Assessment of Ecological Network Changes in the Study Area of Mazandaran Province for the Protection of Rural-Urban Lands

Abstract

In recent decades, the rapid expansion of human activities and accelerated urban development have led to extensive alterations in natural landscapes and a significant decline in ecological integrity. These transformations have disrupted the spatial coherence of ecosystems, reduced habitat connectivity, and threatened the resilience of ecological networks, which are essential for maintaining biodiversity, ecosystem services, and environmental stability. In this context, the landscape ecology approach, which emphasizes understanding spatial patterns, analyzing relationships among landscape elements, and assessing current environmental conditions, has become a key tool for evaluating environmental changes and guiding sustainable land management. Despite its growing importance, comprehensive assessments of ecological network changes over time, particularly at regional scales and through case studies, remain limited in domestic research and rarely address both structural and functional aspects of ecological connectivity. The present study aims to fill this gap by focusing on the counties of Mazandaran Province, examining the temporal dynamics of landscape elements and assessing their connectivity during three reference years: 1999, 2006, and 2016. The research integrates remote sensing data with quantitative landscape metrics to provide a detailed understanding of spatial changes in ecological networks. Key structural metrics, including the Largest Patch Index (LPI), Patch Number (NP), and Patch Fragmentation Rate (FR), were computed using Fragstats software, enabling precise evaluation of patch size, distribution, and fragmentation. These metrics not only capture the physical characteristics of landscape elements but also provide insights into their ecological functionality, allowing a comprehensive assessment of how landscape structure influences ecological processes and network resilience over time. The analysis indicates that urban expansion has increased patch fragmentation, reduced spatial connectivity, and impaired ecological network functions. These patterns highlight a decline in ecosystem resilience and an ongoing disruption of ecological balance within the study area. The findings underscore the potential risks associated with uncontrolled urban growth and the absence of management strategies informed by ecological principles. Without timely intervention, these trends could pose serious threats to regional sustainability, ecosystem services, and the long-term stability of rural-urban landscapes, including critical aspects such as soil quality, water regulation, and habitat provision. By combining remote sensing techniques with landscape metrics, this study provides a robust framework for monitoring ecological network changes and supports evidence-based decision-making in land-use planning. The results offer insights for policymakers, urban planners, and environmental managers, emphasizing the necessity of interventions to preserve ecological integrity while accommodating necessary development. Furthermore, the study highlights the importance of maintaining landscape connectivity and functional ecological networks as a strategy to enhance resilience and ensure sustainable regional development. In conclusion, this research demonstrates the critical role of landscape ecology in assessing ecological network dynamics and informs strategies for conserving rural-urban lands in Mazandaran Province. The methodology and findings can serve as a model for similar regional assessments, particularly in areas experiencing rapid urbanization, where balancing human development with ecological preservation remains a pressing challenge. Effective planning and conservation measures based on ecological principles are essential to mitigate urban expansion impacts, maintain ecosystem functionality, and promote the sustainable coexistence of human and natural systems.

Keywords: ecological network, landscape ecology, landscape metrics, Mazandaran, spatial connectivity

Received: 02 Aug 2025
Received in revised form: 24 Oct 2025
Accepted: 10 Dec 2025

Hashem Dadashpoor[1] iD (Corresponding Author)
Professor, Department of Urban and Regional Planning, Faculty of Art and Architecture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.
E-mail: h-dadashpoor@modares.ac.ir

Fatemeh Tavakoli[2] iD
Master of Urban Planning, Department of Urban and Regional Planning, Faculty of Art and Architecture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran. E-mail: fatemez.tavakoli71@gmail.com

https://doi.org/10.22059/jfaup.2025.396000.673083

Citation: Dadashpoor, Hashem, & Tavakoli, Fatemeh. (2025). Assessment of ecological network changes in the study area of Mazandaran province for the protection of rural-urban lands. *Journal of Fine Arts: Architecture and Urban Planning*, *30*(4), 7-21. (in Persian)

© Authors retain the copyright and the full publishing. Publisher: University of Tehran Press.

ارزیابی روند تغییرات شبکه اکولوژیک در محدوده موردمطالعه در استان مازندران به‌منظور حفاظت از اراضی روستا- شهری

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۴/۰۵/۱۱
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۰۸/۰۲
تاریخ پذیرش نهایی: ۱۴۰۴/۰۹/۱۹

هاشم داداش‌پور[۱] (نویسنده مسئول): استاد گروه برنامه‌ریزی شهری و منطقه‌ای، دانشکده هنر و معماری، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.
E-mail: h-dadashpoor@modares.ac.ir

فاطمه توکلی[۲]: کارشناسی ارشد طراحی شهری، گروه برنامه‌ریزی شهری و منطقه‌ای، دانشکده هنر و معماری، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.
E-mail: fatemez.tavakoli71@gmail.com

https://doi.org/10.22059/jfaup.2025.396000.673083

چکیده

در دهه‌های اخیر، گسترش فعالیت‌های انسانی و شتاب‌زدگی توسعه شهری موجب تغییرات گسترده در بسترهای طبیعی و کاهش یکپارچگی اکولوژیکی شده است. ازاین‌رو، رویکرد اکولوژی چشم‌انداز که بر شناخت الگوهای فضایی، تحلیل روابط میان عناصر و ارزیابی وضعیت موجود تأکید دارد، به ابزاری مهم برای سنجش تحولات محیطی تبدیل شده است. بااین‌حال، در مطالعات داخلی، به‌ویژه در مقیاس‌های منطقه‌ای و در مطالعه موردی، ارزیابی جامع و دقیقی از تغییرات شبکه اکولوژیکی در گذر زمان انجام نشده‌است. پژوهش حاضر با تمرکز بر شهرستان‌های مازندران، به تحلیل تحول عناصر چشم‌انداز و ارزیابی پیوستگی آن‌ها در سال‌های ۱۹۹۹، ۲۰۰۶ و ۲۰۱۶ پرداخته است. در این مطالعه، داده‌های سنجش از راه دور و شاخص‌های ساختاری چشم‌انداز شامل اندازه بزرگ‌ترین لکه اکولوژیکی (LPI)، تعداد لکه‌ها (NP) و سطح پراکندگی لکه‌ها (FR) با بهره‌گیری از نرم‌افزار *Fragstats* پردازش شده‌اند تا تصویری دقیق از تغییرات فضایی شبکه اکولوژیکی ارائه شود. نتایج نشان می‌دهد که توسعه شهری موجب افزایش ریزدانگی لکه‌ها، کاهش معنی‌دار یکپارچگی فضایی و تخریب عملکردی شبکه اکولوژیکی شده است، روندی که کاهش تاب‌آوری و اختلال در تعادل اکولوژیکی منطقه را نمایان می‌کند. تداوم این وضعیت و فقدان سیاست‌های کنترلی مبتنی بر اصول اکولوژیکی، می‌تواند در آینده تهدیدی جدی برای پایداری منطقه باشد.

واژه‌های کلیدی: اکولوژی چشم‌انداز، شاخص‌های چشم‌انداز، شبکه اکولوژیکی، مازندران، یکپارچگی فضایی

استناد: داداش‌پور، هاشم و توکلی، فاطمه (۱۴۰۴). ارزیابی روند تغییرات شبکه اکولوژیک در محدوده موردمطالعه در استان مازندران به‌منظور حفاظت از اراضی روستا– شهری. نشریه *هنرهای زیبا: معماری و شهرسازی*، ۳۰(۴)، ۷–۲۱.

© نگارندگان، حق تکثیر و امتیاز کامل انتشار مقاله خود را حفظ می‌کنند.
ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

مقدمه

در سال‌های اخیر، فرایند جهانی‌شدن و گسترش فعالیت‌های انسانی، به‌ویژه رشد سریع شهرنشینی، افزایش تقاضا برای مسکن و توسعه پراکنده شهرها، الگوهای توسعه شهری را دستخوش تغییر کرده و فشار قابل توجهی بر اراضی وارد کرده است (داداش‌پور و سالاریان، ۱۳۹۴). این الگوهای توسعه نامتوازن در بسیاری از شهرهای ایران و جهان قابل مشاهده است و به تغییرات چشمگیر در ساختار فضایی و اکولوژیکی چشم‌انداز منجر شده است (Hermosilla et al., 2012; Teimouri et al., 2023). پیامد چنین دگرگونی‌هایی، کاهش انسجام فضایی، اختلال در کارکردهای محیطی و تضعیف تاب‌آوری سرزمین در برابر بحران‌ها است (Hardy et al., 2021; Ren et al., 2021). برای مواجهه با این چالش‌ها، ضروری است که توسعه شهری در تعامل با بستر اکولوژیکی و نظام فعالیتی منطقه سامان یابد و میان آن‌ها هماهنگی برقرار شود (داداش‌پور، رفیعیان و زارعی، ۱۳۹۲). در این راستا، «شبکه‌های اکولوژیکی» به‌عنوان یکی از رویکردهای مؤثر در برنامه‌ریزی شهری، منطقه‌ای و مدیریت چشم‌انداز مطرح شده‌اند. این شبکه‌ها با تقویت پیوستگی میان عناصر طبیعی، به حفظ فرایندهای اکولوژیکی کمک کرده و نقش تعیین‌کننده‌ای در جلوگیری از چندپارگی فضاهای طبیعی و محیط‌های حساس ایفا می‌کنند (Leitao et al., 2012; Zhou et al., 2011). ازاین‌رو توجه به احیا و مدیریت این شبکه‌ها می‌تواند کیفیت محیط شهری، تاب‌آوری در برابر مخاطرات و تعادل میان نیازهای انسانی و ظرفیت‌های طبیعی را ارتقا دهد (Fan & Ding, 2016). در حقیقت، شبکه اکولوژیکی ساختاری است که از ترکیب لکه‌ها، کریدورها و بسترهای طبیعی شکل می‌گیرد و با سازمان‌دهی هوشمندانه آن‌ها می‌توان عملکرد اکولوژیکی چشم‌انداز را تقویت کند. نتیجه این فرایند، حفاظت از منابع طبیعی و درعین‌حال، ارتقای کیفیت زیست انسان در محیط شهری است. با وجود این، در بسیاری از طرح‌های توسعه، شبکه‌های شهری بر شبکه‌های اکولوژیکی غلبه یافته‌اند و همین امر موجب گسست و تخریب این شبکه‌ها شده است (Cook & Van Lier, 1994 Thaiutsa et al., 2008;). بنابراین، پایش مستمر وضعیت این شبکه‌ها برای ارتقای عملکرد اکولوژیکی-فضایی چشم‌انداز امری ضروری است (Sun & Zhou, 2016)، ازآنجاکه کارایی شبکه‌های اکولوژیکی به کیفیت و نحوه ارتباط میان اجزای آن‌ها بستگی دارد، ارزیابی تغییرات آن‌ها نیازمند بررسی دقیق پوشش زمین و تحولات فضایی است (Leitao et al., 2012). رویکرد اکولوژی چشم‌انداز مجموعه‌ای از متریک‌های کمی را برای تحلیل ساختار فضایی، شناسایی ناهمگونی‌ها و سنجش تغییرات عناصر چشم‌انداز[1] ارائه کرده است (Godone et al., 2014). این متریک‌ها با اندازه‌گیری شاخص‌هایی مانند پیوستگی، تراکم، پراکنش و هندسه لکه‌ها و کریدورها، امکان تحلیل دقیق وضعیت شبکه‌های اکولوژیکی را فراهم می‌کنند و نقاط بحرانی را آشکار می‌سازند (Zhou & Wang, 2011; Sun et al., 2013; Fan & Ding, 2016). به‌کارگیری این شاخص‌ها نه‌تنها وضعیت فعلی شبکه اکولوژیکی را به‌وضوح نشان می‌دهد بلکه ابزار مؤثری برای پایش تغییرات در طول زمان و تدوین راهبردهای احیا و مدیریت محسوب می‌شود (Foltete et al., 2014). این امر می‌تواند به ایجاد توسعه شهری پایدارتر، ارتقای کیفیت زندگی و افزایش تاب‌آوری سرزمین در برابر مخاطرات زیست‌محیطی منجر شود.

ازاین‌رو، توجه به شبکه‌های اکولوژیکی و استفاده از متریک‌های کمی ارزیابی، از ضرورت‌های برنامه‌ریزی شهری و منطقه‌ای در عصر کنونی است (Godone et al., 2014).

با توجه به مباحث مطرح‌شده، امروزه مفهوم «شبکه اکولوژیکی» به‌عنوان یکی از رویکردهای کلیدی در برنامه‌ریزی محیطی و شهری برای حفظ و ارتقای ارزش‌های طبیعی مورد توجه گسترده پژوهشگران و متخصصان قرار گرفته است. این رویکرد، به‌ویژه برای تحلیل نوع و کیفیت ارتباط میان مؤلفه‌های طبیعی و عناصر انسان‌ساخت در مقیاس‌های مختلف زمانی و فضایی، اهمیت ویژه‌ای دارد. با وجود چنین جایگاهی، در ادبیات پژوهشی داخلی به‌خصوص در سطح نمونه موردی کمتر به بررسی روندهای بلندمدت تحول شبکه‌های اکولوژیکی پرداخته شده است و بیشتر پژوهش‌ها تنها به ارزیابی مقاطع زمانی محدود بسنده کرده‌اند. منطقه مازندران به دلیل دارا بودن پهنه‌های طبیعی ارزشمند، تنوع چشم‌انداز و موقعیت ویژه در نوار ساحلی کشور، یکی از حساس‌ترین و مهم‌ترین عرصه‌های محیط‌زیستی ایران محسوب می‌شود. بااین‌حال، در دهه‌های اخیر، رشد شتابان و اغلب بی‌ضابطه شهرنشینی، افزایش جمعیت دائمی و فصلی و توسعه گسترده ساخت‌وساز در این محدوده، فشارهای قابل‌توجهی بر ساختارهای اکولوژیکی وارد کرده است. پژوهش حاضر با تمرکز بر شهرستان‌های مازندران، به تحلیل ساختاری و عملکردی شبکه اکولوژیکی در یک دوره زمانی مشخص پرداخته است و تلاش می‌کند با شناسایی تغییرات فضایی- زمانی رخداده، پیامدهای این تحولات را بر پایداری زیست‌محیطی و اجتماعی منطقه ارزیابی کند. هدف این مطالعه، ارائه سیاست‌های راهبردی و راهکارهایی مبتنی بر تحلیل‌های علمی برای بهبود ساختار شبکه اکولوژیکی و هدایت آن به‌سوی پایداری در راستای توسعه پایدار و تاب‌آوری اکولوژیکی در این منطقه است. در این راستا، پژوهش حاضر با تدوین اهداف مشخص، تلاش دارد راهکارهایی علمی و عملی برای بهبود مدیریت و برنامه‌ریزی شبکه‌های اکولوژیکی ارائه دهد؛

- پویش فضایی- زمانی شبکه اکولوژیکی محدوده مورد مطالعه مازندران در دوره بیست‌ساله ۱۳۷۵-۱۳۹۵
- تبیین الگوی تحول شبکه اکولوژیکی استان مازندران در دو دهه اخیر با استفاده از شاخص‌های چشم‌انداز

روش پژوهش

این پژوهش از نوع کاربردی بوده و تحلیل‌ها به روش کمی انجام‌شده است. اطلاعات و داده‌های موردنیاز برای این تحقیق از سالنامه‌های آماری و گزارش‌های آمایش سرزمین استان مازندران استخراج گردیده است. علاوه بر این، تصاویر ماهواره‌ای مربوط به سال‌های ۱۹۹۶، ۲۰۰۶ و ۲۰۱۶ به‌عنوان داده‌های مکانی در تحلیل‌ها مورداستفاده قرار گرفته‌اند. فرآیندهای پردازش و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزارهای پیشرفته *ArcGIS 10*، *Envi 5.1* و *Fragstate* انجام‌شده است. این نرم‌افزارها برای تجزیه‌وتحلیل فضایی، طبقه‌بندی تصاویر و ارزیابی تغییرات شبکه‌های اکولوژیکی به کار گرفته شدند. درواقع روش انجام این پژوهش در قالب دو گام اصلی به شرح زیر است؛

گام ۱. تهیه نقشه پوشش زمین

برای تحلیل شبکه اکولوژیک مازندران، نقشه پوشش اراضی در

سال‌های ۱۹۹۹، ۲۰۰۶ و ۲۰۱۶ با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست (سری‌های ۵ و ۸) و فناوری سنجش از راه دور تهیه شد. انتخاب تصاویر با در نظرگرفتن تغییرات فصلی، فنولوژی پوشش گیاهی و شرایط توپوگرافی انجام گرفت. داده‌ها پس از تصحیح رادیومتریک و اتمسفری پردازش و با روش حداکثر احتمال (MLC) طبقه‌بندی شدند. ارزیابی دقت نقشه‌ها با ۱۰۰ نقطه تصادفی و ضریب کاپا، صحت بالای طبقه‌بندی را تأیید کرد (Lillesand et al., 2004; Gómez & Montero, 2011; Lu, 2007).

گام ۲. تحلیل ساختار شبکه اکولوژیک

از دهه ۱۹۶۰ و با معرفی GIS، استفاده از تکنیک‌های کمی دقت و شفافیت برنامه‌ریزی چشم‌انداز را افزایش داده است در تحلیل تغییرات ساختار اکولوژیک (چندپارگی) در پژوهش حاضر، سه شاخص اصلی بررسی و محاسبه‌شده است (McGarigal, 2015; Leitão & Ahern, 2002).

● تعداد لکه (NumP)

این شاخص نمایانگر تعداد کل لکه‌های موجود در سطح چشم‌انداز است و افزایش آن به‌عنوان یک عامل کلیدی در تحلیل شبکه اکولوژیک تلقی می‌شود. افزایش تعداد لکه‌ها بیانگر چندپارگی بیشتر و کاهش پیوستگی اکولوژیکی است. این وضعیت معمولاً به انزوای بیشتر لکه‌ها و افزایش درصد مساحت لبه‌ها در چشم‌انداز منجر می‌شود که نشان‌دهنده تخریب و شکنندگی بیشتر شبکه اکولوژیک است (McGarigal & Marks, 1995; Turner, 1989; Rivas et al., 2022).

$NP=ni$

● شاخص بزرگ‌ترین لکه (LPI)

شاخص بزرگ‌ترین لکه یکی از معیارهای مهم در ارزیابی چندپارگی چشم‌انداز است و درصدی از کل مساحت منطقه را که توسط بزرگ‌ترین لکه اشغال‌شده، نشان می‌دهد. کاهش مقدار این شاخص نشان‌دهنده افزایش چندپارگی و کاهش یکپارچگی اکولوژیکی در منطقه است. این شاخص همچنین اطلاعاتی درباره روند گسترش یا کاهش مساحت لکه‌های اکولوژیکی ارائه می‌دهد و مشخص می‌کند که کدام لکه‌ها در ساختار چشم‌انداز نقش غالب‌تری پیدا کرده یا مساحت بیشتری اشغال کرده‌اند (McGarigal, 2015).

$$\boldsymbol{LPI} = \frac{\mathbf{max\ (aij)}}{\mathbf{A}}$$

هدف استفاده از این شاخص‌ها، رسیدن به کمیتی واحد به‌منظور سهولت در مقایسه، تحلیل و ارزیابی است. بااین‌حال، شاخص‌های رایج مانند NP[2] و LPI[3] هریک تنها بخشی از ساختار فضایی را توصیف می‌کنند و قادر به نمایش هم‌زمان اثر اندازه لکه‌های غالب و پراکندگی آن‌ها نیستند. به همین منظور شاخص ترکیبی FR[4] طراحی شد تا با ترکیب دو شاخص فوق تصویری متعادل‌تر از وضعیت چندپارگی و یکپارچگی شبکه اکولوژیک ارائه دهد (Dupras et al., 2016).

$$\boldsymbol{FR} = (1 - LPI_) + (NP_)$$

درجایی که FR درجه چندپارگی هر قطعه است (NP–) و (LPI–) (مقادیر نرمال شده‌ی NP و LPI در بازه‌ی ۰ تا ۱ هستند که به‌صورت زیر محاسبه‌می‌شوند:

$$\boldsymbol{LPI_} = \frac{LPI}{LPI_{max}} \qquad \boldsymbol{NP_} = \frac{NP}{NP_{max}}$$

$LPImax$ و $NPmax$ حداکثر اندازه (در میان کلاس‌های مختلف) در محیط مورد مطالعه هستند. از آنجایی که اندازه بزرگ‌ترین لکه (مساحت) لکه (ندپارگی) (FR چندپارگی) عکس دارد، LPI– به‌صورت (۱–LPI–) در معادله لحاظ گردیده است. در این روش، افزایش FR نشانگر افزایش چندپارگی و کاهش پیوستگی فضایی است. این شاخص در مقایسه با شاخص‌های تک‌بُعدی پیشین، ضمن تسهیل مقایسه و تحلیل داده‌های پراکنده، امکان دستیابی به درکی منسجم‌تر از پویایی ساختار فضایی چشم‌انداز را فراهم می‌سازد. در جدول۱ برخی از معایب و مزایای این شاخص‌ها به‌طور خلاصه آورده شده است: (Dupras et al., 2016)

پیشینه‌پژوهش

مطالعات پیشین در زمینه شبکه‌های اکولوژیکی شامل طیف وسیعی از تحقیقات در مقیاس‌های مختلف و در زمینه‌های گوناگون است. مطالعات بین‌المللی در زمینه شبکه‌های اکولوژیکی و استفاده از شاخص‌های چشم‌انداز، نشان‌دهنده تأثیرات مثبت این رویکردها در حفظ پیوستگی اکوسیستم‌ها، ارتقای پایداری زیست‌محیطی و حفظ تنوع زیستی در مقیاس‌های مختلف است. در این مقاله، به بررسی برخی از مهم‌ترین و برجسته‌ترین پژوهش‌ها در سطح جهانی و داخلی پرداخته‌شده است. در حوزه جهانی، دپراس[5] و همکاران (۲۰۱۶) در پژوهشی اثرات پراکنده‌رویی بر پیوستگی شبکه اکولوژیکی را در کلان‌شهر مونترال بررسی کردند. آن‌ها با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و مدل‌سازی، تغییرات کاربری زمین را بین سال‌های ۱۹۹۶ تا ۲۰۱۰ تحلیل کردند. یافته‌ها نشان داد که توسعه پراکنده مناطق کم‌تراکم، منجر به تکه‌تکه‌شدن زمین، جدایی فضاهای طبیعی و کاهش تنوع زیستی شده است. در پژوهشی دیگر ژو[6] و همکاران (۲۰۱۶)

جدول ۱. *مزایا و معایب شاخص‌های اکولوژیکی (یافته‌های پژوهش)*

شاخص	معایب	مزایا
NP	– فقط تعداد لکه‌ها را نشان می‌دهد – ابعاد دقیق لکه‌ها را مشخص نمی‌کند – کیفیت لکه‌ها لحاظ نمی‌شود	– ساده و قابل محاسبه – نشان‌دهنده تعداد لکه‌های اکولوژیکی و پراکندگی شبکه
LPI	– تمرکز صرف بر لکه غالب دارد – پراکندگی سایر لکه‌ها را نشان نمی‌دهد – وضعیت کلی چندپارگی شبکه را به‌تنهایی توضیح نمی‌دهد	– سهم بزرگ‌ترین لکه در منظر را نمایش می‌دهد – ابزار مناسبی برای ارزیابی یکپارچگی شبکه
FR	– وابسته به مقیاس و دقت داده‌های سنجش از دور	– ترکیبی از NP و LPI برای ارائه تصویری متعادل‌تر – امکان تحلیل شبکه از لحاظ پیوستگی

در چین با استفاده از مدل‌های پیچیده تحلیل شبکه‌های اکولوژیکی، به ارزیابی تأثیرات توسعه شهری بر کاهش پیوستگی و کارکرد شبکه‌های اکولوژیکی پرداختند. این مطالعه بر استفاده از شاخص‌های پیچیدگی لکه‌ها[۷] و تحلیل ساختار لبه‌ها[۸] و لکه‌ها متمرکز بود. نتایج این تحقیق نشان داده است که به‌کارگیری مدل‌های تحلیل چشم‌انداز می‌تواند به‌طور مؤثر میزان چندپارگی شبکه‌های اکولوژیکی و اثرات منفی ناشی از توسعه بی‌رویه را پیش‌بینی کرده و راهکارهایی برای بهبود ارتباطات میان بخش‌های مختلف اکوسیستم‌ها ارائه دهد.

در حوزه داخلی، پریور و همکاران (۱۳۸۸) در مطالعه‌ای به تحلیل ساختار اکولوژیک چشم‌انداز تهران پرداخته و پیشنهادهایی برای ارتقای کیفیت محیط‌زیست ارائه کردند. آن‌ها تأکید کردند که رشد جمعیت و گسترش شهرنشینی باعث تخریب بنیان‌های اکولوژیکی و افزایش آلودگی‌ها شده است. در این تحقیق، با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست ۲۰۰۲ و متریک‌های چشم‌انداز مانند درصد ناحیه مرکزی[۹]، میانگین فاصله نزدیک‌ترین همسایه[۱۰]، میانگین اندازه لکه[۱۱]، تعداد لکه‌ها و وضعیت ترکیب و توزیع فضایی عناصر اکولوژیکی در دو مقیاس خرد و کلان ارزیابی شده و بر لزوم اقدامات اصلاحی تأکید شده است.

مبانی نظری پژوهش

اکولوژی چشم‌انداز

اکولوژی چشم‌انداز شاخه‌ای بین‌رشته‌ای از علوم محیطی است که بر رابطه میان ساختار مکانی چشم‌انداز و فرایندهای اکولوژیک تمرکز دارد (Turner, 1989). در این رویکرد، چشم‌انداز شامل لکه‌ها، کریدورها و ماتریس‌ها است که تحت تأثیر عوامل طبیعی و انسانی شکل می‌گیرند و تغییرات آن‌ها می‌تواند پایداری اکوسیستم را تحت تأثیر قرار دهد (Forman & Godron, 1986). توسعه شهری، تغییر کاربری زمین و گسترش زیرساخت‌ها موجب ریزدانگی لکه‌ها، کاهش پیوستگی فضایی و اختلال در عملکرد اکولوژیکی می‌شود (Wu, 2013; McGarigal et al., 2002). ازاین‌رو، اکولوژی چشم‌انداز ابزار مهمی برای تحلیل روندهای تبدیل، چندپارگی و حذف لکه‌های زیستی و بررسی تأثیرات آن‌ها بر تاب‌آوری، تنوع زیستی و پایداری اکولوژیکی است.

شبکه اکولوژیکی

شبکه‌های اکولوژیکی شامل لکه‌های طبیعی، کریدورها و عرصه‌های باز هستند که تبادل انرژی، حرکت گونه‌ها و حفظ پایداری سیستم‌های طبیعی را تسهیل می‌کنند (Benedict & McMahon, 2006). کاهش پیوستگی و یکپارچگی این شبکه‌ها منجر به اختلال عملکرد و کاهش توان اکوسیستم در تنظیم چرخه‌های طبیعی می‌شود. پژوهش‌ها نشان داده‌اند که توسعه شهری سریع، موجب افزایش تعداد لکه‌های کوچک، کاهش اندازه لکه غالب، پراکندگی فضایی و چندپارگی کریدورها می‌شود و ساختار شبکه اکولوژیکی را تضعیف می‌کند (Haddad et al., 2015). بنابراین، تحلیل تغییرات شبکه اکولوژیکی در طول زمان، ابزاری حیاتی برای مدیریت اراضی و برنامه‌ریزی پایدار سرزمین است.

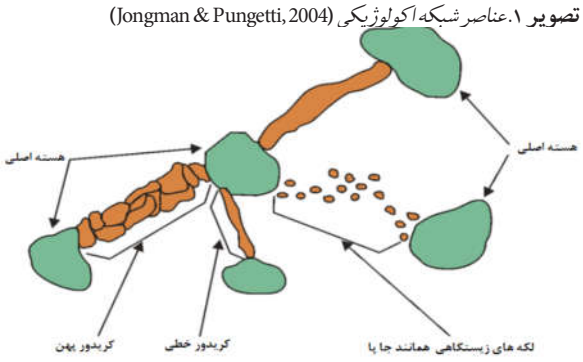
پیدایش و تحول شبکه‌های اکولوژیکی

شبکه‌های اکولوژیکی به‌منظور حفظ عناصر اکولوژیکی، کاهش چندپارگی و ارتقای پیوستگی زیست‌محیطی شکل گرفتند (Bennett & Mulongoy, 2006). ریشه‌های آن در شهرسازی باروک اروپا (قرن ۱۶) با ایجاد فضاهای سبز و ارتباطات میان آن‌ها مشاهده می‌شود (Ignatieva et al., 2011). در قرن ۱۹، اصلاحات هوسمان در پاریس و جنبش پارک‌سازی فردریک لاالمستد در آمریکا، شبکه‌های سبز خطی و پیونددهنده فضاهای عمومی را توسعه دادند. جنبش باغ‌شهر در اوایل قرن ۲۰، با ایجاد حلقه‌ها و کمربندهای سبز، دسترسی برابر به فضای سبز و کاهش فشار شهری را هدف قرار داد. از دهه ۱۹۷۰، توسعه سبزراه‌ها و کریدورهای اکولوژیک در آمریکا و اروپا، با هدف حفظ تنوع زیستی و مسیر حرکت جانوران، شکل گرفت و از دهه ۱۹۹۰ تاکنون، شبکه‌های اکولوژیکی به ابزار جهانی حفاظت محیط و برنامه‌ریزی سرزمین تبدیل شده‌اند (Jongman & Pungetti, 2004) (تصویر ۱).

عناصر شبکه اکولوژیکی

- مناطق هسته: نواحی طبیعی با کیفیت زیستی بالا برای حفاظت تنوع زیستی
- لکه‌های زیستگاهی: مناطق کوچک‌تر که امکان حرکت گونه‌ها را فراهم می‌کنند.
- کریدورهای پهن چشم‌انداز: عناصر خطی با کیفیت که نواحی هسته را متصل می‌کنند.
- کریدورهای خطی: مسیرهای باریک برای حرکت گونه‌ها.

تصویر ۱. *عناصر شبکه اکولوژیکی* (Jongman & Pungetti, 2004)



مدل‌ها و نظریه‌های مرتبط با شبکه اکولوژیکی

مدل‌ها و نظریه‌های اکولوژیکی چارچوبی برای تحلیل ساختار و عملکرد چشم‌انداز فراهم می‌کنند:

نظریه چشم‌انداز: تأکید دارد که چشم‌اندازها تنها شامل عناصر طبیعی نیستند، بلکه ترکیبی از ابعاد اکولوژیکی، اقتصادی، اجتماعی، فرهنگی و زیبایی‌شناختی هستند و مدیریت پایدار آن‌ها نیازمند توجه به همه این جنبه‌هاست (Forman & Godron, 1986).

نظریه پویایی و پایداری: این نظریه نشان می‌دهد که چشم‌اندازها ثابت نیستند و اندازه، شکل و توزیع لکه‌ها و کریدورها دائماً تغییر می‌کند؛ این تغییرات باعث ایجاد ناهمگنی ساختاری می‌شوند که برای پایداری اکولوژیکی اهمیت دارد (Forman & Godron, 1986).

نظریه سلسله‌مراتب: چشم‌انداز را به‌عنوان سیستمی پیچیده و چندلایه معرفی می‌کند که هر زیرسیستم آن بخشی از سیستم بزرگ‌تر است و تغییر در یک بخش می‌تواند بر کل شبکه تأثیر بگذارد (Forman &

(Godron, 1986).

مدل لکه–کریدور–ماتریس: ترکیب بهینه لکه‌ها، کریدورها و ماتریس زمینه‌ای را برای حفظ پیوستگی شبکه و ارتقای کیفیت اکولوژیکی پیشنهاد می‌دهد. این مدل امکان حرکت گونه‌ها، حفظ ارتباط میان زیستگاه‌ها و کاهش اثرات منفی فعالیت‌های انسانی را فراهم می‌کند (Forman, 1995).

با مرور مدل‌ها، نظریه‌ها و مطالعات گذشته، روشن شد که شبکه‌های اکولوژیکی و اصول اکولوژی چشم‌انداز ابزار قدرتمندی برای تحلیل پویایی و پایداری محیط‌های طبیعی و انسانی هستند. پژوهش حاضر با استفاده از این چارچوب و با تحلیل روند تغییرات ساختاری چشم‌انداز و ارزیابی پیوستگی شبکه اکولوژیکی، درصدد بررسی تغییرات شبکه اکولوژیکی در مقیاس‌های زمانی مختلف و ارائه داده‌های کاربردی برای برنامه‌ریزی پایدار سرزمین است.

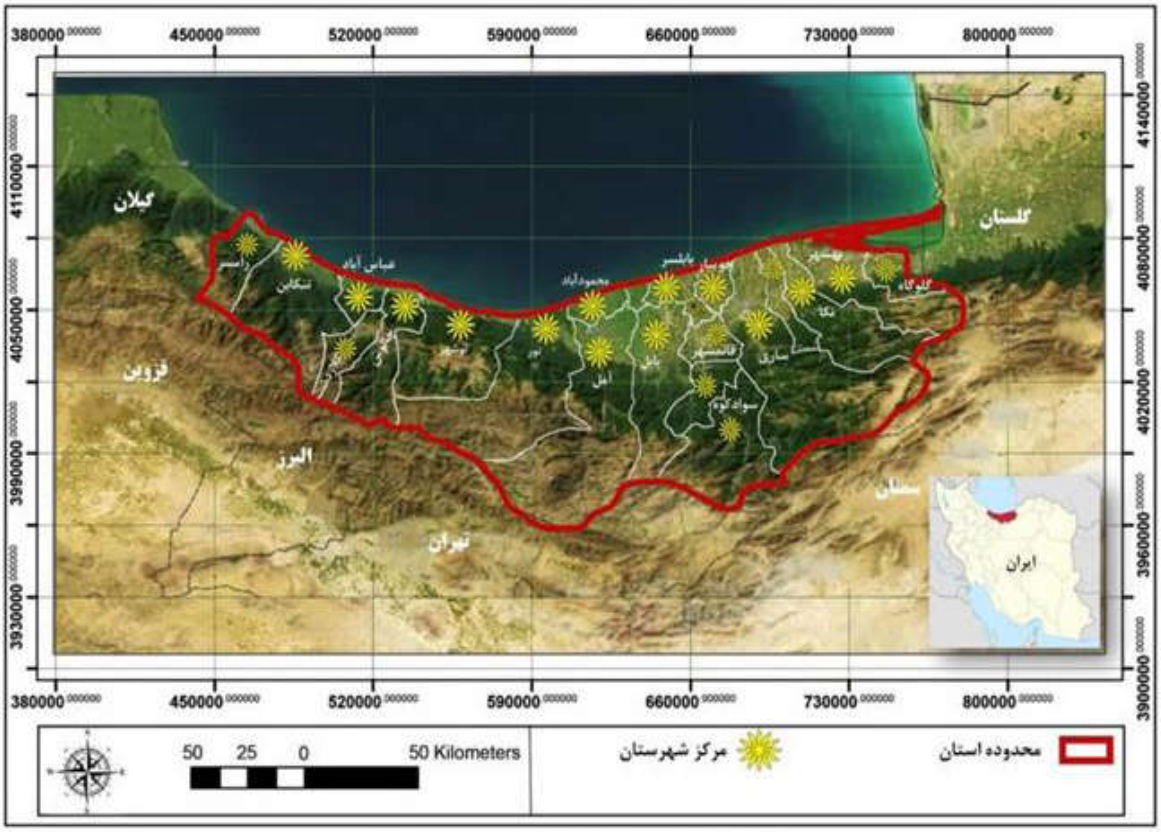
محدوده مورد مطالعه

این پژوهش به شهر–منطقه مازندران با جمعیت بیش از ۳ میلیون نفر (۴/۳٪ جمعیت کشور) و وسعت ۲۴ هزار کیلومترمربع (۱/۴۶٪ مساحت کشور) می‌پردازد. موقعیت استراتژیک، اقلیم معتدل و مناظر طبیعی، رشد سریع شهرنشینی از ۱۹۹۶ تا ۲۰۱۶ را تسریع کرده و به توسعه بی‌رویه، مهاجرت گسترده و تخریب زیست‌محیطی انجامیده است (سند آمایش استان مازندران، ۱۳۸۵؛ Dadashpoor & Salarian, 2020)، این روند با کاهش اراضی کشاورزی، گسترش ویلا سازی و جایگزینی گردشگری به‌جای اقتصاد کشاورزی، ساختار اقتصادی و زیست‌محیطی منطقه را دگرگون کرده است (سند آمایش استان مازندران، ۱۳۹۵). موقعیت مکانی شهر–منطقه مازندران در تصویر ۲ نمایش داده شده است.

بحث و یافته‌های پژوهش

جدول ۲ به همراه تصویر، تغییرات عناصر چشم‌انداز در شهر–منطقه مازندران را نمایش می‌دهد. در سال ۱۳۷۵، اراضی طبیعی مانند جنگل‌ها و مراتع بخش غالب پوشش استان را تشکیل می‌دادند؛ اما طی ۲۰ سال با افزایش چشمگیر اراضی ساخته‌شده (۱۲۶/۴٪ و ۳۹/۵۳٪)، مساحت جنگل‌ها ۱۸/۹٪ و ۹/۲۸٪ کاهش یافت، به‌طوری‌که حدود ۲۳۰ هزار هکتار از جنگل‌ها به دلیل فعالیت‌های انسانی تخریب‌شده است. اراضی کشاورزی که ستون اصلی معیشت استان محسوب می‌شود، نیز روندی کاهشی داشته‌اند. در سال ۱۳۷۵، این اراضی ۴۸۰/۴۷۳ هکتار بودند اما در سال ۱۳۸۵ با کاهش ۱۴/۵٪ به ۴۱۰/۳۳۰ هکتار رسیدند. این کاهش، همراه با رشد جمعیت و افزایش ساخت‌وساز، نشان‌دهنده تغییر الگوهای معیشتی و تخریب یا جابه‌جایی لکه‌های طبیعی و نیمه‌طبیعی به نفع توسعه شهری است. لکه‌های آبی استان مازندران نیز، به‌عنوان یکی از غنی‌ترین شبکه‌های اکولوژیکی، ارزش‌های اکولوژیکی، اقتصادی و تفریحی قابل توجهی دارند. بااین‌حال، مساحت این لکه‌ها از ۹ هزار هکتار در سال ۱۳۷۵ با شیب ملایمی در سال‌های ۱۳۸۵ و ۱۳۹۵ کاهش یافته است. اگرچه تغییرات کمی قابل توجهی دیده نمی‌شود، اما دخالت‌های انسانی مانند عدم رعایت حریم ساخت‌وساز و بهره‌برداری بیش‌ازحد، کیفیت این اکوسیستم‌ها را تهدید می‌کند و ممکن است در آینده بر وضعیت کمی آن‌ها نیز اثر بگذارد.

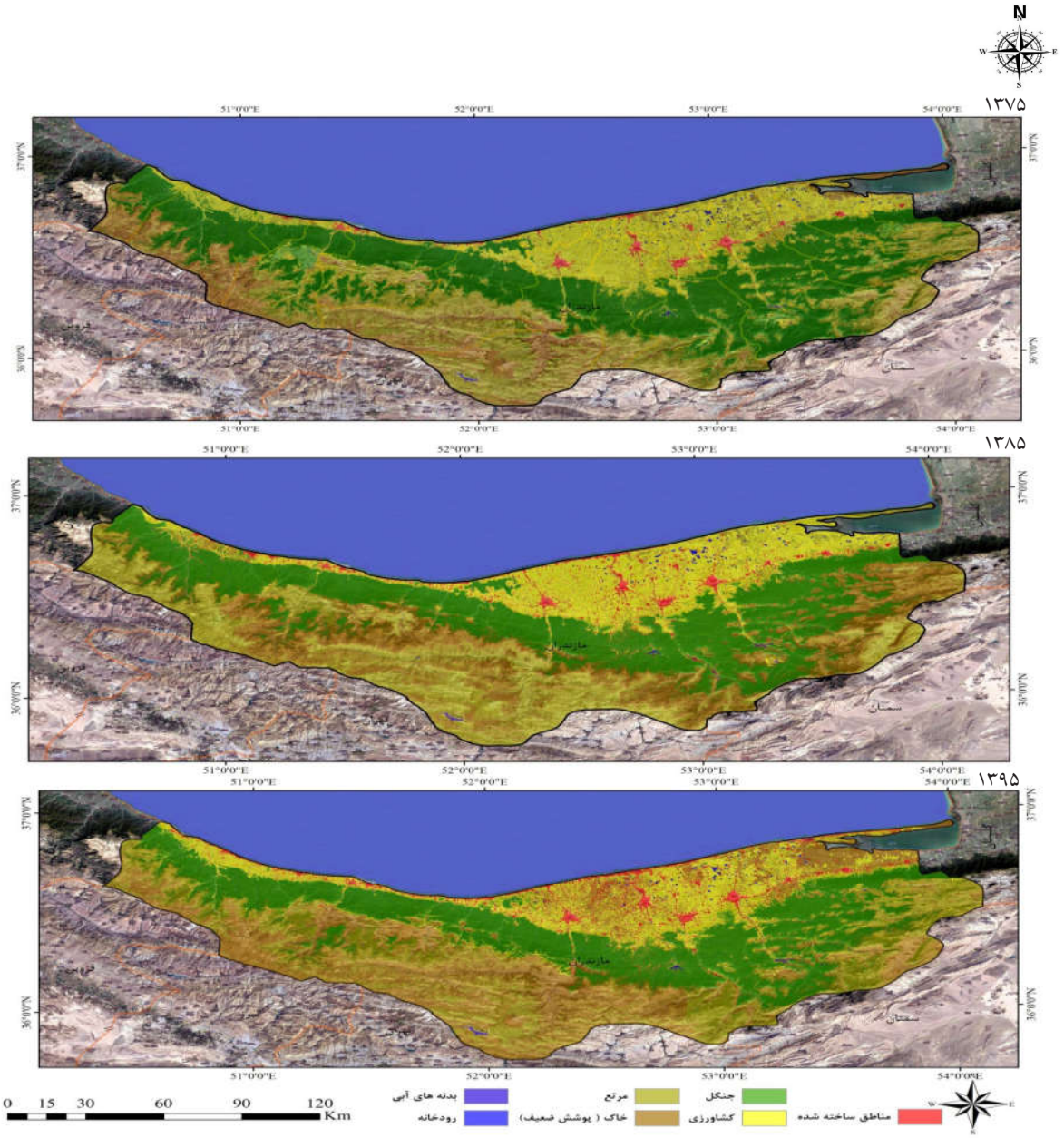
تصویر ۲. موقعیت جغرافیایی محدوده مورد مطالعه (یافته‌های پژوهش)



پارامتر *NP* و *LPI* در جدول ۴ نشان‌دهنده تعداد لکه‌ها و اندازه‌ی بزرگ‌ترین لکه در محدوده‌ی موردمطالعه است بر اساس میزان تغییر این دو پارامتر در رابطه با لکه‌های انسان‌ساخت میزان *NP* و *LPI* در سرتاسر مرزهای استان روندی افزایشی را طی کرده است. درواقع

جدول ۲. *مساحت کلاس‌های پوشش زمین استان مازندران طی سال‌های ۱۹۹۹-۲۰۱۶ (یافته‌های پژوهش)*

کلاس‌ها	۱۹۹۹	۲۰۰۶	۲۰۱۶	درصد تغییر طی سال‌های ۲۰۱۶-۲۰۰۶	درصد تغییر طی سال‌های ۱۹۹۹-۲۰۰۶
ساخته‌شده	۲۶۵۶۴/۹۴	۶۰۱۴۳/۷۴	۸۳۹۱۹/۱۵	۱۲۶/۴۰	۳۹/۵
جنگل	۹۹۶۰۲۱/۸۳	۸۱۶۴۰۸/۶۴	۷۴۰۶۴۰/۶	-۱۸/۰۳	-۹/۲۸
کشاورزی	۴۸۰۴۷۲/۹۲	۴۱۰۳۲۹/۷۱	۳۷۲۵۳۱/۴۲	-۱۴/۵	-۹/۲۱
آب	۸۹۷۰/۹۴	۸۰۲۳/۳۲	۷۸۹۴/۲	-۹/۵۶	-۱/۶۰
مرتع	۵۵۲۰۲۹/۴۸	۴۷۸۷۶۳/۰۹	۴۴۳۱۵۷/۰۲	-۱۳/۲۷	-۷/۴۳
خاک	۲۱۶۰۳۰/۳	۲۹۷۷۴۷/۴۲	۳۶۳۹۱۶/۹	۳۷/۸۲	۲۳/۲۲



لکه‌های انسان‌ساخت همچون لکه‌های مهاجمی هستند که با مغلوب ساختن لکه‌های طبیعی و نیمه‌طبیعی سعی در چندپاره ساختن شبکه‌های اکولوژیک دارند. ازاین‌رو در جدول ۴ با بررسی پارامتر *FR*، میزان تأثیر این لکه‌ها در چندپارگی ساختار اکولوژیک بررسی‌شده است. در حقیقت این پارامتر در رابطه با لکه‌های انسان‌ساخت معیاری جهت تعیین تمرکز یا پراکندگی این لکه‌هاست. میزان شاخص *FR* در مقطع زمانی اول (۱۳۸۵ – ۱۳۷۵) در شهرستان‌های آمل، بابل، قائم‌شهر، بابلسر، بهشهر، ساری و محمودآباد با نرخ رشد ۹۴٪، ۷۸٪، ۷۱٪، ۷۶٪، ۵۳٪، ۴۳٪ و ۴۶٪ شیب تند و در شهرستان‌های تنکابن، نور و چالوس (۲۲٪، ۱۵٪، ۱۸٪) شیب ملایمی را سپری کرده است. درواقع در رابطه با میزان تغییر این پارامتر به‌خصوص در بخش‌های شرقی و مرکزی استان می‌توان بحث سیاست‌های رشد افقی و کم‌تراکم (پراکنده‌رویی شهری) را مطرح نمود که رشد ناموزون، لکه‌های جنگلی و کشاورزی حومه را تخریب کرده و شکل پراکنده‌تری از لکه‌ها را در ساختار اکولوژیک به وجود آورده است. در مقطع زمانی دوم (۱۳۹۵ – ۱۳۸۵)، سرعت تغییرات در توسعه‌ی لکه‌های انسان‌ساخت به دلیل به‌کارگیری برخی سیاست‌های محدودکننده (کنترل توسعه افقی) شیب ملایم‌تری را سپری نموده (سند آمایش استان مازندران، ۱۳۹۵) تا جایی که حتی نرخ رشد چندپارگی در تعدادی از شهرستان‌ها منفی بوده است؛ اما درمجموع، سرعت بالا در روند توسعه‌ی این لکه‌ها سبب شده که این کانون‌ها در بستری حساس و شکننده مکان‌یابی شده و بدون توجه به توان‌های محیطی به رشد و توسعه پرداخته و با تخریب و برهم زدن تعادل‌های اکولوژیکی توسعه غیر پایدار را القا کنند.

پوشش اراضی یکی از مهم‌ترین مؤلفه‌هایی است که فعالیت‌های انسانی از طریق تغییر در آن، پیامدهای قابل‌توجهی بر محیط‌زیست و سازمان اکولوژیکی چشم‌انداز بر جای می‌گذارد. از گذشته، عمده‌ترین دگرگونی ایجادشده توسط انسان در این حوزه، حذف یا کاهش لکه‌های جنگلی به‌منظور توسعه کشاورزی و ایجاد سکونتگاه‌ها بوده است. بررسی شاخص‌های *NP* و *LPI* در ارتباط با لکه‌های جنگلی نشان می‌دهد که در سال ۱۳۷۵، بخش عمده اراضی اکثر شهرستان‌های منطقه به‌جز شهرستان‌هایی با غلبه کاربری کشاورزی در اختیار لکه‌های طبیعی شامل جنگل‌ها و مراتع بوده است. بااین‌حال، طی دوره زمانی مورد مطالعه، سهم این لکه‌ها به‌تدریج کاهش یافته و در سال ۱۳۹۵ به پایین‌ترین حد نسبت به سال‌های ۱۳۷۵ و ۱۳۸۵ رسیده است. نتایج تحلیل‌ها بیانگر آن است که در گذشته، پیوستگی اکولوژیکی جنگل‌ها تا نواحی ساحلی امتداد داشته؛ اما رشد جمعیت، تغییر الگوهای استقرار و نیازهای توسعه فضایی، سبب عقب‌نشینی تدریجی این لکه‌های طبیعی از سواحل و محدود شدن آن‌ها به ارتفاعات شده‌است؛ مناطقی که توسعه در آن‌ها مستلزم هزینه‌های بیشتری بوده است. شاخص *LPI* که بیانگر مساحت بزرگ‌ترین لکه جنگلی در ساختار شبکه اکولوژیکی است، در تمامی شهرستان‌های دارای جنگل روندی کاهشی نشان می‌دهد. کاهش اندازه این لکه‌ها از منظر اکولوژیکی اهمیت ویژه‌ای دارد؛ زیرا لکه‌های وسیع‌تر توانایی پشتیبانی از تنوع زیستی بیشتر و فراهم‌کردن شرایط زیستگاهی مناسب‌تر را دارند. در مجموع، هرچه از لکه‌های طبیعی به سمت لکه‌های انسان‌ساخت پیش می‌رویم، کیفیت و عملکرد اکولوژیکی افت بیشتری پیدا می‌کند. غلبه کاربری‌های انسانی و اولویت‌یافتن منافع اقتصادی و اجتماعی در فرایند توسعه نیز موجب تضعیف ارتباط و پیوستگی عناصر اکولوژیکی و گسست در شبکه طبیعی منطقه شده‌است.

در جدول ۳، روند تغییر اندازه بزرگ‌ترین لکه در شهرستان‌هایی از استان مازندران که کاربری‌های طبیعی در آن‌ها غالب است، برای سه مقطع زمانی ۱۳۷۵، ۱۳۸۵ و ۱۳۹۵ گزارش شده است.

تحلیل‌ها نشان داده است که لکه‌های طبیعی (جنگلی) در برابر فعالیت‌های انسانی به‌عنوان لکه‌های مغلوب ظاهر شده‌اند و تغییرات آن‌ها به دلیل تأثیرات فرآیندهای طبیعی، همواره با سرعتی کند و در بازه‌های زمانی بلندمدت رخ‌داده است. بر اساس داده‌های جدول ۴، در مقطع زمانی اول، تغییرات پارامتر *FR* نشان‌دهنده افزایش چشمگیر چندپارگی در لکه‌های جنگلی به‌ویژه در شهرستان‌های نوشهر، چالوس و ساری است که به ترتیب با نرخ رشد ۲۲۴٪، ۱۴۲٪ و ۴۶٪ مشاهده شده است. این روند، بیانگر گسترش لکه‌های کوچک‌تر و افزایش انزوای لکه‌های جنگلی است که به‌طور مستقیم موجب افزایش چندپارگی در ساختار شبکه اکولوژیک منطقه شده است؛ اما در مقطع زمانی دوم، در شهرستان‌هایی مانند نوشهر و چالوس، کاهش ناگهانی یا نرخ رشد منفی پارامتر *FR* مشاهده شده است. این تغییرات که در نگاه اول مبهم به نظر می‌رسد، نتیجه فرآیندهای طبیعی تخریب و حذف تدریجی لکه‌های جنگلی است. در ابتدا، افزایش تعداد لکه‌ها باعث افزایش چندپارگی و تجزیه ساختار شبکه شد، اما با گذشت زمان، روند تخریب و کاهش تعداد لکه‌ها و مساحت آن‌ها موجب کاهش پارامتر *FR* گردید این روند نشان‌دهنده تغییر از مرحله گسترش لکه‌ها به سمت کاهش و تخریب تدریجی ساختارهای طبیعی است. با توجه به روند موجود و سطح بهره‌برداری از اراضی طبیعی، پیش‌بینی می‌شود که در آینده وضعیت اکولوژیکی اراضی طبیعی استان با چالش‌های جدی مواجه شود و به وضعیت نامطلوبی دچار گردد.

جدول ۳. *بررسی شاخص اندازه بزرگ‌ترین لکه طبیعی شهرستان‌های استان مازندران طی سال‌های ۱۳۷۵ – ۱۳۹۵*

	شهرستان‌ها	آمل	ساری	چالوس	نوشهر	تنکابن	نور	بهشهر
۱۳۷۵	پوشش غالب	مرتع	جنگل	مرتع	جنگل	جنگل	مرتع	جنگل
	LPI	۳۵/۱۴	۲۵/۹۹	۲۰/۱۱	۲۳/۷۱	۱۰/۸۲	۲۶/۲۳	۱۵/۰۲
۱۳۸۵	پوشش غالب	مرتع	جنگل	مرتع	جنگل	جنگل	مرتع	کشاورزی
	LPI	۳۷/۷۲	۲۲/۰۰۲	۲۵/۳۹	۲۱/۰۸	۹/۶۳	۲۷/۲۳	۲۹/۲۸
۱۳۹۵	پوشش غالب	مرتع	جنگل	مرتع	جنگل	جنگل	مرتع	کشاورزی
	LPI	۳۶/۱۲	۲۰/۶۸	۲۸/۴۱	۲۱/۰۴	۹/۲۳	۲۴/۶۵	۲۵/۴۱

لکه‌های کشاورزی که گسترده‌ترین پهنه‌های سبز نیمه‌طبیعی را در منطقه تشکیل می‌دهند، عمدتاً به‌صورت توده‌های نسبتاً یکنواخت و پیوسته در نواحی شمالی استان گسترش یافته‌اند. بااین‌حال، همانند عرصه‌های سبز طبیعی، پیوستگی فضایی میان این لکه‌ها نیز در اثر گسترش کاربری‌های انسان‌ساخت و افزایش ساخت‌وسازها دچار اختلال شده است. بررسی‌های انجام‌شده با توجه به جدول ۴ نشان داده است که پارامترهای *NP* و *LPI* در برخی از شهرستان‌ها مانند بابلسر، جویبار و محمودآباد به‌طور مداوم در حال افزایش بوده است اما در برخی از شهرستان‌ها مانند ساری، چالوس، نوشهر، تنکابن افزایش مقدار *LPI* در یک دوره و کاهش تدریجی آن در دوره‌ی بعد مشاهده شده است که تحلیل‌های انجام‌شده نشان می‌دهد که

جدول ۴. *بررسی متریک‌های منتخب جهت ارزیابی عناصر شبکه اکولوژیک طی سال‌های ۷۵-۹۵*

شهرستان	کلاس‌ها	۱۳۷۵			۱۳۸۵			۱۳۹۵		
		NP	*LPI*	*FR*	*NP*	*LPI*	*FR*	*NP*	*LPI*	*FR*
بهشهر	جنگل	۲۵۷	۱۵/۰۲	۰/۶۷	۴۹۱	۱۳/۶۹	۰/۹۷	۶۹۱	۱۱/۹۸	۱
	مرتع	۱۰۳۴	*۲۶/۰۳	۰/۹۷	*۱۱۱۴	۲۴/۸۷	۱/۱۵	۱۱۹۷	۱۶/۸۶	۱/۱۷
	کشاورزی	*۱۰۴۵	۲۳/۸۶	۱/۰۸	۷۸۹	*۲۹/۲۸	۰/۷۱	۱۲۶۴	*۲۲/۴۱	۰/۹۷
	ساخته	۱۴	۰/۶۳	۰/۹۹	۶۰۱	۰/۶۸	۱/۵۲	۶۵۴	۰/۹۱	۱/۴۶
ساری	جنگل	۸۷۷	*۱۶/۹۹	۰/۲۸	۹۶۰	*۹/۰۰۲	۰/۴۱	۱۲۲۳	*۸/۶۸	۰/۵۱
	مرتع	۳۰۳۳	۱۲/۳۳	۱/۲۴	*۲۳۵۱	۷/۰۷	۱/۲۱	*۲۴۱۹	۵/۸۳	۱/۳۳
	کشاورزی	*۳۱۱۶	۶/۱۴	۱/۶۴	۱۴۲۰	۷/۵۹	۱/۱۶	۲۱۲۰	۶/۶	۱/۲۴
	ساخته	۷۰	۰/۸۲	۰/۹۷	۱۱۳۲	۰/۸۷	۱/۳۸	۱۱۷۹	۰/۹۲	۱/۳۸
قائم‌شهر	جنگل	۶۰	۱۱/۰۵	۰/۶۴	۱۱۷	۱۰/۸۸	۰/۶۵	۸۷	۱۰/۰۹	۰/۶۳
	مرتع	۱۹۰	۰/۳۴	۱/۵۲	۴۱۰	۰/۰۸	۱/۶۳	۱۸۵	۰/۰۴	۱/۲۹
	کشاورزی	*۳۵۱	*۲۰/۶۶	۱	۲۵۷	*۲۰/۵۸	۰/۴	۴۴۷	*۱۹/۷۴	۰/۷۱
	ساخته	۸۵	۴/۸۸	۱	*۶۴۲	۵/۱	۱/۷۵	۵۷۴	۵/۲۵	۱/۶۵
بابل	جنگل	۲۱۶	۲۶/۶۷	۰/۴۹	۳۱۰	۱۸/۲۷	۰/۶۶	۶۱۴	۱۸/۰۶	۰/۷۴
	مرتع	*۸۴۷	۱۵/۹۲	۱/۵۴	۸۴۰	۱۰/۵۷	۱/۲۷	۱۵۰۹	۹/۷۴	۱/۵۸
	کشاورزی	۷۸۲	*۳۵/۲۳	۰/۹۲	۵۸۳	*۳۲/۵۶	۰/۴۱	۱۳۷۳	*۲۸/۲۴	۰/۸۴
	ساخته	۸۶	۱/۶۷	۱/۰۵	۱۳۳۴	۱/۷۹	۱/۸۷	۱۴۰۹	۱/۹۲	۱/۸
آمل	جنگل	۳۰۷	۷/۴۶	۰/۹۶	۴۴۰	۶/۷۵	۱/۰۶	۳۵۵	۶/۵	۰/۹۳
	مرتع	۱۶۷۳	*۳۵/۱۴		۱۳۰۵	*۳۷/۷۲		۲۸۳۵	*۳۶/۱۲	
	کشاورزی	۹۹۲	۶/۰۹	۱/۱۸	۵۹۱	۴/۲۲	۱/۲۴	۱۱۸۰	۳/۲۷	۱/۴۵
	ساخته	۵۱	۰/۳۴	۱	۹۷۶	۰/۴	۱/۹۴	۱۶۵۰	۰/۴۴	۱/۹۳
بابلسر	مرتع	۲۹۴	۲/۰۴	۱/۸۹	۲۷۲	۳/۵۶	۱/۴۳	۱۵۵	۰/۰۳	۱/۲۴
	کشاورزی	۲۴۰	*۲۹/۱۱	۰/۷۸	۴۲۱	*۲۵/۶۹	۰/۸۹	۵۶۱	*۲۰/۱	۰/۹۱
	ساخته	۵۹	۳/۲۷	۱/۰۸	*۴۷۵	۳/۷۷	۱/۸۵	*۶۱۴	۴/۸۷	۱/۷۶
محمودآباد	جنگل	۱۷	۲/۱۳	۱/۰۵	۳۰	۱/۴۲	۱/۰۶	۱۰	۰/۰۲	۱
	مرتع	*۱۷۳	۰/۵۴	۱/۹۹	۳۷	۰/۰۶	۱/۰۹	۱۸۱	۰/۱۹	۱/۲۴
	کشاورزی	۱۲۰	*۵۳/۱۴	۰/۶۹	*۳۵۰	*۵۰/۱۶	۱	۲۲۰	*۳۲/۹۶	۰/۳
	ساخته	۳۵	۱/۲۲	۱/۱۸	۲۶۷	۱/۳۶	۱/۷۳	*۷۳۱	۲/۳۱	۱/۹۳
نور	جنگل	۳۳۶	۱۳/۸۶	۰/۷۱	۳۷۹	۸/۳۹	۰/۸۶	۴۸۴	۸/۳۱	۰/۸۹
	مرتع	۱۴۲۴	*۲۶/۲۳	۰/۷۵	۱۴۴۸	*۲۵/۱۳	۰/۷۷	*۲۱۴۰	*۲۴/۶۵	۱
	کشاورزی	۱۲۴۷	۱/۱۴	۱/۶۲	۵۹۲	۲/۲۲	۱/۲۲	۱۶۹۳	۱/۴۷	۱/۷۳
	ساخته	۱۷	۰/۲۴	۱	۲۹۸	۰/۲۶	۱/۱۵	۳۲۸	۰/۳	۱/۱۴

شهرستان	کلاس‌ها	۱۳۷۵			۱۳۸۵			۱۳۹۵		
		NP	*LPI*	*FR*	*NP*	*LPI*	*FR*	*NP*	*LPI*	*FR*
نوشهر	جنگل	۳۹۲	٭۲۳/۷۱	۰/۲۱	۴۹۸	٭۲۱/۰۸	۰/۶۹	۴۸۷	٭۲۱/۰۴	۰/۴۲
	مرتع	۶۱۴	۱۵/۴۷	۰/۶۸	۶۴۱	۱۴/۱۹	۱/۲۱	۵۰۵	۱۲/۸۵	۰/۸۳
	کشاورزی	٭۱۸۶۴	۱/۶۸	۱/۹۳	۵۶۳	۲/۲۳	۱/۶۷	۹۸۲	۱/۹۴	۱/۷۷
	ساخته	۱۰۵	۰/۳۲	۱/۰۴	۲۹۷	۰/۳۶	۱/۳۹	۲۴۸	۰/۴۸	۱/۲
چالوس	جنگل	۴۹۳	۱۰/۲۲	۰/۴۷	۵۴۵	۶/۳۴	۱/۲۱	۴۹۷	۶/۳۳	۰/۸۷
	مرتع	۱۱۶۳	٭۱۲/۱۱	۰/۷۲	۵۲۱	٭۱۳/۳۸	۰/۶۵	٭۱۳۲۱	٭۱۲/۴۱	۱
	کشاورزی	٭۱۶۰۵	۱/۴	۱/۸۸	٭۸۰۶	۱/۶۲	۱/۸۷	۱۲۸۱	۱/۰۲	۱/۸۹
	ساخته	۴۴	۰/۳۷	۰/۹۹	۱۶۴	۰/۳۹	۱/۱۷	۲۸۳	۰/۴	۱/۱۸
تنکابن	جنگل	۱۰۶۵	٭۱۰/۸۲	۰/۶۸	٭۱۰۶۸	٭۹/۶۳	۱	۷۸۳	٭۸/۲۳	۰/۸۵
	مرتع	٭۱۵۷۱	۳/۲۲	۱/۷	۷۱۴	۵/۵۳	۱/۱	۹۱۹	۴/۵۴	۱/۵۴
	کشاورزی	۵۹۴	۴/۵۲	۰/۹۶	۱۰۲۳	۳/۳۷	۱/۶۱	٭۹۲۵	۳/۳	۱/۶
	ساخته	۱۰	۰/۰۶	۱	۲۷۳	۰/۳۷	۱/۲۲	۲۸۰	۰/۹۶	۱/۱۸

ادغام لکه‌های طبیعی در میان لکه‌های کشاورزی منجر به کاهش تعداد و افزایش سطح این لکه‌ها گردیده است. در دوره‌های بعد، توسعه لکه‌های انسان‌ساخت به سمت این مناطق منجر به افزایش چندپارگی و حذف تدریجی این لکه‌ها خواهد شد. بررسی شاخص *FR* نشان داده است که فعالیت‌های انسانی موجب تغییرات ساختاری در لکه‌ها، افزایش پیچیدگی مرزهای آن‌ها و کاهش انسجام فضایی شده است که درنهایت منجر به تسریع فرآیند کاهش پایداری اکولوژیکی و تجزیه اکوسیستم‌های طبیعی می‌گردد؛ اما با بررسی بیشتر استنباط می‌شود که در سال ۱۳۷۵ بیشترین میزان چندپارگی در اکثر شهرستان‌ها از میان کلاس‌های تعریف‌شده متوجه لکه‌های کشاورزی است که با گذر زمان چندپارگی این لکه‌ها به حذف کامل آن‌ها منجر خواهد شد و لکه‌های انسان‌ساخت در اندازه‌های بزرگ‌تری در سطح شبکه با فواصل نزدیک به هم خودنمایی می‌کنند.

در غرب و مرکز استان، نرخ بالای رشد شاخص *FR* در ارتباط با لکه‌های کشاورزی ناشی از تأثیرات توسعه گردشگری و خدمات مرتبط با آن است که موجب تغییر کاربری اراضی کشاورزی، جابه‌جایی و حذف این لکه‌ها و درنهایت توسعه لکه‌های انسان‌ساخت شده است. این روند باعث کاهش مستمر سطح لکه‌های کشاورزی در این مناطق گردیده است. در مقابل، در شهرستان‌های شرقی استان، کاهش سطح لکه‌های کشاورزی با شیب ملایم‌تری صورت می‌گیرد. این امر به دلیل اولویت کشاورزی در این نواحی، وجود اراضی وسیع کشاورزی، ۱۷ سد و آب‌بند مهم و اقلیم مرطوب و نیمه‌مرطوب منطقه شرایط مناسبی را برای گسترش کشاورزی دیم و کشت محصولات باغی فراهم کرده است. در بخش‌های شرقی استان نیز که عرصه‌های جنگلی بیشترین گستره را به خود اختصاص داده‌اند، اراضی کشاورزی نقش یک لایه میانی را بین کاربری‌های طبیعی و انسان‌ساخت ایفا می‌کنند. حضور این لایه واسط سبب شده است که روند توسعه شهری و درعین‌حال فشار بر ساختار شبکه اکولوژیکی و افزایش سلطه لکه‌های انسان‌ساخت به کندی پیش رود. به‌طور کلی، در شهرستان‌هایی که لکه‌های کشاورزی به‌عنوان لکه‌های غالب نه به‌عنوان لکه‌ی واسط در ساختار شبکه اکولوژیکی مطرح هستند، توسعه لکه‌های انسان‌ساخت و تخریب لکه‌های نیمه‌طبیعی با سرعت بیشتری رخ می‌دهد که این امر منجر به کاهش پیوستگی شبکه که ساختار اکولوژیکی نامتعادل را رقم می‌زند.

تغییرات ساختاری شبکه اکولوژیکی

نتایج تحلیل تغییرات شبکه‌ی اکولوژیکی استان مازندران در بازه‌ی زمانی ۱۹۹۶ تا ۲۰۱۶ نشان‌دهنده‌ی روندی آشکار از ریزدانگی، چندپارگی فضایی و افزایش ناپایداری اکولوژیکی است. بررسی مناطق مختلف استان بیانگر آن است که این مناطق در فرآیند تغییر ساختار شبکه، رفتاری همسو و مشابه از خود نشان داده‌اند؛ به گونه‌ای که مهم‌ترین تغییرات شامل کاهش لکه‌های طبیعی، افزایش لکه‌های انسان‌ساخت و تضعیف پیوستگی فضایی بوده است. تغییرات مشاهده‌شده در این پژوهش با نتایج مطالعه‌ی دپراس و همکاران (۲۰۱۶) در شهر مونترال کانادا هم‌خوانی دارد. آن‌ها نشان دادند که گسترش افقی و پراکنده‌ی توسعه‌ی شهری منجر به کاهش ۶٫۵ درصدی سطح چشم‌اندازهای پیوسته تا سال ۲۰۱۰ و افزایش محسوس شاخص چندپارگی شده است. به‌طور مشابه، یافته‌های ژانگ و همکاران (۲۰۲۴) در شهر نانجینگ چین، رشد سریع و بی‌رویه‌ی شهری موجب دگرگونی قابل توجه در ساختار شبکه‌های اکولوژیکی شده است؛ به گونه‌ای که پیوستگی فضایی چشم‌انداز کاهش یافته و چندپارگی در مقیاس‌های مختلف شهری افزایش یافته است (Zhang et al., 2024). این هم‌سویی نتایج نشان می‌دهد که روند تغییرات مشاهده شده در مازندران، بازتابی از الگوی عمومی گسترش بی‌رویه‌ی توسعه‌ی انسانی و تأثیر آن بر ساختار و عملکرد شبکه‌های اکولوژیکی است. وجه تمایز نتایج این تحقیق در مقایسه با مطالعات مشابه جهانی، در شدت و الگوی فضایی متنوع تغییرات در مقیاس شهر – منطقه‌ی مازندران است. در این منطقه، توسعه‌ی ناپیوسته‌ی شهری و گسترش سکونتگاه‌های پراکنده در نواحی مرکزی و پیرامونی، موجب بروز الگوی تغییرات ناهمگون ولی در مجموع ناپایدار شده است. این الگو نشان می‌دهد که فرآیند شهرنشینی در مازندران نه‌تنها منجر به گسست ساختار طبیعی در محدوده‌های شهری شده، بلکه بر پایداری اکولوژیکی

کل چشم‌انداز منطقه نیز اثر منفی گذاشته است.

الگوهای تغییر شبکه اکولوژیکی

یافته‌های پژوهش حاکی از آن است که تخریب ساختار شبکه اکولوژیکی در شهرستان‌های استان مازندران از چندین الگوی مشخص پیروی کرده است. این الگوها بسته به نوع پوشش غالب منطقه، با روندهای متفاوتی همراه بوده‌اند. در مناطقی که پوشش غالب آن‌ها را لکه‌های جنگلی تشکیل داده‌اند، فرآیند تخریب به‌صورت چندپارگی این لکه‌ها آغاز شده و با نفوذ و گسترش لکه‌های کشاورزی در میان این لکه‌ها، لکه‌های جنگلی با کاهش مساحت و انزوای اکولوژیکی روبه‌رو شده و انسجام ساختاری خود را از دست داده‌اند و به‌مرورزمان منجر به حذف کامل و جایگزینی با لکه‌های انسان‌ساخت شده است. نمونه بارز این پدیده را می‌توان در جنگل‌های هیرکانی شمال ایران، به‌ویژه در شهرستان‌های ساری و بهشهر مشاهده کرد. الگوی دیگری که در تخریب ساختار شبکه اکولوژیک در مازندران مشاهده شده است، توسعه مناطق انسان‌ساخت بدون واسطه گری لکه‌های دیگر و به‌صورت مستقیم در میان لکه‌های طبیعی و نیمه‌طبیعی (افزایش هم‌زمان تعداد لکه‌های کشاورزی و جنگلی)است، این روند را می‌توان در مناطقی از غرب مازندران مانند شهرستان تنکابن مشاهده کرد. در این نواحی، ساخت‌وسازهای شهری و روستایی مستقیماً در میان جنگل‌های بکر و مراتع طبیعی صورت گرفته است. این امر نه‌تنها سبب تخریب سریع پوشش‌های گیاهی ارزشمند شده، بلکه پایداری اکولوژیکی منطقه را نیز به‌شدت کاهش داده است؛ و درنهایت الگوی تخریب در مناطق ساحلی مازندران که پوشش غالب اکولوژیکی آن‌ها به لکه‌های کشاورزی اختصاص دارد، ازجمله مناطقی هستند که توسعه لکه‌های انسان‌ساخت در آن‌ها به‌سرعت در حال افزایش است. در این مناطق، روند تغییر به‌ویژه از کشاورزی به ساخت‌وسازهای شهری و صنعتی، به دلیل رشد سریع جمعیت و افزایش تقاضا، سرعت زیادی پیدا کرده است. این تغییرات منجر به تخریب اکوسیستم‌های ساحلی و تالابی و از بین رفتن اراضی کشاورزی شده است نمونه بارز این الگو را می‌توان در نوار ساحلی مازندران، به‌ویژه در شهرستان‌های محمودآباد و بابلسر مشاهده کرد، جایی که طی سال‌های اخیر، اراضی کشاورزی گسترده‌ای به شهرک‌های مسکونی، مجتمع‌های تفریحی و مراکز تجاری تبدیل شده‌اند. این روند نه‌تنها باعث از بین رفتن اراضی حاصلخیز کشاورزی شده، بلکه تعادل اکولوژیکی منطقه را نیز به‌شدت مختل کرده است و موجب تسریع در فرآیندهای زوال ساختارهای طبیعی و کاهش پایداری اکوسیستم‌های محلی شده است. این تحولات منجر به افزایش قابل‌توجه لکه‌های انسان‌ساخت و تشدید فشارهای اکولوژیکی در این مناطق شده است. الگوهای مشاهده‌شده در استان مازندران، در بسیاری از مناطق دیگر جهان نیز با شدت و ترکیب‌های متفاوت تکرار شده‌اند. برای نمونه، در منطقه‌ی هانگ‌جیاهو چین، تغییرات سریع کاربری زمین تحت تأثیر رشد شهرنشینی، موجب کاهش انسجام ساختاری و یکپارچگی چشم‌انداز و تبدیل اراضی کشاورزی به فضاهای انسان‌ساخت شده است (Su et al., 2011). روند مشابهی در منطقه یانگ‌تسه چین گزارش شده است که در آن، توسعه هم‌زمان لکه‌های شهری و کشاورزی، سبب تضعیف پیوندهای اکولوژیکی شبکه و افزایش انزوای لکه‌ها گردیده است (Zhang et al., 2025). مطالعه‌ای در پیرامون شهر هانوی (ویتنام) نشان داده است که توسعه شهری سریع در اراضی کشاورزی پیرامونی، موجب کاهش مساحت لکه‌های کشاورزی، افزایش چندپارگی و پیچیده شدن هندسه آن‌ها گردیده است (Pham et al., 2015). در مناطق ساحلی جنوب‌شرقی آسیا نیز الگوی مشابهی قابل مشاهده است که طی دوره ۱۹۸۸ تا ۲۰۱۸، توسعه شهری سریع در اراضی ساحلی، همراه با کاهش قابل‌توجه پوشش‌های کشاورزی و طبیعی، منجر به کاهش انسجام فضایی و افزایش چندپارگی چشم‌انداز شده است (Zhang & Su, 2020). به‌طور کلی، یافته‌های جهانی نشان می‌دهد که فرآیندهای تغییر در شبکه‌های اکولوژیکی، صرف‌نظر از تفاوت‌های اقلیمی و مکانی، از الگوی نسبتاً واحدی تبعیت می‌کنند. توسعه‌ی کاربری‌های انسان‌ساخت درون یا پیرامون لکه‌های طبیعی و کشاورزی، ساختار فضایی شبکه را دچار چندپارگی و انزوای عملکردی کرده و در نهایت منجر به کاهش پایداری اکولوژیکی شده است. استمرار چنین روندی، کاهش توان‌های بالقوه‌ی محیط و افزایش محدودیت‌های اکولوژیکی را در پی دارد؛ وضعیتی که در مطالعه‌ی موردی حاضر نیز به‌وضوح مشهود است.

عوامل مؤثر بر شبکه اکولوژیکی

در این پژوهش مشخص شد که الگو و فرایند تغییرات شبکه‌های اکولوژیکی استان با یکدیگر تفاوت‌های معناداری دارند و تحت تأثیر مجموعه‌ای از عوامل متنوع قرار گرفته‌اند. نتایج نشان داده است که هر منطقه جغرافیایی الگوی تحول ویژه خود را دارد که ناشی از شرایط محیطی و نوع کاربری اراضی است. مطالعات پیشین نیز بر پیچیدگی و چندسطحی بودن عوامل مؤثر بر تغییرات شبکه‌های اکولوژیکی تأکید داشته‌اند. برای نمونه، تحلیل‌های مقایسه‌ای در سطح جهانی نشان می‌دهد که تخریب و چندپارگی شبکه‌های اکولوژیکی معمولاً محصول کنش چندین محرک هم‌زمان و درهم‌تنیده است. نخست، توسعه شهری که عامل بنیادینی است که مستقیماً موجب از دست رفتن پوشش طبیعی و چندپارگی قطعات زیستی می‌گردد (Winkler et al., 2021; Lambin & Meyfroidt, 2011). دوم، مهاجرت و تراکم جمعیتی بالا نقش کلیدی در تغییرات دارند؛ زیرا مهاجران غالباً به دنبال دسترسی به اراضی ارزان یا زمین‌های حاشیه‌ای، اقدام به ساخت‌وساز می‌کنند. این فعالیت‌ها می‌تواند منجر به چندپارگی، تغییر الگوی فضایی شود. به بیان دیگر، فشار جمعیتی با افزایش تقاضا برای مسکن و توسعه سکونتگاه‌ها در نواحی حساس، الگو و مسیر تحول شبکه‌های اکولوژیکی را به‌طور مستقیم تحت تأثیر قرار داده و مدیریت آن‌ها را پیچیده‌تر می‌کند و به چندپارگی و عدم تعادل در شبکه‌ها دامن می‌زند (Luo et al., 2022). سوم، توسعه‌ی زیرساخت‌های کالبدی از جمله جاده‌ها، شبکه‌های حمل‌ونقل و تأسیسات شهری و صنعتی، موجب اختلال در پیوستگی اکولوژیکی و فضایی چشم‌انداز می‌گردد. این فرایند، علاوه بر تبدیل و تخریب پوشش‌های طبیعی، با افزایش اثرات لبه‌ای ۲۰ و تشدید چندپارگی فضایی، همبستگی اکولوژیکی را کاهش داده و جریان گونه‌ها و عملکرد اکوسیستم را در بلندمدت مختل می‌کند (Forman & Alexander, 1998). چهارم، عوامل اقتصادی، تغییرات در ارزش اقتصادی اراضی، به‌ویژه اراضی کشاورزی و طبیعی، محرکی کلیدی برای تغییر کاربری‌ها به شمار می‌رود. مطالعات نشان داده‌اند که در شرایطی که ارزش اقتصادی اراضی کشاورزی کاهش می‌یابد یا کاربری‌های شهری ارزش‌افزوده بیشتری دارند، فشار برای توسعه ساخت‌وساز یا ورود فعالیت‌های اقتصادی جدید به‌صورت مستقیم در شبکه‌های طبیعی افزایش می‌یابد(Coeurda-

cier et al., 2021). در همین راستا، ژانگ و همکاران (۲۰۲۴) نشان داده‌اند که محدودیت‌های برنامه‌ریزی فضایی می‌توانند روند چندپارگی را کاهش داده و پیوستگی شبکه‌های اکولوژیکی را حفظ کنند؛ یافته‌ای که اهمیت سیاست‌گذاری فضایی و مدیریت یکپارچه را در حفاظت از شبکه‌ها برجسته کرده است. به‌طور خلاصه، هر یک از این عوامل شامل زیرمجموعه‌های مشخصی هستند که در تعامل با یکدیگر الگو و مسیر تغییرات شبکه‌های اکولوژیکی را شکل داده و مدیریت پایدار آن‌ها مستلزم رویکردی جامع و چندبُعدی است. ازاین‌رو، سیاست‌گذاری‌ها و برنامه‌ریزی‌های مرتبط برای خروج از وضعیت کنونی و دستیابی به آینده‌ای پایدار، تنها زمانی اثربخش خواهند بود که بر پایه تحلیل دقیق عوامل مؤثر و هدایت این تغییرات در راستای اصول توسعه پایدار طراحی و اجرا شوند. بررسی این موضوع مستلزم انجام پژوهشی مستقل با عنوان «شناسایی و استخراج محرک‌های کلیدی و تحلیل شدت و نحوه تأثیرگذاری آن‌ها بر الگوهای تغییر شبکه در طول زمان» است.

نتیجه‌گیری

ازآنجاکه هدف پژوهش حاضر تحلیل الگوی شبکه اکولوژیکی استان با استفاده از شاخص‌های چشم‌انداز بوده است یافته‌های این پژوهش در دو بُعد تحلیلی و اجرایی، شامل تبیین اصول علمی و ارائه راهکارهای عملی در قالب مطالعه موردی، قابل‌بررسی و ارزیابی است. از جنبه علمی می‌توان گفت که مفهوم شبکه اکولوژیکی به‌ضرورت همزیستی، ارتباط، تعادل و توازن بین اکوسیستم‌های مختلف (طبیعی، نیمه‌طبیعی و مصنوع) تأکید دارد این مفهوم نشان می‌دهد که برای دستیابی به پایداری اکولوژیکی در مقیاس‌های مختلف (محلی، منطقه‌ای و جهانی)، نه تنها باید از اکوسیستم‌های طبیعی محافظت کرد، بلکه باید اکوسیستم‌های نیمه‌طبیعی و مصنوع را نیز به‌گونه‌ای طراحی و مدیریت کرد که مکمل این شبکه باشند. از منظر عملیاتی و در مقیاس مطالعه موردی، بر اساس یافته‌های این پژوهش و تحلیل‌های به‌عمل‌آمده، مشخص گردید که این تحلیل به لزوم توسعه پایدار و مدیریت مؤثر منابع طبیعی اشاره دارد چراکه اگر روند توسعه بدون توجه به حفاظت از منابع طبیعی و تعادل اکولوژیکی ادامه یابد، استان با مشکلات جدی در زمینه‌های زیست‌محیطی، اقتصادی و اجتماعی روبه‌رو خواهد شد. از دست دادن منابع طبیعی، تخریب جاذبه‌های گردشگری، کاهش کیفیت زندگی ساکنان و افت توان اکولوژیکی از مهم‌ترین پیامدهایی هستند که می‌توانند پایداری محیطی و انسانی را تهدید کنند. برای جلوگیری از این خطرات، مدیریت صحیح منابع طبیعی، سیاست‌های حفاظتی مؤثر و رویکردهای پایدار در توسعه، تأثیر قابل‌توجهی در تنظیم و حفظ تعادل ساختاری و عملکردی شبکه‌های اکولوژیکی دارند. به‌ویژه، برنامه‌ریزی‌های توسعه‌ای که فاقد رویکردی سیستمی، جامع و مبتنی بر شواهد علمی و داده‌های معتبر هستند و در آن‌ها به محدودیت‌ها، ظرفیت‌ها و ویژگی‌های اکولوژیکی و اقتصادی خاص هر منطقه توجه کافی نمی‌شود، در کنار گسترش نامنظم و فاقد مدیریت اثربخش لکه‌های انسان‌ساخت، می‌توانند آسیب‌های جبران‌ناپذیری به اراضی سبز، جنگلی و کشاورزی استان وارد آورند. بنابراین، یافته‌های این پژوهش چارچوب علمی روشنی برای سیاست‌گذاری و برنامه‌ریزی توسعه پایدار ارائه می‌دهند و ضرورت مدیریت هوشمند منابع طبیعی و اتخاذ رویکرد سیستمی و مبتنی بر شواهد علمی در توسعه استان را برجسته می‌سازند.

پیشنهادها

در پاسخ به تهدیدهای موجود و برای جلوگیری از بروز آثار گسترده‌تر بر شبکه‌های اکولوژیکی، این مطالعه مجموعه‌ای از سیاست‌ها و اقدامات پیشنهادی را مطرح کرده است. هدف این سیاست‌ها، بهبود عملکرد اکولوژیکی و ایجاد تعادل در ساختار فضایی استان مازندران است. تحقق این اهداف مستلزم آن است که راهکارهای پیشنهادی متناسب با شرایط محلی و بر پایه تحلیل‌های علمی و دقیق اجرا شوند تا اثرگذاری آن‌ها در ارتقای پایداری محیطی و اقتصادی منطقه تضمین گردد:

- ضرورت اتخاذ رویکردهای اجرایی قاطع از سوی مسئولین و مدیران در مواجهه با افرادی که بدون مجوز اقدام به تغییر لکه‌های حساس روستایی و شهری می‌کنند، به‌منظور جلوگیری از تخریب و از دست دادن اراضی باارزش اکولوژیکی و اقتصادی، امری حیاتی است.
- با توجه به ویژگی‌های گردش پذیری استان و تأثیر آن بر شبکه اکولوژیکی، ضروری است که طرح‌های گردشگری با رویکردی علمی و مبتنی بر ارزیابی‌های زیست‌محیطی جامع تدوین شوند. این طرح‌ها باید ضمن محافظت از لکه‌های طبیعی و نیمه‌طبیعی (کشاورزی)، توسعه لکه‌های انسان‌ساخت در مناطق حساس و ساحلی را تنها پس از انجام مطالعات دقیق و برنامه‌ریزی اصولی مجاز نمایند. علاوه بر این، در مناطق روستایی، طراحی برنامه‌های تولیدی و کشاورزی باهدف ارتقای سطح معیشت روستاییان و جلوگیری از تغییرات غیرمجاز و مهاجرت‌های غیراصولی، به کاهش فشارهای اکولوژیکی و ارتقای پایداری منطقه خواهدانجامید.
- هدایت سرمایه‌گذاری‌ها از توسعه ساخت‌وسازهای غیرضروری (مانند ویلا سازی) و سوداگری زمین به‌سوی ایجاد کمپ‌های اقامتی پایدار برای گردشگران باید موردتوجه قرار گیرد. علاوه بر این، نظارت مؤثر بر معاملات خریدوفروش اراضی روستایی به‌منظور جلوگیری از تغییرات غیرمجاز و جابه‌جایی لکه‌های زیستی، به‌ویژه در نواحی حساس، ضروری است تا تعادل شبکه اکولوژیکی حفظ‌شده و اراضی طبیعی و کشاورزی به‌عنوان منابع حیاتی و پایه‌ای اقتصاد استان در معرض تهدید قرار نگیرند.
- تقویت آگاهی عمومی در خصوص پیامدهای منفی تخریب لکه‌های طبیعی و نیمه‌طبیعی، شامل اثرات اقتصادی، اجتماعی و فرهنگی و گسترش تسلط لکه‌های انسان‌ساخت، امری ضروری در راستای حفظ پایداری زیست‌محیطی است. به‌منظور تحقق این هدف، لازم است مقامات منتخب و نهادهای ذی‌صلاح از طریق برنامه‌های آموزشی، اطلاع‌رسانی و آگاهی‌بخشی هدفمند، شهروندان را نسبت به ابعاد مختلف این تخریب‌ها آگاه کرده و آنان را به پذیرش مسئولیت‌های زیست‌محیطی تشویق کنند. این اقدامات می‌تواند منجر به افزایش مشارکت اجتماعی، ارتقاء تعهد عمومی و تسهیل فرآیندهای تصمیم‌گیری مؤثر شود.

محدودیت‌های پژوهش

این پژوهش نیز همانند بسیاری از مطالعات مبتنی بر سنجش از راه دور و تحلیل‌های اکولوژیکی، با مجموعه‌ای از محدودیت‌های فنی، داده‌ای و نرم‌افزاری مواجه بوده است. یکی از اصلی‌ترین چالش‌ها، تهیه نقشه‌های

پوشش زمین با دقت مکانی و طیفی بالا در بازه‌های زمانی مختلف بوده است. انتخاب تصاویر ماهواره‌ای مناسب در نواحی مرطوبی همچون استان مازندران، به دلیل پوشش بالای ابر، تغییرات فنولوژیکی شدید پوشش گیاهی و پراکنش نامنظم بارندگی، فرآیندی دشوار و زمان‌بر بوده است. این عوامل می‌توانند موجب کاهش دقت طبقه‌بندی و افزایش عدم‌قطعیت در مرزهای پوشش زمین شوند. از سوی دیگر، وسعت زیاد منطقه مورد مطالعه و تنوع بالای کاربری‌ها سبب شد حجم داده‌های ورودی و خروجی به‌ویژه در هنگام تحلیل در نرم‌افزار *Fragstats* به‌طور قابل ملاحظه‌ای افزایش یابد. بالا بودن مقیاس مکانی و تعداد زیاد نمونه‌ها، منجر به تولید حجم انبوهی از شاخص‌ها و پارامترهای ساختاری شد که مدیریت، تحلیل و دسته‌بندی آن‌ها نیازمند صرف زمان و دقت بالایی بود. محدودیت در توان پردازشی نرم‌افزار و نیاز به آماده‌سازی دقیق فرمت‌های ورودی نیز از دیگر چالش‌های فنی این مرحله محسوب می‌شود. علاوه بر این، فرایند کمی‌سازی شاخص‌های چشم‌انداز و تفسیر روابط فضایی میان لکه‌ها، کریدورها به دلیل پیچیدگی ساختار طبیعی چشم‌انداز و تغییرات تدریجی آن در مقیاس وسیع، با عدم‌قطعیت همراه بوده است. به‌طورکلی، می‌توان گفت که محدودیت‌های ناشی از دقت داده‌های ورودی، مقیاس وسیع منطقه مطالعه، پیچیدگی نرم‌افزار *Fragstats* از عوامل اصلی تأثیرگذار بر نتایج این تحقیق بوده‌اند.

پی‌نوشت‌ها

1. Landscape metrics.
2. Number of Patches.
3. Largest Patch Index.
4. Fragmention.
5. Dupras.
6. Zhou.
7. Patch Complexity Index.
8. Edge Density.
9. Core Area Percentage.
10. Mean Nearest Neighbor Distance.
11. Mean Patch Size.

فهرست‌منابع

Benedict, M. A., & McMahon, E. T. (2006). *Green infrastructure: Linking landscapes and communities*. Island Press. https://doi.org/10.1007/s10980-006-9045-7

Bennett, G., & Mulongoy, K. J. (2006). *Review of Experience with Ecological Networks, Corridors and Buffer Zones* (CBD Technical Series No. 23). Secretariat of the Convention on Biological Diversity. https://www.cbd.int/doc/publications/cbd-ts-23.pdf

Biondi, E., McPhearson, T., & Elmqvist, T. (2021). Ecosystem connectivity for livable cities: A connectivity benefits framework for urban planning. *Ecology & Society, 27*(2), 36. https://doi.org/10.5751/ES-13371-270236

Coeurdacier, N., Oswald, F., & Teignier, M. (2021). *Structural change, land use and urban expansion*. The Review of Economic Studies. Advance online publication. https://doi.org/10.1093/restud/rdaf091

Cook, E. A., & van Lier, H. N. (Eds.). (1994). *Landscape planning and ecological networks*. Elsevier Science Publishers.

Here are the remaining references formatted in APA 7th style, translated into English, with the original Persian titles' romanization (Finglish) in brackets.

Mazandaran Provincial Governorship. (2015). *Mazandaran Province Land-Use Planning Document* [Sanad Amayesh Sarzamin Ostan Mazandaran]. Office of Land-Use Planning and Regional Development, Mazandaran Province Management and Planning Organization.

Parivar, P., Yavari, O., Faryadi, S., & Setoodeh, A. (2009). Analyzing the ecological structure of Tehran's landscape for formulating environmental quality improvement strategies. *Journal of Environmental Studies, 35*(50), 66–79. https://doi.org/10.1001.1.10258620.1388.35.50.6.6 [Tahlil Sakhtar Ekologik Simay-e Sarzamin Shahr-e Tehran Baray-e Tadvin Rahkarhay-e Erteghay-e Keifiat-e Mohit-e Zist].

Dadashpoor, H., Rafieian, M., & Zarei, A. (2013). Presenting an integrated land use allocation model based on ecological capability in Nowshahr County [Era'eh Olgoo-ye Yekparcheh Takhsis Karbari-ye Zamin Bar Mabnay-e Tavan Ekologiki dar Shahrestan Nowshahr]. *Urban Studies Quarterly, 3*(9), 31–44. https://urbstudies.uok.ac.ir/article_7884_97fb84ee3893def2a6e9f7f5ac717d5b.pdf (in Persian)

Dadashpoor, H., & Salarian, F. (2015). Analysis of the impact of demographic factors and developed land expansion on sprawl in the central urban region of Mazandaran [Tahlil Ta'sir Avamel-e Jam'ia-ti va Towse'e Aradi-ye Sakhteh Shodeh Bar Parakandeh-Rooyi dar Shahr-Manteqeh Markazi-ye Mazandaran]. *Geography and Regional Development, 13*(1, Ser. 24), 157–183. https://doi.org/10.22067/geography.v13i1.41991 (in Persian)

Dadashpoor, H., & Salarian, F. (2020). *Urban sprawl on natural lands*: analyzing and predicting the trend of land use changes and sprawl in Mazandaran city region, Iran. *Environment, Development and Sustainability*, *22*, 593–614. https://doi.org/10.1007/s1066801802112

Dupras, J., Marull, J., Parcerisas, L., Coll, F., Gonzalez, A., Girard, M., & Tello, E. (2016). The impacts of urban sprawl on ecological connectivity in the Montréal Metropolitan Region. *Environmental Science & Policy*, *58*, 61-73. https://doi.org/10.1016/j.envsci.2016.01.005

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*, 137, 152-160. https://doi.org/10.1016/j.catena.2015.09.012

Foltête, J. C., Girardet, X., & Clauzel, C. (2014). A methodological framework for the use of landscape graphs in land-use planning. *Landscape and Urban Planning, 124*, 140-150. https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2013.12.012

Forman, R. T. T., & Godron, M. (1986). *Landscape Ecology*. New York, NY: John Wiley & Sons.

Forman, R. T. T. (1995). *Land mosaics: The ecology of landscapes and regions*. Cambridge University Press. https://doi.org/10.1017/9781107050327

Forman, R. T. T., & Alexander, L. E. (1998). Roads and their major ecological effects. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 29, 207–231. https://doi.org/10.1146/annurev.ecolsys.29.1.207

Godone, D., Garbarino, M., Sibona, E., Garnero, G., & Godone, F. (2014). Progressive fragmentation of a traditional Mediterranean landscape by hazelnut plantations: The impact of CAP over time in the Langhe region (NW Italy). *Land Use Policy*, *36*, 259–266. https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2013.08.018

Gómez, D., & Montero, J. (2011, August). Determining the accuracy in image supervised classification problems. In *Proceedings of the 7th Conference of the European Society for Fuzzy Logic and Technology (EUSFLAT-LFA 2011)* (pp. 342–349). Atlantis Press. https://doi.org/10.2991/eusflat.2011.86

tern analysis program for categorical maps. University of Massachusetts, Amherst.

McGarigal, K. (2015). *FRAGSTATS: Spatial pattern analysis program for quantifying landscape structure (Version 4.2)* [Computer software]. University of Massachusetts.

Pham, V. C., Pham, T. T. H., Tong, T. H. A., Nguyen, T. T. H., & Pham, N. H. (2015). The conversion of agricultural land in the peri-urban areas of Hanoi (Vietnam): Patterns in space and time. *Journal of Land Use Science, 10*(2), 224–242. https://doi.org/10.1080/1747423X.2014.884643

Parivar, P., Yavari, O., Faryadi, S., & Setoodeh, A. (2009). Analyzing the ecological structure of Tehran's landscape for formulating environmental quality improvement strategies [Tahlil Sakhtar Ekologik Simay-e Sarzamin Shahr-e Tehran Baray-e Tadvin Rahkarhay-e Erteghay-e Keifiat-e Mohit-e Zist]. . *Journal of Environmental Studies, 35*(50), 66–79. https://doi.org/10.1001.1.10258620.1388.35.50.6.6) in Persian(

Rivas, C. A., Guerrero-Casado, J., & Navarro-Cerrillo, R. M. (2022). A new combined index to assess the fragmentation status of a forest patch based on its size, shape complexity, and isolation. *Diversity, 14*(11), 896. https://doi.org/10.3390/d14110896

Su, S., Jiang, Z., Zhang, Q., & Zhang, Y. (2011). Transformation of agricultural landscapes under rapid urbanization: A threat to sustainability in the Hang-Jia-Hu region, China. *Applied Geography, 31*(2), 439–449. https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2010.10.008

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. https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2015.08.007

Sun, C., Wu, Z. F., Lv, Z. Q., Yao, N., & Wei, J. B. (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, 409-417. https://doi.org/10.1016/j.jag.2011.12.012

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. https://doi.org/10.1007/s13412-023-00822-z

Thaiutsa, B., Puangchit, L., Kjelgren, R., & Arunpraparut, W. (2008). Urban green space, street tree and heritage large tree assessment in Bangkok, Thailand. *Urban Forestry & Urban Greening, 7* (3), 219-229. https://doi.org/10.1016/j.ufug.2008.03.002

Turner, M. G. (1989). Landscape ecology: The effect of pattern on process. *Annual Review of Ecology and Systematics, 20,* 171–197. https://doi.org/10.1146/annurev.es.20.110189.001131

Wu, J. (2013). Landscape sustainability science: Ecosystem services and human well-being in changing landscapes. *Landscape Ecology, 28* (6), 999–1023. https://doi.org/10.1007/s10980-013-9894-9

Winkler, K., Meyer, C., Hager, S., & Kuemmerle, T. (2021). Global land use changes are four times greater than previously estimated. *Nature Communications*, 12, 1–11. https://doi.org/10.1038/s41467-021-22702-2

Ren, Z., He, J., & Yue, Q. (2021). Assessing the impact of urban expansion on surrounding forested landscape connectivity across space and time. *Land, 10* (4), 359. https://doi.org/10.3390/land10040359

Zhang, J., & Su, F. (2020). Land use change in the major bays along the coast of the South China Sea in Southeast Asia from 1988 to 2018.

Hardy, C. L., de Rivera, C. E., Bliss-Ketchum, L. L., & Biondi, F. (2021). Ecosystem connectivity for livable cities: A connectivity benefits framework for urban planning. *Ecology & Society, 27* (2), 36. https://doi.org/10.5751/ES-13371-270236

Haddad, N. M., Brudvig, L. A., Clobert, J., Davies, K. F., Gonzalez, A., Holt, R. D., Lovejoy, T. E., Sexton, J. O., Austin, M. P., Collins, C. D., Cook, W. M., Damschen, E. I., Ewers, R. M., Foster, B. L., Jenkins, C. N., King, A. J., Laurance, W. F., Levey, D. J., Margules, C. R., Melbourne, B. A., Nicholls, A. O., Orrock, J. L., Song, D.-X., & Townshend, J. R. (2015). Habitat fragmentation and its lasting impact on Earth's ecosystems. *Science Advances, 1* (2), e1500052. https://doi.org/10.1126/sciadv.1500052

Hermosilla, T., Wulder, M. A., White, J. C., Coops, N. C., & Hobart, G. W. (2012). Analyzing spatial and temporal variability in short-term rates of post-fire vegetation return from Landsat time series. *Remote Sensing of Environment*, 123, 1–12. https://doi.org/10.1016/j.rse.2012.03.014

Ignatieva, M., & Ahrné, K. (2013). Biodiverse green infrastructure for the 21st century: from "green desert" of lawns to biophilic cities. *Journal of Architecture and Urbanism, 37* (1), 1–9. https://doi.org/10.3846/20297955.2013.786284

Jongman, R. H. G., & Pungetti, G. (Eds.). (2004). *Ecological Networks and Greenways: Concept, Design, Implementation*. Cambridge University Press. https://doi.org/10.1017/CBO9780511606762.004

Lambin, E. F., & Meyfroidt, P. (2011). Global land use change, economic globalization, and the looming land scarcity. *Proceedings of the National Academy of Sciences, 108*(9), 3465–3472. https://doi.org/10.1073/pnas.1100480108

Leitao, A. B., & Ahern, J. (2002). Applying landscape ecological concepts and metrics in sustainable landscape planning. *Landscape and Urban Planning, 59* (2), 65–93. https://doi.org/10.1016/S0169-2046(02)00005-1

Lillesand, T. M., Kiefer, R. W., & Chipman, J. W. (2004). *Remote sensing and image interpretation* (5th ed.). John Wiley & Sons.

Lu, D., & Weng, Q. (2007). A survey of image classification methods and techniques for improving classification performance. *International Journal of Remote Sensing, 28*(5), 823-870. https://doi.org/10.1080/01431160600746456

Luo, X., Shi, X., & Zhou, W. (2022). Land use change under population migration and its implications for human–land relationship. *Land, 11*(6), 934. https://doi.org/10.3390/land11060934

Mazandaran Provincial Governorship. (2006). *Mazandaran Province Land-Use Planning Document* [Sanad Amayesh Sarzamin Ostan Mazandaran]. Office of Land-Use Planning and Regional Development, Mazandaran Province Management and Planning Organization. (in Persian)

Mazandaran Provincial Governorship. (2015). *Mazandaran Province Land-Use Planning Document* [Sanad Amayesh Sarzamin Ostan Mazandaran]. Office of Land-Use Planning and Regional Development, Mazandaran Province Management and Planning Organization.)in Persian(

McGarigal, K., & Marks, B. J. (1995). *FRAGSTATS: Spatial pattern analysis program for categorical maps (General Technical Report PNW-GTR-351).* U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Research Station. https://doi.org/10.2737/PNW-GTR-351

McGarigal, K., Cushman, S. A., & Ene, E. (2002). *Fragstats: Spatial pat-*

استانداری مازندران (۱۳۸۵). *سند آمایش سرزمین استان مازندران*. دفتر آمایش و توسعه منطقه‌ای، سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی استان مازندران.

استانداری مازندران (۱۳۹۴). *سند آمایش سرزمین استان مازندران*. دفتر آمایش و توسعه منطقه‌ای، سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی استان مازندران.

پریور، پرویز؛ یاوری، امیدرضا؛ فریادی، شیوا و ستوده، امیر. (۱۳۸۸). تحلیل ساختار اکولوژیک سیمای سرزمین شهر تهران برای تدوین راهکارهای ارتقای کیفیت محیط‌زیست. *مجله محیط‌شناسی*، ۳۵ (۵۰)، ۶۶-۷۹. https://doi.org/10.1001.1.10258620.1388.35.50.6.6

داداش‌پور، هاشم؛ رفیعیان، مجتبی و زارعی، عبدالله (۱۳۹۲). ارائه الگوی یکپارچه تخصیص کاربری زمین بر مبنای توان اکولوژیکی در شهرستان نوشهر. *فصلنامه مطالعات شهری*،۳ (۹)، ۳۱-۴۴. https://urbstudies.uok.ac.ir/article_7884_97fb84ee3893def2a6e9f7f5ac717d5b.pdf

داداش‌پور، هاشم و سالاریان، فردیس (۱۳۹۴). تحلیل تأثیر عوامل جمعیتی و توسعه اراضی ساخته‌شده بر پراکنده‌رویی در شهر-منطقه مرکزی مازندران. *جغرافیا و توسعه ناحیه‌ای*،۱۳ (۱) (پیاپی ۲۴)، ۱۵۷-۱۸۳. https://doi.org/10.22067/geography.v13i1.41991

Land, 9(1), 30. https://doi.org/10.3390/land9010030

Zhang, Y., Lu, M., Ma, W., Meng, Q., Li, Z., & Wu, Y. (2024). Urban multi-scale ecological network sequence and spatial structure optimization: A case study in Nanjing city, China. *Ecological Indicators*, 167, Article 112622. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2024.112622

Zhang, Z., He, G., Cai, W., Zhu, Q., Liu, X., & Cai, Y. (2024). Spatial planning constraints will mitigate the fragmentation trajectory of natural and semi-natural landscapes: A case of Lushan City, China. *Landscape Ecology, 39*, Article 59.https://doi.org/10.1007/s10980-024-01857-5

Zhang, Z., Luo, M., Tao, W., Huang, H., Bo, L., & Xia, J. (2025). Urban agricultural ecological interactions and land surface temperatureA spatiotemporal study of the Middle Yangtze River Region. *Land, 14*(11), 2192. https://doi.org/10.3390/land14112192

Zhou, X., & Wang, Y.-C. (2011). Spatial–temporal dynamics of urban green space in response to rapid urbanization and greening policies. *Landscape and Urban Planning, 100* (3), 268–277. https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2010.12.013