-- Iranian Journal of Economic Research ------
Volume 27, Issue 92, Fall 2022, 77-112
ijer.atu.ac.ir
http://dx.doi.org/10.22054/ijer.2022.62434.1018

ATU PRESS

Original Research
Received: 21/07/2021
Accepted: 17/01/2022
ISSN: 1726-0728
eISSN:2476-6445

The Entropy of Money in the Space of Output and its Relationship with the Development of the Stock Market in the Iranian Economy: Econophysics and STAR Approach

Mostafa Abdollahzadeh — Master of Economics, Islamic Azad University, Shiraz Branch, Shiraz, Iran

Hashem Zare* — Assistant Professor, Faculty of Economics and Management, Islamic Azad University, Shiraz Branch, Shiraz, Iran

Abstract

The main purpose of this paper is to calculate the entropy of money in the space of Gross domestic product with the approach of econophysics and investigating the effect of stock market development on it. In this regard, by using annual data in the period of 1370-1398 in the framework of Smooth Transition Autoregressive Model (STAR), the asymmetric behavior of monetary irregularities around a threshold at different levels of stock market value as a variable of analysis is investigated. The results show that at low levels of current value of the stock market (the first regime), net capital inventory and budget deficit of governments have positive effects and the number of companies admitted to the stock exchange organization have a negative effect on monetary entropy. At high levels of current value of the stock market (Second Regime), net capital inventory has negative effect and government budget deficit continued to have a positive effect on monetary entropy. Based on the results of this study, it is clear that the dynamics of the stock market will reduce monetary entropy, which is itself an indicator of wasting and lacking of access to the resources.

Keywords: Monetary Entropy, Econophysics, Stock Market

JEL Classification: E42 ،E44 ،E5

* Corresponding Author: Hashem.zare@gmail.com
How to Cite: Abdollahzadeh, A., Zare, H. (2022). The Entropy of Money in the Space of Output and its Relationship with the Development of the Stock Market in the Iranian Economy: Econophysics and STAR Approach. *Iranian Journal of Economic Research, 27 (92)*, 77 -112.

مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۴/۳۰ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۰/۲۷

eISSN: ۲۴۷۶-۶۴۴۵ ISSN:۱۷۲۶-۰۷۲۸

-- پژوهش‌های اقتصادی ایران---------

دوره ۲۷، شماره ۹۲، پاییز ۱۴۰۱، ۷۷-۱۱۲

ijer.atu.ac.ir

DOI: http://dx.doi.org/10.22054/ijer.2022.62434.1018

محاسبه آنتروپی پول در فضای تولید و رابطه آن با توسعه بازار سرمایه در اقتصـاد ایران (رهیافتی از اقتصاد فیزیک و رگرسیون انتقال ملایم)

مصطفی عبداله‌زاده | کارشناس ارشد اقتصاد، دانشگاه آزاد اسلامی واحد شیراز، شیراز، ایران

هاشم زارع * | استادیار، گروه اقتصاد، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد شیراز، شیراز، ایران

چکیده

هدف اصلی این مقاله محاسبه میزان آنتروپی پول در فضای تولید ناخالص داخلی با رویکرد اقتصاد فیزیک و بررسی اثر توسعه بازار سرمایه بر آن است. در این راستا با استفاده از داده‌های سالیانه دوره زمانی ۱۳۹۸-۱۳۷۰ در چهارچوب یک مدل رگرسیونی انتقال ملایم (STAR)، رفتار نامتقارن بی‌نظمی‌های پولی حول یک حد آستانه در سطوح مختلف ارزش بازار سرمایه به عنوان متغیر انتقال مورد بررسی و تجزیه و تحلیل قرار گرفته است. نتایج تحقیق بیان می‌کند که در سطوح پایین ارزش جاری بازار سرمایه کشور (رژیم اول) متغیر خالص موجودی سرمایه و کسری بودجه دولت‌ها اثر مثبت و تعداد شرکت‌های پذیرفته شده در سازمان بورس اثر منفی بر آنتروپی پول دارند و در سطوح بالای ارزش جاری بازار سرمایه (رژیم دوم) خالص موجودی سرمایه اثر منفی و کسری بودجه دولت‌ها همچنان اثر مثبت بر آنتروپی پولی داشته است. براساس نتایج این مطالعه مشخص می‌شود پویایی بازار سرمایه باعث کاهش آنتروپی پول که خود شاخصی برای هرزروی و عدم دسترسی به منابع شناخته می‌شود، خواهد شد.

کلیدواژه‌ها: آنتروپی پولی، اقتصاد فیزیک، بازار سهام.

طبقه‌بندی JEL: E58 ،E44 ،E42

* نویسنده مسئول: Hashem.zare@gmail.com

۱. مقدمه

علم اقتصاد از زمان ظهور، همواره پیوندی ناگسستنی با علم فیزیک داشته است. اقتصاددانان مدرن دلیل در حاشیه ماندن کاربرد فیزیک در علم اقتصاد را احتمال تضعیف دانش سنتی اقتصاد بیان می‌کنند. توسعه اقتصاد نئوکلاسیک اما به واسطه همین ارتباط بین علوم فیزیک و اقتصاد ممکن شد. ظهور اقتصاد نئوکلاسیک با تلاش‌های آلفرد مارشال[1] به اوایل قرن نوزدهم برمی‌گردد. نئوکلاسیک‌ها در آن زمان در تلاش برای بالا بردن جایگاه علمی اقتصاد، تصمیم گرفتند برای انتقال ایده‌ها و مفاهیم دستگاه‌های ریاضی از علم پیشرو که انرژی، فیزیک و آنتروپی بود و بعدها نیز هسته علم ترمودینامیک را تشکیل می‌داد، استفاده کنند. مفاهیم اساسی فیزیک از اواسط قرن نوزدهم توسط ایروینگ فیشر[2] در سال ۱۸۹۲ به زبان اقتصادی ترجمه شد. ذرات[3] به نهادهای اقتصادی و افراد تبدیل شدند، نیرو جایگزین مطلوبیت نهایی[4] شد و انرژی معادل مطلوبیت در نظر گرفته شد (Fisher, 1925). مهندسانی از قبیل لئو والراس[5]، ویلفرد پارتو[6]، فرانسیس اجورث[7] و استنلی جونز[8] برای مطالعه پدیدارهای اقتصادی از قبیل تعادل بازاری از استعاره‌هایی در حوزه مکانیک نیوتنی (از قبیل تعادل خودکار) بهره گرفتند. در نتیجه، قانون تعادل[9] بین علوم فیزیک و اقتصاد به اشتراک گذاشته شد؛ به صورتی که در فیزیک، یک نقطه تعادل با حداکثر تابع انرژی خالص تعیین می‌شود، در حالی که موقعیت تعادل در اقتصاد با حداکثر مقدار سود تعیین می‌شود. در نهایت اقتصاد نئوکلاسیک امروزی ایجاد شد، اما مبانی روش‌شناختی آن طی زمان به فراموشی سپرده شد. این اساس تفکر در مورد بازارها و اقتصادها که به عنوان سیستم‌هایی بسته برای رسیدن به یک حالت متعادل تلاش می‌کنند، معرفی شد.

شکی نیست که ترمودینامیک[10] به طور قابل توجهی به ظهور اقتصاد نئوکلاسیک کمک کرده است و این در هم‌تنیدگی دو علم در اوایل قرن بیستم پیشرفت بزرگی را در علم بشری

1. Marshall, A.
2. Fisher, I.
3. Particles
4. Marginal utility
5. Walras, L.
6. Pareto,V.
7. Edgeworth, F.
8. Jevons, S.
9. Law of equilibrium
10. Thermodynamics

بنیان نهاد. با این حال از آن زمان، اقتصاد و فیزیک به تدریج از یکدیگر دور می‌شوند. ظهور بحران‌های اقتصادی جهانی روشن کرده که امروز دوباره برای حل این بحران‌ها به اقتصادی مبتنی بر فیزیک نیاز است، اما فیزیک قرن نوزدهم شاید دیگر نتواند راه‌حلی جامع برای اقتصاد ارائه دهد، بلکه این بحران‌ها باید با فیزیک قرن ۲۱ حل شود. قابلیت تحلیل مسائل اقتصادی با رهیافت‌های اقتصادسنجی آنتروپی[۱]، اکونوفیزیک[۲] و اقتصاد کوانتوم[۳] به اثبات رسیده است (Jakimowicz, 2020).

مبحث آنتروپی برای اولین بار در سال ۱۹۷۱ در مقاله‌ای با عنوان قانون آنتروپی و روند اقتصادی[۴] توسط اقتصاددان آمریکایی نیکلاس ژورگسکو روگن[۵] در علم اقتصاد مطرح شد. این مقاله رویکردی بدیع را در نظریه تولید ایجاد کرد که شامل استفاده از قانون دوم ترمودینامیک در مبانی اقتصادی تولید بود. روگن معتقد است که تلفیق قوانین ترمودینامیک و اقتصاد تلاشی برای توضیح پدیده‌های فیزیکی نیست، بلکه هدف درک پدیده‌های اقتصادی شبیه‌سازی شده است (Roegen, 1971). از این رو، وی ترمودینامیک را فیزیک ارزش‌های اقتصادی نامید. او با استناد به قانون آنتروپی بیان شده توسط قانون دوم ترمودینامیک، آن را به عنوان اقتصادی‌ترین قانون فیزیک معرفی کرد. فرآیندهای اقتصادی آنتروپی پایین کالاها و خدمات اصلی را به آنتروپی بالای کالاها و خدمات نهایی تبدیل می‌کند. این یک توضیح بسیار قانع‌کننده از این واقعیت است که سطح آنتروپی پایین، دلیل مطلوبیت کالاهای نهایی است. بنابراین، ترمودینامیک می‌تواند بهترین توضیح را برای ارزش اقتصادی کالاها ارائه دهد. سادی[۶]، برنده جایزه نوبل شیمی و از پیشگامان حوزه فیزیک اقتصادی، چنین رویکردی را «ارگوسافی»[۷] یا دانش استنتاجی از فیزیک می‌نامد و آن را چنین تعریف می‌کند: رویکردی که به اقتصاد، جامعه‌شناسی و تاریخ با نگاه مهندسی و نه علوم انسانی می‌نگرد (Soddy, 1934). در ابتدا این رویکرد مفاهیم فیزیک آماری را برای

1. Econometrics of entropy
2. Econophysics
3. Quantum Economics
4. The Entropy Law and Economic Process
5. Roegen, N. G.
6. Soddy, F. (1934)
7. Ergosophy

حوزه اقتصاد وام می‌گیرد، سپس روابط میان آن دسته از از مفاهیم فیزیکی را به مفاهیم اقتصادی تعمیم می‌دهد.

۲. مبانی نظری

در فیزیک کلاسیک، آنتروپی یک سیستم، شاخصی برای تنزل کیفیت، از هم‌پاشیدگی و یا بی‌نظمی است و مقیاسی برای سنجش آن قسمت از انرژی سیستم است که برای کار مفید دیگر دسترس نیست؛ زیرا انرژی در دسترس محدود است و به صورت برگشت‌ناپذیر در محیط تلف می‌شود (Maneschi & Zamagani,1997).

به اعتقاد روگن ریشه اصلی «کمیابی اقتصادی» آنتروپی است. در واقع ماده- انرژی در یک فرآیند اقتصادی به صورت آنتروپی پایین وارد می‌شوند و به صورت آنتروپی بالا از آن خارج می‌شوند. به عبارت دیگر، ماده و انرژی در هر فرآیندی اتلاف می‌شوند و از شکل‌های کاربردی (انرژی آزاد) به شکل‌های کم‌فایده‌تر (با آنتروپی بالا) تبدیل می‌شوند.

روگن معتقد است آنتروپی محدودیت اصلی و نهایی روی عرضه و ریشه اصلی کمیابی است (Burkett, 2006). در بحث آنتروپی اثبات می‌شود که در سیستم‌های منزوی[1]، هر فعالیتی آنتروپی را افزایش می‌دهد و در تئوری اطلاعات آنتروپی مقیاسی از عدم قطعیت مربوط به متغیر تصادفی است (Liu et al., 2011).

آنتروپی یک سیستم بیان می‌کند ویژگی‌های یک سیستم در حالت متعادل ترمودینامیکی با گذر زمان تغییر نمی‌کند. این خصوصیات شامل وضعیت فیزیکی حرکت و انرژی ذرات است. فرض شرایط پایدار انرژی و تعداد ذرات ثابت برای شبیه‌سازی‌های آماری از اهمیت قابل ملاحظه‌ای برخوردار است. بنابراین، در این مطالعه اولین فرض، تشبیه اقتصاد ایران به یک سیستم بسته ترمودینامیکی است که در آن شرایط ارائه شده در رابطه (۱) بر قرار است.

$$E = \sum_i E_i \qquad (۱)$$

1. Isolated Systems

در رابطه (۱)، سطح انرژی کل سیستم (E) از مجموع انرژی زیرسیستم‌های آن محاسبه می‌شود.

تغییرات انرژی در هر کدام از زیرسیستم‌ها (E_i) مطابق رابطه (۱) توسط کلاسیوس[1] مورد بررسی قرار گرفت. وی برای تفسیر این تغییرات برای اولین بار از کلمه آنتروپی استفاده کرد. رابطه او به صورت رابطه‌های (۲) و (۳) ارائه شد.

$$S = \frac{1}{T} Q \qquad (۲)$$

$$\Delta S = \left(\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1}\right) Q \qquad (۳)$$

در رابطه (۳)، ΔS بیانگر تغییرات آنتروپی و Q نشان‌دهنده سطح حرارت منتقل شده از شرایط دمایی T_1 به T_2 است. قوانین اول و دوم ترمودینامیک نیز بیان می‌کند:

۱- سطح انرژی کلی جهان همواره ثابت است.

۲- سطح آنتروپی در جهان همواره به حداکثر خود میل می‌کند ($\lim_{t\to\infty} S_t = \infty$). (Clausius, 1867).

همچنین مطابق قانون دوم ترمودینامیک، دما هرگز نمی‌تواند از جسم سردتر به جسم گرم‌تر منتقل شود. در فیزیک کلاسیک، آنتروپی یک سیستم، متناسب با میزانی از انرژی است که برای انجام کار فیزیکی، دیگر در دسترس نیست. در جامعه‌شناسی، آنتروپی به معنای تخریب یک ساختار، مانند تخریب قوانین یک سازمان در یک نظام اجتماعی است. در حالت کلی، آنتروپی به معنای بی‌نظمی، اختلال و هرج و مرج در هر سیستم دینامیکی و به عنوان مقیاسی از عدم دسترسی انرژی برای انجام کار است. در تئوری اطلاعات، آنتروپی مقیاسی از عدم قطعیت مربوط به متغیر تصادفی است (Liu et al., 2011). قانون افزایش آنتروپی در ترمودینامیک اشاره به روند رو به افزایش بی‌نظمی در جهان دارد. به عبارت دیگر، آنتروپی معیاری از میزان بی‌نظمی در مواد است. به عنوان مثال، مواد در حالت گازی به واسطه انرژی جنبشی و حرکت بی‌نظم ذرات نسبت به مواد جامد، دارای آنتروپی بالاتری است؛ زیرا ذرات در یک جسم جامد در یک موضع معین نوسان می‌کند.

1. Clausius, R.

بولتزمن[1] در سال ۱۸۶۶ مقاله‌ای با عنوان «در باب مفهوم مکانیکی قانون دوم ترمودینامیک» منتشر کرد و آنتروپی را نه به عنوان اتلاف بازگشت‌ناپذیر انرژی در یک سیستمT بلکه به عنوان میزانی از انرژی اجزای منفرد در یک سیستم که به سمت انرژی متوسط کل اجزای سیستم میل کرده‌اند، تفسیر کرد. وی بیان داشت تمایل ذاتی اجزا این است که با یکدیگر ممزوج شده و انرژی خود را با یکدیگر تسهیم کنند تا هنگامی که تمامی اجزا دارای انرژی برابری شوند.در چنین وضعیتی، تفاوت انرژی بین اجزا (پتانسیل کار) از بین رفته و سیستم به حداکثر آنتروپی رسیده است (Zencey, 1986). پس از ارائه مفاهیم اولیه ترمودینامیک توسط کلاسیوس و بولتزمن در قرن نوزدهم، جوسایا ویلاردگیبس[2] در ابتدای قرن بیستم شکل کامل‌تری از مبانی آنتروپی نظری را ارائه کرد (رابطه (۴)).

$$S = k_B \ln \frac{N!}{\prod_{i=1}^{n} N_i\,!} \approx -k_B N \sum_{i=1}^{n} p_i \ln p_i \qquad (۴)$$

در رابطه (۴)، k_B ثابت بولتزمن، n تعداد سطوح متفاوت انرژی، N تعداد ذرات و $p_i = \frac{N_i}{N}$ به آن مفهوم است که در شرایط وجود تعداد زیاد ذرات ($N \gg 1$)، p_i برابر است با احتمال حضور ذره در سطح انرژی iام. بی‌نظمی عدم اطمینان را افزایش می‌دهد. به این دلیل که امتیازات و فرصت‌های افراد و سازمان‌ها به طور یکسان در اختیار همه کسانی که می‌خواهند با تلاش آن را به دست بیاورند، قرار نمی‌گیرد. این امر به طور ضمنی، منجر به اختلال و از هم‌گسیختگی در روابط موجود در بازارهای سیاسی و اقتصادی می‌شود. وجود نظم یک شرط لازم، اما ناکافی برای رشد اقتصادی در بلندمدت است. بی‌نظمی می‌تواند بر اثر تغییراتی باشد که منجر به کاهش اجرای قواعد یا کاهش همکاری باشد. این امر تغییرات شدیدی را در قواعد بازی ایجاد می‌کند (North, 2011).

در یک سیستم اجتماعی طبیعی به دلیل پویایی، آنتروپی و آشوب کاهش می‌یابد. به این معنی که نیروهای داخلی، سازمان‌دهنده و نظم‌دهنده هستند و به صورت طبیعی آنتروپی را کاهش می‌دهند. وقتی در جامعه آنتروپی افزایش می‌یابد، سیستم اجتماعی دچار آشوب و تنش می‌شود در نتیجه آن انرژی که می‌تواند در جهت انجام کار مفید استفاده شود، کاهش

1. Boltzmann, L.
2. Gibbs, J.

می‌یابد (قضاوی، ۱۳۹۱). یک سیستم اجتماعی طبیعی، سیستمی است که به لحاظ نهادی به صورت کارآمد عمل می‌کند و به صورت طبیعی از افزایش بی‌نظمی جلوگیری می‌کند. در کشورهای غیردموکراتیک و فاقد نهادهای کارآمد برای نظارت بر عملکرد مقامات دولتی، مداخلات دولت در اقتصاد، بیشتر از وظایفی که کلاسیک‌ها برای دولت قائل شده‌اند، موجب رشد بروکراسی و بروز پدیده‌هایی مانند رشوه، رانت و افزونه‌خواهی خواهد شد. در یک کشور با نهادهای ناکارآمد، هر چه اقتصاد متمرکزتر، بوروکراتیک‌تر و دولتی‌تر باشد، میزان رانت و فساد بیشتر می‌شود (تدبیر اقتصاد، ۱۳۸۲). افزایش رانت و فساد، میزان بیشتری از منابع را به سمت فعالیت‌های نامولد سوق می‌دهد. در نتیجه سهم بیشتری از منابع به صورت آنتروپی، هرزروی و عدم دسترسی از سیستم خارج می‌شود.

۲-۱. تغییرات آنتروپی

قانون افزایش آنتروپی در علم فیزیک ترمودینامیک اشاره به روند رو به افزایش بی‌نظمی در جهان دارد. فرض می‌کنیم با یک وضعیت آنتروپی نامتعادل[1] روبه‌رو هستیم. حال با ارائه رفتار آنتروپی به صورت رابطه (۵) داریم:

$$S = -k_B \sum p \ln p_{eq}^{-1} p + S_{eq} \qquad (۵)$$
$$= -k_B \sum_{n=1}^{N} \int p_n \ln \frac{p_n}{p_{eq,n}} dx_1 \dots dx_n + S_{eq}$$

در رابطه (۵)، یک تابع محدب از بردار توزیع است که فرمول گیبس را تعمیم می‌دهد. در آن، S_{eq} سطح آنتروپی در شرایط متعادل، p_{eq} بردارتوزیع احتمال در شرایط متعادل آنتروپی است. بنابراین، p_{eq} یک تابع مقدار ویژه[2] با ارزش صفر خواهد بود. حال مشتق مرتبه اول رابطه (۵) به صورت رابطه (۶) خواهد بود که در حالت آنتروپی متعادل برابر صفر

---

۱. Non-equilibrium Entropy در واقع شرایطی است که سیستم از لحاظ فیزیکی متراکم، دارای انرژی و حاوی ذرات با آنتروپی بالا است.

2. Eigenvalue

است[1]. مشتق مرتبه دوم آن نیز به صورت رابطه (۷) خواهد بود که نشان می‌دهد S در حالت متعادل در بیشترین مقدار خود قرار دارد و مقدار آن برابر است با S_{eq}[2].

$$\delta S = -k_B \sum \{\delta p \, ln(p_{eq}^{-1} p)\} \quad (۶)$$

$$\delta^2 S = -\frac{1}{2} k_B \sum \{\delta p p_{eq}^{-1} \delta p\} < 0 \quad (۷)$$

نرخ تغییرات آنتروپی و تولید آنتروپی با محاسبه مشتق از رابطه (۶) به صورت رابطه (۸) به دست می‌آید.

$$\frac{\delta S}{\delta t} = -k_B \sum \{\frac{\delta p}{\delta t} ln(p_{eq}^{-1} p)\} \quad (۸)$$

۲-۲. آنتروپی شانون به روش تصمیم‌گیری چند معیاره (MCDM)[3]

بن نعیم[4] با این استدلال که مفاهیم نظم و بی‌نظمی مفاهیمی فازی، مبهم و ذهنی‌اند و تعریف کاملا دقیقی ندارند، تفسیر آنتروپی به عنوان بی‌نظمی را نقد می‌کند و تفسیر شانون را می‌پذیرد، بر این اساس، وی آنتروپی را درجه‌ای از عدم تطابق، نااطمینانی یا فقدان اطلاعات مرتبط تعریف می‌کند (Ben Naim, 2007). در این مطالعه برای دستیابی به میزان بی‌نظمی در نظام پولی از روش آنتروپی شانون استفاده خواهیم کرد. در سال ۱۹۴۶ شانون[5] ریاضی‌دان برجسته آمریکایی در حیطه تئوری اطلاعات، مفهوم جدیدی از آنتروپی را ارائه کرد که امروزه به آنتروپی شانون یا آنتروپی اطلاعات[6] شناخته می‌شود. شانون شاخص آنتروپی در فضای اطلاعات را به صورت رابطه (۹) ارائه داد.

$$H(P_1, P_2, \dots, P_n) = -\sum_{i=1}^{N} P_i \log_b P_i \quad (۹)$$

1. First Order Condition
2. Second Order Condition
3. Multiple Criteria Decision Making
4. Ben Naim
5. Claude Shannon (1916-2001)
6. Information Entropy

در رابطه (۹) $P_1, P_2, \dots, P_n$ مقادیر احتمال برای N پیشامد (میکروحالت) از یک آزمایش تصادفی از متغیر X است (Jakimowicz, 2020). در قوانین مکانیک آماری که بر سری‌های زمانی در تئوری اطلاعات صادق و حاکم است در ابتدا توزیع‌های مختلف انرژی بین ذرات بررسی می‌شود و سپس تعداد میکروحالت‌های هر توزیع را محاسبه می‌کنند. یک میکروحالت به آرایشی گفته می‌شود که در آن مشخص است چه اتم‌هایی در چه تراز انرژی معینی قرار دارند. اساس کار در مکانیک آماری این است که با محاسبه میکروحالت‌های هر توزیع و سپس محاسبه کل میکروحالت‌های ممکن، محتمل‌ترین توزیع انرژی را معین کنند و آن را وضعیت تعادلی در نظر گیرند (Dugdale,1996). تابع چگالی P در اقتصاد می‌تواند مفاهیم متفاوتی داشته باشد. در اقتصاد منابع، این مفهوم بیانگر معادله‌ای بر حسب سهم نسبی منابع مورد استفاده عوامل مختلف است (Antonio et al., 2002). همچنین این تابع می‌تواند نوسانات مرتبط با بازار سهام باشد (Zunino et al., 2010).

نکته بارز آنتروپی شانون آن است که علاوه بر اینکه با آنتروپی‌های رایج ترمودینامیک (بولتزمن و گیبس) همخوانی دارد به واسطه اینکه نتیجه‌ای از میزان اطلاعات یک سیستم است، کاربردهای فراوانی خارج از علم فیزیک پیدا کرده است. در تئوری اطلاعات امروزه نسخه‌های متعددی برای میزان اطلاعات در یک سیستم را معرفی می‌کند که همه آن‌ها از آنتروپی شانون نشات می‌گیرند. در سال‌های اخیر آنتروپی شانون به طور گسترده‌ای در سیستم‌های پیچیده مانند سیستم‌های بیولوژیک، سیستم‌های اقتصادی و سیستم‌های اجتماعی کاربردهای فراوانی پیدا کرده است. به طور کلی، افزایش آنتروپی شانون، میزان اطلاعات گم شده سیستم را مشخص می‌کند. از آنجا که وجود اطلاعات می‌تواند میزان عدم قطعیت را کاهش دهد، جریان اطلاعات می‌تواند به عنوان شاخصی برای آنتروپی مورد استفاده قرار گیرد.

همانگونه که در رابطه (۹) ملاحظه می‌شود، تابع چگالی P بیانگر مقادیر احتمال برای N میکروحالت است. در ادامه این مطالعه ما دو میکروحالت حجم نقدینگی در سطح (M2) و ارزش تولید ناخالص داخلی به قیمت‌های ثابت را به عنوان دو پیشامد به صورت سری‌های زمانی مورد بررسی و محاسبه قرار خواهیم داد. اولین گام در محاسبه آنتروپی شانون تشکیل ماتریس تصمیم است. ستون‌ها، معیار و سطرها، گزینه تعریف می‌شوند.

$$X = [x_{ij}]_{n*m} = \begin{bmatrix} x_{11} & \cdots & x_{1m} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{n1} & \cdots & x_{nm} \end{bmatrix} \quad (۱۰)$$

در رابطه (۱۰)، درایه x_{nm} بیانگر امتیاز گزینه n نسبت به معیار m است. سپس با تقسیم درایه‌های هر ستون بر مجموع آن ستون، درایه‌های نرمال و بی‌مقیاس شده را به دست خواهیم آورد و آن را p_{ij} می‌نامیم (رابطه (۱۱)).

$$p_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^{n} x_{ij}} \quad ,j = 1,2,\dots,m \quad (۱۱)$$

بنابراین، آنتروپی S_j از طریق رابطه (۱۲) و (۱۳) محاسبه می‌شود. مقدار ثابت k بازه تغییرات آنتروپی را بین ۰ و ۱± نگه می‌دارد.

$$S_j = -k \sum_{i=1}^{n} p_{ij} \times \mathrm{LN}\, p_{ij} \quad (۱۲)$$

$$k = \frac{1}{\mathrm{LN}\, m} \quad (۱۳)$$

در رابطه (۱۲)، $P_{(x)}$ توزیع احتمال متغیر تصادفی x است. در ادامه مقدار D_j (درجه انحراف) محاسبه می‌شود که بیان می‌کند شاخص مربوطه (D_j) چه میزان اطلاعات مفید برای تصمیم‌گیری در اختیار تصمیم‌گیرنده قرار می دهد. هر چه مقادیر اندازه‌گیری شده شاخصی به هم نزدیک باشند، نشان‌دهنده آن است که گزینه‌های رقیب از نظر آن شاخص تفاوت چندانی با یکدیگر ندارند و بنابراین، نقش آن در محاسبات به همان میزان کاهش خواهد یافت (رابطه (۱۴)).

$$D_j = 1 - S_j \quad ,j = 1,2,\dots,m \quad (۱۴)$$

در نهایت با محاسبه W_j مقدار وزن اطلاعات مفید به ازای هر معیار به دست خواهد آمد (رابطه (۱۵)).

$$W_j = {D_j}/{\sum D_i} \quad , j = 1,2, \dots, m \tag{۱۵}$$

با توجه به جست‌وجوهای فراوان نویسندگان هیچ یک از مطالعات انجام شده، میزان آنتروپی پول در فضای تولید را در یک سیستم اقتصادی مورد بررسی قرار نداده است؛ چه آنکه ارتباط آن بر توسعه بازار سرمایه را مورد ارزیابی قرار دهد. بنابراین، نظر به اهمیت موضوع آنتروپی و اختلالات نظام پولی در محیط تولید ناخالص داخلی کشور، تاثیر بسط و توسعه بازار سرمایه برآن از دستاوردهای مهم پژوهش حاضر است.

۳. مفهوم آنتروپی پول و محاسبه آن در فضای تولید

به منظور درک مفهوم آنتروپی در علم اقتصاد لازم است به اختصار چندی از مفاهیم را مورد توجه قرار داد. به عقیده شِن ژک[1] (۲۰۰۷) در یک سیستم اقتصادی بسته (با فرض خلق نشدن پول توسط دولت و بانک)[2] حجم پول ثابت می‌ماند. پول از قانون بقا تبعیت می‌کند و خصوصیات انرژی را داراست. در نتیجه قانون‌مندی‌های واحدی بر این دو حکم‌فرماست. مولفه‌هایی که موجب تلقی هر واحد پول به عنوان یک واحد انرژی می‌شوند، بدین‌ترتیب‌اند:

- پول همچون انـرژی، تعیین‌کننده میزان توان برای انجام دادن کار است.
- پول همچون انـرژی، دارای قابلیت ذخیره‌سازی است.
- پول همچون انـرژی، می‌تواند به شکل‌های تبدیل‌پذیر به یکدیگر وجود داشته باشد (Ksenzhek, 2007).

رفتار پول نیز مانند انرژی دارای جریان خود به خودی به سمت تمرکززدایی است. در واقع با خرج کردن، تمرکز آن کاهش می‌یابد. از آنجا که هر رفتار خود به خودی برگشت‌ناپذیر است، این فرآیند نیز به صورت برگشت‌ناپذیر همراه با اتلاف انرژی منجر به کاهش کیفیت آن می‌شود. همچنین عکس چنین فرآیندی؛ یعنی انباشت و تمرکز پول، همراه با صرف انرژی خواهد بود. بدین ترتیب، پول نوع خاصی از انرژی است که در نظام اجتماعی در حال گردش است و قابلیت تغییر شکل به صورت‌های دیگر انرژی و برعکس

1. Ksenzhek
2. Ceteris paribus

را دارد.[۱] از این رو، قوانین عام انرژی ازجمله آنتروپی برآن صدق می‌کند. بنابراین، با قیاس میان پول و انرژی، توزیع تعادلی احتمالی پول باید از قانون توزیع نمایی بولتزمن- گیبس[۲] با دمای کارایی برابر با مقدار متوسط پول سرانه تبعیت کند. قانون مبنایی مکانیک آماری تعادلی قانون بولتزمن- گیبس است که بیان می‌کند توزیع احتمالی انرژی به صورت $P(\varepsilon) = Ce^{-\varepsilon/T}$ است. از آنجا که اساسی‌ترین مولفه برای استخراج قانون بولتزمن- گیبس، قانون بقای انرژی است در هر موردی که یک کمیت از ویژگی بقا برخوردار باشد، می‌توان تمام قوانین مرتبط ازجمله آنتروپی را به آن تعمیم داد (Cockshott et al, 2009). بنابراین و مطابق آنچه بن‌نعیم (۲۰۰۷) در مورد عدم تطابق بین دو سری از اطلاعات مرتبط در حوزه تعریف آنتروپی ایراد کرد، محاسبه آنتروپی بین دو متغیر پول و تولید (یا آنتروپی پول در فضای تولید) حائز مبانی نظری بوده و نتایج آن معتبر خواهد بود. در ادامه به ارائه دو تعریف جامع و مورد استفاده در این مطالعه خواهیم پرداخت.

آنتروپی عدم دسترسی[۳]، بیانگر میزانی از انرژی در سیستم است که در دسترس نیست، اما اثرات مخربی بر عملکرد آن دارد. این نوع آنتروپی قابل مشاهده نیست و بدون اینکه منفعتی داشته باشد، هزینه‌هایی را به جامعه تحمیل می‌کند. بخش دیگری از مفاهیم آنتروپی، به آنتروپی هرزروی[۴] است. این نوع آنتروپی به آن معناست که هر بخش از یک سیستم دارای ناکارآمدی است و منجر به از دست رفتن یا به هدر رفتن انرژی می‌شود؛ مانند فساد در سیستم‌های مالی و دولتی یا هزینه‌های که آلودگی و زباله‌ای که بنگاه ایجاد می‌کنند (صادقی عمرو آبادی و همکاران، ۱۳۹۴).

در پژوهش حاضر با در نظر گرفتن ارزش تولید ناخالص داخلی و حجم نقدینگی در سطح (M2) به قیمت‌های ثابت در اقتصاد به عنوان دو گزینه و تعداد سال‌های مورد مطالعه ۱۳۹۸-۱۳۷۰ به عنوان ۲۹ معیار، محاسبه آنتروپی با استفاده از نرم افزار متلب[۵] انجام خواهد شد. در واقع با توجه مفاهیم ارائه شده، آمار مربوط به ارزش تولید ناخالص داخلی و حجم نقدینگی از داده‌های سری زمانی بانک مرکزی اقتباس شده است (جدول (۱)).

---

۱. به تعبیر ترمودینامیکی، دارای قابلیت امتزاج طرفینی جریان‌های انرژی یا (Mutual Coupling of Energy Flows) است.

2. Boltzmann-Gibbs exponential distribution law
3. Inaccessibility Entropy
4. Dissipation or Pollution Entropy
5. Matlab Software

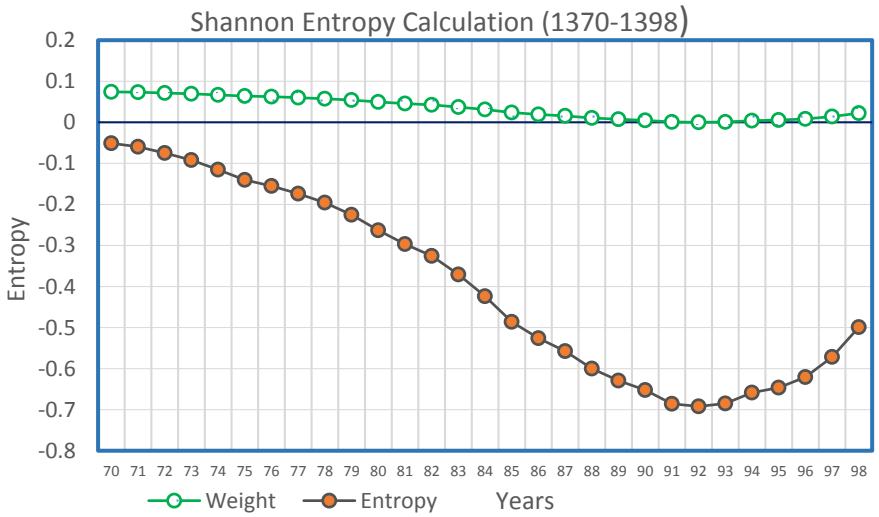
جدول ۱. نتایج محاسبه آنتروپی پول در فضای تولید اقتصاد ایران

سال	آنتروپی پولی	وزن اطلاعات مفید	سال	آنتروپی پولی	وزن اطلاعات مفید
۱۳۷۰	-۰/۰۵۰۹۲۰۵٤	۰/۰۷٤٤۱۰٦٦۷	۱۳۸۵	-۰/٤۸٦۱۵۸۰۵۸	۰/۰۲۳۹۸۲٤۹۷
۱۳۷۱	-۰/۰۵۹٦۷۹۱۸٦	۰/۰۷۳۳۹۵۸۵۹	۱۳۸٦	-۰/۵۲۵۸۱۵۸۱۲	۰/۰۱۹۳۸۷٦۰۹
۱۳۷۲	-۰/۰۷٤۷٦۸٤۵	۰/۰۷۱٦٤۷۵٦٤	۱۳۸۷	-۰/۵۵۷٤٤٤۸۵٤	۰/۰۱۵۷۲۲۹۵۵
۱۳۷۳	-۰/۰۹۱۸۰۱٤۵۳	۰/۰٦۹٦۷٤۰۵۹	۱۳۸۸	-۰/۵۹۹۸۲۵۰۲۳	۰/۰۱۰۸۱۲٦۳۸
۱۳۷٤	-۰/۱۱۵۱۲٤۵۳۸	۰/۰٦٦۹۷۱۷٦۳	۱۳۸۹	-۰/٦۲۹۲۵۳۹٤۳	۰/۰۰۷٤۰۲۷۹۸
۱۳۷۵	-۰/۱٤۰۳۸۲۸۸۷	۰/۰٦٤۰٤۵۲٤۱	۱۳۹۰	-۰/٦۵۲۰۱۵۱۷۷	۰/۰۰٤۷٦۵۷
۱۳۷٦	-۰/۱۵٤۹۷٦٤۲۳	۰/۰٦۲۳۵٤۳۸۲	۱۳۹۱	-۰/٦۸۵۸۲۷٦۷۹	۰/۰۰۰۸٤۸۰٦۳
۱۳۷۷	-۰/۱۷۳٦٤۹۷	۰/۰٦۰۱۹۰۸۳	۱۳۹۲	-۰/٦۹۲۱۷۱۰۰٦	۰/۰۰۰۱۱۳۱۰۳
۱۳۷۸	-۰/۱۹۵٦۰۳۱٤۲	۰/۰۵۷٦٤۷۲۲٦	۱۳۹۳	-۰/٦۸٤۸۷۳۰۰۳	۰/۰۰۰۹۵۸٦۷٦
۱۳۷۹	-۰/۲۲۵۰۷۸۵٤۳	۰/۰۵٤۲۳۲۱	۱۳۹٤	-۰/٦۵۸۳۷٤٤٤۳	۰/۰۰٤۰۲۸۸۹۳
۱۳۸۰	-۰/۲٦۳۲۰۰۹۰۹	۰/۰٤۹۸۱۵۱۰۷	۱۳۹۵	-۰/٦٤٦۲۲٦۰۷۵	۰/۰۰۵٤۳٦٤٤٦
۱۳۸۱	-۰/۲۹٦٤۹۵۵٦۷	۰/۰٤۵۹۵۷٤۷	۱۳۹٦	-۰/٦۲۰۷۵۳۹۹۲	۰/۰۰۸۳۸۷۷۳
۱۳۸۲	-۰/۳۲۵٦۳۳٤٦۲	۰/۰٤۲۵۸۱٤٤۹	۱۳۹۷	-۰/۵۷۱۵۰۱۲٤۲	۰/۰۱٤۰۹٤۳۳۲
۱۳۸۳	-۰/۳۷۰٤۸۹۹۹۷	۰/۰۳۷۳۸٤۲۱۱	۱۳۹۸	-۰/٤۹۸۸۵۱۷٤٦	۰/۰۲۲۵۱۱۷٦۲
۱۳۸٤	-۰/٤۲۳۵۳۰۳۵۹	۰/۰۳۱۲۳۸۷٦٦			

ماخذ: یافته‌های پژوهش (خروجی نرم‌افزار متلب)

همانگونه که از نمودار (۱) مشاهده می‌شود، قدرمطلق آنتروپی محاسبه شده از سال ۱۳۷۰ تا ۱۳۹۲ از ۰/۰۵ تا ۰/۶۹ افزایش یافته و پس از سال ۱۳۹۲ آنتروپی پولی در فضای تولیدی کشور روندی کاهشی داشته است. وزن اطلاعات مفید نیز با افزایش آنتروپی از سال ۱۳۷۰ از میزان ۰/۰۷ به ۰/۰۰۰۱ در سال ۱۳۹۲ کاهش یافته و پس از آن تا عدد ۰/۰۲ در سال ۱۳۹۸ افزایش یافته است. آنتروپی پول در فضای تولید در اقتصاد با توجه به مفاهیم نظری بیان شده به معنای میزانی از نقدینگی در سیستم اقتصاد کشور تعریف می‌شود که نه به تولید می‌انجامد و نه از تولید حاصل می‌شود و تنها هزینه‌های تولید را افزایش می‌دهد. بنابراین، همانگونه که ملاحظه می‌شود، اختلالات پولی در فضای اقتصاد تولیدی کشور از سال ۱۳۹۲ با تغییر روند مواجه شده است.

نمودار ۱. آنتروپی پول در فضای تولید اقتصاد ایران



ماخذ: یافته‌های پژوهش (براساس خروجی نرم‌افزار متلب)

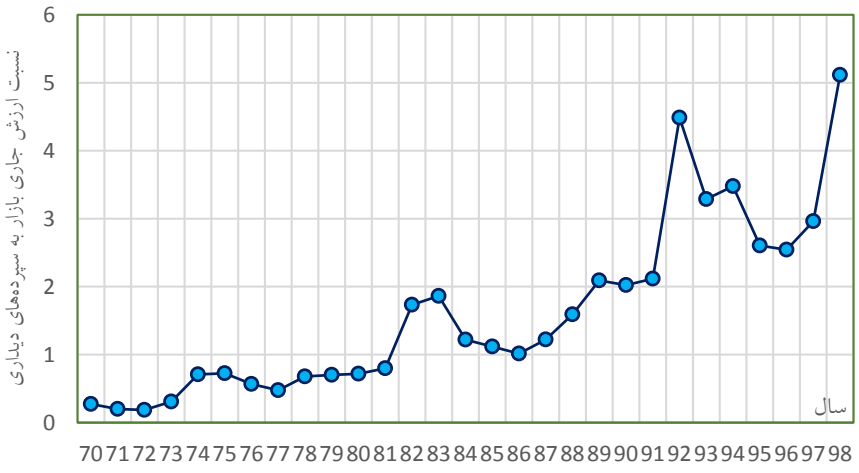
۳-۱. بازار سرمایه و برهم‌کنش سیاست‌های پولی و مالی

رشد شدید نقدینگی طی سال‌های پس از انقلاب ۱۳۵۷ در اقتصاد ایران باعث ایجاد عدم تعادل در بازار پولی و بخش واقعی اقتصاد شده است که این روند به ایجاد پدیده‌ای به نام نقدینگی سرگردان[1] منجر شده است. پدیده‌ای که به تنهایی می‌تواند تمامی معادلات اقتصادی کشور را دچار تحول کند و فضای مولد اقتصاد را به شدت تحت تاثیر قرار دهد. نقدینگی سرگردان شکارچی رانت است و به شدت به سمت کسب سود آسان و اقتصاد واسطه‌گری و دلالی متمایل است. نگاهی به روند رشد این نوع نقدینگی در اقتصاد کشور به اطلاعات دقیق از سهم بخش‌های مختلف اقتصاد در جذب نقدینگی نیاز دارد. از دغدغه‌های اصلی کشورهای در حال توسعه، قرار گرفتن در مسیر رشد و توسعه است. از مهم‌ترین رویکردهایی که در این راستا مطرح می شود، توسعه بازارهای مالی است (پاک‌مرام وهمکاران، ۱۳۹۸). با توجه به ساختارهای ناهمگون مالی در کشور و عدم وجود اطلاعاتی صحیح و شفاف، تنها مرجع قابل قبول در این زمینه، میزان سپرده‌های دیداری بانک‌ها و حجم بازار بورس است. نگاهی به نسبت این دو شاخص با حجم نقدینگی در کل کشور می‌تواند تصویری تقریبی از وضعیت نقدینگی

1. Wandering Liquidity

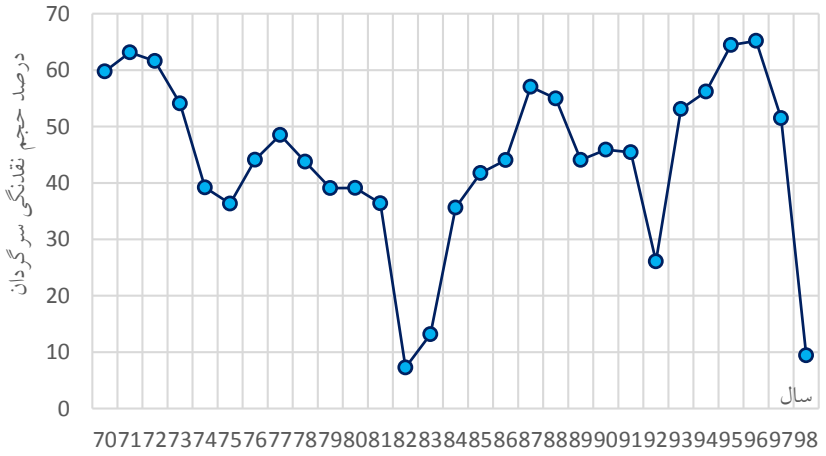
سرگردان در اقتصاد کشور را نشان دهد (حقیقت، ۱۳۹۴). بنابراین، در این پژوهش حجم نقدینگی سرگردان را از تفاوت کل حجم نقدینگی و حاصل جمع ارزش جاری بازار بورس و سپرده‌های دیداری محاسبه می‌کنیم.

نمودار ۲. نسبت ارزش جاری بازار بورس به سپرده‌های دیداری



ماخذ: پایگاه اطلاعات سری زمانی بانک مرکزی

نمودار ۳. نسبت حجم نقدینگی سرگردان به کل نقدینگی



ماخذ: یافته‌های پژوهش

نگاهی به روند تغییرات نسبت ارزش جاری بازار بورس به سپرده‌های دیداری در نمودار (۲) از سال ۱۳۷۰ تا ۱۳۹۸ نشان می‌دهد که از سال ۱۳۷۰ تا ۱۳۸۱ این نسبت همواره کمتر از یک بوده است؛ به آن معنی که ارزش جاری بازار بورس کمتر از حجم سپرده‌های دیداری بانک‌ها بوده است. درصد حجم نقدینگی طی این سال‌ها از ۶۰ درصد در سال ۱۳۷۰ به ۷ درصد در سال ۱۳۸۲ کاهش قابل ملاحظه‌ای را نشان می‌دهد. این کاهش موید موفقیت سیاست‌گذاران پولی در کنترل حجم نقدینگی سرگردان از سال ۱۳۸۱ با تکیه بر بازار سرمایه و توسعه متوازن سیستم بانک‌های خصوصی بوده است. از سال ۱۳۸۲ تا ۱۳۹۸ شاهد دو دوره متفاوت از رفتار این نسبت هستیم. دوره اول از سال ۱۳۸۲ تا ۱۳۹۱ است که حجم نقدینگی سرگردان از حدود ۷ درصد در سال ۱۳۸۲ به ۴۵ درصد در سال ۱۳۹۱ افزایش می‌یابد و دوره دوم که این حجم از ۲۶ درصد در سال ۱۳۹۲ به حدود ۹ درصد در سال ۱۳۹۸ روند کاهشی داشته است. در همین دوران نیز شاهد افزایش نسبت ارزش جاری بازار بورس به سپرده‌های دیداری از ۱/۷ در سال ۱۳۸۲ به ۲/۱ در سال ۱۳۹۱ و از ۴/۴۸ در سال ۱۳۹۲ به ۵/۱۱ در سال ۹۸ بوده‌ایم. بنابراین، با نگاهی به رفتار این شاخص‌ها، اثر قابل ملاحظه بازار بورس را بر جذب نقدینگی سرگردان در کل اقتصاد کشور مشاهده می‌کنیم. بررسی منابع پایه پولی طی دو دهه اخیر نشان می‌دهد که دو جزء خالص دارایی‌های خارجی و خالص بدهی‌های بخش دولتی به بانک مرکزی، در کنترل این نهاد نبوده است و از این رو، می‌توان به علت کم اثر شدن ابزارهای کمی و کیفی سیاست پولی به منظور کنترل حجم پول و عدم تناسب آن با تولید ناخالص داخلی پی برد. به عبارت دیگر، طی سال‌های گذشته از ابزارهای کمی پولی به صورت انقباضی استفاده شده و نیز در مورد کنترل کیفی اعتبارات توسط بانک مرکزی پیش‌بینی‌هایی انجام گرفته، اما به علت تسلط سیاست‌های مالی بر سیاست‌های پولی و عدم توانایی بانک مرکزی در کنترل حجم پول به دلیل کسری‌های بودجه قابل ملاحظه پس از انقلاب اسلامی، تاثیر سیاست‌های پولی بر متغیرهای حقیقی اقتصاد حتی در کوتاه‌مدت نیز رو به کاهش بوده است. در همین راستا طیف وسیعی از مکانیزم‌های انتقال سیاست‌های پولی که توسط قانون عملیات بانکی در اختیار مقامات پولی قرار داده شده است، نتوانسته دستیابی به اهداف کلی یک اقتصاد مطلوب را امکان‌پذیر سازد.

باتوجه به شرایط کنونی اقتصاد و رکود در اکثر صنایع، تامین مالی یا نقدینگی بنگاه‌های اقتصادی و تولیدی به یکی از مهم‌ترین دغدغه‌های کشور تبدیل شده است. این در حالی است که بازار سهام کشور که از سال‌های گذشته تاکنون توانسته نقدینگی زیادی را به سمت خود جذب کند، می‌تواند نقش مهمی در تزریق سرمایه به شرکت‌ها و بنگاه‌های اقتصادی حاضر در بورس را ایفا کند تا سرمایه‌های جذب شده در راستای افزایش تولید و بهره‌وری به‌کار گرفته شوند. برای شرکت‌ها و کارخانه‌های حاضر در بازار سهام این امکان فراهم می‌شود که از طریق تامین مالی طرح‌های توسعه خود را گسترش دهند و پیوند میان بازار سرمایه و تولید رقم بخورد. بنا به مقررات سازمان بورس و اوراق بهادار تهران، هر شرکت لازم است تا به صورت ماهانه گزارش فعالیت‌ها، تولیدات و صورت‌های مالی خود را به صورت شفاف به سازمان بورس ارائه دهد. بنابراین، با افزایش ورود و ثبت شرکت‌های جدید در این بازار، مسیر نقدینگی به سمت تولید هدایت می‌شود. در نتیجه با افزایش شفافیت اطلاعات از فرآیند کاری و شیوه گردش نقدینگی با ارائه گزارش از فعالیت‌ها به سامانه‌های زیرمجموعه سازمان بورس مانند سامانه اطلاع‌رسانی ناشران کدال، میزان اطلاعات گم شده در سیستم اقتصاد تولیدی کشور کاهش می‌یابد. با توجه به مفهوم آنتروپی، این فرآیند، دارای دو اثر عمده بر فضای تولیدی اقتصاد بر جا خواهد گذاشت:

۱- میزانی از منابع مالی و سرمایه‌ای که در فضای تولید در اقتصاد کشور وجود دارد، اما از آن استفاده نمی‌شود و یا به صورت ناکارا مورد استفاده قرار می‌گیرد، به طور قابل ملاحظه‌ای کاهش می‌یابد؛ چراکه مدیران شرکت و متصدیان به جهت حفظ و بهبود ارزش سهم خود در بازار سرمایه در افق‌های مختلف زمانی، ملزم به افزایش بهره‌وری از منابع پولی و سرمایه‌ای خود هستند. بنابراین، ورود شرکت‌ها به بازار بورس آنتروپی هرزروی را که موید ناکارآمدی در یک سیستم و هدرروی منابع و انرژی است، کاهش می‌دهد.

۲- هر شرکت موظف است از حداکثر توان خود در تولید و ایجاد ارزش استفاده کند. بنابراین، با توجه به مفهوم آنتروپی عدم دسترسی، شرکت در راستای بهینه‌یابی از فعالیت‌های خود، آن دسته از منابعی که به صورت مالی یا سرمایه‌ای مورد نیاز شرکت است یا می‌تواند هزینه‌ها را پوشش می‌دهد از طریق انجام معاملات به سهامداران می‌فروشد تا از این طریق تنها از ارزش سهم شرکت خود برای پوشش هزینه‌های جاری یا توسعه‌ای استفاده کند؛ در نتیجه نیاز به استقراض از سیستم بانکی و پرداخت بهره تا حدود زیادی از بین می‌رود.

٤. الگو و روش‌شناسی پژوهش

رانگبائو گو[1] (۲۰۱۷) با بررسی کاربرد آنتروپی شانون در بازار سهام داو جونز[2] آمریکا نشان داد که آنتروپی شانون توانایی توضیح و پیش‌بینی رفتار شاخص این بازار در هر دو افق زمانی بلندمدت و کوتاه‌مدت را داراست. وی به صورت تجربی با اثبات وجود اختلالات در این بازار و اثر آن بر شاخص بازار سهام داوجونز به کاربرد مهم مفهوم آنتروپی در تحلیل بازار سهام اشاره داشت. لارنس فرانسیس لِیسی[3] (۲۰۲۱) نیز به تازگی در مطالعه‌ای به ارتباط پول و تولید ناخالص داخلی کشور آمریکا با در نظر گرفتن شاخص بازار سهام و دارایی ملی با روش آنتروپی پرداخت. وی ضمن بررسی ارتباط پول و تولید در حوزه محاسباتی شانون طی سال‌های ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۹، اذعان داشت آنتروپی محاسبه شده در شاخص دارایی‌های ایالات متحده و شاخص بازارهای سهام این کشور تابعی از عرضه پول و ارزش تولید ناخالص داخلی است. همچنین او نشان داد که با افزایش آنتروپی در عرضه پول، اختلالات شاخص بازارهای سهام افزایش می‌یابد، اما اثر تغییرات آنتروپی در تولید ناخالص داخلی بر اختلالات شاخص بازارهای سهام مبتنی بر زمان و متغیر است.

در مقاله حاضر با الهام از متغیرهای مورد بررسی در این دو مطالعه، تلاش بر این است تا با استفاده از مدل رگرسیون انتقال ملایم (STR)[4] به بررسی تاثیرات متغیرهای کلان بازار بورس و اوراق بهادار تهران، کسری بودجه دولت‌ها و خالص موجودی سرمایه بر آنتروپی محاسبه شده پول در فضای تولید پرداخته شود.

براساس نظریه‌های اقتصادی برخی از متغیرهای سری زمانی و بسیاری از مدل‌های کلان اقتصادی خطی، دارای رفتار غیرخطی هستند. به عنوان مثال، ثابت شده است که در چرخه‌های تجاری، آهنگ نزولی بودن متغیرهای کلیدی کلان اقتصادی مانند تولید و اشتغال در دوره‌های رکود پرشتاب‌تر از آهنگ افزایش آن‌ها در دوره‌های رونق است (نوری، ۱۳۸۸).

گسترش به‌کارگیری مدل‌های غیرخطی باعث بهبود قابل توجهی در عرصه مدل‌سازی رفتار متغیرها در حیطه اقتصاد کلان و به ویژه اقتصاد مالی شده است. تخمین‌های خطی از

1. Rongbao Gu
2. Dow Jones
3. Lacey, L.
4. Smooth Transition Regression

پدیده‌های اقتصادی که رفتار غیرخطی از خود نشان می‌دهند برای مدل‌سازان آسان‌تر است، اما در بسیاری از موارد تصریح خطی چنین مدل‌هایی ما را به نتایج غلطی سوق خواهد داد. چنین امری ضرورت استفاده از مدل‌های رگرسیون غیرخطی را نشان می‌دهد. همچنین دو موضوع که در دهه‌های اخیر توجه محققان را به خود جلب کرده، غیرخطی بودن و تغییرات ساختاری در روابط داخلی مدل‌های اقتصادی است.

لاند برگ و همکاران[1] (۲۰۰۳) در مطالعه‌ای به این نتیجه رسیدند که الگوهای انتقال ملایم در شرایط وجود همزمان رفتار غیر خطی و تغییرات ساختاری، درک درست‌تری از مدل‌های اقتصادی سری زمانی ایجاد می‌کنند. این مدل اقتصادسنجی یک مدل رگرسیونی سری زمانی غیرخطی است که می‌توان آن را نوع خاصی از مدل رگرسیون تغییر وضعیت[2] که توسط باکُن و واتس[3] (۱۹۷۱) معرفی شد، تلقی کرد. آن‌ها با در نظر گرفتن دو خط رگرسیونی به طراحی این مدل پرداختند که در آن گذار از یک خط به خط دیگر به صورت ملایم اتفاق می‌افتد.

در ادبیات سری زمانی چان و تانگ[4] (۱۹۸۶) برای نخستین بار به تشریح و پیشنهاد مدل STR در مطالعات خود پرداختند. در سال‌های اخیر استفاده از مدل‌های غیرخطی رواج بیشتری یافته و محققین بسیاری در جهت توسعه این مدل‌ها کوشیده‌اند که از شاخص‌ترین آن‌ها تراسورتا[5] (۱۹۹۸) است.

یک مدل STR استاندارد با تابع انتقال لاجستیک[6] در حالت کلی به صورت رابطه (۱۶) ارائه می‌شود.

$$Y_t = \acute{\phi} z_t + \left(\acute{\theta} z_t\right) G(s_t, \gamma, c) + u_t \qquad (۱۶)$$

در رابطه (۱۶)، $\acute{\phi}$ بردار پارامترهای خطی و θ' بردار پارامترهای غیرخطی هستند. z_t نیز بردار متغیرهای برون‌زا مدل شامل وقفه‌هایی از متغیرهای درون‌زا و برون‌زا هستند. G بیانگر

1. Lundbergh, S., et al.
2. Switching Regression Model
3. Bacon and Watts (1971)
4. Chan & Tong (1986)
5. Teräsvirta
6. Logestic Function

تابع انتقال لاجستیک است و نحوه انتقال از رژیمی به رژیم دیگر را نشان می‌دهد. در ادبیات موجود، شکل تابعی معمول آن به صورت رابطه (۱۷) تعریف می‌شود:

$$G(s_t,\gamma,c)=\{1+exp\left[-\gamma\prod_{j=1}^{J}(s_t-c_j)\right]\}^{-1}\ ,\gamma>0 \qquad (۱۷)$$

در رابطه (۱۷)، تابع انتقال G یک تابع پیوسته و کراندار بین صفر و یک بوده و شامل پارامتر شیب (γ) و پارامتر موقعیت c است. پارامتر شیب، سرعت انتقال را بین دو الگوی حدی مشخص می‌کند و پارامتر موقعیت، تعیین‌کننده حد آستانه بین این رژیم‌هاست. s_t متغیر انتقال است که تغییرات آن باعث تغییر ضریب متغیرهای برآوردگر می‌شود. این متغیر می‌تواند وقفه متغیر درون‌زا بوده و یا ازجمله متغیرهای برون‌زا و وقفه‌های آن باشد یا حتی می‌تواند متغیر سومی خارج از این چهارچوب انتخاب شود. بنابراین، ضرایب مدل STR بین ϕ و $\phi+\theta$ در نوسان خواهند بود. به منظور بررسی ویژگی‌های مدل STR با تابع انتقال لاجستیک براساس ون‌دیک[1] (۱۹۹۹)، فرض می‌کنیم متغیر وابسته Y تنها تابعی از مقادیر وقفه‌دار خودش باشد. در این صورت با فرض یک تابع انتقال دارای دو رژیم رابطه (۱۸) و (۱۹) را خواهیم داشت.

$$\begin{aligned}Y_t=&\left(\theta_0+\theta_1y_{t-1}+\cdots+\theta_py_{t-p}\right)\\&+\left(\phi_0+\phi_1y_{t-1}+\cdots\phi_py_{t-p}\right)G(s_t,\gamma,c)\\&+u_t\end{aligned} \qquad (۱۸)$$

$$G(s_t,\gamma,c)=\frac{1}{1+\exp\{-\gamma(s_t-c)\}} \qquad (۱۹)$$

نتایج این مدل یک مدل LSTR دو رژیمی نامیده می‌شود که پارامتر مکان c نقطه‌ای از انتقال بین دو رژیم حدی $G(s_t,\gamma,c)=0$ و $G(s_t,\gamma,c)=1$ را نشان می‌دهد. γ نشانگر سرعت انتقال بین رژیم‌هاست و مقادیر بیشتر γ نشان‌دهنده تغییر سریع‌تر رژیم است. به طور کلی برای تخمین این مدل چندین مرحله را باید طی کرد که شامل آزمون خطی بودن مدل، انتخاب متغیر انتخاب و نوع تابع انتقال است. در تابع انتقال معمولا دو حالت j=1 (LSTR1)

1. Van Dijk

و j=2 (LSTR2) در نظر گرفته می‌شود. در حالت j=1 پارامترهای $\phi + \theta G(s_t, \gamma, c)$ به صورت تابعی یکنوا[1] از s_t بین ϕ و $\phi + \theta$ تغییر می‌یابند. در حالت j=2 پارامترهای $\phi + \theta G(s_t, \gamma, c)$ به صورت متقارن[2] حول مقدار میانی $\frac{c_1+c_2}{2}$ متغیر خواهند بود و اگر دو مقدار برآورد شده حد آستانه برابر باشد، آنگاه تابع انتقال نمایی (ESTR) تایید می‌شود. در صورتی که وجود ارتباط غیرخطی بین متغیرها مورد تایید قرار گیرد، می‌توان این فرضیه را تایید کرد که ضرایب موجود در تابع واکنش آنتروپی پول در فضای تولید ناخالص داخلی همواره ثابت نبوده و تحت تاثیر شرایط می‌تواند تغییر یابد. سپس با تعیین متغیر انتقال می‌توان عامل اثرگذار بر این تغییر در ضرایب را شناسایی کرد. برای انجام این آزمون‌ها از رگرسیون کمکی رابطه (۲۰) که از بسط درجه سوم تابع لجستیک به دست آمده استفاده می‌شود (Lopez, 2008).

$$ENT_t = \acute{\phi} z_t + \left(\acute{\theta} z_t\right) G(s_t, \gamma, c) + u_t \qquad (۲۰)$$

جهت انتخاب متغیر مناسب، ابتدا آزمون خطی بودن مدل برای متغیرهای توضیحی استفاده می‌شود. سپس متغیری که آماره آزمون برای آن در بین سایر متغیرها کمترین باشد، انتخاب می‌شود (Escribano & Jorda, 1999). در آزمون خطی بودن فرضیه صفر مبنی بر خطی بودن مدل به صورت $H_0: \beta_1 = \beta_2 = \beta_3 = 0$ و آماره آزمون مربوط به آن F خواهد بود. عدم رد این فرضیه نشان‌دهنده خطی بودن الگوست. در صورت تایید غیرخطی بودن مدل باید فرم تابعی مناسب برای تابع انتقال مورد بررسی قرار گیرد.

همان‌طور که گفته شد در مطالعات موجود تابع انتقال به دو فرم LSTR1 و LSTR2 مطرح شده است. تفاوت این دو مدل که در حالت LSTR1 دینامیک انتقال در دو طرف حد آستانه غیرمتقارن بوده، اما در حالت LSTR2 در دو طرف مقدار میانی حدود آستانه متقارن است. در این آزمون پس از برآورد رابطه (۲۰) مقادیر آماره آزمون برای فرضیات ارائه شده در رابطه (۲۱)، (۲۲) و (۲۳) محاسبه می‌شود.

$$H_{04}: \beta_3 = 0 \qquad (۲۱)$$

1. Monotonic Function
2. Symmetric

$$H_{03}: \beta_2 = 0 | \beta_3 = 0 \quad (۲۲)$$

$$H_{02}: \beta_1 = 0 | \beta_2 = \beta_3 = 0 \quad (۲۳)$$

آماره آزمون‌های مربوط به فرضیه‌های صفر ارائه شده در رابطه‌های (۲۱)، (۲۲) و (۲۳) به ترتیب با F_4، F_3 و F_2 نشان داده می‌شود. در این آزمون در صورت قوی بودن رد فرضیه H_{03} پیشنهاد می‌شود که از مدل LSTR2 (مدل LSTR با سه رژیم) استفاده شود که با آزمودن فرضیه $C_1 = C_2$ می‌توان یکی از این دو را انتخاب کرد و در صورتی که H_{02} یا H_{04} به صورت قوی‌تر رد شود، انتخاب مدل LSTR1 (مدل LSTR با دو رژیم) مناسب‌تر است.

۵. برآورد مدل و تحلیل یافته‌ها

در این مطالعه تمامی داده‌های مرتبط با سال‌های ۱۳۷۰ تا ۱۳۹۸ از پایگاه داده‌های سری زمانی بانک مرکزی استخراج شده است. در گام نخست (جدول (۲)) به بررسی وضعیت ایستایی متغیرها می‌پردازیم. براین اساس در مطالعه حاضر با استفاده از آزمون زیوت و اندروز[1] در محیط نرم‌افزار EVIEWS 9 پایایی متغیرها مورد بررسی قرار می‌گیرد.

$$ENT_t = f(COM_t, VAL_t, CAP_t, GDEBT_t) \quad (۲۴)$$

رابطه (۲۴) همان‌طور که پیشتر گفته شد با توجه به ادبیات و پیشینه مطالعات رانگبائوگو (۲۰۱۷) و لارنس فرانسیس لِیسی (۲۰۲۱) مورد تحلیل و برآورد قرار خواهد گرفت. در این رابطه ENT آنتروپی محاسبه شده پول در فضای تولید ناخالص داخلی، COM نرخ رشد تعداد شرکت‌های پذیرفته شده در سازمان بورس و اوراق بهادار تهران، VAL نرخ رشد ارزش جاری کل بازار بورس، CAP نرخ رشد خالص موجودی سرمایه و GDEBT نرخ رشد کسری بودجه دولت‌ها هستند.

1. Zivot-Andrews

جدول ۲. نتایج آزمون ریشه واحد به روش زیوت و اندروز

متغیر	سال شکست	آماره محاسبه شده	نتیجه آزمون
ENT	۱۳۹۲	۰/۰۳۶۱۹	ساکن
VAL	۱۳۷۶	۰/۰۰۵۷	ساکن
CAP	۱۳۷۶	۰/۰۰۷۷	ساکن
COM	۱۳۷۶	۰/۰۰۷۰	ساکن
GDEBT	۱۳۸۹	۰/۰۱۹۵۷	ساکن

ماخذ: یافته‌های پژوهش

براساس نتایج آزمون زیوت – اندروز در جدول (۲)، ملاحظه می‌شود مانایی متغیرها را با یک شکست ساختاری در عرض از مبدا و روند در سطح معناداری ۵ درصد، نمی‌توان رد کرد. قبل از برآورد مدل به منظور اطمینان از صحت نتایج، آگاهی از چگونگی توزیع داده‌ها در اولویت قرار دارد. بنابراین در این مطالعه به منظور بررسی نرمال بودن متغیرها از آزمون کولموگروف– اسمیرنوف[1] در محیط نرم‌افزار SPSS استفاده خواهیم کرد.

جدول ۳. نتایج آزمون نرمالیتی متغیرها

متغیر	آمار آزمون	سطح معنی‌داری
GDP	۰/۱۰۹	۰/۵۲۹
M2	۰/۰۸۸	۰/۸٤۸
ENT	۰/۱۵۱	۰/۱۰۸
COM	۰/۱۲٤	۰/۳۳۳
VAL	۰/۱۰٤	۰/٦۰۸
CAP	۰/۰۹٤	۰/٤۳۱
GDEBT	۰/۱٦۲	۰/۰٦۲

ماخذ: یافته‌های پژوهش (خروجی نرم‌افزار SPSS)

با توجه به نتایج جدول (۳)، تمامی سطوح معنی‌داری بیش از ۰/۰۵ محاسبه شده‌اند و فرض نرمال نبودن توزیع داده‌ها رد می‌شود. زمانی که تعداد نمونه‌های مورد بررسی بیش از ۳۰ باشد، طبق قضیه حد مرکزی توزیع، داده‌ها به سمت توزیع نرمال میل می‌کنند، اما در نمونه‌های کمتر از ۳۰، نتایج آزمون K-S معتبر خواهد بود (Weber & Leemis, 2006).

1. Kolmogorov–Smirnov test

یکی از مسائل مهم در برآورد رگرسیون، موضوع برون‌زایی متغیرهای توضیحی است. یک متغیر هنگامی درون‌زاست که با اجزای اخلال همبستگی معناداری داشته باشد. با توجه به اینکه احتمال بروز مشکل درون‌زایی متغیرهای توضیحی وجود دارد، آزمون درون‌زایی دوربین- وو- هاسمن[1] به منظور اطمینان از قابل اتکا بودن نتایج نیز انجام خواهد شد.

جدول ٤. نتایج آزمون دوربین-وو-هاسمن

درجه آزادی	سطح معنی‌داری
٤	۰/۱۰٦۳

ماخذ: یافته‌های پژوهش

با توجه به اینکه سطح معنی‌داری آزمون بیش از ۰/۰۵ است، بنابراین، فرض صفر مبنی بر برون‌زایی متغیرهای توضیحی پذیرفته خواهد شد.

۵-۱. آزمون غیرخطی بودن، انتخاب متغیر و فرم تابع انتقال

حال وجود رابطه غیرخطی مدل مورد بررسی قرار می‌گیرد. بدین منظور از تخمین رگرسیون کمکی حاصل از بسط درجه سوم تیلور تابع انتقال (رابطه (۲۰)) استفاده می‌شود. قبل از تخمین معادله باید ابتدا متغیر انتقال مشخص شود. متغیر انتقال، متغیری است که تغییرات آن و فاصله آن از حد آستانه می‌تواند بر اثربخشی متغیر یا متغیرهای توضیحی بر متغیر وابسته اثرگذار باشد.

جدول ۵. نتایج آزمون‌های خطی بودن، تعیین متغیر انتقال و فرم تابع انتقال

متغیر انتقال	سطوح عدم اطمینان				مدل
	F	F4	F3	F2	پیشنهادی
COM	۰/٤٤٥۹	۰/۲٥۹۱	۰/٤۲۸۰	۰/۷۲۳٥	خطی
*VAL	٥/۸۹۳۹×۱۰$^{-۱۱}$	۰/۲۹٥۸	۷/۰۹۳٥×۱۰$^{-٦}$	٥/۳٥٤٥×۱۰$^{-۷}$	LSTR1
CAP	۱/٦۰۳٤×۱۰$^{-۹}$	۰/۰۲۷۲	۲/٦۹۷٤×۱۰$^{-۹}$	۱/۲٤۳۱×۱۰$^{-٦}$	LSTR2
GDEBT	۹/۷٦۷۱×۱۰$^{-۹}$	۰/۳۷٤۱	۱/۷٤۳۰×۱۰$^{-٦}$	۹/٤۳۱۲×۱۰$^{-۸}$	LSTR1

ماخذ: یافته‌های پژوهش

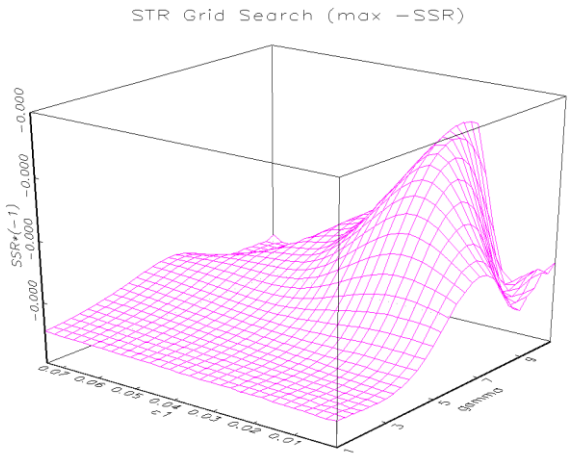
1. Durbin–Wu–Hausman test

با توجه به نتایج به دست آمده از آنجا که متغیر نرخ رشد ارزش جاری کل بازار بورس (VAL) کمترین سطح عدم اطمینان را داراست با رد فرضیه‌های H_{02} و H_{04} تابع لاجستیک دو رژیمی (LSTR1) انتخاب و متغیر بیان شده به عنوان مناسب‌ترین متغیر انتقال انتخاب می‌شود. بنابراین، ضرایب الگو براساس موقعیت نرخ رشد ارزش جاری بازار بورس می‌تواند دچار تغییر شود.

۵-۲. برآورد مقادیر اولیه در برآورد c و γ

با توجه به ماهیت غیرخطی الگوها، در این مرحله به یافتن مقادیر مناسب اولیه برای ضرایب الگوی رگرسیون انتقال ملایم توسط الگوریتم نیوتون- رافسون می‌پردازیم. جست‌وجوی مقادیر از طریق یک تقریب خطی برای c و خطی – لگاریتمی برای γ صورت می‌پذیرد. بدین صورت که برای هر مقدار c و γ مجموع مربعات خطا محاسبه می‌شود و مقادیری از این دو پارامتر به عنوان نقطه شروع الگوریتم معرفی می‌شوند که کمترین مجموع مربعات خطا[1] (SSR) را حاصل کند. در شکل (۱) قرینه مجموع مربعات خطا را که تابعی از c و γ هستند، نشان داده است. براساس نتایج برآورد؛ مقدار اولیه $c = 0.0180$ و $\gamma = 5.3805$ به عنوان نقطه شروع الگوریتم انتخاب می‌شوند.

شکل ۱. قرینه تابع مجموع مربعات خطا



ماخذ: یافته‌های پژوهش (خروجی نرم‌افزار Jmulti)

1. The Sum of Squared Residuals

پس از انتخاب مقادیر اولیه توسط نرم‌افزار JMulTi می‌توان ضرایب الگو را با در نظر گرفتن نرخ رشد ارزش بازار بورس به عنوان متغیر انتقال و فرم تابعی LSTR1 برای تابع انتقال برآورد کرد. نتایج این تخمین در جدول (۷) گزارش شده است.

جدول ٦. نتایج تخمین الگوی غیرخطی به صورت LSTR1

متغیر	ضریب	آماره t (ارزش احتمال)	متغیر	ضریب	آماره t (ارزش احتمال)
بخش خطی			بخش غیر خطی		
Const	-۰/۱۵۸	-٤/۰٤ (۰/۰۰۰)	Const	۰/۱۷۱	۳/۳۹ (۰/۰۵۵)
COM	-۰/۰۲۲	-۲/۹۸ (۰/۰۰۵)	COM	۰/۰۰۳	۲/۰۸ (۰/۰٤۲)
VAL	۰/۰۰۹	۲/۳۳ (۰/۰۲٦)	VAL	-۰/۱۰۷	-۲/٦٥ (۰/۰۱۳)
CAP	۰/۰۰۱	۱/۷٦ (۰/۰۸۷)	CAP	-۰/۰۲۹	-۲/۵۱ (۰/۰۱۸)
GDEBT	۰/۰۸۲	۲/٤۳ (۰/۰۲۹)	GDEBT	-۰/۰۰٤	-٤/۹٥ (۰/۰۰۰)
مقدار آستانه(C1)	۰/٦۸	۵/۰۷٦ (۰/۰۰۲)	آکائیک	-۳/۹۷	
سرعت انتقال(γ)	۸/٤۵۹	۸/۳۷۰ (۰/۰۰۰)	شوارتز	-۳/۰۹	
R^2	۰/۹۹		($\bar{R}^2$)	۰/۹۹	

ماخذ: یافته‌های پژوهش

ملاحظه می‌شود که غیر از ضریب مربوط به نرخ رشد خالص موجودی سرمایه در بخش خطی، سایر ضرایب به دست آمده در جدول (۶) از معناداری لازم برخودار هستند. همان‌طور که در بخش‌های قبل توضیح داده شد، این الگو در حالت حدی از دو رژیم تبعیت می‌کند. رژیم اول حالتی است که تابع انتقال برابر با صفر باشد که تنها ضرایب قسمت خطی را خواهیم داشت. رژیم بعدی حالتی است که تابع انتقال برابر یک باشد. در این صورت ضرایب مدل برابر است با مجموع ضرایب بخش خطی و غیرخطی. بنابراین، در هر زمان ضرایب الگو متناسب با مقدار تابع انتقال می‌تواند بین این دو رژیم حدی قرار گیرد. همچنین از آنجایی که ضرایب در رژیم دوم الگو دارای علامت ضرایب رژیم اول است، این رخداد این‌گونه تفسیر می‌شود که اثر متغیرها در نزدیکی حد آستانه تضعیف می‌شود. همان‌طور که در بخش‌های قبل بیان شد ضرایب مدل STR، بین ϕ و $\phi + \theta$ در نوسان خواهد بود. بنابراین، می‌توان گفت که ضرایب بین مقادیر به‌دست آمده از رژیم اول و دوم در نوسان است.

نتایج تخمین مدل نشان می‌دهد که پارامتر شیب که بیانگر سرعت انتقال از یک رژیم به رژیم دیگر است، معادل سرعت انتقال ملایم، ۸/۴۵۹ برآورد شده است. مقدار مکان وقوع تغییر رژیم نیز ۰/۶۸ درصد برآورد شده است. بنابراین، در صورتی که متغیر انتقال که در این مطالعه نرخ رشد ارزش جاری بازار بورس و اوراق بهادار تهران شناسایی شده است از ۰/۶۸ درصد تجاوز کند، رفتار متغیر مطابق رژیم دوم خواهد بود و در صورت کمتر بودن آن از حد آستانه‌ای محاسبه شده، در رژیم اول قرار خواهد گرفت. به دلیل اینکه ضرایب متغیرها با توجه به مقدار متغیر انتقال (VAL) و پارامتر شیب تغییر می‌کنند و در طول زمان یکسان نیستند، نمی‌توان مقدار عددی ضرایب ارائه شده در جدول (۷) را به طور مستقیم تفسیر کرد و فقط به تحلیل علامت‌ها خواهیم پرداخت (رابطه (۲۵) و (۲۶)).

$$ENT_t = -۰/۱۵۸ - ۰/۰۲۲\ COM_t + ۰/۰۰۹\ VAL_t + ۰/۰۰۱\ CAP_t + ۰/۰۸۲ GDEBT_t \quad (۲۵)$$

رژیم اول

$$ENT_t = ۰/۱۷۱ - ۰/۰۹۸ VAL_t - ۰/۰۲۸ CAP_t + ۰/۰۷۸\ GDEBT_t \quad (۲۶)$$

رژیم دوم

عرض از مبدا در رژیم اول برابر ۰/۱۵۸- و در رژیم دوم ۰/۱۷۱ برآورد شده است. ضریب به دست آمده برای نرخ رشد تعداد شرکت‌های پذیرفته شده در بازار بورس و اوراق بهادار تهران به صورت خطی برابر ۰/۰۲۲- و معنادار محاسبه شده که با توجه به نتیجه تخمین، اثر آن بر آنتروپی پول در فضای تولید قبل از حد آستانه و تغییر رژیم، منفی و مطابق انتظار برآورد شده است. بنابراین، مقدار این ضریب همواره منفی و بین ۰/۰۲۲- و ۰/۰۱۹- تغییر می‌کند. مطابق انتظار این نتیجه بیانگر آن است که با افزایش نرخ رشد تعداد شرکت‌های پذیرفته شده در سازمان بورس، آنتروپی پول در فضای تولید ناخالص داخلی کاهش می‌یابد. با پیوستن شرکت‌های جدید به سازمان بورس و لزوم انتشار صورت‌های مالی ضمن افزایش شاخص اطلاعات مفید و تلاش شرکت برای رسیدن به سطح سودآوری بدیهی است که اختلالات پولی کاهش می‌یابد.

متغیر نرخ رشد ارزش جاری بازار بورس که دلیل رابطه غیر خطی مدل نیز است تا قبل از حد آستانه و در رژیم اول تاثیر مثبت و بعد از حد آستانه و در رژیم دوم اثر منفی بر آنتروپی پول در فضای تولید دارد. در واقع این نتایج بیانگر آن است که ارزش بازار بورس در سطوح مختلف تاثیرات نامتقارنی بر اختلالات نظام پولی در فضای تولید کشور خواهد داشت. قبل از حد آستانه؛ یعنی در سطوح پایین ارزش جاری بازار بورس با عدم مشارکت شرکت‌ها و سازمان‌های صنعتی و قرار نگرفتن در یک محیط رقابتی به طبع با افزایش آنتروپی پولی همراه است، اما با عبور از حد آستانه‌ای و افزایش ارزش بازار از آن، آنتروپی رو کاهش می‌رود. ارزش جاری بازار سهام از مجموع حاصل‌ضرب تعداد سهام منتشر شده در قیمت‌های مربوطه به دست می‌آید.

متغیر موثر بعد خالص موجودی سرمایه است. موجودی سرمایه یکی از مهم‌ترین نهاده‌های تولید است. از دیدگاه نظری، اقتصاددانان معتقدند که سرمایه مهم‌ترین عامل رشد و توسعه اقتصادی است (عظیمی، ۱۳۷۱). تمامی مدل‌های ارائه شده در زمینه رشد اقتصادی نظیر مدل رشد هارود- دومار، سولو[1]، مدل‌های رشد درون‌زای نئوکلاسیک‌ها و تئوری توسعه رستو[2] بر اهمیت نقش سرمایه چه در بخش تقاضا و چه در بخش عرضه اقتصاد تاکیدی خاص دارند. کالاهای سرمایه‌ای شامل کالاهای مشهود نظیر ساختمان‌ها و ماشین‌آلات و کالاهای نامشهود مانند نرم‌افزارها، حق اکتشاف و منابعی از این دست می‌شوند. موجودی سرمایه تصویری ابتدایی از دارایی‌های سرمایه‌ای موجود برای استفاده در فرآیند تولید در یک لحظه از زمان فراهم می‌آورد. همچنین موجودی سرمایه که شاخصی برای پیش‌بینی عملکرد بالقوه در اقتصاد است در سیاست‌های اقتصادی و تحلیل‌های رشد اقتصادی جایگاه مهمی دارد و مبنایی برای اندازه‌گیری ثروت ملی و درک عوامل موثر بر رشد اقتصادی، مانند پیشرفت بهره‌وری، پیشرفت فنی و کارایی ارائه می‌دهد. منظور از سرمایه در این پژوهش، دارایی‌های غیرمالی تولید شده ثابت (واحدهای مسکونی، سایر بناها و سازه‌ها و ماشین‌آلات و تجهیزات) خواهد بود که تحت عنوان تشکیل سرمایه ثابت ناخالص در حساب‌های ملی تعریف شده است. سپس با کسر مصرف سرمایه ثابت دارایی‌های ثابت فیزیکی در هر سال به رقم موجودی سرمایه خالص دست خواهیم یافت (معاونت اقتصادی

1. Harrod-Domar growth model
2. Walt Whitman Rostow (1916-2003)

بانک مرکزی، ۱۳۹۹). با معرفی مختصر این متغیر با اهمیت در ادبیات اقتصادی اکنون به بررسی تاثیر آن بر اختلالات نظام پولی خواهیم پرداخت.

با توجه به نتایج تخمین این متغیر قبل از حد آستانه و در رژیم اول دارای تاثیر مثبت و بعد از گذشتن از حد آستانه و در رژیم دوم اثر منفی بر آنتروپی پول داشته است که این نتایج مطابق با انتظار و منطبق بر نظریه‌های اقتصادی است. موجودی سرمایه حاصل طی روند تشکیل تا بهره‌برداری از سرمایه است. مفهوم اصلی تشکیل سرمایه آن است که یک مجموعه حاصل تمام فعالیت‌های خود را به نیازمندی‌های و تمایلات مصرفی فوری تخصیص نمی‌دهد و قسمتی از آن را صرف تولید کالاهای سرمایه‌ای می‌کند. به بیان دیگر، ماهیت و جوهره جریان سرمایه عبارت است از تخصیص بخشی از منابع به تولید، ایجاد، خرید و یا اجاره کالاهای سرمایه‌ای تا بتوان در آینده امکان بسط و گسترش تولید را ایجاد کرد (Nurkse, 1953). در سطوح پایین موجودی خالص سرمایه به دلیل عدم امکان تولید از منابع سرمایه‌ای از جمله ماشین‌آلات، ساختمان و... به عنوان نهاده اصلی، مسیر نقدینگی به تولید در تنگنا قرار می‌گیرد، اما با ایجاد سرمایه و رفع این تنگنا، بهره‌وری در بخش‌های فعال تولیدی افزایش یافته به مرور از بی‌نظمی پول در فضای تولید کاسته و نقدینگی به سمت تولید هدایت می‌شود.

تاثیر نرخ رشد کسری بودجه دولت‌ها در هر دو رژیم بر بی‌نظمی پول، مثبت و معنادار بوده است. کسری بودجه[1] به عنوان یک ابزار سیاست مالی نقش حیاتی در کمک به دولت‌ها برای دستیابی ثبات اقتصادی در سطح کلان، کاهش فقر، توزیع مجدد درآمد و رشد پایدار

---

۱. معنی کلمه «کسری» از مفهوم «بدهی» که بیانگر انباشت کسری‌های سالانه است، متمایز است. کسری‌ها هنگامی به وقوع می‌پیوندند که مخارج دولت از درآمد به‌دست آمده فراتر رود. عموما کسری بودجه دولت را می‌توان شامل دو عنصر در نظر گرفت، عنصر ساختاری و عنصر دوره‌ای. در پایین‌ترین سطح از چرخه تجاری، سطح بالایی از بیکاری وجود دارد که این امر بدین معناست که درآمد مالیاتی پایین و مخارج (همانند تامین اجتماعی) بالا است. برعکس، در نقطه اوج چرخه تجاری، بیکاری پایین بوده، درآمد مالیاتی در حال افزایش و مخارج تامین اجتماعی در حال کاهش هستند. در نقاط پایین چرخه تجاری به میزان استقراض مورد نیاز کسری بودجه دوره‌ای گویند. براساس این تعریف، کسری بودجه دوره‌ای به طور کامل به واسطه مازاد دوره‌ای در اوج چرخه تجاری بازپرداخت خواهد شد. کسری بودجه ساختاری، نوعی از کسری بودجه است که در طول چرخه تجاری باقی می‌ماند، چراکه سطح عمومی مخارج از سطوح درآمدی متداول فراتر رفته می‌رود. کسری بودجه مشاهده شده با کل کسری بودجه ساختاری به همراه کسری یا مازاد بودجه دوره‌ای برابر است (Dillow, 2013)

را بر عهده دارد. در کشورهای توسعه‌یافته، بودجه دولت عموما یک ساختار درآمدی مبتنی بر مالیات و یک ساختار مخارجی انعطاف‌پذیر دارد؛ به طوری که از کسری بودجه مزمن جلوگیری می‌کند. به علاوه، در این کشورها کسری‌های موقتی اغلب با استقراض از بازارهای مالی داخلی و خارجی تامین می‌شود. بنابراین، تا حد ممکن تاثیرگذاری وضعیت مالی دولت بر نقدینگی کاهش می‌یابد. مطالعات تجربی نیز این موضوع را تایید کرده‌اند، اما در کشورهای در حال توسعه - به ویژه کشورهای دارای منابع نفت- ساختار بودجه از حیث درآمدی، پرنوسان و از حیث مخارجی، انعطاف‌ناپذیراست. این ساختار نامناسب با ایجاد کسری بودجه‌های پی‌درپی موجب تمایل دولت‌ها به سیطره بر بخش پولی می‌شود که «همسازی» بخش پولی با وضعیت مالی دولت و استفاده بی‌رویه از حق‌الضرب را به همراه دارد. بنابراین، در کشورهای در حال توسعه، توجه صرف به نقش بانک مرکزی در کنترل تورم کافی نیست، بلکه لازم است قدرت واکنش مثبت یا منفی نقدینگی به وضعیت مالی بودجه دولت نیز مورد ارزیابی قرار گیرد (Kwon et al., 2009).

ناکافی بودن منابع مالیاتی و نوسانات درآمدهای نفتی موجب ساختار درآمدی ناپایدار شده است. همچنین نوع نظام حاکمیتی، نگرش دولتمردان و وجود درآمدهای نفتی سهل‌الوصول، روند به شدت صعودی و کاهش‌ناپذیر مخارج جاری را به همراه داشته است. بر این اساس، مخارج دولت در هنگام افزایش درآمدهای نفتی به سرعت منبسط و تامین مالی می‌شود؛ در حالی که با کاهش درآمدهای نفتی، انقباض آن از نظر سیاسی- اجتماعی پذیرفته نیست. امکان افزایش فشار مالیاتی نیز به دلایلی از قبیل پایه مالیاتی کوچک و نظام مالیاتی ناکارآمد وجود ندارد. در نتیجه دولت‌ها در تمامی سال‌های بعد از انقلاب (بجز سه سال) با کسری بودجه مواجه بوده‌اند که برای تامین آن بیشتر به استقراض مداوم و بی‌قید و بند از بخش پولی روی آورده‌اند. نقدینگی همراه با کسری بودجه -که روند کاهشی در آن مشاهده نمی‌شود- افزایش یافته و متعاقب آن تورم دو رقمی اقتصاد ایران را ایجاد و بازتولید کرده است. به عبارت دیگر، «کسری بودجه مزمن» و «تسلط بخش مالی دولت بر بخش پولی» دو مشخصه اقتصاد ایران در سال‌های بعد از انقلاب است که به نظر بسیاری از اقتصاددانان از دلایل اصلی رکود و تورم محسوب می‌شود.

٦. جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

در این مطالعه ابتدا به محاسبه میزان آنتروپی پول در فضای تولید ناخالص داخلی که نمایان‌گر سطح بی‌نظمی و اختلال در نظام پولی کشور است، پرداخته شده است. محاسبه آنتروپی پولی با استفاده از یک رویکرد اقتصاد فیزیک و به روش تصمیم‌گیری چند معیاره (MCDM) طی سال‌های ۱۳۹۸-۱۳۷۰ انجام گرفت. در این روش برای دستیابی به خروجی مورد نظر در محیط نرم‌افزار متلب از ارزش تولید ناخالص داخلی و حجم نقدینگی به عنوان دو گزینه و سال‌های مورد مطالعه به عنوان ۲۹ معیار استفاده شد. داده‌های سری زمانی از پایگاه اطلاعات سری زمانی بانک مرکزی استخراج شده‌اند. نتایج بیانگر روند افزایشی آنتروپی پول در فضای تولید اقتصاد کشور از سال ۱۳۷۰ تا ۱۳۹۲ بود. در واقع نقطه عطف روند، سال ۱۳۹۲ با بیشترین میزان بی‌نظمی پولی بوده است. سپس نامتقارن بودن رفتار آنتروپی پول در فضای تولید ناخالص داخلی در سطح مختلف ارزش کل بازار بورس با استفاده از مدل رگرسیونی انتقال ملایم (STAR) مورد آزمون قرار گرفت. نتایج این مطالعه نشان داد که ارتباط غیر خطی بین ارزش بازار بورس و اوراق بهادار و آنتروپی پول در فضای تولیدی اقتصد ایران وجود دارد. همچنین تعداد شرکت‌های پذیرفته شده در سازمان بورس، خالص موجودی سرمایه و کسری بودجه دولت‌ها نیز با آنتروپی پول دارای ارتباط معنی‌دار در هر دو رژیم اول و دوم در سطوح بالا و پایین آنتروپی پول هستند. در سطوح پایین ارزش جاری بازار بورس به عنوان متغیر انتقال، نسبت به حد آستانه برآورد شده ۰/۶۸ درصد، تنها تعداد شرکت‌های حاضر در بازار سرمایه کشور تاثیری منفی بر آنتروپی پول در فضای تولید داشته است. با عبور از حد آستانه؛ یعنی توسعه بازار سرمایه کشور و افزایش ارزش سهام شرکت‌ها در سطوح بالای ارزش جاری بازار بورس، خالص موجودی سرمایه و ارزش جاری بازار بیش از حد آستانه اثری منفی و معنی‌دار بر اختلالات پولی خواهد داشت. متغیر کسری بودجه دولت‌ها همانگونه که در برآورد جدول (۵) ملاحظه می‌شود، چه در سطوح پایین ارزش جاری بازار سرمایه و چه در سطوح بالاتر از حد آستانه، همواره بی‌نظمی پول را افزایش داده است.

٦-١. توصیه سیاستی

در سال‌های اخیر با تاثیر دولت‌ها بر بازارهای مالی از جمله بازار بورس و اوراق بهادار و تلاش برای تامین بودجه و پوشش بخشی از هزینه‌ها از این طریق، بی‌ثباتی و اختلالات پولی در فضای تولید و بازار سرمایه کشور بیش از پیش افزایش یافته است. براین‌اساس بخشی از وظیفه دولت که حمایت از بازار سرمایه و جلوگیری از هرج و مرج، فساد و بی‌ثباتی در بازارهای مالی است، مخدوش شده است. با توجه به تاثیر معنی‌دار و قابل ملاحظه کسری بودجه دولت در هر دو سطح پایین و بالای ارزش بازار بورس برآنتروپی پول در فضای تولیدی کشورکه خود شاخصی برای هرزروی و عدم دسترسی به منابع تولیدی در اقتصاد در نظر گرفته می‌شود، دولت‌ها باید ضمن حمایت از تولیدکنندگان و ارزش بازار سرمایه کشور، بستری مناسب و آسان برای ورود شرکت‌ها به این بازار را فراهم کرده تا علاوه بر ایجاد محیطی رقابتی و پویا در تولید و ایجاد ارزش از نهاده سرمایه در اقتصاد کشور با شفاف‌سازی کلیه فعالیت شرکت‌ها در صنایع خرد و کلان تا حدود زیادی به افزایش تولید و رشد اقتصادی کمک کنند.

تعارض منافع

تعارض منافع وجود ندارد.

ORCID

Mostafa Abdollahzadeh http://orcid.org/0000-0001-7855-1425

Hashem Zare http://orcid.org/0000-0002-4141-0589

منابع

حقیقت، جعفر. (۱۳۹۴). *اقتصاد پولی*. تبریز: انتشارات دانشگاه تبریز.

شقاقی، فیروز، پاک مرام، عسگر، بادآور نهندی، یونس. (۱۳۹۹). تاثیر مولفه‌های کیفیت نهادی بر متغیرهای بازار سهام. *علمی پژوهشهای اقتصادی ایران*، ۲۵(۸۵)، ۱۳۷-۱۶۶.

صادقی عمرو آبادی، بهروز، دی فث، برایان، رنانی، محسن. (۱۳۹۴). اندازه‌گیری شاخص آنتروپی سیستم در یک شبکه اقتصادی پیچیده (مطالعه موردی ایران). *اقتصاد مقداری*، ۱۲(۱)،۹۳-۱۲۶.

عظیمی، حسین.(۱۳۷۱). *مدارهای توسعه نیافتگی در اقتصاد ایران*. تهران: نشر نی.

فلاحی، فیروز، منتظری، جلال. (۱۳۹۳). اندازه دولت و رشد اقتصادی در ایران: آزمون وجود منحنی آرمی با استفاده از مدل رگرسیون انتقال ملایم. *پژوهش‌ها و سیاست‌های اقتصادی*، ۲۲(۶۹)، ۱۳۰-۱۵۱.

References

Antoniou, I., Ivanov, V. V., Korolev, Y. L., Kryanev, A. V., Matokhin, V. V., & Suchanecki, Z. (2002). Analysis of resources distribution in economics based on entropy. *Physica A: Statistical Mechanics and Its Applications*, *304*(3-4), 525-534.

Azimi, H. (1992). *Underdeveloped circuits in the Iranian economy*. Tehran. Nashr-e-Ney publishing. [In Persian]

Bacon, D. W., & Watts, D. G. (1971). Estimating the transition between two intersecting straight lines. *Biometrika*, *58*(3), 525-534.Ben-Naim, arieh (2007). *Entropy Demystified: The Second Law Reduced to Plain Common Sense*. London: World Scientific.

Burkett, P. (2006). *Marxism and Ecological Economics, in Toward a Red and Green Political Economy*. Leiden: Brill.

Chan, K., & Tong, H. (1986). on estimating thresholds in autoregressive models. *Journal of Time Series Analysis*, 7(3), 178–190.

Clausius, R. (1867). *The Mechanical Theory of Heat: With Its Applications to the Steam-Engine and to the Physical Properties of Bodies*. Hirst, T.A., Ed.; John van Voorst: London, UK, ISBN 9789353740962.

Cockshott, P. (2009). *Classical Econophysics*. London: Routledge.

Dugdale, J. (1996). *Entropy and its physical meaning*. Taylor & Francis, 2nd edition.

Dillow, C. (2010). The Myth of the Structural Deficit, Investors Chronicle, The Financial Times Limited. Retrieved 19 May 2013

Escribano, A., & Jorda, O. (1999). *Improved Testing and Specification of Smooth Transition Autoregressive Models, In Nonlinear Time Series Analysis of Economic and Financial Data*. Rothman P (Ed.). Kluwer Academic Press: Boston, 289–319.

Fallahi, F., & Montazeri, J. (2014). Government Size and Economic Growth in Iran: A Smooth Transition Approach. *Quarterly Journal of Economic Research and Policies*. 22(69), 130-151. [In Persian]

Fisher, I. (1925). Mathematical Investigations in the Theory of Value and Prices. Yale University Press: New Haven, CT ,USA; ISBN 978-1-61427-305-9.

Georgescu-Roegen, N. (1971). The Entropy Law and the Economic Process. Harvard University Press: Cambridge, MA, USA; ISBN 9780674281646.

Haghighat, J. (2016). Monetary economics. Tabriz university publishing. [In Persian]

Jakimowicz, A. (2020). The role of entropy in the development of economics. MDPI, Basel, *Switzerland*, 22(452), 2-25.

Ksenzhek, O. (2007). *Money: Virtual Energy; Economy through the Prism of Thermodynamics*. Florida: Universal Publishers.

Kwon, G., McFarlane, L., & Robinson, W. (2009). Public Debt, Money Supply and Inflation: a Cross-Country Study. *IMF Staff Papers*, 56(3), 476-515.

Lacey, L. (2021). The relationship between the US broad money supply and US GDP for the time period 2001 to 2019 with that of the corresponding time series for US national property and stock market indices, using an information entropy methodology. Statistical Finance.

Liu, Y., Liu, C., & Wang, D. (2011). Understanding Atmospheric Behavior in Term of Entropy: A Review of Applications of Second Law of Thermodynamics to Meteorology. *Entropy*, 13(1), 201-240.

López, A. (2008). Nonlinearities or Outliers in Real Exchange Rates? *Economic Modelling*, 25(16), 714–730.

Lundbergh, S., Terasvita, T., & Van Dijk, D. (2003). Time-Varying Smooth Transition Autoregressive Model. *Journal of Bussiness and Economic Statistics*, 21(2), 104-12.

Maneschi, A., & Zamagni, S. (1997). Nicholas Georgescu-Roegen, 1906-1994, *The Economic Journal*, 107(442).

Nurkse, R. (1953). Problems of Capital Formation in Underdeveloped Countries. Oxford, Basil Blackwell.

North, D. (2011). Limited Access Orders: Rethinking the Problems of Development and Violence. Accessible at: https://web.stanford.edu.

Rongbao Gu. (2017). Multiscale Shannon entropy and its application in the stock market. *Physica*, A(484),215-224.

Sadeghi Amroabadi, B., Fath, B., & Renani, M. (2016). Measuring system entropy generation in a complex economic network (The Case of Iran). *Quarterly Journal of Quantitative Economics*. 12(1), 93-126. [In Persian]

Shaghaghi, F., Pakmaram, A., & Badavarnahandi, Y. (2021). The effect of institutional quality components on stock market variables (Selected Islamic and Non-Islamic Countries). *Iranian Journal of Economic Research*. 25(85), 137-166. [In Persian]

Soddy, F. (1934). *The Role of Money: What It Should be, Contrasted with What it has Become*. London: Routledge.

Terasvirta, T. (1998). Smooth Transition Regression Modelling. In H.Lutkepohl and M. Kratzig (eds); Applied Time Series Econometrics. Cambridge University Press, Cambridge, No. 17

Van Dijk, D. (1999). Smooth Transition Models: Extensions and Outlier Robust Inference. PhD Thesis. Erasmus University Rotterdam.

Weber, M., & Leemis, L. (2006). Minimum Kolmogorov–Smirnov test statistic parameter estimates. *Journal of Statistical Computation and Simulation*, 76(3), 12-42.

Zencey, E. (1986). Entropy as a Root Metaphor .Ph.D. dissertation, Claremont Graduate School.

Zunino, L., Massimiliano, Z., Benjamin, M., Tabake, F., Darío, G., Pérez, G., & Osvaldo, A. R. (2010). Complexity-entropy causality plane: A useful approach to quantify the stock market inefficiency. *Physica A*, 389(9), 1891–1901.

استناد به این مقاله: عبداله‌زاده، مصطفی، زارع، هاشم. (۱۴۰۱). محاسبه آنتروپی پول در فضای تولید و رابطه آن با توسعه بازار سرمایه در اقتصاد ایران (رهیافتی از اقتصاد فیزیک و رگرسیون انتقال ملایم)، *پژوهش‌های اقتصادی ایران*، ۲۷ (۹۲)، ۷۷-۱۱۲.

Iranian Journal of Economic Research is licensed under a Creative Commons Attribution.NonCommercial 4.0 International License.