ارزیابی الگوهای همبستگی مکانی خدمات اکوسیستمی در بخش مرکزی استان اصفهان با رویکرد آمار فضایی

صدیقه عبداللهی [۱*]، علیرضا ایلدرمی[۲]، عبدالرسول سلمان ماهینی[۳]، سیما فاخران[٤]

۱*. گروه محیطزیست، دانشکده منابع طبیعی و محیطزیست، دانشگاه ملایر، ایمیل نویسنده مسئول: baharabdollahi94@gmail.com

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

۳. گروه محیطزیست، دانشکده شیلات و محیطزیست، دانشگاه علوم کشاورزی گرگان

۴. گروه محیطزیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان، (تاریخ دریافت: ۰۲/۱۸/ ۹۸ تاریخ تصویب: ۰۶/۰۲/ ۹۸)

چکیده

بررسی الگوهای مکانی خدمات اکوسیستمی نقش مهمی در ارزیابی آن‌ها دارد. از این‌رو در این مطالعه با هدف شناسایی و تعیین الگوهای مکانی خدمات اکوسیستمی، پس از کمی‌سازی خدمات اکوسیستمی تفرج، ارزش زیبایی‌شناسی و کاهش آلودگی صوتی در منطقه‌ی مطالعاتی از روش‌های نوین آمار فضایی هم‌چون همبستگی فضایی موران جهانی و شاخص انسلین موران و قابلیت سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) استفاده شد. نتایج نشان داد که شاخص موران جهانی برای خدمات اکوسیستمی تفرج، ارزش زیبایی‌شناسی و کاهش آلودگی صوتی به ترتیب بالای۰/۸۲، ۰/۸۷ و ۰/۵۴ است. بدین ترتیب خدمات اکوسیستمی مورد بررسی دارای همبستگی مثبت و الگوی خوشه‌ای هستند. بررسی هم‌زمان نتایج کمی‌سازی خدمات اکوسیستمی و تحلیل همبستگی موران محلی در مورد توزیع همبستگی مکانی خدمات اکوسیستمی نشان می‌دهد که مناطقی که دارای بیشترین میزان مطلوبیت و ارزش از نظر عرضه خدمات اکوسیستمی هستند. دارای همبستگی مکانی مثبت معنی‌دار بوده و از الگوی خوشه‌ای بالا پیروی می‌کنند. در حالی که مناطق بدون مطلوبیت از نظر عرضه خدمات اکوسیستمی، همبستگی مکانی منفی داشته و دارای الگوی خوشه‌ای پایین هستند.

کلمات کلیدی: خدمات اکوسیستمی، الگوهای مکانی، شاخص موران، الگوی خوشه‌ای، همبستگی مکانی

Evaluation of Ecosystem Services Spatial Correlation Patterns in Central Part of Isfahan Province Using Spatial Statistics

Sedighe Abdollahi[1*], Alireza Ildoromi[2], Abdolrassoul Salmanmahini[3], Sima Fakheran[4]

1*. Department of Environment, Faculty of Natural Resource and Environment, Malayer University, Email:baharabdollahi94@gmail.com

2. Department of Watershed management, Faculty of Natural Resource and Environment, Malayer University

3. Department of Environment, Faculty of Fishery and Environment, Gorgan University of Agricutural Science

4. Department of Environment, Faculty of Natural Resource, Isfahan University of Technology,

(Received: May, 18-2016 Approved: August, 24-2019)

Abstract

Considering the spatial patterns of ecosystem services plays an important role in evaluating them. Therefore, in this study, inorder to identify and determin the spatial patterns of ecosystem services, new methods of spatial statistics such as spatial correlation of Global Moran and Anselin Moran Index and GIS were used, after quantifying recreation, aesthetic value and noise reduction ecosystem services in the study area. The results showed that the Global Moran index is up to 0.82, 0.87 and 0.54 respectively, for recreation, aesthetic value and noise reduction ecosystem services. Thus, the examined ecosystem services have a positive correlation and cluster pattern. Considering ecosystem services quantifying results with Local Moran correlation analysis related to distribution of spatial correlation of ecosystem services shown regions with maximum suitability and value of ecosystem services supply have meaningful positive spatial correlation and follow high cluster pattern, while regions with no suitability of ecosystem services supply have negative spatial correlation and low cluster pattern.

Key words: Ecosystem Services, Spatial Patterns, Moran Index, Cluster Pattern, Spatial Correlation.

۱- مقدمه

بر اساس تعریف ارائه شده در گزارش اکوسیستمی هزاره[1]، خدمات اکوسیستمی، سودمندی‌هایی هستند که بوم‌سازگان‌ها برای مردم فراهم می‌سازند. این سودمندی‌ها دارای طبقه‌بندی-های گوناگونی بوده و براساس طبقه‌بندی گزارش بیان شده، در چهار دسته فراهم‌سازی[2]، حمایتی[3]، تنظیمی[4] و فرهنگی[5] قابل شناسایی هستند (MEA, 2005). برای دستیابی به توسعه پایدار، لازم است که مکان‌های عرضه خدمات اکوسیستمی در مقیاس‌های مختلف شناسایی شود. بنابراین نقشه‌سازی و کمی-سازی خدمات اکوسیستمی ابزار مهمی برای تصمیم‌گیران و مدیران کشوری به منظور مدیریت و پایش سطح عرضه خدمات اکوسیستمی است و امکان شناسایی نواحی دارای ارزش حفاظتی (به علت عرضه زیاد خدمات) را فراهم می‌کند (Balvanera etal, 2011). با توجه به این که اطلاعات حاصل از نقشه‌سازی و مدل‌سازی خدمات اکوسیستمی به منظور تحلیل پراکنش مکانی خدمات اکوسیستمی چندگانه در مقیاس-های محلی، منطقه‌ای و جهانی کاربرد دارد، نمایش مکانی عرضه خدمات اکوسیستمی در سیمای سرزمین به منظور یکپارچه‌سازی خدمات اکوسیتمی در فرایند برنامه‌ریزی شهری و منطقه‌ای ضروری است (Maes etal, 2012). از سوی دیگر این نقشه‌های به منظور ارزیابی برهمکنش مکانی خدمات اکوسیستمی دارای اهمیت هستند (RaudseppHearne etal, 2010). از این‌رو نقشه‌سازی و مدل‌سازی خدمات اکوسیستمی ابزاری قدرتمند برای نمایان‌سازی و تحلیل پراکنش مکانی خدمات اکوسیستمی و یکپارچه‌سازی مفهوم خدمات اکوسیستمی در رابطه با رفاه انسان است و به عنوان یکی از منابع مهم برنامه‌ریزی مکانی و مدیریت محیط‌زیست شناخته شده است (Bachmann Vargas, 2013). بر این اساس و در راستای افزایش توجه به سودمندی‌های حاصل از طبیعت، در سال‌های اخیر، مطالعه‌ی خدمات اکوسیستمی از جنبه‌های مختلف، به عنوان یکی از مهم‌ترین موضوعات محیط‌زیستی در جوامع علمی مورد توجه قرار گرفته است. با این حال، بررسی‌های آماری در زمینه خدمات اکوسیستمی بر پایه‌ی رویکرد آمار سنتی هم‌چون آزمون‌های همبستگی پیرسون، تحلیل مولفه‌های اصلی، رگرسیون خطی و چندگانه انجام شده است (Gao, 2016; Derkzen etal, 2015; Zhang&). اما در این میان آگاهی از توزیع مکانی و زمانی خدمات اکوسیستمی به منظور تعیین برهمکنش و هم‌افزایی خدمات اکوسیستمی مختلف ضروری است. با توجه به این مطلب که در مطالعات محیطی بیشتر داده‌ها نسبت به یک‌دیگر مستقل نبوده و وابستگی آن‌ها ناشی از موقعیت و مکان قرار گرفتن مشاهدات در فضای مورد مطالعه است، در مطالعه و بررسی آن‌ها نمی‌توان از آمار سنتی بهره برد، چرا که این داده‌ها دارای ساختاری پیوسته در زمان و مکان هستند. از این‌رو در علوم محیطی، چنین داده‌هایی را داده‌های مکانی می‌نامند و مطالعه‌ی آن‌ها، نیازمند روشی مناسب برای پاسخ به رفتار آن‌ها در زمان و مکان است (Moller, 2008). بر منبای این نیاز و با توجه به همبستگی مکانی بین این داده‌ها، روش‌های معمول آماری، به منظور واکاوی این داده‌ها کارایی چندانی ندارد. از این‌رو لازم است ساختار همبستگی داده‌ها در تحلیل آن‌ها مورد بررسی قرار گیرد (اسدی و کرمی، ۱۳۹۶). بدین منظور آمار فضایی به عنوان گزینه‌ای مناسب، در تحلیل این داده‌ها کاربرد دارد (کرمی و همکاران، ۱۳۹۵). آمار فضایی، برای طیف گسترده‌ای از تحلیل داده‌ها همچون؛ تحلیل الگو، تحلیل شکل، مدل‌سازی سطح، برآورد سطح، رگرسیون مکانی، مقایسه‌ی آماری داده‌های مکانی و مدل‌سازی آماری کاربرد دارد. از سوی دیگر در جدیدترین روش‌های بررسی رفتار پدیده-های محیطی، پژوهش‌گران به منظور شناسایی و بررسی همبستگی مناطق همگن از قابلیت این روش‌ها استفاده کرده‌اند. منابع نظری این رویکردها و چگونگی به کارگیری آن‌ها در مطالعات علوم محیطی (Smith etal, 2009, Illian etal,2008, Zhang et al, 2008, Wheeler& Paéz, 2009, Anselin et al,2009 ,) توضیح داده شده است. مرور منابع مختلف داخلی نشان می‌دهد که تاکنون در زمینه ارزیابی همبستگی مکانی خدمات اکوسیتمی با استفاده از آمار فضایی پژوهشی انجام نشده است و پژوهش‌های صورت گرفته در این زمینه بیشتر بر پایه کمی‌سازی و نقشه‌سازی محل عرضه خدمات اکوسیستمی است که از جمله می‌توان به مطالعه‌ی اسداللهی و همکاران، ۱۳۹۴، به منظور کمی‌سازی و مدل‌سازی خدمت اکوسیستمی نگه‌داشت خاک در بخش شرقی حوضه آبخیز گرگانرود با استفاده از با نرم‌افزار InVEST، هم‌چنین مطالعه اسداللهی و همکاران، ۱۳۹۵، با هدف اثر تغییر کاربری اراضی بر عرضه خدمات زیستگاهی در سه دوره‌ی زمانی ۱۹۸۴، ۲۰۱۰ و ۲۰۳۶ مورد مطالعه در حوضه آبخیز گرگانرود اشاره نمود. در زمینه بررسی الگوهای مکانی خدمات اکوسیستمی در خارج از کشور مطالعاتی صورت گرفته است که در ادامه به برخی از آن‌ها اشاره می‌شود؛ موکن‌دوکو و همکاران ۲۰۱۸ به منظور تحلیل مکانی خدمات اکوسیستمی هیدرولوژیک

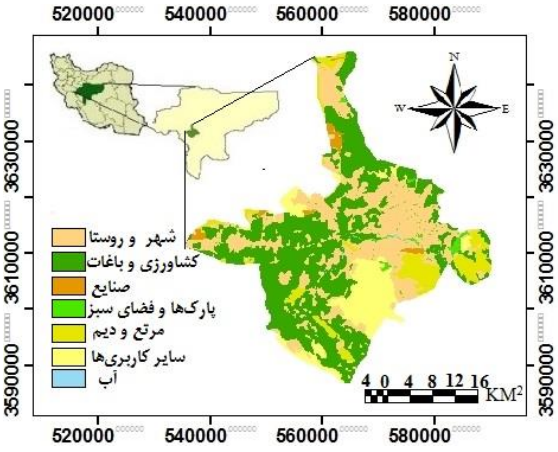
[1] Millennium Ecosystem Assessment
[2] Providing
[3] Supporting
[4] Regulating
[5] Cultural

در مکزیک، پس از نقشه‌سازی سه خدمت اکوسیستمی بازده آب، نگهداشت خاک و ذخیره کربن با به کارگیری آمار فضایی، همبستگی مکانی این خدمات اکوسیستمی را مثبت و معنی‌دار ارزیابی نمودند (Mokondoko etal, 2018). دیپل‌لاگین و همکاران ۲۰۱۶ پس نقشه‌سازی خدمات اکوسیستمی با استفاده از آمار فضایی و به کارگیری شاخص موران جهانی همبستگی بین خدمات اکوسیستمی را در سه دسته‌ی تنظیمی، فرهنگی و فراهم‌سازی مورد بررسی قرار دادند و بدین ترتیب همبستگی خدمات تنظیمی و فرهنگی را منفی ارزیابی نمودند در حالی که همبستگی بین خدمات فراهم‌سازی و کل خدمات اکوسیستمی در سه دسته مثبت ارزیابی شد (Depellegrin etal, 2016). کروزات و همکاران ۲۰۱۶ با هدف ارزیابی خدمات اکوسیستمی در فرانسه، پس از کمی‌سازی و نقشه‌سازی خدمات اکوسیستمی مورد بررسی با استفاده از آمار فضایی و شاخص موران محلی به بررسی تاهمگونی سیمای سرزمین در رابطه با عرضه خدمات اکوسیستمی پرداختند و دریافتند که مناطقی با سیمای سرزمین ناهمگون، لروزما مناطقی با عرضه بالای خدمات اکوسیستمی را شامل نمی‌شود (Crouzat etal, 2015). در این مطالعه پس از کمی‌سازی و نقشه‌سازی خدمات اکوسیستمی منتخب، با استفاده از آمار فضایی الگوهای همبستگی مکانی آن‌ها مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفت. با توجه به مرور منابع مطالعاتی، این پژوهش را می‌توان از نخستین پژوهش‌های صورت گرفته در زمینه ارزیابی الگوهای همبستگی خدمات اکوسیستمی با بهره‌گیری از آمار فضایی در ایران دانست.

۲- روش انجام پژوهش

۲-۱- محدوده مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در استان اصفهان بین ۳۲ درجه و ۱۹ دقیقه تا ۳۲ درجه و ۵۶ دقیقه عرض شمالی و ۵۱ درجه و ۱۲ دقیقه تا ۵۱ درجه و ۵۹ دقیقه طول شرقی واقع شده است و بخش-هایی از شهرستان‌های اصفهان، شاهین‌شهر، خمینی‌شهر، نجف‌آباد و فلاورجان را در برمی‌گیرد (شکل ۱). این منطقه در برگیرنده مساحتی معادل ۱۱۸۰/۹۹کیلومترمربع است. متوسط درجه حرارت سالانه این منطقه ۱۶/۷ درجه سانتی‌گراد و متوسط بارندگی آن ۱۱۶/۹ میلی‌متر است و دارای مزیت‌های چشم‌گیری است که می‌توان به وجود رودخانه‌ی زاینده‌رود، وجود اراضی مرغوب کشاورزی، وجود آثار تاریخی و جاذبه‌های توریستی، قدمت شهرنشینی، وجود عناصر شهری به همراه زیربناهای تجهیز شده، وجود زمینه‌های بالقوه توسعه در تمامی بخش‌ها خصوصا کشاورزی، صنعتی، صنایع معدنی و دستی در صورت فراهم بودن نیازهای پایه اولیه اشاره نمود (سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی استان اصفهان، ۱۳۹۵).



شکل ۱. موقعیت منطقه مطالعاتی

۲-۲- روش‌شناسی پژوهش

برای انجام این پژوهش، در ابتدا، با استفاده از معیارها و شاخص‌هایی که براساس مرور منابع مطالعاتی مشخص گردیدند سه خدمت اکوسیستمی ارزش زیبایی‌شناسی سیمای سرزمین، تفرج و کاهش آلودگی صوتی با استفاده از قابلیت سامانه اطلاعات جغرافیایی کمی‌سازی شده و نقشه‌ی این خدمات تهیه گردید. سپس به منظور ارزیابی همبستگی مکانی این خدمات در منطقه مطالعاتی از روش‌های موران جهانی و انسلین محلی موران از ابزارهای Spatial Autocorrelation و Cluster and Outlier Analysis از مجموعه ابزارهای موجود در Spatial Statistics Tools مربوط به نرم‌افزار ArcGIS10.2 استفاده شد که در ادامه روش‌های

کمی‌سازی خدمات اکوسیستمی و دو شاخص همبستگی مورد استفاده برای ارزیابی الگوهای خدمات اکوسیستمی به طور کامل شرح داده شده است.

۲-۲-۱- کمی‌سازی خدمت اکوسیستمی ارزش زیبایی‌شناسی سیمای سرزمین

به منظور کمی‌سازی ارزش زیبایی‌شناسی پس از مرور منابع مطالعاتی و بررسی ویژگی‌های منطقه مطالعاتی، معیارهای موثر در ارزش زیبایی‌شناسی شامل تراکم پوشش گیاهی، تنوع تراکم پوشش گیاهی (به عنوان شاخصی از تنوع پوشش)، قابلیت دید نقاط پرتنوع، قابلیت دید رودخانه، قابلیت دید پارک‌ها و فضاهای سبز شهری و قابلیت دید قله‌ها مشخص، نقشه‌سازی و سپس با استفاده از روش فازی استاندارد گردید و گام بعد پس از وزن-دهی به معیارهای مورد بررسی با استفاده از روش AHP، با به کارگیری روش ترکیب خطی وزن‌دار، مناطق دارای ارزش زیبایی‌شناسی تعیین شد.

۲-۲-۲- کمی‌سازی خدمت اکوسیستمی تفرج

برای تعیین ارزش تفرجی منطقه مطالعاتی از روش ارزیابی چند معیاره استفاده شد. جهت اجرای این روش ابتدا اهداف مطالعه که شامل طیفی از انواع فعالیت‌های تفرجی در منطقه، (شامل پیاده‌روی، دوچرخه‌سواری، کوه‌نوردی، فرصت شنیدن آواهای طبیعی، اردو زدن، تماشای مناظر زیبا و بازدید آثار فرهنگی) مشخص شدند. سپس معیارهای متناسب با این فعالیت‌های تفرجی تعیین شد. پس از این مرحله، معیارها استانداردسازی و سپس با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی به معیارها وزن داده شد. در مرحله بعد، معیارها با همدیگر ترکیب و در نهایت نقشه توان هر فعالیت تهیه شد. در پایان به منظور تعیین ارزش تفرجی منطقه، نقشه‌ی فعالیت‌های تفرجی با استفاده از ترکیب خطی وزن‌دار ترکیب شدند.

۲-۲-۳- کمی‌سازی خدمت اکوسیستمی کاهش آلودگی صوتی

به منظور کمی‌سازی کاهش آلودگی صوتی پس از تعیین ایستگاه‌هایی در منطقه مطالعاتی، شدت تراز صوت اندازه‌گیری شد. به منظور بررسی تغییرات روزانه‌ی شدت تراز صوت در منطقه‌ی مطالعاتی، اندازه‌گیری این پارامتر در ساعت مشخصی از روز (۹ صبح الی ۱۳ بعد ازظهر) در تمامی ایستگاه‌ها جهت جلوگیری از هر گونه خطا انجام گرفت. در میان روزهای هفته نیز اندازه‌گیری از شنبه تا چهارشنبه صورت گرفت و روزهای پنج‌شنبه و جمعه به دلیل تعطیل بود و تاثیرگذاری در نتایج انتخاب نگردید. تمامی اندازه‌گیری به مدت ۴ ماه از اول شهریور تا پایان آذر ماه ۱۳۹۷ انجام شد. به منظور اندازه‌گیری صدا از دستگاه صوت‌سنج Bruel& Kjaer مدل ۲۲۳۹ ساخت کشور دانمارک و هم‌چنین کالیبراتور Bruel& Kjaer مدل ۴۲۳۱ به منظور کالیبره کردن دستگاه صوت‌سنج استفاده شد. در تمامی مراحل اندازه‌گیری، دستگاه صوت‌سنج به جهت ثابت ماندن بر روی یک سه پایه به ارتفاع ۱۵۰ سانتی‌متر قرار گرفت و از یک اسفنج به منظور قرار گرفتن بر روی میکروفن دستگاه صوت‌سنج استفاده گردید. کاربرد این اسفنج برای جلوگیری از خطای ناشی از سر و صدای ایجاد شده توسط ارتعاش مولکول-های هوا است. براساس استاندارد صوت ایزو ۱۹۹۶ دستگاه در فاصله‌ی ۳/۵ متری از ساختمان‌ها و دیواره‌های بتنی که باعث انعکاس صدا می‌شوند قرار گرفت (کسمایی و دانش‌یار، ۱۳۹۶). اندازه‌گیری‌ها براساس استاندارد ملی در زمان ۳۰ دقیقه انجام شد. سپس به‌منظور تهیه نقشه پهنه‌بندی صوتی، مختصات نقاط مورد ارزیابی که توسط دستگاه GPS ثبت شده بود به همراه مقادیر ترازهای صوت اندازه‌گیری شده به نرم‌افزار GIS وارد گردید و با استفاده از تابع درون‌یابی کریجینگ نقشه پهنه‌بندی صوتی منطقه تهیه گردید. در گام بعد به منظور کمی‌سازی خدمت اکوسیستمی کاهش آلودگی صوتی با استفاده از رگرسیون خطی در نرم‌افزار SPSS رابطه بین شدت تراز صوت (نقشه‌ی پهنه‌بندی صوت) و پوشش گیاهی (شاخص اختلاف نرمال شده پوشش گیاهی) مورد ارزیابی قرار گرفت و در پایان با به کارگیری تابع Raster Calculator در محیط نرم‌افزار GIS پهنه‌بندی مکانی خدمت اکوسیستمی کاهش آلودگی صوتی براساس معادله‌ی رگرسیونی به‌دست آمده انجام شد.

۲-۲-٤- ارزیابی الگوهای همبستگی مکانی خدمات اکوسیستمی

شناخت الگوها و کشف روندهای موجود در داده‌های مکانی از اهمیت زیادی برخوردار است (Waagepetersenand& Schweder, 2006)، چرا که قبل از هر گونه تحلیل باید چگونگی توزیع داده‌ها در فضا و الگوهای مکانی آن‌ها مشخص شود (Illian etal, 2008). در این مطالعه به منظور تحلیل همبستگی مکانی خدمات اکوسیستمی از آماره همبستگی موران استفاده شد. دو نوع شاخص موران جهت مشخص نمودن همبستگی فضایی بین متغیرها وجود دارد که کارایی آنها از یکدیگر متفاوت است. شاخص موران جهانی[1] و شاخص موران محلی[2] (Zhang etal, 2008; Wang& Fang,

[1]Global Moran's I
[2] Local Moran's I

2016). یکی از اساسی‌ترین شاخص‌های جهانی همبستگی، شاخص موران است (رحیمی و همکاران، ۱۳۹۴) این شاخص، عددی می‌دهد (به عنوان نمره استاندارد یا z-score) که با استفاده از آن می‌توان درجه پراکنده بودن یا متمرکز بودن پدیده‌ها یا داده‌های مکانی را اندازه‌گیری نمود (علی‌آبادی و داداشی رودباری، ۱۳۹۴؛ Wheeler, 2007). همبستگی مکانی موران به بررسی همبستگی مکانی بر اساس مکان پراکنش دو مقدار می‌پردازد. برای محاسبه آماره یا شاخص موران ابتدا نمره استاندارد z و p-value محاسبه می‌شود و در مرحله بعد به ارزیابی معنادار بودن شاخص پرداخته می‌شود. آماره یا شاخص موران با توجه به رابطه (۱) برآورد می‌شود؛

$$I=\frac{n\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n}W_{i,j}(x_i-\bar{x})(x_j-\bar{x})}{\left(\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n}W_{i,j}\right).\sum_{i=1}^{n}(x_i-\bar{x})^2} \quad (1)$$

که در آن n تعداد کل پیکسل‌ها، X_i و X_j مقادیر شدت‌ها در نقاط i و j هستند. $\bar{X}$ میانگین متغیرها، $\sum_j\sum Wij\left(xi-\bar{x}\right)\left(xj-\bar{x}\right)$ کوواریانس ضرب شده به وسیله عنصری از ماتریس وزنی است. اگر X_i و X_j هر دو بالاتر یا پایین‌تر از میانگین باشند، این عبارت مثبت خواهد بود. اگر این دو عبارت در موقعیت‌های متضادی نسبت به میانگین مقایسه گردند، جواب نهایی منفی خواهد بود. W_{ij} عنصری از ماتریس وزنی است که به مجاورت پدیده‌ها یا پیکسل‌ها بستگی دارد. دامنه‌ی تغییرات شاخص موران جهانی بین ۱- تا ۱+ است. هنگامی که مقادیر موران معنی‌دار و بزرگ‌تر از صفر باشد، همبستگی فضایی مثبت و خوشه‌ای است؛ در غیر این صورت همبستگی فضایی منفی و به صورت پراکنده است. $Z(I)$ صفر بیانگر الگوی تصادفی در ارزش مشاهدات است. به طور کلی همبستگی مکانی به مقادیر نمره‌ی Z بستگی دارد، به طوری که مقادیر نمره‌ی Z مثبت نشان‌دهنده خوشه-بندی مکانی با ارزش بالا و مقادیر منفی آن بیان‌گر خوشه‌بندی مکانی با ارزش است (Fang etal, 2016). برای تشخیص این‌که آیا نمره Z بدست آمده از نظر آماری معنی‌دار است یا نه، آن را با یک سطح اطمینان خاص مقایسه می‌کنند، برای مثال اگر سطح اطمینان ما ۰/۰۵ باشد، نمره Z به دست آمده در صورتی معنی‌دار است که کمتر از ۱/۹۶- و یا بزرگتر از ۱/۹۶ باشد (Wang& Fang, 2016). آماره موران جهانی به منظور توصیف ویژگی یک متغیر در کل یک منطقه به کار می‌رود، از این رو دراین مطالعه به منظور بررسی چگونگی توزیع مکانی خدمات اکوسیستمی از آماره موران محلی استفاده شد. آماره موران محلی با توجه به رابطه (۲) برآورد می‌شود.

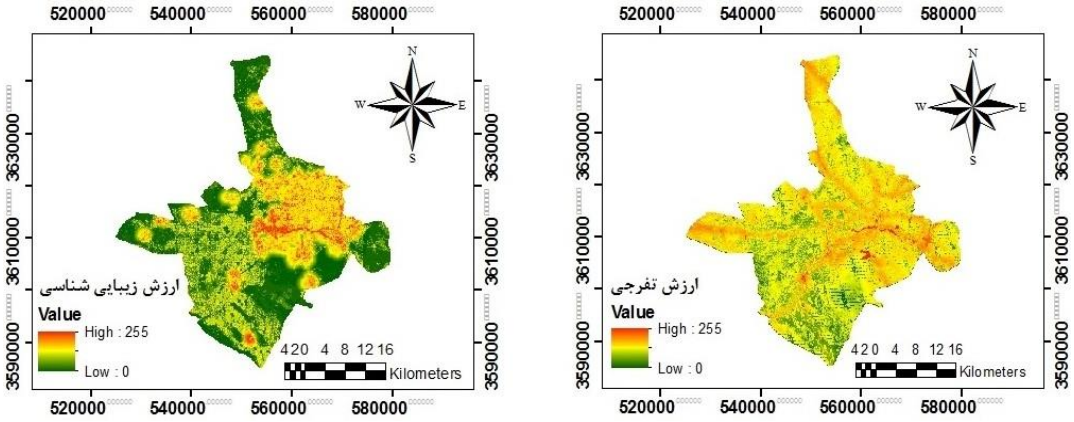
$$I=\frac{(x_i-\bar{x})}{s^2}\sum_{i=1,j\neq1}^{n}Wi,jWi,j\begin{pmatrix}x_i\\-\bar{x}\end{pmatrix} \quad (2)$$

که در آن X_i ویژگی پدیده i، $\bar{X}$ میانگین ویژگی مورد نظر و Wij وزن مکانی بین پدیده‌های i و j است.

۳- نتایج

۳-۱- کمی‌سازی خدمات اکوسیستمی

همان‌طور که بیان شد به منظور کمی‌سازی ارزش زیبایی‌شناسی و تفرجی منطقه مطالعاتی از روش ترکیب خطی وزن‌دار استفاده شد. در این روش معیارهایی به منظور تعیین ارزش زیبایی-شناسی و تفرجی مشخص و وزن‌دهی شد. بر اساس نتایج بدست آمده از وزن‌دهی به معیارها، میزان اثر هریک از معیارها در ترکیب نهایی نقشه‌ها مشخص می‌شود. نتیجه اعمال وزن‌ها و ترکیب نقشه‌ها با یکدیگر و با استفاده از روش ترکیب خطی وزن‌دار نقشه‌ای فازی است (شکل ۲) که درجات مختلف مطلوبیت را در دامنه‌ای از ۲۵۵-۰ نشان می‌دهد. جدول ۱و ۲ به ترتیب وزن معیارهای موثر در ارزش زیبایی‌شناسی و تفرجی منطقه‌ی مطالعاتی را نشان می‌دهد. با توجه به این دو جدول مهم‌ترین معیار در ارزش زیبایی‌شناسی منطقه مطالعاتی قابلیت دید پارک‌ها و برای ارزش تفرجی فعالیت تفرجی پیاده‌روی است. درحالی‌که کم‌اهمیت‌ترین معیار برای این دو خدمت اکوسیستمی به ترتیب قابلیت دید قله و فعالیت تفرجی فرصت شنیدن آواهای طبیعی است. در روش وزن‌دهی به معیارها با استفاده از روش تحلیل سلسله‌مراتبی، اعتبار نتایج با استفاده از نرخ سازگاری مورد بررسی قرار می‌گیرد. نرخ سازگاری، سازوکاری است که بیان می‌دارد تا چه اندازه می‌توان به اولویت‌های به‌دست‌آمده اعتماد کرد (۱۷). میزان ضریب ناسازگاری اغلب تا ۰/۱ قابل‌قبول است و اگر ضریب بالاتر از آن باشد نیازمند تجدیدنظر در داوری هستیم (۳۷). در این مطالعه ضریب ناسازگاری برای ارزش زیبایی‌شناسی و تفرجی به ترتیب ۰/۰۶ و ۰/۰۲ به دست آمد که قابل‌قبول است و نیازی به تجدیدنظر در داوری نیست.



شکل ۲. نقشه پراکنش مکانی دو خدمت اکوسیستمی تفرج و ارزش زیبایی‌شناسی

جدول ۱. وزن معیارهای موثر در ارزش زیبایی‌شناسی

معیار	قابلیت دید پارک‌ها	تراکم پوشش گیاهی	تنوع تراکم پوشش گیاهی	قابلیت دید نقاط پر تنوع	قابلیت دید رودخانه	قابلیت دید قله
وزن AHP	۰/۳۰۰۸	۰/۲۲۳۴	۰/۲۰۴۲	۰/۱۱۰۹	۰/۰۳۹۵	۰/۰۲۴۳

ضریب ناسازگاری (CR): ۰/۰۶

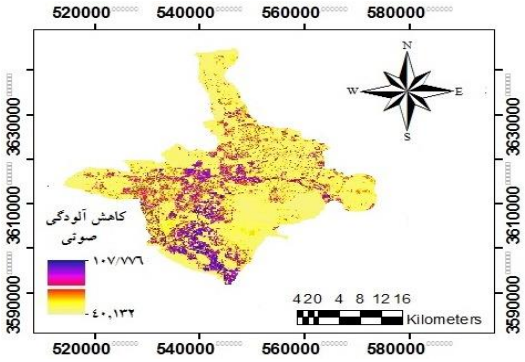
جدول ۲. وزن معیارهای موثر در ارزش تفرجی

معیار	پیاده‌روی	تماشای مناظر زیبا	کوه‌نوردی	اردو زدن	بازدید آثار فرهنگی	دوچرخه-سواری	فرصت شنیدن آواهای طبیعی
وزن AHP	۰/۳۶۳۶	۰/۲۱۱۵	۰/۱۳۷۴	۰/۱۱۳۰	۰/۰۸۱۳	۰/۰۶۰۷	۰/۰۳۲۵

ضریب ناسازگاری (CR):۰/۰۲

ضریب همبستگی معادله رگرسیونی بین شدت تراز صوت و پوشش گیاهی ۰/۹۰٤- به دست آمد که نشان-دهنده رابطه قوی معکوس بین شدت تراز صوت و تراکم پوشش گیاهی است. رابطه ۳ ارتباط بین شدت تراز صوت و پوشش گیاهی را نشان می‌دهد که حاکی از رابطه غیر مستقیم پوشش گیاهی و شدت تراز صوت است به طوری که با افزایش تراکم پوشش گیاهی شدت تراز صوت کاهش می‌یابد شکل ۳ نقشه پهنه‌بندی کاهش صوتی منطقه را نشان می‌دهد. با توجه به این شکل مناطقی که دارای پوشش گیاهی هستند دارای ارزش بالایی نسبت به کاهش آلودگی می‌باشند.

$$L_{q=} 74.834 - 34.732NDVI \quad (۳)$$



شکل ۲. نقشه پراکنش مکانی خدمت اکوسیستمی کاهش آلودگی صوتی

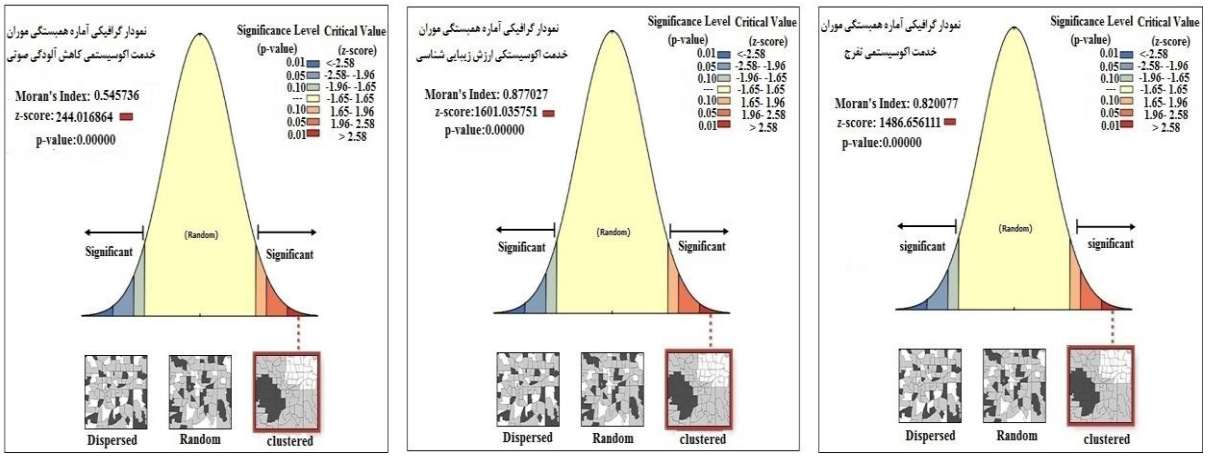
۳-۲- همبستگی فضایی موران جهانی

خروجی‌های همبستگی مکانی موران جهانی، به صورت گرافیکی و عددی در شکل ۴ و جدول ۳ ارائه شده است. خروجی گرافیکی، خوشه‌ای یا پراکنده بودن داده‌ها را نشان می‌دهد. به طورکلی، اگر شاخص موران نزدیک به ۱+ باشد، داده‌ها دارای همبستگی فضایی و الگـوی خوشـه‌ای اسـت و اگـر مقـدار شـاخص مـوران نزدیک به عدد ۱- باشد، داده‌ها ازهم‌گسسته و پراکنده است. در شاخص همبستگی موران جهانی فرضیه‌ی صفر این گونه بیان می‌گردد که هیچ نوع خوشه‌بندی فضایی بین مقادیر عنصر مرتبط با عوارض جغرافیایی مورد نظر وجود ندارد. حال زمانی که مقدار p– value بسیار کوچک و مقدار z برآورد شده (قدر مطلق آن) بسیار بزرگ باشد. (خارج از محدوده اطمینان قرار گیرد) می‌توان فرضیه‌ی صفر را رد کرد. همان‌طور که در جدول ۳ مشخص است مقدار شاخص موران برای خدمات اکوسیستمی تفرج و ارزش زیبایی‌شناسی به ترتیب بالای۰/۸۲، ۰/۸۷ و برای کاهش آلودگی صوتی و ۰/۵۴ است آماره z برای خدمات اکوسیستمی تفرج و ارزش زیبایی‌شناسی و کاهش آلودگی صوتی به ترتیب ۱۴۸۶، ۱۶۰۱ و ۲۴۴/۰۱۶ به دست آمد. اگر خدمات اکوسیستمی مورد بررسی به صورت نرمال در فضا توزیع شده بودند، شاخص جهانی موران برای خدمات اکوسیستمی مورد بررسی مقدار ۰/۰۰۰۰۰۱- را اختیار می‌نمود. به طور کلی نتایج بیانگر آن است که خدمات اکوسیستمی مورد مطالعه دارای همبستگی مثبت هستند.

جدول ۳. مقادیر همبستگی موران برای خدمات اکوسیستمی مورد بررسی

شاخص موران جهانی					
خدمت اکوسیستمی	شاخص موران	شاخص موران مورد انتظار	واریانس	z-score	p-value
تفرج	۰/۸۲۰۰۷۷	-۰/۰۰۰۰۰۱	۰	۱۴۸۶/۶۵۶۱۱۱	۰
ارزش زیبایی‌شناسی	۰/۸۷۷۰۲۷	-۰/۰۰۰۰۰۱	۰	۱۶۰۱/۰۳۵۷۵۱	۰
کاهش آلودگی صوتی	۰/۵۴۵۷۳۶	-۰/۰۰۰۰۰۱	۰	۲۴۴/۰۱۶۸۶۴	۰

ارزیابی هم‌زمان مقادیر به دست آمده با آستانه معنی‌داری نشان داد که مقادیر برآورد شده شاخص موران برای هر سه خدمت اکوسیستمی مورد بررسی در سطح $\alpha= 0.01$ معنی‌دار هستند. با توجه به نتایج به دست آمده فرضیه صفر مبنی بر نبود ارتباط فضایی خدمات اکوسیستمی رد می‌شود. از این‌رو نتیجه می‌گیریم که خدمات اکوسیستمی مورد بررسی دارای ساختارفضایی بوده و به عبارتی دارای الگوی فضایی ساختاریافته در منطقه‌ی مطالعاتی هستند و به صورت تصادفی در منطقه مطالعاتی توزیع نشده‌اند.

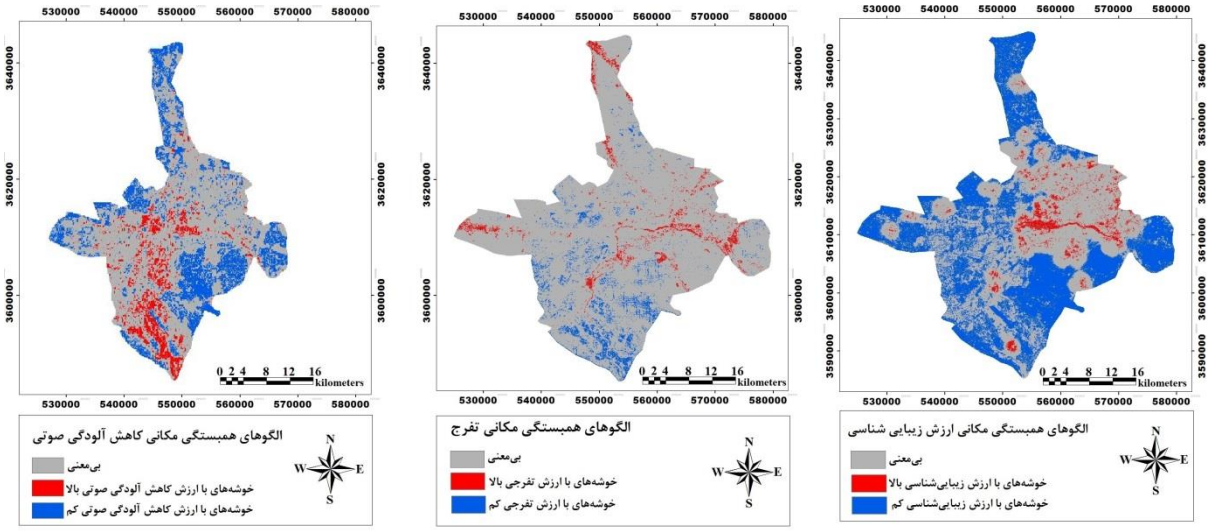


شکل ۴. نمودار گرافیکی شاخص همبستگی موران جهانی

۳-۳- همبستگی فضایی موران محلی

شاخص همبستگی موران جهانی، تنها نوع الگو را مشخص می‌کند. از این‌رو به منظور بررسی توزیع مکانی الگوی حاکم بر خدمات اکوسیستمی مورد بررسی از شاخص موران محلی استفاده شد. نتایج حاصل از نقشه‌های معنی‌داری موران محلی،

(شکل ۵) خوشه‌بندی خدمات اکوسیستمی و نوع آن را نشان می‌دهد. اگر مقدار I بیان شده در رابطه ۲ مثبت باشد، به معنای آن است که پدیده‌ی مورد نظر را عوارض مشابه احاطه کرده است؛ بنابراین پدیده‌ی مـورد نظر (خدمت اکوسیستمی)، بخشی از آن خوشه است. اگر مقدار I منفی باشد، به معنای آن اسـت کـه پدیده‌ی مـورد نظر (خدمت اکوسیستمی)، را عوارضـی نامشـابه در بر گرفته است. این نوع عارضه، ناخوشه نامیده می-شود. مقدار ارزشی حاصل از این آماره در چارچوب امتیاز استاندارد محاسبه شده و P-Value قابل تفسیر و تحلیل است. در این آماره، HH بیان‌کننده خوشه‌های مقدار زیاد یا خودهمبسـتگی فضایی مثبت در سطح ۹۹ درصد اطمینان، LL بیان‌کننده خوشه‌های مقادیر کم یا خودهمبستگی فضایی منفی در سـطح ۹۹درصد اطمینان، HL نشان‌دهنده ناخوشه‌ای بودن است که در آن، یک مقدار زیاد را مقادیر کم در بر گرفته‌اند و LH تک سلول‌هایی است که در آن، پدیده‌ی دارای مقدار کم را عوارض دارای مقادیر زیاد در بر گرفته است و از نظر آمـاری معنادار (سطح ۵ درصد) است. در جدول ۴ مساحت الگوهای مختلف حاصل از موران محلی برای خدمات اکوسیستمی آورده شده است.



شکل ۵. پراکنش الگوی موران محلی برای خدمات اکوسیستمی

جدول ۴. مساحت زیر پوشش الگوی بدست آمده از تحلیل موران محلی

نوع الگوی همبستگی	مساحت خدمات اکوسیستمی (KM^2)		
	تفرج	ارزش زیبایی‌شناسی	کاهش آلودگی صوتی
الگوی خوشه‌ای بالا (HH)	۴۳/۷۳	۴۷/۲۶۷	۱۰۰/۶۵
الگوی خوشه‌ای پایین (LL)	۷۳/۱۴۵	۵۱۵/۷۴۳	۲۷۲/۷۹
الگوی خوشه‌ای بالا در کنار الگوی خوشه‌ای پایین (HL)	–	–	–
الگوی خوشه‌ای پایین در کنار الگوی خوشه‌ای بالا (LH)	–	–	–
بدون الگو	۱۰۶۴/۱۰۲	۶۱۷/۸۸۵	۸۰۷/۵۵

٤- بحث

همان‌طور که قبلا بیان شد نتیجه‌ی کمی‌سازی خدمات اکوسیستمی تفرج و ارزش زیبایی‌شناسی، نقشه‌ای فازی است که درجات مختلف مطلوبیت را در دامنه‌ای از ۲۵۵-۰ نشان می‌دهد. به این معنا که اعداد بزرگ‌تر مطلوبیت بیشتری دارند. به عبارت دیگر عدد ۲۵۵ دارای بیشترین مطلوبیت است در حالی که عدد صفر از نظر عرضه این خدمات اکوسیستمی در منطقه‌ای مطالعاتی مطلوبیتی ندارد. طیفی از مقادیر بین این دو مقدار قرار می‌گیرد که هرچه میزان این مقادیر افزایش یابد، ارزش منطقه‌ی مطالعاتی از نظر عرضه این خدمات اکوسیستمی

افزایش می‌یابد. نقشه پهنه‌بندی صوتی منطقه‌ی مطالعاتی بر اساس ارتباط بین میزان شدت تراز صوت و پوشش گیاهی مورد بررسی قرار می‌گیرد. به این صورت که هر چه پوشش گیاهی متراکم‌تر باشد شدت تراز صوت پایین‌تر است و عرضه این خدمت اکوسیستمی در منطقه‌ی مطالعاتی بیشتر است. مناطقی با پوشش گیاهی کم و شدت تراز صوت بالا نه‌تنها سهمی در عرضه این خدمت اکوسیستمی ندارد بلکه دارای آلودگی صوتی بالا هستند. بدین ترتیب در بخش‌های مرکزی و جنوب منطقه‌ی مطالعاتی که تراکم زمین‌های کشاورزی و باغات بالا است به واسطه نقش پوشش گیاهی در کاهش آلودگی صوتی، میزان عرضه این خدمت اکوسیستمی بالا است. در این مطالعه آماره موران جهانی برای خدمات اکوسیستمی مثبت برآورد شد که نشان دهنده‌ی همبستگی مثبت و الگوی خوشه‌ای خدمات اکوسیستمی است. در شکل ۵ مناطق با رنگ قرمز الگوی خوشه‌ای بالا و مناطق با رنگ آبی الگوی خوشه‌ای پایین را برای خدمات اکوسیستمی مورد بررسی نشان می‌دهد که از نظر آماری در سطح ۹۹ درصد معنی‌دار هستند. مناطقی با رنگ خاکستری از نظر آماری معنی‌دار نیست. به بیان دیگر در این مناطق الگوی خاصی وجود نداشته و از این رو در این مناطق خدمات اکوسیستمی بدون الگوی همبستگی مکانی در منطقه مطالعاتی است. با توجه به جدول ۴ این الگو برای خدمت اکوسیستمی تفرج مساحتی معادل ۱۰۶۴/۱۰۲ کیلومتر مربع را در برگرفته به گونه‌ای که در ۹۰٪ سطح منطقه مطالعاتی دیده می‌شود در حالی که برای خدمات اکوسیستمی ارزش زیبایی-شناسی و کاهش آلودگی صوتی به ترتیب با مساحتی معادل ۶۱۶/۸۸۵ و ۸۰۷/۵۵ کیلومتر مربع ۵۲٪ و ۶۸٪ منطقه را در برمی‌گیرد. با توجه به شکل ۵ الگوی خوشه‌ای بالا (همبستگی مکانی مثبت) برای خدمات اکوسیستمی موردذ بررسی در قسمت مرکزی، شرق و جنوب شرق و بخش‌هایی از شمال منطقه مطالعاتی مکان‌گزینی کرده است. برای خدمات اکوسیستمی تفرج و ارزش زیبایی‌شناسی و کاهش آلودگی صوتی الگوی خوشه‌ای بالا به ترتیب با مساحت ۴۳/۷۳ و ۴۷/۲۶۸ و ۱۰۰/۶۵کیلومتر مربع و درصدی معادل ۳/۷٪ و ۴٪ ۱۱/۸٪ نسبت به الگوی خوشه‌ای پایین با مساحت ۷۳/۱۴۵ و ۵۱۵/۷۴۳ و ۲۷۲/۷۹ کیلومترمربع و درصدی معادل ۶/۱۹٪ و ۴۳/۶۷٪ و ۳۲/۲۱٪ و مناطق بدون الگو کمترین سهم را در الگوهای همبستگی مکانی منطقه مطالعاتی دارند. بررسی هم-زمان نتایج کمی‌سازی خدمات اکوسیستمی و تحلیل همبستگی موران محلی در مورد توزیع همبستگی مکانی خدمات اکوسیستمی نشان می‌دهد که مناطقی که دارای بیشترین میزان مطلوبیت و ارزش از نظر عرضه خدمات اکوسیستمی هستند دارای همبستگی مکانی مثبت معنی‌دار بوده و از الگوی خوشه-ای بالا پیروی می‌کنند در حالی که مناطق بدون مطلوبیت از نظر عرضه خدمات اکوسیستمی، همبستگی مکانی منفی داشته و دارای الگوی خوشه‌ای پایین هستند. با توجه به این که قسمت بیشتر منطقه‌ی مطالعاتی از نظر عرضه خدمات اکوسیستمی دارای طیفی از مقادیر متوسط تا کم می‌باشد، سهم بالایی از منطقه مطالعاتی از نظر همبستگی مکانی از الگوی خاصی پیروی نکرده و از این نظر بی‌معنی است. با توجه به این که قابلیت دید پارک‌ها و فضاهای سبز شهری، موثرترین و مهم‌ترین معیار در ارزش زیبایی‌شناسی منطقه است در تحلیل همبستگی مکانی این خدمت اکوسیستمی، این مناطق دارای بیشترین همبستگی بوده و دارای الگوی خوشه‌ای بالا هستند. این نکته در مورد خدمت اکوسیستمی تفرج نیز به چشم می-خورد به طوری که مهم‌ترین معیار در ارزش تفرجی منطقه مطالعاتی فاصله از جاده و مسیرهای دسترسی است (معیار فاصله از جاده و مسیرهای دسترسی مهم‌ترین معیار در فعالیت تفرجی پیاده‌روی است که بیشترین سهم را در ارزش تفرجی منطقه مطالعاتی دارد)، از این رو این مناطق همبستگی مثبت قوی را نشان داده و از الگوی خوشه‌ای بالا پیروی می‌کنند.

۵- نتیجه‌گیری

شناسایی الگوهای مکانی خدمات اکوسیستمی گامی موثر در بهبود مدیریت سودمندی‌های حاصل از طبیعت است. در این مطالعه الگوهای همبستگی مکانی سه خدمت اکوسیستمی تفرج، ارزش زیبایی‌شناسی و کاهش آلودگی صوتی مورد بررسی قرار گرفت. بررسی چگونگی پراکنش خدمات اکوسیستمی با استفاده از آماره موران نشان داد که توزیع مکانی خدمات اکوسیستمی مورد بررسی با توجه به نمره بالای z-score، خوشه‌ای بوده و ضریب بالای ۰/۸ موران برای دو خدمت اکوسیستمی ارزش تفرجی و ارزش زیبایی‌شناسی و ضریب بالای ۰/۵ برای خدمت اکوسیستمی ماهش آلودگی صوتی نیز بیانگر همبستگی قوی خدمات اکوسیستمی است. نتایج روش-های مختلف مورد استفاده در این پژوهش نشان داد که در مورد خدمات اکوسیستمی مورد بررسی مناطق مرکزی، شرقی، جنوب شرقی و شمالی منطقه‌ی مطالعاتی بیشترین تجمع خوشه‌هایی با همبستگی مکانی مثبت را نشان می‌دهد. از این رو نتایج این مطالعه می‌تواند به منبع قابل قبولی مورد استفاده برنامه‌ریزان سرزمین قرار گیرد. با توجه به این که در این مطالعه تنها سه خدمت اکوسیستمی از زیرشاخه‌های خدمات اکوسیستمی فرهنگی و تنظیمی مورد بررسی قرار گرفت، لازم است تا سایر خدمات اکوسیستمی و از چهار زیرشاخه خدمات اکوسیستمی

(تنظیمی، فرهنگی، فراهم‌سازی و حمایتی) مورد بررسی قرار گیرد تا امر تصمیم‌گیری و برنامه‌ریزی سیمای سرزمین به منظور دستیابی به توسعه پایدار با دقت و اطمینان بیشتری صورت گیرد.

سپاسگزاری

این مطالعه در قالب بخشی از یک طرح پژوهشی مصوب و با حمایت صندوق حمایت از پژوهشگران و فناوران کشور انجام شد که بدین وسیله قدردانی می‌گردد.

منابع

– اسداللهی، ز.، سلمان ماهینی، ع.، میرکریمی، س. ح.، عظیمی، م.، ۱۳۹۴. مدل‌سازی خدمت اکوسیستمی نگه‌داشت خاک با نرم‌افزار InVEST، (مطالعه موردی: بخش شرقی حوضه آبخیز گرگانرود)، مجله پژوهش‌های فرسایش محیطی، شماره ۳: ۷۵– ۶۱.

– اسداللهی، ز.، سلمان ماهینی، ع.، میرکریمی، س. ح.، عظیمی، م.، ۱۳۹۵. بررسی اثر تغییر کاربری اراضی بر عرضه خدمات زیستگاهی با نرم‌افزار InVEST، (مطالعه موردی: بخش شرقی حوضه آبخیز گرگانرود)، مجله علوم و تکنولوژی محیطزیست، دسترسی آنلاین، ۴ مرداد ۱۳۹۵.

– اسدی، م.، کرمی، م.، ۱۳۹۶. بازنمایی تغییرپذیری دما در استان فارس با استفاده از آمار فضایی، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، شماره ۱۲۴: ۷۵–۶۴.

– رحیمی، ا.، سلمان ماهینی، ع.، میرکریمی، س. ح.، ۱۳۹۴. بکارگیری فنون همبستگی مکانی در اندازه‌گیری گسترش بی‌رویه شهرنشینی (مطالعه موردی: شهر گرگان)، محیط‌شناسی، ۴۲ (۱): ۱۱۳–۹۷.

– سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی استان اصفهان.، ۱۳۹۵ سالنامه آماری استان اصفهان.

– علی‌آبادی، ک.، داداشی رودباری، ع.، ۱۳۹۴ بررسی تغییرات الگوهای خودهمبستگی فضایی دمای بیشینه ایران، مطالعات جغرافیایی مناطق خشک، ۲۱: ۱۰۴–۸۶

– کرمی، م.، اسدی، م.، پناهی، ع.، سلیمانخانی، ط.، کرمی، ج.، ۱۳۹۵. ارزیابی خودهمبستگی زمانی–مکانی بارش استان سمنان با رویکرد آمار فضایی. علوم و مهندسی محیطزیست. شماره ۱۰: ۷۶–۶۵

- Anselin, L., Syabri I., Kho, Y. 2009, Geo Da: an introduction to spatial data analysis. In Fischer MM, Getis, A., (Eds). Handbook of applied spatial analysis. Springer, Berlin, Heidelberg and New York, pp. 73-89.

- Balvanera, P., Castillo, A., Martínez-Harms, M. J. 2011. Ecosystem Services in Seasonally Dry Tropical Forests, PP. 259- 277, Ecology and Conservation, R. Dirzo etal (eds), Island Press,Washington, D.C. United States.

- Bachmann Vargas, P. 2013 Ecosystem services modeling as a tool for ecosystem assessment and support for decision making process in Aysén region, Chile (Northern Patagonia), Master of Science Environmental Management, Faculty of Agriculture and Nutritional Sciences, Christian-Albrechts-Universität, Kiel – Germany.

- Crouzat, E., Mouchet, M., Turkelboom, F., Byczek, C., Meersmans, Berger, F., Johannes Verkerk, P., Lavorel, S. 2015. Assessing bundles of ecosystem services from regional to landscape scale: insights from the French Alps. Journal of Applied Ecology, 52, 1145–1155.

- Depellegrin, D., Pereira, P., Misiunė, L ., Egarter-Vigl, L. 2016. Mapping ecosystem services potential in Lithuania, International Journal of Sustainable Development and World Ecology. ISSN: 1350-4509 (Print) 1745-2627 (Online) Journal homepage: http://www.tandfonline.com/loi/tsdw20

- Derkzen, M. L., J. A. van Teeffelen, A., H. Verburg, P., 2015. Quantifying urban ecosystem services based on highresolution data of urban green space: an assessment for Rotterdam, the Netherlands. Journal of Applied Ecology, 52, 1020-1032.

- Fang C., Wang, Z., Xu, G. 2016. Spatial-temporal characteristics of PM2. 5 in China: A city-level perspective analysis. Journal of Geographical Sciences, 26(11): pp.1519-32.

- Illian, J., Penttinen, A., Stoyan, H., Stoyan, D. 2008. Statistical Analysis and Modelling of Spatial Point Patterns. John Wiley and Sons, Chichester. Uk.

- Millennium Ecosystem Assessment., 2005. Ecosystem and human well-being: Scenarios; finding of the Scenarios Working Group, Vol, 2. Island Press, Washington, D.C. United States.
- Moller, j. 2008. Handbook of Spatial Statistics, John Wiley and Sons, Chichester, pp. 37-45.
- Maes, J., Egoh, B., Willemen, L., Liquete, C., Vihervaara, P., Schagner, J. P., Grizzetti, B., Drakou, E. G., LaNotte, A., Zulian, G., Bouraoui, F., Paracchini, M. L., Braat, L. and Bidoglio, G. 2012. Mapping ecosystem services for policy support and decision making in the European Union, Ecosystem Services, 1:pp. 31–39.
- Mokondoko, P., Manson, R. H., Ricketts, T. H., Geissert, D. 2018. Spatial analysis of ecosystem service relationships to improve targeting of payments for hydrological services, PLOS ONE, https://doi.org/10.1371/journal.pone.0192560.
- Raudsepp-Hearne, C., Peterson, G. D., Bennett, E. M. (2010) Ecosystem service bundles for analyzing trade offs in diverse landscapes. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States,107: pp. 5242–5247.
- Smith, M. J., Goodchild, M. F., Longley, P. A. 2009. Geospatial analysis. Handbook of Comprehensive Guide to Principles, Techniques and Software Tools. Troubador Ltd: Leicester, UK.Troubador, Leicester
- Waagepetersenand, R., Schweder, T. 2006. "Likelihood-based inference for clustered line transect data". Journal of Agricultural, Biological, and Environmental Statistics. 11:pp. 264–279.
- Wheeler, D. 2007. A comparison of spatial clustering and cluster detection techniques for childhood leukemia incidence in Ohio, 1996-2003. International Journal of Health Geographics, 6(13). doi:10.1186/1476-072X-6-13, https:// www.ij- health geographics.com/content/6/1/13
- Wheeler D, Paéz. A. 2009. Geographically Weighted Regression. In Fischer MM, Getis A (Eds). Handbook of applied spatial analysis. Springer, Berlin, Heidelberg and New York, pp.461-486
- Wang Z. B., Fang C. L. 2016. Spatial-temporal characteristics and determinants of PM 2.5 in the Bohai Rim Urban Agglomeration. Chemosphere. 148: pp.148-62.
- Zhang, C., Luo, L., Xu., W., Ledwith, V. 2008. Use of local Moran's I and GIS to identify pollution hotspots of Pb in urban soils of Galway, Ireland. Science of The Total Environment, 398: pp. 212-221.
- Zhang, Zh., Gao, J., 2016. Linking landscape structures and ecosystem service value using multivariate regression analysis: a case study of the Chaohu Lake Basin, China, Environmental Earth Science, 75 (3): DOI 10.1007/s12665-015-4862-0