

به دعوت سردبیر



نقش و اهمیت مدل‌سازی توزیع گونه‌ای (SDM)

در حفاظت از تنوع زیستی

الهام ابراهیمی*

دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه محیط‌زیست،
پژوهشکده علوم محیطی، دانشگاه شهید بهشتی

چکیده

با افزایش تهدیدات و کاهش مناطق مطلوب زیستگاهی برای گونه‌های جانوری و گیاهی در روی کره زمین تعیین مناطق مطلوب برای بقای گونه‌ها ارزش بالایی پیدا نمود. از طرفی توسعه روش‌های مدل‌سازی انقلابی در افزایش دانش بوم‌شناسی مخصوصاً ماکرو اکولوژی به وجود آورد. مدل‌سازی توزیع گونه‌ای یکی از مدل‌های مورد استفاده در این بخش می‌باشد، که این مدل‌ها اغلب برای پیش‌بینی توزیع جغرافیایی یک گونه به‌جای مطالعه ویژگی‌های توزیع گونه در فضای محیط‌زیستی (نیچ) استفاده می‌شوند. SDM در حال حاضر به‌طور گسترده‌ای در سراسر اکوسیستم‌های خشکی، آب شیرین و در عرصه‌های دریایی استفاده می‌شود. فراتر از پیش‌بینی توزیع گونه، این مدل‌ها تبدیل به یک ابزار مهم تصمیم‌گیری برای انواع برنامه‌های کاربردی جغرافیایی زیستی، مانند مطالعه اثرات تغییرات اقلیمی، شناسایی مناطق حفاظتی بالقوه، تعیین مکان‌های بالقوه برای پراکنش گونه‌های حساس و مهاجم و نقشه‌برداری گسترش بیماری‌های خطرناک به‌طور گسترده‌ای به کار گرفته می‌شود.

نویسنده مسئول: الهام ابراهیمی

کلمات کلیدی: آشیان بوم‌شناختی، گونه، مطلوبیت زیستگاه، محیط‌زیست

پست الکترونیک: Ebrahimi.iran72@gmail.com

مقدمه

صورت فرمول درآورده و تأثیر پارامترهای مؤثر بر مطلوبیت زیستگاه را کمی کنند. این مدل‌ها می‌توانند احتمال حضور گونه در یک نقطه از زیستگاه را با توجه به شرایط محیطی آن برآورد کنند (شمس، ۱۳۹۰). این در حالی است که در ایران استفاده از این روش‌ها کمتر توسعه یافته و آگاهی‌های اندکی در ارتباط با اهمیت و فواید این روش‌ها وجود دارد. با استفاده از روش‌های مدل‌سازی می‌توان به بررسی آشیان بوم‌شناختی گونه‌ها (Vetaas, 2002)، یافتن مناطق بالقوه مساعد برای حضور گونه‌ها و تعیین مهم‌ترین فاکتورهای محیطی مؤثر بر پراکنش و حضور آن‌ها (Phillips et al., 2006)، یافتن زیستگاه‌های جدید برای گونه‌های

توسعه روش‌های مدل‌سازی انقلابی در افزایش دانش بوم‌شناسی مخصوصاً ماکرو اکولوژی به وجود آورده است و سبب افزایش آگاهی‌های جهانی در ارتباط با عوامل محیطی شکل دهنده پراکنش گونه‌ها شده است، که خود از موضوعات اصلی مورد بررسی بوم‌شناسان در تمامی تاریخ علم بوم‌شناسی بوده است. مدل‌های مطلوبیت زیستگاه مدل‌های آماری هستند که به بررسی روابط گونه‌ها با محیط‌زیست آن‌ها می‌پردازند. این مدل‌ها قدرت سامانه اطلاعات جغرافیایی را به همراه ابزارهای چند متغیره درهم می‌آمیزند تا ارتباط بین گونه و زیستگاه آن را به

(Heikkinen *et al.*, 2006; Pearson *et al.*, 2006). اما این مدل‌ها اغلب برای پیش‌بینی توزیع جغرافیایی یک گونه به جای مطالعه ویژگی‌های توزیع گونه در فضای محیط‌زیستی استفاده می‌شوند. SDM در حال حاضر به‌طور گسترده‌ای در سراسر اکوسیستم‌های خشکی، آب شیرین و در عرصه‌های دریایی استفاده می‌شود (Elith and Leathwick, 2009).

مدل‌سازی پراکنش گونه‌ها یک روش مدل‌سازی در علوم محیط‌زیست است، که تلاش می‌کند روابط بین پراکنش گونه‌ها و ویژگی‌های محیطی آن‌ها را بیان کند. این روش با استفاده از اطلاعات حضور گونه یا عدم حضور گونه در مختصات جغرافیایی پراکنش آن‌ها و اندازه‌گیری ویژگی‌های محیطی به شکل متغیرهای محیطی هر گونه، در قالب مدل‌های آماری یا روش‌های یادگیری ماشینی روابط حضور یا عدم حضور گونه با متغیرهای محیطی را کشف و بر اساس روابط کشف شده به پیش‌بینی حضور یا عدم حضور یک گونه در بستر جغرافیای محیطی می‌پردازد (Franklin, 2010).

مدل‌سازی پراکنش گونه‌ای برای مدل‌سازی روابط بین پراکنش گونه و شرایط محیطی ابتدا پراکنش بخشی از جمعیت گونه مورد نظر را در ابعاد فضایی مشخص می‌کند و در محدوده پراکنش جمعیت نمونه مورد نظر را با توجه به نوع گونه و فاکتورهای مؤثر بر پراکنش گونه در قالب متغیرهای محیطی (مانند دما، ارتفاع، شیب، جنس خاک، نوع پوشش، سرعت جریان، عمق آب و ...) پهنه‌بندی می‌کند (شکل ۱). به عبارتی با شکستن شرایط محیطی به

کمیاب و در خطر انقراض در مناطق دور دست (Engler *et al.*, 2004)، برنامه‌ریزی و حفاظت (Cayuela *et al.*, 2009; Velásquez-Tibatá *et al.*, 2012)، ارزیابی اثرات تغییرات در اقلیم و کاربری اراضی بر نحوه پراکنش گونه‌ها (Guisan and Thuiller, 2005; Liu *et al.*, 2005; Velásquez-Tibatá *et al.*, 2012) پرداخت.

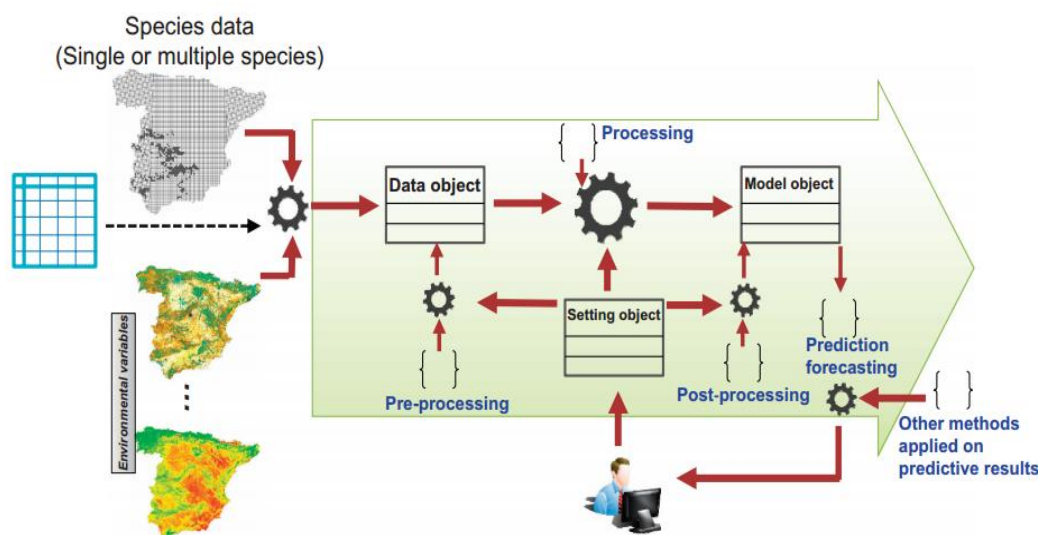
مدل‌سازی توزیع گونه‌ای^۱ SDM

مدل‌سازی توزیع گونه‌ای SDM به‌عنوان ابزاری جهت بررسی ارتباط بین توزیع جغرافیایی گونه (حضور یا فراوانی در مکان‌های شناخته شده) با اطلاعات در مورد ویژگی‌های محیط‌زیستی گونه تعریف می‌شود (Pearson *et al.*, 2007). در واقع مدل‌های توزیع گونه‌ای SDM ابزارهای کمی یا تجربی هستند که با استفاده از داده‌های مکانی موقعیت گونه‌ها و متغیرهای محیط‌زیستی که بر توزیع گونه‌ها اثر می‌گذارند، روابط گونه-محیط را مدل‌سازی می‌کنند. در بسیاری از منابع مدل مطلوبیت زیستگاه، مدل نیچ گونه، مدل نیچ اکولوژیک یا حتی مدل نظریه نیچ واژه‌هایی هستند که برای توصیف SDM استفاده شده‌اند. چرا که یکی از اساسی‌ترین مبانی تئوری در مدل‌سازی پراکنش گونه بر اساس مفهوم نیچ اکولوژیک بوده است. این مدل‌ها بر اساس روش مدل‌سازی و اهداف، به توصیف مطلوبیت زیستگاه گونه، نیچ بالقوه، نیچ بالفعل، نیچ چند متغیره گونه و یا هنگامی که تنها به متغیرهای اقلیمی توجه می‌شود به نیچ مطلوبیت اقلیمی گونه می‌پردازند

۱ - Species Distribution Modeling

منطقی بین پراکنش گونه و متغیرهای مختلف بیابد. در ادامه این مدل ها با استفاده از روابط تجربی به دست آمده از مدل سازی، برای پراکنش گونه در مکان و زمان هایی خارج از محدوده کنونی استفاده می شوند (Franklin, 2010; Pearson *et al.*, 2004;) (Pearson *et al.*, 2007).

متغیرهای مختلف و استخراج بی نظمی متغیرها در محدوده اکوسیستمی و پهنه بندی مجزای آنها تلاش می کند. با ترکیب این فاکتورهای محیطی مجزا با داده های مکانی پراکنش گونه به کمک مدل های آماری (GLM, GAM) یا روش های یادگیری ماشینی (ANN, RF) روابط منظم و



شکل ۱: نمایش کلاس های اصلی و مراحل پیش پردازش، پردازش و پس از پردازش برای مدل سازی توزیع گونه در SDM (Naimi *et al.*, 2014)

برنامه ریزی حفاظت به طور گسترده ای مورد استفاده قرار می گیرد. با توجه به تغییرات گسترده در شرایط طبیعی که گونه ها در آن زیست می کنند و واکنش مختلف هر گونه نسبت به تغییرات محیطی مدل ها SDM می توانند با پیش بینی واکنش گونه ها به تغییرات در مقیاس جغرافیایی توزیع خود، اطلاعات مفید و قابل توجهی برای مدیران و برنامه ریزان عرصه حفاظت فراهم کنند. در طراحی ذخیره گاه های حیات وحش و مناطق حفاظت شده برای رسیدن به اهداف حفاظت و مدیریت جمعیت حیات وحش پیش بینی تأثیرات فعالیت های مختلف بر زیستگاه برای مدیریت منابع اهمیت بالایی دارد. شناسایی مناطق مناسب برای احیای جمعیت گونه ها و معرفی

استفاده از مدل سازی توزیع گونه ای SDM برای نقشه برداری توزیع گونه های جانوری و گیاهی به طور فزاینده ای در زمینه آگاهی نسبت به تغییرات محیط زیست و پیامدهای محیط زیستی فعالیت های بشری بر تنوع زیستی مورد استفاده قرار می گیرد. فراتر از پیش بینی توزیع گونه، این مدل ها تبدیل به یک ابزار مهم تصمیم گیری برای انواع برنامه های کاربردی جغرافیای زیستی، مانند مطالعه اثرات تغییرات اقلیمی، شناسایی مناطق حفاظتی بالقوه، تعیین مکان های بالقوه برای پراکنش گونه های حساس و گونه های مهاجم و نقشه برداری گسترش بیماری های خطرناک به طور گسترده ای به کار گرفته می شود (Miller, 2010). علاوه بر این SDM برای

می‌کنیم و می‌توانیم آن را به‌عنوان یک آشیان اکولوژیکی اشغال شده تعریف کنیم (Pearson *et al.*, 2007).

آشیان اکولوژیکی اشغال شده نشان دهنده همه محدودیت‌های تحمیل شده بر پراکنش واقعی شامل محدودیت‌های مکانی با توجه به توانایی محدود پراکنش و تعاملات متعدد با سایر موجودات زنده می‌باشد هر چند برخی از مناطق پراکنش واقعی ممکن است ناشناخته باشند (برای مثال یک منطقه اشغال شده است اما گونه‌های درون آن شناسایی نشده‌اند) یا در برخی از مناطق که پتانسیل لازم برای پراکنش گونه وجود دارد ممکن است که گونه‌ها به دلیل تعاملات متقابل زنده و یا محدودیت‌های موجود در پراکنندگی استقرار نیابند. بر همین مبنا می‌توان گفت فضای جغرافیایی به موقعیت مکانی که معمولاً با استفاده از مختصات x و y نشان داده می‌شود اشاره می‌کند و فضای محیطی به آشیان اکولوژیکی چند بعدی هاجینسون اشاره می‌کند. فضای محیطی زیستی آشیان اصلی گونه‌ها را که نشان دهنده طیف گسترده‌ای از شرایط غیرزنده‌ای است که در آن گونه‌ها پایدارند را به تصویر می‌کشد و فضای جغرافیایی مناطقی با شرایط غیرزنده که در آشیان اساسی اکولوژیکی بالقوه برای پراکنش گونه‌ها است را مشخص می‌کند (Franklin, 2010; Pearson *et al.*, 2007).

داده‌های مورد استفاده در یک SDM

در ساخت مدل‌های پراکنش گونه‌ای وجود رابطه میان وقوع گونه با شرایط محیطی یک فرض اساسی محسوب می‌شود (Franklin, 2010). وجود این

گونه به زیستگاه‌های جدید و حتی بازسازی و احیای زیستگاه بالقوه گونه‌ها از دیگر کاربردهای مدل‌های SDM می‌باشد. همچنین مدل‌های SDM برای آزمون فرضیه‌های جغرافیای زیستی به کار برده می‌شود (Elith and Leathwick, 2009; Franklin, 1955; Guisan and Thuiller, 2005).

فضای جغرافیایی در مقابل فضای محیطی

برای درک مدل‌سازی پراکنش گونه‌ها مهم است که در مورد وقوع گونه‌ها در فضای محیطی زیستی آن‌ها بیاندیشیم، که یک فضای مفهومی تعریف شده توسط متغیرهای محیطی که در ارتباط با پاسخ‌های گونه‌ها می‌باشند. مفهوم فضای زیست‌محیطی در تئوری آشیان اکولوژیکی مفهوم می‌یابد. واژه آشیان تاریخ طولانی و مختلفی در بوم‌شناسی دارد. هاجینسون آشیان اکولوژیکی بنیادی یک گونه را به عنوان مجموعه‌ای از شرایط محیطی که در آن یک گونه می‌تواند زنده بماند و زندگی کند تعریف کرده است (Hutchinson and Bunting, 1987).

تجسم کردن پراکنش گونه‌ها در هر دو فضای محیطی زیستی و جغرافیایی کمک می‌کند تا برخی از مفاهیم اساسی که برای مدل‌سازی پراکنش گونه‌ها ضروری هستند را درک کنیم. برای درک این دو مفهوم توجه به این نکته که علاوه بر محل‌های گزارش شده در مورد پراکنش واقعی گونه‌ها، به احتمال زیاد گونه‌ها در مناطق دیگر هم می‌توانند حضور داشته باشند، هر چند حضور آن‌ها هنوز گزارش نشده باشد. اگر پراکنش واقعی در فضای محیطی مشخص شده باشد ما بخشی از فضای محیطی که توسط گونه‌ها اشغال شده‌اند را شناسایی

متغیرهای محیطی متعددی در مدل‌سازی پراکنش گونه‌ها به کار گرفته می‌شود. رایج‌ترین آن‌ها مربوط به اقلیم (مانند دما و بارش)، توپوگرافی (مانند ارتفاع و شیب)، نوع خاک و پوشش زمین می‌باشد. این متغیرها با وجود اینکه پتانسیل ساخت تقابلات زیستی و زنده را در مدل‌سازی فراهم می‌کنند اما در واقع تمایل به توصیف محیط غیرزنده را دارند (Pearson *et al.*, 2007). متغیرها اغلب برای توصیف شرایط محیطی که تصور می‌شود با تأثیر بر فیزیولوژی و رفتار گونه نقش مستقیمی بر پراکنش گونه‌ها دارند، مورد پردازش واقع می‌شوند. هر چند بر اساس برخی نظرات کارشناسی توصیه می‌شود که متغیرهای پیش‌بینی‌گری که تأثیر غیر مستقیم بر پراکنش گونه‌ها دارند از آنجایی که ارتباطات غیرمستقیم ممکن است هنگامی که مدل برای پیش‌بینی پراکنش گونه‌ها در منطقه جدید یا تحت سناریوهای اقلیمی مختلف مورد استفاده قرار می‌گیرد، مدل‌سازی را با مشکل مواجه کنند، پرهیز شود (Guisan and Thuiller, 2005). اما مطالعات متعدد نشان دهنده‌ی این نکته است که استفاده درست از متغیرهای غیر مستقیم برای توصیف پراکنش گونه‌ها می‌تواند بسیار مفید واقع شود (Mostafavi *et al.*, 2014). متغیرهای محیطی ممکن است که یا متشکل از داده‌های پیوسته (داده‌هایی که می‌توانند هر مقداری را درون یک محدوده مشخص داشته باشند مثل دما یا بارش) یا داده‌های گسسته (داده‌هایی که در گروه‌های مجزا دسته‌بندی می‌شوند مثل نوع پوشش سطح زمین یا نوع خاک) باشند. داده‌های گسسته نمی‌توانند با تعدادی از الگوریتم‌های رایج مدل‌سازی مورد استفاده واقع شوند. در این موارد، ممکن است

فرض موجب می‌شود برای ساخت یک مدل حداقل به دو گروه از داده‌های ورودی نیاز داشته باشیم.

الف) داده‌های بیولوژیک

داده‌های مکانی گونه با توجه به سیستم مختصات جغرافیایی حضور یا عدم حضور گونه مشخص می‌شوند. داده‌های پراکنش گونه ممکن است که فقط داده‌های حضور (محل‌هایی که گونه مشاهده شده است) و یا داده‌های حضور/عدم حضور باشد. روش‌های مختلف مدل‌سازی برای ساخت مدل با هر کدام از این داده‌ها توسعه داده شده‌اند. در برخی موارد نشان داده شده است که باوجود رکوردهای عدم حضور، عملکرد مدل بهبود بخشیده می‌شود (Brotons *et al.*, 2004). اما همواره رکوردهای عدم حضور در دسترس نیست و یا در برداشت داده‌های عدم حضور گونه اشتباهات فراوانی رخ می‌دهد که حدود اطمینان به این داده‌ها را به شدت کاهش می‌دهد و می‌تواند موجب خطا در مدل‌سازی شود (Hirzel *et al.*, 2002). با توجه به محدودیت‌های موجود در تهیه و استفاده از داده‌های عدم حضور در بسیاری از مطالعات استفاده از داده‌های شبه عدم حضور توسعه داده شده است. داده‌های شبه عدم حضور برای مناطقی که عدم حضور گونه به طور قطع مورد تأیید نباشد در نظر گرفته می‌شود. استفاده از داده‌های شبه عدم حضور برای انجام مدل‌سازی پراکنش گونه‌ها نتایج خوبی داشته است (Mostafavi *et al.*, 2014).

ب) داده‌های محیطی

distribution of rare and endangered species from occurrence and pseudo-absence data. *Journal of Applied Ecology* 41: 263–274.

Franklin, J. 2010. Moving beyond static species distribution models in support of conservation biogeography. *Diversity and Distributions*, 16(3): 321-330.

Franklin, R. E., Gosling, R. G. 1955. The structure of sodium thymonucleate fibres. III. The three-dimensional Patterson function. *Acta Crystallographica*, 8(3): 151-156.

Guisan, A., Thuiller, W. 2005. Predicting species distribution: offering more than simple habitat models. *Ecology letters*, 8(9): 993-1009.

Guisan, A., Zimmermann, N.E. 2000. Predictive habitat distribution models in ecology. *Ecological Modeling*, 135:147-186.

Heikkinen, R. K. Luoto, M., Araújo, M.B., Virkkala, R., Thuiller, W., Sykes, M.T. 2006. Methods and uncertainties in bioclimatic envelope modelling under climate change. *Progress in Physical Geography*. 30: 751–777.

Hirzel, A. H., Hausser, J., Chessel, D., Perrin, N. 2002. Ecological-niche factor analysis: how to compute habitat-suitability maps without absence data? *Ecology*, 83(7): 2027-2036.

Hutchinson, M. F., Bunting, A. H. 1987. Methods of generation of weather sequences. *Water Resources Research*. 40, W04304, doi:10.1029/2003WR002747,

Liu, C. R., Berry, P. M., Dawson, T. P., Pearson, R. G. 2005. Selecting thresholds of occurrence in the prediction of species distributions. *Ecography*, 28: 393-385.

Miller, S. P., Whalen, M. W., Cofer, D. D. 2010. Software model checking takes off.

احتمال تولید یک متغیر پیوسته از داده گسسته وجود داشته باشد. برای مثال Pearson و همکاران (۲۰۰۲) ظرفیت نگهداری آب توسط خاک را از داده‌های گسسته خاک تخمین زده و این مقادیر را درون یک مدل تعادل آب (water balance model) برای ایجاد پیش‌بینی‌های پیوسته از زیاده و کمبود رطوبت خاک استفاده نمودند (Pearson *et al.*, 2002).

منابع

شمس اسفند آباد، ب.، ۱۳۹۰. مدل‌سازی مطلوبیت زیستگاه گوسفند وحشی و بز وحشی در مناطق کوهستانی فلات مرکزی ایران، مطالعه موردی: منطقه حفاظت‌شده هفتاد قله. رساله دکتری، دانشگاه آزاد اسلامی- واحد علوم و تحقیقات تهران.

Brotons, L., Thuiller, W., Araújo, M. B., Hirzel, A. H. 2004. Presence-absence versus presence-only modelling methods for predicting bird habitat suitability. *Ecography*, 27(4): 437-448.

Cayuela, L., Golicher, J.D., Newton, A.C., Kolb, M., Albuquerque, F.S., Arets, E.J.M.M., Alkemade, J.R.M., Pérez, A.M. 2009. Species distribution modelling in the tropics: problems, potentialities, and the role of biological data for effective species conservation. *Tropical Conservation Science* 2: 319–352.

Elith, J., Leathwick, J. R. 2009. Species distribution models: ecological explanation and prediction across space and time. *Annual review of ecology, evolution, and systematics*, 40: 677-697.

Engler, R., A. Guisan L. Rechsteiner. 2004. An improved approach for predicting the

- numbers of occurrence records: a test case using cryptic geckos in Madagascar. *Journal of Biogeography*, 34(1): 102-117.
- Pearson, R. G., Thuiller, W., Araújo, M. B., Martínez-Meyer, E., Brotons, L., McClean, C., Lees, D. C. 2006. Model-based uncertainty in species range prediction. *Journal of Biogeography*, 33(10): 1704-1711.
- Phillips, S. J., Anderson, R.P. Schapire, R.E. 2006. Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological Modeling*, 190: 231-259.
- Velásquez-Tibatá, J., Salaman, P., Graham, C.H. 2012. Effects of climate change on species distribution, community structure, and conservation of birds in protected areas in Colombia. *Reg. Environ. Change*. DOI 10.1007/s10113-012-0329-y.
- Vetaas, O.R. 2002. Realized and potential climate niches: a comparison of four *Rhododendron* tree species. *Journal of Biogeography*, 29: 545-554.
- Communications of the ACM, 53(2): 58-64.
- Mostafavi, H., Pletterbauer, F., Coad, B. W., Mahini, A. S., Schinegger, R., Unfer, G Schmutz, S. 2014. Predicting presence and absence of trout (*Salmo trutta*) in Iran. *Limnologica-Ecology and Management of Inland Waters*, 46: 1-8.
- Naimi, B., Araújo, M. B. 2016. sdm: a reproducible and extensible R platform for species distribution modelling. *Ecography*, 39(4): 368-375.
- Pearson, P., Procter, S., Wilcockson, J., Allgar, V. 2004. The process of hospital discharge for medical patients: a model. *Journal of Advanced Nursing*, 46(5): 496-505.
- Pearson, R. G., Dawson, T. P., Berry, P. M., Harrison, P. A. 2002. SPECIES: a spatial evaluation of climate impact on the envelope of species. *Ecological modelling*, 154(3): 289-300.
- Pearson, R. G., Raxworthy, C. J., Nakamura, M., Townsend Peterson, A. 2007. Predicting species distribution from small