



Evaluating land use changes with a landscape ecology approach (Case study: Gilan-e Gharb County)

Arash Shirmohammadpoor¹ | Mir Mehrdad Mirsanjari^{2✉} | Fatemeh Mohammadyari³

1. Department of Environmental Sciences and Engineering, Faculty of Natural Resources and Environment, Malayer University, Malayer, Iran. E-mail: arashshirmohamadpor2023@gmail.com
2. Corresponding Author, Department of Environmental Sciences and Engineering, Faculty of Natural Resources and Environment, Malayer University, Malayer, Iran. E-mail: mmmsanjari@malayeru.ac.ir
3. Department of Environmental Engineering, Faculty of Natural Resources and Earth Sciences, Shahrekord University, Shahrekord, Iran. E-mail: mohammadyari.f@sku.ac.ir

Article Info

Article type:

Research Article

Article history:

Received 02 February 2025

Received in revised form 21 February 2025

Accepted 11 April 2025

Published online 28 June 2025

ABSTRACT

Urbanization and land use changes are one of the most important human activities on earth that affect the quality of life and sustainability of ecosystems. In this regard, the present research has been conducted with the aim of investigating the effects of land use changes on landscape patterns in Gilan-e Gharb city in 2007 and 2022. For this purpose, land use maps were extracted from Landsat 5 and 8 satellite images using maximum likelihood algorithm. Also, in order to quantify the changes in the spatial and temporal patterns of the studied area, land features were calculated using Fragstats software at two levels of class and land features. According to the results, in the studied time period, 273.40 hectares were added to the area of urban areas and 828.10 hectares were decreased from the area of agricultural lands. The results of surveying the parameters of the landscape of the land show the fragmentation of the land and the loss of integrity. In order to control the fragmentation and prevent the destruction of land uses to urban use, development planning in this area should be done based on the principles of protection and protection of lands with natural cover and agriculture.

Keywords:

Change detection,

Gilan-e Gharb,

Landscape metrics,

Land use.

Cite this article: Shirmohammadpoor, A., Mirsanjari, M., & Mohammadyari, F. (2025). Evaluating land use changes with a landscape ecology approach (Case study: Gilan-e Gharb County). *Journal of Natural Environment*, 77 (4), 601-612. DOI: <http://doi.org/10.22059/jne.2025.389811.2764>

© The Author(s).

Publisher: University of Tehran Press.

DOI: <http://doi.org/10.22059/jne.2025.389811.2764>



ارزیابی تغییرات کاربری اراضی با رویکرد اکولوژی سیمای سرزمین (مطالعه شهرستان گیلانغرب)

آرش شیرمحمدپور^۱ | میرمهرداد میرسنجری^۲ | فاطمه محمدیاری^۳

۱. گروه علوم و مهندسی محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه ملایر، ملایر، ایران. رایانامه: arashshirmohamadpor2023@gmail.com

۲. نویسنده مسئول، گروه علوم و مهندسی محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه ملایر، ملایر، ایران. رایانامه: mmmirsanjari@malayeru.ac.ir

۳. گروه مهندسی محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران. رایانامه: mohammadyari.f@sku.ac.ir

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله پژوهشی	تغییر کاربری اراضی ناشی از شهرنشینی یکی از مهمترین فعالیتهای انسانی روی زمین است که ساختار اکوسیستمهای طبیعی را تحت تأثیر قرار می دهد. در دهه های اخیر جمعیت روستایی شهرستان گیلانغرب به مناطق شهری جذب شده و گسترش شهری به طور مستقیم باعث تغییر در ساختار شهری و تخریب اراضی طبیعی در این منطقه شده است. در این راستا، پژوهش حاضر با هدف بررسی اثرات تغییرات کاربری اراضی بر الگوهای سیمای سرزمین در این شهرستان در دو سال ۱۳۸۶ و ۱۴۰۱ انجام شده است. بدین منظور نقشه های کاربری اراضی با استفاده از الگوریتم حداکثر احتمال از تصاویر ماهواره ای لندست ۵ و ۸ استخراج شدند. همچنین به منظور کمی سازی تغییرات در الگوهای مکانی و زمانی، سنجه های سیمای سرزمین در دو سطح کلاس و سیمای سرزمین محاسبه شدند. براساس نتایج، در بازه زمانی مورد مطالعه ۲۷۳/۴۰ هکتار بر مساحت مناطق شهری اضافه شد و ۸۲۸/۱۰ هکتار از مساحت اراضی کشاورزی کاهش یافت. همچنین نتایج بررسی سنجه های سیمای سرزمین نشان داد که مقادیر NP در بازه زمانی مورد مطالعه برای مناطق شهری و اراضی کشاورزی روند افزایشی دارد. از طرف دیگر مقدار سنجه CONTAG از ۷۹/۱ به ۷۸/۶۴۸ درصد رسیده است. این نتایج نشان دهنده کاهش پیوستگی و افزایش تکه تکه شدن سیمای سرزمین منطقه است. به منظور کنترل تکه تکه شدن و جلوگیری از تخریب کاربری ها به کاربری شهری، برنامه ریزی های توسعه ای در این منطقه، باید براساس اصول حفاظتی و حمایتی اراضی با پوشش طبیعی و کشاورزی انجام شود.
کلیدواژه ها: آشکارسازی تغییرات، سنجه های سیمای سرزمین، کاربری اراضی، گیلانغرب.	

استناد: شیرمحمدپور، آرش؛ میرسنجری، میرمهرداد؛ و محمدیاری، فاطمه (۱۴۰۳). ارزیابی تغییرات کاربری اراضی با رویکرد اکولوژی سیمای سرزمین (مطالعه

شهرستان گیلانغرب). محیط زیست طبیعی، ۷۷ (۴)، ۶۰۱-۶۱۲.

DOI: <http://doi.org/10.22059/jne.2025.389811.2764>



© نویسندگان.

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

مقدمه

از قرن بیستم، شهرنشینی به یکی از مهمترین فعالیت‌های انسانی تبدیل شده است که بر کیفیت زندگی انسان‌ها تأثیر می‌گذارد (Shao et al., 2021). در حالی که مناطق شهری تنها سه درصد از سطح زمین را اشغال می‌کنند (Sarvestani et al., 2011)، در بسیاری از کشورهای جهان با سرعت و مقیاس غیرقابل تصوری در حال رشد هستند (Sun et al., 2013). این وضعیت منجر به شرایط بحرانی مانند گسترش شهری، به‌ویژه در کشورهای در حال توسعه با نرخ توسعه شهری بالا شده است (Vermeiren et al., 2012). رشد جمعیت و گسترش فعالیت‌های انسانی در طبیعت باعث تغییرات شدید در کاربری اراضی و الگوی سیمای سرزمین (Dadashpoor et al., 2019)، پیکربندی نامنظم زمین و ایجاد محیطی شکننده (Zhou and Zhao, 2013) شده است. این تغییرات گسترده نه تنها می‌تواند منجر به مسائل مختلف محیط‌زیستی، از جمله تغییرات در فرآیندهای اکولوژیک اکوسیستم‌های زمینی شود (Mendoza-Ponce et al., 2021)، بلکه بر چرخه جهانی کربن (Zhu et al., 2021)، آب و هوا (Thapa, 2021)، تنوع‌زیستی (Davison et al., 2021)، اکولوژی سیمای سرزمین (Qu et al., 2021)، ساختار، عملکرد و سلامت اکوسیستم تأثیر می‌گذارد (Tang et al., 2020). بر این اساس، گسترش شهری بدون مدیریت مطلوب باعث از بین رفتن منابع زمین و تخریب خدمات اکوسیستم و کاهش زیبایی‌شناختی محیط شهری می‌شود (Liu et al., 2017). پایش تغییرات پوشش سطح زمین بسیار پیچیده است (Sun and Zhou, 2016) و یکی از مهم‌ترین رویکردها برای درک و شناسایی این تغییرات تجزیه و تحلیل روند الگوی سیمای سرزمین است (Fan and Ding, 2016).

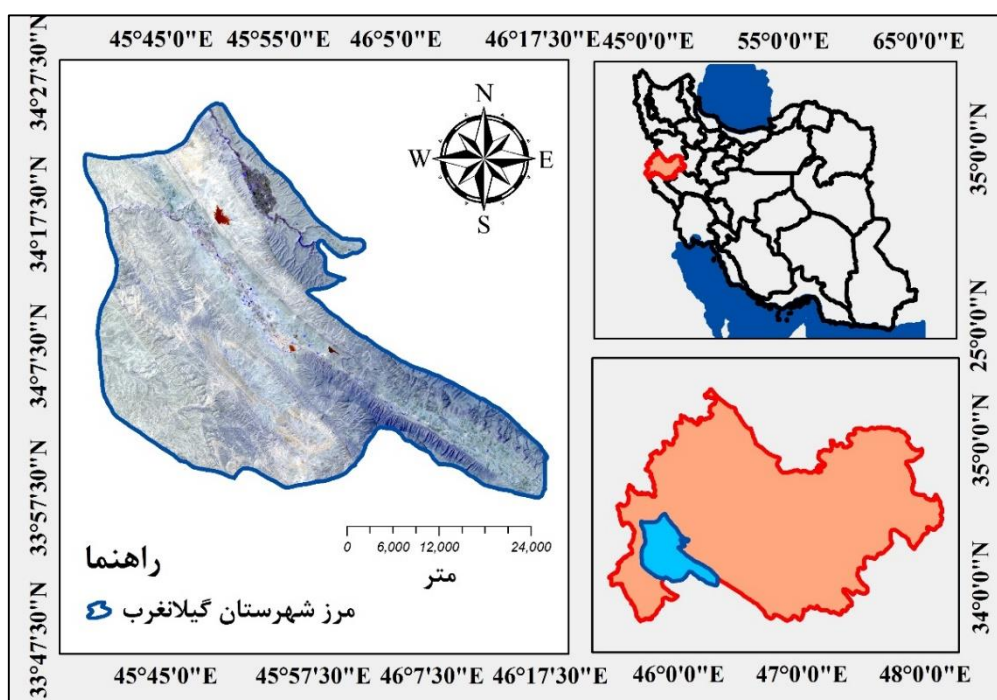
با ظهور رویکرد اکولوژی سیمای سرزمین، بینش‌های جدیدی در مورد مطالعه اکولوژی شهری و تأثیرات آن فراهم شد (Xiao et al., 2003). بررسی رابطه بین گسترش شهری و الگوهای سیمای سرزمین مدیریت مناسب محیط‌زیستی شهری را به‌دنبال دارد (Huilei et al., 2017). با توجه به اینکه، الگوهای سیمای سرزمین می‌توانند ساختار و الگوهای فضایی یک شهر را به‌صورت عینی توصیف کنند (Xu and Gao, 2019) نظارت بر تغییرات این الگوها، روشی غیرمستقیم برای بیان پیامدهای اکولوژیک گسترش شهری است (Shrestha et al., 2012). از طرف دیگر، تجزیه و تحلیل تغییر کاربری زمین یک ابزار مهم برای ارزیابی اثرات فعالیت‌های انسانی بر خدمات اکوسیستم در مناطق شهری است (Du et al., 2009). بنابراین، نقشه‌برداری و تعیین کمیت تغییرات مکانی و زمانی در کاربری/پوشش اراضی و محرک‌های تغییر برای شناسایی مناطق آسیب‌پذیر جهت دستیابی به اهداف مختلفی مانند مدیریت زمین، مدیریت منابع و حفاظت از تنوع‌زیستی ضروری است (Abebe et al., 2022). اخیراً سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی و سنجش از دور به‌طور گسترده برای نقشه‌برداری کاربری/پوشش اراضی و تشخیص تغییرات در سراسر جهان مورد استفاده قرار گرفته‌اند (Chamling and Bera, 2020). این فناوری امکان تجزیه و تحلیل کاربری/پوشش اراضی را با استفاده از قابلیت داده‌های سنجش از راه دور چندطیفی و توسعه پردازش تصویر دیجیتال فراهم می‌کند (He et al., 2022).

در این راستا توجه مطالعات داخلی و خارجی زیادی به ارزیابی تغییرات کاربری اراضی در سیمای سرزمین جلب شده است. از مطالعات داخلی که در این زمینه انجام شده است می‌توان به روند تغییرات کاربری اراضی با استفاده از سنجش از راه دور سیمای سرزمین در شهر مراغه (Teimouri et al., 2023)، در شهرستان نظرآباد (Amini and Sayahnia, 2022) و در شهرستان بهبهان (Mirsanjari and Mohammadyari, 2022) اشاره کرد. همچنین Memarzadeh Kiani و Fatah (۲۰۲۴) در مطالعه خود به بررسی روند تغییرات کاربری اراضی کشاورزی در شهرستان شهریار پرداختند. همچنین مطالعات اثرات تغییر کاربری اراضی بر سیمای سرزمین آمازون برزیل (Alencar et al., 2025)، تجزیه و تحلیل تکامل مکانی-زمانی تغییر کاربری زمین و خطرات اکولوژیک سیمای سرزمین در مناطق دشت چنگدو (Wei et al., 2024) و تحلیل الگوی مکانی تغییرات پوشش زمین در دلتای کندال، جاوا مرکزی (Hastari et al., 2021) از نمونه مطالعات خارجی در این زمینه هستند. نتایج تمام مطالعات بر این نکته تأکید دارد که روند سریع شهرنشینی و تغییرات کاربری اراضی باعث کاهش مساحت اراضی سبز و افزایش تکه‌تکه شدن سیمای سرزمین در اثر این تغییرات است. در این راستا، با توجه به اهمیت موضوع تغییرات کاربری اراضی در سیمای سرزمین شهری، هدف از این مطالعه کمی‌سازی تغییرات الگوی مکانی کاربری اراضی در یک دوره ۱۵ ساله در شهرستان گیلانغرب با استفاده از سنجش از راه دور سیمای سرزمین است. در دهه‌های اخیر جمعیت روستایی این شهرستان به مناطق شهری جذب شده و گسترش شهری به‌طور مستقیم باعث تغییر در ساختار شهری و تخریب اراضی طبیعی در این منطقه شده است. بدین‌منظور، به‌دلیل رشد سریع شهرنشینی

و فعالیت‌های صنعتی از یک طرف و حفظ ارزش‌های فرهنگی، تاریخی و طبیعی از طرف دیگر، مدیریت جامع و یکپارچه شهری در راستای اهداف توسعه پایدار یعنی توسعه متوازن بین فعالیت‌های اقتصادی و محیط‌زیستی، ضروری است. بررسی تغییرات زمانی-مکانی در الگوی شهری و کمی‌سازی آن از طریق سنجش‌های سیمای سرزمین می‌تواند گام مهمی در بررسی الگوی شهری گیلانغرب باشد و به تصمیم‌گیران و سیاست‌گذاران در مدیریت بهتر شهر کمک کند. بنابراین، نتایج این مطالعه می‌تواند به‌عنوان یک دستورالعمل مورد توجه برنامه‌ریزان شهری قرار گیرد و در اتخاذ سیاست‌ها و تصمیم‌گیری‌های آمایشی این شهرستان مفید واقع شود.

روش‌شناسی پژوهش

محدوده مورد مطالعه: شهرستان گیلانغرب در غرب استان کرمانشاه بین ۳۳ درجه و ۴۹ دقیقه تا ۳۴ درجه و ۲۸ دقیقه عرض شمالی و ۴۵ درجه و ۵۱ دقیقه الی ۴۶ درجه و ۳۷ دقیقه طول شرقی واقع شده است (شکل ۱). ارتفاع این شهرستان ۸۰۰ متر از سطح دریا است. این شهرستان از شمال به شهرستان‌های سرپل‌ذهاب و کرد، از جنوب به شهرستان ایوانغرب، از شرق به شهرستان اسلام‌آباد غرب و از غرب به شهرستان قصر شیرین محدود می‌شود. اقلیم محدوده مورد مطالعه از نوع مدیترانه‌ای بوده و دارای یک فصل خشک مشخص و منطبق بر دوره گرم و یک فصل مرطوب منطبق بر دوره سرد سال است. میانگین دمای سالانه بین ۱۲ الی ۱۸ درجه سانتی‌گراد و میانگین بارندگی سالانه بین ۴۰۰ الی ۵۰۰ میلی‌متر است (Gholami et al., 2021). جمعیت گیلانغرب طبق سرشماری سال ۱۳۹۵ تعداد ۲۲۳۳۱ نفر بوده است که در این بین ۱۱۱۱۵ نفر مرد و ۱۱۲۱۶ نفر زن هستند و تعداد ۶۶۶۲ خانوار در این شهرستان زندگی می‌کنند که این رقم در مقایسه با سال‌های قبل به دلیل مهاجرت گسترده مردم برای یافتن کار به شهر کرمانشاه، تهران و سایر شهرهای صنعتی کاهش داشته است.



شکل ۱- موقعیت محدوده مورد مطالعه

جمع‌آوری، پیش‌پردازش داده‌ها و نقشه کاربری اراضی: ابتدا تصاویر ماهواره‌ای منطقه در بازه زمانی ۱۵ ساله از آرشیو داده‌های ماهواره لندست و سایت زمین‌شناسی ایالات متحده آمریکا (USGS) دریافت شد. منبع داده‌ها مربوط به سال‌های ۱۳۸۶ و ۱۴۰۱، به ترتیب مربوط به تصاویر سنجنده TM ماهواره لندست ۵ و تصاویر سنجنده OLI ماهواره لندست ۸ است. جدول ۱

ویژگی‌های تصاویر ماهواره‌ای مورد استفاده در پژوهش حاضر را نشان می‌دهد. مرحله پیش‌پردازش داده‌ها یکی از مهمترین مراحل در پردازش تصاویر است. از آنجا که این تصاویر به صورت ژئورفرنس شده در اختیار کاربران قرار می‌گیرد، تصاویر از نظر عملیات پیش‌پردازش یعنی تصحیح هندسی و رادیومتریکی بررسی شدند. از محیط نرم‌افزار ENVI5.3 و ArcGIS10.6 برای پیش‌پردازش، طبقه‌بندی و تفسیر تصاویر ماهواره‌ای استفاده شد. طبقه‌بندی تصاویر و تهیه نقشه‌های کاربری اراضی با استفاده از نمونه‌های تعلیمی انجام شد. به کمک روش طبقه‌بندی نظارت شده-الگوریتم حداکثر احتمال، نقشه کاربری اراضی به چهار طبقه (مناطق شهری، مرتع، اراضی کشاورزی و آب) طبقه‌بندی شد. الگوریتم حداکثر احتمال با توجه به اینکه از قوانین احتمالات استفاده می‌کند، از نتایج دقیق‌تری نسبت به سایر روش‌های طبقه‌بندی برخوردار است. در این روش هر پیکسل با بیشترین احتمال به طبقه متناظر تعلق می‌یابد (Alavipanah, 2016). به منظور نقشه‌های به دست آمده از طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای، از روش نمونه‌گیری تصادفی به عنوان نقاط واقعیت زمینی (نقاط کنترل) استفاده شد. سپس با جمع‌آوری نقاط کنترلی از طریق تصاویر Google Earth، نقشه‌های کاربری اراضی و تفسیر بصری، دقت طبقه‌بندی با استفاده از ماتریس خطا و پارامترهای آماری (دقت کلی و ضریب کاپا) (رابطه ۱) محاسبه شد (Teimouri et al., 2023).

$$k = \frac{N \sum_{i=1}^r x_{ii} - \sum_{i=1}^r (x_{i+} * x_{+i})}{N^2 - \sum_{i=1}^r (x_{i+} * x_{+i})} \quad \text{رابطه ۱}$$

که در آن r : تعداد سطرها در ماتریس خطا، x_{ii} : تعداد مشاهدات در سطر و ستون x_{i+} مجموع عناصر سطر i و x_{+i} : مجموع عناصر ستون i و N : تعداد کل مشاهدات می‌باشد. در نهایت با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS10.6 نقشه کاربری اراضی برای دو سال مورد مطالعه استخراج شد.

جدول ۱- ویژگی‌های تصاویر ماهواره‌ای انتخاب شده در پژوهش

لندست	سنجنده	قدرت تفکیک (متر)	تاریخ دریافت تصویر	ستون	ردیف
لندست ۵	TM	۳۰	۲۰۰۷/۱۳۸۶	۳۶	۱۶۸
لندست ۸	OLI	۳۰	۲۰۲۲/۱۴۰۱	۳۶	۱۶۸

انتخاب و استخراج سنجه‌های سیمای سرزمین: به منظور کمی‌سازی تغییرات در الگوهای مکانی و زمانی محدوده مورد مطالعه، سنجه‌های سیمای سرزمین با استفاده از نرم‌افزار Fragstats4.2.1 محاسبه شدند. مزیت استفاده از نرم‌افزار Fragstats این است که می‌توان از تصاویر طبقه‌بندی شده ماهواره‌ای به طور مستقیم استفاده کرد (Singh et al., 2014). ۱۲ سنجه در دو سطح کلاس و سیمای سرزمین انتخاب شدند. با توجه به این که سنجه‌ها در بسیاری از موارد دارای همپوشانی هستند و اطلاعات مشابهی از وضعیت سیمای سرزمین ارائه می‌نمایند، بنابراین با استفاده از مرور منابع و ادبیات مناسب‌ترین سنجه‌ها تعیین شد (جدول ۲). پس از محاسبه سنجه‌های سیمای سرزمین، تغییرات بین سنجه‌ها طی دوره ۱۳۸۶ تا ۱۴۰۱ مورد مقایسه قرار گرفت.

جدول ۲- سنجه‌های سیمای سرزمین مورد استفاده در پژوهش

نام فارسی	نام انگلیسی	علامت اختصاری	واحد	رابطه
مساحت هر طبقه	Class area	CA	هکتار	$CA = \sum_{j=1}^n a_{ij} (1/10000)$
تعداد کل لکه برای یک طبقه خاص	Number of patches	N.P	-	$1 \leq NP \leq N_{max}$
شاخص بزرگترین لکه	Largest patch index	LPI	درصد	$LPI = \text{Max}(a_{ij})/A (100)$
درصد پوشش سیمای سرزمین	Percent of landscape	PLAND	درصد	$PLAND = \sum_{j=1}^n (a_{ij})/A (100)$
تراکم حاشیه	Edge density	E.D	متر در ۱۰۰ هکتار	$ED = \sum_{k=1}^m (e_{ik})/A (10000)$
شاخص شکل لکه	Landscape shape index	LSI	-	$LSI = e_i / \min e_i$

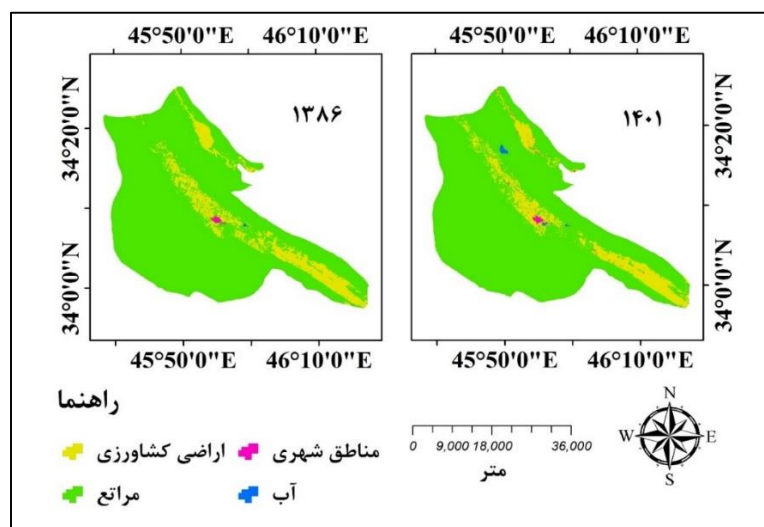
نام فارسی	نام انگلیسی	علامت اختصاری	واحد	رابطه
شاخص پراکندگی و مجاورت	Interspersion juxtaposition index	IJI	درصد	$IJI = - \sum_{k=1}^m e_{ik} / \sum_{k=1}^m e_{ik} \ln(e_{ik} / \sum_{k=1}^m e_{ik}) / \ln(m-1)$
اندازه شبکه تأثیرگذار	Effective mesh size	MESH	هکتار	$MESH = \sum_{j=1}^n (a_{ij}^2) / A(1/10000)$
شاخص یکنواختی شانون	Shannon's evenness index	SHEI	-	$SHEI = - \sum_{i=1}^m (p_i^0 \ln p_i) / \ln m$
پیوستگی	Contagion	CONTAG	درصد	-
شاخص تنوع شانون	Shannon's diversity index	SHDI	-	$SHDI = - \sum_{i=1}^m (p_i^0 \ln p_i)$
شاخص یکنواختی سیمپسون	Simpson's evenness index	SIEI	-	$SIEI = 1 - \sum_{i=1}^m p_i^2 / 1 - (1/m)$

یافته‌های پژوهش

روند تغییرات کاربری اراضی در شهرستان گیلانغرب: قبل از پایش تغییرات کاربری اراضی، لازم است نتایج حاصل از دقت کلی نقشه‌های کاربری اراضی بررسی شود. در جدول ۳ دقت کلی و ضرایب کاپا ارائه شده است و صحت قابل قبول نقشه‌های کاربری اراضی را نشان می‌دهد، زیرا حداقل صحت کلی قابل قبول در نقشه‌های کاربری اراضی ۸۵ درصد و توافق عالی ضرایب کاپا ۷۵٪ است (Hishe et al., 2020). نتایج به‌دست آمده در خصوص کاربری اراضی و تغییرات آن در طی زمان در شکل ۲ ارائه شده است. تجزیه و تحلیل کاربری اراضی در محدوده مورد مطالعه نشان می‌دهد (جدول ۴) که مساحت مناطق شهری از ۲۷۷/۶۴ هکتار در سال ۱۳۸۶ به ۵۵۱/۰۴ هکتار در سال ۱۴۰۱ و از طرف دیگر، اراضی کشاورزی با مساحت ۱۷۶۸۶/۱۰ هکتار در سال ۱۳۸۶ به ۱۶۸۵۶ هکتار در سال ۱۴۰۱ رسیده است. همچنین در بازه زمانی مورد مطالعه در سطوح آب و مرتع، روند افزایشی مشاهده شد. به‌منظور آشکارسازی تغییرات کاربری اراضی از روش مقایسه پس از طبقه‌بندی و به‌طور خاص از روش جدول‌بندی افقی استفاده شد (شکل ۳ و جدول ۵).

جدول ۳- ضریب کاپا و دقت کلی حاصل از طبقه‌بندی

نوع طبقه‌بندی	سال	ضریب کاپا	دقت کلی
الگوریتم حداکثر احتمال	۱۳۸۶	۰/۹۴	۹۳/۵۱
	۱۴۰۱	۰/۹۶	۹۵/۸۵



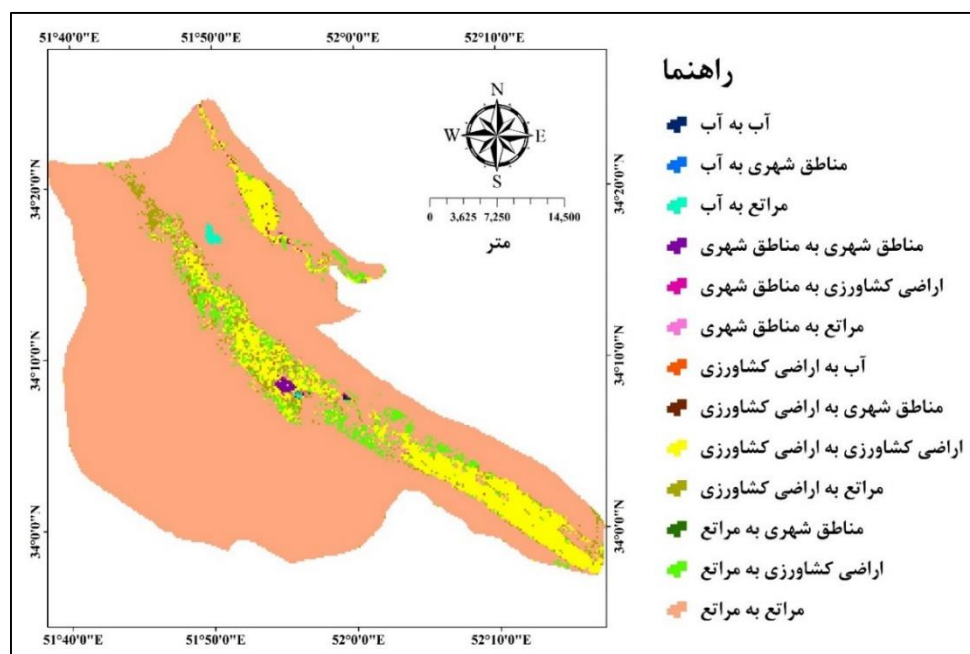
شکل ۲- نقشه کاربری اراضی شهرستان گیلانغرب

جدول ۴- تغییرات مساحت کاربری اراضی شهرستان گیلانغرب (۱۳۸۶-۱۴۰۱)

سال / کاربری اراضی	مناطق شهری		مرتع		اراضی کشاورزی		آب	
	هکتار	درصد	هکتار	درصد	هکتار	درصد	هکتار	درصد
۱۳۸۶	۲۷۷/۶۴	۰/۱۸	۱۳۲۳۴۴/۰۰	۸۸/۰۲	۱۷۶۸۶/۱۰	۱۱/۷۶	۴۵/۷۰	۰/۰۳
۱۴۰۱	۵۵۱/۰۴	۰/۳۶	۱۳۲۶۴۶/۰۰	۸۸/۲۲	۱۶۸۵۶/۰۰	۱۱/۲۱	۲۹۸/۶۴	۰/۱۹
تغییرات (۱۳۸۶-۱۴۰۱)	۲۷۳/۴۰	۰/۱۸	۳۰۲/۰۰	۰/۲۰	-۸۲۸/۱۰	-۰/۵۵	۲۵۲/۶۲	۰/۱۶

جدول ۵- جدول بندی افقی بین نقشه های کاربری اراضی سال های ۱۳۸۶ (افقی) و ۱۴۰۱ (عمودی) (هکتار)

کاربری	مناطق شهری	مرتع	اراضی کشاورزی	آب	مجموع
مناطق شهری	۴/۸۶	۳/۴۲	۳/۹۶	۰	۱۲/۲۴
مرتع	۰/۳۶	۲۶۱۶/۲۱	۹۲/۶۱	۰	۲۷۰۹/۱۸
اراضی کشاورزی	۰/۳۶	۷۹/۲	۲۶۱/۹	-۰/۳۶	۳۴۱/۸۲
آب	۰/۱۸	۵/۳۱	۰	-۰/۶۳	۶/۱۲
مجموع	۵/۷۶	۲۷۰۴/۱۴	۳۵۸/۴۷	-۰/۹۹	۳۰۶۹/۳۶



شکل ۳- نقشه تغییرات کاربری اراضی شهرستان گیلانغرب (۱۳۸۶-۱۴۰۱)

بررسی روند سنجه ها در سطح کلاس: جهت انجام تحلیل ها، تعداد هشت سنجه در سطح کلاس شامل: مساحت هر طبقه (CA)، تعداد لکه (NP)، پوشش سیمای سرزمین (PLAND)، شاخص بزرگترین لکه (LPI)، شاخص شکل لکه (LSI)، تراکم حاشیه (ED)، شاخص پراکندگی و مجاورت (IJI) و تغییرات تداوم لکه (MESH)، در نظر گرفته شد. براساس جدول ۶ سنجه مساحت (CA) نشان می دهد که مناطق شهری از ۲۸۲/۲۴ هکتار در سال ۱۳۸۶ به ۵۹۹/۷۶ هکتار در سال ۱۴۰۱ افزایش و اراضی کشاورزی از ۱۷۵۶۵/۰۳ هکتار در سال ۱۳۸۶ به ۱۶۷۴۹/۱۸ هکتار در سال ۱۴۰۱ کاهش یافته است. بیشترین تعداد لکه (NP) در سال ۱۳۸۶ مربوط به اراضی کشاورزی (۱۲۶) و کمترین آن برای کاربری آب (۲) و برای سال ۱۴۰۱ بیشترین آن مربوط به اراضی کشاورزی (۱۴۴) و کمترین آن برای کاربری آب به دست آمد (جدول ۶). همچنین پوشش سیمای سرزمین (PLAND) مناطق شهری از ۰/۱۸ به ۰/۳۹ درصد افزایش و اراضی کشاورزی از ۱۱/۶۷ به ۱۱/۱۳ درصد کاهش یافته است. در دوره های مورد مطالعه بیشترین و کمترین مقدار شاخص بزرگترین لکه (LPI) به ترتیب مربوط به مرتع و پهنه آبی می باشد (جدول ۶). همان طور که در جدول ۶ مشاهده می شود، حداکثر میزان تغییر شاخص شکل لکه (LSI) و تراکم حاشیه (ED) در بازه زمانی مورد مطالعه

مربوط به اراضی کشاورزی و حداقل آن مربوط به کاربری آب است. بررسی شاخص پراکندگی و مجاورت (IJI) نیز نشان می‌دهد که بیشترین مقدار این سنجه در بازه زمانی مورد مطالعه مربوط به مناطق شهری و کاربری آب است. همچنین روند تغییرات تداوم لکه (MESH) در این دوره‌ها حاکی از افزایش تداوم در مناطق شهری (از ۰/۳۵ به ۰/۴۲ هکتار) و اراضی کشاورزی (از ۴۷۴/۳۲ به ۵۱۳/۷۸ هکتار) است (جدول ۶).

جدول ۶- بررسی روند تغییرات سنجه‌های در سطح کلاس (۱۳۸۶ تا ۱۴۰۱)

کاربری	مرتج	اراضی کشاورزی	مناطق شهری	آب	
سنجه‌ها	۱۳۸۶	۱۴۰۱	۱۳۸۶	۱۴۰۱	۱۳۸۶
CA	۱۳۲۵۰۲/۹	۱۳۲۷۴۹/۸	۱۷۵۶۵/۰۳	۱۶۷۴۹/۱۸	۲۸۲/۲۴
NP	۷۴	۴۵	۱۲۶	۱۴۴	۱۰
PLAND	۸۸/۱	۸۸/۲۶	۱۱/۶۷	۱۱/۱۳	۰/۱۸
LPI	۸۷/۴۸	۸۷/۹۳	۴/۵۹	۴/۵۴	۰/۱۵
LSI	۷/۵۵	۷/۰۶	۱۶/۰۲	۱۵/۶۸	۲/۸۷
ED	۵/۵۹	۵/۱۵	۵/۵۹	۵/۳۰	۰/۱۲
IJI	۷/۶۴	۱۷/۹۲	۷/۱۷	۲۳/۷۶	۶۲/۸۹
MESH	۱۱۵۱۱۸/۳	۱۱۶۳۰۹/۶	۴۷۴/۳۲	۵۱۳/۷۸	۰/۳۵

بررسی روند سنجه‌ها در سطح سیمای سرزمین: جهت انجام تحلیل‌ها، تعداد چهار سنجه در سطح سیمای سرزمین شامل: شاخص یکنواختی شانون (SHEI)، شاخص یکنواختی سیمپسون (SIEI)، سنجه پیوستگی (CONTAG) و شاخص تنوع شانون (SHDI) در نظر گرفته شد. نتایج جدول ۷، دامنه متوسطی از تغییرات در شاخص یکنواختی شانون (SHEI) را بین ۰/۲۷۱ تا ۰/۲۸۰ در سال ۱۳۸۶ تا ۰/۲۸۰ نشان می‌دهد. شاخص یکنواختی سیمپسون (SIEI) در دوره ۱۵ ساله تغییری نشان نداد و روند ثابتی را دنبال کرد (۱/۳۳ برای سال ۱۳۸۶ و ۱/۳۳ برای سال ۱۴۰۱). کاهش در سنجه پیوستگی (CONTAG) از ۷۹/۱۰۳ به ۷۸/۶۴۸ درصد مشاهده شد که نشان‌دهنده کاهش درجه انسجام و افزایش تکه‌تکه شدن در سراسر سیمای سرزمین است. همچنین شاخص تنوع شانون (SHDI) از ۰/۳۷۶ به ۰/۳۸۹ رسیده است که روند افزایشی را نشان می‌دهد (جدول ۷).

جدول ۷- سنجه‌های SHDI, SHEI, SIEI و CONTAG از سال ۱۳۸۶ تا ۱۴۰۱

سال	SHDI	SHEI	SIEI	CONTAG
۱۳۸۶	۰/۳۷۶	۰/۲۷۱	۱/۳۳۳	۷۹/۱۰۳
۱۴۰۱	۰/۳۸۹	۰/۲۸۰	۱/۳۳۳	۷۸/۶۴۸

بحث و نتیجه‌گیری

یافته‌های پژوهش در مورد روند تغییرات کاربری اراضی طی بازه زمانی ۱۵ ساله (۱۳۸۶-۱۴۰۱) نشان داد که کاربری اراضی محدوده مورد مطالعه با مساحت ۱۵۱۱۵۴ هکتار تغییرات چشمگیری داشته است. رشد خطی افزایش مناطق شهری و تخریب اراضی کشاورزی و تبدیل آنها به سازه‌های ساختمانی و مسکونی در شهرستان گیلانغرب کاملاً مشهود است. در مجموع، نتایج نشان داد که بین سال‌های ۱۳۸۶ تا ۱۴۰۱، ۲۷۳/۴۰ هکتار (۰/۱۸ درصد) به مناطق شهری اضافه شده و ۸۲۸/۱۰ هکتار (۰/۵۵ درصد) از سطح اراضی کشاورزی کاهش یافته است. کاهش اراضی کشاورزی با هدف تبدیل به مناطق شهری در مطالعات Mahmoudzadeh و Masoudi (۲۰۱۹) و Teimouri و همکاران (۲۰۲۳) نیز تأیید شده است و همسو با نتایج این مطالعه است. همچنین افزایش مساحت مناطق شهری با نتایج مطالعات Mirsanjari و Mohammadyari (۲۰۲۲) و Memarzadeh Kiani و Fatah (۲۰۲۴) مطابقت دارد. با توجه به نتایج، گسترش شهری اصلی‌ترین عامل تغییر کاربری اراضی است که در سیمای سرزمین شهرستان گیلانغرب اتفاق افتاده است. این نتیجه با مطالعات قبلی (Nie et al., 2020; González-García et al., 2020; Hastari et al., 2021; Mirsanjari et al., 2021; Amini and Sayahnia, 2022; Wei et al., 2024; Alencar

(*et al.*, 2025) مطابقت دارد. همچنین نتایج تغییرات کاربری اراضی نشان داد که سنجه CA در محدوده شهرستان گیلانغرب بیشترین تغییر را در طبقات مناطق شهری و پهنه آبی نشان داد که با نتایج مطالعه Berila و Isufi (۲۰۲۱) مطابقت دارد. مقادیر NP در بازه زمانی مورد مطالعه برای مناطق شهری و اراضی کشاورزی افزایش یافته است. با توجه به اینکه افزایش سنجه NP حاکی از تکه‌تکه شدن سیمای سرزمین است (McGarigal and Ene, 2013; Shafie *et al.*, 2023) می‌توان بیان کرد که سیمای سرزمین منطقه مورد مطالعه در حال تکه‌تکه شدن و از دست دادن تداوم در زیستگاه است. بیشترین میزان سنجه PLAND برای مرتع و کشاورزی و کمترین مقدار آن برای مناطق شهری و آب بود. این یافته‌ها با پژوهش‌های Griffiths و Lee (۲۰۰۰) و Muhammed و Elias (۲۰۲۱) مطابقت دارد. براساس نتایج، مقدار سنجه LPI برای تمام کاربری‌ها به‌جز مناطق شهری روند افزایشی مشاهده شد. به‌طوری که، در سال ۱۳۸۶، بزرگترین نقطه برای مناطق شهری تنها ۴/۵۹ درصد از کل منطقه را پوشش داد، در حالی که در سال ۱۴۰۱ به ۴/۵۴ درصد کاهش یافت. شاخص LSI، نسبت محیط (طول حاشیه) لکه به حداقل محیط ممکن برای یک لکه با حداکثر تجمع (انباشتگی) را نشان می‌دهد. این سنجه در صورتی که برابر با یک باشد، یعنی سیمای سرزمین شامل یک لکه با حداکثر فشردگی و تقریباً مربع شکل است، در حالی که لکه پراکنده‌تر، مرز بی‌نظم‌تر و شکل آن پیچیده‌تر شود، مقادیر آن بدون محدودیت افزایش می‌یابد (McGarigal and Ene, 2013). مقدار این شاخص برای اراضی کشاورزی و سایر شهرستان گیلانغرب روند کاهشی و برای مناطق شهری و آب روند افزایشی نشان داد. بر این اساس می‌توان گفت که در سال ۱۴۰۱ مناطق شهری و آب نسبت به سال‌های گذشته تراکم و فشردگی خود را از دست داده‌اند و در میان سایر کاربری‌ها پراکنده شده‌اند. همچنین شاخص ED برای مقایسه دو منطقه با مساحت یکسان یا برای مقایسه یک منطقه در دوره‌های مختلف استفاده می‌شود. این شاخص در سطح مناطق شهری افزایش یافته است که نشان‌دهنده رشد لکه‌های کوچک مسکونی در منطقه مورد مطالعه است. IJI یک شاخص تکه‌تکه شدن زمین است که سطح پراکندگی پوشش زمین را بیان می‌کند (Teimouri *et al.*, 2023). مقادیر IJI مربوط به مناطق شهری و پهنه آبی شهرستان گیلانغرب در سال ۱۴۰۱ کمتر از سال ۱۳۸۶ است که کاهش درجه اختلاط مکانی بین لکه‌ها را نشان می‌دهد. مقادیر کمتر سنجه MESH بیانگر میزان بالاتر از هم گسستگی و کاهش پیوستگی در منطقه است (Teimouri *et al.*, 2023). کم‌ترین میزان این سنجه متعلق به کاربری‌های شهری و آب است و نشان می‌دهد که این طبقات از هم گسسته‌ترین کاربری‌ها در سیمای سرزمین محدوده مورد مطالعه است. در مقابل بیشترین میزان آن به اراضی کشاورزی و سایر اختصاص یافته است که پیوسته‌ترین کاربری‌ها در سطح شهرستان گیلانغرب به‌شمار می‌رود. سنجه‌های SHDI و SIEI از شاخص‌های مورد استفاده در مطالعه برای بررسی تنوع نقاط و تغییرات مربوطه در منطقه است. مقدار عددی این شاخص‌ها اطلاعاتی در مورد نقاط می‌دهد. این شاخص‌ها برای مقایسه سیمای سرزمین در زمان‌های مختلف استفاده می‌شود. شاخص SHDI برای سال ۱۳۸۶ برابر ۰/۳۷۶ و برای سال ۱۴۰۱ برابر با ۰/۳۸۹ محاسبه شد. دلیل افزایش آن در بازه زمانی مورد مطالعه یکپارچگی و افزایش تنوع است. در شاخص SIEI تغییری مشاهده نشد. شاخص دیگری که در این مطالعه محاسبه شد، SHEI است. این شاخص بین صفر تا یک متغیر است. هنگامی که سیمای سرزمین فقط از یک نقطه تشکیل شده باشد، این شاخص برابر با صفر است و زمانی که تمام نقاط به‌طور مساوی در منطقه توزیع شوند، به یک نزدیک می‌شود. این شاخص در سال ۱۳۸۶ برابر ۰/۲۷۱ و در سال ۱۴۰۱ برابر ۰/۲۸۰ محاسبه شد. سنجه CONTAG در پژوهش حاضر از ۷۹/۱۰۱ به ۷۸/۶۴۸ درصد کاهش یافت که نشان‌دهنده کاهش یکپارچگی و افزایش تکه‌تکه شدن در کل سیمای سرزمین می‌باشد.

در مجموع افزایش فعالیت‌های انسانی در منطقه و توسعه شهری باعث تکه‌تکه شدن سیمای سرزمین شهرستان گیلانغرب شده است که این نتیجه همسو با نتایج مطالعه Mirsanjari و Mohammadyari (۲۰۱۷) است. به‌منظور کنترل تکه‌تکه شدن و تبدیل بیش از پیش کلاس‌های گوناگون سیمای سرزمین شهرستان گیلانغرب به سایر کاربری‌ها، برنامه‌ریزی‌های توسعه‌ای در این منطقه، باید براساس اصول حفاظتی و حمایتی اراضی با پوشش طبیعی و اراضی کشاورزی انجام شود. چهار نوع پوشش و کاربری اراضی در منطقه شناسایی شد که در این میان، مناطق شهری با رشد قابل توجه، شاخص‌ترین منطقه تعیین شد. رشد اقتصادی و افزایش شهرنشینی به‌عنوان مهمترین عوامل تغییر کاربری اراضی در منطقه می‌باشد. این مطالعه نشان داد، علاوه بر تغییر کاربری اراضی در بازه زمانی ۱۳۸۶ تا ۱۴۰۱ ویژگی‌های مکانی هر یک از کلاس‌ها نیز تغییر کرده است. یعنی آثار تخریب و تبدیل کاربری‌ها بر روی شکل و اندازه آن‌ها هم تأثیرگذار بوده است.

در کل وضعیت ساختار سیمای سرزمین شهرستان گیلانغرب در شرایط فعلی، به دلیل تخریب و تبدیلات گذشته به صورت اختلالی و بیانگر روند توسعه تخریب است. آنچه قبلاً در مطالعه ذکر شد نشان می دهد که این منطقه از جنبه های مختلف در معرض تهدید است. اما مدیریت کارآمد می تواند تهدیدها را به فرصت تبدیل کند و متعاقباً بحران های پیش رو را حل کند. با توجه به اینکه دگرگونی اراضی یکی از مهمترین عوامل تخریب زمین های کشاورزی در منطقه است و مناطق وسیعی از این اراضی به منطقه شهری تبدیل شده است، کشاورزی و امنیت غذایی در این منطقه در معرض تهدید است. بنابراین جلوگیری از توسعه نامتوازن گسترش شهری و حفاظت از اراضی کشاورزی شهرستان در منطقه پیشنهاد می شود. همچنین لزوم در نظر گرفتن اثرات تغییر کاربری اراضی بر سیمای سرزمین منطقه در برنامه ریزی های شهری این منطقه توصیه می شود.

References

- Abebe, G., Getachew, D., Ewunetu, A., 2022. Analyzing land use/land cover changes and its dynamics using remote sensing and GIS in Gubalafito district, Northeastern Ethiopia. *SN Applied Sciences* 4(1), 1-15.
- Alavipanah. S.K., 2016. Fundamentals of modern remote sensing and interpretation of satellite images and aerial photos. Tehran University Press 800 p.
- Alencar, L., Escada, M.I., Camargo, J.L., 2025. Long-term landscape structure change in contrasting land occupation strategies of the Brazilian Amazon. *Land Use Policy* 150, 107442.
- Amini, M., Sayahnia, R., 2022. Investigation of Nazarabad County Ecological Security Based on the Trend of Land Use Changes Using Landscape Metrics. *Iranian Journal of Remote Sensing and GIS* 14(1), 107-123
- Berila, A., Isufi, F., 2021. Two decades (2000–2020) measuring urban sprawl using GIS, RS and landscape metrics: A case study of municipality of Prishtina (Kosovo). *Journal of Ecological Engineering* 22(6), 114-125.
- Chamling, M., Bera, B., 2020. Spatio-temporal patterns of land use/land cover change in the Bhutan–Bengal foothill region between 1987 and 2019: A study towards geospatial applications and policy making. *Earth Systems and Environment* 4(1), 117-130.
- Dadashpoor, H., Azizi, P., Moghadasi, M., 2019. Land use change, urbanization, and change in landscape pattern in a metropolitan area. *Science of the Total Environment* 655, 707-719.
- Davison, C.W., Rahbek, C., Morueta-Holme, N., 2021. Landuse change and biodiversity: Challenges for assembling evidence on the greatest threat to nature. *Global Change Biology* 27(21), 5414-5429.
- Du, Z.Q., Shen, Y.D., Wang, J., Cheng, W.S., 2009. Land-use change and its ecological responses: a pilot study of typical agro-pastoral region in the Heihe River, northwest China. *Environ. Geol.* 58, 1549-1556.
- Fan, Q., Ding, S. 2016. Landscape pattern changes at a county scale: A case study in Fengqiu, Henan Province, China from 1990 to 2013. *Catena Journal* 137, 152-160.
- Gholami, M., Haidari, R.H., Masoumi, S.M., 2021. Floristic Study of *Anagyris foetida* L. Stand in Kermanshah Province (Iran). *Journal of Genetic Resources* 7(2), 196-203.
- González-García, A., Palomo, I., González, J., López, G., Montes, G., 2020. Quantifying spatial supply-demand mismatches in ecosystem services provides insights for land-use planning. *Land Use Policy* 94(6), 104493.
- Griffiths, G. and Lee, J., 2000. Landscape pattern and species richness; regional scale analysis from remote sensing. *Remote Sensing* 21(13-14), 2685-2704.
- Hastari, N.R.F., Ningrum, E.R., Setyowati, P., Nadia, H., Putra, Q.I., Lutfiana, S., Rois Akbar, M., Dwi Lestari, H., Ramadhan, M.F., Budiman, L.S., Haryono, E., 2021. Spatial pattern analysis of land cover changes using Fragstat in Kendal Delta, Kendal Regency, Central Java. *E3S Web of Conferences* 325, 1-8.
- He, C., Zhang, J., Liu, Z., Huang, Q., 2022. Characteristics and progress of land use/cover change research during 1990–2018. *Geographical Sciences* 32(3), 537-559.
- Hishe, S., Bewket, W., Nyssen, J., Lyimo, J., 2020. Analyzing past land use land cover change and CAMarkov based future modeling in the Middle Suluh Valley, Northern Ethiopia. *Geocarto International* 35(3), 225-255.

- Liu, J., Zhang, G., Zhuang, Z., Cheng, Q., Gao, Y., Chen, T., Huang, Q., Xu, L., Chen, D. 2017. A new perspective for urban development boundary delineation based on SLEUTH- InVEST model. *Habitat International* 11(3), 13-23.
- Mahmoudzadeh, H. and Masoudi, H., 2019. The Analysis of Structural Landscape Changes in Tabriz City Using Landscape Ecology Principles with an Emphasis on the Connectivity Concept. **Town and Country Planning** 11(2), 179-204. (In Persian)
- McGarigal, K., Ene, E., 2013. FRAGSTATS: Spatial Pattern Analysis Program for Categorical Maps. Computer software program produced by the authors at the University of Massachusetts pp. 691-703.
- Memarzadeh Kiani, A., Daneshvar Fatah, F., 2024. Studying the process of agricultural land use changes in Shahrivar township using remote sensing and GIS. *Journal of Natural Environment* 76(4), 659-674. (In Persian)
- Mendoza-Ponce, A., Corona-Nunez, R.O., Nava, L.F., Estrada, F., Calderon-Bustamante, O., Martinez-Meyer, E., Carabias, J., Larralde-Corona, A.H., Barrios, M., Pardo-Villegas, P.D., 2021. Impacts of land management and climate change in a developing and socio environmental challenging transboundary region. *Environmental Management* 300, 113748.
- Mirsanjari, M. M., Mohammadyari, F., 2017. Monitoring the Landscape Changes Applying Gradient Analysis Case Study (County Behbahan). *Geography and Environmental Sustainability* 7(1), 83-96. (In Persian)
- Mirsanjari, M., Mohammadyari, F., 2022. Analysis of land use in the Behbahan city approach landscape ecology. *Journal of Environmental Science and Technology* 24(118), 191-204. (In Persian)
- Mirsanjari, M.M., Sužiedelytė Visockienė, J., Mohammadyari, F., Zarandian, A., 2021. Modelling of expansion changes of Vilnius City area and impacts on landscape patterns using an artificial neural network. *Ecological Chemistry and Engineering S* 28(3):429-447
- Nie, X., Lu, B., Chen, Zh., Yang, Y., Chen, Sh., Chen, Zh., Wang, H., 2020. Increase or decrease? Integrating the CLUMondo and InVEST models to assess the impact of the implementation of the Major Function Oriented Zone planning on carbon storage. *Ecological Indicators* 118, 106708.
- Qu, Y., Zong, H., Su, D., Ping, Z., Guan, M., 2021. Land use change and its impact on landscape ecological risk in typical areas of the Yellow River basin in China. *Environmental Research and Public Health* 18(21), 11301.
- Sarvestani, M.S., Ibrahim, A.L., Kanaroglou, P., 2011. Three decades of urban growth in the city of Shiraz, Iran: a remote sensing and geographic information systems application. *Cities* 28(4), 320-329.
- Shafie, B., Hossein Javid, A., Irani Behbahani, H., Darabi, H., Hosseinzadeh Lotfi, F., 2023. An analysis of the landscape structure changes as an ecological approach to achieve sustainable regional planning (case study: Latina dam watershed). *Journal of Environmental Engineering and Landscape Management* 31(1), 9-22.
- Shao, Z., Sumari, N.S., Portnov, A., Ujoh, F., Musakwa, W., Mandela, P.J., 2021. Urban sprawl and its impact on sustainable urban development: a combination of remote sensing and social media data. *Geo-spatial Information Science* 24(2), 241-255.
- Shrestha, M.K., York, A.M., Boone, C.G., Zhang, S., 2012. Land fragmentation due to rapid urbanization in the Phoenix Metropolitan Area: analyzing the spatiotemporal patterns and drivers. *Applied Geography* 32(2), 522-531.
- Singh, S., Pandey, A., Singh, D., 2014. Land use fragmentation analysis using remote sensing and Fragstats. In: Srivastava, P.K., Mukherjee, S., Gupta, M., Islam, T., editors. *Remote sensing applications in environmental research*. Society of Earth Scientists Series. Switzerland: Springer International Publishing pp. 151-176.
- Sun, B., Zhou, Q., 2016. Expressing the spatio-temporal pattern of farmland change in arid lands using landscape metrics. *Journal of Arid Environments* 124, 118-127.
- Sun, C., Wu, Z., Lv, Z., Yao, N., Wei, J., 2013. Quantifying different types of urban growth and the change dynamic in Guangzhou using multi temporal remote sensing data. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 21(1), 409-417.
- Tang, J., Li, Y., Cui, S., Xu, L., Ding, S., Nie, W., 2020. Linking land-use change, landscape patterns, and ecosystem services in a coastal watershed of southeastern China. *Global Ecology and Conservation* 23, e01177.

- Teimouri, R., Ghorbani, R., Karbasi, P., Sharifi, E., 2023. Investigation of land use changes using the landscape ecology approach in Maragheh City, Iran. *Journal of Environmental Studies and Sciences* 13(2), 271-284.
- Thapa, P., 2021. The relationship between land use and climate change: A case study of Nepal. In S. A. Harris (Ed.), *The nature, causes, effects and mitigation of climate change on the environment*.
- Vermeiren, K., Van Rompaey, A., Loopmans, M., Serwajja, E., Mukwaya, P., 2012. Urban growth of Kampala, Uganda: pattern analysis and scenario development. *Landscape and Urban Planning* 106(2), 199-206.
- Wei, Y., Zhou, P., Zhang, L., Zhang, Y., 2024. Spatio-temporal evolution analysis of land use change and landscape ecological risks in rapidly urbanizing areas based on Multi-Situation simulation— a case study of Chengdu Plain. *Ecological Indicators* 166 112245.
- Xiao, D.N., Li, X.Z., Gao, J., 2003. *Landscape Ecology*. Science Press, Beijing, China.
- Xu, T., Gao, J. 2019. Directional multi-scale analysis and simulation of urban expansion in Auckland, New Zealand using logistic cellular automata. *Computers, Environment and Urban Systems* 78(2), 101390.
- Zhou, N.Q. and Zhao, S., 2013. Urbanization process and induced environmental geological hazards in China. *Natural Hazards* 67(2), 797-810.
- Zhu, G., Qiu, D., Zhang, Z., Sang, L., Liu, Y., Wang, L., Wan, Q., 2021. Land-use changes lead to a decrease in carbon storage in arid region, China. *Ecological Indicators* 127(3), 107770.