

کاربرد شاخص مکانی آشفستگی جاده‌ای (SPROADI) در ارزیابی اثرات اکولوژیک جاده‌ها در مقیاس سیمای سرزمین (مطالعه موردی: شرق استان اصفهان)

شکوفه نعمت‌الهی^۱، سیما فاخران^{۱*} و علیرضا سفینیان^۱

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۹/۲۰؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۱/۲۰)

چکیده

توسعه جاده‌ها می‌تواند تأثیرات زیانباری بر روی زیستگاه‌های طبیعی و گونه‌های با ارزش حفاظتی که در آنها زیست می‌کنند، داشته باشند. قطعه قطعه شدن زیستگاه به لکه‌های کوچک و مجزا، می‌تواند به کاهش چشمگیر جمعیت گونه‌ها منجر شود. بنابراین، نیاز است که مطالعاتی مناسب با هدف کمی نمودن اثرات اکولوژیک جاده‌ها در مقیاس سیمای سرزمین انجام شوند. در این مطالعه، از شاخص مکانی آشفستگی جاده‌ای (SPROADI: Spatial Road Disturbance Index)، به منظور ارزیابی اثرات اکولوژیک شبکه جاده‌ها در شرق استان اصفهان استفاده شد. منطقه مورد مطالعه، شامل پناهگاه حیات وحش عباس‌آباد و پارک ملی سیاه‌کوه بوده که در زمره مهم‌ترین زیستگاه‌ها برای یوزپلنگ آسیایی (گونه به شدت در معرض خطر در لیست قرمز IUCN) محسوب می‌شوند. شاخص SPROAD، یکی از جدیدترین شاخص‌های سیمای سرزمین می‌باشد، که به منظور کمی کردن اثرات اکولوژیک شبکه جاده‌ها از سه زیرشاخص شدت ترافیک، اثر همسایگی (حاشیه) و درجه قطعه قطعه شدگی استفاده می‌کند. نتایج حاصل از کمی کردن شاخص SPROAD، نشان داد که شدت آشفستگی حاصل از شبکه جاده‌ها، بین ۰ تا ۵۴/۵۳ می‌باشد و ۱۲ درصد از پناهگاه حیات وحش عباس‌آباد و بخش وسیعی از زیستگاه‌های مطلوب یوزپلنگ آسیایی تحت تأثیر شبکه جاده‌ها قرار گرفته‌اند، که نشان‌دهنده یک هشدار برای این گونه به شدت در معرض خطر می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: حفاظت، قطعه قطعه شدن زیستگاه، شاخص سیمای سرزمین، جاده‌ها، SPROADI

۱. گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان

*: مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: fakheran@cc.iut.ac.ir

مقدمه

جاده‌ها بخش مهمی از زیرساخت‌های حمل و نقل می‌باشند که در ایجاد ارتباط و دسترسی به مناطق دوردست نقش مهمی را ایفا می‌کنند (۱۴). با این وجود، شواهد بسیار زیادی از تأثیر منفی جاده‌ها بر روی زیستگاه‌ها، جمعیت حیات وحش و اکوسیستم‌ها وجود دارد. در حقیقت، جاده‌ها از جمله عوامل محرک در نابودی تنوع زیستی محسوب می‌شوند (۱۱ و ۱۳).

تأثیرات جاده‌ها بر روی حیات وحش فزاینده و اغلب غیرقابل برگشت می‌باشد (۲۲). جاده‌ها باعث افزایش مرگ و میر در نتیجه برخورد با وسایل نقلیه (۲۲)، تغییر در رفتار (۱۵) و از دست رفتن زیستگاه، کاهش در کیفیت زیستگاه برای حیات وحش از طریق افزایش فاصله بین لکه‌های زیستگاهی باقی‌مانده، جدا کردن جمعیت‌ها، کاهش ارتباطات در سیمای سرزمین، محدود کردن جریان ژن (۵ و ۹ و ۲۱) و کاهش انعطاف‌پذیری جمعیت‌ها و اکوسیستم‌ها نسبت به تغییرات اقلیمی می‌شوند (۱۷).

برای درک بهتر از تأثیر اکولوژیک جاده‌ها بر روی جمعیت‌های حیات وحش و زیستگاهشان در مقیاس سیمای سرزمین، لازم است که گستره و درجه تأثیرگذاری جاده‌ها، کمی شود. بنابراین، روش‌ها و شاخص‌های متعددی برای کمی کردن تأثیر جاده‌ها و آشفتگی آنها بر روی تنوع زیستی توسعه یافته است. بیشتر این مدل‌ها بدون توجه به فاکتورهای مرتبط با تراکم ترافیک و یا منطقه تحت تأثیر، فقط بر روی تکه تکه شدن زیستگاه و خصوصیات فیزیکی جاده‌ها تمرکز می‌کنند. از جمله این شاخص‌ها می‌توان به شاخص به هم پیوستگی سیمای سرزمین (Landscape Cohesion Index) (۱۸)، تراکم تکه تکه شدن (Splitting Density) (۱۶) و شاخص‌های ارتباط سیمای سرزمین (Landscape Connectivity Indices) (۲۰) اشاره کرد.

از جمله مطالعات انجام شده در زمینه ارزیابی اثرات اکولوژیک جاده‌ها می‌توان به مطالعه مددی و همکاران (۶) در مورد مدل‌سازی انتشار آلودگی صوتی ناشی از کنارگذر غرب اصفهان در پناهگاه حیات وحش قمیشلو با استفاده از مدل

SpreAD-GIS اشاره نمود. در این شبیه‌سازی، از نقشه کاربری اراضی، داده‌های هواشناسی و خصوصیات منابع صوتی به عنوان ورودی مدل استفاده گردید. نتایج حاصل از شبیه‌سازی، نشان داد که دامنه تغییرات شدت صوت بین ۰ تا ۵۲/۵ دسی‌بل می‌باشد و نشان داد که میزان کناره‌گیری گونه قوچ و میش از جاده نسبت به گونه آهو کمتر می‌باشد (۶).

مکی و همکاران (۹)، به ارزیابی اثرات بوم‌شناختی (EcIA) آزادراه غرب اصفهان که از پناهگاه حیات وحش قمیشلو می‌گذرد، بر زیستگاه گونه کلیدی آهوی ایرانی (*Gazella subgutturosa subgutterosa*) پرداختند. در این پژوهش، برای نخستین بار در ایران از راهبرد HEP (Habitat Evaluation Procedure) به عنوان یک روش ارزیابی بر مبنای زیستگاه که هم کیفیت و هم کمیت زیستگاه تحت تأثیر را مورد توجه قرار می‌دهد، برای ارزیابی اثرات بوم‌شناختی پروژه‌های توسعه بهره گرفته شد. نتایج حاصل نشان داد که در اثر احداث آزادراه، به میزان ۷۷۱۰ واحد زیستگاهی گونه آهو از دست رفته است (۹).

بیشتر مطالعات انجام شده از جمله موارد ذکر شده به ارزیابی اثرات اکولوژیک یک جاده پرداخته است، در حالی که تجمع اثرات شبکه جاده‌ها در یک منطقه می‌تواند اثرات شدیدتری را بر یکپارچگی زیستگاه و جمعیت‌های حیات وحش به دنبال داشته باشد. برای ارزیابی اثرات تجمعی شبکه جاده‌ها در یک منطقه، شاخص مکانی آشفتگی جاده‌ای (SPROADI: Spatial Road Disturbance Index) توسط فریدنبرگر و همکاران (۱۴)، توسعه یافته است. این شاخص از سه زیرشاخص شدت ترافیک (Traffic Intensity)، اثر همسایگی (حاشیه) (Vicinity Impact) و درجه قطعه قطعه شدگی (Fragmentation Grade) برای محاسبه اثر تجمعی جاده‌ها بر تنوع زیستی استفاده می‌کند. زیرشاخص شدت ترافیک به محاسبه میزان ترافیک در واحد زمان و مکان، زیرشاخص اثر همسایگی (حاشیه)، به محاسبه تأثیر حاشیه‌ای جاده‌ها بر روی زیستگاه مجاور و زیرشاخص درجه قطعه قطعه

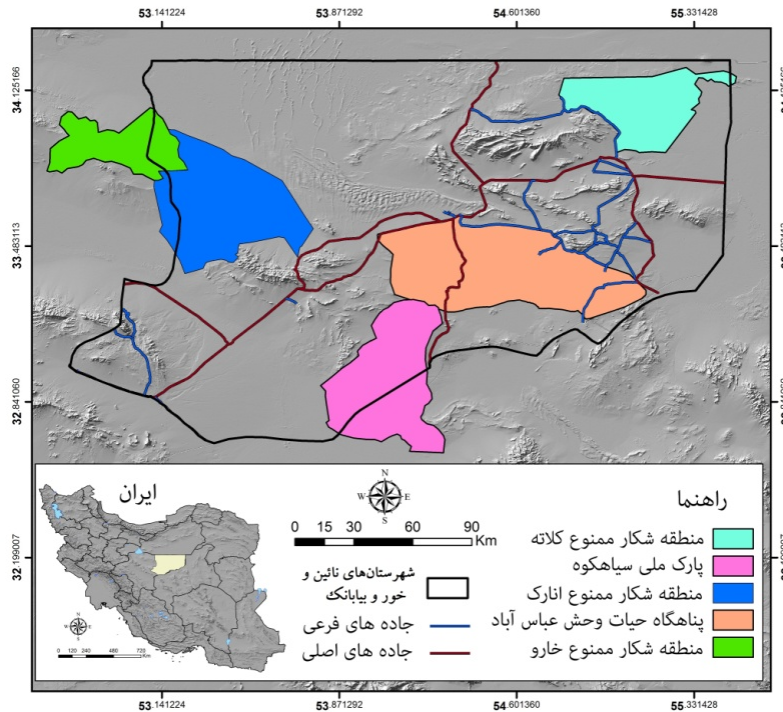
مواد و روش‌ها

منطقه مطالعه

منطقه مطالعه، شهرستان‌های نائین و خورویببانک واقع در ۱۴۵ کیلومتری شرق استان اصفهان می‌باشد (شکل ۱). مساحت منطقه مطالعه نزدیک به ۳۸۰۰۰ کیلومتر مربع و دامنه ارتفاعی بین ۷۰۰ و ۲۰۰۰ متر از سطح دریا می‌باشد (۴). شهرستان‌های نائین، خور و بیابانک و انارک تا شمال اردستان دارای آب‌وهوای بیابانی می‌باشند. مشخصه ویژه آن تغییر شدید و سریع درجه حرارت، کمی بارش باران و وزش بادهای تند در طول سال می‌باشد. متوسط بارش سالانه در این ناحیه، ۱۱۰-۱۰۰ میلی‌متر می‌باشد. وضعیت توپوگرافی شهرستان‌های نائین و خورویببانک شرایط را برای حضور انواع متعددی از گونه‌های گیاهی و جانوری مساعد کرده است (۷). در جنوب شرقی منطقه مطالعه، پناهگاه حیات وحش عباس‌آباد با مساحت بیش از ۳۰۰۰ هکتار قرار دارد. عباس‌آباد یکی از مهم‌ترین مناطق حفاظت شده در استان اصفهان می‌باشد که تنوع بالایی از گیاهان (۴۰۰ گونه) و جانوران (تقریباً ۱۰۰ گونه) را در خود جای داده است. بسیاری از این گونه‌ها، ارزش حفاظتی بالایی دارند، از جمله زاغ بور (*Podoces pleskei*)، گربه شنی (*Felis margarita*)، پلنگ (*Panther pardus*)، هوبره آسیایی (*Chlamydotis undulate*) و کل و بز (*Capra aegagrus*). یکی از مهم‌ترین خصوصیات شرق استان اصفهان، حضور یوزپلنگ آسیایی (*Acinonyx jubaticus venaticus*) از گونه‌های به‌شدت در معرض خطر است که در پناهگاه حیات وحش عباس‌آباد یافت می‌شود (۳ و ۸). از دیگر مناطق تحت حفاظت در شرق استان اصفهان، پارک ملی سیاه‌کوه واقع در جنوب شرقی استان با وسعت ۸۰۰۰۰ هکتار در محدوده مابین استان‌های اصفهان و یزد می‌باشد. در پارک ملی سیاه‌کوه، گونه‌های ارزشمندی نظیر کل و بز، قوچ و میش، پلنگ و یوزپلنگ آسیایی حضور دارند (۱ و ۸).

شدگی، به محاسبه درجه قطعه قطعه شدن زیستگاه جاده می‌پردازد (۱۴). به‌کارگیری این شاخص، امکان ارزیابی تأثیر فاکتورهای مرتبط با تراکم و پراکنش ترافیک را در کنار تأثیرات فیزیکی جاده‌ها بر روی تنوع زیستی فراهم می‌کند. علاوه بر آن در شناسایی و اولویت‌بندی مناطقی با حداقل جاده‌ها، به اصطلاح "مناطق کم ترافیک" بسیار کارآمد می‌باشد. یکی از قابلیت‌های این شاخص، استفاده ترکیبی از آن با دیگر ابزارها در راستای برنامه‌ریزی و اولویت‌بندی حفاظتی می‌باشد. به‌عنوان مثال، برنامه‌ریزان حفاظتی می‌توانند از این شاخص در یک‌سو برای شناسایی مناطقی با کمترین درجه آشفته‌گی و از سوی دیگر برای شناسایی مناطق حفاظتی با بیشترین درجه آشفته‌گی نیازمند بهسازی استفاده کنند (۲۲). در مطالعه‌ای که در شمال شرقی آلمان در ایالت برندنبرگ توسط فریدنبرگر (۱۴) انجام گرفت، با استفاده از شاخص SPROAD، نواحی با شدت بالای آشفته‌گی جاده‌ای شناسایی شدند. در این مطالعه، از نتایج حاصل در تکمیل شبکه مناطق حفاظت شده در آلمان استفاده شد (۱۴).

این مقاله، به توصیف کاربرد شاخص SPROAD برای ارزیابی اثرات اکولوژیک شبکه جاده‌ها بر زیستگاه‌های مهم واقع در شرق استان اصفهان می‌پردازد. از جمله زیستگاه‌های مهم منطقه مورد مطالعه، پناهگاه حیات وحش عباس‌آباد و پارک ملی سیاه‌کوه واقع در جنوب شرقی استان اصفهان می‌باشد که از نظر اکولوژیک بسیار حائز اهمیت بوده و زیستگاه گونه‌های مهمی چون یوزپلنگ آسیایی، گربه شنی، کاراکال و زاغ بور می‌باشد (۳). در حال حاضر یکی از مهمترین عوامل خطر برای گونه یوزپلنگ آسیایی (*Acinonyx jubaticus venaticus*)، شبکه جاده‌ای موجود در شهرستان‌های نائین و خور و بیابانک می‌باشد، به‌طوری‌که جاده اردکان-چوپانان از داخل پناهگاه حیات وحش عباس‌آباد عبور می‌کند. در سال‌های اخیر، تصادفات متعدد و تلفات حیات وحش در این جاده‌ها رخ داده است (مذاکرات شخصی با محیط‌بانان و رئیس اداره محیط زیست واحد نائین).



شکل ۱. منطقه مورد مطالعه و موقعیت شبکه جاده‌ها و شبکه منطقه حفاظت شده

روش کار

در این مطالعه، از شاخص SPROAD به منظور ارزیابی مکانی آشفته‌گی جاده‌ای استفاده شد. بدین منظور ابتدا نقشه شبکه جاده‌ای در شرق استان با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی (۱/۲۵۰۰۰۰) و Google earth در محیط GIS تهیه شد و ارزیابی اثرات اکولوژیک جاده‌ها بر روی زیستگاه‌های طبیعی و بکر و مناطق تحت حفاظت (بدون در نظر گرفتن محدوده شهرها)، انجام گرفت.

برای تعیین شاخص SPROAD، محاسبه ۳ زیرشاخص شدت ترافیک، اثر همسایگی (حاشیه) و درجه قطعه قطعه شدگی زیستگاه لازم است. قبل از شروع، نقشه‌ها به فرمت رستری با Resolution مناسب تبدیل شدند. از آنجایی‌که، با توجه به مطالعات انجام گرفته، تأثیر جاده‌ها بر روی محیط اطراف و زیستمدان مجاور، نزدیک به ۱ کیلومتر از هر طرف جاده می‌باشد (۹، ۱۱، ۱۲ و ۲۳)، منطقه مطالعه به شبکه‌هایی با طول و عرض ۱ کیلومتر تقسیم شد.

برای محاسبه شدت ترافیک (T) از رابطه (۱) استفاده شد. شدت ترافیک برابر با حاصل ضرب طول جاده ($R_{k,i}$) در میانگین تعداد وسایل نقلیه در ساعت در همان جاده ($TV_{k,i}$) است:

$$T_k = \sum_{i=1}^{nk} R_{k,i} \cdot TV_{k,i} \quad [1]$$

برای این منظور، در ابتدا لازم بود که میانگین تعداد وسایل نقلیه در ساعت در جاده‌های مختلف به دست آورده شود. مهم‌ترین منبع گردآوری حجم ترافیک سایت سازمان راهداری و حمل‌ونقل جاده‌ای می‌باشد. با استفاده از این سایت، میانگین تعداد وسایل نقلیه در واحد زمان و مکان به دست آمد. جهت صحت‌سنجی این مقدار از تصاویر ماهواره‌ای Google earth و Bing Maps استفاده شد. با توجه به اینکه این تصاویر در زمانی بین ۱۰ تا ۱۲ صبح تصویربرداری شده و از قدرت تفکیک بالایی برای تشخیص خودرو و حتی نوع خودرو برخوردار بوده و وضعیت جاده را در لحظه نشان می‌دهند، لذا می‌توانند منابع اطلاعاتی مناسبی جهت صحت‌سنجی باشند (۶). تعداد وسایل

اثر همسایگی و درجه قطعه قطعه شدگی، در محیط GIS با استفاده از تابع Fuzzy membership در دامنه ۰ تا ۱۰۰ استاندارد شدند. در ادامه، برای محاسبه شاخص SPROAD، طبق رابطه (۴)، جمع هندسی بر روی لایه‌های استاندارد شده اعمال شد:

$$\begin{aligned} \text{SPROADI}_k &= \sum_i^n w_i \cdot I_{k,\text{norm}} \\ &= w_T \cdot T_{k,\text{norm}} + w_V \cdot V_{k,\text{norm}} + w_F \cdot F_{k,\text{norm}} \end{aligned} \quad [4]$$

در فرمول مذکور، SPROADI_k : شاخص مکانی آشفتنگی جاده‌ای در شبکه k می‌باشد. N : تعداد زیرشاخص‌ها (که در این مطالعه برابر است با ۳ و $w_i = \{w_T, w_V, w_F\}$ که بیانگر وزن اختصاص داده شده به هر زیرشاخص می‌باشد (۱۴). در این مطالعه، وزن اختصاص داده شده به هر سه زیر شاخص یکسان و برابر با ۰/۳۳ در نظر گرفته شد.

یکی از مزیت‌های این شاخص، استفاده از آن در راستای برنامه‌ریزی حفاظتی در منطقه مطالعه می‌باشد (۱۴). به‌همین منظور، رویهم‌گذاری نقشه SPROADI حاصل با نقشه شبکه مناطق حفاظت شده و نقشه مطلوبیت زیستگاه یوزپلنگ آسیایی در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی انجام گرفت. نتایج حاصل، علاوه بر اینکه در شناسایی نواحی تهدید شده و سالم در راستای از بین بردن اثرات در داخل و خارج از مناطق حفاظت شده مفید است، در شناسایی گپ حفاظتی نیز کاربرد دارد.

نتایج و بحث

نتایج حاصل از آنالیزها، نشان می‌دهد که طول کل جاده‌های موجود در شرق استان اصفهان، ۱۰۵۱/۲۶ کیلومتر می‌باشد. جدول ۱، میانگین ترافیک محاسبه شده در تعدادی از جاده‌های اصلی واقع در شرق استان اصفهان را نشان می‌دهد. طبق مذاکرات شخصی با محیط‌بانان و رئیس اداره محیط زیست واحد نائین، سالیانه نزدیک به ۳۰ تصادف در جاده‌های نائین-انارک، نائین- اردستان، اردکان- چوپانان، انارک- چوپانان و نائین- اصفهان گزارش شده است که مربوط به گونه‌های مهمی

نقلیه برای هریک از جاده‌ها در سه سال اخیر محاسبه شد و میانگین آن به‌عنوان تعداد وسایل نقلیه در ساعت برای هریک از جاده‌ها در نظر گرفته شد. بعد از آن، اعداد مربوط به حجم ترافیک در جدول خصوصیات هر یک از جاده‌ها، وارد شد و رابطه (۱) برای تک تک شبکه‌ها محاسبه گردید.

زیرشاخص اثر همسایگی (حاشیه)، به محاسبه تأثیر حاشیه‌ای جاده‌ها بر روی زیستگاه‌های مجاور می‌پردازد و بیانگر این است که حضور و تراکم بالای جاده‌ها می‌تواند اثر همسایگی (حاشیه) را افزایش دهد. برای برآورد اثر همسایگی (V)، ابتدا از تابع Neighborhood و سپس از رابطه (۲) استفاده شد. در این مطالعه، اثر مربوط به هشت سلول همسایه برآورد شد:

$$V_k = \frac{1}{n_k} \cdot \sum_{v=1}^{n_k} T_{k,v} \quad [2]$$

در این رابطه، V_k بیانگر اثر همسایگی در شبکه k ، $T_{k,v}$ بیانگر شدت ترافیک در سلول‌های مجاور (v) شبکه k ، به‌طوری‌که $v = \{1, 2, 3, \dots, n_k\}$ می‌باشد (که البته شدت ترافیک در سلول‌های مجاور متفاوت می‌باشد) و n_k بیانگر تعداد سلول‌های همسایه شبکه k می‌باشد.

زیرشاخص درجه قطعه قطعه شدگی، به محاسبه درجه قطعه قطعه شدگی زیستگاه‌ها در نتیجه عبور جاده‌ها، می‌پردازد. برای محاسبه درجه قطعه قطعه شدگی زیستگاه (F)، از تابع "Spatial join" استفاده شد و محاسبات مربوط به رابطه (۳) در محیط اکسل انجام گرفت. در این رابطه، F_k : درجه قطعه قطعه شدگی شبکه k ، n_k : تعداد پلی‌گون‌هایی است که توسط جاده‌ها ایجاد شده‌اند، A_k : مساحت شبکه k برحسب مترمربع، $A_{j,k}$: بیانگر مساحت قسمتی از پلی‌گون j می‌باشد که توسط جاده قطع شده و در داخل شبکه k قرار دارد (برحسب متر مربع) و $A_{j,k}^{\text{compl}}$ بیانگر مساحت کلی پلی‌گون j می‌باشد:

$$F_k = \frac{A_k}{\sum_{j=1}^{n_k} A_{j,k} \cdot A_{j,k}^{\text{compl}}} \quad [3]$$

نقشه‌های به‌دست آمده برای سه زیرشاخص شدت ترافیک،

جدول ۱. میانگین تعداد وسیله نقلیه در ساعت در جاده‌های اصلی

نام جاده	جندق- دامغان	انارک- خور- ۱	نائین- انارک	اردکان- چوپانان	بیاضه- خور	انارک- خور- ۶۷
تعداد کل وسیله نقلیه	۱۷۴	۱۵۶	۱۳۵	۱۰۲	۵۰	۳۸

توانایی جابه‌جایی حیوانات را بین قسمت‌های مختلف پایین آورده، راه‌های دسترسی به مناطق با اهمیت و حساسی چون پناهگاه حیات وحش عباس‌آباد و پارک ملی سیاه‌کوه را افزایش داده و باعث افزایش آسیب‌پذیری شده است (۵) و (۹).

نتایج حاصل از رویهم‌گذاری نقشه SPROADI (شکل ۲-۲) (د) با نقشه مناطق حفاظت شده نشان داد که پناهگاه حیات وحش عباس‌آباد بیشترین تأثیر را از شبکه جاده‌ای در شرق استان اصفهان می‌پذیرد (شکل ۳- الف). علت این امر، عبور جاده اصلی اردکان- چوپانان از داخل پناهگاه حیات وحش عباس‌آباد، همچنین عبور جاده انارک- خور و جاده ایراج- هفتومان در حاشیه شمالی و شرقی پناهگاه می‌باشد. آمار تصادفات در جاده اردکان- چوپانان بسیار بالا می‌باشد، به طوری که سالانه تعداد زیادی از گونه‌ها از جمله، یوزپلنگ آسیایی، کاراکال و زاغ بور جان خود را در هنگام عبور از این جاده از دست می‌دهند (مذاکرات شخصی و بازدید میدانی).

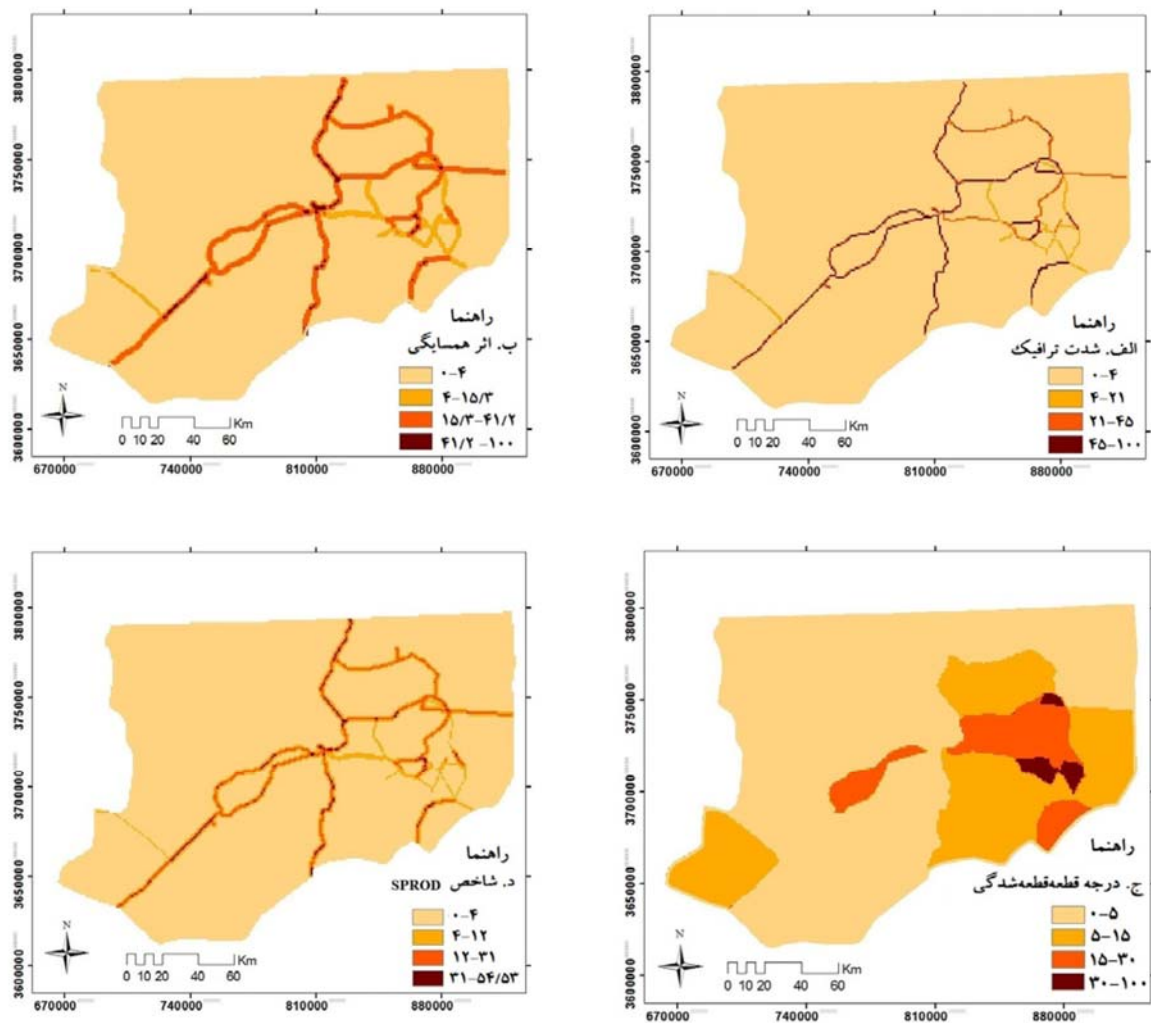
با توجه به شکل ۳- ب، نواحی جنوبی و جنوب شرقی منطقه مطالعه، که شامل مناطق تحت حفاظت عباس‌آباد و سیاه‌کوه می‌باشد، مطلوبیت بسیار بالایی برای گونه یوزپلنگ آسیایی دارد. با توجه به شکل، شبکه جاده‌ای در شرق استان اصفهان، زیستگاه یوزپلنگ آسیایی را به شدت تحت تأثیر قرار داده است، به طوری که حتی آن قسمت از زیستگاه مطلوب یوزپلنگ آسیایی که در داخل مناطق تحت حفاظت عباس‌آباد و سیاه‌کوه قرار دارد، تحت تأثیر قرار گرفته است. از آنجایی که، یوزپلنگ آسیایی، گونه‌ای در معرض خطر انقراض و گونه‌ای با اهمیت جهانی می‌باشد، حفاظت از زیستگاه‌های مطلوب این گونه لازم و ضروری می‌باشد.

با توجه به جدول ۲، نزدیک به ۷۷ درصد از پناهگاه

چون کاراکال، گربه وحشی، شغال، کفتار، شاه روباه، زاغ بور، هوبره و از همه مهم‌تر یوزپلنگ آسیایی می‌باشد.

نقشه‌های تولید شده، نشان‌دهنده ارزش‌های محاسبه شده برای سه زیرشاخص شدت ترافیک (T)، اثر همسایگی (حاشیه) (V)، درجه قطعه قطعه شدگی (F) و شاخص SPROAD می‌باشند (شکل ۲). به منظور درک بهتر نتایج، مقادیر آشفستگی در ۴ طبقه تقسیم شدند. حد آستانه طبقه‌ها براساس روش Natural Break انتخاب شد. این تقسیم‌بندی براساس مرور منابع موجود انتخاب شد (۱۰). با توجه به شکل ۲، بین ارزش‌های به دست آمده برای شدت ترافیک و اثر همسایگی، ارتباط بصری معنی‌داری وجود دارد. با توجه به شکل ۲ (الف، ب و ج)، بیشترین میزان شدت ترافیک و اثر همسایگی در قسمت مرکزی و بیشترین میزان درجه قطعه قطعه شدگی در شرق منطقه مطالعاتی می‌باشد.

با اینکه شاخص SPROAD از جمع هر سه زیرشاخص به دست آمده، با این حال ارتباط مکانی چشم‌گیری با نقشه شدت ترافیک و اثر همسایگی دارد. شاخص SPROAD اجرایی شده برای داده‌های ترافیکی و جاده‌ای شرق استان اصفهان، در دامنه ۰ تا ۵۴/۵۳ قرار دارد. جاده‌هایی چون جاده اردکان- چوپانان که از داخل پناهگاه حیات وحش عباس‌آباد عبور کرده است، جاده‌های انارک- خور، نائین- انارک و جاده جندق- دامغان میزان بالای آشفستگی جاده‌ای را نشان می‌دهند. برعکس، جاده بیاضه- خور که در قسمت شرقی منطقه مورد مطالعه قرار دارد، پایین‌ترین میزان آشفستگی را نشان می‌دهد. با توجه به شکل ۲- د، حدود ۱۰ درصد از منطقه مورد مطالعه، تحت تأثیر شبکه جاده‌ها قرار دارد. شبکه جاده‌ای در شهرستان‌های نائین و خورویبانک، علاوه بر اینکه باعث تکه تکه شدن زیستگاه‌ها شده و



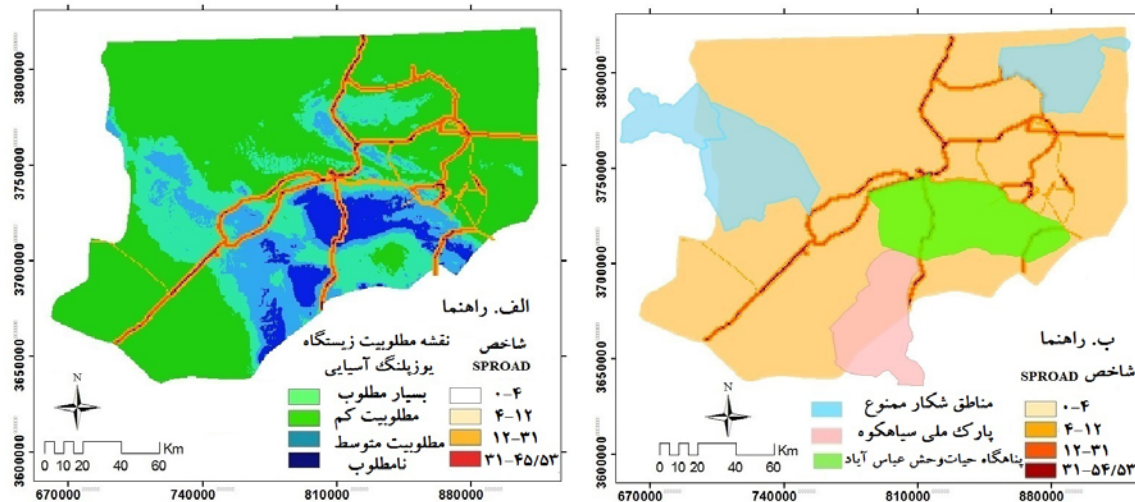
شکل ۲. نقشه‌های مربوط به (الف) شدت ترافیک، (ب) اثر همسایگی، (ج) درجه قطعه قطعه شدگی و (د) شاخص SPROAD

بر روی زیستگاه‌های موجود در شرق استان اصفهان، از شاخص SPROAD استفاده شد. نتایج حاصل نشان داد که مقادیر شدت آشفتنگی حاصل از شبکه جاده‌ها در دامنه ۰ تا ۵۳/۵۴ می‌باشد. با توجه به نتایج، نزدیک به ۱۰ درصد از منطقه مطالعه تحت تأثیر شبکه جاده‌ای قرار دارد. در مطالعه‌ای که توسط فریدنبرگر در ایالت برندبرگ در آلمان انجام گرفت، شدت آشفتنگی جاده‌ای در دامنه ۰ تا ۸۳/۶۷ به‌دست آمد (۱۴). با اینکه تراکم شبکه جاده‌ای در شرق استان اصفهان کمتر از آلمان می‌باشد، ولی درصد بالایی از حجم ترافیک در شرق

حیات وحش عباس‌آباد، زیستگاهی مطلوب برای یوزپلنگ آسیایی محسوب می‌شود. با این حال، نزدیک به ۱۲ درصد از این پناهگاه تحت تأثیر شبکه جاده‌ای قرار دارد. همچنین، نزدیک به ۵۷ درصد از پارک ملی سیاه‌کوه، زیستگاهی مطلوب برای یوزپلنگ آسیایی محسوب می‌شود که نزدیک به ۱ درصد از این پارک تحت تأثیر شبکه جاده‌ای قرار گرفته است.

نتیجه‌گیری

در این مطالعه، به‌منظور ارزیابی اثرات اکولوژیک شبکه جاده‌ها



شکل ۳. نقشه‌های حاصل از الف) رویهم‌گذاری شبکه مناطق حفاظت شده و نقشه SPROADI.

ب) رویهم‌گذاری نقشه مطلوبیت زیستگاه یوزپلنگ آسیایی (۲) و نقشه SPROADI

جدول ۲. مساحت مناطق حفاظت شده، مساحت زیستگاه مطلوب یوزپلنگ آسیایی در هریک از مناطق حفاظت شده و شدت آشفته‌گی جاده‌ای در هریک از مناطق حفاظت شده

آشفته‌گی جاده‌ای		مساحت زیستگاه مطلوب برای یوزپلنگ آسیایی (هکتار)	مساحت (هکتار)	منطقه حفاظت شده
آشفته‌گی با شدت کم	آشفته‌گی با شدت زیاد			
۲۵۴۰۰	۱۵۳۰۰	۲۳۳۹۷۳	۳۰۵۴۳۳	پناهگاه حیات وحش عباس‌آباد
۴۰۰	-	۱۱۶۶۷۴	۲۰۵۷۸۲	پارک ملی سیاه‌کوه

و حش عباس‌آباد و جاده انارک- خور از مرز شمالی آن عبور می‌کند. با توجه به مرور منابع انجام گرفته و بازدید میدانی، شدت ترافیک در این جاده‌ها بسیار بالا است که بیشتر مربوط به عبور و مرور ماشین‌های سنگین می‌باشد (جدول ۱). علاوه بر آن، آمار تصادفات گزارش شده در این جاده‌ها بسیار بالاست، به‌طوری‌که سالانه گزارش‌هایی در رابطه با مرگ و میر یوزپلنگ آسیایی، کاراکال، گربه وحشی و زاغ بور وجود دارد (بازدید میدانی و مذاکرات شخصی با محیط‌بانان). دو نیمه شدن این پارک توسط جاده، حرکت و جابه‌جایی حیات وحش را با مشکل مواجه کرده است (۵، ۹ و ۱۴). در این منطقه، زیرگذرهایی برای عبور حیات وحش تعبیه شده که چندان مورد

استان اصفهان، مربوط به وسایل نقلیه سنگین می‌باشد، در حالی‌که در آلمان حجم ترافیک مربوط به وسایل نقلیه سنگین، بسیار کمتر می‌باشد (۱۴).

نوآوری مطالعه، ارزیابی اثرات تجمعی شبکه جاده‌ها بر روی زیستگاه‌ها و مناطق تحت حفاظت می‌باشد. نتایج نشانگر بالا بودن شدت آشفته‌گی جاده‌ای در پناهگاه حیات وحش عباس‌آباد واقع در جنوب شرقی استان اصفهان، در نتیجه رویهم‌گذاری شاخص SPROAD با شبکه مناطق حفاظت شده، می‌باشد. علت این امر را می‌توان در نامناسب بودن کاربری اراضی و زیرساخت‌های توسعه در این منطقه دانست (۴ و ۸). در این ناحیه، جاده اردکان- چوپانان دقیقاً از داخل پناهگاه حیات

نتایج حاصل از این شاخص می‌توان به شناسایی نواحی مناسب برای پیوستن به شبکه مناطق حفاظت شده پرداخت. در قسمت جنوب منطقه مورد مطالعه، حد فاصل بین پارک ملی سیاه‌کوه و جاده انارک-خور، منطقه‌ای وجود دارد که عاری از آشفته‌گی جاده‌ای است، همچنین از زیستگاه‌های مطلوب یوزپلنگ آسیایی محسوب می‌شود. مطالعات گسترده‌تر جهت بررسی مطلوبیت نواحی برای پیوستن به شبکه مناطق حفاظتی لازم می‌باشد.

تشکر و قدردانی

در نهایت از جناب آقای دکتر محمودرضا همای، جناب آقای دکتر حسین مددی، محیط‌بانان دلسوز، به دلیل همکاری در این پژوهش کمال تشکر و قدردانی را دارم.

استفاده حیوانات قرار نمی‌گیرد. علت بالا بودن آمار تصادفات در این پناهگاه، وجود چشمه در آن طرف جاده می‌باشد که گونه‌هایی چون یوزپلنگ آسیایی و کاراکال برای رسیدن به چشمه مجبورند از جاده عبور کنند. یکی دیگر از تأثیرات منفی این جاده‌ها، افزایش دسترسی شکارچیان به منطقه حفاظت شده می‌باشد که در نتیجه آن شکار غیرقانونی انجام می‌گیرد (بازدید میدانی).

علاوه بر آن، نتایج حاصل از رویه‌م‌گذاری شاخص SPROAD با نقشه مطلوبیت زیستگاه یوزپلنگ آسیایی نشان داد که مساحت قابل توجهی از زیستگاه‌های مطلوب یوزپلنگ تحت تأثیر شبکه جاده‌ای قرار گرفته است. در واقع حتی قسمت‌هایی از زیستگاه یوزپلنگ، که در داخل شبکه مناطق حفاظت شده از جمله پناهگاه حیات وحش عباس‌آباد و پارک ملی سیاه‌کوه قرار دارد تحت تأثیر شبکه جاده‌ای قرار گرفته است. با استفاده از

منابع مورد استفاده

۱. اکبری، ح.، م. جلالپور، و. حجتی و م. گل محمدی. ۱۳۸۹. بررسی فون خزندگان و پرندگان پناهگاه حیات وحش عباس‌آباد نائین در استان اصفهان. فصلنامه علمی-پژوهشی زیست‌شناسی جانوری ۳(۲): ۱-۱۲.
۲. بردخوانی، م. ۱۳۹۳. مدل‌سازی پراکنش یوزپلنگ آسیایی (*Acinonyx jubatus venaticus*). پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان.
۳. حجتی، و. و ص. پورعلی دارستانی. ۱۳۸۶. بررسی فونستیک ماهیان، دوزیستان و خزندگان منطقه چشمه علی دامغان. فصلنامه علمی پژوهشی زیست‌شناسی دانشگاه آزاد اسلامی واحد گرمسار ۲(۱): ۳۵-۲۷.
۴. طرح پایه آمایش استان اصفهان. ۱۳۸۹. "شناخت وضع موجود و روند گذشته"، معاونت برنامه‌ریزی استانداری، ۴۷۲ ص.
۵. عرفانیان، ب.، س. میرکریمی، ع. سلمان ماهینی و ح. رضایی. ۱۳۸۹. نقش روگذر و زیرگذر در جبران آثار منفی تکه تکه شدن زیستگاه‌ها (مطالعه موردی: پارک ملی گلستان). محیط‌زیست و توسعه ۱(۱): ۳۵-۴۲.
۶. مددی، ح.، ح. مرادی، س. فاخران، م. جوکار و ت. مکی. ۱۳۹۳. مدل‌سازی انتشار آلودگی صوتی ناشی از کنارگذر غرب اصفهان در پناهگاه حیات وحش قمیشلو با استفاده از مدل بوم‌شناسی کاربردی. مجله علمی پژوهشی بوم‌شناسی کاربردی ۳(۹): ۵۵-۴۳.
۷. مدرس اسف، ر. ۱۳۸۲. پیش‌بینی خشکسالی هیدرولوژیک با استفاده از تحلیل سری زمانی در یکی از سرشاخ‌های زاینده‌رود، پایان‌نامه کارشناسی ارشد بیابان‌زدایی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان.
۸. معاونت محیط طبیعی. ۱۳۸۹. گزارش جامع وضعیت مناطق تحت مدیریت محیط زیست استان اصفهان با تأکید بر قابلیت‌های مهم، تهدیدها، مسائل و مشکلات مهم و خاص و راهکارهای پیشنهادی، اداره کل حفاظت محیط زیست استان اصفهان، ۲۲۵ ص.
۹. مکی، ت.، س. فاخران، ح. مرادی، م. ایروانی و م. فرهمند. ۱۳۹۱. ارزیابی اثرات بوم‌شناختی کنارگذر غرب اصفهان بر پناهگاه

حیات وحش قمیشلو با استفاده از روش HEP. *مجله علمی پژوهشی بوم‌شناسی کاربردی* ۱(۲): ۵۱-۳۹.

10. Chandimal, W. P. A. I. M. and N. T. S. Wijesekera. 2008. A GIS approach to identify road network improvement needs—case study of Kaduwela, Sri Lanka. *Engineer* 41(04): 116-125.
11. Eigenbrod, F., S. J. Hecnar and L. Fahrig. 2009. Quantifying the road effect zone: threshold effects of a motorway on anuran populations in Ontario. *Ecology & Society* 14(1): 24.
12. Forman, R. T. T. and R. D. Deblinger. 2000. The ecological road-effect zone of a Massachusetts (USA) suburban highway. *Conservation Biology* 14(1): 36-46.
13. Forman, R. T. T., D. Sperling, J. A. Bissonette, A. P. Clevenger, C. D. Cutshall, V. H. Dale, L. Fahrig, R. France, C. R. Goldman, K. Heanue, J. Jones, F. Swanson, T. Turrentine and T. C. Winter. 2003. *Road Ecology: Science and Solutions*. Island Press, Washington, DC, 504 p.
14. Freudenberger, L. R., P. Hobson, S. Rupic, G. Pe'er, M. Schluck, J. Sauermaun, S. Kreft, N. Selva and P. L. Ibisch. 2013. Spatial road disturbance index (SPROADI) for conservation planning: a novel landscape index, demonstrated for the State of Brandenburg, Germany. *Landscape Ecology* 28: 1353-1369.
15. Hoskin, C. J. and M. W. Goosem. 2010. Road impacts on abundance, call traits, and body size of rainforest frogs in northeast Australia. *Ecology & Society* 15(3): 15.
16. Jaeger, J. A. G. 2000. Landscape division, splitting index, and effective mesh size: new measures of landscape fragmentation. *Landscape Ecology* 15(2): 115-130.
17. Jump, A. S. and J. Pen˜uelas. 2005. Running to stand still: adaptation and the response of plants to rapid climate change. *Ecology Letters* 8(9): 1010-1020.
18. Opdam, P., J. Verboom and R. Pouwels. 2003. Landscape cohesion: an index for the conservation potential of landscapes for biodiversity. *Landscape Ecology* 18: 113-126.
19. Parris, K. M. and A. Schneider. 2009. Impacts of traffic noise and traffic volume on birds of roadside habitats. *Ecology & Society* 14(1): 29.
20. Pascual-Hortal, L. and S. Saura. 2006. Comparison and development of new graph-based landscape connectivity indices: towards the prioritization of habitat patches and corridors for conservation. *Landscape Ecology* 21: 959-967.
21. Riley, S. P. D., J. P. Pollinger, R. M. Sauvajot, E. C. York, C. Bromley, T. K. Fuller and R. K. Wayne. 2006. A southern California freeway is a physical and social barrier to gene flow in carnivores. *Molecular Ecology* 15(7): 1733-1741.
22. Selva, N., S. Kreft, V. Kati, M. Schluck, B. Jonsson, B. Mihok, H. Okarma and P. L. Ibisch. 2011. Road less and low-traffic areas as conservation targets in Europe. *Environmental Management* 48(5): 865-877.
23. UNEP. 2001. *Globio: global methodology for mapping human impacts on the biosphere. UNEP/DEWA/TR.01-3. Environment Information and Assessment Technical Report. UNEP. Nairobi, UNEP: 55.*