Journal of Agricultural Economics Research

Autumn 2023. Vol 15. Issue 3

ISSN (Print): 2008-6407 - ISSN (Online): 2423-7248

Research Paper

Effect of Climate Change on Land Use and Land Cover in Fars Province: Application of System Dynamics Approach

Sadaf Bahmanpouri[1*], Mohammad Bakhshoodeh[2], Mansoor Zibaei[2]
1-Ph.D. Economics of Natural Resoureces and Environment, Shiraz University
2-Professor of Agricultural Economics, Shiraz University

Received:2021/7/17
Accepted:2021/8/14
PP:56-69

Use your device to scan and read the article online

DOI:
10.30495/jae.2023.28473.2263

Keywords:
System Dynamics, Land Use and Land Cover, Climate Change, Fars Province

Abstract

Introduction: The climate change that have occurred in recent years in Fars province have been recognized as one of the most important environmental challenges in this region. These climate changes have had significant impacts on land use and land cover in this region. Considering this issue, the use of systematic methods for land use and land cover management is very useful.

Materials and Methods: In this study, we used a system dynamic approach, the behavior of the land use and land cover system in Fars province was simulated and its response to various climate changes was investigated over the period of 2020-2050.

Findings: The results showed that during the simulation period, the urban land and saltland areas are expected to be uptrend, over a period of 30 years. In contrast, the areas of agricultural, forest cover, rangeland and waterbody areas have had a downward trend in area changes.

Conclusion: With the current conditions that have been associated with the reduction of rainfall and underground water resources, we will face a crisis of agriculture water in the near future, and success come from those countries that have this vital resource and preserve it well.

Citation: 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. Journal of Agricultural Economics Research.15(3):56-69

*Corresponding author: Sadaf Bahmanpouri
Address: Department of Agricultural Economics, Shiraz University, Shiraz, Iran
Tell: 0098 7132286082
Email: s.bahmanpouri@shirazu.ac.ir, s.bahmanpouri@gmail.com

Extended Abstract

Introduction:

The climate change has become a significant environmental challenge in many regions of the world, including Fars province in Iran. The impacts of climate change on land use and land cover in Fars province have been substantial, leading to changes in the availability of natural resources and affecting the livelihoods of local communities.

To address this issue, there is a need for effective management strategies that can adapt to the dynamic changes in climate and land use. Dynamic systems methods, such as system dynamics modeling, offer a powerful tool for analyzing and managing complex systems with multiple feedback loops and nonlinear relationships (22).

In this context, this paper explores the application of dynamic systems methods for land use and land cover management in Fars province. Specifically, we will investigate the use of system dynamics modeling to analyze the impacts of climate change on land use and land cover. The results of this study have important implications for improving the resilience of ecosystems and enhancing the sustainability of land use practices in Fars province and other regions facing similar environmental challenges.

Materials and Methods

In this study, a system dynamic model was developed to address the various land use demands under different climate scenarios, taking into account human activities. The developed SD model consists of four subsystems: population, economy, climate, and land use.

The economic sector has a significant impact on population and land use. The GDP value was calculated in the model by equation:

$$POP(t) = \int_{t_0}^{t} [POP \times RPOP(t)]\, dt + POP(t_0)$$

The population sector is of great importance. The population variable was calculated in the model by equation:

$$Population = \int (Population\ Growth) dt + Population(0)$$

The land use sector, six types of land use, including urban land, agricultural land, rangeland, forest, water body, and salt land. Changes in each type of land use are limited by the integrated effects of social-economic and climatic changes on land use demand.

The weather conditions have a long-term impact on the dynamics of natural landscape changes. Therefore, the weather subsystem (annual rainfall and temperature) has also been included in the SD model.

In the following, after applying scenarios of changes in precipitation and temperature, the system was examined and compared under various weather conditions. Finally, the Vensim DSS software was used to build and run the model and simulate the system's behavior. The study period was between 2020- 2050 and the years 1970- 2020 were used for model validation and calibration.

Findings

The simulation results with the system dynamics model showed that the level of agriculture and residential use, which is affected by the increase in population, is increasing, and the rangeland coverage, which has a negative relationship with the increase in population and the demand for livestock products, decrease by 20%. The results of the simulation of climate change scenarios showed that in 2050, the level of agriculture use decrease by 31% compared to the continuation of the existing situation. In the case of applying scenarios, the decrease in forest cover and pasture area is 34.5% and 24.1%, respectively, more than the base case.

Discussion and Conclusion

Due to the sharp decrease in the level of land cover and water body, which is caused by the decrease in rainfall and increase in temperature, increase in population and the rapid expansion of residential areas in the coming years, the necessity of proper management and accurate planning to use the correct methods of exploiting water resources, refraining from converting It is mandatory to transfer natural resource lands to agricultural lands and industrial and residential units.

Ethical Considerations

Compliance with ethical guidelines

All subjects full fill the informed consent.

Funding

No funding is received in conducting this study.

Authors' contributions

The article is extracted from the Ph.D. thesis of Sadaf Bahmanpouri, whit the supervisor of Professer Mohammad Bakhshoodeh and the advisory of Professer Mansoor Zibaei.

Conflicts of interest

The authors declared no conflict of interest

فصلنامه علمی – پژوهشی تحقیقات اقتصاد کشاورزی

پاییز ۱۴۰۲.دوره ۱۵. شماره ۳

شاپا چاپی: ۶۴۰۷ -۲۰۰۸ – شاپا الکترونیکی: ۲۴۲۳-۷۲۴۸

مقاله پژوهشی

تاثیر تغییر اقلیم بر کاربری اراضی و پوشش گیاهی استان فارس: کاربرد روش سیستم پویا

صدف بهمن پوری [۱*]، محمد بخشوده [۲] ، منصور زیبایی [۲]

۱. دانش آموخته مقطع دکتری گروه اقتصاد کشاورزی، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران

۲. استاد گروه اقتصاد کشاورزی، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۴/۲۶

تاریخ پذیرش:۱۴۰۰/۵/۲۳

شماره صفحات:۶۹-۵۶

از دستگاه خود برای اسکن و خواندن مقاله به صورت آنلاین استفاده کنید

DOI:
10.30495/jae.2023.28473.2263

واژه‌های کلیدی:
سیستم پویا، کاربری اراضی و پوشش گیاهی، تغییرات اقلیمی، استان فارس

چکیده

مقدمه و هدف: تغییرات اقلیمی که در سال‌های اخیر در استان فارس رخ داده است، به‌عنوان یکی از مهمترین چالش‌های محیطزیستی در این منطقه شناخته شده است. این تغییرات اقلیمی، تاثیرات قابل توجهی بر کاربری اراضی و پوشش گیاهی این منطقه داشته است. با توجه به این موضوع، استفاده از روش‌های سیستمی برای مدیریت کاربری اراضی و پوشش گیاهی بسیار مفید است.

مواد و روش‌ها: در این مطالعه با بکارگیری روش سیستم پویا، رفتار سیستم کاربری اراضی و پوشش گیاهی استان فارس شبیه‌سازی و عکس‌العمل آن نسبت به تغییرات مختلف اقلیم در طول دوره ۱۴۳۰-۱۴۰۰ بررسی شد.

یافته‌ها: نتایج در طول دوره شبیه‌سازی نشان می‌دهد که مساحت کاربری‌های مسکونی و مناطق بدون استفاده در بازه زمانی ۳۰ ساله روند صعودی خواهد داشت. در مقابل اراضی کشاورزی، پوشش جنگلی، مرتعی و مناطق آبی نیز روند نزولی تغییرات مساحت را داشته است و با گذشت زمان مساحت آن‌ها کاهش می‌یابد.

بحث و نتیجه‌گیری: مطمئناً با شرایط فعلی که با کاهش نزولات آسمانی و منابع آب زیرزمینی همراه بوده‌ایم در آینده‌ای نزدیک با بحران آب زراعی روبرو خواهیم بود و موفقیت از آن کشورهایی خواهد شد که این مایه حیاتی را در اختیار داشته و آن را به خوبی حفظ کنند.

* نویسنده مسوول: صدف بهمن پوری

نشانی: گروه اقتصاد کشاورزی، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران

تلفن: ۰۷۱۳۲۲۸۶۰۸۲

پست الکترونیکی: s.bahmanpouri@shirazu.ac.ir, s.bahmanpouri@gmail.com

مقدمه

زمین به عنوان اصلی‌ترین منابع پایه هرکشور 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. براساس آمار رسمی ایران طی سال‌های اخیر بیش از یک میلیون هکتار اراضی کشاورزی که برای تولید یک سانتی‌متر خاک آن صدها سال زمان نیاز است به دلیل تغییر کاربری اراضی از بین رفته است. تغییر کاربری زمین شامل تغییر نوع کاربری و تغییر در نحوه‌ی پراکنش و الگوهای فضایی فعالیت‌ها و کاربری‌هاست. به عبارت دیگر، تغییر کاربری اراضی یعنی تغییر در نوع استفاده از زمین که لزوما تغییر در سطح زمین نیست، بلکه تغییر در تراکم و مدیریت زمین است (۸). تغییرات صورت گرفته در کاربری اراضی در سطوح مکانی و دوره‌های زمانی مختلف نتیجه پویایی انسان و محیط زیست و تعاملات بین این دو با واسطه زمین است. شدت این تغییرات بسته به زمان و منطقه جغرافیایی مورد نظر متفاوت است.

تغییر کاربری اراضی نه‌تنها تحت تاثیر مباحثی مانند اقتصاد جهانی و تغییر اقلیم است بلکه تغییرات جمعیتی و سیاست‌های محلی نیز نقش تعیین‌کننده‌ای در آن دارند (۱۱). همراه با رشد جمعیت و رشد اقتصاد تقاضا برای زمین به‌عنوان یکی از مهمترین منابع تولید طبیعی افزایش پیدا کرده و با افزایش تقاضا فشار مضاعفی بر کاربری‌های سنتی زمین نظیر زمین‌های کشاورزی برای تغییر کاربری وارد می‌شود.

تغییرات اقلیمی (گرمایش جهانی، تغییرات شدید آب و هوایی و غیره) و تخریب اکولوژیک (تنوع هیدرولوژیکی، فرسایش خاک و غیره)، دارای اثرات بلندمدت است که پویایی چشم‌انداز طبیعی را تغییر می‌دهد (۱،۱۶،۱۷). تنوع دما، دسترسی به آب شیرین و کیفیت خاک بر تصمیمات مختلف کاربری اراضی که تحت فعالیت‌های انسانی است از قبیل بازتوزیع و تبدیل زمین‌های زراعی، علفزار و مرتع تاثیر می‌گذارد (۲۰،۳۲). چنین تعاملات و بازخورد بین تغییر کاربری و پوشش اراضی (LUCC[1]) و محیط زیست در نهایت تاثیر زیادی بر رفاه انسان و پایداری اجتماعی بلندمدت از طریق آلودگی هوا، کمبود منابع طبیعی، تهدید امنیت غذایی و غیره خواهد داشت (۱۳-۱۴). بررسی هر دو اثر LUCC محیط‌زیستی و انسانی برای سازگاری با تغییرات اقلیمی و حفظ پایداری چشم‌انداز اهمیت حیاتی دارد.

مسائل مربوط به تخریب زمین (۷)، تنوع زیستی (۳،۲۴) و تغییرات اقلیمی جهانی (۳۰)، به طور فزاینده‌ای نیاز به اطلاعات کمی در مورد LUCCهای منطقه‌ای و جهانی و تغییرات آینده‌ی آن‌ها دارد. برای درک این فرایند، پیش‌بینی الگوهای استفاده از پوشش زمین در آینده و یافتن راهکارهایی برای کاهش اثرات نامطلوب چنین تغییرات کاربری و پوشش اراضی، بسیار مهم است. توانایی پروژه LUCC آینده و پیامدهای اجتماعی-اکولوژیکی آن بستگی به میزان اطلاعات ما از عوامل موثر در تغییر کاربری و پوشش اراضی در گذشته، حال و آینده دارد (۳۱). با این حال، روابط بین عوامل موثر در تغییر و پدیده LUCC بسیار پیچیده شده است که مانع ایجاد یک نظریه عمومی برای این روابط می‌شود.

تغییر کاربری و پوشش زمین عمدتا ناشی از تعامل و واکنش پیچیده‌ی بین سیستم متشکل از انسان‌ها و محیط‌زیست شکل می‌گیرد. مکانیسم بازخورد میان اجزای این سیستم انسانی-محیط زیستی منجر به تغییر الگوی کاربری و پوشش اراضی می‌گردد که نمی‌توان آن را با تجزیه و تحلیل هر یک از اجزای سیستم به تنهایی توضیح داد (۲۲)، اغلب پیچیدگی‌های سیستم فراتر از درک مدل‌های ذهنی است. از این رو، رویکردهای یکپارچه و کمی که موضع سیستم را در نظر می‌گیرند، به عنوان وسیله‌ای برای شناسایی این پیچیدگی‌های سیستم‌های بیوفیزیکی، اجتماعی-اقتصادی است (۱۰،۲۵،۲۸). پارکر و همکاران (۲۲)، با توجه به سیستم‌های کاربری زمین، سیستم‌های پویا[2] را به عنوان یک ابزار مفید برای تجزیه و تحلیل روابط بین تمامی اجزای یک سیستم پیچیده معرفی نمودند. شبیه‌سازی پویا به ما این اجازه را می‌دهد تا رفتار یک سیستم، مدل‌سازی و عکس‌العمل آن نسبت به تغییرات مختلف در طول زمان مشاهده گردد. همچنین سیستم پویا می‌توانند تعاملات بین انسان و محیط‌زیست و همچنین بازخوردهای آن‌ها را درون سیستم نشان دهد. در تفکر سیستمی، هر سیستم شامل ورودی، خروجی، پردازش و بازخوزد بین اجزای مختلف است. تفکّر سیستمی به مدیران کمک می‌کند تا ساختار، الگوها و وقایع را در پیوند با یکدیگر مورد بررسی قرار دهند و تنها به مشاهده اکتفا نکنند. برنامه‌های کاربردی سیستم پویا برای درک مسائل پیچیده با توجه به تغییر کاربری و پوشش اراضی در بسیاری از مطالعات نشان داده شده است (۵،۲۷).

اگر چه بسیاری از این مدل‌ها عوامل اجتماعی-اقتصادی و جغرافیایی را مورد توجه قرار داده‌اند، مطالعات اندکی اثر شرایط محیطی را در نظر گرفته‌اند. بسیاری از مطالعات قبلی توافق داشتند که عوامل محیطی (مثلا افزایش دما و تغییرات بارش) اثرات قابل توجهی بر LUCCهای خاص مانند جنگل، زمین‌های

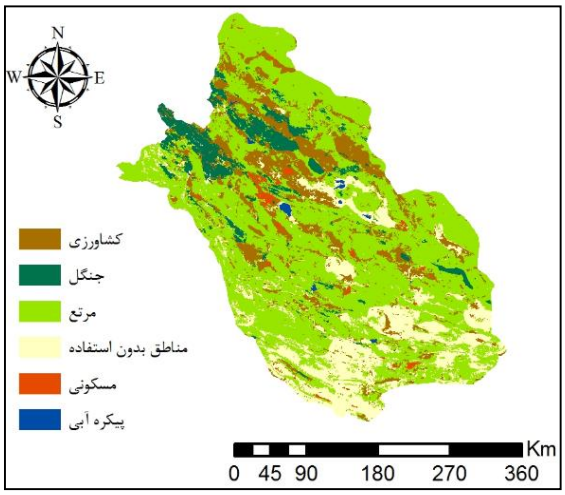
[1] Land use and land cover change

[2] System Dynamics

کشاورزی و چمنزار داشته‌اند (۱،۲۰،۳۲). بدون ترکیب سناریوهای تغییرات اقلیمی، این مدل‌ها برای شبیه‌سازی LUCC آینده دقیق نمی‌باشند زیرا تغییرات اقلیمی تاثیر قابل توجهی در پویایی LUCC دارد. با چنین دیدگاهی، در این بررسی با در نظر گرفتن سناریوهای اقلیمی در مدل‌سازی سیستم کاربری اراضی و پوشش گیاهی در استان فارس با روش سیستم پویا ارزیابی شد.

منطقه مورد بررسی

استان فارس در جنوب غرب واقع و از شمال به استان‌های اصفهان و یزد، از غرب به استان‌های بوشهر و کهگیلویه و بویر احمد، از جنوب به استان هرمزگان و از شرق به استان کرمان محدود است. بر اساس آخرین تقسیمات کشوری استان فارس دارای ۲۹ شهرستان، ۱۰۲ شهر، ۸۴ بخش، ۲۰۵ دهستان و ۸۳۶۹ آبادی می‌باشد. وسعت استان فارس بالغ بر ۱۲۲ هزارکیلومتر مربع بوده که معادل ۷/۵ درصد از مساحت کل کشور می باشد. با توجه به نقشه کاربری اراضی تهیه شده برای سال ۱۳۹۹ (شکل (۱))، حدود ۱۲ هزار کیلومتر مربع را زمین‌های زراعی، ۱۳ هزار کیلومتر مربع را مناطق جنگلی، ۷۸ هزار کیلومتر مربع را چمنزار و اراضی مرتعی، یک هزار کیلومتر مربع مناطق مسکونی، دو هزار کیلومتر مربع را مناطق آبی و مابقی (۱۶ هزار کیلومتر مربع) را زمین‌های غیر قابل استفاده از قبیل شوره‌زارها و بیابان‌ها تشکیل می‌دهد.



شکل ۱- الگوی کاربری و پوشش اراضی استان فارس در سال ۱۳۹۹

آگاهی از توزیع جغرافیایی الگوهای بارش و توده های هوای بوجود آورنده آن و بررسی ویژگی های بارندگی و پهنه‌بندی آن به دلیل استفاده گسترده آن در کشاورزی، منابع آب، صنعت توریسم، بهره‌برداری از سدها، دانش آبیاری، استفاده بهینه از منابع آب و خاک و افزایش تولیدات زراعی و باغی و دامی، حائز اهمیت است. بارندگی زمستانه در تامین منابع آب در استان فارس نقش اساسی را ایفا می‌نماید و این نقش از شمال به جنوب و از غرب به شرق استان، بدلیل کم‌تر شدن بارش و کمبود چشمه‌سارها و رودخانه‌های دائمی و گرم‌تر شدن هوا و احتیاج بیشتر به نزولات جوی، افزایش پیدا می‌کند.

بیش از ۱۰ هزار هکتار از اراضی کشاورزی استان فارس در سال‌های گذشته به شکل غیرمجاز تغییر کاربری داده شده است. پدیده‌ی تغییر کاربری اراضی به عنوان چالشی بزرگ مطرح است که علاوه‌بر پیامدهای اکولوژیکی و زیست‌محیطی موجب خدشه‌دار شدن امنیت غذایی مردم این استان می‌شود.

با توجه به شکل (۲)، بررسی‌های نقشه‌های جوی مربوط به ۳۰ سال گذشته استان نشان می‌دهد که استان فارس در سال‌های مختلف، تحت تاثیر سیستم‌های جوی و توده‌های هوای متفاوتی قرار می‌گیرد. تغییر اقلیم، یکی از موثرترین عوامل تغییردهنده‌ی الگوی بارش در یک منطقه می‌باشد. با توجه به آثار گسترده و متقابل اقلیم با بخش‌های مختلف کشاورزی، زیست‌محیطی و جوامع انسانی، امروزه از تغییر اقلیم به عنوان یکی از مهم‌ترین چالش‌های زیست‌محیطی در قرن بیست و یکم یاد می‌شود (۲۳). به این ترتیب، اهمیت نقش تغییر اقلیم بر مدیریت اراضی یک منطقه را در جهت استفاده در برنامه‌ریزی‌های کلان کشور اجتناب‌پذیر می‌نماید. مدل‌سازی سیستم پویا می‌تواند به منظور ارزیابی و شناسایی اثرگذاری‌های سناریوهای مختلف اقلیمی در سیستم کاربری اراضی و پوشش گیاهی نقش بسزایی داشته باشد.

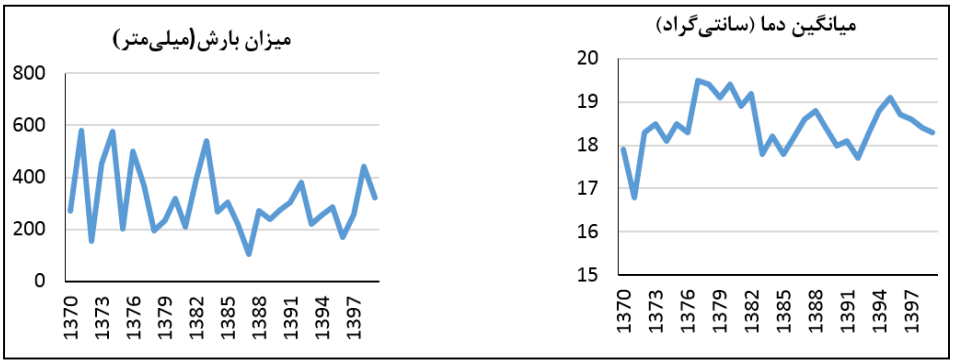
روش تحقیق

الف) سیستم پویا (SD)

مدل SD یک رویکرد موثر برای مدل‌سازی رفتار غیرخطی سیستم‌های پیچیده در طول زمان با استفاده از سهام، جریان‌ها، حلقه‌های بازخورد داخلی و تاخیر زمانی است (۶). سیستم پویا می‌تواند برای درک و پیش‌بینی تکامل یک سیستم پیچیده از طریق بازخورد و تعامل در میان عناصر مختلف مورد استفاده قرار گیرد. در حال حاضر مدل SD به طور گسترده‌ای در

سیاست‌گذاری و تجزیه و تحلیل در بخش‌های عمومی و خصوصی مورد استفاده قرار می‌گیرد (۵،۱۲).

سیستم‌های پویا، سیستم‌هایی هستند که رفتارشان تابع زمان است. اولین مرحله تعریف و شناسایی مسئله به صورت پویا است و تلاش برای دستیابی به یک بینش رفتاری درون‌زا از پویایی سیستم و تمرکز بر روی ویژگی‌های سیستم و درک تمام مفاهیم در سیستم واقعی به‌عنوان مقادیر پیوسته‌ای که در حلقه‌های بازخوردی و حلقه‌ی علیت با یکدیگر در ارتباط هستند. همچنین شناسایی سطوح ذخیره (Stocks)، مانند جمعیت، و نرخ جریان‌های ورودی و خروجی آن‌ها (Flows)، مانند نرخ رشد جمعیت در سیستم می‌باشد. مرحله‌ی بعد تدوین یک مدل رفتاری است که توانایی بازتولید خود را داشته باشد. این مدل یک شبیه‌سازی کامپیوتری است که معمولا به صورت معادلات غیرخطی بیان می‌شود، اما گاهی اوقات به‌جای اینکه به صورت کمّی بیان شود، به‌صورت یک شکل بر مبنای ساختار بازخوردی انباشت و جریان، ساختار بازخوردی علیتی سیستم بیان می‌شود (۲۶،۲۹).



شکل ۲- روند تغییرپذیری‌های بارندگی و دما در شیراز

مفهوم بازخورد یکی از مهم‌ترین بخش‌های روش سیستم پویا است. شکل حلقه‌های بازخورد و حلقه‌ی علیت ابزارهایی برای مفهوم‌سازی ساختار یک سیستم پیچیده هستند و بین یافته‌های مبتنی بر مدل ارتباط برقرار می‌کنند. یک حلقه‌ی بازخوردی هنگامی به‌وجود می‌آید که اطلاعات حاصل از یک اقدام یا عمل در سراسر یک سیستم به صورت دایره‌ای گردش کند و در نهایت به نقطه‌ی مبدأ بازگردد. اگر حلقه به تقویت اقدام اولیه گرایش داشته باشد، به آن حلقه‌ی بازخورد مثبت یا حلقه‌ی تقویت‌کننده گفته می‌شود. در این حالت اگر یک متغیر افزایش (کاهش) یابد، پس از یک تأخیر دوباره افزایش (کاهش) خواهد یافت. درصورتی‌که حلقه به مخالفت با اقدام اولیه گرایش داشته باشد، حلقه به‌عنوان حلقه‌ی بازخورد منفی یا متعادل‌کننده نامیده می‌شود. دراین‌حالت، اگر متغیر کاهش یابد، پس از یک تاخیر افزایش خواهد یافت و اگر افزایش یابد، پس از یک تاخیر کاهش خواهد یافت. در حلقه‌های متعادل‌کننده هماهنگی و ثبات وجود دارد اما حلقه‌های تقویت‌کننده ناهماهنگ و بی‌ثبات هستند. ترکیب این دو حلقه، می‌تواند تمام روش‌های الگوهای پویا را تولید کند (۲۹).

بعد از ایجاد سیستم، مدل اجرا و کالیبره می‌شود و اگر نیاز باشد مدل اصلاح می‌گردد. پس از شبیه سازی مدل ایجاد شده می‌توان با تغییر میزان متغیرها، سناریوهای مختلفی را ایجاد نمود و با اعمال نمودن هر سناریو میزان تغییرپذیری هر یک از متغیرهای مدل را بررسی کرد و به این ترتیب حد نصاب برای هر یک از اهداف تعیین شده در مدل قابل تعیین می‌باشد. بررسی اعتبار مدل مرحله اخر می‌باشد که از تست‌های مختلفی مانند تحلیل حساسیت، تحلیل حدی، سازگاری بعد متغیرها و غیره استفاده می‌شود (۱۵).

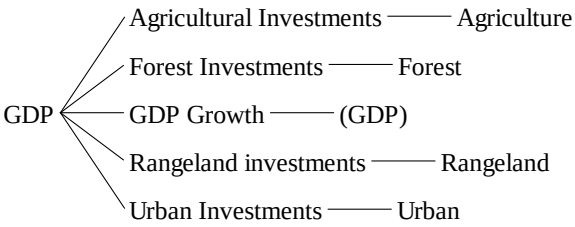
ب) الگو تقاضای کاربری اراضی با استفاده از سیستم پویا (SD)

در این مطالعه، یک مدل سیستم پویا برای توسعه تقاضاهای مختلف کاربری اراضی در سناریوهای مختلف اقلیمی با توجه به فعالیت‌های انسانی را توسعه داده شد. تعاملات و بازخورد مدل SD در شکل (۳) ارائه شده است. مدل SD توسعه یافته شامل چهار زیر سیستم جمعیت، اقتصاد، آب و هوا و کاربری اراضی است.

زیر سیستم اقتصادی

بخش اقتصاد تأثیرات قابل توجهی بر جمعیت و کاربری اراضی دارد، زیرا تولید ناخالص داخلی (GDP) بر تغییر سرمایه‌گذاری در بخش‌های مختلف اثر گذاشته و به این ترتیب سرمایه‌گذاری اقتصادی در انواع مختلف کاربری اراضی را تحت تاثیر قرار داده است (شکل (۴)). مقدار GDP در مدل به صورت رابطه (۱) محاسبه شد.

$$GDP = \int (GDP\ Growth)dt + GDP(0) \qquad (۱)$$



شکل٤- اثر GDP بر کاربری اراضی و پوشش‌های گیاهی

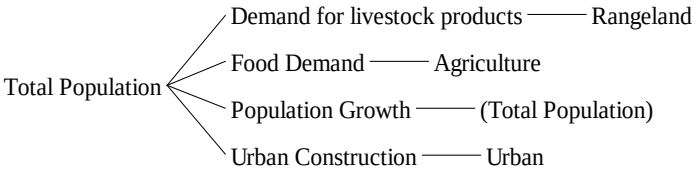
زیر سیستم جمعیت

بخش جمعیت از اهمیت زیادی برخوردار است؛ زیرا هر گونه تغییر در این بخش، به طور عمده به میزان و ساختار جمعیت اشاره دارد و باعث تغییراتی در سایر بخش‌ها می شود. نرخ رشد جمعیت، که تفاوت بین نرخ زادوولد و نرخ مرگ ومیر می‌باشد بر بخش جمعیت تاثیرگذار هستند. ارتباط زیر سیستم جمعیت در مقدار تقاضای اراضی متفاوت است. همان‌طور که در شکل (۵) مشاهده می‌شود، جمعیت کل روی چند مولفه اثر مثبت دارد. رشد جمعیت باعث افزایش تقاضا برای مواد غذایی می‌شود که بر کاربری کشاورزی اثرگذار است.

از طرفی با افزایش جمعیت ساخت و ساز مسکونی افزایش یافته و بر کاربری شهری اثر می‌گذارد. همچنین با افزایش جمعیت، تقاضا برای تولیدات دامی افزایش یافته که این خود بر کاربری مرتع تاثیرگذار می‌باشد.

تغییر جمعیت به عنوان یکی از عوامل اثرگذار در تغییر پوشش و کاربری اراضی بر این سیستم اعمال و اثرات آن در طول زمان لحاظ شده است. متغیر جمعیت به صورت رابطه (۲) در مدل محاسبه شده‌است.

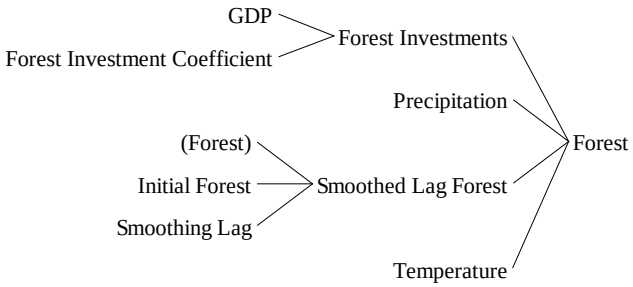
$$\text{Population} = \int (\text{Population Growth})dt + \text{Population}(0) \qquad (۲)$$



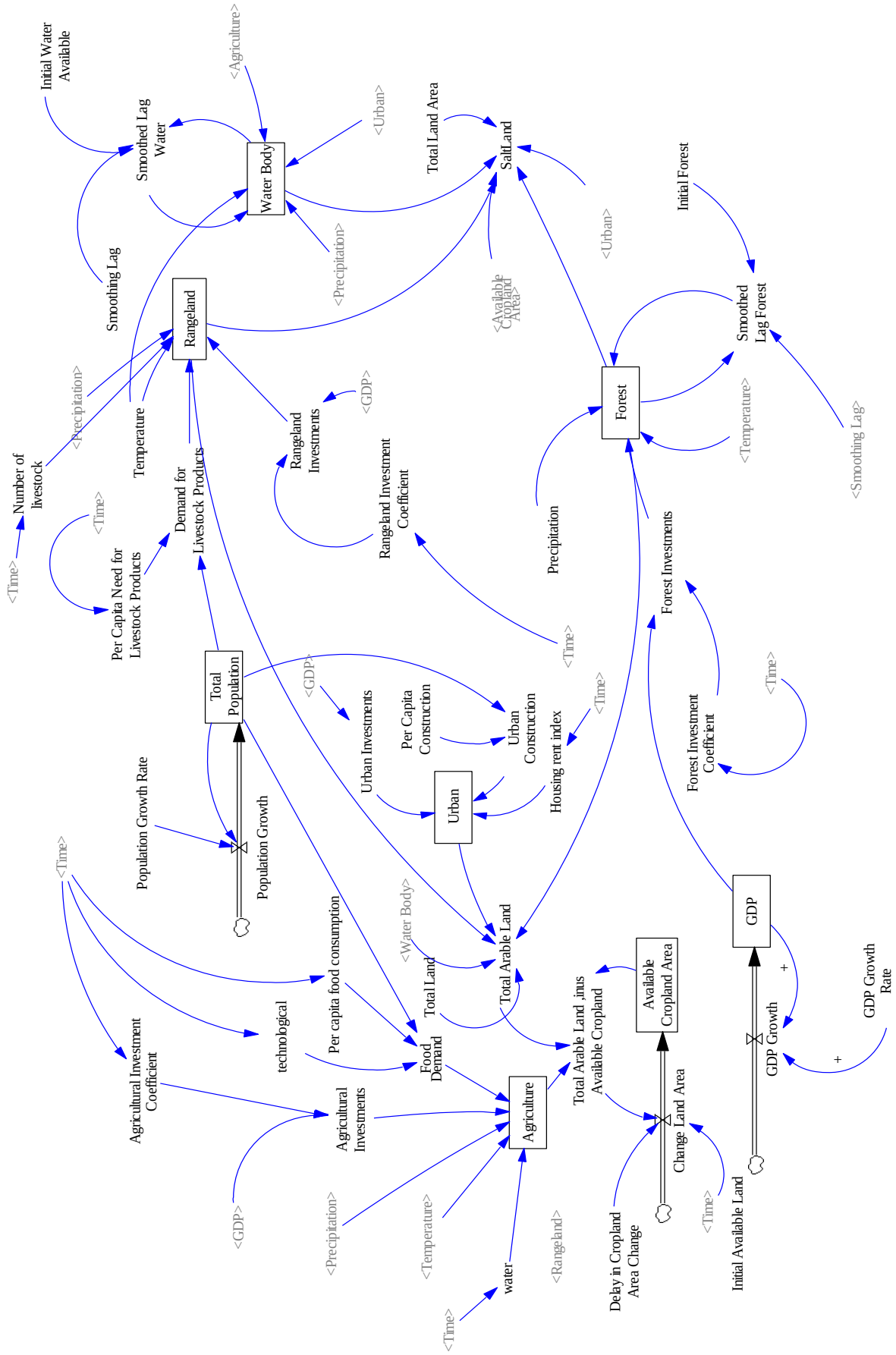
شکل ٥- اثر جمعیت بر کاربری اراضی و پوشش‌های گیاهی

زیر سیستم کاربری اراضی

در مجموع شش نوع کاربری اراضی در بخش کاربری اراضی مورد توجه قرار گرفته است که شامل زمین مسکونی، اراضی کشت شده، مرتع، جنگل، آب و زمین‌های غیر قابل استفاده می‌شود. تغییرات در هر نوع کاربری اراضی با تأثیرات یکپارچه شرایط اجتماعی–اقتصادی و آب و هوایی و نیز تعاملات بین انواع مختلف کاربری اراضی محدود می‌شود. به عنوان مثال، مناطق جنگلی به وسیله عوامل اجتماعی–اقتصادی و شرایط آب و هوایی، مانند بارش و درجه حرارت، تخمین زده شد. روابط بین سایر کاربری و پوشش‌های گیاهی با متغیرهای تاثیرگذار بر آن‌ها نیز هر کدام جداگانه بدست آمد و در مدل سیستم پویا مورد استفاده قرار گرفت (شکل ۶). این جزء SD یک راه مناسب برای ضبط اثرات عمده تغییرات اجتماعی–اقتصادی و اقلیمی در تقاضای استفاده از اراضی را فراهم می‌کند.



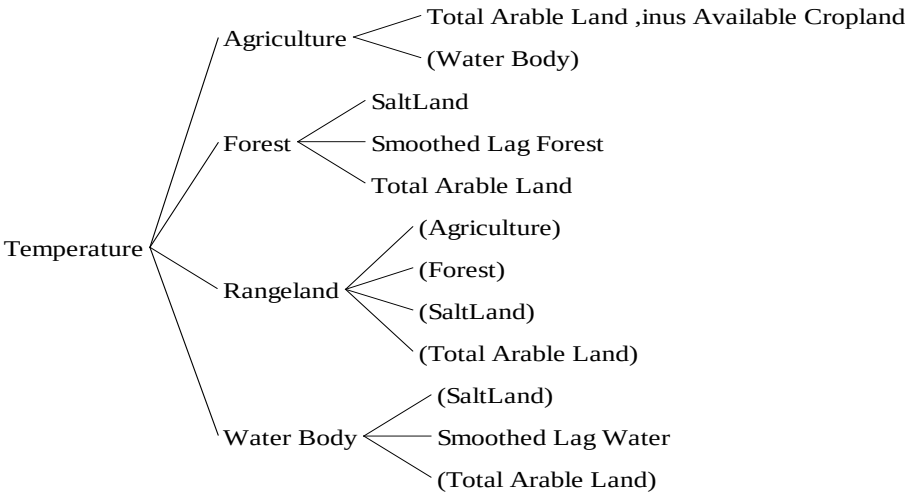
شکل ٦- متغیرهای اثرگذار بر مناطق جنگلی (یافته‌های مطالعه)



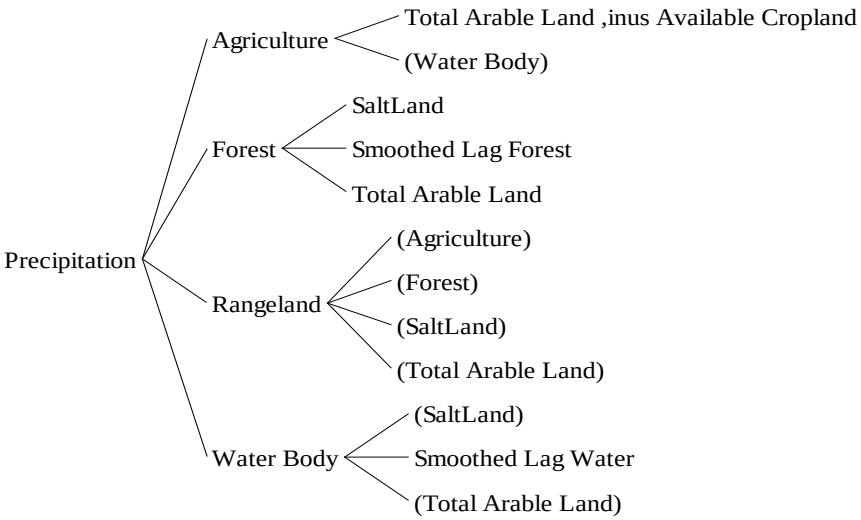
شکل ۳- شکل ذخیره جریان سیستم کاربری اراضی و پوشش گیاهی در استان فارس

زیرسیستم آب و هوا

شرایط آب و هوایی اثر بلندمدت در پویایی تغییر چشم انداز طبیعی دارد، بنابراین، بخش آب و هوا (بارندگی سالانه و درجه حرارت) نیز در مدل SD گنجانده شده است. تغییرات دما تأثیرات مختلفی بر ظرفیت رشد و بازسازی اراضی کشت شده، اراضی جنگلی و مرتع دارد (شکل ۷). به طور مشابه، افزایش مناسب بارش‌ها برای رفع نیاز آبی گیاهان، منجر به تغییر در اراضی کشت شده، اراضی جنگلی و مرتع دارد (شکل ۸).



شکل ۷- اثر دما بر کاربری اراضی و پوشش‌های گیاهی



شکل ۸- اثر بارندگی بر کاربری اراضی و پوشش‌های گیاهی

آمار بلندمدت داده‌های هواشناسی شامل درجه حرارات حداقل و حداکثر بر حسب درجه سانتی‌گراد، میزان بارندگی روزانه بر حسب میلی‌متر و شدت تشعشع روزانه خورشیدی بر حسب مگاژول در مترمربع در روز از بانک داده‌های سازمان هواشناسی استان فارس تهیه گردید. داده‌های آب‌وهوایی ایستگاه‌ها دردوره‌ی ۳۰ ساله (۱۳۹۹-۱۳۷۰)، بعنوان مبنا مورد استفاده قرار گرفت. سپس با توجه به اینکه مدل‌های گردش عمومی جو معتبرترین ابزار برای بررسی تغییر اقلیم می‌باشند، در این مطالعه از گزارش ارزیابی پنجم که جدیدترین گزارش IPCC است که از سناریوهای RCP پشتیبانی می‌کند و همچنین از نرم‌افزار زیرمقیاس‌نمایی LARS-WG6 استفاده گردید. نرخ رشد جمعیت و نرخ رشد GDP نیز از سالنامه‌های آماری استان فارس تهیه شده است. جدول (۱)، ویژگی سناریوهای به‌کار رفته در این مطالعه را نشان می‌دهد (۴).

جدول ۱- ویژگی‌های سناریوهای مورد بررسی

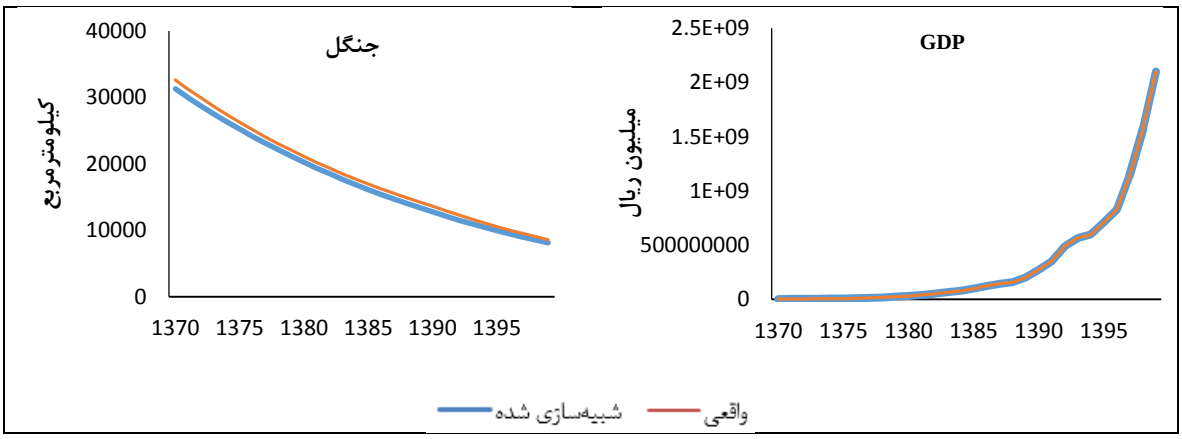
سناریو	توضیح
سناریو پایه	نرخ رشد جمعیت برابر با ۱/۰۷ درصد، درصد تغییرات GDP استان ۱۷ درصد و نبود تغییر متغیرهای اقلیمی (دمای میانگین سالانه ۱۸/۳ درجه سلسیوس و میزان بارش ۳۲۲ میلی‌متر درسال)
سناریو اول (خوشبینانه)	نرخ رشد جمعیت و GDP بدون تغییر، افزایش دما =به میزان ۱/۷ درجه سلسیوس و شبیه‌سازی میزان بارش با توجه به سناریو (RCP2.6)
سناریو سوم (بدبینانه)	نرخ رشد جمعیت و GDP بدون تغییر، افزایش دما به میزان ۴/۷ درجه سلسیوس و شبیه‌سازی میزان بارش با توجه به سناریو (RCP8.5)

مأخذ: یافته‌های تحقیق

در ادامه پس از اعمال سناریوهای تغییر بارش و دما مورد بررسی به مقایسه سیستم در شرایط مختلف آب‌وهوایی پرداخته شد. در نهایت برای ساخت مدل و اجرای آن و شبیه‌سازی رفتار سیستم از نرم‌افزار Vensim DSS استفاده شد. دوره مورد بررسی در سال‌های ۱۴۳۰-۱۳۷۰ بوده است که سال‌های ۱۳۹۹-۱۳۷۰ برای واسنجی (کالیبراسیون) و راست‌آزمایی مدل استفاده شد.

نتایج و بحث

همان‌طور که در شکل (۹) مشاهده می‌شود، برای مثال مقایسه مقادیر مشاهده شده و پیش‌بینی‌شده متغیرهای GDP و پوشش جنگلی در طی سال‌های مورد بررسی، گویای همخوانی خوب خروجی‌های مدل با داده‌های تاریخی است. لذا می‌توان از مدل طراحی شده برای بررسی و شبیه‌سازی اثرگذاری‌های سناریوهای مختلف استفاده کرد.

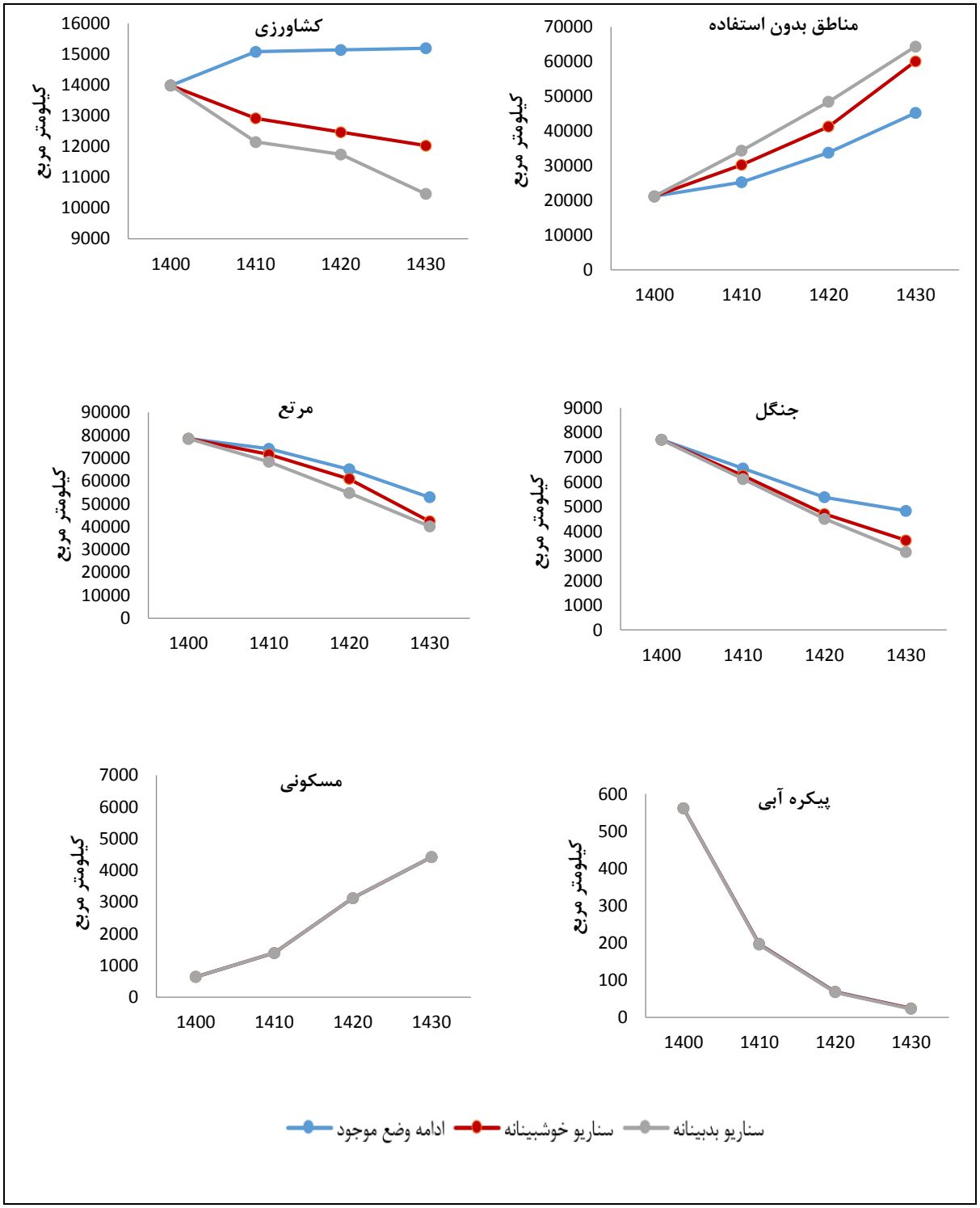


شکل ۹- مقایسه رفتار شبیه‌سازی شده پوشش جنگلی و مناطق آبی با داده‌های تاریخی

پس از اعتبارسنجی مدل، رفتار متغیرهای کلیدی مدل (مساحت کاربری اراضی و پوشش‌های گیاهی) بر مبنای سناریوهای تعریف‌شده در جدول (۲)، شبیه‌سازی شد. نتایج حاصل از ارزیابی روند تغییرات مساحت کاربری‌ها و پوشش گیاهی‌ها در بازه‌های زمانی مورد بررسی نیز به صورت شکل (۱۰) است. نتایج روند تغییرات نشان می‌دهد که مساحت کاربری‌های مسکونی و مناطق بدون استفاده در بازه زمانی ۴۰ ساله روند صعودی خواهد داشت، در مقابل اراضی کشاورزی، پوشش جنگلی، مرتعی و مناطق آبی نیز روند نزولی تغییرات مساحت را داشته است و با گذشت زمان مساحت آن‌ها کاهش می‌یابد.

نتایج جدول (۲) نشان می‌دهد که در طی دوره‌ی ۱۰ ساله، در سال ۱۴۱۰ با ثابت بودن شرایط اقلیمی، تحت سناریو پایه، پوشش جنگلی، مرتع و پیکره آبی به ترتیب ۱۵، ۵/۶ و ۶۴/۹ درصد کاهش یافته و به مساحت کشاورزی، مناطق مسکونی و مناطق بدون پوشش به ترتیب ۷/۸، ۱۱۷ و ۱۹/۱ درصد افزوده شده است. متغیر جمعیت از طریق مصرف سرانه مواد غذایی و همچنین سرانه نیاز به مسکن بر تقاضای کاربری کشاورزی و مسکونی اثرگذار است. لذا با توجه به روند افزایشی جمعیت در طول این دوره، تقاضا برای مواد غذایی و مسکن افزایش می‌یابد که برای پاسخگویی به این نیازها مقدار تقاضا برای اراضی کشاورزی و مناطق مسکونی افزایش یافته است. با اعمال سناریوهای اقلیمی، کاربری کشاورزی در حالت خوش‌بینانه به میزان ۷/۶ درصد کاهش یافته که نسبت به حالت پایه کاهش ۱۴/۳ درصدی در مقدار مساحت را داشته است و این مقدار تغییر نسبت به سال ۱۴۰۰ در حالت بدبینانه با افزایش دما و کاهش بارش به ۱۳/۱ درصد افزایش در مساحت می‌رسد که کاهش ۱۹/۴ درصدی

نسبت به سناریو پایه دارد. با توجه به اینکه برای چهار کاربری به طور مستقیم متغیرهای اقلیمی (دما و میزان بارش) بر مقدار تقاضای آن‌ها اثرگذار است با اعمال سناریو مقدار مساحت آن‌ها تحت تاثیر قرار گرفته و نسبت به سناریو پایه کاهش می‌یابند. برای پوشش جنگلی مقدار تغییر بین ۱۵ درصد تا ۲۰/۷ برای سناریو پایه و سناریو سوم که حالت بدبینانه است در نوسان است.



شکل ۱۰- پیش‌بینی تقاضای کاربری و پوشش‌های گیاهی در شرایط سناریوهای مختلف از سال ۱۴۰۰ تا ۱۴۳۰

پوشش مرتعی نیز بیشترین کاهش مساحت را در حالت بدبینانه دارد که تغییر ۱۲/۹ درصدی را نسبت به سال ۱۴۰۰ و نسبت به سناریو پایه کاهش ۷/۴ درصدی داشته است. مناطق مسکونی در دوره‌ی ۱۰ ساله‌ی اول شبیه‌سازی نسبت به سال پایه (۱۴۰۰)،

افزایش ۱۱۶/۹ درصدی در مساحت داشته است. همان‌طور که در شکل (۳)، نشان داده شد مقدار GDP با متغیر سرمایه‌گذاری در بخش ساخت‌وساز و متغیر جمعیت با نیاز سرانه به مسکن بر کاربری مسکونی اثرگذار می‌باشد و در دوره‌ی شبیه‌سازی با افزایش این دو عوامل انسانی و اقتصادی، تقاضا برای مسکن افزایش یافته‌است. با اعمال سناریوهای اقلیمی مساحت مناطق مسکونی تحت تاثیر قرار نگرفته و تغییری نداشته است. زیرا این متغیرها (دما و بارش)، همان‌طور که در شکل (۳)، مشاهده شد در طراحی مدل به طور مستقیم بر این نوع کاربری تاثیر نداشته‌اند. مناطق آبی در طی این دوره با ۶۴/۸ درصد بیش‌ترین کاهش در مساحت را نسبت به سال پایه در بین کاربری‌های تعریف شده را دارد. با توجه به اینکه آب مورد نیاز برای کشاورزی و شرب در حال افزایش است به طور مستقیم بر منابع آبی استان اثر منفی گذاشته و مقدار آن را کاهش داده است. اعمال سناریو تاثیر بسیار ناچیزی در کاهش مساحت مناطق آبی داشته است. با کاهش مناطق جنگلی و مرتعی در طول این ۱۰ سال به مساحت مناطق بیابانی و شوره‌زار که در این مطالعه با نام مناطق بدون استفاده تعریف شده، اضافه شده است که در سناریو پایه با ثابت بودن شرایط اقلیمی و سایر متغیرهای تاثیرگذار در مدل با افزایش ۱۹/۱ درصدی همراه بوده است که با اعمال سناریوهای اقلیمی در سناریو سوم که حالت بدبینانه می‌باشد درصد افزایش مناطق بدون استفاده به بیشترین مقدار خود یعنی ۶۲ درصد رسیده زیرا میزان کاهش در سطح اراضی کشاورزی، پوشش جنگلی و مرتعی در این سناریو نسبت به دو سناریو دیگر مقدار کاهش بیشتری نسبت به سناریو پایه داشته اند.

در ادامه شبیه‌سازی تا سال ۱۴۳۰ روند تغییر کاربری و پوشش گیاهی‌ها ثابت مانده، به طوری که اراضی کشاورزی در سناریو پایه نسبت به سال ۱۴۰۰ با افزایش مساحت ۸/۶ درصدی همراه بوده است. روند تغییر با اعمال سناریوها همانند سال ۱۴۱۰ ادامه پیدا کرده و در سناریو سوم (حالت بدبینانه)، با کاهش ۲۵/۹ درصدی نسبت به سال ۱۴۰۰ و نسبت به سناریو پایه در همین سال کاهش ۳۱/۱ درصدی در مساحت را داشته است. پوشش جنگلی در سناریو پایه کاهش ۳۷/۳ درصدی سطح را نسبت به سال ۱۴۰۰ داشته که با اعمال سناریوهای اقلیمی این درصد کاهش نسبت به حالت پایه بیشتر شده به‌طوری که در سناریو سوم (حالت بدبینانه) با کاهش ۵۹ درصدی همراه بوده است. پوشش مرتعی نیز در دوره ۲۰ ساله‌ی دوم روند نزولی داشته و در سناریو سوم (حالت بدبینانه)، با ۴۸/۸ درصد بیشترین اختلاف را نسبت به سال ۱۴۰۰ دارد. مناطق مسکونی در بین کاربری‌ها بیشترین افزایش در مساحت را داشته و در سناریو پایه بدون در نظر گرفتن شرایط اقلیمی و با تاثیرپذیری از فعالیت‌های انسانی و شرایط اقتصادی موجود ۵۸۵/۴ درصد افزایش را نسبت به سال پایه (۱۴۰۰) دارد. با اعمال سناریوها نیز این مقدار ثابت مانده و تحت تاثیر شرایط اقلیمی قرار نگرفته و ثابت مانده است. مناطق آبی در طی دوره‌ی ۳۰ سال به میزان ۹۵/۷ درصد کاهش یافته و اعمال سناریوها تاثیر اندکی بر میزان کاهش مجدد داشته است به طوری که در سناریو بدبینانه (سناریو سوم)، با همان میزان کاهش به ۲۲/۸ کیلومترمربع می‌رسد. تغییراتی را که در طول زمان بر روی گستره‌های منابع طبیعی صورت گرفته، آنها را تبدیل به اراضی کشاورزی، مناطق مسکونی و مناطق بدون پوشش و بدون استفاده کرده است. در انتها با کاهش پوشش جنگلی و مرتع و همچنین مناطق آبی، مناطق بدون استفاده در سناریو پایه با افزایش ۱۱۳/۴ درصدی نسبت به سال ۱۴۰۰ همراه بوده که این مقدار در سناریو خوش‌بینانه به ۱۸۳/۶ درصد و در سناریو بدبینانه به ۲۰۳/۶ درصد افزایش یافته است.

جدول ۲- درصد تغییرات کاربری اراضی و پوشش‌های گیاهی در شرایط سناریوهای مختلف

نوع کاربری	۱۴۰۰	۱۴۱۰ (درصد تغییرات نسبت به سال ۱۴۰۰)			۱۴۳۰ (درصد تغییرات نسبت به سال ۱۴۰۰)		
	مساحت (کیلومترمربع)	ادامه وضع موجود	خوشبینانه	بدبینانه	ادامه وضع موجود	خوشبینانه	بدبینانه
کشاورزی	۱۳۹۸۱/۰۶	۷/۸۳	-۷/۶۳	-۱۳/۱۲	۸/۶۴	-۱۳/۹۸	-۲۵/۱۸
جنگل	۷۷۱۴/۴۳	-۱۵/۰۳	-۱۸/۹	-۲۰/۶۷	-۳۷/۳۵	-۵۲/۸۸	-۵۸/۹
مرتع	۷۸۵۰۰/۹۹	-۵/۵۸	-۸/۸	-۱۲/۹	-۳۲/۶۱	-۴۶/۰۲	-۴۸/۸۴
مسکونی	۶۴۴/۹۴	۱۱۶/۹۶	۱۱۶/۹۶	۱۱۶/۹۶	۵۸۵/۴۲	۵۸۵/۴۲	۵۸۵/۴۲
پیکره آبی	۵۶۱/۰۳	-۶۴/۸۷	-۶۵/۰۳	-۶۵/۱۹	-۹۵/۷۴	-۹۵/۷۶	-۹۵/۹۳
مناطق بدون پوشش	۲۱۲۰۰/۸۵	۱۹/۱۱	۴۲/۶۳	۶۲/۰۷	۱۱۳/۳۶	۱۸۳/۳۶	۲۰۳/۶۵

مأخذ: یافته‌های تحقیق

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

در این مطالعه تلاش شد تا با یک رویکرد سیستمی به شبیه‌سازی رفتار سیستم کاربری اراضی در استان فارس پرداخته شود. دو متغیر دما و بارش به عنوان ورودی مدل بر روی تقاضای اراضی کشاورزی، جنگل، مراتع و پیکره آبی تاثیر مستقیم دارند. نتایج نشان داد که با اعمال سناریوهای اقلیمی، کاربری کشاورزی نسبت به حالت ادامه وضعیت موجود کاهش یافته است. مطمئناً با شرایط فعلی که با کاهش نزولات آسمانی و منابع آب زیرزمینی همراه بوده‌ایم در آینده‌ای نزدیک با بحران آب زراعی روبرو خواهیم بود و موفقیت از آن کشورهایی خواهد شد که این مایه حیاتی را در اختیار داشته و آن را به خوبی حفظ کنند.

سطح پوشش جنگلی و مرتع نیز با اعمال سناریوها کاهش بیشتری نسبت به حالت پایه دارند. کاربری مسکونی با توجه به

اینکه متغیرهای اقلیمی تقاضای آن را تحت تاثیر قرار نداده‌اند با تغییر این دو متغیر سطح آن نسبت به سه حالت تعریف شده ثابت می‌ماند و با همان نرخ افزایشی که در حالت ادامه وضعیت موجود دارد در دو سناریو اقلیمی هم با همان نرخ افزایش می‌یابد. کاهش بارندگی و افزایش دما باعث کاهش منابع آب سطحی شده و از طرفی کاهش این نوع منابع باعث کاهش آب در دسترس برای کشاورزی می‌شود، در نتیجه باعث افزایش استفاده از منابع آب‌های زیرزمینی شده و این به نوبه خود باعث تخریب اراضی و بیابان‌زایی می‌شود که همسو با نتایج مطالعه اسکندری و همکاران (۹) است. تبدیل سطح قابل توجهی از کاربری‌های مختلف به زمین‌های بدون استفاده و رها شده به ویژه بخش مهمی از پوشش مرتعی در مناطق جنوب و مرکزی استان، می‌تواند به دلیل خشکسالی و نبود آب در این مناطق باشد که نشان‌دهنده اثر تغییرات اقلیمی بر تغییر کاربری اراضی است. محدودیت ذاتی منابع آب، زمینه را برای بروز خشکسالی‌های شدید در بخش‌هایی از کشور بیشتر کرده است. خشکسالی پدیده‌ای غیرطبیعی نیست، اما ابعاد و اثرات تخریبی آن به نسبت شدت و موقعیت جغرافیایی متفاوت است. وقوع پدیده‌های خشکسالی به صورت ادواری زمینه آسیب پذیری بیشتر کشور از منابع آب را فراهم می‌نماید (۲۱).

کاهش بارندگی و افزایش دما در دو سناریو اعمال شده در استان فارس بر پیکره آبی و ذخایر سدهای استان تاثیر گذاشته است. در این زمینه تحقیقات بهمنش و همکاران (۲) نشان داد که کمبود بارش، کمبود فشار بخار هوا، تشدید تبخیر و تعرق و افزایش دمای هوا نسبت به بلندمدت مهم‌ترین شاخص‌های تغییرات اقلیمی نواحی نیمه خشک ایران هستند. نتایج این مطالعه همسو با نتایج مطالعه لیو و همکاران (۱۹)، ژنگ و همکاران (۳۳) و لئو و همکاران (۱۷) است. با توجه به کاهش شدید 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.

در نهایت با توجه به یافته‌های این مطالعه و بر پایه همین مدل پویا که شبیه‌سازی شد، پیشنهاد می‌شود ، تغییرات کاربری اراضی در استان فارس همراه با تغییرات مسائل اجتماعی – اقتصادی و اقلیمی در همین دوره‌ی ۳۰ ساله بررسی شده تا برای پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی استان از آن استفاده شود. بر این پایه قادر خواهیم بود که پیش از تخریب و تغییر عرصه‌های منابع طبیعی اقدام پیشگیرانه را انجام دهیم.

ملاحظات اخلاقی

پیروی از اصول اخلاق پژوهش

در مطالعه حاضر فرم‌های رضایت‌نامه آگاهانه توسط تمامی آزمودنی‌ها تکمیل شد.

حامی مالی

هزینه‌های مطالعه توسط نویسندگان مقاله تامین شد.

مشارکت نویسندگان

مقاله مستخرج از رساله دکتری صدف بهمن پوری، محمد بخشوده استاد راهنما و منصور زیبایی: استاد مشاور.

تعارض منافع

بنا بر اظهار نویسندگان مقاله حاضر فاقد هرگونه تعارض منافع بوده است.

References

1. Bakker M M, Govers G, Kosmas C, Vanacker V, Oost K V, & Rounsevell, M. Soil erosion as a driver of land-use change. Agriculture Ecosystems & Environment. 2005, 105:467–481.
2. Behmanesh J, Azad Talatappeh N; Montaseri M; Rezayi H; Khalili K. Climate Change Impact on Reference Evapotranspiration, Precipitation Deficit and Vapor Pressure Deficit in Urmia. Water and Soil Science. 2015, 25(2): 79-91.
3. Chapin F S, Zavaleta E S, Eviner V T, Naylor R L, Vitousek P M, Reynolds H L, ...& Hobbie S E. Consequences of changing biodiversity. Nature. 2000, 405: 234–242.
4. Chaumont D. A guidebook on climate scenarios: Using climate information to guide adaptation research and decisions. Ouranos: Montréal, QC. Canada. 2014.
5. Costanza R, & Ruth M. Using dynamic modeling to scope environmental problems and build consensus. Environmental Management. 1998. 22: 183–195.
6. Coyle R G. System dynamics modelling: A practical approach. Journal of the Operational Research Society. 1997. 48(5): 544.
7. De Koning G H, Verburg P H, Veldkamp A, & Fresco L O. Multi-scale modelling of land use change dynamics in Ecuador. Agricultural Systems. 1999, 61: 77–93.
8. Dempsey J A, Plantinga A J, Kline J D, Lawler J J, Martinuzzi S, Radeloff V C, & Bigelow D P. Effects of local land -use planning on development and disturbance in riparian areas. Land Use Policy. 2017, 60: 16-25.
9. Eskandari Damaneh H, Gholami H, Mahdavi R, Khoorani, A, Li J. Evaluation of land degradation trend using satellite imagery and climatic data (Case study: Fars province). Desert Ecosystem Engineering Journal. 2019, 8(24): 49-64.

10. Forrester JW. System dynamics – a personal view of the first fifty years. System Dynamic Review: The Journal of the System Dynamics Society. 2007, 23(2-3): 345–358.
11. Geist H L, Lambin E F. Proximate causes and underlying driving forces of tropical deforestation. BioScience. 2002, 52(2): 143-150.
12. Haghani A, Lee S Y, & Byun J H. A system dynamics approach to land use/ transportation system performance modeling part I: Methodology. Journal of Advanced Transportation. 2003, 37: 1–41.
13. Hansen H S. Modeling the future coastal zone urban development as implied by the IPCC SRES and assessing the impact from sea level rise. Landscape and Urban Planning. 2010, 98: 141–149.
14. Hay J, & Mimura N. Supporting climate change vulnerability and adaptation assessments in the Asia-Pacific region: An example of sustainability science. Sustainability Science. 2006, 1(1): 23-35.
15. Kotir J H, Smith C, Brown G, Marshall N, & Johnstone R. A system dynamics simulation model for sustainable water resources management and agricultural development in the Volta River Basin, Ghana. Science of the Total Environment. 2016, 573: 444-457.
16. Lambin E F, Geist H J, & Lepers E. Dynamics of land-use and land-cover change in tropical regions. Annual Review of Environment and Resources. 2003, 28: 205–241.
17. Li X, Guangzhao C, Xiaoping L, Xun L, Shaojian W, Yimin Ch, Fengsong P. & Xiaocong x. A new global land use and land-cover change product at a 1-km resolution for 2010–2100 based on human-environment interactions. Annals of the Association of American Geographers. 2017, 107(5): 1040–1059.
18. Liu X, Liang X, Li X, Xu X, Ou J, Chen, Y, Li Sh, Wang Sh, & Pei, F. A future land use simulation model (FLUS) for simulating multiple land use scenarios by coupling human and natural effects. Landscape and Urban Planning. 2017, 168(2017): 94–116.
19. Luo G, Yin C, Chen X, Xu W, & Lu L. Combining system dynamic model and CLUE-S model to improve land use scenario analyses at regional scale: A case study of Sangong watershed in Xinjiang, China. Ecological Complexity. 2010, 7(2): 198–207.
20. Mendelsohn R, & Dinar A. Climate change, agriculture, and developing countries Does adaptation matter? The World Bank Research Observer. 1999, 14: 277–293.
21. Mohammad Jani I, Yazdanian N. The Analysis Of Water Crisis Conjecture In Iran And The Exigent Measures For Its Management. Trend (Trend Of Economic Research). 2014, 21(65-66): 117-144.
22. Parker D C, Manson S M, Janssen M A, Hoffmann M J, & Deadman P. Multi-agent systems for the simulation of land-use and land-cover change: a review. Annals of the Association of American Geographers. 2003, 93 (2): 314-337.
23. Reidsma P, Lansink A O, & Ewert F. Economic impacts of climatic variability and subsidies on European agriculture and observed adaptation strategies. Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change. 2009, 14: 35-59.
24. Sala O E, Chapin F S, Armesto J J, Berlow E, Bloomfield J, Dirzo R, ... Kinzig A. Global biodiversity scenarios for the year 2100. Science. 2000, 287: 1770–1774.
25. Saqalli M, Gerard B, Bielders C L, Defourny P. Targeting rural development interventions: Empirical agent-based modeling in Nigerien villages. Agricultural Systems. 2011, 104: 354–364.
26. Simonovic S P. Managing water resources: methods and tools for a systems approach. Routledge. 2012.
27. Stéphenne N, Lambin E F. A dynamic simulation model of land-use changes in Sudanosahelian countries of Africa (SALU). Agriculture, Ecosystems and Environment. 2001, 85 (1-3): 145–161.
28. Sterman J D. All models are wrong: reflections on becoming a systems scientist. System Dynamics Review. 2002, 18: 501–531.
29. Sterman J D. Business dynamics, systems thinking and modeling for a complex world (No. HD30. 2 S7835 2000). Boston. 2000.
30. Tangen K. The climate change negotiations: Buenos Aires and beyond. Global Environmental Change. 1999, 9: 175–178.
31. USGCRP (US Global Change Research Program) Land Use and Land Cover Change. 2003.
32. Wolf J, Bindraban P S, Luijten J C, & Vleeshouwers L M. Exploratory study on the land area required for global food supply and the potential global production of bioenergy. Agricultural Systems. 2003, 76: 841–861.
33. Zheng X Q, Zhao L, Xiang W N, Li N, Lv L N, & Yang X. A coupled model for simulating spatio-temporal dynamics of land-use change: A case study in Changqing, Jinan, China. Landscape and Urban Planning. 2012, 106(1): 51–61.