Disaster Prevention and Management Knowledge

Spring 2024. Vol 14. Issue 1

Research Paper

Policy Analysis of Man-Made Fire Management in North Zagros Forests Using the System Dynamics Approach

Amirreza Kouranifar[1], ***Ali Mohammad Ahmadvand**[1], **Marzieh Samadi-Foroushani**[1, 2]

1. Department of Industrial Engineering, Eyvanekey University, Eyvanekey, Iran.
2. Researcher, Tehran Disaster Mitigation and Management Organization, Tehran, Iran.

Use your device to scan and read the article online

Citation Kouranifar, A., Ahmadvand, A. M., & Samadi-Foroushani, M. (2024). [Policy Analysis of Man-Made Fire Management in North Zagros Forests Using the System Dynamics Approach (Persian)]. *Disaster Prevention and Management Knowledge*, *14*(1):60-81. https://doi.org/10.32598/DMKP.14.1.790.1

https://doi.org/10.32598/DMKP.14.1.790.1

ABSTRACT

Background and objective The growing concern about climate change has increased awareness about the essential role of forest ecosystems. About 36% of forest lands in the world have affected by forest fires. Fire affects the functioning of the ecosystem and forests and causes soil erosion and changes in the carbon cycle over the climate, vegetation and lands. This study aims to identify and analyze the policies for the management of man-made fires in the Zagros forests, with a focus on the causes of man-made forest fires (intentional or accidental)

Method Using the system dynamics approach, the model of forest fire management was designed in Vensim DSS software, version 6.4E with the participation of natural resources policy makers from the Lorestan province in Iran and the fire data of North Zagros forests. The model was simulated over a 20-year horizon. Based on the Monte Carlo sensitivity analysis. forest fire management policies were investigated based on three main strategies: Prevention of fire incidents in the forests and pastures of North Zagros, command and management of fire incidents in the forests and pastures of North Zagros, and reconstruction of the forests and pastures of North Zagros after the fire incident. Finally, by applying the policies, each strategy was tested separately on the model and the results were compared.

Results Based on the results of the model simulation, the propose policies included: 1. Providing forest protection equipment, 2. Matching the number of rangers with the density of forests, 3. Specialized training for rescue and protection forces, 4. Raising public awareness about the consequences of forest damage using local and national media, 5. Supporting NGOs and training local volunteers to protect forests and pastures, 6. Developing incident command systems, 7. Developing a decision-support system based on knowledge management of forest fires, 8. Developing an incident command system for inter-organizational coordination at the time of fire incidents and 9. Investigating and analyzing the root causes of each fire incident.

Conclusion The proposed model is an application of the system dynamics approach for developing policies of man-made forest fire management, validated based on the fire data of the North Zagros forests in Lorestan province.

Keywords Forest fire, Disaster management, Man-made disasters, Policies, System dynamics

Article Info:

Received: 12 Dec 2023

Accepted: 21 Jan 2024

Available Online: 01 Apr 2024

Corresponding Author:
Ali Mohammad Ahmadvand, Professor.
Address: Department of Industrial Engineering, Eyvanekey University, Eyvanekey, Iran.
Tel: +98 (23) 31432
E-mail: a.ahmadvand@eyc.ac.ir

Copyright © 2024 The Author(s);
This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (CC-By-NC: https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/legalcode.en), which permits use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited and is not used for commercial purposes.

Extended Abstract

Introduction

The growing concern about climate change has increased awareness about the essential role of forest ecosystems. About 36% of forest lands in the world have affected by forest fires. Fire affects the functioning of the ecosystem and forests and causes soil erosion and changes in the carbon cycle over the climate, vegetation and lands. One of the most valuable forest reserves in Iran is the Zagros forests, which are spread over 11 provinces of the country with an area of 6 million hectares and make up 40% of Iran's forests. According to the statistics of natural resources of Lorestan province in Iran, 109 fires had occurred in the forests of this province from 2008 to 2020. In these fires, 17,755 hectares of Lorestan forests burned. Considering the necessity of protecting forests and pastures and preventing the destruction of valuable natural reserves of the country, in this study, by focusing on the causes of man-made forest fires (intentional or accidental) in Zagros forests in Lorestan province, we aim to design a dynamic model of the forest fire management system to analyze the policies for managing man-made fires in Zagros forests.

Methods

This study uses a system dynamics approach. First, the dynamic model of the forest fire management system was designed in Vensim software, version DSS 6.4E with the participation of natural resource policy makers of Lorestan province and using the fire data of North Zagros forests during 2016-2020. For validation, in addition to using the Boundary Adequacy test to address the problem and match the model structure with the descriptive knowledge of the system based on the criteria of credibility, transferability, dependability and transferability, we used the structural validity test, the integration error, and the behavior reproduction test. After validation, the model was simulated over a 20-year horizon. According to the results of Monte Carlo sensitivity analysis, forest fire management policies, three strategies were identified: Prevention of fire incident in the forests and pastures of North Zagros, command and management of the fire incident in the forests and pastures of North Zagros and reconstruction of the forests and pastures of North Zagros after the fire incident. By applying the policies, each strategy was tested separately on the model and the results were compared.

Results

Based on the findings of the model simulation, the selected combined policies were identified as follows, considering the budget limit of about 40 thousand million Iranian Rials (IRR):

1. Provision of forest protection equipment by increasing the annual budget for the protection of natural resources of Lorestan province and increasing the allocation of financial resources to protection equipment (estimated budget=800 million IRR,

2. Matching the number of rangers with the density of the forests and pastures of North Zagros by applying an increase estimate of 1.3 fire management specialists, and a 5% increase in the annual budget for the protection of natural resources of Lorestan province (estimated budget=20,000 million IRR),

3. Specialized education for the rescue and protection forces, the increase of 2% in the annual budget for the protection of natural resources of the province, and the increase in the allocation of financial resources for education (estimated budget=3200 million IRR,

4. Informing people about the consequences of forest damage using local and national media (estimated budget=1000 million IRR),

5. Supporting NGOs and training local volunteers to support forests and pastures, and providing education to 100 native volunteers during 2 years (estimated budget=1000 million IRR),

6. Development of fire notification systems for forests and pastures, a 3% increase in the annual budget for the protection of natural resources of the province, and an increase in the design of public notification and warning systems during 2 years (estimated budget=4000 million IRR),

7. Development of a decision support system based on the knowledge management of forest fires and pastures, and a 1.5% increase in the allocation of financial resources to crisis management research and the design of an incident command system for inter-organizational coordination during 2 years (estimated budget=5000 million IRR),

8. Designing and developing an incident command system for inter-organizational coordination at the time of fire incident during 2 years (estimated budget=1500 million IRR),

9. Investigating and analyzing the root causes of every fire incident in forests and pastures and doubling the allocation of financial resources to crisis management research for the analysis of the causes of fires (estimated budget=300 million IRR).

Conclusion

The proposed model is an application of the system dynamics approach to develop policies for management of man-made fires in the north Zagros forests in Lorestan province and its validity was confirmed according to the fire data of the north Zagros forests in the province. For the future studies, it is recommended that the developed model be examined according to the natural causes of forest fires, and comprehensive policies should be investigated according to the climate change process. Due to the importance of a forest fire warning system, its development is also recommended. The model is also recommended to be analyzed according to the data of other forests at risk of fire and the results should be compared.

Considering the role of policy makers at the national level on budgeting and planning at the regional level, it is recommended that the system dynamics model with the participation of selected policy makers and decision makers should be developed in future researches based on the soft systems approach. In addition, according to the emphasis on social participation in crisis management, studies on the development of the governance system of natural resources protection and specifically the management of fire incidents in the country's forests and pastures should be carried out, and the fields of participation for the private sector, local communities, and NGOs should be identified based on the law.

Ethical Considerations

Compliance with ethical guidelines

In this study, no experiments on animal or human samples were conducted. All publication ethics were observed.

Funding

This research received no specific grant from any funding agency in the public, commercial, or not-for-profit sectors.

Authors' contributions

Conceptualization, investigation, and data collection: Amirreza Kouranifar; Modeling, validation, analysis, and initial draft preparation: Amirreza Kouranifar and Marzieh Samadi-Foroushani; Analysis, supervision, and review: Ali Mohammad Ahmadvand and Marzieh Samadi-Foroushani.

Conflicts of interest

The authors declared no conflict of interest.

Acknowledgments

The authors would like to thank the Iranian Natural Resources and Watershed Management Organization, General Department of Natural Resources and Watershed in Lorestan Province, and Tehran Disaster Mitigation and Management Organization for their support in this research.

فصلنامه علمی
دانش پیشگیری و مدیریت بحران

مقاله پژوهشی

تحلیل سیاست‌های مدیریت بحران آتش‌سوزی انسان‌ساخت جنگل‌های زاگرس شمالی مبتنی بر پویایی‌شناسی سیستم

امیررضا کورانیفر[۱]، *علی‌محمد احمدوند[۱]، مرضیه صمدی فروشانی[۲،۱]

۱. گروه مهندسی صنایع، دانشگاه ایوانکی، ایوانکی، ایران.
۲. پژوهشگر، سازمان پیشگیری و مدیریت بحران شهر تهران، تهران، ایران.

Use your device to scan and read the article online

Citation Kouranifar, A., Ahmadvand, A. M., & Samadi-Foroushani, M. (2024). [Policy Analysis of Man-Made Fire Management in North Zagros Forests Using the System Dynamics Approach (Persian)]. *Disaster Prevention and Management Knowledge*, *14*(1):60-81. https://doi.org/10.32598/DMKP.14.1.790.1

https://doi.org/10.32598/DMKP.14.1.790.1

چکیده

زمینه و هدف نگرانی فزاینده درمورد تغییرات اقلیم باعث افزایش آگاهی در زمینه نقش اساسی اکوسیستم‌های جنگلی شده است. به‌طور معمول، ۳۶ درصد از کل مساحت جنگل‌های جهان، آتش‌سوزی‌های جنگلی را تحمل می‌کنند. آتش‌سوزی بر روی عملکرد اکوسیستم و جنگل تأثیر می‌گذارد و سبب فرسایش خاک و تغییر چرخه کربن بر اقلیم و پوشش گیاهی و اراضی می‌شود. پژوهش حاضر با تمرکز بر علل آتش‌سوزی غیرطبیعی جنگل‌ها با منشأ انسانی شامل آتش‌سوزی عمدی و غیرعمدی در جست‌وجوی شناسایی و تحلیل سیاست‌های مدیریت بحران آتش‌سوزی جنگل‌هاست.

روش برای این منظور، ابتدا مدل پویایی سیستم مدیریت بحران آتش‌سوزی جنگل‌ها با مشارکت سیاست‌گذاران منابع طبیعی استان لرستان و داده‌های حریق جنگل‌های زاگرس شمالی در نرم‌افزار ونسیم نسخه ۶/۴ طراحی شد. پس از اعتبارسنجی، مدل در افق ۲۰ساله شبیه‌سازی شد و با توجه به نتایج تحلیل حساسیت مونت‌کارلو، سیاست‌های مدیریت بحران آتش‌سوزی جنگل‌ها مبتنی بر سه استراتژی پیشگیری از وقوع بحران آتش‌سوزی جنگل‌ها و مراتع زاگرس شمالی، فرماندهی و مدیریت حادثه آتش‌سوزی جنگل‌ها و مراتع زاگرس و بازسازی پس از بحران آتش‌سوزی جنگل‌ها و مراتع زاگرس شمالی شناسایی شد و با اعمال سیاست‌های هر استراتژی به‌طور جداگانه بر روی مدل، نتایج مورد مقایسه قرار گرفت.

یافته‌ها بر مبنای یافته‌های حاصل از شبیه‌سازی مدل، سیاست‌های ترکیبی منتخب شامل: ۱. تأمین تجهیزات حفاظتی جنگل‌ها، ۲. متناسب‌سازی تعداد محیط‌بانان با تراکم جنگل‌ها، ۳. آموزش تخصصی نیروهای امدادی و حفاظتی، ۴. آگاهی مردم از پیامدهای تخریب جنگل‌ها با استفاده از رسانه‌های محلی و ملی، ۵. حمایت از نهادهای مردمی و آموزش نیروهای داوطلب بومی حامی جنگل‌ها و مراتع، ۶. توسعه سیستم‌های اطلاع‌رسانی حادثه، ۷. توسعه سیستم پشتیبان تصمیم مبتنی بر مدیریت دانش آتش‌سوزی جنگل‌ها، ۸. توسعه سیستم فرماندهی حادثه و سامان‌دهی هماهنگی بین سازمانی در حین حادثه و ۹. بررسی و تحلیل ریشه‌ای علل هر حادثه آتش‌سوزی جنگل‌ها و مراتع زاگرس شمالی ارائه شد.

نتیجه‌گیری مدل پیشنهادی، مدلی کاربردی از پویایی‌شناسی سیستم آتش‌سوزی جنگل‌ها و مراتع به‌منظور سیاست‌گذاری مدیریت بحران آتش‌سوزی جنگل‌هاست و کارایی آن با توجه به داده‌های منابع طبیعی جنگل‌های زاگرس شمالی در استان لرستان نشان داده شده است.

کلیدواژه‌ها آتش‌سوزی جنگل‌ها، مدیریت بحران، بحران انسان‌ساخت، سیاست‌های حفاظت از جنگل‌ها و مراتع، مدل‌سازی پویایی سیستم

اطلاعات مقاله:
تاریخ دریافت: ۲۱ آذر ۱۴۰۲
تاریخ پذیرش: ۰۱ بهمن ۱۴۰۲
تاریخ انتشار: ۱۳ فروردین ۱۴۰۳

* نویسنده مسئول:
دکتر علی‌محمد احمدوند
نشانی: ایوانکی، دانشگاه ایوانکی، گروه مهندسی صنایع.
تلفن: ۳۱۴۳۲ (۲۳) ۹۸+
پست الکترونیکی: a.ahmadvand@eyc.ac.ir

Copyright © 2024 The Author(s);
This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (CC-By-NC: https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/legalcode.en), which permits use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited and is not used for commercial purposes.

مقدمه

جنگل‌ها از طریق طیف گسترده‌ای از فرایندهای بیوفیزیکی، بیوشیمیایی و چرخه کربن بر اقلیم، اکولوژی و رفاه انسان تأثیر می‌گذارند (سوندج و دومیش، ۲۰۲۴). نگرانی فزاینده درمورد تغییرات اقلیم باعث افزایش آگاهی در زمینه نقش اساسی اکوسیستم‌های جنگلی شده است (پراسد و همکاران، ۲۰۲۴). با این وجود، جنگل‌ها توسط اثرات ناشی از فعالیت‌های انسانی در سراسر جهان تهدید می‌شوند. در میان بحران‌های انسان‌ساخت، بحران آتش‌سوزی جنگل‌ها و مراتع به‌وضوح نتیجه تعامل بین فعالیت‌های انسانی، حوزه‌های اکولوژیکی و تغییر اقلیم است. با این حال، درک روشنی از این تعاملات هم در سطح جهانی و هم در سطح محلی موردنیاز است (ویگنا و همکاران، ۲۰۲۰). به‌طور معمول، ۳۶ درصد از کل مساحت جنگل‌های جهان، سالیانه آتش‌سوزی‌های جنگلی را تحمل می‌کنند (کالوگنیادیزیز و همکاران، ۲۰۲۳). آتش‌سوزی بر روی عملکرد اکوسیستم و جنگل تأثیر می‌گذارد و سبب فرسایش خاک و تغییر چرخه کربن و پوشش و اراضی می‌شود. آتش‌سوزی جنگل‌ها و مراتع نه فقط از دیدگاه محیط زیست، بلکه از نقطه‌نظر اقتصادی و اجتماعی و امنیتی یکی از مسائل کلیدی و نگرانی‌ها در بسیاری از نقاط جهان است (تام و سیدل، ۲۰۱۶).

با افزایش خطر خسارات شدید و فرایند آتش‌سوزی جنگل‌ها در سراسر جهان، مسائل مربوط به پیشگیری و کنترل علمی و مؤثر آن‌ها توجه کشورهای جهان را به خود جلب کرده است (تیان و همکاران، ۲۰۲۲؛ تیتزه و همکاران، ۲۰۲۳). بروز حادثه آتش‌سوزی جنگل همواره به‌عنوان یک مسئله ناشی از علل غیرطبیعی در بسیاری از مناطق مطرح است و کنترل آن به ظرفیت واکنش گروه‌های پاسخ محلی و اقدامات روزانه جوامع محلی در دسترس بستگی دارد (الیورا و همکاران، ۲۰۱۹). به‌طورکلی، عوامل ایجاد آتش‌سوزی در جنگل‌ها و مراتع به دو دسته آتش‌سوزی با منشأ طبیعی مانند آتش‌سوزی بر اثر شدت گرما و خشکی پوشش گیاهی، و غیرطبیعی با منشأ انسانی شامل آتش‌سوزی عمدی و غیرعمدی دسته‌بندی می‌شوند. آتش‌سوزی عمدی، به‌وسیله افراد سودجو و فرصت‌طلب صورت می‌گیرد و آتش‌سوزی غیرعمدی در اثر بی‌توجهی و سهل‌انگاری انسان به وقوع می‌پیوندد (اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان لرستان، ۱۴۰۰). طی یک دهه اخیر در کشور، متوسط مساحت عرصه‌های منابع طبیعی که سالانه درگیر حریق می‌شوند ۱۸ هزار هکتار و متوسط تعداد آتش‌سوزی در جنگل‌ها و مراتع سالانه حدود ۲۰۰۰ فقره برآورد شده است. بررسی روند موارد آتش‌سوزی مراتع و جنگل‌های کشور و میزان مساحت مورد حریق نیز روند صعودی را نشان می‌دهد. در سال‌های اخیر بارها جنگل‌های کشور دچار آتش‌سوزی شده‌اند که برخی از آن‌ها گسترده بوده و انتقاداتی را از عملکرد سازمان جنگل‌ها به‌دنبال داشته است (سازمان جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری کشور، ۱۴۰۱). یکی از باارزش‌ترین ذخایر جنگلی ایران، جنگل‌های زاگرس است که با گستردگی در ۱۱ استان کشور با ۶ میلیون هکتار مساحت، ۴۰ درصد جنگل‌های ایران را تشکیل می‌دهند. طبق آمارهای منابع طبیعی استان لرستان، ۱۰۹ فقره آتش‌سوزی در جنگل‌های استان لرستان در طول سال‌های ۱۳۸۷ تا ۱۳۹۹ رخ داده که در این آتش‌سوزی‌ها ۱۷۷۵۵ هکتار از جنگل‌های لرستان در آتش سوخت (اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان لرستان، ۱۴۰۰). مبتنی بر ضرورت حفاظت از جنگل‌ها و مراتع و جلوگیری از تخریب ذخایر ارزشمند منابع طبیعی کشور، پژوهش حاضر با تمرکز بر عوامل آتش‌سوزی غیرطبیعی جنگل‌ها با منشأ انسانی شامل آتش‌سوزی عمدی و غیرعمدی جنگل‌های زاگرس در استان لرستان، در جست‌وجوی شناسایی پویایی‌های سیستم بحران آتش‌سوزی جنگل‌ها و طراحی مدل پویایی سیستم به‌منظور شناسایی و تحلیل سیاست‌های مدیریت بحران آتش‌سوزی جنگل‌های زاگرس است.

بررسی پیشینه پژوهش نشان می‌دهد مطالعات گسترده‌ای در زمینه مدیریت بحران آتش‌سوزی و آتش‌سوزی جنگل‌ها موردبررسی پژوهشگران قرار گرفته است؛ به‌طوری که هتو و همکاران (۲۰۱۸) چارچوب شبیه‌سازی پویایی سیستم برای مدیریت بحران آتش‌سوزی را به‌منظور طراحی سیستم پشتیبانی تصمیم برای هدایت تمرین‌های آمادگی مرتبط با بحران ارائه دادند.

نادرپور و همکاران (۲۰۱۹) به ارزیابی ریسک ناشی از آتش‌سوزی جنگل مبتنی بر سیستم اطلاعات مکانی[1] برای مدل‌سازی آتش‌سوزی‌های جنگلی و ریسک‌های بالقوه آن پرداختند و نشان دادند نتایج فناوری مکانی به تصمیم‌گیرندگان کمک می‌کند تا مناسب‌ترین تکنیک‌ها را با توجه به شرایط خاص جنگل انتخاب کنند. الیویرا و همکاران (۲۰۱۹) به ارزیابی آگاهی از وضعیت برای مدیریت اضطراری آتش‌سوزی جنگل‌ها در برزیل به‌منظور تقویت مکانیسم‌هایی برای حمایت از جوامع محلی و آتش‌نشانان پرداختند و بر جمع‌آوری اطلاعات از جامعه و تولید اطلاعات داوطلبانه برای تولید گزارش‌های هشدار به‌منظور بهبود خدمات نظارت بر موقعیت‌های آتش‌سوزی در مناطق حفاظت‌شده تأکید کردند و پیشنهاد دادند آتش‌نشانان باید آگاهی از وضعیت خود را که درک درستی از رویدادهاست، توسعه دهند تا تصمیم‌گیری قاطعانه‌تری داشته باشند و از تخصیص بهتر منابع برای واکنش اضطراری اطمینان حاصل کنند. دهال و همکاران (۲۰۲۰) به بررسی رویکردهای سیستمی در مدیریت آتش‌سوزی جنگل‌ها پرداختند و جنبه‌های خاص مدیریت بحران آتش‌سوزی جنگل‌ها همچون مدل‌سازی انتشار آتش و تدارکات مرتبط با ایمن کردن جنگل‌ها را ارائه دادند. تیتزه و همکاران (۲۰۲۳) سیاست‌های فدرال و ایالتی مدیریت آتش‌سوزی جنگل

1. Geographic Information System (GIS)

در آلمان را موردبررسی قرار داده و نشان دادند حمایت مالی، به رسمیت شناختن کار جنگل‌بانان، مدیران آتش‌سوزی جنگل‌ها و آژانس‌های حفاظت شهری و افزایش مدیریت جنگل یا بهبود حفاظت از اکولوژی‌های جنگلی مورد تأکید سیاست‌گذاران است. ویگنا و همکاران (۲۰۲۱) به مرور سیستماتیک کاربرد چارچوب سیستم اجتماعی ـ اکولوژیکی در مدیریت ریسک آتش‌سوزی جنگل پرداختند و بر اهمیت مشارکت جامعه محلی و توجه به دانش محلی در مدیریت خطر آتش‌سوزی تأکید کردند. زامارنو-آرامندیا و همکاران (۲۰۲۰) به تجزیه‌وتحلیل مدیریت رسانه‌های اجتماعی برای پیشگیری از آتش‌سوزی جنگل در آرتنارا و والسکو، جزایر قناری اسپانیا پرداختند و توصیه‌های سیاستی برای مدیریت رسانه‌های اجتماعی در هنگام بلایای طبیعی را پیشنهاد دادند. تیان و همکاران (۲۰۲۲) به پایش گسترش آتش‌سوزی جنگل و تشخیص پویایی پوشش گیاهی براساس تصاویر سنجش از راه دور چندمنبعی پرداختند و نشان دادند تصاویر سنجش از دور ماهواره‌ای چندمنبعی را می‌توان برای آتش‌سوزی‌های جنگلی در حال تکامل استفاده و پیاده‌سازی کرد و مدیران جنگل‌ها و سازمان‌های آتش‌نشانی را قادر ساخت تا اقدامات بهبودیافته اطفای حریق را به‌موقع برنامه‌ریزی کنند و اثربخشی استراتژی‌های اطفای حریق را افزایش دهند. همچنین تیان و همکاران (۲۰۲۲) به برنامه‌ریزی چندهدفه وسایل نقلیه امداد برای خاموش کردن آتش‌سوزی جنگل‌های چین با استفاده از یک الگوریتم جست‌وجوی گرانشی گسسته چندهدفه به‌منظور به حداقل رساندن تعداد ماشین‌های آتش‌نشانی، به حداقل رساندن زمان آتش‌نشانی و زمان تأخیر آتش‌نشانی به‌طور هم‌زمان پرداختند. بودینینگسیه و همکاران (۲۰۲۲) عملکرد واحدهای مدیریت جنگل در اجرای مدیریت آتش‌سوزی در کالیمانتان مرکزی و سوماترای جنوبی اندونزی را بررسی کردند و بر بهبود مکانیسم بودجه و مشارکت جامعه تأکید کردند. آندرید و همکاران (۲۰۲۳) به ارزیابی و بهبود تاب‌آوری سیستم در شبیه‌سازی واکنش اضطراری آتش‌سوزی جنگل پرداختند و به‌طور خاص، سیستم‌های هوایی بدون سرنشین و مدیریت ترافیک و بهبود آگاهی موقعیتی، هماهنگی، ارتباطات، ایمنی و استراتژی آتش‌نشانان را مورد آزمون قرار دادند.

بررسی مطالعات پیشین نشان می‌دهد علی‌رغم تأکید پژوهشگران به مدیریت بحران آتش‌سوزی جنگل‌ها و ضرورت درک روشن از تعاملات عوامل و آثار و تبعات آتش‌سوزی جنگل‌ها هم در سطح جهانی و هم در سطح محلی، مطالعات بسیار محدودی به‌صورت سیستمی بحران آتش‌سوزی را مورد توجه قرار داده‌اند. بر این مبنا، پژوهش حاضر به طراحی مدل پویایی سیستم مدیریت بحران آتش‌سوزی جنگل‌ها به‌منظور شناسایی و ارزیابی سیاست‌های مدیریت بحران آتش‌سوزی جنگل‌های زاگرس شمالی در استان لرستان پرداخته است.

روش

مورد مطالعاتی

جنگل‌های زاگرس شمالی محدوده استان لرستان

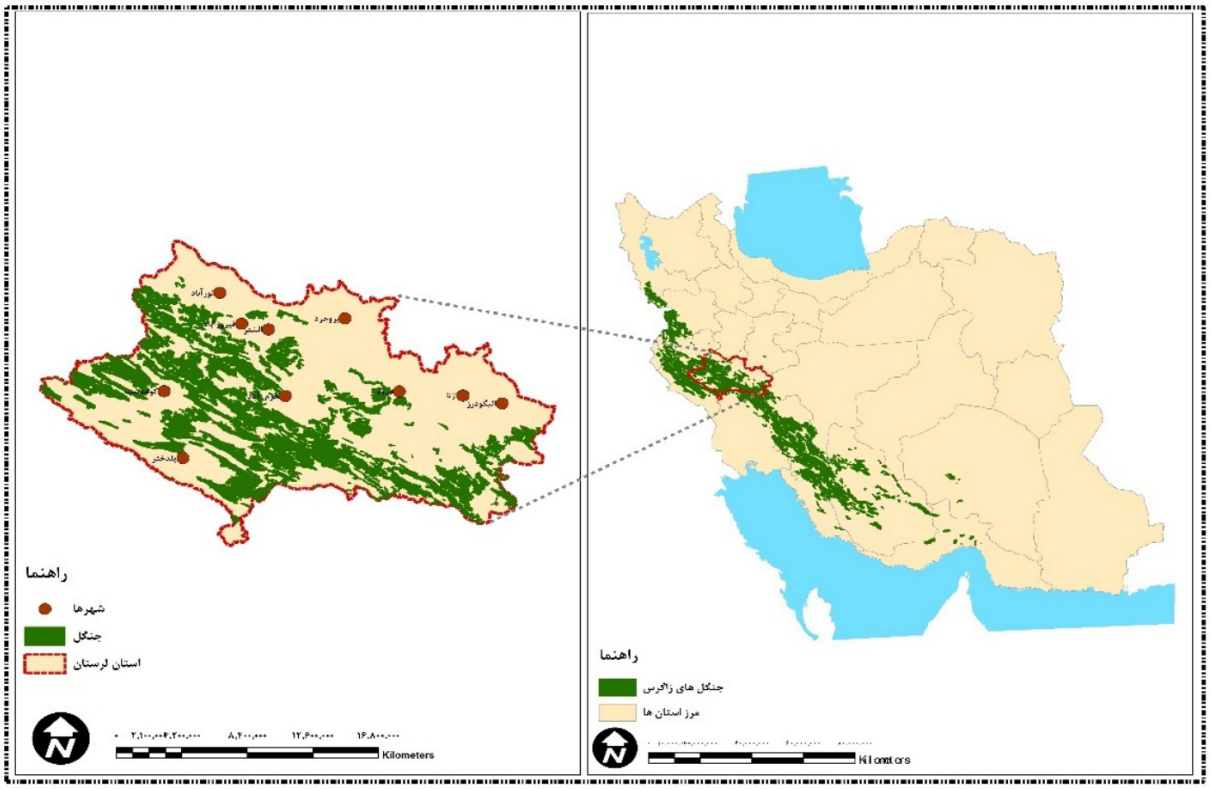
جنگل‌های زاگرس با گستردگی در ۱۱ استان کشور با ۶ میلیون هکتار مساحت، ۴۰ درصد جنگل‌های ایران را تشکیل می‌دهند که حدود ۷۰ درصد تیپ گونه‌های جنگلی زاگرس را بلوط‌ها شامل می‌شوند. در دهه‌های اخیر یک‌ششم مساحت جنگل‌های زاگرس به دلایل گوناگون از بین رفته است. جنگل‌های زاگرس در محدوده استان لرستان با وسعت حدود یک میلیون و ۲۰۰ هزار هکتارمربع از باارزش‌ترین ذخایر جنگلی ایران هستند. مساحت کل منابع طبیعی استان لرستان ۲۱۰۱۶۷۱ هکتار است که از این مقدار ۸۸۴۳۵۷ هکتار به مراتع و ۱۲۱۷۳۱۴ هکتار به جنگل‌ها اختصاص دارد. جنگل‌های لرستان جزئی از ناحیه رویشی زاگرس محسوب می‌شود. یکی از مهم‌ترین گونه‌ها و شاخص جنگل‌های لرستان گونه بلوط ایرانی است که تقریباً ۶۰ درصدجنگل‌های لرستان را شامل می‌شود (اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان لرستان، ۱۴۰۱). تصویر شماره ۱ محدوده موردمطالعه پژوهش حاضر را نشان می‌دهد.

یکی از مهم‌ترین عوامل تهدیدکننده جنگل‌های زاگرس، آتش‌سوزی‌های عمدی و غیرعمدی است که در چند سال اخیر به تخریب بخش وسیعی از این جنگل‌ها منجر شده است. طبق آمارهای منابع طبیعی استان لرستان، ۱۰۹ فقره آتش‌سوزی در جنگل‌های استان لرستان در طول سال‌های ۱۳۸۷ تا ۱۳۹۹ رخ داده که در این آتش‌سوزی‌ها ۱۷۷۵۵ هکتار از جنگل‌های لرستان در آتش سوخته است. تصویر شماره ۲ تعداد حریق و مساحت حریق مراتع و جنگل‌های استان لرستان را به تفکیک شهرستان در سال ۱۳۹۹ ارائه کرده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، به‌طورکلی ۱۳۴ فقره آتش‌سوزی در مراتع و جنگل‌های استان به وقوع پیوسته و ۱۲۵۲ هکتار از جنگل‌های استان لرستان در سال ۱۳۹۹ در این آتش‌سوزی‌ها از بین رفته‌اند. جدول شماره ۱ اطلاعات مربوط به تعداد و مساحت حریق مراتع و جنگل‌های استان لرستان را ارائه کرده است.

مدل‌سازی پویایی سیستم[2]

همان‌طور که در بیان مسئله مطرح شد، روش‌شناسی پژوهش حاضر متمرکز بر پویایی‌شناسی سیستم است. روش‌شناسی پویایی سیستم، رویکردی برای مدل‌سازی به‌منظور درک رفتار غیرخطی سیستم‌های پیچیده در طول زمان است. در دو دهه گذشته کاربردهای پویایی سیستم بسیاری در مدیریت بحران

2. System Dynamics (SD)



تصویر ۱. محدوده موردمطالعه جنگل‌های زاگرس شمالی در محدوده استان لرستان

جدول ۱. تعداد حریق و مساحت حریق مراتع و جنگل‌های استان لرستان و سایر اطلاعات به تفکیک شهرستان در سال ۱۳۹۹ (اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان لرستان، ۱۴۰۰)

شهرستان	مساحت آتش‌سوزی جنگل (هکتار)	حادثه آتش‌سوزی	منابع مالی اقدامات پیشگیرانه (میلیون ریال)	دوره‌های آموزشی برگزارشده نیروهای امدادی	تجهیزات حفاظتی خریداری‌شده	مانورهای آموزشی
ازنا	۳	۲	۵۳	۲۰	۲۵	۸
رومشکان	۳	۲	۶۴	۳۰	۲۵	۹
بروجرد	۲۳	۳	۸۰	۴۰	۳۰	۱۰
الشتر	۳۱	۵	۶۶	۳۰	۲۶	۱۰
دورود	۵۹	۵	۶۶	۳۰	۲۶	۱۰
نورآباد	۱۰۶	۹	۶۷	۳۰	۲۷	۱۰
کوهدشت	۱۱۲	۳۰	۱۱۵	۵۰	۴۵	۲۰
خرم‌آباد	۱۱۳	۲۷	۱۱۵	۵۰	۴۵	۲۰
چگنی	۱۵۱	۱۳	۵۶	۲۰	۲۸	۸
الیگودرز	۱۶۲	۱۶	۵۶	۲۰	۲۸	۸
پلدختر	۴۸۴	۲۲	۱۲۵	۶۰	۴۵	۲۰
مجموع	۱۲۵۲	۱۳۴	۸۶۳	۳۸۰	۳۵۰	۱۳۳

وجود داشته است که در طیف متنوعی از مطالعات شامل تجزیه‌وتحلیل، سیستم پشتیبانی تصمیم، آمادگی و پاسخ به بحران، پیش‌بینی، بهبود عملکرد، تنظیم برنامه‌ها و پیامدهای سیاست‌ها طبقه‌بندی می‌شوند (عبدالطیف و همکاران، ۲۰۲۳).

روش‌شناسی پویایی سیستم گام‌هایی را دربر می‌گیرد:

گام اول، شناسایی و تعریف مسئله: مهم‌ترین گام در مدل‌سازی، شناسایی و تعریف مسئله (ساختاربندی مسئله) است؛

گام دوم، طراحی نمودار حلقه علّی: پس از شناسایی فرضیه‌های پویا، ساختن مدل مفهومی (نمودار علّی) رابطه بین پدیده‌ها را بیان می‌کند؛

گام سوم، طراحی نمودار جریان مدل؛

گام چهارم، شبیه‌سازی و اعتبارسنجی مدل؛

گام پنجم، تعریف سیاست‌های مختلف، انتخاب و پیاده‌سازی راه‌حل مناسب (استرمن، ۲۰۰۲).

با اعمال سیاست‌ها در مدل رفتار، متغیرهای کلیدی بررسی و درنهایت، منتخب سیاست‌های پیشنهادی ارائه می‌شود.

داده‌های پژوهش، براساس مستندات سازمانی و مشارکت برنامه‌ریزان منطقه موردمطالعه است. منطقه موردمطالعه پژوهش حاضر جنگل‌های زاگرس شمالی در محدوده استان لرستان است. به‌منظور گردآوری داده‌ها از آمار و اطلاعات آتش‌سوزی جنگل‌ها طی سال‌های ۱۳۹۵ تا ۱۴۰۰ و مشارکت سیاست‌گذاران اداره منابع طبیعی استان لرستان استفاده شده است. مدل‌سازی با استفاده از نرم‌افزار VENSIM DSS نسخه 6.4E و شبیه‌سازی مدل در افق ۲۰ساله (۱۴۰۰-۱۴۲۰) به انجام رسیده است. برای اعتبارسنجی، علاوه بر تأیید آزمون کفایت مرزهای مدل، برای پرداختن به مسئله و تطبیق ساختار مدل با دانش توصیفی از سیستم توسط متخصصان بر مبنای معیارهای اعتمادپذیری، قابلیت انتقال‌پذیری، تأییدپذیری و قابلیت اعتماد، آزمون‌های اعتبار ساختاری و رفتاری شامل آزمون سازگاری ساختار و ابعاد، خطای انتگرال‌گیری و آزمون بازتولید رفتار به انجام رسیده است. نتایج آزمون‌های اعتبارسنجی در ادامه ارائه شده است.

یافته‌ها

- ساختاربندی مسئله: پس از مرور ادبیات و بررسی پیشینه پژوهش، علل و عوامل درگیر و پیامدهای آتش‌سوزی جنگل‌ها شناسایی و نمودار زیرسیستم‌های مدل با توجه به علل و با مشارکت خبرگان طراحی شد. تصویر شماره ۲ نمودار زیرسیستم‌های مدل را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، نمودار زیرسیستم شامل ۴ زیرسیستم پیشگیری از بحران آتش‌سوزی جنگل‌ها و مراتع، زیرسیستم آمادگی هنگام وقوع بحران آتش‌سوزی جنگل‌ها و مراتع، زیرسیستم بحران آتش‌سوزی جنگل‌ها و مراتع و زیرسیستم بازسازی پس از بحران آتش‌سوزی جنگل‌ها و مراتع است. زیرسیستم پیشگیری از بحران آتش‌سوزی شامل آموزش و آگاهی و اطلاع‌رسانی، حفاظت و نظارت و اطلاعات مدیریت است که به‌طور مشخص به‌عنوان قابلیت پیشگیری و ظرفیت پاسخ به بحران در هنگام وقوع محسوب می‌شود. زیرسیستم آمادگی هنگام وقوع بحران آتش‌سوزی میزان و ابعاد حادثه، خسارات و آلودگی‌های محیطی را موجب می‌شود که در زیرسیستم بحران آتش‌سوزی جنگل‌ها و مراتع بدان پرداخته شده است. در ارتباط با زیرسیستم بازسازی پس از بحران، اقداماتی نظیر مدیریت دانش حادثه و جبران خسارت مد نظر است و در این زمینه اطلاعات مدیریت به‌منظور تحلیل ریشه‌ای علل به‌عنوان ورودی این زیرسیستم در نظر گرفته می‌شود. همچنین با توجه به ابعاد شناسایی‌شده و تمرکز محدوده موردمطالعه، با مشارکت خبرگان مسئله مرز سیستم نیز تعیین شد.

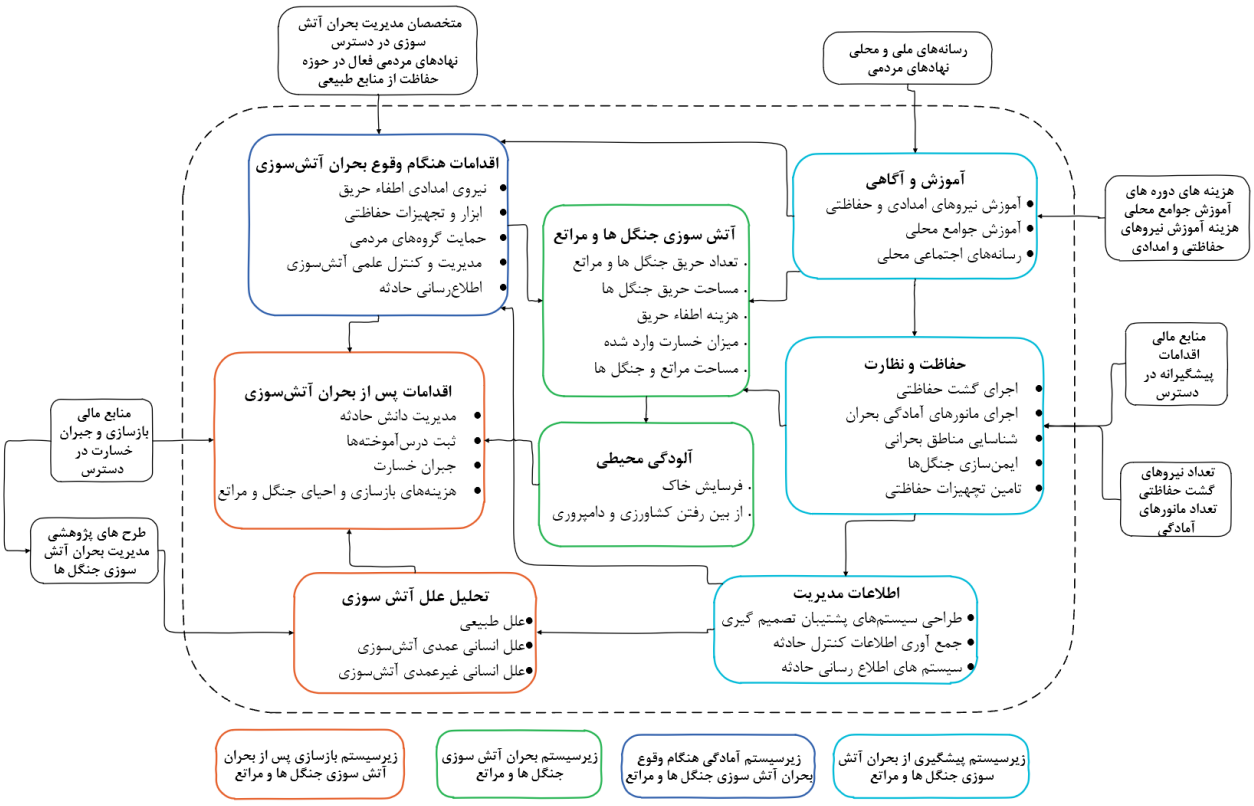
در ادامه، با توجه به نمودار زیرسیستم‌های مدل پویای مدیریت بحران آتش‌سوزی جنگل‌های زاگرس به شناسایی متغیرهای هر یک از زیرسیستم‌ها پرداخته شد. جدول شماره ۲ برخی از متغیرهای کلیدی هر یک از زیرسیستم‌های مدیریت بحران آتش‌سوزی جنگل‌های زاگرس شمالی را ارائه کرده است.

نمودار علّی معلولی

با توجه به عوامل و پیامدهای مدیریت بحران آتش‌سوزی جنگل‌ها و مراتع، با الهام از الگوهای اساسی تفکر کل‌نگر سیستمی به تعیین روابط علی و معلولی مسئله با استفاده از ادبیات پژوهش، پیشینه و مشارکت سیاست‌گذاران و برنامه‌ریزان منطقه‌ای پرداخته شد. تصویر شماره ۳ نمودار علّی مسئله مدیریت بحران آتش‌سوزی جنگل‌های زاگرس شمالی را نشان می‌دهد. جدول شماره ۳ برخی از حلقه‌های تشدیدکننده و تعدیل‌کننده مسئله را تشریح کرده است.

نمودار جریان مدل

ساختار حلقه‌های بازخورد مدل با ترسیم نمودار علت و معلولی مدیریت بحران آتش‌سوزی جنگل‌ها و مراتع زاگرس شمالی مشخص شد. برای مدل‌سازی ساختار جریان مدل علاوه بر متغیرهای شناسایی‌شده در نمودار علّی نیاز به شناسایی متغیرها و پارامترهای جدیدی است تا محاسبه روابط ریاضی میان متغیرها تسهیل شود. برای ساخت مدل جریان، از مصاحبه‌های عمیق با مشارکت‌کنندگان پژوهش و مستندات و داده‌های کمی گزارش‌های اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان لرستان استفاده شده است. در ادامه، نمودار جریان در تصویر شماره ۴ و روابط ریاضی مدل‌سازی در جدول شماره ۴ و مقادیر اولیه متغیرهای حالت در جدول شماره ۵ ارائه شده است.



تصویر ۲. نمودار زیرسیستم‌های مدیریت بحران آتش‌سوزی جنگل‌ها و مراتع زاگرس شمالی

جدول ۲. برخی از متغیرهای کلیدی هر یک از زیرسیستم‌های مدیریت بحران آتش‌سوزی جنگل‌های زاگرس شمالی

زیرسیستم‌های مدل	متغیرهای درون‌زا	متغیرهای برون‌زا
زیرسیستم بحران آتش‌سوزی جنگل‌ها و مراتع زاگرس شمالی	تعداد حریق جنگل‌ها و مراتع؛ مساحت حریق جنگل‌ها و مراتع؛ هزینه‌های اطفای حریق؛ میزان خسارت واردشده؛ مساحت مراتع و جنگل‌های استان؛ ازبین رفتن کشاورزی و دامپروری؛ تبدیل اراضی جنگلی و مرتع به اراضی زراعتی؛ تبدیل جنگل به مرتع به‌منظور تأمین علوفه؛ انگیزه‌های سودجویی، عملکرد اراضی و مراتع؛ فقر عمومی، فرسایش خاک.	آتش‌سوزی با منشأ سهل‌انگاری و بی‌توجهی گردشگران؛ آتش‌سوزی با منشأ کاه و کلش نزدیک به جنگل؛ آتش زدن بوته‌ها و بیشه‌زارها برای از بین بردن جانوران مضر؛ آتش‌سوزی با منشأ علل انسانی غیرعمدی؛ آتش‌سوزی با منشأ عوامل طبیعی.
زیرسیستم آمادگی هنگام وقوع بحران آتش‌سوزی جنگل‌ها و مراتع زاگرس شمالی	نیروی امدادی اطفای حریق؛ تأمین تجهیزات محافظتی؛ اجرای گشت حفاظت و نظارت بر جنگل‌ها؛ حمایت گروه‌های مردمی؛ مدیریت و کنترل علمی آتش‌سوزی؛ نیروی امداد حرفه‌ای و آموزش‌دیده؛ اطلاع‌رسانی حادثه؛ متخصصین مدیریت آتش‌سوزی جنگل‌های در دسترس؛ نهادهای مردمی فعال در حوزه حفاظت منابع طبیعی در دسترس؛ نیروهای امدادی در دسترس.	منابع مالی هر واحد استانداردسازی و تأمین تجهیزات محافظتی؛ تجهیزات استاندارد محافظتی موردنیاز، رسانه‌های اجتماعی محلی در دسترس.
زیرسیستم بازسازی پس از بحران آتش‌سوزی جنگل‌ها و مراتع زاگرس شمالی	مدیریت دانش حادثه؛ تحلیل علل آتش‌سوزی؛ جبران خسارت آتش‌سوزی جنگل‌ها؛ منابع مالی جبران خسارت در دسترس؛ پژوهش در حوزه مدیریت بحران آتش‌سوزی جنگل‌ها.	هزینه‌های بازسازی و احیای جنگل‌ها و مراتع؛ مدت‌زمان موردنیاز بازسازی و احیای جنگل‌ها؛
زیرسیستم اقدامات پیشگیرانه بحران آتش‌سوزی جنگل‌ها و مراتع زاگرس شمالی	آموزش نیروهای امدادی حفاظتی؛ رسانه‌های اجتماعی محلی؛ ایمن‌سازی جنگل‌ها؛ اجرای مانورهای آمادگی مدیریت بحران آتش‌سوزی؛ حفاظت و نظارت؛ آموزش جوامع محلی؛ هزینه آموزش جوامع محلی؛ نیروی امدادی داوطلب جوامع محلی؛ هزینه آموزش نیروهای امدادی و حفاظتی؛ تعداد نیروهای امدادی و حفاظتی در دسترس؛ منابع مالی اقدامات پیشگیرانه در دسترس.	رسانه‌های ملی و محلی؛ منابع مالی موردنیاز پژوهش؛ منابع مالی هر واحد آموزش نیروهای امدادی و حفاظتی، منابع مالی هر واحد آموزش جوامع محلی.

تصویر ۳. نمودار علت و معلولی مدل مدیریت بحران آتش‌سوزی جنگل‌ها و مراتع زاگرس شمالی

اعتبارسنجی و شبیه‌سازی اولیه مدل پویایی سیستم

برای اعتبارسنجی علاوه بر تأیید آزمون کفایت مرزهای مدل برای پرداختن به مسئله و تطبیق ساختار مدل با دانش توصیفی از سیستم توسط متخصصان بر مبنای معیارهای اعتمادپذیری، قابلیت انتقال‌پذیری، تأییدپذیری و قابلیت اعتماد، آزمون‌های اعتبار ساختاری و رفتاری شامل آزمون سازگاری ساختار و ابعاد، خطای انتگرال‌گیری و آزمون بازتولید رفتار بر حسب شاخص درصد ریشه میانگین مربع خطا[3] منطبق با فرمول شماره ۱ انجام شد. برای تأیید رفتار سیستم این شاخص باید کمتر از ۰/۱ باشد (فرمول شماره ۱). در جدول شماره ۶ و تصویر شماره ۵ نتایج آزمون بازتولید رفتار و محاسبه شاخص RMSPE ارائه شده است. تصویر شماره ۶ نیز نتایج آزمون خطای اندازه‌گیری را با توجه به تغییر گام زمانی مدل از سال به نیم‌سال نشان می‌دهد.

$$1.\ \mathrm{RMSPE} = \sqrt{1/n \sum_{t=1}^{n} \left(\frac{St - At}{At}\right)^2}$$

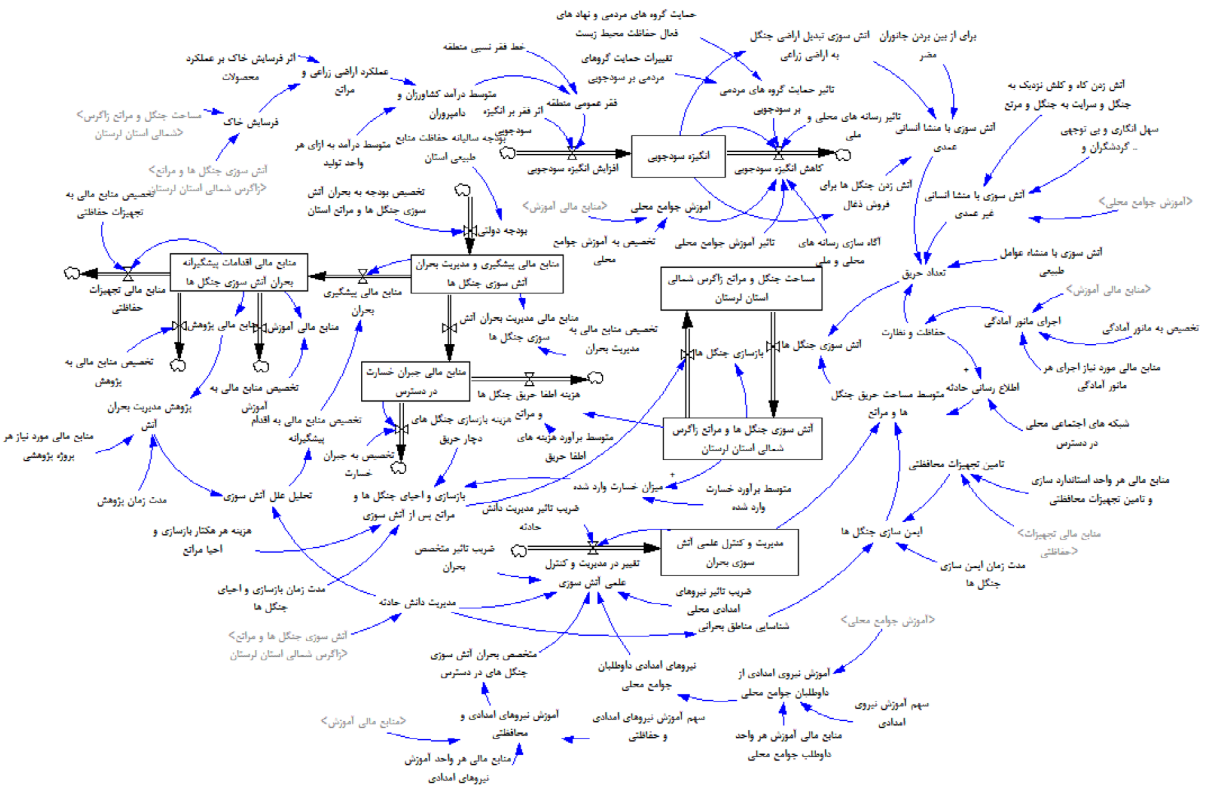
پس از اعتبارسنجی، مدل در افق ۲۰ساله شبیه‌سازی شد. تصویر شماره ۷ نتایج شبیه‌سازی متغیرهای کلیدی مدل را ارائه کرده است.

در ادامه، باتوجه‌به نتایج تحلیل حساسیت مدل، متغیرهایی که بیشترین دامنه تغییرات را ایجاد می‌کردند و به اصطلاح نقاط اهرمی مدل شناسایی شدند. نتایج تحلیل حساسیت مونت‌کارلو، همان‌طور که در جدول شماره ۷ مشاهده می‌شود، نشان داد مدل به تجهیزات حفاظتی، تخصیص منابع مالی به آموزش و آموزش نیروهای امدادی داوطلبان جوامع محلی حساسیت بالایی دارد.

3. Root Mean Squared Percentage Error (RMSPE)

جدول ۳. تشریح برخی از حلقه‌های مدل علّی معلولی مدیریت بحران آتش‌سوزی جنگل‌ها و مراتع زاگرس شمالی

نام حلقه		تشریح حلقه
حلقه تشدیدکننده	هزینه‌های اطفای حریق (R1)	افزایش آتش‌سوزی جنگل‌ها و مراتع زاگرس شمالی ـ افزایش هزینه‌های اطفای حریق ـ کاهش منابع مالی مدیریت بحران آتش‌سوزی جنگل‌ها ـ کاهش منابع مالی خرید تجهیزات حفاظتی ـ کاهش تأمین تجهیزات حفاظتی ـ کاهش ایمن‌سازی جنگل‌ها ـ افزایش آتش‌سوزی جنگل‌ها و مراتع زاگرس شمالی
	انگیزه سودجویی (R2)	افزایش آتش‌سوزی جنگل‌ها و مراتع زاگرس شمالی ـ افزایش فرسایش خاک ـ کاهش عملکرد اراضی زراعی و مراتع ـ افزایش فقر عمومی منطقه ـ افزایش انگیزه سودجویی ـ افزایش آتش‌سوزی جنگل‌ها و مراتع زاگرس شمالی
	بازسازی جنگل‌ها و مراتع (R3)	افزایش آتش‌سوزی جنگل‌ها و مراتع زاگرس شمالی ـ افزایش میزان خسارت واردشده ـ افزایش منابع مالی جبران خسارت در دسترس ـ افزایش بازسازی و احیای جنگل‌ها و مراتع پس از آتش‌سوزی ـ افزایش مساحت مراتع و جنگل‌های استان لرستان ـ افزایش آتش‌سوزی جنگل‌ها و مراتع زاگرس شمالی
حلقه تعدیل‌کننده	مدیریت دانش حادثه (B1)	افزایش آتش‌سوزی جنگل‌ها و مراتع زاگرس شمالی ـ افزایش مدیریت دانش حادثه ـ افزایش شناسایی مناطق بحرانی ـ افزایش ایمن‌سازی جنگل‌ها ـ کاهش آتش‌سوزی جنگل‌ها و مراتع زاگرس شمالی
	آموزش نیروهای امدادی و حفاظتی (B2)	افزایش آتش‌سوزی جنگل‌ها و مراتع زاگرس شمالی ـ افزایش مدیریت دانش حادثه ـ افزایش تحلیل علل آتش‌سوزی ـ افزایش اقدامات پیشگیرانه ـ افزایش منابع مالی اقدامات پیشگیرانه ـ افزایش منابع مالی آموزش ـ افزایش آموزش نیروهای امدادی و محافظتی ـ افزایش متخصصین بحران آتش‌سوزی جنگل‌ها ـ افزایش مدیریت علمی حادثه ـ کاهش متوسط مساحت حریق جنگل‌ها ـ کاهش آتش‌سوزی جنگل‌ها و مراتع زاگرس شمالی
	آموزش جوامع محلی (B3)	افزایش آتش‌سوزی جنگل‌ها و مراتع زاگرس شمالی ـ افزایش مدیریت دانش حادثه ـ افزایش تحلیل علل آتش‌سوزی ـ افزایش اقدامات پیشگیرانه ـ افزایش منابع مالی اقدامات پیشگیرانه ـ افزایش منابع مالی آموزش ـ افزایش آموزش جوامع محلی ـ کاهش آتش‌سوزی جنگل‌ها با منشأ علل انسانی غیرعمدی ـ کاهش تعداد حریق ـ کاهش آتش‌سوزی جنگل‌ها و مراتع زاگرس شمالی



تصویر ۴. مدل جریان مدیریت بحران آتش‌سوزی جنگل‌ها و مراتع زاگرس شمالی

جدول ۴. برخی روابط ریاضی متغیرهای مدل پویایی سیستم مدیریت بحران آتش‌سوزی جنگل‌ها و مراتع زاگرس شمالی

نام متغیر	تابع ریاضی	واحد
آتش‌سوزی جنگل‌ها	تعداد حریق × متوسط مساحت حریق جنگل‌ها و مراتع	هکتار بر سال
مساحت جنگل و مراتع زاگرس شمالی استان لرستان	INTEG (بازسازی جنگل‌ها–آتش‌سوزی جنگل‌ها)	هکتار
بازسازی و احیای جنگل‌ها و مراتع پس از آتش‌سوزی	DELAY1 IF–THEN–ELSE) هزینه بازسازی جنگل‌های دچار حریق<=میزان خسارت واردشده، هزینه بازسازی جنگل‌های دچار حریق، میزان خسارت واردشده)/هزینه هر هکتار بازسازی و احیای مراتع، مدت‌زمان بازسازی و احیای جنگل‌ها)	هکتار بر سال
ایمن‌سازی جنگل‌ها	DELAY1 (شناسایی مناطق بحرانی × تأمین تجهیزات محافظتی، زمان ایمن‌سازی جنگل‌ها)	درصد
تأثیر حمایت گروه‌های مردمی بر سودجویی	Lookup Function تغییرات حمایت گروهای مردمی بر سودجویی (حمایت گروه‌های مردمی و نهادهای فعال حفاظت محیط زیست)	Dmnl
بودجه دولتی	بودجه سالیانه حفاظت منابع طبیعی استان × تخصیص بودجه به بحران آتش‌سوزی جنگل‌ها و مراتع استان	میلیون ریال
منابع مالی مدیریت بحران آتش‌سوزی جنگل‌ها	INTEG (بودجه دولتی ـ منابع مالی مدیریت بحران آتش‌سوزی جنگل‌ها ـ منابع مالی پیشگیری بحران)	میلیون ریال
منابع مالی جبران خسارت در دسترس	INTEG (منابع مالی مدیریت بحران آتش‌سوزی جنگل‌ها ـ هزینه اطفای حریق جنگل‌ها و مراتع ـ هزینه بازسازی جنگل‌های دچار حریق)	میلیون ریال
تغییر در مدیریت و کنترل علمی آتش‌سوزی	(یروهای امدادی داوطلبان جوامع محلی × ضریب تأثیر نیروهای امدادی محلی) + (مدیریت دانش حادثه × مدیریت و کنترل علمی آتش‌سوزی بحران × ضریب تأثیر مدیریت دانش حادثه) + (متخصص بحران آتش‌سوزی جنگل‌های در دسترس × ضریب تأثیر متخصص بحران)	درصد در سال
متوسط درآمد کشاورزان و دامپروران	عملکرد اراضی زراعی و مراتع × متوسط درآمد به ازای هر واحد تولید	میلیون ریال در سال
فقر عمومی منطقه	ABS IF–THEN–ELSE) متوسط درآمد کشاورزان و دامپروران <=خط فقر نسبی منطقه، ۰ , (متوسط درآمد کشاورزان و دامپروران-خط فقر نسبی منطقه)/خط فقر نسبی منطقه × ۱۰۰	درصد
عملکرد اراضی زراعی و مراتع	Lookup Function اثر فرسایش خاک بر عملکرد محصولات (فرسایش خاک)	Dmnl
میزان خسارت واردشده	آتش‌سوزی جنگل‌ها و مراتع زاگرس شمالی استان لرستان × متوسط برآورد خسارت واردشده	میلیون ریال
تحلیل علل آتش‌سوزی	SMOOTH (مدیریت دانش حادثه + پژوهش مدیریت بحران آتش , ۳)	درصد

سیاست‌گذاری مدیریت بحران آتش‌سوزی جنگل‌ها و مراتع زاگرس شمالی

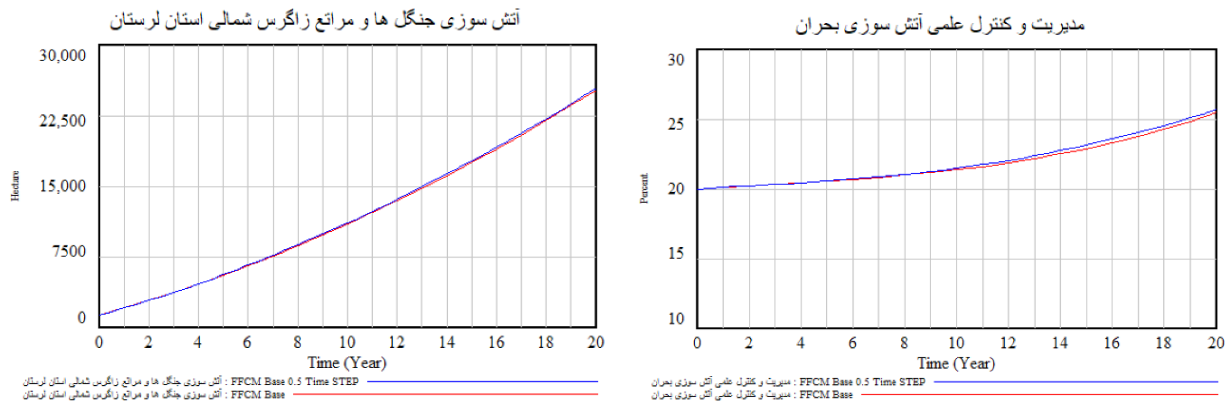
باتوجه‌به نتایج تحلیل حساسیت مدل پویایی سیستم و شناسایی نقاط اهرمی و چرخه مدیریت بحران، سیاست‌های مدیریت بحران آتش‌سوزی جنگل‌ها و مراتع زاگرس شمالی در سه استراتژی پیشگیری از بحران آتش‌سوزی جنگل‌ها، مدیریت علمی حادثه آتش‌سوزی جنگل‌ها و بازسازی پس از بحران آتش‌سوزی جنگل‌ها، با مشارکت برنامه‌ریزان شناسایی شد. در ادامه، به تشریح هر یک از دسته سیاست‌های مدیریت بحران آتش‌سوزی جنگل‌ها و مراتع زاگرس شمالی پرداخته شده است. جدول شماره ۸ دسته سیاست‌ها و اطلاعات تکمیلی را به‌صورت خلاصه ارائه کرده است. قابل‌ذکر است بودجه موردنیاز هر یک از سیاست‌های پیشنهادی با مشارکت برنامه‌ریزان اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان لرستان بر پایه قیمت‌های سال ۱۴۰۱ برآورد شده است.

تصویر ۵. نتایج آزمون اعتبار رفتاری مدل برخی از متغیرهای مدل پویایی سیستم

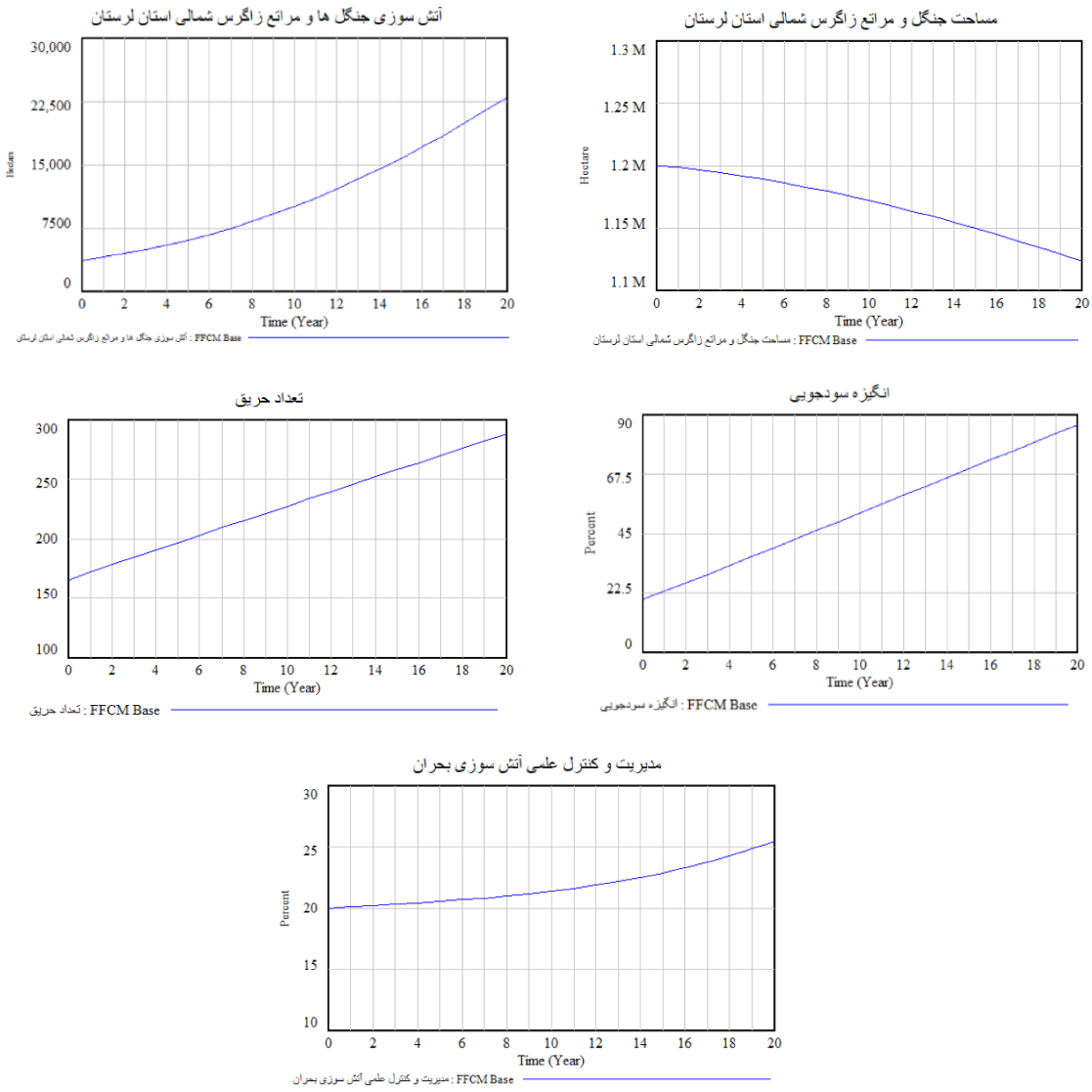
بحث

با اعمال تغییرات سیاستی هر یک از استراتژی‌ها بر روی مدل پویایی سیستم، رفتار متغیرهای کلیدی به‌طور جداگانه و در مقایسه موردبررسی قرار گرفت. تصویر شماره ۸ نتایج مقایسه رفتار متغیرهای کلیدی مدل را ارائه کرده است.

همان‌طور که نتایج نشان می‌دهد استراتژی پیشگیری از وقوع بحران آتش‌سوزی جنگل‌ها و مراتع با برآورد بودجه در حدود ۳۳ هزار میلیون ریال در مقایسه با دیگر استراتژی‌ها، تعداد حریق جنگل‌ها را در حدود ۲۵ درصد کاهش داده و از آتش‌سوزی ۱۰۰ هزار هکتار از جنگل‌های زاگرس شمالی پیشگیری کرده است. باوجوداین، باتوجه‌به پیش‌بینی روند افزایشی آتش‌سوزی جنگل‌ها و مراتع زاگرس شمالی استان لرستان، استراتژی پیشگیری به‌تنهایی به بهبود موقعیت مسئله منجر نشده است. بنابراین در ادامه تلاش شد با ترکیب استراتژی‌ها، سیاست‌های منتخب با توجه به محدودیت بودجه در دسترس حدود ۴۰ هزار میلیون ریال و بیشترین بهبود شناسایی شود؛ به‌طوری که ابتدا کلیه سیاست‌ها بر روی مدل اعمال و با کاهش هریک با توجه به بودجه و میزان تأثیرگذاری، ترکیب منتخب شناسایی شد. جدول شماره ۹ سیاست منتخب ترکیبی مدیریت بحران آتش‌سوزی



تصویر ۶. نتایج آزمون خطای انتگرال‌گیری برخی از متغیرهای مدل پویایی سیستم با اعمال تغییر گام زمانی از یک سال به نیم سال



تصویر ۷. رفتار متغیرهای مدل در افق شبیه‌سازی مدل مدیریت بحران آتش‌سوزی جنگل‌ها و مراتع زاگرس شمالی

جنگل‌ها و مراتع زاگرس شمالی را ارائه کرده است. پس از اعمال سیاست‌های منتخب، رفتار متغیرهای کلیدی مدل مورد مقایسه و بررسی قرار گرفت. تصویر شماره ۹ رفتار متغیرهای مدل را تحت اعمال سیاست‌های منتخب ارائه کرده است.

همان‌طور که در تصویر شماره ۹ مشاهده می‌شود با اعمال سیاست‌های ترکیبی، تعداد حریق جنگل‌ها به‌طور قابل‌توجهی از سال سوم شبیه‌سازی کاهش یافته است. همچنین مساحت آتش‌سوزی جنگل‌ها نیز تا حدود ۷۵۰۰ هکتار که این مقدار نیز ناشی از علل طبیعی است، کنترل شده است. بهبود مدیریت و

جدول ۵. مقادیر متغیرهای انباشت مدل در سال پایه و واحد اندازه‌گیری آن‌ها

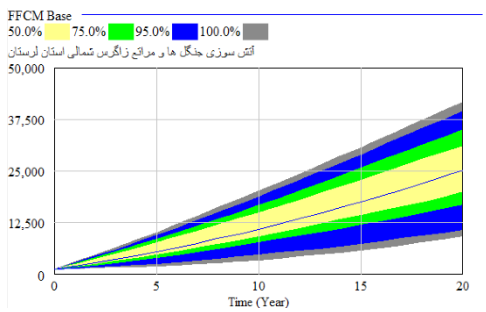
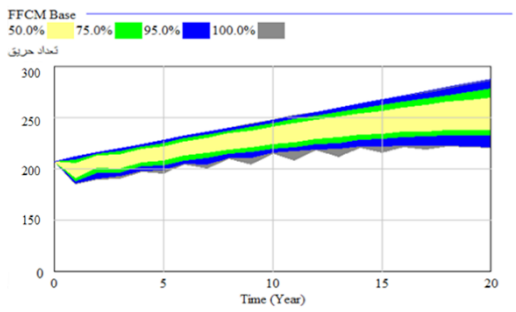
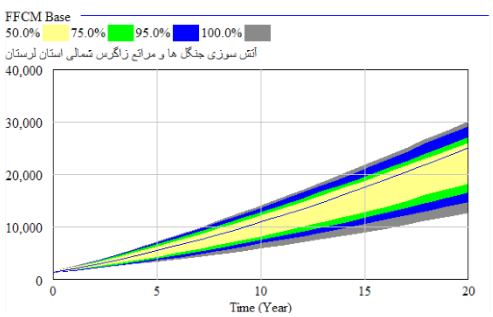
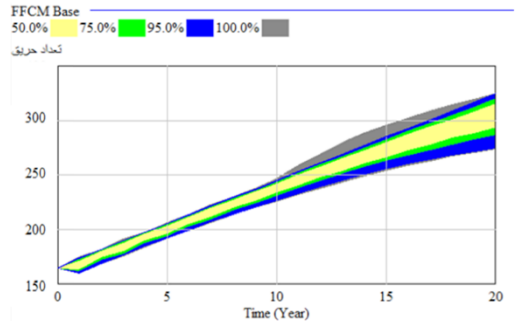
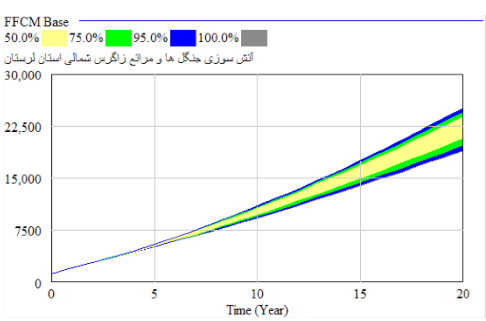
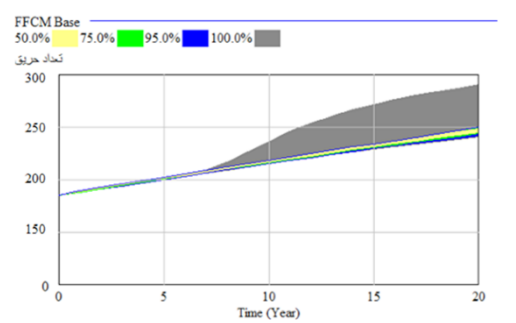
متغیر حالت	مقدار	واحد	متغیر حالت	مقدار	واحد
مدیریت و کنترل علمی آتش‌سوزی بحران	۲۰	درصد	منابع مالی پیشگیری و مدیریت بحران آتش‌سوزی جنگل‌ها	۱۲۰۰	میلیون ریال
آتش‌سوزی جنگل‌ها و مراتع زاگرس شمالی لرستان	۱۳۲۰	هکتار	انگیزه سودجویی	۳۰	درصد
مساحت جنگل و مراتع زاگرس شمالی لرستان	۱۲۰۰۰۰۰	هکتار	منابع مالی جبران خسارت در دسترس	۴۰۰۰۰	میلیون ریال

جدول ۶. نتایج آزمون بازتولید رفتار برخی از متغیرهای مدل پویایی سیستم

متغیر مدل		۱۳۹۵	۱۳۹۶	۱۳۹۷	۱۳۹۸	۱۳۹۹	۱۴۰۰	RMSPE
آتش‌سوزی جنگل‌ها و مراتع زاگرس شمالی استان لرستان (هکتار)	At	۱۱۴۸	۱۰۵۵	۹۶۲	۱۲۳۲	۱۲۵۲	۱۳۲۰	۰/۰۷
	St	۱۱۳۸	۱۱۴۹	۱۱۸۷	۱۲۰۵	۱۲۱۷	۱۳۰۹	
تعداد حریق آتش‌سوزی جنگل‌ها و مراتع زاگرس شمالی استان لرستان (فقره)	At	۱۲۳	۱۱۳	۱۲۳	۱۳۲	۱۳۴	۱۴۶	۰/۰۵
	St	۱۱۱	۱۱۹	۱۲۱	۱۲۹	۱۳۸	۱۴۹	
آموزش نیروهای امدادی و حفاظتی مدیریت آتش‌سوزی جنگل‌ها و مراتع	At	۷۶	۸۵	۱۱۶	۲۰۰	۳۸۰	۴۰۰	۰/۰۴
	St	۷۳	۸۶	۱۲۱	۱۸۷	۳۵۲	۳۸۷	
منابع مالی اقدامات پیشگیرانه مدیریت بحران آتش‌سوزی جنگل‌ها و مراتع	At	۲۷۴	۳۲۶	۴۰۸	۵۸۰	۸۶۳	۱۲۰۰	۰/۰۲
	St	۲۷۴	۳۳۵	۴۱۲	۶۰۱	۸۵۳	۱۲۱۳	
مانورها و تمرین‌های عملیاتی اطفای حریق جنگل‌ها و مراتع	At	۴۸	۵۳	۶۹	۸۰	۱۳۳	۲۰۰	۰/۰۳
	St	۴۶	۵۵	۶۸	۸۲	۱۲۸	۱۸۸	

At: داده‌های واقعی، **St:** داده‌های شبیه‌سازی‌شده

جدول ۷. تحلیل حساسیت متغیرهای برون‌زای مدل و نتایج در متغیرهای هدف

متغیر و بازه	رفتار متغیر هدف آتش‌سوزی جنگل‌ها	رفتار متغیر هدف تعداد حریق
تخصیص منابع مالی به خرید تجهیزات حفاظتی (صفر الی ۱)		
تخصیص منابع مالی به آموزش (صفر الی ۱)		
سهم آموزش نیروهای امدادی داوطلبان جوامع محلی (صفر الی ۱)		

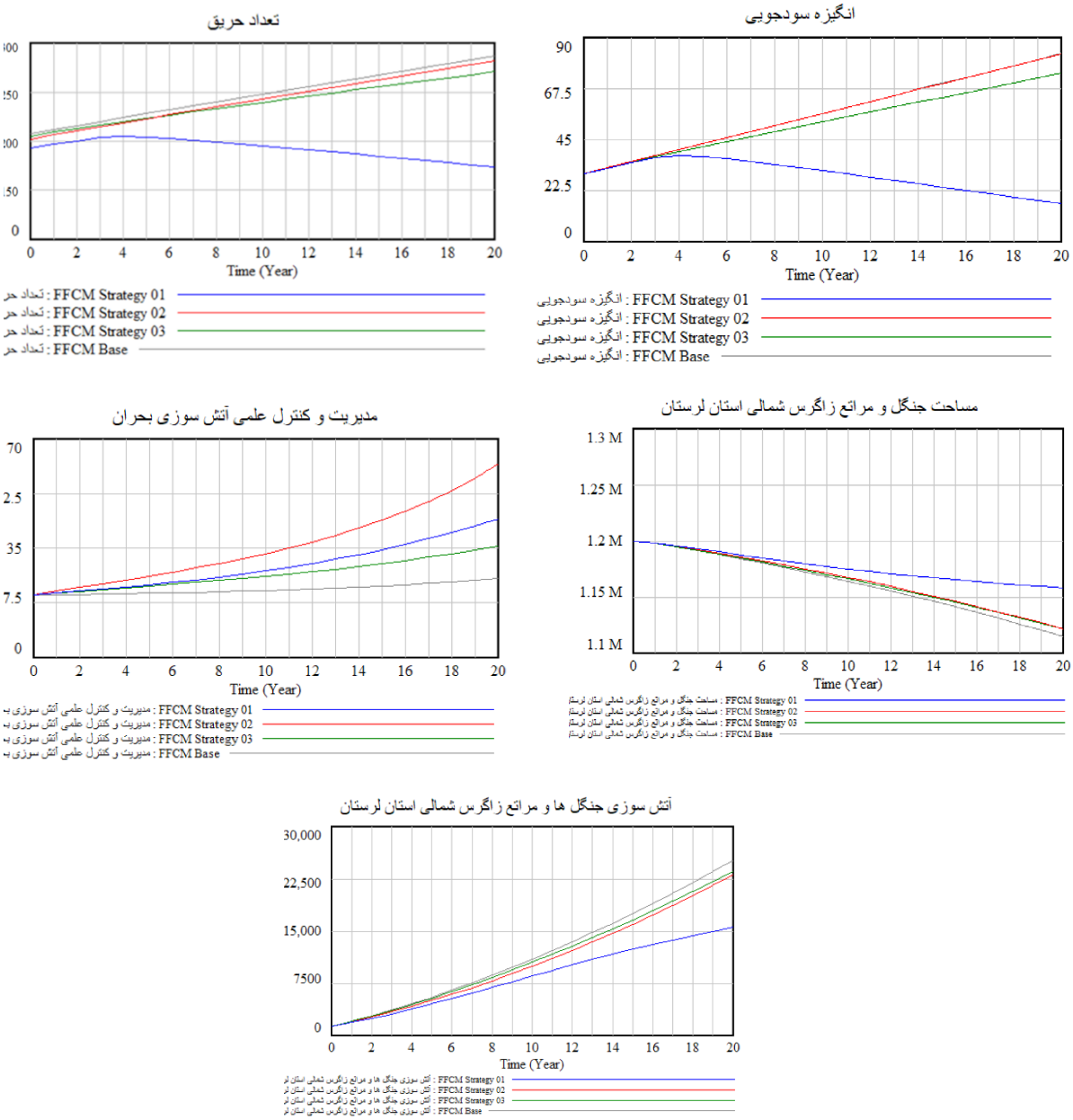
جدول ۸. خلاصه استراتژی‌ها و سیاست‌های مدیریت بحران آتش‌سوزی جنگل‌ها و مراتع زاگرس شمالی

استراتژی	سیاست	تغییر اعمال‌شده در مدل	برآورد بودجه (۱۴۰۱)
۱. پیشگیری از وقوع بحران آتش‌سوزی جنگل‌ها و مراتع	۱. تخصیص منابع مالی به تأمین تجهیزات حفاظتی جنگل‌ها	افزایش ۳درصدی بودجه سالیانه حفاظت منابع طبیعی استان و افزایش تخصیص منابع مالی به تجهیزات حفاظتی از ۰/۴۵ به ۰/۵۵	۴۸۰۰میلیون ریال
	۲. متناسب‌سازی تعداد محیطبانان با تراکم جنگل‌ها	اعمال ضریب افزایشی۱/۳ نیروی متخصص مدیریت بحران آتش‌سوزی در دسترس و افزایش ۵درصدی بودجه سالیانه حفاظت منابع طبیعی استان	۲۰۰۰۰ میلیون ریال
	۳. آموزش تخصصی نیروهای امدادی و حفاظتی	افزایش ۲درصدی بودجه سالیانه حفاظت منابع طبیعی استان و افزایش ضریب تخصیص منابع مالی آموزش از ۰/۵ به ۰/۸	۳۲۰۰ میلیون ریال
	۴. برگزاری مانورهای آموزشی مدیریت بحران	افزایش یک‌درصدی بودجه سالیانه حفاظت منابع طبیعی استان و افزایش ضریب تخصیص به مانورهای آمادگی از ۰/۰۵ به ۰/۱	۱۶۰۰میلیون ریال
	۵. آگاهی مردم از پیامدهای از بین رفتن جنگل‌ها با استفاده از رسانه‌های محلی و ملی	افزایش ۱۰برابری آگاه‌سازی رسانه‌های محلی و ملی	۱۰۰۰ میلیون ریال
	۶. شناسایی نقاط بحرانی آتش‌سوزی جنگل‌ها و جانمایی تفرجگاه جنگلی گردشگران	اعمال ضریب افزایشی ۲برابری شناسایی نقاط بحرانی در طول ۲ سال	۱۰۰۰ میلیون ریال
	۷. حمایت از نهادهای مردمی و آموزش نیروهای داوطلب بومی حامی جنگل‌ها و مراتع	افزایش ۵برابری حمایت از نهادهای مردمی و آموزش ۱۰۰ نیروی داوطلب بومی در طول ۲ سال و اعمال ضریب افزایشی ۳برابری تخصیص آموزش داوطلبان جوامع محلی	۱۵۰۰ میلیون ریال
۲. فرماندهی و مدیریت حادثه آتش‌سوزی جنگل‌ها و مراتع	۱. توسعه سیستم‌های اطلاع‌رسانی حادثه	افزایش ۳درصدی بودجه سالیانه حفاظت منابع طبیعی استان و اعمال ضریب افزایشی طراحی سیستم‌های اطلاع‌رسانی عمومی و هشدار در طول ۲ سال	۴۰۰۰میلیون ریال
	۲. توسعه سیستم پشتیبان تصمیم مبتنی بر مدیریت دانش آتش‌سوزی جنگل‌ها	افزایش ۴درصدی بودجه سالیانه حفاظت منابع طبیعی استان و طراحی سیستم پشتیبان تصمیم در طول ۲ سال و اعمال ضریب افزایشی ۲۰درصدی مدیریت و کنترل علمی آتش‌سوزی	۵۰۰۰ میلیون ریال
	۳. توسعه سیستم فرماندهی حادثه و سامان‌دهی هماهنگی بین سازمانی در حین حادثه	افزایش ۱/۵درصدی تخصیص منابع مالی به پژوهش مدیریت بحران و طراحی سیستم فرماندهی حادثه در راستای انسجام و هماهنگی بین سازمانی در طول ۲ سال	۱۵۰۰ میلیون ریال
۳. بازسازی پس از بحران آتش‌سوزی جنگل‌ها و مراتع	۱. تخصیص منابع مالی به بازسازی جنگل‌ها	افزایش ۴درصدی بودجه سالیانه حفاظت منابع طبیعی استان و افزایش ۳برابری تخصیص منابع مالی به جبران خسارت	۵۰۰۰ میلیون ریال
	۲. بررسی و تحلیل علل آتش‌سوزی جنگل‌ها و مراتع	افزایش ۲برابری تخصیص منابع مالی به پژوهش مدیریت بحران در راستای تحلیل علل آتش‌سوزی	۵۰۰ میلیون ریال
	۳. مستندسازی و ثبت تجارب مدیریت بحران آتش‌سوزی جنگل‌ها	افزایش ۲برابری تخصیص منابع مالی به پژوهش مدیریت بحران در راستای مستندسازی و ثبت تجارب مدیریت بحران آتش‌سوزی جنگل	۵۰۰ میلیون ریال

کنترل علمی آتش‌سوزی بحران و نیز کاهش انگیزه سودجویی در مقایسه با سایر استراتژی‌ها، بهبود چشم‌گیری را ایجاد کرده است.

نتیجه‌گیری

پژوهش حاضر با تمرکز بر عوامل آتش‌سوزی غیرطبیعی جنگل‌ها با منشأ انسانی شامل آتش‌سوزی عمدی و غیرعمدی در جست‌وجوی شناسایی و تحلیل سیاست‌های مدیریت بحران آتش‌سوزی جنگل‌های زاگرس است. برای این منظور ابتدا مدل پویایی سیستم مدیریت بحران آتش‌سوزی جنگل‌های زاگرس شمالی با مشارکت سیاست‌گذاران منابع طبیعی استان لرستان طراحی شد. پس از اعتبارسنجی، مدل در افق ۲۰ساله شبیه‌سازی شد و با توجه به نتایج تحلیل حساسیت مونت‌کارلو، سیاست‌های مدیریت بحران آتش‌سوزی جنگل‌ها مبتنی بر سه استراتژی پیشگیری از وقوع بحران آتش‌سوزی جنگل‌ها و مراتع زاگرس شمالی، فرماندهی و مدیریت حادثه آتش‌سوزی جنگل‌ها و مراتع زاگرس و بازسازی پس از بحران آتش‌سوزی جنگل‌ها و



تصویر ۸. مقایسه سه استراتژی مدیریت بحران آتش‌سوزی جنگل‌ها و مراتع زاگرس شمالی

مراتع زاگرس شمالی شناسایی شدند و با اعمال سیاست‌های هر استراتژی به‌طور جداگانه بر روی مدل، نتایج مورد مقایسه قرار گرفت. در ادامه، منتخب ترکیبی سیاست‌ها در نظر گرفته شد و درنهایت پیشنهادهای کاربردی پژوهش مبنی بر سیاست‌های ترکیبی منتخب مدل پویایی سیستم با توجه به محدودیت بودجه در دسترس حدود ۴۰ هزار میلیون ریال به شرح زیر شناسایی شد:

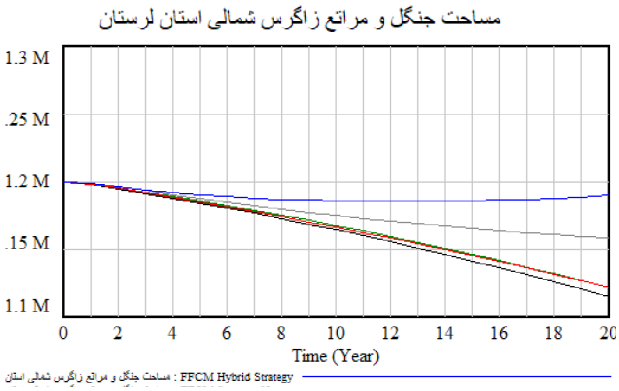
- تأمین تجهیزات حفاظتی جنگل‌ها با افزایش بودجه سالیانه حفاظت منابع طبیعی استان لرستان و افزایش تخصیص منابع مالی به تجهیزات حفاظتی با برآورد بودجه ۴۸۰۰ میلیون ریال
- متناسب‌سازی تعداد محیط‌بانان با تراکم جنگل‌ها و مراتع زاگرس شمالی با اعمال ضریب افزایشی ۱/۳ نیروی متخصص مدیریت بحران آتش‌سوزی در دسترس و افزایش ۵درصدی بودجه سالیانه حفاظت منابع طبیعی استان لرستان با برآورد بودجه ۲۰ هزار میلیون ریال
- آموزش تخصصی نیروهای امدادی و حفاظتی جنگل‌ها و مراتع استان لرستان با در نظر گرفتن افزایش ۲درصدی بودجه سالیانه حفاظت منابع طبیعی استان و افزایش تخصیص منابع مالی آموزش با برآورد بودجه ۳۲۰۰ میلیون ریال

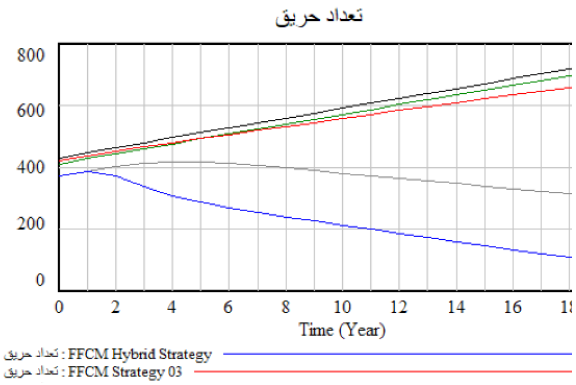
جدول ۹. خلاصه استراتژی‌ها و سیاست‌های منتخب ترکیبی مدیریت بحران آتش‌سوزی جنگل‌ها و مراتع زاگرس شمالی

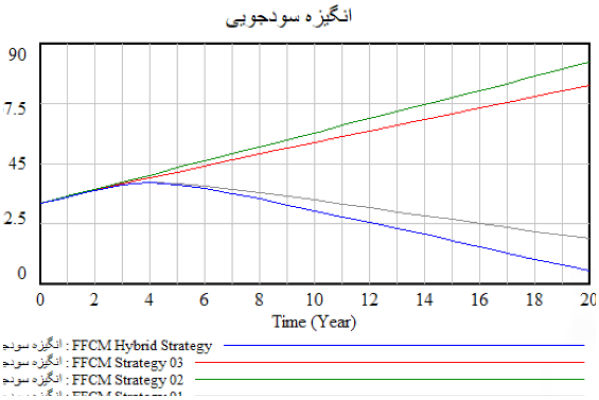
سیاست منتخب ترکیبی		
سیاست	**تغییر اعمال شده در مدل**	**برآورد بودجه**
۱. تأمین تجهیزات حفاظتی جنگل‌ها	افزایش ۳درصدی بودجه سالیانه حفاظت منابع طبیعی استان و افزایش تخصیص منابع مالی به تجهیزات حفاظتی از ۰/۴۵ به ۰/۵۵	۴۸۰۰میلیون ریال
۲. متناسب‌سازی تعداد محیطبانان با تراکم جنگل‌ها	اعمال ضریب افزایشی ۱/۳ نیروی متخصص مدیریت بحران آتش‌سوزی در دسترس و افزایش ۵درصدی بودجه سالیانه حفاظت منابع طبیعی استان لرستان	۲۰۰۰۰میلیون ریال
۳. آموزش تخصصی نیروهای امدادی و حفاظتی جنگل‌ها و مراتع	افزایش ۲درصدی بودجه سالیانه حفاظت منابع طبیعی استان و افزایش ضریب تخصیص منابع مالی آموزش از ۰/۵ به ۰/۸	۳۲۰۰میلیون ریال
۴. آگاهی مردم از پیامدهای تخریب جنگل‌ها با استفاده از رسانه‌های محلی و ملی	افزایش ۱۰برابری آگاه‌سازی رسانه‌های محلی و ملی	۱۰۰۰ میلیون ریال
۵. حمایت از نهادهای مردمی و آموزش نیروهای داوطلب بومی حامی جنگل‌ها و مراتع	افزایش ۵برابری حمایت از نهادهای مردمی و آموزش ۱۰۰ نیروی داوطلب بومی در طول ۲ سال و اعمال ضریب افزایشی ۳برابری تخصیص آموزش داوطلبان جوامع محلی	۱۰۰۰ میلیون ریال
۶. توسعه سیستم‌های اطلاع‌رسانی حادثه آتش‌سوزی جنگل‌ها و مراتع	افزایش ۳درصدی بودجه سالیانه حفاظت منابع طبیعی استان و اعمال ضریب افزایشی طراحی سیستم‌های اطلاع‌رسانی عمومی و هشدار در طول ۲ سال	۴۰۰۰ میلیون ریال
۷. توسعه سیستم پشتیبان تصمیم مبتنی بر مدیریت دانش آتش‌سوزی جنگل‌ها و مراتع	افزایش ۱/۵درصدی تخصیص منابع مالی به پژوهش مدیریت بحران و طراحی سیستم فرماندهی حادثه در راستای انسجام و هماهنگی بین سازمانی در طول ۲ سال	۵۰۰۰ میلیون ریال
۸. توسعه سیستم فرماندهی حادثه و سامان‌دهی هماهنگی بین سازمانی در حین حادثه	افزایش ۱/۵درصدی تخصیص منابع مالی به پژوهش مدیریت بحران و طراحی سیستم فرماندهی حادثه در راستای هماهنگی بین سازمانی در طول ۲ سال	۱۵۰۰ میلیون ریال
۹. بررسی و تحلیل ریشه‌ای علل هر حادثه آتش‌سوزی جنگل‌ها و مراتع	افزایش ۲برابری تخصیص منابع مالی به پژوهش مدیریت بحران در راستای تحلیل علل آتش‌سوزی	۳۰۰ میلیون ریال

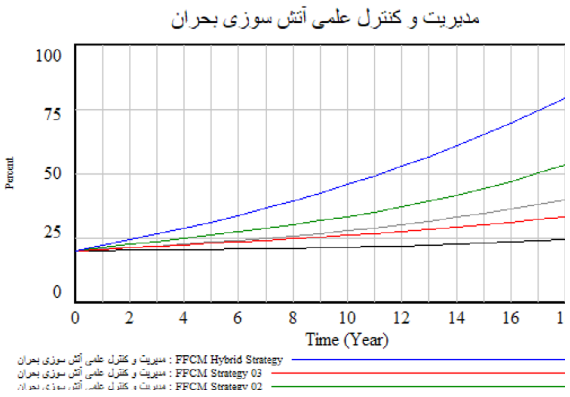
- آگاهی مردم از پیامدهای تخریب جنگل‌ها با استفاده از رسانه‌های محلی و ملی با برآورد بودجه ۱۰۰۰ میلیون ریال
- حمایت از نهادهای مردمی و آموزش نیروهای داوطلب بومی حامی جنگل‌ها و مراتع و آموزش ۱۰۰ نیروی داوطلب بومی در طول ۲ سال با برآورد بودجه ۱۰۰۰ میلیون ریال
- توسعه سیستم‌های اطلاع‌رسانی حادثه آتش‌سوزی جنگل‌ها و مراتع با افزایش ۳درصدی بودجه سالیانه حفاظت منابع طبیعی استان و اعمال ضریب افزایشی طراحی سیستم‌های اطلاع‌رسانی عمومی و هشدار در طول ۲ سال با برآورد بودجه ۴۰۰۰ میلیون ریال
- توسعه سیستم پشتیبان تصمیم مبتنی بر مدیریت دانش آتش‌سوزی جنگل‌ها و مراتع با افزایش ۱/۵درصدی تخصیص منابع مالی به پژوهش مدیریت بحران و طراحی سیستم فرماندهی حادثه در راستای انسجام و هماهنگی بین سازمانی در طول ۲ سال با برآورد بودجه ۵۰۰۰ میلیون ریال
- طراحی و توسعه سیستم فرماندهی حادثه و سامان‌دهی به‌منظور هماهنگی بین سازمانی در حین حادثه در طول ۲ سال با برآورد بودجه ۱۵۰۰ میلیون ریال
- بررسی و تحلیل ریشه‌ای علل هر حادثه آتش‌سوزی جنگل‌ها و مراتع و افزایش ۲ برابری تخصیص منابع مالی به پژوهش مدیریت بحران در راستای تحلیل علل آتش‌سوزی با برآورد بودجه ۳۰۰ میلیون ریال

در این پژوهش سعی بر آن بود علاوه بر افزودن دانش موجود در زمینه سیاست‌گذاری مدیریت بحران آتش‌سوزی جنگل پیش‌زمینه مناسبی نیز برای تحقیقات آتی فراهم شود. پژوهشگران در مسیر اجرای پژوهش با محدودیت‌هایی مواجه شدند؛ به‌طوری که با توجه به عدم آشنایی مشارکت‌کنندگان به روش‌شناسی پویایی سیستم، پژوهشگر زمان بسیاری را برای انتقال مفاهیم به خبرگان صرف کرد. در دسترسی به داده‌ها نیز محدودیت‌هایی وجود داشت و برخی از مقادیر موردنیاز با توجه به عدم دسترسی به‌ناچار به‌صورت برآوردی و با تأیید خبرگان وارد محاسبه شد. با توجه به مدل پویایی سیستم مدیریت بحران آتش‌سوزی جنگل‌ها و مراتع زاگرس شمالی، در تحقیقات آتی پیشنهاد می‌شود مدل با توجه به علل طبیعی آتش‌سوزی جنگل‌ها توسعه یابد و سیاست‌های جامع با توجه به روند تغییرات









تصویر ۹. استراتژی ترکیب سیاست‌های منتخب مدیریت بحران آتش‌سوزی جنگل‌ها و مراتع زاگرس شمالی

اقلیمی موردبررسی قرار گیرند. همچنین مدل با توجه به داده‌های سایر جنگل‌های در خطر آتش‌سوزی تجزیه‌وتحلیل و نتایج مورد مقایسه قرار گیرد. علاوه بر آن، با توجه به پژوهش‌های محدود در این زمینه، مرور سیستماتیک در حوزه مدیریت بحران آتش‌سوزی جنگل‌ها انجام و علاوه بر طبقه‌بندی علل و پیامدهای آتش‌سوزی جنگل‌ها، راهکارهای پیشنهادی مطالعات ارائه شود. با توجه به نقش سیاست‌گذاران در سطح ملی بر بودجه‌بندی و برنامه‌ریزی در سطح منطقه‌ای در پژوهش‌های آتی پیشنهاد می‌شود مدل پویایی سیستم با مشارکت منتخبی از سیاست‌گذاران و تصمیم‌گیران بر مبنای یک رویکرد مداخله سیستمی نرم توسعه یابد. همچنین با توجه به تأکید مشارکت اجتماعی در مدیریت بحران، مطالعاتی در زمینه توسعه سیستم حکمرانی حفاظت منابع طبیعی و به‌طور مشخص مدیریت بحران آتش‌سوزی جنگل‌ها و مراتع کشور به انجام رسد و زمینه‌های مشارکت بخش خصوصی، جوامع محلی، سازمان‌های مردمی بر مبنای قانون شناسایی شود.

ملاحظات اخلاقی

پیروی از اصول اخلاق پژوهش

این پژوهش بدون استفاده از داده‌های انسانی، حیوانی یا سازمانی و با رعایت تمامی اصول اخلاق پژوهش انجام شده است.

حامی مالی

این پژوهش هیچ‌گونه کمک مالی از سازمانی‌های دولتی، خصوصی و غیرانتفاعی دریافت نکرده است.

مشارکت‌نویسندگان

مفهوم‌سازی، بررسی و جمع‌آوری داده: کورانی فر؛ مدل‌سازی، اعتبارسنجی، تحلیل، نگارش پیش‌نویس : صمدی فروشانی و کورانی فر؛ تحلیل، نظارت، نهایی‌سازی: احمدوند و صمدی فروشانی.

تعارض منافع

بنابر اظهار نویسندگان، این مقاله تعارض منافع ندارد.

تشکر و قدردانی

از کلیه مشارکت‌کنندگان پژوهش در سازمان جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری کشور و اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان لرستان و حمایت سازمان پیشگیری و مدیریت بحران شهر تهران (TDMMO) تشکر و سپاسگزاری می‌شود.

References

Abdel-Latif, A., Saad-Eldien, A., & Marzouk, M. (2023). System dynamics applications in crisis management: A literature review. *Journal of Simulation, 17*(6), 800-817. [DOI:10.1080/17477778.2022.2088306]

Andrade, S. R., & Hulse, D. E. (2022). Evaluation and improvement of system-of-systems resilience in a simulation of wildfire emergency response. *IEEE Systems Journal, 17*(2), 1877 - 1888. [DOI:10.1109/JSYST.2022.3169125]

Budiningsih, K., Nurfatriani, F., Salminah, M., Ulya, N. A., Nurlia, A., & Setiabudi, I. M., et al. (2022). Forest management units' performance in forest fire management implementation in central Kalimantan and South Sumatra. *Forests, 13*(6), 894. [DOI:10.3390/f13060894]

Dhall, A., Dhasade, A., Nalwade, A., VK, M. R., & Kulkarni, V. (2020). A survey on systematic approaches in managing forest fires. *Applied Geography, 121,* 102266. [DOI:10.1016/j.apgeog.2020.102266]

General Department of Natural Resources And Watershed Management of Lorestan Province. (2021). [*Fire prevention plan in forests and pastures of Lorestan province* (Persian)]. Lorestan:General Department of Natural Resources And Watershed Management of Lorestan Province.

Hetu, S. N., Gupta, S., Vu, V. A., & Tan, G. (2018). A simulation framework for crisis management: Design and use. *Simulation Modelling Practice and Theory, 85,* 15-32. [DOI:10.1016/j.simpat.2018.03.001]

Kalogiannidis, S., Chatzitheodoridis, F., Kalfas, D., Patitsa, C., & Papagrigoriou, A. (2023). Socio-psychological, economic and environmental effects of forest fires. *Fire, 6*(7), 280. [DOI:10.3390/fire6070280]

Naderpour, M., Rizeei, H. M., Khakzad, N., & Pradhan, B. (2019). Forest fire induced Natech risk assessment: A survey of geospatial technologies. *Reliability Engineering & System Safety, 191,* 106558. [DOI:10.1016/j.ress.2019.106558]

Natural Resources and Watershed Management Organization. (2022). [*Statistics related to fires in pastures and forests in the country* (Persian)]. Tehran: Natural Resources and Watershed Management Organization.

Oliveira, A. C., Botega, L. C., Saran, J. F., Silva, J. N., Melo, J. O., & Tavares, M. F., et al. (2019). Crowdsourcing, data and information fusion and situation awareness for emergency management of forest fires: The project DF100Fogo (FDWithoutFire). *Computers, Environment and Urban Systems, 77,* 101172. [DOI:10.1016/j.compenvurbsys.2017.08.006]

Prasad, A., Pedlar, J., Peters, M., Matthews, S., Iverson, L., & McKenney, D., et al. (2024). Understanding climate change dynamics of tree species: Implications for future forests. In: S. G. McNulty (Ed.), *Future forests: Mitigation and adaptation to climate change* (pp. 151-175). Amsterdam: Elsevier. [DOI:10.1016/B978-0-323-90430-8.00002-2]

Sondej, I., & Domisch, T. (2024). Impact of Large-Scale fire and habitat type on ant nest density and species abundance in Biebrza National Park, Poland. *Forests, 15*(1), 123. [DOI:10.3390/f15010123]

Sterman, J. (2002). System dynamics: Systems thinking and modeling for a complex world. *Massachusetts Institute of Technology Engineering Systems Division,* 1-31. [Link]

Thom, D., & Seidl, R. (2016). Natural disturbance impacts on ecosystem services and biodiversity in temperate and boreal forests. *Biological Reviews of the Cambridge Philosophical Society, 91*(3), 760–781. [DOI:10.1111/brv.12193] [PMID] [PMCID]

Tian, G., Fathollahi-Fard, A. M., Ren, Y., Li, Z., & Jiang, X. (2022). Multi-objective scheduling of priority-based rescue vehicles to extinguish forest fires using a multi-objective discrete gravitational search algorithm. *Information Sciences, 608,* 578-596. [DOI:10.1016/j.ins.2022.06.052]

Tian, Y., Wu, Z., Li, M., Wang, B., & Zhang, X. (2022). Forest fire spread monitoring and vegetation dynamics detection based on multi-source remote sensing images. *Remote Sensing, 14*(18), 4431. [DOI:10.3390/rs14184431]

Tietze, N., Gerhold, L., & Ibisch, P. L. (2023). Policy narratives in forest fire management. *Environmental Research Letters, 18*(11), 114023. [DOI:10.1088/1748-9326/acf6d2]

Vigna, I., Besana, A., Comino, E., & Pezzoli, A. (2021). Application of the socio-ecological system framework to forest fire risk management: A systematic literature review. *Sustainability, 13*(4), 2121. [DOI:10.3390/su13042121]

Zamarreño-Aramendia, G., Cristòfol, F. J., de-San-Eugenio-Vela, J., & Ginesta, X. (2020). Social-media analysis for disaster prevention: Forest Fire in Artenara and Valleseco, Canary Islands. *Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity, 6*(4), 169. [DOI:10.3390/joitmc6040169]

This Page Intentionally Left Blank