

ارزیابی چیدمان مکانی سیمای سرزمین به منظور دستیابی به اقدامات حفاظتی

صدیقه عبداللهی*^۱؛ علیرضا ایلدرمی^۲

۱. دانشجوی دکتری آمایش محیط‌زیست، دانشکده منابع طبیعی و محیط‌زیست، دانشگاه ملایر

۲. دانشیار گروه محیط‌زیست، دانشکده منابع طبیعی و محیط‌زیست، دانشگاه ملایر

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۲/۲۹؛ تاریخ تصویب: ۱۳۹۶/۰۸/۰۸)

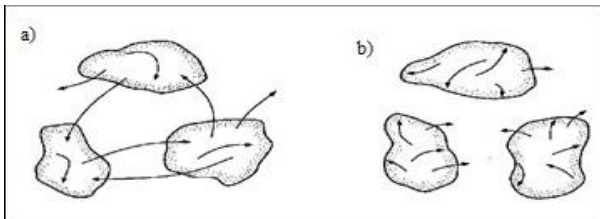
چکیده

مفهوم ارتباط سیمای سرزمین در یک منطقه به منظور توصیف چگونگی تاثیر چیدمان مکانی و کیفیت بخش‌های مختلف سیمای سرزمین بر مهاجرت و جابه‌جایی موجودات در میان تکه‌های زیستگاهی مورد توجه و استفاده قرار گرفته است. از آنجایی که هدف اصلی بررسی ارتباطات سیمای سرزمین، برنامه‌ریزی و مدیریت سیمای سرزمین به منظور حفظ و نگهداشت تنوع‌زیستی موجود در تکه‌های زیستگاهی کمیاب و پراکنده است به طوری که پایداری فرایندهای بوم‌شناختی را در سیمای سرزمین تضمین نماید، در این مطالعه، سعی شده تا با استفاده از شیوه توصیفی-تحلیلی و مرور منابع علمی ارتباطات سیمای سرزمین و اهمیت آن برای حفظ تنوع‌زیستی همراه با رویکردها و ابزارهای مورد استفاده برای کمی‌سازی ارتباطات سیمای سرزمین مورد بررسی قرار گیرد. بنابراین ابتدا در این مطالعه داده‌های مورد بررسی در دو گروه؛ اطلاعات کلی در مورد ارتباطات سیمای سرزمین و روش‌ها و ابزارهای مورد استفاده در بررسی ارتباطات سیمای سرزمین سازمان یافت. بررسی‌ها نشان داد که تحلیل کمترین هزینه بیشترین کاربرد را در مطالعه ارتباطات سیمای سرزمین داشته است. از سوی دیگر یافته‌ها نشان داد که بیشتر منابع علمی ارتباطات عملکردی سیمای سرزمین را ارزیابی کرده‌اند. هم‌چنین نتایج بررسی بیانگر این است که ابزار ترجیحی برای بررسی ارتباطات سیمای سرزمین CONEFOR بوده و نرم‌افزار LINKAGE MAPPER به خاطر استفاده از روش کمترین هزینه در تحلیل بیشتر مورد توجه قرار دارد. به طور کلی استفاده از رویکردهای مدل‌سازی ارتباطات و ابزارهای کاربردی در این زمینه با توجه به اهداف مطالعه و میزان اهمیت زیستگاه‌ها و گونه‌ها می‌تواند متفاوت باشد.

کلید واژه‌ها: ارتباطات سیمای سرزمین، کریدورهای زیستگاهی، ارتباطات ساختاری و عملکردی، مدل‌ها، مسیرهای جابه‌جایی

سرآغاز

سیستمی یکپارچه از پیکره‌بندی بخش‌های مختلف سیمای سرزمین طبیعی و نیمه طبیعی بوده و با هدف حفظ یا برگرداندن عملکردهای بوم‌شناختی و فراهم‌آوری فرصتی برای استفاده پایدار از منابع طبیعی مدیریت می‌شود. هدف اصلی بررسی ارتباطات سیمای سرزمین، برنامه‌ریزی و مدیریت سیمای سرزمین به منظور حفظ و نگهداشت تنوع‌زیستی است به طوری که پایداری فرایندهای بوم‌شناختی در سیمای سرزمین تضمین شود. با توجه به این که در زمینه ارتباطات سیمای سرزمین در ایران مطالعات جامعی صورت نگرفته است، در این بررسی مفاهیم پایه و پیشرفت‌های صورت گرفته در زمینه‌ی رویکردهای تحلیلی و برنامه‌های کاربردی در مورد ارتباطات سیمای سرزمین به صورت مرور منابع مدون و یکپارچه مورد ارزیابی قرار گرفته است. بر این اساس، اطلاعات مورد بررسی در دو گروه مفاهیم پایه و رویکردها و روش‌های مورد استفاده در ارزیابی ارتباطات سیمای سرزمین سازماندهی و بررسی و مزایای و کاستی‌های آن‌ها بیان شده است. هم‌چنین ابزارها و تکنیک‌های پژوهشی در این زمینه نیز تحلیل و معرفی شده است.



شکل (۱): یک سیمای سرزمین که از تکه‌های زیستگاهی تشکیل شده است؛ در یک زمان برای برخی از گونه‌ها ارتباطی بالا (a) و برای برخی از گونه‌ها که به دشواری بین تکه‌های زیستگاهی جابه‌جا می‌شوند ارتباطی ضعیف (b) ایجاد می‌کند. (بر گرفته از: Bennett, 2003)

مواد و روش‌ها

در این مطالعه، از روش توصیفی-تحلیلی بر پایه شیوه کتابخانه‌ای استفاده شده است. بر این اساس از پایگاه داده‌های اطلاعاتی مانند Knowledge, Springer, ScienceDirect و WILEY استفاده شد. واژه‌های کلیدی مورد استفاده برای جستجو در این پایگاه‌های اطلاعاتی بر اساس اولویت‌بندی ارتباطات سیمای سرزمین در برنامه‌های حفاظتی انتخاب و مقاله‌های مورد بررسی در این مطالعه با توجه به شناسایی اولویت

ارتباط یک ویژگی بسیار مهم سیمای سرزمین است (Taylor et al., 1993). که در صورت نابودی آن، تنوع‌زیستی در معرض خطر جدی قرار می‌گیرد (NewMark, 1987). مفهوم ارتباط برای توصیف چگونگی تاثیر چیدمان مکانی و کیفیت بخش‌های مختلف سیمای سرزمین بر جابه‌جایی موجودات در میان تکه‌های زیستگاهی مورد استفاده قرار گرفته است (Merriam 1984; Taylor et al., 1993). مریام (۱۹۸۴) در یکی از اولین مطالعات صورت گرفته در زمینه بوم‌شناسی، ارتباط را این چنین تعریف کرده است: «توانایی بخش‌های مختلف سیمای سرزمین در جلوگیری از انزوای مطلق گونه‌ها با برقراری امکان جابه‌جایی آن‌ها در میان تکه‌های زیستگاهی» (Merriam 1984). تیلور در سال (۱۹۹۳) ارتباط را این چنین تعریف کرد: «میزان توانایی سیمای سرزمین در آسان نمودن یا جلوگیری از حرکت و جابه‌جایی افراد در میان تکه‌های زیستگاهی» که بیشترین استفاده را در تعریف ارتباط سیمای سرزمین داشته است (Taylor et al., 1993). زمانی که افراد متعلق به یک گونه، بتوانند به آسانی در میان تکه‌های زیستگاهی جابه‌جا شوند، میزان ارتباطی که سیمای سرزمین برای آن گونه فراهم می‌کند بالا است ولی اگر جابه‌جایی گونه‌ها در میان تکه‌های زیستگاهی به دشواری صورت گیرد، ارتباط سیمای سرزمین برای آن گونه ضعیف است. سیمای سرزمین این توانایی را دارد که در یک زمان برای برخی از گونه‌ها (گونه‌های پرتحرک) ارتباطی بالا و برای برخی (گونه‌های کم‌تحرک) ارتباط ضعیفی شکل (۱) ایجاد کند. دو روش برای افزایش ارتباطات وجود دارد؛ ۱- تمرکز بر مناطق حفاظت شده‌ای که حرکت موجودات را آسان می‌کند و ۲- جبران ویژگی‌هایی از سیمای سرزمین (مانند جاده‌ها) که مانع جابه‌جایی موجودات می‌شود. هر دو راه کار در کنار هم موثرترین نتایج را در پی دارد (Ament et al., 2014). برای قرارگیری ارتباطات در یک چارچوب گسترده‌تر، شبکه‌های بوم‌شناختی عملکردی که تنوع‌زیستی را حفظ کرده و استفاده پایدار از منابع طبیعی را فراهم می‌کنند اغلب یکی از اهداف حفاظت و مدیریت سرزمین هستند. مفهوم شبکه‌های بوم‌شناختی، به چند بخش کلیدی اشاره دارد؛ ۱. مناطق حفاظت شده اصلی ۲. کریدورها و اتصالات ۳. مناطق پیرامونی و استفاده پایدار از سرزمین‌های غیرحفاظتی (Bennett, 2004). یک شبکه بوم‌شناختی،

افزایش می‌یابد که تغییرات در ساختار سیمای سرزمین افزایش یابد. این نوع ارتباط نه تنها نیازمند اطلاعات مکانی در مورد زیستگاه‌ها و بخش‌های مختلف سیمای سرزمین است بلکه دست کم به مشاهداتی درباره جابه‌جایی افراد در سیمای سرزمین نیز نیاز دارد. از این رو مفهوم اولیه ارتباط سیمای سرزمین به ارتباط عملکردی آن اشاره دارد (Crooks & Sanjayan, 2006). اگر گونه‌ها برای جابه‌جایی در سیمای سرزمین نیازمند چیدمان زیستگاهی ویژه‌ای باشند، ارتباط عملکردی هنگامی برقرار می‌شود که سیمای سرزمین دارای ارتباط ساختاری بوده و گونه‌ها نیز از چنین ارتباط ساختاری بهره‌مند شوند. ولی اگر گونه‌ها، توانایی جابه‌جایی در سراسر موزاییک سیمای سرزمین را داشته باشند، برای برقراری ارتباط عملکردی سیمای سرزمین نیازی به وجود ارتباط ساختاری نیست (Tewksbury et al., 2002). از این رو فاگان و کلابرس (۲۰۰۴) بر مبنای میزان داده‌های موجود درباره جابه‌جایی موجودات، ارتباط عملکردی به ۲ نوع ارتباط تقسیم کرده‌اند:

۱. ارتباط بالقوه^(۴): در برگیرنده شاخص‌هایی از اطلاعات پایه و غیر مستقیم در مورد توانایی انتشار موجودات است.
۲. ارتباط واقعی^(۵): در برگیرنده شاخص‌هایی است که جابه‌جایی واقعی افراد در سیمای سرزمین را کمی نموده و در نتیجه برآوردی از میزان ارتباط به دست می‌دهد (Calabrese & Fagan, 2004).

از این رو ارتباط سیمای سرزمین نتیجه برهم‌کنش یک فرایند رفتاری یعنی جابه‌جایی و ساختار فیزیکی سیمای سرزمین است که یک ویژگی پویا بوده و در مقیاس سیمای سرزمین ارزیابی شده و به ویژگی‌های سیمای سرزمین و ویژگی‌های گونه بستگی دارد (Ferrerias, 2001). مطالعات صورت گرفته در رابطه با ارتباطات سیمای سرزمین بیشتر به اندازه‌گیری و ارزیابی ارتباط عملکردی پرداخته و ارتباط ساختاری سیمای سرزمین کمتر مورد بررسی قرار گرفته است در حالی که در مطالعه و بررسی ارتباطات سیمای سرزمین هر دو جزء ساختاری و عملکردی ارتباطات لازم و ملزوم یکدیگر هستند. به طوری که دگرگونی در ارتباطات ساختاری که در برگیرنده و چگونگی چیدمان مکانی تکه‌های زیستگاهی نسبت به یکدیگر است بر توانایی جابه‌جایی افراد بین تکه‌های زیستگاهی (ارتباط عملکردی) تاثیر می‌گذارد. بنابراین در بررسی ارتباطات سیمای سرزمین برای دستیابی به نتایج بهتر و دقیق‌تر در رابطه با مدیریت و حفاظت از تنوع زیستی

مناطق حفاظتی و شناسایی و طراحی کریدورهای زیستگاهی در بوم‌سازگان‌های خشکی بررسی شدند. کلید واژه‌های مورد استفاده شامل *Methods of Landscape Connectivity Applied Tools to Landscape Connectivity* و *Landscape Connectivity* بود. سپس بر اساس بررسی‌های به عمل آمده اطلاعات موجود در دو دسته اطلاعات کلی در زمینه ارتباطات سیمای سرزمین و رویکردها و ابزارهای کاربردی در این زمینه طبقه‌بندی شده و مورد ارزیابی قرار گرفت. از این رو ارزش نتایج به دست آمده در این بررسی از منابع موجود با محدودیت‌هایی اطلاعاتی، بیان‌گر نتایج حاصل از آن‌ها می‌باشد.

مفاهیم کاربردی در ارتباطات سیمای سرزمین

• ارتباطات اجزاء ساختاری و عملکردی سیمای سرزمین

ارتباطات در برگیرنده هر دو جزء ساختاری و عملکردی سیمای سرزمین است. ارتباطات ساختاری^(۱) در برگیرنده روابط فیزیکی بین تکه‌های زیستگاهی است (Bennett, 2004). این نوع ارتباط به وسیله چیدمان مکانی^(۲) انواع مختلف زیستگاه در سیمای سرزمین تعیین می‌شود و از عواملی هم‌چون پیوستگی زیستگاه‌های مطلوب، گستره و طول گپ‌ها، فاصله‌ی پیمایشی توسط هر فرد، وجود مسیرهای جایگزین و کیفیت شبکه تاثیر می‌پذیرد (Forman, 1995). ارتباط ساختاری را می‌توان به وسیله تحلیل ساختاری سیمای سرزمین و بدون نیاز به اطلاعاتی درباره جابه‌جایی افراد و فرایندها در سراسر سیمای سرزمین اندازه‌گیری نمود (Crooks & Sanjayan, 2006). این بخش از ارتباط به چیدمان مکانی زیستگاه‌ها اشاره داشته، قابل نقشه‌سازی بوده و شاخص‌های گوناگونی برای آن تعریف شده است. ارتباطات عملکردی^(۳) اندازه‌ای از سیمای سرزمین است که جابه‌جایی موجودات و فرایندها را آسان کرده و یا از آن جلوگیری می‌کند (Ament et al., 2014). و عبارت است از واکنش افراد یا گونه‌ها به ساختار فیزیکی سیمای سرزمین (Bennett, 2003). به عبارتی توانایی گونه برای جابه‌جایی در میان موزاییک سیمای سرزمین بوده که تحت تاثیر عواملی مانند مقیاس، درک گونه از محیط، نیازهای زیستگاهی، درجه تخصصی بودن زیستگاه برای گونه، تحمل گونه نسبت به مداخلات محیطی، مرحله زندگی، زمان‌بندی حرکت‌های انتشاری و واکنش گونه نسبت به گونه‌های رقیب و شکارچی قرار دارد (Taylor et al., 1993). ارتباط عملکردی زمانی

در حالی که بسیاری از گونه‌ها نسبت به تغییر زیستگاه و نابودی آن حساس بوده و بقا و ارتباطات آن‌ها با افزایش آشفتگی‌های سیمای سرزمین کاهش می‌یابد (NewMark, 1991). بقا و حفظ ارتباطات سیمای سرزمین برای این گونه‌ها به وجود زیستگاه‌های مطلوب وابسته است و برقراری ارتباط سیمای سرزمین برای این گونه‌ها از طریق مدیریت کل سیمای سرزمین و حفاظت از زیستگاه‌های ویژه، شکل (۲) صورت می‌گیرد. بنابراین به منظور پاسخ به سوالاتی هم‌چون: چگونه می‌توان ارتباطات سیمای سرزمین را برای یک گونه و یا جمعیت به بهترین شکل حفظ کرد؟ آیا چیدمان‌های مکانی زیستگاهی ویژه‌ای برای حفظ ارتباطات وجود دارد؟ آیا تمامی گونه‌ها برای جابه‌جایی در سیمای سرزمین به اتصالات ویژه‌ای نیاز دارند؟ لازم است تا موارد زیر به خوبی بررسی شود.

• مدیریت یکپارچه سیمای سرزمین

در برخی موارد کاربری‌های اراضی، زیستگاه‌های موجود در سیمای سرزمین را تغییر داده، ولی آن‌ها را به‌طور کامل حذف نمی‌کنند. با تکرار این فرایند سیمای سرزمین حالت موزاییک شکلی پیدا می‌کند. در این حالت مرز میان پوشش گیاهی دست نخورده و بخش‌های تغییر یافته آن به سختی قابل شناسایی بوده و شناسایی زیستگاه‌های مطلوب و نامطلوب از یکدیگر مشکل است. با وجود نامناسب بودن بخش‌های از این سیمای سرزمین برای زیستن، جابه‌جایی گونه‌ها در آن به آسانی صورت می‌گیرد. در این شرایط برقراری ارتباط به استفاده گونه‌ها از پوشش گیاهی دست نخورده و تغییر یافته برای جابه‌جایی بین زیستگاه‌های اصلی و ارتباط با دیگر جمعیت‌های محلی وابسته است. در این حالت بهترین گزینه، مدیریت کل سیمای سرزمین است به شکلی که ارتباط برای گونه‌ها، جوامع و سایر فرایندهای بوم‌شناختی حفظ شود. این رویکرد زمانی مناسب است که سیمای سرزمین شکل طبیعی و یا نیمه طبیعی داشته باشد، گونه‌های موجود نسبت به تغییرات کاربری اراضی مقاومت بالایی نشان دهند و هدف حفاظت از گونه‌هایی با گستره وسیع خانگی باشد. در این حالت ممکن است گونه‌ها در همه جای موزاییک سیمای سرزمین زندگی یا تولید مثل نکنند اما بتوانند برای دستیابی به منابع مورد نیاز خود مانند غذا و پناه در بین بیشتر تکه‌های زیستگاهی حرکت کنند (Bennett, 2003).

لازم است تا هر دو جزء ساختاری و عملکردی مورد بررسی قرار گیرد.

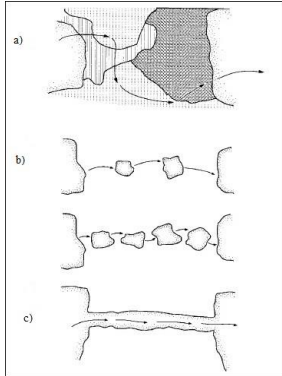
• اهمیت ارتباطات سیمای سرزمین

مهاجرت از مهم‌ترین دلایلی است که ضرورت وجود ارتباط میان مناطق حفاظت شده را نشان می‌دهد. فرایند مهاجرت به وسیله بسیاری از گونه‌ها و در پاسخ به تغییرات ایجاد شده در کیفیت و فراوانی منابع غذایی در دسترس با تغییر فصل‌ها صورت می‌گیرد (Bennett, 2003). زیستگاه‌هایی که در خارج از مناطق حفاظت شده قرار گرفته‌اند، نقش اصلی را در آسان نمودن فرایند مهاجرت گونه‌ها ایفا می‌نمایند، زیرا بخش‌های زیستی و غیر زیستی آن‌ها کریدورهای ارتباطی را تشکیل داده که گونه‌ها با استفاده از آن‌ها میان مناطق حفاظت شده مهاجرت می‌کنند (Edwards et al., 2010). با توجه به مطالعه (McCullough, 1996; Hanski and Gilpin 1997) توانایی موجودات برای حرکت بین قطعات زیستگاهی به منظور حفظ جمعیت آن‌ها ضروری بوده و بررسی‌های انجام شده درباره پویایی فرا جمعیت نشان داده‌اند که حفظ گونه‌ها در زیستگاه و سیمای سرزمین تحت‌تاثیر توانایی جابه‌جایی آن‌ها بین تکه‌های زیستگاهی و در نتیجه ارتباطات سیمای سرزمین قرار دارد. از سوی دیگر فرایندهای بوم‌شناختی مانند تبادل ژن‌ها (Manel et al., 2003; Storfer et al., 2010)، پراکنش دانه‌ها (Levey et al., 2005) و انتقال مواد غذایی (Wipfli, 2005) تحت‌تاثیر ارتباطات سیمای سرزمین قرار دارد. به‌طور کلی ارتباط بین زیستگاه‌ها، باعث افزایش برهمکنش بین افراد جمعیت‌ها شده و در نتیجه افزایش اندازه جمعیت موثر، حفظ جریان ژنی، تسهیل مهاجرت و انتشار موجودات بین قطعات زیستگاهی می‌شود. از این‌رو در بررسی‌ها ضروری است که فرایندهای بوم‌شناختی تحت‌تاثیر ارتباطات سیمای سرزمین به دقت مورد بررسی قرار گیرد.

• انواع چیدمان مکانی در ارتباطات سیمای سرزمین

درک گونه از سیمای سرزمین و میزان ارتباط آن در سیمای سرزمین به تخصصی بودن زیستگاه و مقاومت نسبت به آشفتگی‌های زیستگاهی و تغییرات محیطی وابسته است (Bennett, 2003). برخی از گونه‌ها به ساختارها و یا چیدمان‌های مکانی ویژه‌ای برای ارتباطات زیستگاهی نیاز ندارند،

گسترش یافته‌اند. آندرسون و جنکیز (۲۰۰۶) اشکال مختلف کاربرد واژه کریدور را به شرح زیر تعریف نموده‌اند:



شکل (۲): نحوه برقراری ارتباطات سیمای سرزمین از دو راه به دست می‌آید؛ راه اول: (a) مدیریت یکپارچه سیمای سرزمین راه دوم: حفاظت از زیستگاه‌های ویژه که خود به دو روش (b) سنگ جای پا و (c) کریدورهای زیستگاهی صورت می‌گیرد. (برگرفته از: Bennett, 2003)

۱. کریدورهای سیمای سرزمین: باعث برقراری ارتباط و حفظ ارتباطات در جهات مختلف در سراسر سیمای سرزمین شده و می‌توانند تا چندین هزار کیلومتر مربع گسترش داشته باشند.
 ۲. کریدورهای تنوع‌زیستی (کریدورهای زیستی): که معادل با کریدورهای سیمای سرزمین هستند.
 ۳. کریدورهای بوم‌شناختی: این نوع از کریدورها، باعث حفظ و نگهداری خدمات اکوسیستمی شده و در نتیجه از تنوع‌زیستی موجود در بوم‌سازگان‌ها نگهداری می‌کنند.
 ۴. کریدورهای انتشاری: کریدورهایی هستند که حرکت و مهاجرت گونه‌ای خاص و یا گروهی از گونه‌ها را آسان کرده و معادل با کریدورهایی مهاجرتی موجودات هستند (Buckingham & Shane, 2009).
- برای کاهش عدم قطعیتی که در مورد کاربرد واژه کریدور وجود دارد از اصطلاح Link یا Linkage استفاده شده است. این اصطلاح کلی به چیدمانی از زیستگاه (نه الزاماً خطی یا پیوسته) گفته می‌شود که جابه‌جایی گونه‌ها یا پیوستگی فرایندهای بوم‌شناختی را در سراسر سیمای سرزمین افزایش می‌دهد (Chester & Hilty, 2009).

● حفاظت از زیستگاه‌های ویژه

این روش برای برقراری ارتباط در سیمای سرزمین برای گونه‌هایی مناسب است که سیمای سرزمین را به عنوان مجموعه‌ای از تکه‌های زیستگاهی مناسب که در زمینه‌ای با محیط نامناسب قرار گرفته است می‌شناسند. برقراری ارتباطات سیمای سرزمین برای چنین گونه‌هایی به در دسترس بودن و چیدمان مکانی زیستگاه‌های مناسب بستگی داشته، الگوهای زیستگاهی که این نوع از ارتباط را ممکن می‌سازد عبارتند از:

● سنگ جای پا (۶)

این نوع از چیدمان زیستگاهی از یک یا تعداد بیشتری تکه زیستگاهی تشکیل شده است که از یکدیگر فاصله داشته و در دو ناحیه جدا از هم قرار گرفته‌اند. سنگ جای پا برای گونه‌ها غذا و پناهگاه موقتی فراهم نموده و باعث آسانی جابه‌جایی آن‌ها در سیمای سرزمین می‌شود. گونه‌هایی که به آسانی و به طور منظم در زیستگاه‌های زمینه حرکت کرده ولی از نظر فاصله جغرافیایی با محدودیت روبرو هستند یا گونه‌هایی که توانایی طی کردن فواصل طولانی بین تکه‌های زیستگاهی را داشته و نسبت به آشفته‌گی‌های سیمای سرزمین مقاوم هستند ولی نمی‌توانند در بخش‌های تغییر یافته سیمای سرزمین زندگی کنند از این زیستگاه‌ها برای جابه‌جایی استفاده می‌کنند. ولی گونه‌هایی که توانایی جابه‌جایی بین تکه‌های زیستگاهی زمینه بدون توجه به فاصله جغرافیایی بین آن‌ها را ندارند، نمی‌توانند از این تکه‌های زیستگاهی استفاده کنند (Bennett, 2003).

● **کریدورهای زیستگاهی که از زیستگاه‌های بهم پیوسته تشکیل شده‌اند؛** کریدورها ارتباطات سیمای سرزمین را افزایش داده و حرکت گیاه و جانور را در یک بستر ناهمگون میسر می‌سازند.

● کریدورهای زیستگاهی

کریدورها یکی از مفاهیم اصلی در ارتباط زیستگاه‌های موجود در سیمای سرزمین و بیانگر ساختار زیستگاهی یا کاربردهای متفاوت آن‌ها می‌باشد (Chester & Hilty, 2009). به طور کلی کریدورهای زیستگاهی مسیرهای خطی شکل متشکل از پوشش گیاهی بوده که باعث برقراری و حفاظت از ارتباطات میان تکه‌های زیستگاهی شده و تا فواصل چند ده کیلومتری

● اهمیت کریدورهای زیستگاهی

کریدورها یکی از مهم‌ترین اجزاء شبکه‌های کارکردی-بوم‌شناختی هستند. تمرکز اولیه حفاظت از کریدورها معمولاً در حمایت از حرکت‌های اساسی حیات‌وحش برای بقای طولانی مدت جمعیت آن‌ها است. یکی از راه‌های شناسایی کریدورهای زیستگاهی توجه به نیازهای گونه‌های معین و عملکرد حرکتی آن‌هاست که در یک رویکرد کوچک مقیاس بررسی می‌شود. رویکرد بزرگ مقیاس شامل تعریف کریدورها براساس یکپارچگی و پیوستگی ویژگی‌های سیمای سرزمین است. در مقیاس‌های کوچک، حفظ فرایندهای حرکتی موجودات به مدیریت و طراحی متفاوت کریدورها نیاز دارد. کریدوری که برای حمایت از جابه‌جایی‌های گونه‌ی معین طراحی می‌شود، ممکن است جابه‌جایی سایر فرایندهای بوم‌شناختی و گونه‌ها را، بدون اقدامات مدیریتی جانبی فراهم نکند. کریدورهای حیات‌وحش، برای اتصال مناطق اصلی زیستگاه و تسهیل جابه‌جایی مهم بوده، بدین‌سان، اثرات منفی تکه تکه شدگی زیستگاه را کاهش داده و انعطاف‌پذیری بیشتری برای مواجهه با تنش‌ها را فراهم می‌کنند (Brost & Beier, 2012). در واقع اهمیت کریدورها برای حفظ جمعیت‌های حیات‌وحش در سیمای سرزمینی که در حال تخریب و تکه‌تکه شدن بیش از سایر عوامل مهم، موثر و ضروری هستند و از منزوی شدن جمعیت‌های کوچک موجودات جلوگیری می‌کنند.

مدل‌سازی براساس ارتباطات سیمای سرزمین و شناسایی کریدورها

تحلیل کمی چگونگی تاثیر بخش‌های مختلف سیمای سرزمین بر ارتباطات موجودات برای حفاظت موثر از آن‌ها ضروری است. از این رو به ابزارهایی کارآمد و قابل اطمینان نیاز است تا ترکیب و الگوی سیمای سرزمین را به ارتباطات زیستگاهی پیوند دهند. روش‌های گوناگونی برای پیش‌بینی درجه ارتباطات زیستگاهی وجود دارد که از داده‌های سیمای سرزمین استفاده می‌نماید از جمله: استفاده از شاخص‌های الگوی سیمای سرزمین (Schumaker, 1996). شبیه‌سازی حرکت افراد (Schumaker, 1996; Hargrove et al., 2005) و روش‌های تحلیلی ارتباط شبکه (Adriaensen et al., 2003). هر یک از این رویکردها هدف خاصی را دنبال کرده و نتایج متفاوتی در بر

دارند (Rudnick et al., 2012). برخی از رویکردهای تحلیلی عبارتند از:

۱. مسیرهای کمترین هزینه فاکتوریال^(۷)
۲. نظریه گراف^(۸)
۳. تحلیل کمترین هزینه^(۹)
۴. نظریه مدار^(۱۰)
۵. جریان شبکه^(۱۱)

● مسیرهای کمترین هزینه فاکتوریال

در این روش برخلاف روش حداقل هزینه توانایی پیش‌بینی ارتباطات میان مکان‌های گوناگون وجود دارد. در بسیاری از شرایط نیاز است که ارتباطات زیستگاهی به طور کامل بررسی شود. برای مثال ممکن است لازم باشد که ارتباط در میان تعداد زیادی مبدا و یک مقصد و یا تعداد زیادی مبدا و مقصد در سراسر سیمای سرزمین بررسی شود. این روش با شناسایی مسیرهای گوناگون در سراسر سیمای سرزمین، شبکه‌ای از ارتباطات تشکیل می‌دهد. این روش برای بازسازی ارتباطات سیمای سرزمین و کاهش اثرات تکه تکه شدگی زیستگاه نسبت به سایر روش‌ها موثرتر است (Cushman et al., 2013). هم‌چنین این روش برای شناسایی گونه‌هایی که بیشترین جدایی جمعیتی را داشته و تهیه نقشه مهم‌ترین کریدورهای ارتباطی بین جمعیت‌ها در زیستگاه‌های اصلی کاربرد فراوان دارد (Cushman et al., 2011). این رویکرد در بین تحلیل‌های کمترین هزینه بیشترین استفاده را داشته و امکان تلفیق نتایج حاصل از آن با نتایج حاصل از روش‌های دیگر مانند تحلیل گراف وجود دارد (Rudnick et al., 2012). همان‌طور که بیان شد مزیت این روش شناسایی مسیرهای ارتباطی گوناگون به جای یک مسیر مناسب در قالب تهیه نقشه‌ها در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی است.

● نظریه گراف

نظریه گراف یک رویکرد ریاضی است که به بررسی ارتباطات و جریان‌ها در شبکه‌های اجتماعی و رایانه‌ای پرداخته و به تازگی برای بررسی ارتباطات سیمای سرزمین کاربرد یافته است (Urban et al., 2009). این روش برای نمایش روابط مکانی بین تکه‌های زیستگاهی و گونه‌های کانونی، مدل‌سازی ارتباطات

جانوران را براساس هزینه تجمعی جابه‌جایی ارزیابی می‌کند (Chetkiewicz and Boyce, 2009). با توجه به این که مسیر با کمترین هزینه تنها به اندازه یک پیکسل پهنا دارد اغلب این قابلیت را ندارد که به عنوان یک منطقه واقعی برای حفاظت پیشنهاد شود. از این رو پیشنهاد شده است که کریدور با حداقل هزینه که مجموعه‌ای از پیکسل‌ها با حداقل هزینه است شناسایی شود (Rudnick et al., 2012). مشکل‌ترین و مهم‌ترین مرحله این روش، تعیین میزان مقاومت است. کمترین میزان مقاومت معمولاً برابر با ۱ و برای مطلوب‌ترین تکه‌های زیستگاهی در نظر گرفته می‌شود. زیرا گونه به آسانی از آن‌ها عبور می‌نماید. ارزش هر کدام از پیکسل‌های لایه مقاومت برابر با هزینه‌ای است که بر مبنای نوع پوشش زمین و یا نوع زیستگاه موجود در آن پیکسل بوده (Adriaensen et al., 2003). و معمولاً براساس نظر کارشناس و بررسی منابع تعیین می‌شود (Beier et al., 2008b; Cleverger et al., 2002). از جمله مزایای این روش می‌توان مقایسه کمی مسیرهای احتمالی حرکتی جانوران، توانایی یکی‌سازی مدل‌های ساده یا پیچیده اثرات زیستگاه بر جابه‌جایی جانوران و عدم محدودیت مدل‌های ارتباطات ساختاری به واسطه مدل‌سازی ارتباطات موجودات در سیمای سرزمین را برشمرد (Taylor et al., 2006). کاستی این روش مانند سایر روش‌های مدل‌سازی میزان کیفیت داده‌های ورودی به مدل است (Sawyer et al., 2011). معمولاً چون نظر کارشناسان ارزش محور می‌باشد ارزش یافته‌ها نیز به آن بستگی دارد که یکی از موارد قابل تامل در این روش می‌باشد.

• نظریه مدار

نظریه مدار برای اولین بار در تجزیه و تحلیل ارتباط بین شبکه‌های شیمیایی، عصبی، اقتصادی و اجتماعی به کار رفته است. از آنجایی که بین ارتباطات الکتریکی و ارتباطات بوم‌شناختی شباهت وجود دارد، این نظریه به تازگی در مسایل بوم‌شناختی برای مدل‌سازی جریان ژن در سیمای سرزمین ناهمگون مورد استفاده قرار گرفته است. این نظریه می‌تواند برای پیش‌بینی الگوهای جابه‌جایی و احتمال انتشار موفق یا عدم انتشار گونه‌ها به کار رود و معیارهایی از میزان ارتباط یا انزوای تکه‌های زیستگاهی، جمعیت‌ها یا مناطق حفاظت شده و همچنین شناسایی و تعیین عناصر ارتباطی مهم (مانند کریدورها) به منظور برنامه‌ریزی حفاظتی استفاده شود. در این روش نیازی

بین تکه‌های زیستگاهی، ارزیابی رویکردهای حفاظتی برای گونه‌های مختلف و ایجاد مدل‌های رستری ارتباطات سیمای سرزمین به منظور بررسی ارتباطات در یک سلول رستری منحصر به فرد کاربرد دارد. در این روش سیمای سرزمین به شکل شبکه‌ای از گره‌ها و ارتباطات میان آن‌ها در نظر گرفته می‌شود. گره‌ها در واقع همان تکه‌های زیستگاهی بوده که به عنوان نقاط ارتباطی و ارتباطات میان آن‌ها به شکل خطوطی که در نظریه‌ی گراف حاشیه نامیده می‌شود نشان داده می‌شود. گره‌ها و حاشیه‌ها بر اساس میزان تأثیری که در شبکه ارتباطی دارند اولویت‌بندی می‌شوند (Rudnick et al., 2012). به طور کلی نظریه گراف به منظور مدل‌سازی ارتباطات کارکردی سیمای سرزمین کاربرد دارد، زیرا اتصالات این نمودارها نشان دهنده پاسخ کارکردی جانوران نسبت به سیمای سرزمین است (Galpern, 2012). استفاده از نمودارهای ساده نه تنها به درک بیشتر شبکه‌های پیچیده کمک می‌کند بلکه با استفاده از خوارزمیک‌هایی، ویژگی‌های شبکه‌های پیچیده را کمی‌سازی می‌نماید. برتری این روش نسبت به سایر روش‌ها در فراهم کردن اطلاعاتی برای اولویت‌بندی کریدورهای حفاظتی و ارزیابی ریسک سیمای سرزمین می‌باشد (Minor and Urban, 2008). کاستی این روش این است که از نظر مکانی واضح و مشخص نبوده و اطلاعات محدودی در مورد محل و چگونگی طراحی کریدورهای حفاظتی ارائه می‌دهد (Ament et al., 2014).

• تحلیل کمترین هزینه

آنالیز کمترین هزینه برای طراحی کریدورهای ارتباطی میان مناطق حفاظت شده بیشترین استفاده را داشته است (Beier et al., 2002; Singleton et al., 2008a). اساس این روش شناسایی مسیری است که یک گونه با صرف کمترین میزان هزینه ممکن برای رفتن از یک منطقه به منطقه دیگر می‌پیماید. در این روش فرض بر این است گونه‌ها هنگام عبور از یک منطقه هزینه‌ای می‌پردازند، این هزینه که به آن مقاومت نیز گفته می‌شود عبارت است از میزان دشواری عبور از یک پیکسل برای گونه هدف که به شکل کمی بیان شده (Beier et al., 2010)، و می‌تواند نشان‌دهنده انرژی مصرف شده هنگام عبور از منطقه، خطر مرگ و میر یا تأثیر بر توانایی بالقوه گونه‌ها برای تولیدمثل در آینده باشد. این روش مسیرهای جابه‌جایی احتمالی

شبکه وجود دارد که در تحلیل بیشترین جریان هر حاشیه جریانی کمتر و یا مساوی از جریان کل بین مبدا و مقصد دریافت می‌کند (Carroll et al., 2011). از کاستی‌های این روش افزایش حجم محاسبات به صورت نمایی همراه با افزایش تعداد سلول‌ها و شبکه‌ها بوده، که نیاز به تعیین مبدا و مقصد حرکت جانوران داشته و محدودیت‌های فواصل انتشار موجودات را در نظر نمی‌گیرد (Ament et al., 2014).

مدل‌سازی ارتباطات سیمای سرزمین

در سال‌های اخیر ابزارهای بسیاری برای مدل‌سازی ارتباطات سیمای سرزمین و شناسایی کریدورهای بوم‌شناختی و حرکتی حیات‌وحش توسعه یافته است که هرکدام با توجه به یکی از روش‌ها و رویکردهای مدل‌سازی ارتباطات عمل کرده و کمی‌سازی ارتباطات سیمای سرزمین را انجام می‌دهد در جدول (۱) تعدادی از مهم‌ترین ابزارهای مدل‌سازی ارتباطات سیمای سرزمین به همراه برخی از کاربردهایشان آورده شده است.

به ارائه داده‌های سیمای سرزمین به شکلی جدیدی نیست، بلکه از داده‌هایی با ساختار نظری گراف نیز می‌توان استفاده کرد (McRae, 2006; McRae, & Beier 2007). برتری این مدل نسبت به سایر مدل‌های ارتباطی شناسایی مسیرهای گوناگون برای انتشار گونه‌ها است (McRae, 2006). بر این اساس اگر تعدادی از مسیرهای انتشار از بین بروند اهمیت سایر مسیرهای پیش‌بینی شده که باقی مانده‌اند افزایش می‌یابد. از دیگر برترهای این مدل نسبت به سایر مدل‌ها، نزدیک بودن مدل‌های ارتباطی به دست آمده از این تئوری به حرکت واقعی جانوران است (Roever et al., 2013).

● جریان شبکه

این روش برای بهینه‌سازی الگوی انتشار و حرکت موجودات در سیمای سرزمین، با بیشترین جریان پراکنندگی بین مبدا و مقصد کاربرد دارد. در این روش فرض بر این است که جانوران هیچ گونه محدودیتی در رابطه با فواصل پراکنش ندارند و سیمای سرزمین را تنها با مکانی که حضور دارند درک می‌کنند و تمامی مسیرهای حرکتی شناسایی نمی‌شود. انواع مختلفی از جریان

جدول (۱): ابزارهای کاربردی در مدل‌سازی ارتباطات سیمای سرزمین

ابزار	ناشر	کاربرد
ArcGIS Spatial Analyst	http://www.esri.com/products	مدل‌سازی کریدورهای زیستگاهی بر اساس کمترین هزینه
Corridor Designer	http://corridordesign.org	مدل‌سازی کریدورهای زیستگاهی بر اساس کمترین هزینه
CircuitScape	https://sites.google.com/a/circuitscape.org/circuitscape/ http://www.circuitscape.org	مدل‌سازی و شناسایی کریدورهای زیستگاهی
Connectivity Analysis Toolkit (CAT)	http://www.klamathconservation.org/science_blog/software/	بررسی اتصالات سرزمین و مرکزیت زیستگاه
Linkage Mapper	https://code.google.com/p/linkage-mapper/	تحلیل ارتباطات زیستگاهی
Connect	http://www.unc.edu/depts/geog/lbe/Connect/	مدل‌سازی ارتباطات سیمای سرزمین بر اساس نظریه مدار
UNICOR	http://cel.dbs.unt.edu/cms/index.php/software/unicor	مدل‌سازی ارتباطات سیمای سرزمین بر اساس نظریه گراف
GRAPHAB	http://thema.univ-fcomte.fr/productions/graphab/en-doc.html	مدل‌سازی شبکه‌های بوم‌شناختی بر اساس نظریه گراف
Conefor Sensinode	http://www.conefor.org	کمی‌سازی اهمیت لکه‌های زیستگاهی بر اساس ارتباطات آن‌ها
FunConn Functional-connectivity tools	the U.S. Environmental Protection Agency (EPA) to Colorado State University	مدل‌سازی ارتباطات عملکردی

ادامه جدول (۱): ابزارهای کاربردی در مدل‌سازی ارتباطات سیمای سرزمین

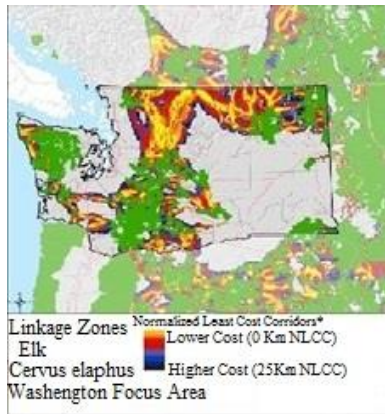
ابزار	ناشر	کاربرد
Pathmatrix	the Computational and Molecular Population Genetics Lab, University of Bern, Switzerland	شناسایی موثرترین فواصل جغرافیایی براساس کمترین هزینه
MulTyLink	Brás, R., Cerdeira, J.O., Alagador, D. and Araújo, M.B., Linking habitats for multiple species, Environmental Modelling & Software, 40:336-339, 2013	انتخاب کریدورهای ارتباطی براساس کمترین هزینه
LQGRAPH	Biodiversity and Biocultural Conservation Laboratory, Section of Integrative Biology, University of Texas	بهینه‌سازی اتصال قطعات سرزمین
Zonation	C-BIG Conservation Biology Informatics Group Department of Biosciences University of Helsinki, Finland	شناسایی زیستگاه‌های مهم و ارتباطات بین آن‌ها برای گونه‌ها مختلف
Gnarly Landscape Utilities	circuitscape.org/gnarly-landscape-utilities	تهیه لایه‌های مقاومت و زیستگاه‌های اصلی
GuidosToolbox	forest.jrc.ec.europa.eu/download/software/guidos	ارزیابی ارتباطات ساختاری

یافته‌ها

سرزمین است، نشان می‌دهند (Bunn et al., 2000; Minor and Urban, 2008) نظریه گراف برای ارزیابی ارتباطات سیمای سرزمین (Laita et al., 2011)، شناسایی تکه‌های منفرد (Rubio and Saura, 2012) سودمند است. دیگر روش مورد بررسی در این مطالعه نظریه مدار بود. این روش به دلیل توانایی یکپارچه‌سازی مسیرهای موجود بین تکه‌های زیستگاهی به واسطه محاسبه مسیرهایی با کمترین هزینه و نمایش مسیر بهینه، تکمیل‌کننده نظریه گراف است (McRae and Beier, 2007). این روش در مقایسه با نظریه گراف و روش کمترین هزینه فوایدی دارد. چرا که در این روش امکان شناسایی مسیرهای جایگزین بین تمامی تکه‌های زیستگاهی (نه فقط یک تکه زیستگاهی) و تشخیص مناطق زیستگاهی که ارتباطات بین آن‌ها کاهش یافته است وجود دارد (Cushman et al., 2013). در این روش فرض بر این است که موجودات به صورت تصادفی بین مسیرهایی با کمترین هزینه حرکت می‌کنند (McRae et al., 2008). نکته مورد توجه در مورد این روش‌ها این است که تمامی روش‌های گفته شده با بررسی چگونگی حرکت موجودات بین تکه‌های زیستگاهی ارتباطات عملکردی را مورد ارزیابی قرار می‌دهند. از بین ابزارهای معرفی شده در این بررسی مشخص شد (Saura and Torne, 2009) CONEFOR به عنوان ابزار ترجیحی در مطالعات تحلیل ارتباطات سیمای سرزمین مورد توجه بوده است. این بسته نرم‌افزاری بر اساس نظریه گراف بوده و به دلیل توانایی محاسبه شاخص دسترسی زیستگاه به آسانی

در این مطالعه با بررسی منابع علمی مشخص شد که آنالیز کمترین هزینه از سال ۱۹۹۷ (Walker and Craighead, 1997) و اوایل سال ۲۰۰۰ مورد استفاده قرار گرفته است (e.g. Singleton et al., 2002). در بررسی‌ها مشخص شد که از بین مطالعات صورت گرفته در مورد روش‌های کمی‌سازی ارتباطات سیمای سرزمین در بیشتر بررسی‌های انجام گرفته از رویکرد کمترین هزینه استفاده شده است. این روش یک روش سیستماتیک برای ارزیابی و مقایسه‌ی هزینه‌های بوم‌شناختی گذرگاه‌های بالقوه‌ی حیات‌وحش است (عرفانیان و همکاران، ۱۳۹۴). در این روش به جای اندازه‌گیری فاصله اقلیدسی بین لکه‌های زیستگاهی، فاصله‌ی موثر بین آن‌ها اندازه‌گیری می‌شود (مشهدی احمدی و همکاران، ۱۳۹۳). دلیل استفاده از این روش در بیشتر مطالعات می‌تواند ناشی از دسترسی به رویکردها و ابزار جدید برای محاسبه کمترین هزینه باشد (Beier et al., 2011; McRae and Kavanagh 2011). همچنین این روش، از خوارزمیک‌های ساده برای محاسبه فاصله‌ی موثر بین لکه‌های زیستگاهی استفاده می‌کند و ابزاری انعطاف‌پذیر در مدل‌سازی ارتباطات عملکردی بین موجودات زنده و سیمای سرزمین است (Adriaensen et al., 2003). دومین روشی که بیشترین استفاده را داشته نظریه گراف می‌باشد که در آن سیمای سرزمین را با شبکه‌ای متشکل از تکه‌های زیستگاهی بیشتر یا کمتر پیوسته که نشان‌دهنده پراکنش افراد و یا فرایندها در بین سیمای

سیمای سرزمین نظریه مدار را به کار می‌برد. دو ابزار UNICOR و GRAPHAB نیز بر اساس نظریه گراف عمل می‌کنند.



شکل (۳): کریدورهای زیستگاهی گوزن شمالی (برگرفته از پروژه ارتباطات سیمای سرزمین واشنگتن، ۲۰۱۰)

بحث و نتیجه‌گیری

با توجه به نبود مطالعات در مورد ارتباطات سیمای سرزمین و کریدورهای زیستگاهی در ایران هدف از این مطالعه، بررسی مدل‌ها و ابزار کمی‌سازی ارتباطات سیمای سرزمین بود. در این مطالعه پنج رویکرد مدل‌سازی مورد بررسی قرار گرفتند و برخی از سودمندی‌ها و کاستی‌های آن‌ها بحث شد. همچنین تعدادی از ابزارهای کمی‌سازی ارتباطات سیمای سرزمین نیز معرفی شدند. نتایج نشان می‌دهد همه روش‌ها تاکید بر یکپارچه‌سازی مطالعات ارتباطات سیمای سرزمین و اقداماتی حفاظتی دارند. بررسی‌ها نشان داد که تحلیل‌های دقیقی از انواع رویکردهای کاربردی متداول و ابزارهای پژوهشی که می‌تواند به وضوح در برنامه‌های حفاظتی سودمند واقع شود وجود دارد. به علاوه مدل‌های کمی‌سازی بیان شده در این مطالعه می‌تواند با توجه به پیشرفت‌های علمی با رویکردهای جدیدی مقایسه و تکامل یابند و روش کاملی در بررسی ارتباطات سیمای سرزمین معرفی نمایند. با توجه به بررسی صورت گرفته مشخص شد که هنوز در مورد ارتباطات سیمای سرزمین و شبکه‌های ارتباطی بین زیستگاه‌ها مدل‌هایی که از درجه اعتبار بالایی برخوردار باشند کمبود شدیدی احساس می‌شود. از سوی دیگر بررسی‌ها نشان داد که ارتباط عملکردی سیمای سرزمین مورد تاکید همه روش‌ها است که می‌تواند ناشی از یکپارچگی روابط مکانی بخش‌های ساختاری سیمای سرزمین (تکه‌های زیستگاهی) و

در برنامه‌های حفاظتی به کار می‌رود (e.g. Saura and Pascual-Hortal, 2007). این ابزار اهمیت تکه‌های زیستگاهی در ارتباطات سیمای سرزمین را کمی می‌کند. این بسته نرم‌افزاری گزینه‌های عینی بیشتری برای اولویت‌بندی مناطق حفاظت شده و مدیریت سیمای سرزمین در اختیار قرار می‌دهد (Saura and Torne, 2009). به این دلیل و سازگاری با داده‌های سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS)، این ابزار به منظور برنامه‌های حفاظتی به کار می‌رود. به طوری که از آن برای انتخاب مناطق زراعی به منظور برنامه بازسازی جنگل (Garcia-Feced et al., 2011). شناسایی شبکه‌های بوم‌شناختی در زیستگاه‌های رودکناری (Looy et al., 2013). تعیین اولویت زیستگاه‌ها در برنامه‌های حفاظتی (Crouzeilles et al., 2013; Rubio and Saura, 2012; Shanthala Devi et al., 2013) مشخص کردن اثرات بزرگراه بر ارتباطات سیمای سرزمین (e.g. Gurrutxaga et al., 2011) و ارزیابی اثرات ارتباطات در گذشته و آینده بر شبکه مناطق حفاظت شده در مناطق جنگلی (Rubio et al., 2012). استفاده می‌شود. از دیگر ابزارهای معرفی شده در این بررسی CIRCUITSCAPE است که بر اساس نظریه مداری به مدل‌سازی الگوهای جابه‌جایی موجودات و جریان ژن در بین سیمای سرزمین می‌پردازد (Sha and McRae, 2008). در این مطالعه کارهای انجام شده با این نرم‌افزار محدود می‌باشد. (e.g. Poor et al., 2012). با توجه به مقالات مورد بررسی در این مطالعه به نظر می‌رسد که نرم‌افزار LINKAGE MAPPER با توجه به این که ابزاری برای انجام روش کمترین هزینه است بیشتر مورد توجه قرار دارد و همچنین به منظور طراحی شبکه‌های حفاظتی در مورد جریان ژن و احتمال پراکنش افراد (e.g. Zeigler et al., 2011) کاربرد دارد. پروژه ارتباطات سیمای سرزمین واشنگتن از روش کمترین هزینه و نرم‌افزار LINKAGE MAPPER به منظور بررسی کریدورهای زیستگاهی انواع گونه‌های حیات وحش موجود در منطقه استفاده نموده است که برای نمونه نقشه کریدورهای ارتباطی گونه گوزن شمالی در شکل (۳) آورده شده است. از بررسی ابزارهای کاربردی در زمینه ارتباط سیمای سرزمین مشخص شد که ArcGIS Spatial Analyst و Corridor Designer نیز از تحلیل کمترین هزینه برای ارزیابی ارتباطات و طراحی کریدورهای زیستگاهی استفاده می‌کنند و ابزار Connect به منظور برنامه‌ریزی ارتباطات

یادداشت‌ها

- عملکرد فرایندهای بوم شناختی (پراکنش گونه‌ها) باشد. بنابراین هنوز نمی‌توان از نتایج مطالعات ارتباطات سیمای سرزمین به صورت کاربردی در برنامه‌های حفاظتی استفاده کرد. از این رو پیشنهاد می‌گردد روش‌ها و ابزارهای مورد بررسی در این مطالعه ابتدا به منظور واسنجی و تحلیل نتایج حاصل در برخی از مناطق ایران کالیبره شده و با توجه به ارزیابی توان مدل‌ها و ابزارها اصلاح و به کار گرفته شوند.
1. Structural connectivity
 2. Spatial arrangement
 3. Functional (Behavioral) Connectivity
 4. Potential Connectivity
 5. Actual Connectivity
 6. Stopping stones
 7. Factorial least-cost paths
 8. Graph theory
 9. Least cost analysis
 10. Circuit theory
 11. Network flow

فهرست منابع

- عرفانیان، ب.؛ میرکریمی، س. ح.؛ سلمان ماهینی، ع. و رضایی، ح. ر. ۱۳۹۴. مکان‌یابی احداث گذرگاه برای پلنگ (*Panther pardus*) در پارک ملی گلستان، فصلنامه علمی پژوهشی محیط‌زیست جانوری، سال هفتم، شماره ۴: ۱۰-۱
- مشهدی احمدی، ا. ع.؛ شمس اسفندآباد، ب. و گشتاسب میگوئی، ح. ۱۳۹۳. مدل‌سازی مسیرهای گذار گوسفند وحشی البرز مرکزی با استفاده از آنالیز کمترین هزینه مسیر در تهران، علوم و مهندسی محیط‌زیست، سال اول، شماره ۳: ۵۸-۴۱
- Adriaensen, F.; Chardon, J. P.; DeBlust, G.; Swinnen, E.; Villalba, S.; Gulinck, H. & Matthysen, E. 2003. The application of least- cost modeling as a functional landscape model, *landscape & Urban Planning*, Vol. 64: 233-247.
- Ament, R.; Callahan, R.; McClure, M.; Reuling, M. & Tabor, G. 2014. *Wildlife Connectivity: Fundamentals for conservation action*. Center for Large Landscape Conservation: Bozeman. Montana.
- Bunn, A. G.; Urban, D. L. & Keitt, T. H. 2000. Landscape connectivity: A conservation application of graph theory. *Journal of Environmental Management*. 59: 265-278.
- Bennett, A. F. 2003. *Linkages in the landscape; The role of Corridors and Connectivity in Wildlife Conservation*. IUCN Forest Conservation Program. Cosing Forest Ecosystems Series. No. 1.
- Bennett, G. 2004. *Integrating Biodiversity Conservation and Sustainable Use: Lessons Learned From Ecological Networks*. IUCN. Gland. Switzerland. & Cambridge. UK. 55 pp. Available at: <http://data.iucn.org/dbtwwpd/edocs/2004-002.pdf>
- Beirer, P.; Garding, E. & Majka, D. R. 2008a. Arizona missing linkages Gila Bend- Sierra Estr Linkage Design Report. School of Forestry Arizona Game & Fish Department. Northern Arizona University. p. 109.
- Beier, P.; Majka, D. R. & Wayaned, S. 2008b. Forks in the Road: Choices in Procedures for Designing Wildland Linkages. *Conservation Biology*, Vol. 22. No. 4: 836-851.
- Buckingham, F. & Shanee, S. 2009. Conservation Priorities for the Peruvian Yellow- Tailed Woolly Monkey (*Oreonax*): AGIS risk assessment and gep analysis. *primate conservation*. Vol. 24: 65- 71.
- Beier, P.; Majka, D. R. & Jenness, J. 2010. Conceptual steps for desingning wildlife corridors initiative from Northern Arizona University.
- Beier, P.; Spencer, W. & Baldwin, R. F. 2011. Toward best practices for developing regional connectivity maps *Conservation Biology*. 25: 879-892.
- Brost, B. M. & Beier, P. 2012. Use of land facets to design linkages for climate change. *Ecological Applications*. 22(1):87-103.

- Clevenger, A. P.; Wierzchowski, J.; Chruszcz, B. & Gunson, K. 2002. GIS- generated, expert- based models for identifying wildlife habitat linkages and planning for mitigation passages. *Conservation Biology*. Vol. 16: 503- 514.
- Calabrese, J. M. & Fagan W. F. 2004. A comparison shoppers guide to connectivity Trading off between data requirments and information content. *Frontiers in Ecology Environment*. Vol. 2: 529- 536.
- Crooks, K. & Sanjayan, M. 2006. *Connectivity Conservation*, Cambridge university Press. Cambridge. UK.
- Chester, C. & Hilty, J. 2009. *Connectivity Conservation Concepts- The Natural Setting*. a global guide. Earthscan. Londen.
- Chetkiewicz, C. L. B. & Boyce, M. S. 2009. Use of resource selection functions to identify conservation corridors. *Journal of Applied Ecology*. 46: 1036– 1047.
- Carroll, C. B.; McRae, B. H. & Brookes, A. 2011. Use of linkage mapping and centrality analysis across habitat gradients to conserve connectivity of gray wolf populations in Western North America. *Conservation Biology* 26:78-87.
- Cushman, S. A.; Landguth, E. L. & Flather, C. H. 2011. *Climate Change and Connectivity: Assessing Landscape and Species Vulnerability*. Final Report to USFWS Great Plains Landscape Conservation Co-operative.
- Cushman, S. A.; McRae, B. H.; Adriaensen, F.; Beier, P.; Shirley, M. & Zeller, K. 2013. *Conservation Biology*, 2nd edition, ohn Wiley and Sons. New York.
- Crouzeilles, R.; Lorini, M. L. & Grelle C. E. V. 2013. The importance of using sustainable use protected areas for functional connectivity. *Biological Conservation*. 159: 450–457.
- Edwards, H. J.; Elliott, I. A.; Pressey, R. L. & Mumby, P. J. 2010. Incorporating ontogenetic dispersal. ecological processes and conservation zoning into reserve design. *Biological Conservation*. 143: 457- 470.
- Forman, R. T. T. 1995. *Land Mosaics. The Ecology of Landscape & Regions* . Cambridge University Press.UK.
- Ferreras, F. 2001. Landscape connectivity and asymmetrical inter- patch connectivity in Metpopulation of endangered Iberian Linx. *Biology Conservation*. Vol. 100: 125- 136.
- Gurrutxaga, M.; Rubio, L. & Saura, S. 2011. Key connectors in protected forest area networks and the impact of highways: A transnational case study from the Cantabrian Range to the Western Alps (SW Europe). *Landscape & Urban Planning*. 101: 310–320.
- GarciaFeced, C.; Saura, S. & ElenaRossello, R. 2011. Improving landscape connectivity in forest districts: A two-stage process for prioritizing agricultural fragments for reforestation. *Forest Ecology & Management*. 261: 154–161.
- Galpern, P. 2012. *Modelling landscape connectivity for highly-mobile terrestrial animals a continuous and scalable approach*. A Thesis submitted to the Faculty of Graduate Studies of The University of Manitoba in partial fulfilment of the requirements of the degree of DOCTOR OF PHILOSOPHY. Natural Resources Institute. University of Manitoba. Winnipeg.
- Hanski, I.; A. & Gilpin, M. E. 1997. *Metapopulation Biology: Ecology, Genetics and Evolution*. San Diego. CA. Academic Press.
- Hargrove, W. W.; Hoffman, F. M. & Efrogmson, R. A. 2005. A Practical Map-Analysis Tool for Detecting Potential Dispersal Corridors. *Landscape Ecology*. 20: 361- 373.
- Levey, D. J. B.; Bolker, M.; Tewksbury, J. J.; Sargent, S. & Haddad, N. M. 2005. Effects of Landscape Corridors on Seed Dispersal by Birds. *Science*. 309: 146–48.
- Lindenmayer, D.; Hobbs, R. J. & Zoological Society of London. 2007. *Managing and designing landscapes for conservation*. Blackwell.

- Laita, A.; Kotiaho, J. S. & Monkkonen, M. 2011. Graph theoretic connectivity measures: What do they tell us about connectivity? *Landscape Ecology*. 26: 951–967.
- Looy, K.; Cavillon, C. & Tormos, T. 2013. A scale sensitive connectivity analysis to identify ecological networks and conservation value in river networks. *Landscape Ecology*. 29: 1–11.
- Merriam, G. 1984. Connectivity : a fundamental ecological characteristic of landscape pattern. in *Proceedings of the First International Seminar on Methodology in Landscape Ecology Research and Planning*. International Association for Landscape Ecology. Roskilde. Denmark.
- McCullough, D. R. 1996. *Metapopulations and Wildlife Conservation*. Washington DC. Island Press.
- Moilanen, A. & Nieminen, M. 2002. Simple connectivity measures in spatial ecology. *Ecology*. 83: 1131-1145.
- Manel, S. M.; Schwartz, K.; Luikart, G. & Taberlet, P. 2003. Landscape Genetics: Combining Landscape Ecology and Population Genetics. *Trends in Ecology & Evolution*. 18: 189–97.
- McRae, B. H. 2006. Isolation by resistance. *Evolution*. 60: 1551- 1561.
- McRae, B. H. & Beirer, P. 2007. Circuit theory predicts gene flow in plant and animal Populations. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 104: 19885- 19890.
- Minor, E. S. & Urban, D. L. 2008. A Graph-theory framework for evaluating landscape connectivity and conservation planning. *Conservation Biology*. 22(2):297-307.
- McRae, B. H.; Dickson, B. G. & Keitt, T. H. 2008. Using circuit theory to model connectivity in ecology, evolution and conservation. *Ecology*. 89: 2712–2724.
- McRae, B. H. & Kavanagh, D. M. 2011. Linkage Mapper Connectivity Analysis Software. The Nature Conservancy. SeattleWA. Available at: <www.circuitscape.org/linkagemapper> .
- NewMark, W. D. 1987. Mammalian extinctions in West North American Parks; Aland bridge island perspective. *Nature*. 325: 430- 432.
- NewMark, W. D. 1991. Tropical Forest Fragmentation and Local Extinction of understor Birds in Estern Usambara Moutains. Tanzania. *Conservation Biology*. 15: 67- 78.
- Poor, E. E.; Loucks, C. & Jakes, A. 2012. Comparing habitat suitability and connectivity modeling methods for conserving pronghorn migrations. *PLOS ONE*. 7: e49390
- Rudnick, D. A.; Ryan, S. J.; Beier, P.; Cushman, S. A.; Dieffenbach, F.; Epps, C. W.; Gerber, L. R.; Harter, J.; Jenness, J. S.; Kintssch, J.; Merenlender, A. M.; Perkl, R. M.; Preziosi, D. V. & Trombulak, S. C. 2012. The Role of Landscape Connectivity in Planning and Implementing Conservation and Restoration Priorities. Report Number 16. Ecological Society of America.
- Rubio, L. & Saura, S. 2012. Assessing the importance of individual habitat fragments as irreplaceable connecting elements: An analysis of simulated and real landscape data. *Ecological Complexity*. 11: 28–37.
- Rubio, L.; Rodriguez-Freire, M. & Mateo-Sanchez, M. C. 2012. Sustaining forest landscape connectivity under different land cover change scenarios. *Forest Systems*. 21: 223–235.
- Roever, C. L.; Van, A. R. J. & Leggett, K. 2013. Functional connectivity within conservation networks: Delineating corridors for African elephants. *Journal of Biological Conservation*. 157: 128-135.
- Schumaker, N. H. 1996. Using landscape indices to predict habitat connectivity. *Jornal of Ecology*. 77: 1210-1225.
- Singleton, P. H.; Gianes, W. L. & Lehmkuhl, J. F. 2002. Landscape Permeability for Large Carnivores in Washington: A Geographic Information System Weighted- Distance and Least Cost Corridor Assessment United States Department of Agriculture. 549pp.

- Saura, S. & Pascual-Hortal, L. 2007. A new habitat availability index to integrate connectivity in landscape conservation planning: Comparison with existing indices and application to a case study. *Landscape & Urban Planning*. 83: 91–103.
- Shah, V. B. & McRae, B. H. 2008. Circuitscape: A tool for landscape ecology. In: Varoquaux, G. Vaught, T. & Millman, J. (eds). *Proceedings of the 7th Python in Science Conference (SciPy 2008)*. Pasadena. CA. 62–66.
- Saura, S. & Torne, J. 2009. Conefor Sensinode 2.2: A software package for quantifying the importance of habitat fragments for landscape connectivity. *Environmental Modelling & Software*. 24: 135–139.
- Storfer, A. M.; Murphy, A.; Spear, S.; Holderegger, F. R. & Waits, L. P. 2010. Landscape Genetics: Where Are We Now? *Molecular Ecology*. 19: 496–514.
- Sawyer, S. C.; Epps, C. W.; Justin, S. & Brashares, J. S. 2011. Placing linkages among fragmented habitats: do least-cost models reflect how animals use landscapes? *Journal of Applied Ecology*. 48: 668–678.
- Shanthala Devi, B. S.; Murthy, M. S. R. & Debnath, B. 2013. Forest patch connectivity diagnostics and prioritization using graph theory. *Ecological Modelling*. 251. 279–287.
- Taylor, P. D.; Fahring, L.; Henein, K. & Merriam, G. 1993. Connectivity is a vital element of Landscape structure. *Oikos*. Vol. 68. No. 3. pp. 571- 573.
- Tewksbury, J. J.; Leveey, D. J.; Haddad, N. M.; Sargent, S.; Orrock, J. L.; Weldon, A.; Danielson, B. J.; Brinkerhoff, J.; Damschen, E. I. & Townsend, P. 2002. Corridors affect plants, animals and their interactions in fragmented landscape. *Proceedings of the National Academy of Science of the United States of America*. Vol. 99. pp. 12923- 12926.
- Taylor, P. D.; Fahrig, M. & With, K. A. 2006. Landscape connectivity: a return to the basics. *Connectivity Conservation* (eds K. R. Crooks & M. Sanjayan). pp. 29–43. Cambridge University Press. New York. NY.
- Urban, D. L.; Minor, E. S.; Trem, E. A. & Schick, R. S. 2009. Graph models of habitat mosaics. *Ecology Letters*. Vol. 12. pp. 260–273.
- Walker, R. S. & Craighead, L. 1997. Analyzing wildlife movement corridors in Montana using GIS. *Proceedings of the 1997 International ESRI Users Conference*. Environmental Sciences Research Institute. Redlands. California.
- Wipfli, M. S. 2005. Trophic Linkages between Headwater Forests and Downstream Fish Habitats: Implications for Forest and Fish Management. *Landscape & Urban Planning* 72: 205–13.
- Washington Wildlife Habitat Connectivity Working Group. 2010. *Washington Connected Landscapes Project: Statewide Analysis*.
- Zeigler, S.; Neel, M. & Oliveira, L. 2011. Conspecific and heterospecific attraction in assessments of functional connectivity. *Biodiversity & Conservation* 20: 2779–2796.