A System Dynamics Analysis of Factors Affecting the Sustainability of Wheat Production System

(Document Type: Research Paper)

Alireza Amiri
Ph.D. student, Industrial Engineering, Yazd University, Yazd, Iran,
alireza.amiri@stu.yazd.ac.ir
Yahia Zare Mehrjerdi*
Professor, Faculty of Industrial Engineering, Yazd University, Yazd, Iran,
yzare@yazd.ac.ir
Ammar Jalalimanesh
Assistant Professor, Iranian Research Institute for Information Science and Technology (IranDoc), Tehran, Iran, jalalimanesh@irandoc.ac.ir
Ahmad Sadegheih
Professor, Faculty of Industrial Engineering, Yazd University, Yazd, Iran,
sadegheih@yazd.ac.ir

Purpose: The problem of wheat production sustainability is an important issue that quarantines the availability of people's food at present as well as the nutrition of the next generations. Food is the essential human's need and has been used from human beings' creation until the end of its life. The existence of systems satisfying such requirements and the sustainability of them is always essential for the survival of the human race. Therefore, this study aims to investigate the sustainability of the wheat production system in Iran.

Design/methodology/approach: In this research, using the system dynamics approach, the sustainability of Iran's wheat production has been studied. The literature review section of this paper concentrates on several research papers in this context, considering the systems dynamics approach. In this study, an introduction has been expressed to the human's need for food and the position of wheat as the primary source of food in meeting this need in Iran.
System dynamics is one of the most commonly used approaches for modeling and simulating environmental and socio-economic phenomena. The wheat production system covering environmental, economic, and social subsystems has been taken into consideration as a case to model the problem.
Key factors affecting wheat production have been collected based on a literature review. 50 years historical data for essential factors such as rain, wheat harvesting area, agricultural technology, fertilizers, population, wheat imports, and exports have been used in modeling and hence in the mathematical formulation of the problem.
Based on the history of these factors and related research, the dynamic hypothesis of the problem has been defined, and the causal diagrams of the relationships between critical factors and the wheat production have been developed. After modeling and formulation, the problem has been simulated

* Corresponding author
Copyright © 2020, University of Isfahan. This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (http://creativecommons.org/licenses/BY-NC-ND/4.0/), which permits others to download this work and share it with others as long as they credit it, but they cannot change it in any way or use it commercially.

and validated. Then, various scenarios have been proposed and simulated for the sustainability of the wheat production system, and the results have been addressed. The scenarios for changing the machinery level, reducing chemical fertilizer's use, increasing organic fertilizer use, and rainfall fluctuations have been simulated one by one, and their combinations have been simulated, respectively.

Findings: The simulation results indicated that the production of wheat is highly sensitive to precipitation and technology levels in the field. Therefore, it is better to focus more on such two factors and to have more concentration on them. Since water is the most crucial resource in wheat production, it would be better to concentrate the research and development efforts on water management technologies in the field. Due to the high sensitivity of wheat production to precipitation fluctuations and technology levels, more investment and better plans should be provided for the better and more efficient use of the two sources.

Research limitations/implications: While numerous factors such as pesticides, seeds, planting and harvesting, irrigation methods, management, human resources, and related requirements affect wheat production, due to the large scale of this research, only the most critical factors were selected for the study. Examining the behavior of each of the above-mentioned factors will result in a better awareness of the existing reality and better planning for wheat production.

Practical implications: The wheat production system includes environmental, economic, and social subsystems as well as numerous and complex relationships between the human and the environment. The systemic nature of such interdependencies and interactions needs systematic approaches and integrated assessment tools. Identifying and modeling correctly the intrinsic characteristics of the wheat production system assure preserves or increases its essential results over the time and help governmental organizations and institutes to move towards sustainable development and to set policies that encourage positive changes.

Social implications: Since the proposed model is expected to help the government and agricultural institutions in planning wheat production efficiently, it will make the country move towards self-sufficiency in wheat production, which in turn results in psychological and social security in terms of food and increases social sustainability.

Originality/value: To the best knowledge of the authors, there is no comprehensive investigation on the sustainability of wheat production in Iran. The literature review indicates that the agricultural context is almost limited to a particular zone and this problem has not been addressed on the national scale. Thus, this is the first research that examines such a problem.

Keywords: Food system, System sustainability, Simulation, System dynamics, Wheat production.

مدیریت تولید و عملیات، دوره ۱۱، شماره ۲، پیاپی ۲۱، تابستان ۱۳۹۹
دریافت: ۱۳۹۸/۰۸/۰۱ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۵/۰۵
صص: ۲۶- ۱ (نوع مقاله: پژوهشی)

پویایی‌شناسی عوامل مؤثر بر پایداری سیستم تولید گندم

علیرضا امیری[۱]، یحیی زارع مهرجردی[۲*]، عمار جلالی منش، احمد صادقیه

۱- دانشجوی دکتری مهندسی صنایع، دانشگاه یزد، یزد، ایران، alireza.amiri@stu.yazd.ac.ir
۲- استاد دانشکده صنایع، دانشگاه یزد، یزد، ایران، yzare@yazd.ac.ir
۳- استادیار پژوهشکده فناوری اطلاعات پژوهشگاه علوم و فناوری اطلاعات ایران، تهران، ایران، jalalimanesh@irandoc.ac.ir
۴- استاد دانشکده صنایع، دانشگاه یزد، یزد، ایران، sadegheih@yazd.ac.ir

چکیده: مسئلهٔ پایداری سیستم تولید گندم برای تغذیهٔ نسل کنونی از منابع موجود، به صورتی که تغذیهٔ نسل‌های بعد به خطر نیفتد، یکی از مسائل مهم عصر حاضر است. در این پژوهش، عوامل مؤثر بر سیستم تولید گندم در ایران و پایداری آن با استفاده از رویکرد پویایی‌شناسی سیستم بررسی شد. نمودارهای علّی-حلقوی ارتباط این عوامل با تولید گندم، با توجه به سابقهٔ رفتار آنها و پژوهش‌های مرتبط، ترسیم و تجزیه‌وتحلیل شده است؛ سپس با ترسیم نمودار جریان، مسئله شبیه‌سازی شد و بعد از اعتبارسنجی، سناریوهای مختلفی، ازجمله افزایش استفاده از کودهای ارگانیک و کاهش استفاده از کودهای معدنی برای افزایش کیفیت خاک و افزایش سطح تکنولوژی کشاورزی و نوسان‌های حجم بارش سالیانه برای مشاهدهٔ تأثیر آنها در پایداری سیستم تولید گندم، شبیه‌سازی و بحث و بررسی شد. با توجه به حساسیت زیاد تولید گندم به نوسان‌های بارشی و سطح تکنولوژی، افزایش برنامه‌ریزی و سرمایه‌گذاری برای استفادهٔ بهتر و مؤثرتر از این دو منبع توصیه می‌شود.

واژه‌های کلیدی: پایداری سیستم، پویایی‌شناسی سیستم، تولید گندم، سیستم غذایی، شبیه‌سازی

---

*نویسنده مسؤول

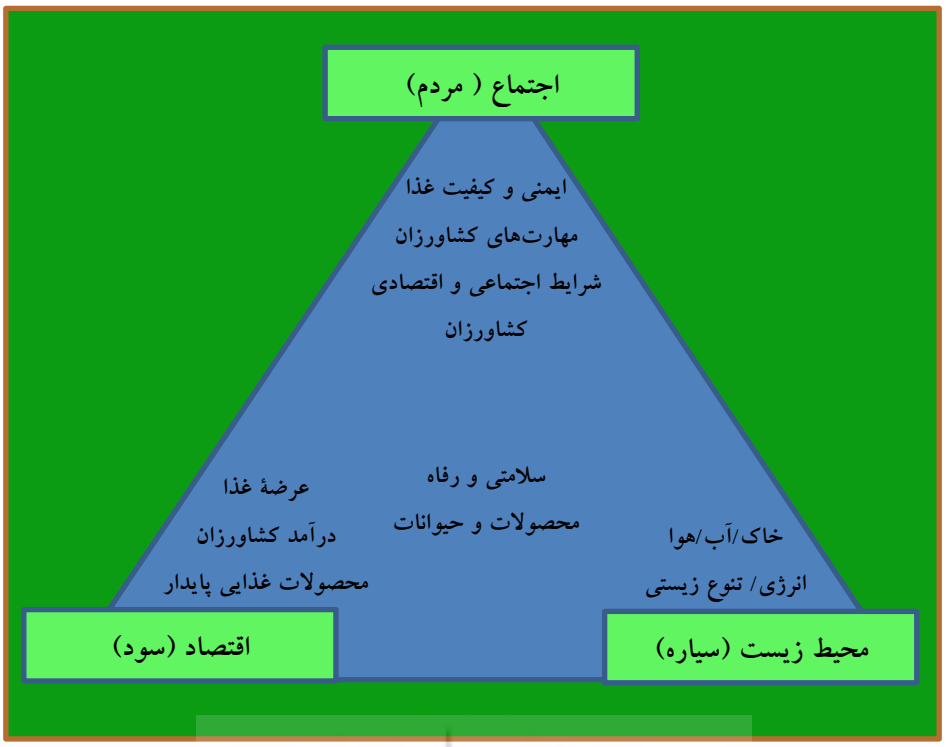
۱. مقدمه

یکی از نیازهای مهم و حیاتی انسان، نیاز روزمرهٔ او به غذاست که از زمان انعقاد نطفه تا زمان مرگ، انسان را همراهی می‌کند. رشد، طول عمر، تندرستی، آرامش اعصاب و روان، خلق‌وخو و رفتار، توانمندی و قدرت، تکثیر نسل و تولید مثل، همگی به‌نوعی وامدار تغذیه سالم است (آخوندی، ۲۰۰۸). با نگاهی به تاریخ جهان مشخص می‌شود تمدن‌ها در طول تاریخ در مکان‌های مناسب ازلحاظ آب، خاک و کشاورزی، مانند بین‌النهرین، ایران و مصر اسکان یافته‌اند و رفع نیازهای غذایی از مهم‌ترین اولویت آنها در انتخاب محل زندگی بوده است. علاوه بر این، در جنگ‌های گوناگون از غذا به‌عنوان یک حربه در مقابل دشمن استفاده می‌شده است. تحریم غذایی طرف مقابل و جلوگیری از ورود هر گونه مواد غذایی به منطقهٔ مورد تهاجم در برخی از جنگ‌ها رویّه‌ای معمول بوده است (مجد، ۲۰۱۳). قانون اساسی جمهوری اسلامی ایران در اصل سوم بند سیزدهم و همچنین در اصل چهل‌وسوم، بند اول و بند نهم بر افزایش تولیدات کشاورزی، که نیازهای عمومی را تأمین کند، کشور را به مرحلهٔ خودکفایی برساند و از وابستگی برهاند، تأکید دارد. همچنین براساس هرم سلسله‌مراتب نیازهای آبراهام هارولد مازلو[1]، روانشناس آمریکایی، نیازهای زیستی در اوج سلسله‌مراتب قرار دارد و تا زمانی که ارضا شود، بیشترین تأثیر را بر رفتار فرد دارد (رضاییان، ۲۰۰۰).

گندم، یکی از محصولات اساسی کشاورزی است که جایگاه خاصی در الگوی تغذیهٔ مردم ایران دارد و تأمین آن به معنی ایجاد امنیت غذایی است و رفاه اجتماعی اقشار متوسط و ضعیف از این محصول تأثیر می‌پذیرد (موسوی، ۲۰۰۷). کمبود این محصول و به دنبال آن، افزایش قیمت آن، موجب ایجاد تنش‌های اجتماعی و اعتصاب‌های سراسری در کشورهای مختلف جهان، ازجمله مصر و السالوادور شده است (مک کلافرتی، ۲۰۰۰)

تعریف کلی و اساسی پایداری در گزارش برونتلاند[2] به این صورت بیان شده است: «توانایی پاسخگویی به نیازهای نسل امروز، بدون به خطر انداختن توانایی نسل‌های آینده برای رفع نیازهای خود را پایداری گویند». پایداری از دیدگاه کسب‌وکار به‌صورت ذیل تعریف می‌شود: «بهبود مداوم و متعادل عملکرد اجتماعی، زیست‌محیطی و اقتصادی در سراسر زنجیرهٔ ارزش» (ویلز، ۲۰۱۶). انجمن بهداشت عمومی آمریکا[3] «سیستم غذایی پایدار»[4] را اینگونه تعریف می‌کند: «فراهم‌کردن مواد غذایی سالم برای رفع نیاز نسل کنونی، با حفظ سلامت اکوسیستم‌هایی که همچنان نیاز غذایی نسل بعدی را با حداقل اثر منفی بر محیط رفع می‌کنند» (هارمون و جرالد، ۲۰۰۷).

شکل شمارهٔ ۱، نشان‌دهندهٔ ابعاد پایداری سیستم کشاورزی و زیربعدهای آن است. شاخص‌های پایداری برای سنجش یک یا مجموعه‌ای از این ابعاد به کار گرفته می‌شود. شاخص‌های متنوع و گوناگونی در پژوهش‌های علمی معرفی و استفاده شده است. در سه دههٔ اخیر، چندین مقاله منتشر شده که شاخص‌های استفاده‌شده در کشاورزی را بررسی و معرفی کرده است (براگا، ۲۰۱۵؛ روی و چان، ۲۰۱۲؛ ویکاری، ۱۹۹۹). در این مقاله برای بررسی پایداری سیستم تولید گندم در هر بعد از یک شاخص استفاده شده است. شاخص خودکفایی در بعد اجتماعی، شاخص حجم تولید گندم در بعد اقتصادی و شاخص کیفیت خاک در بعد زیست‌محیطی استفاده شده است.



شکل ۱- ابعاد پایداری و شاخص‌های مرتبط (براگا، ۲۰۱۵)

مسئلهٔ پایداری، مسئلهٔ چگونگی فراهم‌کردن اسباب تغذیهٔ نسل کنونی از منابع موجود به صورتی است که تغذیهٔ نسل‌های بعدی به خطر نیفتد؛ به عبارت دیگر، با منابع موجود، به‌گونه‌ای برنامه‌ریزی کنیم که نسل کنونی را تغذیه کنیم و نسل‌های بعدی را محروم نکنیم. با توجه به جغرافیای تقریباً بیابانی و نیمه‌بیابانی ایران و کمبود نزولات آسمانی و رویکرد بین‌المللی درزمینهٔ پایداری سیستم‌ها به‌خصوص سیستم مواد غذایی و ضرورت تولید غذا برای نسل کنونی و نسل‌های آینده، ضروری است دربارهٔ پایداری سیستم‌های مواد غذایی مطالعاتی انجام شود و براساس آن، اصلاحاتی در سیستم موجود شکل بگیرد و تدبیرهایی اتخاذ شود که پایداری سیستم غذایی را تضمین کند. در این پژوهش، با توجه به جایگاه گندم در سیستم غذایی کشور، مسئلهٔ پایداری تولید گندم بحث و بررسی شده است. تأثیر و نقش هر یک از عوامل کلیدی مؤثر در تولید گندم و بر پایداری سیستم تولید، با استفاده از روش پویایی‌شناسی سیستم تجزیه‌وتحلیل شده است.

براساس یافته‌های مؤلفان، تاکنون پژوهشی انجام نشده است که به‌طور کلان، مسئلهٔ پایداری تولید گندم در کشور را بررسی کند. پژوهش‌های انجام‌شده در حوزهٔ کشاورزی، به‌طور عمده به منطقهٔ خاصی از کشور و در سطح استان و شهرستان محدود است و مسئلهٔ پایداری تولید گندم در سطح ملی بررسی نشده است؛ بنابراین، این پژوهش در نوع خود، اولین پژوهشی است که این مسئله را واکاوی می‌کند.

درادامه، مبانی نظری موضوع در قسمت ۲ و روش‌شناسی پژوهش، فرضیهٔ پویا و طراحی حلقه‌های علّی در قسمت ۳ بیان شده است. در قسمت ۴ به صحه‌گذاری متغیرها، مدل‌سازی جریان، شبیه‌سازی و اعتبارسنجی مدل و تحلیل حساسیت و سناریوهایی دربارهٔ کیفیت خاک و سطح تکنولوژی توجه شده و بحث و بررسی نهایی در قسمت ۵ و نتیجه‌گیری در قسمت ۶ خلاصه شده است.

۲. مبانی نظری موضوع

آلن و پروسپری (۲۰۱۶) مسئلهٔ پایداری و امنیت غذایی را در سه کشور اسپانیا، فرانسه و ایتالیا با روش پویایی‌شناسی سیستم بحث و بررسی کردند. آنها عوامل مهمی را که به‌علت تغییرات زیست‌محیطی، اجتماعی و اقتصادی موجب آسیب‌پذیری و انعطاف‌پذیری پایداری و امنیت سیستم غذایی می‌شود، به‌طور مفصل برشمردند و تجزیه‌وتحلیل کردند. باستان و همکاران (۲۰۱۸) مسئلهٔ پایداری سیستم‌های کشاورزی را با انتخاب محصول گل‌های زینتی در شهرستان دماوند بحث و بررسی کردند. آنان در پژوهش خود، مدیریت پایدار منابع آب و جلوگیری از تغییر کاربری زمین‌های کشاورزی را به‌عنوان دو عامل مهم بر پایداری سیستم کشاورزی برشمردند. تاکی و همکاران (۲۰۱۸) تأثیرات زیست‌محیطی مصرف انرژی برای تولید گندم در مرکز ایران را از روش تجزیه‌وتحلیل چرخهٔ طول عمر بررسی کردند و به این نتیجه رسیدند که گندم دیم نسبت به گندم آبی به‌علت عملکرد کمتر در هکتار آلوده‌کننده‌تر است و مصرف کود و سوخت دیزل در تولید گندم، بیشترین سهم را در آلودگی محیط‌زیست دارد. کروکس و همکاران (۲۰۱۷) تأثیر تغییرات بارش و تنوع کشت محصول را بر پایداری سیستم تولید گندم در مزارع بدون شخم[5] در آفریقای جنوبی بررسی کردند. آنان به این نتیجه رسیدند که چرخش کشت محصول نسبت به کشت تک‌محصولی در یک زمین، برتری خاصی ندارد و بلکه تک‌محصولی بهتر است. قاسمی و همکاران (۲۰۲۰) پایداری زیست‌محیطی و اقتصادی تولید گندم در غرب ایران را با استفاده از تجزیه‌وتحلیل چرخهٔ زندگی بررسی کردند. آنان به این نتیجه رسیدند که کاهش سوخت‌های فسیلی و گرم‌شدن کرهٔ زمین از آثار زیست‌محیطی تولید گندم است که به‌طور عمده، ناشی از جریان الکتریکی و کود نیتروژن استفاده‌شده در کشت گندم است. فیندیاستوتی و همکاران (۲۰۱۸) دسترسی پایدار به مواد غذایی در اندونزی را با استفاده از روش پویایی‌شناسی سیستم شبیه‌سازی کردند. مدل آنها شامل عوامل اقتصادی، زیست‌محیطی و اجتماعی و ارتباطات بین این عوامل است. هوشیار و همکاران (۲۰۱۸) با استفاده از تجزیه‌وتحلیل ایمرژی، پایداری زیست‌محیطی تولید گندم و ذرت را در آب‌وهوای گرم مناطق جنوبی ایران بررسی کردند و به این نتیجه رسیدند که تولید گندم در این مناطق، پایداری بیشتری نسبت به تولید ذرت دارد و تولید ذرت در مقایسه با تولید گندم، به مراقبت‌های بیشتری، مخصوصاً دربارهٔ مصرف نیتروژن و مصرف آب نیازمند است. ینگ و همکاران (۲۰۱۷) در مقالهٔ خود، مدیریت نیتروژن را برای تولید پایدار گندم بررسی کردند و به این نتیجه رسیدند که مدیریت پایدار نیتروژن در تولید گندم برای بهره‌وری محصول، سودآوری شخصی، حفاظت از محیط زیست و سلامتی انسان، اهمیت بسیار زیادی دارد. مسگری و همکاران (۲۰۱۷) با استفاده از روش پویایی‌شناسی سیستم مدلی را برای سیستم کشاورزی ملی ایران توسعه دادند و در این مدل، سه اصل تقاضا، عرضه و نظارت بر سیستم را تجزیه‌وتحلیل کردند و با ارائهٔ سناریوهایی کوشیدند مدل ارائه‌شده را بهبود دهند. اویو و همکاران (۲۰۱۶) در پژوهش خود، مدل پویایی‌شناسی سیستمی را برای امنیت غذایی پایدار کشاورزان در صحراهای جنوب آفریقا ارائه کردند و در آن، عوامل فیزیکی‌ای را مطالعه کردند که با وجود تأثیرات شوک‌ها و استرس‌ها موجب موفقیت کشاورزان شده بود. آنها این پرسش را بررسی کردند که چگونه معیشت جوامع تولیدمحور را بدون حمایت عمومی یا پشتیبانی خارجی می‌توان بهبود بخشید. رابط و همکاران (۲۰۱۵) برای ساختار ماشینی‌کردن تولید گندم آبی در استان فارس برپایهٔ روش پویایی‌شناسی سیستم مدلی را طراحی کردند. والترز و همکاران (۲۰۱۶) با مدل‌سازی

پویایی‌شناسی سیستم، سیستم‌های تولید کشاورزی و اجزای اساسی آنها را بررسی کردند. آنها در مدل خود، پایداری سه سیستم‌های تولید متمایز شامل محصولات کشاورزی، دام و سیستم تولید ادغامی محصول و دام را ارزیابی کردند و به این نتیجه رسیدند که بیشترین پتانسیل پایداری در سیستم تولید محصولات کشاورزی وجود دارد. مارتین و همکاران (۲۰۱۷) با استفاده از روش بهینه‌سازی چندمعیاره، آثار زیست‌محیطی تولید گندم را در اسپانیا بررسی کردند. آنان برای تعیین کمیت آسیب‌های محیطی از روش تجزیه‌وتحلیل چرخهٔ عمر و مفاهیم ردپای آب استفاده کردند و به این نتیجه رسیدند که تخصیص بهینهٔ مناطق دیم و آبی به کشت گندم یک مسیر بالقوه برای به حداقل رساندن تأثیر محیطی مصرف آب است و جابه‌جایی بهینهٔ مناطق، ضمن حفظ یا حتی افزایش سطح تولید، کاهش در خور توجهی در آثار زیست‌محیطی ایجاد می‌کند. رن و همکاران (۲۰۱۹) در پژوهش خود، تأثیر اندازهٔ مزرعه را بر پایداری اقتصادی و زیست‌محیطی در چین بررسی کردند و به این نتیجه رسیدند که افزایش اندازهٔ مزرعه، تأثیر مثبتی بر سود خالص کشاورز و همچنین کارآیی اقتصادی، فنی و کارگری و کاهش آماری معنی‌دار استفاده از کود و سموم دفع آفات نباتی در هکتار دارد و مزایای مشخصی برای حفاظت از محیط زیست دارد. جدول شمارهٔ ۱، مقایسهٔ برخی از پژوهش‌های انجام‌شده در زمینهٔ پایداری سیستم‌های تولید کشاورزی را نمایش می‌دهد.

۳. روش‌شناسی پژوهش

۳-۱. رویکرد پویایی‌شناسی سیستم

سیستم مواد غذایی، متشکل از چند زیرسیستم زیست‌محیطی، اقتصادی و اجتماعی است که دربرگیرندهٔ تعامل‌های متعدد و پیچیده بین انسان و محیط زیست است. ماهیت سیستمی این وابستگی و تعامل، نیازمند رویکردهای نظام‌مند و ابزارهای ارزیابی یکپارچه است. شناسایی و مدل‌سازی ویژگی‌های ذاتی سیستم غذایی به صورتی که اطمینان حاصل شود نتایج ضروری خود را در طول زمان و در گذر نسل‌ها حفظ می‌کند و یا افزایش می‌دهد، به سازمان‌ها و نهادهای دولتی کمک می‌کند به سمت توسعهٔ پایدار حرکت کرده، سیاست‌هایی را پی‌ریزی کنند که مشوق تحول‌های مثبت باشد. سیستم‌های اجتماعی و زیست‌محیطی را به‌صورت سیستم‌های پیچیدهٔ انسان-طبیعت می‌توان تعریف کرد که با فرایندهای پویا و سازوکارهای بازخورد متقابل به یکدیگر متصل است و تبادلات مهم انرژی و ماده در سراسر مرزهای تعریف‌شدهٔ آنها وجود دارد (فولکه، ۲۰۰۶)؛ به همین علت، برای تحلیل پایداری سیستم غذایی با توجه به تعاملات پیچیدهٔ زیرسیستم‌های موجود در آن، یکی از روش‌های کارا، روش پویایی‌شناسی سیستم[۶] است. در سال‌های اخیر، مطالعات گوناگونی در سیستم‌های پیچیده با استفاده از روش پویایی‌شناسی سیستم انجام شده است (حاج حیدری و رحمتی، ۲۰۱۸؛ میرغفوری و همکاران، ۲۰۱۶). روش پویایی‌شناسی سیستم با فراهم‌کردن چارچوب مدل‌سازی علّی، روابط خطی و غیرخطی را لحاظ، رفتار درون‌زای متغیرها را تحلیل و بررسی و الزامات مربوط به اتخاذ سیاست‌ها و تصمیم‌گیری در مسائل مدیریتی را برآورده می‌کند. این روش‌شناسی با انجام‌دادن شبیه‌سازی و تحلیل رفتار سیستم با استفاده از فرضیه‌های مختلف، بازخوری برای سیاست‌گذاران درزمینهٔ تأثیر سیاست‌ها فراهم می‌کند تا آنها به شکلی کارا و اثربخش سیاست‌گذاری کنند.

فرایند تحلیل سیستم در این روش از پنج گام تشکیل شده است: ۱- تشریح مسئله؛ ۲- طراحی فرضیهٔ پویا؛ ۳- شناسایی متغیرها، توسعهٔ مدل پویا و شبیه‌سازی؛ ۴- صحه‌گذاری متغیرها[۷] و اعتبارسنجی مدل پویا[۸] و ۵- طراحی و ارزیابی سیاست (آذر و میرمهدی، ۲۰۱۲؛ استرمن، ۲۰۰۰).

۳-۲. فرمول‌بندی فرضیهٔ پویا و طراحی حلقه‌های علّی

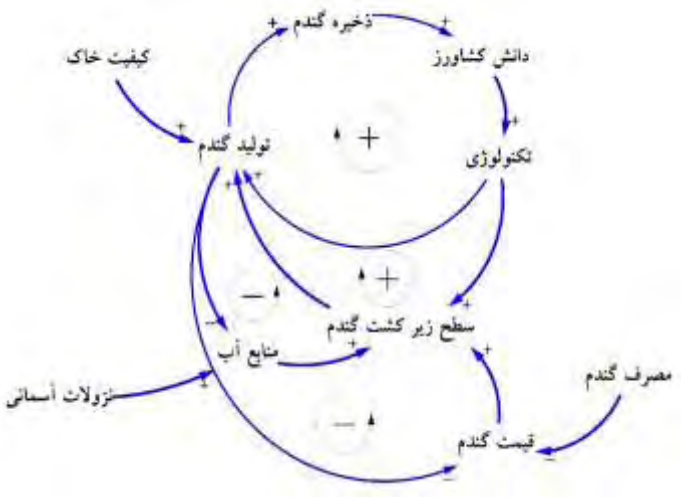
همانگونه که پیش‌تر بیان شد، برای حل مسئله به روش پویایی‌شناسی سیستم، به فرضیهٔ پویا نیاز است. این فرضیه به این علت پویا نامیده می‌شود که باید ماهیت پویای مسئله را در قالب حلقه‌های بازخوردی توصیف کند. مدل‌ساز در فرضیهٔ پویا، دلایل خود برای توجیه رفتار مسئلهٔ مدنظر را به شکل فرضیه بیان می‌کند.

تولید گندم، مسئله‌ای پیچیده و چندوجهی است و از عوامل مختلفی تأثیر می‌گیرد. در مسئلهٔ تولید گندم به شکل پایدار، عوامل مختلفی، ازجمله شرایط آب‌وهوایی و بارندگی، سطح دانش کشاورزان، کیفیت خاک، سطح تکنولوژی استفاده‌شده برای تولید گندم، میزان مصرف، سطح زیر کشت، میزان و نوع کود استفاده‌شده (شیمیایی یا طبیعی)، سم‌پاشی، منابع آب زیرزمینی، هزینه‌های تولید، قیمت گندم و حاشیهٔ سود تولید گندم و کیفیت و نوع بذر، اثرگذار است (هوشیار و همکاران، ۲۰۱۸؛ طهماسبی و همکاران، ۲۰۱۸؛ مارتین و همکاران، ۲۰۱۷)؛ بنابراین، در این پژوهش، فرضیهٔ پویا با در نظر گرفتن عوامل پیش‌گفته با استفاده از حلقه‌های علّی توسعه یافت.

با توجه به فرضیهٔ پویا، از نگاه تحلیل‌گر، برخی از عوامل، کنترل‌پذیر نیست (برون‌زا) و برخی از آنها در کنترل کشاورز یا سیاست‌گذار است؛ به‌عنوان مثال، میزان بارش، متغیری کنترل‌ناپذیر است و در فرضیهٔ پویای ما نمی‌توان بر آن تأثیر گذاشت. درمقابل، تکنولوژی، عاملی است که با مدیریت درست منابع، رسیدگی به‌موقع و استفاده از برنامه‌های مناسب نگهداری و تعمیرات، می‌توان آن را ارتقا بخشید. شکل شمارهٔ ۲، بدنهٔ اصلی فرضیهٔ پویای این پژوهش را نشان می‌دهد. در این فرضیه، حلقهٔ مربوط به استفاده از دانش و تکنولوژی، حلقه‌ای مثبت است و نشان می‌دهد سرمایه‌گذاری بیشتر در زمینه‌های افزایش سطح تکنولوژی و دانش جامعهٔ کشاورزی، تولید بیشتری را به دنبال خواهد داشت. همچنین، حلقه‌های مربوط به استفاده از منابع طبیعی برای تولید گندم، همگی تعادلی است. این حلقه‌ها هدف‌گراست و در درازمدت، موجب توازن و ایجاد ثبات در سیستم می‌شود. تأثیر هر یک از متغیرهای تکنولوژی، دانش کشاورز، منابع آب، کیفیت خاک بر افزایش تولید و ذخیرهٔ گندم و درنهایت، بر پایداری سیستم تولید گندم در این پژوهش بررسی شده است.

جدول ۱- مقایسهٔ برخی مطالعات انجام‌شده در زمینهٔ پایداری سیستم کشاورزی

مؤلفان	ابعاد پایداری			روش پژوهش	هدف پژوهش	شاخص‌ها
	زیست‌محیطی	اقتصادی	اجتماعی			
هوشیار و همکاران (۲۰۱۸)	☑	☑	☒	تجزیه‌وتحلیل ایمرژی	بررسی پایداری سیستم‌های گندم و ذرت با استفاده از آنالیز ایمرژی	انرژی‌های تجدیدپذیر و تجدیدناپذیر، سوخت، خدمات و نیروی کار
رن و همکاران (۲۰۱۹)	☑	☑	☑	تجزیه‌وتحلیل آماری	بررسی تأثیر مساحت مزرعه بر پایداری	اندازهٔ مزرعه
رابط و همکاران (۲۰۱۵)	☑	☑	☒	پویایی سیستم	ارزیابی ماشینی‌کردن تولید گندم در استان فارس	ضریب ماشینی‌کردن
قاسمی و همکاران (۲۰۲۰)	☑	☑	☒	تجزیه‌وتحلیل چرخهٔ عمر	ارزیابی پایداری کشت گندم در همدان	انتشار گازهای گلخانه‌ای، بهره‌وری
تاکی و همکاران (۲۰۱۸)	☑	☒	☒	تجزیه‌وتحلیل چرخهٔ عمر	ارزیابی پایداری زیست‌محیطی تولید گندم دیم و آبی	بهره‌وری انرژی
بینگ و همکاران (۲۰۱۷)	☑	☒	☒	تجزیه‌وتحلیل چرخهٔ عمر	مدیریت مصرف صحیح نیتروژن در مزرعه و تأثیر آن بر پایداری	عملکرد دانه و کیفیت خاک
گالان مارتین و همکاران (۲۰۱۷)	☒	☑	☒	بهینه‌سازی چندمعیاره، ارزیابی چرخهٔ عمر	تخصیص بهینهٔ زمین‌های زیر کشت به محصولات با هدف کاهش آثار زیست‌محیطی	تخلیهٔ منابع، کیفیت اکوسیستم و تولید گندم
والترز و همکاران (۲۰۱۶)	☑	☑	☑	پویایی سیستم	بررسی تأثیر سیستم‌های سه‌گانهٔ تولید کشاورزی، دامداری و سیستم مشترک دام و کشاورزی بر پایداری	کیفیت زیست‌محیطی، کیفیت اجتماعی، تولید محصول
اویو و همکاران (۲۰۱۶)	☑	☑	☑	پویایی سیستم	ایجاد یک مدل پویایی سیستم برای امنیت غذایی پایدار و بررسی عواملی برای راحتی امرار معاش کشاورزان تانزانیا	امنیت غذایی
فیندیاستوتی و همکاران (۲۰۱۸)	☑	☑	☑	پویایی سیستم	طراحی سیاست برای دسترسی پایدار به مواد غذایی در اندونزی	دسترسی به مواد غذایی
کروکس و همکاران (۲۰۱۷)	☑	☑	☒	پویایی سیستم	ارزیابی تنوع کشت محصول بر پایداری کشاورزی در زمین‌های بدون شخم	ارزش خالص فعلی (NPV)، کیفیت خاک
مسگری و همکاران (۲۰۱۷)	☑	☑	☒	پویایی سیستم	بررسی رفتارها و روابط درون سیستم کشاورزی و تجزیه‌وتحلیل سناریوها	عرضه و تقاضا
پژوهش حاضر	☑	☑	☑	پویایی سیستم	بررسی پایداری سیستم تولید گندم در ایران	خودکفایی، کیفیت خاک، تولید گندم

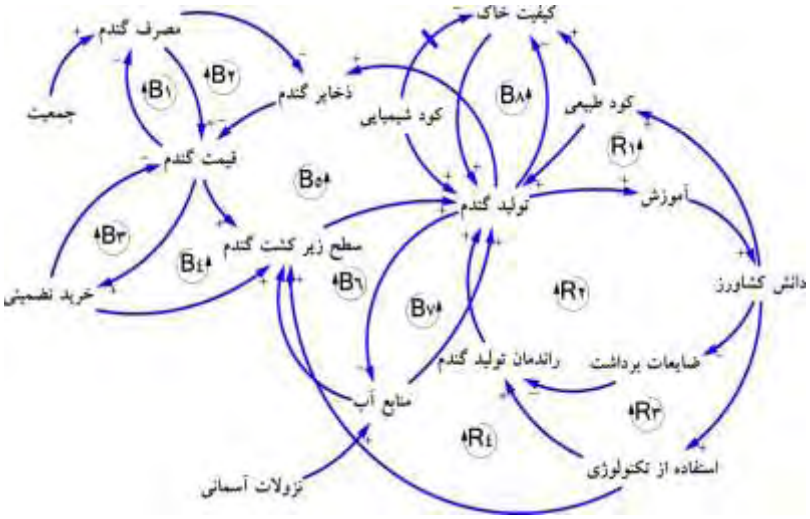


شکل ۱- فرضیهٔ پویای مسئله

شکل شمارهٔ ۳، نمودار علّی-حلقوی مسئله را نمایش می‌دهد. حلقه‌های تعادلی B۱ تا B۴، اثر جمعیت و سطح زیر کشت را بر تولید گندم نشان می‌دهد. تولید و مصرف گندم نیز همچون هر فراوردهٔ دیگری از قانون عرضه و تقاضا تبعیت می‌کند. هرچه میزان عرضهٔ گندم افزایش یابد، قیمت آن کاهش می‌یابد و هرچه برای تقاضای موجود، کمبود گندم وجود داشته باشد، قیمت آن در بازار افزایش می‌یابد. در این میان، دولت با خرید تضمینی گندم در این معادله، اختلال ایجاد می‌کند و باعث ایجاد تعادل جدیدی می‌شود. این مداخله اجازه نمی‌دهد قیمت گندم افزایش زیاد و همچنین سطح زیر کشت گندم، کاهش زیادی داشته باشد (علی‌پور و همکاران، ۲۰۱۸). شاید بتوان گفت با توجه به استراتژیک‌بودن گندم و اهمیت آن در سبد مصرف، مداخلهٔ دولت پرهیزناپذیر است.

حلقه‌های تعادلی B۶ و B۷، اثر منابع آب و تکنولوژی آبیاری را بر تولید گندم نشان می‌دهد. به‌طور طبیعی، افزایش سطح زیر کشت گندم، موجب افزایش مصرف آب و کاهش منابع آن می‌شود. درمقابل، استفاده از تکنولوژی‌های نوین آبیاری، همچون آبیاری بارانی، موجب کاهش مصرف آب و افزایش بازده تولید می‌شود (کیخایی و گنجی، ۲۰۱۶).

حلقه‌های تعادلی B۸ و افزایشی R۱، اثر کیفیت خاک را بر تولید گندم نشان می‌دهد. استفاده از کودهای شیمیایی در کوتاه‌مدت، بازده تولید را افزایش می‌دهد؛ ولی استفادهٔ بیش‌ازاندازه از این نوع کود در بلندمدت، موجب کاهش کیفیت خاک و درنهایت، کاهش تولید می‌شود (جئو و همکاران، ۲۰۱۹). علاوه بر این، استفاده از کودهای شیمیایی، موجب تخریب محیط زیست و آب‌های زیرزمینی نیز می‌شود (نیکخواه و همکاران، ۲۰۱۶). کودهای طبیعی درمقابل، قدرت کودهای شیمیایی را برای افزایش بازده تولید ندارد و اثر آنها با تأخیر بیشتری نسبت به کودهای شیمیایی ظاهر می‌شود؛ اما این نوع کود، اثر مخرب بر کیفیت خاک و محیط زیست ندارد و در طولانی‌مدت نیز بازده را افزایش می‌دهد (اسمتانا و همکاران، ۲۰۱۷).



شکل ۲- نمودار علّی-حلقوی مسئله

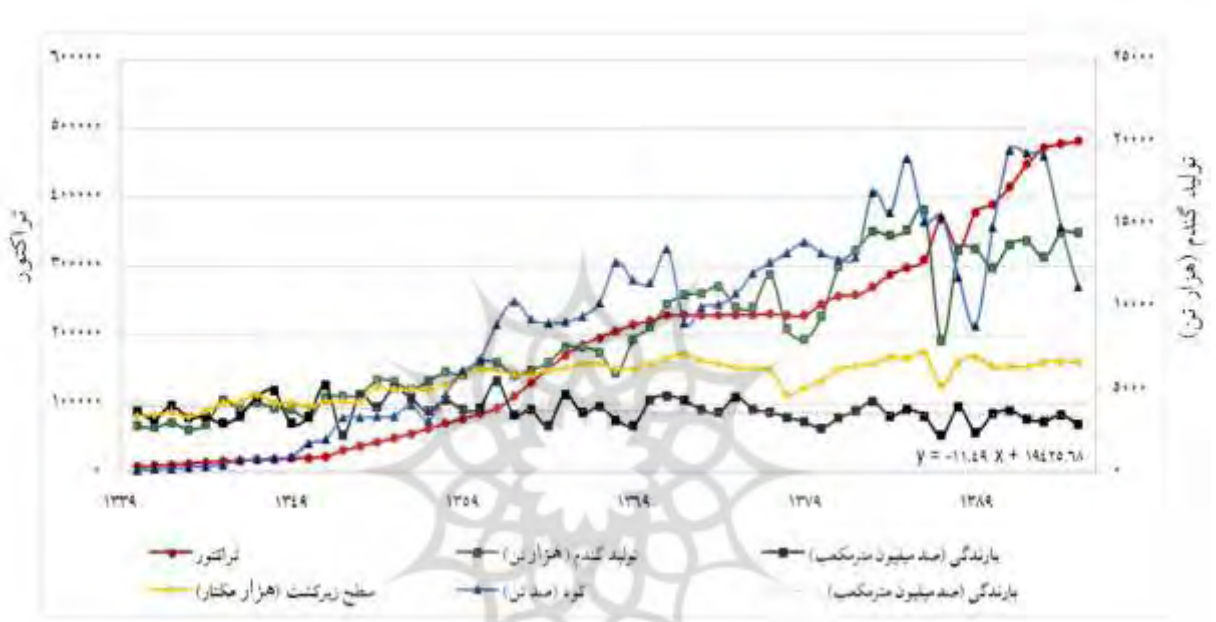
حلقه‌های افزایشی R۲ تا R۴، اثر آموزش و دانش کشاورزی را بر بازده تولید گندم نشان می‌دهد. درابتدا، آموزش به‌عنوان یک نهادهٔ هزینه‌زا در کشاورزی وارد می‌شود؛ اما در طول زمان، این نهاده، موجب افزایش دانش کشاورزان، تصمیم‌گیری بهتر آنها و افزایش بهره‌وری تولید می‌شود. علاوه بر این، آموزش، سواد کشاورزان را برای استفاده از تکنولوژی‌های نوین ارتقا می‌دهد و بر این اساس نیز تولید گندم افزایش می‌یابد (اقتداری و میردامادی، ۲۰۱۶). نکتهٔ دیگری که در این پویایی وجود دارد، حس کشاورزان به اثربخش‌بودن آموزش با توجه به افزایش تولید و افزایش انگیزه در آنها برای آموزش است.

۴. مطالعهٔ کاربردی و یافته‌ها

۴-۱ صحه‌گذاری متغیرهای مدل پویا

۴-۱-۱ بارش: برای شبیه‌سازی و اجرای مدل از داده‌های تولید گندم در ایران استفاده شد. داده‌های بارش سالیانه از سایت بانک جهانی (سایت بانک جهانی، ۲۰۱۹)، داده‌های تولید گندم سالیانه و نهاده‌های آن از سایت فائو (فائو، ۲۰۱۹) و گزارش‌های آماری سالیانهٔ وزارت جهاد کشاورزی (سایت جهاد کشاورزی، ۲۰۱۹) و همچنین میزان مصرف سالیانه، از سایت ایندکس میوندی[۹] (ایندکس میوندی، ۲۰۱۹) اخذ شد. شکل شمارهٔ ۴، نشان‌دهندهٔ میزان تولید گندم سالیانه و سایر نهاده‌های تولید گندم ایران است. این نمودار نمایش می‌دهد حجم بارش سالیانهٔ ایران در بیشتر موارد بین ۳۰۰ تا ۵۰۰ میلیارد مترمکعب در نوسان بوده است. شیب منفی خط رگرسیون تخمین‌زده‌شده نشان می‌دهد در این سال‌ها متوسط میزان بارش، سیر نزولی داشته است. مشاهده می‌شود که هم‌زمان با نرخ منفی بارش سالانه، تولید گندم افزایش یافته است و این موضوع، نشان‌دهندهٔ استفاده از ظرفیت سایر نهاده‌های تولید گندم، همانند ماشین‌آلات کشاورزی و کود و ... است. در سال‌هایی همانند سال ۱۳۶۸ و ۱۳۸۷، که بارش سالانه با افت شدید مواجه بوده است، تولید گندم نیز به‌تبع آن کاهش یافته است.

۴-۱-۲ سطح زیر کشت: نمودار موجود در شکل شمارهٔ ۴ نشان می‌دهد با افزایش سطح زیر کشت، تولید گندم نیز افزایش یافته است؛ ولی نرخ افزایش تولید گندم، بیشتر از نرخ افزایش سطح زیر کشت است. سطح زیر کشت در سال ۱۳۴۰ معادل ۳۳۰۰۰۰۰ هکتار بوده است که به ۶۷۰۰۰۰۰ هکتار در سال ۱۳۹۷ افزایش یافته است؛ اما تولید گندم در سال ۱۳۴۰ معادل ۲۶۰۰۰۰۰ تن بوده است که به ۱۴۵۰۰۰۰۰ تن در سال ۱۳۹۷ افزایش یافته است؛ به عبارت دیگر، عملکرد گندم در طول زمان نیز افزایش داشته است. عملکرد گندم از ۸۲۳۵/۰ تن در هکتار در سال ۱۳۴۰ به ۱۶۴/۲ تن در هکتار در سال ۱۳۹۷ افزایش یافته است. این افزایش در عملکرد گندم ناشی از تأثیر سایر نهاده‌های مؤثر در تولید گندم، همانند استفاده از کودهاست.



شکل ۳- حجم تولید سالیانهٔ گندم و سایر نهاده‌های تولید گندم

۴-۱-۳ ماشین‌آلات کشاورزی: همانگونه که در شکل شمارهٔ ۴ مشاهده می‌شود، تولید گندم سالیانه، همگام با افزایش تعداد تراکتور افزایش می‌یابد. این نمودار، افزایش نرخ تولید گندم را با استفاده از ماشین‌آلات کشاورزی به‌طور ملموس نمایش می‌دهد. در سال‌هایی مانند سال ۱۳۶۸ و ۱۳۷۸ و ۱۳۷۹ و ۱۳۸۷ تولید، افت شدید داشته است که باید علت آن بررسی شود. ظاهراً همانگونه که نمودارها نمایش می‌دهد، افت تولید گندم در این سال‌ها به تعداد ماشین‌آلات کشاورزی ارتباطی ندارد.

۴-۱-۴ کودهای کشاورزی: بدون شک، استفاده از کود، موجب افزایش تولید محصولات کشاورزی می‌شود؛ اما مصرف آن باید براساس استانداردهای جهانی باشد؛ در غیر این صورت، افزایش مصرف، موجب ایجاد ناهنجاری‌های در محیط زیست و زمین‌های کشت‌پذیر می‌شود. شکل شمارهٔ ۴، میزان استفاده از کودهای شیمیایی و میزان تولید گندم در ایران را در سال‌های ۱۳۳۹ تا ۱۳۸۷ نشان می‌دهد.

۴-۲ **مدل‌سازی** حالت- جریان

شکل شمارهٔ ۵، مدل جریان مسئلهٔ تولید گندم را نشان می‌دهد. مفروضات و بخش‌های مختلف مدل حالت- جریان مسئله به شرح ذیل است.

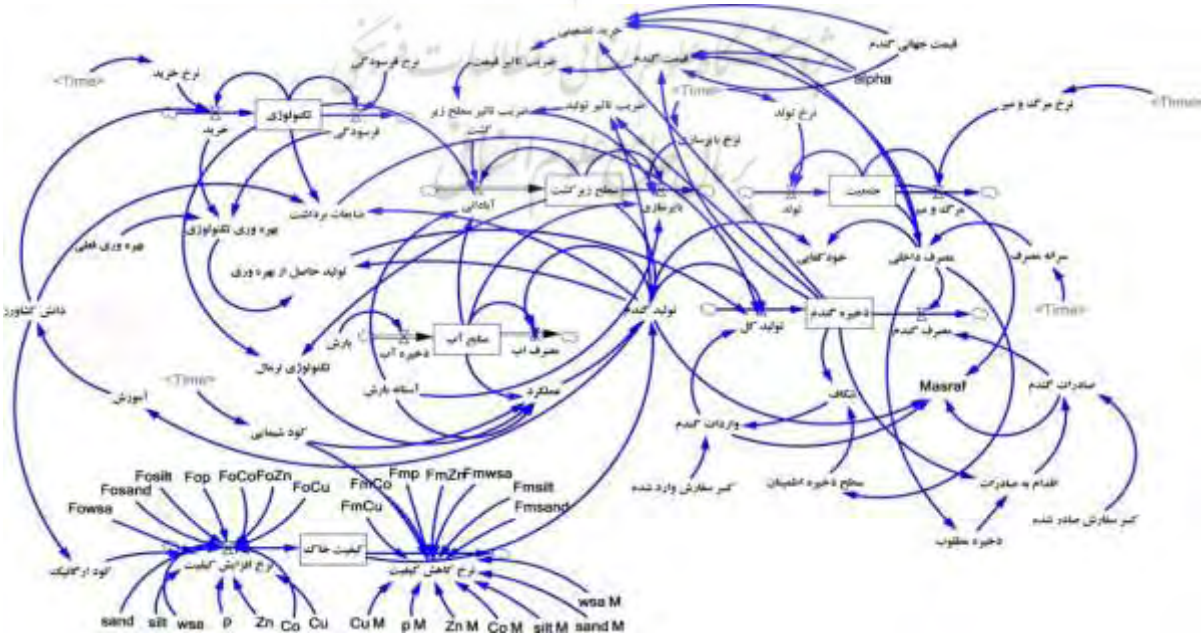
۴-۲-۱ مفروضات مدل: مفروضات مدل به شرح ذیل است: ۱- سطح ذخیرهٔ اطمینان به اندازهٔ حجم مصرف سه ماه در نظر گرفته شده است؛ ۲- سطح ذخیرهٔ مطلوب برای اقدام به صادرات به اندازهٔ مصرف یک‌سال است؛ ۳- در صورت نیاز به واردات، ۸۰ تا ۹۰ درصد حجم لازم وارد می‌شود؛ ۴- در صورت اقدام به صادرات، ۲۰ درصد حجم سفارش درخواستی صادر می‌شود (درحقیقت، تاکنون صادرات زیادی نداشته‌ایم؛ به همین علت، حجم صادرات اندک در نظر گرفته شد)؛ ۵- قیمت متوسط هر تن گندم، تقریباً ۱۹۰ دلار از سایت ایندکس میوندی اخذ شد که با در نظر گرفتن دلار پانزده هزار تومان تبدیل شده است؛ ۶- میزان مصرف سالیانهٔ کود ارگانیک، به‌طور تصادفی بین ۱۵ تا ۳۰ تن در هکتار در نظر گرفته شده است و ۷- نرخ فرسودگی تکنولوژی، به‌طور خطی و برابر با ۷/۷ درصد در نظر گرفته شده است.

۴-۲-۲ کیفیت خاک: یکی از مسائل مهم در پایداری زیست‌محیطی و کشاورزی، ارزیابی و حفظ کیفیت خاک است. برای ارزیابی کیفیت خاک از شاخص‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژی استفاده می‌شود. از آنجا که بررسی تمام خصوصیات خاک، پرهزینه و طاقت‌فرساست، تعدادی از خصوصیات خاک، که دربرگیرندهٔ قسمت اعظم ویژگی خاک است، به‌عنوان مجموعه حداقل داده‌ها[۱۰] برای ارزیابی و محاسبهٔ کیفیت خاک در این مدل به کار رفته است. فرمولی که برای ارزیابی و محاسبهٔ کیفیت خاک در این مدل به کار گرفته شده است، برگرفته از پژوهش محقق و همکاران است (محقق و نادری، ۲۰۱۶). آنها از بین ۲۹ ویژگی فیزیکی و شیمیایی خاک، هفت ویژگی (درصد عناصر مس، روی، کبالت و فسفر و درصد شن[۱۱]، لای[۱۲] و خاکدانه‌های پایدار در آب[۱۳]) را به‌عنوان مجموعه حداقل داده برای ارزیابی کیفیت خاک انتخاب کردند. میزان تأثیر کودهای شیمیایی و ارگانیک بر ویژگی‌های مس، روی، کبالت و فسفر از پایان‌نامهٔ کارشناسی ارشد متقی، رشتهٔ علوم و مهندسی خاک، دانشکدهٔ کشاورزی دانشگاه ایلام (متقی، ۲۰۱۵) و میزان تأثیر کودهای شیمیایی و ارگانیک بر ویژگی‌های شن و لای و درصد خاک‌دانه‌های پایدار در آب از پایان‌نامهٔ کارشناسی ارشد براهیمی، رشتهٔ خاک‌شناسی، دانشکدهٔ کشاورزی دانشگاه صنعتی اصفهان (براهیمی، ۲۰۰۱) اخذ شده است. آنها در پایان‌نامه‌های خود، تأثیر کودهای شیمیایی و ارگانیک را بر برخی از ویژگی‌های خاک بررسی کردند.

۴-۲-۳ تکنولوژی: یکی از عوامل مؤثر بر رشد سطح زیر کشت و حجم تولید گندم، استفاده از تکنولوژی در کشاورزی است. در این مدل، تکنولوژی به‌عنوان یک متغیر سطح در نظر گرفته شده است که آمار آن تا سال ۲۰۰۳ از سایت فائو (۲۰۱۹) و از آن تاریخ به بعد از سایت وزارت جهاد کشاورزی (۲۰۱۹) اخذ شده است. براساس پژوهش‌های انجام‌شده، عمر مفید ماشین‌آلات کشاورزی، حداکثر ۱۳سال است (مرادی و همکاران، ۲۰۱۴). براساس عمر مفید ۱۳ساله، فرض شده است که تجهیزات خریداری‌شده، طی ۱۳ سال کاملاً فرسوده می‌شود و نرخ فرسودگی سالیانه، خطی و به میزان یکسان برابر با مقدار ۷/۷ درصد تعیین شده است. نرخ خرید نیز براساس درصد افزایش سالیانهٔ تجهیزات کشاورزی نسبت به سال قبل محاسبه شده است. میانگین ضایعات برداشت محصول با کمباین از سه‌درصد تا پانزده‌درصد محاسبه شده است که عمر کمباین، چگونگی نگهداری آن، آموزش‌های رانندهٔ

آن و کشاورز و ... بر این ضایعات مؤثر است (امیرنژاد و همکاران، ۲۰۰۹). صبوری و همکاران در پژوهش خود به این نتیجه رسیدند که ۲۴ درصد تغییرات متغیر انتخاب کود مناسب و ۱۸ درصد تغییرات متغیر کاهش ضایعات گندم براثر فعالیت‌های آموزشی و ترویجی در طرح محوری گندم در سال‌های ۸۲-۸۳ بوده است (صبوری و همکاران، ۲۰۰۸). قربانی در پژوهش «عوامل موثر بر سرمایه‌گذاری کشاورزان استان خراسان رضوی در ماشین‌های کشاورزی (کاربرد روش دو مرحله‌ای هکمن)» به این نتیجه رسید که با افزایش یک واحد یا یک کلاس به متوسط تحصیلات بهره‌بردار و با ثابت‌بودن سایر عوامل، به متوسط میزان سرمایه‌گذاری انجام‌شده در ماشین‌های کشاورزی، ۱۸/۰ واحد افزوده خواهد شد (قربانی، ۲۰۰۹). بنا بر مطالعات انجام‌شده، بهره‌وری ماشین‌آلات کشاورزی در کشور، به‌طور متوسط در سال‌های ۱۳۵۵-۱۳۸۲ در حدود ۲۲۵/۱۳ درصد بوده است که ظاهراً علت اصلی آن، استفادهٔ ناکارآمد از ماشین‌آلات است (امیرتیموری و خلیلیان، ۲۰۰۸). در این پژوهش فرض شده است که می‌توان با استفادهٔ کارآمد از ماشین‌آلات، بهره‌وری آنها را افزایش داد.

۴-۲-۴ تابع عملکرد گندم: تابع عملکرد گندم، نشان‌دهندهٔ حجم تولید گندم در هکتار است که براساس عوامل میزان کود استفاده‌شده و حجم ماشین‌آلات و حجم بارش سالیانه و سابقهٔ رفتار این عوامل، شبیه‌سازی شده است. با توجه به سابقهٔ رفتار این عوامل، مشخص است که حجم بارش سالیانه، تأثیر زیادی بر افزایش حجم تولید گندم نداشته و فقط به‌عنوان یک پارامتر محدودکنندهٔ تولید گندم در سال‌هایی که حجم بارش سالیانه از آستانهٔ مشخصی کمتر شده، عمل کرده است. میانگین حجم بارش سالیانه در دورهٔ بررسی‌شده در این پژوهش، برابر با ۳۷۰ میلیارد متر مکعب بوده است و از مقایسهٔ نمودارهای تولید گندم و حجم بارش سالیانه مشخص می‌شود که هرگاه، حجم بارش سالیانه از ۳۵۰ میلیارد متر مکعب کمتر شده، میزان سطح زیر کشت گندم و به‌تبع آن، حجم تولید گندم نیز کاهش یافته است؛ بنابراین، در شبیه‌سازی تابع تولید گندم، بارش به‌عنوان پارامتری محدودکننده ظاهر شده است.



شکل ۴- مدل حالت-جریان شبیه‌سازی‌شدهٔ مسئله

۴-۲-۵ تولید و ذخیرهٔ گندم: در این نمودار، تولید کل از مجموع تولید گندم، واردات، تولید حاصل از کاهش ضایعات و تولید حاصل از افزایش بهره‌وری به دست می‌آید و مصرف گندم، حاصل‌جمع مصرف داخلی و صادرات است. ذخیرهٔ گندم از اختلاف تولید کل و مصرف گندم حاصل می‌شود که نشان‌دهندهٔ حجم ذخیرهٔ گندم در انتهای سال است. تولید گندم، حاصل‌ضرب سطح زیر کشت و تابع عملکرد گندم به اضافهٔ تأثیر کیفیت خاک بر حجم تولید گندم است. رابطهٔ کیفیت خاک و تولید گندم با استفاده از مقالهٔ ثروتی و همکاران (۲۰۱۴) برآورد شده است. در این مدل، حجم ذخیرهٔ گندم با سطح ذخیرهٔ اطمینان مقایسه می‌شود و در صورتی که کمتر از سطح ذخیرهٔ اطمینان باشد، برای واردات گندم اقدام می‌شود. میزان ذخیرهٔ اطمینان برابر با مصرف یک دورهٔ سه‌ماهه در کشور است. همچنین صادرات در صورتی انجام می‌شود که حجم ذخیرهٔ گندم از سطح ذخیرهٔ مطلوب بیشتر باشد.

۴-۳ شبیه‌سازی مدل پویا

برای شبیه‌سازی مسئله، ابتدا تابع عملکرد گندم با استفاده از داده‌های تکنولوژی، کود و بارش تخمین زده شد. با توجه به شکل شمارهٔ ۴ مشخص می‌شود که متغیرهای کود و تکنولوژی، همبستگی زیادی با تولید گندم دارند؛ ولی متغیر بارش، همبستگی زیادی با تولید گندم ندارد و حجم بارش سالیانه به‌عنوان یک محدودکنندهٔ تولید گندم عمل کرده است؛ ولی با افزایش سایر متغیرها، تولید گندم نیز افزایش یافته است؛ بنابراین برای تخمین تابع عملکرد گندم با استفاده از نرم‌افزار SPSS رگرسیون چندمتغیرهٔ خطی بین متغیرهای کود و تکنولوژی محاسبه و متغیر بارش به‌عنوان یک متغیر کنترل‌گر استفاده شد؛ بدین‌ترتیب که اگر میزان بارش از آستانهٔ مشخصی کمتر شد، تولید گندم را کاهش می‌دهد؛ همچنان‌که این امر در سال‌های ۱۳۶۸ و ۱۳۷۸-۱۳۸۰ و ۱۳۸۷ مشهود است. بعد از محاسبهٔ تابع عملکرد تولید گندم، با توجه به سطح زیر کشت، حجم تولید گندم سالیانه محاسبه شده است. تابع نرخ تولید کل، برابر با مجموع تولید سالیانه و واردات گندم سالیانه است. همچنین تابع مصرف کل نیز از مجموع مصرف سالیانه و صادرات حاصل می‌شود. اختلاف نرخ تولید کل و نرخ مصرف کل، نشان‌دهندهٔ ذخیرهٔ گندم سالیانه است.

۴-۴ اعتبارسنجی مدل پویا

برای اینکه مدل شبیه‌سازی‌شده به‌عنوان ابزاری مؤثر استفاده شود، باید با آزمون‌های متعدد طراحی‌شده در این زمینه، اعتبارسنجی شود. این آزمون‌ها به سه دستهٔ کلی آزمون‌های متمرکز بر ساختار و رفتار و مضامین سیاست مدل تقسیم‌بندی می‌شود (سوشیل، ۲۰۰۸). برای اعتبارسنجی وضعیت مدل این پژوهش از چهار آزمون بازتولید رفتار، آزمون شرایط حدی، آزمون سازگاری ابعادی و آزمون کفایت مرز استفاده می‌شود.

۴-۴-۱ آزمون بازتولید رفتار: در این آزمون، رفتار مدل با رفتار سیستم واقعی مقایسه می‌شود. این آزمون برای اعتبارسنجی رفتار مدل به کار می‌رود. نمودار داده‌های واقعی و شبیه‌سازی‌شده تولید گندم در شکل شمارهٔ ۶ مشاهده می‌شود. برای مقایسهٔ داده‌های حاصل از شبیه‌سازی و داده‌های واقعی، ابتدا با استفاده از آزمون آماری مقایسهٔ واریانس، برابری واریانس دو جامعه اثبات و سپس با استفاده از آزمون t برای دو جامعه با واریانس برابر، میانگین‌های دو جامعه با یکدیگر مقایسه شد. نتایج حاصل از این آزمون نشان داد در سطح اطمینان یک‌درصد، واریانس‌ها و میانگین‌های دو جامعه با یکدیگر برابر است. در آزمون بازتولید رفتار، استفاده از روش‌های

آماری، همانند درصد خطای MSE، درصد خطای مجذورات RMSPE[۱۴]، خطـای RSE، خطـای RMSE و خطـای استاندارد SE متداول است (حاجی غلامی سریزدی و مشایخی، ۲۰۱۷). استرمن درصد خطای مجـذورات RMSPE را رویّه‌ای معمول و ساده برای ارزیابی رفتار مدل می‌داند.

شکل ۵- نمودار داده‌های واقعی و شبیه‌سازی‌شدهٔ تولید گندم

شاخص RMSPE، که نشان‌دهندهٔ میزان انحراف مقادیر شبیه‌سازی‌شده از مقادیر واقعی است، به‌صـورت فرمـول شمارهٔ ۱ محاسبه می‌شود (استرمن، ۱۹۸۴).

$$RMSPE = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\left(\frac{S_i - A_i}{A_i}\right)^2} \qquad (1)$$

که در این فرمول، S_i مقدار شبیه‌سازی‌شده در زمـان i و A_i مقـدار واقعـی در زمـان i و n تعـداد دوره اسـت. همچنین ضرایب نابرابری تِیل، که U^m U^s و U^c نام دارند و روابط آنها در فرمول‌هـای شـمارهٔ ۲-۴ مشـخص شـده است (استرمن، ۱۹۸۴)، برای پیش‌بینی منابع ایجاد خطا در مدل استفاده شد.

$$U^m = \frac{n(\bar{S} - \bar{A})^2}{\sum_{i=1}^{n}(S_i - A_i)^2} \qquad (2)$$

$$U^s = \frac{n(S_S - S_A)^2}{\sum_{i=1}^{n}(S_i - A_i)^2} \qquad (3)$$

$$U^c = \frac{2n(1-r)S_S S_A}{\sum_{i=1}^{n}(S_i - A_i)^2} \quad (۴)$$

$\bar{A}$ میانگین مقادیر واقعی و $\bar{S}$ میانگین مقادیر شبیه‌سازی‌شده است. S_s S_A نیز به‌ترتیب، انحراف استاندارد مقادیر واقعی و مقادیر شبیه‌سازی‌شده است. r ضریب همبستگی بین مقادیر واقعی و شبیه‌سازی‌شده است. مجموع سه شاخص مذکور، همیشه برابر با یک است. U^m نشان‌دهندهٔ میزان خطای نظام‌مند است و هرچه به صفر نزدیک‌تر باشد، مطلوب‌تر است. U^s نوعی واریانس است که نشان‌دهندهٔ میزان برابری انحراف استاندارد مقادیر شبیه‌سازی‌شده و مقادیر واقعی است و بنابراین بهتر است برابر با صفر یا به آن نزدیک باشد. U^c نوعی کوواریانس است که خطای غیرنظام‌مند را اندازه‌گیری می‌کند و هرچه به یک نزدیک‌تر باشد، مطلوب‌تر است (استرمن، ۱۹۸۴). مقادیر محاسبه‌شدهٔ این شاخص‌ها در جدول شمارهٔ ۲ مشاهده می‌شود. اگر مقدار R^2 بیشتر از ۰/۷۵ باشد، عملکرد مدل، بسیار خوب ارزیابی می‌شود (سبزی‌پرور و همکاران، ۲۰۱۹). مقادیر شاخص‌ها نشان می‌دهد مدل، اعتبار خوبی دارد.

جدول ۲- مقادیر شاخص‌های آماری نمایشگر اعتبار مدل

شاخص	RMSPE	R	R^2	U^m	U^s	U^c
مقدار	۰/۱۷۱۲	۰/۹۵	۰/۹۰	$۱/۴*10^{-۴}$	$۱*10^{-۷}$	۰/۹۹۹۸

۲-۴-۲ آزمون شرایط حدی: در این آزمون مشخص می‌شود که آیا تمامی معادلات مدل در صورت قرارگرفتن در معرض مقادیر حدی و امکان‌پذیر، باز معنادار باقی خواهد ماند؟ (سوشیل، ۲۰۰۸) در اینجا، نمونه‌ای از رفتار مدل در شکل شمارهٔ ۷ مشاهده می‌شود. در این آزمون، سطح زیر کشت برابر با صفر قرار داده شد. همانگونه که مشاهده می‌شود، به‌علت نبود سطح زیر کشت، حجم تولید گندم، صفر است.

شکل ۶- آزمون شرایط حدی مدل

۳-۴-۲ آزمون سازگاری ابعادی: این آزمون، یکی از آزمون‌های ساختار مدل است که مشخص می‌کند آیا ابعاد متغیرها در هر دو سمت معادله، در حالت موازنه قرار دارد (سوشیل، ۲۰۰۸). برای انجام‌دادن این مورد،

علاوه بر استفاده از امکانات موجود در نرم‌افزار ونسیم، به‌صورت دستی نیز ابعاد در دو طرف معادلات کنترل و بازبینی شد.

۴-۴-۴ آزمون کفایت مرز: این آزمون نیز یکی از آزمون‌های ساختار مدل است که مشخص می‌کند آیا مدل، تمام ساختار مرتبط، شامل متغیرها و تأثیرات بازخوری لازم برای مسئله را در برمی‌گیرد؟ (سوشیل، ۲۰۰۸) مطالعات انجام‌شده دربارهٔ متغیرهای مؤثر در مدل و رفتار آنها، کفایت مرز مدل را نشان می‌دهد.

۴-۴-۵ آزمون تأیید ساختار: آزمون تأیید ساختار، به‌طور تجربی به معنای مقایسهٔ شکل معادلات مدل با روابط موجود در سیستم‌های واقعی است. روابطی که در معادلات مدل به کار رفته است، باید با دانش توصیفی سیستم مطابقت داشته باشد. همچنین ممکن است مقایسهٔ معادلات مدل با دانش عمومی سیستم، به‌عنوان آزمون‌های نظری انجام شود. تمام روابط باید به‌خوبی استدلال شود و براساس اطلاعات موجود باشد. ساختار مدل باید با اهداف و محدودیت‌های سیستم‌های واقعی مطابقت داشته باشد. تأیید ساختار مدل، کار ساده‌ای است و مهارت کمتری نسبت به برخی از آزمایش‌های دیگر دارد (بالا و همکاران، ۲۰۱۶). با توجه به اینکه تمام ساختار علّی- حلقوی و نمودار جریان مدل و تمام معادلات مدل مبتنی بر پژوهش‌های پژوهشگران کشاورزی است- که در قسمت‌های قبل، جزءبه‌جزء آنها تشریح شد- ساختار مدل تأیید می‌شود.

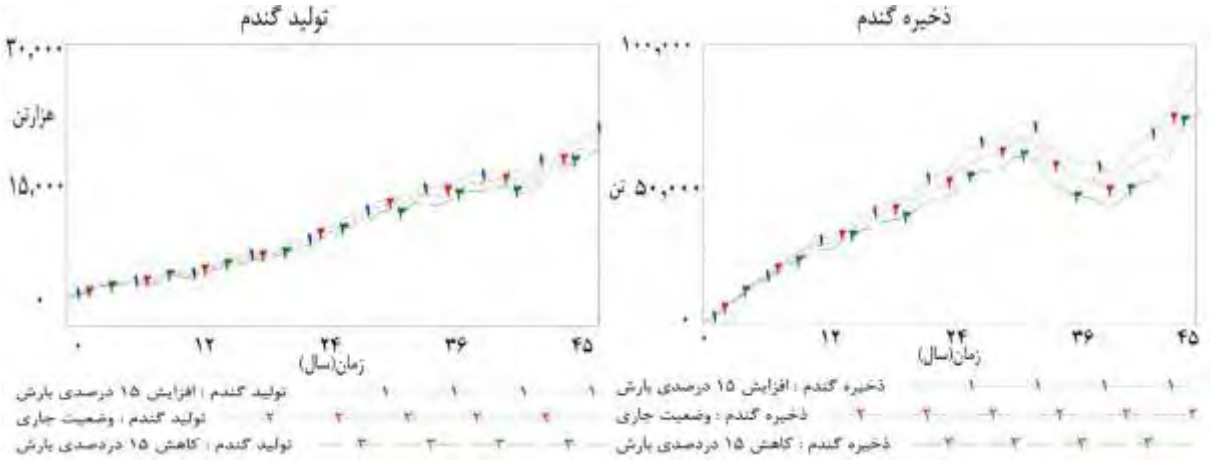
۴-۵ تحلیل حساسیت

به‌علت وابستگی شدید کشاورزی به آب و بارش سالیانه، متغیر بارش سالیانه برای تحلیل حساسیت مدل انتخاب شد. با توجه به نمودارهای شبیه‌سازی‌شدهٔ شکل شمارهٔ ۸ کاملاً مشهود است که هر گونه تغییر در حجم بارش سالیانه، تأثیر مستقیم بر حجم تولید گندم دارد. کاهش حجم بارش سالیانه، موجب ایجاد نوسان‌های زیاد در حجم تولید می‌شود؛ در صورتی که افزایش حجم بارش باعث هموارترشدن نمودار تولید گندم شده است. شاید بتوان گفت سایر نهاده‌های تولید گندم به اندازهٔ ظرفیت متوسط بارش سالیانه اشباع شده‌اند و افزایش حجم بارش، موجب به کار گرفتن تمام ظرفیت عوامل تولید گندم می‌شود؛ به همین علت، افزایش حجم پانزده‌درصدی بارش، موجب هموارشدن نمودار می‌شود و کاهش آن شکستگی‌های شدید در نمودار ایجاد می‌کند؛ بنابراین، استفادهٔ حداکثری از میزان بارش سالیانه، به افزایش حجم تولید کمک می‌کند. در سال‌های اولیه، افزایش یا کاهش حجم بارش، تأثیر زیادی در تولید گندم نداشته و این موضوع به‌علت استفادهٔ کمتر از سایر نهاده‌های تولید، همانند ماشین‌آلات کشاورزی، کود و ... بوده است.

۴-۶ سناریوسازی

بعد از اعتبار سنجی مدل، می‌توان از آن برای تدوین انواع سناریوهای مدنظر برای آینده استفاده کرد. افزایش دوبرابری سطح زیر کشت در تقریباً ۵۰سال، مرهون استفاده از تکنولوژی نوین در امر کشاورزی بوده است و همانگونه که پیش‌تر گفته شد، افزایش عملکرد گندم از ۰/۸۲۳۵ تن در هکتار در سال ۱۳۴۰ به ۲/۱۶۴ تن در هکتار در سال ۱۳۹۷، بیشتر به‌علت استفاده از کودهای شیمیایی بوده است و زیاده‌روی در استفاده از این کودها باعث کاهش کیفیت خاک و به خطر افتادن پایداری زیست‌محیطی و به‌تبع آن، پایداری غذایی می‌شود؛ به همین علت، در این پژوهش، سناریوهای مختلفی دربارهٔ سطح تکنولوژی و کیفیت خاک تدوین شده است. در سناریوی اول، نتایج

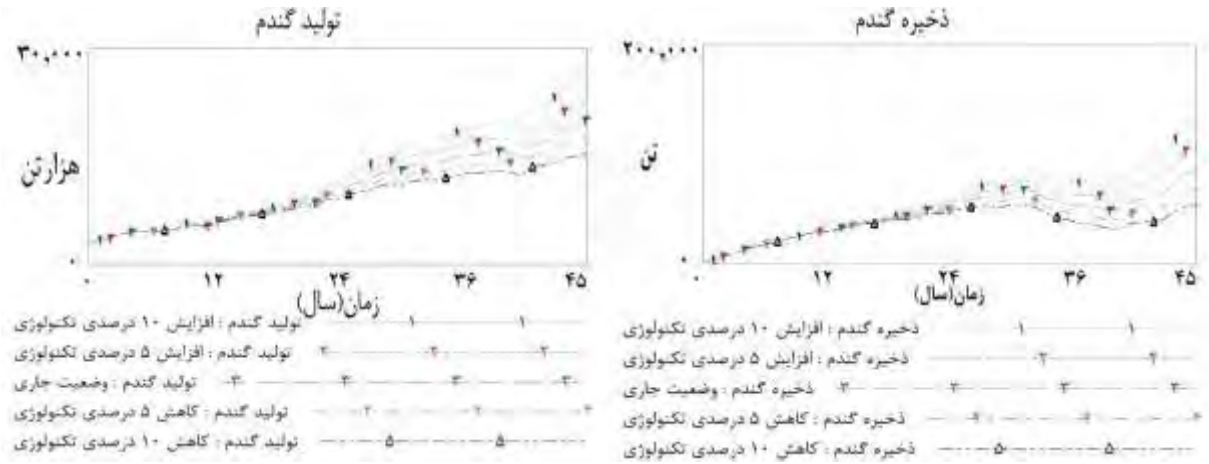
حاصل از مدل در صورتی تجزیه‌وتحلیل می‌شود که سطح تکنولوژی، پنج‌درصد و ده‌درصد از مقدار کنونی، بیشتر یا کمتر شود.



شکل ۷- تأثیر نوسان بارش بر تولید و ذخیرهٔ گندم

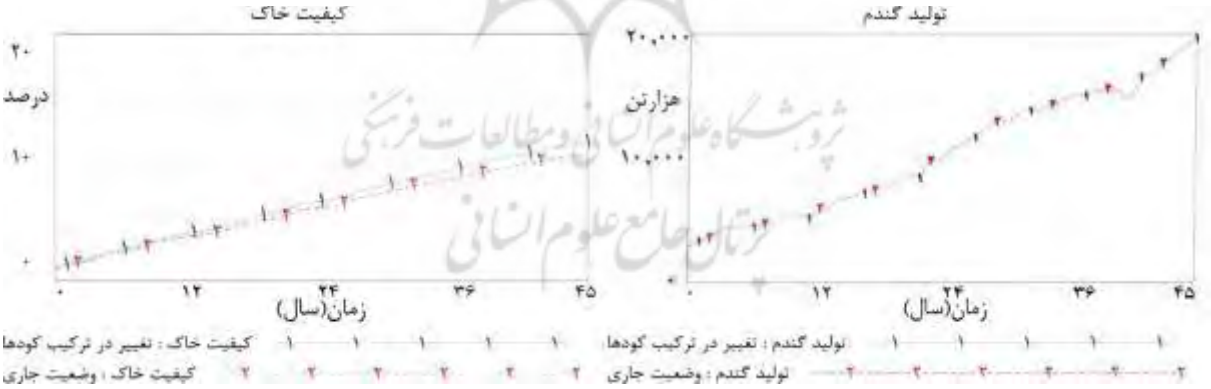
در سناریوی دوم، تأثیر پنج‌درصدی کاهش استفاده از کود شیمیایی و افزایش ده‌درصدی استفاده از کودهای ارگانیک بر کیفیت خاک و درنهایت، بر تولید گندم بررسی می‌شود. درانتها، ترکیبی از سناریوهای مذکور به همراه حساسیت آنها به بارش باران تجزیه‌وتحلیل می‌شود.

۴-۶-۱ سناریوی نوسان سطح تکنولوژی: با نوسان پنج و ده‌درصدی ماشین‌آلات، حجم و ذخیرهٔ تولید، همچنان که در نمودار شکل شمارهٔ ۹ مشهود است، افزایش پیدا می‌کند. حداکثر افزایش در حجم تولید در سال‌های انتهایی در حدود پنج‌درصد است؛ ولی در سال‌های اولیه به‌علت اینکه حجم ماشین‌آلات کشاورزی، بسیار کم است، افزایش ده‌درصدی، تأثیری بر حجم تولید ندارد. در سال‌های انتهایی به‌علت رشد نسبتاً خوب حجم ماشین‌آلات، افزایش ده‌درصدی آن، موجب افزایش حدوداً پنج‌درصدی در حجم تولید گندم خواهد شد. البته این روند، به‌طور معکوس برای سناریوی کاهش سطح ماشین‌آلات کشاورزی در نمودارها مشاهده می‌شود. کاهش استفاده از ماشین‌آلات کشاورزی به‌طور مستقیم موجب کاهش سطح زیر کشت و درنهایت، موجب کاهش سطح تولید گندم می‌شود. به‌طور کلی، گفتنی است حجم تولید سالیانه نسبت به سطح ماشین‌آلات، حساسیت زیادی دارد؛ بنابراین برای رسیدن به خودکفایی و تولید پایدار باید برای آموزش استفادهٔ بهینه از ماشین‌آلات کشاورزی و نگهداری و تعمیرات و کاهش ضایعات آنها به جامعهٔ کشاورزی و در صورت لزوم برای تعویض و جایگزینی ماشین‌آلات فرسوده برنامه‌ریزی شود. یکسان‌بودن شکستگی‌های ۵ نمودار موجود در شکل شمارهٔ ۱۱، نشان‌دهندهٔ تأثیر بارش بر حجم تولید است؛ به‌گونه‌ای که در صورت کاهش یا افزایش سطح ماشین‌آلات، نوسان‌های رخ‌داده به‌علت کاهش میزان بارش، پابرجاست؛ یعنی زمانی که بارش از آستانهٔ حدی کمتر شود، افزایش سایر نهاده‌های تولید، ازقبیل سطح تکنولوژی به افزایش حجم تولید کمکی نخواهد کرد.



شکل ۸- تأثیر سناریوهای تغییر سطح تکنولوژی بر تولید و ذخیرهٔ گندم

۴-۶-۲. سناریوی افزایش کیفیت خاک: برای افزایش میزان کیفیت خاک، حجم کود ارگانیک به میزان ده‌درصد افزایش و حجم کود معدنی را پنج‌درصد کاهش می‌یابد. همانگونه که در شکل شمارهٔ ۱۰ مشاهده می‌شود، به‌علت افزایش استفاده از کودهای ارگانیک و کاهش استفاده از کودهای شیمیایی، کیفیت خاک افزایش می‌یابد؛ ولی کاهش استفاده از کودهای شیمیایی، اندکی موجب کاهش تولید گندم شده است. مشاهدات قربانی و همکاران نیز مؤید این نتیجه است. قربانی و همکاران ثابت کردند در صورت حذف نهاده‌های شیمیایی از فرایند تولید، میزان عملکرد گندم، ۹۵/۱۸ درصد کاهش می‌یابد (قربانی و همکاران، ۲۰۰۹). برخی از پژوهشگران نیز از تأثیر مثبت حذف نهاده‌های شیمیایی بر میزان عملکرد گندم گزارش دادند (عابدی و همکاران، ۲۰۰۹؛ احمد و همکاران، ۲۰۰۸).



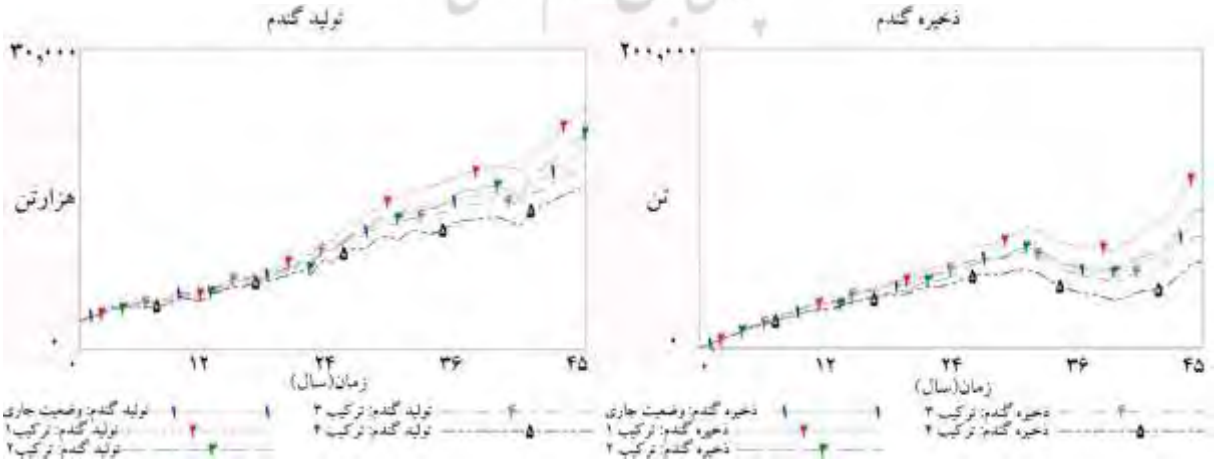
شکل ۹- تأثیر سناریوی تغییر ترکیب کودها بر تولید گندم و کیفیت خاک

سناریوهای ترکیبی: چهار سناریوی ترکیبی در جدول شمارهٔ ۳ مشاهده می‌شود. به نظر می‌رسد در صورت استفاده از ماشین‌آلات و تجهیزات کشاورزی، کاهش بارش باران تا حدود زیادی جبران می‌شود؛ البته به شرطی که میزان بارش، کمتر از میانگین بارش سالیانه نباشد. در شکل شمارهٔ ۱۱، رفتار مدل براثر سناریوهای ترکیبی مشاهده می‌شود. در تمام ترکیبات کود معدنی، پنج‌درصد کاهش و کود ارگانیک ده‌درصد افزایش داشته است که همانگونه که در سناریوی قبل مشخص شد، موجب افزایش کیفیت خاک شده است. نمودارهای شمارهٔ ۲ و ۳، نشان‌دهندهٔ

ترکیبات ۱ و ۲ است که در افزایش پنج‌درصدی سطح تکنولوژی مشترکند و نمودارهای شمارهٔ ۴ و ۵ نشان‌دهندهٔ ترکیبات ۳ و ۴ هستند که کاهش پنج‌درصدی سطح تکنولوژی را نشان می‌دهد. آنچه موجب تمایز آنها از یکدیگر شده است، نوسان پانزده‌درصدی میزان بارش است که در نقاطی که از آستانهٔ حدی کمتر آمده است، باعث افت تولید گندم شده است. این رفتار نشان می‌دهد نوسان سطح تکنولوژی، باعث نوسان آشکار در روند تولید گندم می‌شود؛ بنابراین، توجه به تکنولوژی کشاورزی و استفادهٔ درست و کارآمد از آن، باعث افزایش سطح تولید گندم می‌شود؛ اما آنچه در این سناریوها مهم است، رفتار نوسان میزان بارش باران است. نمودار شمارهٔ ۵، که ترکیب کاهش پنج‌درصدی سطح تکنولوژی و پانزده‌درصدی میزان بارش را نمایش می‌دهد، نسبت به نمودار شمارهٔ ۱، که نمایش‌دهندهٔ افزایش این دو عامل است، شکستگی بیشتری دارد و نمودار شمارهٔ ۱ نسبت به شمارهٔ ۵ هموارتر است. در توجیه این رفتار، گفتنی است در نمودار شمارهٔ ۵ وقتی میزان بارش از آستانه حدی کمتر شده است، باعث ایجاد شکستگی در نمودار و کاهش تولید گندم شده است؛ ولی در نمودار شمارهٔ ۱، میزان بارش افزایش یافته است؛ بنابراین از شکستگی‌های موجود در نمودار اثری نیست و نمودار تقریباً هموارتر شده است. بدین‌ترتیب، مشخص می‌شود میزان تولید سالیانه، حساسیت زیادی به حجم بارش دارد؛ به‌ویژه هنگامی که از آستانهٔ حدی کمتر است. با توجه به اینکه نمی‌توان برای افزایش یا کاهش حجم بارش سالیانه برنامه‌ریزی کرد، باید با طرح‌های آبخیزداری و مهار سیلاب‌های سطحی که در زمستان و بهار، خسارت‌های هنگفتی به بار می‌آورد و برنامه‌ریزی برای تأمین بیشتر مخازن آب زیرزمینی از این آب‌ها، شرایط رشد تولید گندم بر اثر افزایش میزان بارش را فراهم کرد و به صورتی از کاهش میزان تولید در سال‌های کم‌بارش جلوگیری کرد؛ بنابراین، نیاز به مطالعهٔ بیشتر و سرمایه‌گذاری برای استفاده از بارش‌های سالیانه، کاملاً محسوس است.

جدول ۳- تأثیر سناریوهای ترکیبی بر تولید گندم

	ترکیب ۱	ترکیب ۲	ترکیب ۳	ترکیب ۴
کود معدنی	-۵٪	-۵٪	-۵٪	-۵٪
کود ارگانیک	+۱۰٪	+۱۰٪	+۱۰٪	+۱۰٪
بارش	+۱۵٪	-۱۵٪	+۱۵٪	-۱۵٪
تکنولوژی	+۵٪	+۵٪	-۵٪	-۵٪



شکل ۱۰- تأثیر سناریوهای ترکیبی بر تولید و ذخیرهٔ گندم

۵. بحث و بررسی ابعاد پایداری

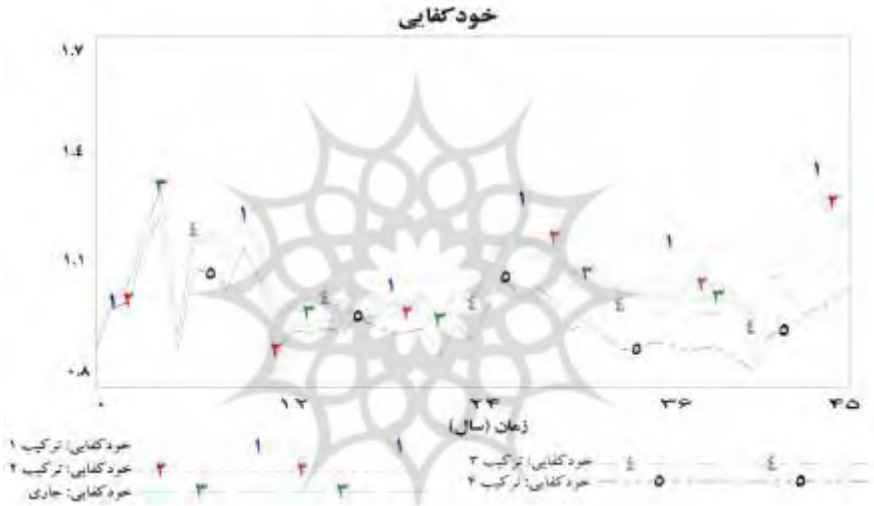
برای بررسی پایداری سیستم، باید سه بعد اقتصادی، زیست‌محیطی و اجتماعی آن بررسی شود. در این پژوهش برای هر کدام از این ابعاد، شاخص‌های منحصربه‌فرد یا مشترکی بررسی می‌شود.

۵-۱ بعد زیست‌محیطی: شاخص کیفیت خاک برای بررسی پایداری در بعد زیست‌محیطی مفید است. این شاخص، نشان‌دهندهٔ میزان تخریب یا بهبود کیفیت خاک براثر کودهای استفاده‌شده برای تولید گندم است و مشخص می‌کند که هرچه میزان استفاده از کودهای ارگانیک افزایش یابد و حجم کودهای معدنی مدنظر کاهش یابد، بر کیفیت خاک، تأثیر مثبتی دارد. شاخص کیفیت خاک، میزان اعتبار و بقای خاک را برای استفاده از آن در آینده مشخص می‌کند. پژوهش‌های قربانی و همکاران (۲۰۰۹) و اسمتانا و همکاران (۲۰۱۷) نیز این موضوع را تأیید می‌کند. با توجه به حساسیت زیاد حجم تولید سالیانه به حجم بارش سالیانه و وضعیت جغرافیایی و آب‌وهوایی خاص کشور، سرمایه‌گذاری و ترویج و آموزش روش‌های نوین آبیاری برای استفادهٔ بهینه از آب موجود و طرح‌های آبخیزداری برای ذخیرهٔ آب‌های سطحی و مهار سیلاب‌های فصلی برای پایداری منابع آب و افزایش تولید گندم ضروری است. کوتیر و همکاران (۲۰۱۶) نیز در پژوهش خود بر توسعهٔ زیرساخت‌های آبی برای ایجاد منافع عمومی تأکید کرده‌اند.

۵-۲ بعد اقتصادی: شاخص‌های واردات و صادرات و خودکفایی تولید گندم در مدل ارائه‌شده، هر کدام به صورتی نشان‌دهندهٔ میزان پایداری در بعد اقتصادی است. ازلحاظ اقتصادی، هرچه حجم واردات، کمتر و صادرات، بیشتر باشد، توسعهٔ اقتصادی، شتاب بیشتری خواهد داشت. خودکفایی در تولید، موجب بی‌نیازی کشور از واردات و درنتیجه، کاهش خروج ارز برای خرید گندم می‌شود که این شاخص نیز میزان وابستگی اقتصادی به کشورهای دیگر و پایداری آن را نمایش می‌دهد. با توجه به سناریوسازی‌های انجام‌شده، مشخص شد حجم تولید سالیانه به تغییرات سطح ماشین‌آلات، حساسیت زیادی دارد و یک راه رسیدن به خودکفایی، افزایش تولید سالیانه است؛ بنابراین باید برای سرمایه‌گذاری و آموزش استفادهٔ بهینه از ماشین‌آلات کشاورزی و نگهداری و تعمیرات و کاهش ضایعات آنها به جامعهٔ کشاورزی و در صورت لزوم برای تعویض و جایگزینی ماشین‌آلات فرسوده برنامه‌ریزی شود. پژوهش‌های مسگری و همکاران (۲۰۱۷) و رابط و همکاران (۲۰۱۵) مؤید این نتیجه‌گیری است. شاید بتوان برای پایدارکردن بعد اقتصادی و افزایش حجم تولید و رسیدن به خودکفایی، میزان استفاده از کودهای شیمیایی را افزایش داد؛ ولی این روند به دو علت، اصلاً برای پایداری سیستم مناسب نیست؛ به صورتی که از یک‌سو باعث کاهش کیفیت خاک می‌شود و استفادهٔ نسل‌های بعد از آن را به خطر می‌اندازد و از سوی دیگر، ممکن است موجب بروز و پیشرفت بیماری‌های ناشناخته در سطح جامعه شود و سلامت جامعه را تهدید کند. کاهش ضایعات و افزایش بهره‌وری نیز هر کدام بر افزایش توان اقتصادی، تأثیر مثبتی دارند که در این مدل نیز از آنها استفاده شده است.

۵-۳ بعد اجتماعی: شاخص خودکفایی گندم، یکی از شاخص‌های پایداری در بعد اجتماعی است (روی و چان، ۲۰۱۱)؛ زیرا خودکفایی در تولید گندم، که محصولی استراتژیک و ضروری تمام جامعه است، موجب ایجاد امنیت غذایی در این زمینه می‌شود و آرامش روانی را برای جامعه به ارمغان می‌آورد و درنتیجه، پایداری اجتماعی را افزایش می‌دهد. یکی از اهداف دولت جمهوری اسلامی ایران در زمینهٔ غذا، خودکفایی در تولید غذاست. با توجه به

لزوم وجود امنیت غذایی در کشور، بر رسیدن به این هدف توصیه و تأکید می‌شود. شاخص خودکفایی از تقسیم تولید داخلی بر مصرف داخلی به دست می‌آید که هرچه این شاخص به یک نزدیک‌تر و یا بیشتر از آن باشد، نشان‌دهندهٔ وضعیت مطلوب کشور در خودکفایی گندم است. با توجه به شکل شمارهٔ ۱۲ مشاهده می‌شود که خودکفایی به سناریوهای ترکیبی، کاملاً حساس است. در صورت اجرای سناریوی ترکیبی ۱، بهترین وضعیت خودکفایی دیده می‌شود. بدترین وضعیت خودکفایی در سناریوی ترکیبی ۴ رخ می‌دهد. در سناریوی ترکیبی ۱، تولید گندم، بیشترین رشد را دارد؛ بنابراین، خودکفایی نیز وضعیت مطلوب‌تری دارد. شاخص دیگر، شاخص مصرف است. درحقیقت، هرچه میزان مصرف سرانه کمتر باشد، سطح آرامش عمومی جامعه و افزایش فرهنگ مصرف در جامعه را نشان می‌دهد که این مورد نیز بر میزان پایداری اجتماعی، تأثیر مثبت دارد. یک‌راه دیگر برای رسیدن به سطح خودکفایی، فرهنگ‌سازی برای مصرف صحیح نان و فرآورده‌های حاصل از گندم است. دانش جامعهٔ کشاورزی نیز یکی از شاخص‌های اجتماعی است که افزایش و به‌روزرسانی آن، موجب پایداری سیستم تولید گندم می‌شود.



شکل ۱۱- تأثیر سناریوهای ترکیبی بر خودکفایی

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

۶. نتیجه‌گیری

بر اساس نیاز حیاتی انسان به غذا، باید پژوهش‌های بیشتری در حفظ و نگهداری منابع غذایی، برای تداوم استفادهٔ نسل کنونی و نسل‌های بعدی از این منابع انجام شود. کوشش برای ایجاد پایداری در سیستم مواد غذایی نیز به همین منظور انجام می‌شود. سیستم مواد غذایی، متشکل از چند زیرسیستم زیست‌محیطی، اقتصادی و اجتماعی است که دربرگیرندهٔ تعاملات متعدد و پیچیده بین انسان و محیط زیست است. برای تحلیل پایداری سیستم غذایی با توجه به تعاملات پیچیدهٔ زیرسیستم‌های موجود در آن، یکی از ابزارهای کارا، رویکرد پویایی‌شناسی سیستم است. در این پژوهش با استفاده از این رویکرد، عوامل مؤثر بر تولید گندم تجزیه‌وتحلیل شد. رفتار ۵۰سالهٔ این عوامل و ارتباط آنها با تولید گندم بررسی و با توجه به سابقهٔ رفتار این عوامل و پژوهش‌های مرتبط، ابتدا فرضیهٔ پویای مسئله، تعریف و نمودارهای علّی–حلقوی ارتباط این عوامل با تولید گندم ترسیم و تجزیه‌وتحلیل شد؛ سپس با ترسیم نمودار جریان و فرموله‌کردن مدل، مسئله شبیه‌سازی شد و بعد از اعتبارسنجی، سناریوهای مختلفی برای

پایداری سیستم تولید گندم پیشنهاد و بحث و بررسی شد. سناریوهای تغییر سطح ماشین‌آلات، کاهش مصرف کودهای شیمیایی و افزایش مصرف کودهای ارگانیک و نوسان‌ها در بارش باران، هر کدام ابتدا به‌طور جداگانه و سپس به‌صورت ترکیبی شبیه‌سازی شد. کاهش استفاده از کودهای شیمیایی و افزایش استفاده از کودهای ارگانیک، به نظر برخی از کارشناسان در کوتاه‌مدت، تولید را کاهش می‌دهد؛ ولی در بلندمدت با افزایش کیفیت خاک، سبب پایداری کشت و تولید می‌شود. با توجه به حساسیت زیاد تولید گندم به بارش باران و تکنولوژی کشاورزی، سرمایه‌گذاری و برنامه‌ریزی برای استفادهٔ بیشتر و بهتر از روان‌آب‌های سطحی و سیلاب‌ها و طرح‌های آبخیزداری و طرح‌های نوسازی ناوگان ماشین‌آلات کشاورزی و آموزش استفادهٔ بهینه و کارآمد از آن به جامعهٔ کشاورزی برای پایداری سیستم تولید گندم ضروری است.

پژوهش‌های گوناگون و وسیعی در حوزهٔ کشاورزی و کشت و تولید گندم انجام شده است؛ ولی نیاز به پژوهش‌های بیشتر در این حوزه، کاملاً محسوس بود. برخی از داده‌هایی که در این پژوهش استفاده شد، به‌طور اجبار از پژوهش‌های انجام‌شده در مناطق مختلف ایران گردآوری شد؛ به‌عنوان مثال، فرمول محاسبهٔ کیفیت خاک از پژوهشی انتخاب شده است که در منطقهٔ چغاخور استان چهارمحال و بختیاری انجام شده است (محقق و نادری، ۲۰۱۶). برای کسب نتیجهٔ بهتر باید پژوهش‌های گسترده‌ای در تمام مناطق مختلف کشور یا حداقل در مناطقی که حجم زیاد تولید گندم را به خود اختصاص داده‌اند، انجام شود تا یکنواختی و هماهنگی بیشتری بین داده‌ها پدید آید. بررسی تعداد بیشتری از عوامل مؤثر در تولید گندم، به کامل‌تر شدن این پژوهش کمک می‌کند.

عوامل متعدد دیگری، ازقبیل سموم دفع آفات نباتی، بذر، نحوهٔ کاشت، داشت و برداشت، انواع روش‌های آبیاری، مدیریت، نیروی انسانی و الزامات مرتبط با آن، برنامه‌ریزی، تأثیر فرهنگ و جغرافیای متنوع کشور و غیره بر تولید گندم تأثیر دارد که در این پژوهش به‌علت گستردگی زیاد، فقط عوامل مهم‌تر از دیدگاه پژوهشگران انتخاب شده‌اند. قطعاً بررسی رفتار هر یک از عوامل مذکور، موجب شناخت بیشتری از واقعیت موجود و برنامه‌ریزی بهتری برای تولید گندم می‌شود. بنا بر مشاهدات نویسندگان، تاکنون تمام پژوهش‌های مربوط به حوزهٔ تولید گندم، محدود به جغرافیای خاصی از ایران بوده و بیشتر، آثار یک عامل بر تولید گندم بررسی شده و هیچ پژوهشی، روند تولید گندم در کشور را به‌طور کلی بررسی نکرده است.

References

Abedi, T., Alemzadeh, A., and Kazemeini, S.A. (2010). "Effect of organic and inorganic fertilizers on grain yield and protein banding pattern of wheat". *Australian Journal of Crop Science*. 4: 384-389.

Ahmad, R., Naveed, M , Aslam, M., Zahir, Z.A., Arshad, M., and Jilani, G. (2008). "Economizing the use of nitrogen fertilizer in wheat production through enriched compost". *Renew. Agric. Food Syst.* 23: 243–249. https://doi.org/10.1017/S1742170508002299

Akhoundi, M (2008). "A look at Food and Nutrition in Islam". *Hosoon,* 15(1): 175-191. (in Persian).

Alipour, A. Mousavi, S.H., Khalilian, S., and Mortazavi, A. (2018). "Wheat Self-Sufficiency and Population Growth in Iran's 1404 Perspective (Investigating the Role of the Guaranteed Purchase Policy)". *Iranian Journal of Agricultural Economics and Development Research,* 49(4): 635-649. (in Persian).

Allen, T., and Prosperi, P. (2016). "Modeling Sustainable Food Systems". *Environmental management.* 57(5): 956-975. https://doi.org/10.1007/s00267-016-0664-8.

Amirnejad, H., Rafiee, H., and Ataee, K. (2009). "The effect of combined refurbishment on the reduction of wheat waste niIran". *Agriculture*, 11(1): 13-21. (in Persian).

Amirteymoori, S., and Khaliliyan, S. (2008). "Calculation and Analysis of Productivity Factors in the Iranian Agriculture Sector". *Agricultural Economics*, 2(4): 93-113. (in Persian).

Azar, A. and Mirmehdi, S. (2012). "Ethics in Operations Research and sustainable development". *Ethics in science and Technology*, 7(3): 1-13. (in Persian).

Bala, B.K., Arshad, F.M., and Noh, K.M. (2016). *System Dynamics: Modelling and Simulation*, Singapore: Springer. https://books.google.com/books?id=9OlmDQAAQBAJ.

Barahimi, N. (2001). *Effect of Organic Fertilizers on Soil Chemical Properties and Elemental Adsorption by Corn and Wheat.* (Masters), Isfahan University of Technology.

Bastan, M., Ramazani Khorshid-Doust, R., Delshad, S., and Ahmadvand, A. (2018). "Sustainable development of agriculture: a system dynamics model". *Kybernetes*, 47(1): 142-162.

Braga, F. (2015). The sustainable agriculture initiative platform: The first ten years. .*Journal on Chain and Network Science* 15(1): 27–38.

Crookes, D., Strauss, J., and Blignaut, J.N. (2017). "The effect of rainfall variability on sustainable wheat production under no-till farming systems in the Swartland region, South Africa". *African Journal of Agricultural and Resource Economics*, 12(1): 62-84.

Eqhtedari, N., and Mirdamadi, S. (2016). "Examining of wheat advisor engineers' perception in developing wheat sustainable cultivation methods wheat in Kermanshah County". *Iranian Journal of Agricultural Economics and Development Research*, 46(4): 871-879. (in Persian).

Fao. (2019). Retrieved from http://www.fao.org/faostat/en/#data

Findiastuti, W., Laksono Singgih, M., and Anityasari, M. (2018). "Indonesian sustainable food-availability policy assessment using system dynamics: A solution for complexities". *Cogent Food and Agriculture*, 4(1). 1455795. https://doi.org/10.1080/23311932.2018.1455795.

Folke, C. (2006). "Resilience: The emergence of a perspective for social-ecological systems analyses". *Global Environmental Change*, 16(3): 253-267.

Galán-Martín, Á., Vaskan, P., Antón, A., Esteller, L.J., and Guillén-Gosálbez, G. (2017). "Multi-objective optimization of rainfed and irrigated agricultural areas considering production and environmental criteria: a case study of wheat production in Spain". *J. Clean. Prod.* 140: 816–830. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.06.099.

Guo, Z., Han, J., Li, J., Xu, Y., and Wang, X. (2019). "Effects of long-term fertilization on soil organic carbon mineralization and microbial community structure". *PLOS ONE*, 14(1). e0216006. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0216006

Hajigholam saryazdi, A., and Mashayekhi, A. (2017). "Systems Dynamics Research in Iran". *Paper presented at The First National Conference of the Iranian Society of Systems Dynamics.*

Hajiheidari, N., and Rahmati, F. (2018). "Risk Analysis for it Projects Using System Dynamics". *J. Prod. Oper. Manag.* 9: 119–137. https://doi.org/10.22108/jpom.2018.92394.0

Harmon, A.H., and Gerald, B.L. (2007). "Position of the American Dietetic Association: food and nutrition professionals can implement practices to conserve natural resources and support ecological sustainability". *J Am Diet Assoc*, 107(6): 11033-1043.

Heidari Sareban, D.V., and Majnooni totakhaneh, A. (2017). "Review the environmental, economic, and social factors on the knowledge of wheat farmers regarding sustainable agriculture in Ardebil Province". *Geography and Territorial Spatial Arrangement*, 7(23): 77-86. (in Persian).

Hooshmandan Moghaddam Fard, Z., and Shams, A. (2016). "Investigating the factors affecting the attitude of wheat farmers in Khodabandeh city towards organic agriculture". *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, 26(3): 155-170. (in Persian).

Houshyar, E., Wu, X.F., and Chen, G.Q. (2018). "Sustainability of wheat and maize production in the warm climate of southwestern Iran: An emergy analysis". *J. Clean. Prod.* 172: 2246–2255.

https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.11.187

indexmundi. (2019). Retrieved from https://www.indexmundi.com/agriculture/?country=ir&commodity=wheat&graph=production

Mirghafouri, S.H., Morovati Sharifabadi, A., Boroumandzad, Y., and Zamani, F. (2016). "Analysis of Success Factors on E-Government Service Delivery: Case of Yazd University". *J. Prod. Oper. Manag*. 7: 117–136. https://doi.org/10.22108/jpom.2016.21091

Ministry of Agriculture Jihad. (2019). Retrieved from https://www.maj.ir/Index.aspx?page_=form and lang=1 and PageID=11583 and tempname=amar and sub=65 and methodName=ShowModuleContent#

Keikhaee, F., and Ganji Khoramdel, N. (2016). "Effect of Deficit Irrigation in Corrugation and Border Methods on Yield and Water Use Efficiency of Wheat cv. Hamoon". *Journal of Water Research in Agriculture*, 30(1): 1-11. (in Persian).

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

Majd, M.G. (2013). *The Great Famine and Genocide in Iran:* 1917-1919. Lanham: University Press of America.

McClafferty, B. (2000). "Ensuring Food Security in Egypt: Food Subsidy, Income Generation and Market Reform, Cairo, Egypt", 25-26 May 1999. *Food Policy*, 25(2): 219-224.

Mesgari, I., Jabalameli, M.S., and Barzinpour, F. (2017). "System dynamics modeling for the national agricultural system with policy recommendations: application to Iran". *Pakistan Journal of Agricultural Sciences*, 54(2): 457- 466.

Mohaghegh, P., and Naderi, M. (2016). "Determination of Effective Indicators for Soil Quality Assessment in Different Land Use Types of Chughakhor Basin". *Journal of Soil and Water Resources Conservation*, 5(3): 55-71. (in Persian).

Mohammadi, O. (2007). *Investigating the situation of management and active factors in the mechanization of agricultural lands (Neishabour villages).* (Masters), Tabriz University, (in Persian).

Moradi, M., Sadeqhi, M., Sadeqhi, H., and Moradi, L. (2014). "Techno-economical model development for tractor survival in Iran's agricultural sector". *Iranian Journal of Energy*, 17(1): 1-24. (in Persian).

Mosavi, S.H. (2007). "An Analysis of Self-Sufficiency in Iranian Wheat Production". *Paper presented at the 6th Iranian Conference on Agricultural Economics.*

Motaqhi, F. (2015). *Effect of Vermicompost, Bovine, and Chemical Fertilizers on Microbial Activity and Physical Properties of Soil in Mehran Region, Ilam Province.* (Masters), Ilam University.

Nikkhah, A., Firouzi, S., Payman, S.H., and Khorramdel, S. (2016). "Life cycle assessment of urea fertilizer consumption in Iran". *Journal of Natural Environment*, 69(3): 853-864. (in Persian).

Oyo, B., and Kalema, B.M. (2016). "A System Dynamics Model for Subsistence Farmers' Food Security Resilience in Sub-Saharan Africa". *International Journal of System Dynamics Applications (IJSDA)*, 5(1): 17-30.

Ghasemi-Mobtaker, H., Kaab, A., and Rafiee, S. (2020). "Application of life cycle analysis to assess environmental sustainability of wheat cultivation in the west of Iran". *Energy*. 193. 116768. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.116768

Qhorbani, M. (2009). "Factors Affecting Farmers Investment in Khorasan Razavi Province in Agricultural Machines (Application of Hackmann Two-Step Method)". *In 5th National Congress of Agricultural Machinery and Mechanization*, Mashhad. (in Persian).

Qhorbani, M., Koochaki, A., and Mahmoodi, H. (2009). "Virtual Estimation of Wheat Yield in Organic Production Conditions: A Case Study of Khorasan Razavi Province". *Environmental*

Science and Policy, 6(3): 23-30. (in Persian).

Rabet, G., Sheikhdavoodi, M.J., Bahrami, H., and Moosavihaghighi, M. (2015). "A system dynamics design for the structure of irrigated wheat mechanization in Fars province (Southwest Iran)". *African Journal of Agricultural Research,* 10(24): 2415-2420.

Ren, C., Liu, S., van Grinsven, H., Reis, S., Jin, S., Liu, H., and Gu, B. (2019). "The impact of farm size on agricultural sustainability". *J. Clean. Prod*. 220: 357–367. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.02.151

Rezaeian, A. (2000). *Management of Organizational Behavior*. Tehran: Samt. (in Persian).

Roy, R., and Chan, N.W. (2012). "An assessment of agricultural sustainability indicators in Bangladesh: review and synthesis". *Environmentalist*. 32: 99–110. https://doi.org/10.1007/s10669-011-9364-3

Saboori, M., Ammani, A., and Mirdamadi, S. (2008). "Investigation of the role of educational and promotional activities in wheat cultivation activities of Garmsar city in wheat axis design during 2003-2004". *Dynamic farming,* 5(2): 215-228. (in Persian).

Sabziparvar, A.A., Aghelpour, P., and Varshavian, V. (2019). "Comparison of Multiple Linear Regression and Artificial Intelligence Models in Estimating Global Solar Radiation". *Physical Geography Research Quarterly,* 51(2): 353-372. (in Persian).

Schewe, J., Otto, C., and Frieler, K. (2017). "The role of storage dynamics in annual wheat prices". *Environmental Research Letters,* 12(5): 054005.

Servati, M., Jafarzadeh, A.A., Ghorbani, M., Shahbazi, F., and Davatgar, N. (2014). "Comparison of the FAO and Albero Models in Prediction of Irrigated Wheat Production Potentials in the Khajeh region". *Water and Soil Science,* 24(3): 1-14. (in Persian).

Smetana, S., Tamasy, C., Mathys, A., and Heinz, V. (2017). *Regionalized Input-Output Life Cycle Sustainability Assessment: Food Production Case Study*. In M. Matsumoto., K. Masui., S. Fukushige., and S. Kondoh (Eds.), Sustainability Through Innovation in Product Life Cycle Design. Singapore: Springer.

Sterman, J. (2000). *Business Dynamics: Systems Thinking and Modeling for a Complex World*. (Mirzaee, SH. Trans). Tehran: Terme.

Sterman, J.D. (1984). "Appropriate summary statistics for evaluating the historical fit of system dynamics models". *Dynamica,* 10(2): 51-66.

Sushil, SH. (2008). *System Dynamics A Practical approach for managerial problems* (Teymouri, E., Noorali, A., and Valizade, N Trans.). Tehran: Iran University of Science and Technology.

Tahmasebi, M., Feike, T., Soltani, A., Ramroudi, M., and Ha, N. (2018). "Trade-off between productivity and environmental sustainability in irrigated vs. rainfed wheat production in Iran". *J. Clean. Prod*. 174: 367–379. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.10.305

Taki, M., Soheili-Fard, F., Rohani, A., Chen, G., and Yildizhan, H. (2018)"Life cycle assessment to compare the environmental impacts of different wheat production systems". *J. Clean. Prod*. 197: 195–207. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.06.173

Taqhi Pour, M. (2017). Lack of proper consumption pattern causes a waste of 35% of agricultural products. Retrieved from https://mehrnews.com/news/4238838, (in Persian).

The World Bank Group. (2019). Retrieved from https://climateknowledgeportal.worldbank.org/country/iran

UNESCO. (2006). World Water Assessment Programme, Water: a shared responsibility: UN-HABITAT.

Walters, J.P., Archer, D.W., Sassenrath, G.F., Hendrickson, J.R., Hanson, J.D., Halloran, J.M., and Alarcon, V.J. (2016). "Exploring agricultural production systems and their fundamental components with system dynamics modeling". *Ecological Modelling,* 333: 51-65.

Wills, B. (2016). *Purposely Profitable: Embedding Sustainability Into the DNA of Food Processing*

and Other Businesses. Chichester: John Wiley and Sons.

Yli-Viikari, A. (1999). "Indicators for Sustainable Agriculture-a Theoretical Framework for Classifying and Assessing Indicators". *Agricultural and Food Science in Finland.* 8(3): 265–83.

Ying, H., Ye, Y., Cui, Z., and Chen, X. (2017). "Managing nitrogen for sustainable wheat production ". *J. Clean. Prod*. 162: 1308–1316. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.05.196

[1]. Abraham Maslow
[2]. Brundtland
[3]. American Public Health Association
[4]. Sustainable Food System
[5]. No-Till Farming
[6]. System Dynamics Methodology
[7]. Verification of Parameters
[8]. Validation of System Dynamics Model
[9]. indexmundi
[10]. Minimum Data Set (MDS)
[11]. Sand
[12]. Silt
[13]. Percent of Water Stable Aggregates (WSA)
[14]. Root-Mean-Square Percent Error (RMSPE)

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی