Interdisciplinary Studies in Economics

Integrating Macroeconomic Analysis and Systems Thinking in Economics: A Three-Layer Framework for Crisis Analysis, Forecasting, and Resilient Policymaking

Hossein Parkan[1]

1. Assistant Professor, Department of Cultural and Social Studies, Institute of Civilization and Social Studies, Qom, Iran. Email: h.parkan@isca.ac.ir

Article Info

Article type:
Research

Article history:
Received: 2025/09/06
Received in revised form: 2025/10/29
Accepted: 2025/12/15
Available online: 2025/12/22

Keywords:
Macroeconomics; systems thinking; agent-based modeling; network analysis; resilient policymaking; low-quality collateral; Iran; currency–banking shocks.

ABSTRACT

Conventional macroeconomic models—particularly Dynamic Stochastic General Equilibrium (DSGE) models—face significant limitations when dealing with nonlinear and network-based crises. The experiences of the 2008 global financial crisis and the COVID-19 pandemic demonstrate that single-layer approaches fail to adequately capture shock propagation and the roles of institutions and agent behavior. This paper proposes a quantitative three-layer framework in which the output of each layer is systematically mapped into the input of the others, allowing their mutual interactions to be measured and replicated. The macro layer extracts signals of growth and inflation; the structural dynamics layer captures feedback loops and indicators of network contagion; and the institutional–behavioral layer reproduces decision heterogeneity through agent-based modeling (ABM). The framework is empirically tested using data from the 2008 and 2020 crises, as well as a case study of the Iranian economy (currency–banking shocks and the housing market). Comparative metrics are harmonized in terms of "percentage error" and "percentage deviation." The results show that incorporating systemic and institutional layers reduces forecasting error by approximately 30 percent on average relative to a baseline macroeconomic approach, and that nearly 45 percent of network-based shock transmission is concentrated in a small number of key nodes. In addition, a policy dashboard is developed that translates the three-layer outputs into operational decision rules and policy intensities. In the Iranian case, the concentration of low-quality or non-credible collateral is found to be closely aligned with heightened balance-sheet fragility in the banking sector. Overall, the proposed framework enables time-consistent risk monitoring and the design of resilient policy interventions.

Cite this article: Parkan, Hossein (2025). Integrating Macroeconomic Analysis and Systems Thinking in Economics:A Three-Layer Framework for Crisis Analysis, Forecasting, and Resilient Policymaking, *Interdisciplinary Studies in Economics*, 1(4), 124 - 149. https://doi.org/10.22091/ise.2025.13817.1057

© Author(s) retain the copyright and full publishing rights.
Publisher: University of Qom.
DOI: https://doi.org/10.22091/ise.2025.13817.1057

تلفیق کلان‌نگری و تفکر سیستمی در اقتصاد:

چارچوب سه‌لایه برای تحلیل بحران‌ها، پیش‌بینی و سیاست‌گذاری تاب‌آور

حسین پرکان[۱]

۱. استادیار گروه مطالعات فرهنگی و اجتماعی، پژوهشکده مطالعات تمدنی و اجتماعی، قم، ایران. رایانامه: h.parkan@isca.ac.ir

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
مقاله پژوهشی.

تاریخچه مقاله:
تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۶/۱۵
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۰۸/۰۷
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۹/۲۴
تاریخ انتشار: ۱۴۰۴/۱۰/۰۱

کلیدواژه‌ها:
اقتصاد کلان، تفکر سیستمی، مدل‌سازی عامل‌محور، تحلیل شبکه‌ای، سیاست‌گذاری تاب‌آور، وثیقه کم ارزش، ایران، شوک ارزی‌بانکی.

چکیده

مدل‌های رایج اقتصاد کلان، به‌ویژه مدل‌های تعادل عمومی پویای تصادفی (DSGE)، در مواجهه با بحران‌های غیر-خطی و شبکه‌ای با محدودیت مواجه‌اند. تجربه بحران مالی ۲۰۰۸ و همه‌گیری کووید-۱۹ نشان داد که اتکای تک‌لایه، سرایت شوک‌ها و نقش نهادها و رفتار عاملان را به‌قدر کافی روشن نمی‌کند. این مقاله یک چارچوب کمی سه‌لایه ارائه می‌کند که در آن خروجی هر لایه به‌صورت قاعده‌مند به ورودی لایه دیگر نگاشت می‌شود و تعامل متقابل آن‌ها قابل سنجش و بازتولید است. لایه کلان سیگنال‌های رشد و تورم را استخراج می‌کند؛ لایه پویایی ساختاری حلقه‌های بازخورد و شاخص‌های سرایت شبکه‌ای را می‌سنجد؛ و لایه نهادی–رفتاری با مدل‌سازی عامل‌محور (ABM) ، ناهمگنی تصمیم‌ها را بازتولید می‌کند. آزمون تجربی بر داده‌های بحران‌های ۲۰۰۸ و ۲۰۲۰ و نیز مطالعه موردی اقتصاد ایران (شوک ارزی–بانکی و بازار مسکن) انجام شده و معیارهای مقایسه در قالب «درصد خطا» و «اختلاف درصد» یکدست-سازی شده‌اند. نتایج نشان می‌دهد که افزودن لایه سیستمی و نهادی، نسبت به رویکرد کلان پایه، به‌طور متوسط حدود ۳۰ درصد کاهش خطای پیش‌بینی ایجاد می‌کند و حدود ۴۵ درصد انتقال شوک شبکه‌ای در چند گره کلیدی متمرکز است. همچنین یک داشبورد سیاستی طراحی می‌شود که خروجی‌های سه‌لایه را به قواعد تصمیم و شدت اقدام‌های قابل‌اجرا تبدیل می‌کند. در مطالعه ایران نیز تمرکز وثیقه‌های کم ارزش یا غیرمعتبر با تشدید شکنندگی ترازنامه‌ای بانک‌ها هم‌راستا ارزیابی می‌شود.بدین ترتیب، چارچوب پیشنهادی امکان پایش زمان‌مند ریسک و طراحی سیاست‌های تاب‌آور را فراهم می‌سازد.

استناد: پرکان، حسین (۱۴۰۴). تلفیق کلان‌نگری و تفکر سیستمی در اقتصاد: چارچوب سه‌لایه برای تحلیل بحران‌ها، پیش‌بینی و سیاست‌گذاری تاب‌آور. *مطالعات بین‌رشته‌ای اقتصاد*، ۱ (۴)، ۱۴۹-۱۲۴. https://doi.org/10.22091/ise.2025.13817.1057

ناشر: دانشگاه قم.

© نویسندگان.

مقدمه

طی دو دهه اخیر، بحران‌های متوالی، از بحران مالی جهانی ۲۰۰۸ تا همه‌گیری کووید-۱۹، ناکارآمدی مدل‌های سنتی اقتصاد کلان را آشکار کرده‌اند. این مدل‌ها که مبتنی بر فرض عامل نماینده و تعادل عمومی‌اند، در شناسایی رفتارهای غیرخطی و شبکه‌ای دچار خطا می‌شوند (کرمن[1]، ۱۹۹۲).

به تعبیر استیگلیتز[2]، اقتصاد کلان مدرن ساختار نهادی و شبکه‌ای نظام مالی را حذف کرده و از این‌رو، بحران را نمی‌بیند تا زمانی‌که رخ دهد (استیگلیتز، ۲۰۱۸).

در مقابل، تفکر سیستمی و مدل سازی عامل‌محور، با تمرکز بر روابط علّی، حلقه‌های بازخورد و ناهمگنی عاملان، ابزارهایی ارائه می‌دهند که می‌توانند این خلأ را پر کنند (استرمن[3]، ۲۰۰۰: ۱۴۷ -۱۵۰؛ دوزی و رونتینی[4]، ۲۰۱۹). این دو رویکرد نشان می‌دهند که بحران‌ها نه نتیجه شوک‌های بیرونی، بلکه پیامد پویایی‌های درون‌زای شبکه‌ای هستند (هالدین و می[5]، ۲۰۱۱).

اگرچه تلاش‌هایی برای ترکیب دیدگاه‌های کلان و سیستمی صورت گرفته است، بیشتر آن‌ها فاقد نگاشت ریاضی و سازوکار شناسایی مشخص هستند. به گفته فارمر و فولی[6]، اقتصاد به مدل‌هایی نیاز دارد که رفتار پدیداری کل را از تعاملات خرد بازیابی کنند. این مقاله دقیقاً بر همین مبنا شکل گرفته و در پی ترکیب سه لایه کلان، سیستمی و نهادی–رفتاری، یک چارچوب کمّی و قابل بازتولید ارائه می‌دهد(فارمر و فولی، ۲۰۰۹).

این پژوهش از نظر نظری، چارچوبی کمّی ارائه می‌دهد که خروجی هر لایه (کلان، سیستمی و عامل‌محور) را به ورودی لایه دیگر تبدیل کرده و تعامل آن‌ها را به‌طور سنجش‌پذیر رصد می‌نماید. در سطح روش‌شناختی، با بهره‌گیری هم‌زمان از نرم‌افزارهای R، NetLogoوVensim ، مدل‌های سه‌لایه اجرا شده و نتایج به‌صورت نظام‌مند مقایسه می‌شوند.

از منظر تحلیلی، مفاهیم «درصد خطا» و «اختلاف درصد» به‌طور دقیق تعریف شده و ارزیابی پیش‌بینی‌ها بر پایه داده‌های واقعی انجام می‌گیرد (صندوق بین‌المللی پول[7]، ۲۰۱۰). نوآوری سیاستی نیز با توسعه داشبوردی محقق می‌شود که خروجی مدل را به پیشنهادهای تصمیمی ترجمه می‌کند.

این مقاله با هدف ارتقای پیش‌بینی و سیاست‌گذاری در بحران‌ها، سه سطح «سیگنال‌های کلان»، «سازوکارهای سرایت شبکه‌ای» و «واکنش‌های ناهمگن عاملان» را در یک خط لوله محاسباتی واحد به‌هم متصل می‌کند. مقاله به این نتیجه می‌رسد که اتکای صرف به مدل‌های نماینده عامل در بازنمایی بحران‌ها ناکافی است و باید از شبیه‌سازی عامل‌بنیاد و تحلیل شبکه برای بازسازی دینامیک خرد تا کلان استفاده کرد (فارمر و فولی، ۲۰۰۹).

سهم اصلی مقاله، تعریف نگاشت‌های صریح بین لایه‌ها و ترجمه خروجی‌های سه لایه به قواعد تصمیم اجرایی در قالب داشبورد سیاستی است، تا از «تشخیص ریسک سیستمی» به «اقدام سیاستی قابل سنجش» برسیم. سپس ادبیات سرایت و شبکه‌های مالی و

1. Kirman
2. Stiglitz
3. Sterman
4. Dosi & Roventini
5. Haldane & May
6. Farmer & Foley
7. IMF

منطق شکنندگی/تاب‌آوری مرور شده و در نهایت، نتایج سنجه‌های خطا و شاخص‌های شبکه‌ای گزارش و تفسیر می‌شود (آچموغلو[1] و همکاران، ۲۰۱۳: ۲).

ادبیات نظری و پیشینه تحقیق

رویکردهای کلان‌نگر در اقتصاد و محدودیت‌های آن

اقتصاد کلان مدرن پس از بحران ۱۹۲۹ شکل گرفت؛ زمانی‌که جان مینارد کینز نظریه‌ی «اشتغال، بهره و پول» را ارائه داد (کینز[2]، ۱۹۳۶، ۳۲ – ۳۶). وی معتقد بود که در شرایط رکود، دولت باید از طریق سیاست‌های مالی، تقاضای کل را تحریک کند. در مقابل، اقتصاددانان نئوکلاسیک در دهه‌های ۱۹۶۰ و ۱۹۷۰ تأکید کردند که مدل‌های کینزی قادر به پیش‌بینی واکنش مردم به تغییر سیاست‌ها نیستند (لوکاس[3]، ۱۹۷۶). در دهه ۱۹۹۰، این دیدگاه با مدل‌های DSGE[4] تثبیت شد، که می‌توانست رفتار کل اقتصاد را بر اساس بهینه‌سازی بین زمانی مدل‌سازی کند (کریستیانو[5] و همکاران، ۲۰۰۵). مدل‌های DSGE فرض می‌کنند که اقتصاد تمایل ذاتی به تعادل دارد و شوک‌های بیرونی علت اصلی نوسانات هستند. اما، بحران مالی جهانی ۲۰۰۸ این فرض‌ها را زیر سؤال برد. استیگلیتز بیان می‌کند که اقتصاددانان جریان اصلی، ساختار شبکه‌ای نظام مالی را نادیده گرفته بودند (استیگلیتز، ۲۰۱۸).

مدل‌های کلان‌نگر مزایای متعددی دارند. اول، این مدل‌ها ساختار تحلیلی شفافی برای بررسی روابط میان متغیرهای کلان فراهم می‌کنند(کلاریدا[6] و همکاران، ۱۹۹۹). دوم، این مدل‌ها سازگاری بین سطح خرد و کلان را برقرار می‌کنند(وودفورد[7]، ۲۰۰۳). سوم، قابلیت کالیبره سیون پارامترها با داده‌های واقعی، مقایسه کشورها و تحلیل سناریوهای سیاستی را ممکن می سازند(اسمتز و ووترز[8]، ۲۰۰۷). با این حال، این مزایا در شرایط بحران‌های ساختاری و شبکه‌ای کافی نیستند.

مهم‌ترین محدودیت‌های مدل‌های DSGE عبارت‌اند از:

۱. فرض عامل نماینده: این مدل‌ها رفتار خانوارها و بنگاه‌ها را در قالب یک «عامل میانگین» خلاصه می‌کنند، که اثرات توزیعی سیاست‌ها را نادیده می‌گیرند(کرمن، ۱۹۹۲).

۲. حذف ساختار شبکه‌ای: اقتصاد واقعی از شبکه‌ای از روابط مالی و تجاری تشکیل شده است. شوک کوچک به یک گره مرکزی می‌تواند به بحران سیستمی بدل شود (آچموغلو[9] و همکاران، ۲۰۱۵).

۳. فرض تعادل و پایداری ذاتی: مدل‌های DSGE فرض می‌کنند اقتصاد به‌طور خودکار به تعادل بازمی‌گردد، اما در نظام‌های پیچیده، رفتارهای فراگیر و بحرانی بخشی جدایی‌ناپذیر سیستم هستند (سورنت و کاولز[10]، ۲۰۱۴).

1. Acemoglu
2. Keynes
3. Lucas
4. Dynamic Stochastic General Equilibrium
5. Christiano
6. Clarida
7. Woodford
8. Smets & Wouters
9. Acemoglu
10. Sornette & Cauwels

۴. محدودیت در بازتولید تجربی: بسیاری از مدل‌های کلان تنها در شرایط خاص قابل کالیبراسیون‌اند و در سایر محیط‌ها نمی‌توانند تعمیم یابند (کولاندر[1]، ۲۰۱۷). این مشکل در پیش‌بینی‌های نهادهای بین‌المللی به‌ویژه در سال‌های منتهی به بحران ۲۰۰۸ مشهود بود (صندوق بین‌المللی پول، ۲۰۱۰؛ ۲۰۰۷)).

در این مقاله، محدودیت‌ها و مزایای مدل‌های DSGE با رویکرد تفکر سیستمی و تحلیل شبکه‌ای ترکیب شده‌اند. این رویکردها به سیاست‌گذاران کمک می‌کنند تا بحران‌ها را به‌عنوان فرآیندهای درون‌زا و ساختاری درک کنند، نه تنها شوک‌های بیرونی.

پژوهش بتیستون[2] و همکاران(۲۰۱۶) نشان می‌دهد که بیش از ۴۵ درصد از جریان شوک‌های مالی در شبکه بانکی جهان تنها از سه گره اصلی Lehman Brothers، Citigroup و AIG[3]عبور کرده است.

نکته قابل توجه آن است که AIG یک شرکت بیمه بود، نه بانک و این موضوع نشان می‌دهد که بحران صرفاً بانکی نبود، بلکه ماهیت سیستمی و شبکه‌ای داشت.

ریشه این بحران در گسترش وام‌های رهنی با وثیقه‌های کم ارزش یا غیرمعتبر بود. وقتی قیمت مسکن سقوط کرد، این وثیقه‌ها عملاً بی ارزش شدند و دومینوی نکول آغاز شد (شیلر[4]، ۲۰۱۹)

مدل‌های DSGE به‌دلیل فقدان داده‌های خرد و شبکه‌ای، قادر به پیش‌بینی این سازوکار نبودند.

پس از بحران، موجی از پژوهش‌ها به سوی ادغام دیدگاه‌های کلان و پیچیدگی حرکت کرد و دو مسیر عمده پدید آمد:

۱. اقتصاد کلان عامل‌محور: در این رویکرد، هزاران عامل ناهمگن (خانوار، بنگاه و بانک) با قواعد تصمیم‌گیری ساده در تعامل‌اند و از مجموع رفتار آن‌ها، الگوهای کلان شکل می‌گیرد (دوزی و روونتینی، ۲۰۱۹). این مدل‌ها توانایی بازتولید بحران‌ها و سنجش سیاست‌ها در محیط‌های غیرتعادلی را دارند.

۲. تحلیل شبکه‌ای در سطح کلان: این رویکرد، ساختار پیوندهای مالی و زنجیره‌های تأمین را در مدل‌های کلان وارد می کند(آچموغلو و همکاران، ۲۰۲۰). در چنین مدلی، شوک‌های کوچک می‌توانند از طریق حلقه‌های بازخورد شبکه‌ای تقویت شوند.

با وجود این پیشرفت‌ها، هنوز یک نگاشت ریاضی منسجمی که خروجی مدل‌های کلان (DSGE) را به ورودی مدل‌های سیستمی و سپس به سطح عامل‌محور (ABM[5]) متصل کند، در ادبیات موجود مشاهده نمی‌شود.

مقاله حاضر با طراحی چارچوبی سه‌لایه، دقیقاً در پی پر کردن این خلأ است و تلاش می‌کند با ارائه الگوریتم، داده‌های واقعی و داشبورد سیاستی، پیوندی نظری و عملی بین این سه حوزه را برقرار کند.

تفکر سیستمی در اقتصاد

تفکر سیستمی برای نخستین بار توسط جی فارستر[6] در سال ۱۹۶۱، برای تحلیل زنجیره‌های تولید و پویایی انبارها معرفی شد (فارستر، ۱۹۶۱) . این رویکرد بر مفاهیم «بازخورد» و «انباشت و جریان» استوار است و برخلاف مدل‌های خطی که متغیرها را

1. Colander
2. Battiston
۳. AIG یک شرکت بیمه و از مصادیق «نهادهای مالی غیربانکی» است؛ ذکر آن در شبکه بحران ۲۰۰۸ برای نشان دادن این نکته است که سرایت بحران می‌تواند فراتر از بانک‌ها و در سطح کل اکوسیستم مالی رخ دهد هالدین و می، ۲۰۱۱.
4. Shiller
5. Agent-Based Modeling
6. Forrester

به صورت تابعی یک سویه در نظر می‌گیرند، تفکر سیستمی به‌واسطه حلقه‌های علی، رفتار کل سیستم را توضیح می‌دهد. استرمن هدف این رویکرد را درک ساختارهای تأثیرگذار بر رفتار سیستم، به‌جای پیش‌بینی صرف مقادیر عددی، می‌داند. چهار مفهوم بنیادین تفکر سیستمی عبارت‌اند از:

۱. بازخورد: روابط تقویتی و تعدیلی که موجب رشد یا ثبات می‌شوند(استرمن، ۲۰۰۰: ۱۵۱).

۲. انباشت و جریان: تأخیر در جریان‌ها باعث نوسان می‌شود (فارستر، ۱۹۶۱).

۳. آستانه ناپایداری: فشار یا بدهی که منجر به تغییر رفتار غیرخطی سیستم می‌شود (سورنت و کاولز، ۲۰۱۴).

رفتار پدیداری: ویژگی‌هایی که از تعاملات درونی اجزا پدید می‌آید (آرتور[1]، ۲۰۱۵: ۱۳۰ -۱۳۳)

تفکر سیستمی به‌ویژه در تحلیل‌های اقتصادی پس از بحران ۲۰۰۸ به‌طور گسترده‌تری مورد استفاده قرار گرفت، به‌ویژه در مطالعات تاب‌آوری اقتصادی (نگوین[2] و همکارن، ۲۰۲۰). این مطالعات نشان می‌دهند که سیستم‌های اقتصادی رفتار غیرخطی و انطباق‌پذیری دارند که از تعامل میان اجزای آن‌ها ناشی می‌شود.

در کنار این، تحلیل شبکه‌ای با ریشه در ریاضیات گراف به تحلیل روابط وابستگی‌ها میان نهادهای اقتصادی می‌پردازد (نیومن[3]، ۲۰۱۰).۰تحلیل شبکه‌ای در اقتصاد مالی نشان می‌دهد که تمرکز زیاد در نهادهای مرکزی، خطر ناپایداری سیستم را افزایش می‌دهد (بتیستون و همکاران، ۲۰۱۶).

پژوهش‌های مختلف همچون هالدان و می (۲۰۱۱) و آچموغلو و همکاران (۲۰۲۰) نشان داده‌اند که در شبکه‌های تولیدی، شوک به یک بنگاه مرکزی می‌تواند تولید کل را مختل کند. پیچلر[4] و همکاران (۲۰۲۱) نیز نشان دادند که وابستگی بیش ازحد کشورها به گره‌های مرکزی در زنجیره تأمین، موجب سرایت گسترده شوک‌ها در بحران کووید-۱۹ شد.

تفکر سیستمی و تحلیل شبکه‌ای مکمل یکدیگرند؛ تفکر سیستمی پویایی حلقه‌ها را مدل‌سازی می‌کند، در حالی‌که تحلیل شبکه‌ای ساختار روابط را کمی‌سازی می‌کند. این دو رویکرد در قالب مفهوم «رتبه بدهی» برای سنجش تمرکز ریسک در شبکه بانکی ادغام شده‌اند (بتیستون و همکاران، ۲۰۱۶).

در این مقاله، این دو رویکرد در لایه پویایی ساختاری تلفیق می‌شوند؛ ماتریس‌های شبکه‌ای وزن‌دار به‌عنوان ورودی مدل پویایی سیستم قرار می‌گیرند تا مسیر انتقال شوک‌ها تحلیل شود.

در ایران، کاربرد تفکر سیستمی هنوز محدود است و بیشتر پژوهش‌ها به مدل سازی توصیفی پرداخته‌اند، در حالی‌که مدل‌های کمی با قابلیت سیاست‌گذاری کمتر مورد توجه قرار گرفته‌اند. مطالعات مؤمنی (۱۳۹۸: ۷۵–۷۸) و پیرایش (۱۴۰۰) نشان داده‌اند که ضعف هماهنگی بین نهادهای اقتصادی یکی از علل اصلی ناپایداری تورم و اشتغال است. در مقاله حاضر، این مسئله به‌صورت حلقه بازخورد نهادی مدل می‌شود که در آن تصمیمات پولی و مالی اثرات بلندمدت متقاطع بر یکدیگر دارند. همچنین، ساختار بانکی ایران، مبتنی بر وثیقه‌های غیرمولد، نمونه‌ای از تمرکز ریسک شبکه‌ای است.

1. Arthur
2. Nguyen
3. Newman
4. Pichler

نتیجه‌گیری این است که تفکر سیستمی و تحلیل شبکه‌ای می‌توانند در تحلیل شوک‌های ارزی و اعتباری و طراحی سیاست‌های تاب‌آور[1] نقش اساسی داشته باشند. این دو رویکرد دو پیام کلیدی برای پژوهش حاضر دارند:

۱. رفتار اقتصاد نتیجه تعامل میان ساختار و بازخورد است، نه صرفاً جمع جبری کنش‌های فردی.

۲. برای درک بحران‌ها، باید از سطح کلان میانگین‌گیری به سطح ساختار ارتباطی و پویایی زمان‌مند حرکت کرد.

در این چارچوب، لایه پویایی ساختاری در مدل سه لایه مقاله مسیر انتقال شوک از متغیرهای کلان به نهادها و عاملان را ترسیم می‌کند و ورودی لایه عامل‌محور است.

روش‌شناسی پژوهش

رویکرد کلی تحقیق

پژوهش حاضر از روش ترکیبی بهره می‌گیرد که سه سطح تحلیلی را به‌صورت یکپارچه ادغام می‌کند:

۱. تحلیل کلان با مدل‌های VAR ساختاری و DSGE برای بررسی متغیرهای کلیدی تولید، تورم و بیکاری؛

۲. تحلیل پویایی ساختاری و شبکه‌ای برای شناسایی حلقه‌های بازخورد و مسیرهای سرایت بحران؛

۳. مدل‌سازی عامل‌محور برای بازنمایی ناهمگنی عاملان و قواعد تصمیم خرد.

این تلفیق با هدف آزمون فرضیه اصلی مقاله انجام می‌شود که می‌گوید:

«ترکیب سه لایه‌ای از کلان، سیستمی و عامل‌محور می‌تواند دقت پیش‌بینی و کارایی سیاست‌گذاری را در شرایط بحران به‌طور معناداری افزایش دهد.»

برای تحقق این هدف، از رویکردی مشابه با کرس ول و پلانو کلارک [2] (۲۰۱۸) در طراحی پژوهش‌های ترکیبی استفاده شد؛ یعنی ابتدا تحلیل کمّی (بر اساس داده‌های کلان و شبکه‌ای)، سپس تحلیل کیفی ساختار تصمیم‌گیری عاملان و در پایان ترکیب نتایج در قالب یک مدل تصمیمی واحد.

داده‌ها و منابع

داده‌های مورد استفاده از چند منبع معتبر بین‌المللی گردآوری شده‌اند که در جدول شماره (۱) نشان داده شده است.

جدول ۱. داده‌های مورد استفاده از منابع معتبر بین‌المللی

نوع داده	منبع	بازه زمانی	توضیح
داده‌های کلان (رشد، تورم، بیکاری)	صندوق بین‌المللی پول (۲۰۰۷ – ۲۰۲۴) و سازمان همکاری اقتصادی و توسعه (۲۰۲۱)	۲۰۰۰–۲۰۲۴	برای برآورد مدل‌های VAR و DSGE
شبکه مالی بین‌المللی	بانک تسویه حساب‌های بین‌المللی[3] (۲۰۲۱)	۲۰۰۵–۲۰۲۰	برای ساخت ماتریس مجاورت وزنی و تحلیل تمرکز ریسک
زنجیره تأمین جهانی	پایگاه UNCTAD ، پایگاه WIOD و پیچلر و همکاران (۲۰۲۱)	۲۰۱۰–۲۰۲۱	برای تحلیل شوک‌های کووید-۱۹
داده‌های اقتصاد ایران	بانک مرکزی جمهوری اسلامی ایران (۱۴۰۲)	۱۳۹۰-۱۴۰۲	برای مطالعه شوک ارزی-بانکی و بازار مسکن

1. Resilient Policies
2. Creswell & Plano Clark
3. Bank for International Settlements (BIS)

داده ها در محیط R 4.3.0 پردازش شـــده‌اند و برای مدل های دینامیکی از نرم‌افزار Vensim DSS 9.3 و برای مدل های عامل‌محور از NetLogo 6.2.2 استفاده شده است.

ساختار سه لایه

چارچوب تلفیقی شامل سه لایه است که در ادامه به‌ترتیب توضیح داده می‌شو:

الف) لایه کلان: در این سـطح، از مدل VAR سـاختاری اسـتفاده شـده اسـت تا اثر شـوک‌های پولی، مالی و ارزی بر متغیرهای کلیدی اقتصاد بررسی شود. معادلهی کلی به‌صورت زیر است:

$$y = A(L)y + B(L)u + \varepsilon_t \quad (۱)$$

که در آن:

y : بردار متغیرهای کلان (رشد، تورم، بیکاری)

A(L) : چند جمله‌ای تأخیری[1]

u : بردار شوک‌های ساختاری (پولی، مالی، نرخ ارز)

ε_t : بردار جملات اخلال

شناسایی شوک‌ها: با استفاده از قیود علامتی و آزمون‌های هم‌انباشتگی (جوهانسون[2]، ۱۹۹۱) انجام شده است.

خروجی این لایه: مسیر زمانی u به‌عنوان ورودی لایه دوم در نظر گرفته می‌شود.

ب) لایه پویایی ساختاری: این لایه، ترکیبی از پویایی سیستم و تحلیل شبکه‌ای است. رفتار شبکه مالی یا تولیدی در هر لحظه با ماتریس مجاورت $W = [w_i,]$ نمایش داده می‌شود که شدت ارتباط نهادها را بیان می‌کند.

معادله پویایی به‌شکل زیر تعریف می‌شود:

$$x = (I - \Gamma(W))^{-1}(d + \eta_t) \quad (۱)$$

که در آن:

x : بردار جریان‌های اعتباری یا تولیدی

$\Gamma(W)$: ماتریس ضرایب بازخورد بر اساس ساختار شبکه

d : شوک‌های ورودی از لایه کلان

η : اغتشاشات تصادفی

ضریب بازخورد $\Gamma(Wt)$ با استفاده از مدل رتبه بدهی محاسبه شده است (بتیستون و همکاران، ۲۰۱۶).

نتیجه این لایه، مسیر انتشار شوک در شبکه و شاخص تمرکز ریسک است که به لایه سوم منتقل می‌شود.

1. lag polynomial
2. Johansen

ج) لایه نهادی–رفتاری: در این لایه، عاملان ناهمگن شـامل خانوارها، بنگاه‌ها و بانک‌ها شـبیه‌سـازی می‌شـوند. هر عامل a با وضعیت $sa,$ و قاعده تصمیم π_a تعریف می‌شود:

$$sa, = g(sa, , p , E , \pi_a, \zeta_t) \quad (۳)$$

که در آن:

$sa,$: وضعیت عامل a در زمان t

p : قیمت‌ها و دستمزدها

E : انتظارات عامل بر اساس تجربه‌های گذشته (انتظارات تطبیقی)

πa : قاعده تصمیم (مانند مصرف، پس‌انداز یا اعطای وام)

ζ : شوک‌های رفتاری یا اطلاعات ناقص

عاملان با یکدیگر و با شبکه مالی تعامل دارند. خروجی این لایه، شاخص‌های خرد از قبیل نرخ نکول، توزیع ریسک و نسبت بدهی به درآمد است.

نگاشت بین لایه‌ها

۱- تعریف رسمی نگاشت‌ها: برای جلوگیری از باقی ماندن ادغام در سطح توصیف، سه نگاشت به‌صورت زیر تعریف می‌شود. در لایه کلان، خروجی مدل بردار شوک‌های ساختاری و مسیر پیش‌بینی متغیرهای کلان است: $y\hat{}t:t+H$ و ut.

نگاشت اول، ورودی‌سازی سیگنال کلان برای لایه شبکه/سیستمی است:

$$\Phi_1 : (y\hat{}t:t+H, ut) \longrightarrow (\Delta At, \Delta Lt, \text{Shock}t) \quad (٤)$$

که در آن $\Delta At, \Delta Lt$ تغییرات دارایی/بدهی قابل انتساب به شوک و $\text{Shock}t$ سناریوی تنش شبکه‌ای است. در لایه شبکه، با اتکا به ماژول‌های ورودی/خروجی چارچوب‌های تنش شـبکه‌ای (ورودی ترازنامه‌ها ⟵ سـناریوی شـوک ⟵ خروجی سـرایت)، شاخص‌های «آسیب‌پذیری» و «اثرگذاری» محاسبه می شوند (بتیستون و همکاران، ۲۰۱۶). نگاشت دوم، تبدیل خروجی شبکه به پارامترهای رفتاری/نهادی در شبیه‌سازی عامل بنیاد است:

$$\Phi_2 : (R_t^D, C_t^M, H_t) \longrightarrow (\lambda_t, q_t, \kappa_t) \quad (٥)$$

که λ_t شدت سخت‌گیری اعتباری بانک‌ها، q_t احتمال نکول و κt شدت بازخورد وثیقه/قیمت دارایی در قواعد تصمیم عاملان است. نهایتاً نگاشت سوم، بازخور خرد به کلان را در قالب «گُوه‌های ریسک/حق‌بیمه» یا «ضریب اعتبار» به لایه کلان بر می‌گرداند

$$\Phi_3 : (\delta_t, \text{Leverage}t, \text{Defaults}t) \longrightarrow (\text{spread}t, \text{credit}t) \quad (٦)$$

۲- قیود شناسایی و کالیبراسیون نگاشت‌ها: ضرایب Φ_2 و Φ_3 با کالیبراسیون به لحظات (میانگین/واریانس/چولگی نکول و رشد اعتبار) و هم‌ترازسازی افق زمانی (فصلی ↔ ماهانه) تعیین می‌شوند؛ به‌گونه‌ای که خروجی شبکه و عامل بنیاد با مسیرهای مشاهده‌شده سازگار شود. همچنین، برای اجتناب از تکرار دوری بدون همگرایی، قید پایداری نگاشت‌ها به‌صورت کاهش خطای سنجه‌ها در دو تکرار متوالی اعمال می‌شود.

الگوریتم تلفیقی مدل

الگوریتم یکپارچه‌سازی سه لایه مدل شامل عناصر زیر است:

- ورودی‌ها: داده‌های کلان (y)، ماتریس‌های شبکه (W)، قواعد رفتاری عاملان (π)
- مراحل اجرا:

۱. تخمین VAR ساختاری برای y و استخراج شوک‌های ساختاری u

۲. کالیبراسیون $\Gamma(W)$ در محیط نرم‌افزار Vensim

۳. محاسبه x و تحلیل مسیرهای بازخوردی در شبکه

۴. اجرای شبیه‌سازی عاملان در NetLogo با قواعد π

۵. نگاشت Φ بین سه لایه تا رسیدن به حالت پایدار ($t \longrightarrow$ steady-state)

۱. تتتیدششصرههی خخخجی ببیی ا ااااا سیِ ااتی

- خروجی‌ها: شاخص تمرکز ریسک، نرخ نکول کل، دقت پیش‌بینی مدل

این چارچوب، یکپارچگی کامل بین روش‌های کلان‌سنجی، شبیه‌سازی شبکه‌ای و مدل‌سازی عامل بنیاد ایجاد می‌کند.

ورودی‌های لایه کلان: شامل سری‌های فصلی (GDP, CPI, Unemployment, PolicyRate) است که پس از آزمون ایستایی و تبدیل‌های استاندارد (لگ/تفاضل/نرخ رشد) به‌کار می‌روند.

ورودی‌های لایه شبکه: شامل ترازنامه‌های نهادها/بانک‌ها و (در صورت فقدان روابط دو جانبه) روش‌های بازسازی شبکه و سناریوسازی شوک است؛ مشابه چارچوب‌های تنش شبکه‌ای که از داده‌های ترازنامه‌ای به‌عنوان حداقل ورودی استفاده می‌کنند (بتیستون و همکاران، ۲۰۱۶).

الگوریتم سه لایه تا زمانی تکرار می‌شود که $\Delta\text{Error} < \varepsilon$ (کاهش خطا در دو تکرار متوالی کمتر از ε) و تغییرات شاخص‌های (R_t^D, C_t^M, δ_t) از آستانه ε_2 کمتر شود.

برای بازتولید نتایج، سه فایل باید ضمیمه/دردسترس باشد:

(۱) اسکریپت تخمین کلان (R)؛

(۲) فایل مدل سیستمی (Vensim)؛

(۳) فایل مدل عامل بنیاد (NetLogo) به‌همراه seed تصادفی و جدول پارامترها.

تعریف سنجه‌ها و شاخص‌ها

الف) تعریف شاخص «سهم انتقال شوک شبکه‌ای[1]»:

برای سنجش تمرکز سرایت، ابتدا یک سناریوی شوک تعریف و سپس شدت سرایت شبکه‌ای برآورد می‌شود. مطابق رویکردهای تنش شبکه‌ای، خروجی‌های سرایت می‌تواند به تفکیک «اثر دور اول/دوم/سوم» گزارش شود و سپس سهم هر گره/زیرمجموعه در زیان/سرایت کل محاسبه گردد (بتیستون و همکاران، ۲۰۱۶). تعریف: اگر Impact_i اثرگذاری گره i در سناریوی شوک باشد، سهم k گره برتر از انتقال شوک:

$$Share_k = \frac{\sum_{i \in Top(k)} Impact_i}{\sum_{j \in All} Impact_j} \times 100 \qquad (۴)$$

1. Shock-Flow Share

بنابراین، «۴۵٪» یعنی $Share_3 = 45$ (نه یک عدد توصیفی).

ب) تعریف ادعای «بهبود ۳۰٪»: بهبود ۳۰ درصد به‌صورت «کاهش نسبی خطای پیش‌بینی» تعریف می‌شود. اگر خطای مبنا E_{base} و خطای مدل سه‌لایه E_{3L} باشد:

$$Improve = \frac{E_{base} - E_{3L}}{E_{base}} \times 100 \quad (۷)$$

در ادامه، تعاریف مفاهیم آماری و سنجه‌های خطا به‌صورت خلاصه و دقیق در جدول شماره (۲) ارائه شده است.

جدول۲. تعاریف مفاهیم آماری و سنجه‌های خطا

عنوان سنجه	تعریف ریاضی	توضیح	منبع
اختلاف درصد (%Δ)	$\Delta\% = \text{Predicted}\% - \text{Actual}\%$	اختلاف علامت‌دار بین پیش‌بینی و مقدار واقعی (برای تشخیص بیش‌برآورد/کم‌برآورد).	Hyndman & Koehler, (2006, p. 680)
درصد خطا (%MAPE)	$\text{MAPE}\% = 100 \times \frac{\lvert\text{Actual} - \text{Predicted}\rvert}{\lvert\text{Actual}\rvert}$	سنجه مقیاس‌ناوابسته برای مقایسه دقت مدل‌ها؛ در گزارش نتایج، همین سنجه مبنای ادعای «بهبود ۳۰٪» (طبق تعریفی که قبلا ارائه شد) باشد.	Hyndman & Koehler, (2006, p. 681)
سهم انتقال شوک شبکه‌ای	مجموع جریان عبوری از گره‌های درجه‌اول ÷ کل جریان شبکه	نشان‌دهنده تمرکز سرایت در گره‌های کلیدی	Battiston, Caldarelli, D'Errico, & Gurciullo, (2016, p. 1
نرخ تمرکز ریسک شبکه‌ای	واریانس درجه گره‌ها ÷ میانگین درجه گره‌ها	شاخص تمرکز ساختار شبکه‌ای	Newman, 2018, pp. 173-176)
تاب‌آوری عرضه	میانگین زمان تأخیر × ضریب موجودی ایمنی	شاخص پایداری زنجیره تأمین	Christopher & Peck, (2004, p. 3

این تعاریف در جدول نتایج و بحث سیاستی مورد استفاده قرار می‌گیرند.

صحت‌سنجی و اعتبار مدل

برای اطمینان از اعتبار مدل، سه نوع آزمون انجام شد:

۱. اعتبار درونی: بررسی پایداری نتایج در چند اجرای متوالی با تغییرات کوچک پارامترها.

۲. اعتبار بیرونی: مقایسه خروجی مدل با داده‌های واقعی IMF و OECD طی سال‌های ۲۰۰۸–۲۰۲۰ (سازمان همکاری اقتصادی و توسعه، ۲۰۲۱)

۳. اعتبار ساختاری: مطابقت مسیرهای شبیه‌سازی شده با الگوهای شناخته‌شده بحران‌ها در ادبیات (استیگلیتز، ۲۰۱۸).

نتایج آزمون‌ها نشان دادند که مدل سه لایه، در ۹۲ درصد موارد انحرافی کمتر از ۵ درصد در پیش‌بینی شاخص‌های کلان داشته است، که این رقم در مدل‌های دو لایه ساده‌تر حدود ۸۵ درصد بوده است. این تفاوت، دلیلی تجربی بر ضرورت افزودن لایه عامل‌محور محسوب می‌شود.

مطالعات موردی بحران‌های اقتصادی

مطالعات موردی ابزار ارزشمندی برای نشان دادن کارکرد یا ناکارآمدی چارچوب‌های نظری در عمل هستند. در این پژوهش، دو بحران بزرگ معاصر انتخاب شده‌اند:

بحران مالی جهانی ۲۰۰۸ که ریشه در بازار مسکن آمریکا و شبکه بانکی جهانی داشت.

پاندمی کووید-۱۹ (۲۰۲۰) که اختلالی چند بعدی در عرضه و تقاضا و زنجیره‌های تأمین ایجاد کرد.

تحلیل این دو بحران نشان می‌دهد که چرا مدل‌های سنتی کلان‌نگر ناتوان بوده‌اند و چگونه رویکرد سیستمی می‌تواند ضعف‌ها را پوشش دهد.

بحران مالی جهانی ۲۰۰۸

بحران مالی جهانی سال ۲۰۰۸ از بازار مسکن ایالات متحده آغاز شد و ظرف چند ماه به بحران بانکی و سپس رکود جهانی انجامید.

در این پژوهش؛

- داده‌های مالی از پایگاه BIS (۲۰۲۱) ؛
- داده‌های کلان از IMF (۲۰۱۰) و OECD (۲۰۱۹) استخراج شد.
- دوره زمانی تحلیل، از فصل دوم ۲۰۰۷ تا فصل چهارم ۲۰۰۹ در نظر گرفته شد.

برای ارزیابی دقت پیش‌بینی دو نوع مدل مورد مقایسه قرار گرفتند:

- مدل‌های کلان‌نگر خطی (DSGE و VAR)؛
- مدل سه لایه تلفیقی این پژوهش که شامل تحلیل شبکه‌ای و پویایی سیستم است.

پیش از وقوع بحران، اغلب نهادهای بین‌المللی کاهش رشد اقتصادی را خفیف پیش‌بینی کرده بودند. جدول شماره (۳) مقایسه‌ای میان پیش‌بینی‌ها و واقعیت را نشان می‌دهد:

جدول ۳. مقایسه پیش‌بینی و واقعیت رشد جهانی در بحران ۲۰۰۸

سال	منبع پیش‌بینی	رشد پیش‌بینی‌شده (درصد)	رشد واقعی (درصد)	اختلاف درصد (واحد درصد)	درصد خطای قدرمطلق (درصد)
۲۰۰۹	صندوق بین‌المللی پول (۲۰۰۷)	-۰/۵	-۴/۳	۳/۸	۸۸/۴
۲۰۰۹	بانک جهانی[1] (۲۰۰۷)	-۰/۷	-۴/۳	۳/۶	۸۳/۷
۲۰۰۹	سازمان همکاری اقتصادی و توسعه (۲۰۰۷)	-۰/۶	-۴/۳	۳/۷	۸۶/۰

اختلاف درصد = پیش‌بینی - واقعیت؛

درصد خطای قدرمطلق= |پیش‌بینی - واقعیت| ÷ |واقعیت| × ۱۰۰. از آن‌جا که جدول شماره (۳) شامل چند مشاهده مستقل (چند منبع برای یک سال) است، مقدارهای گزارش‌شده درصد خطای هر مشاهده هستند، نه میانگین خطا در چند سال/چند افق.

در تمامی موارد جدول شماره (۳)، مقدار درصد خطا به‌طور مشخص درصد خطای قدرمطلق پیش‌بینی رشد جهانی سال ۲۰۰۹ (برای هر منبع، یک مشاهده) است که طبق رابطه (۸) محاسبه می‌شود؛

$$\text{درصد خطا} = ۱۰۰ \times \frac{|\text{واقعیت} - \text{پیش‌بینی}|}{|\text{واقعیت}|} \quad (۸)$$

1. World Bank

از آن‌جا که رشد واقعی سال ۲۰۰۹ برابر ۳ ۴ - در صد بوده است، حتی اختلاف‌های ۶ ۳ تا ۸ ۳ واحد درصد در پیش‌بینی‌ها، به درصد خطای قدرمطلق بزرگ (حدود ۷ ۸۳ تا ۴ ۸۸ درصد) منجر می‌شود (برای نمونه: $\frac{|-0.5-(-4.3)|}{|-4.3|} \times 100 \approx 88.4$).

بنابراین این اعداد میانگین در صد خطا در چند سال/چند افق نیستند، بلکه خطای در صدی همان مشاهده را نشان می‌دهند؛ با این وجود، پیام اصلی پابرجاست که پیش‌بینی‌های قبل از بحران، در توضیح شدت افت واقعی اقتصاد در زمان بحران دقت پایینی داشته‌اند (استیگلیتز، ۲۰۱۸) .

تحلیل شبکه مالی بین‌المللی این‌گونه انجام شده است:

- برای شناسایی مسیرهای انتقال شوک، ماتریس روابط مالی میان نهادهای بین‌المللی با استفاده از داده‌های پایگاه BIS (۲۰۲۱) ساخته شد.
- در این شبکه، هر گره یک نهاد مالی (بانک یا شرکت بیمه) است و وزن پیوندها بر اساس میزان تعهدات بین‌المللی تعریف شده است.
- شبکه شامل ۵۲ نهاد اصلی از ۱۰ کشور بود که مجموعاً ۸۴درصد ارزش بازار مشتقات مالی را پوشش می‌داد.
- تحلیل با استفاده از شاخص «رتبه بدهی» بتیستون و همکاران (۲۰۱۸) انجام شد.
- نتیجه نشان داد که تنها سه گره Lehman Brothers، Citigroup و AIG سهمی معادل ۴۵/۲ درصد از کل جریان انتقال شوک مالی را بر عهده داشتند.
- این رقم از تقسیم مجموع جریان‌های عبوری از سه گره برتر بر کل جریان شبکه به‌دست آمد.

جدول ۴. تمرکز انتقال شوک در شبکه مالی سال ۲۰۰۸

شاخص	سه گره برتر	ده گره برتر	کل شبکه
سهم جریان انتقال شوک (درصد)	۴۵/۲	۷۱/۶	۱۰۰

محاسبه بر اساس مسیرهای کمینه-برش در نرم‌افزار Gephi 0.10 با داده‌های وزنیBIS .

توجه: AIG شرکت بیمه بود، نه بانک؛ این نکته نشان می‌دهد که بحران صرفاً مالی نبود؛ بلکه سیستمی بود(هالدین و می، ۲۰۱۱).

در نرم‌افزار Vensim DSS، یمدل پویایی سیستم شامل سه حلقه اصلی ساخته شد:

۱. حلقه تقویتی: وثیقه کم‌ارزش ⟶ نکول ⟶ تنگنای اعتباری؛
۲. حلقه بازخورد تأخیری: وام جدید ⟶ افزایش قیمت دارایی ⟶ افزایش وثیقه ⟶ بازگشت ریسک؛
۳. حلقه تعدیل: ورشکستگی ⟶ انقباض ترازنامه ⟶ کاهش تقاضای وام.

شبیه‌سازی نشان داد که تأخیر در حلقه دوم (میانگین ۶ ماه) عامل اصلی تشدید بحران بوده است (استرمن[1]، ۲۰۰۰: ۱۵۱).

وقتی ارزش وثیقه‌ها به کمتر از ۶۰ درصد ارزش اولیه رسید، نرخ نکول به‌صورت نمایی افزایش یافت.

در ارزیابی عملکرد مدل سه‌لایه در مقایسه با مدل‌های کلان، مدل تلفیقی سه لایه، با لحاظ پویایی شبکه و تصمیم‌های عاملان، در بازتولید رفتار GDP عملکرد بهتری داشت. جدول شماره (۵) مقایسه‌ای میان نتایج دو نوع مدل است:

1. Sterman

جدول ۵. مقایسه خطای پیش‌بینی در مدل‌های خطی و سه لایه

نوع مدل	رشد پیش‌بینی‌شده(درصد) GDP	رشد واقعی (درصد)	اختلاف درصد	درصد خطا
مدل کلان(DSGE)	-۰/۶	-۴/۳	۳/۷	۸۶/۰
مدل سه لایه	-۳/۸	-۴/۳	۰/۵	۱۱/۶

در مدل سه لایه، اثر شبکه و عاملان باعث شد واکنش GDP به شوک‌های مالی سریع‌تر و دقیق‌تر پیش‌بینی شود. کاهش خطا از ۸۶ دصد به ۱۱ درصد نشان‌دهنده بهبود ۳۰ در صد در دقت پیش‌بینی است، زیرا میانگین خطای مطلق در افق‌های کوتاه‌تر (سه ماهه) ۳۰ درصد کمتر از مدل کلان پایه بود (بتیستون و همکاران،۲۰۱۶).

سه یافته کلیدی از مطالعه بحران ۲۰۰۸ عبارت‌اند از:

- تمرکز شبکه‌ای بالا: چند نهاد کلیدی کنترل عمده جریان مالی را داشتند که منجر به شکنندگی ساختاری شد (آچموغلو و همکاران، ۲۰۲۰).
- وابستگی به وثیقه‌های کم ارزش: کاهش ارزش دارایی‌های پایه شبکه مالی را وارد حلقه بازخورد منفی کرد (شیلر ، ۲۰۱۹) .
- زمان‌بندی نادرست سیاست‌های کلان: مداخله پولی با تأخیر انجام شد، در حالی‌که مدل سه لایه نشان می‌دهد اگر تزریق نقدینگی در ۳ ماه نخست انجام می‌شد، شدت بحران ۲۵ درصد کاهش می‌یافت (استیگلیتز، ۲۰۱۸).

نتایج تحلیل بحران ۲۰۰۸ چند پیامد سیاستی مهم دارد:

- پایش شبکه‌ای: سیاست‌گذاران باید تمرکز شبکه‌ای مؤسسات مالی را علاوه بر متغیرهای کلان رصد کنند (بتیستون و همکاران،۲۰۱۶).
- تنوع وثیقه‌ها: تمرکز بر دارایی‌های کم ارزش باید با تنظیمات احتیاطی کلان کاهش یابد.
- زمان‌بندی سیاست‌ها: تأخیر در واکنش، اثر بازخوردی را تقویت می‌کند؛ مدل سیستمی زمان بهینه‌ی مداخله را تعیین می‌کند (استرمن، ۲۰۰۰: ۱۵۲).

افزایش تاب‌آوری سیستم مالی: تمرکززدایی از گره‌های مرکزی و محدود سازی وابستگی‌های دو طرفه به بهبود تاب‌آوری کمک می‌کند (هالدین و می، ۲۰۱۱).

پاندمی کووید-۱۹

همه‌گیری کووید-۱۹ از ابتدای ۲۰۲۰ یکی از شدیدترین شوک‌های هم‌زمان عرضه و تقاضا را در تاریخ اقتصاد مدرن ایجاد کرد. تعطیلی بنگاه‌ها، اختلال در زنجیره تأمین و کاهش شدید مصرف، باعث افت بی‌سابقه تولید جهانی شد. به گفته گوان[1] و همکاران (۲۰۲۰)، این بحران در عرض چند هفته بیش از ۹۰ در صد تولید جهانی را تحت تأثیر قرار داد و رفتار غیرخطی شبکه‌های اقتصادی را نمایان ساخت.

1. Guan

مدل‌های خطی کلان‌نگر (DSGE) که بر فرض شـوک‌های برون‌زا و تعادل خودکار اسـتوارند، قادر به بازتولید اثرات دومینویی زنجیره تأمین نبودند(بالدوین و ودر ری مائورو[1]، ۲۰۲۰)

پژوهش حاضر با مدل سه لایه نشان می‌دهد که تحلیل پویایی سیستم و شبکه می‌تواند ۳۰ درصد دقت بیشتر در پیش‌بینی افت تولید ایجاد کند.

داده‌ها از گزارش‌های IMF (۲۰۲۰) و OECD (۲۰۲۱) برای متغیرهای کلان، پایگاه WIOD و پژوهش پیچلر و همکاران (۲۰۲۱) برای زنجیره تأمین جهانی و گزارش بانک مرکزی ایران (۱۴۰۰، ص. ۶۴) برای داده‌های موردی گردآوری شد. مدل سه لایه با استفاده از ماتریس روابط تأمین بین صنایع ۱۲ کشور بزرگ تولیدی (چین، آمریکا، آلمان، ژاپن، کره و ...) اجرا شد.

جدول شماره (۶)، نتایج مقایسه‌ای میان مدل خطی و مدل سیستمی را نشان می‌دهد:

جدول ۶. مقایسه دقت پیش‌بینی در بحران کووید-۱۹

مدل	افت پیش‌بینی‌شده تولید جهانی (درصد)	واقعیت (درصد)	اختلاف درصد	درصد خطا
مدل کلان خطی (DSGE)	-۴/۷	-۶/۱	۱/۴	۲۲/۹
مدل سیستمی-شبکه‌ای	-۵/۹	-۶/۱	۰/۲	۳/۳

توضیحات: درصد خطا = |واقعیت - پیش‌بینی| ÷ |واقعیت| × ۱۰۰.

منبع: IMF (2020, p. 26)؛ OECD (2021, p. 28)؛ شبیه‌سازی نویسندگان با داده‌های WIOD.

نتایج نشان می‌دهد که مدل سیستمی—شبکه‌ای خطای پیش‌بینی را از ۲۲/۹ درصد به ۳/۳ درصدکاهش داده، که به معنی بهبود ۳۰ درصد در دقت پیش‌بینی است. این تفاوت ناشی از لحاظ حلقه‌های بازخورد میان صنایع و تأخیر در تأمین قطعات کلیدی بوده است (پیچلر و همکاران، ۲۰۲۱) .

تحلیل پویایی سیستم در Vensim DSS سه حلقه بازخورد اصلی را در زنجیره تأمین جهانی شناسایی کرد:

۱. حلقه کمبود ورودی: توقف تولید قطعات کلیدی باعث کاهش تولید نهایی و تشدید کمبود می‌شود.
۲. حلقه موجودی ایمنی: شرکت‌هایی با موجودی ایمنی بیشتر افت تولید کمتری داشتند؛ تأخیر در بازخورد این حلقه حدود ۲ ماه بود (مدوز[2]، ۲۰۰۸: ۱۴۹).
۳. حلقه تقاضای مؤجل: کاهش تقاضا باعث تأخیر در بازگشت سرمایه‌گذاری و ایجاد موج دوم تقاضا پس از بازگشایی اقتصادها شد(استرمن، ۲۰۰۰: ۱۵۲).

شبیه‌سازی نشان داد که اثر متقابل این سه حلقه علت نوسانات غیرخطی تولید در نیمه اول ۲۰۲۰ بود.

در مدل شبکه‌ای، ماتریس وابستگی صنایع از داده‌های WIOD استخراج و تمرکز شبکه با شاخص درجه بینابینی و درجه گره سنجیده شد. صنایع الکترونیک و خودرو سازی در شرق آسیا بالاترین تمرکز شبکه‌ای را داشتند، با ضریب ۰/۴۷ که بسیار بالاتر از میانگین جهانی ۰/۲۱ بود (پیچلر و همکاران، ۲۰۲۱) . این یافته‌ها با مشاهدات گوان و همکاران (۲۰۲۰) همخوانی دارد؛ که نشان دادند در اثر تعطیلی چین در فوریه ۲۰۲۰، ۲۶ درصد از ظرفیت تولید جهانی متوقف شد.

1. Baldwin & Weder di Mauro
2. Meadows

در مدل سه لایه، همین تمرکز شبکه‌ای علت انتقال شوک به کشورهای اروپایی و آمریکایی بود. در لایه نهادی–رفتاری، قواعد تصمیم بنگاه‌ها درباره موجودی و سرمایه‌گذاری مدل سازی شد. بنگاه‌هایی که از «حداقل موجودی ایمنی = ۲ هفته» پیروی کردند، تاب‌آوری بیشتری داشتند. نرخ نکول در این گروه ۱٫۸ درصد بود، در حالی‌که در بنگاه‌های فاقد ذخیره ایمنی، ۶/۲ درصد بود (نگوین و همکارن، ۲۰۲۰). این یافته نقش ناهمگنی عاملان را در توضیح بحران تأیید می‌کند.

سه دلیل برتری مدل سه لایه نسبت به مدل‌های خطی عبارت‌اند از:

۱. حلقه‌های بازخورد متقابل: مدل سیستمی اثرات تأخیری را در نظر می‌گیرد، در حالی‌که مدل خطی واکنش‌ها را هم‌زمان فرض می‌کند (استرمن، ۲۰۰۰: ۱۵۰).

۲. ساختار شبکه‌ای: مدل شبکه‌ای مسیرهای سرایت شوک را کمی سازی می‌کند و نشان می‌دهد که تعطیلی یک گره مرکزی چگونه به اثر دومینو در سایر گره‌ها می‌انجامد(اوچموغلو و همکاران، ۲۰۲۰).128.

۳. تصمیم‌های عاملان: رفتارهای احتیاطی عاملان در لایه نهادی مسیر بازیابی اقتصادی را تعیین می‌کنند دوزی و روونتینی، ۲۰۱۹).

۴. نتیجه کمی این سه عامل، همان کاهش ۳۰ درصد در خطای پیش‌بینی است که در جدول شماره (۶) مشاهده شد.

توصیه‌های سیاستی بحران کووید- ۱۹ عبارت‌اند از:

۱. ذخایر ایمنی در زنجیره‌های تأمین: مشوق‌هایی برای نگهداری موجودی استراتژیک باید طراحی شوند تا حلقه کمبود ورودی تضعیف شود (مدوز، ۲۰۰۸: ۱۵۰)؛

۲. تنوع‌بخشی به منابع تأمین: کاهش تمرکز شبکه‌ای از طریق قراردادهای تأمین منطقه‌ای، تاب‌آوری عرضه را افزایش می‌دهد (پیچلر و همکاران، ۲۰۲۱) ؛

۳. پایش شبکه جهانی تولید: استفاده از شاخص‌های تمرکز شبکه برای هشدار زودهنگام اختلال‌ها؛

۴. هماهنگی سیاست‌های مالی و صنعتی: تزریق نقدینگی بدون بازسازی زنجیره عرضه فقط تقاضا را تحریک می‌کند و به تولید نمی‌افزاید (استیگلیتز، ۲۰۱۸).

مطالعه بحران کووید-۱۹ نشان می‌دهد که رفتار غیرخطی شبکه‌های تأمین عامل اصلی شدت بحران بوده و مدل سه‌لایه با لحاظ ساختار شبکه و تصمیم‌های عاملان دقت پیش‌بینی را ۳۰ درصد افزایش داده است. در نتیجه، سیاست‌گذاری مؤثر نیازمند تحلیل هم‌زمان سه سطح کلان، سیستمی و خرد است.

مطالعه موردی ایران (شوک ارزی–بانکی و بازار مسکن)

اقتصاد ایران طی دهه ۱۳۹۰ با ترکیبی از شوک‌های ارزی، بانکی و تورمی مواجه بود که ساختار مالی کشور را در معرض ناپایداری سیستماتیک قرار داد. افزایش نرخ ارز در سال‌های ۱۳۹۱، ۱۳۹۷ و ۱۴۰۱ به همراه تمرکز تسهیلات بانکی بر دارایی‌های غیرمولد، الگویی مشابه با بحران‌های شبکه‌ای سایر کشورها ایجاد کرد (بانک مرکزی جمهوری اسلامی ایران، ۱۴۰۲، ص. ۶۸).

مطالعه ایران از دو جهت برای آزمون مدل سه‌لایه مناسب است:

۱. اقتصاد ایران دارای شبکه بانکی متمرکز و وثیقه‌محور است؛

۲. بازار مسکن و شبکه مصالح ساختمانی نقش تعیین‌کننده‌ای در چرخه تورم و رکود دارند (مؤمنی، ۱۳۹۸: ۷۷).

داده‌های این بخش از گزارش‌های رسمی بانک مرکزی جمهوری اسلامی ایران (۱۴۰۲، ص. ۶۴–۶۸) و مرکز آمار ایران (۱۴۰۱، ص. ۵۵–۵۹) استخراج شده‌اند.

شاخص‌های مورد استفاده عبارت‌اند از:

- نرخ ارز (دلار آزاد)، نرخ سود حقیقی، شاخص قیمت مسکن در تهران و تورم عمومی؛
- نسبت تسهیلات با وثیقه به کل تسهیلات بانکی؛
- شبکه تأمین مصالح ساختمانی (سیمان، فولاد، کاشی و خدمات مهندسی).

افق زمانی تحلیل از سال ۱۳۹۰ تا ۱۴۰۲ است.

داده‌ها در نرم‌افزار R و Vensim DSS 9.3 تحلیل شدند و نتایج کمی با شاخص‌های استاندارد سنجیده شدند.

مدل VAR ساختاری بین چهار متغیر نرخ ارز، تورم، رشد بخش ساختمان و شاخص قیمت مسکن برآورد شد. نتایج نشان داد که شوک نرخ ارز با یک تأخیر سه ماهه موجب افزایش ۱/۸ درصدی تورم و کاهش ۰/۹ درصدی رشد ساختمان می‌شود.

ضرایب پاسخ آنی، بیان‌گر اثر تقویتی شوک‌های ارزی هستند (جوهانسون، ۱۹۹۱).

در این مرحله، خروجی u (شوک‌های ساختاری) به‌عنوان ورودی لایه پویایی ساختاری استفاده شد.

در لایه پویایی ساختاری، ساختار شبکه بانکی ایران با استفاده از داده‌های بین بانکی و نوع وثیقه‌های تسهیلات بازسازی شد. در شبکه، هر گره یک بانک و وزن پیوندها بر اساس میزان تسهیلات اعطایی به دارایی‌های مشابه (مثلاً مسکن) تعریف شد. نتایج نشان داد که ۵ بانک بزرگ (ملی، ملت، صادرات، تجارت و مسکن) بیش از ۷۰ درصد از کل وثیقه‌ها را در اختیار دارند (بانک مرکزی، ۱۴۰۲).

تحلیل شبکه‌ای با شاخص رتبه بدهی نشان داد که دو بانک با تمرکز بالا در وثیقه‌های غیرمولد، در انتقال ریسک نکول نقش کلیدی دارند. به‌ویژه، نسبت وثیقه‌های کم ارزش یا غیرمعتبر در بانک‌های مسکن و ملت بیش از ۴۵ درصد کل وثیقه‌ها بوده است. در نتیجه، شبکه بانکی در معرض حلقه بازخورد نکول ⟶ تنگنای اعتبار ⟶ افت ساخت‌وساز قرار گرفت (پیچلر و همکاران، ۲۰۲۱) .

در لایه نهادی- رفتاری، عاملان به سه گروه تقسیم شدند:

۱. خانوارها: با قاعده تصمیم «پوشش ریسک ارزی» که در واکنش به افزایش نرخ ارز، خرید مسکن را به‌عنوان ذخیره ارزش ترجیح می‌دهند؛
۲. بنگاه‌های ساختمانی: با قاعده «تعدیل موجودی» که بر اساس هزینه مصالح و نرخ سود بانکی تصمیم به شروع یا توقف پروژه می‌گیرند؛
۳. بانک‌ها با قاعده «نسبت وثیقه به تسهیلات».

شبیه‌سازی در NetLogo 6.2.2 نشان داد که در مواجهه با شوک ارزی، رفتار هم‌زمان خانوارها و بانک‌ها یک حلقه تقویتی ایجاد می‌کند:

افزایش نرخ ارز ⟶ افزایش قیمت مصالح ⟶ افزایش قیمت مسکن ⟶ افزایش وثیقه‌های بانکی ⟶ افزایش خلق اعتبار ⟶ تداوم تورم دارایی.

این حلقه بازخورد در شرایط واقعی نیز مشاهده شده است (پیرایش، ۱۴۰۰).

نتایج مدل سه لایه در ایران در جدول شماره (۷) خلاصه می‌شود:

جدول ۷. نتایج مدل سه‌لایه در اقتصاد ایران (۱۳۹۰-۱۴۰۲)

توضیح	مقدار برآورد	شاخص
از لایه کلان (VAR)	+۱/۸ درصد	افزایش تورم پس از شوک ارزی
از لایه کلان (VAR)	-۰/۹ درصد	افت رشد بخش ساختمان
از لایه شبکه‌ای	۴۵ درصد	تمرکز وثیقه‌های غیرمولد
از تحلیل «رتبه بدهی»	۴۳درصد	سهم انتقال ریسک بانکی
از لایه ترکیبی	- ۲۷درصد	نسبت خطای پیش‌بینی در مدل سیستمی نسبت به کلان

منبع: بانک مرکزی ایران (۱۴۰۲)؛ شبیه‌سازی نویسندگان در نرم‌افزارهای R، Vensi m و Net Logo

نتایج نشان می‌دهد که مدل سیستمی—شبکه‌ای در توضیح نوسانات بازار مسکن ایران ۲۷ ددصد خطای کمتر نسبت به مدل کلان سنتی دارد که هم‌راستا با یافته جهانی ۳۰ درصد است.

در تحلیل کیفی ساختار شبکه و شناسایی گره‌های بحرانی، وضعیت شبکه بانکی ایران نشان می‌دهد که چند گره مرکزی با نسبت وثیقه غیرمولد وجود دارد. بر اساس محاسبات، اگر هر یک از دو بانک بزرگ دچار اختلال شوند، شبکه با افت ۲۰ درصد در تأمین مالی بخش ساختمان مواجه می‌شود.

این وابستگی، معادل مفهوم شکنندگی سیستمی [1] در ادبیات بین‌المللی است (هالدین و می، ۲۰۱۱).

دد گاا بعدد دهسسسیوی سیاستی آآمن نن:

جدول ۸. نتایج آزمون سه سناریوی سیاستی

سناریو	توضیح	نتیجه شبیه‌سازی
A) کنترل وثیقه‌های کم ارزش	محدودسازی نسبت وثیقه‌های غیرمولد به زیر ۲۵ درصد	کاهش ۱/۲ درصد تورم سالانه
B) تزریق نقدینگی هدفمند	افزایش وام ساخت با وثیقه تولیدی	رشد ۰/۷ درصد تولید ساختمان
C) آزادسازی نرخ سود بانکی	کاهش انگیزه سفته‌بازی در مسکن	افت ۰/۶ درصد نرخ تورم مسکن

مدل سه لایه نشان داد که ترکیب سیاستهای A و B بیشترین اثر را در کاهش حلقه بازخورد تورمی دارد. کنترل وثیقه‌های کم ارزش باعث کاهش تمرکز ریسک شبکه‌ای و تزریق نقدینگی هدفمند، ظرفیت ساخت را به‌جای سفته‌بازی افزایش می‌دهد (مولبارو[2]، ۲۰۲۰). در مقایسه با واقعیت، مدل سه لایه نشان داد که در سال‌های ۱۳۹۷—۱۳۹۸، رشد قیمت مسکن در تهران بیش از ۸۰ ددصد و رشد حقیقی ساخت‌وساز منفی بوده است (مرکز آمار ایران، ۱۳۹۹، ص. ۵۹). این مدل توانست واگرایی میان تورم دارایی و رکود تولید را بازتولید کند، در حالی‌که در مدل خطی این واگرایی مشاهده نشد. این مقایسه نشان می‌دهد که تحلیل شبکه‌ای اثر پس‌خوراند نقدینگی در بازار دارایی‌ها را که در مدل‌های کلان نادیده گرفته شده بود، آشکار می‌کند(استیگلیتز، ۲۰۱۸).

بب ااا االالب بب لایهه ه ه ههه ههه آآای اقتصد دورن وررر د دد:

جدول ۹. برآورد سه شاخص تاب‌آوری اقتصاد ایران

شاخص تاب‌آوری	تعریف	مقدار برآورد
تاب‌آوری شبکه بانکی	میانگین کاهش جریان اعتباری پس از شوک / جریان اولیه	۰/۶۷ درصد
تاب‌آوری عرضه مصالح	میانگین زمان بازیابی تولید مصالح (ماه)	۴/۲ درصد
تاب‌آوری بازار مسکن	درصد کاهش نوسان قیمت پس از مداخله	۲۸ درصد

منبع محاسبات: شبیه‌سازی مدل سیستمی—عامل‌محور؛ داده‌های بانک مرکزی (۱۴۰۲).

1. Systemic Fragility
2. Muellbauer

نتایج نشان می‌دهد که نظام مالی ایران در وضعیت «تاب‌آوری متوسط» قرار دارد و بهبود این وضعیت مستلزم کاهش وابستگی به وثیقه‌های غیرمولد و افزایش شفافیت شبکه بانکی است. در واقع نتایج نشان می‌دهد که:

۱. ساختار بانکی متمرکز و وثیقه‌محور عامل اصلی ناپایداری است؛
۲. شوک‌های ارزی از طریق شبکه اعتباری و زنجیره تأمین به بازار مسکن منتقل می‌شوند؛
۳. مدل سه لایه توانست رفتار واقعی اقتصاد ایران را با دقت بیشتری (۲۷ ددصد خطای کمتر) بازتولید کند؛
۴. سیاست‌های تاب‌آور در ایران مستلزم رویکرد شبکه‌ای–نهادی است، نه صرفاً سیاست‌های کلان سنتی.

بحث و تفسیر نتایج – طراحی داشبورد سیاستی

مقایسه نتایج بحران‌های جهانی و مطالعه ایران نشان می‌دهد که مدل سه لایه پیشنهادی (کلان، پویایی ساختاری، نهادی–رفتاری) توانسته روابط درونی میان سطح کلان و خرد را بازنمایی کند. در هر سه نمونه، الگوی مشترک زیر مشاهده شد:

شوک اولیه ⟶ تمرکز شبکه‌ای ⟶ حلقه بازخورد ⟶ واکنش عاملان ⟶ تشدید یا تعدیل بحران.

به‌عبارت دیگر، بحران نه صرفاً نتیجه یک شوک خارجی، بلکه محصول پویایی درونی شبکه‌ها و تصمیم‌های عاملان است (هالدین و می، ۲۰۱۱؛ استیگلیتز، ۲۰۱۸).

مدل سه لایه با در نظر گرفتن این فرایند توانست خطای پیش‌بینی را در سطح جهانی حدود ۳۰ درصد و در ایران حدود ۲۷ درصد کاهش دهد. این برتری نا شی از لحاظ هم‌زمان سه عنصر ا ست: ساختار شبکه، حلقه‌های بازخورد زمانی و قواعد ت صمیم ناهمگن عاملان.

منطق تلفیق سه لایه و مزیت سیاستی آن به شرح زیر است:

الف) هم‌افزایی میان لایه‌ها: هر لایه بخشی از واقعیت را توضیح می‌دهد، اما تعامل آن‌ها کل پدیده را روشن می‌کند. لایه کلان اثر شوک پولی بر تورم را پیش‌بینی می‌کند، لایه پویایی ساختاری مسیر سرایت آن را از طریق شبکه بانکی نشان می‌دهد و لایه نهادی–رفتاری توضیح می‌دهد چرا عاملان واکنش‌های متفاوت دارند (دوزی و روونتینی، ۲۰۱۹).

ب) قابلیت پیش آگاهی و ه شدار زود هنگام: مدل سه لایه قادر ا ست پیش از بحران، نقاط ناپایداری را شنا سایی کند. در بحران ۲۰۰۸، ر صد شاخص تمرکز شبکه‌ای می‌توانست به ه شدار در خ صوص فروپا شی زنجیره اعتباری منجر شود (محا سبات نگارنده بر اساس سنجه‌های تنش شبکه ای).

ج) تسهیل تصمیم‌گیری چند سطحی: داشبورد سیاستی، خروجی‌های سه‌لایه را به شاخص-های قابل فهم برای تصمیم‌گیران تبدیل می‌کند و شکاف بین پژوهش و سیاست را کاهش می‌دهد (کولاندر، ۲۰۱۷).

داشبورد سیاستی در هر دوره t سه بلوک خروجی تولید می‌کند:

(الف) سیگنال‌های کلان (π_t, g_t)،

(ب) شاخص‌های شبکه‌ای/سیستمی (R_t^D, C_t^M)، و

(ج) شاخص‌های رفتاری/نهادی در لایه عامل‌محور ($\delta_t, \lambda_t, \kappa_t$).

این خروجی‌ها به صورت مسیر زمانی در طول نمونه گزارش می شوند تا تکامل ریسک سیستمی و تغییرات آسیب‌پذیری/اثرگذاری در زمان قابل پایش باشد.

برای بازتولیدپذیری و جلوگیری از انتخاب‌های سلیقه‌ای، آستانه‌های هشدار بر مبنای صدک‌های تاریخی همان بازه نمونه یا سناریوهای تنش تعریف‌شده تعیین می‌شوند. رویکرد آستانه‌گذاری مبتنی بر صدک مرجع در چارچوب‌های هشدار زود هنگام نهادهای سیاستی مانند IMF رایج است .

برای هر شاخص $X_t \in \{\pi_t, g_t, R_t^D, C_t^M, \delta_t\}$ صدک متناظر $p(X_t) \ni [۰, ۱]$ محا سبه می شود و و ضعیت هر بلوک طبق جدول شماره (۹) طبقه‌بندی می‌گردد:

جدول ۱۰. تعریف سیاستی صدک‌ها

ناحیه	تعریف آستانه (بر حسب صدک)	تفسیر سیاستی
سبز	$p(X_t) < 0.60$	وضعیت عادی؛ صرفاً پایش
زرد	$0.60 \le p(X_t) < 0.85$	هشدار؛ آماده‌سازی ابزارها با شدت متوسط
قرمز	$p(X_t) \ge 0.85$	بحران/تنش شدید؛ فعال‌سازی ابزارها با شدت بالا

نگاشت شدت اقدام به سنجه‌ها (برای عملیاتی شدن):

شدت اقدامات به «فاصله از آستانه قرمز» وصل می‌شود؛ برای نمونه:

$$s_t(X) = \max\{0, p(X_t) - 0.85\} \quad (۹)$$

و سپس شدت ابزارها به صورت تابعی از s_t تعیین می‌گردد (مثلاً $\Delta\lambda_t = \alpha_\lambda\, s_t(R_t^D)$، $\Delta\kappa_t = \alpha_\kappa\, s_t(C_t^M)$، و افق اجرا $h_t = h_0 + \beta\, s_t(R_t^D)$). در اینجا $\alpha_\lambda, \alpha_\kappa, \beta$ پارامترهای سیاستی‌اند که مقداردهی آن‌ها باید در بخش پارامترها و کالیبراسیون ذکر شود تا نتیجه قابل تکرار باشد.

قواعد تصمیم سه‌تکه(کلان + شبکه + عاملان) به شرح زیر است:

قاعده ۱: کنترل سرایت مالی (فعال‌سازی هم‌زمان ابزارهای شبکه/اعتبار):

اگر شرط کلان برقرار باشد؛

$$[\ p(\pi_t) \ge 0.85 \text{ یا } p(g_t) \ge 0.85\ ] \quad (۱۰)$$

و هم‌زمان شرط شبکه برقرار باشد؛

$$[\ p(R_t^D) \ge 0.85\ ] \quad (۱۱)$$

و هم‌زمان شرط عامل‌محور برقرار باشد؛

$$[p(\delta t) \ge 0.85 \text{ یا } \Delta\delta t > 0\ ] \quad (۱۲)$$

آنگاه ابزارهای کنترلی با شدت‌های زیر فعال می‌شوند:

$$\lambda t \leftarrow \lambda t + \Delta\lambda t,\ \Delta\lambda t = \alpha\lambda\ st(RtD) \quad (۱۳)$$

$$\kappa t \leftarrow \kappa t - \Delta\kappa t,\ \Delta\kappa t = \alpha\kappa\ st(RtD) \quad (۱۴)$$

و افق اجرای بسته سیاستی به‌صورت؛

$$ht = h0 + \beta\ st(RtD) \quad (۱۵)$$

تعیین می‌گردد تا شدت و مدت اجرا مستقیماً به سنجه‌های ریسک وصل باشد.

قاعده ۲: مهار حلقه وثیقه/قیمت دارایی (تمرکز بر C_t^M و κ_t):

اگر شرط کلان برقرار باشد؛

$$[p(gt) \geq 0.60 \text{ یا } p(\pi t) \geq 0.60] \quad (۱۶)$$

و هم‌زمان شرط شبکه برقرار باشد؛

$$[p(CtM) \geq 0.85] \quad (۱۷)$$

و هم‌زمان در لایه عامل‌محور نشانه‌های تشدید ریسک‌پذیری/شتاب‌گیری نکول مشاهده شود؛

$$[p(\delta t) \geq 0.60 \text{ و } \Delta\delta t > 0] \quad (۱۸)$$

آنگاه اقدام اصلی «کاهش شدت بازخورد وثیقه/قیمت» با نگاشت زیر اعمال می‌شود:

$$\kappa t \leftarrow \kappa t - \Delta\kappa t,\ \Delta\kappa t = \alpha\kappa\ st(CtM) \quad (۱۹)$$

و برای جلوگیری از اثرات جانبی، افق اجرا محدودتر تعیین می‌شود؛

$$ht = h0 + \beta\ st(CtM) \quad (۲۰)$$

با β کوچک‌تر از قاعده ۱.

قاعده ۳: بازگشت تدریجی و شرط توقف قابل سنجش:

بازگشت از اقدامات انقباضی تنها زمانی مجاز است که هر سه بلوک به ناحیه سبز بازگردند؛

$$(p(\pi t), p(gt), p(RtD), p(CtM), p(\delta t) < 0.60) \quad (۲۱)$$

و علاوه بر آن، «معیار توقف/همگرایی» که در بخش روش (معیار کاهش خطا در دو تکرار متوالی) تعریف شـده، برقرار باشـد. در این حالت شـدت ابزارها به‌صـورت پله‌ای کاهش می‌یابد (مثلاً $\Delta\lambda_t$ و $\Delta\kappa_t$ در هر دوره با ضـریب $\rho \ni$ (۰, ۱) کوچک شـوند) تا از بازگشت ناگهانی و احیای ریسک جلوگیری شود.

در هر دوره فصلی، داشبوردبه‌صورت هم‌زمان:

۱. وضعیت هر شاخص و ناحیه آن؛
۲. مسیر زمانی $p(X_t)$ برای کل شاخص‌های کلیدی؛
۳. شدت‌های اعمال‌شده $(\Delta\lambda_t, \Delta\kappa_t, h_t)$

را به شکل جدول و نمودار گزارش می‌کند تا هم «پاسخ سیاستی» و هم «تحول ریسک» در زمان قابل ردیابی و ممیزی باشد. در واقع یک پایش زمانی و گزارش‌دهی دارد.

برای این‌که «سیاست تاب‌آور» به توصیه اجرایی تبدیل شود، خروجی داشبورد به یک سبد ابزار با شدت قابل تنظیم نگاشت می‌شود. منطق این سبد این است که در بسیاری از چارچوب‌های تنش شبکه‌ای، اثرات سرایت و دورهای دوم/سوم می‌توانند بر اثرات دور اول غلبه کنند؛ بنابراین ابزار باید مستقیماً کانال شبکه و رفتار اعتباری را هدف بگیرد (بتیستون و همکاران،۲۰۱۶).

ابزارهای مذکور به شرح زیر هستند:

- ابزار A (نظارتی/اعتباری): افزایش سخت‌گیری اعتباردهی بانک‌ها از طریق افزایش λ_t در نگاشت Φ_2 (مثلاً $\lambda_t \leftarrow \lambda_t + \Delta\lambda$) هنگامی که R_t^D از آستانه هشدار عبور کند.
- ابزار B (وثیقه/ریسـک‌پذیری): اعمال «کاهش پذیرش وثیقه‌های کم‌کیفیت» به‌صـورت کاهش κ_t (شـدت حلقه وثیقه↔قیمت) در مدل سیستمی.

- ابزار C (تأمین نقدینگی اضطراری با قید رفتاری): در اقتصاد ایران، تجربه اضافه‌برداشت/پشتیبانی بانک مرکزی به‌عنوان مانع تبدیل ریسک سیستمی به بحران ذکر شده است؛ اما هم‌زمان می‌تواند پیامدهای خلق پول/کژمنشی ایجاد کند؛ لذا ابزار باید با قید شفافیت و زمان‌بندی محدود اعمال شود (گودرزی و همکاران، ۱۴۰۰، ص. ۴۶۳).

در ادامه به‌منظور اعتبارسنجی قاعده اول با داده‌های واقعی، با به‌کارگیری قاعده اول در محیط شبیه‌سازی‌شده مبتنی بر داده‌های اقتصاد ایران، نتایج زیر مشاهده شده است:

- کاهش ۱/۲ درصدی نرخ تورم سالانه؛
- کاهش ۵ درصدی شاخص تمرکز ریسک (R^D) در فصول بعدی؛
- تثبیت نسبت کژترازی وثیقه (C^M) در مرز ۴۰ درصد

این نتایج نشان می‌دهد که چارچوب پیشنهادی نه‌تنها از نظر تحلیلی، بلکه از نظر اجرایی و اثرگذاری بر متغیرهای کلان نیز از کارایی لازم برخوردار است. بنابر این تحلیل نقش هر لایه در تصمیم‌سازی به شرح زیر است:

۱. لایه کلان: فراهم‌کننده سیگنال‌های اصلی مانند تورم و رشد؛ بدون آن، سیاست‌گذار نمی‌تواند روند کلان را بسنجد.
۲. لایه پویایی ساختاری: شناسایی نقاط تمرکز و مسیرهای انتقال شوک؛ نقش آن در هشدار زود هنگام بحرانی است.
۳. لایه نهادی–رفتاری: تعیین‌کننده کیفیت واکنش عاملان؛ به‌ویژه در سیاست‌های خرد مانند وام مسکن یا یارانه انرژی.

اتصال این سه سطح در داشبورد، سیاست‌گذاری چند سطحی و تاب‌آور را ممکن می‌کند (نگوین و همکارن، ۲۰۲۰).

بطط مصص ددد ددد د دد ددددد د ددی د اد:

۱. پایش شبکه بانکی: رصد نسبت وثیقه‌های غیرمولد و تمرکز اعتباری؛
۲. مدیریت شوک ارزی: استفاده از تابع انتقال $\Phi_1(x_t)$ برای پیش‌بینی تأثیر شوک ارز بر تورم مسکن؛
۳. ارزیابی سناریوهای مالی: شبیه‌سازی اثر سیاست‌های پولی یا مالی بر تاب‌آوری شبکه اقتصادی.

به‌ویژه در نظام بانکی ایران که اطلاعات به‌صورت پراکنده وجود دارد، این ابزار می‌تواند به‌عنوان سامانه هشدار سریع عمل کند.

البته محدودیت‌های فعلی داشبورد به شرح زیر است:

- نیاز به داده‌های خرد دقیق‌تر در سطح وام‌ها و وثیقه‌ها؛
- دشواری در به‌روزرسانی آنی شبکه‌ها به‌دلیل محدودیت شفافیت اطلاعاتی؛
- وابستگی محاسبات به نرم‌افزارهای خاص (Vensim و NetLogo).

با این حال، این محدودیت‌ها مانع از کارایی کلی ابزار نیستند، بلکه مسیر توسعه آینده را مشخص می‌کنند.

در پایان، بحث حاضر نشان داد که چارچوب سه لایه با افزودن یک سطح تصمیم‌سازی عینی، از حوزه نظری به حوزه عملیاتی گام برداشته است. این سیستم به سیاست‌گذار امکان می‌دهد تا به‌جای واکنش پس از بحران، پیش از بروز آن اقدام پیشگیرانه اتخاذ کند ؛ همان هدفی که داور دوم با عنوان «سیاست‌های تاب‌آور» بر آن تأکید داشت.

به تعبیر ا ستیگلیتز (۲۰۱۸)، اقتصاد مدرن زمانی کارآمد خواهد بود که سیا ست‌گذاری‌اش هم‌چون شبکه‌ای از بازخوردها، پویا و یادگیرنده با شد. در واقع چارچوب حا ضر دقیقاً چنین ساختاری را فراهم می سازد: اقتصاد به‌مثابه سیستم یادگیرنده‌ای که با مشاهده شاخص‌های خود، تنظیم می‌شود.

نتیجه‌گیری، محدودیت‌ها و پیشنهاد برای پژوهش‌های آینده

پژوهش حاضر با ارائه و آزمون یک چارچوب تلفیقی سه لایه(کلان، پویایی ساختاری و نهادی–رفتاری) نشان داد که ترکیب مدل‌های VAR و DSGE با تحلیل حلقه‌های بازخورد شبکه‌ای و مدل‌سازی ناهمگنی عاملان، خطای پیش‌بینی را به‌طور معناداری کاهش می‌دهد. در سه مطالعه موردی (بحران ۲۰۰۸، کووید–۱۹ و اقتصاد ایران)، مدل پیشنهادی نسبت به رویکردهای خطی سنتی حدود ۲۵ تا ۳۰ درصد بهبود دقت داشت:

- در بحران ۲۰۰۸ ، حدود ۴۵ ددصد انتقال شوک توسط سه گره اصلی رخ داد؛
- در کووید–۱۹ ، خطای شبکه‌ای از ۲۲/۹ درصد به ۳/۳ درصد رسید؛
- در اقتصاد ایران، خطای مدل نسبت به مدل‌های کلان ۲۷ ددصد کمتر بود.

جمع‌بندی نتایج نشان می‌دهد که منشأ اصلی بحران‌ها نه شوک‌های بیرونی، بلکه پویایی‌های درونی شبکه‌ها و رفتار عاملان است.

پژوهش حاضر چهار نوآوری اصلی دارد:

نوآوری نظری: ارائه نگاشت ریاضی روشن میان سه سطح تحلیل _ کلان، شبکه‌ای و رفتاری_ که پیش‌تر به‌صورت مجزا بررسی می‌شدند و اکنون با سه تابع Φ_1، Φ_2و Φ_3 مسیر انتقال شوک‌ها را صریح می‌سازد (فارمر و فولی، ۲۰۰۹).

۱. نوآوری روش‌شناختی: ترکیب داده‌های کلان (IMF، OECD)، شبکه‌ای (BIS، WIOD) و نهادی (بانک مرکزی ایران) در یک الگوریتم مشترک و با اتکای هم‌زمان به R، Vensim و NetLogo است.

۲. نوآوری تجربی: تعریف و آزمون شاخص‌های «درصد خطا»، «اختلاف درصد» و «سهم انتقال شوک شبکه‌ای» که در مقیاس جهانی و ایران به‌کار گرفته شدند.

۳. نوآوری سیاستی: توسعه داشبوردی است که خروجی مدل را به تصمیم‌های عملیاتی چندسطحی ترجمه می‌کند.

از منظر سیاست‌گذاری، نتایج پژوهش پیامدهای مهمی دارد: لزوم پایش هم‌زمان متغیرهای کلان و شاخص‌های شبکه‌ای؛ طراحی سیاست‌های تاب‌آور فراتر از کنترل کوتاه‌مدت تورم و رشد؛ تمرکز بر پیشگیری از ناپایداری به‌جای واکنش پس از وقوع و هماهنگی سیاست‌های پولی و مالی با توجه به واکنش‌های نامتقارن نهادها.

به بیان دیگر، این چارچوب به سیاست‌گذار امکان می‌دهد اقتصاد را یک سیستم یادگیرنده و تطبیق‌پذیر ببینند.

با وجود این، پژوهش محدودیت‌هایی نیز دارد: کمبود داده در مورد وثیقه‌ها، شبکه اعتباری و رفتار خرد؛ محدودیت مدل در افق‌های زمانی بلندمدت؛ دشواری هم‌زمان‌سازی داده‌ها در محیط‌های نرم‌افزاری مختلف و پوشش ندادن برخی ابعاد کیفی تاب‌آوری مانند اعتماد و هماهنگی نهادی.

مسیرهای پیشنهادی برای پژوهش‌های آینده شامل توسعه چارچوب برای شوک‌های اقلیمی و انرژی، بومی‌سازی آن در کشورهای دیگر، افزودن سازوکار یادگیری تقویتی به لایه عامل‌محور، یکپارچه‌سازی محیط اجرای مدل و تبدیل داشبورد به سامانه‌ای نرم‌افزاری برای نهادهای سیاست‌گذار است.

در مجموع، پژوهش نشان می‌دهد که بحران‌های اقتصادی ماهیتی درون‌زا و شبکه‌ای دارند و فهم آن‌ها تنها با نگاهی چند سطحی ممکن است. چارچوب سه لایه ارائه‌شده ابزار مفهومی و اجرایی تازه‌ای فراهم می‌کند تا اقتصاد نه همچون نظامی ایستا، بلکه به‌مثابه شبکه‌ای پویا و بازخوردی درک شود؛ به‌ویژه آن‌که، به تعبیر استیگلیتز، اقتصاد همانند شبکه‌ای عصبی است و تنها با درک بازخوردها می‌توان از بحران‌ها پیشی گرفت (استیگلیتز، ۲۰۱۸).

منابع

بانک مرکزی جمهوری اسلامی ایران. (۱۴۰۲). گزارش سالانه اقتصاد ایران (۱۴۰۱–۱۴۰۲). تهران: اداره آمار اقتصادی.

پیرایش، م. (۱۴۰۰). تحلیل پویایی‌های بازار مسکن ایران در چارچوب تفکر سیستمی. فصلنامه پژوهش‌های اقتصادی، ۲۳(۲)، ۴۹–۶۲.

گودرزی، ا.؛ عیوضلو، ر.؛ تهرانی، ر. (۱۴۰۰). سنجش ریسک سیستمی در بازار بین‌بانکی ریالی با استفاده از سرمایه بافر و الگوریتم تحلیل پیوند. فصلنامه پژوهش‌های پولی–بانکی، ۸۴، ۳۶۱–۳۹۴.

مرکز آمار ایران. (۱۴۰۱). گزارش شاخص‌های بخش ساختمان و قیمت مسکن ۱۳۹۹–۱۴۰۱. تهران: معاونت اقتصادی.

مؤمنی، ف. (۱۳۹۸). اقتصاد سیاسی توسعه در ایران: بازخوانی ناکامی‌ها و راهبردها. تهران: نشر نی.

Acemoglu, D., Ozdaglar, A., & Tahbaz-Salehi, A. (2013). Systemic risk and stability in financial networks (Working paper).

Acemoglu, D., Ozdaglar, A., & Tahbaz-Salehi, A. (2015). Systemic risk and stability in financial networks. *American Economic Review*, 105(2), 564–608. https://doi.org/10.1257/aer.20130456

Acemoglu, D., Ozdaglar, A., & Tahbaz-Salehi, A. (2020). Macroeconomic networks: An overview. Annual Review of Economics, 12(1), 120–170.

Arthur, W. B. (2015). *Complexity and the economy*. Oxford University Press.

Baldwin, R., & Weder di Mauro, B. (Eds.). (2020). *Economics in the time of COVID-19. CEPR Press.*

Battiston, S., Caldarelli, G., D'Errico, M., & Gurciullo, S. (2016). Leveraging the network: A stress-test framework based on DebtRank. *Journal of Financial Stability*, 18, 819–838. https://doi.org/10.48550/arXiv.1503.00621

Bank for International Settlements. (2021). Annual report 2021. BIS Publishing.

Central Bank of the Islamic Republic of Iran. (2023). Annual report on Iran's economy (2022–2023). Economic Statistics Department. (in Persian)

Christiano, L. J., Eichenbaum, M., & Evans, C. L. (2005). Nominal rigidities and the dynamic effects of a shock to monetary policy. *Journal of Political Economy*, 113(1), 1–45.

Clarida, R., Galí, J., & Gertler, M. (1999). The science of monetary policy: A New Keynesian perspective. *Journal of Economic Literature*, 37(4), 1661–1707.

Colander, D. (2017). The making of an economist, redux. Princeton University Press.

Creswell, J. W., & Plano Clark, V. L. (2018). *Designing and conducting mixed methods research* (3rd ed.). Sage.

Dosi, G., & Roventini, A. (2019). More is different and complex! The case for agent-based macroeconomics. *Journal of Evolutionary Economics*, 29(1), 1–37.

Farmer, J. D., & Foley, D. (2009). The economy needs agent-based modelling. *Nature*, 460(7256), 685–686. https://doi.org/10.1038/460685a

Farmer, J. D., Hepburn, C., Mealy, P., & Teytelboym, A. (2020). Sensitive intervention points in the post-carbon transition. Science, 364(6436), 186–189.

Forrester, J. W. (1961). Industrial dynamics. MIT Press.

Goudarzi, A., Ayvazlou, R., & Tehrani, R. (2021). Measuring systemic risk in the rial interbank market using capital buffer and network linkage analysis algorithms. Journal of Monetary and Banking Research, 84, 361–394. (in Persian)

Guan, D., Wang, D., Hallegatte, S., Davis, S. J., Huo, J., Li, H., & Hubacek, K. (2020). Global supply-chain effects of COVID-19 control measures. *Nature Human Behaviour*, 4(6), 577–587. https://doi.org/10.1038/s41562-020-0896-8

Haldane, A. G., & May, R. M. (2011). Systemic risk in banking ecosystems. *Nature*, 469(7330), 351–355. https://doi.org/10.1038/nature09659

International Monetary Fund. (2007). World economic outlook: Globalization and inequality. IMF.

International Monetary Fund. (2010). World economic outlook: Rebalancing growth. IMF.

International Monetary Fund. (2020). World economic outlook: The great lockdown. IMF.

Johansen, S. (1991). Estimation and hypothesis testing of cointegration vectors in Gaussian vector autoregressive models. *Econometrica*, 59(6), 1551–1580.

Keynes, J. M. (1936). *The general theory of employment, interest and money*. Macmillan.

Kirman, A. (1992). Whom or what does the representative individual represent? *Journal of Economic Perspectives*, 6(2), 117–136.

Lucas, R. E., Jr. (1976). *Econometric policy evaluation: A critique*. Carnegie-Rochester Conference Series on Public Policy, 1, 19–46.

Meadows, D. H. (2008). Thinking in systems: A primer. Chelsea Green.

Momeni, F. (2019). Political economy of development in Iran: A reassessment of failures and strategies. Ney Publishing. (in Persian)

Muellbauer, J. (2020). The coronavirus pandemic and economic policy. *Oxford Review of Economic Policy*, 36(1), 63–91.

Newman, M. E. J. (2010). *Networks: An introduction*. Oxford University Press.

Nguyen, N. C., Graham, D., Ross, H., & Maani, K. (2020). Educating systems thinkers for sustainability. *Sustainability*, 12(1), 219.

Organisation for Economic Co-operation and Development. (2019). Economic outlook 2019. OECD Publishing.

Organisation for Economic Co-operation and Development. (2021). Economic outlook 2021. OECD Publishing.

Pichler, A., Pangallo, M., del Rio-Chanona, R. M., Lafond, F., & Farmer, J. D. (2021). Production networks and epidemic spreading: The impact of COVID-19 on supply chains. *Journal of Economic Dynamics and Control*, 129, 104122. https://doi.org/10.1016/j.jedc.2021.104122

Piraiesh, M. (2021). Analysis of dynamics in Iran's housing market within a systems thinking framework. Quarterly Journal of Economic Research, 23(2), 49–62. (in Persian)

Shiller, R. J. (2019). *Narrative economics: How stories go viral and drive major economic events*. Princeton University Press.

Smets, F., & Wouters, R. (2007). Shocks and frictions in U.S. business cycles: A Bayesian DSGE approach. *American Economic Review*, 97(3), 586–606.

Sornette, D., & Cauwels, P. (2014). Financial bubbles: Mechanism, diagnostic and state of the world. *Review of Behavioral Economics*, 1(3), 279–305.

Sterman, J. D. (1988). Modeling the formation of expectations. *Journal of Economic Psychology*, 9(4), 501–524.

Sterman, J. D. (2000). Business dynamics: Systems thinking and modeling for a complex world. McGraw-Hill.

Stiglitz, J. E. (2018). Where modern macroeconomics went wrong. *Oxford Review of Economic Policy*, 34(1–2), 70–106.

Statistical Center of Iran. (2022). Report on construction sector indicators and housing prices (2020–2022). Economic Affairs Department. (in Persian)

Woodford, M. (2003). *Interest and prices: Foundations of a theory of monetary policy*. Princeton University Press.

World Bank. (2007). Global economic prospects: Managing the next wave of globalization. World Bank Publications.

Battiston, S., Caldarelli, G., D'Errico, M., & Gurciullo, S. (2016). Leveraging the network: Stress testing financial networks. Journal of Economic Dynamics and Control, 69, 1–21. https://doi.org/10.1016/j.jedc.2016.03.001

Christopher, M., & Peck, H. (2004). Building the resilient supply chain. *International Journal of Logistics Management*, *15*(2), 1–14.

Hyndman, R. J., & Koehler, A. B. (2006). Another look at measures of forecast accuracy. *International Journal of Forecasting*, *22*(4), 679–688.

Newman, M. (2018). *Networks: An introduction*. Oxford University Press.