Shahid Beheshti University
Journal of Financial Management Perspective
No. 31, Autumn 2020
PP: 9-27

P-ISSN: 2645-4637
E-ISSN: 2645-4645

Investigating the Crisis Forecasting Ability of the Cumulative Residual Entropy Measure by using Logistic Map Simulation Data and Tehran Stock Exchange Overall Index

Mohammad Osoolian *, Ali Koushki**

Abstract

The importance of forecasting in investment discussions has led to the use of a wide range of methods in various sciences to predict future trends and prices. Crisis forecasting has also become more prominent in recent years. Further investigation of the dynamics of complex systems is required to determine what changes in system dynamics occur during a crisis. This research has investigated the crisis forecasting ability of cumulative residual entropy measure in Tehran Stock Exchange (as a complex system). In this study, crisis simulation data generated by logistic map have been used to examine the ability of the proposed measure theoretically. In the practical case, the data of the overall index of Tehran Stock Exchange from October 2010 to September 2019 has been used. The results showed that the proposed measure can forecast the crisis

Key words: Prediction; Crisis; Entropy; Logistic Map.

Received: 2020.September.26, Accepted: 2020.December.23.

* Asistant prof, Department of Financial Management and Insurance, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran. (Corresponding Author), E-mail: m_osoolian@sbu.ac.ir
** Master Student of Financial Management, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

دانشگاه شهیدبهشتی
نشریه چشم‌انداز مدیریت مالی
شماره ۳۱ ـ پاییز ۱۳۹۹
ص‌ص ۲۷ ـ ۹

شاپای چاپی: ۴۶۳۷- ۲۶۴۵
شاپای الکترونیکی: ۴۶۴۵- ۲۶۴۵

بررسی توانایی معیار آنتروپی باقی‌مانده تجمعی در پیش‌بینی بحران بوسیله داده‌های شبیه‌ساز بحران نقشه لوجستیک و شاخص کل بورس اوراق بهادار تهران

محمد اصولیان*، علی کوشکی**

چکیده

اهمیت پیش‌بینی در مباحث سرمایه‌گذاری موجب شده است که طیف وسیعی از روش‌ها در علوم مختلف جهت پیش‌بینی روندها و قیمت‌های آتی به کار گرفته شوند. پیش‌بینی بحران نیز در سال‌های گذشته نمود بیشتری پیدا کرده است. این موضوع نیازمند بررسی‌های بیشتر دینامیکی سیستم‌های پیچیده می‌باشد تا مشخص شود به هنگام بحران چه تغییراتی در دینامیک سیستم رخ می‌دهد. پژوهش پیش‌رو به بررسی توانایی پیش‌بینی بحران با معیار آنتروپی باقی‌مانده تجمعی در بورس اوراق بهادار تهران (به عنوان یک سیستم پیچیده) پرداخته است. در این پژوهش از داده‌های شبیه ساز بحران که بوسیله نقشه لوجستیک ساخته می شوند استفاده شده است تا توانایی معیار در حالت نظری بررسی گردد. در حالت کاربردی نیز از داده های شاخص کل بورس اوراق بهادار تهران از مهر ۱۳۸۹ تا شهریور ۱۳۹۸ استفاده شده است. نتایج پژوهش نشان داده است که معیار پیشنهادی توانایی پیش‌بینی بحران را دارد.

کلیدواژه‌ها: پیش‌بینی؛ بحران؛ آنتروپی؛ نقشه لوجستیک.

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۷/۰۵، تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۰/۰۳.

* استادیار گروه مدیریت مالی و بیمه، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران(نویسنده مسئول).
E-mail: m_osoolian@sbu.ac.ir

** دانشجوی کارشناسی ارشد مدیریت مالی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران.

۱. مقدمه

در بین نهادهای مالی یک سیستم اقتصادی، بازار سرمایه نقش اساسی و مهمی را با جذب نقدینگی و منابع مالی پراکنده و هدایت آنها در مسیر تولید و سرمایه‌گذاری صحیح ایفا می‌کند. این بازار یکی از معیارهای پویایی اقتصاد نیز شناخته می‌شود. بازار سرمایه با فراهم آوردن ویژگی‌هایی همچون پایین بودن هزینه‌های مبادلاتی، انتشار مناسب اطلاعات بازار و شفاف‌سازی در این حوزه، جذب نقدینگی آسیب‌زا در سایر بازارهای موازی، تخصیص بازده متناسب با ریسک به سرمایه‌گذاران، افزایش نقد شوندگی و تسهیل مبادلات اوراق بهادار، به عنوان رکن مهمی در اقتصاد شناخته می‌شود. در واقع، بازار سرمایه با تاثیر بر فرایندهای تامین مالی و سرمایه‌گذاری، بر کلیه بخش‌های اقتصادی از قبیل صنعتی، خدماتی، کشاورزی و در نهایت کل اقتصاد اثر می‌گذارد [۷].

اهمیت شاخص‌های بازار سرمایه به عنوان نماگر این بازار، منجر به پژوهش‌هایی در زمینه پیش‌بینی روند آتی این شاخص‌ها شده است. فرآیند معاملات در بازار سرمایه به گمانه‌زنی‌ها در مورد آینده‌ی بازار گره خورده است. از این رو، در صورتی که بتوان شاخص‌ها را در کنار روندهای آتی پیش‌بینی و تحلیل نمود، زمینه‌ی تصمیم‌گیری‌های دقیق‌تر و سریع‌تر فراهم می‌شود. از اواسط دهه ۱۹۷۰ و به ویژه از سال ۱۹۹۰ کوشش‌های جدید و گسترده‌ای در زمینه پیش‌بینی قیمت سهام با کمک روش‌های جدید ریاضی، سری‌های زمانی بلندمدت و ابزارهای پیشرفته آغاز گردید، که نتیجه آن ظهور دیدگاه بی‌نظمی و پویایی‌های غیرخطی شد [۱۶].

گروه‌هایی که به پیش‌بینی بازار سرمایه می‌پردازند، بر توسعه رویکردها برای پیش‌بینی موفقیت‌آمیز شاخص یا قیمت سهام تمرکز دارند و هدف آنان کسب بازده متناسب با ریسک در کنار استفاده از استراتژی‌های معاملاتی می‌باشد. ایده اصلی برای پیش‌بینی موفقیت‌آمیز بازار سرمایه، دستیابی به بهترین نتایج با استفاده از حداقل داده‌های ورودی مورد نیاز و مدل‌هایی که کمترین پیچیدگی را در بازار سهام دارند می‌باشد [۱۴].

بدون شک پیش‌بینی بازده متناسب با ریسک، به دلیل نوسانات بازار که نیاز به بررسی‌های دقیق دارد، دشوار است. مدل سازی دقیق این موضوع بیشتر نیازمند آن است که درمیان سایر عوامل موثر، پدیده‌هایی که پیشتر بوسیله محققان شناخته شده‌اند، در نظر گرفته شوند، به عنوان مثال از این پدیده‌ها می‌توان به رکود اقتصادی یا دوره‌های رونق و دوره‌های دارای نوسانات بالا اشاره کرد. نوسانات مشاهده شده در بازده اوراق بهادار یا قیمت سهام ناشی از این واقعیت است که نرخ‌های بازده مورد انتظار که مطلوب سرمایه‌گذاران باشد، بسیار ناپایدار هستند، که می‌توان منشا این ناپایداری را نوسانات چرخه‌ای و سایر نوسانات کوتاه‌مدت در تقاضای کل دانست. پیشرفت‌های اخیر در تکنیک‌های محاسبات، نرم افزارهای مفیدی را در پیش‌بینی محیط‌های

پرنوسان[1] مانند بورس اوراق بهادار و همچنین ثبت رفتار غیرخطی آنها ارائه می‌دهد [۹]. به منظور سهولت فرآیند تصمیم‌گیری در حوزه‌های مختلف از روش‌ها و مدل‌های ریاضی مانند شبکه‌های عصبی مصنوعی[2]، رگرسیون خطی و چند خطی[3]، مدل‌های آرما[4] و آریما[5]، الگوریتم‌های ژنتیک[6]، حرکت تصادفی[7] و همچنین از مدل‌های ساختاری[8]، الگوها و پویایی‌های سیستم‌های پیچیده[9] استفاده شده است [۱۰].

در زمان نگارش این پژوهش، پژوهشی با استفاده از معیار آنتروپی جهت بررسی بحران در بورس اوراق بهادار تهران انجام نشده است. در این پژوهش، از معیار آنتروپی باقی‌مانده تجمعی به منظور تحلیل شاخص کل استفاده می‌شود. ساختار مقاله در ادامه به این صورت است: بخش دوم مبانی نظری و پیشینه پژوهش مورد بررسی قرار می‌گیرد. بخش سوم و چهارم، به چارچوب نظری و روش‌شناسی پژوهش پرداخته می‌شود. در نهایت در بخش پنجم و ششم نتایج بدست آمده مرور می‌شود و سپس نتایج مورد بحث و نتیجه گیری قرار می‌گیرند. در انتها نیز پیشنهادها و محدودیت‌های پژوهش مطرح می‌شود.

۲. مبانی نظری و پیشینهٔ پژوهش

در ابتدا به پژوهش‌هایی که به طور کلی در زمینه پیش‌بینی می‌باشند پرداخته و سپس پژوهش‌هایی که آنتروپی به عنوان ورودی به مدل جهت پیش‌بینی استفاده شده است، پرداخته می‌شود. در نهایت پژوهش‌هایی که محور اصلی آنها آنتروپی می‌باشد، اشاره می‌گردد.

پیش‌بینی. پژوهش نتی، آدکویا و همکاران[10] [۱۲] با ذکر این نکته آغاز کرده است که پیش‌بینی بازارهای مالی با استفاده از تکنیک یادگیری ماشین[11]، غالبا با هدف توسعه مدل‌های مؤثر و کارآمد صورت می‌گیرد و روش مذکور می‌تواند منجر شود که سرعت پیش‌بینی‌های آتی را بهبود دهد. همچنین در این پژوهش ذکر شده است که رگرس‌کننده‌ها[12] و دسته‌بندی‌کننده‌های[13] بی شماری در پیش‌بینی بازارهای مالی با استفاده از تکنیک‌های مختلف استفاده شده‌اند. با این وجود، هنگام ساخت دسته‌بندی‌کننده‌ها و رگرس‌کننده‌ها، سه مسئله اصلی وجود دارد: اولین

1 Noisy
2 Artificial Neural Networks
3 Linear and Multi-linear Regression (LR and MLR)
4 ARMA
5 ARIMA
6 Genetic Algorithm
7 Random Walk
8 Structural Models
9 Patterns and Dynamics of Complex Systems
10 Nti, Adekoya et al. 2020
11 Machine-learning Technique
12 Regressors
13 Classifiers

نگرانی‌ای که در این پژوهش ذکر شده است در مورد انتخاب رگرسیون پایه یا تکنیک طبقه‌بندی می‌باشد. مورد دوم مربوط به تکنیک‌های ترکیبی است که برای ترکیب چندین رگرس‌کننده یا طبقه‌بندی‌کننده مورد استفاده قرار می‌گیرد و سومین نگرانی مربوط به کوانتوم[1] رگرس‌کننده‌ها یا طبقه‌بندی‌گرها است که باید یکی بشوند. در نتیجه، تعداد مطالعات مربوط به بررسی این نگرانی‌ها محدود است. در این پژوهش، یک تجزیه و تحلیل مقایسه‌ای گسترده از تکنیک‌های دسته‌ای مانند بوستینگ[2]، بگینگ[3]، بلندینگ[4] و فرا یادگیرها[5] انجام شده است. همچنین با استفاده از درخت تصمیم‌گیری[6]، ماشین بردار پشتیبان[7] و شبکه عصبی رجیستر[8] طبقه‌بندی‌های مختلف را ساخته‌اند. معیارهای زمان اجرا، دقت و خطای این روش‌ها برای داده‌های بازارهای مالی غنا[9]، ژوهانسبورگ[10]، بمبئی[11] و نیویورک[12] از ژانویه ۲۰۱۲ با یکدیگر مقایسه شده‌اند. نتیجه مطالعه نشان می‌دهد که تکنیک‌های گروه انباشت و گروه ترکیبی دقت پیش‌بینی بالاتر (۱۰۰–۹۰٪) و (۸۵,۷–۱۰۰٪) را در مقایسه با بگینگ (۵۳–۹۷,۷۸٪) و بوستینگ (۵۲,۷–۹۶,۳۲ ٪) به ترتیب نشان می‌دهند.

در پژوهش کائو و وانگ[13] [۴] به منظور ایجاد یک مدل دقیق پیش‌بینی، ابتدا از تجزیه و تحلیل مؤلفه اصلی[14] برای تجزیه و تحلیل داده‌های اصلی استفاده شده است. در این پژوهش از داده‌های شاخص و داده‌های معاملات به طور همزمان به عنوان متغیرهای ورودی استفاده شد، همچنین در این پژوهش از سه الگوریتم شبکه عصبی انتشار بازگشتی برای پیش‌بینی استفاده و دقت پیش‌بینی آنها با یکدیگر مقایسه شده است. نتایج پژوهش نشان می‌دهد که شبکه عصبی انتشار بازگشتی مبتنی بر الگوریتم منظم بیزین[15] بالاترین دقت پیش‌بینی را دارد و می‌تواند از مسئله ی برازش بیش از حد در فرآیند آموزش مدل جلوگیری کند. خطای بین مقدار پیش‌بینی شده و مقدار واقعی اندک بوده است.

---

1 Quantom
2 Boosting
3 Bagging
4 Blending
5 Super Learners (Stacking)
6 Decision Trees (DT)
7 Support Vector Machine (SVM)
8 Register
9 Ghana Stock Exchange (GSE)
10 Johannesburg Stock Exchange (JSE)
11 Bombay Stock Exchange (BSE-SENSEX)
12 New York Stock Exchange (NYSE)
13 Cao and Wang 2020
14 Principal Component Analysis
15 Bayesian Regularization Algorithm

در پژوهش کیم همکاران[1][۸] بیان شده است که رویکردهای بی شماری برای پیش‌بینی دقیق روند آینده توسعه داده شده‌اند. اخیراً، در مجامع مطالعاتی علوم رایانه توجه زیادی به استفاده از داده‌های ساختار یافته‌ی گراف[2] شده است. اما روش‌هایی که از داده‌های رابطه‌ای[3] برای پیش‌بینی استفاده می‌کنند به تازگی ارائه شده‌اند و هنوز در مراحل ابتدایی خود قرار دارند. این پژوهش یک شبکه سلسله مراتبی را برای پیش‌بینی[4] پیشنهاد می‌کند که در آن از داده‌های رابطه‌ای برای پیش‌بینی بازار مالی استفاده می‌شود. روش پیشنهاد شده به صورت انتخابی اطلاعات مربوط به انواع مختلف ارتباط را جمع‌آوری می‌کند و اطلاعات را به نشانگرها و مشخص‌کننده‌های هر شرکت اضافه می‌کند. روش پیشنهاد شده برای پیش‌بینی نه تنها قیمت سهام بلکه روند شاخص نیز استفاده می شود، که شبیه به کار طبقه بندی گراف[5] است. نتایج تجربی نشان می‌دهند که بسته به داده‌های رابطه‌ای مورد استفاده، عملکرد مدل می‌تواند تغییر کند. همچنین نتایج نشان داد که روش پیشنهادی، از میان همه‌ی روش‌های موجود، اطلاعات را بهتر انتخاب می‌کند.

درپژوهش ژانگ و همکاران[6] [۲۱] از یک مدل ترکیبی برای پیش‌بینی میل و گرایش[7] به صندوق‌ها استفاده شده است، که این مدل مبتنی بر شبکه عصبی همراه با الگوریتم ژنتیک، آنتروپی بهینه[8] و تابع تغییر[9] است. در چین بازارهای مالی از پتانسیل بالایی برخوردار هستند اما به دلیل عدم ثبات بازار صندوق‌ها، گرایش چندانی به این صندوق‌ها نیست. مدل استفاده شده در پژوهش مذکور شامل پیش پردازش داده‌های ورودی و خروجی است. بخش پیش پردازش داده‌ها شامل ترازکردن زمان و مشخصه‌های داده است. قسمت ورودی این پژوهش به این صورت است که با توجه به خصوصیات مختلف داده‌ها، از روش‌های الگوریتم ژنتیک، آنتروپی بهینه و تابع تغییر به عنوان ورودی به شبکه عصبی استفاده شود. بخش خروجی به‌وسیله استفاده از الگوریتم انتشار برگشتی به منظور پیش‌بینی نهایی بدست می‌آید. نتایج آنها نشان داد با توجه به داده‌های ورودی در این پژوهش که دارای ویژگی های مختلفی هستند، روش های الگوریتم ژنتیک و آنتروپی بهینه می‌توانند عملکرد مدل ورودی را بهبود بخشند، که به بهبود دقت پیش‌بینی نهایی کمک می‌کند. نتایج تجربی نشان داد که با استفاده از این مدل ترکیبی، ارزش خالص صندوق‌های چین قابل پیش‌بینی است و دقت بدست آمده به ۹۷٫۸٪ می‌رسد.

---

1 Kim, So et al. 2019
2 Graph-structured Data
3 Relational Data
4 Hierarchical Attention Network for Stock Prediction (HATS)
5 Graph Classification Task
6 Zhang, Ma et al. 2019
7 Tendency
8 Optimal Entropy
9 Variety Function

در پژوهش اصولیان و همکاران [۱۳] 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، آنتروپی در بازه‌های زمانی ماهانه، فصلی، شش‌ماهه و سالانه و در دو مقیاس ۵۰- و ۵۰ محاسبه شد و سپس وجود رابطه علیت گرنجری بین این سری‌ها و شاخص کل با استفاده از آزمون تودا-یاماموتو موردبررسی قرار گرفت. نتایج پژوهش نشان داد که آنتروپی‌ها علت خطی شاخص بورس هستند؛ به‌عبارت‌دیگر اطلاعات اصلی در بازه‌های زمانی ماهانه، فصلی، شش‌ماهه و سالانه، همچنین نوسانات کوچک در بازه فصلی، علت خطی شاخص کل هستند.

پژوهش عبدالله زاده و همکاران [۱] با تاکید بر این موضوع که منابع مهم در تصمیم‌گیری سرمایه‌گذاران، استفاده از داده‌های صورت‌های مالی حسابرسی شده است. تغییرات در این اطلاعات و احتمال وجود مصادیق گزارشگری متقلبانه را که می‌تواند بر تصمیم‌گیری اثرگذار باشد را بررسی کرده است . این پژوهش تأثیر آنتروپی نسبت‌های نقدینگی و اهرمی بر شناسایی شرکت‌های مشکوک به تقلب در گزارشگری مالی بورس اوراق بهادار تهران را مورد بررسی قرار داده است. همانطور که پیشتر نیز بیان شده است آنتروپی، بی‌نظمی (آشفتگی) یا عدم قطعیت یک سیستم را بیان می‌کند. آنتروپی در نظریه اطلاعات، معیاری عددی از میزان اطلاعات یا میزان تصادفی بودن یک متغیر تصادفی است. بدین منظور، تغییرات اقلام نسبت‌های نقدینگی و اهرمی براساس فرمول آنتروپی اندازه‌گیری شده و سپس اثر این تغییرات بر احتمال گزارشگری متقلبانه بررسی شده است. اطلاعات مورد بررسی مربوط به ۱۰۱ شرکت بورس اوراق بهادار تهران طی سال‌های ۱۳۸۴ الی ۱۳۹۵ بوده است. نتایج این پژوهش بیان‌گر معناداری مدل‌های مورد آزمون بودند. همچنین در دو فرضیه مورد آزمون، آنتروپی نسبت‌های کل بدهی و وجوه عملیاتی به بدهی معنادار بوده و سایر متغیرهای مورد آزمون در فرضیه‌ها رد شدند. افزایش آنتروپی این نسبت‌ها بیانگر وجود گزارشگری متقلبانه بوده است.

پژوهش تقی‌زاده و همکاران [۱۹] ضمن ذکر این نکته که آنتروپی به عنوان معیاری برای اندازه‌گیری آشوب یا عدم قطعیت سیستم می‌باشد، از مفهوم آنتروپی استفاده کرده است تا در بورس اوراق بهادار تهران شاخص‌های سهام فرّار را بررسی کند، چرا که مفهوم آنتروپی مشابه ویژگی نوسانات بازار سهام می‌باشد. دراین پژوهش داده‌های ماهیانه و فصلی چهار شاخص در بورس اوراق بهادار تهران را درنظر گرفته‌اند و آنتروپی شانون را برای برآوردگرهای مختلف، آنتروپی تسالیس و آنتروپی رنی (برای مقادیر مختلف پارامتر)، آنتروپی سیمپسون تعمیم یافته، آنتروپیHCDT و شاخص جینی سیمپسون را محاسبه و در ادامه واگرایی کولبک-لیبلر و واگرایی

جنسن-شانون[1] را برای این چهار شاخص نیز محاسبه شده و تحلیل آن ارائه گردیده است. نتیجه پژوهش نشان داده است که داده‌های هفتگی و ماهیانه شاخص مالی ارزشمندتر هستند و همچنین بیشترین ثبات مربوط به این نوع داده می‌باشد. همچنین نتایج این پژوهش نشان داده است که داده‌های میانگین پنجاه شرکت برتر کمترین بی‌ثباتی را دارد. در واقع این نتایج به‌وسیله برآوردهای مختلف آنتروپی بدست آمده‌اند و هرچه این برآورد مقدار بیشتری داشته باشد نشان‌دهنده‌ی آن است که شاخص مورد بررسی ارزشمندتر و بهتر است.

در پژوهش گائو [۶]، با استفاده از آنتروپی شانون، تجزیه و تحلیل آنتروپی چند بعدی[2] جهت بررسی شاخص صنعتی داو جونز[3] انجام شده است. نتایج نشان داد که شاخص، ویژگی‌های آنتروپی چند مقیاسی را که نشانی از نویز[4] در بازار است را نشان می‌دهد. همچنین این پژوهش نشان داده است که آنتروپی توانایی پیش‌بینی قابل توجهی برای شاخص در بلندمدت و کوتاه‌مدت دارد و نتایج تجربی تأیید می‌کنند که نویز در بازار وجود دارد و می‌تواند بر قیمت سهام تأثیر بگذارد.

چارچوب نظری

دو سوال اصلی مطرح شده در پژوهش حاضر به شرح زیر است:

- معیار آنتروپی باقی‌مانده تجمعی می‌تواند بحران را در داده‌های شبیه‌سازی شده‌ی نقشه لوجستیک پیش‌بینی کند؟
- معیار آنتروپی باقی‌مانده تجمعی می‌تواند بحران را در بورس اوراق بهادار تهران پیش‌بینی کند؟

هدف پژوهش

در پژوهش انجام شده به‌وسیله ژیونگ، شانگ و ژانگ[5] [۲۰] در بازار آمریکا، مشاهده شد که معیار آنتروپی باقی‌مانده تجمعی قادر به تحلیل اطلاعات نهفته در شاخص صنعتی داو-جونز می‌باشد. با معیار پیشنهادی، بورس اوراق بهادار تهران به منظور پیش‌بینی وقوع بحران مورد محک قرار می‌گیرد. امید است پژوهش حاضر گوشه‌ای از مسائل موجود سرمایه گذاران را برطرف نماید.

۳. روش‌شناسی پژوهش

جامعه آماری که در این پژوهش مورد بررسی قرار می‌گیرد، کلیه شرکت‌های پذیرفته شده در بورس اوراق بهادار تهران می‌باشند. داده‌هایی که در پژوهش مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرند،

1 Jensen-shannon Divergence
2 Multiscale Entropy Analysis
3 Dow Jones Industrial Index
4 Noise
5 Xiong, Shang, and Zhang 2019

اطلاعات مربوط به شاخص کل بورس اوراق بهادار تهران در دوره زمانی ابتدای مهر ۸۹ تا پایان شهریور ۹۸ به صورت روزانه می‌باشد. داده‌های مورد نیاز پژوهش از آرشیو سایت شرکت مدیریت فناوری بورس اوراق بهادار تهران[1] ا ستخراج می شود. همچنین به منظور برر سی کدهای نو شته شده و انجام محاسبات، از نرم‌افزار متلب[2] استفاده شده است.

نقشه لوجستیک. به منظور پاسخ به سوال اول پژوهش در حالت نظری، به جهت آن که بررسی شود آیا آنتروپی باقی‌مانده تجمعی قابلیت پیش‌بینی بحران را دارد یا خیر، از نقشه لوجستیک در پژوهش ژیونگ، شانگ و ژانگ [۲۰] استفاده می‌شود. فرمول ریاضی این نقشه به شکل زیر است:

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

که در معادله ۱، $x \in [0,1]$ و $a \in [0,4]$ می‌باشد. حالت بحران در این سری توسط دو مقدار a برابر با ۳/۸ و ۴ ایجاد می‌شود. سایر مقدارهای a سری‌های تناوبی (قابل پیش‌بینی) را ایجاد می‌کنند. در نتیجه می‌توان از این روش ا ستفاده کرد تا به‌و سیله سری شبیه سازی شده روایی معیار پیشنهادی را در پیش‌بینی بحران مورد بررسی قرار داد. نشانه‌ی وجود بحران، افزایش مقدار آنتروپی محاسبه شده می‌باشد.

به منظور پاسخ به سوال دوم، یعنی توانایی معیار آنتروپی باقی‌مانده تجمعی در پیش‌بینی بحران در حالت کاربردی از سری شاخص کل بورس اوراق بهادار تهران استفاده می‌شود. در ادامه پایه‌ی اصلی این معیار یعنی آنتروپی شانون توضیح داده می‌شود و سپس فرمول اصلی بیان می‌شود.

آنتروپی شانون. شانون معیار عدم اطمینان را بر اساس توزیع متغیر تصادفی X به نام آنتروپی شانون ارائه داد که به صورت زیر تعریف شده است [۱۷]:

$$H(P) = E(-logP) = -\sum_i P_i logP_i \qquad \text{رابطه(۲)}$$

در حالت گسسته، P تابع احتمال تجمعی X است. هرچه مقدار آنتروپی شانون بالاتر باشد، نشان دهنده عدم اطمینان بیشتر نسبت به اطلاعات است. اگر X متغیر تصادفی پیوسته نامنفی با چگالی $f(x)$ باشد، آنتروپی شانون را می‌توان به توزیع پیوسته، به نام آنتروپی دیفرانسیل گسترش داد.

$$H(X) = -\int_0^\infty f(x) \log f(x) dx \qquad \text{رابطه(۳)}$$

[1] TSETMC
[2] Matlab 2018

که در آن $0log0 = 0$.

توسعه آنتروپی شانون. علاوه بر موارد ذکر شده، برآورد آنتروپی دیفرانسیل یک متغیر پیوسته از طریق توزیع تجربی داشوار است. برای غلبه بر این مشکلات، رائو و همکاران [۱۵] یک اندازه‌گیری عمومی‌تر از عدم قطعیت، به نام آنتروپی باقی‌مانده تجمعی (CRE) ایجاد کردند. CRE برای یک متغیر تصادفی پیوسته نامنفی X، که توسط ξ مشخص می‌شود، به صورت زیر تعریف شده است:

$$\xi(X) = -\int_0^{\infty} \overline{F}(x) log \overline{F}(x)\, dx \qquad \text{رابطه(۴)}$$

که در این معادله $F(x)$ تابع توزیع تجمعی و $\overline{F}(x) = 1 - F(x) = P(X > x)$ است.
به منظور محاسبه آنتروپی، لازم است سری شاخص کل را برای دوره مورد نظر تشکیل داده، سپس بازده این مقادیر در سری جدیدی قرار داده شود. برای محاسبه بازده از روش لگاریتمی استفاده می‌شود، ($\log(\frac{X_{t+1}}{X_t})$) که در این فرمول X_t عدد پایانی شاخص در روز t ام است. سپس به منظور نامنفی کردن این مقادیر و برآورده کردن شرط آنتروپی باقی‌مانده تجمعی، کمترین مقدار بازده کل دوره مورد بررسی از تک تک 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 زیر بدست آورد:

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

که در آن $U_{j+1} = X_{j+1} - X_j$ و $U_1 = X_1$ فضای نمونه هستند.

٤. یافته‌های پژوهش

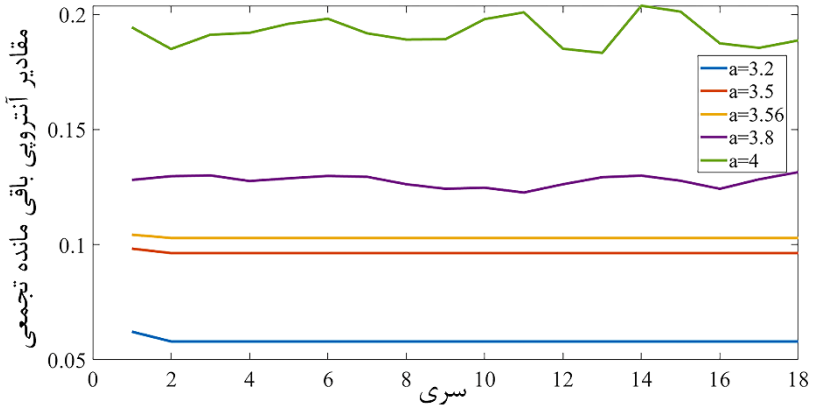
داده‌های پژوهش شامل سری‌های ابتدایی بازده لگاریتمی شاخص کل و سری‌های مصنوعی که بوسیله فرمول ریاضی نقشه لوجستیک ساخته شده‌اند می‌باشند، هر کدام از سری‌ها شامل ۲۰۰ داده می‌باشد.

سوال اول. به منظور پاسخ به سوال یک، که توانایی معیار آنتروپی باقی‌مانده تجمعی را در حالت نظری بررسی می‌کند، از ۵ سری مصنوعی استفاده می‌شود. این سری‌ها بر طبق فرمول‌های بیان شده در بخش‌های پیشین بدست می‌آیند. مشابه با پژوهش ژیونگ، شانگ و ژانگ[۲۰]، تعداد داده‌های کل هر سری مصنوعی که بوسیله‌ی فرمول ریاضی نقشه لوجستیک

ساخته می شود ۲۰۰۰ داده می‌با شد. پس از آن برای هر سری مقادیر بازده لگاریتمی محا سبه می‌شود. سپس هر سری را به دسته‌های ۲۰۰ عددی تقسیم کرده و فاصله‌ی قدم هر پنجره ۱۰۰ داده انتخاب می شود. سپس هر سری به صورت صعودی مرتب می شود و به تابع آنتروپی به عنوان مقادیر ورودی داده می‌شود.

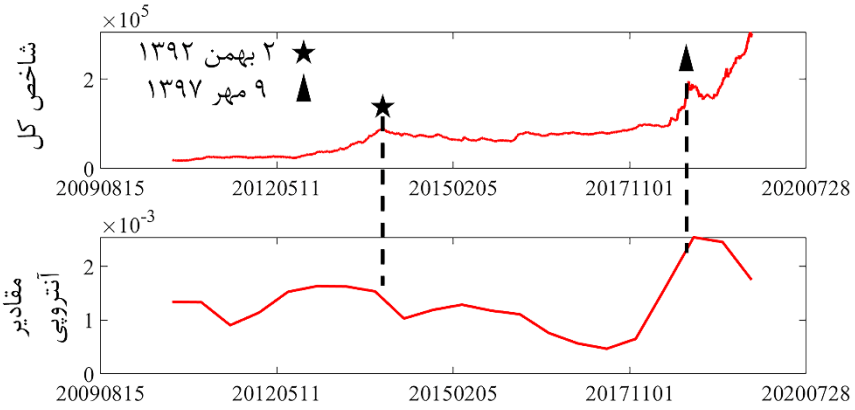
سوال دوم. برای پا سخ به سوال دوم در حالتی که توانایی معیار را در حالت کاربردی برر سی می‌کند، از مقادیر شاخص کل در بازه زمانی مهر ۱۳۸۹ الی شهریور ۱۳۹۸ استفاده شده است. به منظور آماده‌سازی داده‌های شاخص کل، ابتدا برای آنها بازده لگاریتمی را محاسبه کرده و پس از تقسیم‌بندی داده‌ها به بخش‌های ۲۰۰ عددی با فاصله‌قدم ۱۰۰، به عنوان ورودی به تابع آنتروپی باقی‌مانده تجمعی استفاده می‌شوند.

نتایج سوال یک. 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 دســت می‌دهد و عدد ثابت جدیدی یعنی 1/a جای آن را می‌گیرد. در حالتی که a بزرگتر از ۳ با شد، یک رفتار دینامیکی بوجود می‌آید، چراکه سی ستم از حالت تناوبی به آ شوبی تغییر رفتار می‌دهد. هرچه a بیشتر با شد آ شوب در سیستم بیشتر ا ست. از نظر آنتروپی به این معنی ا ست که اطلاعات بیشتری برای درک وضعیت موجود سیستم لازم ا ست. با مقدمه فوق انتظار می‌رود، معیار پیشنهادی در حالتی که a برابر با ۴ با شد بیشترین مقدار را نشان دهد. همانطور که در شکل ۱ مشاهده می شود، هرچه مقدار a افزایش پیدا کرده ا ست، مقادیر محا سبه شده آنتروپی نیز افزایش پیدا کرده ا ست و نشان می‌دهد که معیار پی شنهادی در حالت نظری به خوبی توانسته است بحران را تشخیص دهد. هنگامی که مقدار a کمتر از ۳/۸ می‌باشد، سری‌های ساخته شده دارای ویژگی تناوب هستند و آ شوب را شبیه سازی نمی‌کنند. پس انتظار می‌رود که مقادیر محا سبه شده کمتر از حالت آ شوب و بحران در سی ستم با شد. همانطور که در شکل ۱ مشاهده می شود این مو ضوع به خوبی نشان داده شده ا ست. اما سری‌هایی که دارای مقادیر a برابر با ۳/۸ و ۴ می‌باشند، آنتروپی محا سبه شده مقادیر بیشتری را نشان داده ا ست. این مو ضوع موید آن ا ست که می‌توان بحران و تغییر دینامیک سی ستم مورد برر سی را از طریق افزایش در مقدار محا سبه شده آنتروپی بد ست آورد. از همین مو ضوع ا ستفاده شده ا ست تا تغییرات شاخص کل و آنتروپی آن را مورد برر سی قرارداد و بر طبق همین نشانه و همچنین تحقیقات پی شین ذکر شده که دارای نتایج م شابهی بوده‌اند بحران را پی ش‌بینی کرد. اختلاف عدد محا سبه شده برای آنتروپی در a برابر با ۴ و a برابر با ۳/۲ نیز موید آن ا ست که افزایش قابل توجه آنتروپی حاکی از افزایش اطلاعات در سیستم مورد بررسی است که در نتیجه‌ی تغییر دینامیک آن می‌باشد..



شکل ۱: مقادیر محاسبه شده آنتروپی باقی‌مانده تجمعی در حالت نظری برای ۵ سری نقشه لوجستیک. سری‌های a برابر با ۳/۸ و ۴، سری‌هایی هستند که بحران را شبیه‌سازی می‌کنند.

نتایج سوال دوم. به منظور بررسی توانایی معیار در حالت عملی و کاربردی، از داده‌های شاخص کل استفاده می‌شود. با ترسیم نمودار مقادیر آنتروپی و با بررسی فراز و فرودهای اکسترمم آن در کنار نمودار شاخص کل می‌توان توانایی معیار را در پیش‌بینی بحران بررسی کرد. انتظار می‌رود پیش از وقوع بحران، تابع رسم شده‌ی آنتروپی یک نقطه‌ی اکسترمم ماکسیمم به نمایش گذارد. نتایج این بخش در شکل ۲ آورده شده است. همانطور که در این شکل مشاهده می‌شود، تابع رسم شده آنتروپی در ۲ نقطه دارای اکسترمم ماکسیمم می‌باشد که بوسیله نماگرهای ستاره و مثلث در شکل مشخص شده‌اند. در ادامه به بررسی این ۲ نقطه پرداخته می‌شود.



شکل ۲: تشخیص بحران با معیار آنتروپی باقی‌مانده تجمعی در حالت عملی بوسیله سری بازده شاخص کل

نقطه ای که با نماگر ستاره مشخص شده است، شاخص از مقدار ۸۸۷۵۰ واحد (۲ بهمن ۱۳۹۲) به ۶۳۰۰۰ واحد (۱۶ آذر ۱۳۹۳) نزول (حدود ۳۰٪ کاهش) پیدا کرده است که قبل از وقوع این ریزش مشاهده می شود مقادیر محاسبه شده آنتروپی افزایش پیدا کرده‌اند و به خوبی این ریزش را پیش‌بینی کرده‌اند. مقدار آنتروپی محاسبه شده در این نقطه حدود ۸۰٪ افزایش را نشان داده‌اند. بر طبق نتایج تحقیقات پیشین و نتایج بخش نقشه لوجستیک می‌توان دریافت که به هنگام وقوع بحران، دینامیک سیستم تغییر پیدا کرده و اطلاعات بیشتری برای درک وضعیت لازم است. در بخش نقشه لوجستیک مشاهده شد که آنتروپی بحران را با افزایش مقادیر محاسبه شده نشان می‌دهد. این موضوع در این بخش نیز به وضوح مشاهده می‌شود. قبل از وقوع بحران مقادیر آنتروپی افزایش قابل توجه داشته و بعد از ریزش شاخص کل، آنتروپی نیز کاهش پیدا کرده است. که هر دو موضوع بیانگر تغییر دینامیک سیستم از آشوب و بحران به وضع معمول می‌باشند.

در ادامه‌ی بررسی، مشاهده می‌شود که آنتروپی پس از رسیدن به یک نقطه حداقلی، دوباره افزایش پیدا می‌کند. معیار آنتروپی باقی‌مانده تجمعی در تاریخ ۹ مهر ۱۳۹۷ بحران دیگری را پیش‌بینی می‌کند. این بحران با نماگر مثلث در شکل ۲ مشخص شده است. همانطور که مشاهده می شود در این نقطه نیز آنتروپی به یک مقدار حداکثری می‌رسد و سپس کاهش پیدا می‌کند. با مراجعه نمودار رسم شده‌ی شاخص کل مشخص می‌شود که در این تاریخ عدد شاخص از ۱۹۵۰۰۰ واحد در ۹ مهر ۱۳۹۷ به ۱۵۷۰۰۰ واحد (۲۰٪کاهش) در تاریخ ۲۸ آذر ۱۳۹۷ نزول پیدا کرده است. تفاوت بحران پیش‌بینی شده‌ی جدید را می‌توان در عدد بدست آمده برای آنتروپی باقی‌مانده تجمعی یافت. مقدار آنتروپی در مقایسه با بحران پیش‌بینی شده‌ی قبلی افزایش بیشتری از خود نشان داده است. طبق شکل ۲ مشاهده می شود که ریزش شاخص نسبت به بحران قبل شارپ‌تر بوده است و نشان می‌دهد که آنتروپی توانایی تشخیص مدت زمان به طول انجامیدن بحران را نیز دارا است. هرچه این کاهش شارپ‌تر باشد، آنتروپی مقدار بیشتری را نشان می‌دهد.

۵. بحث و نتیجه‌گیری

یافته‌های پژوهش نشان داد 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 بیان شده، هرچه که مقدار a در نقشه لوجستیک افزایش یافت، معیار آنتروپی باقی‌مانده تجمعی نیز مقدار بیشتری را نشان داد، بدین معنی است که معیار آنتروپی باقی‌مانده تجمعی در تشخیص سری‌های آشوبی که شبیه‌ساز بحران هستند، از سری‌های تناوبی و قابل پیش‌بینی، به خوبی عمل کرده است و بحران را در حالت نظری تشخیص داده است. در

حالت عملی نیز پیش از وقوع بحران افزایش قابل توجهی از خود نشـــان داد و بحران را در دو ریزش موجود در بازه مورد بررسی تشخیص داد و از این نظر نیز توانایی مذکور را دارد.

یافته‌های پژوهش با پژوهش گائو[1] [۶] تطابق ندارد. پژوهش ذکر شده از آنتروپی جایگشت استفاده کرده و بر طبق نتایج بدست آمده در زمان بحران، این معیار کاهش قابل توجهی را نشان داده است. در واقع زمانی که شاخص یک رشد شارپ را به ثبت رسانده، آنتروپی به کمترین مقدار خود رسیده است. البته از نتایج این پژوهش می‌توان به این موضوع اشاره کرد که آنتروپی نسبت به معیارهای دیگر ا ستفاده شده (لیوپانو و . . .) در ت شخیص پیچیدگی‌های بازار بهتر عمل کرده اســت. یافته‌های پژوهش با پژوهش ژیونگ، شــانگ و ژانگ [۲۰] همخوانی دارد. مدل برگرفته شده از این پژوهش در بورس اوراق بهادار تهران نتایج مشابه به پژوهش مذکور داشت. یافته‌های پژوهش آن و همکاران، ۲۰۱۹[2] [۲] با پژوهش پیش‌رو در تطابق اســت. بر طبق این پژوهش به هنگام افزایش عدم قطعیت و بالارفتن ریسک، آنتروپی مقدار بسیار بالایی را نشان می‌دهد. این معیار به هنگام تغییرات ناگهانی ریسک، بیشترین مقدار را محاسبه کرده است.

یافته‌های پژوهش ممن و همکاران[3] [۱۱] با پژوهش پیش‌رو در تطابق است. پژوهش مذکور آنتروپی شــانون را برای ۱۸۱ بازار اعمال کرده اســت. برطبق نتایج بدســت آمده بازارهایی که در زمان بحران سال ۲۰۰۸ بیشترین نوسان و تغییرات را داشته‌اند، بیشترین مقدار آنتروپی را به ثبت رســانده‌اند. یافته‌های پژوهش با پژوهش ژو و همکاران[4] [۲۲] همخوانی دارد. در پژوهش مذکور از چندین معیار آنتروپی شامل آنتروپی باقی‌مانده تجمعی به منظور معیار انتخاب پرتفوی ا ستفاده شده ا ست. در این پژوهش نیز هرچه ریسک پرتفوی افزایش یافته، مقدار بالاتری برای آنتروپی باقی‌مانده تجمعی محاسبه شده است.

نتایج پژوهش پیش‌رو با نتایج پژوهش لامیری [۱۰] در تطابق اســـت. در این پژوهش دو کمیت درجه تصــادفی و آنتروپی رنی به هنگام بحران و پس از بحران محاســبه شــده اســت. در تعدادی از بازارهای مورد بررســـی، آنتروپی رنی پس از بحران افزایش یافته اســـت. در حالیکه در پژوهش پیش‌رو به هنگام بحران افزایش و پس از بحران کاهش آنتروپی بوجود آمد. البته درجه ت صادفی در تمام بازارهای برر سی شده در پژوهش مذکور به هنگام بحران افزایش و پس از آن کاهش ن شان داده ا ست. یافته‌های پژوهش پیش‌رو با پژوهش ا ستا سیک[5] [۱۸] تطابق دارد. در این پژوهش که از آنتروپی شانون استفاده شده است، تاثیر بحران‌های مالی را در بازارهای ارزی بررســـی کرده اســـت. نتایج تجربی این پژوهش نشـــان داده‌اند که به هنگام بحران های مالی،

[1] Gao, 2020
[2] Ahn, 2019
[3] Memon, 2019
[4] Zhou, 2017
[5] Stosic, 2016

آنتروپی نرخ ارز با افزایش قابل توجهی همراه است و نشان‌دهنده‌ی بی ثباتی در پویایی بازار ارز می‌باشد.

نتایج پژوهش پیش‌رو در تطابق با پژوهش دیمپفل[1] [۵] می‌باشد. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که جریان اطلاعات به هنگام بحران در اقیانوسیه به طور 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 دارد.

یافته های پژوهش پیش‌رو با پژوهش آلوارز–رمیرز و رودریگز [۳] در تطابق است. این پژوهش که بحران‌های مالی سال ۲۰۰۰ و جنگ جهانی اول را بررسی کرده است، نشان داده که در زمان وقوع بحران، آنتروپی‌های اطلاعات افزایش قابل توجهی از خود نشان داده‌اند. هرچه این افزایش بیشتر باشد بیان‌گر پیچیدگی بالاتر پویایی سیستم است. همچنین این پژوهش یک چرخه‌ی ۲۲ ساله بحران را شناسایی کرده و تکرارشدگی بحران‌های پیشین و بحران‌های جدید را نشان داده است.

پیشنهادها و محدودیت‌ها

همانطور که پیشتر بیان شد، معیارهایی که در گذشته بوسیله سایر پژوهشگران جهت پیش‌بینی بحران و همچنین معیارهای سنجش ریسک مورد استفاده قرار گرفته‌اند می‌توان با تغییر تابع چگالی احتمال آنها، از تابع احتمال باقی‌مانده استفاده کرد. همچنین برخی از معیارهای بیان شده در حالت فراکتالی مورد بررسی قرار نگرفته‌اند. تابع چگالی احتمال باقی‌مانده توام با درجه فراکتالی در آنتروپی‌های رنی و تسالیس و معیار استفاده شده در این پژوهش برای مطالعات آتی پیشنهاد می‌شود.

همچنین از این معیار می‌توان جهت سنجش ریسک بازارهای مالی استفاده کرد. این موضوع بوسیله سایر معیارها بررسی شده است اما در حالت فراکتالی و تابع چگالی احتمال باقی‌مانده پژوهشی یافت نشد. این پژوهش باید با استفاده از داده‌های شاخص هر بازار در کنار انحراف معیار، چولگی و کشیدگی مورد بررسی قرار گیرد.

از آنجایی که نشان داده شد معیارهای پیشنهادی به نوعی سنجه‌ای از ریسک می‌باشند، پیشنهاد می‌شود از معیارهای پیشنهادی در شاخص‌های هر صنعت بورس اوراق بهادار تهران نیز استفاده شود. از این طریق می‌توان ریسک هر صنعت را با صنعت دیگر مقایسه کرد. همچنین می‌توان از این معیار جهت مقایسه‌ی ریسک هر صنعت و نزدیکی آن با ریسک شاخص کل

[1] Dimpfl, 2014

ا ستفاده کرد. انتظار می‌رود صنایع غذایی و دارویی ریسک کمتری از شاخص کل نشان دهند، ریسک کمتر به معنای عدد محاسبه شده پایین‌تر آنتروپی باقی‌مانده تجمعی در صنایع مذکور می‌باشد.

پیشنهاد می‌شود از آنتروپی باقی‌مانده تجمعی فراکتالی در پژوهش‌های آتی در کنار معیار آنتروپی باقی‌مانده تجمعی استفاده شود تا ضمن بررسی‌های بیشتر جهت مقایسه‌ی این دو معیار، نتایج بهتری که در معیار فراکتالی ارائه می‌شود نیز بررسی گردند.

پیشنهاد می‌گردد که شرکت‌ها و صندوق‌های سرمایه‌گذاری از معیار آنتروپی باقی‌مانده تجمعی در پیش‌بینی وضعیت شاخص کل استفاده نمایند. این معیار کمک شایانی در جهت شنا سایی و ضعیت فعلی می‌نماید. در صورتی که این معیار ه شدار وقوع بحران را صادر نماید می‌تواند با خروج به موقع سرمایه، از زیان این شرکت‌ها جلوگیری و ثروت سرمایه‌گذاران را حفظ کرد. حفظ این موضوع به تشویق بیشتر مردم عادی به سرمایه‌گذاری غیر مستقیم، رونق صندوق‌ها و شرکت‌های سرمایه‌گذاری و مصونیت بیشتر مردم از ریسک‌های بازار می‌نماید.

در آخر پیشنهاد می‌شود که از پنجره‌های زمانی کوتاه‌تر بدلیل جوان بودن بورس اوراق بهادار تهران ا ستفاده شود. در پژوهش پیش‌رو از پنجره زمانی با ۲۰۰ داده و غلتش ۱۰۰ داده ا ستفاده شده ا ست. این پنجره گرچه در بازه‌های چند ساله (۱۰ سال به بالا) می‌تواند به خوبی پا سخ‌گو با شد اما در بازه‌های کوتاه نمی‌توان از آن ا ستفاده کرد چراکه بسیاری از نو سانات بازار را در نظر نمی‌گیرد. پیشنهاد می‌شود که از نصف پنجره‌های زمانی پژوهش پیش‌رو استفاده شود.

محدودیت‌های موجود در هر پژوهش می‌تواند بر یافته‌ها و تفسیر آنها اثر مهمی بگذارد. بیان محدودیت‌های احتمالی به روشن‌تر شدن عدم تطابق نتایج و یافته‌ها با دیگر پژوهش‌های صورت گرفته کمک شایانی می‌نماید. از جمله محدودیت‌هایی که در پژوهش پیش‌رو به عنوان عوامل موثر شناخته می‌شوند به شرح ذیل است.

در پژوهش ژیونگ، شانگ و ژانگ [۲۰] از داده‌های ۱۴ سال به صورت روزانه استفاده شده است. گرچه نتایج هردو پژوهش مشابه است اما به جهت صحت‌سنجی و دقت بالاتر می‌بایست از تعداد داده‌های بیشتری ا ستفاده شود تا معیارهای پیشنهادی با اطمینان بالاتری در بورس اوراق بهادار تهران مورد بررسی قرار گیرند. از آنجایی که عمر بورس اوراق بهادار تهران کمتر از بازار مورد برر سی پژوهش ژیونگ، شانگ و ژانگ [۲۰] می‌با شد و همچنین نحوه محا سبه شاخص کل از سال ۱۳۸۷ تغییر پیدا کرده است، می‌بایست یکی از محدودیت‌های پژوهش را در داده‌های قابل بررسی یافت. این موضوع تعمیم‌پذیری نتایج را تحت تاثیر قرار می‌دهد.

محدودیت دیگر در محدودیت دامنه نوسان روزانه و همچنین وجود حجم مبنا اعمال شده در بورس اوراق بهادار تهران است. چراکه در صورت نبود این دو معیار می‌توان ریزش‌ها و رشدهای

شـــارپ‌تری را مشـــاهده نمود و در نتیجه مقادیر محاســـبه شـــده آنتروپی می‌توانند بحران‌ها را با صحت بالاتری نشان دهند.

محدودیت دیگر پژوهش را می‌توان در شرایط خاص اقتصاد ایران و به تبع آن بورس اوراق بهادار تهران یافت. وجود ابر تورم و به دنبال آن رشـدهای ناگهانی شـاخص به جهت رسـیدن به تورم می‌تواند بر یافته‌های پژوهش اثرگذار باشـد. در این میان می‌توان به رفتار گله‌ای نیز اشـاره کرد که در زمان تورم عده‌ای در آخرین زنجیره‌ی رشـد شـاخص وارد بازار شـده و عدم حصـول نتیجه رضایت‌بخش آنان موجب تشکیل صف‌های فروش و کاهش ناگهانی شاخص شود. افرادی که در آخرین زنجیره‌ی رشد به خرید پرداخته‌اند زیان قابل توجهی را متحمل می شوند. تشکیل صـــف‌های فروش به‌مانند دومینو به کل بازار ســـرایت کرده و با فروارزش‌گذاری، داده‌های مورد استفاده را تحت تاثیر قرار می‌دهد.

در آخرین محدودیت می‌توان به رابطه معکوس ریســـک و بازدهی در بورس اوراق بهادار تهران اشاره کرد. در این میان غالب شرکت‌هایی که دارای زیان انباشته سنگین هستند، بیشترین توجه را در بازار از آن خود می‌کنند و به تبع آن دارای بیشترین افزایش قیمت می‌شوند. خریداران پس از عدم حصـول نتیجه مطلوب، به فروش در اینگونه سـهم‌ها روی می‌آورند و سـپس همان دومنیو ذکر شده در بالا را برای کل بازار رقم می‌زنند. این موضوع نیز موجب تشکیل صف‌های بی‌مورد در شرکت‌های موثر بر شاخص شده و کل بازار را تحت تاثیر خود قرار می‌دهد و داده‌های کاذب ریزش را ایجاد می‌کند.

منابع

1.Abdullah Zadeh, S., Mohammadi Malqarni, A., Noravesh, I., & Amini, P. (2018). Investigating the entropy of liquidity and leverage ratios on identifying companies suspected of fraud in financial reporting. Audit Science, 18(72), 79–96. https://www.sid.ir/fa/journal/ViewPaper.aspx?id=462861. (in-persian)
2.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.
3.Alvarez-Ramirez, J., & Rodríguez, E. (2011). Long-term recurrence patterns in the late 2000 economic crisis: Evidences from entropy analysis of the Dow Jones index. Technological Forecasting and Social Change, 78(8), 1332–1344.
4.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.
5.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, 1–13.
6.Gao, J., Hou, Y., Fan, F., & Liu, F. (2020). Complexity Changes in the US and China's Stock Markets: Differences, Causes, and Wider Social Implications. Entropy, 22(1), 75.
7.Hasannejad, M., Osoolian, M., & Hamzenejadi, Y. (2020). The Impact of Cognitive Ability and faith in intuition on Investors' Trading Strategies and Performance (Evidence from the iran Capital Market). Financial Management Perspective. (in-persian)
8.Kim, R., So, C. H., Jeong, M., Lee, S., Kim, J., & Kang, J. (2019). Hats: A hierarchical graph attention network for stock movement prediction. ArXiv Preprint ArXiv:1908.07999.
9.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, 122923.
10.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, 342–346.
11.Memon, B. A., & Yao, H. (2019). Structural change and dynamics of Pakistan stock market during crisis: A complex network perspective. Entropy, 21(3), 248.
12.Nti, I. K., Adekoya, A. F., & Weyori, B. A. (2020). A comprehensive evaluation of ensemble learning for stock-market prediction. Journal of Big Data, 7(1), 1–40.
13.Osoolian, M., Esfidavajani, S. A. H., & Bagheri, M. (2019). Stock market index analysis with entropy approach. Financial Management Perspective. (in-persian)
14.Osoolian, M., M.R.A.N., & Davari, M. (2017). The effect of brand value on company profitability. Financial Management Perspective. (in-persian)
15.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.
16.Sadeghi Sharif, S. J., & Janiarloo, S. I. (2017). The role of working capital management in profitability clearing of listed firms in Tehran Stock Exchange by method of EGLS. Financial Management Perspective. (in-persian)

17.Shannon, C. E. (1949). Communication theory of secrecy systems. The Bell System Technical Journal, 28(4), 656–715.
18.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, 233–239.
19.Taghizadeh, M., Gholamreza Mohtashami Barzadaran, & Amini, M. (2018). Entropy measurement to evaluate volatile stock market indices. 14th Iranian Statistics Conference. (in-persian)
20.Xiong, H., Shang, P., & Zhang, Y. (2019). Fractional cumulative residual entropy. Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation, 78, 104879.
21.Zhang, X., Ma, C., & Yu, X. (2019). A neural network model for financial trend predicting. Cluster Computing, 22(2), 3487–3494.
22.Zhou, R., Liu, X., Yu, M., & Huang, K. (2017). Properties of risk measures of generalized entropy in portfolio selection. Entropy, 19(12), 657.