

ارزیابی همبستگی بین خدمت بوم‌شناختی گرده‌افشانی و سنجه‌های الگوی سیمای سرزمین (منطقه مورد مطالعه: استان قزوین)

آصف درویشی^۱، مریم یوسفی^۱ و نغمه مبرقعی دینان^{۱*}

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۰/۲۷؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۳/۲)

چکیده

گرده‌افشانی یک خدمت بوم‌شناختی با ارزش اقتصادی غیرقابل انکار است که با رفاه انسان و سلامت بوم‌شناختی سیمای سرزمین مرتبط است. این مطالعه با هدف ارزیابی همبستگی بین پیچیدگی سیمای سرزمین و خدمت گرده‌افشانی (زنبور) در مقیاس سیمای سرزمین استان قزوین انجام شده است. در این مطالعه، سنجه‌های الگوی سیمای سرزمین (تعداد لکه، غنای لکه، تراکم حاشیه و تنوع شانون) به عنوان شاخصی برای ارزیابی پیچیدگی سیمای سرزمین، با الگوریتم مدل‌ساز در نرم‌افزار ArcGIS و خدمت گرده‌افشانی با مدل InVEST استخراج شد. همبستگی بین خدمت گرده‌افشانی و پیچیدگی سیمای سرزمین در محیط SPSS محاسبه شد. نتایج همبستگی بین خدمت گرده‌افشانی و سنجه‌های الگوی سیمای سرزمین نشان داد همبستگی بین گرده‌افشانی و تنوع شانون با رگرسیون خطی، مناسب‌ترین نتیجه را در پی داشته و دارای رابطه معنی‌دار در سطح ۰/۰۱ است (**۰/۴۲۰). همبستگی دیگر سنجه‌های الگوی سیمای سرزمین با گرده‌افشانی، با رگرسیون درجه ۲ مناسب تشخیص داده شد. همبستگی تعداد لکه (**۰/۱۷۱) و غنای لکه (**۰/۳۵۲) در سطح ۰/۰۱ معنی‌دار بوده و همبستگی تراکم حاشیه معنی‌دار نبود (۰/۰۰۲). نتایج مطالعه نشان داد که در تعداد و غنای لکه کمتر، همبستگی مثبت و در تعداد و غنای لکه بیشتر، همبستگی منفی وجود دارد که نشان‌دهنده اثر تکه‌تکه‌شدگی بر ارائه خدمت گرده‌افشانی است. نتایج این مطالعه می‌تواند در برنامه‌ریزی سیستم‌های کشاورزی و مدیریت تنوع زیستی به منظور حفظ فرایندهای بوم‌شناختی کاربرد داشته باشد.

واژه‌های کلیدی: خدمات اکوسیستم، گرده‌افشانی، تنوع زیستی، تولیدات کشاورزی، استان قزوین

۱. گروه برنامه‌ریزی و طراحی محیط، پژوهشکده علوم محیطی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران

*: مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: n_mobarghei@yahoo.com

مقدمه

هر دو، به گرده‌افشانی متکی بوده و تقریباً ۹۰ درصد از تمام گونه‌های گیاهان گل‌دار وحشی به خدمات گرده‌افشانی وابسته هستند (۳۳).

توسعه مداوم سیمای سرزمین توسط بشر، به‌طور مستقیم با اختلال در گرده‌افشانی به‌عنوان عملکرد بوم‌شناختی سیمای سرزمین در ارتباط بوده است. امروزه هم جمعیت گرده‌افشان‌ها و هم گیاهان گل‌ده در سطح سیمای سرزمین اصلاح‌شده توسط انسان کاهش یافته و یا به سمت انقراض محلی سوق یافته است (۲۶). به‌علاوه، انزوای جغرافیایی جمعیت در جریان تکه‌تکه‌شدگی سیمای سرزمین، جریان‌گرده را در بین جمعیت‌ها محدود می‌کند و باعث کاهش بیشتر موفقیت تولید مثل گیاهان می‌شود (۲۵). در مقیاس‌های گسترده‌تر، الگوی سیمای سرزمین تغییر یافته (به‌عنوان مثال تغییر در ترکیب و یا پیکربندی تکه‌های زیستگاه)، توزیع زمانی و مکانی سایت‌های جستجو، لانه‌سازی و زمستان‌گذرانی را محدود می‌کند (۳۴).

تحقیقات در مورد اثرات الگوی سیمای سرزمین بر خدمت گرده‌افشانی، بر اهمیت ترکیب زیستگاه (یعنی تعداد و فراوانی تکه‌های زیستگاه) و به‌میزان کمتری پیکربندی زیستگاه (یعنی آرایش فضایی تکه‌های زیستگاه) متمرکز شده است (۳۱).

معیارهای سیمای سرزمین ابزار مهمی هستند که برای درک ساختار و تغییرات آن استفاده می‌شوند. برای استفاده از این معیارها، داده‌های عددی به‌طور عمده از تصاویر ماهواره‌ای مربوط به ساختار سیمای سرزمین به‌دست می‌آیند (۷). این معیارها امکان انجام بررسی‌های عینی در مورد ساختار سیمای سرزمین را فراهم می‌کنند. ساختار سیمای سرزمین از طریق دو جزء ترکیب و توزیع فضایی عناصر ساختاری قابل بررسی است (۱۱). ترکیب، مشخصاتی از ساختار شامل تنوع لکه‌های کاربری و پوشش اراضی بوده و توزیع فضایی، شامل مشخصات فضایی و هندسی، شکل و اندازه انواع لکه‌های پوشش و کاربری اراضی است که از این طریق، مطالعه ناهمگنی فضایی ساختار را امکان‌پذیر می‌کند (۲۷).

مطالعه عملکرد بوم‌شناختی گرده‌افشانی سیمای سرزمین به

رشد جمعیت انسانی و توسعه صنعتی منجر به افزایش و ناپایداری در مصرف منابع طبیعی شده است (۱۲). فشارهای محیط‌زیستی مرتبط با یکدیگر، تنوع زیستی جهانی را تهدید می‌کند (۳۶) و ارائه خدمات حیاتی اکوسیستم را به خطر می‌اندازد. خدمات اکوسیستمی و اکوسیستم‌های طبیعی و گونه‌های تشکیل‌دهنده آنها، به زندگی انسان پایداری می‌بخشند (۵). بخشی از خدمات اکوسیستمی توسط اکوسیستم‌های کشاورزی ارائه می‌شود. این اکوسیستم‌ها در درجه اول برای بهینه‌سازی تأمین انرژی، فیبر و سوخت، مدیریت می‌شوند (۴۱) که به طیف گسترده‌ای از خدمات پشتیبان و تنظیمی مانند باروری خاک و گرده‌افشانی وابسته هستند و ظرفیت بیوفیزیکی اساسی اکوسیستم‌های کشاورزی را تعیین می‌کنند (۳۹). در این میان، خدمت گرده‌افشانی یک نمونه برجسته محسوب می‌شود. زنبورها، مگس‌ها، سوسک‌ها، پروانه‌ها و دیگر حشرات، اکثر قریب به اتفاق گرده‌افشان‌های جهان را تشکیل می‌دهند (۱۶).

گرده‌افشانی یک خدمت بوم‌شناختی با ارزش اقتصادی غیرقابل انکار است که از طریق تولید محصولات کشاورزی و امنیت غذایی به رفاه انسان مرتبط است (۲۱). ارزش اقتصادی جهانی خدمات گرده‌افشانی در سال ۲۰۰۵ برابر با ۲۱۵ میلیارد دلار بوده که ۹/۵ درصد از ارزش تولید جهانی مواد غذایی را به خود اختصاص می‌دهد (۱۷). گرده‌افشانی حشرات، یک سازوکار حیاتی برای حمایت از حیات است که زیربنای خدمات تنوع زیستی و اکوسیستم است (۳۸). کشاورزی از طرفی از خدمت گرده‌افشانی نفع می‌برد و از طرف دیگر عامل اصلی کاهش گرده‌افشانی از طریق تغییر کاربری زمین، استفاده از مواد شیمیایی و سایر روش‌های کشاورزی سنتی یا مکانیزه در مقیاس وسیع است (۱۴).

تخمین زده می‌شود که ۸۷ مورد از ۱۱۵ محصول عمده کشت‌شده در سراسر جهان، تا حد زیادی به گرده‌افشانی وابسته هستند (۲۴). علاوه بر این، بیش از سه‌چهارم انواع اصلی محصولات غذایی در مقیاس جهانی از نظر عملکرد، کیفیت و یا

به دلیل نزدیکی به تهران به شدت در حال صنعتی شدن است.

تعیین اندازه بهینه واحدهای نمونه مورد مطالعه

به منظور شناسایی واحدهای نمونه سیمای سرزمین در استان قزوین، کل استان به پهنه‌های کوچکی تقسیم شد که واحد نمونه مورد مطالعه را تشکیل می‌دهند. این واحدها به منظور کاهش اثرات حاشیه و جلوگیری از ایجاد لکه‌های ناکارآمد به شکل شش ضلعی انتخاب شد که اندازه هر واحد ۱۱۰۰ هکتار است. برای تعیین اندازه هر واحد نمونه، از ۱۰ واحد نمونه تصادفی در سطح استان، پهنه‌هایی با مساحت‌های مختلف (۱۰۰، ۲۵۰، ۵۰۰، ۷۵۰، ۱۰۰۰، ۱۲۵۰ و ۱۵۰۰ هکتار) انتخاب شده و سنجه‌های سیمای سرزمین مورد استفاده در این مطالعه که شامل تعداد لکه (NP = Number of Patches)، غنای لکه (PR = Patch Richness)، تراکم حاشیه (ED = Edge Density) و تنوع شانون (H = Shannon Index) هستند، در هر واحد و در مساحت‌های مختلف اندازه‌گیری شد (شکل ۲). به این ترتیب، مساحتی که اندازه سنجه‌های غیرتجمعی با افزایش مساحت واحد، تغییر معنی‌داری پیدا نمی‌کند، به عنوان مساحت بهینه انتخاب شد (۳۰).

تهیه نقشه کاربری و پوشش اراضی

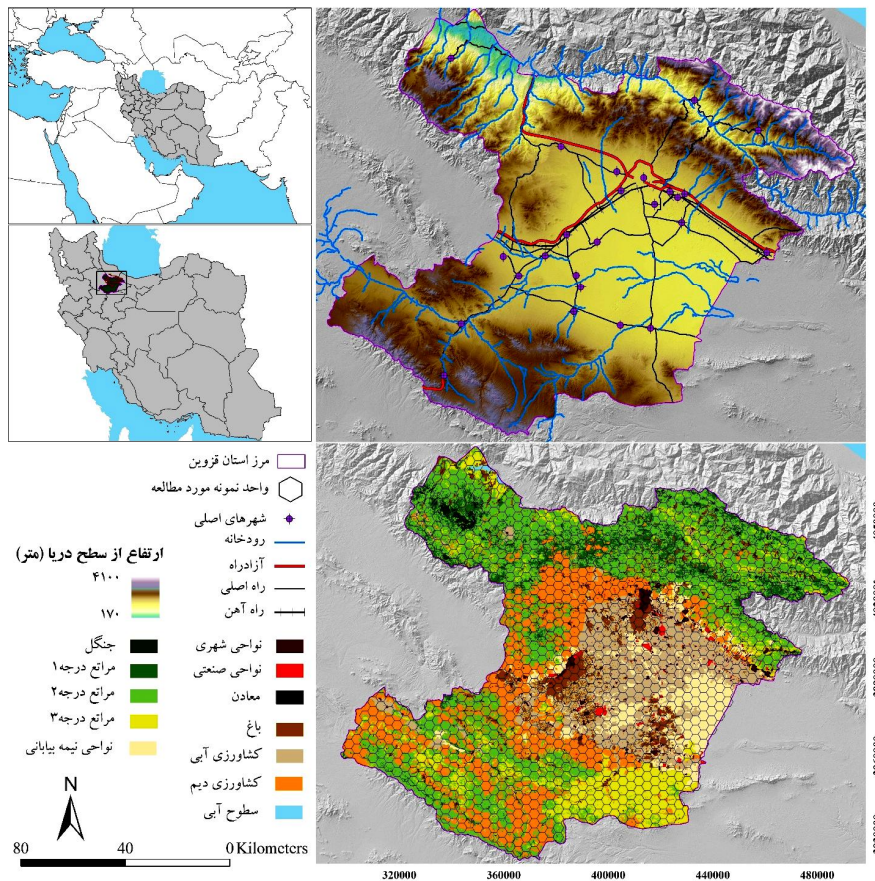
با توجه به اینکه خدمت گرده‌افشانی به عنوان هدف مطالعه حاضر به داده‌های کاربری و پوشش اراضی وابسته است، بنابراین لازم است نقشه کاربری و پوشش اراضی دقیقی تهیه شود. برای این منظور، از روش تفسیر تلفیقی (On Screen Digitizing) که شامل تفسیر بصری و تهیه کلید تفسیر (نقشه واقعیت زمینی) است، استفاده شد (۲۸). در تفسیر بصری، براساس طبقات کاربری و پوشش اراضی مدنظر، بازدیدهای میدانی برای تهیه کلید تفسیر انجام شد و سپس با استفاده از اطلاعات جانبی مانند تصاویر رنگی Google Earth و نقشه راه‌ها و با صرف زمان کافی، سعی شد تا دقیق‌ترین نقشه کاربری و پوشش اراضی تولید شود. بنابراین در این روش نیازی به اعتبارسنجی

دانشی فراتر از دانش بوم‌شناسی که بر روابط بین موجودات زنده و محیط غیرزنده آنها تمرکز دارد، نیازمند است. دانشی که به مطالعه ساختار، عملکرد و تغییرپذیری (تغییر زمانی و مکانی در ساختار و عملکرد) سیمای سرزمین می‌پردازد، بوم‌شناسی سیمای سرزمین است (۱۵). این دانش، به عنوان علم و هنر مطالعه تأثیرگذاری روابط بین اجزای سیستم سیمای سرزمین در مقیاس‌های مکانی و زمانی مختلف نیز تعریف شده است (۴۰). این مطالعه، با هدف ارزیابی وضعیت الگوی سیمای سرزمین، خدمت گرده‌افشانی در مقیاس سیمای سرزمین و همچنین مطالعه همبستگی اثرات پیچیدگی ساختار سیمای سرزمین بر خدمت گرده‌افشانی در استان قزوین انجام شده و تغییرات این خدمت بر اساس تغییرات پیچیدگی سیمای سرزمین در بعد فضایی سیمای سرزمین را نشان می‌دهد.

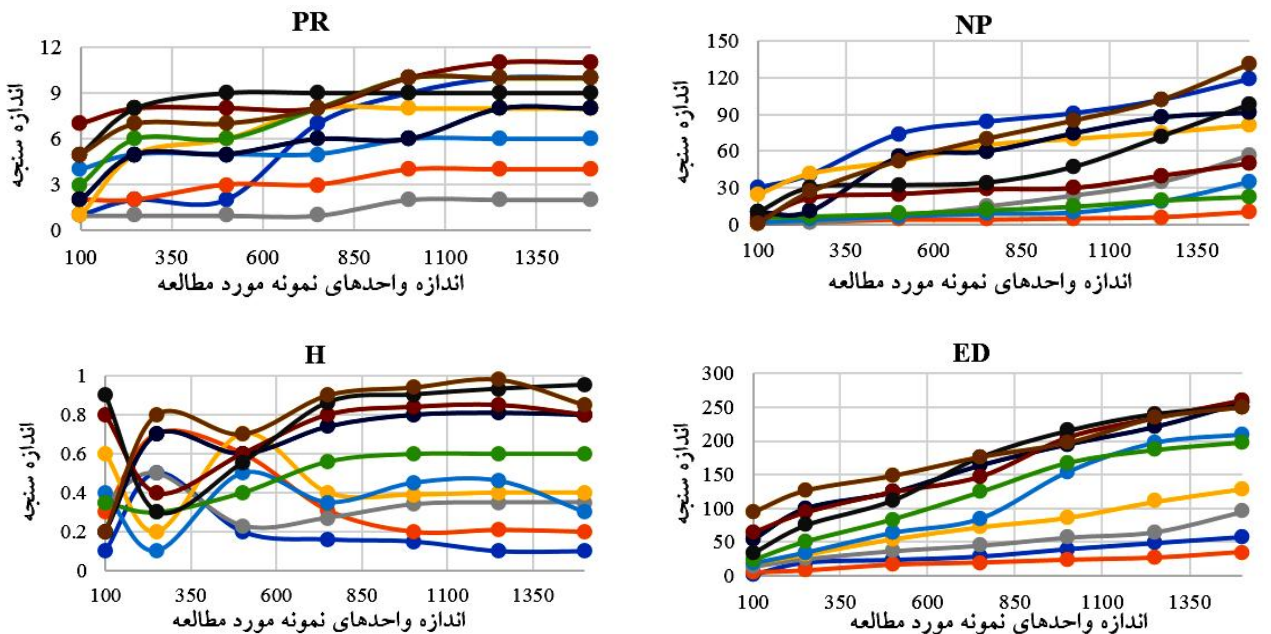
مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

استان قزوین یکی از ۳۱ استان کشور است که از شمال با استان گیلان، از شرق با استان البرز، از جنوب با استان‌های مرکزی و همدان و از غرب با استان زنجان هم‌مرز است. در این مطالعه ۱۳۵۴ واحد نمونه مورد بررسی قرار گرفت که در مجموع ۱۴۸۹۴۰۰ هکتار را شامل می‌شود (شکل ۱). سیمای سرزمین استان قزوین از تنوع زیادی برخوردار است، به طوری که ناحیه شرقی دارای اراضی نیمه بیابانی، دشت مرکزی شاهد اراضی کشاورزی فشرده، شمال منطقه شامل مراتع کم‌تراکم تا پرتراکم و نوار جنوبی استان شامل مراتع کم‌تراکم و تپه‌ماهورهاست که تنوع زیستگاهی زیادی را در استان ایجاد کرده است (۴۲) و (۴۳). تنوع زیستگاهی باعث تنوع جانوری و گیاهی استان شده و تنوع زیستی زیادی را پشتیبانی می‌کند (۱۳). تنوع بالای زیستگاهی، جانوری و گیاهی در استان باعث تعریف ۵ ناحیه حفاظتی شده که شامل سه منطقه حفاظت‌شده و دو منطقه شکارممنوع است. دشت مرکزی استان قزوین یکی از اکوسیستم‌های کشاورزی مهم کشور از نظر تأمین غذاست که



شکل ۱. موقعیت مکانی منطقه و واحدهای نمونه مورد مطالعه در استان قزوین (منبع: نگارندگان) (رنگی در نسخه الکترونیکی)



شکل ۲. نمودار مقادیر سنجه‌های الگوی سیمای سرزمین در نمونه‌های تصادفی انتخاب شده و در مساحت‌های مختلف (اندازه مساحت‌ها با نظر کارشناسی و تجربی انتخاب شده است). (رنگی در نسخه الکترونیکی)

زنبور زندگی می‌کنند که بیشتر آنها مربوط به سه خانواده *Halictidae*، *Apidae*، *Andrenidae* هستند (۲۰). در این مطالعه رفتار این سه خانواده در لانه‌گزینی و وابستگی آنها به نوع کاربری و پوشش اراضی و همچنین در دسترس بودن گیاهان گل‌ده در فصول مختلف سال برای هر خانواده مورد ارزیابی قرار گرفت. اولین مرحله مدل InVEST که برای این مطالعه در نظر گرفته شد، ارزیابی شاخص فراوانی هر خانواده زنبور در هر واحد سیمای سرزمین است. از آنجا که فراوانی گرده‌افشان به وسیله لانه‌گزینی و منابع گل‌ده محدود می‌شود، بنابراین فراوانی گونه در هر واحد مطالعاتی براساس غذا و آشیانه‌سازی با رابطه ۱ محاسبه می‌شود (۴).

$$PS_{x\beta} = v_x P_{x\beta} \frac{\sum_{m=1}^M \frac{Y_{\beta m}}{P_{\beta m}} e^{-\frac{D_{mx}}{\alpha_{\beta}}}}{\sum_{m=1}^M e^{-\frac{D_{mx}}{\alpha_{\beta}}}} \quad (1)$$

در این رابطه، V_0 ارزش محصول در هر مزرعه o را نشان می‌دهد و $P_{x\beta}$ شاخص پراکندگی (۰ تا ۱) برای هر خانواده، $P_{o\beta m}$ شاخص پراکندگی زنبورها در هر واحد کاربری کشاورزی، $Y_{o\beta m}$ محصول مورد انتظار مزرعه در هر واحد، D_{mx} فاصله اقلیدوسی بین واحد x و m و α_{β} فاصله تا منبع تغذیه مورد انتظار برای گرده‌افشان β است.

الگوی سیمای سرزمین

تعداد لکه (NP) به تعداد کل لکه‌های کاربری و پوشش اراضی در هر واحد مورد مطالعه اشاره دارد (۱۹) که هرچه تعداد لکه‌ها زیادتر باشد نشان‌دهنده پیچیدگی زیاد یا تکه‌تکه‌شدگی آن واحد است (۳). غنای لکه (PR) به تعداد نوع لکه‌های مختلف در هر واحد مورد مطالعه اشاره دارد و هرچه این تعداد بیشتر باشد باعث افزایش تنوع در آن واحد می‌شود. PR برای محاسبه تنوع و پیچیدگی سیمای سرزمین نیز استفاده شده است (۲۷). سنجه تراکم حاشیه (ED) به حاشیه کل لکه‌ها اشاره دارد (۹) و از رابطه ۲ محاسبه می‌شود. تراکم حاشیه به نظم شکل

نیست (۶) چراکه قابلیت این روش در تهیه نقشه کاربری و پوشش اراضی، در مطالعات مختلف ثابت شده است (۲۹). تمام عارضه‌ها با مشاهده و ثبت مختصات و استفاده از تصاویر دقیق Google Earth و کلیدهای تفسیر، تهیه شده که باعث دقت بالای نتیجه نهایی می‌شود. این روش در نواحی با مساحت کم مرسوم است که به دلیل گستردگی سطح استان قزوین، مطالعات در مقیاس دهستان انجام شد، به گونه‌ای که بررسی و تهیه کلید تفسیر و تفسیر بصری برای هر دهستان، به‌طور جداگانه انجام و سپس با هم تلفیق شد. برای طبقه‌بندی مراتع استان در نقشه کاربری و پوشش اراضی، از شاخص پوشش گیاهی NDVI استفاده شد (۱۰).

خدمت گرده‌افشانی

اقتصاد تنوع‌زیستی و اکوسیستم (The Economics of Ecosystems and Biodiversity =TEEB) و همچنین ارزیابی اکوسیستم هزاره، گرده‌افشانی را به‌عنوان یکی از خدمات تنظیمی اکوسیستم طبقه‌بندی کرده‌اند (۳۵). پتانسیل زیستگاهی برای زنبورهای اهلی و وحشی برای ارزیابی خدمت گرده‌افشانی مورد استفاده قرار گرفته است. عناصر طبیعی و انسان‌ساخت سیمای سرزمین، اساس زیستگاه و آشیانه‌سازی زنبورها هستند و همچنین برای تغذیه زنبورها در کنار گیاهان گل‌ده مورد استفاده قرار می‌گیرند. نقشه کاربری و پوشش اراضی برای تعیین زیستگاه زنبورها مورد استفاده قرار گرفت که براساس نظر کارشناسی و مرور منابع، دو نوع زیستگاه شناسایی شد (۲). نواحی طبیعی همه لکه‌ها به‌طور بالقوه توانایی ارائه زیستگاه برای زنبورها را دارند (۳۲) درحالی‌که فقط بخشی از نواحی نیمه‌طبیعی و انسان‌ساخت مانند اراضی کشاورزی و باغات از این ظرفیت برخوردارند (۳۷).

مدل استفاده‌شده در این مطالعه بر اساس نقشه کاربری و پوشش اراضی است (۴۴) که براساس مناطق آشیانه‌گزینی و در دسترس بودن گیاهان گل‌ده، وضعیت گرده‌افشانی سیمای سرزمین را ارزیابی می‌کند. در ایران بیش از ۱۰۰۰ گونه مختلف

مطالعه در نظر گرفته شده که در مجموع ۹۶ درصد مساحت استان را پوشش داده‌اند. در نتیجه، ۴ درصد از سطح استان توسط انسان به ساخت‌وساز شهری، صنعتی، معدنی و توسعه زیرساخت‌های ارتباطی اختصاص یافته است (شکل ۳).

الگوی سیمای سرزمین

توزیع فضایی واحدهای نمونه مورد مطالعه در سطح استان بر اساس سنجه‌های الگوی سیمای سرزمین در شکل ۴ نشان داده شده است. براساس شکل ۴ (الف)، در نواحی جنوب‌غرب و جنوب شهر تاکستان، تعداد لکه‌ها زیاد و خیلی زیاد نشان داده شده و همچنین بیشتر واحدهای شمال‌شرق استان و نواحی الموت نیز دارای تعداد لکه زیاد هستند. واحدهای جنوب‌شرق و شرق که بیشتر نواحی نیمه‌بیابانی استان را شامل می‌شوند، دارای تعداد لکه کم و یکنواختی نسبی هستند. غنای لکه در استان، در نواحی اطراف جاده‌ها و آزادراه‌ها و همچنین در بخش‌های شمال‌شرقی و نواحی الموت نسبتاً بیشتر از نواحی دیگر است و واحدهای نواحی شرقی و جنوب‌شرقی نیز دارای غنای کم و خیلی کم هستند (شکل ۴ ب). تراکم حاشیه واحدهای نمونه مورد مطالعه در جنوب، شرق و مرکز استان کم و خیلی کم است. همچنین واحدهای نوار شمالی و شمال‌شرقی و همچنین جنوب شهرستان تاکستان در بخش جنوب‌غربی دارای تراکم حاشیه زیاد و خیلی زیاد هستند (شکل ۴ ج). تنوع شانون در بیشتر واحدهای مورد مطالعه استان، زیاد و خیلی زیاد است و تنها در شرق، جنوب‌شرقی و مرکز استان، تنوع کم است (شکل ۴ د).

خدمت‌گرده‌افشانی

میزان خدمت‌گرده‌افشانی در دشت مرکزی و مناطق دور از سازه‌های انسانی، نوار شمالی و جنوب‌غربی و بخش‌هایی از نوار غربی بالاست و در نواحی شرقی، جنوب‌شرقی و همچنین نواحی نزدیک به سازه‌های انسانی پایین است (شکل ۵). وجود زیستگاه حشرات گرده‌افشان و منبع گل در فصول مختلف سال از مهم‌ترین شاخص‌های اثرگذار بر گرده‌افشانی

ظاهری لکه‌ها اشاره دارد و هرچه این سنجه زیادتر باشد، نشان‌دهنده وجود زیستگاه‌های اکوتونی در سرزمین بوده و تنوع بالای زیستگاهی را نشان می‌دهد. این سنجه در برنامه‌ریزی فضایی بسیار اهمیت دارد، زیرا بیانگر حساسیت و ناهمگنی واحد مورد نظر است.

$$ED = \frac{\sum_{m=1}^{m=n} m}{h} * 10000 \quad (2)$$

رابطه ۳ برای محاسبه سنجه تنوع شانون در هر واحد مورد مطالعه به کار برده شد. تنوع شانون بر اساس دو مشخصه تعداد لکه‌های متمایز از انواع کاربری‌ها و پوشش اراضی (PR) و توزیع متناسب واحد مورد مطالعه بین انواع کاربری‌ها و پوشش اراضی محاسبه می‌شود (۲۷). به‌طور معمول، این دو بخش "غنا (Richness)" و "یکنواختی (Evenness)" نامیده می‌شوند. غنا به ترکیب سیمای سرزمین (Landscape Composition) اشاره دارد درحالی‌که یکنواختی به پیکربندی سیمای سرزمین (Landscape Configuration) گفته می‌شود (۱۹).

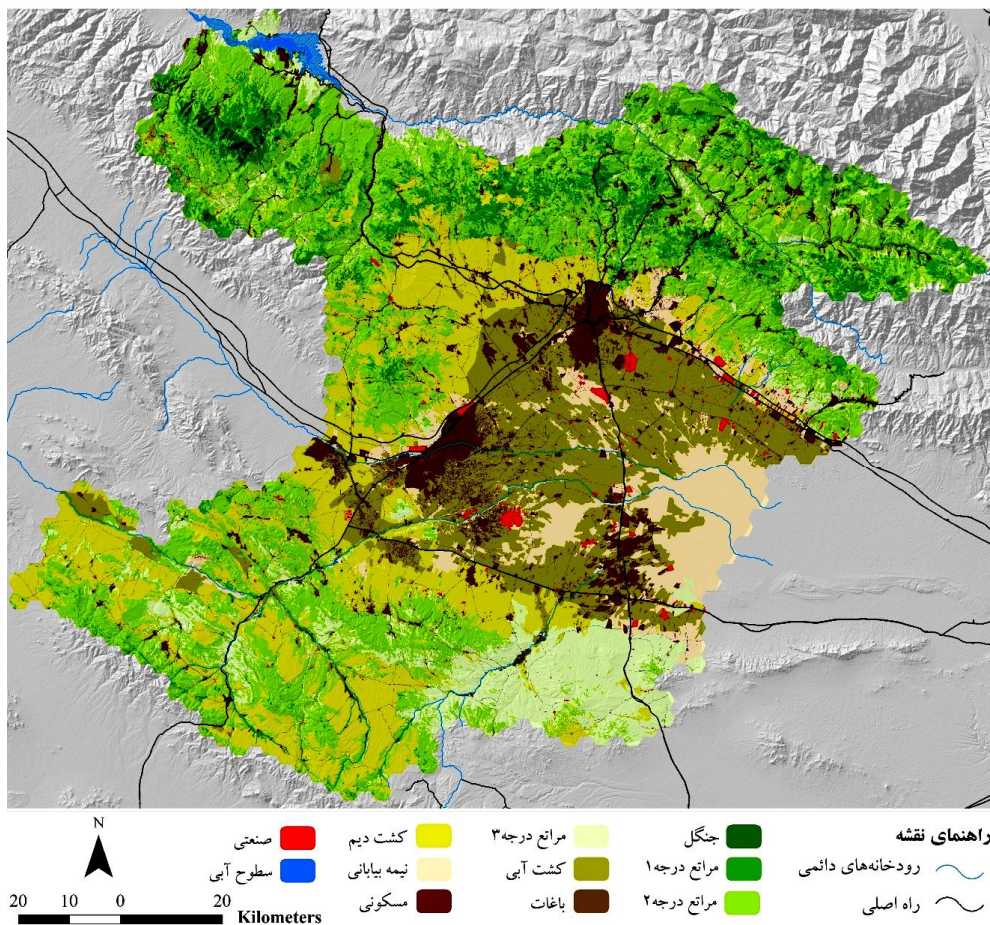
$$H = \left(-\sum_{i=1}^k p_i \log_k p_i \right) (1 - p_u) \quad (3)$$

در این رابطه، k تعداد انواع مختلف کاربری و پوشش اراضی و یا غنای لکه در هر واحد مورد مطالعه، p_i درصد هر طبقه کاربری و پوشش اراضی غیرساخت‌وساز شده و p_u درصد کاربری شهری و توسعه‌ای در راستای کاهش ظرفیت زیستگاهی در هر نمونه مورد مطالعه است.

نتایج و بحث

نقشه کاربری و پوشش اراضی استان

نوار مرکزی استان قزوین بیشتر شامل کشاورزی و باغات صنعتی و شرق استان شامل اراضی نیمه‌بیابانی است. جنگل‌های استان فقط در نوار شمالی حضور داشته و تنها ۰/۸ درصد مساحت استان را تشکیل می‌دهند. بیشترین مساحت استان (۳۲/۵ درصد) توسط مراتع درجه دو پوشیده شده است (شکل ۳). جنگل، مرتع، کشاورزی، باغات، اراضی نیمه‌بیابانی و بستر رودخانه‌های استان به‌عنوان نواحی طبیعی و نیمه‌طبیعی در این



شکل ۳. نقشه کاربری و پوشش اراضی استان قزوین (رنگی در نسخه الکترونیکی)

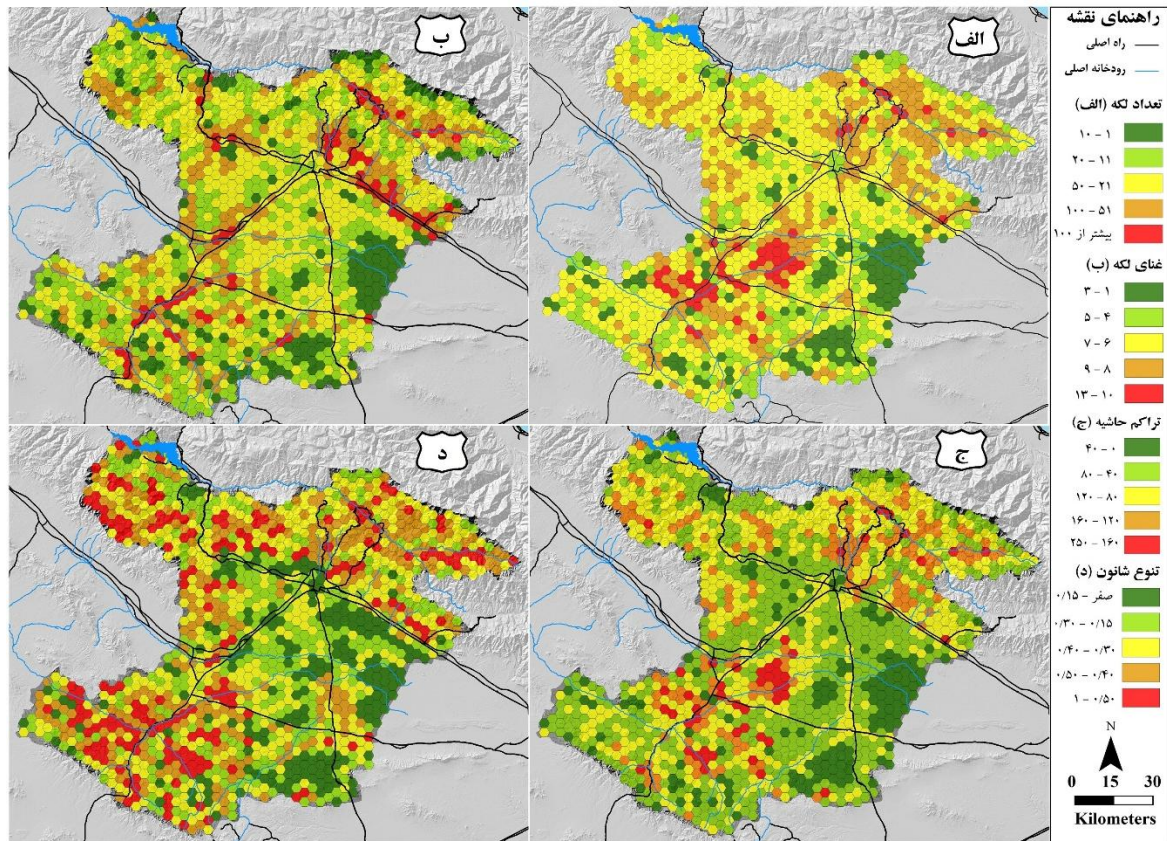
با افزایش تعداد لکه، خدمت گرده‌افشانی افزایش پیدا کرده و در تعداد لکه‌های زیاد، رابطه معکوس را شاهد هستیم که به دلیل اثر تکه‌تکه‌شدگی بر سیمای سرزمین است. با افزایش تکه‌تکه‌شدگی و فعالیت‌های انسانی، گرده‌افشان‌ها از بین می‌روند و در نتیجه خدمت گرده‌افشانی کاهش می‌یابد (۲۳ و ۳۱).

هم‌افزایی مثبت و معنی‌دار بین گرده‌افشانی و غنای لکه (**۰/۳۵۲) بر اساس رگرسیون درجه ۲ به دست آمد (جدول ۱) که البته بر اساس شکل ۶ (ب)، همانند همبستگی با تعداد لکه، در تعداد کلاس‌های کاربری کم، همبستگی قوی و مثبت بین گرده‌افشانی و غنای لکه وجود دارد اما با افزایش غنای لکه، رابطه معکوس شده و با افزایش غنا، گرده‌افشانی کاهش پیدا کرده است. دلیل این امر، تأثیر کاربری‌های انسان‌ساخت بر ترکیب سیمای سرزمین است، زیرا تنها هشت کلاس

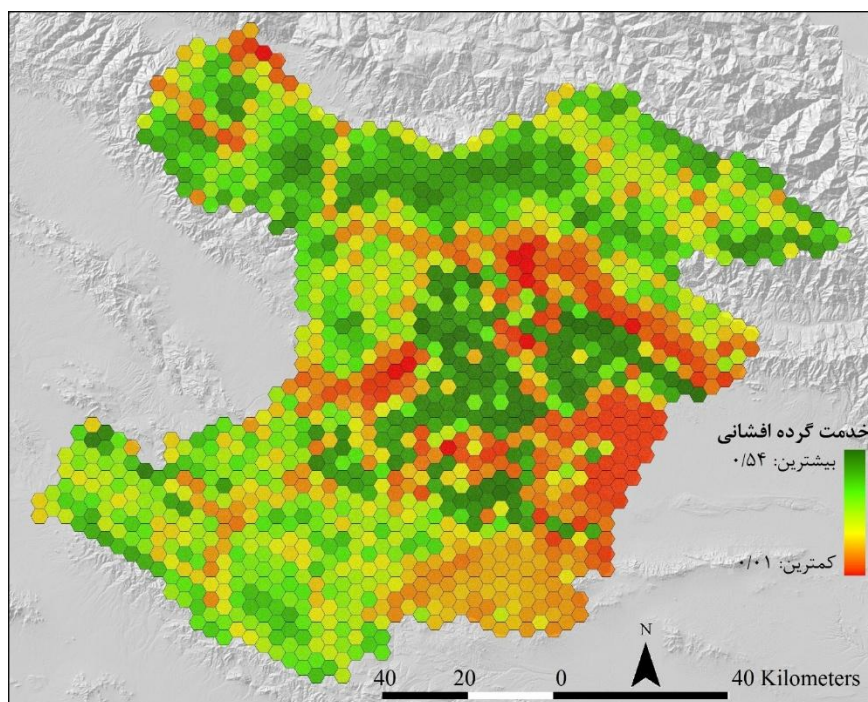
است که در نوار شمالی، نوار جنوب‌غربی و همچنین بخش‌هایی از دشت مرکزی در دسترس بوده است. یکی دیگر از عوامل مؤثر بر گرده‌افشانی، استفاده از حشره‌کش‌ها و علف‌کش‌ها در کشاورزی صنعتی است که باعث نابودی حشرات و در نهایت کاهش گرده‌افشانی می‌شود.

تحلیل همبستگی

برای بررسی همبستگی بین خدمت گرده‌افشانی و سنجه‌های الگوی سیمای سرزمین، همه رگرسیون‌ها اجرا و بهترین نتیجه در هر رابطه شناسایی شد. خدمت گرده‌افشانی همبستگی معنی‌دار و هم‌افزایی با تعداد لکه (**۰/۱۷۱) بر اساس رگرسیون درجه ۲ داشته است (جدول ۱)، اما در مقیاس شش ضلعی، بر اساس شکل ۶ (الف) مشخص است که در تعداد لکه‌های کم،



شکل ۴. پراکندگی سنج‌های الگوی سیمای سرزمین بر اساس واحدهای نمونه مورد مطالعه در استان قزوین (رنگی در نسخه الکترونیکی)



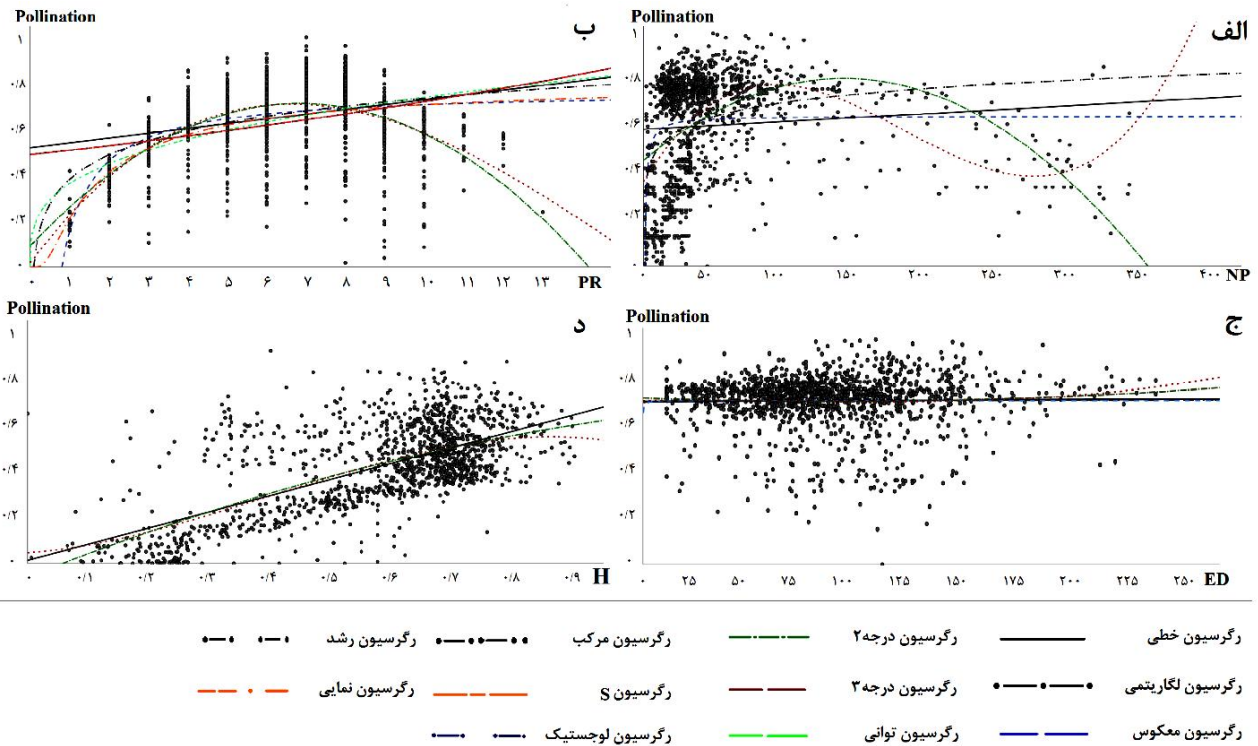
شکل ۵. توزیع فضایی خدمت گرده‌افشانی در هر شش ضلعی در استان قزوین (رنگی در نسخه الکترونیکی)

جدول ۱. همبستگی بین خدمت گرده‌افشانی و سنجه‌های الگوی سیمای سرزمین

تعداد لکه (رگرسیون درجه ۲)	غناي لکه (رگرسیون درجه ۲)	تراکم حاشیه (رگرسیون درجه ۲)	تنوع شانون (رگرسیون خطی)
۰/۱۷۱**	۰/۳۵۲**	۰/۰۰۲	۰/۴۲۰**

گرده‌افشانی

*همبستگی معنی‌دار در سطح ۰/۰۵ (مقایسه دویه‌دو)، **همبستگی معنی‌دار در سطح ۰/۰۱ (مقایسه دویه‌دو)



شکل ۶. همبستگی بین خدمت گرده‌افشانی و سنجه‌های الگوی سیمای سرزمین در سطح ضلعی (رنگی در نسخه الکترونیکی)

داده شده است. با وجود رابطه مثبت بین تراکم حاشیه و پیچیدگی سیمای سرزمین (۸ و ۹)، به دلیل اثر زیاد تکه‌تکه-شدگی بر این سنجه، رابطه بین خدمت مورد نظر و سنجه محاسبه شده معنی‌دار نیست (جدول ۱).

بالاترین سطح رابطه همبستگی بین سنجه‌های الگوی سیمای سرزمین و خدمت گرده‌افشانی، مربوط به تنوع شانون است (جدول ۱) که بر اساس رگرسیون خطی به دست آمده است (۰/۴۲۰**). بر اساس شکل ۶ (د) پیچیدگی سیمای سرزمین، اثر مثبتی بر خدمت گرده‌افشانی دارد. در نواحی فاقد پیچیدگی طبیعی (مانند نواحی نیمه‌بیابانی) و همچنین مناطق

کاربری و پوشش اراضی طبیعی و نیمه‌طبیعی در سیمای سرزمین استان قزوین شناسایی شده و پنج کلاس کاربری اراضی در این استان، انسان‌ساخت هستند. همان‌گونه که از شکل مشخص است، بعد از تعداد ۷ تا ۸ کلاس شاهد رابطه معکوس هستیم که نشان‌دهنده افزایش چیرگی کاربری‌های انسان‌ساخت است. گرده‌افشان‌ها معمولاً به نواحی طبیعی و نیمه‌طبیعی وابسته‌اند و با افزایش کلاس‌های انسان‌ساخت، فعالیت آنها کمتر شده که در نتیجه از دست رفتن زیستگاه است (۱۸).

همبستگی بین خدمت گرده‌افشانی و تراکم حاشیه لکه‌ها رابطه معنی‌داری نشان نداد (۰/۰۰۲) که در شکل ۶ (ج) نشان

هستند (۱)، استراتژی‌های مدیریتی جایگزین مانند تلفیق خدمات بوم‌شناختی (کنترل بیولوژیک) با سیمای سرزمین تولیدی یک فرصت است که در کنار افزایش تولید، مداخلات انسانی را کاهش می‌دهد. در نتیجه در کنار تأمین نیاز انسان، نیاز تنوع‌زیستی و گونه‌های وحشی سرزمین نیز تأمین می‌شود.

نتیجه‌گیری

خدمات گرده‌افشانی به‌عنوان یکی از مهم‌ترین عوامل در تولید اولیه زیست‌توده، تأثیر به‌سزایی در تولید سرزمین هم برای انسان و هم حیات‌وحش دارد. تأثیر ساختار سیمای سرزمین بر عملکرد آن در مطالعات مختلف مورد تأکید قرار گرفته است. شناسایی این ارتباط و نحوه تأثیرپذیری عملکرد از ساختار سیمای سرزمین می‌تواند در برنامه‌ریزی سرزمین و آگاه‌سازی تصمیم‌گیران مؤثر باشد. نتایج این تحقیق نشان داد در برنامه‌ریزی سرزمین صرفاً توجه به تولید بیشتر غذا برای انسان نمی‌تواند به توسعه پایدار منجر شود و برای حفظ حیات در بلندمدت، باید خدمات اساسی مانند گرده‌افشانی را در برنامه‌ریزی‌ها مدنظر قرار داد. مدارک زیادی وجود دارد که نشان می‌دهد در برنامه‌های کشاورزی، توجه به کشاورزی سنتی می‌تواند در تولید غذا برای جمعیت روبه‌رشد جهان مؤثر باشد و در عین حال باعث حفظ تنوع‌زیستی و خدمات بوم‌شناختی مانند گرده‌افشانی شود.

هم‌افزایی و هم‌کاهشی بین سنجه‌های الگوی سیمای سرزمین و خدمات گرده‌افشانی، به ترکیب و چیدمان سیمای سرزمین وابسته است. بنابراین پیشنهاد می‌شود بر اساس ویژگی‌های الگو و ساختار سیمای سرزمین و همچنین خدمات اکوسیستم، هم‌افزایی و هم‌کاهشی در بخش‌های مختلف سرزمین استان قزوین با خوشه‌بندی دوه‌دو نیز شناسایی شود تا تأثیر ترکیب سیمای سرزمین بر خدمات آن بهتر درک شود و بتوان از آن در راستای شناسایی خوشه‌های نهایی به‌منظور برنامه‌ریزی فضایی نیز استفاده کرد.

ساده‌شده توسط انسان (مانند کشاورزی صنعتی)، به‌دلیل محدودبودن زیستگاه‌های ارائه‌شده برای گونه‌های خاصی از گرده‌افشان‌ها، خدمات گرده‌افشانی کاهش پیدا می‌کند.

همبستگی بین سنجه‌های الگوی سیمای سرزمین و خدمات گرده‌افشانی نشان داد که به‌جز تنوع شانون، بقیه سنجه‌ها دارای همبستگی غیرخطی هستند که به‌دلیل وابستگی آن به ترکیب و چیدمان سیمای سرزمین است.

براساس مطالعه دیاژ و همکاران (۲۳)، انتظار می‌رفت ارتباط معنی‌داری بین خدمات گرده‌افشانی و الگوی سیمای سرزمین وجود داشته باشد که با نتایج این تحقیق، این موضوع اثبات شد. به‌نظر می‌رسد تحت تأثیر تنوع و گوناگونی زیاد ترکیب سیمای سرزمین در استان قزوین (کشاورزی متمرکز تا سنتی، مراتع پرتراکم و جنگل تا نواحی نیمه‌بیابانی)، همبستگی‌های خیلی زیاد به‌دست نیامده، زیرا عملکرد سیمای سرزمین بسته به ساختار آن می‌تواند متفاوت باشد (۲۲).

اراضی تحت کشاورزی فشرده یا کشاورزی صنعتی، همان‌گونه که در مطالعه بیرخوفر و همکاران (۱) اشاره شده، با وجود تولیدات زیاد، دارای ترکیب سیمای سرزمین ساده‌ای هستند و به‌دلیل استفاده از سموم مختلف، دارای خدمات بوم‌شناختی (مانند گرده‌افشانی) کمی نیز می‌باشند. به‌عنوان مثال، زمین‌های زراعی صنعتی با وجود تولید محصولات کشاورزی زیاد، دارای زیستگاه‌های موقتی و آسیب‌دیده هستند، درحالی‌که بیشتر گونه‌های مرتبط با خدمات گرده‌افشانی به زیستگاه‌های کمتر آسیب‌دیده یا طبیعی در سیمای سرزمین وابسته هستند (۱۸). درحالی‌که زنبورهای وحشی زیستگاه‌های نیمه‌طبیعی را ترجیح می‌دهند (۱۸)، مدیریت انسانی زمانی که قصد افزایش تولید (تولید اولیه) را دارد، فشار به محیط‌های طبیعی و نیمه‌طبیعی را افزایش می‌دهد (با استفاده از سموم) که در نتیجه آن، برخی از خدمات بوم‌شناختی (گرده‌افشانی) کاهش می‌یابد. بنابراین برای جلوگیری از زوال خدمات وابسته به ساختار طبیعی و نیمه‌طبیعی سیمای سرزمین که اساس خدمات بوم‌شناختی

منابع مورد استفاده

1. Birkhofer, K., E. Diehl, J. Andersson, J. Ekroos, A. Früh-Müller, F. Machnikowski, V. L. Mader, L. Nilsson, K. Sasaki, M. Rundlöf and V. Wolters. 2015. Ecosystem services- current challenges and opportunities for ecological research. *Frontiers in Ecology and Evolution* 2: 87. <https://doi.org/10.3389/fevo.2014.00087>.
2. Burkhard, B., F. Kroll, S. Nedkov and F. Müller. 2012. Mapping ecosystem service supply, demand and budgets. *Ecological Indicators* 21: 17-29. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2011.06.019>.
3. Cardille, J. A. and M. G. Turner. 2017. Understanding landscape metrics. pp. 45-63, In: Gergel, S. E. and M. G. Turner (eds.), *Learning landscape ecology*. Springer, New York, NY.
4. Cunningham, C., P. Tyedmers and K. Sherren. 2018. Primary data in pollination services mapping: potential service provision by honey bees (*Apis mellifera*) in Cumberland and Colchester, Nova Scotia. *International Journal of Biodiversity Science, Ecosystem Services & Management* 14(1): 60-69.
5. Daily, G. 1997. *Nature's Services*. Island Press, Washington, DC.
6. Darvish Sefat, A., M. Pirbaveghar and M. Rajabpour. 2013. Remote sensing for GIS managers. Tehran University Press, Tehran. (In Farsi)
7. Darvishi, A., M. Ghorban, S. Fakheran and A. Soffianian. 2014. Network analysis and key actors toward wildlife management (case study: habitat of Caucasian black grouse, Arasbaran Biosphere Reserve). *Iranian Journal of Applied Ecology* 3(9): 29-41. (In Farsi). <http://ijae.iut.ac.ir/article-1-564-en.html>.
8. Darvishi, A., S. Fakheran, A. Soffianian and M. Ghorbani. 2014. Quantifying landscape spatial pattern changes in the Caucasian black grouse (*Tetrao mlokosiewiczi*) habitat in Arasbaran Biosphere Reserve. *Iranian Journal of Applied Ecology* 2(5): 27-38. (In Farsi). <http://ijae.iut.ac.ir/article-1-382-en.html>.
9. Darvishi, A., S. Fakheran and A. Soffianian. 2015. Monitoring landscape changes in Caucasian black grouse (*Tetrao mlokosiewiczi*) habitat in Iran during the last two decades. *Environmental monitoring and assessment* 187(7): 443.
10. Darvishi, A., S. Fakheran, A. Soffianian and M. Ghorbani. 2016. Change detection and land use/cover dynamics in the Arasbaran Biosphere Reserve. *Journal of Natural Environment* 68(4): 559-572. (In Farsi)
11. Darvishi, A., M. Yousefi and J. Marull. 2020. Modelling landscape ecological assessments of land use and cover change scenarios, application to the Bojnourd Metropolitan Area (NE Iran). *Land Use Policy* 99: 105098.
12. Darvishi, A., M. Yousefi and N. Mobarghei Dinan. 2020. Investigating the effect of socio-economic disturbance resulting from human activities on landscape ecological function using HANPP index (case study: Qazvin Province). *Journal of Natural Environment* 73(3): 471-484. (In Farsi)
13. Darvishi, A., N. Mobarghaee Dinan, S. Barghjelveh and M. Yousefi. 2020. Assessment and spatial planning of landscape ecological connectivity for biodiversity management (case study: Qazvin Province). *Iranian Journal of Applied Ecology* 9(1): 15-29. (In Farsi). <http://ijae.iut.ac.ir/article-1-975-en.html>.
14. Dicks, L. V., B. Viana, R. Bommarco, B. Brosi, C. Arizmendi, S. A. Cunningham, L. Galetto, R. Hill, A. V. Lopes, C. Pires and H. Taki. 2016. Ten policies for pollinators, what governments can do to safeguard pollination services. *Science* 354(6315): 14-15.
15. Farina, A. 2008. *Principles and methods in landscape ecology: towards a science of the landscape*, Vol. 3. Springer Science & Business Media, Dordrecht, Netherlands. pp. 235. <https://doi.org/10.1007/978-94-015-8984-0>.
16. Free, J. B. 1993. *Insect pollination of crops*, 2nd ed. Academic Press, London, UK.
17. Gallai, N. J., M. Salles, J. Settele and B. E. Vaissière. 2009. Economic valuation of the vulnerability of world agriculture confronted with pollinator decline. *Ecological Economics* 68: 810-821.
18. Garibaldi, L. A., I. Steffan-Dewenter, C. Kremen, J. M. Morales, R. Bommarco, S. A. Cunningham, L. G. Carvalheiro, N. P. Chacoff, J. H. Dudenhöffer, S. S. Greenleaf and A. Holzschuh. 2011. Stability of pollination services decreases with isolation from natural areas despite honey bee visits. *Ecology letters* 14(10):1062-1072.
19. Gökyer, E. 2013. Understanding landscape structure using landscape metrics. pp. 663-676, In: *Advances in Landscape Architecture*. IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/55758>.
20. Hosseini, Y., A. Monfared and M. Haghani. 2019. A survey on Halictidae (Hymenoptera, Apoidea) species available in Iranian Pollinator Insects Museum of Yasouj University. *Journal of Insect Biodiversity and Systematics* 5(3): 231-261.
21. IPBES. 2016. The assessment report of the intergovernmental sciencepolicy Platform on biodiversity and ecosystem services on pollinators, pollination and food production. Potts, S. G., Imperatriz Fonseca V. L. and H. T. Ngo (eds.). Secretariat of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services, Bonn, Germany. <https://doi.org/10.5281/zenodo.3402856>.
22. Jia, X., B. Fu, X. Feng, G. Hou, Y. Liu and X. Wang. 2014. The tradeoff and synergy between ecosystem services in the Grain-for-Green areas in Northern Shaanxi, China. *Ecological indicators* 43: 103-113.
23. Kass, M. J. 2020. Summary for policymakers of the global assessment report on biodiversity and ecosystem services. *Natural Resources and Environment* 34(3): 62.

24. Klein, A. M., B. E. Vaissière, J. H. Cane, I. Steffan-Dewenter, S. A. Cunningham, C. Kremen and T. Tscharntke. 2007. Importance of pollinators in changing landscapes for world crops. *Proceedings of the royal society B: biological sciences* 274(1608): 303-313. <https://doi.org/10.1098/rspb.2006.3721>.
25. Llorens, T. M., M. Byrne, C. J. Yates, H. M. Nistelberger and D. J. Coates. 2012. Evaluating the influence of different aspects of habitat fragmentation on mating patterns and pollen dispersal in the birdpollinated *Banksia sphaerocarpa* var. *caesia*. *Molecular Ecology* 21(2): 314-328.
26. Lopes, A. V., L. C. Girão, B. A. Santos, C. A. Peres and M. Tabarelli. 2009. Long-term erosion of tree reproductive trait diversity in edge-dominated Atlantic forest fragments. *Biological Conservation* 142(6): 1154-1165.
27. Marull, J., S. Herrando, L. Brotons, Y. Melero, J. Pino, C. Cattaneo, M. Pons, J. Llobet and E. Tello. 2019. Building on Margalef: testing the links between landscape structure, energy and information flows driven by farming and biodiversity. *Science of the Total Environment* 647: 603-614. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.04.129>.
28. Nasiri, V. and A. DarvishSefat. 2018. Analysis of land use and land cover using ecological landscape metrics (case study: Arasbaran region). *Environmental Sciences* 16(3): 101-118. (In Farsi)
29. Nasiri, V., A. Darvishsefat, R. Rafiee, A. Shirvany and M. A. Hemat. 2019. Land use change modeling through an integrated multi-layer perceptron neural network and Markov chain analysis (case study: Arasbaran region, Iran). *Journal of Forestry Research* 30(3): 943-957. <https://link.springer.com/article/10.1007/s11676-018-0659-9>.
30. Nasiri, V., M. ghorbani and A. DarvishSefat. 2020. An approach for quantifying the spatial disturbance variations based on landscape metrics (case study: Arasbaran Protected Area during 1990-2014). *Journal of Natural Environment* 73(2): 397-409. (In Farsi). doi: 10.22059/jne.2020.292039.1844.
31. Nicholson, C. C., I. Koh, L. L. Richardson, A. Beauchemin and T. H. Ricketts. 2017. Farm and landscape factors interact to affect the supply of pollination services. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 250: 113-122.
32. Öckinger, E. and H. G. Smith. 2007. Semi-natural grasslands as population sources for pollinating insects in agricultural landscapes. *Journal of applied ecology* 44(1): 50-59.
33. Ollerton, J., R. Winfree and S. Tarrant. 2011. How many flowering plants are pollinated by animals? *Oikos* 120: 321-326.
34. Ricketts, T. H., J. Regetz, I. Steffan-Dewenter, S. A. Cunningham, C. Kremen, A. Bogdanski, B. Gemmill-Herren, S. S. Greenleaf, A. M. Klein, M. M. Mayfield, L. A. Morandin, A. Ochieng', S. G. Potts and B. F. Viana. 2008. Landscape effects on crop pollination services: are there general patterns? *Ecology Letters* 11(5): 499-515.
35. Schulp, C. J. E., S. Lautenbach and P. H. Verburg. 2014. Quantifying and mapping ecosystem services: demand and supply of pollination in the European Union. *Ecological Indicators* 36: 131-141.
36. Sobhani, P., H. Goshtasb, B. Nezami and A. Jahani. 2018. Ecological capability evaluation of no-hunting areas for a higher level of protection by using Multiple Criteria Decision Making method (case study: Alvand No-Hunting Area). *Environmental Researches* 8(16): 29-42. (In Farsi)
37. Tscheulin, T., L. Neokosmidis, T. Petanidou and J. Settele. 2011. Influence of landscape context on the abundance and diversity of bees in Mediterranean olive groves. *Bulletin of Entomological Research* 101(5): 557.
38. Vanbergen, A. J. and T. I. P. Initiative. 2013. Threats to an ecosystem service: pressures on pollinators. *Frontiers in Ecology and the Environment* 11(5): 251-259.
39. Wood, S., K. Sebastian and S. J. Scherr. 2000. Pilot analysis of global ecosystems: agroecosystems. International Food Policy Research Institute and World Resources Institute, Washington, DC.
40. Wu, J. 2013. Landscape ecology. pp. 179-200, In: Leemans R. (ed.), *Ecological systems*. Springer, New York, NY.
41. Yousefi, M., A. Darvishi, R. Padró, S. Barghjelveh, N. Mobarghei Dinan and J. Marull. 2020. An energy-landscape integrated analysis to evaluate agroecological scarcity. *Science of The Total Environment* 139998.
42. Yousefi, M., A. Darvishi, E. Tello, S. Barghjelveh, N. Mobarghei Dinan and J. Marull. 2021. Comparison of two biophysical indicators under different landscape complexity. *Ecological Indicators* 124: 107439.
43. Yousefi, M., S. Barghjelveh, A. Darvishi and N. Mobarghei Dinan. 2021. Energy return on investment, a new approach to ecological sustainability and its correlation with landscape heterogeneity (case study: Qazvin Province). *Agroecology* 13 (1). (In Farsi)
44. Zulian, G., J. Maes and M. L. Paracchini. 2013. Linking land cover data and crop yields for mapping and assessment of pollination services in Europe. *Land* 2(3): 472-492.

Evaluating the Correlation Between Pollination Ecosystem Service and Landscape Pattern metrics (Case Study: Qazvin Province)

A. Darvishi¹, M. Yousefi¹ and N. Mobargae Dinan^{1*}

(Received: January 16-2021; Accepted: May 23-2021)

Abstract

Pollination is an ecological service with high economic values related to human and ecological wellbeing. This study aims to evaluate the correlation between landscape complexity and pollination service (bee) in Qazvin province at the landscape scale. Landscape pattern metrics (Number of Patches (NP), Patch Richness (PR), Edge Density (ED), and Shannon Index (H)), as a proxy of landscape complexity, were calculated by the model builder in the ArcGIS and pollination service was generated by InVEST. The correlation between landscape complexity and pollination service was evaluated by SPSS software. Results of the correlation between landscape metrics and pollination service, using Linear regression, showed that H has the highest and the most significant relationship with pollination at the 0.01 level (0.420**). Correlation between other metrics and pollination was found to better explained by Quadratic regression, showing a significant correlation with NP (0.171**) and PR (0.352**) at the 0.01 level and a non-significant relationship with ED (0.002). It was concluded from our results that in the low NP and PR, correlation is high and positive, and in the high NP and PR, correlation is negative, indicating the effect of fragmentation on pollination service. The results of this study can be used in agricultural system planning and biodiversity management to preserve the ecological processes.

Keywords: Ecosystem Services, Pollination, Biodiversity, Agricultural Production, Qazvin Province

1. Department of Environmental Planning and Design, Environmental Sciences Research Institute, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran.

*: Corresponding Author, Email: n_mobarghei@yahoo.com