretti 2014; Malavasi et al. 2014). تعیین حدود فضایی یک جامعه، یک نقطهٔ کانونی در اکولوژی اجتماعی و جغرافیای زیستی است (MacArthur and Wilson 1967). معمولاً جوامع با توجه به کارکردهای مختلفی تعریف می‌شوند که یک تجمع را، به‌عنوان‌مثال «جوامع تغذیه[۱۴]»، «جوامع زیستگاه[۱۵]»، یا «جوامع لکه‌ها[۱۶]» توجیه می‌کند.

یک جامعهٔ آکوستیک نتیجهٔ صداهای حاصل از تجمع موقت موجودات زنده است که زودگذر و بسیار متغیر در فضا و زمان هستند؛ اما باوجود این ویژگی‌های ناپایدار نقش مهمی در بخش‌بندی اجتماعی موجودات زنده ایفا کرده و به ندرت با سایر نمادهای جوامع سازگار است. رابطه‌ای محکم بین ساوندتوپ و جوامع آکوستیک وجود دارد. زمانی که اجزای ژئوفون و تکنوفون در نظر گرفته نشوند، این نهاد آخر ممکن است به‌عنوان یک ساوندتوپ در نظر گرفته شود. به‌طور قطعی، یک جامعه آکوستیک یک واحد کارکردی از گونه‌هایی است که با استفاده از مکانیسم‌های آکوستیک ارتباط برقرار می‌کنند و نشان‌دهنده بخش مهمی از تاریخ طبیعی برای مطالعات در مقیاس منظر است.

چشم‌انداز کاربردی

فرضیهٔ سازگاری آکوستیک : سازگاری آکوستیک (Morton 1975, Marten and Marler 1977, Cosens and Falls 1984, Ey and Ficher 2009) بر این باور است که ویژگی‌های آکوستیک زیستگاه‌هایی که نتیجهٔ مورفولوژی زمین، ساختارهای گیاهی و اتمسفر هستند، با صداها در تعامل‌اند. این تداخل اثر مستقیمی بر روی ویژگی‌های صداهای حیوانات دارد که با به حداکثر رساندن انتشار صدا تغییر می‌یابند. به‌عنوان‌مثال، ساختار زیستگاه، بر عملکرد آکوستیک برخی از گونه‌های چکاوک به‌گونه‌ای تأثیر می‌گذارد (Badyaev & Leaf, 1997) که در زیستگاه‌های بسته از هجاهای کمتر و بلندتر، با فواصل بزرگ‌تر استفاده می‌کنند، اما در زیستگاه‌های باز، از سیگنال‌های سریع از تلفیق هجاهای زیروبم استفاده می‌کنند. با توجه به انعطاف‌پذیری بالای عملکرد آکوستیک حیوانات، تغییرات کوچک در محیط (به‌عنوان‌مثال تغییر در درجه حرارت روزانه) ممکن است تغییر آشکاری در سیگنال صوتی ایجاد کند. بدیهی است که هرگونه دست‌کاری موزاییک زمین ممکن است پیامدهایی بر عملکرد صدای گونه‌های آوازی با اثرات بی‌شمار داشته باشد.

فرضیه جایگاه آکوستیک[۱۷]: جایگاه آکوستیک بر مشاهدات تجربی استوار است که در یک جامعهٔ آکوستیک تنها بخش‌هایی از صداهای گونه‌های خاص با یکدیگر هم‌پوشانی دارند که از اثرات صدای ناهنجار[۱۸] و پوشش سیگنال جلوگیری می‌کند (Krause 1987, 1993). فرضیه جایگاه آکوستیک که بر مفهوم جایگاه اکولوژیکی استوار است (Hutchinson 1957, 1978)، یک مدل مهم برای ارزیابی نحوهٔ وارد شدن گونه‌ها در رقابت و یا اجتناب از رقابت در طول عملکردهای آکوستیک خود محسوب می‌شود. گونه‌ها استراتژی‌های متعددی را برای کاهش رقابت توسط کاهش همپوشانی فرکانس بین گونه‌ها (از طریق انطباق بلندمدت) و توسط کاهش هم‌پوشانی زمانی بین گونه‌های با فرکانس‌های مشابه از طریق مکانیسم‌های انعطاف‌پذیر که در یک دوره کوتاه زمانی وارد عمل می‌شوند، اتخاذ می‌کنند. این فرضیه بر این پایه استوار است که همهٔ گونه‌ها، با کاهش رقابت با گونه‌های دیگر، برای بهینه‌سازی ارتباطات آکوستیک تلاش می‌کنند. جابجایی جمعیت به دلیل تغییرات اقلیمی و یا تغییر در کاربری زمین ممکن است نوآوری‌های جدی در رقابت آکوستیک بین گونه‌ها ایجاد کند.

فضای فعال آکوستیک : فضای فعال آکوستیک به‌عنوان فاصله از منبع صوت تعریف می‌شود که در آن دامنهٔ سیگنال بالاتر از آستانهٔ تشخیص یک گیرنده، باقی می‌ماند (Brenowitz 1982, Brown 1989). این بدان معناست که دامنهٔ مطلق یک سیگنال آکوستیک، برای فعال ماندن یک کانال ارتباطی، نباید لزوماً بالا باشد؛ بلکه باید سازش و مصالحه‌ای در میانه، برای اطمینان از یک ارتباط آکوستیک با افراد یا گونه‌های دیگر باشد، در عین اینکه فرد منتشرکنندهٔ صدا را در معرض حمله شکارچی قرار نمی‌دهد (Richards & Wiley, 1980). هنگامی‌که شرایط محیطی تغییر کند، تغییرات در ابعادِ فضای فعال آکوستیک ممکن است اتفاق بیافتد.

رویدادهای اکو-آکوستیک : یک رویداد اکو-آکوستیک به‌عنوان بخشی از یک منظر شنیداری تعریف می‌شود که به آن یک نقش و یا معنایی اکولوژیکی را نسبت می‌دهیم (Farina et al., submitted).

طبق یک دیدگاه اکولوژیکی، رویدادهای اکو-آکوستیک توسط دستهٔ گسترده‌ای از صداها مانند رعدوبرق‌ها، انفجار، تیراندازی‌ها، شیپور، انواع مختلف باد، صدا و علائم پرندگان، هم‌سرایی‌های طلوع و غروب، سکوت، صداهای انسانی، ترافیک جاده یا ترکیباتی از این‌ها نشان داده می‌شوند که نتیجهٔ آن برای ما معانی اکولوژیکی خاصی دارد. شناسایی آن‌ها بر اساس مدل ادراکی خاصی استوار است. استفاده از رویدادهای اکو-آکوستیک ممکن است به‌طور گسترده‌ای برای توصیف مناظر با سطوح مختلفی از نفوذ انسان، بکار رود.

همسرایی حیوانات : همسرایی‌ها یک پدیدهٔ منحصربه‌فرد جوامع آکوستیک هستند و شامل انتشار صدای هم‌زمان اجتماع حیوانات (پرندگان، قورباغه‌ها، حشرات، پستانداران دریایی و خشکی، ماهی‌ها، میگوها و غیره) در سپیده‌دم و در هنگام غروب (Burt and Vehrencamp 2005, Farina et al. 2015) و همچنین در اواسط روز برای جوامع پرندگان در منطقه مدیترانه (Farina, unpl.) هستند و این موضوع همچنان به‌عنوان یک بحث مورد مناقشه به‌خصوص در مورد علل به وجود آورندهٔ آن، باقی‌مانده است. هم‌سرایی‌ها مربوط به چرخهٔ شبانه‌روزی تستوسترون و تقاضاهای فیزیولوژیکی گونه‌ها هستند (Thomas 1999, Thomas and Cuthill 2002, Thomas et al. 2002, Barnett and Briskie 2007, Cuthill and MacDonald 1990). شدت نور (Kacelnik 1979, Berg et al. 2006)، حرکت هوا (Wiley and Richards 1978, Henwood and Fabric 1979,) و عوامل اجتماعی (جاذبه جنسی، دفاع از قلمرو خود و پویایی اجتماعی) (Wiley 1991, Dabelsteen and Mathevon 2002, Morse 1989, Greenfield 1994, Hoi-Leitner et al. 1995, Burt and Vehrencamp 2005, Tobias et al. 2014) برخی از عواملی هستند که همسرایی را تحریک می‌کنند.

مطالعهٔ همسرایی‌ها پدیده‌های وابسته را نشان می‌دهد؛ زیرا امکان ارزیابی دامنهٔ سیگنال‌های آکوستیکِ تمام جوامع آکوستیکِ حاضر در یک منظر، در زمان هم‌سرایی، ایجاد می‌شود و استفاده از این اطلاعات به‌عنوان عاملی در وضعیت فیزیولوژیکی گونه‌های فردی برای کشف تغییر احتمالی در ترکیب جوامع در اثر عوامل خارجی مانند تغییرات اقلیمی ممکن است (Farina et al., 2015).

فنولوژی (پدیده‌شناسی) آکوستیک : پدیده‌شناسی یا فنولوژی، «مطالعهٔ زمان‌بندی وقایع بیولوژیکی متناوب، علل زمان‌بندی آن‌ها با توجه به نیروهای زنده و غیرزنده، و اثر متقابل میان مراحل گونه‌های یکسان و یا متفاوت» است (Lieth 1974, 4). پدیده‌شناسی آکوستیک، به تحقیق در الگوهای فصلی عملکرد آکوستیک گونه‌های فردی با گاه‌شمار متناوب، و همچنین جوامع آکوستیک، به کار می‌رود. پدیده‌شناسی آکوستیک ممکن است برای ارزیابی اثر تغییرات اقلیمی بر گونه‌های فردی و جوامع با پویایی آکوستیک روزانه و فصلی مورداستفاده قرار گیرد.

اکو-آکوستیک کاربردی

رویکرد اکو-آکوستیک راهی نوین برای نفوذ به حیات نهفته طبیعت و برای مواجهه با

مشکلات زیست‌محیطی در مقیاس منظر می‌گشاید. این رویکرد می‌تواند به شیوه‌ای گسترده به‌عنوان نوع جدیدی از حس‌گرهای نوآورانه آکوستیک «مجاور[۱۹]» برای بررسی تنوع اشکال زندگی، ارزیابی میزان دخالت بشر در سیستم‌های طبیعی و انسان‌ساخت و بررسی اثر تغییرات اقلیمی در زیست‌بوم‌های مختلف، در کنار دیگر تکنیک‌های سنجش از راه دور، به کار رود. به لطف روش‌های ثبت و ضبط غیرفعال، مشاهدهٔ پدیده‌هایی که بسیار فراتر از ادراک انسان رخ می‌دهند؛ مانند دینامیک صدا، تعاملات بین‌گونه‌ای، بخش‌بندی جایگاه آکوستیک و رقابت ایجادشده با ورود گونه‌های جدید، امکان‌پذیر است.

اکو-آکوستیک می‌تواند برای بررسی حیات در تفکیک‌پذیری‌های مختلف از «اکولوژی فردی[۲۰]» تا «اکولوژی جمعی[۲۱]» به کار رود. زمینهٔ کاربرد آن در مطالعهٔ گونه‌های فردی، جمعیت، جامعه و منظر، به تفکیک روشن‌شده است.

اکو-آکوستیک و تغییرات اقلیمی: حساسیت عملکردهای صوتی حیوانات بررسی اثرات تغییر اقلیمی را با کیفیت بالایی، حتی در تغییرات حداقلی پارامترهای فیزیکی محیط زیست (مثلاً دما، رطوبت، اسیدیتهٔ محیط آبی) امکانپذیر می‌کند.

اطلاعات به‌دست‌آمده از بررسی‌های اکو-آکوستیک (مانند حضور گونه‌ها، مدت‌زمان، فرکانس و تغییر دامنهٔ آهنگ‌ها، مدت‌زمان و پیچیدگی همسرایی، سطح هم‌پوشانی جایگاه جوامع آکوستیک، تناوب رویدادهای آکوستیک) می‌تواند به‌عنوان ابزار پیش‌بینی برای پیشنهاد اقدامات فوری و ایجاد نشانه‌های ارزشمند برای ذینفعان و سیاستگذاران قبل از رخ دادن تغییرات زیست‌محیطی غیرقابل‌برگشت بکار رود که در زمان و منابع اقتصادی صرفه‌جویی می‌کند.

کشف تغییرات اولیه ایجادشده در زیستگاه و جوامع حیوانات، کمک بزرگی برای کاهش خسارت‌های زیست‌محیطی، اقتصادی و پیامدهای اثرات انسانی خواهد بود.

اکو-آکوستیک و نوفه[۲۲]: در طی دو قرن گذشته، بسیاری از صداهای طبیعی با صداهای جدید با منشأ انسانی پوشانیده و یا جایگزین شده‌اند (Pivato, 2011). نوفه، می‌تواند به‌عنوان صدایی که حاوی اطلاعات اندک است (با سطح بالایی از بی‌نظمی ارتعاشی) تعریف شود، که دیگر منابع صوتی را می‌پوشاند و همچنین بر فضای فعال مورداستفادهٔ توسط حیوانات خشکیزی و آبزی برای برقراری ارتباط تأثیرگذار است.

از نظر اجتماعی یا روان‌شناختی، نوفه به‌عنوان هر صدایی که ایجاد دلخوری می‌کند و سلامت افراد را هدف می‌گیرد، تعریف می‌شود. در سال ۱۹۷۱، سازمان بهداشت جهانی اعلام کرد که نوفه یک تهدید بزرگ برای رفاه انسان است.

از دیدگاه نشانه‌شناسی، نوفه، به هر صدایی که اطلاعات درونی کمی دارد گفته می‌شود و بر اساس رویکرد اکو-آکوستیک (Sueur & Farina, 2015)، نوفه، بخشی از طیف‌های صوتی است که به‌خودی‌خود اطلاعاتی را ارائه نمی‌کند. بااین‌حال، نوفه و توزیع زمانی و مکانی آن را می‌توان برای شناسایی رویدادهای اکو-آکوستیک و ارزیابی کیفیت آکوستیک مکان‌ها در سراسر منظر با فرض پیامدهای اقتصادی مرتبط، مورداستفاده قرار داد.

این زمینه از تحقیق، از اهمیت رو به رشدی به دلیل افزایش نفوذ انسان در محیط‌های مختلف و همچنین در مکان‌های بسیار دور برخوردار است.

> ارتباط محکمی بین منظرشنیداری و منظر وجود دارد. هنگامی‌که یک منظر با یک منظر شنیداری مرتبط می‌شود، دو نوع موزاییک در تماس با یکدیگر وارد می‌شوند : موزاییکِ کاربری زمین و موزاییکِ نهادهای صوتی که فارینا آن را «سونوتوپ» نامیده است. تفکیک‌پذیری فضایی سونوتوپ‌ها بهتر از موزاییک زمین بوده و به همین دلیل محیط صوتی حاوی اطلاعات بیشتری نسبت به محیط جغرافیایی است.

منابع نوفه، توسط طبیعت (ژئوفون‌ها : مانند باد و باران سنگین؛ بیوفون‌ها : مانند همسرایی حیوانات) و یا فرآیندهای ساختهٔ بشر (تکنوفون‌ها : مانند موتورهای احتراقی یا اصطکاک چرخ‌دنده) ایجاد می‌شوند. نوفهٔ آکوستیک پیامدهای مهمی در عملکردهای مختلف حیوانات مانند انتخاب زیستگاه، شکل‌گیری جفت، ردیابی منابع و مکانیسم‌های شکار دارد. اثرات آلودگی صوتی بر روی انسان‌ها متعدد، پراکنده و مداوم بوده و همچنین به‌تازگی ازلحاظ پزشکی و اجتماعی نیز اخیراً توسط «گوئینز» و «هاگلر» (Goines & Hagler, 2007) موردبحث قرارگرفته است.

نتیجه‌گیری | نقش صدا اهمیت وافری برای بسیاری از فرآیندهای اکولوژیکی دارد و ابزار جدید و نوینی را برای تجزیه‌وتحلیل پدیده‌هایی ارائه می‌دهد که تاکنون در تحقیقات اکولوژیکی توسط فناوری سنجش از راه دور نادیده گرفته‌شده‌اند. شکل‌گیری جامعهٔ بین‌المللی اکوآکوستیک[۲۳]، نشانه‌ای مهم از توجه رو به رشد جهان نسبت به اکولوژی صدا است. انتظار می‌رود که در آیندهٔ نزدیک، اکوآکوستیک، به‌عنوان رشته‌ای که با دیدگاه اکولوژیک به بررسی صدا می‌پردازد، سهم بزرگی را در پژوهش‌های اکولوژیکی به خود اختصاص داده و پژوهش در مورد گونه‌های فردی، جمعیت‌ها، جوامع و مناظر را ارتقاء دهد. به‌ویژه در محیط‌های دریایی استفاده از اکو-آکوستیک، به دلیل دشواری در مطالعهٔ منظر دریا با دستگاه‌های دیگر، بسیار حائز اهمیت است. کاربرد اکو-آکوستیک در مطالعهٔ تغییرات اقلیمی و نوفه‌های با منشأ انسانی، نمونه‌هایی است که اهمیت این رشتهٔ نوظهور را در زمینه‌های نظری و کاربردی نشان می‌دهد. اکوآکوستیک همچنین ابزاری مهم برای بررسی فرآیندهای پیچیده‌ای که در مقیاس مناظر طبیعی و دست‌کاری شده انسانی رخ می‌دهند، به شمار می‌رود.

پی‌نوشت

۱. Ecoacoustics
۲. Technophonies
۳. Soundscapes
۴. Geophonies
۵. Biophonies
۶. Sonotopes
۷. Landscape Patches
۸. Soundtope
۹. Acoustic Ecotone
۱۰. Sonotone
۱۱. Acoustic Community
۱۲. Bioacoustics
۱۳. R. Murray Schafer
۱۴. foraging communities
۱۵. habitat communities
۱۶. patch communities، به‌طور خاص فورمن و گوردون (Forman and Godron, ۱۹۸۱: ۷۳۴) «جامعهٔ لکه» را به‌صورت زیر تعریف می‌کنند : «جوامع و یا مجموعه گونه‌های احاطه‌شده توسط یک ماتریس با ساختار و یا ترکیب جامعه متفاوت»
۱۷. Acoustic Niche
۱۸. Cacophonic
۱۹. Neighbor
۲۰. Autoecology
۲۱. Sinecology
۲۲. Noise
۲۳. https://sites.google.com/site/ecoacousticssociety/

sive acoustic morning activity in a Mediterranean landscape. *Bioacoustics*, doi.org/10.1080/09524622.2015.1070282.
● Forman, R.T.T., Godron, M. (1981). Patches and structural components for a landscape. *BioScience* 31(10): 733–740.
● Forman, R.T.T., Godron, M. (1986). Landscape ecology. Wiley, New York, US.
● Frisk, G.V. (2012). Noiseonomics: the relationship between ambient noise levels in the sea and global economic trends. *Nature*, doi: 10.1038/srep00437.
● Gasc, A., Sueur, J., Pavoine, S., Pellens, R., Grandcolas, P. (2013). Biodiversity ampling using a global acoustic approach: contrasting sites with microendemics in New Caledonia. *PlosOne*, 8(5) e65311: 1-10.
● Goines, L., Hagler, L. (2007). Noise pollution: A modern plague. *Southern Medical Journal*, 100: 287-294.
● Green D.M., Swets, J.A. (1966). *Signal detection theory and psychophysics*. New York Wiley.
● Greenfield, M.D. (1994). Synchronous and alternating choruses in insects and anurans: Common mechanisms and diverse functions. *American Zoologist*, 34:600-615.
● Hansen, A.J., di Castri, F. (eds.) (1992). *Landscape boundaries, Consequences for biotic diversity and ecological flows*. Springer-Verlag, New York.
● Henwood, K., Fabrick, A. (1979). A quantitative analysis of the dawn chorus: temporal selection for communicatory optimization. *American Naturalist*, 114: 260-274.
● Hoi-Leitner, M., H. Nechtelberg, Hoi, H. (1995). Song rate as a signal for nest site quality in blackcaps *(Sylvia atricapilla). Behavioural Ecology and Sociobiology*, 37: 399-405.
● Hutchinson, G.E. (1957). Concluding remarks. *Cold Spring Harbor Symposia on Quantitative Biology*, 22: 415–427.
● Hutchinson, G.E. (1978). *An introduction to population ecology*. Yale University Press, New Haven, CT.
● Kacelnik, A. (1979). The foraging efficiency of great tits (*Parus major*) in relation to light intensity. *Animal Behaviour*, 27: 237-242.
● Klinck, H., Nieukirk, S.L., Mellinger, D.K., Klinck, K., Matsumoto, H., Dziak, R.P. (2012). Seasonal presence of cetaceans and ambient noise levels in polar waters of the North Atlantic. *J Acoust Soc Am 132*(3): 176-181.
● Krause, B. (1987). Bioacoustics, habitat ambience in ecological balance. *Whole Earth Review*, 57:14-18.
● Krause, B. (1993). The niche hypothesis. *Soundscape Newsletter*, 6:6–10.
● Krause, B., Farina, A. (2016). *Using ecoacoustic methdos to surey the impatcs of climate change on biodiversity*. Bio. Conservation (in press).
● Lellouch, L., Pavoine, S., Jiguet, F., Glotin, H., Sueur, J. (2014). Monitoring temporal change of bird communities with dissimilarity acoustic indices. *Methods in Ecology and Evolution*, 5: 495-505.
● Lieth, H. (1974). *Phenology and seasonality modeling*. Berlin, Germany, Springer.
● Luo, J., Koselj, K., Zsebok, S. Siemers, B.M., Goerlitz, H.R. (2013). Global warming alters sound transmission: differential impact on the prey detection ability of echolocating bats. *Journal of the Royal Society*, doi: 10.1098/rsif.2013.0961.
● Luther, D. (2009). The influence of the acoustic community on songs of birds in a neotropical rain forest. *Behav. Ecol.*, 20: 864–871.
● Luther, D., Gentry, K. (2013). Sources of background noise and their influence on vertebrate acoustic communication. *Behaviour*, 150: 1045–1068.
● MacArthur, R.H., Wilson, E.O. (1967). *The Theory of Island Biogeography*. Princeton: Princeton University Press.
● Malavasi, R., Farina, A. (2013) Neighbours' talk: Interspecific choruses among songbirds. *Bioacoustics* 22(1): 33–48.
● Malavasi, R., Kull, K., Farina, A. (2014). The acoustic codes: how animal sign processes create sound-topes and consortia via conflict avoidance. *Biosemiotics* 7(1): 89–95.
● Marten, K., Marler, P. (1977). Sound transmission and its significance for animal vocalization. I. Temperate habitats. *Behav. Ecol. Sociobiol.*, 2:271–290.
● Moller, A.P. (2010). When climate change affects where birds sing. *Behavioural Ecology*, 22: 212-217.
● Morse, D.H. (1989). Song patters of warblers at dawn and dusk. *Wilson Bulletin*, 101(1): 26-35.
● Morton, E.S. 1975. Ecological sources of selection on avian sounds. *Am. Nat.* 109: 17–34.
● Ortega, C.P. (2012). Effects of noise pollution on birds. *Ornithological Monographs*, 74(1): 6-22.
● Pijanowski, B.C., Farina, A., et al. (2011). What is soundscape ecology? *Landscape Ecology*, 26(9): 1213–1232.
● Pijanowski, B.C., Villanueva-Rivera,et al. (2011). Soundscape ecology: the science of sound in the landscape. *Bioscience*, 61: 203–216.
● Pivato S. (2011). *Il secolo del rumore*. Il Mulino, Milano.
● Price, P.W. (1984). *Insect Ecology*, 2nd edn. New York: Wiley Interscience.
● Richards, D.G., Wiley, R.H. (1980). Reverberations and Amplitude Fluctuations in the Propagation of Sound in a Forest: Implications for Animal Communication. *The American Naturalist*, 115 (3): 381-399.
● Schafer, R.M. (1977). *The Soundscape*. Destiny Books, Rochester, VT.
● Sueur, J, Farina, A. (2015). Ecoacoustics: the ecological investigation and interpretation of environmental sound. *Biosemiotics*, DOI 10.1007/s12304-015-9248-x.
● Sueur, J., Pavoine, S., Hamerlynck, O., Duvail, S. (2008). Rapid acoustic survey for biodiversity appraisal. *Plos One*, 3: 12 e4065.
● Sueur, J., Farina, A., et al. (2014). Acoustic indices for biodiversity assessment and landscape investigation. *Acta Acustica united with Acustica*, 100: 772–781.
● Thomas, R.J. (1999). The effect of variability in the food supply on the daily singing routines of European robin: a test o a stochastic dynamic programming model. *Animal Behaviour*, 57: 365-369.
● Thomas, R.J., Cuthill, I.C. (2002). Body mass regulation and the daily singing routines of European robins. *Animal Behaviour*, 63: 285-295.
● Thomas, R.J, Szekely, T., Cuthill et al. (2002). Eye size in birds and the timing of song at dawn. *Proc. R. Soc. London B*, 269: 831-837.
● Tobias, J.A., R., Planqué, D.L. Cram, Seddon, N. (2014). Species interactions and the structure of complex communication networks. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 111(3): 1020-1025.
● Towsey, M., Parsons, S., Sueur, J. (2014). Ecology and acoustic at large. *Ecol. Inform.*, 21: 1–3.
● Truax, B. (1984). *Acoustic Communication*. Ablex Publishing Corporation, Norwood, NJ.
● Wahlberg. M., Westerberg, H. (2005). Hearing in fish and their reactions to sounds from offshore wind farms. *Marine Ecology Progress Series*, 288: 295-309.
● Wiley, R.H. (1991). Association of song properties with habitats for territorial oscine birds of eastern North America. *The American Naturalist*, 138(4): 973-993.
● Wiley, R.H., Richards, D.G. (1978). Physical constraints on acoustic communication in the atmosphere: implications for the evolution of animal vocalization. *Behavioural Ecology and Sociobiology,* 3: 69-94.

Ecoacoustics:
A New Tool to Investigate the Ecological Complexity

Almo Farina
Professor of Ecology, Urbino University, Urbino, Italy
almo.farina@uniurb.it
Translated from English by Amin Habibi

Abstract | The great potentiality of the ecoacoustics approach is emerging in these last decades thanks to new theories and principles and by the use of advanced digital technologies to recording sound, and by the capacity to process large amount of data at time. The contemporary awareness of the intrusion of anthropogenic sounds (technophonies) into natural and human-modified landscapes and the urgent necessity to adopt short-term predictive tools to compensate for the impact of climate change on the Earth appoint ecoacoustics as an important ecological discipline.
In the near future we expect a great contribution of the ecoacoustics, to promote ecological research on individual species, populations, communities and landscapes. Especially in marine environment the use of ecoacoutsics is really important due the difficulty to explore the submerged seascape with other devices.
Ecoacoustics, exploring the complexity of the soundscapes offers additional ecological tools to investigate and to interpret structure and dynamics of pristine and modified landscapes.

Keywords | Ecoacoustics, Soundscape, Landscape, Climate change, Noise.

Reference list

- Appel, H. M. & Cocroft, R. B. (2014). Plants respond to leaf vibrations caused by insect herbivore chewing. *Oecologia*, 175:1257–66.
- Badyaev, A.V., Leaf, E.S. (1997). Habitat associations of song characteristics in Phylloscopus and Hippolais warblers. *Auk*, 114: 40–46.
- Barbieri, M. (2015). *Biological Codes*. Springer, Dordrecht.
- Barnett, C.A., Briskie, J.W. (2007). Energetic state and performance of dawn chorus in silvereyes (Zosteropslateralis). *Behavioural Ecology and Sociobiology*, 61:579-587.
- Berg, K.S., Brumfield, R.T., Apanius, V. (2006). Phylogenetic and ecological determinants of the neotrpical dawn chorus. *Proceedings Royal Society B.*, 273:999-1005.
- Brenowitz, E. A. (1982). The active space of red winged blackbird song. *J. Comp. Physiol.*, 147: 511–522.
- Brown, C. H. (1989). The active space of monkey and grey cheeked managabey vocalizations. Anim. *Behav.*, 37:1023– 1034.
- Burt, J.M., Vehrencamp, S.L. (2005). 15. Dawn chorus as an interactive communication network. In: Animal Communication Networks, edited by P.K. McGregor, PP. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Cosens, S. E., Falls, J. B. (1984). A comparison of sound propagation and song frequency in temperate marsh and grassland habitats. *Behav. Ecol. Sociobiol.*, 15: 161–170.
- Crutzen, P., Stoermer, E. (2000). The Anthropocene, Global Change. *IGBP Newsletter*, 41: 17-18.
- Cuthill, I.C., MacDonald, W.A. (1990). Experimental manipulation of the dawn and dusk chorus in the blackbird *Turdus merula*. *Behavioural Ecology and Sociobiology*, 26:209-216.
- Dabelsteen, T., Mathevon, N. (2002). Why do songbirds sing intensively at dawn? A test of the acoustic transmission hypothesis. *Acta Ethologica*, 4: 65-72.
- Drewry, G.E., Rand, S. (1983). Characteristic of an acoustic community: Puerto Rican frogs of the genus Eleutherodactylus. *Copeia*, 1983(4): 941–953.
- Ey, E., Fischer, J. (2009). The "acoustic adaptation hypothesis" – a review of the evidence from birds, anurans and mammals. *Bioacoustics*, 19: 21-48.
- Farina, A. (2014). *Soundscape Ecology*. Springer, Dordrecht.
- Farina, A., Pieretti, N. (2014). Acoustic codes in action in a soundscape context. *Biosemiotics* 7(2): 321–328.
- Farina, A., James, P. (submitted). Acoustic community structure and dynamics: a fundamental component of ecoacoustics. *Biosystems*.
- Farina, A., Ceraulo, et al. (2015). Spatial and temporal variation of bird dawn chorus and succes-