نشریه حفاظت و بهره‌برداری از منابع طبیعی
جلد هفتم، شماره اول، ۱۳۹۷
۱-۱٤
http://ejang.gau.ac.ir
DOI: 10.22069/ejang.2019.4525.1155

مدل‌سازی روابط مکانی فراجمعیت با کاربرد نرم‌افزار اکوژنتیک

***شیوا غریبی[۱] و عبدالرسول سلمان‌ماهینی[۲]**

[۱]کارشناس‌ارشد گروه محیط‌زیست، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان،
[۲]دانشیار گروه محیط‌زیست، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۰۲/۰۹؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۰٦/۲۲

چکیده

سابقه و هدف: فراجمعیت یک ساختار مکانی جمعیت متشکل از واحدهای زیرجمعیت است که توسط موانعی از هم جدا شده‌اند و درون یک چشم‌انداز قرار دارند. درون یک چشم‌انداز لکه‌هایی با اندازه‌های متفاوت وجود دارند و تکه‌تکه‌شدن زیستگاه به‌صورت جدایی لکه‌ها و ایجاد تغییرات کلی در سیمای سرزمین است که به‌صورت یک فرآیند پویا باعث تغییر الگوی زیستگاه در سیمای سرزمین می‌شود.

مواد و روش‌ها: مناسب‌ترین روش برای تعیین موقعیت لکه‌ها با توجه به ویژگی‌های سیمای سرزمین و گونه‌ها، مدل‌سازی است. مدل‌سازی فنی برای درک بهتر روابط میان لکه‌های زیستی و نحوه ارتباط آن‌ها با یکدیگر است و امروزه زیست‌شناسی حفاظت بر اساس مدل‌های فراجمعیت راهی برای تفکر در مورد مدیریت زیستگاه‌های جزیره‌ای، زیستگاه‌های تکه‌تکه شده و محیط‌های ناهمگن ایجاد کرده است.

یافته‌ها: با ورود داده‌هایی مانند طول و عرض منطقه مورد مطالعه، تعداد و وضعیت قرارگیری لکه‌ها، مختصات و مساحت هر کدام از لکه‌ها، نرخ تولد و انقراض در هر کدام از لکه‌ها و میزان نفوذپذیری و انتشار میان لکه‌ها به نرم‌افزار اکوژنتیک می‌توان اقدام به مدل‌سازی روابط مکانی فراجمعیت نمود.

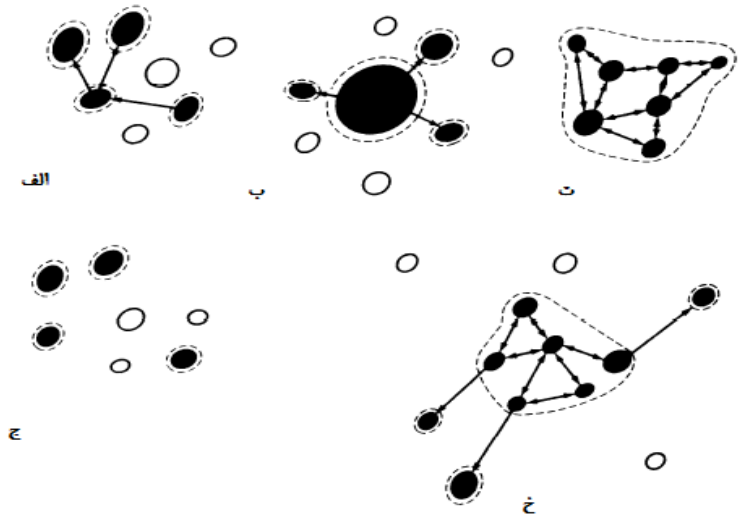
نتیجه‌گیری: بنابراین، مقاله حاضر توصیف روابط مکانی است که این امکان را می‌دهد تا ویژگی‌های لکه‌های زیستگاهی، ظرفیت برد، سرعت رشد و خطر انقراض همراه با نفوذپذیری یا پراکندگی جمعیت‌ها از محیط اطراف به‌صورت یک نقشه خروجی به‌دست آید.

واژه‌های کلیدی: اکوژنتیک، چشم‌انداز، رابط مکانی، فراجمعیت

* مسئول مکاتبه: sh.gharibi_uok@yahoo.com

مقدمه

ابرجمعیت یا فراجمعیت[1] به‌عنوان ساختار مکانی جمعیت متشکل از واحدهای مجزا (زیرجمعیت) تعریف شده است که این زیرجمعیت‌ها توسط فضا یا موانعی از هم جدا شده و از طریق انتشار با هم در ارتباط هستند. هم‌چنین جمعیت، یک گروه ساختاری از افراد است که در لکه‌ای مشخص زندگی می‌کنند. بنابراین، پویایی فراجمعیت نقش مهمی را در حفاظت از پستانداران و به‌خصوص فرآیند تکه‌تکه‌شدن زیستگاه دارد. آنالیز زیستی جمعیت[2] برای ارزیابی نقش و اهمیت لکه‌های منحصربه‌فرد برای پایداری فراجمعیت استفاده می‌شود (۱). در اکوژنتیک جمعیت را به دسته‌ای از موجودات زنده مرتبط با یکدیگر[3] مترادف کرده‌اند. نظریه فراجمعت برای تجزیه و تحلیل اثرات ناشی از تکه‌تکه[4]شدن زیستگاه مورد استفاده قرار می‌گیرد (۲). خطر انقراض فراجمعیت احتمال وقوع پدیده‌ای است که همه جمعیت‌های محلی در طول یک چارچوب زمانی ثابت منقرض شوند. بنابراین، پراکنش ممکن است خطر انقراض فراجمعیت را با افزایش نرخ رشد سرانه کاهش دهد (۳). بر اساس شکل ۱ فراجمعیت به شکل چیدمان‌های مختلفی دیده می‌شود.



شکل ۱- انواع مختلف فراجمعیت. دایره‌های توپر: لکه‌های اشغال‌شده، دایره‌های توخالی: لکه‌های اشغال‌نشده، خطوط نقطه‌چین: مرز جمعیت‌ها و خطوط پیکان: جهت انتشار. الف: کلاسیک (لوین)، ب: لکه اصلی- جزیره‌ای، ت: جمعیت لکه‌لکه، ج: فراجمعیت ناپایدار و خ: موردی حد واسط از ترکیب موارد الف، ب، ت، ج.

Figure 1. Different types of metapopulation. Filled circles: occupied habitat patches; empty circles: vacant habitat patches; dotted lines: boundaries of local populations; arrows: dispersal. (a) classic (Levins); (b) mainland-island; (c) patchy population; (d) nonequilibrium metapopulation; (e) intermediate case combining features of (a), (b), (c) and (d).

1- Metapopulation
2- PVA: Population Viability Analysis
3- Deme
4- Fragmentation

به‌طورکلی، فراجمعیت درون یک سیمای سرزمین وجود دارد. سیمای سرزمین[1] یک ناحیه ناهمگن یا غیریکنواخت است که درون آن مجموعه‌ای از کاربری‌های ناسازگار و به شکل ناهمگن قرار دارند و دارای ۳ عنصر اساسی است:

- پچ[2] یا لکه
- کریدور یا گذرگاه
- متریکس یا زمینه

لکه منطقه‌ای همگن و زیستگاه مناسبی است و از سایر لکه‌های موجود توسط سیمای سرزمین نامناسب و یا موانع انتشار جدا شده است و دارای مرز مشخص است و ممکن است به جمعیتی از افراد پناه دهد. هر لکه توسط مساحت، مختصات و شرایط آن که ممکن است پناه دادن به جمعیت باشد تعیین شود (نرخ تولد و خطر انقراض). کریدور، زیستگاه خطی و باریکی است که در یک زمین ناهمگن منجر به اتصال دو یا بیش از دو لکه به همدیگر می‌شود و این کریدورها می‌توانند به‌صورت طبیعی یا مصنوعی باشند و باعث حفاظت حیات‌وحش یا افزایش زیستایی جمعیت حیات‌وحش ویژه در آن زیستگاه می‌شوند. متریکس، زمینه سیمای سرزمین است که لکه‌ها درون آن قرار دارند. در سیمای سرزمین لکه‌هایی با اندازه‌های متفاوت وجود دارند و تکه‌تکه‌شدن زیستگاه به‌صورت جدایی لکه‌ها و ایجاد تغییر کلی در سیمای سرزمین است که به‌صورت یک فرآیند پویا باعث تغییر الگوی زیستگاه در سیمای سرزمین می‌شود. بنابراین می‌توان برای تعیین موقعیت لکه‌ها با توجه به برخی ویژگی‌های سیمای سرزمین و گونه‌ها اقدام به مدل‌سازی سیمای سرزمین نمود. نابودی و تکه‌تکه‌شدن زیستگاه تهدیدی جدی برای تنوع زیستی و دلیل اولیه خطر انقراض است. بنابراین، فراجمعیت مرکز توجه زیست‌شناسی حفاظت قرار گرفته است (٤ و ٥). امروزه زیست‌شناسی حفاظت بر اساس مدل‌های فراجمعیت راهی برای تفکر در مورد زیستگاه‌های جزیرای خاکی، زیستگاه‌های تکه‌تکه‌شده و محیط‌های خاکی ناهمگن باز کرده است (٦ و ٧).

مدل‌سازی به این جهت به عمل می‌آید که پیچیدگی نظام را ساده‌تر نماید که قابل درک باشد، جمع‌بندی از اطلاعات گردآوری شده است که از نظر ماهیت داده‌ها سازگار باشد و شبیه‌سازی از تلفیق اطلاعات موجود ایجاد کرد که شباهتی به جهان واقعی داشته باشد (٨). مدل‌سازی در علم اکولوژی، فنی جهت فهم بهتر این علم ارزشمند است. بنابراین، در سال ۲۰۰ گردهمایی، حیات‌وحش ۲۰۰۰ با تأکید بر مدل‌سازی روابط زیستگاهی جانوران برگزار شد و بر این اساس تاکنون سه نوع مدل به‌شرح زیر برای فراجمعیت‌ها ثبت شده است:

- **مدل‌های مطلق مکانی**[3]: در این مدل اندازه جمعیت و ارتباط آن‌ها با هم یکسان در نظر گرفته می‌شود و تمامی لکه‌ها با هم برابرند.
- **مدل‌های آشکار مکانی**[4]: این مدل تأکید بر مهاجرت بین دو لکه مجاور هم دارد و در این مدل فرض بر این است که جمعیت‌ها در یک شبکه منظم قرار دارند و بین لکه‌ها ارتباط وجود دارد اما لکه‌ها در کنار هم نرخ بالای مهاجرت را دارند
- **مدل‌های واقع گرایانه مکانی**[5]: در این نوع مدل‌ها می‌توان ویژگی‌های جمعیت‌ها را به‌عنوان مثال مکان دقیق و ویژگی‌های خود لکه مانند اندازه جمعیت، شرایط جمعیت، نرخ رشد و همچنین انتشار افراد بین لکه‌ها را وارد مدل نمود و در این حالت بر خلاف شکل لکه، ویژگی‌های درون لکه مهم است.

1- Landscape
2- Patch
3- Spatially Implicit Models
4- Spatially Explicit Models
5- Spatially Realistic Models

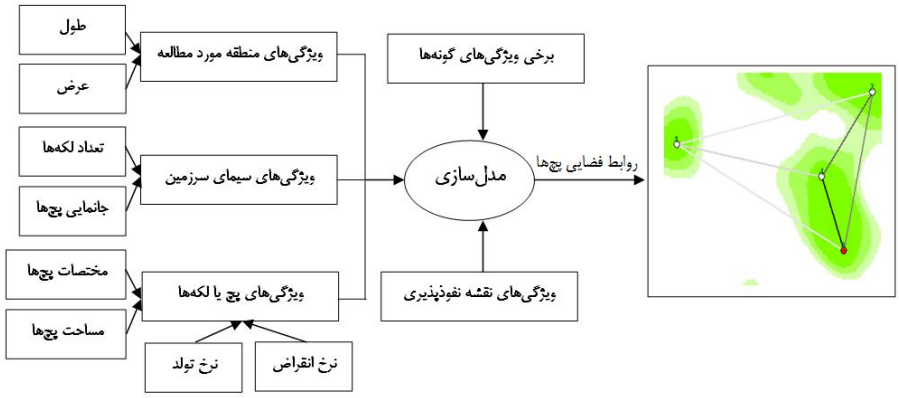
با این وجود مشاهده می‌شود که انواع روش‌های مدل‌سازی فراجمعیت سیر تکاملی را طی کرده‌اند. بنابراین با گذشت زمان و پیشرفت علم، روش‌ها و نرم‌افزارهای جدیدی برای مدل‌سازی در علم اکولوژیک توسعه یافته‌اند. مهم‌ترین و کاربردی‌ترین نرم‌افزار جدیدی که در این زمینه وجود دارد اکوژنتیک[1] است. این نرم‌افزار برای بررسی روابط مکانی فراجمعیت طراحی شده است و مجموعه‌ای از ابزارهایی را برای مطالعه صریح مکانی فراجمعیت ارائه می‌دهد و بوم‌شناسان مکانی و جمعیت متخصصان علم ژنتیک را با استفاده از یک بسته کاربر پسند با یادگیری سریع شامل ابزارهای شبیه‌سازی و تجزیه و تحلیل روبه‌رو می‌کند. این برنامه بر اساس یک رابط سه‌بعدی که همه انواع وضعیت چشم‌اندازها را از مناظر واقعی (به‌عنوان مثال ناشی از سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی) تا ساختارهای فرضی (به‌عنوان مثال مدل جزیره، حوزه، شبکه) تعریف می‌کند تمرکز یافته است. با وجود سادگی استفاده از آن، اکوژنتیک هم تطبیق‌پذیر و هم سریع است. بنابراین، رشد روزافزون اطلاعات محیط‌زیست ما را بر آن داشت تا با گردآوری و ترجمه این راهنما ضمن یادآوری اهمیت اکولوژی و مدل‌سازی فراجمعیت گامی هر چند کوچک در جهت ارتقای سطح علمی دانشجویان محیط‌زیست برداریم. در مقاله حاضر عملکرد اکوژنتیک در فرآیند مدل‌سازی روابط مکانی فراجمعیت توسط نرم‌افزار اکوژنتیک مورد بررسی قرار می‌گیرد. فرآیند مدل‌سازی بر اساس نرم‌افزار اکوژنتیک در شکل ۲ نشان داده شده است.

شکل ۲- نمودار اجرای اکوژنتیک.

Figure 2. Ecogeneticl flowchart.

بر اساس شکل ۲ این نرم‌افزار دارای سه ورودی پارامترهای سیمای سرزمین، تاریخچه زندگی گونه و ژنوم جمعیت است که بعد از مدل‌سازی و اجرای توابع مختلف دو خروجی جمعیت‌شناختی و ژنتیک جمعیت مورد مطالعه را در اختیار کاربر قرار می‌دهد. علاوه بر آن با ورود تنها داده‌های مربوط به سیمای سرزمین می‌توان وضعیت جمعیت‌شناختی را مدل‌سازی نمود که از مزیت‌های این نرم‌افزار محسوب می‌شود. معمولاً با ورود داده‌های سیمای سرزمین به نرم‌افزار اکوژنتیک می‌توان وضعیت را مدل‌سازی نمود. بنابراین، در این مطالعه برای مدل‌سازی تنها به ورودی سیمای سرزمین و ویژگی‌های آن پرداخته شده است (شکل ۳).

1- Ecogenetics



شکل ۳- فرآیند مدل‌سازی روابط مکانی سیمای سرزمین.

Figure 3. Process of landscape spatial interface modeling.

مواد و روش‌ها

اکوژنتیک: مقاله حاضر توصیف رابط مکانی است که این امکان را می‌دهد تا مختصات لکه‌های زیستگاهی، ظرفیت برد، سرعت رشد، و خطر انقراض همراه با نفوذپذیری یا پراکندگی جمعیت‌ها از محیط به‌دست آید. در اکوژنتیک، مدل محتوای ماژول است، یعنی یک برنامه خاص با تمام تنظیمات آن و ماژول یک برنامه اجرایی شبیه‌سازی یا تجزیه و تحلیل سیستم فراجمعیت است که بر اساس آرایش مکانی سیمای سرزمین در رابط مکانی اکوژنتیک تعریف شده است. هر ماژول مستقل و دارای هدف خاص خود است و معمولاً در یک جعبه محاوره‌ای پیچیده قرار گرفته است که متشکل از چند صفحه اختصاص داده شده به پارامترهای نصب، شبیه‌سازی و در نتیجه خروجی است. همچنین برخی از ماژول‌ها به‌صورت دسته‌ای و فرآیندهای شبیه‌سازی اجرا می‌شوند. چندین ماژول ممکن است به‌طور هم‌زمان در حال اجرا باشند که پیکربندی همه آن‌ها بر اساس سیمای سرزمین است. با این‌حال، از نقطه‌نظر اکوژنتیک، در هر لحظه فقط یکی از ماژول‌ها فعال است. هنگامی که چندین ماژول‌های یکسان باز شود، تمام محتوی هر کدام از ماژول‌ها، مستقل از مدل هستند. در ابتدا برای رابط مکانی، ماژول‌های مختلفی به‌صورت موارد زیر به هم متصل هستند که مدل‌های ویژه و یا روش‌های تجزیه و تحلیل را اجرا می‌کنند.

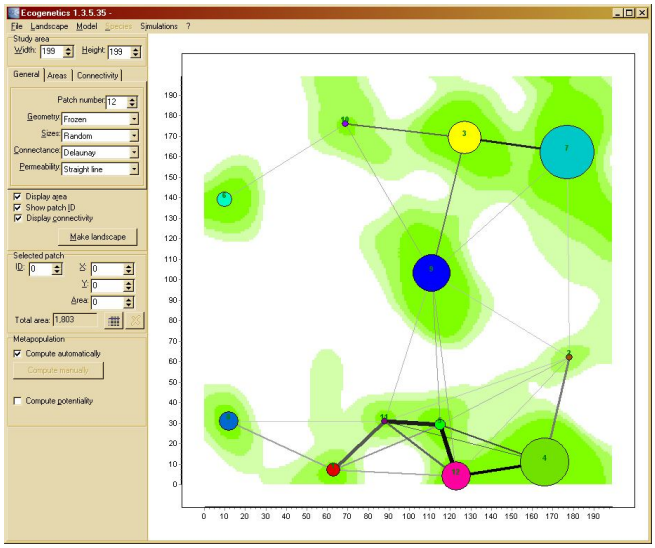
- **ماژول مبتنی بر فرد:** این ماژول یک مدل انفرادی را به اجرا درمی‌آورد که به کاربر اجازه می‌دهد که هر چرخه زندگی را از طریق یک رابطه گرافیکی تعریف کند. چرخه زندگی ممکن است شامل رویدادهایی مانند پراکندگی، تنظیم عوامل وابسته به تراکم، تولیدمثل، رفتار جنسی و غیره باشد. شبیه‌سازی ممکن است کاملاً جمعیت شناختی و یا شامل انواع مختلف پویایی ژن خنثی یا انتخابی باشد.
- **ماژول جمعیت‌شناختی:** این ماژول شیوه گنجایش فراجمعیت که روش ابداع شده توسط هانسکی[1] و همکاران است را اجرا می‌کند. این ماژول بر اساس یک مدل ماتریکس مبنا است و ابزارهای مختلفی را برای ارزیابی تداوم بلندمدت فراجمعیت فراهم می‌کند.
- **ماژول زیست‌شناختی:** این ماژول مخلوطی از عملکرد روش ماتریکس از پویایی جمعیت و تبارشناختی است.
- **ماژول ماتریکس بزرگ:** این ماژول رویکرد ماتریکس را که توسط پرین و لمان[2] توسعه‌یافته است را به اجرا درمی‌آورد. این ماژول مقادیر ویژه

1- Hanski
2- Perrin & Lehmann

ماتریس‌های بزرگ دخیل توسط روش‌های دقیق و تقریبی را محاسبه می‌کند.

- **ماژول نظریه گراف:** این ماژول آمارهای مختلف نظریه گراف بر روی فراجمعیت را محاسبه می‌کند.

رابط مکانی: رابط مکانی مرکز صفحه نمایش اکوژنتیک است. تمامی ماژول‌ها برای فراهم کردن اطلاعاتی در مورد سیمای سرزمین و جمعیت‌شناسی فراجمعیت و ساختار مکانی به آن پیوند داده شده‌اند. هم‌چنین ممکن است برای نمایش نتایج مکانی محاسبه‌شده در ماژول‌ها به‌کار روند. بااین‌حال، توسط خود رابط مکانی هیچ محاسبه یا شبیه‌سازی انجام نمی‌گیرد. بر اساس شکل ٤ که نمایی از صفحه رابط مکانی را نشان می‌دهد، فراجمعیت را می‌توان توسط ابزارهای کنترل موجود در سمت چپ رابط مانند پارامترهای سیمای سرزمین، اندازه منطقه (طول و عرض منطقه مورد مطالعه) و هندسه سیمای سرزمین پارامتری کرد.



شکل ٤- صفحه رابط مکانی. سمت چپ: تنظیمات چشم‌انداز. سمت راست: اطلاعات بصری در مورد چشم‌انداز.

Figure 4. Screenshot of the spatial interface. left panel: the settings of the landscape; right panel: visual information about the landscape.

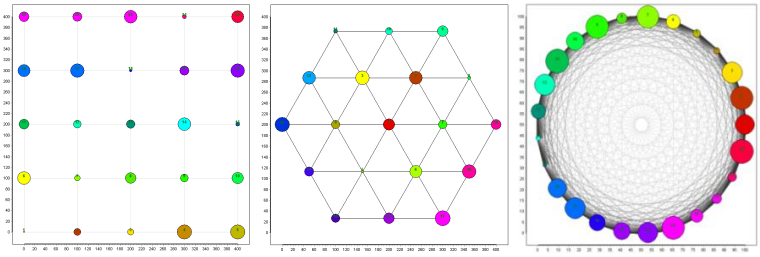
در اکوژنتیک، یک سیمای سرزمین به‌عنوان مجموعه‌ای از لکه‌های دارای مختصات و با خاصیت نفوذپذیری از محیط اطراف تعریف می‌شود. سمت راست شکل ٤ به‌صورت گرافیکی، نتیجه فراجمعیت و مکان هندسی آن را نمایش می‌دهد. همچنین به‌واسطه این صفحه نمایش است که ماژول‌های مختلف ممکن است راه‌اندازی شوند. به‌صورتی‌که در مرحله اول، همه پارامترهای واقع شده در زبانه‌های مختلف تعیین می‌شوند و سپس با کلیک بر روی دکمه‌ای تحت عنوان ساخت سیمای سرزمین[1]، سیمای سرزمین جدید تولید می‌شود.

آماده‌سازی داده‌ها: در پژوهش حاضر به‌منظور مدل‌سازی فراجمعیت و ارتباط میان لکه‌ها نیاز به یک سری داده‌های ورودی مانند موارد زیر است:

- مساحت منطقه مورد مطالعه که حاوی چندین زیرجمعیت است.
- تعداد لکه‌ها[2] در هر جمعیت
- چگونگی توزیع لکه‌ها به‌صورت مکانی.

1- Make landscape
2- Patch number

برای جانمایی لکه‌ها حالت‌های مختلفی از جمله مربعی، شش‌ضلعی، دایره‌ای، شبکه، مثلثی، frozen و From file وجود دارد. frozen یک مورد خاص است که مانع از گسترش تصادفی جانمایی لکه‌ها می‌شود و برای اطمینان از این‌که جانمایی لکه‌ها به‌صورت غیرعمد دوباره ترسیم نشوند. From file نیز شبیه Frozen عمل می‌کند اما زمانی اجرا می‌شود که لکه توپولوژی از یک فایل متنی بارگذاری‌شده باشد. در شکل ۵ برخی از حالت‌های مختلف جانمایی لکه‌ها نشان داده شده است.



شکل ۵- مثال‌هایی از جانمایی لکه‌ها (از چپ به راست: مربعی، شش گوش، دایره‌ای).

Figure 5. Examples of landscape topologies (from left to right: Square, Hexagon, Circle).

هم‌چنین، اندازه لکه‌ها مرتبط به زبانه Area است و دارای چندین گزینه است که تنظیمات مربوط به حداکثر اندازه لکه، اندازه دو طبقه از لکه‌ها، محدوده اندازه لکه‌ها، مجموع مساحت تمام لکه‌ها یا نسبت لکه‌های کوچک و بزرگ را انجام می‌دهند.

- اگر اندازه لکه‌ها به‌صورت تصادفی[1] انتخاب شده‌اند، طیفی از توزیع یکنواخت را در زبانه Area و کم‌ترین و بیش‌ترین مساحت لکه در منطقه مورد مطالعه باید وارد شود.
- اگر اندازه‌ها ثابت[2] هستند، در زبانه Area بیش‌ترین مساحت منطقه وارد می‌شود.
- اگر گزینه Fixed total size انتخاب شود باید مجموع اندازه همه لکه‌ها در کل منطقه به‌صورت یک عدد واحد در زبانه Area در قسمت اندازه کل[3] منطقه وارد شود و این ممکن است شامل برخی از لکه‌های باشد که کمی کوچک‌تر از دیگر لکه‌ها هستند.
- اگر دو اندازه[4] انتخاب شود، در زبانه Area حداقل و حداکثر اندازه لکه منطقه وارد می‌شود.

1- Random
2- Fixed
3- Total area
4- Two sizes

➢ چگونگی اتصال لکه‌ها به یکدیگر که وابسته به زبانه Connectivity است و در برگیرنده برخی از پارامترها است:

- گزینه Full connectance بدان معنی است که هر لکه به لکه دیگر متصل است و بین تمام لکه‌ها ارتباط متقابل وجود دارد.
- گزینه Close patches بدان معنی است که هر یک از لکه‌ها به تنهایی به آن دسته از لکه‌هایی که در فاصله نزدیک آستانه آن‌ها قرار دارند متصل است و در زبانه Connctivity در قسمت فاصله آستانه[5] اندازه فاصله مورد نظر وارد می‌شود.
- گزینه Delaunay یک شبکه مثلثی از لکه‌ها در یک صفحه اقلیدوسی فراهم می‌کند.
- گزینه Random به این معناست که لینک‌ها هر بار با فشرده شدن دکمه Make landscape به‌صورت تصادفی کشیده می‌شوند.

➢ نرخ بقای ناشی از پراکندگی میان لکه‌های متصل‌شده که امکان تنظیمات آن در جعبه فهرست نفوذپذیری قرار دارد و انتخاب نوع نفوذپذیری دارای چندین گزینه است. این پارامتر نشان‌دهنده فاصله‌ای

5- Distance threshold

است که به‌طور متوسط در آن به نیمی از پراکنش رسیده است. مقدار ۱ مربوط به یک فاصله بی‌نهایت است، به این معنی که همه لکه‌های متصل‌شده از عدم پراکنش ناشی از مرگ‌ومیر (این مقدار پیش‌فرض است) رنج می‌برند. از نظر ریاضیاتی، انحراف معیار پراکندگی بقا به‌صورت رابطه ۱ محاسبه شده است:

$$S_d = \mathrm{Exp}(-1/\alpha d) \qquad (۱)$$

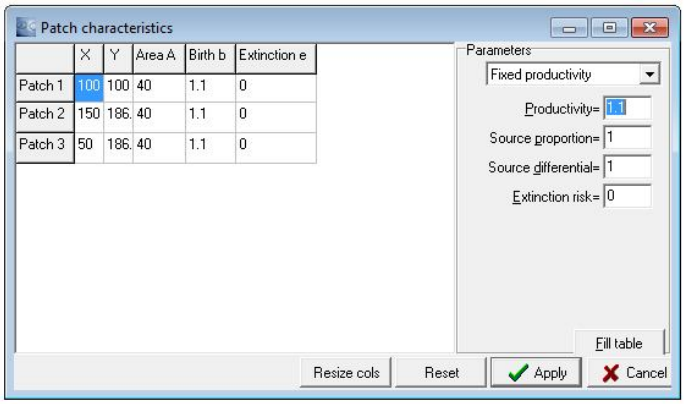
که در آن، D فاصله بین لکه‌ها و α پارامترهایی است که در زیر تعریف می‌شود.

- انتخاب Constant بدان معناست که همه اتصالات یک نرخ بقا یکسان دارند.
- انتخاب Inverse-exponential (معکوس نمایی) بدان معنی است که نرخ بقا با افزایش فاصله بین لکه‌ها به‌صورت تصاعدی کاهش می‌یابد.
- انتخاب Straight-line بدان معنی است که میزان بقا وابسته به محیط است و در امتداد خط مستقیم اتصال مراکز دولکه با هم مواجه می‌شوند، برای این روش نیاز به بارگذاری نقشه نفوذپذیری[1] است.
- انتخاب Least-cost شبیه به انتخاب Straight-line است، اما بقا در طول مسیر با بالاترین نرخ بقا بین دو لکه محاسبه می‌شود (این گزینه در حال حاضر هنوز در حال توسعه است.)

– داده‌های مربوط به ویژگی تمام لکه‌ها از جمله مختصات و مساحت لکه‌ها.

با انتخاب شماره لکه انتخاب شده در قسمت ID، لکه انتخاب شده در صفحه نمایش به رنگ قرمز نشان داده می‌شود. همچنین مجموع مساحت کل لکه‌ها نشان داده می‌شود. لکه‌ها را می‌توان با تایپ کردن شماره ID و یا اندازه هر لکه انتخاب کرد که بر روی صفحه نمایش مکانی لکه مورد نظر به حالت انتخاب درمی‌آید.

با انتخاب دکمه Data پنجره محاوره‌ای ویژگی لکه‌ها بر اساس شکل ٦ باز می‌شود. این جعبه محاوره‌ای کنترل کاملی از ویژگی لکه‌ها ارائه می‌دهد. این جعبه اطلاعات ذخیره شده در فایل لکه‌ها را باز تولید می‌کند. اولین ستون مربوط به تعداد لکه‌ها است. ستون X و Y مختصات جغرافیایی مرکز هر کدام از لکه‌ها است که باید به‌صورت اعداد باید حقیقی باشند. ستون A مساحت هر کدام از لکه‌ها و ستون B نرخ زایش نسبی است که این مقادیر وابسته به نرخ تولیدمثل در لکه‌ها است و باید یک عدد حقیقی و مثبت و با مقدار پیش‌فرض ۱ باشد. ستون E نشان‌دهنده احتمال انقراض در لکه‌ها است و باید عددی حقیقی بین ۰ و ۱ باشد و مقدار پیش‌فرض آن صفر تعیین شده است.



شکل ٦- پنجره محاوره‌ای ویژگی لکه‌ها.

Figure 6. Patch characteristics box.

1- Permeability

این جدول می‌تواند به‌صورت دستی با تایپ کردن ارزش‌های جدید به‌طور مستقیم در هر سلول ویرایش شود. با زدن دکمه Apply، ارزش‌های جدید به رابط مکانی و تمام ماژول‌های متصل فرستاده خواهند شد. این فرآیند برای سیماهای سرزمین کوچک عملی است و به محض این‌که تعداد لکه‌ها افزایش یابد عملکرد آن کند می‌شود. جدول سمت چپ (شکل ٦) در این جعبه به‌طور خودکار با برخی از ارزش‌های از پیش تعریف‌شده پر شده است. بعد از وارد کردن ارزش‌ها در قسمت راست جعبه (شکل ٦) از جمله نرخ باروری و نرخ انقراض با فشردن دکمه Fill table مشاهده می‌شود که این ارزش‌ها ستون‌های جدول مربوطه را پر می‌کنند. شکل هندسی سیمای سرزمین در سمت راست (شکل ٦) رابط‌های مکانی به‌صورت گرافیکی نمایش داده می‌شود و چهار تابع انجام می‌دهد:

١. اطلاعات بصری در مورد هندسه سیمای سرزمین، اندازه لکه و ماتریکس نفوذپذیری را فراهم می‌کند.

٢. به کاربر اجازه می‌دهد تا اطلاعاتی در مورد ویژگی‌های لکه‌ها جستجو کند.

٣. به کاربر اجازه می‌دهد تا به‌صورت دستی اندازه لکه‌ها و مختصات آن‌ها را تغییر دهد.

٤. برخی از ماژول‌ها برای نشان دادن خروجی‌های مکانی استفاده می‌شوند.

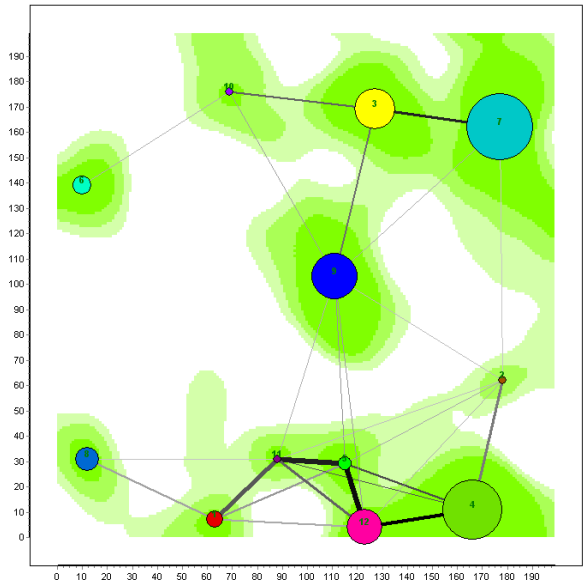
با کلیک چپ بر روی لکه‌ها و حرکت موس می‌توان لکه را جابجا و با راست کلیک کردن بر روی یک لکه و لغزش ماوس می‌توان اندازه و مساحت لکه را تغییر داد. لکه‌ها توسط دایره‌های رنگی نشان داده شده‌اند. قطر دایره نشان‌دهنده ظرفیت برد لکه‌ها است. هنگامی که یک لکه انتخاب می‌شود به رنگ قرمز نمایش داده می‌شود و تمام لکه‌های دیگر به رنگ سفید نشان داده می‌شوند. هم‌چنین، برای اهداف آموزشی و یا زیباشناختی، امکان نشان دادن یک تصویر پس‌زمینه در پشت چشم‌انداز وجود دارد که از مسیر (Landscape/Load background) قابل اجرا است. این تصویر زمینه ممکن است یک تصویر با فرمت‌های BMP یا JPEG، فایل رستری ایدریسی و یا یک فایل متنی باشد که هیچ اثری روی مدل ندارند.

در نمایی از صفه نمایش مکانی (شکل ٧)، عرض اتصال‌ها نشان‌دهنده تعداد تقاطع‌های فردی و یا تلاش برای تقاطع یک لکه با دیگری است. سایه اتصال نشان‌دهنده احتمال بقا گذرگاه، از رنگ سفید (٠) به رنگ سیاه (١) است. هم‌چنین، شیب رنگ سفید تا سبز، نشان‌دهنده نفوذپذیری سلول‌ها است که به‌صورت نفوذناپذیر (احتمال بقا= ٠) و نفوذپذیری کامل (احتمال بقا= ١) است.

نقشه نفوذپذیری زمانی که محیط میان لکه‌ها به‌صورت ناهمگن است مفید است و می‌تواند موانع و یا کریدورهایی برای پراکندگی فراهم کند. نقشه نفوذپذیری شبکه‌ای چهارگوش مربعی‌شکل از سلول‌های همگن است. هر سلول حاوی مقدار نفوذپذیری π است که نشان‌دهنده احتمال بقای فردی است که در امتداد یک مسیر به موازات لبه‌های آن تقاطع داده شده است. π میزان ارزش بقا در هر واحد طول است. بنابراین، با توجه به خط سیر از A به B است که تعدادی از سلول‌های مختلف (و نه لزوماً در زاویه) تقاطع داده شده است. احتمال بقا کل از نفوذپذیری همه بخش‌های بینهایت کوچک از رابطه ١ به‌دست می‌آید:

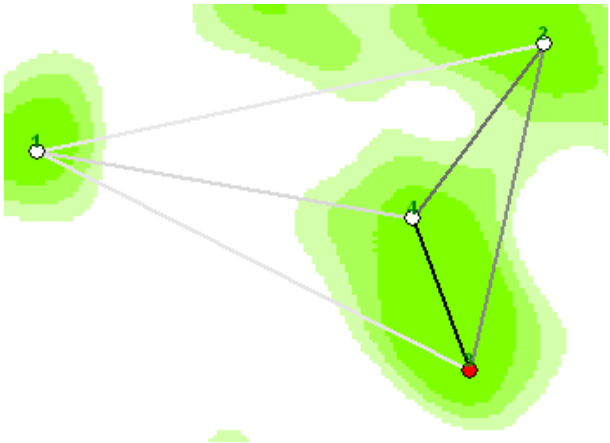
$$S_{A\to B} = \lim_{\Delta x\to 0}\prod_{x=A}^{B}\pi(x)\Delta x \qquad (٢)$$

که در آن، $\pi(X)$ مقدار نفوذپذیری در نقطه X است. این مقدار می‌تواند به‌صورت عددی با هر درجه‌ای از دقت محاسبه شود و معمولاً در اکوژنتیک برابر ٠/٠٠٢ است. در یک چشم‌انداز با نفوذپذیری همگن، این مدل نتایج مشابه یک منحنی معکوس نمایی را ایجاد می‌کند. نقشه نفوذپذیری تنها در صورتی‌که نفوذپذیری Straight-line و یا Least-cost انتخاب شود تأثیر دارد. در شکل ٨ مفهوم نفوذپذیری نشان داده شده است.



شکل ۷- صفحه نمایش مکانی. دایره‌های رنگی نشان‌دهنده مکان و اندازه لکه، خط اتصال نشان‌دهنده پراکندگی (عرض خط متناسب با میل پراکندگی، سایه خاکستری متناسب برای بقا)، الگوهای سبز در پس‌زمینه نشان‌دهنده نفوذپذیری از محیط اطراف (سبز= میزان بقای بالا، سفید= پراکندگی بالا با مرگ و میر).

Figure 7. Screenshot of the spatial display. The coloured circles represent the patch locations and sizes, the connecting line represent the dispersal (line width proportional to dispersal propensity, grey shade proportional to survival), the green patterns in the background represent the permeability of the surrounding environment (green=high survival rate, white=high dispersal mortality).



شکل ۸- تصویری از مفهوم نفوذپذیری. چهار طبقه از نفوذپذیری، از سبز تا سفید، در پاسخ به‌میزان نرخ بقای ۱/۰۰، ۰/۹۹، ۰/۹۸، ۰/۹۷ وجود دارد.

Figure 8. ScreIllustration of the permeability concept. There are four classes of permeability, from green to white, corresponding to disperser survival rates: 1.00, 0.99, 0.98, 0.97.

در شکل ۸ به‌عنوان مثال انتشار بین لکه‌های ۳ و ٤ دارای میزان بقا یک است، چرا که انتشار از طبقه نفوذپذیری سبز خارج نشده است، در حالی‌که آن‌هایی‌که از لکه ۱ عبور می‌کنند نرخ بقا در حدود ۰/۱ دارند چون آن‌ها در طبقه نفوذپذیری ۰/۹۷ (سفید) در یک خط ممتد طولانی تقاطع داده می‌شوند. اتصالات ۲-۳

و ۲-٤ میزان بقای متوسط حدود ۰/۵ و کم‌ترین مربوط به پراکندگی ۲-۳ است چرا که مسیر طولانی‌تر است (با سایه خاکستری از خطوط اتصال منعکس شده است). اگر یک نقشه نفوذپذیری بارگذاری شود منو Connection profile ماتریسی از نسبت هر طبقه از نفوذپذیری در امتداد خطوط مستقیم اتصال هر لکه فراهم می‌کند. همچنین، با بارگذاری نقشه‌های نفوذپذیری می‌توان برای محاسبه نرخ بقای ناشی از پراکندگی مورد استفاده قرار گیرند. نقشه نفوذپذیری ممکن است در یک فایل متنی (با ردیف)، در یک فایل باینری (بر اساس ردیف) و در فرمت رستری ایدریسی تعریف شود. تنظیم نقشه نفوذپذیری برای آرایش مکانی لکه‌ها باید به‌صورت دستی با تغییر اندازه منطقه مورد مطالعه که به‌صورت تعریف شده در $(x, x+u_x)$ و $(y, y+u_y)$ در منطقه مورد مطالعه هستند، باشد که در آن (X,Y) مختصات سلول و ux و uy ابعاد سلول هستند. به‌عبارت دیگر، نقاط در مختصات (۳، ٤) و (۳/۹۹۹، ٤/۹۹۹) هر دو متعلق به سلول (۳،٤) است. در نهایت آرایش مکانی لکه‌ها قابلیت بارگذاری و ذخیره شدن را دارد. همچنین قابلیت ذخیره مدل وجود دارد.

فرمت فایل‌ها: فایل‌های متصل، فایل‌های متنی هستند که حاوی تمام اطلاعات در مورد هندسه لکه‌ها هستند که این اطلاعات می‌توانند درون برنامه اکوژنتیک بارگذاری و ذخیره شوند و متناوباً این داده‌ها می‌توانند به‌صورت دستی توسط کاربر ایجاد شوند. این فایل‌ها دارای پسوند "patch" هستند و فرمت آن‌ها به این صورت است که هر لکه در یک ردیف توسط مجموعه‌ای از ارزش سه یا پنج رقمی که توسط space یا tab از هم جدا شده‌اند. بر اساس جدول (۱)، ستون اول شماره شناسه لکه[1] است و باید به‌صورت مقدار صحیح باشد و به‌صورت افزایشی از شماره ۱ تا تعداد لکه‌ها است. ستون دوم و سوم مختصات X و Y است که باید به‌صورت اعداد حقیقی باشند. ستون چهارم، نرخ تولد نسبی لکه[2] است. اگر داده‌های این ستون مفقود شود، مقدار پیش فرض ۱ است و ممکن است شامل هر عدد حقیقی و مثبت باشد. این ارزش‌ها با فرایندهای تولیدی ماژول برای تعیین تعداد بالقوه افراد در داخل لکه ترکیب می‌شوند. ستون پنجم، احتمال انقراض لکه[3] است و باید یک عدد حقیقی از ۰ تا ۱ باشد و مقدار پیش‌فرض آن نیز صفر تعیین شده است. به‌طور مثال فایل جدول ۱ می‌تواند از سه لکه موجود یک سیمای سرزمین بسازد.

جدول ۱- ویژگی چندین لکه برای ساخت چشم‌انداز.

Table 1. Some Patch characteristics for making landscape.

شماره لکه	مختصات X	مختصات Y	نرخ تولد نسبی هر لکه	احتمال انقراض هر لکه
1	40	10	30	1.10
2	30	20	10	1.10
3	40	50	5	1.10

1- Identifying number
2- Relative birth rate
3- Probability of extinction

فرمت فایل نقشه نفوذپذیری نیز ممکن است در یک فایل متنی (فرمت ASCII)، یک فایل باینری (فرمت دوتایی) و در فرمت‌های رستری ایدریسی و بایومپر[1] کدگذاری شود. فایل متنی بر اساس جدول ۲ اولین خط از فایل متنی شامل ابعاد نقشه به‌ترتیب تعداد ردیف و تعداد ستون‌ها است. سپس، ارزش نفوذپذیری سطر به سطر، از چپ به راست و بالا به پایین (شمال به جنوب) ذکر می‌شود. همه مقادیر باید با یک فاصله یا تب از هم جدا شوند. جدول ۲ محصول یک نقشه نفوذپذیری با ۱۱ سطر و ۱۱ ستون است که با دو کلاس نفوذپذیری ۰/۱ و ۱ پر شده است.

جدول ۲- فایل نقشه نفوذپذیری.

Table 2. Permeability map file format.

11	11									
0.1	0.1	1	1	1	0.1	1	1	0.1	0.1	0.1
1	1	0.1	1	1	1	0.1	0.1	1	0.1	1
0.1	1	0.1	0.1	1	0.1	0.1	1	1	1	0.1
0.1	0.1	1	1	1	0.1	1	1	1	0.1	0.1
1	0.1	1	0.1	1	1	0.1	1	1	1	0.1
1	0.1	0.1	1	0.1	0.1	0.1	1	0.1	0.1	1
0.1	1	0.1	0.1	1	0.1	1	0.1	0.1	1	0.1
0.1	1	0.1	0.1	0.1	0.1	1	0.1	0.1	1	1
0.1	1	1	1	1	0.1	1	0.1	0.1	1	0.1
1	1	0.1	1	1	0.1	1	1	1	1	0.1
1	0.1	0.1	1	0.1	1	0.1	1	1	0.1	0.1

فرمت فایل‌های باینری نیز ساختاری مشابه با فرمت متنی دارد، اما ارزش‌ها به‌صورت ترتیبی با اندازه ۸ بیتی ذخیره می‌شوند.

فایل خروجی: نرم‌افزار اکوژنتیک بر حسب تنظیمات کاربر در داده‌ها یا فایل‌های ورودی، قادر به تولید یک فایل خروجی به‌صورت گرافیکی است. این فایل به‌صورت GPEG می‌تواند ذخیره شود. خروجی نهایی موقعیت مکانی پچ‌ها را در سیمای سرزمین نشان می‌دهد.

نتیجه‌گیری

مطالعات محیط‌زیست بستر تصمیم‌گیری و برنامه‌ریزی در فضای بحرانی محیط‌زیست است. محیط‌زیست در زیستگاه‌های طبیعی به سرعت در حال تغییر است و تنها راه دستیابی به حل هوشمندانه آن ارائه مدل‌های متناسب برای مطالعات محیط‌زیست است (۸). بنابراین، برای جمع‌بندی جنبه‌های اکولوژیکی که از طریق آن بتوان مدیریتی در مورد حیات‌وحش انجام داد باید از مدل مناسب و درخور موضوع استفاده نمود. بر اساس نتایج پژوهش حاضر، می‌توان با ورود برخی داده‌های مربوط به فراجمعیت اقدام به مدل‌سازی روابط مکانی لکه‌ها، وضعیت گونه‌ها، انتشار میان لکه‌ها و غیره به‌صورت یک خروجی گرافیکی نمود. در صورت تغییر هر کدام از ویژگی‌های سیمای سرزمین، این مدل‌سازی می‌تواند تغییرات ایجاد شده در وضعیت لکه‌ها و ارتباط میان

1- Biomapper

گونه‌ها را به‌خوبی و بدون نیاز به برداشت میدانی نشان دهد. مدل‌سازی روابط مکانی فراجمعیت یک مدل نوین و قابل انطباق با ویژگی‌های هر منطقه مورد مطالعه و گونه‌های موجود در آن منطقه در سیمای سرزمین است و می‌تواند دامنه‌ای از برنامه‌ریزی‌ها و مدیریت، انواع طراحی فراجمعیت را در قالب یک مدل گرافیکی نمایش دهد و با این اوصاف این مدل یک مبنای تصمیم‌گیری در خصوص اکولوژی حیات وحش محسوب می‌شود.

رهیافت‌های ترویجی

در این پژوهش پس از معرفی و کاربرد نرم‌افزار اکوژنتیک می‌توان گامی هر چند کوچک در جهت ارتقای دانش اکولوژی حیات‌وحش برداشت. نرم‌افزار اکوژنتیک برای بررسی روابط مکانی فراجمعیت طراحی شده است. راهنمای حاضر بر اساس آخرین ویرایش این نرم‌افزار 1.3.6.36 آماده شده است. گرچه تهیه‌کنندگان این راهنما اساس کار خود را این ورژن قرار داده‌اند اما در بعضی قسمت‌ها نکات و مثال‌هایی که به‌نظر لازم بود اضافه شده است. نتایج این پژوهش بیان می‌کند که این نرم‌افزار می‌تواند راهگشای بسیاری از مشکلات و معضلات در راه بررسی و مدل‌سازی وضعیت لکه‌های زیستی نسبت به هم در عرصه‌های طبیعی باشد.

منابع

1. Brito, A.D., and Fernandez, F.A.S. 2002. Patch relative importance to metapopulation viability: the neotropical marsupial Micoureus demerarae as a case study. Animal Conservation, 5: 45-51.
2. Opdam, P. 1991. Metapopulation theory and habitat fragmentation: a review of holarctic breeding bird studies. Landscape Ecology, 5: 2. 93-106.
3. Higgins, K. 2009. Metapopulation extinction risk: Dispersal's duplicity. Theoretical Population Biology, Department of Biological Sciences, 76: 146-155.
4. Krebs, C.J. 1994. Ecology: the experimental analysis of distribution and abundance. New York: Harper Collins College Publishers, 816p.
5. Wilcove, D.S., Rothstein, D., Dubow, J., Phillips, A., and Losos, E. 1998. Quantifying threats to imperiled species in the United States. Bioscience, 48: 8. 607-613.
6. Krohne, D.T. 1997. Dynamics of metapopulations of small mammals. J. Mammal. 78: 4. 1014-1026.
7. Hanski, I. 1999. Metapopulation ecology. Oxford: Oxford University Press, 328p.
8. Makhdoum, M., Darvishsefat, A.A., Jafarzadeh, H., and Makhdoum, A. 1990. Environmental Evaluation and Planning by Geographic Information System. Tehran University Press, 304p.

Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources
J. of Conservation and Utilization of Natural Resources, Vol. 7 (1), 2018
http://ejang.gau.ac.ir
DOI: 10.22069/ejang.2019.4525.1155

Modeling of Metapopulation Spatial Interface using Ecogenetics Software

***Sh. Gharibi[1] and A. Salmanmahiny[2]**
[1]M.Sc., Dept. of Environmental Sciences, Gorgan University of Agricultural Sciences of Natural Resources, [2]Associate Prof., Dept. of Environmental Sciences, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources
Received: 04.29.2014; Accepted: 09.13.2014

Abstract
Background and Objectives: Metapopulation is a spatial structure of the population that is composed of the following units which are separated by some barriers and are located within a landscape. There are different patch sizes inside a landscape and fragmentation of habitat leads to separation of the patch and the overall changes in the landscape which, as a dynamic process, causes change in habitat pattern in the landscape.

Materials and Methods: Modeling is the best method for determining the position of patches according to landscape characteristics and species. Modeling is a technique to better understand the relationship between biological patches and their relationship with together. Nowadays, conservation biology based on metapopulation models provided a way of thinking about management of terrestrial habitat islands, fragmented habitats and heterogeneous terrestrial environments.

Results: So, by entering data such as length and width of the study area, number and position of patches, the coordinates and area, birth and extinction rates and permeability rate in each of the patches into the software Ecogenetics the Metapopulation Spatial Interface can be modeled.

Conclusion: Therefore, this paper describes the Spatial Interface that allows the characteristics of the habitat patches, carrying capacity, growth and extinction rate and permeability or dispersion of population from the surrounding environment be obtained as an output map.

Keywords: Ecogenetics, Landscape, Metapopulation, Spatial Interface

* Corresponding author: sh.gharibi_uok@yahoo.com