

Evaluation and Analysis of Land Use Changes and Their Impacts on Habitat Quality (Case Study: Talar Watershed, Mazandaran Province)

1. Fardin Rahmannedjad^{ID}: PhD Student, Department of Environmental Planning, Aras International Campus, University of Tehran, Tehran, Iran

2. Mohammad Javad Amiri^{ID}*: Associate Professor, Department of Environment, Faculty of Environment, University of Tehran, Tehran, Iran.

3. Ahmad Nohegar^{ID}: Professor, Department of Environment, Faculty of Environment, University of Tehran, Tehran, Iran

4. Gholamreza Nabi Bidhendi^{ID}: Professor, Department of Environment, Faculty of Environment, University of Tehran, Tehran, Iran

*Corresponding Author's Email Address: mjamiri@ut.ac.ir

How to Cite: Rahmannedjad, F., Amiri, M. J., Nohegar, A., & Nabi Bidhendi, G. (2024). Evaluation and Analysis of Land Use Changes and Their Impacts on Habitat Quality (Case Study: Talar Watershed, Mazandaran Province). *Manifestation of Art in Architecture and Urban Engineering*, 2(2), 1-17.

Abstract:

Significant transformations in land use over recent decades have posed serious challenges to the capacity of ecosystems to deliver essential services. Therefore, it is crucial to assess the impact of such changes on ecosystem services more precisely. The present study aimed to forecast future land use maps by employing the Scenario Generator tool within the InVEST software, allowing for the extraction and analysis of past and present land use maps. Additionally, the Habitat Quality tool of the same software was utilized to evaluate the effects of land use changes on habitat quality in the Talar watershed, located in Mazandaran Province. The findings revealed that the unrestrained expansion of agricultural lands and residential areas—particularly during the 2024 to 2044 period—leads to a decline in habitat quality, a trend most evident in the northern and eastern zones of the study area. Furthermore, land degradation intensified during this same period. The results indicate that human activities aimed at ensuring the welfare and nourishment of a growing population have replaced natural landscapes with agricultural lands and residential zones. These alterations have resulted in land degradation and a decrease in the quality of habitats for both flora and fauna. If the current trend continues, the extinction of native species in the near future is highly probable. Therefore, it is imperative to implement principled and comprehensive management strategies to conserve and rehabilitate natural landscapes—especially forested areas—thus paving the way for the improvement and enhancement of these regions, and ensuring the protection of species that naturally inhabit them.

Keywords: Land degradation, satellite imagery, land use scenario, InVEST

Received: 02 July 2024

Revised: 28 July 2024

Accepted: 08 August 2024

Published: 19 August 2024



Copyright: © 2024 by the authors. Published under the terms and conditions of Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0) License.

ارزیابی و تحلیل تغییرات کاربری اراضی و پیامدهای آن بر کیفیت زیستگاه (مطالعه موردی: حوزه آبخیز تالار، استان مازندران)

۱. فردین رحمان نژاد^{ID}: دانشجوی دکتری، گروه برنامه ریزی محیط زیست، پردیس بین المللی ارس، دانشگاه تهران، تهران، ایران

۲. محمد جواد امیری^{ID}*: دانشیار، گروه محیط زیست، دانشکده محیط زیست، دانشگاه تهران، تهران، ایران. (نویسنده مسئول)

۳. احمد نوحه گر^{ID}: استاد، گروه محیط زیست، دانشکده محیط زیست، دانشگاه تهران، تهران، ایران

۴. غلامرضا نبی بید هندی^{ID}: استاد، گروه محیط زیست، دانشکده محیط زیست، دانشگاه تهران، تهران، ایران

*پست الکترونیک نویسنده مسئول: mjamiri@ut.ac.ir

نحوه استناددهی: رحمان نژاد، فردین، امیری، محمد جواد، نوحه گر، احمد، و نبی بید هندی، غلامرضا. (۱۴۰۳). ارزیابی و تحلیل تغییرات کاربری اراضی و پیامدهای آن بر کیفیت زیستگاه (مطالعه موردی: حوزه آبخیز تالار، استان مازندران). تجلی هنر در معماری و شهرسازی، ۲(۲)، ۱-۱۷.

چکیده

تحولات چشمگیر در کاربری اراضی طی دهه‌های اخیر، توانایی اکوسیستم‌ها در ارائه خدمات را با چالش‌هایی جدی مواجه ساخته است؛ از این رو، ضرورت دارد تأثیر این تغییرات بر خدمات اکوسیستمی به شکلی دقیق‌تر بررسی شود. پژوهش حاضر با هدف پیش‌بینی نقشه‌های کاربری اراضی آینده، ابزار **Scenario Generator** نرم‌افزار **InVEST** را به کار گرفت تا نقشه‌های کاربری اراضی گذشته و حال استخراج و تحلیل شود. همچنین با استفاده از ابزار **Habitat Quality** همان نرم‌افزار، اثرات تغییر کاربری اراضی بر کیفیت زیستگاهی در حوزه آبخیز تالار واقع در استان مازندران مورد ارزیابی قرار گرفت. یافته‌های تحقیق نشان داد که توسعه بی‌رویه اراضی کشاورزی و کاربری‌های مسکونی، به‌ویژه طی دوره زمانی ۲۰۲۴ تا ۲۰۴۴، به کاهش کیفیت زیستگاهی منجر می‌شود که این روند، در مناطق شمالی و شرقی محدوده مورد مطالعه، آشکارتر است. علاوه بر آن، تخریب سرزمین نیز طی همین دوره زمانی شدت یافته است. نتایج نشان می‌دهد که فعالیت‌های انسانی به‌منظور تأمین رفاه و تغذیه جمعیت فزاینده، موجب جایگزینی عرصه‌های طبیعی با اراضی کشاورزی و مناطق مسکونی شده است. این تغییرات، به تخریب زمین و کاهش کیفیت زیستگاه‌های گیاهی و جانوری منتهی شده و در صورت تداوم روند موجود، احتمال انقراض گونه‌های بومی منطقه در آینده نزدیک وجود دارد. بنابراین لازم است با مدیریتی اصولی و جامع، اقدام به حفاظت و احیای عرصه‌های طبیعی به‌ویژه مناطق جنگلی نمود تا بدین وسیله زمینه بهبود و ارتقای وضعیت این مناطق و همچنین حفاظت از گونه‌هایی که به‌طور بومی از این عرصه‌ها به‌عنوان زیستگاه استفاده می‌کنند، فراهم شود.

کلیدواژگان: تخریب سرزمین، تصاویر ماهواره‌ای، سناریوی کاربری اراضی، **InVEST**

تاریخ دریافت: ۱۲ تیر ۱۴۰۳

تاریخ بازنگری: ۷ مرداد ۱۴۰۳

تاریخ پذیرش: ۱۸ مرداد ۱۴۰۳

تاریخ انتشار: ۲۹ مرداد ۱۴۰۳



مقدمه

کاربری زمین به استفاده‌های انسانی از زمین برای مقاصد مختلفی همچون کشاورزی، توسعه شهری، جنگلداری و تفریح اشاره دارد که انعکاسی از فعالیت‌های اقتصادی-اجتماعی و فرهنگی جوامع است (1). با گذر زمان، کاربری زمین دستخوش تغییرات قابل توجهی شده است که ناشی از رشد جمعیت، پیشرفت‌های فناوریانه و توسعه اقتصادی بوده و منجر به تغییرات در پوشش زمین و عملکردهای اکوسیستم شده است (2). درک پویایی تغییرات کاربری زمین برای مدیریت و برنامه‌ریزی پایدار زمین از اهمیت حیاتی برخوردار است، چرا که این تغییرات تأثیرات عمیقی بر تنوع زیستی، تنظیم اقلیم و رفاه انسان دارند (3).

تغییر کاربری اراضی به تغییر در محیط طبیعی به سمت مناطق توسعه‌یافته، زمین‌های کشاورزی یا سایر مناطق مورد استفاده انسانی اشاره دارد. این تغییرات تأثیرات چشم‌گیری بر دینامیک‌های اکولوژیکی، فعالیت‌های اقتصادی و ساختارهای اجتماعی دارند که نیازمند بررسی دقیق هستند. انواع تغییرات کاربری اراضی را می‌توان به شهرنشینی، جنگل‌زدایی، گسترش کشاورزی، تخریب زمین و احیای جنگل تقسیم‌بندی کرد. هر یک از این تغییرات تأثیرات متفاوتی بر اکوسیستم‌ها و زندگی انسان‌ها دارند. رشد سریع مناطق شهری معمولاً چرخه‌های هیدرولوژیکی را مختل نموده و مشکلاتی مانند سیل‌های شهری و آلودگی آب را ایجاد می‌کند (4). حذف مناطق جنگلی منجر به از دست رفتن تنوع زیستی، اختلال در چرخه‌های کربن و نیتروژن و تغییر شرایط آب و هوایی محلی و جهانی می‌شود (5). گسترش کشاورزی که در کشورهای در حال توسعه که جمعیت‌های رو به رشد نیاز به تولید بیشتر غذا دارند، بسیار شایع است، اگرچه امنیت غذایی و توسعه اقتصادی را حمایت می‌کند، اما می‌تواند به تخریب خاک، کمبود آب و از دست دادن خدمات اکوسیستمی مانند گرده‌افشانی و تنظیم آب‌وهوا منجر شود (6).

پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی بخش مهمی از برنامه‌ریزی محیطی، توسعه شهری و استراتژی‌های حفاظتی به‌شمار می‌رود. مدل‌های تحلیلی به‌عنوان ابزارهای کلیدی برای فهم پویایی‌های پیچیده کاربری اراضی و پیش‌بینی روندهای آینده چارچوبی کمی فراهم می‌کنند که تعاملات میان فعالیت‌های انسانی و فرآیندهای محیطی را شبیه‌سازی می‌کنند. مدل‌های مکانی صریح یکی از رویکردهای تحلیل گسترده در پیش‌بینی تغییر کاربری اراضی هستند. این مدل‌ها داده‌های سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) را با روش‌های آماری یا محاسباتی ترکیب می‌کنند تا الگوهای مکانی تغییر کاربری اراضی را تحلیل کنند (7). دسته برجسته دیگری از مدل‌ها، مدل‌های مبتنی بر عامل (ABMs) هستند که بر رفتارها و تصمیمات عامل‌های فردی، مانند مالکان زمین یا سیاست‌گذاران، تمرکز دارند (8). مدل‌های اقتصادی و آماری، مبتنی بر رگرسیون و روش‌های اقتصادسنجی رابطه بین متغیرهای اجتماعی-اقتصادی و تغییرات کاربری اراضی را بررسی می‌کنند (9). مدل‌های ترکیبی، جنبه‌های مکانی، اقتصادی و مبتنی بر عامل را با یکدیگر تلفیق می‌کنند تا محدودیت‌های روش‌شناسی‌های منفرد را رفع کنند. تطبیق‌پذیری مدل‌های ترکیبی آن‌ها را برای مقابله با چالش‌های چندوجهی کاربری زمین ارزشمند می‌سازد (10). در نهایت، مدل‌های تحلیلی برای پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی و هدایت سیاست‌گذاری‌های مؤثر ضروری هستند. مدل ارزیابی یکپارچه خدمات اکوسیستمی (InVEST) یکی از ابزارهای پرکاربرد در پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی و ارزیابی پویایی خدمات اکوسیستمی است. این مدل مجموعه‌ای از مدل‌های ماژولار ارائه می‌دهد که به پژوهشگران و سیاست‌گذاران امکان می‌دهد بررسی کنند که چگونه سناریوهای مختلف کاربری زمین بر خدمات اکوسیستمی مانند تصفیه آب، جذب کربن و حفاظت از تنوع زیستی تأثیر می‌گذارند. با توجه به نقش تغییرات کاربری زمین در تحول محیط زیست، استفاده از چنین ابزارهای پیش‌بینی به طور فزاینده‌ای در دستیابی به مدیریت پایدار زمین و برنامه‌ریزی حفاظتی

اهمیت پیدا کرده است. یکی از ویژگی‌های برجسته مدل InVEST توانایی آن در پیوند دادن ابعاد اکولوژیکی و اقتصادی تغییرات کاربری اراضی است. این مدل با استفاده از داده‌های مکانی صریح و ابزارهای پیشرفته سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS)، تأثیر تغییرات در الگوهای کاربری اراضی را بر خدمات اکوسیستمی در مقیاس‌های محلی، منطقه‌ای و جهانی مدل‌سازی می‌کند. برای مثال، این مدل پیش‌بینی می‌کند که چگونه جنگل‌زدایی یا گسترش کشاورزی ممکن است بر کیفیت آب یا فرسایش خاک تأثیر بگذارد و بینش‌های عملی برای ذینفعان فراهم می‌کند (Sharp et al., ۲۰۱۸). این یکپارچگی بین ابعاد زیست‌فیزیکی و اجتماعی-اقتصادی به مدل امکان می‌دهد دیدگاه جامعی از نتایج بالقوه تحت سناریوهای مختلف ارائه کند. توانایی پیش‌بینی مدل InVEST آن را به ابزاری ارزشمند در زمینه تصمیم‌گیری تبدیل کرده است. سیاست‌گذاران می‌توانند اثرات سیاست‌های پیشنهادی کاربری زمین، مانند گسترش شهری یا تعیین مناطق حفاظت‌شده، را شبیه‌سازی کنند تا تجارت‌های میان حفاظت محیط زیست و توسعه اقتصادی را ارزیابی کنند (11). ارزیابی‌های کیفیت زیستگاه بر شاخص‌ها و معیارهایی استوار است که ابعاد زیست‌شناختی، فیزیکی و انسانی محیط را در بر می‌گیرند. این معیارها پایه‌ای برای ارزیابی سلامت و پایداری زیستگاه‌ها فراهم می‌کنند و مداخلات هدفمند و توسعه سیاست‌ها را ممکن می‌سازند (12). از منظر محیطی، تغییر کاربری اراضی اغلب منجر به تکه‌تکه شدن زیستگاه‌ها و تخریب آن‌ها می‌شود و فرآیندهای طبیعی که از اکوسیستم‌ها حمایت می‌کنند را مختل می‌کند. برای مثال، جنگل‌زدایی به منظور گسترش کشاورزی یا توسعه شهری، پوشش جنگلی را کاهش می‌دهد که این امر به نوبه خود بر جذب کربن تأثیر گذاشته و به تغییرات اقلیمی دامن می‌زند (13). از منظر اکولوژیکی، تغییر کاربری اراضی تأثیرات عمیقی بر تنوع زیستی و کارکرد اکوسیستم دارد. تبدیل زیستگاه‌های طبیعی به کشتزارهای تک‌کشتی یا مناطق شهری، اغلب منجر به کاهش غنای گونه‌ها و کاهش گونه‌های کلیدی می‌شود که برای پایداری اکوسیستم‌ها حیاتی هستند (14).

مروری بر پیشینه تحقیق

طی سال‌های اخیر پژوهش‌ها در زمینه پیش‌بینی اثرات تغییرات کاربری اراضی بر کیفیت زیستگاه پیشرفت‌های قابل‌توجهی داشته‌اند. مدل‌های پیش‌بینی مکانی-زمانی نظیر CA-Markov و ابزارهایی همچون نرم‌افزار InVEST، نقش عمده‌ای در بررسی تغییرات کاربری اراضی و تأثیرات آن‌ها بر کیفیت زیستگاه داشته‌اند. این مدل‌ها امکان تحلیل تغییرات زیست محیطی ناشی از تبدیل اراضی و پیش‌بینی کاهش کیفیت زیستگاه‌ها را فراهم می‌کنند. به‌عنوان نمونه، مطالعات انجام شده در مناطق مختلف نشان داده‌اند که تبدیل اراضی جنگلی به زمین‌های کشاورزی و مسکونی منجر به کاهش کیفیت زیستگاه و افزایش تخریب سرزمین شده است. نتایج این پژوهش‌ها حاکی از آن است که تداوم روندهای فعلی ممکن است به افت بیشتر کیفیت زیستگاه‌ها در آینده منجر شود. با وجود پیشرفت‌های چشمگیر در این حوزه، هنوز چالش‌های بسیاری وجود دارد که پژوهشگران با آن روبه‌رو هستند. یکی از مشکلات اساسی در این زمینه، محدودیت دسترسی به داده‌های دقیق، جامع و به‌روز است. این موضوع بر میزان دقت مدل‌های پیش‌بینی تأثیرگذار است. بسیاری از پژوهش‌ها از داده‌های ماهواره‌ای و فناوری سنجنش از دور استفاده می‌کنند، اما این داده‌ها در برخی مناطق، به‌ویژه در کشورهای در حال توسعه، کیفیت و وضوح مطلوبی ندارند. علاوه بر این، مدل‌های موجود نتوانسته‌اند تعاملات پیچیده میان عوامل انسانی و طبیعی را به‌طور کامل لحاظ کنند. به‌عنوان مثال، اثرات اقتصادی و اجتماعی تغییر کاربری اراضی بر کیفیت زیستگاه هنوز به‌اندازه کافی مورد مطالعه قرار نگرفته است، حال آنکه این عوامل می‌توانند نقش بسیار مهمی در حفظ پایداری زیستگاه‌ها ایفا کنند. برای رفع این کاستی‌ها، توسعه مدل‌هایی که بتوانند ابعاد مختلف اکولوژیکی، اجتماعی و اقتصادی را به‌طور یکپارچه در تحلیل‌های خود در نظر بگیرند، بسیار ضروری است. همچنین

انجام تحقیقات بیشتری در ارزیابی تأثیرات سناریوهای مدیریتی و سیاست‌گذاری‌های مختلف بر کیفیت زیستگاه‌ها لازم است. چنین رویکردهایی می‌توانند به تصمیم‌گیری‌های بهتر و تدوین استراتژی‌های مؤثرتر برای حفاظت از زیستگاه‌ها کمک کنند. افزایش دسترسی به داده‌های جامع و پیشرفت در فناوری‌های مدل‌سازی و سنجش از دور می‌تواند به بهبود نتایج مطالعات و دستیابی به اهداف حفاظتی و توسعه پایدار کمک نماید. بدین ترتیب، روند تحقیقاتی در این حوزه می‌تواند فرصت‌های بیشتری برای حفظ و ارتقای کیفیت زیستگاه‌ها فراهم آورد. به عنوان نمونه در سطح جهانی، پژوهش‌ها نشان داده‌اند که تغییرات کاربری اراضی به‌ویژه در مناطق شهری و کشاورزی، باعث کاهش کیفیت زیستگاه‌ها و افزایش تخریب زمین شده است. به عنوان مثال، مطالعات انجام‌شده در منطقه سه‌گانه گورجس چین نشان داد که توسعه اراضی کشاورزی و مناطق مسکونی به کاهش کیفیت زیستگاه‌ها و افزایش تخریب زمین منجر شده است (15). علاوه بر این، تحقیقات انجام‌شده در حوضه رودخانه یانگ‌تسه نشان دادند که تغییرات کاربری اراضی باعث کاهش کیفیت زیستگاه‌ها و اختلال در خدمات اکوسیستمی شده است (16). در ایران، مطالعات مشابهی انجام شده است. برای نمونه، پژوهشی در منطقه حفاظت‌شده حرا نشان داد که تغییرات کاربری اراضی ناشی از توسعه فعالیت‌های انسانی مانند گردشگری و کشاورزی، منجر به افزایش ریسک اکولوژیکی و کاهش کیفیت زیستگاه‌ها شده است (17). همچنین، مطالعه‌ای در شهر آمل نشان داد که گسترش شهرنشینی و توسعه کشاورزی باعث کاهش کیفیت زیستگاه‌ها و افزایش تخریب زمین شده است (10). این مطالعات نشان می‌دهند که تغییرات کاربری اراضی نه تنها بر کیفیت زیستگاه‌ها تأثیر می‌گذارد، بلکه باعث تغییرات گسترده در ساختار و عملکرد اکوسیستم‌ها می‌شود. بنابراین، پایش مداوم و مدیریت اصولی این تغییرات برای حفظ کیفیت زیستگاه‌ها و کاهش تخریب زمین ضروری است.

روش‌شناسی پژوهش

محدوده مورد مطالعه، حوضه آبخیز رودخانه تالار با مساحتی برابر با ۱۷۲۷ کیلومتر مربع، یکی از جنوبی‌ترین و طغیانی‌ترین حوضه‌های آبخیز استان مازندران است. این حوضه در مختصات جغرافیایی $52^{\circ}50'$ تا $53^{\circ}24'$ طول شرقی و $35^{\circ}45'$ تا $36^{\circ}45'$ عرض شمالی قرار دارد. جهت جریان عمومی حوضه از جنوب به شمال است و پس از عبور از شهرستان قائم‌شهر به دریای خزر می‌ریزد. ارتفاع حداقل و حداکثر حوضه در ایستگاه هیدرومتری شیرگاه به ترتیب ۲۱۶ و ۳۹۶۷ متر بالاتر از سطح دریا می‌باشد. این حوضه دارای شکل آبراهه‌های شاخه درختی، موازی و به ندرت انشعابی است. بر اساس اطلاعات هواشناسی، میانگین بارش حوضه حدود ۶۰۰ میلیمتر و میانگین دمای سالانه حدود ۲۰ درجه سانتی‌گراد است.

به منظور استخراج نقشه‌های کاربری اراضی در گذشته و حال، از تصاویر ماهواره‌ای لندست استفاده شد. برای این منظور، تصاویر ماهواره‌ای لندست ۷ (ETM+) در ماه جولای ۲۰۰۴ و لندست ۸ (OLI) در جولای ۲۰۲۴ با قدرت تفکیک مکانی ۳۰ متر مورد استفاده قرار گرفتند. هدف از استخراج نقشه‌های کاربری اراضی در گذشته این است که با ارزیابی شرایط گذشته تا کنون، نقشه کاربری اراضی آینده با فرض تداوم روند موجود پیش‌بینی شود. برای پردازش تصاویر ماهواره‌ای و استخراج کاربری اراضی از نرم‌افزار سنجش از دور ENVI ۵.۳ و ArcGIS ۱۰.۳ بهره‌گیری می‌شود.

پیش از تجزیه و تحلیل اطلاعات ماهواره‌ای، تصحیحات هندسی بر روی تصاویر خام صورت می‌گیرد. تصحیحات هندسی به دلیل نیاز به نقاط کنترل دقیق از محدوده، توسط اخذکننده تصویر انجام نمی‌شود و قبل از به‌کارگیری تصاویر باید این تصحیحات بر روی آن‌ها اعمال شود. تصحیح هندسی برای جبران انحراف‌ها به‌نحوی انجام می‌شود که شکل تصحیح شده قابلیت انطباق با نقشه را داشته باشد. علاوه بر تصحیح هندسی، تصحیحات دیگری مانند تصحیح اتمسفری

نیز بر روی تصاویر انجام می‌گیرد تا تصاویر آماده پردازش شوند (18). اصلاحات هندسی تصاویر پس از به‌کارگیری روش ناپارامتری چند جمله‌ای و حذف نقاط نامناسب، با تعداد ۳۵ نقطه کنترل زمینی و میزان خطای ریشه مربعات ۰.۲۸ پیکسل صورت گرفت. برای نمونه‌گیری ارزش مجدد پیکسل‌ها از روش نزدیک‌ترین همسایه استفاده شد. همچنین برای حذف اثرات سوء جو و بهبود مقایسه روش‌ها، تصحیح اتمسفری بر روی تصاویر مورد نظر انجام شد. در این تحقیق به دلیل عدم دسترسی به داده‌های زمان برداشت تصویر توسط سنجنده لندست، از روش کاهش تیرگی برای تصحیح اتمسفری استفاده شد. انتخاب الگوریتم مناسب طبقه‌بندی نقش مهمی در تهیه نقشه‌های موضوعی و کارآمد دارد (19). الگوریتم حداکثر احتمال در بسیاری از تحقیقات به عنوان رایج‌ترین و یکی از دقیق‌ترین روش‌ها شناخته شده است (20). در این الگوریتم، پیکسلی به کلاسی نسبت داده می‌شود که بالاترین احتمال تعلق به آن را دارد. در مرحله اول، بر اساس نمونه‌های آموزشی، میانگین، واریانس و کوواریانس برای باندهای مورد استفاده محاسبه می‌شود. در مرحله دوم، میزان احتمال تعلق پیکسل‌ها به هر کلاس محاسبه می‌شود و بر اساس بالاترین احتمال، عمل طبقه‌بندی صورت می‌گیرد (Kantakumar et al., 2015). نمونه‌های آموزشی با استفاده از GPS، مطالعات میدانی و نرم‌افزار Google Earth جمع‌آوری شدند (21). برای مقایسه تصاویر طبقه‌بندی شده و تعیین روش دقیق‌تر از ضریب کاپا و دقت کل استفاده خواهد شد. ضریب کاپا به عنوان معیاری برای ارزیابی صحت نقشه‌ها، نشان‌دهنده تطابق طبقه‌بندی با داده‌های واقعی است. صحت کلی نیز نسبت پیکسل‌های درست طبقه‌بندی شده بر تعداد کل پیکسل‌های طبقه‌بندی شده را نشان می‌دهد. بهترین طبقه‌بندی زمانی حاصل می‌شود که صحت کلی و ضریب کاپا هر دو بالا باشند (22).

برای پیش‌بینی نقشه کاربری اراضی ۲۰ سال آینده (سال ۲۰۲۴) از ابزار سناریوساز مجموعه نرم‌افزاری InVEST تحت عنوان Scenario Generator استفاده شد. این ابزار از ترکیبی از تحلیل‌های همپوشانی در GIS، ارزشیابی چند معیاره و دانش کارشناسی مستقیم بهره می‌برد تا نقشه‌ای از آینده ممکن ایجاد کند. داده‌های مورد نیاز برای این مدل شامل نقشه کاربری اراضی پایه، لایه محدودیت (مانند مناطق حفاظت شده)، مقادیر تغییرات در هر کاربری، جدول انتقال کاربری اراضی، فاکتورهای استعداد زمین، ماتریس اولویت، لایه ابطال تغییرات، وزن فاکتورها و موارد دیگر هستند (23, 24). نقشه کاربری اراضی ۲۰۲۴ به عنوان نقشه پایه استفاده شد. برای پیش‌بینی میزان تغییرات در آینده، از اطلاعات مربوط به تغییرات کاربری‌ها در سال‌های ۲۰۰۴ تا ۲۰۲۴ استفاده شد. جدول فاکتورهای استعداد زمین با مقادیری بین صفر و یک ایجاد شد؛ صفر نشان‌دهنده نامناسب بودن کاربری برای تغییر و یک نشان‌دهنده حداکثر تناسب کاربری برای تغییر به یک یا چند کاربری دیگر است. جدول انتقال کاربری اراضی و ماتریس اولویت با استفاده از نظرات خبرگان تکمیل شد. جدول انتقال کاربری اراضی شامل احتمال انتقال کاربری اراضی در مقیاس (۰) تا (۱۰) است؛ جایی که (۰) هیچ تغییری را نشان نمی‌دهد و (۱۰) احتمال تغییر کامل را برای کاربری خاص مشخص می‌کند. ماتریس اولویت کاربری‌های اراضی نیز با تحلیل چند معیاره (MCA) و از طریق مقایسه دو به دو و بر اساس فرآیند تحلیلی سلسله مراتبی (AHP) ایجاد شد. برای این منظور، پرسش‌نامه‌ای که شامل سوالات مربوط به جدول انتقال کاربری اراضی و ماتریس اولویت بود تهیه شد و برای ۲۵ نفر از کارشناسان ادارات کل حفاظت محیط زیست، آب منطقه‌ای، منابع طبیعی و آبخیزداری و تعدادی از دانشجویان دکتری دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری ارسال شد. این پرسشنامه توسط ۱۶ نفر (۶۴ درصد) تکمیل و به پژوهشگر بازگردانده شد و ضمن تحلیل در ابزار Scenario Generator مورد استفاده قرار گرفت.

ابزار کیفیت زیستگاه نرم‌افزار InVEST یک مدل فیلترسازی با مقیاس وسیع است. این مدل بر مبنای زیستگاه‌ها طراحی شده و بسیار مناسب برای مناطقی است که اطلاعات کمی درباره حضور یا غیاب گونه‌ها دارند. این ابزار داده‌های کاربری اراضی را با اطلاعات تهدیدات تنوع‌زیستی ترکیب می‌کند تا نقشه کیفیت

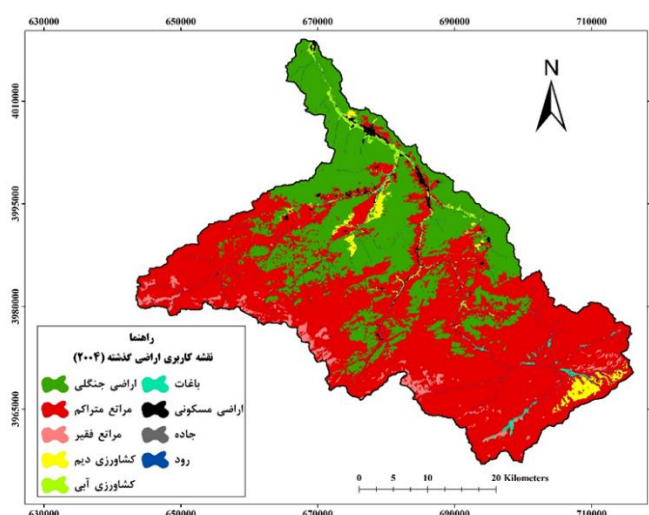
زیستگاه‌ها را تولید نماید. یکی از مهمترین ویژگی‌های این مدل، شناسایی حساسیت زیستگاه‌های مختلف به تهدیدات گوناگون است، به گونه‌ای که کاربران می‌توانند اثر نسبی یک تهدید خاص را در بین سایر تهدیدات بررسی کنند. بنابراین، تهدیداتی که بیشترین تأثیر را بر تنوع‌زیستی دارند، شناسایی می‌شوند.

ورودی‌های مورد نیاز ابزار کیفیت زیستگاه شامل موارد زیر است:

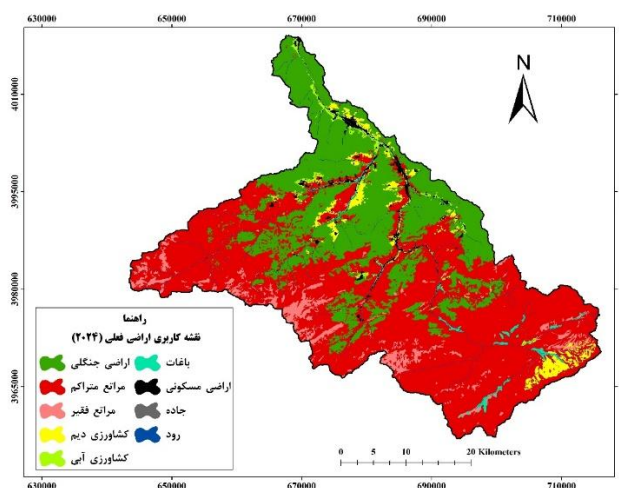
۱. نقشه کاربری اراضی حوزه آبخیز مورد مطالعه شامل نقشه‌های گذشته، حال و آینده.
۲. نقشه منابع تهدید شامل فایل‌های رستری که توزیع و شدت هر یک از تهدیدات را نشان می‌دهند. در این نقشه‌ها، تمام کاربری‌های انسانی با ارزش عددی ۱ به عنوان منبع تهدید در نظر گرفته شده‌اند، در حالی که سایر پوشش‌های طبیعی با ارزش صفر به معنای عدم تهدید در نظر گرفته می‌شوند. همچنین، تفاوت توان هر تهدید در تخریب زیستگاه‌ها با استفاده از یک فایل اکسل شامل وزن هر تهدید در بازه ۰ تا ۱ تعیین شده و وارد نرم‌افزار می‌شود. اعداد نزدیک به ۰ بیانگر شدت کم تخریب و اعداد نزدیک به ۱ به معنای شدت بالاتر تخریب هستند.
۳. تعیین انواع زیستگاه‌ها و حساسیت آن‌ها به هر تهدید شامل یک جدول اکسل از انواع کاربری‌ها است که نشان‌دهنده زیستگاه بودن یا نبودن یک کلاس کاربری است. بر این اساس، تمام کاربری‌های طبیعی شامل جنگل، مرتع و رودخانه به عنوان زیستگاه و همه کاربری‌های انسان‌ساخت مثل اراضی آبی، دیم، مناطق مسکونی و جاده‌ها به عنوان غیرزیستگاه معرفی شده‌اند. سپس حساسیت هر زیستگاه نسبت به هر تهدید مشخص شده است. اثر تهدیدات بر زیستگاه‌ها با استفاده از چهار عامل اثر نسبی هر تهدید، فاصله بین زیستگاه و منبع تهدید، سطح حفاظت قانونی، نهادی، اجتماعی و فیزیکی و حساسیت نسبی هر نوع زیستگاه تعیین می‌شود. فاصله انتشار تهدیدات تا زیستگاه‌ها با استفاده از راهنمای نرم‌افزار و ادبیات موضوعی از ۱۲ کیلومتر برای کاربری‌های زراعی تا ۲۰ کیلومتر برای کاربری‌های مسکونی و جاده‌ای در نظر گرفته شده است.

نتایج و بحث

نقشه کاربری اراضی سال‌های ۲۰۰۴ و ۲۰۲۴ با استفاده از الگوریتم حداکثر احتمال استخراج شد. نتایج نشان داد که ۹ کلاس مختلف کاربری اراضی قابل تفکیک در منطقه مورد مطالعه شامل اراضی جنگلی، مراتع متراکم و فقیر، اراضی کشاورزی دیم و آبی، باغات، مناطق مسکونی، رودخانه‌ها و جاده‌ها می‌باشد. شکل‌های (۱) و (۲) نقشه کاربری اراضی سال‌های ۲۰۰۴ و ۲۰۲۴ را نشان می‌دهند.

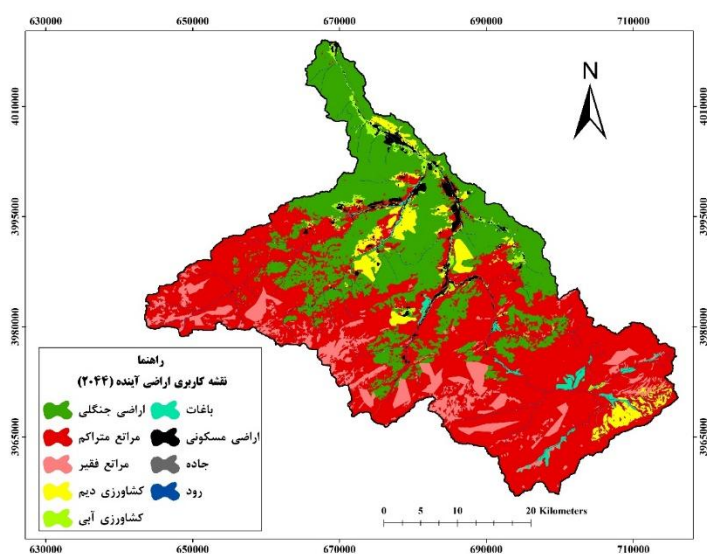


شکل ۱. نقشه کاربری اراضی در سال ۲۰۰۴



شکل ۲. نقشه کاربری اراضی در سال ۲۰۲۴

ارزیابی دقت طبقه‌بندی‌های انجام شده نشان داد که دقت کلی برای طبقه‌بندی سال ۲۰۰۴، ۹۱ درصد و برای سال ۲۰۲۴، ۸۹ درصد است. همچنین ضریب کاپا برای طبقه‌بندی‌های ۲۰۰۴ و ۲۰۲۴ به ترتیب ۰/۸۸ و ۰/۸۶ به دست آمد که بیانگر دقت بالای طبقه‌بندی‌های انجام شده است. در ادامه به کمک ابزار سناریوساز نرم‌افزار InVEST ضمن ایجاد نقشه سال ۲۰۴۴، تغییرات و اندازه کاربری‌ها نیز تا سال ۲۰۴۴ مشخص شدند. طبق نتایج به دست آمده، برای سال ۲۰۴۴ کاربری جدیدی به نسبت سال‌های ۲۰۰۴ و ۲۰۲۴ به نقشه کاربری اراضی افزوده نشده است. شکل (۳)، نقشه کاربری اراضی در سال ۲۰۴۴ و جدول (۱) مساحت و درصد تغییرات کاربری‌های اراضی در محدوده مورد مطالعه را در طول زمان نشان می‌دهد.



شکل ۳. نقشه کاربری اراضی در سال ۲۰۴۴

جدول ۱. مساحت و درصد تغییرات کاربری‌های اراضی در محدوده مورد مطالعه

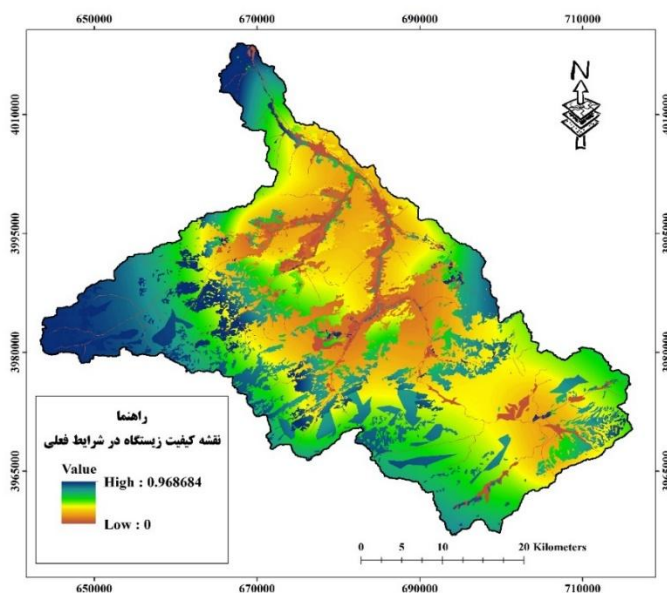
درصد تغییر مساحت در کل محدوده		مساحت (هکتار)			نوع کاربری
۲۰۴۴-۲۰۲۴	۲۰۲۴-۲۰۰۰	۲۰۴۴	۲۰۲۴	۲۰۰۴	
-۴/۴۷	-۲/۶۴	۵۱۵۲۲	۵۳۹۳۱	۵۵۳۹۵	اراضی جنگلی
-۷/۷۳	-۵/۹۵	۹۳۱۱۳	۱۰۰۹۱۸	۱۰۷۳۰۷	مراعات متراکم
۷۲/۲۸	۹۷/۱۱	۱۴۳۳۷	۸۳۲۲	۴۲۲۲	مراعات فقیر
۵۹/۶۷	۶۹/۹۱	۷۰۱۶	۴۳۹۴	۲۵۸۶	کشاورزی دیم
۷/۷۰	۱۲/۹۵	۲۶۸۷	۲۴۹۵	۲۲۰۹	کشاورزی آبی
۳۹/۳۸	۷۱/۴۱	۱۸۹۷	۱۳۶۱	۷۹۴	باغات
۳۳/۵۳	۷۵/۷۸	۳۳۸۲	۲۵۳۳	۱۴۴۱	مناطق مسکونی
-	-	۶۰۳	۶۰۳	۶۰۳	جاده
-	-	۱۸۵۵	۱۸۵۵	۱۸۵۵	رودخانه
		۱۷۶۴۱۲	۱۷۶۴۱۲	۱۷۶۴۱۲	مجموع

از سال ۲۰۰۴ تا ۲۰۲۴، مساحت اراضی جنگلی به میزان ۲/۶۴٪ کاهش داشته که عمدتاً به اراضی کشاورزی دیم و آبی تبدیل شده‌اند. دلیل این امر را می‌توان سهولت قطع درختان جنگلی تنک به علت تراکم پایین درختان دانست که تبدیل این‌گونه مناطق را به اراضی کشاورزی راحت‌تر و سریع‌تر می‌نماید. اراضی کشاورزی دیم و آبی نیز طی دوره ۲۰ ساله اخیر روند افزایشی قابل ملاحظه‌ای داشته‌اند که این روند برای اراضی دیم با ۶۹/۹۱ درصد بیشتر است. کاربری‌های مرتعی نیز در طول مدت مذکور دارای روندی افزایشی بوده که عمدتاً برگرفته از اراضی تخریب شده جنگلی است. این در حالی است که میزان مراعات متراکم در طول دوره ۲۰ ساله اخیر به میزان ۵/۹۵ درصد کاهش داشته ولی در عوض به میزان ۹۷/۱۱ درصد بر مساحت مراعات فقیر افزوده شده که این امر نشان‌دهنده توسعه

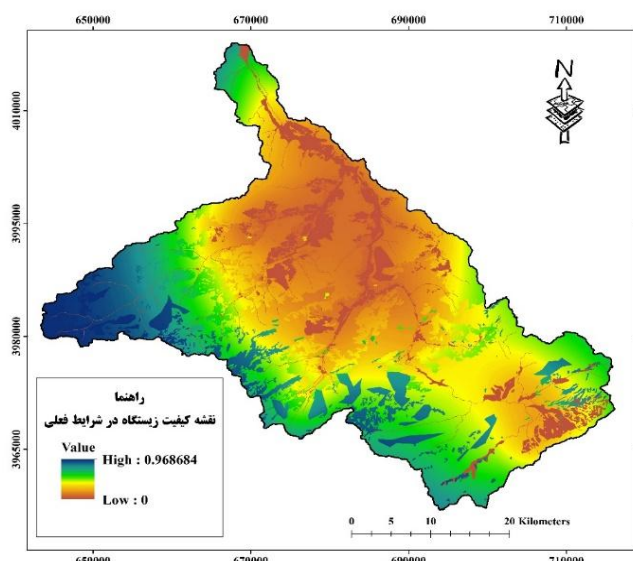
کاربری‌های دیگر نظیر افزایش چرای دام می‌باشد. کاربری مناطقی مسکونی و باغات نیز در دوره زمانی مذکور به مقدار قابل ملاحظه‌ای افزایش نشان می‌دهد. دلیل این امر رونق ساخت‌وساز در این منطقه به واسطه برخورداری از مواهب طبیعی و زیبایی‌های بصری و استقبال خوش‌نشینان و گردشگران به ساخت ویلا و اقامت در این مناطق و از طرفی گسترش باغات مرکبات به دلیل بازار مناسب آن در طول سال‌های اخیر می‌باشد.

این درحالی است که ابزار سناریوساز InVEST پیش‌بینی می‌کند که تخریب زمین‌های جنگلی تقریباً با همان روند قبلی تا سال ۲۰۴۴ ادامه داشته باشد. همچنین تغییرات مساحت اراضی کشاورزی نیز از روند افزایشی برخوردار بوده است. اما طبق پیش‌بینی مدل سرعت افزایش اراضی آبی نسبت به دوره ۲۰۰۴ تا ۲۰۲۴ کندتر شده و تا سال ۲۰۴۴، ۷/۷۰ درصد به مساحت اراضی آبی اضافه خواهد شد. این وضعیت برای اراضی دیم نیز متصور بوده و روند افزایشی کاربری مذکور هر چند به میزان ۱۰ درصد کمتر از دوره قبل (۲۰۰۴ تا ۲۰۲۴) اما همچنان از مقدار قابل ملاحظه‌ای (۵۹/۶۷ درصد) برخوردار خواهد بود. دلیل این امر را می‌توان محدودیت منابع آب، بحران‌های آبی پیش‌بینی‌شده برای آینده و برخی محدودیت‌های توپوگرافیکی مثل محدودیت ارتفاع و شیب برای توسعه اراضی آبی دانست. در عوض اراضی دیم محدودیت‌های بسیار کمتری نسبت به اراضی آبی برای توسعه بیشتر دارد که با پیشرفت‌های روزافزون در عرصه ماشین‌آلات کشاورزی، این محدودیت‌ها روز به روز کمتر نیز می‌شوند. همچنین روند کاهشی سطح مراتع متراکم با سرعت بیشتری نسبت به دوره ۲۰ ساله اخیر ادامه خواهد یافت و میزان مراتع فقیر نیز با افزایش ۷۲/۲۸ درصدی همراه خواهد بود. میزان توسعه حجم کاربری‌های مسکونی و باغات با توجه به سطح در دسترس نسبت به دوره ۲۰ ساله اخیر، کمتر بوده اما همچنان با روند افزایشی همراه خواهد بود.

با اجرای مدل Habitat Quality نرم‌افزار InVEST، نقشه‌های کیفیت زیستگاه و تخریب سرزمین برای ۲ دوره جاری (۲۰۲۴) و آینده (۲۰۴۴) به دست آمد. شکل‌های (۴) و (۵) نقشه کیفیت زیستگاه را در بازه عددی صفر تا ۰/۹۶ برای ۲ دوره اشاره شده نشان می‌دهد.

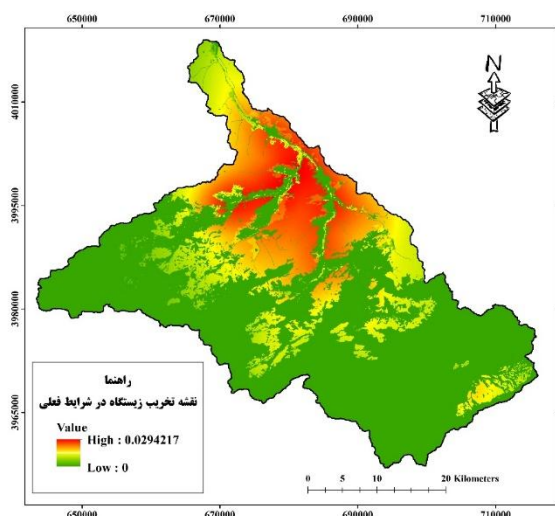


شکل ۴. نقشه کیفیت زیستگاه در دوره جاری (۲۰۲۴)

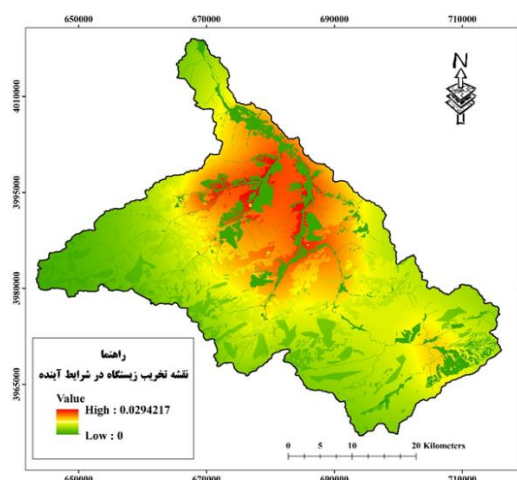


شکل ۵. نقشه پیش‌بینی کیفیت زیستگاه در دوره آینده (۲۰۴۴)

بر اساس نتایج به‌دست آمده، با گذشت زمان از سال ۲۰۲۴ تا ۲۰۴۴ کیفیت زیستگاه به تدریج کاهش پیدا خواهد کرد که این کاهش کیفیت در مناطق شمالی و شرقی محدوده مورد مطالعه مشخص‌تر است. دلیل این امر را می‌توان توسعه بیش از حد اراضی کشاورزی و کاربری مسکونی در طی دوره مذکور دانست. این امر می‌تواند برای زیستگاه‌های گیاهی و حتی جانوری خطرناک باشد. در این دوره، کاهش شدید کیفیت زیستگاه علاوه بر مناطق شمالی و شرقی، در مناطق غربی و حتی مرکزی نیز مشهود است. شکل‌های (۶) و (۷)، نقشه تخریب سرزمین را برای ۲ دوره مورد اشاره، در بازه بین صفر تا حدود ۰/۰۲ نشان می‌دهد. بررسی نتایج نشان از افزایش شدت تخریب‌ها با گذشت زمان است که این موضوع را نیز می‌توان به توسعه اراضی کشاورزی و مناطق مسکونی ربط داد. نکته قابل ذکر این است که علیرغم اینکه حداکثر عدد تخریب برای دوره‌های مورد بررسی، عدد بالایی نمی‌باشد ولی با توجه به شکل (۵-۴)، موجب کاهش شدید در کیفیت زیستگاه می‌شود.



شکل ۶. نقشه تخریب زیستگاه در دوره جاری (۲۰۲۴)



شکل ۷. نقشه پیش‌بینی تخریب زیستگاه در دوره آینده (۲۰۴۴)

به‌منظور ارزیابی کمی تغییرات در طول زمان، بازه صفر تا ۱ مربوط به کیفیت زیستگاه به پنج طبقه مساوی تقسیم شد. به شکلی که بازه صفر تا ۰/۲ به‌عنوان کیفیت خیلی پایین، ۰/۲ تا ۰/۴ کیفیت پایین، ۰/۴ تا ۰/۶ کیفیت متوسط، ۰/۶ تا ۰/۸ کیفیت خوب و ۰/۸ تا ۱ کیفیت خیلی خوب زیستگاه در نظر گرفته شد. با استخراج مساحت‌های مربوطه، تغییرات مساحتی در طول زمان برای هر بازه مورد ارزیابی قرار گرفت. بر اساس نتایج حاصله، در سال ۲۰۴۴، کیفیت خیلی کم دارای بیشترین مساحت بوده که این امر نشان‌دهنده سطح وسیع تخریب در زیستگاه با ادامه روند فعلی خواهد بود. این در حالی است که مساحت بقیه کلاس‌ها دارای روندی کاهشی خواهند بود.

جدول ۲. درصد مساحت و درصد تغییرات کلاس‌های کیفیت زیستگاه در طول زمان

کلاس کیفیت	مساحت (هکتار)		مساحت (درصد)		درصد تغییر مساحت در کل محدوده
	۲۰۲۴	۲۰۴۴	۲۰۲۴	۲۰۴۴	
خیلی کم	۱۷۴۴۸	۱۱۵۶۴۰	۹.۸۹	۶۵.۵۵	۵۵.۶۶
کم	۴۶۴۳۲	۱۸۴۸۱	۲۶.۳۲	۱۰.۴۸	-۱۵.۸۴
متوسط	۵۴۲۶۸	۲۲۰۲۰	۳۰.۷۶	۱۲.۴۸	-۱۸.۲۸
زیاد	۳۱۰۰۵	۱۶۹۱۶	۱۷.۵۸	۹.۵۹	-۷.۹۹
خیلی زیاد	۲۷۲۵۹	۳۳۵۵	۱۵.۴۵	۱.۹۰	-۱۳.۵۵
جمع	۱۷۶۴۱۲	۱۷۶۴۱۲	۱۰۰	۱۰۰	

بر اساس اطلاعات مستخرج از جدول (۲)، در دوره ۲۰۲۴ تا ۲۰۴۴ بیشترین درصد تغییرات مربوط به کلاس کیفی خیلی کم می‌باشد به‌طوری که در فاصله سال‌های ۲۰۲۴ تا ۲۰۴۴، مساحت این کلاس به میزان ۵۵/۶۶٪ افزایش خواهد داشت این در حالی است که همه کلاس‌های کیفی کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد در دوره زمانی فوق با کاهش مساحت مواجه خواهند بود.

نتیجه گیری

در مجموع، نتایج پژوهش حاضر نشان‌دهنده تأثیرپذیری بالای کیفیت زیستگاه از تغییرات کاربری اراضی در قالب تغییر از کاربری‌های طبیعی به کاربری‌های انسانی است. همانگونه که نتایج نشان داد با افزایش دخالت انسان در طبیعت، به‌منظور تامین رفاه و غذای جمعیت در حال افزایش، به تدریج عرصه‌های طبیعی جای خود را به کاربری‌هایی مثل اراضی کشاورزی و مناطق مسکونی داده است که نتیجه آن تخریب سرزمین و کاهش شدید کیفیت زیستگاه‌های گیاهی و جانوری می‌باشد. ادامه روند فعلی می‌تواند در آینده‌ای نزدیک زمینه را برای نابودی گونه‌های گیاهی و جانوری بومی منطقه مورد مطالعه فراهم سازد. بنابراین لازم است با مدیریتی اصولی و جامع، اقدام به حفاظت و احیای عرصه‌های طبیعی به‌ویژه مناطق جنگلی نمود تا بدین‌وسیله زمینه بهبود و ارتقای وضعیت این مناطق و همچنین حفاظت از گونه‌هایی که به‌طور بومی از این عرصه‌ها به‌عنوان زیستگاه استفاده می‌کنند، فراهم شود. نکته حائز اهمیت این است که با توجه به اینکه چهار عامل اثر نسبی هر تهدید، فاصله بین زیستگاه و منبع تهدید، سطح قانونی، نهادی، اجتماعی و فیزیکی حفاظت در برابر تهدید و حساسیت نسبی هر نوع زیستگاه به هر تهدید مهم‌ترین داده‌های ورودی موثر بر خروجی مدل می‌باشند، لذا باید در تهیه و وارد نمودن این داده‌ها دقت بالایی به‌کارگرفته شود زیرا هر گونه تغییر در این داده‌ها می‌تواند بر خروجی‌های مدل اثر گذاشته و نتایج را با خطا مواجه سازد. نتایج این تحقیق می‌تواند چارچوب مفیدی برای درک بهتر رابطه بین کاربری اراضی و کیفیت زیستگاه فراهم کرده و در تعیین اولویت‌های اقدامات مداخله‌ای و انتخاب رویکردهای مدیریتی مناسب از جمله حفاظت، بهره‌برداری، احیا و ... راهگشا باشد.

نتایج حاصل از این پژوهش، نشان‌دهنده تأثیرات عمیق تغییرات کاربری اراضی بر کیفیت زیستگاه‌ها و ضرورت حفاظت از منابع طبیعی با استفاده از راهبردهای مدیریتی جامع و اصولی است. تغییر کاربری اراضی از حالت طبیعی به انسانی، از جمله گسترش اراضی کشاورزی و مناطق مسکونی، منجر به تخریب سرزمین و کاهش کیفیت زیستگاه‌های گیاهی و جانوری شده است. این وضعیت مستلزم اقدامات فوری در حفاظت و احیای عرصه‌های طبیعی، خصوصاً جنگل‌ها، به‌منظور تضمین پایداری زیستگاه‌ها و گونه‌های بومی است.

مشارکت نویسندگان

در نگارش این مقاله تمامی نویسندگان نقش یکسانی ایفا کردند.

تشکر و قدردانی

از تمامی کسانی که در طی مراحل این پژوهش به ما یاری رساندند تشکر و قدردانی می‌گردد.

تعارض منافع

در انجام مطالعه حاضر، هیچ‌گونه تضاد منافی وجود ندارد.

حمایت مالی

این پژوهش حامی مالی نداشته است.

موازن اخلاقی

در انجام این پژوهش تمامی موازن و اصول اخلاقی رعایت گردیده است.

خلاصه مبسوط

Extended Abstract

Introduction

Land use is a fundamental indicator of the interaction between human societies and their environment, encompassing agricultural, residential, forestry, and recreational functions shaped by economic, social, and cultural factors (1). Over recent decades, dramatic land use changes, driven by population growth, technological development, and economic expansion, have significantly altered landscape patterns and ecosystem functions (2). These transformations have had profound implications for biodiversity, climate regulation, and human well-being, highlighting the urgent need for sustainable land management policies (3).

Land use change, such as deforestation, urban sprawl, and agricultural expansion, is closely tied to ecological degradation. Urbanization has been linked to disrupted hydrological cycles and water pollution (4), while deforestation accelerates biodiversity loss and contributes to carbon cycle disruption (5). Agricultural expansion, though essential for food security, often results in soil erosion, water scarcity, and the loss of ecosystem services like pollination and climate regulation (6).

To address these challenges, forecasting land use changes has become a vital component of environmental planning. Spatially explicit models that integrate GIS data with statistical and computational techniques provide tools to simulate the impacts of land use policies and environmental changes (7). Agent-based models (ABMs), regression-based statistical models, and hybrid frameworks have been developed to analyze these dynamics, each offering distinct methodological strengths (8-10).

Among these tools, the InVEST (Integrated Valuation of Ecosystem Services and Tradeoffs) model has gained prominence for its capacity to evaluate ecosystem service dynamics under various land use scenarios. By integrating spatial data and GIS capabilities, InVEST assesses how land conversion—e.g., deforestation or agricultural encroachment—affects services like water purification, carbon sequestration, and biodiversity conservation (Sharp et al., 2018). The model's holistic framework enables researchers and policymakers to explore the ecological and economic trade-offs of development decisions (11).

Habitat quality assessments, a key component of this study, depend on ecological, physical, and human-derived indicators to gauge ecosystem health and sustainability (12). Land use change often results in habitat fragmentation and degradation, with consequences for climate systems and ecological resilience (13). Conversion of natural habitats to monocultures or urban areas reduces species richness and undermines key ecosystem functions (14).

Recent research utilizing spatial-temporal prediction models such as CA-Markov and InVEST has demonstrated the impact of land conversion on habitat quality. For example, in China's Three Gorges and Yangtze River Basin, agricultural and

residential expansion led to habitat loss and ecological disruption (15, 16). In Iran, similar patterns were observed in protected areas and urbanized zones, where anthropogenic pressures degraded habitat quality (10, 17). Despite these advances, limitations in high-resolution data and the need for integrative models remain significant challenges. Thus, further studies that incorporate ecological, social, and economic dimensions are necessary to inform effective conservation strategies.

Methods and Materials

The study was conducted in the Talar watershed of Mazandaran Province, covering 1,727 km². This southern and flood-prone watershed features a varied elevation range (216–3,967 m) and a predominantly northward flow into the Caspian Sea. To assess land use changes, Landsat 7 (2004) and Landsat 8 (2024) satellite images with 30-meter resolution were processed using ENVI 5.3 and ArcGIS 10.3. Geometric and atmospheric corrections were applied to enhance accuracy.

The Maximum Likelihood Classification algorithm was used for land use mapping, drawing on field samples, GPS points, and Google Earth. Accuracy was evaluated using the overall accuracy and Kappa coefficient. Future land use for 2044 was predicted using the InVEST Scenario Generator tool, incorporating GIS overlays, expert opinion via AHP, and land suitability indices.

For habitat assessment, the InVEST Habitat Quality tool was employed. Input layers included historical, current, and predicted land use maps, spatial threat maps, sensitivity matrices, and legal protection data. Habitat types (e.g., forests, rangelands) and anthropogenic land uses (e.g., roads, residential areas) were assigned threat and sensitivity scores, with spatial influence modeled up to 20 km.

Findings

The 2004 and 2024 land use maps identified nine land use classes: forests, dense and degraded rangelands, rainfed and irrigated agricultural lands, orchards, residential areas, rivers, and roads. Accuracy assessments showed overall accuracy of 91% (2004) and 89% (2024), with Kappa coefficients of 0.88 and 0.86, respectively.

Between 2004 and 2024, forest areas declined by 2.64%, primarily replaced by rainfed and irrigated agricultural lands. Rainfed agriculture showed the highest growth (69.91%), while dense rangelands declined by 5.95%, and degraded rangelands expanded by 97.11%. Residential and orchard areas also grew significantly due to tourism and agricultural incentives.

The 2044 land use forecast revealed continued forest decline (4.47%) and expansion of rainfed agriculture (59.67%) and degraded rangelands (72.28%). However, the growth rate for irrigated lands slowed due to water and topographical constraints. The Scenario Generator indicated no new land use classes by 2044.

The Habitat Quality tool produced habitat quality and degradation maps for 2024 and 2044. The findings showed significant habitat degradation concentrated in the northern and eastern zones, with additional degradation emerging in the west and central regions by 2044. Despite the relatively low absolute degradation index, the model showed a pronounced decline in habitat quality.

Habitat quality was categorized into five equal intervals: very low, low, moderate, high, and very high. From 2024 to 2044, very low-quality habitat area expanded dramatically (from 9.89% to 65.55%), while all higher-quality classes declined, including a 13.55% drop in very high-quality areas.

Discussion and Conclusion

The study underscores the critical impact of land use change on habitat quality within the Talar watershed. The expansion of agricultural and residential zones—fueled by population growth, economic needs, and aesthetic appeal—has resulted in the systematic replacement of natural landscapes, triggering habitat degradation and fragmentation. Over the 40-year simulation

period, land use trends indicated a persistent conversion of forested and densely vegetated lands into croplands and settlements, with direct consequences for ecological integrity.

The projected decline in habitat quality, particularly in ecologically sensitive zones, highlights the potential loss of biodiversity and the weakening of ecosystem functions. The increase in degraded rangelands and reduced forest coverage implies heightened vulnerability to erosion, loss of carbon sinks, and decreased climate resilience. The habitat quality maps suggest that if the current trajectory continues, much of the watershed will shift toward low ecological functionality by 2044.

While the InVEST model provided a reliable spatial simulation framework, its outputs hinge on the accuracy of input data, particularly the relative threat weights, habitat sensitivities, and legal/institutional protection indices. These variables strongly influence the degradation projections, emphasizing the need for comprehensive, localized datasets and stakeholder engagement in model calibration.

The findings advocate for the implementation of structured, multi-dimensional land management strategies. Protecting forested areas, controlling urban sprawl, and enforcing land use regulations are essential to curbing habitat loss. Additionally, integrating ecological restoration efforts and sustainable agricultural practices can help reverse some of the degradation trends observed.

Ultimately, the study offers a valuable framework for understanding the dynamic interplay between human land use and ecosystem health. It serves as a decision-support tool for policymakers and planners to prioritize conservation interventions, assess trade-offs, and guide the formulation of sustainable land use policies tailored to the socio-ecological context of northern Iran.

References

1. Turner BLAULEF, Reenberg A. The emergence of land change science for global environmental change and sustainability. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 2007;104IS - 52:20666-71.
2. Lambin EF, Geist HJ. *Land-use and land-cover change: Local processes and global impacts*: Springer Science & Business Media; 2006.
3. Ellis EC, Goldewijk KK, Siebert S, Lightman D, Ramankutty N. Anthropogenic transformation of the biomes, 1700 to 2000. *Global Ecology and Biogeography*. 2010;19(5):589-606.
4. Dewan AM, Yamaguchi Y. Land use and land cover change in Greater Dhaka, Bangladesh: Using remote sensing to promote sustainable urbanization. *Applied Geography*. 2009;29(3):390-401.
5. Geist HJ, Lambin EF. Proximate causes and underlying driving forces of tropical deforestation. *Bioscience*. 2002;52(2):143-50.
6. Tilman D. Forecasting agriculturally driven global environmental change. *Science*. 2001;292(5515):281-4.
7. Clarke KC, Hoppen S, Gaydos LP. A self-modifying cellular automaton model of historical urbanization in the San Francisco Bay area. *Environment and Planning B: Planning and Design*. 24(2):247-61.
8. Parker DC, Manson SM, Janssen MA, Hoffmann MJ, Deadman P, Rounsevell MDA, et al. Multi-agent systems for the simulation of land-use and land-cover change: A review Challenges for land system science. *Annals of the Association of American Geographers*. 2003;93(2):314-37.
9. Verburg PH, Overmars KP, Witte N. Accessibility and land-use patterns at the rural-urban fringe. *Journal of Environmental Management*. 2004;72(1-2):9-18.
10. Sadeghi J, Yousefzadeh H, Zamani K. Analyzing the Effects of Land Use Changes on Habitat Quality in the City of Amol. *Scientific-Research Journal of Environmental Studies*. 2021;27(3):70-89.
11. Nelson E, Mendoza G, Regetz J, Polasky S, Tallis H, Cameron DR. Modeling multiple ecosystem services, biodiversity conservation, commodity production, and trade-offs at landscape scales. *Frontiers in Ecology and the Environment*. 2009;7(1):4-11.
12. Johnson MD. Measuring habitat quality: A review. *The Condor*. 2007;109(3):489-504.
13. Li Z, Ma Z, Zhou G. Impact of land use change on habitat quality and regional biodiversity capacity: Temporal and spatial evolution and prediction analysis. *Frontiers in Environmental Science*. 2022;10:1041573.
14. Zhou G, Li Z, Ma Z. Temporal and spatial variation of habitat quality under land use change: A case study in Suzhou City, China. *ResearchGate*. 2022.
15. Li X, Wang Y, Zhang Z. Impact of Land Use Change on Habitat Quality in the Three Gorges Area of China. *Environmental Science & Policy*. 2019;101:123-32.
16. Wang H, Liu J, Chen X. Effects of Land Use Changes on Ecosystem Services in the Yangtze River Basin. *Journal of Environmental Management*. 2020;255:109875.

17. Javan Shir M, Habibi N, Ahmadi M. Assessing the Impacts of Tourism Development on Habitat Quality in the Hara Region. *Iranian Journal of Environmental Studies*. 2018;20(4):45-56.
18. Al-Ahmadi FS, Hames AS, Sun J, Yang J, Zhang C, Yun W, et al. Comparison of Four Classification Methods to Extract Land Use and Land Cover from Raw Satellite Images for Some Remote Arid Areas, Kingdom of Saudi Arabia Automatic remotely sensed image classification in a grid environment based on the maximum likelihood method. *Earth Science*. 2009;20:167-91.
19. Shoyama K, Kamiyama C, Morimoto J, Ooba M, Okuro T. A review of modeling approaches for ecosystem services assessment in the Asian region. *Ecosystem services*. 2017;26:316-28.
20. Ahmad A, Quegan S. Analysis of maximum likelihood classification on multispectral data. *Applied Mathematical Sciences*. 2012;6:6425-36.
21. Zhang X, Zhang F, Qi Y, Deng L, Wang X, Yang S. New research methods for vegetation information extraction based on visible light remote sensing images from an unmanned aerial vehicle (UAV). *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*. 2019;78:215-26.
22. Deng Z, Zhu X, He Q, Tang L. Land use/land cover classification using time series Landsat 8 images in a heavily urbanized area. *Advances in Space Research*. 2019;63:2144-54.
23. Sharp R, Chaplin-Kramer R, Wood SA, Guerry AD, Tallis H. InVEST 3.7.0 User's Guide: The Natural Capital Project; 2018.
24. Sharp R, Tallis HT, Ricketts T, Guerry AD, Wood SA, Chaplin-Kramer R, et al. InVEST User's Guide: The Natural Capital Project, Stanford; 2018. 307 p.