

## **The Evaluation and Modeling of the Impacts of Urban Development on Landscape Patterns in Karaj Metropolis**

**Fatemeh Mohammadyari<sup>1</sup>, Mir Mehrdad Mirsanjari<sup>2</sup>, Ardovan Zarandian<sup>3</sup>**

- 1. PhD Student of Land Use Planning, Faculty of Natural Resources and Environment, Department of Environmental Sciences, Malayer University, Malayer, Iran*
- 2. Assistant Professor, Faculty of Natural Resources and Environment, Department of Environmental Sciences, Malayer University, Malayer, Iran*
- 3. Assistant Professor, Research Center for Environmental and Sustainable Development (RCESD), Tehran, Iran*

(Received: January 30, 2020; Accepted: May 17, 2020)

### **Abstract**

The goals of the present study were to analyze changes in land cover and to estimate a future scenario for 2028 using an artificial neural network in the Karaj Metropolis. To this end, the effects of land use changes in response to urban expansion on landscape patterns were investigated in three baseline, current, and future scenarios using landscape metrics and gradient analysis. The results showed that during a 22-year period, the agricultural and Garden lands have been severely damaged due to urban expansion. The results of the evaluation of changes in landscape also indicate that urban expansion in development in the north-south transect to the margins (especially northward) and the east-west transect with a gentle slope to the west of the region. It is also anticipated that in the future scenario, if the current trend continues, the northern margin of Karaj metropolis will be changed from natural environment to a completely human-made one. Therefore, considering the results of the Pd and Ed metrics in both transects over the three examined years, it can be said that the area has expanded to the margin and there has not been much changes in the landscape of downtown. In addition, the decrease in the Pd and NP in all three scenarios indicates the consistency of urban landscape. In general, population growth and urban development have made the landscape pattern in Karaj metropolis to be a more regular and less varied one. The results indicate that spatial heterogeneity has altered the landscape patterns. Therefore, the growth of construction land in some areas should be restricted, and balanced development should be adopted to prevent the fragmentation of the landscape.

### **Keywords**

Urban expansion, Gradient analysis, Modeling, Landscape metrics, Karaj.

## ارزیابی و مدل سازی اثرات گسترش شهری بر الگوهای سیمای سرزمین در کلان شهر کرج

فاطمه محمدیاری<sup>۱</sup>، میرمهرداد میرسنجری<sup>۲</sup>، اردوان زرنديان<sup>۳</sup>

۱. دانشجوی دکترای آمایش محیط زیست، گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه ملایر، ملایر، ایران

۲. استادیار، گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه ملایر، ملایر، ایران

۳. استادیار، پژوهشکده محیط زیست و توسعه پایدار سازمان حفاظت محیط زیست، تهران، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۱۱/۱۰ - تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۲/۲۸)

### چکیده

اهداف مطالعه حاضر ارزیابی تغییرات پوشش زمین و برآورد سناریوی آینده برای سال ۱۴۰۷ با استفاده از روش شبکه عصبی مصنوعی در کلان شهر کرج بود. سپس آثار تغییرات کاربری اراضی در پاسخ به گسترش شهری بر الگوهای سیمای سرزمین در سه سناریوی پایه، جاری، و آینده با استفاده از متریک های سیمای سرزمین و آنالیز گرادیان صورت گرفت. نتایج نشان داد در دوره زمانی ۲۲ ساله زمین های کشاورزی و باغی به علت گسترش شهری به شدت تخریب شده اند. نتایج ارزیابی تغییرات در سیمای سرزمین نیز حاکی از این است که گسترش شهری در ترانسکت شمالی- جنوبی به طرف حاشیه ها (به ویژه به سمت شمال) و در ترانسکت شرقی- غربی با شیب ملایم به سمت غرب منطقه در حال پیش روی است. همچنین، در صورت تداوم روند موجود، پیش بینی می شود در سناریوی آینده حاشیه شمالی کلان شهر کرج از محیط طبیعی به کاملاً انسان ساخت تغییر کند. از این رو، با توجه به نتایج متریک تراکم لکه و تراکم حاشیه در طول هر دو ترانسکت در سه سال مورد بررسی می توان گفت گسترش منطقه به طرف حاشیه ها صورت گرفته است و در سیمای سرزمین مرکز شهر تغییرات زیادی رخ نداده است. همچنین کاهش متریک های تعداد و تراکم لکه در هر سه سناریو نشان دهنده پیوستگی سیمای سرزمین شهری است. به طور کلی رشد جمعیت و گسترش شهری موجب شده است الگوی سیمای سرزمین در کلان شهر کرج الگویی با شکل منظم تر و تنوع کمتر باشد. نتایج بیانگر آن است که ناهمگونی مکانی باعث تغییر در الگوهای سیمای سرزمین شده است. بنابراین رشد اراضی ساختمانی در برخی مناطق باید محدود شود و برای جلوگیری از تکه تکه شدن سیمای سرزمین باید توسعه متوازن انجام شود.

### کلیدواژگان

آنالیز گرادیان، کرج، گسترش شهری، متریک های سیمای سرزمین، مدل سازی.

## مقدمه و بیان مسأله

با افزایش جمعیت و افزایش فعالیت‌های اقتصادی، تقاضا برای توسعه زمین افزایش یافته است و به دنبال آن رشد بی‌رویه در مناطق شهری باعث ظهور پدیده شهرنشینی یا گسترش شهری شد (Su et al 2012: 34). مناطق شهری نقاط داغی هستند که تأثیرات اکولوژیکی و محیط زیستی را در مقیاس‌های مختلف ایجاد می‌کنند (Qureshi et al 2014: 103)؛ اکوسیستم‌های ویژه‌ای که هم مشکلات هم راه‌حل‌های چالش‌های توسعه پایدار را برای جهانی که به سرعت در حال گسترش شهری است ارائه می‌دهند (Li et al 2015: 101). در عصر حاضر، جهان در حال گسترش قابل توجه شهری است (Wu 2010: 2)؛ به گونه‌ای که میزان گسترش شهری بیش از میزان رشد جمعیت است (Grêt- Regamey et al 2017: 207) و با توجه به این روند پیش‌بینی می‌شود تا سال ۲۰۳۰ سه برابر جمعیت شهری باشد (Sun et al 2018: 976). گسترش شهری همیشه نشانه‌ای از رونق اقتصادی منطقه در نظر گرفته شده است (Pullanikkatil et al 2016: 98). اما فعالیت‌های انسانی مانند تغییر کاربری‌ها بی‌تردید توابع اکوسیستم را تخریب می‌کند که ممکن است باعث تغییرات برگشت‌ناپذیر در محیط زیست شود (Li et al 2016: 418). بنابراین، خطرهای محیط زیستی ناشی از گسترش شهری عامل اصلی تغییرات جهانی است (Rees & Wackernagel 2008: 540). از نتایج گسترش و توسعه‌های بدون برنامه شهرها تغییر سیمای سرزمین و به دنبال آن تغییر ساختار و عملکرد و برهم خوردن تعادل بوم‌شناختی و انسان‌شناختی است؛ به گونه‌ای که منجر به گسست از طبیعت و نظام‌های طبیعی در جریان زندگی روزمره انسان شهرنشین شده است. بر این اساس، گسترش شهری بدون مدیریت مناسب علاوه بر ایجاد فضای نامطلوب شهری باعث مسائلی مانند از بین رفتن منابع زمین و تضعیف و تخریب خدمات اکوسیستم خواهد شد (Bathrellos et al 2017: 126). با توجه به اینکه در آینده نزدیک نیاز به ساخت‌وسازهای شهری احتمالاً وجود خواهد داشت، در صورت عدم تنظیم و کنترل صحیح، شهرها می‌توانند به شکل نامنظم رشد کنند و در نتیجه مشکلاتی مانند آلودگی محیط زیست (Dong et al 2014: 7026)، فرسایش خاک (Sun et al 2001: 285)، و تخریب زمین‌های کشاورزی (Lu et al 2015: 189) به وجود می‌آید. بنابراین، مدل‌سازی گسترش شهری و پیش‌بینی الگوی آینده شهری از اهمیت بالایی

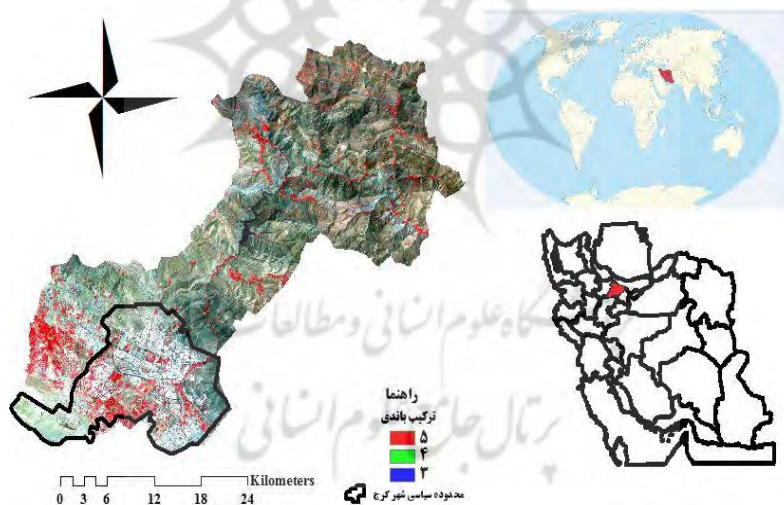
برخوردار است (Xu et al 2018: 13). در این زمینه، سنجش از راه دور به طور قابل توجهی می‌تواند در ایجاد نقشه کاربری زمین شهری، که جمع‌آوری اطلاعات آن مشکل است، کمک کند (Haas & Ban 2017: 43). همچنین بررسی رابطه بین گسترش شهری و الگوهای سیمای سرزمین می‌تواند حمایت از مدیریت محیط زیستی شهری را فراهم کند (Huilei et al 2017: 54). بر این اساس، در مطالعات اخیر توجه زیادی به رابطه بین گسترش شهری و الگوهای سیمای سرزمین شده است (ایران‌خواهی و جوزی ۱۳۹۵؛ میرسنجری و محمدیاری ۱۳۹۶؛ محمدیاری و همکاران ۱۳۹۷؛ Du et al 2014؛ Maimaitijiang et al 2015؛ Vizzaria & Sigurab 2015؛ Hassan 2017؛ Huilei et al 2017؛ Zang et al 2017؛ De Montis et al 2019). استفاده از آنالیز گرادیان در مطالعات آثار گسترش شهری اولین گام مؤثر در پیوند الگو و فرایند سازنده آن در مطالعات اکولوژی شهری است (Luck & Wu 2002: 328). این روش را اولین بار ویتاکر با هدف مطالعه پوشش گیاهی ابداع کرد (Whittaker 1975: 210). اما استفاده از این مفهوم در مطالعات اکولوژی به وسیله مک دونل پیکت در سال ۱۹۹۰ معرفی شد. بر اساس نظر مک دونل پیکت، تغییر در توسعه شهری و شدت آثار انسانی بر کاربری‌ها یک گرادیان است (McDonnell et al 1990: 1233). در این روش بر روی یک سطح، بدون طبقه‌بندی خاصی از کاربری اراضی یا بدون ایجاد طبقات همگن با مرزهای مشخص، ویژگی مورد نظر مطالعه می‌شود. بنابراین، به دلیل اینکه به صورت واقعی‌تری تغییرات الگوی سیمای سرزمین را نشان می‌دهد همراه متریک‌های سیمای سرزمین شدت گسترش شهری را به‌خوبی نمایش می‌دهد (Zaheng et al 2004: 9). ترکیب تحلیل گرادیان و متریک‌های سیمای سرزمین برای آشکارسازی تغییرات الگوی سیمای سرزمین در مطالعات (میرسنجری و محمدیاری ۱۳۹۶؛ محمدیاری و همکاران ۱۳۹۷؛ Tao et al 2015؛ Vizzaria & Sigurab 2015) صورت گرفته است. در حال حاضر کلان‌شهر کرج با چالش‌های رشد جمعیت بالا و گسترش شهرنشینی مواجه است که بدون شک این تغییرات بر خدمات اکوسیستم و رفاه انسان تأثیر می‌گذارد. ازین‌رو، ارزیابی به‌موقع و مؤثر آثار گسترش شهرها و مدل‌سازی آن‌ها در آینده از لحاظ علمی برای ارتقای توسعه پایدار منطقه‌ای مهم و برای درک بهتر محیط زیست شهری و دستیابی به پایداری شهری ضروری است. بر این اساس هدف از پژوهش حاضر کمی

کردن الگوی مکانی کلان‌شهر کرج با استفاده از روش گرادیان و بررسی آثار گسترش شهری بر تغییر الگوی کاربری اراضی در طول ترانسکت‌های مورد بررسی است.

## مواد و روش‌ها

### مرزبندی سیمای سرزمین منطقه مطالعاتی

در پژوهش حاضر، مرزبندی منطقه با توجه به واحدهای لنداسکیپ صورت گرفت. زیرا مرز حقوقی کلان‌شهر کرج منطبق بر مرزهای بوم‌شناختی نیست. بدین منظور با استفاده از نرم‌افزار Arc GIS و استخراج واحدهای هیدرولوژیک محدوده نهایی به گونه‌ای تعریف شد که هم دربرگیرنده زمین‌های مرتفع در بالادست هم جلگه‌های سیلابی در پایین‌دست باشد. بر این اساس محدوده مورد مطالعه در ناحیه‌ای به مساحت ۱۱۷۵۲۰ هکتار، بین طول جغرافیایی ۵۰ درجه و ۴۶ دقیقه تا ۵۱ درجه و ۲۱ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۴۶ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۹ دقیقه شمالی در شرق استان البرز قرار دارد (شکل ۱).



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی محدوده مطالعاتی

این پژوهش به لحاظ روش‌شناختی بر سه گام اصلی استوار است: الف) بررسی روند تغییرات پوشش / کاربری اراضی بر اساس تحلیل تصاویر ماهواره‌ای در دوره زمانی ۱۳۸۵ - ۱۳۹۶؛ ب)

تعریف سناریوی محتمل آینده؛ ج) ارزیابی و مدل‌سازی آثار تغییرات کاربری اراضی در پاسخ به گسترش شهری بر الگوهای سیمای سرزمین در سه سناریوی پایه و جاری و آینده.

### تهیه نقشه کاربری زمین در دو مقطع زمانی پایه و جاری

در تحقیق حاضر به منظور تهیه نقشه پوشش/ کاربری اراضی منطقه مورد مطالعه از تصاویر ماهواره‌ای لندست (Zhang et al 2017: 116) سنجنده‌های TM و OLI استفاده شد. تصاویر مربوطه در فصل تابستان که کمترین ابر را دارد (Kremer et al 2016: 59) انتخاب شد. بر این اساس دو تصویر در سال‌های ۱۳۸۵ و ۱۳۹۶ استفاده شد که پس از تصحیحات هندسی و اتمسفری در نرم‌افزار ENVI با استفاده از الگوریتم ماشین بردار پشتیبان طبقه‌بندی شدند. ارزیابی صحت نقشه‌های طبقه‌بندی‌شده با توجه به ضریب کاپا، که یکی از پارامترهای معروف آماری در این زمینه است (Haas & Ban 2017: 48)، انجام گرفت. ضریب کاپا، که به طور گسترده‌ای برای اعتبار مدل‌سازی تغییرات کاربری اراضی استفاده می‌شود (Mohamed & Worku 2020: 8)، دقت فرایند مدل‌سازی را به‌خوبی نشان می‌دهد (Mansour et al 2020: 13). بدین منظور، برای ارزیابی صحت طبقه‌بندی تصاویر در سال ۱۳۹۶ با کمک Google Earth و برداشت تعداد زیادی نقاط کنترل زمینی به صورت نمونه‌گیری تصادفی طبقه‌بندی‌شده با استفاده از GPS، کاربری نقاط واقعیت زمینی با تصویر طبقه‌بندی‌شده مقایسه شدند. همچنین ارزیابی صحت نقشه طبقه‌بندی‌شده سال ۱۳۸۵ با استفاده از تفسیر بصری و مناطقی که طی زمان تغییر نکرده بودند محاسبه شد (Schulz et al 2010: 439; Thapa & Murayama 2012: 143).

### مدل‌سازی گسترش شهری

مدل‌سازی تغییر کاربری اراضی در نرم‌افزار IDRISI و به صورت الحاقی در Arc GIS ابزاری برای ارزیابی و طراحی تغییر پوشش زمین فراهم و کاربری اراضی را آنالیز می‌کند (Gontier et al 2009: 12). آنالیز تغییرات و پیش‌بینی در این مدل به صورت زیرمدل‌هایی سازماندهی شده‌اند (Eastman 2006). برای مدل‌سازی پتانسیل انتقال قبل از هر کاری باید زیرمدل‌ها مشخص شوند. بعد از انتخاب زیرمدل‌ها نیز متغیرهای تاثیرگذار در مدل‌سازی انتخاب شد. متغیرها به صورت دینامیک یا استاتیک به مدل اضافه شدند. بر این اساس با توجه به نتایج آشکارسازی تغییرات و ارزیابی آن در بازه زمانی (۱۳۸۵ - ۱۳۹۶) چهار زیرمدل کشاورزی به مناطق ساخته‌شده، باغ به مناطق ساخته‌شده، مراتع

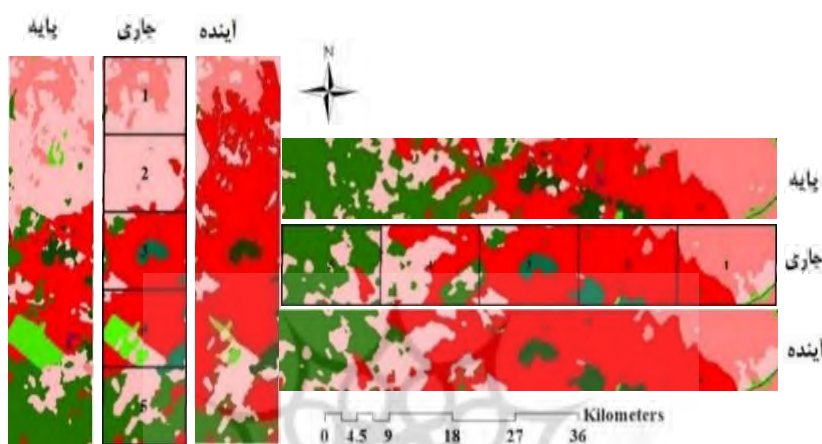
کم تراکم به مناطق ساخته شده، مراتع پرتراکم به مناطق ساخته شده که بیشترین و تأثیرگذارترین تغییرات را داشتند در نظر گرفته شد. بعد از انتخاب زیرمدل‌ها، سیزده متغیر تأثیرگذار در مدل‌سازی گسترش شهری انتخاب شدند. با بررسی ضریب همبستگی کرامر (Silva et al 2020: 8) متغیرهایی که ضریب همبستگی آن‌ها بالای ۰/۱ بود برای مدل‌سازی انتخاب شد. بر این اساس، متغیرهای مدل راقومی ارتفاع، فاصله از مناطق ساخته شده، فاصله از اراضی کشاورزی، فاصله از باغ، فاصله از مراتع پرتراکم، فاصله از رخنمون سنگی، فاصله از جاده، و متغیر Evidence Likelihood مورد استفاده قرار گرفتند. دو متغیر مدل راقومی ارتفاع و Evidence Likelihood به صورت ایستا و سایر متغیرها به صورت دینامیک وارد مدل شدند. بعد از انتخاب زیرمدل‌ها و طبق متغیرهای انتخاب شده نقشه‌های پتانسیل تبدیل هر کاربری برای هر یک از زیرمدل‌ها از طریق شبکه‌های عصبی پرسپترون چندلایه (Silva et al 2020: 9) و تخصیص تغییر به هر کاربری با استفاده از زنجیره مارکوف برای چشم‌انداز آینده محاسبه شد (Mohamed & Worku 2020: 6). ارزیابی دقت نقشه مدل‌سازی با روش شبکه عصبی با سه عامل دقت کلی، خطای آموزش، و خطای تست تعیین شد.

### رویکرد سیمای سرزمین

بررسی تغییرات کاربری اراضی در پاسخ به گسترش شهری با آنالیز گرادیان صورت گرفت. برای اجرای این آنالیز از روش ترانسکت (Wang et al 2006: 37; Yang et al 2010: 93; Vizzaria & Sigurab 2015: 44) استفاده شد. بدین منظور دو ترانسکت نمونه در جهت شمالی-جنوبی و شرقی-غربی از مرکز شهر به اطراف شهر طراحی شدند (شکل ۲). در طول ترانسکت‌ها از مدل پنجره متحرک استفاده شد (Tao et al 2015: 211). همچنین، با توجه به مرور منابع شش سنجه با همبستگی کم در سطح سیمای سرزمین و کلاس انتخاب شد. سنجه‌های منتخب شامل تعداد لکه<sup>۱</sup>، تراکم لکه<sup>۲</sup>، تراکم لبه<sup>۳</sup>، شاخص تنوع شانون<sup>۴</sup>، درصد پوشش اراضی<sup>۵</sup>، و شاخص تجمع<sup>۶</sup> بودند. این

1. Number of Patches (NP)
2. Patch Density (PD)
3. Edge Density (ED)
4. Shannon's Diversity Index (SHDI)
5. Percentage of landscape (PLAND)
6. Aggregation Index (AI)

سنجه‌ها می‌توانند ترکیب و شکل لکه‌ها و تجمع سیمای سرزمین در کلان‌شهر کرج را منعکس کنند (جدول ۱). تجزیه و تحلیل این روش با نرم‌افزار FRAGSTATS صورت گرفت. روند کلی تحقیق در شکل ۳ نشان داده شده است.

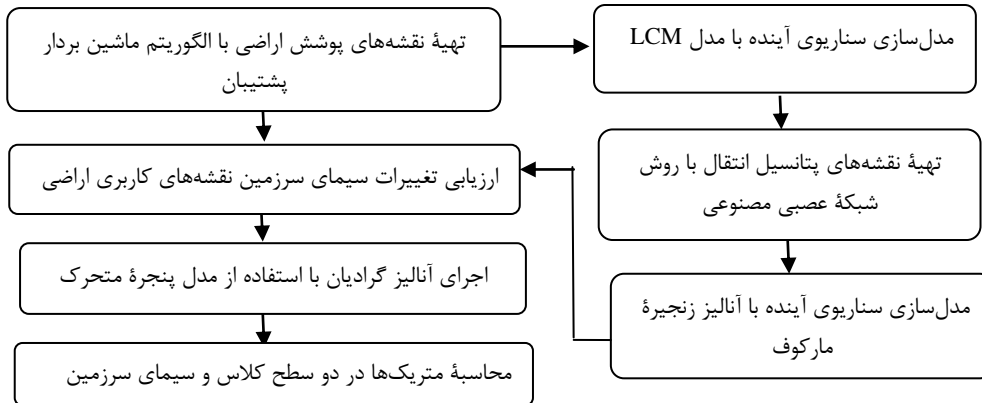


شکل ۲. موقعیت ترانسکت‌های هدایت‌شده در دو جهت شرقی-غربی و شمالی-جنوبی روی نقشه‌های کاربری اراضی

جدول ۱. معرفی متریک‌های مورد بررسی

منبع	واحد	تعریف	متریک‌ها
Su et al 2011	بدون واحد	برابر با تعداد تکه‌های چشم‌انداز در سطح کلاس یا سیمای سرزمین	NP
Huilei et al 2017	تعداد هر هکتار	این متریک تعداد لکه‌ها را در واحد سطح نشان می‌دهد.	PD
Su et al 2011	m/ha	طول کل حاشیه‌ها (در هر هکتار) برای هر کلاس یا سیمای سرزمین	ED
Huilei et al 2017	بدون واحد	تنوع کاربری‌های سیمای سرزمین را اندازه‌گیری می‌کند.	SHDI
Zhang and Gao 2016	%	درصد تجمع را نشان می‌دهد.	AI
Zarandian et al 2017	%	نسبت درصد هر نوع لکه (کلاس) را اندازه‌گیری می‌کند.	PLAND



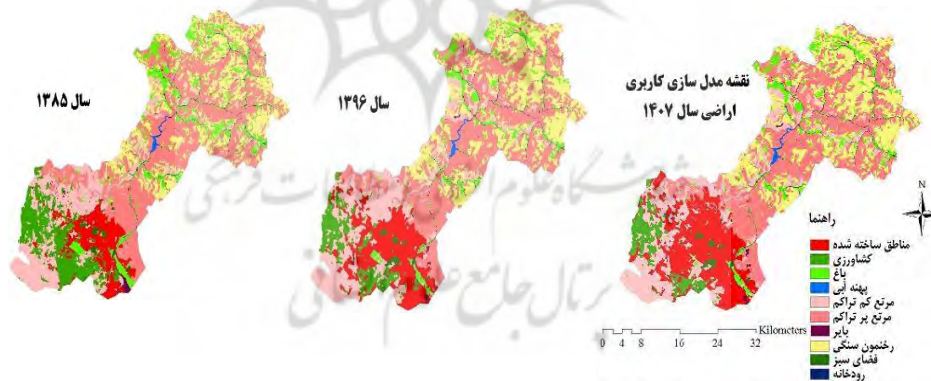


شکل ۳. نمودار روند تحقیق

### یافته های تحقیق

#### نقشه های کاربری اراضی

با توجه به شرایط منطقه مورد مطالعه، تصاویر و نقشه های موجود، و کلاس های مورد نیاز برای نقشه پوشش زمین نقشه های کاربری اراضی در ده کلاس مناطق ساخته شده، اراضی کشاورزی، باغ، پهنه های آبی، مراتع کم تراکم و پرتراکم، اراضی بایر، رخنمون سنگی، فضای سبز، و رودخانه طبقه بندی شدند (شکل ۴).



شکل ۴. نقشه های کاربری اراضی

ضریب کاپا برای سال ۱۳۸۵ و ۱۳۹۶ به ترتیب ۰/۹۳ و ۰/۹۵ به دست آمد. همچنین دقت کلی نقشه مدل سازی با روش شبکه عصبی ۰/۸۱ درصد محاسبه شد.

### آنالیز گرادیان در ترانسکت شمال- جنوب در سطح کلاس

درصد هر یک از کلاس‌ها در طول ترانسکت شمالی- جنوبی محاسبه شد (جدول ۲).

جدول ۲. مقایسه درصد کلاس‌های کاربری اراضی در طول ترانسکت شمالی- جنوبی

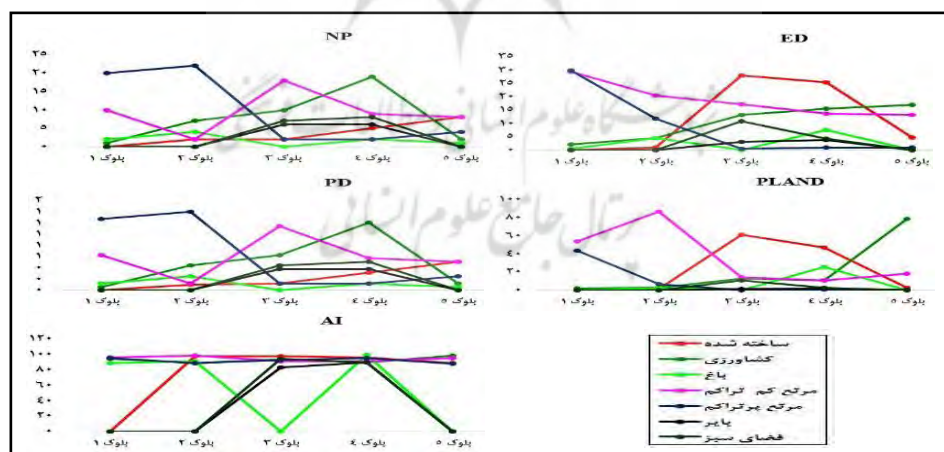
مساحت (درصد)	کاربری	ساخته‌شده	کشاورزی	زده	پهنه آبی	مرتفع کم تراکم	مرتفع پرتراکم	بایر	رخنمون سنگی	فضای سبز	رودخانه
۱۳۸۵	۲۲	۲۱	۶	۰	۳۷	۱۱	۱	۰	۳	۰	
۱۳۹۶	۱۲	۳۲	۳	۰	۴۱	۸	۰	۰	۳	۰	
۱۴۰۷	۶	۶۴	۱	۰	۱۷	۷	۰	۰	۳	۰	

با توجه به نتایج ۲۲ درصد از مساحت کل ترانسکت سال ۱۳۸۵ را اراضی کشاورزی تشکیل داده است که مساحت این کاربری در سال ۱۳۹۶ به ۱۲ درصد رسیده است. همچنین، پیش‌بینی می‌شود در چشم‌انداز آینده فقط ۶ درصد از مساحت کل ترانسکت را کاربری کشاورزی تشکیل دهد. مساحت مناطق ساخته‌شده در این ترانسکت با رشدی سریع از سال ۱۳۸۵ تا ۱۴۰۷ رو به افزایش است؛ به گونه‌ای که کلاس مناطق ساخته‌شده ماتریکس (بیش از ۵۰ درصد) ترانسکت سال ۱۴۰۷ محسوب می‌شود.

### آنالیز گرادیان در ترانسکت شمال- جنوب سال ۱۳۸۵

در این ترانسکت کاربری‌های رودخانه، رخنمون سنگی، و پهنه آبی فاقد مساحت‌اند. بنابراین، تحلیلی در مورد آن‌ها صورت نگرفته است. مقدار متریک تعداد لکه در کلاس مناطق ساخته‌شده در بلوک شماره ۵ حداکثر مقدار را دارد و از حاشیه شمالی به سمت جنوب روند افزایشی دارد. حداکثر مقدار این متریک در کلاس کشاورزی، فضای سبز، و بایر در بلوک ۴ مشاهده شد. حداکثر تعداد لکه در کلاس‌های مرتفع کم تراکم و مرتفع پرتراکم به ترتیب در بلوک ۳ و ۲ است. تراکم حاشیه در کلاس انسان‌ساخت الگوی منظمی ندارد. حداکثر مقدار تراکم حاشیه در کلاس اراضی کشاورزی و باغ در بلوک ۲ و برای کلاس‌های مرتفع کم تراکم و مرتفع پرتراکم در بلوک ۱ مشاهده شد. همچنین حداکثر تراکم حاشیه در کلاس فضای سبز و بایر به ترتیب در بلوک ۴ و ۳ است. مقدار متریک تراکم لکه در

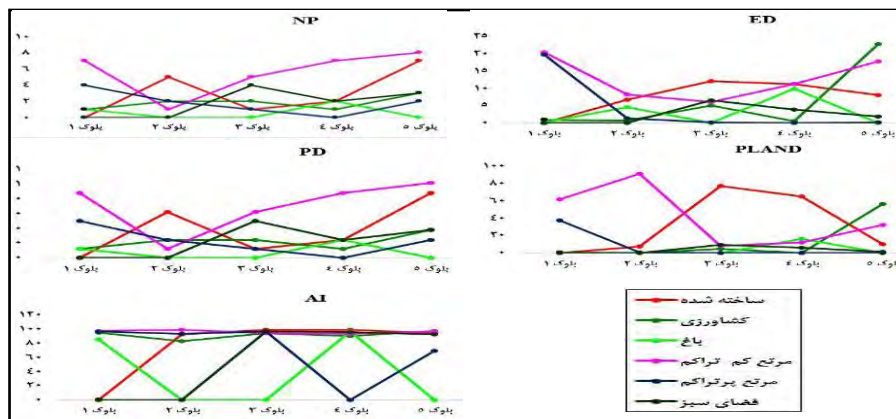
کلاس مناطق ساخته شده از حاشیه شمالی به سمت جنوب روند افزایشی دارد و در بلوک شماره ۵ بیشترین مقدار را دارد. در کلاس کشاورزی و فضای سبز حداکثر تراکم لکه در بلوک ۴ و در کلاس های مرتع کم تراکم و مرتع پرتراکم در بلوک ۱ مشاهده شد. همچنین مقدار این متریک برای کلاس باغ در بلوک ۲ بیشتر از سایر بلوک ها بود. با توجه به شکل ۴ روند تغییر درصد مناطق ساخته شده و اراضی کشاورزی تقریباً برعکس است. از بلوک ۱ تا بلوک ۳ افزایش ناگهانی مناطق انسان ساخت مشاهده می شود. سپس از بلوک ۳ به سمت بلوک ۴ روند کاهشی است و در بلوک ۵ با شیب بسیار تند کاهش می یابد. حداکثر مقدار این متریک در بلوک مرکز شهر است. مقدار این متریک در اراضی کشاورزی به سمت جنوب افزایش می یابد و در جنوب بیشتر از شمال منطقه است. حداکثر مقدار این متریک در کلاس های باغ و اراضی بایر در بلوک ۴ است. همچنین حداکثر مقدار درصد پوشش اراضی در کلاس های فضای سبز، مرتع کم تراکم، و مرتع پرتراکم به ترتیب در بلوک های ۳، ۲، و ۱ است. حداکثر درصد تجمع در کلاس مناطق ساخته شده در بلوک مرکز شهر است. مقدار این متریک از بلوک ۱ به سمت بلوک ۳ افزایش و سپس به سمت بلوک ۵ کاهش می یابد. مقدار این متریک در کلاس های کشاورزی و باغ روند نامنظمی دارد و حداکثر مقدار آن ها به ترتیب در بلوک ۵ و ۴ مشاهده می شود. حداکثر مقدار این متریک در کلاس های مرتع کم تراکم، مرتع پرتراکم، بایر، و فضای سبز به ترتیب در بلوک های ۲، ۱، ۴، و ۳ مشاهده شد (شکل ۵).



شکل ۵. تغییرات در الگوی سیمای سرزمین در طول ترانسکت شمالی- جنوبی سال ۱۳۸۵ در سطح کلاس

**آنالیز گرادیان در ترانسکت شمال-جنوب سال ۱۳۹۶**

در این ترانسکت کاربری‌های رودخانه، رخنمون سنگی، پهنه آبی، و اراضی بایر فاقد مساحت‌اند. بنابراین، تحلیلی در مورد آن‌ها صورت نگرفته است. در این سال مقدار متریک تعداد لکه در کلاس‌های مناطق ساخته‌شده، کشاورزی، و مرتع کم‌تراکم روند منظمی ندارد. اما در جنوب منطقه (بلوک شماره ۵) به بیشترین مقدار خود می‌رسند. حداکثر مقدار این متریک در کلاس باغ، مرتع پرتراکم، و فضای سبز به ترتیب در بلوک ۴، ۱، و ۳ مشاهده شد. تراکم حاشیه در کلاس انسان‌ساخت در بلوک مرکز شهر بیشترین مقدار را دارد. حداکثر مقدار این متریک در کلاس کشاورزی و باغ به ترتیب در بلوک ۵ و ۴ مشاهده شد. تراکم حاشیه در کلاس‌های مرتع کم‌تراکم و مرتع پرتراکم در بلوک ۱ بود و در کلاس فضای سبز در بلوک ۳ بیشترین مقدار را داشت. مقدار متریک تراکم لکه در کلاس‌های مناطق ساخته‌شده، کشاورزی، و مرتع کم‌تراکم روند منظمی ندارد و در بلوک شماره ۵ بیشترین مقدار را دارد. مقدار این متریک برای کلاس باغ، فضای سبز، و مرتع پرتراکم به ترتیب در بلوک ۴، ۳، و ۱ بیشتر از سایر بلوک‌ها بود. متریک درصد پوشش اراضی در کلاس مناطق ساخته‌شده و فضای سبز در بلوک مرکز شهر بیشتر از سایر بلوک‌هاست. مقدار این متریک در اراضی کشاورزی در جنوب و شمال منطقه بیشتر از بلوک‌های میانی بود. حداکثر مقدار این متریک در جنوب منطقه مشاهده شد. همچنین حداکثر مقدار این متریک در کلاس باغ در بلوک ۴ و در کلاس‌های مرتع کم‌تراکم و مرتع پرتراکم در بلوک ۲ مشاهده شد. مقدار متریک درصد تجمع در کلاس مناطق ساخته‌شده و فضای سبز از بلوک ۱ به سمت بلوک ۳ افزایش و سپس از بلوک ۳ به سمت بلوک ۵ کاهش می‌یابد. حداکثر مقدار این متریک در بلوک مرکز شهر است. در کلاس‌های کشاورزی و باغ مقدار این متریک روند نامنظمی دارد و حداکثر مقدار آن‌ها به ترتیب در بلوک ۵ و ۴ مشاهده شد. همچنین مقدار این متریک در کلاس مرتع کم‌تراکم در بلوک ۲ و در کلاس مرتع پرتراکم در بلوک ۱ مشاهده شد (شکل ۶).

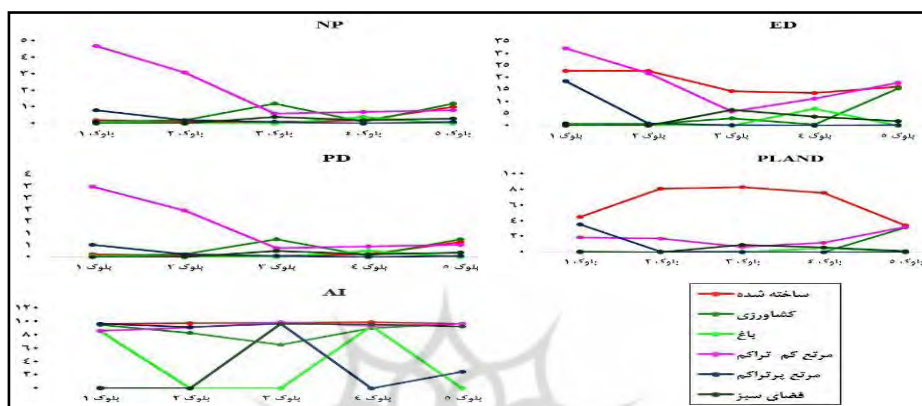


شکل ۶. تغییرات در الگوی سیمای سرزمین در طول ترانسکت شمالی-جنوبی سال ۱۳۹۶ در سطح کلاس

#### آنالیز گرادیان در ترانسکت شمال-جنوب سال ۱۴۰۷

در این ترانسکت کاربری‌های رودخانه، رخنمون سنگی، پهنه آبی، و اراضی بایر فاقد مساحت‌اند. ازین رو، تحلیلی در مورد آن‌ها صورت نگرفته است. حداکثر مقدار متریک تعداد لکه در کلاس مناطق ساخته‌شده در جنوب منطقه مشاهده شد. این متریک برای کلاس کشاورزی در بلوک ۳ و ۵ بیشترین مقدار را دارد. همچنین در کلاس‌های باغ و فضای سبز مقدار این متریک در بلوک ۴ و ۳ بیشتر از سایر بلوک‌هاست. حداکثر مقدار این متریک برای کلاس‌های مرتع کم تراکم و پرتراکم در شمال منطقه مشاهده شد. تراکم حاشیه در کلاس‌های انسان‌ساخت در بلوک ۲، کشاورزی و باغ به ترتیب در بلوک ۵ و ۴، و در کلاس‌های مرتع کم تراکم و مرتع پرتراکم در بلوک ۱ بیشترین مقدار را دارد. همچنین حداکثر تراکم حاشیه در کلاس فضای سبز در مرکز شهر (بلوک ۳) مشاهده شد. مقدار متریک تراکم لکه در کلاس‌های مناطق ساخته‌شده و کشاورزی روند منظمی ندارد و در بلوک شماره ۵ بیشترین مقدار را دارد. حداکثر مقدار این متریک برای کلاس‌های باغ، مرتع کم تراکم و پرتراکم، و فضای سبز به ترتیب در بلوک‌های ۴، ۱، و ۳ مشاهده شد. حداکثر متریک درصد پوشش اراضی در کلاس مناطق ساخته‌شده و فضای سبز در بلوک مرکز شهر مشاهده شد. مقدار این متریک در اراضی کشاورزی و مرتع کم تراکم در بلوک ۵ و در کلاس‌های مرتع پرتراکم و باغ به ترتیب در بلوک ۱ و ۴ بیشتر از سایر بلوک‌هاست. مقدار متریک درصد تجمع در کلاس

مناطق ساخته‌شده از بلوک ۱ به سمت بلوک ۴ افزایش و سپس در بلوک ۵ کاهش می‌یابد. در کلاس‌های کشاورزی و باغ مقدار این متریک روند نامنظمی دارد. مقدار این متریک در کلاس مرتع کم‌تراکم در مرکز شهر و در کلاس مرتع پرتراکم در بلوک ۱ مشاهده شد (شکل ۷).



شکل ۷. تغییرات در الگوی سیمای سرزمین در طول ترانسکت شمالی- جنوبی سال ۱۴۰۷ در سطح کلاس

### آنالیز گرادیان در ترانسکت شرق- غرب در سطح کلاس

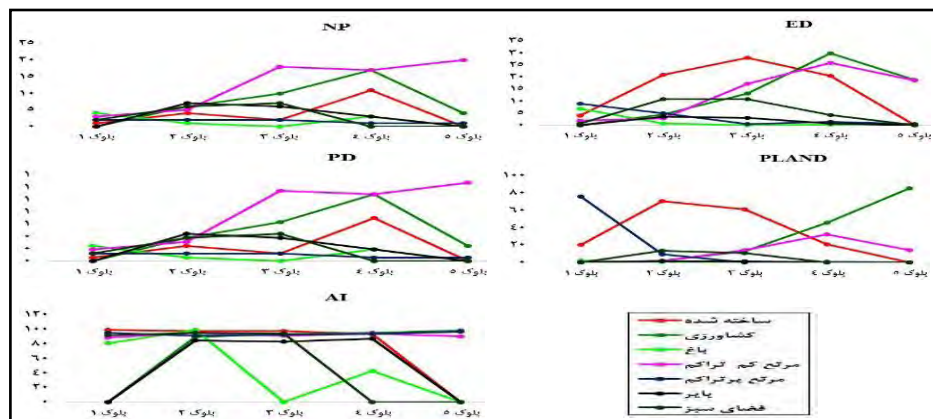
با توجه به نتایج جدول ۳، ۲۹ درصد از مساحت کل ترانسکت در سال ۱۳۸۵ و ۱۷ درصد در سال ۱۳۹۶ را اراضی کشاورزی تشکیل داده است. همچنین پیش‌بینی می‌شود در چشم‌انداز آینده فقط ۱۴ درصد از مساحت کل این ترانسکت را کاربری کشاورزی تشکیل دهد. مساحت مناطق ساخته‌شده در این ترانسکت نیز، از سال ۱۳۸۵ تا ۱۴۰۷، ۱۵ درصد افزایش یافته است.

جدول ۳. مقایسه درصد کلاس‌های کاربری اراضی در طول ترانسکت شرقی- غربی

مساحت (درصد)	کاربری	ساخته‌شده	کشاورزی	باغ	پهنه آبی	مرتع کم‌تراکم	مرتع پرتراکم	باغ	رختخون سنگی	فضای سبز	رودخانه
۱۳۸۵	۳۴	۲۹	۱	۰	۱۳	۱۸	۱	۰	۵	۰	
۱۳۹۶	۴۶	۱۷	۰	۰	۱۹	۱۴	۰	۰	۴	۰	
۱۴۰۷	۴۹	۱۴	۰	۰	۱۸	۱۴	۰	۰	۴	۰	

### آنالیز گرادیان در ترانسکت شرق-غرب سال ۱۳۸۵

در این ترانسکت کاربری‌های رخنمون سنگی و پهنه آبی فاقد مساحت‌اند و کاربری رودخانه کمتر از ۱ درصد کل ترانسکت را تشکیل داده است. بنابراین، تحلیلی در مورد این کاربری‌ها صورت نگرفته است. مقدار متریک تعداد لکه در کلاس‌های مناطق ساخته‌شده، کشاورزی، و مرتع کم‌تراکم در بلوک شماره ۵ حداکثر مقدار را دارد. تعداد لکه کلاس باغ در شرق منطقه بیشتر از غرب مشاهده شد. حداکثر مقدار این متریک در کلاس فضای سبز و بایر به ترتیب در بلوک ۳ و ۴ مشاهده شد. همچنین مقدار این متریک در کلاس مرتع پرتراکم الگوی منظمی نداشت. تراکم حاشیه در کلاس انسان‌ساخت و فضای سبز در بلوک ۳ بیشترین مقدار نسبت به سایر بلوک‌ها را داشت. حداکثر تراکم حاشیه اراضی کشاورزی و مرتع کم‌تراکم در بلوک ۴ و در کلاس‌های باغ و مرتع پرتراکم در بلوک ۱ مشاهده شد. حداکثر این متریک در کلاس بایر در بلوک ۲ بود. مقدار متریک تراکم لکه در کلاس مناطق ساخته‌شده و مرتع پرتراکم الگوی منظمی ندارد. حداکثر تراکم لکه در کلاس کشاورزی، فضای سبز، و بایر در بلوک ۳ و در کلاس‌های مرتع کم‌تراکم و باغ در بلوک ۵ و ۱ دیده شد. روند تغییر درصد مناطق ساخته‌شده و اراضی کشاورزی تقریباً برعکس است. حداکثر مقدار این متریک در مناطق ساخته‌شده و اراضی کشاورزی به ترتیب در بلوک ۲ و ۵ است. مقدار این متریک در اراضی کشاورزی به سمت غرب افزایش می‌یابد. حداکثر مقدار این متریک برای کلاس‌های باغ و مرتع پرتراکم در بلوک ۱ و برای مرتع کم‌تراکم و فضای سبز به ترتیب در بلوک‌های ۴ و ۲ است. حداکثر درصد تجمع در کلاس مناطق ساخته‌شده در بلوک ۱، در کلاس‌های کشاورزی و مرتع پرتراکم در بلوک ۵، در کلاس‌های باغ و فضای سبز و مرتع کم‌تراکم در بلوک ۲، و در کلاس بایر در بلوک ۴ مشاهده شد (شکل ۸).

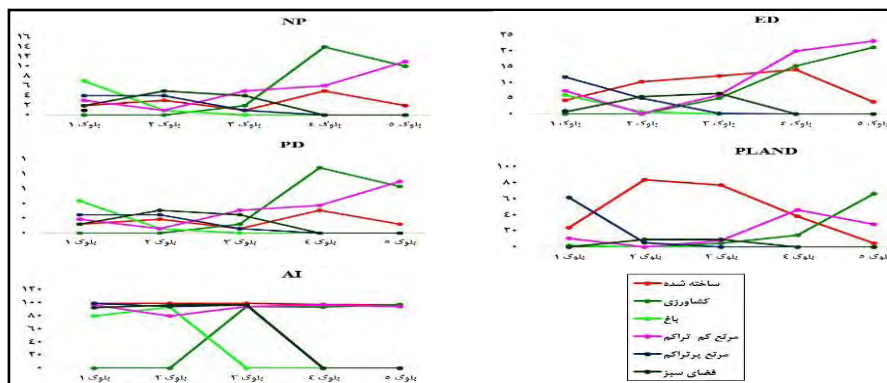


شکل ۸. تغییرات در الگوی سیمای سرزمین در طول ترانسکت شرقی- غربی سال ۱۳۸۵ در سطح کلاس

#### آنالیز گرادیان در ترانسکت شرقی- غرب سال ۱۳۹۶

متریکی تعداد لکه در کلاس‌های مناطق ساخته‌شده و کشاورزی در بلوک شماره ۴ و در کلاس‌های باغ و مرتع کم‌تراکم به ترتیب در بلوک ۱ و ۵ حداکثر مقدار را دارد. مقدار این متریک در کلاس مرتع پرتراکم و فضای سبز الگوی منظمی نداشت. حداکثر متریک تراکم حاشیه در کلاس‌های مناطق ساخته‌شده و فضای سبز به ترتیب در بلوک ۴ و ۳ مشاهده شد. تراکم حاشیه اراضی کشاورزی و مرتع کم‌تراکم در بلوک ۵ و در کلاس‌های باغ و مرتع پرتراکم در بلوک ۱ بیشترین مقدار را دارد. حداکثر مقدار متریک تراکم لکه در کلاس مناطق ساخته‌شده و کشاورزی در بلوک ۴ مشاهده شد. در کلاس‌های مرتع کم‌تراکم، باغ، و فضای سبز حداکثر مقدار این متریک به ترتیب در بلوک ۵، ۱، و ۲ دیده شد. مقدار این متریک در کلاس مرتع پرتراکم الگوی منظمی ندارد. حداکثر مقدار متریک درصد مناطق ساخته‌شده در بلوک ۲ و در کلاس‌های باغ و مرتع پرتراکم در بلوک ۱ است. همچنین حداکثر مقدار این متریک در کلاس مرتع کم‌تراکم و فضای سبز در بلوک ۴ و ۲ بود. مقدار این متریک در اراضی کشاورزی به سمت غرب (بلوک ۵) افزایش می‌یابد. حداکثر درصد تجمع در کلاس مناطق ساخته‌شده، باغ، و فضای سبز در بلوک ۲ است. مقدار این متریک در کلاس کشاورزی، مرتع کم‌تراکم، و مرتع پرتراکم به ترتیب در بلوک ۵، ۴، و ۱ بیشترین مقدار را دارد (شکل ۹).

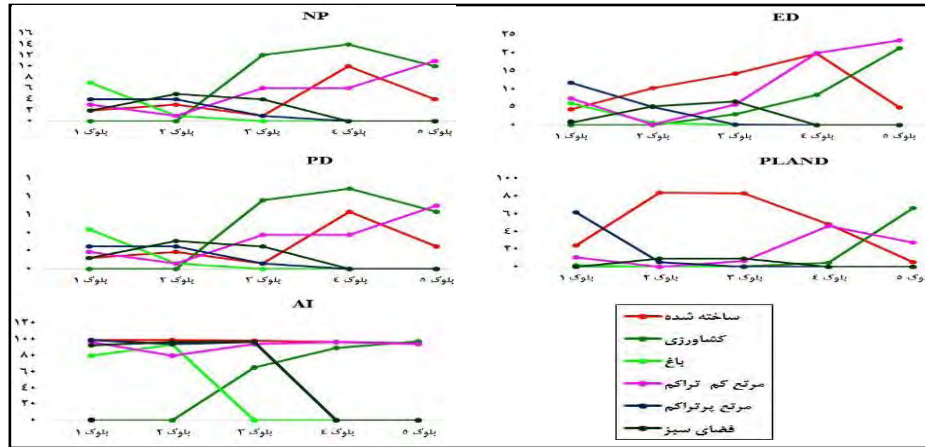




شکل ۹. تغییرات در الگوی سیمای سرزمین در طول ترانسکت شرقی- غربی سال ۱۳۹۶ در سطح کلاس

#### آنالیز گرادیان در ترانسکت شرق- غرب سال ۱۴۰۷

حداکثر مقدار متریک تعداد لکه در کلاس‌های مناطق ساخته‌شده و کشاورزی در بلوک شماره ۴ مشاهده شد. تعداد لکه کلاس باغ و مرتع کم تراکم به ترتیب در بلوک ۱ و ۵ بیشتر از سایر بلوک‌ها بود. مقدار این متریک در کلاس مرتع پرتراکم و فضای سبز الگوی منظمی نداشت. متریک تراکم حاشیه در کلاس مناطق ساخته‌شده در بلوک ۴ و در اراضی کشاورزی و مرتع کم تراکم در بلوک ۵ بیشترین مقدار نسبت به سایر بلوک‌ها را داشت. حداکثر تراکم حاشیه کلاس‌های باغ و مرتع پرتراکم در بلوک ۱ و در کلاس فضای سبز در بلوک ۳ مشاهده شد. مقدار متریک تراکم لکه در کلاس‌های مناطق ساخته‌شده و کشاورزی در بلوک ۴ بیشتر از سایر بلوک‌ها بود. در کلاس‌های مرتع کم تراکم و مرتع پرتراکم مقدار این متریک الگوی منظمی ندارد. همچنین در کلاس‌های باغ و فضای سبز حداکثر تراکم لکه به ترتیب در بلوک ۱ و ۲ مشاهده شد. حداکثر مقدار متریک درصد مناطق ساخته‌شده و اراضی کشاورزی به ترتیب در بلوک ۲ و ۵ مشاهده شد. مقدار این متریک برای کلاس مرتع کم تراکم و پرتراکم به ترتیب در بلوک ۴ و ۱، کلاس فضای سبز در بلوک ۲، و در کلاس باغ در بلوک ۱ نسبت به سایر بلوک‌ها بیشتر بود. درصد تجمع در کلاس‌های مناطق ساخته‌شده، باغ، و فضای سبز در بلوک ۲ و در کلاس‌های مرتع کم تراکم و مرتع پرتراکم به ترتیب در بلوک ۴ و ۱ نسبت به سایر بلوک‌ها بیشترین مقدار را داشت. مقدار این متریک در کلاس کشاورزی با شیب تند رو به افزایش است و در جنوبی‌ترین نقطه (بلوک ۵) به بالاترین مقدار می‌رسد (شکل ۱۰).

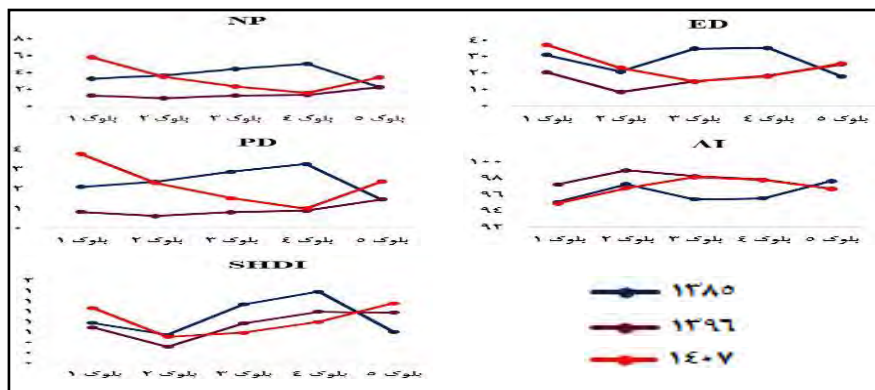


شکل ۱۰. تغییرات در الگوی سیمای سرزمین در طول ترانسکت شرقی- غربی سال ۱۴۰۷ در سطح کلاس

### آنالیز گرادیان در سطح سیمای سرزمین

#### ترانسکت شمال- جنوب

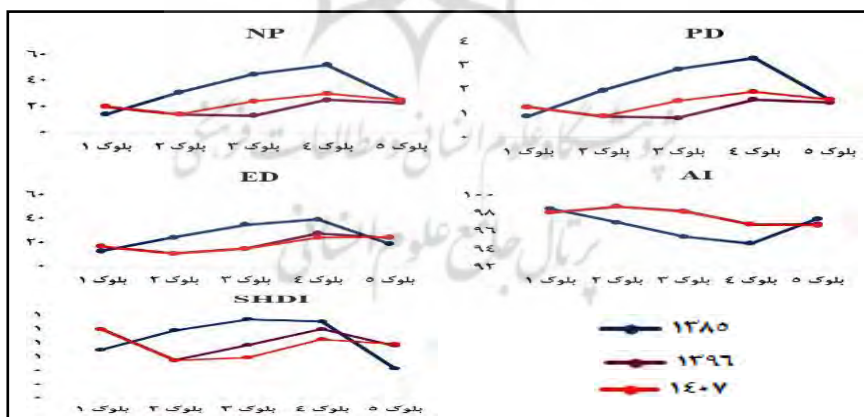
الگوی تغییرات متریک تعداد و تراکم لکه در هر سه سال روند یکسانی دارند. مقدار این دو متریک در سال ۱۳۸۵ در مرکز بیشتر از حاشیه‌هاست. همچنین در سال ۱۳۹۶ در جنوب منطقه و در سال ۱۴۰۷ در شمال منطقه بالاترین مقدار تعداد و تراکم لکه مشاهده شد. روند تغییرات متریک تراکم حاشیه در سال ۱۳۸۵ با دو سال دیگر برعکس است. در سال ۱۳۸۵ در مرکز شهر بیشترین مقدار این متریک مشاهده شد و در حاشیه جنوبی به کمترین مقدار خود رسید. روند تغییرات این متریک در سال‌های ۱۳۹۶ و ۱۴۰۷ شبیه هم و در تضاد با سال ۱۳۸۵ است. در هر دو سال ۱۳۹۶ و ۱۴۰۷ مقدار این متریک در مرکز شهر نسبت به طرفین کمتر است. در سال ۱۳۹۶ بالاترین میزان تراکم حاشیه در جنوب منطقه و در سال ۱۴۰۷ در شمال منطقه مشاهده شد. حداکثر مقدار متریک تجمع در سال ۱۳۸۵ در جنوب منطقه، در سال ۱۳۹۶ در بلوک شماره ۲، و در سال ۱۴۰۷ در مرکز شهر مشاهده شد. تنوع شانون در هر سه سال روند منظمی ندارد. حداکثر مقدار این متریک در سال ۱۳۸۵ و ۱۳۹۶ در بلوک ۴ و در سال ۱۴۰۷ در بلوک ۵ مشاهده شد (شکل ۱۱).



شکل ۱۱. مقایسه روند تغییرات متریک‌ها در طول ترانسکت شمالی-جنوبی در سطح سیمای سرزمین

**ترانسکت شرق-غرب**

با توجه به شکل ۱۲، الگوی تغییرات متریک تعداد و تراکم لکه در هر سه سال در بلوک ۴ بیشترین مقدار را دارد. روند تغییرات متریک تراکم حاشیه در سال ۱۳۸۵ به سمت جنوب افزایش و سپس در بلوک شماره ۵ کاهش می‌یابد. الگوی تغییرات این متریک برای سال‌های ۱۳۹۶ و ۱۴۰۷ نامنظم است. حداکثر مقدار متریک تجمع در سال ۱۳۸۵ در شرق منطقه و در سال‌های ۱۳۹۶ و ۱۴۰۷ در بلوک شماره ۲ مشاهده شد. تنوع شانون در هر سه سال روند منظمی ندارد. حداکثر مقدار این متریک در سال ۱۳۸۵ در مرکز شهر و در سال‌های ۱۳۹۶ و ۱۴۰۷ در شرق منطقه مشاهده شد.



شکل ۱۲. مقایسه روند تغییرات متریک‌ها در طول ترانسکت شرقی-غربی در سطح سیمای سرزمین

### بحث و نتیجه

کمی کردن الگوهای مکانی سیمای سرزمین به منظور درک و شناخت نتایج اقتصادی-اجتماعی و اکولوژیکی حاصل از گسترش شهری به مدیریت و برنامه‌ریزی شهری کمک شایانی می‌کند. با توجه به نتایج، الگوهای سیمای سرزمین در کلان‌شهر کرج طی فرایند شهرنشینی بسیار تغییر کرده است. کلان‌شهر کرج موزاییک ناهمگنی از لکه‌های طبیعی، نیمه‌طبیعی، و انسان‌ساخت است. با افزایش گسترش شهری در سال ۱۳۹۶ مساحت لکه‌های طبیعی مراتع و اراضی بایر نسبت به سال ۱۳۸۵ کاهش یافت و پیش‌بینی می‌شود روند کاهشی مساحت این اراضی تا سال ۱۴۰۷ نیز ادامه یابد. زمین‌های کشاورزی و باغ نیز در دوره زمانی ۲۲ ساله تغییرات زیادی داشته‌اند و به‌خوبی نشان می‌دهد گسترش شهری چگونه انواع کاربری‌ها را تغییر می‌دهد. با توجه به نتایج، گسترش شهری در ترانسکت شمالی-جنوبی به طرف حاشیه‌ها (به‌ویژه به سمت شمال) در سال ۱۴۰۷ و ۱۳۹۶ نسبت به سال ۱۳۸۵ کاملاً مشهود است. الگوی این ترانسکت در سال ۱۳۸۵ نسبت به دو سال دیگر قرینه‌تر است؛ بدین صورت که ترکیب کشاورزی، مراتع، و مناطق ساخته‌شده متعادل‌تر است. در سال ۱۳۹۶ گسترش شهری این ترکیب را به هم زده و کاهش اراضی کشاورزی و باغی را باعث شده است. همچنین، در سال مدل‌سازی‌شده این روند کاملاً تغییر کرده و ترکیب غالب این ترانسکت را مناطق ساخته‌شده تشکیل داده است. روند تغییر کاربری‌ها در ترانسکت شرقی-غربی نیز حاکی از این است که گسترش شهری با شیب ملایم به سمت غرب منطقه در حال پیش‌روی است. تخریب اراضی کشاورزی و باغی در غرب و مرکز منطقه در سال ۱۴۰۷ و ۱۳۹۶ به دلیل شدت گسترش شهری است. نتایج متریک PD (تراکم لکه) در سطح کلاس نشان می‌دهد که شدت تکه‌تکه شدن کاربری‌های بایر، کشاورزی، باغ، فضای سبز، و مرتع پرتراکم در هر سه سال مورد بررسی در ترانسکت شرقی-غربی بیشتر از ترانسکت شمالی-جنوبی است. شدت تکه‌تکه‌شدگی این کلاس‌ها با گذشت زمان بیشتر شده است. به طور کلی در سطح کلاس در مرکز و حومه شهر در هر سه سال مورد بررسی PD به طور قابل توجهی کاهش یافته است. مقایسه دو ترانسکت در هر سه سال در سطح سیمای سرزمین نیز نشان می‌دهد تغییرات در حاشیه شمالی و غربی بیشتر از حاشیه جنوبی و شرقی است. همچنین با توجه به نقشه سال ۱۴۰۷ در صورت

تداوم روند موجود پیش‌بینی می‌شود حاشیه شمالی کلان‌شهر کرج از محیط طبیعی به کاملاً انسان‌ساخت تغییر کند. در این سال در سطح سیمای سرزمین در حاشیه‌های شهر (بلوک ۱ و ۵) PD افزایش می‌یابد. این افزایش عمدتاً ناشی از تبدیل زمین‌های کشاورزی به زمین ساخت‌وساز است که کل منظره را تکه‌تکه می‌کند. به بیان دیگر طی فرایند سریع شهرنشینی تغییر کاربری اراضی مستقیم باعث افزایش مناطق انسان‌ساخت شده است که این امر بر تراکم لکه‌های کل سیمای سرزمین تأثیر گذاشته است. با توجه به اینکه تراکم لکه سطح تکه‌تکه شدن چشم‌انداز را مشخص می‌کند (Zang et al 2017: 146) می‌توان نتیجه گرفت سیمای سرزمین کلان‌شهر کرج در حاشیه‌ها (بلوک ۱ و ۵) در حال تکه‌تکه شدن است. مقایسه متریک ED (تراکم حاشیه) در سطح سیمای سرزمین در هر دو ترانسکت نشان می‌دهد میزان این متریک با گذشت زمان از سال ۱۳۸۵ تا سال ۱۴۰۷ در مرکز شهر کاهش و در حاشیه شمالی و جنوبی افزایش می‌یابد. در سطح کلاس در هر دو ترانسکت در مرکز شهر برای همه کلاس‌ها این متریک کاهش یافته است. اما میزان این متریک در ترانسکت شمالی-جنوبی برای کلاس مناطق ساخته‌شده در شمال منطقه افزایش یافته است که نشان‌دهنده افزایش پراکندگی و بی‌نظمی تکه‌های ساخته‌شده توسط انسان در شمال کلان‌شهر کرج است. با توجه به نتایج متریک تراکم لکه و تراکم حاشیه در طول هر دو ترانسکت در سه سال مورد بررسی می‌توان گفت گسترش کلان‌شهر کرج به طرف حاشیه‌ها صورت گرفته است و در سیمای سرزمین مرکز شهر تغییرات زیادی رخ نداده است. نتایج تغییرات متریک NP نیز مانند متریک PD روند کاهشی دارد. کاهش معیارهای PD و NP در هر دو سطح کلاس و سیمای سرزمین در هر سه سال نشان‌دهنده پیوستگی سیمای سرزمین شهری در کلان‌شهر کرج است. نتایج آنالیز متریک درصد پوشش اراضی در سطح کلاس در هر دو ترانسکت نشان داد جایی که درصد مناطق انسان‌ساخت بالاتر است و مرکز شهر است، لکه‌های سبز بیشتر حضور دارند. در واقع تعداد لکه‌های فضای سبز در مرکز شهر نسبت به حاشیه‌ها بالاتر است. در هر دو ترانسکت شمالی-جنوبی و شرقی-غربی مقدار درصد پوشش اراضی مناطق ساخته‌شده در مرکز شهر و حاشیه‌ها با گذشت زمان افزایش یافته است و مقدار این متریک برای سایر کلاس‌ها کاهش یافته است. متریک AI در هر دو ترانسکت در سطح سیمای سرزمین با گذشت زمان در مرکز شهر

و حاشیه جنوبی افزایش یافته است. افزایش ساخت‌وساز و جایگزین کردن اراضی زیر کشت و مرتع به ترتیب باعث این تغییر شده است. همچنین در سطح کلاس در ترانسکت شمالی- جنوبی در مرکز و حاشیه مقدار این متریک برای همه کلاس‌ها به جز باغ و بایر روند افزایشی داشته است. همچنین مقدار این متریک در ترانسکت شرقی- غربی در همه کلاس‌ها به جز کلاس بایر افزایش یافته است. مقایسه متریک تنوع شانون (SHDI) در سطح سیمای سرزمین در هر دو ترانسکت نشان می‌دهد در مرکز شهر تنوع کاهش و در حاشیه‌ها با سرعت بسیار کم تنوع شانون افزایش یافته است. به طور کلی رشد جمعیت و گسترش شهری موجب شده است الگوی سیمای سرزمین در کلان‌شهر کرج الگویی با شکل منظم‌تر و تنوع کمتر باشد. در واقع فرایند شهرنشینی باعث کاهش PD و SHDI شده است و به جمع شدن و منظم‌تر شدن تکه‌های چشم‌انداز به‌ویژه در مرکز شهر منجر شده است؛ به گونه‌ای که تغییر سیمای سرزمین در مرکز شهر و حومه در جهت عکس است. بنابراین، ناهمگونی مکانی باعث تغییر در الگوهای سیمای سرزمین شده است.

### پیشنهاد

با توجه به اینکه توسعه شهری در کرج از رشد جمعیت ناشی می‌شود، حجم جمعیت منعکس‌کننده شدت فعالیت‌های انسانی و دخالت مستقیم انسان بر الگوهای سیمای سرزمین است. برای برنامه‌ریزی منطقه‌ای در کلان‌شهر کرج و داشتن یک شهر سبز و مترکم می‌توان چند راهکار ارائه داد. در مرحله اول، برای داشتن تنوع سیمای سرزمین، باید فضای سبز در مرکز شهر و حومه تقویت شود. در این زمینه، تصمیم‌گیران برای افزایش تنوع چشم‌انداز شهری باید بر حفاظت از فضای سبز طبیعی یا نیمه‌طبیعی و ساخت مناظر سبز اضافی تمرکز کنند. نیز برنامه‌ریزان و تصمیم‌گیرندگان باید روی حفاظت از اراضی کشاورزی و باغی در مرکز شهر و به‌ویژه در بالادست منطقه تمرکز کنند. زیرا دخالت‌های انسانی منجر به تغییر آشکار این مناظر در سیمای سرزمین شهر شده است. پس، باید در این مناطق توسعه ممنوع شود تا از گسترش غیرقانونی شهری جلوگیری شود. همچنین گسترش مناطق ساخت‌وساز باید به صورت منطقی برنامه‌ریزی شود؛ طوری که گسترش این مناطق با توسعه متعادل صورت گیرد. در فرایند گسترش شهری از سال ۱۳۸۵ تا ۱۳۹۶ تعداد زیادی از تکه‌های ساخته‌شده پوشش اراضی زیر کشت را اشغال کردند

و در نتیجه منظره‌ای پراکنده‌تر ایجاد شد. همچنین با توجه به تداوم روند موجود پیش‌بینی شده است گسترش شهری در مناطق شمالی تخریب بیشتر اراضی کشاورزی و مراتع را به دنبال خواهد داشت. بنابراین لازم است، طی مراحل توسعه مناطق جدید شهری، مفهوم شهر متراکم، فشرده، و پیوسته اجرا شود. رشد اراضی ساختمانی در برخی مناطق باید محدود شود و برای جلوگیری از تکه‌تکه شدن سیمای سرزمین باید توسعه متوازن صورت گیرد.

### سپاسگزاری

این مقاله مستخرج از رساله دکتری مصوب در دانشگاه ملایر است که تحت حمایت مالی صندوق حمایت از پژوهشگران و فناوران کشور (INSF) انجام گرفته است. بدین وسیله از حمایت این صندوق تشکر و قدردانی می‌کنیم.



## منابع

- ایران‌خواهی، مهدی؛ سید علی جوزی (۱۳۹۵). «رویکرد شبکه‌بندی هگزاگون در ارزیابی تخریب سیمای سرزمین (مورد مطالعه: شهرستان شمیرانات)»، *آمایش سرزمین*، د ۸، ش ۲، صص ۲۲۹ - ۲۵۰.
- محمدیاری، فاطمه؛ میرمهرداد میرسنجری؛ اردوان زرنیدیان (۱۳۹۷). «ارزیابی شبکه‌های بوم‌شناختی سیمای سرزمین شهری (مطالعه موردی: کلان‌شهر کرج)»، *آمایش سرزمین*، د ۱۰، ش ۲، صص ۲۲۵ - ۲۴۷.
- میرسنجری، میرمهرداد؛ فاطمه محمدیاری (۱۳۹۶). «پایش تغییرات سیمای سرزمین با استفاده از تحلیل گرادیان (مطالعه موردی: شهرستان بهبهان)»، *جغرافیا و پایداری محیط*، د ۲۲، ش ۷، صص ۸۳ - ۹۶.

## References

- Bathrellos, G. D., Skilodimou, H. D., Chousianitis, K., Youssef, A. M., & Pradhan, B. (2017). "Suitability estimation for urban development using multi-hazard assessment map", *Science of the Total Environment*, 575, pp. 119-134.
- De Montis, A., Ganciu, A., Cabras, M., Bardi, A., & Mulas, M. (2019). "Comparative ecological network analysis: An application to Italy", *Land Use Policy*, 81, pp. 714-724.
- Dong, Y., Liu, Y., & Chen, J. (2014). "Will urban expansion lead to an increase in future water pollution loads?—a preliminary investigation of the Haihe River Basin in northeastern China", *Environmental Science & Pollution Research*, 21, pp. 7024-7034.
- Du, S., Wang, Q., & Guo, L. (2014). "Spatially varying relationships between land-cover change and driving factors at multiple sampling scales", *Environ. Manage.*, 137, pp. 101-110.
- Eastman, J. R. (2006). *IDRISI Andes. Guide to GIS and Image Processing*. Clark Labs, Clark University, Worcester, MA.
- Haas, J. & Ban, Y. (2017). "Sentinel-1A SAR and Sentinel-2A MSI data fusion for urban ecosystem service mapping", *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 8, pp. 41-53.
- Hassan, M. M. (2017). "Monitoring land use/land cover change, urban growth dynamics and landscape pattern analysis in five fastest urbanized cities in Bangladesh", *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, (16), pp. 30137-30139.
- Huilei, L., Jian, P., Yanxu, L., & Yina, H. (2017). "Urbanization impact on landscape patterns in Beijing City, China: A spatial heterogeneity perspective", *Ecological Indicators*, 82, pp. 50-60.
- Irankhahi, M. & Jozi, A. (2016). "The Lattice Hexagon Approach Applied in Landscape Degradation Assessment (Case study: Shemiranat County)", *Town and Country Planning*, 8 (2), pp. 229-250. (in Persian)
- Kremer, P., Hamstead, Z. A., & McPhearson, T. (2016). "The value of urban ecosystem services in New York City: A spatially explicit multicriteria analysis of landscape scale valuation scenarios", *Environmental Science & Policy*, 62, pp. 57-68.



- Gontier, M., Mörtberg, U., & Balfors, B. (2009). "Comparing GIS-based habitat models for applications in EIA and SEA", *Environmental Impact Assessment Review*, 30, pp. 8-18.
- Grêt-Regamey, A., Altwegg, J., Sirén, E., & van Strien, M. (2017). "Integrating ecosystem services into spatial planning—A spatial decision support tool", *Landscape and Urban Planning*, 165, pp. 206-219.
- Li, Y., Li, Y., Qureshi, S., Kappas, M., & Hubacek, K. (2015). "On the relationship between landscape ecological patterns and water quality across gradient zones of rapid urbanization in coastal China", *Ecological Modelling*, 24, pp. 100-108.
- Li, B., Chen, D., Wu, S. h., Zhou, S. h., Wang, T., & Chen, H. (2016). "Spatio-temporal assessment of urbanization impacts on ecosystem services: Case study of Nanjing City, China", *Ecological Indicators*, 71, pp. 416-427.
- Luck, M. & Wu, J. (2002). "A gradient analysis of urban landscape pattern: a case study from the Phoenix metropolitan region, Arizona", *Landscape ecology*, 17, pp. 327-339.
- Lu, Q., Gao, Z., Ning, J., Bi, X., & Wang, Q. (2015). "Impact of progressive urbanization and changing cropping systems on soil erosion and net primary production", *Ecological Engineering*, 75, pp. 187-194.
- Maimaitijiang, M., Ghulam, A., Sandoval, J.S.O., & Maimaitiyiming, M. (2015). "Drivers of land cover and land use changes in St. Louis metropolitan area over the past 40 years characterized by remote sensing and census population data. Appl. Earth Observ", *Geoinform*, 35, pp. 161-174.
- Mansour, Sh., Al-Belushi, M., & Al-Awadhi, T. (2020). "Monitoring land use and land cover changes in the mountainous cities of Oman using GIS and CA-Markov modelling techniques", *Land Use Policy*, 91, doi: <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2020.104414>.
- McDonnell, M. J. & Pickett, S. T. A. (1990). "Ecosystem structure and function along urban-rural gradients: An unexploited opportunity for ecology", *Ecology*, 71, pp. 1232-1237.
- Mohammad, A. & Hailu, W. (2020). "Simulating urban land use and cover dynamics using cellular automata and Markov chain approach in Addis Ababa and the surrounding", *Urban Climate*, (31), <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2019.100545>, 100545.
- Mohammadyari, F., Mirsanjari, M. M., & Zarandian, A. (2019). "Evaluating Ecological Networks of Urban Landscape (Case Study: Karaj Metropolis)", *Town and Country Planning*, 10 (2), pp. 225-247. (in Persian)
- Mirsanjari, M. M. & Mohammadyari, F. (2017). "Monitoring the Landscape Changes Applying Gradient Analysis Case Study (County Behbahan)", *Geography and Sustainability Of Environment*, 7 (1), pp. 83-96. (in Persian)
- Pullanikkatil, D., Palamuleni, L.G., & Ruhiga, T. M. (2016). "Land use/land cover change and implications for ecosystems services in the Likangala River Catchment, Malawi". *Physics and Chemistry of the Earth*, pp. 93: 96-103.
- Qureshi, S., Haase, D., & Coles, R. (2014). "The theorized urban gradient (TUG) method a conceptual framework for socio-ecological sampling in complex urban agglomerations", *Ecol. Indic*, 36, pp. 100-110.
- Rees, W. & Wackernagel, M. (2008). "Urban ecological footprints: why cities cannot be sustainable—and why they are a key to sustainability", *In: Urban Ecology*. Springer, pp. 537-555.

- Silva, L. P., Xavier, A., Silva, R. M., & Santos, G. (2020). "Modeling land cover change based on an artificial neural network for a semiarid river basin in northeastern Brazil", *Global Ecology and Conservation*. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2019-00811>.
- Schulz, J. J., Cayuela, L., Echeverria, C., Salas, J., & Rey Benayas, J. M. (2010). "Monitoring Land Cover Change of the Dryland Forest Landscape of Central Chile (1975-2008)", *Applied Geography*, 30(3), pp. 436-447.
- Su, S. h., Xiao, R., Jiang, Z., & Zhang, Y. (2012). "Characterizing landscape pattern and ecosystem service value changes for urbanization impacts at an eco-regional scale", *Applied Geography*, 34, pp. 295-305.
- Su, S., Li, D., Zhang, Q., Xiao, R., Huang, F., & Wu, J. (2011). "Temporal trend and source apportionment of water pollution in different functional zones of Qiantang River, China", *Water Research*, 45, pp. 1781-1795.
- Sun, X., Crittenden, J. C., Li, F., Lu, Z., & Dou, X. (2018). "Urban expansion simulation and the spatio-temporal changes of ecosystem services, a case study in Atlanta Metropolitan area, USA", *Science of the Total Environment*, 622-623, pp. 974-987.
- Sun, H., Gan, Z. M., & Yan, J. P. (2001). "The impacts of urbanization on soil erosion in the Loess Plateau region", *Journal of Geographical Sciences*, 11, pp. 282-290.
- Thapa, R. B. & Murayama, Y. (2012). "Scenario Based Urban Growth Allocation in Kathmandu Valley, Nepal", *Landscape and Urban Planning*, 105(1-2), pp. 140-148.
- Tao, Y., Li, F., Liu, X., Zhao, D., Sun, X., & Xu, L. (2015). "Variation in ecosystem services across an urbanization gradient: A study of terrestrial carbon stocks from Changzhou, China", *Ecological Modelling*, 318, pp. 210-216.
- Vizzari, M. & Sigura, M. (2015). "Landscape sequences along the urban-rural-natural gradient: A novel geospatial approach for identification and analysis", *Landscape and Urban Planning*, 140, pp. 42-55.
- Wang, Y., Li, J., Wu, J., & Song, Y. (2006). "Landscape pattern changes in urbanization of Pudong New District, Shanghai", *Chinese Journal of Applied Ecology*, 17, pp. 36-40.
- Wu, J. G. (2010). "Urban sustainability: an inevitable goal of landscape research", *Landscape Ecology*, 25 (1), pp. 1-4.
- Whittaker, R. H. (1975). "Gradient analysis of vegetation", *Biological Reviews*, 42(2), pp. 207-264.
- Xu, L., Huang, Q., Ding, D., Mei, M., & Qin, H. (2018). "Modelling urban expansion guided by land ecological suitability: A case study of Changzhou City, China", *Habitat International*, 75, pp. 12-24.
- Yang, Y., Zhou, Q., Gong, J., & Wang, Y. (2010). "Gradient analysis of landscape pattern spatial-temporal changes in Beijing metropolitan area, China. Science in China", *Series E: Technological Sciences*, 53, pp. 91-98.
- Zang, Z., Zou, X., Zuo, P., Song, Q., Wang, C. H., & Wang, J. (2017). "Impact of landscape patterns on ecological vulnerability and ecosystem service values: An empirical analysis of Yancheng Nature Reserve in China", *Ecological Indicators*, 72, pp. 142-152.
- Zarandian, A., Baral, H., Stork, N., Ling, M., Yavari, A., Jafari, H., & Amirnejad, H. (2017). "Modeling of ecosystem services informs spatial planning in lands adjacent to the Sarvelat and Javaherdasht protected area in northern Iran", *Land Use Policy*, 61, pp.

487–500.

- Zhang, D., Huang, Q., He, C., & Wu, J. (2017). “Impacts of urban expansion on ecosystem services in the Beijing-Tianjin- Hebei urban agglomeration, China: A scenario analysis based on the Shared Socioeconomic Pathways”, *Resources, Conservation & Recycling*, 125, pp. 115–130.
- Zhang, L.Q., Wu, J.P., Zhen, Y., & Shu, J. (2004). “A GIS-based gradient analysis of urban landscape pattern of Shanghai metropolitan area, China”, *Landscape and Urban Planning*, 69, pp. 1-16.
- Zhang, Z. & Gao, J. (2016). “Linking landscape structures and ecosystem service value using multivariate regression analysis: a case study of the Chaohu Lake Basin, China”, *Environ Earth Sci*, 75, 3.

