

نظریه تراوش و کاربردهای آن در بوم شناسی سیمای سرزمین

احسان رحیمی^۱، عبدالرسول سلمان ماهینی^۲

۱ دانش آموخته کارشناسی ارشد دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

۲ دانشیار دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۹/۲۰؛ تاریخ تصویب: ۱۳۹۷/۰۳/۱۹)

چکیده

پراکنش موفق گونه‌ها در سیمای سرزمین بستگی به درجه پیوستگی کاربری و پوشش آنها دارد. تاثیر آشکار پیوستگی سیمای سرزمین در حفاظت از گونه‌های کلیدی منجر به توسعه معیارهای فراوان به منظور کمی‌سازی پیوستگی در سیمای سرزمین شده است. به منظور به کارگیری صحیح این معیارها، درک مفهوم پیوستگی سیمای سرزمین براساس دیدگاه‌های گونه مبناء، ضروری به نظر می‌رسد. در این راستا، نظریه تراوش به عنوان یکی از نظریه‌های پایه در درک پیوستگی سیمای سرزمین، از توانایی و کارایی بالایی در تعیین آستانه‌های پیوستگی برای زیستگاه گونه موردنظر برخوردار است. این نظریه براساس توزیع تصادفی لکه‌های زیستگاهی به تعیین میزان پیوستگی سیمای سرزمین می‌پردازد. طبق این نظریه اگر میزان $0/5928$ از سیمای سرزمین توسط لکه‌های زیستگاهی به صورت تصادفی اشغال شده باشد، آن گاه می‌توان گفت که این سیمای سرزمین برای گونه موردنظر پیوسته است. این نظریه اساس مدل‌های شبیه‌سازی سیمای سرزمین را شکل می‌دهد و کاربردهای فراوانی در تعیین اثرات تکه تکه شدن زیستگاه، تخمین پیوستگی سیمای سرزمین، تعیین آستانه‌های انقراض و تشخیص لکه‌های زیستگاهی بحرانی دارد. با توجه به نقش مهمی که این نظریه می‌تواند در بوم‌شناسی سیمای سرزمین ایفا کند، این مطالعه به توضیح و به کارگیری این نظریه و کاربردهای آن در بوم‌شناسی سیمای سرزمین می‌پردازد. در مطالعه حاضر به منظور درک بهتر نظریه تراوش برخی از کاربردهای آن مانند نقش این نظریه در مدل‌های شبیه‌سازی سیمای سرزمین، تعیین لکه‌های زیستگاهی بحرانی برای یک گونه جغد در مکزیک و شبیه‌سازی روند نفوذ آتش در جنگل، ارایه شده است.

کلید واژه‌ها: بوم شناسی سیمای سرزمین، کمی سازی پیوستگی سیمای سرزمین، نظریه تراوش، مدل‌های شبیه سازی سیمای سرزمین، لکه‌های بحرانی.

سرآغاز

پیوستگی یکی از مهم ترین ویژگی‌های سیمای سرزمین است که ارتباط میان ساختار و کارکرد سیمای سرزمین را به خوبی تشریح می‌کند. به طور کلی، پیوستگی اشاره به درجه تسهیل یا ممانعت سیمای سرزمین در برابر جریان انرژی، مواد معدنی، مواد مغذی، گونه‌ها و مردم در سرتاسر سیمای سرزمین دارد. پیوستگی از کنش متقابل میان ساختار (ترکیب و ترتیب موزاییک سیمای سرزمین) و کارکرد (جریان‌ات آب، چرخش مواد غذایی و حفظ تنوع زیستی) سیمای سرزمین به وجود می‌آید. آسان‌ترین راه فهمیدن مفهوم پیوستگی، در زمینه حرکت گیاهان و جانوران است. در این زمینه پیوستگی اشاره به درجه تسهیل یا ممانعت سیمای سرزمین در برابر حرکت افراد در میان لکه‌های زیستگاهی دارد. پیوستگی بر میزان حرکت جمعیت‌های محلی در جمعیتی با ساختار مکانی (فراجمعیت) تاثیر می‌گذارد و از این‌رو، در پایداری جمعیت‌ها در یک سیمای سرزمین تکه تکه شده بسیار مهم است (Forman & Godron, 1986; Opdam, 1991; Opdam et al., 1993; Naveh, 1994; Forman, 1999; Bennett, 1995). علاوه بر تاثیرگذاری بر نرخ‌های حرکت و الگوها، بر جریان ژن که برای بقای بلند مدت جمعیت‌ها ضروری است نیز تاثیر می‌گذارد (Selman & Doar, 1992). یک تغییر ناگهانی در پیوستگی سیمای سرزمین ممکن است مانع پراکنش موفق جمعیت‌ها شود و جمعیت‌های بزرگ به طور ناگهانی به جمعیت‌های کوچک و ایزوله تبدیل شوند. این روند ممکن است منجر به کاهش سریع در اشغال لکه و در نهایت انقراض جمعیت در سیمای سرزمین شود. بنابراین، پیوستگی اغلب موضوعی بسیار مهم در رابطه با حفاظت از جمعیت‌ها می‌باشد. بنابراین، حفظ پیوستگی سیمای سرزمین یک الزام مدیریتی برای بسیاری از ارگان‌های درگیر با آن است (Salwasser, 1991). همچنین، نیاز است تا سیماهای سرزمینی که در خطر تکه تکه شدن هستند شناسایی گردند تا از اینکه هستند بدتر نشوند زیرا بعد از آن که فرایند تکه تکه شدن زیستگاه رخ داد، موفقیت و کارایی فعالیت‌های مدیریتی نیز کمتر می‌شود. پیوستگی سیمای سرزمین پیچیده تر از آن است که به وسیله کریدورهای زیستگاهی میان لکه‌ها تعریف گردد (پیوستگی ساختاری). به عنوان مثال، اگر یک ارگان‌سیم قادر باشد که از میان یک بستر عبور کند، آن گاه لکه‌های زیستگاهی

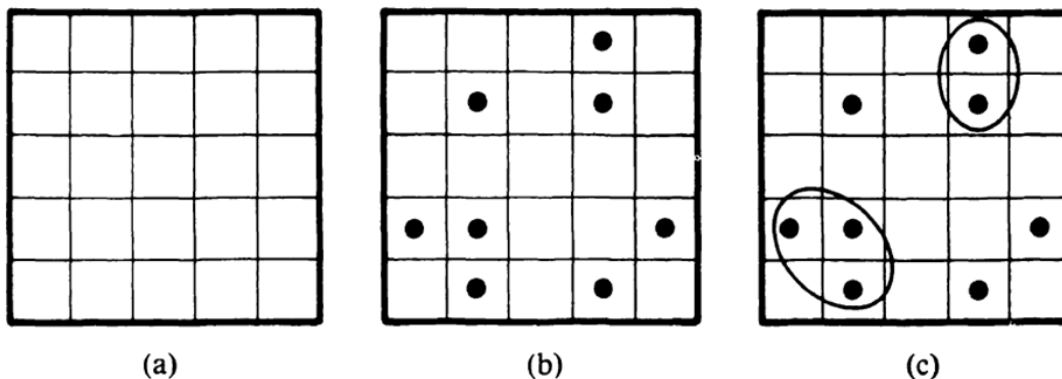
منزوی حتی اگر از نظر ساختاری هم متصل نباشند، از نظر کارکردی متصل هستند. بنابراین، پیوستگی سیمای سرزمین نهایتاً باید به وسیله گستره ای تعریف گردد که در آن زیستگاه‌های مختلف و سایر عناصر ساختار سیمای سرزمین عبور در میان لکه‌ها را تسهیل می‌کنند (پیوستگی کارکردی) (Taylor et al., 1993; With et al., 1997). پایه نظری برای درک جریان‌های اکولوژیکی مانند انتشار، جریان ژن یا گسترش آشفستگی‌ها (مانند گسترش گونه‌های غیربومی) در رشته بوم شناسی سیمای سرزمین در کاربرد نظریه تراوش^(۱) به چشم می‌خورد. این مطالعه بر کاربردهای نظریه تراوش در این رشته تمرکز می‌کند. برخی از این کاربردها شامل مدل‌های شبیه‌سازی سیمای سرزمین هستند که چارچوبی نظری برای کمی‌سازی پیوستگی سیمای سرزمین، مدل سازی حرکت و انتشار در یک سیمای سرزمین پیچیده، پیش‌بینی پیامدهای کاهش زیستگاه و تکه تکه شدگی را ارائه می‌دهد. اهداف اصلی این مطالعه شامل معرفی نظریه تراوش به منظور درک بهتر پیوستگی سیمای سرزمین و کاربرد این نظریه در مدل‌های شبیه سازی سیمای سرزمین و گسترش آتش‌سوزی در جنگل هستند.

نظریه تراوش

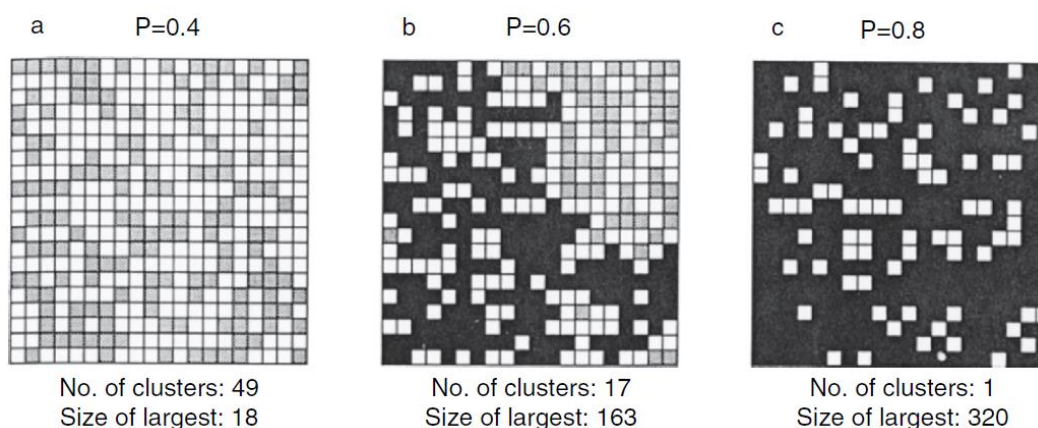
مجموعه ای بزرگ از شبکه‌ها مانند آنچه که در شکل (۱a) دیده می‌شود را تصور کنید. فرض بر این است که این مجموعه بسیار بزرگ است و هیچ گونه اثری از حاشیه‌ها دیده نمی‌شود یا به عبارت دیگر اثرات حاشیه نادیده گرفته می‌شوند. فیزیکدانان به چنین مجموعه ای از مربعات، شبکه^(۲) می‌گویند و ریاضی دانان آن را با Z^2 نشان می‌دهند. حال بخشی از مربعات با یک نقطه بزرگ در مرکز این مربعات پر شده اند در حالی که سایر مربعات خالی هستند (شکل ۱b). اکنون می‌توان خوشه را به عنوان گروهی از مربعات همسایه تعریف کرد که به وسیله این نقطه‌های اشغال گردیده‌اند، این خوشه‌ها در شکل (۱c) با دایره مشخص گردیده‌اند. در این تصویر می‌توان مشاهده نمود که مربعات با هم همسایه هستند اگر یک ضلع مشترک با هم داشته باشند و اگر تنها گوشه‌ها آن‌ها با یکدیگر تماس داشته باشد نمی‌توان گفت که همسایه هستند. فیزیک دانان به این مربعات که دارای یک ضلع مشترک هستند «مناطق نزدیک‌ترین همسایه در یک شبکه مربعی^(۳)» می‌گویند در حالی که مربعاتی

تراوش به این خوشه‌های تشکیل شده یا به عبارت دیگر به گروهی از مناطق اشغال شده همسایه می‌پردازد. اساساً، نظریه تراوش به منظور مطالعه رفتار پراکنده شدن تصادفی مایعات در یک محیط بیان گردیده است (Stauffer, 1985) و کاربرد قابل توجهی در بوم‌شناسی سیمای سرزمین به خصوص در تهیه مدل‌های سیمای سرزمین شبیه‌سازی^(۵) شده داشته است (Gardner et al., 1987). در فرایند پراکنش، همانند حرکت نامنظم مولکول‌ها در یک مایع، هر ذره می‌تواند به سمت هر موقعیت در محیط مورد نظر حرکت کند و به آن نقطه برسد. اما فرایند تراوش کاملاً متفاوت است. آستانه تراوش تفاوت‌های ی میان نواحی محدود ایجاد می‌کند که در آن مایع دیگر نمی‌توان به حرکت خود ادامه دهد، هنگامی که آستانه تراوش^(۶) کم تر از $0/5928$ باشد ($PC = 0/5928$) (Ziff, 1986) یا هنگامی که احتمال (P) بزرگ تر از آستانه تراوش (Pc) باشد، این مایع از میان شبکه عبور می‌کند و در نتیجه تمام مولکول‌های آن با هم پیوسته هستند (شکل ۲). در شبکه‌های بزرگ تعداد و اندازه خوشه‌ها تابعی از P است (احتمال اینکه یک سلول به وسیله شی موردنظر اشغال گردد که این شی می‌تواند یک پوشش گیاهی یا توزیع یک ارگانیسم باشد). رفتار خوشه‌ها در اطراف آستانه بحرانی خیلی سریع تغییر می‌کند.

که گوشه آن‌ها با هم در تماس است «نزدیک‌ترین همسایگان مجاور^(۴)» خوانده می‌شوند. بنابراین، تمام مناطق درون یک خوشه با زنجیره ای کامل از اتصالات نزدیک ترین همسایگی از یک مربع اشغال شده به یک مربع همسایه که این نیز توسط یک نقطه اشغال شده است با یکدیگر پیوسته هستند. توضیح گرافیکی خوشه از طریق شکل (۱c) برای اهداف توصیفی نسبت به تعریف ریاضیاتی دقیق مناسب تر است. نظریه تراوش به تعداد و ویژگی‌های این خوشه‌ها می‌پردازد. اما توزیع نقاط در میان این مربعات چگونه است؟ ممکن است تصور گردد که این نقاط تمایل دارند به یکدیگر نزدیک شوند یا این که از یکدیگر فاصله بگیرند و سعی می‌کنند تا حد امکان از هم فاصله بگیرند. اما ساده‌ترین تصور این است که آن‌ها یکدیگر را نادیده می‌گیرند بنابراین، اشغال این مربعات تصادفی است، بدین معنی که اشغال هر مربع مستقل از وضعیت اشغال همسایگانش است. احتمال این که یک مربع توسط یک نقطه اشغال شود p نامیده می‌شود و بدین معنی است که اگر N مربع وجود داشته باشد و N تعداد عدد بسیار بزرگی باشد آنگاه pN تعداد از این مربعات اشغال گردیده است و مربعات باقیمانده یعنی $(1-p)N$ تعداد از این مربعات خالی است. این نمونه از تراوش تصادفی چیزی است که Stauffer و Aharony (۲۰۰۳) بر آن تمرکز می‌کند و می‌گوید که هر منطقه از یک شبکه بسیار بزرگ به طور تصادفی با احتمال p و مستقل از همسایگانش اشغال گردیده است. نظریه



شکل (۱): تعریف تراوش و خوشه‌های ش (a) بخش‌های ی از یک شبکه مربعی را نشان می‌دهد (b) برخی از مربعات با نقاط بزرگ اشغال گردیده اند. (c) خوشه‌ها یا گروهی از مربعات اشغال شده همسایه با دایره متمایز گردیده اند (Stauffer & Aharony, 2003)



شکل (۲): نمونه‌هایی از سه نقشه تصادفی (20×20) با مقادیر مختلفی از تراوش. (a) بدون تراوش $P = 0.4$ (b) دارای تراوش $P = 0.6$ (c) دارای تراوش $P = 0.8$ خوشه تراوش کننده با رنگ سیاه مشخص گردیده است. (Gardner et al., 1992)

نظریه تراوش و پیوستگی سیمای سرزمین

نظریه تراوش چگونگی مختل شدن پیوستگی درون ساختارهای مکانی را بررسی می‌کند (Zallen, 1983; Stauffer & Aharony, 2003). طبق نظریه تراوش، پیوستگی اشاره به اتصالات میان مناطقی دارد که جریان‌های درون سیستم را تسهیل می‌کنند که این سیستم معمولاً شبکه‌ای مربعی شکل است که در آن بخشی (p) از سلول‌های شبکه (مناطق) اشغال گردیده‌اند. به عنوان مثال یک سیمای سرزمین رستری را در نظر بگیرید که در آن سلول‌های اشغال شده به عنوان زیستگاه هستند و سایر سلول‌ها که خالی هستند و به عنوان بستر شناخته می‌شوند. با این حال، زندگی جانوران چیزی فراتر از یک شبکه مربعی است (Stauffer & Aharony, 2003). سایر شبکه‌ها را می‌توان به وسیله سه ضلعی‌ها و شش ضلعی‌ها (شبکه لانه زنبوری) ایجاد کرد. همچنین می‌توان شبکه‌ها را به سه بعد یا ابعاد بیشتری گسترش داد (مانند یک مکعب). به عنوان مثال شبکه‌های لانه زنبوری به منظور توصیف سیمای سرزمین در برخی از مدل‌های مکانی جمعیت پرندگان مورد استفاده قرار گرفته‌اند. زیرا، این الگوها اجازه درک بهتر قلمروها در فضا را میسر می‌سازند (به عنوان مثال Pulliam et al., 1992).

اگر ما تعداد حاشیه سلول‌ها را در شکل ۲ اندازه گیری کنیم (یعنی سلول‌هایی که با مناطق اشغال نشده همسایه هستند)، با توجه به مقدار P ، می‌توانیم مقدار حاشیه کل و حاشیه‌های داخلی را با توجه به بخش اشغال شده نقشه پیش بینی کنیم. اهمیت نظریه تراوش در مطالعه ویژگی‌های سیمای سرزمین هنگامی کاملاً واضح است که ما در نظر بگیریم که نقطه شروع اثرات پراکندگی، آشفته‌گی‌ها، آتش سوزی‌های جنگلی و گسترش ناگهانی آفت‌ها نزدیک به آستانه تراوش است ($PC = 0.5928$) (Turner, 1987). نظریه تراوش در مطالعه مرزهای سیمای سرزمین نیز به کار گرفته شده است. یک ماتریس یا بستر در نظر بگیرید که متشکل از $m \times m$ پیکسل است، گسترش اکوتون در یک خوشه بستگی به احتمال اشغال (p) سلول‌ها دارد. شکل (۲) سه مثال از p در 0.4 ، 0.6 و 0.8 اشغال را نشان می‌دهد. بالاترین سطح از خوشه‌ها در بستری با p احتمال اشغال 0.4 نشان داده شده است، هیچ خوشه تراوش کننده‌ای^(۷) وجود ندارد. در مورد b، یک خوشه دارای تراوش است و تعداد خوشه‌ها تقریباً به نصف مورد اول رسیده است. اما در مورد سوم تنها یک خوشه دارای تراوش وجود دارد با احتمال $p = 0.8$. با توجه به این رفتار ما می‌توانیم مقدار حاشیه‌ها (کل و بیرونی) را در این بستر پیش‌بینی کنیم.

هنگامی می‌توان گفت که چند منطقه دارای پیوستگی هستند که مجاور یکدیگر باشند، به عبارت دیگر سلول‌های آن‌ها با یکدیگر همسایه باشند و یا به وسیله برخی از فرایندها که می‌توانند از سلول‌های خالی عبور کنند، به یکدیگر متصل باشند (به عنوان مثال انتشار در سلول‌های خالی زیستگاه). مجموعه‌ای از این مناطق پیوسته را یک خوشه می‌نامند که ویژگی‌های این خوشه‌ها به طور ویژه‌ای مورد توجه پژوهشگران است به خصوص هنگامی که یک خوشه تمام سیستم را دربرمی‌گیرد. این خوشه که تمام سیستم را دربرمی‌گیرد موجب یک پیوستگی کلی می‌شود. زیرا، امکان عبور جریان‌ها را در سراسر سیستم میسر می‌سازد، به این خوشه، خوشه تراوش‌کننده می‌گویند (شکل ۳). تراوش در یک شبکه اشاره به اصطلاح تراوش مکانی^(۸) دارد، زیرا تمرکز بر جریان‌هایی است که از میان سلول‌های پر عبور می‌کنند. بنابراین، می‌توان فرض نمود که تمام سیستم پر است (یعنی تمام سلول‌ها به طور بالقوه قابل دسترسی هستند) و گونه می‌تواند از میان مناطقی عبور کند که با احتمال p باز هستند و با احتمال $1-p$ بسته هستند. بنابراین، یک خوشه به عنوان گروهی از مناطق متصل با مجراهای باز تعریف نمود که از طریق آن‌ها جریان‌های مختلف به وقوع می‌پیوندد، به این خوشه تراوش پیوندی^(۹) می‌گویند. تراوش پیوندی مستلزم داشتن شبکه نیست، به عنوان مثال یک سیمای سرزمین را می‌توان به عنوان لکه‌های زیستگاهی گسسته نمایش داد که در آن می‌توان پیوستگی را به وسیله کمی سازی بخش‌های متصل شده با کریدورها ارزیابی کرد، یا با تعیین اینکه چه بخشی از مناطق در محدوده انتشار گونه موردنظر قرار دارد (لکه‌های ی نیستند). مدل‌های تراوش مکانی در کاربردهای اکولوژیکی رایج تر هستند اما کاربرد تراوش پیوندی نیز در مطالعه جغد مکزیکي ارایه می‌گردد.

سیستم ناپیوسته را تعیین می‌کند. به عنوان مثال، اندازه نسبی بزرگ‌ترین خوشه (LC_{rel}) یک پارامتر مرتبه است که به وسیله LC/LC_{max} تعیین می‌گردد که در آن LC تعداد سلول‌ها در بزرگ‌ترین خوشه است و $LC_{max} = pm^2$ است که در آن p بخشی از سلول‌های اشغال شده یا لکه‌های زیستگاهی است و m تعداد مناطق موجود در امتداد یک سمت شبکه است (Bascompte & Sole, 1996; Pearson et al., 1996). انتقال از یک سیستم پیوسته به یک سیستم ناپیوسته به تندی رخ می‌دهد. آشفتگی‌های تصادفی که اتصالات میان مناطق را مختل می‌کنند، اندازه خوشه تراوش‌کننده را کاهش می‌دهند تا تکه تکه شود و سیستم توانایی عبورش را از دست بدهد. سطحی از آشفتگی (به عنوان مثال، بخشی از مناطق تخریب شده یا پیوستگی از بین رفته است) که در آن انتقال از یک سیستم پیوسته به یک سیستم ناپیوسته اتفاق می‌افتد، آستانه تراوش یا آستانه بحرانی (P_c) نامیده می‌شود. بالای این آستانه بحرانی ($P > P_c$) احتمال داشتن یک خوشه تراوش‌کننده بسیار بالا است ($1 \rightarrow p(p)$) و بزرگ‌ترین خوشه، خوشه تراوش‌کننده است که سطح غالب سیستم را دربرمی‌گیرد ($1 \rightarrow \Omega$). در زیر آستانه بحرانی ($P < P_c$) هیچ خوشه تراوش‌کننده‌ای وجود ندارد ($P(p)$) و سیستم متشکل از خوشه‌های کوچک است (یعنی سیستم ناپیوسته است ($0 \rightarrow \Omega$)). از آنجا که آستانه اغلب یک تغییر سریع است، بهتر است اشاره به سیستم‌های پیوسته یا ناپیوسته‌ای داشته باشد که با توجه به آستانه بحرانی تعیین شده‌اند (With, 2002). اندازه کوچک و محدود شبکه‌های مورد استفاده در کاربردهای اکولوژیکی (و قانون همسایگی مورد استفاده در تعریف پیوستگی) ممکن است یک تغییر تدریجی را ایجاد نماید که در آن آستانه تراوش به عنوان مقدار بحرانی زیستگاه تعریف می‌گردد و در آن احتمال داشتن یک خوشه تراوش‌کننده از یک سطح آستانه عبور می‌کند (معمولاً بالای ۵۰ درصد). در عمل، احتمال تراوش ($P(p)$) به عنوان بخشی از سیمای سرزمین تکرار شونده تعیین گردیده است که اجازه عبور را می‌دهد. معیار رایج دیگری که به منظور کمی سازی پیوستگی بکار می‌رود، طول همبستگی است (C) که به عنوان شعاع متوسط اندازه وزن دار خوشه‌ها تعریف گردیده است (Plotnik & Gardner, 1993; Keitt et al., 1997). به طور کلی، خوشه‌ها اشکال نامنظمی

کمی سازی آستانه‌ها در پیوستگی سیمای سرزمین

نظریه تراوش تجزیه و تحلیل کمی پیوستگی در یک ساختار مکانی است. مقدار پیوستگی معمولاً به دو صورت ارزیابی می‌گردد: ۱- براساس احتمال تراوش (احتمال ($P(p)$) اینکه یک سیستم دربرگیرنده یک خوشه تراوش‌کننده باشد) ۲- براساس یک پارامتر مرتبه (Ω) که انتقال از یک سیستم پیوسته به یک

دارند، بنابراین اندازه خوشه به عنوان شعاع چرخش (R) تعریف می‌گردد که به وسیله رابطه (۱) محاسبه می‌گردد.

(۱)

$$R = \frac{\sum_{i=1}^n \sqrt{(x_i - \bar{x})^2 + (y_i - \bar{y})^2}}{n}$$

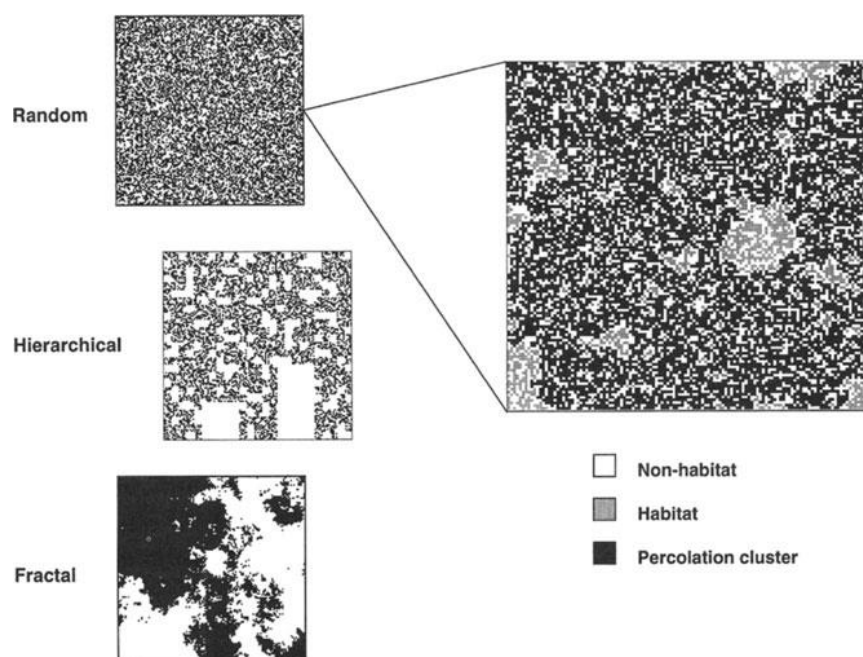
که x_i و y_i مختصات مناطق مجزا درون یک خوشه را نشان می‌دهند. N تعداد کل مناطق درون یک خوشه مجزا است.

بنابراین طول همبستگی از رابطه ۲ به دست می‌آید

(۲)

$$C = \frac{\sum_{s=1}^m (n_s R_s)}{\sum_{s=1}^m n_s}$$

که R_s شعاع چرخش برای خوشه s و m تعداد خوشه‌ها، n_s تعداد مناطق در خوشه s ، طول همبستگی بیش‌تر نمایانگر افزایش کلی اندازه خوشه‌ها و در نتیجه پیوستگی سیمای سرزمین است.



شکل (۳). سمت چپ: مدل‌های سیمای سرزمین شبیه‌سازی شده. سمت راست: خوشه تراوش‌کننده در یک مدل سیمای سرزمین شبیه‌سازی شده با رنگ سیاه مشخص گردیده است (With, 2002) ($p = 0.6$).

خاص (P) اختصاص یافته‌اند. مدل‌های تراوش شبکه شباهت چشمگیری با مجموعه داده‌های رستری دارند. از اینرو، رابرت و گاردنر از مدل‌های تراوش شبکه به عنوان مدل‌های سیمای سرزمین شبیه‌سازی شده استفاده می‌کنند (Gardner et al., 1987; Gardner & O'Neill, 1991). مدل‌های سیمای سرزمین شبیه‌سازی شده توزیع‌های زیستگاهی نظری هستند و بنابراین نسبت به فرایندهای بیوفیزیکی مانند توپوگرافی و تاریخچه آشفستگی که سیمای سرزمین واقعی را شکل می‌دهند، بی‌طرف هستند. بنابراین آن‌ها یک پایه آماری یا مدل صفر را برای کاوش روابط میان الگوهای مکانی و فرایندهای اکولوژیکی ارائه می‌دهند (With & King, 1997). اگرچه پیوستگی

کاربرد نظریه تراوش در مدل‌های شبیه‌سازی سیمای سرزمین

نظریه تراوش ویژگی‌های جذابی دارد که می‌تواند توضیح تجزیه و تحلیل پیوستگی سیمای سرزمین را در بوم‌شناسی سیمای سرزمین آسان کند. تعریف پیوستگی سیمای سرزمین به طور آشکارا فرایند مبنا است و به وسیله این که چگونه رفتار حرکتی افراد و یا توانایی پراکنش آن‌ها با ساختار لکه‌های سیمای سرزمین کنش دارد، تعیین می‌گردد. در نظریه تراوش، پیوستگی به وسیله گستره‌ای تعریف گردیده است که جریان‌ها می‌توانند از میان یک محیط با ساختار مکانی به وقوع بپیوندند. در مدل‌های تراوش شبکه، سلول‌های شبکه به صورت تصادفی به یک تراکم

سرزمین شبیه سازی شده چارچوبی مکانی و کلی برای آزمودن اثرات الگوی سیمای سرزمین بر آرایش مختلف پدیده‌های بوم شناختی ارائه می‌دهد و مجموعه‌ای از فرایندهای بوم شناختی به عنوان فرایندهای تراوش در مدل قرار گرفته اند (With & King, 1997).

حرکت و پیوستگی در سیمای سرزمین شبیه سازی شده

پیوستگی زیستگاه در سیمای سرزمین شبیه سازی شده به وسیله قوانین حرکت یا همسایگی ارزیابی می‌گردد، این قوانین حرکت یا همسایگی تعیین کننده فاصله‌ای هستند که مناطق قابل دسترس برای ارگانسیم‌ها را با توجه به توانایی پراکنش آن‌ها مشخص می‌نماید. قوانین حرکت تعمیمی مستقیم از قوانین همسایگی مورد استفاده در نظریه تراوش هستند. بنابراین، با بزرگ تر شدن اندازه همسایگی، آستانه بحرانی (P_c) که در آن سیمای سرزمین گسسته می‌شود به سوی سطوح پایین تر فراوانی زیستگاه (P) تغییر می‌کند، اگر اندازه همسایگی به m^2 (اندازه سیمای سرزمین) میل کند آنگاه آستانه بحرانی به صفر میل می‌کند. اگر یک ارگانسیم قادر به عبور از زیستگاه‌های نامناسب باشد، نیازی نیست که این زیستگاه حتماً از لحاظ فیزیکی پیوسته باشد. ارگانسیم‌های ی که دارای توانایی پراکنش خوبی هستند نسبت به آن‌های ی که تنها باید از سلول‌های زیستگاهی عبور کنند، سیمای سرزمین را به گونه‌ای می‌بیند که در آن فراوانی زیستگاه پیوسته زیاد است (جدول ۱). استفاده از قوانین حرکتی مختلف (یا مقیاس‌های استفاده از منابع O'Neill et al., 1988) ما را قادر می‌سازد تا درک گونه از ساختار سیمای سرزمین را تشخیص دهیم (Pearson et al., 1996). اگر بخواهیم استراتژی‌های حفاظتی موثر و معنی داری را توسعه دهیم، باید پیوستگی را از نگاه گونه موردنظر تعریف کنیم. تعیین مقیاسی که در آن ارگانسیم‌ها قادر به کنش با مقیاس الگوی سیمای سرزمین هستند در تعریف پیوستگی سیمای سرزمین نقشی کلیدی دارد (Doak et al., 1992; With & Crist, 1995; Pearson et al., 1996). در سیماهای سرزمین تصادفی چین خورده، برای گونه‌های ی که فاقد توانایی عبور از زیستگاه نامناسب (اندازه همسایگی برابر با ۴ سلول، قانون ۱ همسایگی) هستند، تخریب زیستگاه در یک مقیاس کوچک (مانند

تصادفی ساده ترین مدل تراوش شبکه است اما می‌توان آرایش متنوعی از الگوهای سیمای سرزمین خنثی را تولید نمود (شکل ۳). نقشه‌های سیمای سرزمین تصادفی سلسله مراتبی (O'Neill et al., 1992; Lavorel et al., 1993) الگوهای هندسی را تولید می‌کنند که مشابه با الگوهایی است که توسط فعالیت‌های انسانی ایجاد شده اند (برداشت چوب و کشاورزی) (Forman & Godron, 1986). چنین نقشه‌های ی سلسله مراتبی هستند زیرا زیستگاه به صورت تصادفی در یک سطح دلخواه از p به چندین سطح آشیانه‌ای اختصاص داده شده است. (یعنی توزیع زیستگاه در وسیع ترین مقیاس P_1 دربرگیرنده توزیع زیستگاه در مقیاس کوچک تر بعدی است P_2 ، و ...). سیماهای سرزمین چین خورده در درجه اول یک سطح متغیر پیوسته هستند. مانند یک نقشه ارتفاع که برای تجزیه و تحلیل شیب‌های تدریجی محیطی یا توزیع منابعی که گسسته نیستند، مفید هستند (مانند Palmer, 1992). یک سطح چین خورده را می‌توان به یک ارتفاع خواسته شده تقسیم کرد بنابراین، نسبتی خاص معلوم می‌گردد (مانند نقشه دوبعدی خطوط تراز یا نقشه سه بعدی ارتفاع). نقشه حاصله، نقشه‌ای دوبعدی و باینری از سیمای سرزمین است که همانند مدل‌های تراوش شبکه سنتی متشکل از زیستگاه و غیرزیستگاه است (With, 1997). درجه همبستگی مکانی یا پراکندگی (H) میان سلول‌های زیستگاهی را می‌توان به منظور تولید الگوهای سیمای سرزمین در طیف وسیعی از تکه تکه شدن تغییر داد (With, 1999; With & King, 1999a,b). اگرچه مدل‌های سیمای سرزمین شبیه سازی شده معمولاً نقشه‌های ی باینری در سنت مدل‌های تراوش شبکه هستند، اما سیماهای سرزمین ناهمگن نیز که متشکل از زیستگاه‌های چندگانه هستند را می‌توان ایجاد نمود (With & Crist, 1995; Gustafson, 1997; With et al., 1997; Gardner, 1996). مدل‌های سیمای سرزمین شبیه سازی شده دو کارکرد عمده در بوم‌شناسی دارند (With & King, 1997). ۱. تولید و تجزیه و تحلیل الگوهای سیمای سرزمین ۲. تجزیه و تحلیل پیامدهای بوم شناختی الگوهای سیمای سرزمین. این پیش بینی که پیوستگی سیمای سرزمین ممکن است به تندی مختل شود، مانند پاسخ غیرخطی به کاهش زیستگاه باید مورد توجه زیست‌شناسان حفاظت قرار بگیرد. زیرا این گونه آستانه‌ها در پیوستگی سیمای سرزمین به احتمال زیاد پیامدهای بوم شناختی مهمی دارد. مدل‌های سیمای

احتمال زیاد خوشه تراوش کننده در یک سیمای سرزمین چین خورده و تکه تکه تشکیل می‌شود. زیرا، زیستگاه موردنظر پراکنده شده و سلول‌های زیستگاهی مجزا نقش «سنگ‌های زیر پا»^(۱۰) را به منظور تسهیل پیوستگی ایفا می‌کنند (شکل ۴b). با این حال، سیمای سرزمین چین خورده و تکه تکه شده زیستگاه مطلوب (تعریف شده به عنوان زیستگاه پیوسته دارای حداقل مساحت مورد نیاز برای گونه With, 1999) کمتری دارند و بنابراین جمعیت‌های کوچک تری را حمایت می‌کنند که به احتمال زیاد به سوی انقراض سوق داده می‌شوند (With & King, 1999b). بنابراین پیوستگی سیمای سرزمین برای پایداری جمعیت کافی نیست.

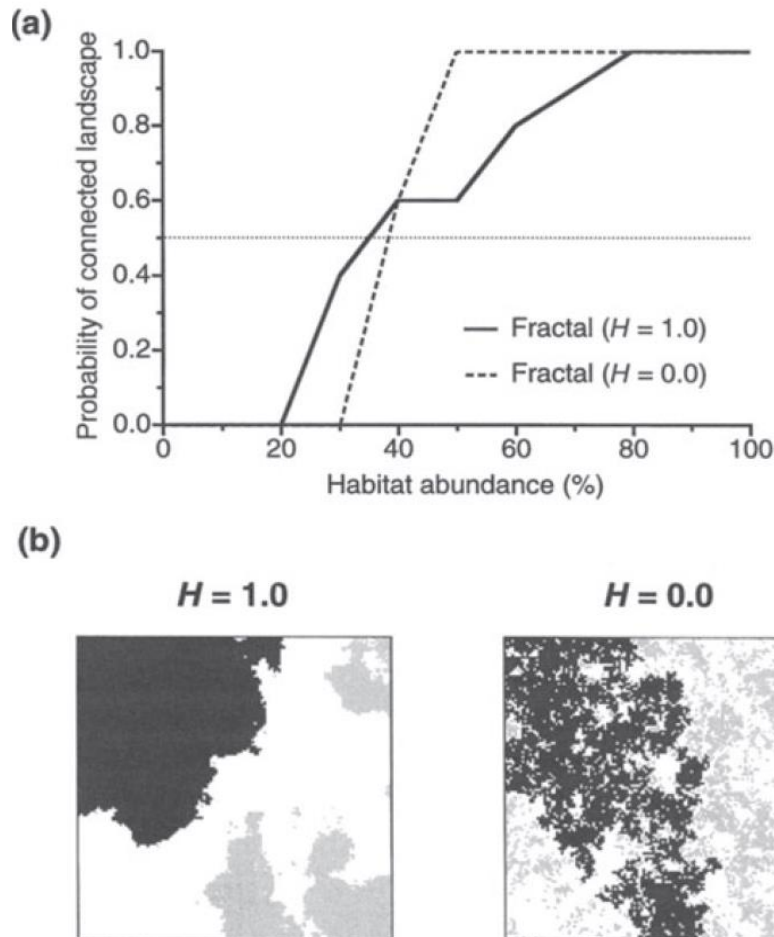
بهره‌برداری انتخابی از جنگل) نسبت به تخریب‌هایی که در مقیاس‌های بزرگ تر (مانند پاکتراشی جنگل) اتفاق می‌افتند، پیوستگی (در سطوح پایین کاهش زیستگاه) را زودتر مختل می‌کنند (Pearson et al., 1996). به عنوان مثال، (Pearson et al., 1996) With (1999) نشان داد هنگامی که در یک سیمای سرزمین چین خورده ۴۰ تا ۶۰ درصد زیستگاه تخریب گردید، گونه‌های حساس به زیستگاه نامناسب (اندازه همسایگی برابر با ۸ سلول، قانون ۲ همسایگی)، سیمای سرزمین تکه تکه را (تخریب زیستگاه در مقیاس کوچک، $H = 0$) نسبت به آن‌های ی که دارای الگوهای فشرده هستند (تخریب زیستگاه در مقیاس بزرگ، $H = 1$)، پیوسته تر می‌بینند (شکل ۴a). به

جدول (۱): آستانه‌های تراوش (Pc) برای مدل‌های سیمای سرزمین شبیه سازی شده به عنوان تابعی از اندازه همسایگی. در اینجا آستانه تراوش به عنوان سطح فراوانی زیستگاه (P) تعریف گردیده که در آن احتمال داشتن یک خوشه تراوش کننده ($P(p)$) بالای ۵۰ درصد است (With, 2002).

منبع	Pc	اندازه همسایگی	مدل سیمای سرزمین شبیه سازی شده	
(Plotnick & Gardner, 1993; Pearson et al., 1996)	۰/۵۹	۴	تصادفی	
(Plotnick & Gardner, 1993; Pearson et al., 1996)	۰/۴۱	۸		
(Plotnick & Gardner, 1993; Pearson et al., 1996)	۰/۲۹	۱۲		
(Plotnick & Gardner, 1993)	۰/۱۷	۲۴		
(Plotnick & Gardner, 1993)	۰/۱	۴۰		
(Plotnick & Gardner, 1993)	۰/۰۷	۶۰		
(Gardner & O'Neill, 1991)	۰/۶۲	۴	$Q_{11} = ۰/۴۸$	تصادفی با پراکندگی ^a
(Gardner & O'Neill, 1991)	۰/۵۷	۴	$Q_{11} = ۰/۷ - ۰/۸$	
(Gardner & O'Neill, 1991)	۰/۷	۴	$Q_{11} = ۰/۹۷$	
(With & King, 1999a)	۰/۴۵	۴	$H = ۰/۱$	چین خورده ^b
(With, 1999)	۰/۳۳	۸		
(With & King, 1999a)	۰/۵۴	۴	$H = ۰/۰$	
(With, 1999)	۰/۳۸	۸		
(With, 1999)	۰/۲۵	۲۴		
(With, 1999)	۰/۱۵	۸۰		

a: پراکندگی، احتمال اینکه مناطق همسایه یکی باشند (یعنی زیستگاه). سیمای سرزمین تصادفی با پراکندگی بیش تر ($Q_{11} > ۰/۸$) کمتر محتمل تراوش هستند زیرا زیستگاه در تعداد لکه‌های کوچک تجمع یافته است.

b: سیمای سرزمین چین خورده با استفاده از الگوریتم جایگزینی نقطه مرکزی ایجاد شده اند (Saupe, 1988) که در آن H درجه همبستگی مکانی میان مناطق را کنترل می‌کند.



شکل (۴): (a) آستانه‌های بحرانی در پیوستگی برای سیمای سرزمین چین خورده (اندازه همسایگی = ۸). (b) سیمای سرزمین چین خورده و تکه تکه شده ($H=0.0$) نسبت به سیمای سرزمین چین خورده فشرده ($H=0.1$) در سطح ۵۰ درصد زیستگاه پیوسته تر (وجود خوشه تراوش کننده) هستند. بزرگ‌ترین خوشه زیستگاهی با رنگ سیاه مشخص گردیده است (With, 2002).

P توزیع تصادفی منبع است. احتمال R یافتن حداقل یک منبع برابر است با (رابطه ۳):

$$R = 1 - (1 - P)^n \quad (3)$$

ما از نظریه تراوش درمی‌یابیم که اگر $R = 0.5928$ باشد، آنگاه یک ارگانسیم می‌تواند از یک طرف سیمای سرزمین به طرف دیگر آن حرکت کند. معادل R در رابطه ۱ ما می‌توانیم ارتباط میان n و P پیدا کنیم.

نظریه تراوش کاربردهایی در مطالعه حرکت حیوانات و استفاده از منابع در دسترس داشته است. هنگامی که یک ارگانسیم در زیستگاهی حرکت می‌کند که این زیستگاه مقداری برابر یا بزرگ‌تر از $0.5928/pc$ داشته باشد، این حیوان می‌تواند تمام سیمای سرزمین را زیر پا بگذارد. حیوانی را تصور کنید که می‌تواند حداقل یک منبع را به ازای n واحد حرکت در سیمای سرزمین پیدا کند، احتمال یافتن صفر منبع برابر با $(1 - P)^n$ است که در آن

پایداری جمعیت گونه‌های هدف در حفاظت از تنوع زیستی اتخاذ نگردیده است (With, 2002) یک نمونه از کاربرد نظریه تراوش در مطالعه زیستگاه جغد خالدار مکزیکی انجام شده است (Keitt et al., 1995). جغد خالدار مکزیکی از نظر فدرالی به عنوان گونه ای آسیب پذیر طبقه بندی شده است و از نظر ژنتیکی از سایر زیرگونه‌ها جدا است. جغد خالدار مکزیکی توزیع گسترده‌ای از سه زیرگونه دارد که شیب‌های جنگلی و دره‌های تنگ در ایالت‌های جنوب غرب آمریکا و شمال مکزیک را ترجیح می‌دهد. این تجزیه و تحلیل کاربردی از تراوش پیوندی را نشان می‌دهد که در آن پیوستگی به عنوان فاصله ای که جغدها می‌توانند بین مناطق زیستگاهی طی بکنند، ارزیابی می‌گردد. بنابراین تراوش در یک متوسط فاصله پراکنش بحرانی رخ می‌دهد نه یک تراکم بحرانی زیستگاه در یک تراوش شبکه‌ای. پیوستگی (طول همبستگی رابطه ۲) زیستگاه مناسب جغد که ترکیبی از کاج (*Pinus ponderosa*) و جنگل سوزنی برگ است، یک آستانه قوی بین محدوده پراکنش ۴۰ تا ۵۰ کیلومتر را نشان داده است. حداکثر فواصل پراکنش، ماهیت تصادفی پراکنش را به دست نمی‌آورد. و تابع پراکنش از ارزیابی احتمال پراکنش در میان لکه‌ها در یک فاصله موردنظر به دست آمد. تغییر سریع در پیوستگی در متوسط فاصله پراکنش ۱۵ کیلومتر مشاهده شد. اگر جغد مکزیکی بتواند ۴۵ کیلومتر بر فراز زیستگاه نامناسب پرواز کند و یک حداقل متوسط فاصله پراکنش ۱۵ کیلومتر داشته باشد، آنگاه زیستگاه جنگلی در جنوب غرب پیوسته است. اطلاعات فواصل پراکنش در مورد جغد مکزیکی محدود است، اما گزارشاتی از پراکنش جوجه‌های جوان وجود دارد که بالای ۴۵ کیلومتر پراکنش می‌کنند و قلمروهایی ایجاد می‌کنند که ۱۰ تا ۲۰ کیلومتر از محل تولد خود فاصله دارند (Keitt et al., 1995). بنابراین جغد مکزیکی در این ناحیه به عنوان یک فراجمعیت حضور دارد. صرف نظر از ارزیابی پیوستگی زیستگاه، این کاربرد نظریه تراوش شناسایی لکه‌های زیستگاهی بحرانی را مقدور می‌سازد که برای حفظ پیوستگی زیستگاه ضروری هستند. با وجود حداکثر محدوده پراکنش ۴۵ کیلومتر برای گونه مورد مطالعه، باز هم پیوستگی زیستگاه جنگلی در این ناحیه برای جغد مکزیکی در بهترین حالت هم کم است. در این فاصله پراکنش بحرانی تنها یک لکه بخش‌های شمال شرق و جنوب غرب این محدوده را با هم متصل می‌کند. نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل

$$(4) \quad n = -0.89845 / \ln(1-P)$$

هنگامی که منابع موردنظر دارای توزیع P است، رابطه ۲ به ما اجازه محاسبه مقیاسی را می‌دهد که در آن یک ارگانیسم با محیط‌زیست دارای کنش متقابل است (جدول ۱). اگر منابع متراکم باشند (P نزدیک به pc)، تعداد واحدهای سیمای سرزمینی که باید توسط ارگانیسم به منظور یافتن منابع مورد کاوش قرار بگیرد بسیار پایین است اما با کاهش توزیع منابع تعداد واحدهای مورد کاوش افزایش می‌یابد (جدول ۱، ۲). اگر منابع دوتا یا بیشتر باشند آنگاه $(P + \ln(1 - P) - 0.89845 / \ln(1 - P))$ که P_1 و P_2 به ترتیب توزیع منابع هستند. دلیل این مکانیسم توسط (O'Neill et al., 1988) توضیح داده شده است. هنگامی که یک ارگانیسم غالب ۹۰ درصد از منابع را از بین ببرد، ارگانیسم زیرغالب تنها به ۱۰ درصد از منابع دسترسی دارد. در این مورد، به منظور یافتن مقدار لازم، ارگانیسم مجبور به حرکت به اطراف منظور یافتن سایر منابع است. چنانچه توسط رابطه (۲) پیش‌بینی گردیده است. ارگانیسم‌های زیرغالب بزرگ مقیاس در مقیاس کوچک کمیاب هستند.

جدول (۲): تعداد n واحد سیمای سرزمین جستجو شده

به وسیله یک ارگانیسم با توزیع منابع P_i

(O'Neill et al., 1988)

P_i	n
۰/۵۹۲۸۰۰	۰/۱
۰/۲۰۱۱۷۴	۰/۴
۰/۰۹۵۰۰۷	۰/۹
۰/۰۵۴۶۰۶	۰/۱۶
۰/۰۳۵۳۰۰	۰/۲۵
۰/۰۰۹۸۴۴	۰/۱۰۰
۰/۰۰۲۲۴۴	۰/۴۰۰
۰/۰۰۰۹۹۸	۰/۹۰۰
۰/۰۰۰۵۶۱	۰/۱۶۰۰

شناسایی لکه‌های زیستگاهی بحرانی با استفاده از

نظریه تراوش (برگرفته از With, 2002).

از آنجا که نظریه تراوش به تازگی به زیست‌شناسان حفاظت معرفی گردیده است هنوز به وسیله ارگان‌های مدیریتی درگیر با حفظ پیوستگی سیمای سرزمین به عنوان وسیله ای در ارتقای

درختان آتش گرفته اند و این مربعات را به عنوان درختان در حال سوختن یا مناطق قرمز در نظر بگیرید. ساده ترین گزینه آتش گرفتن تمام درختان در سطر اول شبکه است در حالی که درختان باقیمانده در سطرها ۲، ۳،، L از یک شبکه $L \times L$ سبز باقی مانده اند. آیا این آتش از یک سمت جنگل به تمام جنگل نفوذ می‌کند و به سطر L شبکه می‌رسد؟ برای پاسخ دادن به این سوال باید به طور واضح توضیح داده شود که چگونه یک درخت می‌تواند سایر درختان را شعله ور کند. به منظور ساده سازی شبیه سازی کامپیوتری باید از میان شبکه موردنظر به طور منظم عبور کرد. ابتدا سطر اول درختان از چپ به راست بررسی می‌گردد سپس به تعیین اینکه کدام همسایه را شعله ور کرده اند پرداخته می‌شود. برای سطر دوم و بقیه سطرها نیز به همین منوال بررسی انجام می‌گردد. در طول تمام شبیه سازی یک درخت سبز در زمانی که در حال سوختن است، اگر با سایر درختان قرمز همسایه باشد به عنوان سوخته شده و قرمز در نظر گرفته می‌شود. بنابراین، یک درخت شعله ور، همسایه پایین و راست خود را در یک عمل یکسان شبیه جارو کردن شعله ور می‌کند و همسایه بالا و پایین خود را در جارو کردن بعدی شعله ور می‌کند. با به پایان رسیدن این مرحله، شروع مجدد با درختی انجام می‌شود که آخرین درخت در سمت چپ و در سطر اول است. هر مرحله جارو کردن در تمام شبکه (به گفته کارشناسان یک مرحله مونت کارلو به ازای هر مکان) یک واحد زمان را در شبیه سازی مصرف می‌کند. فرض بر این است که آتش تنها به نزدیک ترین همسایگان سبز گسترش می‌یابد نه به درختانی که دورتر هستند. علاوه بر این، یک درخت که در طول یک واحد زمان سوخته است به عنوان مربع سوخته شده (سیاه) در نظر گرفته می‌شود و درخت دیگر را شعله ور نمی‌کند. آتش‌سوزی جنگلی زمانی به پایان می‌رسد که به سطر آخر برسد و یا هیچ درخت شعله وری باقی نمانده باشد. بدین معنی که تنها درختان سیاه و درختان سبز هم مرز با مناطق سفید باقی مانده اند، درختان سیاه متشکل از درختان سوخته شده سابق هستند، درختان سبز هرگز تحت تاثیر آتش قرار نگرفته اند زیرا از درختان در حال سوختن جدا بوده اند. طول عمر آتش جنگلی به وسیله تعداد جاروهای انجام شده تا سطر آخر شبکه تعیین می‌گردد. شکل ۵ طول عمر آتش‌سوزی جنگلی را به عنوان تابعی از احتمال اینکه یک مربع توسط یک درخت اشغال شده است را نشان می‌دهد. این شبیه سازی‌های

نشان داد که بخش جنگلبانی مونت تیلور آمریکا در نیومکزیکو به عنوان یک سنگ زیر پای حیاتی عمل می‌کند که لکه‌های زیستگاهی جمعیت‌های جغد واقع در آریزونا و نیومکزیکو را با آن‌های ی که در کلرادو و یوتا هستند، متصل می‌سازد. این موضوع از قبل در تجزیه و تحلیل پیوستگی سیمای سرزمین مشخص نبود و در حقیقت بخش مونت تیلور پیش از این زیستگاه مهمی برای این گونه نبود زیرا تعداد جغدهای کمی داشت.

شناخت الگوهای آتش‌سوزی در جنگل با استفاده از

نظریه تراوش (برگرفته از Stauffer & Aharony, 2003).

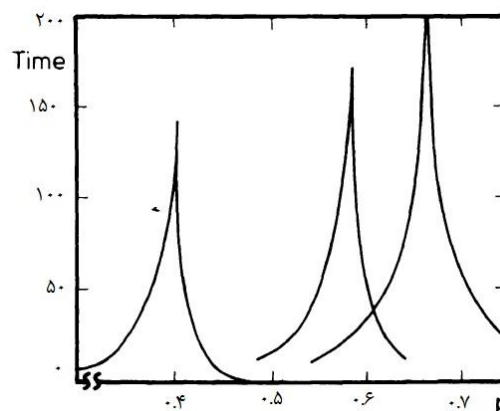
در این بخش مدل ساده ای برای آتش‌سوزی جنگل ارائه می‌گردد. این بخش کمک زیادی به مهار آتش نمی‌کند اما به درک آستانه تراوش، مفهوم تغییر سریع با زمان‌های جدا کننده و شبیه سازی کامپیوتری کمک می‌کند. دانشمندان فرانسوی در مارسلیس و در جاهای دیگر براساس دلایلی آشکار علاقه مند به شناخت و کنترل آتش‌سوزی‌های جنگلی هستند. سوالی که در اینجا پیش می‌آید این است که چقدر طول می‌کشد تا یک آتش‌سوزی به داخل جنگل نفوذ کند و یا خاموش شود؟ چنانکه در همه جا رایج است، یک دانشجوی کوشا باید صدها آزمایش مستقل به منظور کاهش خطاهای آماری قبل از گزارش نتایج در پایان نامه خود انجام دهد. اگر برای انجام هر پایان نامه، صدها آتش‌سوزی عمدی در جنگل ایجاد شود، احترام جامعه نسبت به امر تحقیق و پژوهش از بین می‌رود. بنابراین، استفاده از شبیه سازی‌های کامپیوتری عملی تر به نظر می‌رسد. از اینرو می‌توان جنگل را به وسیله یک شبکه مربعی نشان داد. بنابراین، هر مربع به وسیله یک درخت اشغال گردیده است، که می‌توان این مربع را سبز نامید، سایر مربعات که توسط درختان اشغال نشده اند خالی هستند و می‌توان آن‌ها را مناطق سفید نامید. احتمال داشتن مربع سبز p است و احتمال سایر مربعات سفید برابر با $(1-p)$ است. $p=1$ بدین معنی است که تمام مربعات پوشیده از درخت هستند که بیش تر در باغات این مورد مشاهده می‌شود نه در جنگل‌های طبیعی. این حقیقت که $p < 1$ وجود حفره‌ها (مربعات سفید) را مقدور می‌سازد که موجب بی نظمی یا اختلال در جنگل می‌گردند. توزیع مناطق سفید و سبز به عنوان وضعیت اولیه در نظر گرفته می‌شود. اکنون د نظر بگیرید که برخی از

به منظور ساده سازی مدل به کار رفته در این مطالعه آتش ترجیحا از بالا به پایین و از چپ به راست گسترش می‌یابد و به زمان بیش تری برای حرکت رو به عقب از راست به چپ یا پایین به بالا دارد. برای چهار مرحله متوالی رو به جلو یا بالا به پایین تنها نیاز به یک واحد زمان است درحالی که برای چهار مرحله رو به عقب چهار واحد زمانی نیاز است. اگر p به مقدار اندکی زیر p_c کاهش یابد آنگاه برخی از درختان ممکن است ناپدید شوند. بنابراین، آتش به زمان زیادی نیاز دارد تا دریابد که نمی‌تواند به داخل جنگل نفوذ کند و بعد از سوزاندن چند سطر خود به خود متوقف می‌گردد. بنابراین، اگر p به p_c میل کند آنگاه طول عمر خیلی بزرگ می‌شود.

نتیجه‌گیری

اگر تخریب زیستگاه در نزدیکی آستانه رخ دهد به سرعت منجر به عدم پیوستگی در سیمای سرزمین می‌شود. درک این ویژگی ذاتی آستانه‌ها از نظر تجربی مشکل است و هنگامی می‌توان فهمید که تغییرات از آستانه گذشته باشند. به کارگیری استراتژی‌های حفاظت تنها زمانی موثر و موفق هستند که قبل از وقوع این آستانه‌ها انجام بپذیرند. اگرچه پیوستگی سیمای سرزمین در روش‌های مختلفی کمی سازی گردیده است، اما نظریه تراوش می‌تواند آستانه‌های بحرانی در پیوستگی را پیش بینی و کمی سازی کند. با این حال، چالش موجود این است که این آستانه‌ها در کجا برای یک گونه خاص در سیمای سرزمین به وقع می‌پیوندند، زیرا این آستانه به قوانین پیوستگی لکه‌ها (مثلا گونه می‌تواند از مناطق نامناسب عبور کند) و الگوی تخریب زیستگاه (مقیاس کوچک در مقابل مقیاس بزرگ) حساس هستند. بنابراین تنها یک آستانه در پیوستگی وجود ندارد که این موضوع می‌تواند مدیران زمین را با مشکل روبرو سازد. آستانه پیوستگی ۰/۵۹۲۸ تنها مربوط به پیوستگی ساختار تصادفی سیمای سرزمین (قانون یک همسایگی، اندازه همسایگی چهار) است که ممکن است مدل مناسبی برای مدیریت سرزمین نباشد. با این حال، ۰/۵۹ نباید به عنوان یک دستورالعمل کلی برای حفظ پیوستگی سیمای سرزمین اتخاذ گردد. علاوه بر این، نمی‌توان با اطمینان گفت که یک سیمای سرزمین تکه تکه شده واقعا بدون هیچ گونه پیوستگی است زیرا ممکن است این سیمای سرزمین از نظر کارکردی برای یک گونه خاص پیوسته

کامپیوتری نشان می‌دهند که یک تغییر سریع برای مورد نزدیک به $p=0.6$ وجود دارد که در آن طول عمر به بی نهایت میل می‌کند. البته در شبیه سازی شبکه‌های محدود نمی‌توان انتظار زمان‌های نامحدود را داشت اما می‌توان آتش‌سوزی جنگلی را را در یک مقدار بحرانی از p نزدیک به ۰/۵۹۲۸ برای شبکه‌هایی با اندازه‌های مختلف شبیه سازی کرد و نشان داد که طول عمر با افزایش اندازه جنگل افزایش می‌یابد. اما چرا یک مقدار ویژه از p وجود دارد که آستانه تراوش p_c نامیده می‌شود و در آن طول عمر متفاوت می‌شود؟ در p نزدیک به ۱، هر سطر می‌تواند بدون واسطه درختان واقع در سطر بعدی را شعله ور کند. در p نزدیک به صفر، اکثر درختان در حال سوختن هیچ همسایه ای ندارند و آتش پس از سوزاندن درخت متوقف می‌شود. اگر p از مقادیر پایین به مقادیر بالا افزایش یابد، در یک مقدار بحرانی $p = p_c$ مسیری از درختان همسایه پدیدار می‌گردد که سطر بالایی را با سطر پایینی در اولین زمان متصل می‌سازد و یک خوشه تراوش کننده ایجاد می‌گردد. به کوتاه ترین مسیری که در p اندکی بیش تر از p_c مشاهده می‌شود، مسیر حداقل گفته می‌شود (شکل ۵).



شکل ۵): متوسط زمان پایان یافتن آتش سوزی‌های جنگلی در شبیه سازی شبکه‌های مربعی. نمودار مرکزی با ساده ترین مورد توصیف شده در متن همخوانی دارد. نمودار سمت چپ که مربوط به زمانی است که آتش می‌تواند به نزدیک ترین همسایگان مجاور هم گسترش یابد. نمودار سمت راست برای شعله ور شدن یک درخت به دو درخت در حال سوختن نیاز است.

ای نظری برای پیش‌بینی آستانه‌های اکولوژیکی ارایه می‌دهد. این نظریه اطلاعاتی را درباره پراکنش و پارامترهای مربوط به تاریخچه زندگی بیش‌تر گونه‌ها فراهم می‌کند و کاربردهای مبتنی بر نظریه تراوش اولین گام به سوی شناسایی گونه‌های است که به تغییرات کاربری اراضی بیش‌ترین حساسیت را دارند. بنابراین، مطالعات آتی باید اطلاعات لازم درباره پاسخ‌های حرکتی گونه به ساختار سیمای سرزمین در مقیاس‌های مختلف را کسب کنند و پیش‌بینی‌های انجام شده به وسیله مدل‌های تراوش را مورد آزمون قرار دهند. بدین ترتیب اطلاعات بحرانی مورد نیاز برای ارزیابی پیوستگی یک زیستگاه به دست می‌آید.

یادداشت‌ها

1. Percolation Theory
2. Lattice
3. Nearest neighbor sites on the lattice
4. Next nearest neighbor
5. Neutral landscape models
6. Percolation threshold
7. Percolation cluster
8. Site percolation
9. Bond percolation
10. Stepping stones

باشد و گونه توانایی عبور از زیستگاه‌های نامناسب در آن را داشته باشد. بنابراین، مدیریت و حفاظت موفق از سیماهای سرزمین نباید تنها مبتنی بر خوشه‌های تراوش کننده باشد زیرا برخی از سیماهای سرزمین دارای مناطق وسیعی از زیستگاه‌های پیوسته هستند (شکل ۳) اما اجازه تراوش را نمی‌دهند و برخی دیگر اجازه تراوش را می‌دهند اما دارای زیستگاه کافی برای بقای گونه‌ها نیستند. دسترسی به زیستگاه مناسب برای بقای گونه‌ها کافی نیست و باید مقادیری کافی از زیستگاه پیوسته به عنوان حداقل مساحت مورد نیاز برای قلمرو و گستره خانگی گونه نیز موجود باشد تا بقای جمعیت تضمین گردد. تأثیرات کاهش زیستگاه برای گونه‌های حساس به زیستگاه نامناسب با نیازهای زیستگاهی بزرگ (Dale et al., 1994) بسیار بیش‌تر از گونه‌های ی است که حساسیت کم‌تری به زیستگاه نامناسب دارند دارند. سیماهای سرزمین تکه تکه شده در سطوح متوسطی از کاهش زیستگاه (۴۰ تا ۶۰ درصد) اجازه تراوش را می‌دهند اما حداقل مساحت مورد نیاز برای پایدار ماندن جمعیت‌ها را فراهم نمی‌کنند (With, 1999). پیوستگی در یک مقیاس، پیوستگی در سایر مقیاس‌ها را تضمین نمی‌کند، بنابراین، نیاز است تا پیوستگی در چندین مقیاس مورد ارزیابی قرار بگیرد (Noss, 1991). به طور کلی، نظریه تراوش رویکردی کلی برای ارزیابی پیوستگی سیمای سرزمین برای گونه‌های مورد حفاظت و پایه

فهرست منابع

- Bascompte, J. & Sole, R.V. 1996. Habitat fragmentation and extinction thresholds in spatially explicit models. 1. Anim. Eco. 65: 465 - 473.
- Bennett, A..F. 1999. Linkages in the landscape: the role of corridors and connectivity in wildlife conservation. Iucn. p.
- Dale, Y.H.; Pearson, S.M.; Offerman, H.L, & O'Neill, R.V. 1994. Relating patterns of land-use change to faunal biodiversity in the central Amazon. Conserv. Biol. 8:1027-1036.
- Doak, D.P.; Marino, P.C. & Kareiva, P.M. 1992. Spatial scale mediates the influence of habitat fragmentation on dispersal success: implications for conservation. Theor. Pop. Biol. 41:315-336.
- Forman, R. T & Godron, M. 1986. Landscape ecology. 619 pp. Jhon Wiley & Sons, New York.
- Forman, R. T. 1995. Land mosaics: the ecology of landscapes and regions. Cambridge university press. p.
- Gardner, R.H.; Turner, M.G.; Dale, V.H. & O'Neill, R.V. 1992. A percolation model of ecological flows. In: Hansen, A.J. & di Castri, F. (eds.), Landscape boundaries. Consequences for biotic diversity and ecological flows. Springer-Verlag, New York. Pp 259-269.
- Gardner, R.H.; Milne, B.T.; Turner, M.G. & O'Neill, R.V. 1987. Neutral models for the analysis of a broad-scale landscape patterns. Landscape Ecology 1: 19-28.

- Gardner, R.H. & O'Neill, R.V. 1991. Pattern, process, and predictability: the use of neutral models for landscape analysis. In *Quantitative Methods in Landscape Ecology*, eds.
- Gustafson, E.J. & Gardner, R.H. 1996. The effect of landscape heterogeneity on the probability of patch colonization. *Ecology* 77:94-107.
- Keitt, T.H.; Franklin, A. & Urban, D.L. 1995. Landscape analysis and metapopulation structure. In *Recovery Plan for the Mexican Spotted Owl, Volume II, Technical and Supporting Information*. Albuquerque, New Mexico: U.S. Department of the Interior, Fish and Wildlife Service.
- Keitt, T.H.; Urban, D.L. & Milne, B.T. 1997. Detecting critical scales in fragmented landscapes. *Conserv. Eco!*. [Online] 1:4. Available from the Internet: www.consecol.org/voll/issl/art4.
- Lavorel, S.; Gardner, R.H. & O'Neill, R.V. 1993. Analysis of patterns in hierarchically structured landscapes. *Oikos* 67:521-528.
- Naveh, Z. 1994. Biodiversity and landscape management. In *Biodiversity and landscapes: A paradox to humanity*, eds. K.C. Kim and R.D. Weaver. 187 – 207. Cambridge: Cambridge University Press.
- Noss, R.E. 1991. Landscape connectivity: different functions at different scales. In *landscape Linkages and Biodiversity*, ed. W. Hudson, pp. 23-39. Washington, DC: Island Press.
- O'Neill, R.Y.; Gardner, R.H. & Turner, M.G. 1992. A hierarchical neutral model for landscape analysis. *Landsc. Ecol.* 7:55-61.
- O'Neill, R.Y.; Milne, B.T.; Turner, M.G. & Gardner, R.H. 1988. Resource utilization scales and landscape pattern. *Landsc. Ecol.* 2:63-69.
- O'Neill, R.V.; Krummel, J.R.; Gardner, R.H.; Sugihara, G.; Jackson, B.; De Angelis, D.L.; Milne, B.T.; Turner, M.G.; Zygmunt, B.; Christensen, S.W.; Dale, V.H. & Graham, R.L. 1988.
- Opdam, P. 1991. Metapopulation theory and habitat fragmentation: a review of holarctic breeding bird studies. *Landscape ecology*. 5:93-106.
- Opdam, P.; van Apeldoorn, R.; Schotman, A. & Kalkhoven, J. 1993. Population responses to landscape fragmentation. *Springer*. p: 147-171.
- Palmer, M.W. 1992. The coexistence of species in fractal landscapes. *Am. Nat.* 139:375-397.
- Pearson, S.M.; Turner, M.G.; Gardner, R.H. & O'Neill, R.Y. 1996. An organism-based perspective of habitat fragmentation. In *Biodiversity in Managed Landscapes*, eds. R.C. Szaro and D.W. Johnston, pp. 77-95. Oxford, United Kingdom: Oxford University Press.
- Plotnick, R.E. & Gardner, R.H. 1993. Lattices and landscapes. *Lect. Math. Life Sci.* 23:129-157.
- Pulliam, H.R.; Dunning, I.B. Jr. & Liu, J. 1992. Population dynamics in complex landscapes: a case study. *Ecol. Appl.* 2:165-177.
- Salwasser, H. 1991. New perspectives for sustaining diversity in U.S. national forest ecosystems. *Conserv. Bioi.* 5:567-569.
- Saupe, D. 1988. Algorithms for random fractals. In *The Science of Fractal Images*, eds. H.-O. Petigen and D. Saupe, pp. 71-113. New York: Springer.
- Selman, P. & Doar, N. 1992. An investigation of the potential for landscape ecology to act as a basis for rural land use plans. *Journal of Environmental Management*. 35:281-299.
- Stauffer, D. 1985. Introduction of percolation theory. Taylor & Francis, London.
- Stauffer, D. & Aharony, A. 2003. Introduction to Percolation Theory, Second Edition. London, United Kingdom: Taylor and Francis.

- Taylor, P.D.; Fahrig, L.; Henein, K. & Merriam, G. 1993. Connectivity is a vital element of landscape structure. *Oikos* 68:571-573.
- Turner, M.G. 1987. Spatial simulation of landscape changes in Georgia: A comparison of 3 transition models. *Landscape Ecology* 1: 29 –36.
- With, K.A. & Crist, T.O. 1995. Critical thresholds in species' responses to landscape structure. *Ecology* 76:2446-2459.
- With, K.A. 1997. The application of neutral landscape models in conservation biology. *Conserv. Biol.* 11: 1069-1080.
- With, K.A. & King, A.W. 1997. The use and misuse of neutral landscape models in ecology. *Oikos* 79:219-229.
- With, K.A.; Gardner, R.H. & Turner, M.G. 1997. Landscape connectivity and population distributions in heterogeneous environments. *Oikos* 78:151-169.
- With, K.A. 1999. Is landscape connectivity necessary and sufficient for wildlife management?
- With, K.A. & King, A.W. 1999a. Dispersal success on fractal landscapes: a consequence of lacunarity thresholds. *Landsc. Ecol.* 14:73-82.
- With, K.A. & King, A.W. 1999b. Extinction thresholds for species in fractal landscapes. *Conserv. Biol.* 13:314-326.
- With, K.A., Cadaret, S.J. & Davis, C. 1999. Movement responses to patch structure in experimental fractal landscapes. *Ecology* 80:1340-1353.
- With, K.A. 2002. Using percolation theory to assess landscape connectivity and effects of habitat fragmentation. In *Applying Landscape Ecology in Biological Conservation*. Springer Science Business Media New York. P 535.
- Zallen, R. 1983. The Physics of Amorphous Solids. New York: John Wiley and Sons. In *Forest Fragmentation: Wildlife and Management Implications*, eds. J.A.
- Ziff, R. 1986. Test of scaling exponents for percolation-cluster perimeters. *Phys. Rev. Lett.* 56: 545–548.