

## Dynamic Modeling of Land Use Changes based on Human-Environmental System (Case Study: Taleghan Watershed)

Roghaye Shad<sup>1</sup> | Mehdi Ghorbani<sup>1\*</sup>✉ | Khaled Ahmadaali<sup>1</sup> |  
Aliakbar Nazari Samani<sup>1</sup>  | Maryam Yazdanparast<sup>2</sup>

1. Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran.  
Email: [mehghorbani@ut.ac.ir](mailto:mehghorbani@ut.ac.ir)
2. Social Business Institute, University of Tehran, Karaj, Iran.

### Article Info

**Article type:**  
Research Article

**Article history:**  
Received: 20 Nov. 2022  
Received in Revised from: 21 Jan. 2023  
Accepted: 24 Jan. 2023  
Published online: 22 Aug. 2023

**Keywords:**  
*Dynamic System Simulation,  
Land Use Changes,  
Socio-Economic Stimuli,  
Sustainable Development,  
Taleghan Watershed.*

### Abstract

Land use changes in countries like Iran, which are facing space limitations, should be thoughtful and in accordance with proper planning, just like water consumption. On the other hand, the inherent dynamism of human beings and their needs has influenced the way and extent of land use change over time. Therefore, the aim of this research is to dynamically model land use changes based on the human-environmental system in the Taleghan watershed. To achieve this purpose, land use maps for the years 1994, 1999, 2002, 2009, 2014, and 2019 were classified into six categories: pasture, forest, agricultural land, barren land, residential land, and water. This classification was done using Landsat satellite time series images. After validating the maps and detecting changes, simulation was carried out until 1435 using dynamic system modeling under three scenarios: current economic growth, rapid economic growth, and sustainable development. The results of detecting land use changes during the period show that the trend of changes in agricultural lands, pastures, and forests has been decreasing, while barren lands and residential areas have consistently shown an increasing trend. The simulation results indicate that among the three scenarios examined, the sustainable development scenario, which involves coordinating the amount of land utilization with meeting the needs of the community and economic growth, has been deemed acceptable. In conclusion, the sustainable development scenario serves as an important basis for land use planning in the coming years. It aims to reduce the destruction of natural resources and maintain a stable state, ultimately leading to favorable economic growth in the future.

**Cite this article:** Shad, R., Ghorbani, M., Ahmadaali, Kh., Nazari Samani, AA., Yazdanparast, M. (2023). Dynamic Modeling of Land Use Changes based on Human-Environmental System (Case Study: Taleghan Watershed). *Journal of Range & Watershed Management*, 76 (1), 133-148. DOI: <http://doi.org/10.22059/jrwm.2023.329508.1686>



## مدلسازی پویای تغییرات کاربری اراضی مبتنی بر نظام انسان - محیط زیست (مطالعه موردی: حوزه آبخیز طالقان)

رقیه شاد<sup>۱</sup> | مهدی قربانی<sup>۱\*</sup> | خالد احمدالی<sup>۱</sup> | علی اکبر نظری سامانی<sup>۱</sup> | مریم یزدان پرست<sup>۲</sup>

۱. گروه احیای مناطق خشک و کوهستانی، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج، ایران

رایانامه: [mehghorbani@ut.ac.ir](mailto:mehghorbani@ut.ac.ir)

۲. مؤسسه کسب و کار اجتماعی دانشگاه تهران، کرج، ایران

### چکیده

### اطلاعات مقاله

تغییرات کاربری اراضی در کشورهایی همچون ایران که با محدودیت فضا روبه‌رو است باید مانند مصرف آب با تفکر و مطابق با برنامه‌ریزی مناسب و به نحو مطلوب باشد. از سویی دیگر پویایی ذاتی بشر و نیازهای او، شیوه و میزان استفاده از زمین را در گذر زمان با تغییر و دگرگونی مواجه ساخته است. لذا هدف از این پژوهش مدل‌سازی پویای تغییرات کاربری اراضی مبتنی بر نظام انسان - محیط‌زیست در حوزه آبخیز طالقان می‌باشد. بدین منظور با استفاده از تصاویر سری زمانی ماهواره لندست، نقشه‌های کاربری اراضی برای سال‌های ۱۹۹۴، ۱۹۹۹، ۲۰۰۲، ۲۰۰۹، ۲۰۱۴ و ۲۰۱۹، در شش کلاس مرتع، جنگل، اراضی کشاورزی، اراضی بایر، مسکونی و آب طبقه‌بندی گردید. پس از صحت‌سنجی نقشه‌ها و آشکارسازی تغییرات، تحت سه سناریو رشد اقتصادی فعلی، رشد سریع اقتصادی و توسعه پایدار با استفاده از مدل‌سازی سیستم پویا، شبیه‌سازی تا سال ۱۴۳۵ انجام گردید. نتایج آشکارسازی تغییرات کاربری اراضی در طول دوره نشان می‌دهد که روند تغییرات اراضی کشاورزی، مراتع، جنگل، کاهشی بوده و اراضی بایر و منطقه مسکونی نیز در طول دوره بررسی همواره روندی افزایشی داشته است. نتایج حاصل از شبیه‌سازی نشان می‌دهد از بین سه سناریو موردبررسی، سناریو توسعه پایدار از هماهنگی بین میزان بهره‌برداری از زمین و تأمین نیازهای اجتماع و رشد اقتصادی قابل‌قبول برقرار بوده است. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت سناریو توسعه پایدار مبنای مهمی برای برنامه‌ریزی کاربری اراضی در سال‌های آتی جهت کاهش تخریب منابع طبیعی و حفظ حالت پایدار در آن است و این سناریو رشد اقتصادی مطلوبی را در آینده رقم می‌زند.

### نوع مقاله:

مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۸/۲۹

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۱۱/۰۱

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۱/۰۴

تاریخ انتشار: ۱۴۰۲/۰۵/۳۱

### کلیدواژه‌ها:

توسعه پایدار،

تغییرات کاربری اراضی،

حوزه آبخیز طالقان،

شبیه‌سازی سیستم پویا،

محرك‌های اقتصادی - اجتماعی.

**استناد:** شاد؛ رقیه، قربانی؛ مهدی، احمدالی؛ خالد، نظری سامانی؛ علی اکبر، یزدان‌پرست؛ مریم (۱۴۰۲). مدلسازی پویای تغییرات کاربری اراضی مبتنی بر نظام انسان - محیط زیست

(مطالعه موردی: حوزه آبخیز طالقان). نشریه مرتع و آبخیزداری، ۷۶(۲)، ۱۴۸-۱۳۳.

DOI: <http://doi.org/10.22059/jrwm.2023.329508.1686>



© نویسندگان.

ناشر: انتشارات دانشگاه تهران.

## ۱. مقدمه

یکی از مبانی مدیریت منابع طبیعی، اطلاعات مربوط به نقشه‌های تغییرات کاربری اراضی است که با توجه به هزینه بالا و به‌هنگام نبودن تهیه این نقشه‌ها به‌وسیله عملیات زمینی، در سال‌های اخیر استفاده از تصاویر ماهواره‌ای به‌عنوان روشی برای این کار مطرح شده است. سرعت تغییر اکوسیستم‌ها در سال‌های اخیر چنان شتاب زده صورت گرفته که امکان سازگاری موجودات زنده با تغییرات محیطی به‌سختی صورت می‌گیرد و این عارضه ناشی از عدم توجه به تغییرات کاربری اراضی و بهره‌برداری از منابع طبیعی بوده است (Nazari et al., 2010). تغییر کاربری زمین ممکن است خاک، آب و اتمسفر را تحت تأثیر قرار دهد و بنابراین به‌طور مستقیم به مسائل زیست‌محیطی مرتبط است. جنگل‌زدایی در مقیاس وسیع و متعاقب آن تغییر شکل اراضی کشاورزی در مناطق گرمسیری نمونه‌ای از تغییرات کاربری زمین با تأثیرات شدید بر تنوع زیستی، تخریب خاک و منابع مادی برای حمایت از نیازهای انسانی است (Koomen & Stillwell., 2007). کاربری زمین و تحولات مربوط به آن، نتیجه یک شبکه پیچیده تعامل بین نیروهای بیوفیزیکی و اجتماعی-اقتصادی در مکان و زمان است. در این راستا، مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار بر تغییر کاربری اراضی عبارت‌اند از: عوامل انسانی مانند اندازه و تراکم جمعیت، فناوری، سطح بارش‌ها، ساختار سیاسی، عوامل اقتصادی مانند سیستم خریدوفروش و ارزش زمین یا مالکیت و ارزش‌ها و عقاید حاکم (Dadashpoor & Zarei., 2016). تغییرات پوشش و کاربری زمین مبحثی مرتبط با نظام انسانی-محیطی می‌باشد که از تعامل بین محرکه‌های متفاوت پدید می‌آید. زمین دارای جنبه‌های گوناگون اجتماعی، اقتصادی و زیست‌محیطی می‌باشد که در تغییر کاربری زمین به‌عنوان عوامل محرک در نظر گرفته می‌شود. چگونگی تأثیر این محرک‌ها در فرآیند تغییر کاربری زمین از سؤالاتی است که از پیچیدگی این فرآیند ناشی می‌گردد (Dadashpoor & Zarei., 2016).

این برهم‌کنش‌ها بازخوردهایی دارند که بر تعاملات و توسعه‌های بعدی نیز اثر می‌گذارند (Amimi & Athare Nejadi., 2017). از این‌رو مدل‌ها می‌توانند ابزاری برای یادگیری پویایی و نیروهای محرک سیستم کاربری اراضی باشند (Zhai et al., 2020) و نشان دهند که با تقلید از مکانیسم‌های سببی و حلقه‌های بازخورد، چطور ممکن است تصمیمات مالکین زمین در جهت‌گیری آینده تأثیر بگذارد (Le et al., 2008). با این تعاریف، عوامل زیادی در تغییرات کاربری اراضی دخالت دارند که در یک تقسیم‌بندی کلی می‌توان آن‌ها را به عوامل جمعیتی (مانند پدیده مهاجرت از روستاها به شهرها و رشد جمعیت)، عوامل اقتصادی، عوامل بیوفیزیکی (مانند ارتفاع و جنس خاک)، عوامل اجتماعی (مانند سیاست‌ها) و عوامل فرهنگی تقسیم کرد (Ahmadlou & Delavar., 2015). از آنجایی که سیستم‌های زمینی پویا بوده و تحت تأثیر تعامل بین انسان و محیط‌زیست است. در نتیجه، نیروهای محرک سیستم اساساً از دو جنبه سرچشمه می‌گیرند: ۱. محرک‌های زیست‌محیطی ۲. محرک‌های اجتماعی-اقتصادی. جنبه اول، شامل تغییرات آب‌وهوا و فرآیندهای اکوسیستم است. جنبه دوم، محرک‌های اجتماعی-اقتصادی شامل رشد اقتصادی و افزایش جمعیتی است (Jiang et al., 2019). تجزیه و تحلیل سناریو به‌ویژه برای مطالعات بلندمدت که با طیف گسترده‌ای از تحولات احتمالی و عدم قطعیت‌های ضمنی سروکار دارند مناسب است. با توصیف سیستماتیک چندین دیدگاه جایگزین از آینده، می‌توان طیف گسترده‌ای از تحولات مکانی احتمالی را شبیه‌سازی کرد، بنابراین یک نمای کلی از تغییرات احتمالی استفاده از زمین ارائه می‌دهد (Koomen & Stillwell., 2007).

پویایی سیستم، مجموعه مفاهیم و ابزارهایی برای شناخت بهتر ساختار سیستم‌های پیچیده در اختیار ما قرار می‌دهد. طراحی سیاست‌های مؤثر، رسالت بنیان‌گذاران پویایی سیستم بوده است. علیت و بازخوردهای میان متغیرها در سیستم‌های پویا، اجزای پایه را می‌سازند. پویایی‌های سیستم، به‌عنوان یک رویکرد مدل‌سازی، متکی به سه جز مهم است: نخست، مفهوم حلقه‌های بازخورد شامل فرایندهای خودکاتالیز دوم، شبیه‌سازی کامپیوتری که به ما امکان استفاده از معادله‌های دیفرانسیل به‌عنوان روشی توصیفی می‌دهد و سوم، مفهوم مدل‌های ذهنی که امکان مشارکت افراد ذی‌ربط در بهره‌گیری از این پیکره‌های علم برای شناخت بهتر پدیده‌های مرتبط اجتماعی را میسر می‌سازد (Ghorbani, 2019). سرزمین یک بوم پویا است که سیستم‌های انسانی و طبیعی بر روی آن تأثیر می‌گذارند. شناخت بسیاری از عوامل مؤثر در تغییرات پوشش و کاربری زمین در پژوهش‌های بسیاری مورد توجه قرار گرفته است. اما اندازه‌گیری

مستقیم به‌تنهایی برای درک صحیح از نیروهایی که سبب تغییر می‌شوند کافی نیست، پیوند مشاهدات در طیف وسیعی از مقیاس‌های مکانی و زمانی با مدل‌های تجربی، یک رویکرد جامع برای درک تغییر پوشش زمین را فراهم می‌کند (Parker et al., 2003).

مدل‌های تغییر کاربری اراضی ابزاری برای پشتیبانی از تحلیل علل و عواقب تغییر کاربری اراضی به‌منظور درک بهتر عملکرد سیستم کاربری اراضی و حمایت از برنامه‌ریزی و سیاست استفاده از زمین است (Zhang et al., 2021). مدل‌ها جهت شناسایی مجموعه پیچیده‌ای از نیروهای اجتماعی - اقتصادی و بیوفیزیکی مفید هستند و برای تعیین سرعت و الگوی مکانی تغییرات کاربری زمین و برآورد اثرات تغییرات کاربری زمین مؤثر هستند. علاوه بر این، مدل‌ها می‌توانند از شناسایی تغییرات کاربری اراضی آینده تحت سناریوهای مختلف پشتیبانی کنند. به‌طور خلاصه، مدل‌های کاربری اراضی ابزاری مفید و قابل تکرار هستند که توانایی درک ما را برای تجزیه‌وتحلیل تغییر کاربری اراضی و تصمیم‌گیری آگاهانه‌تر تکمیل می‌کنند (Verburg et al., 2004).

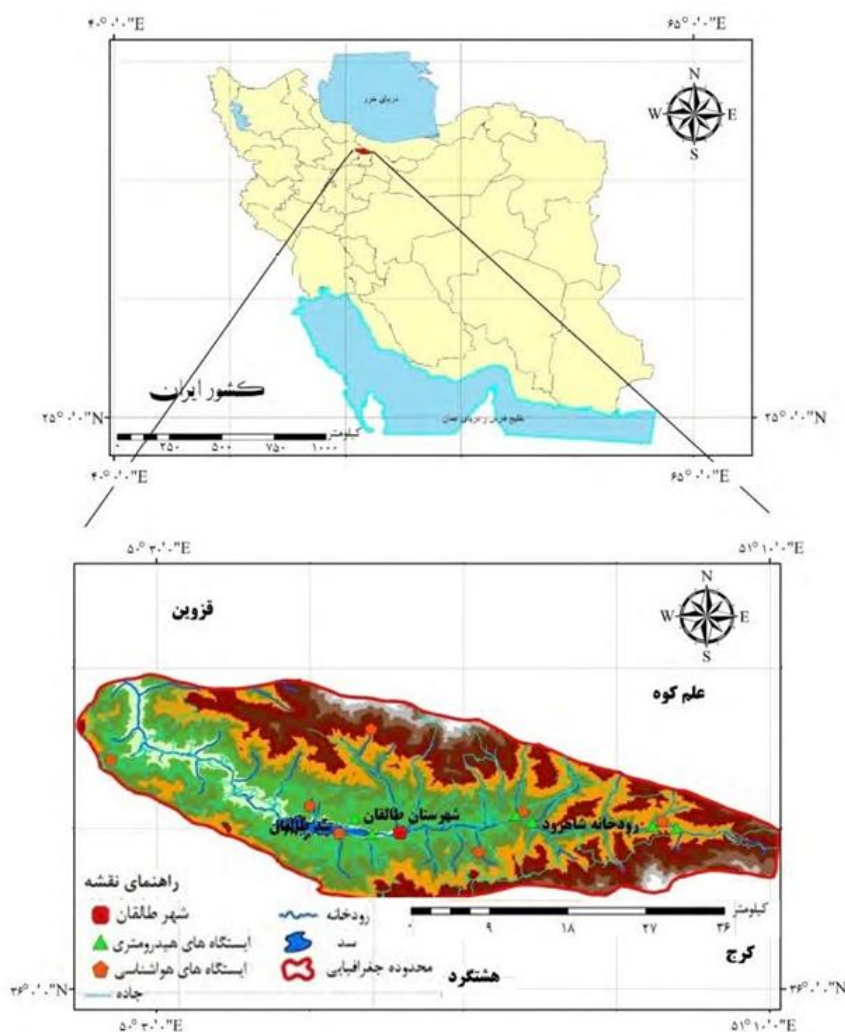
مطالعات بسیاری در داخل و خارج از کشور انجام شده است برای مثال، (Kamyab et al., 2012) برای شبیه‌سازی توسعه شهر گرگان از الگوریتم شبکه عصبی مصنوعی استفاده کردند. آن‌ها پس از بررسی تغییرات شهری طی بازه زمانی ۱۹۸۷ تا ۲۰۰۱ و با اعمال سه دسته متغیر بیوفیزیک، اجتماعی - اقتصادی و کاربری زمین، آینده رشد شهر گرگان را برای سال‌های ۲۰۱۰، ۲۰۲۰، ۲۰۳۰ و ۲۰۴۰ پیش‌بینی کردند. مشخص شد که از میان متغیرهای استفاده‌شده، متغیرهای کاربری زمین‌های کاشت شده، تعداد سلول‌های شهری و کاربری مرتعی بیشترین اثر را در دوره زمانی مطالعه شده و متغیرهای فاصله تا مراکز آموزشی، کاربری جنگل و زمین‌های بایر، کمترین اثر را بر رشد شهری گرگان داشته‌اند و به عبارتی، نوع کاربری منطقه بر توسعه شهری گرگان تأثیر زیادی داشته است. در پژوهش انجام‌شده در کلمبیا، تغییرات کاربری زمین به‌عنوان میان‌کنش بین محیط انسانی و طبیعی، با تأکید بر ساختار، عملکرد و اکوسیستم پویا شناخته‌شده است که در مقیاس‌های ملی، منطقه‌ای و محلی در سازماندهی اکولوژیک مطالعه می‌شود. در این پژوهش با مطالعه‌ی ویژگی‌های اقلیمی و اکولوژیکی، جمعیتی و اقتصادی منطقه‌ی کلمبیا در سه سطح ملی، منطقه‌ای و محلی، تأثیر عوامل مختلف موردبررسی قرار گرفته است. بر این اساس تأثیر داده‌های هر مقیاس به‌صورت سلسله‌مراتبی وارد مدل تحلیل‌شده و خروجی سطوح بالاتر در سطوح پایین‌تر تأثیر داده‌شده‌اند؛ و درنهایت نتیجه‌ی این مطالعه ارائه‌دهنده الگوی تأثیر محرک‌های تغییر کاربری زمین در منطقه‌ی کلمبیا بوده است (Viguié et al., 2014). به شبیه‌سازی پویایی مکانی و زمانی کاربری زمین در چین طی سال‌های ۲۰۱۵ - ۱۹۸۵ پرداختند. آن‌ها در پژوهش خود از مدل پویایی سیستم و مدل مارکف برای شبیه‌سازی کاربری زمین تحت سه سناریو توسعه سریع، توسعه پایدار و رویکرد حفاظت استفاده نمودند. مدل پویایی سیستم نتیجه مطلوبی را به دست آورد. فرآیندهای شبیه‌سازی نشان داد که عوامل اجتماعی و اقتصادی تأثیر زیادی در روند تغییرات کاربری زمین دارند. این مطالعه نشان داد که استفاده ترکیبی از مدل پویایی سیستم و مارکف به دلیل استفاده از بسیاری از فاکتورهای اجتماعی، سیاسی و اقتصادی سودمند است و در شبیه‌سازی سناریوهای کاربری زمین سناریو توسعه پایدار بهترین نتیجه را فراهم می‌کند (Célia et al., 2013). یک مدل شبیه‌سازی تغییر کاربری اراضی را بر اساس MAS پیشنهاد دادند و انواع مختلفی از عوامل هوشمند را برای شبیه‌سازی تغییر کاربری اراضی در منطقه سرادو برزیل ساختند. چنین مدل‌هایی وضعیت اجتماعی و اقتصادی محلی را کاملاً در نظر می‌گیرند و می‌توانند پویایی پیچیده و مکانی تغییر کاربری اراضی را شبیه‌سازی کنند.

با توجه به این‌که اگر روند تغییرات کاربری اراضی سریع و بدون برنامه‌ریزی صحیح باشد سبب بروز اختلال در تعادل زیست‌محیطی می‌شود و اکوسیستم طبیعی را با خطرات و مشکلات جدی مواجه می‌سازد در همین راستا برنامه‌ریزی آگاهانه و تعیین سیاست‌های استفاده از زمین ضرورت می‌یابد و می‌تواند ابزاری راهگشا در جهت حفظ پایدار منابع طبیعی و خدمات آن باشد. در این راستا، هدف از پژوهش حاضر تحلیل رفتار محرک‌های مؤثر انسانی - محیطی و تعیین نقش نظام انسان - محیط‌زیست بر پویایی تغییرات کاربری اراضی حوزه آبخیز طالقان در استان البرز می‌باشد.

## ۲. مواد و روش‌ها

### ۲-۱. منطقه مورد مطالعه

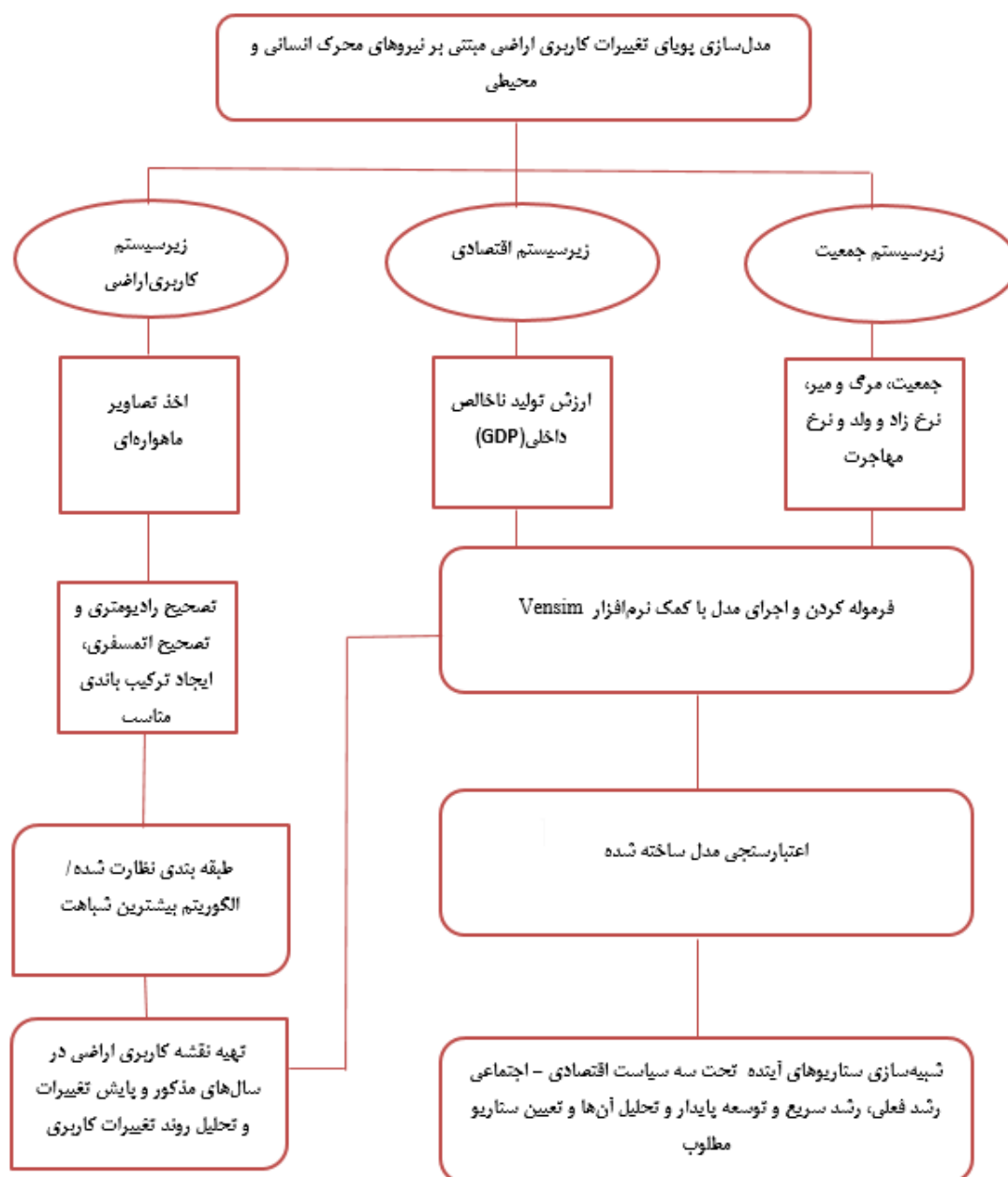
حوزه آبخیز طالقان یکی از زیر حوزه‌های مهم سفیدرود به شمار می‌رود که در ارتفاعات جنوبی البرز مرکزی در ۱۲۰ کیلومتری شمال غرب تهران قرار دارد. شهرستان طالقان که یکی از شهرستان‌های استان البرز است، در میان دره بزرگی در رشته‌کوه البرز واقع شده و کل حوزه دارای مساحت ۱۲۰۰ کیلومترمربع می‌باشد. حوزه آبخیز طالقان بین عرض‌های جغرافیایی  $36^{\circ}04'46''$  تا  $36^{\circ}07'20''$  و بین طول‌های جغرافیایی  $50^{\circ}36'01''$  تا  $51^{\circ}11'19''$  قرار دارد (شکل ۱) و بیشترین و کمترین ارتفاع منطقه به ترتیب ۴۲۹۹ و ۱۶۷۴ متر می‌باشد. میانگین بارش سالانه حوزه آبخیز طالقان ۶۶۰ میلی‌متر و دمای سالانه آن نیز ۱۰/۵ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. رودخانه طالقان در مرکز این حوزه از گردنه عسلک در غرب کندوان سرچشمه می‌گیرد و به سمت غرب در جریان است (Salimi et al., 2015). منطقه دارای کوهستان‌های بسیار مرتفع و در بعضی موارد صعب‌العبور است و مرتفع‌ترین آن‌ها در حد کوه‌های نزارکوه در شمال حوزه با ارتفاع بیش از ۴۳۰۰ متر بالاتر از سطح دریاهای آزاد واقع گردیده است. ارتفاع متوسط منطقه ۲۶۵۶/۲ متر از سطح دریا است (Ghorbani et al., 2010).



شکل ۱. موقعیت حوزه آبخیز طالقان در استان البرز

## ۲-۲. روش پژوهش

فرآیند پژوهش در شکل (۲) نشان داده شده است.



شکل ۲. فرآیند اجرا پژوهش

## ۲-۲-۱. شناسایی نیروهای محرک

در این تحقیق بر اساس در دسترس بودن داده‌ها و طبقه‌بندی نیروهای محرک، اجزای اصلی سیستم را ساده کرده و این مؤلفه‌ها در سه سیستم گروه‌بندی گردید: (۱) سیستم کاربری اراضی (۲) سیستم جمعیت و (۳) سیستم اقتصادی (Yu et al., 2011).

## ۲-۲-۱-۱. سیستم کاربری اراضی

جهت بررسی تغییرات کاربری اراضی در حوزه آبخیز طالقان، در گام اول تصاویر ماهواره‌ای مناسب در بازه‌های زمانی موردنظر (۲۰۱۹-۱۹۹۴) برای سال‌های ۱۹۹۴، ۱۹۹۹، ۲۰۰۲، ۲۰۰۹، ۲۰۱۴ و ۲۰۱۹ ماهواره لندست تهیه شد و جهت آماده‌سازی تصاویر برای پردازش، ابتدا عملیات تصحیحات رادیومتریک و سپس تصحیحات اتمسفری بر روی تصاویر موردنظر انجام گرفت. سپس برای هر یک از شش تصویر، طبقه‌بندی پیکسل پایه (الگوریتم بیشترین شباهت)، کاربری‌های زمین به شش نوع اعمال شد: مراتع، منطقه مسکونی، سطوح آبی، اراضی کشاورزی، جنگل و اراضی بایر، در این فرآیند پس از تعیین کلاس‌های کاربری اراضی، نمونه‌های آموزشی برای هر کدام از کلاس‌ها به تعداد موردنیاز جمع‌آوری شد. در برداشت نمونه‌های آموزشی سعی شد تا نمونه‌های آموزشی از پراکنش مناسبی در سطح تصویر برخوردار باشند. موقعیت دقیق و پراکندگی مناسب مناطق آموزشی در سرتاسر تصویر، شانس اینکه این مناطق نمایانگر کل تغییرات پدیده‌های زمینی باشد را افزایش می‌دهد. در نهایت نقشه کاربری اراضی با الگوریتم بیشترین شباهت استخراج و تضمین صحت طبقه‌بندی انجام شد.

## ۲-۲-۱-۲. سیستم جمعیت

در این سیستم از متغیرهای جمعیت، نرخ تولد، نرخ مرگ‌ومیر و نرخ مهاجرت استفاده شد. اطلاعات مربوط به این بخش از سالنامه‌های آماری موجود در سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی استان البرز تهیه گردید.

## ۲-۲-۱-۳. سیستم اقتصادی

شاخص اقتصادی مورد استفاده در این تحقیق محصول ناخالص داخلی می‌باشد که به اختصار GDP<sup>۱</sup> نامیده می‌شود که این شاخص معیاری برای اندازه‌گیری تولید است. محصول ناخالص داخلی را می‌توان ارزش کلیه کالاها و خدماتی در نظر گرفت که برای مصارف نهائی مختلف داخلی یا برای صادرات در دسترس قرار می‌گیرند. محصول ناخالص داخلی از رابطه ۱ به دست می‌آید (Yu et al., 2011):

$$\text{GDP} = \text{صادرات} - \text{واردات} + \text{تشکیل سرمایه ناخالص} + \text{مصرف نهائی} \quad (\text{رابطه ۱})$$

## ۲-۲-۲. مدل‌سازی پویای سیستم

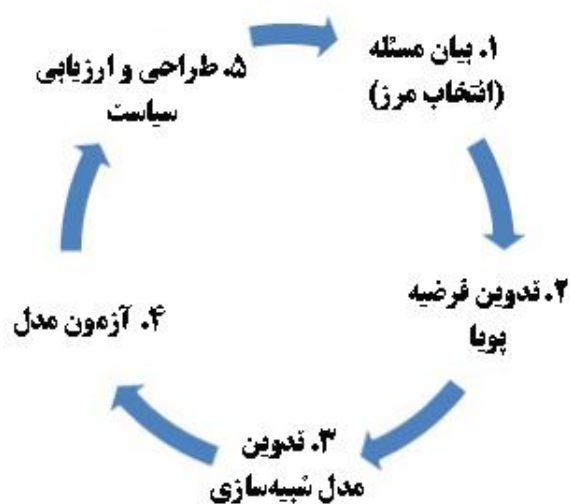
در گام نهایی، پویایی کاربری اراضی مبتنی بر نظام انسان - محیط‌زیست تحت سناریوهای مختلف بررسی می‌شود. روش مورد استفاده برای مدل‌سازی در این پژوهش، روش پویایی سیستم است. پویایی سیستم روشی برای تحلیل و بررسی موقعیت فعلی و تغییرات آتی است که می‌تواند به صورت کارآمد در تصمیم‌گیری و مدیریت کمک کند. در عصر حاضر ثابت شده است که دیگر رویکردهای خطی و یک‌جانبه نگر در مورد مسائل مطرح در سیستم‌های اقتصادی و اجتماعی و طبیعی کارآمد نیست لذا، تفکر سیستمی، رویکردی مؤثر برای پاسخ به مسائل پیچیده می‌باشد.

مدل‌سازی یک فرآیند بازخوردی بوده و به صورت توالی خطی مرحله‌ای نمی‌باشد. مدل‌ها از مراحل تکرار، پرسش مداوم، آزمون و اصلاح و بهبود می‌گذرند، فرآیند مدل‌سازی در شکل (۳) نشان داده شده است (Babaei Meybodi, 2015).

در این پژوهش، بعد از شناسایی نیروهای محرک اصلی و استخراج مقادیر آن‌ها، مدل پویایی سیستم با کمک نرم‌افزار Vensim ایجاد شد. ورودی این مدل پویایی سیستم شامل داده‌های آماری اجتماعی - اقتصادی چند زمانه و اطلاعات کاربری اراضی می‌باشد. در نهایت با استفاده از این مدل، سناریوهای آینده تحت سه سیاست اقتصادی - اجتماعی زیر پیش‌بینی گردید:

۱. رشد اقتصادی فعلی
۲. رشد سریع اقتصادی
۳. توسعه پایدار

<sup>۱</sup>.Gross Domestic Product



شکل ۳. فرآیند مدل سازی

### ۳. یافته‌های پژوهش

با انتقال تصویر طبقه‌بندی‌شده به محیط ArcGIS در قالب لایه وکتوری و انجام مراحل آماده‌سازی؛ مساحت هریک از کلاس‌های کاربری بر اساس واحد کیلومتر مربع در جدول (۱) نشان داده شده است. که بیانگر کاهش سطح اراضی کشاورزی، مراتع و جنگل‌ها و در مقابل افزایش سطح اراضی بایر و مسکونی در طول دوره آماری مورد مطالعه است. همچنین نتایج ارزیابی دقت طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای مطابق با جدول (۲) می‌باشد. میزان ضریب کاپا در سال ۱۹۹۹ به میزان ۰/۸۱ درصد بوده و نسبت به پنج تصویر دیگر بیشترین دقت را دارد. همچنین تصاویر مربوط به سال‌های ۲۰۰۹ و ۲۰۱۹ نیز با ضریب کاپا ۰/۷۵ درصد دارای کمترین میزان ضریب کاپا در بین شش تصویر بوده، اما به‌طور کلی، میزان ضریب کاپا در هر شش تصویر دارای مقدار قابل قبول می‌باشد. میزان دقت کلی در سال ۲۰۰۹ (۸۶/۶۰ درصد) حداکثر و در سال ۱۹۹۴ (۷۵/۲۵ درصد) حداقل بوده و به‌طور کلی در شش تصویر میزان این شاخص نشان‌دهنده دقت مناسب طبقه‌بندی می‌باشد. شکل (۴) نقشه کاربری اراضی حوزه را در سال ۲۰۱۹ نشان می‌دهد.

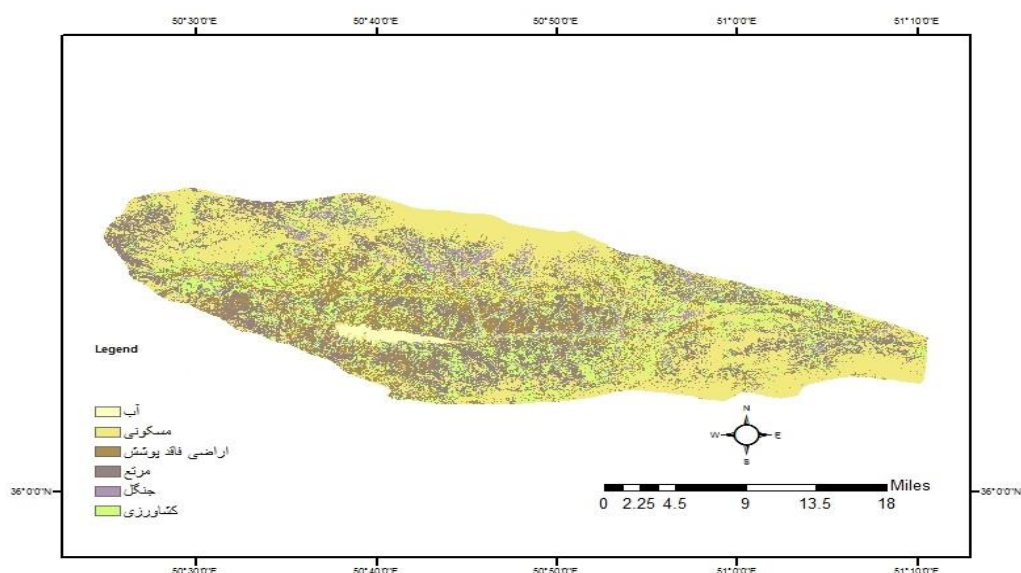
جدول ۱. مساحت کلاس‌های طبقه‌بندی‌شده از سال ۱۹۹۴ الی ۲۰۱۹

سال	مساحت انواع کاربری اراضی (کیلومتر مربع)					
	کشاورزی	مرتع	جنگل	اراضی بایر	آب	مسکونی
۱۹۹۴	۱۶۹/۷	۵۰۸/۲	۲۰۴/۲۳	۳۲۷/۴۹	۰	۰/۴۵۶
۱۹۹۹	۱۵۲/۸	۴۹۹/۳	۱۹۴/۵۰	۳۶۳/۴۰	۰	۰/۴۹۲
۲۰۰۲	۱۴۱/۴	۴۸۸/۴۰	۱۸۷/۲۷	۳۹۲/۷۴	۰	۰/۵۲۱
۲۰۰۹	۱۲۴/۸۳	۳۵۷/۴۶	۱۹۷/۴۲	۵۲۳/۶۵	۱۱/۶۴	۰/۵۹۷
۲۰۱۴	۱۲۱/۸۳	۳۴۸/۳۰	۱۸۹/۶۰	۵۳۹/۳۰	۱۱/۸۶	۰/۶۳۹
۲۰۱۹	۱۲۶/۳۱	۳۴۶/۹۸	۱۸۷/۳۰	۵۴۱/۷۰	۱۱/۷۲	۰/۸۹۳



جدول ۲. دقت طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای در سال‌های مختلف

سال	ضریب کاپا	دقت کلی (درصد)
۱۹۹۴	۰/۷۸	۷۵/۲۵
۱۹۹۹	۰/۸۱	۸۵/۳۵
۲۰۰۲	۰/۷۶	۸۰/۵۵
۲۰۰۹	۰/۷۵	۸۶/۶۰
۲۰۱۴	۰/۸۰	۷۹/۷۸
۲۰۱۹	۰/۷۵	۸۲/۹۷



شکل ۴. نقشه کاربری اراضی حوزه آبخیز طالقان در سال ۲۰۱۹

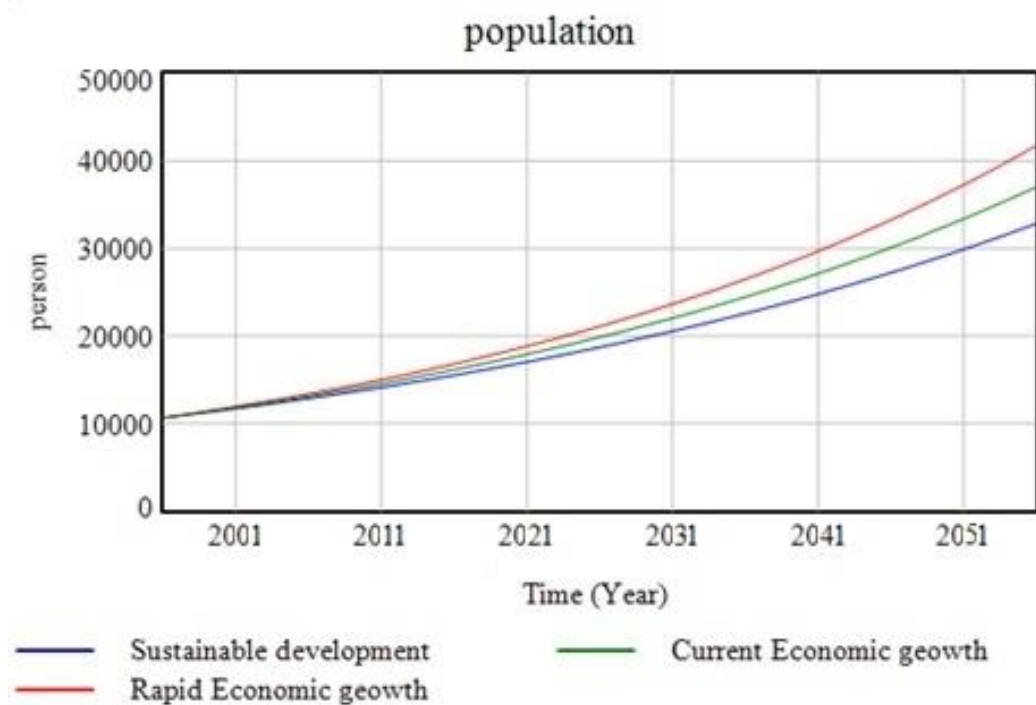
### ۳-۱. نتایج حاصل از مدل‌سازی پویای سیستم

برای درک بهتر از رفتار سیستم باید روابط بین متغیرهای سیستم تدوین شود و با استفاده از رایانه، مقدار متغیرها در طول زمان شبیه‌سازی شود. در این تحقیق با استفاده از روش تست ساختار اعتبارسنجی مدل انجام شد. همچنین RE<sup>۱</sup> کمتر از ۱۰ درصد است، که نشان‌دهنده دقت مدل‌سازی نسبتاً بالا (یعنی بیشتر از ۹۰ درصد) می‌باشد (Yu et al., 2011).

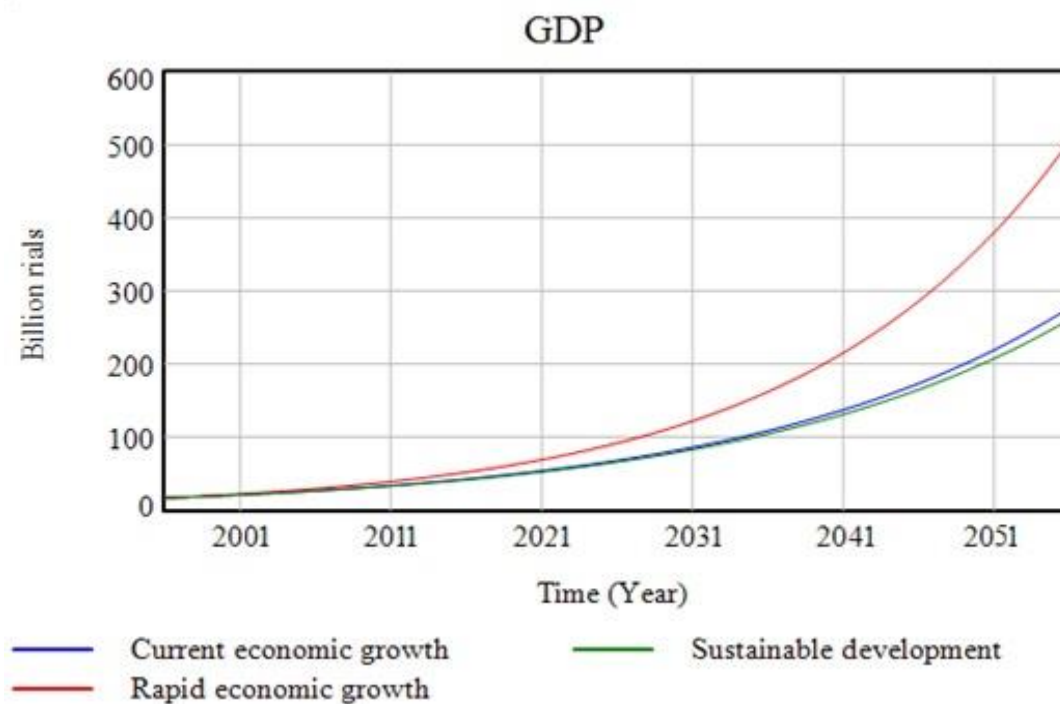
نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد که تحت سیاست‌های مختلف اقتصادی - اجتماعی، درآمد آینده با تغییر مواجه شده و تغییرات کاربری اراضی و جمعیت به‌طور قابل‌توجهی متفاوت خواهد بود. نتایج شبیه‌سازی سناریوهای سه‌گانه برای جمعیت، تولید ناخالص داخلی، اراضی جنگلی، اراضی کشاورزی، مراتع و اراضی مسکونی به ترتیب در شکل‌های ۵ تا ۱۰ ارائه شده است.

شکل (۵) نشان می‌دهد که مساحت اراضی کشاورزی از ۱۶۹/۷ کیلومتر مربع در سال ۱۹۹۴ به ۱۲۶/۳۱ کیلومتر مربع در سال ۲۰۱۹ رسیده است.

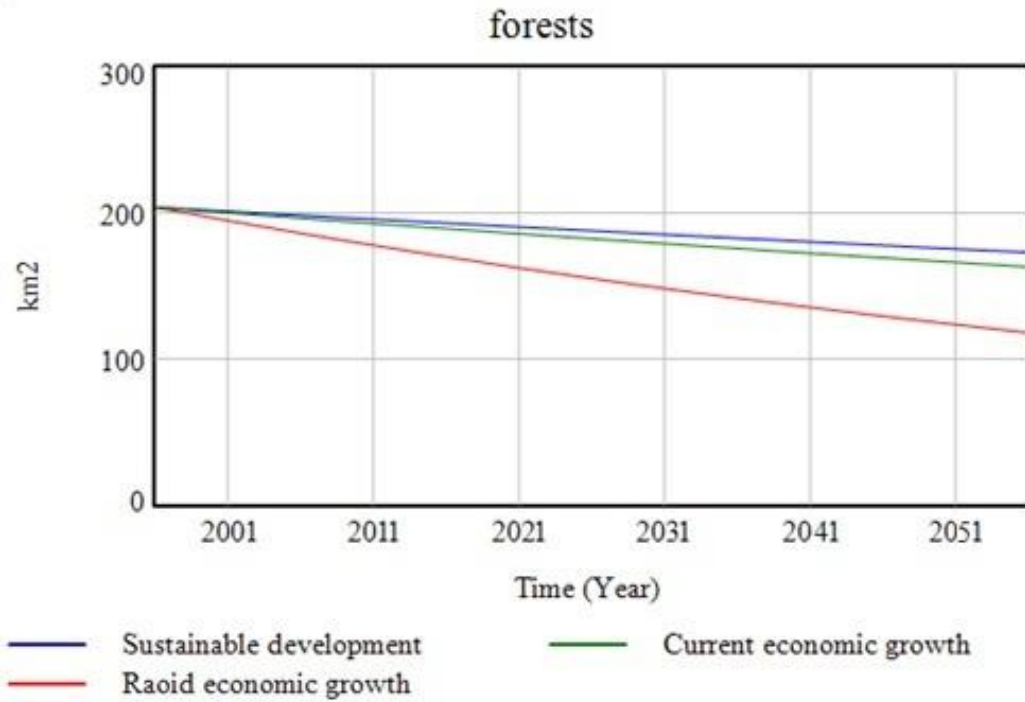
<sup>۱</sup>.Relative Errors



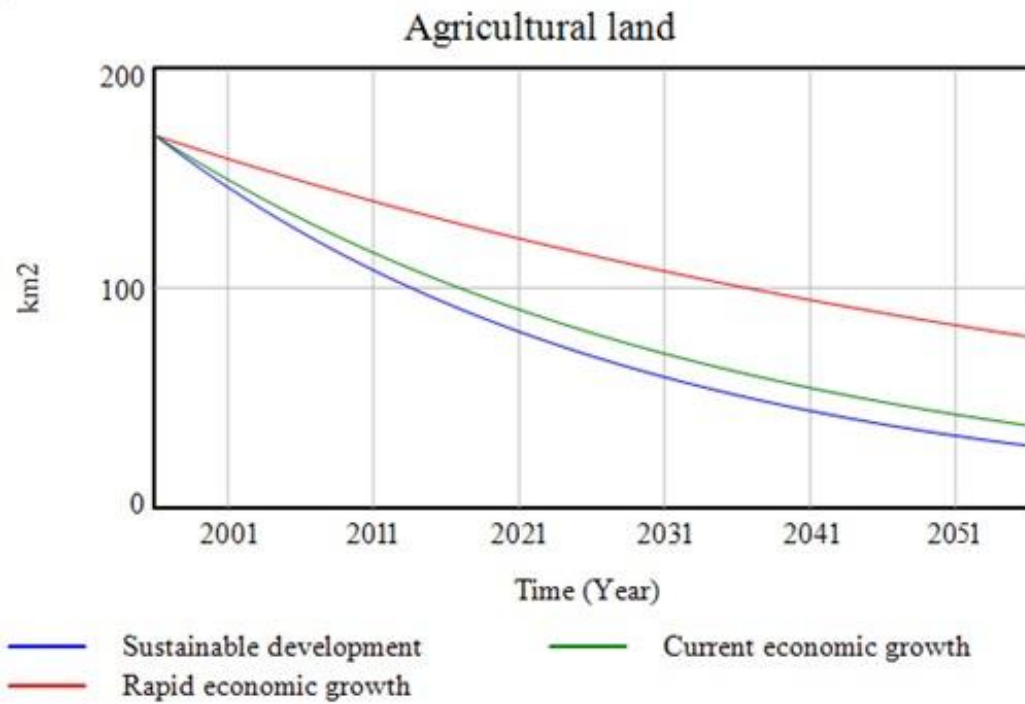
شکل ۵. نمودار شبیه‌سازی جمعیت در سناریوهای سه‌گانه



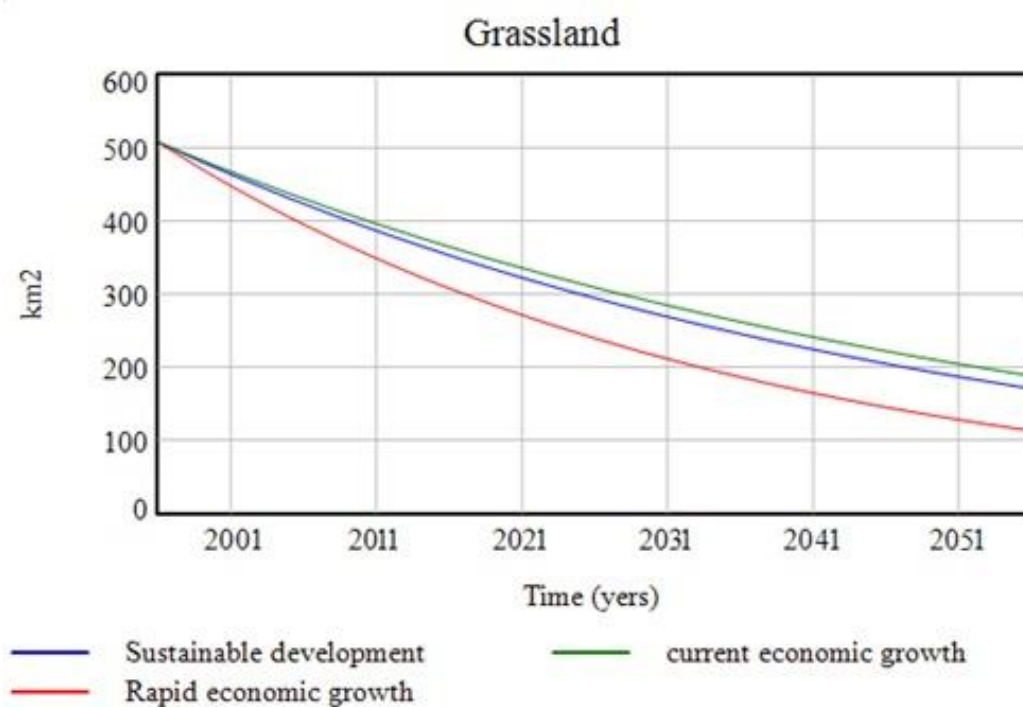
شکل ۶. نمودار شبیه‌سازی تولید ناخالص داخلی در سناریوهای سه‌گانه



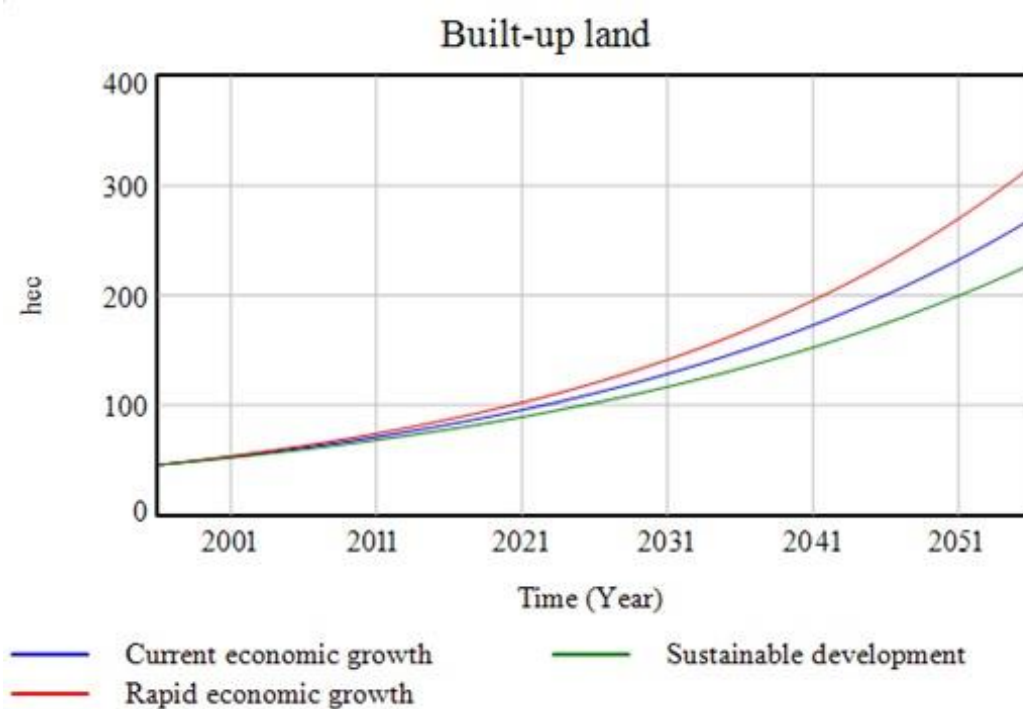
شکل ۷. نمودار شبیه‌سازی اراضی جنگلی در سناریوهای سه‌گانه



شکل ۸. نمودار شبیه‌سازی اراضی کشاورزی در سناریوهای سه‌گانه



شکل ۹. نمودار شبیه‌سازی مراتع در سناریوهای سه‌گانه



شکل ۱۰. نمودار شبیه‌سازی اراضی مسکونی در سناریوهای سه‌گانه

بر اساس سیاست رشد اقتصادی فعلی با در نظر گرفتن مقدار GDP معادل مقدار میانگین ۲۰ سال گذشته و مقادیر ثابت برای سایر پارامترها، نتایج نشان می‌دهد که اراضی مسکونی، تولید ناخالص داخلی، جمعیت همچنان افزایش می‌یابد، درحالی‌که وسعت جنگل‌ها، اراضی کشاورزی و مراتع به‌طور قابل‌توجهی کاهش می‌یابد.

بر اساس سیاست رشد اقتصادی سریع با در نظر گرفتن مقدار GDP معادل مقدار میانگین ۱۰ سال گذشته و ثابت در نظر گرفتن پارامترهای دیگر، نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد که وسعت اراضی مسکونی و تولید ناخالص داخلی به همراه کل جمعیت به‌طور قابل‌توجهی افزایش می‌یابد. در راستای هماهنگ شدن با شتاب مستمر اقتصادی، روند شهرنشینی سرعت می‌یابد و وسعت زمین‌های کشاورزی، جنگل‌ها و مراتع در این حالت توسعه کاهش می‌یابد، بنابراین تعارضات موجود بین محیط‌های انسانی و طبیعی تشدید می‌شود.

همچنین نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد که تحت سیاست توسعه پایدار با در نظر گرفتن مقدار GDP معادل مقدار میانگین ۲۰ سال گذشته، نرخ رشد طبیعی جمعیت و اعمال سیاست‌های پهنه‌بندی برای کنترل تغییرات کاربری اراضی، افزایش سطح اراضی مسکونی و کاهش سطح جنگل‌ها، اراضی کشاورزی و مراتع به‌طور مؤثری کنترل می‌شود. علاوه بر این، کل جمعیت اندکی افزایش خواهد داشت و تولید ناخالص داخلی حدوداً همان سطحی که در سیاست رشد اقتصادی فعلی دارد را حفظ خواهد کرد.

#### ۴. بحث و نتیجه‌گیری

کاربری اراضی یکی از مهم‌ترین جنبه‌های بررسی مدیریت منابع طبیعی و بازنگری تغییرات محیطی است. در این تحقیق با استفاده از قابلیت فناوری سنجش‌ازدور تغییرات کاربری اراضی حوزه آبخیز طالقان در بازه زمانی (۲۰۱۹-۱۹۹۴) با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست مورد پایش قرار گرفت. نتایج حاصل از طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای نشان داد که روند کلی تغییرات اراضی کشاورزی کاهشی می‌باشد که با نتایج (Kiani et al., 2013) مطابقت دارد. روند تغییرات مراتع در تمام طول دوره بررسی (۲۰۱۹-۱۹۹۴) کاهشی بوده که با نتایج (Akbari & Kuhbanani., 2010 & Henry et al., 2003) هم‌خوانی دارد. تغییرات جنگل از سال ۲۰۰۹ تا ۲۰۱۹ روند کاهشی داشته است و روند کلی تغییرات کاهشی می‌باشد. نتایج حاصل از نتایج (Sardashti et al., 2010) مطابقت دارد. روند تغییرات اراضی بایر در تمام طول دوره بررسی (۲۰۱۹-۱۹۹۴) افزایشی بوده که نشان‌دهنده تخریب پوشش گیاهی مترکم و درختی و تبدیل آن به زمین‌های بایر می‌باشد. بنابراین می‌توان گفت که هر چه توان اکولوژیک کاربری‌های اراضی کاهش یابد نرخ تغییرات به اراضی بایر افزایش می‌یابد. نتایج حاصل از نتایج (Akbari & Kuhbanani., 2010 & Ghorbani et al., 2010) هم‌خوانی دارد. سطوح آبی در طول دوره بررسی تغییر قابل‌توجهی نداشته است. تغییرات اراضی مسکونی از سال ۱۹۹۴ تا ۲۰۱۹ همواره روند افزایشی داشته است که نشانگر مداخله انسان در اکوسیستم طبیعی بوده و باعث ایجاد تغییرات زیست‌محیطی می‌گردد. نتایج حاصله از این قسمت با نتایج (Kiani et al., 2013; Sardashti et al., 2015 & Yu et al., 2011) مطابقت دارد.

تحت سناریو رشد اقتصادی فعلی، اقتصاد و جمعیت در حوزه آبخیز طالقان به رشد خود ادامه می‌دهند. اما، این رشد با تخریب منابع طبیعی و زمین همراه است زیرا مناطق جنگلی، مراتع و اراضی کشاورزی به‌شدت کاهش می‌یابد. این حالت توسعه با هزینه زیاد و سود کم همراه است و پایدار نیست. نتایج حاصل از نتایج (Yu et al., 2011) مطابقت دارد.

سناریو رشد اقتصادی سریع منجر به توسعه کوتاه‌مدت و رشد اقتصادی بالا می‌شود. تخریب منابع طبیعی منجر به ایجاد مشکلات جدی میان ذی‌نفعان می‌شود و ممکن است بحران کشاورزی رخ دهد. این گسترش نشان‌دهنده یک حالت توسعه با تعهد بالا و توان عملیاتی بالا، اما با ریسک بالا در حفظ تعادل و پایداری منابع طبیعی است که با نتایج هم‌خوانی و مطابقت دارد.

سناریو توسعه پایدار همراه با رشد آهسته جمعیت و تغییرات کاربری‌ها نسبتاً پایدار و آهسته است. این سناریو می‌تواند به‌منظور کاهش تعارضات میان استفاده پایدار از زمین و نیازهای اجتماعی موردتوجه قرار گیرد. نتایج حاصل از شبیه‌سازی سناریو توسعه پایدار با

نتایج (Yu et al., 2011) در کشور چین همخوانی دارد. بنابراین سناریو توسعه پایدار مبنای مهمی برای برنامه‌ریزی کاربری اراضی در سال‌های آتی جهت کاهش تخریب منابع طبیعی و حفظ حالت پایدار در آن است. اگر روند تغییرات کاربری اراضی سریع و بدون برنامه‌ریزی مناسب جهت کاهش اثرات آن بر محیط‌زیست باشد و فقط مبحث توسعه سریع اقتصادی و بهره‌برداری هر چه بیشتر از منابع طبیعی مدنظر قرار بگیرد زمینه‌ساز بروز اختلالات زیست‌محیطی گسترده می‌گردد و اکوسیستم طبیعی را با مشکلات عدیده‌ای مواجه می‌سازد، لذا مطالعه و مدل‌سازی شرایط محتمل در آینده تحت سناریوهای مختلف توسعه ضروری است و می‌تواند ابزاری راهگشا در جهت حفظ منابع طبیعی برای نسل‌های آینده و حفظ پایداری خدمات ارزشمند آن باشد. باید اظهار داشت مدل‌سازی تنها استراتژی‌های موجود و نتایج هر یک را نمایان می‌سازد و گزینش یک استراتژی بر عهده مسئولین ذی‌ربط می‌باشد بنابراین با شبیه‌سازی سناریوهای آینده توسط مدل پویای سیستم می‌توان به اتخاذ تصمیمات مطلوب‌تر در راستای حفاظت از منابع طبیعی یاری رساند.

نتایج پژوهش حاضر در مدل‌سازی پویای کاربری اراضی مبتنی بر نظام انسان-محیط‌زیست در حوزه آبخیز طالقان نشان داد که سناریو رشد اقتصادی فعلی با تخریب منابع طبیعی همراه است و نمی‌تواند گزینه مناسبی برای توسعه باشد زیرا در این شرایط توسعه‌ای خدمات اکوسیستم طبیعی به‌صورت مداوم تأمین نخواهد شد و درنهایت می‌توان اظهار داشت این سناریو شرایط مطلوب و پایداری را ارائه نمی‌دهد. سناریو رشد اقتصادی سریع باعث افزایش کوتاه‌مدت رشد اقتصادی می‌شود و این حالت توسعه به دلیل فشار بر منابع طبیعی استمرار بلندمدتی نداشته و باعث ایجاد مشکلات گسترده میان ذی‌نفعان می‌گردد. در این حالت توسعه پایداری منابع طبیعی رعایت نمی‌شود و این امر سبب تخریب اکوسیستم طبیعی می‌شود. در سناریو توسعه پایدار هماهنگی بین میزان بهره‌برداری از زمین و تأمین نیازهای اجتماع و رشد اقتصادی قابل‌قبول برقرار بوده است و این حالت توسعه سبب تخریب منابع طبیعی نمی‌گردد و نظم اکوسیستم را مختل نمی‌کند و پایداری خدمات اکوسیستم در این حالت حفظ می‌شود و همچنین به اصل استفاده پایدار از منابع در جهت تأمین رفاه نسل‌های حال و آینده توجه می‌گردد. بنابراین سناریو توسعه پایدار مبنای مهمی برای برنامه‌ریزی کاربری اراضی در سال‌های آتی جهت کاهش تخریب منابع طبیعی و حفظ حالت پایدار در آن است.

با توجه به نتایج حاصل از این پژوهش، به‌منظور مدیریت بهینه منابع طبیعی و کاهش آسیب وارده به محیط‌زیست و همچنین کاهش اثرات مخرب توسعه بی‌رویه در آینده، پیشنهاد می‌شود سایر عوامل اجتماعی و اقتصادی مؤثر در تغییرات کاربری اراضی در شهرستان طالقان نیز مورد بررسی قرار گیرد و در مدل‌سازی لحاظ گردد. همچنین پیشنهاد می‌شود در بررسی تغییرات کاربری اراضی شهرستان طالقان از تصاویر با دقت مکانی و طیفی بالاتر و همچنین روش‌های طبقه‌بندی مختلف استفاده گردد و از آنجاکه در آشکارسازی تغییرات کاربری اراضی، هم‌زمان بودن تصاویر ماهواره‌ای بسیار حائز اهمیت است پیشنهاد می‌شود تا حد ممکن از تصاویر هم‌زمان استفاده شود. همچنین از در دسترس بودن سری زمانی تصاویر مربوط به منطقه مورد مطالعه در طی بازه‌های زمانی مدنظر پیش از آغاز پژوهش اطمینان حاصل شود. درنهایت با توجه به اهمیت موضوع تغییرات کاربری اراضی و نحوه استفاده از این اکوسیستم ارزشمند پیشنهاد می‌گردد نهادهای تصمیم‌گیرنده در این زمینه با توجه به پیامدهای انواع سناریوها، در راستای دستیابی به اهداف توسعه پایدار سیاست‌های خود را بهبود بخشند.

## Reference

- Ahmadlou, M., & Delavar, M. R. (2015). Multiple Land Use Change Modeling Using Multivariate Adaptive Regression Spline and Geospatial Information System. *Journal of Mapping science and techniques*, 5 (2), 131-146. (In Persian)
- Akbari, E., & Kuhbanani, H. (2010). Land use changes and its investigation with population changes using satellite image processing techniques and GIS case study: Balataleghan watershed. The 2th National Scientific Conference of Geography Students. Tabriz. (In Persian)

- Amini, P., & Athare Nejadi, V. (2017). Predicting future dynamics of landscape structure within protected areas using CA-Markov model (Case study: Dizmar protected area). *Journal of Physical Geography Research Quarterly*, 48 (4), 661-674. (In Persian)
- Babaei Meybodi, H. (2015). Designing a regional development foresight model with the approach of basic scenario planning and dynamic system (case study: Yazd province). Phd Thesis. Tarbiat Modares University. (In Persian)
- Célia G. Ralha, Carolina G. Abreu, Cássio G.C. Coelho, Alexandre Zagheto, Bruno Macchiavello, & Ricardo B. Machado. (2013). A multi-agent model system for land-use change simulation, *Journal of Environmental Modelling & Software*, 42, 30-46.
- Dadashpoor, H., & Zarei, A. (2016). An Analysis into Human Drives of Land Use Changes in Chaloos County. *Journal of Geographical Planing of Space Quarterly*, 6 (20), 17-34.
- Ghorbani, M. (2019). *Environmental Literacy in Science and Society*. University of Tehran press.
- Ghorbani, M, Nazari Samani, A., & Kohbanani, H.R. (2010). Assesment of Landuse Changes In Taleghan Watershed. The 4th international congress of geographers of the Islamic world. Zahedan. Iran.
- He, C., Okada, N., Zhang, Q., Shi, P., & Zhang, J. (2006). Modeling urban expansion scenarios by coupling cellular automata model and system dynamic model in Beijing, China. *Journal of Applied Geography*, 26, 323-345.
- Henry, S., Boyle, P., & Lambin, E. F. (2003). Modelling inter-provincial migration in Burkina Faso, West Africa: the role of socio-demographic and environmental factors. *Journal of Applied Geography*, 23(2-3), 115-136.
- Jiang, H., Xu, X., Guan, M., Wang, L., Huang, Y., & Liu, Y. (2019). Simulation of spatiotemporal land use changes for integrated model of socioeconomic and ecological processes in China. *Journal of Sustainability*, 11(13), 3627.
- Kamyab, H. R., Salman Mahiny, A., Hoseini, S.M & Gholamalifard, M. (2011). Using Neural Network For Urban Growth Modeling (Case Study: Gorgan City). *Journal of Geographical Research*, 43 (76), 99-113.
- Kiani, V., Fegghi, J., Nazari Samani, A., & Alizadeh Shabani, A. (2013). Detecting vegetation and land use changes using remote sensing Case study: Taleqan district. *Journal of Scientific- Research Quarterly of Geographical Data (SEPEHR)*, 22(87), 29-31.
- Koomen, E., & Stillwell, J. (2007). Modelling land-use change. In *Modelling land-use change* (pp. 1-22). Springer, Dordrecht.
- Le, Q. B., Park, S. J., Vlek, P. L., & Cremers, A. B. (2008). Land-Use Dynamic Simulator (LUDAS): A multi-agent system model for simulating spatio-temporal dynamics of coupled human-landscape system. I. Structure and theoretical specification. *Journal of Ecological Informatics*, 3(2), 135-153.
- Nazari Samani, A., Ghorbani, M & Kohbanani, H.R. (2010). Landuse Changes In Taleghan Watershed From 1987 To 2001. *Journal of Rangeland*, 4(3), 442-451. (In Persian)
- Parker, D. C., Manson, S. M., Janssen, M. A., Hoffmann, M. J., & Deadman, P. (2003). Multi-agent systems for the simulation of land-use and land-cover change: a review. *Annals of the association of American Geographers*, 93(2), 314-337.
- Salimi, N., Fatemi Aghda, M., Teshnehlab, M & Sharafi Y. (2015). Landslide Hazard Zonation in Taleghan watershed by using intelligent systems (Gaussian radial basis function and multilayer perceptron artificial neural networks). *Journal of Geological engineering*, 10 (3), 3601-3626. (In Persian)
- Sardashti, M., Qanawati, I., Rezaian, P., & Morshidi, J. (2010). Revealing land use changes in Taleghan watershed from 1987-2002 using Landsat satellite images and remote sensing. *Geomatics Conference*, Tehran.
- Verburg, P. H., Schot, P. P., Dijst, M. J., & Veldkamp, A. (2004). Land use change modelling: current practice and research priorities. *GeoJournal*, 61(4), 309-324.
- Viguié, V., Hallegatte, S., & Rozenberg, J. (2014). Downscaling long term socio-economic scenarios at city scale: a case study on Paris. *Journal of Technological forecasting and social change*, 87, 305-324.

Yu, W., Zang, S., Wu, C., Liu, W., & Na, X. (2011). Analyzing and modeling land use land cover change (LUCC) in the Daqing City, China. *Journal of Applied Geography*, 31(2), 600-608.

Zhai, R., Zhang, C., Li, W., Zhang, X., & Li, X. (2020). Evaluation of Driving Forces of Land Use and Land Cover Change in New England Area by a Mixed Method. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 9(6), 350.

Zhang, Y., Xie, H., Zeng, X., & He, Y. (2021). Sustainable land use and management research: a scientometric review. *Landscape Ecology*, 35(11), 2381-2411.