Advanced Environmental Sciences ***(Adv. Environ. Sci.)*** **2025, 23(3):767-788** **ISSN: 2588-6177**

Original Article

Evaluating Land Use under Climate Change by System Dynamics in Kohgiluyeh and Boyer Ahmad Provinces

Received: 2024.10.26
Accepted: 2024.11.23

Dariush Jahanshahi,[1]* Seyed Nematollah Mousavi,[1] Ayatollah Karami[2]

[1] Department of Agricultural Economics, Marvdasht Branch, Islamic Azad University, Marvdasht, Iran

[2] Department of Rural Development, Yasouj University, Yasouj, Iran

EXTENDED ABSTRACT

Introduction: Land use change represents a dynamic and multidimensional phenomenon shaped by a complex interplay of socio-economic, political, and climatic drivers. These transformations exert profound influences on the integrity of natural resources, the stability of food systems, the quality of the environment, and the broader trajectory of sustainable development. Land use systems are inherently complex, featuring numerous interdependent components and intricate feedback mechanisms—both reinforcing and balancing—that govern their evolution over time. Traditional analytical methods often fall short in capturing such systemic complexity and temporal dynamics. In this context, System Dynamics (SD) has emerged as a robust and effective methodology for modeling and analyzing complex adaptive systems characterized by feedback loops, delays, and nonlinear relationships. Its capacity to simulate long-term behavior makes SD particularly well-suited for investigating land use change dynamics and anticipating future trajectories under varying scenarios.

Materials and Methods: This research applied the System Dynamics approach to explore land use behavior in Kohgiluyeh and Boyer-Ahmad Province, located in southwestern Iran. A comprehensive causal-loop and stock-and-flow model was constructed based on a synthesis of multi-source data, including official statistical records, satellite-derived remote sensing imagery, and supplementary field observations. The model incorporated key state variables such as total population, agricultural land area, rangeland coverage, forested zones, surface water bodies, total water demand, and critical climatic indicators—specifically annual precipitation and average temperature. To ensure model credibility, a dual validation strategy was implemented: behavioral validation, which involved comparing simulated outputs against empirical data from the 2010–2020 period, and structural validation, which examined the internal consistency, logical coherence, and plausibility of the causal relationships embedded within the model architecture.

Results and Discussion: The validation process confirmed a strong alignment between observed historical trends and model-generated simulations, thereby supporting the model's reliability. Simulation results indicated a clear and direct linkage among population growth, escalating water demand, and the expansion of agricultural activities. Under a medium climate change scenario—reflecting moderate shifts in temperature and precipitation patterns—the model projected a continued increase in both forested and cultivated areas. Conversely, rangelands are anticipated to undergo significant contraction due to the combined pressures of human-induced land conversion and adverse climatic conditions. The expansion of agriculture intensifies reliance on water resources, resulting in heightened extraction from both surface and groundwater systems and a consequent notable decline in the area of lakes, rivers, and other water bodies. Critically, the convergence of declining vegetation cover, reduced rainfall, rising temperatures, accelerated urban sprawl, and population growth may initiate a self-reinforcing cycle of environmental degradation. This negative feedback loop could amplify land degradation and exacerbate water scarcity in the coming decades. Given these projections, the necessity of adopting scientifically informed, adaptive, and integrated land and water management strategies becomes evident.

Conclusion: The findings highlight an urgent imperative for intelligent, forward-looking natural resource management and meticulous spatial planning at the provincial level. Unregulated transformation of ecologically sensitive lands—especially rangelands and forests—into agricultural, industrial, or residential zones, without due consideration of hydroclimatic limits and water sustainability, poses a serious threat of triggering irreversible environmental crises. Consequently, future policy frameworks must be firmly rooted in principles of ecological sustainability, prioritizing the conservation of natural ecosystems and the efficient, equitable use of water resources. This study reaffirms the value of System Dynamics as an integrative modeling tool capable of supporting evidence-based decision-making in land use planning and climate resilience strategies.

Keywords: Simulation, Complexity and Dynamics, Land Use Planning, Resource Management, Water.

How to cite this article:
Jahanshahi, D., Mousavi, S.N. and Karami, A., 2025. Evaluating Land Use under Climate Change by System Dynamics in Kohgiluyeh and Boyer Ahmad Provinces. Adv. Environ. Sci. 23(3): 767-788.

* **Corresponding Author Email Address:** dariush.jahanshahi@miau.ac.ir
DOI: 10.48308/envs.2024.1450

Copyright: © 2025 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

علوم محیطی نوین، ۷۸۸-۷۶۷ : (۳) ۲۳، ۱۴۰۴ شاپا: ۶۱۷۷-۲۵۸۸

مقاله پژوهشی

کاربرد پویایی‌شناسی سیستم در ارزیابی کاربری اراضی تحت شرایط تغییر اقلیم در استان کهگیلویه و بویر احمد

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۸/۰۵
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۹/۰۳

داریوش جهانشاهی[1]* ، سید نعمت الله موسوی[1]، آیت اله کرمی[2]

[1] گروه اقتصاد کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد مرودشت، مرودشت، ایران

[2] گروه توسعه روستایی، دانشگاه یاسوج، یاسوج، ایران

چکیده مبسوط

سابقه و هدف: تغییرات در کاربری زمین یکی از پدیده‌های پویا و چندبعدی در سطح جهانی و محلی محسوب می‌شود که تحت تأثیر عوامل متعددی از جمله عوامل اقتصادی، اجتماعی، سیاسی و همچنین متغیرهای اقلیمی قرار دارد. این تغییرات نه تنها بر منابع طبیعی، بلکه بر امنیت غذایی، کیفیت محیط زیست و پایداری توسعه تأثیر مستقیم دارند. در سیستم‌های کاربری زمین، روابط متقابل پیچیده‌ای بین اجزای مختلف سیستم وجود دارد که اغلب شامل بازخوردهای مثبت و منفی هستند. به همین دلیل، برای درک جامع از رفتار این سیستم‌ها، نیاز به روش‌هایی است که قادر به مدل‌سازی این پیچیدگی‌ها و تعاملات پویا باشند. در این میان، روش پویایی‌شناسی سیستم‌ها (System Dynamics)به‌عنوان یک رویکرد قدرتمند برای تحلیل سیستم‌های پیچیده و دارای بازخورد در طول زمان شناخته می‌شود.

مواد و روش: در این پژوهش، با هدف بررسی رفتار سیستم کاربری اراضی در استان کهگیلویه و بویراحمد، از روش پویایی‌شناسی سیستم‌ها استفاده شد. ابتدا با جمع‌آوری داده‌های آماری، سنجش از دور و اطلاعات میدانی، مدلی جامع از سیستم کاربری اراضی استان طراحی گردید. این مدل شامل متغیرهای کلیدی مانند جمعیت، سطح زراعی، مساحت مراتع، مناطق جنگلی، پیکره‌های آبی، تقاضای آب و عوامل اقلیمی (بارش و دما) بود. سپس، برای اعتبارسنجی مدل، از آزمون‌های رفتاری و ساختاری بهره گرفته شد. آزمون رفتاری با مقایسه روندهای مشاهده‌شده در بازه زمانی ۲۰۱۰ تا ۲۰۲۰ با نتایج شبیه‌سازی انجام شد، در حالی که آزمون ساختاری با بررسی منطق داخلی مدل و ارتباطات علّی بین متغیرها صورت پذیرفت.

نتایج و بحث: یافته‌های این مطالعه نشان داد که بین روندهای واقعی و شبیه‌سازی‌شده همبستگی بالایی وجود دارد که گویای اعتبار مدل است. نتایج شبیه‌سازی بیانگر رابطه مستقیمی بین رشد جمعیت، تقاضای آب و گسترش کشاورزی در استان است. در شرایط سناریوی اقلیمی میانه (بر اساس پیش‌بینی‌های تغییر اقلیم)، مناطق جنگلی و زراعی روند گسترشی خود را ادامه خواهند داد، در حالی که مراتع تحت فشار عوامل انسانی و اقلیمی، کاهش چشمگیری خواهند یافت. همچنین، با افزایش سطح زراعی، تقاضا برای آب افزایش یافته و منجر به برداشت بیشتر از منابع آب زیرزمینی و سطحی می‌شود. در نتیجه، مساحت پیکره‌های آبی استان روند نزولی قابل توجهی را تجربه می‌کند. کاهش پوشش گیاهی و منابع آبی، در ترکیب با کاهش بارش و افزایش دما، می‌تواند چرخه‌ای منفی از تخریب محیط زیست را در پی داشته باشد. با توجه به کاهش سطح پوشش گیاهی و پیکره آبی که ناشی از کاهش بارندگی و افزایش دما، افزایش جمعیت و گسترش شتابان مناطق مسکونی در سال‌های آینده است، ضرورت مدیریت صحیح و برنامه‌ریزی دقیق برای استفاده از شیوه‌های صحیح بهره‌برداری منابع آب، خودداری از تبدیل بی‌رویه‌ی اراضی منابع طبیعی به اراضی کشاورزی و واحدهای صنعتی، مسکونی الزامی است.

نتیجه‌گیری: با توجه به روندهای پیش‌بینی‌شده، مدیریت هوشمند منابع طبیعی و برنامه‌ریزی دقیق در سطح استانی ضرورتی اجتناب‌ناپذیر است. این مطالعه هشدار می‌دهد که تبدیل بی‌رویه اراضی منابع طبیعی (مانند مراتع و جنگل‌ها) به کاربری‌های کشاورزی، صنعتی و مسکونی بدون در نظر گرفتن محدودیت‌های اقلیمی و منابع آبی، می‌تواند به بحران‌های زیست‌محیطی جدی منجر شود. بنابراین، سیاست‌گذاری‌های آینده باید بر پایه اصول پایداری، حفظ اکوسیستم‌های طبیعی و استفاده بهینه از منابع آب استوار باشد.

واژه‌های کلیدی: شبیه سازی، پیچیدگی و پویایی، برنامه ریزی کاربری اراضی، مدیریت منابع، آب.

استناد به این مقاله: *جهانشاهی، د.، س.ن. موسوی و آ. کرمی. ۱۴۰۴. کاربرد پویایی‌شناسی سیستم در ارزیابی کاربری اراضی تحت شرایط تغییر اقلیم در استان کهگیلویه و بویر احمد. فصلنامه علوم محیطی نوین. ۲۳(۳): ۷۶۷-۷۸۸.*

* **Corresponding Author Email Address:** dariush.jahanshahi@miau.ac.ir
DOI: 10.48308/envs.2024.1450

Copyright: © 2025 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

مقدمه

زمین به‌عنوان اصلی‌ترین منابع پایه هر کشور توان اکولوژیک محدودی برای استفاده انسان دارد و استفاده نادرست از سرزمین و بهره‌برداری خارج از توان و پتانسیل زمین و آب یکی از اصلی‌ترین عوامل به خطر افتادن محیط‌زیست و نابودی منابع جوامع است. تغییر کاربری و پوشش گیاهی در طی تاریخ در ابتدا به علت رشد جمعیت، پیشرفت تکنولوژی و فرصت‌های اقتصادی صورت گرفته و دخالت انسان به‌طور مشخصی تعداد زیادی از اکوسیستم‌ها را تغییر داده است (Moran *et al.,* 2011). امروزه رشد جمعیت از یک‌سو و محدودیت منابع از سوی دیگر دست‌اندرکاران توسعه را با شگفتی مواجه ساخته است. تغییرات کاربری زمین، به‌طور عمده از عواملی مانند اقتصاد جهانی و اقلیم تأثیر می‌پذیرد و مسائلی مانند تغییرات جمعیتی و سیاست‌های محلی، در کنار عوامل یادشده، نقش تعیین‌کننده‌ای بر آن دارند (Ronizi *et al.,* 2022). در حال حاضر نیاز کشورهای درحال‌توسعه مانند ایران به زمین و منابع طبیعی در کنار سرمایه و نیروی انسانی در راستای نیل به توسعه اقتصادی امری ضروری است (Zarandian *et al.,* 2023). نرخ رشد بالای جمعیت در چنین کشورهایی تقاضا برای زمین را برای مسائلی همچون امنیت غذایی، تأمین مسکن و فعالیت‌های تولیدی و صنعتی بیش‌ازپیش پراهمیت ساخته است. از طرف دیگر در مورد همه منابع اقتصادی و عوامل تولید مانند زمین، نمی‌توان مسئله کمیابی را نیز نادیده گرفت. در چنین شرایطی زمین کشاورزی و منابع طبیعی مانند جنگل‌ها و مراتع جزو اولویت‌های نخست، همواره در معرض تهدید و تغییر قرار دارند (Song *et al.,* 2018). بی‌تردید منابع طبیعی تجدیدشونده و وضعیت آن در سیر تحولات اقتصادی و اجتماعی جوامع مختلف جهان پیوسته نقش اساسی و سازنده داشته و این منابع سرمایه‌های طبیعی و پشتوانه رشد و توسعه اقتصادی در هر کشوری محسوب می‌شوند. از سوی دیگر اراضی منابع طبیعی (جنگل و مرتع) و کشاورزی به‌واسطه ارائه کالا و خدمات زیست‌محیطی و اکولوژیکی و منافعی که برای رفاه افراد جامعه دارند بسیار باارزش بوده و هرگونه تغییر یا تبدیل در آن باعث خسارت‌های زیادی به جامعه می‌گردد (Ye *et al.,* 2021).

به‌طورکلی تغییرات در استفاده از زمین دارای روندی پویا است و عوامل زیادی در طول زمان بر آن اثرگذارند (Shen *et al.,* 2009). سیستم کاربری زمین شامل تعامل عوامل مختلف است و عدم قطعیت در روابط خطی و غیرخطی این عوامل، بررسی و ارزیابی مسائل و مشکلات در این زمینه را پیچیده کرده است (Liu *et al.,* 2020). افزایش میزان مصرف و تقاضا، جمعیت، تقاضا برای مواد غذایی، تغییر آب‌وهوا، تغییر در میزان برداشت از منابع همگی عواملی هستند که در طول زمان و به‌صورت مرتبط با یکدیگر بر سیستم کاربری زمین یک منطقه تأثیر می‌گذارند (Haghani *et al.,* 2003). همچنین استفاده‌کنندگان از زمین به هم مرتبط بوده و استفاده از زمین در یک بخش سایر بخش‌ها را هم تحت تأثیر قرار می‌دهد. لذا تصمیم‌گیری و یادگیری اثربخش در دنیای با پیچیدگی فزاینده، نیازمند تفکر سیستمی است (Aspinal and Staiano, 2017). تفکر سیستمی ارائه‌کننده یک درک عمیق‌تر از مشکلات است و کل سیستم و تعاملات بین اجزای سیستم را در نظر می‌گیرد. تفکر سیستمی روش‌ها و تکنیک‌هایی را فراهم می‌کند تا با اعمال تفکر علی غیرخطی به برنامه‌ریزی و حل مسائل پیچیده بپردازد. در اصل، تفکر سیستمی از طریق تشکیل زیرسیستم‌ها و لحاظ نمودن اجزای مرتبط، به حل مسائل می‌پردازد. بطوریکه درنهایت تمامی این اجزا به‌صورت واحد و یک مجموعه کلی در نظر گرفته می‌شوند (Debolini *et al.,* 2018).

Parker *et al.* (2003) روش پویایی‌شناسی سیستم را ابزاری مؤثر برای تحلیل روابط در سیستم‌های پیچیده

معرفی کردند. شبیه‌سازی‌های دینامیک امکان مشاهده رفتار سیستم و واکنش آن به تغییرات زمان را فراهم می‌کنند و تعاملات انسان و محیط را نشان می‌دهند. در تفکر سیستمی، ورودی، خروجی، پردازش و بازخورد اجزا در کنار هم بررسی می‌شود تا مدیران بتوانند الگوها و ساختارها را درک کنند Olivera *et al.* (2019) تغییرات کاربری اراضی در زیستگاه پامپا برزیل را در دو دوره ۱۹۷۵-۱۹۹۵ و ۱۹۹۶-۲۰۰۶ تحلیل کردند. در این مطالعه از روش‌های اقتصاد سنجی و داده‌های سری زمانی استفاده شد. Saadin and Afifi (2022) با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی، تغییرات کاربری اراضی در عسلویه را طی ۳۰ سال بررسی کردند و نشان دادند که بیشترین تغییر در ناحیه آبی و بیشترین کاهش در ناحیه گیاهی بوده است. Wang *et al.* (2022) با ترکیب داده‌های GIS و پویایی‌شناسی سیستم، کاربری اراضی و ذخیره کربن را تحت تأثیر تغییرات اقلیمی در چین شبیه‌سازی کردند. در این مطالعه تاکید شد که روش پویایی شناسی سیستم روش مناسبی برای مشارکت ذینفعان و گروه‌های مختلف در برنامه ریزی است. این امر باعث می‌شود که نظرات و پیشنهادات مختلف مورد توجه قرار گیرد. Girma *et al.* (2022) با استفاده از تصاویر لندست و شبکه‌های عصبی در اتیوپی به بررسی تغییرات کاربری اراضی پرداختند و متوجه شدند که این سیستم کاربری زمین از پویایی زیادی برخوردار است. Zhang *et al.* (2023) با استفاده از شبکه‌های عصبی نقشه کاربری اراضی پکن را استخراج کردند و ضریب همبستگی میان مقادیر واقعی و پیش‌بینی‌شده ۰/۹۷ بود. در ایران، Bahmanpouri *et al.* (2023) تأثیر تغییر اقلیم بر کاربری اراضی استان فارس را با استفاده از روش پویایی شناسی سیستم بررسی کردند و نشان دادند که در ۳۰ سال آینده، اراضی مسکونی و مناطق بلااستفاده افزایش و اراضی کشاورزی، پوشش جنگلی، مرتعی و مناطق آبی نیز روند نزولی داشته است. بررسی مطالعات گذشته نشان داد که از روش‌های متفاوتی برای مطالعه کاربری زمین استفاده شد. آنچه در این مطالعات مورد تاکید قرار گرفت آن است که این روش برای مدلسازی و تحلیل سیستم‌های پیچیده و غیرخطی که شامل تعاملات متعددی هستند بسیار مناسب هستند. این روش این امکان را برای کاربر فراهم می‌کند تا تغییرات در زمان و مکان را به طور دینامیک تحلیل کنند. این ویژگی کمک می‌کند تا تغییرات در کاربری اراضی در طول زمان بهتر درک شوند و روندهای مربوط به آن شناسایی شوند. این روش می‌تواند به شناسایی و تحلیل راهکارهایی برای دستیابی به توسعه پایدار در حوزه کاربری اراضی کمک کند، به ویژه در جایی که تعارضات میان استفاده‌های مختلف از اراضی وجود دارد.

با توجه به وضعیت موجود و تأثیرات منفی رشد جمعیت و تغییرات آب‌وهوا، می‌توان گفت مدیریت کاربری زمین و اطمینان از این‌که نسل‌های آتی نیز امکان تولید کالا و خدمات (ازجمله امکان تولید غذا) برای تأمین اهداف خود داشته باشند، موضوع بسیار جدی پیش روی سیاست‌گذاران در تمامی استان‌های کشور ازجمله کهگیلویه و بویراحمد است. در برخورد با این مشکلات و برنامه‌ریزی برای آینده نیاز به یک مدل جامع مدیریت کاربری زمین است که بتواند تقاضای زمین در بخش‌های مختلف ازجمله کشاورزی را در آینده برآورد و اثرات متغیرهایی همچون رشد جمعیت، توسعه اقتصادی و تغییرات آب‌وهوا را بر کاربری‌های مختلف زمین ارزیابی نماید. به‌عبارت‌دیگر نیاز به مدلی است که بتواند به ما در پاسخگویی به سؤال زیر کمک نماید. رفتار سیستم کاربری زمین و متغیرهای کلیدی ازجمله پیکره آبی، مساحت جنگل و مرتع در آینده با تغییر شرایط جمعیتی و آب و هوایی چگونه است. به‌منظور پاسخگویی به این‌چنین سؤالاتی، آگاهی از روابط بین پارامترهای اجتماعی - اقتصادی، هیدرولوژی و زراعی در سطوح مختلف محلی، منطقه‌ای و ملی به‌منظور بررسی و مدیریت پایدار منابع

فیزیکی آب و زمین، و ارائه راهکارهای تطبیقی مناسب برای مقابله با تغییرات آب‌وهوا بسیار حائز اهمیت است. این امر در قالب مدیریت یکپارچه و سیستمی کاربری زمین قابل‌اجراست که در راستای تضمین استفاده پایدار از منابع زمین می‌باشد و سیستم‌های مختلف طبیعی و انسانی که در روابط متقابل با یکدیگرند را در نظر می‌گیرد. به طور خلاصه در این مطالعه تلاش شد تا ابتدا بر اساس اطلاعات جمع آوری شده و مصاحبه با کارشناسان و خبرگان در حوزه‌های کشاورزی و منابع طبیعی یک مدل سیستمی در چارچوب پویایی شناسی سیستم طراحی شود. در ادامه از مدل طراحی شده به منظور شبیه سازی رفتار متغیرهای کاربری‌های مختلف (کشاورزی، مرتع، جنگل، شهری، پیکره آبی) در شرایط پایه و همچنین شرایط آب و هوایی مختلف استفاده شود. مطالعه رفتار کاربری اراضی می‌تواند به سیاست گذاران و برنامه ریزان در مدیریت پایدار منابع کمک نماید.

مواد و روش

روش پویایی‌شناسی سیستم

روش پویایی‌شناسی سیستم، روشی برای مطالعه و مدیریت سیستم‌های پیچیده و بازخوردی است (Kotir *et al.* 2016) که به تحلیل الگوهای رفتاری و ساخت مدلی نزدیک به واقعیت کمک می‌کند (Sterman, 2001). این روش با تمرکز بر بازخوردها، مفهوم ذخیره-جریان و تأخیر زمانی متمایز می‌شود (Ford, 1999). فرآیند مدل‌سازی این روش شامل چهار مرحله است: تعریف مسئله، فرمول‌بندی، ارزیابی و آزمون مدل، و استفاده از آن برای تحلیل سناریوها. اعتبارسنجی مدل پس از ایجاد آن ضروری است و شامل آزمون‌های ساختاری و رفتاری می‌شود تا اطمینان حاصل شود که مدل با داده‌های واقعی سازگار است. در نهایت، مدل‌های معتبر می‌توانند برای پیش‌بینی اثرات سیاست‌های مختلف و تحلیل رفتار سیستم در طول زمان مورد استفاده قرار گیرند.

الگوی پویایی‌شناسی کاربری زمین

در این مطالعه تلاش شد تا ضمن طراحی یک مدل سیستمی، رفتار متغیرهای کلیدی برای دوره ۲۰۲۱-۲۰۴۰ شبیه سازی شود. پیش از فرمول‌بندی تعیین فهرستی از متغیرهای کلیدی مسئله دارای اهمیت است. تعیین عوامل کلیدی ارتباط مستقیم با اهداف مطالعه دارد. به بیان دیگر، با توجه به اهداف مدل‌سازی متغیرهای تأثیرگذار بر مسئله فهرست‌بندی و به گروه‌های متغیرهای درون‌زا و برون‌زا تقسیم می‌شوند. انتخاب متغیرها به هدف مدل‌سازی و سیاست‌هایی که ارزیابی تأثیرات آن‌ها مدنظر مدل‌ساز است، بستگی خواهد داشت (Ford, 1999). مدل‌هایی که به شبیه‌سازی کاربری و پوشش اراضی می‌پردازند (Liu *et al.*, 2017; Yang *et al.*, 2020)، تأکید بر درآمد و نرخ رشد آن در زیر سیستم اقتصادی، جمعیت و نرخ رشد آن در زیر سیستم جمعیت است، مساحت جنگل و مرتع در زیرسیستم زیست محیطی و مساحت مناطق مسکونی در زیر سیستم اجتماعی دارند. همچنین در این مطالعات برای ارزیابی سناریوهای اقلیمی از متغیرهایی همچون میزان بارش ومیانگین دما در مدل استفاده شده است (Bottero *et al.*, 2020). بنابراین مدل توسعه‌یافته در این تحقیق شامل چهار زیرسیستم به نام‌های جمعیت، کشاورزی، آب و جنگل و مرتع است. این زیرسیستم‌ها برای تحلیل و پیش‌بینی تأثیر عوامل مختلف بر محیط و اکوسیستم طراحی‌شده‌اند. زیرسیستم جمعیت بر تجزیه‌وتحلیل روندهای جمعیتی و تأثیر آن‌ها بر محیط‌زیست متمرکز است. زیرسیستم کشاورزی برای ارزیابی تأثیر شیوه‌های کشاورزی بر محیط‌زیست طراحی شده است. زیرسیستم آب در دسترس بودن و استفاده از منابع آب در منطقه موردمطالعه را تجزیه‌وتحلیل می‌کند. درنهایت، زیرسیستم جنگل و مرتع، تأثیر کاربری اراضی، شیوه‌های مدیریتی و تغییرات آب و هوایی را بر اکوسیستم‌های جنگلی و مرتعی ارزیابی می‌کند. با ادغام این زیرسیستم‌ها، مدل درک جامعی از مسائل

زیست‌محیطی و اکولوژیکی در منطقه موردمطالعه ارائه می‌دهد (Wang *et al.,* 2022). در جداول ۱ الی ۵ متغیرهای مورد استفاده در هر زیرسیستم معرفی شدند. تقاضای آب تحت تأثیر عوامل مختلفی ازجمله جمعیت است (Susnik *et al.,* 2012). سیستم کاربری زمین عمدتاً تحت تأثیر جمعیت است (Wang *et al.,* 2022)، که تأثیر مستقیمی بر تقاضای آب خانگی و تأثیر غیرمستقیم بر سایر منابع تقاضای آب دارد (Atherton, 2013). با افزایش جمعیت، تقاضا برای غذا افزایش می‌یابد که منجر به تغییر در تقاضا برای زمین‌های کشاورزی و استخراج منابع آب سطحی و زیرزمینی می‌شود. این تغییرات پیامدهای قابل‌توجهی برای مدیریت منابع آب و پایداری سیستم‌های تأمین آب دارد. رابطه بین رشد جمعیت، تغییرات کاربری زمین و تقاضای آب، نیاز به برنامه‌ریزی و مدیریت دقیق منابع آب را برای رفع نیازهای جمعیت در حال رشد و درعین‌حال تضمین حفظ منابع طبیعی برجسته می‌کند. متغیر جمعیت کل جمعیت مطالعه موردی را در بر می‌گیرد و یکی از اجزای آن سهام "جمعیت" است که با نرخ رشد جمعیت در حال گسترش است. جمعیت در زمان t از نظر ریاضی با معادله‌های ۱ تا ۴ به صورت زیر نمایش داده می‌شود:

$$Population_t = Population_0 + \int_{t0}^{t}(birth - death - immigration)dt \quad (۱)$$

$$birth\ rate_t = lookup\ function\ (Percapita\ income_t) \quad (۲)$$

$$death\ rate_t = lookup\ function\ (Percapita\ income_t) \quad (۳)$$

$$immigration\ rate_t = lookup\ function\ (Income\ to\ expenditure\ ratio_t) \quad (۴)$$

بر اساس آمارهای منتشر شده از مرکز آمار ایران (۱۴۰۳) جمعیت استان کهگیلویه و بویر احمد در سال ۱۳۳۵معادل ۱۰۳۴۲۹ نفر بوده که با نرخ رشد ۴/۳ درصد در سال ۱۳۴۵ به ۱۶۱۲۱۹ نفر افزایش یافت. بر اساس آماربرداری سال ۱۳۹۰ جمعیت این استان معادل ۶۵۸۶۲۹ نفر گزارش شد. نرخ رشد جمعیت در این استان از ۴/۳ درصد در سال ۱۳۴۵ به ۱/۷ درصد در سال ۱۴۰۰ کاهش یافت. در جدول ۱ متغیرهای مورد استفاده در زیرسیستم جمعیت معرفی شد.

جدول ۱-معرفی متغیرهای مورد استفاده در زیرسیستم جمعیت

Table 1. Introduction of variables used in the population subsystem

زیرسیستم **Subsystem**	متغیرهای مورد استفاده **Variables**	نوع متغیر **Type**	تعریف **Define**	واحد اندازه گیری **Unit**
جمعیت Population	Population	ذخیره	تعداد جمعیت	نفر
	Birth rate	کمکی	نرخ زاد و ولد	درصد
	Birth	جریان	تعداد زاد و ولد	نفر
	Death rate	کمکی	نرخ مرگ و میر	درصد
	Death	جریان	تعداد مرگ و میر	نفر
	Immigration rate	کمکی	نرخ مهاجرت	درصد
	Immigration	جریان	تعداد مهاجرت	نفر
	Percapita Income	کمکی	سرانه درآمد	ریال
	Income to expenditure ratio	کمکی	نسبت درآمد به مخارج	-

زیرسیستم کشاورزی برای ارزیابی تأثیر شیوه‌های کشاورزی بر محیط‌زیست طراحی‌شده است. زیرسیستم کشاورزی در یک پیوند مستقیم با اندازه جمعیت و تقاضای مربوطه برای غذا قرار دارد (Ye *et al.,* 2021). تقاضای غذا نیز عاملی حیاتی است که با رشد جمعیت و مصرف سرانه غذا در منطقه موردمطالعه تعیین می‌شود. با افزایش جمعیت، تقاضا برای غذا نیز افزایش می‌یابد (معادله ۶).

$$Food\ demand_t = per\ capita\ food\ consumption \times Population_t \quad (۶)$$

افزایش تقاضا برای غذا مستقیماً با نیاز به زمین کشاورزی بیشتر مرتبط است که به‌نوبه خود تحت تأثیر عملکرد در هکتار و تقاضای کلی برای غذا است (معادله ۷ و ۸) (Ye et al., 2021).

$$need\ more\ agri - land_t = \frac{Food\ Demand_t}{crop\ yield} \quad (۷)$$

$$Cropland\ area_t = Cropland\ area_0 + \int_{t=0}^{t}(change\ in\ cropland\ area_t)dt \quad (۸)$$

بر اساس گزارش سالنامه آماری استان کهگیلویه و بویراحمد در سال ۱۴۰۱، مجموع سطح زیر کشت محصولات زراعی استان در سال زراعی ۱۳۹۷-۱۳۹۸ معادل ۱۵۸۲۶۹ هکتار بود که این میزان در سال ۱۳۹۹-۱۴۰۰ به ۱۶۸۲۵۷ هکتار افزایش یافت. به‌طور میانگین سهم محصولات زراعی آبی ۰/۲۸۹ و سهم محصولات زراعی دیم ۰/۷۱۱ محاسبه شد (مرکز آمار ایران، ۱۴۰۱)، که این ضریب در پیش‌بینی تقاضای آب بخش کشاورزی (محصولاتی آبی) مورداستفاده قرار گرفت. مقدار سطح زیر کشت برای سال پایه یعنی ۱۳۹۰ نیز معادل ۱۴۰۳۴۵ هکتار گزارش شد.

بر اساس یافته‌های Li *et al.* (2017) و Parker *et al.* (2003) در بخش کشاورزی، عملکرد محصولات زراعی تحت تأثیر بارندگی است. همبستگی آماری بین عملکرد کشاورزی (برحسب تن در هکتار) و بارندگی سالانه به‌عنوان شاهدی برای حمایت از این ادعا است. بنابراین در این مطالعه به‌منظور محاسبه عملکرد محصولات زراعی در منطقه موردمطالعه این متغیر به صورت درون‌زا و تابعی از بارش در نظر گرفته شد. در جدول ۲ متغیرهای مورد استفاده در زیرسیستم کشاورزی معرفی شد.

$$Crop\ yield_t = \alpha + \beta \times rainfall_t \quad (۹)$$

جدول ۲-معرفی متغیرهای مورد استفاده در زیرسیستم کشاورزی

Table 2. Introduction of variables used in the Agriculture subsystem

زیرسیستم Subsystem	متغیرهای مورد استفاده Variables	نوع متغیر Type	تعریف Define	واحد اندازه گیری Unit
کشاورزی Agriculture	Food demand	کمکی	تقاضای غذا در سال	تن
	Per capita food consumption	کمکی	سرانه مصرف غذا در سال	تن/نفر
	Crop yield	کمکی	عملکرد محصول در سال	کیلوگرم
	Cropland area	ذخیره	سطح زیرکشت	هکتار
	Need more agri land	کمکی	تقاضای زمین برای کشاورزی	هکتار
	Arable land	کمکی	زمین زراعی در دسترس	هکتار
	Change in clopland area	جریان	تغییر در سطح زیرکشت	هکتار
	Difference arable land and cropland area	کمکی	تفاوت زمین در دسترس و سطح زیرکشت	هکتار
	Difference between need more agri land and cropland area	کمکی	تفاوت نیاز به زمین و سطح زیرکشت	هکتار

پیش بینی دقیق تقاضای آب برای مدیریت مؤثر و تخصیص منابع آب حیاتی است. تقاضای آب در بخش خانگی تابعی از جمعیت و سرانه آب مصرفی و تقاضای آب در بخش کشاورزی تابعی از سطح زیر کشت و نیاز آبی محصولات است (معادله ۱۰ و ۱۱)، (Layani et al., 2021).

$$Domestic\ water\ demand_t = per\ capita\ water\ use \times Population_t \quad (۱۰)$$

$$Agricultural\ water\ demand_t = \sum_{i=1}^{n}(cropland\ area_i \times water\ requierment_i) \quad (۱۱)$$

ظرفیت ذخیره‌سازی زیرسیستم آب در یک سد با ورود آب‌های سطحی، خروجی‌ها، تبخیر و بارندگی تعیین می‌شود. تبخیر با ضرب نرخ تبخیر با آب سطحی موجود برای هر مرحله زمانی محاسبه می‌شود. کاهش حجم آب سد باعث کاهش سطح آب‌های سطحی می‌شود. ذخیره آب در سد، که به صورت جدول LOOKUP نشان داده می‌شود، برای به دست آوردن سطح مخزن در هر مرحله زمانی استفاده می‌شود (Layani *et al.,* 2021). در جدول ۳ متغیرهای مورد استفاده در زیرسیستم آب معرفی شد (معادله ۱۲ تا ۱۸).

$$Water\ storage_t = water\ storage_0 + \int_{t=0}^{t}(water\ inflow_t - water\ outflow_t)dt \quad (۱۲)$$

$$water\ inflow_t = Surface\ water\ inflow_t + Runoff_t \quad (۱۳)$$

$$water\ outflow_t = Evaporation_t + Water\ demand_t \quad (۱۴)$$

$$Evaporation_t = Evaporation\ rate_t \times water\ storage_t \quad (۱۵)$$

$$Runoff_t = Surface\ area_t \times rainfall_t \times runoff\ rate \quad (۱۶)$$

$$Surface\ area_t = look\ up\ function(water\ storage_t) \quad (۱۷)$$

$$Evaporation\ rate_t = \alpha + \beta \times termprature_t \quad (۱۸)$$

جدول ۳-معرفی متغیرهای مورد استفاده در زیرسیستم آب

Table3. Introduction of variables used in the water subsystem

زیرسیستم Subsystem	متغیرهای مورد استفاده Variables	نوع متغیر Type	تعریف Define	واحد اندازه گیری Unit
آب Water	Domestic water demand	کمکی	تقاضای آب بخش خانگی	میلیون مترمکعب
	Per capita water use	کمکی	سرانه مصرف آب در سال	میلیون مترمکعب
	Agricultural water demand	کمکی	تقاضای آب بخش کشاورزی	میلیون مترمکعب
	Water requierment	کمکی	نیاز آبی محصولات زراعی	مترمکعب
	Water storage	ذخیره	ذخیر آب (برای سد کوثر و چم شیر)	میلیون مترمکعب
	Water inflow	جریان	جریان ورودی به سد	میلیون مترمکعب
	Water outflow	جریان	جریان خروجی از سد	میلیون مترمکعب
	Runoff	جریان	رواناب	میلیون مترمکعب
	Runoff rate	کمکی	نرخ رواناب	درصد
	Evaporation	کمکی	تبخیر	میلیون مترمکعب
	Evaporation rate	کمکی	نرخ تبخیر	درصد
	Surface area	کمکی	مساحت پیکره آبی	کیلومترمربع

یکی از متغیرهای مهم در سیستم طراحی‌شده، مساحت جنگل در محدوده موردمطالعه است. جنگل‌ها بر اثر تنش-های محیطی مانند خشک‌سالی، ریزگردها و فرسایش خاک، تغییرات کاربری اراضی به‌منظور افزایش سطح زمین‌های کشاورزی، آفت‌ها و آتش‌سوزی‌ها به میزان زیادی با افزایش سیر تخریب مواجه شدند (Bahmanpouri *et al.,* 2023). البته در سال‌های اخیر با اجرای طرح صیانت از جنگل‌های کشور تا حد قابل‌توجهی میزان برداشت چوب از جنگل کنترل شده است. به‌هرحال، تغییرات مساحت جنگل تحت تأثیر میزان بارندگی و میزان سرمایه‌گذاری در حفاظت از محیط‌زیست است (Li *et al.,* 2017). به‌طورکلی استان کهگیلویه و بویر احمد ۷ درصد مساحت جنگل‌های کشور را به خود اختصاص داده است. داده‌های بانک جهانی (World Bank, 2022) نشان داد میانگین تغییرات سطح جنگل در ایران طی سال‌های ۲۰۲۱-۱۹۹۰ معادل ۰/۵۳۰ درصد و در گزارش‌های داخلی برای استان کهگیلویه و بویر احمد ۰/۲۵۳ درصد محاسبه شد. همچنین میزان تقاضا برای چوب و فرآورده‌های چوبی تأثیر مثبتی بر برداشت از جنگل دارد (Wang *et al.,* 2022). در این مطالعه تلاش شد تا بر اساس داده‌های مستخرج از فائو (FAO, 2023)، میزان مصرف چوب و فرآورده‌های چوبی در ایران محاسبه شود. درواقع پس از استخراج داده‌های تولید چوب و فرآورده‌های چوبی، واردات و صادرات این محصولات، میزان مصرف در ایران طی سال‌های ۲۰۲۰-۱۹۷۰ محاسبه شد. بر اساس جمعیت ایران طی این سال‌ها، مصرف سرانه این محصولات تعیین و میانگین آن طی این سال‌ها به‌عنوان مصرف سرانه محصولات جنگل در محاسبات پویایی‌شناسی سیستم در نظر گرفته شد. میانگین سرانه مصرف چوب و فرآورده‌های چوبی در ایران طی این سال‌ها ۰/۱۱۴ مترمکعب است. بر اساس مطالعه Wang *et al.* (2022) سطح زیر کشت محصولات کشاورزی نیز یکی از متغیرهای اثرگذار بر مساحت جنگل است. به‌عبارت‌دیگر با افزایش تقاضا برای مواد غذایی و درنتیجه تقاضا برای زمین کشاورزی جهت تولید محصولات کشاورزی، تخریب جنگل‌ها و تبدیل آن‌ها به زمین‌های زراعی در کشورهای مختلف مشاهده می‌شود. لذا این متغیر نیز به‌عنوان یکی از متغیرهای توضیحی مدل در نظر گرفته شد. مساحت جنگل به‌عنوان متغیر ذخیره در نظر گرفته شد (رابطه ۱۹ تا ۲۳).

$$Forest\ area_t = Forest\ area_0 + \int_{t=0}^{t}(Wood\ land\ change_t)\ dt \quad (۱۹)$$

$$Wood\ land\ change_t = expected\ forest\ area_t - forest\ area_t \quad (۲۰)$$

$$Expected\ forest\ area_t = \alpha + \beta_1 \times rainfall_t + \beta_2 \times investment_t + \beta_3 \times Forest\ product\ demand_t + \beta_4 \times Cropland\ area_t + \beta_5 \times Temperature_t \quad (۲۱)$$

$$investment_t = rate\ of\ investment \times Income_t \quad (۲۲)$$

$$Forest\ product\ demand_{t_t} = percapita\ forest\ products\ consumption \times Population_t \quad (۲۳)$$

در این تحقیق، مساحت مرتع تابعی از قیمت دام زنده، قیمت علوفه، جمعیت، وقفه متغیر مرتع و میزان بارندگی در نظر گرفته شده است. این مطالعه به‌منظور تعیین رابطه بین این عوامل و مساحت مرتع انجام شده است (Wang *et al.,* 2022). یافته‌های این تحقیق به‌طور بالقوه می‌تواند بینش‌های ارزشمندی در مورد مدیریت مناطق مرتعی ارائه دهد که درنهایت می‌تواند منجر به بهبود تولید دام و سودآوری شود. متغیر مساحت مرتع به‌عنوان متغیر ذخیره در مدل‌سازی لحاظ شد. رابطه ۲۶ بر اساس داده‌های سری زمانی در منطقه در نرم‌افزار ایویوز برآورد و ضرایب به‌عنوان ورودی درمدلسازی سیستم پویا در نظر گرفته شد. در

جدول ۴ متغیرهای مورد استفاده در زیرسیستم‌های جنگل و مرتع معرفی شدند (رابطه ۲۵ و ۲۶).

$$Pasture_t = Pasture_0 + \int_{t=0}^{t}(change\ in\ pasture_t)\ dt \quad (۲۴)$$

$$change\ in\ pasture_t = expected\ pasture\ rate_t - pasture_t \quad (۲۵)$$

$$expected\ pasture\ rate_t = \alpha + \beta_1 rainfall_t + \beta_2 price\ of\ livestock_t + \beta_3 fodder\ price_t + \beta_4 population_t + \beta_5 lag\ of\ pasture_t \quad (۲۶)$$

کاربری مسکونی ارتباط نزدیکی با زیرسیستم جمعیت دارد، زیرا مستقیماً بر تقاضای ساخت‌وساز تأثیر می‌گذارد. با افزایش جمعیت، تقاضا برای ساخت‌وساز افزایش می‌یابد که منجر به افزایش کاربری مسکونی می‌شود. این امر تأثیر مثبت زیرسیستم جمعیت را بر مناطق مسکونی نشان می‌دهد. با جزئیات بیشتر، منطقه مسکونی به جمعیت و استاندارد سرانه محل مسکونی وابسته است (Wang et al., 2022). مساحت منطقه مسکونی در مدل‌سازی به‌عنوان متغیر ذخیره در نظر گرفته شد. در جدول ۵ متغیرهای مورد استفاده در زیرسیستم کاربری مسکونی ارایه شد (رابطه ۲۷ تا ۲۹).

$$residential\ area_t = residential\ area_0 + \int_{t=0}^{t}(change\ in\ residential\ area_t)\ dt \quad (۲۷)$$

$$change\ in\ residential_t = expected\ residential\ area_t - residential\ area_t \quad (۲۸)$$

$$expected\ residential\ area_t = percapita\ residential\ area \times population_t \quad (۲۹)$$

جدول ۴-معرفی متغیرهای مورد استفاده در زیرسیستم‌های جنگل و مرتع

Table 4. Introduction of variables used in the Forest and pasture subsystem

زیرسیستم Subsystem	متغیرهای مورد استفاده Variables	نوع متغیر Type	تعریف Define	واحد اندازه گیری Unit
جنگل و مرتع Forest and Pasture	Forest area	ذخیره	مساحت جنگل	هکتار
	Pasture	ذخیره	مساحت مرتع	هکتار
	Expected forest area	کمکی	مساحت جنگل مورد انتظار	هکتار
	Expected pasture rate	کمکی	مساحت مرتع مورد انتظار	هکتار
	Investment	کمکی	سرمایه گذاری در محیط زیست	ریال
	Investment rate	کمکی	نرخ سرمایه گذاری در محیط زیست	درصد
	Rainfall	کمکی	بارش	میلیمتر
	Forest product demand	کمکی	تقاضای فرآورده های چوبی در سال	مترمکعب
	Percapita forest product demand	کمکی	سرانه مصرف چوب و فرآورده های چوبی	میلیون مترمکعب
	Price of livestock	کمکی	قیمت دام زنده	ریال
	Fodder price	کمکی	قیمت علوفه	ریال

جدول ۵- معرفی متغیرهای مورد استفاده در زیرسیستم کاربری مسکونی

Table 5. Introduction of variables used in the residential subsystem

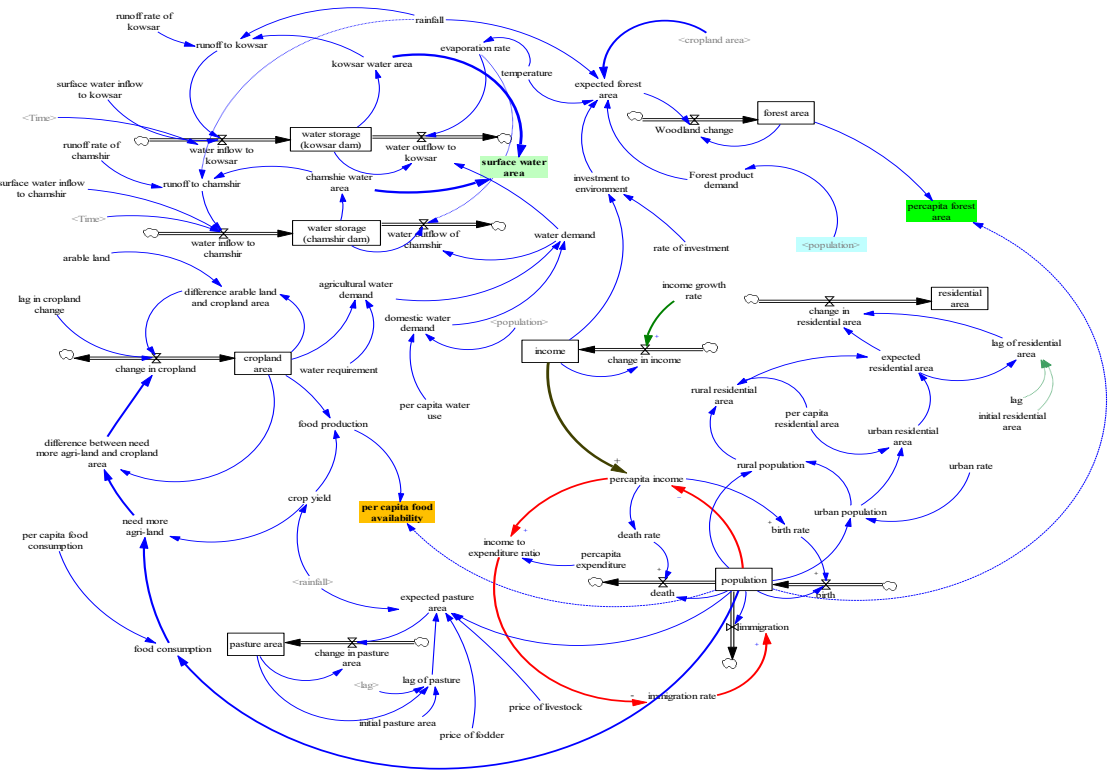
زیرسیستم Subsystem	متغیرهای مورد استفاده Variables	نوع متغیر Type	تعریف Define	واحد اندازه گیری Unit
کاربری مسکونی Residential	Residential area	ذخیره	مساحت مناطق مسکونی	کیلومترمربع
	Change in residential area	جریان	تغییر در مساحت مناطق مسکونی	کیلومترمربع
	Expected residential area	کمکی	مساحت مسکونی مورد انتظار	کیلومترمربع
	Per capita residential area	کمکی	سرانه استاندارد مورد نیاز برای مناطق مسکونی	کیلومترمربع

این مطالعه یک دوره ۳۰ ساله (۲۰۱۰-۲۰۴۰) را به‌عنوان مرز زمانی مدل در نظر گرفت. در این مطالعه از داده‌های مشاهداتی ۱۰ ساله (۲۰۱۰-۲۰۲۰) برای اعتبارسنجی مدل پویایی‌شناسی سیستم استفاده شد. میانگین درصد مطلق خطا (MAPE) و ضریب تعیین (R^2) برای ارزیابی عملکرد مدل محاسبه شد. در آزمون رفتاری پس از شبیه سازی رفتار متغیرهای کلیدی سیستم و مقایسه آن‌ها با مقادیر واقعی متغیرها، دو ساخص مورد نظر محاسبه می‌شود. مقدار کمتر MAPE و مقادیر بیشتر R^2 بیانگر آن است که مدل مورد نظر مورد تایید است و می‌تواند جهت شبیه سازی رفتار متغیرها در آینده و تحلیل سناریوهای سیاستی مورد استفاده قرار گیرد (رابطه ۳۰ و ۳۱).

$$MAPE = \frac{100}{N} \times \sum_{i=1}^{N} \left| \frac{Y_i - \hat{Y}_i}{Y_i} \right| \qquad (۳۰)$$

$$R^2 = 1 - \frac{\sum (Y_i - \widehat{Y_i})^2}{\sum (Y_i - \bar{Y}_i)^2} \qquad (۳۱)$$

نمودار ذخیره-جریان توسعه‌یافته در این مطالعه در شکل ۱ ارائه شد.

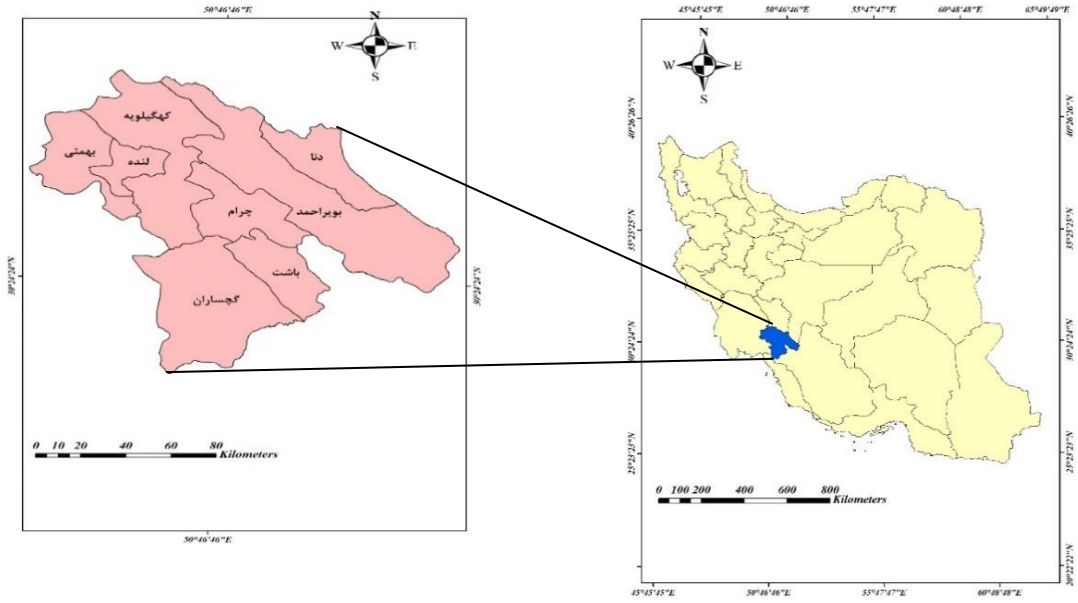


شکل ۱- نمودار ذخیره-جریان سیستم کاربری اراضی در استان کهگیلویه و بویر احمد

Fig. 1-Stock-flow diagram of land use system in Kohgiluyeh and Boyer Ahmad provinces

منطقه موردمطالعه

شکل ۲ موقعیت استان کهگیلویه و بویراحمد نشان داده شد. استان کهگیلویه و بویراحمد در جنوب غربی ایران بین عرض‌های ۹، ۳۰ تا ۳۲، ۳۱ شمالی و ۵۷، ۴۹ تا ۵۱، ۴۲ شرقی واقع گردیده است. وسعت این استان ۱۶۲۶۴ کیلومترمربع است. شرایط جغرافیایی و طبیعی این منطقه به‌گونه‌ای است که هر چه از نواحی شمال و شمال شرق به‌سوی جنوب و جنوب غرب نزدیک‌تر شویم، از ارتفاع کوه‌ها کاسته شده و به همین نسبت میزان بارندگی نیز کاهش می‌یابد و متقابلاً بر درجه حرارت و خشکی هوا افزوده می‌شود. استان کهگیلویه و بویر احمد با میانگین بلندمدت ۴۸۸ میلی‌متر جزو استان‌های کم بارش کشور محسوب می‌شود. حجم آب تجدید پذیر این استان ۸ میلیون و ۵۱۳ هزار مترمکعب معادل ۸/۵ درصد آب کل ایران گزارش‌شده است. علاوه بر این، ۸۵ درصد آب‌های سطحی استان در بخش کشاورزی مصرف می‌شود (شرکت آب منطقه‌ای استان کهگیلویه و بویراحمد، ۱۳۹۸). استان کهگیلویه و بویراحمد با توجه به‌قرار گرفتن در کمربند خشکی، متناوباً با پدیده‌ی خشک‌سالی مواجه می‌شود. این پدیده کشتزارها، منابع طبیعی، جنگل‌ها و مراتع این استان را تحت تأثیر قرار داده است. تولیدات کشاورزی غالب در منطقه موردمطالعه شامل گندم، جو، برنج و محصولات باغی است.

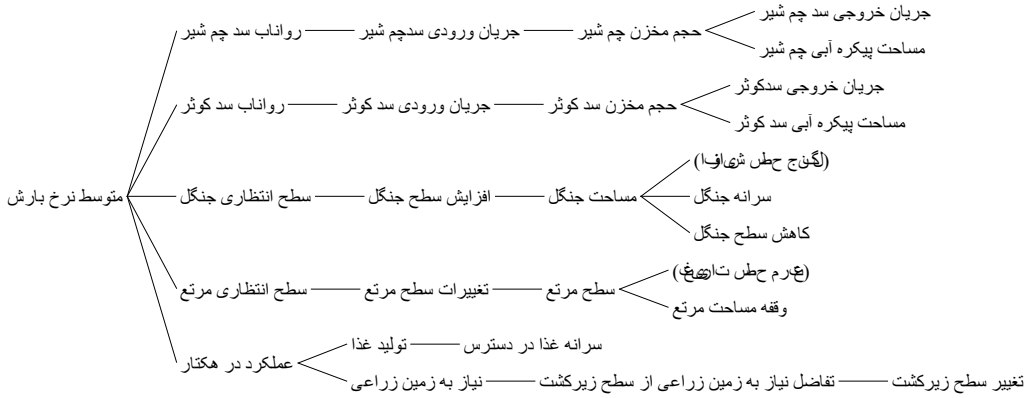


شکل ۲- استان کهگیلویه و بویر احمد

Fig. 2-Kohgiluyeh and Boyer Ahmad Province

سناریو اقلیمی

اثر متغیرهای اقلیمی مانند دما و بارش بر تغییر کاربری اراضی یکی از موضوعات مهم در پژوهش‌های زیست محیطی و جغرافیایی است. این تغییرات می‌توانند اثرات زیادی بر اکوسیستم‌ها، اقتصاد و جوامع انسانی داشته باشند. تغییر متغیرهای اقلیمی می‌توانند منجر به تغییر تقاضای آب در بخش کشاورزی و تغییر الگوی کشت در منطقه شوند. از سوی دیگر جریان‌های ورودی و خروجی منابع آب نیز تحت تاثیر متغیرهای دمای و بارش قرار دارد. همچنین تغییرات اقلیمی تهدیدات جدی برای جنگل‌ها و مراتع به شمار می‌روند و نیاز به مدیریت و حفاظت پایدار از این منابع طبیعی وجود دارد تا بتوان به حفظ اکوسیستم‌ها و تنوع زیستی کمک کرد. در شکل ۳ تاثیر متغیر بارش در سیستم کاربری اراضی مشخص شده‌است:



شکل۳- نحوه تاثیر متغیر بارش بر متغیرهای کلیدی سیستم کاربری اراضی

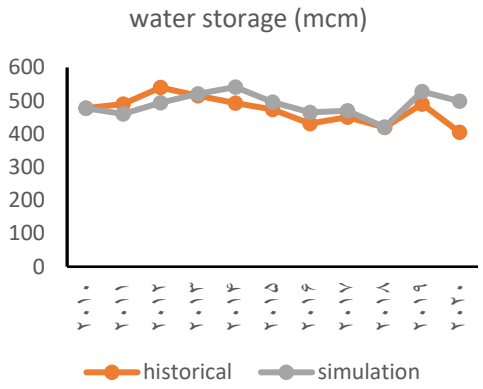
Fig. 3- How the precipitation variable affects key variables of the land use system

در این پژوهش از نتایج شبیه‌سازی‌های تغییر اقلیم گروه تخصصی مطالعات تغییر اقلیم (Hosseini and Nazari, 2015)، بر اساس خروجی ۱۵ مدل گردش عمومی جو استفاده‌شده است. سناریو A1B، یکی از سناریوهای تغییر اقلیم از خانواده A1 است و بر اساس آن باور بر این است که در آینده، مقدار سوخت‌های فسیلی با حفظ تعادل مورداستفاده قرار می‌گیرد و هم‌چنین، در کنار آن‌ها از سوخت غیر فسیلی نیز استفاده می‌شود. این سناریو اقلیمی با عنوان سناریو اقلیمی میانه شناخته‌شده است که در تحقیق حاضر مبنای محاسبات و شبیه‌سازی رفتار سیستم مدنظر محقق قرارگرفته است. در این سناریو فرض شد میانگین تغییرات سالانه بارش و دما در این منطقه تا سال ۲۰۴۰ به ترتیب معادل ۵/۳۵+ درصد و ۰/۶+ درصد باشد. با توجه به اطلاعات شبیه سازی شده دما و بارش از مطالعه Hosseini and Nazari (2015)، تلاش شد در این مطالعه این متغیرها بصورت سری زمانی برای دوره شبیه سازی وارد مدل شود و تاثیر آن بر متغیرهای کلیدی سیستم بررسی گردد. افزون بر سناریو اقلیمی میانه، در این مطالعه سناریو بدبینانه اقلیمی، کاهش ۹/۳- درصدی بارش و افزایش ۱ درصدی دما، نیز موردبررسی قرار گرفت. در شرایط سال پایه متوسط بارش ۴۹۰ میلی‌متر و متوسط دما در این استان ۱۴/۹ سانتی‌گراد در نظر گرفته شد. بنابراین در ابتدا به منظور آزمون مدل این مقادیر برای سال‌های ۲۰۱۰-۲۰۲۰ مدنظر قرار گرفت. در ادامه اطلاعات دما و بارش بصورت سری زمانی برای سال‌های ۲۰۲۱-۲۰۴۰ وارد مدل و رفتار متغیرها تحت دو شرایط بیان شده مطالعه شد.

نتایج و بحث

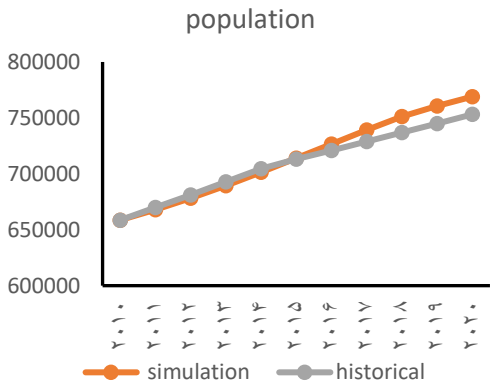
برای اعتبارسنجی مدل از داده‌های سال ۲۰۱۰ تا ۲۰۲۰ استفاده شد. برای بررسی آزمون ساختاری، ساختار مدل مستقیماً با ساختار طراحی‌شده در مطالعات گذشته مقایسه شد. نتایج آزمون رفتاری (شکل ۴ و ۵) نیز همبستگی معنی‌داری را بین روندهای مشاهده‌شده و پیش‌بینی‌شده جمعیت، سطح زمین زراعی و ذخیره‌سازی آب با رفتار واقعی این متغیرها نشان داد. بنابراین می‌توان گفت این مدل به‌خوبی کالیبره شده است تا رفتار پارامترهای مختلف را بازسازی کند. در این تحقق ضریب تعیین برای متغیرهای موردنظر محاسبه شد. برای متغیر جمعیت، ضریب تعیین ۰/۸۶ به دست آمده است. درحالی‌که برای حجم ذخیره آب و سطح زمین زراعی، این معیار به ترتیب ۰/۶۷ و ۰/۷۵ بود. این مقادیر توانایی خوب مدل طراحی‌شده را در بازسازی رفتار متغیرهای کلیدی در سیستم تائید می‌کند. MAPE برای سه متغیر جمعیت، سطح زمین زراعی و ذخیره آب به ترتیب ۱/۷۵، ۴/۹۰ و ۵/۸۵ درصد محاسبه شده است. بنابراین می‌توان از سیستم توسعه‌یافته برای شبیه‌سازی رفتار سیستم کاربری اراضی در آینده استفاده کرد.

یافته‌های تحقیق حاکی از آن است که جمعیت بین سال‌های ۲۰۲۰ تا ۲۰۴۰ با نرخ متوسط سالانه ۱/۸۶ درصد رشد کرده است (شکل ۶). در ابتدای دوره شبیه‌سازی، جمعیت منطقه موردمطالعه ۷۶۹ هزار نفر بود. بااین‌حال، در پایان دوره شبیه‌سازی، به۱/۱۱ میلیون نفر افزایش یافت. این نشان‌دهنده افزایش قابل‌توجه جمعیت منطقه موردمطالعه در طول دوره شبیه‌سازی است. افزایش جمعیت به‌عنوان یک متغیر علت بر سایر متغیرهای مدل تأثیر خواهد گذاشت. به‌عنوان نمونه افزایش جمعیت با توجه به سرانه مصرف آب و غذا، تقاضای برای آب و تقاضا برای غذا در استان را تحت تأثیر قرار می‌دهد. همچنین انتظار می‌رود رشد جمعیت منجر به افزایش تقاضا برای مناطق مسکونی شود. بنابراین جمعیت عامل مهمی در کاربری اراضی در منطقه موردمطالعه محسوب می‌شود.



شکل ۴- مقایسه مقادیر شبیه‌سازی‌شده و تاریخی متغیر ذخیره آب

Fig. 4- Comparison of simulated and historical values of the water storage variable



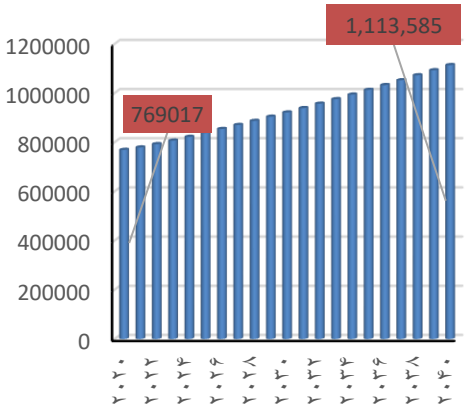
شکل ۵- مقایسه مقادیر شبیه‌سازی‌شده و تاریخی متغیر جمعیت

Fig. 5- Comparison of simulated and historical values of the water storage variable

جدول ۶-نتایج آزمون مدل

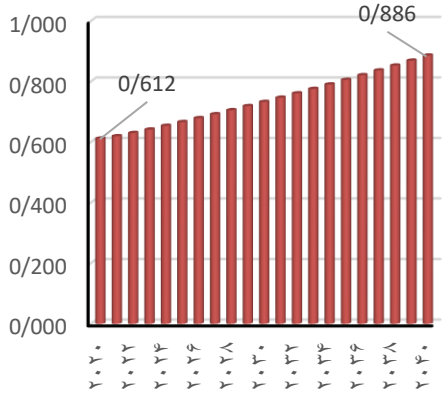
Table 6. Model test results

متغیرها	R^2	MAPE (%)
جمعیت	0.86	%1.75
سطح زیر کشت	0.75	%4.90
ذخیره آب (سد کوثر)	0.67	%5.85



شکل۶-شبیه‌سازی متغیر جمعیت در طول دوره شبیه‌سازی- میلیون تن

Fig. 6- Simulation of population variables during the simulation period - million tons

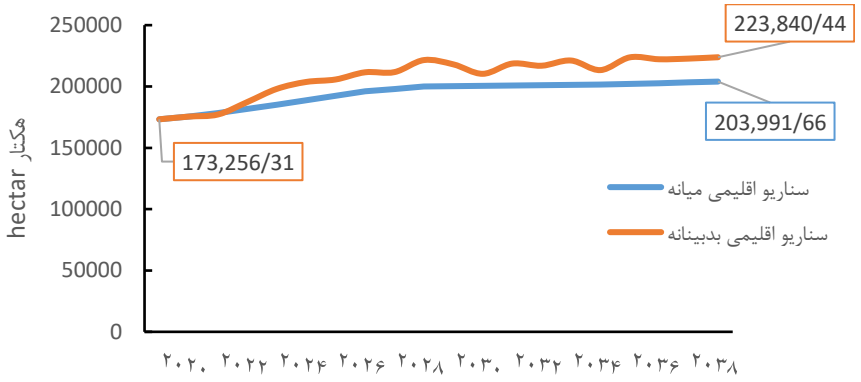


شکل ۷- شبیه‌سازی متغیر مصرف مواد غذایی در طول دوره شبیه‌سازی-میلیون تن

Fig. 7- Simulation of food consumption variable during the simulation period - million tons

بر اساس نتایج، متغیر مصرف مواد غذایی (شکل ۷) در سال ۲۰۲۰ بالغبر ۰/۶۱۲ میلیون تن بوده که انتظار می‌رود با نرخ رشد ۱/۲۶ درصدی به ۰/۶۲ میلیون تن در سال ۲۰۲۱ برسد. انتظار می‌رود این متغیر در سال‌های ۲۰۲۵ و ۲۰۳۰ به ترتیب به ۰/۶۶۷ میلیون تن و ۰/۷۳۳ میلیون تن افزایش یابد. در پایان دوره شبیه‌سازی پیش‌بینی می‌شود که این متغیر به ۰/۸۸۶ میلیون تن افزایش یابد. افزایش تقاضا برای مواد غذایی می‌تواند از طریق تولید داخلی و واردات تأمین شود. بر اساس اصول اقتصاد خرد، افزایش تقاضا، به شرط ثابت ماندن سایر شرایط، منجر به جابجایی منحنی تقاضا به سمت راست می‌شود و در نهایت منجر به افزایش قیمت بازار می‌شود. این باعث ایجاد انگیزه برای تولیدکنندگان برای مشارکت در تولید خواهد شد. بنابراین با افزایش این متغیر، احتمال افزایش تقاضا برای زمین کشاورزی وجود دارد.

شکل ۸ روند صعودی سطح زیر کشت محصولات کشاورزی را بین سال‌های ۲۰۲۰ تا ۲۰۴۰ نشان می‌دهد. در سال ۲۰۲۱، این متغیر ۱۷۳ هزار هکتار بوده که تحت شرایط اقلیمی میانه با متوسط رشد سالانه ۰/۸۹ درصد در انتهای دوره شبیه‌سازی به ۲۰۳ هزار هکتار می‌رسد. تحت شرایط اقلیمی بدبینانه با کاهش عملکرد محصول از یک‌سو و افزایش تقاضای مواد غذایی درنتیجه رشد جمعیت از سوی دیگر، نیاز به زمین زراعی نسبت به شرایط میانه در سطح بالاتری قرار می‌گیرد به‌نحوی‌که انتظار می‌رود در سال ۲۰۴۰ این متغیر به ۲۲۳ هزار هکتار افزایش یابد. این یافته‌ها حاکی از آن است که تولید محصولات کشاورزی احتمالاً در سال‌های آینده به‌طور پیوسته گسترش خواهد یافت. افزایش سطح زیر کشت از یک‌سو می‌تواند تولید غذا و از سوی دیگر تقاضا برای آب در بخش کشاورزی را تحت تأثیر قرار دهد. بنابراین برنامه‌ریزی الگوی کشت در منطقه و کنترل تغییرات سطح زیر کشت باهدف حذف محصولات آب بر و کشت محصولات متناسب با پتانسیل‌های منطقه باید در دستور کار سازمان جهاد کشاورزی استان قرار گیرد.

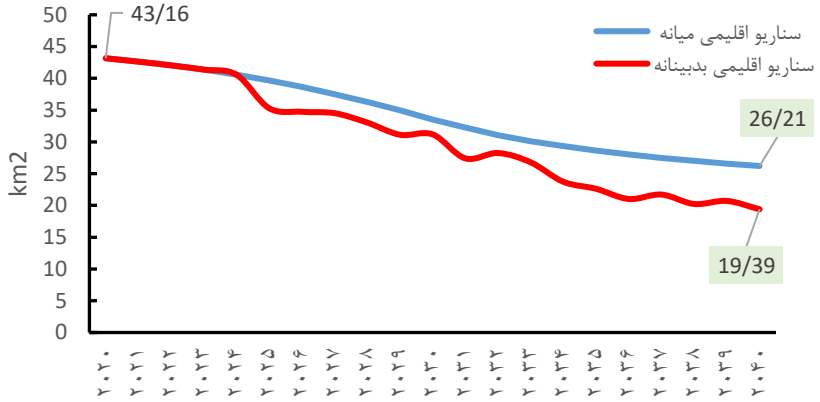


شکل ۸- روند سطح زیر کشت تحت شرایط اقلیمی مختلف

Fig. 8- Trends in cultivated area under different climatic conditions

شکل ۹ نتایج رفتار متغیر پیکره آبی استان را تحت سناریوهای اقلیمی مختلف نشان می‌دهد. تجزیه‌وتحلیل نتایج نشان داد که مساحت پیکره آبی در منطقه موردمطالعه تحت شرایط اقلیمی میانه در ابتدای دوره شبیه‌سازی ۴۳/۱۶ کیلومترمربع بود، اما پیش‌بینی می‌شود تا پایان دوره شبیه‌سازی به ۲۶/۲۰ کیلومترمربع کاهش یابد. میانگین نرخ تغییر سالانه برای این متغیر ۲/۴۵- درصد پیش‌بینی می‌شود. همان‌طور که ملاحظه می‌گردد، به همراه کاهش بارش و افزایش دما تحت سناریو اقلیمی بدبینانه، حجم آب در دسترس کاهش و درنتیجه مساحت پیکره آبی در تمامی سال‌های موردمطالعه پایین‌تر از شرایط میانه قرار می‌گیرد. به‌طور جزئی‌تر تحت این شرایط

نیز یک روند نزولی برای متغیر پیکره آبی مورد انتظار است به‌طوری‌که در انتهای دوره موردبررسی مساحت پیکره آبی در استان به ۱۹/۳۹ کیلومترمربع پیش‌بینی شد که پایین‌تر از وضعیت میانه است. کاهش میزان بارندگی، جریان ورودی آب به سد را کاهش داده و افزایش دما می‌تواند میزان تبخیر و تعرق از سطح آب را افزایش داد. نتایج مطالعه حاضر همسو با نتایج Gohari et al. (2017) و Layani et al. (2021)به دست آمده است. متغیرهای اقلیمی به‌طور مستقیم بر جریان ورودی آب به حوضه و تبخیر اثرگذار می‌باشند. با اعمال سناریو آب‌وهوایی بدبینانه در مدل، حجم رواناب ناشی از بارندگی در دوره شبیه‌سازی نسبت به قبل از تغییر متغیرهای اقلیمی با کاهش همراه است. با توجه به کاهش رواناب ناشی از بارندگی و افزایش تقاضای ناشی از رشد جمعیت، تقاضای فزآینده برای آب و غذا و سطح زیرکشت در شرایط اقلیمی بدبینانه، انتظار می‌رود سیستم منابع آب منطقه مورد مطالعه از نظر پایداری در وضعیت بدتری نسبت به ادامه شرایط موجود قرار گیرد.

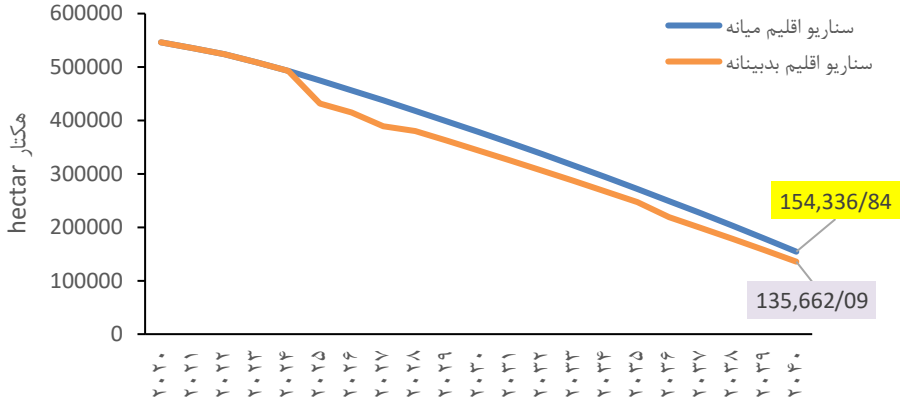


شکل ۹- مساحت پیکره آبی تحت سناریو اقلیمی مختلف

Fig. 9- Area of water body under different climatic conditions

بر اساس شکل ۱۰، مساحت مراتع استان در سال ۲۰۲۰ معادل ۵۴۶ هزار هکتار بوده و پیش‌بینی می‌شود در شرایط اقلیمی میانه تا سال ۲۰۴۰ به ۱۵۴ هزار هکتار کاهش یابد. متوسط تغییرات سالانه این متغیر طی دوره موردبررسی ۵/۸۸- درصد پیش‌بینی شد. بر اساس یافته‌های پژوهش سطح مرتع در هر دو سناریو اقلیمی در طول دوره شبیه‌سازی روند نزولی را طی می‌کند. این در حالی است که تحت شرایط آب و هوایی بدبینانه، انتظار می‌رود سطح مرتع در استان در وضعیت بدتری نسبت به شرایط میانه قرار گیرد. در انتهای دوره شبیه‌سازی میزان این متغیر تحت شرایط اقلیمی بدبینانه معادل ۱۳۵ هزار هکتار به دست آمده است. همان‌طور که در بخش قبل بیان شد در زیرسیستم مرتع، سطح مورد انتظار مرتع در استان تابعی از متغیرهای مختلفی ازجمله بارش قرار دارد. بنابراین کاهش سطح مرتع با تغییر شرایط اقلیمی تحت سناریو بدبینانه مورد انتظار است. سطح مرتع در مدل طراحی شده تحت تاثیر متغیرهای مختلف است. مراتع یکی از اصلی ترین منبع تامین نیاز غذایی دام در ایران ایت که با مساحتی حدود ۸۶ میلیون هکتار بخش اعظمی از خاک کشور را به خود اختصاص می‌دهد. جامعه عشایری کشور جامعه‌ای است که اساس آن زندگی بر پایه دامداری و بهره برداری از مراتع بیان شد. تولید گوشت و سایر فرآورده‌های دامی مهم‌ترن و موثرترین دستاورد بهره برداری از مراتع در معیشت و اقتصاد خانوار عشایر است. بنابراین با افزایش جمعیت در کشور، تقاضا برای مواد غذایی افزایش یافته و در نتیجه فشار بر منابع طبیعی از جمله مراتع جهت تولید گوشت و فرآورده‌های دامی بیشتر می‌گردد. از سوی دیگر قیمت نهاده‌های

تولید دامی و گوشت در بازار محصولات کشاورزی نیز بر بهره برداری از این منابع تاثیر گذار است. تغییرات شرایط آب‌هوایی نیز از متغیرهای مهم تاثیر گذار در این زیرسیستم است. عرصه‌های مرتعی به دلیل محدودیت های رطوبتی با کمترین تغییر در بارش و یا افزایش دما و در حقیقت کاهش اثر بخش بارش عکس العمل شدید نشان می‌دهند. تغییر اقلیم و گرمایش جهانی در مراتع مناطق مرتفع باعث کاهش تنوع زیستی و در مناطق پایین دست مرگ و میر و زوال گونه‌های مرتعی را به دنبال دارد.



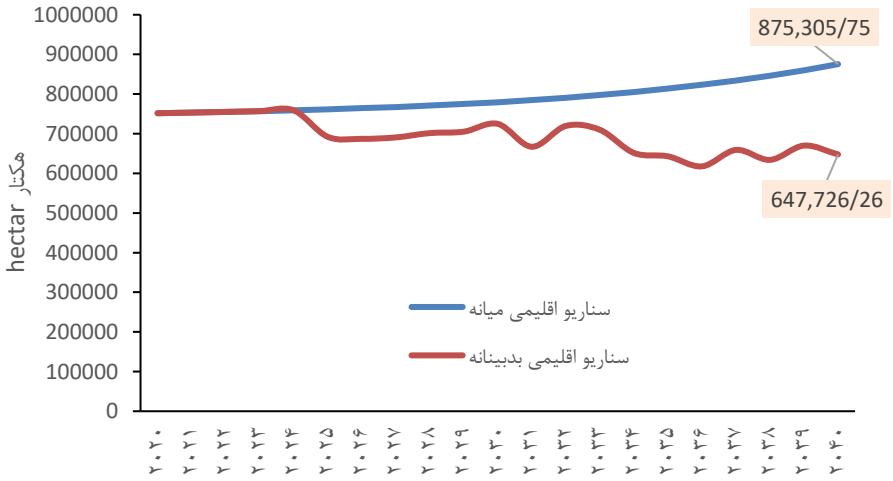
شکل ۱۰- مساحت مرتع تحت سناریو اقلیمی مختلف
Fig. 10 – Psture area under different climatic conditions

رشد جمعیت و تقاضا برای مواد غذایی منجر به افزایش تعداد دام در منطقه و درنتیجه فشار بر مراتع برای تأمین این تقاضا خواهد شد. Girma *et al.* (2022) نشان داد که مساحت اراضی مرتع متناسب با افزایش جمعیت کاهش یافته است. به همین ترتیب، Dokhani and Karimzadeh (2008) برای شهرستان فریدونشهر تأکید می‌کنند که رشد جمعیت کشاورزان و دامداران، همراه با کمبود زمین کشاورزی، منجر به تبدیل اراضی مرتعی به زمین کشاورزی و درنتیجه تغییرات قابل‌توجهی در این منابع شده است. Bahmanpouri *et al.* (2023) نیز تخریب پوشش گیاهی را به تبدیل اراضی منابع طبیعی به زمین‌های کشاورزی نسبت می‌دهند.

شکل ۱۱ تغییرات مساحت جنگل در استان را بر اساس سناریو اقلیمی میانه و بدبینانه نشان می‌دهد. بر اساس یافته‌ها، متوسط تغییرات سالانه سطح جنگل در استان تحت سناریو اقلیمی میانه ۰/۷۳+ درصد ارزیابی شد. در ابتدای دوره شبیه‌سازی این متغیر معادل ۷۵۱ هزار هکتار تعیین شد که با متوسط رشد سالانه ۰/۲۴+ درصد طی سال‌های ۲۰۲۰-۲۰۲۵ به ۷۶۱ هزار هکتار افزایش یافت. متوسط رشد سالانه این متغیر طی دوره ۲۰۳۰-۲۰۴۰ نیز معادل ۱/۱۱+ درصد محاسبه شد. به‌طور جزئی‌تر سطح جنگل در این استان برای سال ۲۰۳۰ معادل ۷۷۹ هزار هکتار و برای سال ۲۰۴۰ معادل ۸۷۵ هزار هکتار پیش‌بینی شد. همان‌طور که ملاحظه می‌گردد با اعمال سناریو اقلیمی بدبینانه میزان نوسان در متغیر سطح جنگل بیشتر شده و در تمام سال‌های اعمال سناریو موردنظر این متغیر در سطح پایین‌تری نسبت به شرایط اقلیمی میانه قرار می‌گیرد. به‌طور جزئی‌تر سطح جنگل در شرایط اقلیمی میانه طی دوره شبیه‌سازی روند صعودی داشته و در انتهای دوره به ۸۷۵ هزار هکتار می‌رسد. درحالی‌که تحت سناریو اقلیمی بدبینانه از سال ۲۰۲۴ به بعد، تقریباً روند نزولی را طی نموده و در انتهای دوره به ۶۴۷ هزار هکتار کاهش یافت. اقلیم بر ساختار و عملکرد اکوسیستم‌های جنگلی تأثیرگذار است و نقشی حیاتی در سلامت جنگل‌ها ایفا می‌کند.

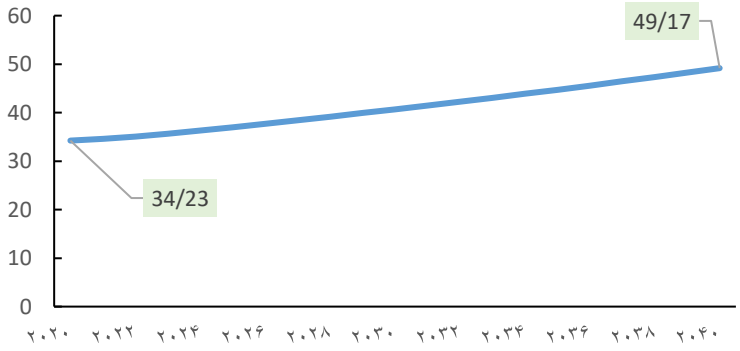
تغییرات اقلیمی می‌تواند بسیاری از تهدیدات پیش روی جنگل‌ها، مانند شیوع آفات، آتش‌سوزی‌ها، توسعه‌های انسانی و خشکسالی را تشدید کند. تغییرات اقلیم با تغییر دما، بارندگی، شرایط جوی و سایر عوامل، به طور مستقیم و غیرمستقیم بر رشد و توان تولید جنگل‌ها تأثیر می‌گذارد. علاوه بر آن، افزایش سطح دی‌اکسید کربن نیز می‌تواند بر رشد گیاهان اثر بگذارد. این تغییرات به طرق مختلف بر اکوسیستم‌های پیچیده‌ی جنگلی تأثیر می‌گذارند. در کنار تأثیرات تغییرات اقلیم، جنگل‌ها با چالش‌هایی ناشی از رشد جمعیت، توسعه‌ی زمین‌های کشاورزی جهت تولید غذا، آتش‌سوزی‌های طبیعی دوره‌ای و آلودگی هوا نیز روبرو هستند که بر زیرسیستم کاربری اراضی از طریق جنگل کاری و جنگل زدایی اثرگذارند.

تقاضا برای املاک مسکونی (شکل ۱۲) در طی دوره شبیه‌سازی مطابق با انتظار دارای روند صعودی بوده است. نتایج حاکی از آن است که میانگین نرخ رشد جمعیت طی دوره ۲۰۲۰-۲۰۴۰ معادل ۱/۸۶+ درصد پیش‌بینی شد. درنتیجه، انتظار می‌رود که تقاضا برای ساخت‌وساز در این استان افزایش یابد. به‌طور خاص، پیش‌بینی می‌شود مساحت مناطق مسکونی در این استان از ۳۴/۲۷ کیلومترمربع در سال ۲۰۲۰ به ۴۹/۱۷ کیلومترمربع در سال ۲۰۴۰ افزایش یابد. Haghaniet al. (2003) و Wang et al. (2022) همبستگی بین رشد جمعیت و گسترش شهری را مطرح می‌کنند.



شکل ۱۱- مساحت جنگل تحت سناریو اقلیمی مختلف

Fig. 11- Forest area under different climate scenarios



شکل ۱۲- مساحت مناطق مسکونی در طول دوره شبیه‌سازی-کیلومترمربع

Fig. 12- Residential area over the simulation period- km2

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

مدیریت کاربری اراضی فرآیندی علمی است که وظیفه برنامه‌ریزی و استراتژی‌سازی، سازمان‌دهی، کنترل و هدایت و توسعه دائمی منابع مادی و غیر مادی را در راستای استفاده بهینه و پایدار از زمین دارد. پس نخستین لازمه مدیریت کاربری اراضی تدوین و تعیین چشم‌اندازها، استراتژی‌ها، مقاصد و اهداف است. این امر خود مستلزم شناخت جامع وضعیت موجود کاربری اراضی، روندهای گذشته و فعلی تغییرات آن و تحلیل برنامه‌ها، سیاست‌ها و استراتژی‌های بلندمدت و کوتاه‌مدتی است که در این خصوص در کشور وجود دارد. لذا این مطالعه در تلاش است تا درک جامع از پویایی کاربری زمین در منطقه ارائه دهد. برای طراحی سیستم کاربری اراضی در منطقه موردمطالعه از رویکرد سیستم دینامیک استفاده شد که شامل زیرسیستم‌های مختلفی ازجمله کشاورزی، آب، جمعیت، جنگل و مرتع است. در بخش نخست بر اساس مفاهیم ارائه شده از روش سیستم دینامیک، ساختاری از سیستم کاربری اراضی از راه نمودار حلقه‌های علی-معلولی و ذخیره-جریان طراحی شد که بتواند رفتاری مشابه با رفتار متغیرهای مرجع ارائه کند. در گام بعد مدل مورد آزمایش قرار گرفت و نسبت به وضعیت موجود منطقه کالیبره شد. در نهایت رفتار متغیرهای کلیدی سیستم تحت سناریوهای اقلیمی مختلف شبیه‌سازی شد. نتایج شبیه‌سازی متغیرهای کلیدی نشان داد رابطه مستقیمی بین تقاضای آب و رشد جمعیت و همچنین توسعه کشاورزی وجود دارد. این مطالعه نشان می‌دهد که باگذشت زمان، برداشت از ذخیره آب در چنین شرایطی افزایش می‌یابد. یافته‌های این مطالعه با نتایج Gohari et al. (2017) برای حوضه رودخانه زاینده‌رود و Layani et al. (2021) برای حوضه رودخانه خیرآباد مطابقت دارد. در طول دوره شبیه‌سازی مشاهده شد که افزایش رشد جمعیت، افزایش سالانه ۱/۸۲ درصدی تقاضای آب در منطقه را به دنبال دارد. افزایش تقاضای آب در این استان نیز به‌طور متوسط با کاهش سالانه ۳/۳- درصدی و ۵/۷- درصدی ذخیره‌سازی آب در سدهای چمشیر و کوثر همراه است. این یافته‌ها تأثیر رشد جمعیت بر منابع آب و نیاز به استراتژی‌های مدیریت مؤثر برای اطمینان از استفاده پایدار از این منبع ارزشمند را برجسته می‌کند. سیاست‌گذاران و ذینفعان باید توسعه راه‌حل‌های نوآورانه را برای کاهش این اثرات و حفظ تعادل سالم بین عرضه و تقاضا در اولویت قرار دهند. رفتار تقاضای آب در بخش کشاورزی با توجه به ثابت فرض کردن نیاز آبی محصولات، به سطح زیر کشت شبیه‌سازی‌شده بر اساس مدل طراحی‌شده مربوط است. به دلیل رشد تقاضای آب در بخش‌های خانگی و بخش کشاورزی، حجم برداشت از منابع سطحی افزایش‌یافته و حجم آب در دسترس روند نزولی را خواهد پیمود. لذا، سیستم منابع آب در پاسخگویی به تقاضای فزاینده در آینده‌ای نزدیک آسیب‌پذیر است. تحت شرایط اقلیمی بدبینانه با کاهش حجم ورودی آب به حوضه، متغیر ذخیره آب نسبت به شرایط میانه در وضعیت نامطلوب‌تر قرار می‌گیرد. نتایج این مطالعه همسو با نتایج مطالعه Madani and Marino (2009) و Balali and Viaggi (2015) و Gohari et al. (2017) می‌باشد. با توجه به سهم بالای بخش کشاورزی از مصرف آب، سیاست بهبود راندمان آبیاری می‌تواند اثربخشی مناسبی در بهبود شرایط سیستم داشته باشد. روی‌هم‌رفته، ایران همواره از کشاورزی ناکارآمد که به‌شدت به آبیاری متکی است، رنج می‌برد و بیش‌تر منابع آبی در این بخش مورد استفاده قرار می‌گیرد. درحالی‌که تنها ۱۵ درصد از مساحت کشور زیر کشت محصولات کشاورزی است، اما این بخش در حدود ۹۲ درصد منابع آبی را مصرف می‌کند (آب خانگی ۷ درصد و صنعتی ۱ درصد). به دلیل حمایت‌های انجام‌گرفته از این بخش، برای دست‌یابی به امنیت غذایی و افزایش درآمدهای غیرنفتی و یارانه‌های پرداختی در استفاده از منابعی همچون آب و انرژی، انگیزه زیادی برای صرفه‌جویی در این منابع وجود

ندارد. سرعت رشد فعالیت‌های کشاورزی در ایران از اغلب کشورهای منطقه بیشتر است و عدم وجود برنامه‌های مدون آمایش سرزمین، تکیه بر رشد تولید کشاورزی برای تأمین امنیت غذائی، راندمان پائین آبیاری و عدم تناسب نوع و سطح کشت با ظرفیت منابع آب، موجب بروز تنش‌های آبی در کشور شده است. بهبود راندمان مصرف آب در بخش کشاورزی و تغییر الگوی کشت رایج در حوضه مورد بررسی متناسب با پتانسیل‌های منطقه که در برنامه-های ششم و هفتم توسعه نیز مورد تاکید قرار گرفت می-تواند موجب کاهش قابل توجه تقاضای آب در بخش کشاورزی شود. بنابراین سیاست‌های مذکور در مدیریت تقاضای آب می‌تواند استراتژی موثری برای سازگار نمودن سیستم منابع آب منطقه مورد مطالعه در برابر تغییر اقلیم به شمار رود. سیاست حذف محصولات آب بر از الگوی کشت از جمله سیاست‌های دیگری است که می‌تواند نقش قابل توجهی در افزایش پایداری منابع آب داشته باشد. با توجه تأثیرات منفی انتظاری اتخاذ این استراتژی بر تولید و درآمد کشاورزان، توسعه فعالیت‌های غیرزراعی و صنایع کوچک تبدیلی در روستاها به منظور جبران آسیب‌های ناشی از تغییرپذیری‌های احتمالی شرایط آب و هوایی می-تواند موثر واقع شود. بر اساس نتایج شبیه‌سازی، مشاهده شد که در شرایط سناریو اقلیمی میانه، مناطق جنگلی و زراعی به گسترش ادامه می‌دهند و مراتع در داخل استان با شرایط محیطی و اقتصادی اجتماعی فعلی کاهش می‌یابد. Wang et al. (2022) مطالعه‌ای را در مورد پیش‌بینی کاربری زمین در بورتالا، چین انجام دادند و یافته های خود را گزارش کردند. نتایج مطالعه حاضر نشان داد که رشد جمعیت یک عامل مهم تأثیرگذار بر تغییر کاربری زمین است. افزایش جمعیت منجر به افزایش تقاضا برای مواد غذایی، تقاضا برای آب و تقاضا برای چوب و فرآورده‌های چوبی شده که در نهایت منجر به تغییر متغیرهای کلیدی سیستم همچون سطح جنگل، سطح مرتع و پیکره آبی می‌گردد. در بخش جنگل، با توجه به بحث جهانی شدن و پیوستن به سازمان تجارت جهانی در سال‌های اخیر و با توجه به اهمیت طرح صیانت از جنگل‌های کشور و کاهش تعرفه گمرکی به عنوان راهکاری در جهت تأمین تقاضای داخلی و کاهش برداشت بی‌رویه از جنگل‌های کشور، دولت باید در این زمینه اقدامات مقتضی را به عمل آورد. با توجه به بهره‌برداری بیش از حد از جنگل‌ها و همچنین مساعدت کاهش تعرفه به کاهش فشار بر جنگل‌های داخلی توصیه می‌شود تعرفه واردات چوب بر اساس یک برنامه زمانی کاهش یابد. در این برنامه زمانی لازم است مواردی مانند امکان تطابق صنایع وابسته مورد توجه قرار گیرد. البته کاهش تعرفه بر اساس الزامات سازمان تجارت جهانی که ایران نیز در جهت عضویت در این سازمان تلاش می‌کند، حائز اهمیت است. همچنین نتایج نشان دادند که افزایش درآمد و سرمایه‌گذاری در محیط‌زیست می‌تواند نقشی مؤثر در افزایش پایداری سطوح منابع ملی داشته باشد. لذا، در مدیریت پایدار زمین توجه بیشتر به افزایش میزان سرمایه‌گذاری در بخش‌های جنگل و مراتع می‌تواند روش-های مفید و مؤثری واقع شود. با توجه تاثیر اقلیم بدبینانه بر مساحت جنگل و مراتع در استان مورد مطالعه، اجرای برنامه‌های مدیریت جنگل شامل قطع کنترل شده درختان، که به حفظ و احیای اکوسیستم کمک می‌کند، حمایت از پروژه‌های احیای جنگل و مرتع با استفاده از گونه‌های مقاوم به خشکی، ایجاد قوانین و مقررات در راستای حفاظت از جنگل و مراتع و منابع آب، نظارت و اجرای جریمه‌های مناسب برای تخلفات زیست زمینی و ایجاد زیرساخت‌های ذخیره آب و تدوین و اجرای برنامه-های مدیرتی که به هماهنگی بین بخش‌های مختلف (کشاورزی، جنگل داری، آب و خاک) منجر شود، پیشنهاد می‌گردد. علی رغم آنکه مدل طراحی شده می‌تواند به منظور تحلیل سیاست‌های کشاورزی و محیط زیستی مورد استفاده سیاست‌گذاران قرار گیرد با اینحال این مدل با محدودیت‌هایی نیز روبروست. یکی از محدودیت‌هایی که

در مدل وجود دارد مربوط به زیرسیستم کشاورزی است. با توجه به تاثیرگذاری اقلیم بر نیازآبی گیاهان، پیشنهاد می‌شود در مطالعات آتی این بخش نیز به مدل اضافه شود. تغییرات نیاز آبی در نتیجه تغییر دما و بارش می‌تواند از طریق مدلسازی در نرم افزارهایی همچون WEAP ارزیابی شود و نتایج آن وارد مدل پویایی شناسی سیستم گردد. همچنین پیشنهاد می‌گردد سیاست‌های مختلف جمعیتی و اقتصادی (نظیر تغییر قیمت گوشت و علوفه) در کنار تغییر اقلیم در مدل لحاظ و نتایج با شرایط پایه مقایسه گردد. این نتایج می‌تواند به منظور ارایه یک بسته سیاستی مناسب جهت مدیریت پایدار منابع آب و خاک موثر واقع شود.

منابع

Ford, F. A. (1999). Modeling the environment: an introduction to system dynamics models of environmental systems. Island Press.

Girma, R., Fürst, C., & Moges, A. (2022). Land use land cover change modeling by integrating artificial neural network with cellular Automata-Markov chain model in Gidabo river basin, main Ethiopian rift. Environmental Challenges, 6, 100419.

Gohari, A., Mirchi, A., & Madani, K. (2017). System Dynamics Evaluation of Climate Change Adaptation Strategies for Water Resources Management in Central Iran. Water Resources Management, 31, 1413-1434.

Haghani, A., Lee, S. Y., & Byun, J. H. (2003). A system dynamics approach to land use/transportation system performance modeling part I: Methodology. Journal of advanced transportation, 37(1), 1-41.

Hosseini, S.S. and Nazari, M. (2015). Assessing the economic vulnerability of the country's agricultural sector to climate change. Third National Communication on Climate Change to be submitted to the UNFCCC Secretariat. 144-1.

Kotir, J. H., Smith, C., Brown, G., Marshall, N., & Johnstone, R. (2016). A system dynamics simulation model for sustainable water resources management and agricultural development in the Volta River Basin, Ghana. Science of the Total Environment, 573, 444-457.

Layani, G., Bakhshoodeh, M., Zibaei, M., & Viaggi, D. (2021). Sustainable water resources management under population growth and agricultural development in the Kheirabad river basin, Iran. Bio-based and Applied Economics, 10(4), 305-323.

سپاسگزاری

این مقاله مستخرج از رسال دکتری دانشجو داریوش جهانشاهی از دانشگاه آزاد اسلامی واحد مرودشت بود و از نهاد یا سازمان دیگری کمک مالی دریافت نشد.

پی‌نوشت‌ها

[1] یکی از ابزارهای مهم مدلسازی در نرم افزار ونسیم استفاده از Lookup Function است. این ابزار زمانی مورد استفاده قرار می‌گیرد که روابط بین دو متغیر (خطی و یا غیرخطی) بخوبی مشخص نباشد و یا اینکه داده‌های کافی برای تحلیل رگرسیون بین دو متغیر در دسترس نباشد. Lookup Function این امکان را در اختیار مدلساز قرار می‌دهد تا بر اساس داده‌های در دسترس و وارد کردن اطلاعات بصورت جدول (و نمودار) رابطه بین دو متغیر در مدل تعریف شود.

References

Aspinall, R., & Staiano, M. (2017). A conceptual model for land system dynamics as a coupled human–environment system. Land, 6(4), 81.

Atherton, J. T. (2013). A System Dynamics Approach to Water Resources and Food Production in the Gambia (Doctoral Dissertation, the University of Western Ontario).

Bahmanpouri, S., Bakhshoodeh, M., & Zibaei, M. (2023). Effect of Climate Change on Land Use and Land Cover in Fars Province: Application of System Dynamics Approach. Agricultural Economics Research, 15(3), 56-69. doi: 10.30495/jae.2023. 28473.2263

Balali, H., & Viaggi, D. (2015). Applying a System Dynamics Approach for Modeling Groundwater Dynamics to Depletion under Different Economical and Climate Change Scenarios. Water, 7, 5258-5271.

Bottero, M., Datola, G., & Angelis, E. (2020). A System Dynamics Model and Analytic Network Process: An Integrated Approach to Investigate Urban Resilience.

Debolini, M., Marraccini, E., Dubeuf, J. P., Geijzendorffer, I. R., Guerra, C., Simon, M., ... & Napoléone, C. (2018). Land and farming system dynamics and their drivers in the Mediterranean Basin. Land use policy, 75, 702-710.

Dokhani, S. and Karimzadeh, H. (2008). Investigating the extent and nature of land use and vegetation changes using aerial photographs. 87th Geomatics Conference and the Fourth Conference on the Standardization of Geographical Names, Tehran.Food and Agriculture Organization (FAO). (2023)

Li, Q., Wei, X., Zhang, M., Liu, W., Fan, H., Zhou, G., ... & Wang, Y. (2017). Forest cover change and water yield in large forested watersheds: A global synthetic assessment. Ecohydrology, 10(4), e1838.

Liu, D., Zheng, X., & Wang, H. (2020). Land-use Simulation and Decision-Support system (LandSDS): Seamlessly integrating system dynamics, agent-based model, and cellular automata. Ecological Modelling, 417, 108924.

Liu, D., Zheng, X., Zhang, Ch., & Wang, H. (2017). A new temporal–spatial dynamics method of simulating land-use change. Ecological Modelling, 350(2017), 1–10.

Madani, K., & Mariño, M. A. (2009). System dynamics analysis for managing Iran's Zayandeh-Rud river basin. Water Resources Management, 23, 2163-2187.

Moran, D., MacLeod, M., Wall, E., Eory, V., McVittie, A., Barnes, A., ... & Moxey, A. (2011). Developing carbon budgets for UK agriculture, land-use, land-use change and forestry out to 2022. Climatic change, 105, 529-553.

Oliver, V., Cochrane, N., Magnusson, J., Brachi, E., Monaco, S., Volante, A., & Teh, Y. A. (2019). Effects of water management and cultivar on carbon dynamics, plant productivity and biomass allocation in European rice systems. Science of the Total Environment, 535, 126-139.

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.

Ronizi, S. R. A., Negahban, S., & Mokarram, M. (2022). Investigation of land use changes in rural areas using MCDM and CA-Markov chain and their effects on water quality and soil fertility in south of Iran. Environmental Science and Pollution Research, 29(59), 88644-88662.

Saadin, B. and Afifi, M.E. (2022). Investigating the trend of land use changes in Aslawiya city between 1989 and 2019 and predicting the changes using remote sensing and CA-Markov and LCM models. Geography and Urban and Regional Studies, 12(48), 19-6.

Shen, Q., Chen, Q., Tang, B. S., Yeung, S., Hu, Y., & Cheung, G. (2009). A system dynamics model for the sustainable land use planning and development. Habitat international, 33(1), 15-25.

Song, X. P., Hansen, M. C., Stehman, S. V., Potapov, P. V., Tyukavina, A., Vermote, E. F., & Townshend, J. R. (2018). Global land change from 1982 to 2016. Nature, 560(7720), 639-643.

Sterman, J. D. (2001). System dynamics modeling: tools for learning in a complex world. California Management Review, 43, 8-25.

Sušnik, J., Vamvakeridou-Lyroudia, L. S., Savić, D. A., & Kapelan, Z. (2012). Integrated System Dynamics Modelling for water scarcity assessment: Case study of the Kairouan region. Science of the Total Environment, 440, 290-306.

Wang, Z., Li, X., Mao, Y., Li, L., Wang, X., & Lin, Q. (2022). Dynamic simulation of land use change and assessment of carbon storage based on climate change scenarios at the city level: A case study of Bortala, China. Ecological Indicators, 134, 108499.

Yang, H., Huang, J., & Liu, D. (2020). Linking climate change and socioeconomic development to urban land use simulation: Analysis of their concurrent effects on carbon storage. Applied Geography, 115(2020), 1-12.

Yao, H., Shen, L., Tan, Y., Hao, J. (2011). Simulating the impacts of policy scenarios on the sustainability performance of infrastructure projects. Automation in Construction. 20(8), 1060-1069.

Ye, J., Hu, Y., Zhen, L., Wang, H., & Zhang, Y. (2021). Analysis on Land-Use Change and its driving mechanism in Xilingol, China, during 2000–2020 using the google earth engine. Remote Sensing, 13(24), 5134.

Zarandian, A., Mohammadyari, F., Mirsanjari, M. M., & Visockiene, J. S. (2023). Scenario modeling to predict changes in land use/cover using Land Change Modeler and InVEST model: a case study of Karaj Metropolis, Iran. Environmental monitoring and assessment, 195(2), 273.

Zhang, P., Liu, L., Yang, L., Zhao, J., Li, Y., Qi, Y., ... & Cao, L. (2023). Exploring the response of ecosystem service value to land use changes under multiple scenarios coupling a mixed-cell cellular automata model and system dynamics model in Xi'an, China. Ecological Indicators, 147, 110009.