Prediction of Crisis in Tehran Stock Exchange with Entropy and Analyzing the Identified Crises such as Covid-19

Mohammad Osoolian[1] | m_osoolian@sbu.ac.ir
Ali Koushki[2] | a.koushki@ut.ac.ir

Received: 2021/11/23 | Accepted: 2021/09/12

Abstract Prediction is one of the most important premises in making investment decisions. Accordingly, investors are keen to be aware of market trends and price returns. For this purpose, several methods have been used in different fields; however, in the present study, the ability to predict the crisis by Cumulative Residual Entropy (CRE) and its generalized type, Fractional Cumulative Residual Entropy (FCRE), has been investigated. The data used in the research include the overall index, volume, trade value, and foreign exchange rate from October 2010 to July 2021. The results showed that both criteria could predict the crisis, but the FCRE is superior in crisis prediction. The identified periods of crisis are 2011-2012, 2014-2016, 2018-2019, and 2020. Each of the crises, including the recent Covid-19, was analyzed and investigated.

Keywords: Forecasting, Crisis, Cumulative Residual Entropy, Fractional Entropy, Covid-19.

JEL Classification: G17, G01, C02.

1. Assistant Professor Department of Finance, Faculty of Management and Accounting, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran (Correspondence Author).
2. M.A. Student of Finance, Faculty of Management and Accounting, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran.

The Journal of PLANNING & BUDGETING | Indexed In ISC | ISSN: 2251-9092 | Vol. 26 | No. 2 | Summer 2021 | PP 133-152

پیش‌بینی بحران در بورس اوراق بهادار تهران با معیارهای آنتروپی و بررسی بحران‌های شناسایی‌شده مانند کووید-۱۹

محمد اصولیان | m_osoolian@sbu.ac.ir
استادیار گروه مدیریت مالی، دانشکده مدیریت و حسابداری، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران (نویسنده مسئول).

علی کوشکی | a.koushki@ut.ac.ir
دانشجوی کارشناسی ارشد مالی، دانشکده مدیریت و حسابداری، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران.

مقاله پژوهشی

دریافت: ۱۳۹۹/۰۹/۰۳ | پذیرش: ۱۴۰۰/۰۶/۲۱

چکیده: پیش‌بینی مقدمهٔ تصمیم‌گیری است. از این‌رو، بسیاری از سرمایه‌گذاران تمایل دارند از روند بازارها و تغییرات بازده قیمت‌ها آگاهی داشته باشند. بدین منظور، روش‌های متعددی در حوزه‌های مختلف استفاده شده است، اما در پژوهش پیشارو به بررسی توانایی پیش‌بینی بحران به وسیله معیارهای آنتروپی باقی‌مانده تجمعی و نوع تعمیم‌یافته آن یعنی آنتروپی باقی‌مانده تجمعی فراکتالی پرداخته شده است. داده‌های مورد استفاده در پژوهش شامل شاخص کل، حجم معاملات، ارزش معاملات، و نرخ ارز از مهر ۱۳۸۹ تا تیر ۱۴۰۰ است. نتایج پژوهش نشان می‌دهد که هر دو معیار توانایی پیش‌بینی بحران را دارند، اما معیار آنتروپی باقی‌مانده تجمعی فراکتالی در پیش‌بینی بحران بهتر از آنتروپی باقی‌مانده تجمعی عمل می‌کند. بحران‌ها به‌ترتیب در بازه زمانی ۱۳۹۲-۱۳۹۱، ۱۳۹۵-۱۳۹۳، ۱۳۹۸-۱۳۹۷، و ۱۴۰۰-۱۳۹۹ شناسایی شده‌اند. هر یک از بحران‌ها، ازجمله بحران کووید-۱۹، مورد بررسی و تحلیل قرار گرفت.

کلیدواژه‌ها: پیش‌بینی، بحران، آنتروپی باقی‌مانده تجمعی، آنتروپی فراکتالی، کووید-۱۹.

طبقه‌بندی JEL: C02, G01, G17.

فصلنامه علمی - پژوهشی برنامه‌ریزی و بودجه
شاپا (چاپی) ۲۲۵۱-۹۰۹۲ | نمایه در ISC
سال بیست و ششم | شماره ۲ | تابستان ۱۴۰۰ | ص ص ۱۵۲-۱۳۳

مقدمه

بازار سرمایه به عنوان یکی از نهادهای مالی در سیستم اقتصادی، نقش پررنگ و مهمی را با جذب نقدینگی و هدایت آن در مسیر تولید ایفا می‌کند. این بازار یکی از معیارهای پویایی اقتصاد نیز شناخته می‌شود. بازار سرمایه با فراهم آوردن ویژگی‌هایی همچون شفافیت معاملات، کشف قیمت از طریق عرضه و تقاضا، نقدشوندگی بالا، پایین بودن هزینه‌های مبادلاتی، انتشار مناسب اطلاعات شرکت‌های پذیرفته‌شده و شفاف‌سازی در این حوزه به عنوان رکن مهمی در اقتصاد شناخته می‌شود (Sadeghi Sharif & Janiarloo, 2017; Madanizadeh & Ebrahimi, 2018).

بررسی و تحلیل تلاطم و بحران در بازارهای مالی، چند دهه‌ای است که به صورت بسیار کاربردی مورد توجه پژوهشگران در حوزه‌های مختلف قرار گرفته است. فضای پیچیدهٔ بازارهای مالی و اقتصادی و همچنین نیاز حیاتی به پیش‌بینی در تبیین سناریوهای مالی و اقتصادی آتی، ایجاب می‌کند که با کشف و تحلیل بازارهای مالی بتوان گامی موثر در جهت پیشبرد اهداف نظام مالی و اقتصادی برداشت. بحران در شاخص‌های مالی، ناشی از فرایند انتقال اطلاعات به این بازارهاست. با توجه به این‌که بازارهای مالی می‌توانند نمایانگر اقتصاد کشورها باشند، اطلاعات ایجادشده در بخش‌های مختلف یک کشور یا جهان می‌تواند در بازارهای مالی نمود پیدا کند و آن‌ها را متاثر سازد. اهمیت شاخص‌های بازار سرمایه به عنوان دماسنج این بازار، به سوق دادن پژوهشگران به سمت پژوهش‌هایی در زمینه پیش‌بینی این بازار منجر شده است.

پس از بحران مالی سال ۲۰۰۸، به اهمیت بحران و ریسک متعاقب آن و روش‌های اندازه‌گیری و پیش‌بینی آن بیش از پیش توجه شده است. به دنبال پژوهش‌های پیشین، ابزارهای گوناگونی برای پیش‌بینی بحران معرفی شده‌اند. هر یک از این ابزارها، در بازارهای متفاوتی بررسی و توسعه یافته‌اند. در سال‌های اخیر، به منظور پیش‌بینی بحران از توسعه‌های آنتروپی شانون[1] در بازارهای کشورهای مختلف استفاده شده و نااطمینانی محاسبه‌شده به وسیله شاخص‌های آنتروپی پیش از وقوع بحران مورد توجه قرار گرفته است (Lahmiri & Bekiros, 2020; Osoolian *et al*., 2019).

این پژوهش با رهیافت نظری به مفهوم بحران در بازارهای مالی پرداخته است. در این راستا، سهم پژوهش حاضر در ادبیات آن است که از میان معیارهای توسعه‌یافته آنتروپی، جدیدترین توسعه از آنتروپی شانون را در بازار سرمایه ایران بررسی می‌کند. معیارهای متداول شامل آنتروپی شانون، رنی[2]، و تسالیس[3]

1. Shannon
2. Renyi
3. Tsallis

جملگی در بازار سرمایه ایران بررسی شده‌اند (Heidarpoor & Alavi, 2015; Osoolian *et al*., 2019). در این پژوهش، از توسعه آنتروپی شانون به آنتروپی باقی‌مانده و سپس به آنتروپی فراکتالی استفاده شده تا دینامیک بازار سرمایه بررسی گردد. در آنتروپی باقی‌مانده تجمعی، برعکس معیارهای پیشین، نگاه بر تابع چگالی احتمال باقی‌مانده است. همچنین، با توسعه آنتروپی به درجات فراکتالی، امکان بررسی اطلاعات موجود در بازار سرمایه در کسرهای مختلف فراهم می‌گردد. سهم دیگر پژوهش حاضر در ادبیات استفاده از تابع چگالی احتمال باقی‌مانده و تعمیم آن به سایر معیارهای آنتروپی و همچنین استفاده از درجات فراکتالی مختلف برای بررسی بازار بورس اوراق بهادار تهران است. بدین صورت، می‌توان با استفاده از کسرهای مختلف اطلاعات و تابع چگالی باقی‌مانده اطلاعات مورد اعتمادتری نسبت به سایر معیارهای پیشین مورد بررسی قرار داد و در مورد آن‌ها تصمیم‌گیری کرد.

مبانی نظری پژوهش

به‌طور کلی آنتروپی بیانگر نااطمینانی است. هرچه مقدار بیش‌تری محاسبه شود، نااطمینانی از درک وضعیت موجود بالاتر می‌رود و نیاز به اطلاعات بیش‌تری برای بررسی وضعیت سیستم احساس می‌شود. بر اساس مبانی ریاضیات، توسعه‌های متعددی از آنتروپی پیشنهاد شده‌اند. در این میان، آنتروپی باقی‌مانده تجمعی و آنتروپی باقی‌مانده تجمعی فراکتالی دو توسعهٔ اخیر از آنتروپی شانون هستند که بر مبنای تغییر تابع چگالی احتمال و استفاده از کسرهای مختلف اطلاعات توسعه پیدا کرده‌اند.

در ابتدا پژوهش‌هایی با محوریت آنتروپی بیان می‌شود. سپس پژوهش‌هایی که آنتروپی را با روش‌های دیگر به منظور پیش‌بینی بکار گرفته، و در نهایت پژوهش‌هایی با محوریت بحران، بیان می‌شوند.

پژوهش کیو و یانگ[1] (۲۰۲۰) آنتروپی انتقال[2] را برای سری‌های کوتاه‌مدت با استفاده از برآورد همبستگی ـ وابسته[3] و آنتروپی نفوذی[4] بررسی می‌کند. یافته‌های پژوهش نشان می‌دهد که روش آنتروپی نفوذی موثرتر از روش آنتروپی انتقال برای سری‌های کوتاه‌مدت است. نتیجه بخش دیگری از پژوهش نشان می‌دهد که تقریباً کلیه نقاط بیشینه در منحنی‌ها، قبل از بحران‌های مالی (مانند

1. Qiu & Yang
2. Transfer Entropy
3. Correlation-Dependent Balanced Estimation
4. Diffusion Entropy

بحران مالی جهانی در سال ۲۰۰۸ یا سقوط بازار سهام چین در سال ۲۰۱۵) بوده‌اند. به عبارت دیگر، آنتروپی پیش از بحران‌های مالی، یک نقطه حداکثری را به ثبت رسانده بود. بر اساس این، ما نیز پیش‌بینی می‌کنیم که به هنگام بررسی بحران در بورس تهران، نقاط بیشینه در اشکال به‌دست‌آمده مشاهده شود. ژانگ و همکاران[1] (۲۰۱۹)، از یک مدل ترکیبی به منظور پیش‌بینی گرایش[2] به صندوق‌ها استفاده می‌کنند. این مدل مبتنی بر شبکه عصبی همراه با الگوریتم ژنتیک، آنتروپی بهینه[3]، و تابع تغییر[4] است. مدل استفاده‌شده شامل پیش‌پردازش داده‌های ورودی و خروجی است. در بخش ورودی با توجه به خصوصیات مختلف داده، از روش‌های الگوریتم ژنتیک، آنتروپی بهینه، و تابع تغییر به عنوان ورودی به شبکه عصبی استفاده می‌شود. در بخش خروجی به منظور پیش‌بینی نهایی از الگوریتم انتشار برگشتی استفاده می‌گردد. نتایج پژوهش نشان می‌دهد که با استفاده از این مدل ترکیبی، ارزش خالص صندوق‌های چین پیش‌بینی‌پذیر است و دقت به‌دست‌آمده در حد بسیار مطلوبی قرار دارد. همچنین، آنتروپی به عنوان ورودی مدل موجب افزایش دقت مدل ترکیبی شده است. کائو و وانگ[5] (۲۰۲۰)، به منظور ساخت یک مدل دقیق پیش‌بینی، ابتدا از تجزیه‌وتحلیل مولفه اصلی[6] برای تجزیه‌وتحلیل داده‌های اصلی استفاده می‌کنند. این پژوهش از سه الگوریتم شبکه عصبی انتشار بازگشتی برای آزمایش استفاده می‌کند و در نهایت وضعیت پیش‌بینی آن‌ها را با یکدیگر مقایسه می‌نماید. نتایج پژوهش نشان می‌دهد که شبکه عصبی انتشار بازگشتی مبتنی بر الگوریتم منظم بیزین[7] بالاترین دقت پیش‌بینی را دارد و می‌تواند از مسئلهٔ برازش بیش از حد در فرایند آموزش مدل جلوگیری کند. در پژوهش هو و همکاران[8] (۲۰۱۷)، با استفاده از آنتروپی شانون، تجزیه‌وتحلیل آنتروپی چندمقیاسی[9] برای شاخص صنعتی داو جونز[10] انجام شده است. طبق نتایج به‌دست‌آمده، شاخص مورد بررسی ویژگی‌های آنتروپی چندمقیاسی را که ناشی از نویز[11] در بازار است، نشان می‌دهد. همچنین، این پژوهش نشان می‌دهد که آنتروپی توانایی پیش‌بینی قابل‌توجهی

1. Zhang *et al*.
2. Tendency
3. Optimal Entropy
4. Variety Function
5. Cao & Wang
6. Principal Component Analysis
7. Bayesian Regularization Algorithm
8. Hou *et al*.
9. Multiscale Entropy Analysis
10. Dow Jones Industrial Index
11. Noise

برای شاخص سهام در بلندمدت و کوتاه‌مدت دارد و نتایج تجربی تایید می‌کنند که نویز در بازار وجود دارد و می‌تواند بر قیمت سهام اثر بگذارد. سولوویف و همکاران[1] (۲۰۱۹)، محاسباتشان را در دامنه الگوریتم پنجره غلتان[2] همراه با مقایسه معیارهای پیچیدگی آنتروپی برای بررسی پویایی شاخص صنعتی داو جونز انجام می‌دهند. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که آنتروپی شانون خود یک شاخص هشداردهندهٔ بحران است و آنتروپی جایگشت و آنتروپی تسالیس شاخص‌های پیشارو در رویدادهای بحرانی هستند. بنابراین، ما در این پژوهش با استفاده از توسعه دیگری از آنتروپی شانون انتظار داریم نتایج در رویدادهای بحرانی مشابه باشد و این معیار با توجه به استفاده از ریاضیات فراکتالی بتواند نتایج بهینه‌تری ارائه دهد. گنکای و گراجویک[3] (۲۰۱۷)، به تجزیه‌وتحلیل مقایسه‌ای در مورد پویایی‌های بازارهای مالی در بحران‌های ۱۹۸۷ و ۲۰۰۸ می‌پردازند. طبق نتایج به‌دست‌آمده، آنتروپی تسالیس برای سقوط کوتاه‌مدت و ناگهانی بازار در ۱۹۸۷ بهتر عمل کرده است، در حالی که آنتروپی تقریبی در مورد پیش‌بینی‌های طولانی مدت بحران بهتر عمل کرده و بحران سال ۲۰۰۸ را به‌خوبی پیش‌بینی نموده است. اوه و همکاران[4] (۲۰۱۵)، تابع چگالی آنتروپی را برای سری زمانی بازده[5] برای شاخص‌های KOSPI، S&P500، و DAX تجزیه‌وتحلیل می‌کنند و تغییرات در آنتروپی را در طول زمان بررسی می‌نمایند. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که تابع چگالی آنتروپی برای شاخص S&P500 در طول بحران ساب‌پرایم‌ها[6] کاهش قابل‌توجهی را نسبت به دوره‌های دیگر نشان می‌دهد، در حالی که در بازارهای دیگر مانند آلمان و کره جنوبی، به هنگام وقوع بحران کاهش قابل‌توجهی وجود ندارد. این یافته‌ها نشان می‌دهد که شاخص S&P500 به هنگام بحران یک الگوی منظم در سری زمانی بازده ایجاد می‌کند.

با توجه به این‌که پژوهش‌های مرتبط با آنتروپی در مواردی مانند حسابداری بکار رفته‌اند (عبداله‌زاده و همکاران، ۱۳۹۲)، هم‌اکنون به تنها پژوهش مرتبط در این زمینه در مقالات فارسی اشاره می‌کنیم. در پژوهش اصولیان و همکاران (۲۰۱۹)، رفتار شاخص کل سهام بورس اوراق بهادار تهران با استفاده از تکنیک آنتروپی چندمقیاسی شانون تحلیل شده است. بدین منظور ابتدا با استفاده از قیمت پایانی سهام شرکت‌های بورسی در بازه زمانی سال‌های ۱۳۹۲ تا ۱۳۹۶ خورشیدی آنتروپی

1. Soloviev *et al.*
2. Rolling Window
3. Gençay & Gradojevic
4. Oh *et al*.
5. Return Time Series
6. Subprime Crisis

در بازه‌های زمانی ماهانه، فصلی، شش‌ماهه، و سالانه و در دو مقیاس ۵۰- و ۵۰ محاسبه شد و سپس وجود رابطه علّیت گرنجری بین این سری‌ها و شاخص کل با استفاده از آزمون تودا-یاماموتو مورد بررسی قرار گرفت. نتایج پژوهش نشان می‌دهد که آنتروپی‌ها علت خطی شاخص بورس هستند. به عبارت دیگر، اطلاعات اصلی در بازه‌های زمانی ماهانه، فصلی، شش‌ماهه، و سالانه، همچنین نوسانات کوچک در بازه فصلی، علت خطی شاخص کل هستند.

بحران‌های اقتصادی ایران: از ۱۳۹۱ تا ۱۴۰۰

در این بخش به بحران‌های اقتصادی ایران پرداخته می‌شود. بحران نخست در بازه زمانی ۱۳۹۱ و ۱۳۹۲ است. این بحران را می‌توان تا حدی نتیجهٔ بحران سال ۲۰۰۸ آمریکا دانست که تنها همین کشور را تا سال ۲۰۱۱ گریبانگیر اثرات منفی آن کرده بود. اگرچه بازار ایران چندان در بازارهای بین‌المللی تنیده نیست، بنابراین بحران مالی سال ۲۰۰۸ به‌طور مستقیم به ایران منتقل نشده است (Sadeghi, 2014). با توجه به ساختار ویژهٔ وابستگی اقتصاد ایران به درآمدهای نفتی، می‌توان کانال اصلی انتقال بحران به اقتصاد ایران را از طریق درآمدهای نفتی دانست. در سال ۱۳۹۲ حباب شکل‌گرفته در بازار به دلیل رشد قیمت‌های جهانی بازار کالا[1] و پس از آن کاهش قیمت ناگهانی بازار کالا موجب شد که بازار بورس اوراق بهادار تهران نیز خود را تطبیق دهد و تخلیه حباب صورت گرفت. در سال ۱۳۹۲ حباب شکل‌گرفته به قدری بود که برخی از سهام‌ها تا به امروز شاید تنها ۱۰۰ درصد بازدهی از سقف ۱۳۹۲ را به سهامدارانشان اعطا کرده باشند. نکته قابل‌توجه آن است که در این سال قیمت دلار در بازه ۳۰۰۰ تومان تغییرات داشته و ریزشی در نرخ ارز رخ نداده است. بنابراین، نرخ ارز در این بحران نقشی نداشته است.

دلیل اثرگذاری بحران‌های جهانی را می‌توان این‌گونه توصیف نمود: وقوع بحران جهانی قیمت کالاهای اساسی را در سطح جهانی کاهش می‌دهد. در نتیجه، شرکت‌های داخلی، ازجمله شرکت‌هایی که صادرکننده نیستند، نیز دچار مشکلات مالی فراوان می‌شوند. به دلیل واردات کالاهای ارزان با قیمت جهانی کاهش‌یافته، تقاضا برای محصولات این شرکت‌ها نیز کاهش می‌یابد. از طرف دیگر، تورم بالا در داخل کشور باعث می‌شود که بهای تمام‌شده محصولات تولیدی در داخل کشور افزایش داشته باشد و در نتیجه، قدرت رقابتی شرکت‌های داخلی از بین برود. از این‌رو، بحران در سطح جهانی می‌تواند بر شرکت‌های داخلی و ارزش سهام آن‌ها اثر داشته باشد. سرایت‌پذیری این تاثیر موجب

1. Commodity

بحران در سطوح بالاتر شده است (Assadi *et al*., 2017).

می‌توان بحران بعدی را که در بازه ۱۳۹۵-۱۳۹۳ رخ داده است مربوط به افزایش و رشد و سپس کاهش قیمت جهانی کالاها بین ژوئن ۲۰۱۴ و فوریه ۲۰۱۵ دانست. شرایط تقاضا و عرضه به کاهش قیمت انتظاری برای کلیه نُه شاخص قیمت کالاهای بانک جهانی[1] منجر شد، که این موضوع یک اتفاق بسیار نادر در زمان خودش بود. شوک قیمت بازار کالا در نیمه دوم سال ۲۰۱۴ را نمی‌توان به تنها یک عامل یا رویداد تعیین‌کننده نسبت داد. علت کاهش قیمت‌ها را باید در انبوهی از عوامل خاص صنعت، اقتصاد کلان و مالی یافت که گرد هم آمدند و باعث کاهش شدید بسیاری از طبقات مختلف بازار کالا شدند. در این میان، رسیدن اقتصاد چین به سطوح پایدارتر در رشد، و رونق یافتن نفت و انرژی شیل در ایالات متحده را می‌توان از مهم‌ترین عوامل از طرف تقاضا و از طرف عرضه که بر رکود قیمت جهانی کالاها حاکم بود، نام برد (Ghaderi & Shahrazi, 2020). همچنین در بازه ۱۳۹۵-۱۳۹۳ می‌توان به عواملی همچون سقوط بازار سهام چین و ارتباط آن با بازار ایران (Mirbargkar & Sohrabi, 2020)، کاهش تولید نفت توسط اوپک، رفع تحریم‌ها به وسیله گروه ۵+۱ اشاره کرد که می‌توانند از عوامل کاهش بازار سرمایه باشند. برای مثال، فضای نااطمینانی که به دلیل برجام وجود داشت (Varahrami *et al*., 2020)، موجب افزایش نرخ ارز تا ۴۱۵۰ تومان در بازار غیررسمی شد. پس از برجام قیمت ارز تا ۳۰۰۰ تومان کاهش یافت. همچنین در روز توافق، بازدهی شاخص کل منفی شد و سهامداران خرد متضرر شدند. از آن‌جا که نرخ ارز یکی از محرک‌های صعود و نزول بازار سرمایه است، بازار به انتظارات نرخ ارز پاسخ داده و کاهش یافته است. مشخص شده است که یک رابطهٔ علّی از سوی نوسانات نرخ ارز به سمت نااطمینانی در شاخص بورس اوراق بهادار تهران وجود دارد (Hallafi & Saeedi, 2012). در واقع، نرخ ارز یکی از مهم‌ترین متغیرهای بخش پولی اقتصاد است که این متغیر با نااطمینانی و بی‌ثباتی خود، تغییراتی را در شاخص سهام ایجاد می‌کند (ذوالفقاری و همکاران، ۱۳۹۳).

در بحران مهر ۱۳۹۷، دو عامل حجم معاملات و نرخ ارز توامان مشاهده می‌شوند. در این تاریخ نرخ ارز در بازار آزاد به رقم ۱۶۴۰۰ تومان و حجم معاملات به ۵۸۴۵ میلیون سهم و ارزش معاملات به ۲۰۰۰ میلیارد تومان رسید. هر دو این عوامل به سقف تاریخی خود رسیده بودند. پس از این تاریخ، نرخ ارز تا ۹۷۰۰ تومان ریزش کرد و در نتیجه بازار سرمایه نیز با نرخ ارز تطبیق یافت. حجم معاملات به رقم ۸۰۰ میلیون سهم و ارزش معاملات به ۳۶۴ میلیارد تومان رسید. می‌توان از عوامل بحران سال ۱۳۹۹ حضور بی‌سابقه مردم در بازار سرمایه را نام برد (Osoolian & Koushki, 2020a). هجوم مردم

1. World Bank`s Commodity Price Indices

در وارد کردن سرمایه‌های خرد به این بازار، افزایش بی‌سابقه شاخص کل را رقم زد. ارزش معاملات که پیش از این در مقیاس میلیارد تومان بود، به مقیاس هزار میلیارد تومان رسید. ورود بی‌سابقه مردم زمینهٔ شکل گرفتن حباب را در شرکت‌های بازار سرمایه فراهم کرد. در نهایت این حباب از سال ۱۳۹۹ شروع به تخلیه کرد، اگرچه سیاست‌های دولت نیز در این مورد بی‌اثر نبوده است. در این تاریخ، نرخ ارز نیز در بازار آزاد به رقم ۳۱۸۵۰ تومان افزایش و سپس کاهش یافت. در نتیجه، عامل موثر بعدی نرخ ارز بوده است که با کاهش آن، بازار سرمایه نیز خود را تطبیق داده است. از طرفی، حجم معاملات بیانگر عدم تقارن اطلاعاتی است. حجم معاملات، درست در زمانی که شاخص در سقف قرار داشته بود، بالاترین میزان را نشان می‌داد. از آن‌جا که حجم معامله نمایندهٔ جریان اطلاعاتی بازار در فرایند ایجاد بازده است (Abbasi *et al*., 2016)، این موضوع بیانگر عدم تقارن اطلاعاتی و همچنین وجود منابع اطلاعاتی متفاوت در بورس اوراق بهادار تهران را نشان می‌دهد.

همچنین، وقوع همه‌گیری کووید-۱۹ از انتهای سال ۱۳۹۸ و بیانیه رسمی سازمان بهداشت جهانی[1] در این زمینه از عوامل دیگر سقوط بازار سرمایه بوده است. در واقع، کووید-۱۹ تقاضا را همراه با عواملی همچون مشکلات ذخیره‌سازی کاهش داده است. برای مثال، در ۲۰ آوریل ۲۰۲۰ قرارداد نفت وست تگزاس اینترمدیت[2] در هر بشکه ۳۷/۶۳ دلار بسته شد، در حالی که قرارداد ژوئن در هر بشکه ۲۰/۴۳ دلار بسته شد. عوامل واسطه‌ای مانند واردات انبوه کالا و سرمایه، کاهش یافتن قیمت نفت، رکود جهانی متاثر از کووید-۱۹، و بسته شدن مرز کشورها تقاضا را برای کالاهای صادراتی صنایع بزرگ کشور و شرکت‌های حاضر در بازار سرمایه کاهش داده است (Osoolian & Koushki, 2020b). بنابراین، اقتصاد و بازار سرمایه ایران نیز تحت تاثیر قرار گرفته و قیمت سهام شرکت‌های داخلی تحت این اخبار منفی متاثر گشته است. از طرف دیگر، کاهش تقاضای داخلی نیز رکود را تشدید کرده و کاهش قیمت سهام و کاهش حجم معاملات را به همراه داشته است. عامل مهم دیگر در اثرگذاری کووید-۱۹ را می‌توان در پیشرفت شبکه ارتباطات در انتقال پرسرعت اطلاعات یافت. این موضوع آثار روانی ناشی از رکود و بحران جهانی را در بازار سرمایه ایران و روند آن به نوبه خود تشدید نموده است. از این‌رو، شناخت عوامل اثرگذار بر ارزش اوراق بهادار در بازار سرمایه می‌تواند در کنترل اثرات منفی بحران‌ها سودمند واقع شود. تاثیر عواملی همچون کاهش قیمت نفت و رشد اقتصاد جهانی بر قیمت و حجم صادرات، سرمایه‌گذاری و منابع مالی و پولی ایران، مسئله‌ای بدیهی است (Khiabani & Tavassoli, 2020).

1. World Health Organization
2. West Texas Intermediate

روش‌شناسی پژوهش

داده‌هایی که در پژوهش حاضر مورد تجزیه‌وتحلیل قرار می‌گیرند، اطلاعات مربوط به شاخص کل بورس اوراق بهادار تهران در دوره زمانی از ابتدای مهر ۱۳۸۹ تا ابتدای تیر ۱۴۰۰ به صورت روزانه است. داده‌های مورد نیاز پژوهش از آرشیو سایت شرکت مدیریت فناوری بورس اوراق بهادار تهران[1] استخراج شده است. همچنین به منظور بررسی کدهای نوشته‌شده و انجام محاسبات از نرم‌افزار متلب[2] استفاده شده است. نیاز به اشاره است که این پژوهش به مقادیر آتی شاخص کل یا روند احتمالی آن نمی‌پردازد. وظیفه این پژوهش آن است که از میان تجلی‌های مختلف پدیده بحران، الگوهایی را برجسته کند که پیشاپیش افت محسوس شاخص کل را پیش‌بینی می‌کند.

به منظور بررسی توانایی معیار آنتروپی باقی‌مانده تجمعی در حالت نظری، از پنج سری مصنوعی استفاده می‌گردد. پس از آن برای هر سری مقادیر بازده لگاریتمی محاسبه می‌شود. هر سری به دسته‌های ۲۰۰ عددی تقسیم و فاصلهٔ قدم هر پنجره ۱۰۰ داده انتخاب می‌شود. سپس هر سری به صورت صعودی مرتب می‌شود و به تابع آنتروپی به عنوان مقادیر ورودی داده می‌شود. به منظور آماده‌سازی داده‌های شاخص کل، مانند مراحل نقشه لوجستیک عمل می‌شود و آن‌ها به عنوان ورودی به تابع آنتروپی باقی‌مانده تجمعی بکار می‌روند.

نقشه لوجستیک. به منظور بررسی آن‌که آیا آنتروپی باقی‌مانده تجمعی قابلیت پیش‌بینی بحران را دارد یا خیر، از نقشه لوجستیک در پژوهش ژیونگ و همکاران[3] (۲۰۱۹) استفاده می‌شود. فرمول ریاضی این نقشه به صورت معادله (۱) است:

$$x_{t+1} = ax_t(1 - x_t) \qquad (۱)$$

که در آن، $x \in [0, 1]$ و $a \in [0, 4]$ است. حالت بحران در این نقشه توسط دو مقدار a برابر با ۳/۸ و ۴ ایجاد می‌شود. سایر مقادیر a سری‌های تناوبی (قابل‌پیش‌بینی) را ایجاد می‌کنند. در نتیجه، می‌توان از این روش استفاده کرد تا به وسیله سری شبیه‌سازی‌شده روایی معیار پیشنهادی را در پیش‌بینی بحران مورد بررسی قرار داد. نشانهٔ وجود بحران، افزایش مقدار آنتروپی محاسبه‌شده است. مشابه با پژوهش ژیونگ و همکاران (۲۰۱۹)، تعداد کل داده‌های هر سری مصنوعی که به وسیلهٔ فرمول ریاضی نقشه لوجستیک ساخته می‌شود، ۲۰۰۰ داده است.

معیار آنتروپی باقی‌مانده تجمعی و آنتروپی باقی‌مانده تجمعی فراکتالی توسعهٔ آنتروپی شانون هستند.

1. http://www.tsetmc.com
2. MATLAB 2018
3. Xiong *et al*.

برای اختصار، صرفاً به آخرین توسعه آنتروپی شانون (تا زمان نگارش این پژوهش) پرداخته می‌شود.

توسعه آنتروپی شانون. علاوه بر موارد اشاره‌شده، برآورد آنتروپی دیفرانسیل یک متغیر پیوسته از طریق توزیع تجربی دشوار است. برای غلبه بر این مشکلات، رائو و همکاران[1] (۲۰۰۴) یک اندازه‌گیری عمومی‌تر از نااطمینانی به نام آنتروپی باقی‌مانده تجمعی (CRE) ایجاد می‌کنند. CRE برای یک متغیر تصادفی پیوسته نامنفی X، که توسط ξ مشخص می‌شود، به صورت معادله (۲) تعریف شده است:

$$\xi(X) = -\int_0^{\infty} \bar{F}(x) log \bar{F}(x)\, dx \qquad (۲)$$

که در آن $F(x)$ تابع توزیع تجمعی و $\bar{F}(x) = 1 - F(x) = P(X > x)$ است.

ورود آنتروپی شانون (۱۹۴۸) به زمینه‌های مختلف همیشه مورد توجه بسیاری از پژوهشگران بوده است. اوبریاکو[2] (۲۰۰۹)، آنتروپی جدیدی را بر حساب دیفرانسیل فراکتالی تعریف می‌کند، که فرمول (۳) نتیجهٔ آن است:

$$S_q(P) = \sum_i p_i(-log p_i)^q, 0 \le q \le 1 \qquad (۳)$$

بدیهی است در حالتی که $q = 1$ است، معیار همان آنتروپی شانون کلاسیک است. در این پژوهش، عبارت جدیدی از آنتروپی به نام آنتروپی باقی‌مانده تجمعی فراکتالی ارائه می‌شود که آنتروپی باقی‌مانده تجمعی را به صورت درجه فراکتالی گسترش می‌دهد. با استفاده از خواص آنتروپی باقی‌مانده تجمعی در معادله (۴) و آنتروپی فراکتالی در معادله (۵)، آنتروپی باقی‌مانده تجمعی فراکتالی به شرح زیر تعریف می‌شود: برای متغیر تصادفی پیوسته نامنفی X با تابع توزیع $F(x)$ داریم:

$$\xi_q(X) = \int_0^{\infty} \bar{F}(x)[-\log \bar{F}(x)]^q dx \qquad (۴)$$

که در معادله (۶)، $0 \le q \le 1$ و $\bar{F}(x) = 1 - F(x) = P(X > x)$ است. طبق تعریف، در صورتی که $q = 1$ باشد، آنتروپی باقی‌مانده تجمعی فراکتالی به حالت اولیه آن تبدیل می‌شود، یعنی:

$$\xi_1(X) = \xi(X)$$

روش انجام. به منظور محاسبه آنتروپی، لازم است سری شاخص کل برای دوره مورد نظر تشکیل داده شود، سپس بازده این مقادیر در سری جدیدی قرار گیرد. برای محاسبه بازده از روش لگاریتمی، $(\log(\frac{X_{t+1}}{X_t}))$ که در این فرمول X_t عدد پایانی شاخص در روز t–ام است، استفاده می‌شود. سپس به منظور نامنفی کردن این مقادیر و برآورده کردن شرط آنتروپی باقی‌مانده تجمعی، کم‌ترین مقدار بازده

1. Rao *et al*.
2. Ubriaco

کل دوره مورد بررسی از تک‌تک مقادیر سری کم می‌شود $y_t = r_t - min\{r_t\}_{t=1}^{T}$. در نهایت، می‌توان مقدار آنتروپی باقی‌مانده تجمعی $\xi(\bar{F}_n)$ را از فرمول (۵) به‌دست آورد:

$$\xi(\bar{F}_n) = \sum_{j=1}^{n-1} U_{j+1}\left(1-\frac{j}{n}\right)\left[-log\left(1-\frac{j}{n}\right)\right] \qquad (۵)$$

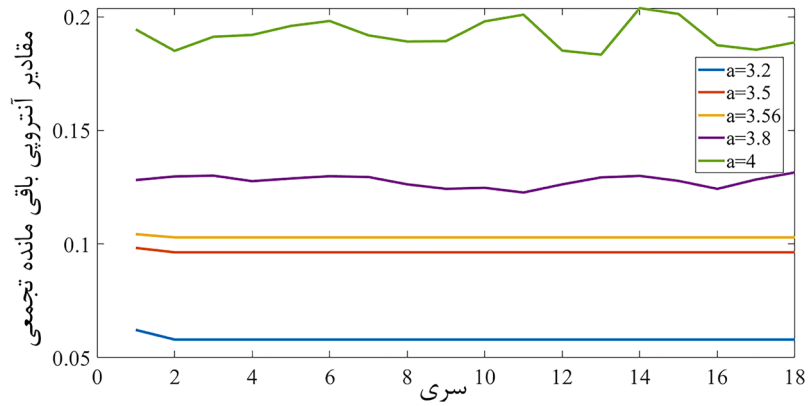
که در آن $U_{j+1} = X_{j+1} - X_j$ و $U_1 = X_1$ فضای نمونه هستند. همچنین، رابطه نهایی برای آنتروپی باقی‌مانده فراکتالی به صورت رابطه (۶) است:

$$\xi_q(\bar{F}_n) = \sum_{j=1}^{n-1} U_{j+1}\left(1-\frac{j}{n}\right)\left[-log\left(1-\frac{j}{n}\right)\right]^q \qquad (۶)$$

که در آن $U_{j+1} = X_{j+1} - X_j$ و $U_1 = X_1$ فضای نمونه هستند. پارامتر q بیان‌کنندهٔ درجه فراکتالی سیستم است. این پارامتر حساسیت آنتروپی را به سیستم مورد بررسی تغییر می‌دهد. در صورتی که مقدار q برابر با یک باشد، فرمول به حالت آنتروپی باقی‌مانده تجمعی تبدیل می‌شود. پس از محاسبه آنتروپی، در صورتی که آنتروپی افزایش قابل‌توجهی داشته باشد، بر اساس این پیش‌بینی می‌شود که افت ناگهانی شاخص در انتظار باشد، چرا که نااطمینانی از وضعیت آتی افزایش پیدا می‌کند و بر اساس افزایش مقادیر آنتروپی، پیچیدگی در بازار زیاد می‌شود که زمینه‌ساز وقوع بحران است.

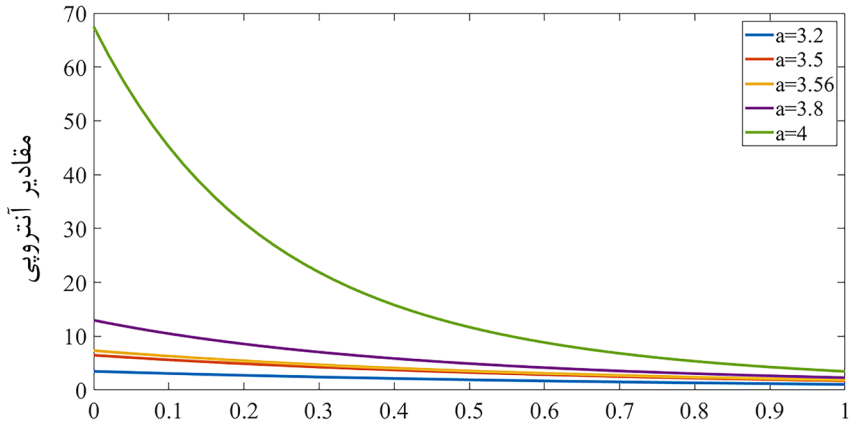
تجزیه‌وتحلیل یافته‌ها

نتیجهٔ نظری توانایی پیش‌بینی بحران. طبق فرمول نقشه لوجستیک، در این نقشه اگر مقدار a برابر یا کوچک‌تر از ۱ باشد، مقادیر این نقشه به یک عدد ثابت میل می‌کنند (به صفر). اگر a بین ۱ و ۳ باشد، عدد قبلی پایداری خودش را از دست می‌دهد و عدد ثابت جدیدی یعنی 1/a جای آن را می‌گیرد. در حالتی که a بزرگ‌تر از ۳ باشد، یک رفتار دینامیکی به‌وجود می‌آید، چرا که سیستم از حالت تناوبی به آشوبی تغییر رفتار می‌دهد. هرچه a بیش‌تر باشد، آشوب در سیستم بیش‌تر است. از نظر آنتروپی به این معناست که اطلاعات بیش‌تری برای درک وضعیت موجود سیستم لازم است. با مقدمه فوق انتظار می‌رود معیار پیشنهادی در حالتی که a برابر با ۴ باشد، بیش‌ترین مقدار را نشان دهد. همان‌طور که در شکل (۱) مشاهده می‌شود، هرچه مقدار a افزایش پیدا کند، مقادیر محاسبه‌شده آنتروپی نیز افزایش می‌یابد و نشان می‌دهد که معیار پیشنهادی در حالت نظری به‌خوبی توانسته است حالت و وضعیت بحران را تشخیص دهد. همچنین، این معیار توانایی تشخیص شدت بحران را دارد. این توانایی را می‌توان از اختلاف عدد محاسبه‌شده در a برابر با ۴ و a برابر با ۳/۸ دریافت.



شکل ۱: تشخیص بحران به وسیله معیار آنتروپی باقی‌مانده تجمعی در حالت نظری با استفاده از نقشه لوجستیک

به منظور بررسی آنتروپی باقی‌مانده تجمعی فراکتالی، هر دو معیار به صورت نظری بررسی می‌شوند. در شکل (۲) از پنج سری مصنوعی استفاده شده است تا قابلیت پیش‌بینی بحران دو معیار آنتروپی باقی‌مانده تجمعی و آنتروپی باقی‌مانده تجمعی فراکتالی در حالت نظری نمایان شود. مشاهده می‌شود که در حالتی که مقدار a برابر با ۴ است، هر دو معیار بیش‌ترین مقدار آنتروپی را نشان می‌دهند. در شکل (۲)، مشاهده می‌شود که به‌ازای تمام درجات فراکتالی مقادیر محاسبه‌شده آنتروپی برای حالتی که a برابر با ۴ است، بیش‌ترین مقدار است. با توجه به توضیحات اشاره‌شده، معیار آنتروپی باقی‌مانده تجمعی فراکتالی نیز توانایی تشخیص بحران را دارد.

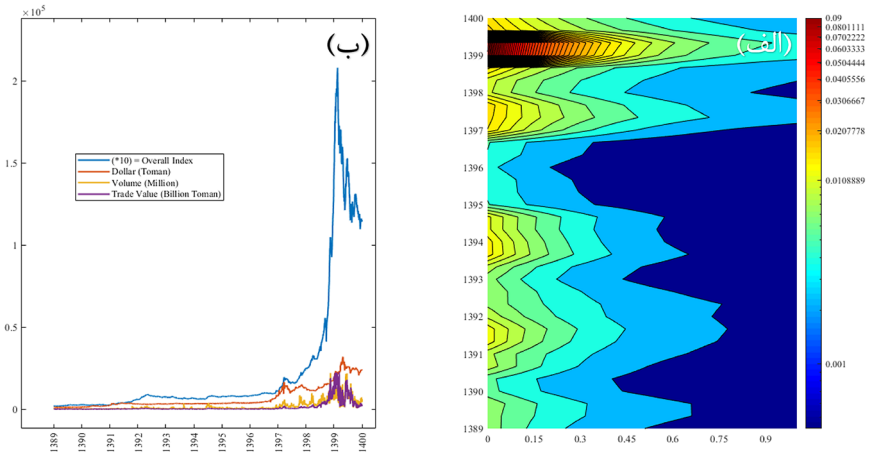


شکل ۲: مقدار آنتروپی باقی‌مانده تجمعی فراکتالی برای پنج سری ساختگی به وسیله نقشه لوجستیک در درجات فراکتالی مختلف

به منظور بررسی توانایی معیار در حالت عملی و کاربردی، از داده‌های شاخص کل استفاده می‌شود. با ترسیم اشکال مقادیر آنتروپی و با بررسی فراز و فرودها در کنار اشکال شاخص کل می‌توان توانایی معیار را در پیش‌بینی بحران بررسی کرد. انتظار می‌رود پیش از وقوع بحران، تابع رسم‌شدهٔ آنتروپی مانند پژوهش‌های پیشین، یک نقطهٔ بیشینه به نمایش بگذارد. نتایج در بخش «الف» از شکل (۳) آورده شده است. بحران‌ها به‌ترتیب در بازه زمانی ۱۳۹۲-۱۳۹۱، ۱۳۹۵-۱۳۹۳، ۱۳۹۸-۱۳۹۷، و ۱۴۰۰-۱۳۹۹ شناسایی شده‌اند. این بحران‌ها پیش‌تر در بخش مبانی نظری مورد بحث قرار گرفته‌اند. بخش «ب» از شکل (۳) بیانگر چهار متغیر شاخص کل، حجم معاملات، ارزش معاملات، و قیمت دلار است که تغییرات چهار متغیر مذکور را در زمان بحران‌ها مقایسه می‌کند.

همان‌طور که در بخش «الف» از شکل (۳) مشاهده می‌شود، در بازه‌های زمانی مذکور، معیار آنتروپی باقی‌مانده تجمعی فراکتالی نوسانات بالا را همراه با افزایش قابل‌توجه مقادیر به نمایش می‌گذارد. معنای این بخش آن است که بحران به وقوع پیوسته است. با مراجعه به اشکال شاخص کل مشاهده می‌شود که در این بازه زمانی، نوساناتی در شاخص کل رخ داده که جهت آن نزولی بوده و تاییدکنندهٔ دلیل افزایش آنتروپی باقی‌مانده تجمعی فراکتالی بوده است. از این موضوع می‌توان این‌گونه برداشت کرد که مقادیر آنتروپی بیانگر تغییر دینامیک سیستم هستند. همان‌طور که در بخش نقشه لوجستیک مشاهده شد، سری‌های تناوبی مقادیر کم‌تری از سری‌های آشوبی را نشان دادند. این موضوع بیانگر آن است که افزایش مقادیر آنتروپی حاکی از تغییر دینامیک سری‌هاست. سری‌های آشوبی اطلاعات نهانی بالاتری نسبت به سری‌های تناوبی دارند. در نتیجه به هنگام وقوع بحران، دینامیک سیستم مورد بررسی (در این‌جا شاخص کل بورس اوراق بهادار تهران) تغییر می‌کند و اطلاعات بیش‌تری برای درک وضعیت سیستم لازم است. عدم کفایت اطلاعات موجود، باعث به‌وجود آمدن شرایط بحران در شاخص کل می‌شود.

نکته تامل‌برانگیز در اشکال کانتور ارائه‌شده بخش «الف» از شکل (۳) این است که معیار آنتروپی باقی‌مانده تجمعی نتوانسته است با اطمینان و به صورت واضح این بحران را تشخیص دهد. با استفاده از راهنمای رنگ مشاهده می‌شود که تغییرات قابل‌توجهی در مقدار آنتروپی باقی‌مانده تجمعی (هنگامی که درجه فراکتالی یک است) اتفاقی رخ نداده است. اما معیار پیشنهادی معیار آنتروپی باقی‌مانده تجمعی فراکتالی به‌خوبی و با نوسانات بالا تصمیم‌گیری را با اطمینان بیش‌تر مواجه نموده است. افزایش مقادیر آنتروپی باقی‌مانده تجمعی فراکتالی بسیار بیش‌تر از معیار پایهٔ آن یعنی آنتروپی باقی‌مانده تجمعی است که نشان از توانایی بیش‌تر آن در درک وضعیت سیستم‌های پیچیده دارد.



شکل ۳: (الف) کانتور آنتروپی باقی‌مانده تجمعی فراکتالی برای سری شاخص کل به منظور مقایسه قدرت پیش‌بینی بحران دو معیار پیشنهادی؛ (ب) شاخص کل، حجم معاملات، ارزش معاملات، و قیمت دلار

همان‌طور که در تمام بازه‌های بحران قابل‌مشاهده است، معیار آنتروپی باقی‌مانده تجمعی واکنش قابل‌توجهی به بحران پیش‌آمده نداشته و از این حیث معیار پیشنهادی آنتروپی باقی‌مانده تجمعی فراکتالی در کلیه موارد بهتر عمل کرده است. این موضوع را می‌توان از راهنمای رنگ در سمت راست بخش «الف» از شکل (۳) پی برد که معیار آنتروپی باقی‌مانده تجمعی، افزایشی در مقادیر محاسبه‌شده نشان نمی‌دهد. همچنین، با مشاهده بخش «الف» از شکل (۳) می‌توان دریافت که در درجات فراکتالی کم‌تر از ۰/۵، حساسیت معیار آنتروپی باقی‌مانده تجمعی فراکتالی به اطلاعات نهانی سیستم بسیار افزایش پیدا می‌کند و با دقت بالاتر و قطعیت بیش‌تری در مورد پیش‌بینی بحران عمل می‌کند. بیش‌ترین نوسانات در درجات فراکتالی کم‌تر از ۰/۲ اتفاق افتاده‌اند. در نتیجه، برتری معیار آنتروپی باقی‌مانده تجمعی فراکتالی در مقایسه با آنتروپی باقی‌مانده تجمعی روشن می‌شود.

بحث و نتیجه‌گیری

بحران به عنوان عاملی که می‌تواند به طریقی زنجیره‌وار از شرکتی به شرکت دیگر و از صنعتی به صنعت دیگر منتقل شود و نهایتاً باعث ایجاد اخلال در نظام اقتصادی کشور شود، باید از طرق مختلف مورد توجه و بررسی قرار گیرد. پژوهش حاضر با توجه به اهمیت این مورد مهم و با توجه به نقش

تعیین‌کننده بحران و ریسک در بازار سرمایه به عنوان رکن مهم نظام اقتصادی، به تبیین پیش‌بینی بحران با استفاده از معیار آنتروپی باقی‌مانده تجمعی و آنتروپی باقی‌مانده تجمعی فراکتالی پرداخته است.

نتایج پژوهش، چهار بحران را در شاخص کل بورس اوراق بهادار تهران نشان می‌دهد. این موارد همگی همسو با بحران‌هایی است که بورس اوراق بهادار تهران در بازه زمانی ۱۳۹۱ تا ۱۴۰۰ تجربه کرده و پیش‌تر در بخش مبانی نظری زمینه‌ها و دلایل آن‌ها بررسی شده است. از این‌رو، معیارهای پیشنهادی قادر به شناسایی بحران‌های آتی هستند. اگرچه معیار آنتروپی باقی‌مانده تجمعی فراکتالی عملکرد بهینه‌تری نسبت به آنتروپی باقی‌مانده تجمعی نشان داده است، این موضوع به دلیل بررسی اطلاعات در کسرهای مختلف اطلاعات است.

همچنین، در راستای بررسی معیار بکاررفته، یافته‌های پژوهش نشان می‌دهد که معیار آنتروپی باقی‌مانده تجمعی توانایی پیش‌بینی بحران را دارد. این توانایی در دو حالت نظری و کاربرد عملی در شاخص کل صورت گرفت. در حالت نظری بر طبق پژوهش‌های بیان‌شده، هرچه مقدار a در نقشه لوجستیک افزایش یافت، معیار آنتروپی باقی‌مانده تجمعی نیز مقدار بیش‌تری را نشان داد، بدین معنا که معیار آنتروپی باقی‌مانده تجمعی در تشخیص سری‌های آشوبی که شبیه‌ساز بحران هستند، از سری‌های تناوبی (قابل‌پیش‌بینی) به‌خوبی عمل کرده و بحران را در حالت نظری تشخیص داده است.

همچنین، معیار آنتروپی باقی‌مانده تجمعی فراکتالی به‌خوبی بحران را شناسایی کرد. آنتروپی باقی‌مانده تجمعی فراکتالی نیز مانند قبل در دو حالت نظری و کاربرد عملی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج بخش نظری همانند آنتروپی باقی‌مانده تجمعی بود و معیار آنتروپی باقی‌مانده تجمعی فراکتالی در این بخش به‌خوبی سری‌های آشوبی را از سایر سری‌های تناوبی تشخیص داد و برای تمام درجات فراکتالی، بیش‌ترین مقدار را محاسبه کرد. همان‌طور که در بخش‌های پیشین نیز بیان شد، در حالت فراکتالی هر دو افزایش مقادیر محاسبه‌شده و نوسان در درجات فراکتالی مختلف محک تشخیص بحران هستند. آنتروپی باقی‌مانده تجمعی فراکتالی در بخش کاربرد عملی نیز به‌خوبی عمل کرد و بر طبق نتایج به‌دست‌آمده از شکل کانتور، با افزایش مقادیر محاسبه‌شده و نوسان در درجات فراکتالی مختلف، بحران‌های موجود را در بازه مورد بررسی شاخص کل تشخیص داد.

به منظور مقایسه دو معیار، معیار آنتروپی باقی‌مانده تجمعی با قطعیت در مورد بحران‌های مذکور هشدار صادر نکرد، اما معیار آنتروپی باقی‌مانده تجمعی فراکتالی با نوسانات بالا و افزایش قابل‌توجه، به‌ویژه در درجات فراکتالی کم‌تر از ۰/۵، به‌خوبی هشدار وقوع بحران را صادر کرد و می‌توان بر اساس هشدارهای صادرشده تصمیم‌گیری به‌موقع انجام داد.

یافته‌های پژوهش با پژوهش ژیونگ و همکاران (۲۰۱۹) همخوانی دارد. نتایج در هر دو حالت

معیار پایه و فراکتالی تطابق کامل را نشان می‌دهد. در پژوهش مذکور، معیار آنتروپی باقی‌مانده تجمعی به‌خوبیِ معیار آنتروپی باقی‌مانده تجمعی فراکتالی عمل نکرد، اتفاقی که در این پژوهش نیز افتاد. همچنین در پژوهش مذکور، نتایج معیار آنتروپی باقی‌مانده تجمعی فراکتالی در درجات کم‌تر از ۰/۵ بسیار بهتر از سایر درجات فراکتالی بود که در پژوهش حاضر نیز یافت شد.

یافته‌های پژوهش آن و همکاران[1] (۲۰۱۹) با این پژوهش در تطابق است. بر طبق پژوهش فعلی، به هنگام افزایش نااطمینانی و بالا رفتن ریسک، آنتروپی مقدار بسیار بالایی را نشان می‌دهد. این معیار به هنگام تغییرات ناگهانی ریسک، بیش‌ترین مقدار را محاسبه کرده است. همچنین، یافته‌های پژوهش ممن و یائو[2] (۲۰۱۹) با پژوهش حاضر در تطابق است. پژوهش مذکور آنتروپی شانون را برای ۱۸۱ بازار اعمال کرده است. بر طبق نتایج به‌دست‌آمده، بازارهایی که در زمان بحران سال ۲۰۰۸ بیش‌ترین نوسان و تغییرات را داشته‌اند، بیش‌ترین مقدار آنتروپی را به ثبت رسانده‌اند. یافته‌های پژوهش با پژوهش ژو و همکاران[3] (۲۰۱۷) همخوانی دارد. در این پژوهش نیز هرچه ریسک پرتفوی افزایش یافته، مقدار بالاتری برای آنتروپی باقی‌مانده تجمعی محاسبه شده است. نتایج پژوهش پیشارو با نتایج پژوهش لامیری و همکاران (۲۰۱۷) در تطابق است. در این پژوهش دو کمّیت درجه تصادفی و آنتروپی رنی به هنگام بحران و پس از بحران محاسبه شده است. در تعدادی از بازارهای مورد بررسی، آنتروپی رنی پس از بحران افزایش یافته است. در حالی که در پژوهش پیشارو به هنگام بحران افزایش و پس از بحران کاهش آنتروپی به‌وجود آمد. البته درجه تصادفی در تمام بازارهای بررسی‌شده در پژوهش مذکور به هنگام بحران افزایش و پس از آن کاهش نشان داده است. یافته‌های پژوهش حاضر با پژوهش استاسیک و همکاران[4] (۲۰۱۶) تطابق دارد. در این پژوهش که از آنتروپی شانون استفاده شده، تاثیر بحران‌های مالی بر بازارهای ارز بررسی شده است. نتایج تجربی این پژوهش نشان می‌دهند که به هنگام بحران‌های مالی، آنتروپی نرخ ارز با افزایش قابل‌توجهی همراه است که نشان‌دهندهٔ بی‌ثباتی در دینامیک بازار ارز است. نتایج پژوهش پیشارو در تطابق با پژوهش دیمپفل و پیتر[5] (۲۰۱۴) است. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که جریان اطلاعات به هنگام بحران در منطقهٔ اقیانوسیه به‌طور چشمگیری افزایش یافته است. به محض شروع بحران، سطح بالاتری از آنتروپی انتقال رنی مشاهده شده است. پس از بحران، جریان اطلاعات اندکی کاهش می‌یابد، اما در مقایسه با دوره قبل از بحران در سطح بالاتری قرار می‌گیرد.

1. Ahn *et al*.
2. Memon & Yao
3. Zhou *et al*.
4. Stosic *et al*.
5. Dimpfl & Peter

سهم این پژوهش در ادبیات، بکارگیری آخرین معیار توسعه‌یافته از آنتروپی شانون در بازار بورس اوراق بهادار تهران است. این پژوهش با استفاده از تابع چگالی احتمال باقی‌مانده و ریاضیات فراکتالی، معیار بهینه‌تری در بازار سرمایه ایران بکار گرفت. همان‌طور که پیش‌تر بیان شد، معیارهایی که در گذشته به وسیله سایر پژوهشگران برای پیش‌بینی بحران و همچنین معیارهای سنجش ریسک مورد استفاده قرار گرفته‌اند، می‌توان با تغییر تابع چگالی احتمال آن معیارها، از تابع احتمال باقی‌مانده استفاده کرد. همچنین، برخی از معیارهای بیان‌شده در حالت فراکتالی مورد بررسی قرار نگرفته‌اند. تابع چگالی احتمال باقی‌مانده توام با درجه فراکتالی در آنتروپی‌های رنی و تسالیس پیشنهاد می‌شود. همچنین، از این معیار می‌توان برای سنجش ریسک بازارهای مالی استفاده کرد. این موضوع به وسیله سایر معیارها بررسی شده، اما در حالت فراکتالی و تابع چگالیِ احتمال باقی‌مانده پژوهشی یافت نشده است.

این پژوهش باید با استفاده از داده‌های شاخص هر بازار در کنار انحراف معیار، چولگی، و کشیدگی مورد بررسی قرار گیرد. همچنین، می‌توان با استفاده از رگرسیون خطی میان مقادیر انحراف معیار و مقادیر آنتروپی باقی‌مانده تجمعی و مقادیر آنتروپی باقی‌مانده تجمعی فراکتالی میزان دقت معیارهای پیشنهادی را سنجید. همچنین، می‌توان از این معیار برای مقایسهٔ ریسک هر صنعت و نزدیکی آن با ریسک شاخص کل استفاده کرد. انتظار می‌رود صنایع غذایی و دارویی ریسک کم‌تری از شاخص کل نشان دهند. ریسک کم‌تر به معنای عدد محاسبه‌شدهٔ پایین‌تر آنتروپی باقی‌مانده تجمعی در صنایع مذکور است. پیشنهاد می‌گردد که شرکت‌ها و صندوق‌های سرمایه‌گذاری از معیار آنتروپی باقی‌مانده تجمعی فراکتالی در پیش‌بینی وضعیت شاخص کل استفاده نمایند. این معیار کمک شایانی به شناسایی وضعیت فعلی می‌نماید. در صورتی که این معیار هشدار وقوع بحران را صادر نماید، می‌تواند با خروج به‌موقع سرمایه، از زیان این شرکت‌ها جلوگیری و ثروت سرمایه‌گذاران را حفظ کند. حفظ این موضوع به تشویق بیش‌تر مردم عادی به سرمایه‌گذاری غیرمستقیم، رونق صندوق‌ها و شرکت‌های سرمایه‌گذاری، و مصونیت بیش‌تر مردم از ریسک‌های بازار می‌انجامد. در پایان، پیشنهاد می‌شود از پنجره‌های زمانی کوتاه‌تر به دلیل جوان بودن بورس اوراق بهادار تهران استفاده شود. در پژوهش پیشارو از پنجره زمانی با ۲۰۰ داده و غلتش ۱۰۰ داده استفاده شده است.

اظهاریه

نویسندگان از توصیه‌های داوران محترم و ناشناس که در بهبود کیفی پژوهش نقش مهمی داشته‌اند و نیز از ویراستار علمی نشریه برنامه‌ریزی و بودجه (مازیار چابک) تشکر و قدردانی می‌نمایند.

منابع

الف) انگلیسی

Abbasi, E., Dehghan Nayeri, L., & Poordadash Mehrabani, N. (2016). Surveying the Relation among Volume, Stock Return and Return Volatility in the Tehran Stock Exchange: A Wavelet Analysis. *Journal of Asset Management and Financing, 4*(4), 99-114. https://dx.doi.org/10.22108/amf.2016.21115

Ahn, K., Lee, D., Sohn, S., & Yang, B. (2019). Stock Market Uncertainty and Economic Fundamentals: An Entropy-Based Approach. *Quantitative Finance, 19*(7), 1151-1163. https://doi.org/10.1080/14697688.2019.1579922

Assadi, G., Shabani, K., Nabavian, S. M., & Ghorbani, M. (2017). The Association of Earning Management and Financial Distress With in Global Financial Crisis Period in Tehran Stock Exchange. *Accounting and Auditing Research, 9*(35), 21-38. http://www.iaaaar.com/article_98774.html

Cao, J., & Wang, J. (2020). Exploration of Stock Index Change Prediction Model Based on the Combination of Principal Component Analysis and Artificial Neural Network. *Soft Computing, 24*(11), 7851-7860. https://doi.org/10.1007/s00500-019-03918-3

Dimpfl, T., & Peter, F. J. (2014). The Impact of the Financial Crisis on Transatlantic Information Flows: An Intraday Analysis. *Journal of International Financial Markets, Institutions and Money, 31*(1), 1-13. https://doi.org/10.1016/j.intfin.2014.03.004

Gençay, R., & Gradojevic, N. (2017). The Tale of Two Financial Crises: An Entropic Perspective. *Entropy, 19*(6), 244. https://doi.org/10.3390/e19060244

Ghaderi, S., & Shahrazi, M. (2020). The Impact of World Commodity Price Index on Tehran Stock Exchange Returns: The Bayesian Approach of Markov Switching Method. *Financial Research Journal, 22*(1), 90-109. https://dx.doi.org/10.22059/frj.2019.286990.1006909

Hallafi, H. R., & Saeedi, S. N. (2012). Investigating the Dynamic Reaction between the Uncertainty of Exchange Rate and Tehran Stock Price Index. *Quarterly Journal of Quantitative Economics, 9*(1), 37-53. https://dx.doi.org/10.22055/jqe.2012.10586

Heidarpoor, F., & Alavi, K. (2015). Effect of Diversification Strategy on Firm Performance with Application of Entropy Measure in Tehran Stock Exchange. *Accounting and Auditing Review, 22*(3), 385-400. https://dx.doi.org/10.22059/acctgrev.2015.55661

Hou, Y., Liu, F., Gao, J., Cheng, C., & Song, C. (2017). Characterizing Complexity Changes in Chinese Stock Markets by Permutation Entropy. *Entropy, 19*(10), 514. https://doi.org/10.3390/e19100514

Khiabani, N., & Tavassoli, S. (2020). A Review of Energy Demand Models. *The Journal of Planning and Budgeting, 25*(3), 65-94. http://jpbud.ir/article-1-1965-fa.html

Lahmiri, S., & Bekiros, S. (2020). Nonlinear Analysis of Casablanca Stock Exchange, Dow Jones and S&P500 Industrial Sectors with a Comparison. Physica A: *Statistical Mechanics and Its Applications, 539*(1), 122923. https://doi.org/10.1016/j.physa.2019.122923

Lahmiri, S., Uddin, G. S., & Bekiros, S. (2017). Nonlinear Dynamics of Equity, Currency and Commodity Markets in the Aftermath of the Global Financial Crisis. *Chaos, Solitons & Fractals, 103*(1), 342-346. https://doi.org/10.1016/j.chaos.2017.06.019

Madanizadeh, A., & Ebrahimi, S. (2018). Bank-Firm Relationships: The Case of Iranian Listed Companies. *The Journal of Planning and Budgeting, 22*(4), 3-34. http://jpbud.ir/article-1-1598-en.html

Memon, B. A., & Yao, H. (2019). Structural Change and Dynamics of Pakistan Stock Market during Crisis: A Complex Network Perspective. *Entropy, 21*(3), 248-268. https://doi.org/10.3390/e21030248

Mirbargkar, S. M., & Sohrabi, M. (2020). Dependency Structure between the Markets of Iran, Turkey, China and the United Arab Emirates, According the Approach of Copula–Markov Switching. *Financial Knowledge of Securities Analysis, 13*(47), 87-102. http://jfksa.srbiau.ac.ir/article_16383.html

Oh, G., Kim, H.-y., Ahn, S.-W., & Kwak, W. (2015). Analyzing the Financial Crisis Using the Entropy Density Function. Physica A: *Statistical Mechanics and Its Applications, 419*(1), 464-469. https://doi.org/10.1016/j.physa.2014.10.065

Osoolian, M., & Koushki, A. (2020a). Investigating the Crisis Forecasting Ability of the Cumulative Residual Entropy Measure by using Logistic Map Simulation Data and Tehran Stock Exchange Overall Index. *Journal of Financial Management Perspective, 10*(31), 9-27. http://jfmp.sbu.ac.ir/article_100528.html

Osoolian, M., & Koushki, A. (2020b). *A Review of COVID-19 Effects on the World's Economy, Stock Markets, Especially Emerging Markets and Tehran Stock Exchange.* Paper Presented at the 17th International Management Conference.

Osoolian, M., Hoseyni Esfidavajani, S. A., & Bagheri, M. (2019). Stock Market Index Analysis with Entropy Approach. *Journal of Financial Management Perspective, 8*(24), 159-180. http://jfmp.sbu.ac.ir/article_95580.html

Qiu, L., & Yang, H. (2020). Transfer Entropy Calculation for Short Time Sequences with Application to Stock Markets. Physica A: *Statistical Mechanics and Its Applications, 559*(1), 125121. https://doi.org/10.1016/j.physa.2020.125121

Rao, M., Chen, Y., Vemuri, B. C., & Wang, F. (2004). Cumulative Residual Entropy: A New Measure of Information. *IEEE Transactions on Information Theory, 50*(6), 1220-1228.

Sadeghi Sharif, S., & Janiarloo, S. (2017). The Role of Working Capital Management in Profitability Clearing of Listed Firms in Tehran Stock Exchange by Method of EGLS. *Financial Management Perspective, 7*(19), 9-26. http://jfmp.sbu.ac.ir/article_95226.html

Sadeghi, M. (2014). A Comparative Study of the Tehran Stock Exchange and Other Stock Exchanges in the World and the Reasons for the Strengths and Weaknesses. *Journal of Accounting, Accountability and Society Interests, 4*(1), 175-193. https://dx.doi.org/10.22051/ijar.2014.493

Shannon, C. E. (1948). A Mathematical Theory of Communication. *The Bell System Technical Journal, 27*(3), 379-423.

Soloviev, V. N., Bielinskyi, A., & Solovieva, V. (2019). *Entropy Analysis of Crisis Phenomena for DJIA Index.* Paper Presented at the ICTERI Workshops.

Stosic, D., Stosic, D., Ludermir, T., de Oliveira, W., & Stosic, T. (2016). Foreign Exchange Rate Entropy Evolution during Financial Crises. Physica A: *Statistical Mechanics and Its Applications, 449*(1), 233-239. https://doi.org/10.1016/j.physa.2015.12.124

Ubriaco, M. R. (2009). Entropies Based on Fractional Calculus. *Physics Letters A, 373(*30), 2516-2519. https://doi.org/10.1016/j.physleta.2009.05.026

Varahrami, V., Sarabadani, A., & Nejad Ghorban, H. (2020). Short Run Psychological Effects of Joint Comprehensive Plan of Action on Market Index Return of Tehran Stock Exchange. *Quarterly Journal of the Macro and Strategic Policies, 7*(5), 26-49. https://dx.doi.org/10.30507/jmsp.2020.77128

Xiong, H., Shang, P., & Zhang, Y. (2019). Fractional Cumulative Residual Entropy. *Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation, 78*(1), 104879. https://doi.org/10.1016/j.cnsns.2019.104879

Zhang, X., Ma, C., & Yu, X. (2019). A Neural Network Model for Financial Trend Predicting. *Cluster Computing, 22*(2), 3487-3494. https://doi.org/10.1007/s10586-018-2196-x

Zhou, R., Liu, X., Yu, M., & Huang, K. (2017). Properties of Risk Measures of Generalized Entropy in Portfolio Selection. *Entropy, 19*(12), 657. https://doi.org/10.3390/e19120657

ب) فارسی

ذوالفقاری، مهدی؛ سحابی، بهرام؛ مهرگان، نادر، و سارنج، علیرضا (۱۳۹۳). بررسی انواع ریسک نوسانات نرخ ارز و شیوه‌های مدیریت آن: مبانی نظری و مرور تجربیات کشورها. *نشریه برنامه‌ریزی و بودجه*، ۱۹(۴)، ۳۴-۳. http://jpbud.ir/article-1-1058-fa.html

عبداله‌زاده، سلام؛ فرقان‌دوست حقیقی، کامبیز، و آراد، حامد (۱۳۹۲). بررسی آنتروپی صورت‌های مالی و اثر آن بر تغییرات سود در صنایع بورس اوراق بهادار تهران. *نشریه دانش حسابرسی*، ۱۳(۵۲)، ۱۳۳-۹۳. http://danesh.dmk.ir/article-1-412-fa.html