

## تحلیل شاخص کل با رهیافت آنتروپی

محمد اصولیان\*، سیدعلی حسینی اسفیدواجانی\*\*، مبینا باقری\*\*\*

### چکیده

تحلیل و پیش‌بینی حرکت شاخص قیمت بورس از جمله مسائلی است که همواره تحلیلگران و سرمایه‌گذاران با آن مواجه هستند و با استفاده از ابزارهای مختلفی به این مهم می‌پردازند. با توجه به مشابهت بازارهای مالی با پدیده‌های فیزیکی می‌توان با در نظر گرفتن بازار به‌عنوان یک سیستم پیچیده، روابط موجود در آن را از این منظر مطالعه کرد. یکی از مفاهیم این حوزه، آنتروپی است که عدم قطعیت و پیچیدگی سیستم پویا را اندازه‌گیری می‌کند. در این پژوهش 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 مورد بررسی قرار گرفت. نتایج پژوهش نشان می‌دهد که آنتروپی‌های  $ENT_{-50}^y$ ،  $ENT_{-50}^h$ ،  $ENT_{-50}^q$ ،  $ENT_{50}^q$  و  $ENT_{50}^m$  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.

**کلیدواژه‌ها:** شاخص کل؛ آنتروپی چندمقیاسی شانون؛ آزمون علیت تودا و یاماموتو.

---

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۷/۱۰/۰۳، تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۷/۱۱/۲۶.

\* استادیار، دانشگاه شهید بهشتی.

\*\* استادیار، دانشگاه شهید بهشتی.

\*\*\* کارشناسی ارشد، دانشگاه شهید بهشتی (نویسنده مسئول).

## ۱. مقدمه

بازار سرمایه یکی از مهم‌ترین بخش‌های اقتصادی است که وضعیت آن ارتباط نزدیکی با ساختار اقتصادی کشور دارد. بازار بورس به علت شفافیت و سرعت انجام معاملات به‌عنوان یکی از گزینه‌های قابل توجه در سرمایه‌گذاری شناخته می‌شود؛ به عبارتی فعال بودن بازار بورس سبب تسهیل در تأمین مالی شرکت‌ها و به‌کارگیری سرمایه‌های خرد که اغلب غیرمولد هستند، در مسیر تولید خواهد شد. شاخص‌های بورس در بیشتر کشورها یکی از اصلی‌ترین معیارهای قابل اعتماد به‌منظور بررسی بازارهای مالی به‌شمار می‌آید. شاخص کل «بورس اوراق بهادار تهران» نیز نمایانگر روند کلی بازار بورس در ایران و نشان‌دهنده وضعیت کلی بازار سرمایه است؛ بنابراین درک و تحلیل شاخص کل و تغییرات آن می‌تواند به فعالان بازار سرمایه در اتخاذ تصمیم‌های مناسب‌تر یاری رساند؛ همچنین شاخص بورس مورد استفاده پژوهشگران مالی نیز قرار می‌گیرد. آن‌ها برای مقایسه بازدهی بازار سرمایه با سایر بازارها و همچنین برای اندازه‌گیری تأثیرگذاری عوامل مختلف بر بازدهی بازار از شاخص بورس استفاده می‌کنند.

پیش‌بینی یکی از اجزای اصلی فرآیند تصمیم‌گیری است؛ زیرا هرچه پیش‌بینی دقیق‌تر و اصولی‌تر باشد، به اتخاذ تصمیم‌های صحیح‌تری منجر خواهد شد. تصمیم‌گیری در مورد خرید سهام جدید و یا فروش سهام موجود، نیازمند دستیابی به اطلاعاتی در مورد وضعیت کنونی و آتی بازار سهام است. در صورتی که بتوان شاخص بازار سهام را با استفاده از روش‌های مناسب تحلیل کرد، می‌توان تصمیم‌های بهتری اتخاذ کرد؛ از این رو دستیابی به روشی مناسب برای تحلیل شاخص سهام می‌تواند راهنمای مناسبی برای اتخاذ تصمیم‌های سرمایه‌گذاری باشد.

تاکنون پژوهش‌های زیادی در زمینه تحلیل و پیش‌بینی شاخص بورس انجام شده است که نتایج آن‌ها مختلف و حتی در بعضی موارد متناقض بوده است. هدف اصلی این پژوهش، بررسی بازار بورس به‌عنوان یک سیستم پویا و تحلیل شاخص کل بورس با استفاده از مفاهیم این حوزه است. با توجه به پیچیدگی‌های بازار سرمایه و تشابه پدیده‌های فیزیکی با پدیده‌هایی که در بازارهای مالی رخ می‌دهد، کاربرد مفاهیم مشترک با سایر حوزه‌ها در این حوزه می‌تواند بسیار راهگشا باشد. یکی از این مفاهیم، آنتروپی است که مفهومی پرکاربرد در علوم مختلف بوده و می‌تواند عدم قطعیت و پیچیدگی سیستم پویا را اندازه‌گیری کند. در واقع آنتروپی بالاتر نشان‌دهنده آن است که افراد برای درک سیستم به اطلاعات بیشتری نیاز دارند.

نوآوری و تفاوت پژوهش حاضر در مقایسه با پژوهش‌های مشابه، استفاده از مفهوم آنتروپی شانون در مقیاس‌های مختلف و بررسی آن در بازه‌های زمانی متفاوت است. در این پژوهش به کمک تکنیک آنتروپی به بررسی و تحلیل شاخص بورس پرداخته می‌شود؛ به عبارتی بررسی خواهد شد که آیا بین آنتروپی و شاخص بازار رابطه علیت گرنجر وجود دارد یا خیر؟ و در این

راستا روابط کوتاه‌مدت و بلندمدت (ماهانه، فصلی، شش‌ماهه و سالانه) نیز مدنظر قرار خواهد گرفت. ساختار مقاله به این صورت است که در بخش دوم به مبانی نظری روش‌های تحلیل شاخص و کاربرد آنتروپی پرداخته می‌شود و مطالعاتی که در این خصوص انجام شده است، مطرح خواهد شد. در بخش سوم نیز داده‌های پژوهش، تکنیک آنتروپی و مبانی آن و آزمون علیت گرنجر تودا - یاماموتو بیان می‌شود [۲۳]. در بخش چهارم به بیان یافته‌های پژوهش و تجزیه و تحلیل آن‌ها پرداخته شده است و بخش پنجم نیز به بحث پیرامون یافته‌های تحقیق و نتیجه‌گیری از آنها اختصاص دارد.

## ۲. مبانی نظری و پیشینه پژوهش

برای تحلیل و بررسی بازارهای مالی، رویکردهای مختلفی وجود دارد که بر حسب شرایط، هر یک کارکردهای مختص به خود را دارند و از جنبه‌های مختلف به بررسی و تحلیل می‌پردازند. از رویکردهای مالی در این خصوص می‌توان «تحلیل بنیادی»، «تحلیل تکنیکی»، «رویکرد مبتنی بر نظریه‌های مدرن مالی» و «رویکرد بی‌نظمی و پویایی غیرخطی» را نام برد [۱۸]. روش تحلیل بنیادی بر این مفهوم استوار است که سهام تمامی شرکت‌ها دارای ارزش ذاتی است و این ارزش با عملکرد شرکت و صورت‌های مالی آن ارتباط دارد. با فرض اینکه قیمت سهام از نظر زمانی، منعکس‌کننده همه اطلاعات موجود نیست، هدف تجزیه و تحلیل بنیادی، کشف اطلاعاتی است که در قیمت کنونی سهام منعکس نشده و بنابراین پیش‌بینی‌کننده قیمت‌های آتی است؛ چراکه قیمت‌ها در آینده به سوی ارزش بنیادی سهم میل می‌کنند [۲۰]. این رویکرد و مدل‌های آن دارای سابقه طولانی هستند و از دهه ۱۹۳۰ مطرح بوده‌اند. این روش‌ها با تکیه بر ابزارهای مختلف علمی از قبیل آمار، اطلاعات مالی و غیره، ارزش سهام را تعیین می‌کنند [۱۸].

درباره تحلیل تکنیکی می‌توان گفت که این عنوان، واژه‌ای عمومی برای بی‌شمار تکنیک معامله‌ای است که تلاش می‌کنند به وسیله بررسی قیمت‌های گذشته، قیمت‌های آینده را پیش‌بینی کنند؛ به عبارتی آنچه در این تحلیل اهمیت دارد، حرکت گذشته قیمت سهم و نیروهای عرضه و تقاضای تأثیرگذار بر قیمت سهم است. با اینکه ژاپنی‌ها ۳۰۰ سال پیش از برخی اصول روش‌های تکنیکی در معاملات خود استفاده می‌کردند، می‌توان گفت قدمت استفاده از این تحلیل تکنیکی به قدمت عمر «بورس سهام آمریکا» برمی‌گردد. چارلز داو نخستین فردی بود که در اواسط قرن ۱۹، مقالاتی در مورد تحلیل تکنیکال در «وال استریت ژورنال»<sup>۲</sup> به چاپ رساند. برای

1. Charles Dow

2. Wall Street Journal

نخستین بار پیتز برنستین (۱۹۹۳) در کتاب «انگاره‌های سرمایه»، پیچیده‌تر شدن فناوری و عدم امکان رسم نمودار و درک پیام نوسانات بازار را مطرح کرد. این دیدگاه و نتایج حاصل از برخی پژوهش‌ها موجب شد تا نظریه‌پردازان به بررسی فرضیه‌هایی روی آورند که در آن‌ها قیمت سهام به طریق تصادفی حرکت می‌کند. این مفهوم عملی «گشت تصادفی» نام گرفت و به تدریج در نشریه‌ها و کتاب‌های معتبر جهان جای خود را باز کرد. بعدها یوجین فاما<sup>۴</sup> به آن رسمیت بیشتری بخشید و با استفاده از مفروضات معین در سال ۱۹۶۵، رساله دکتری خود را به بررسی این موضوع اختصاص داد. سه حوزه به هم پیوسته فرضیه بازار کارا، نظریه پرتفوی و مدل قیمت‌گذاری دارایی‌های سرمایه‌ای (CAPM) که از حوزه‌های این رویکرد است، مورد تأیید محافل دانشگاهی قرار گرفته و در سال‌های گذشته، این اندیشه‌ها مرکز ثقل تصمیم‌های رد یا قبول سرمایه‌گذاری برای بسیاری از پروژه‌ها بوده‌اند [۱].

از اواسط دهه ۱۹۷۰ و به‌ویژه از سال ۱۹۹۰ تلاش‌های گسترده‌ای در زمینه پیش‌بینی قیمت سهام با استفاده از روش‌های جدید ریاضی، سری‌های زمانی طولانی و ابزارهای پیشرفته ریاضی آغاز گشت که به ظهور دیدگاه بی‌نظمی و پویایی منجر شد [۱۳]؛ از سویی دیگر برخی از اندیشمندان با در نظر گرفتن بعضی از ویژگی‌های بازار، پدیده آشفتگی را مطرح کرده‌اند و بازار را یک سیستم پیچیده<sup>۵</sup> و در حال تحول می‌دانند. آن‌ها حرکات قیمت سهام را ناشی از عوامل زیادی می‌دانند که در هر لحظه در حال تغییر است.

سیستم‌های پیچیده، مبحثی مجزا از سایر رشته‌ها نیست، بلکه نگاهی متفاوت به پدیده‌های جهان است. در این نگرش، روابط بین اجزای یک سیستم مهم‌ترین عامل تفاوت یک سیستم ساده و پیچیده است؛ به طوری که بسیاری از رفتارهای چنین سیستمی را نمی‌توان با مطالعه اجزای آن توصیف کرد. در نگاه سنتی با مطالعه تک‌تک اجزای یک سیستم می‌توان ویژگی‌های آن را شناخت، اما در نگاه سیستم‌های پیچیده، ویژگی‌های یک سیستم، با مطالعه کل مجموعه به عنوان یک سیستم منسجم و با در نظر گرفتن روابط بین اجزای آن بررسی خواهد شد [۲].

آنتروپی یک مفهوم مهم در علوم مختلف است و عدم قطعیت و پیچیدگی سیستم پویا را اندازه‌گیری می‌کند [۹]. مفهوم پایه آنتروپی ابتدا در فیزیک مطرح شد. کلازیوس<sup>۷</sup> (۱۸۶۵)، فیزیکدان آلمانی، مفهوم آنتروپی را مطرح کرد که برای توصیف پیچیدگی توزیع انرژی در فضا

---

1. Peter Bernstein  
 2. Capital Ideas  
 3. random walk  
 4. Eugene Fama  
 5. Capital Asset Pricing Model  
 6. Complex systems  
 7. Clausius

استفاده می‌شد [۵]. پس از آن شانون (۱۹۴۸)، آنتروپی را در زمینه علم اطلاعات، با استفاده کردن از آن برای اندازه‌گیری میزان انتقال اطلاعات، به کار برد [۱۹].

**کاربرد آنتروپی در حوزه مالی.** در ادامه پژوهش‌های صورت گرفته در زمینه کاربرد آنتروپی در حوزه مالی بررسی خواهد شد. فیلیپاتوس و ویلسون<sup>۲</sup> (۱۹۷۲) نخستین پژوهشگرانی بودند که مفهوم آنتروپی را در انتخاب پرتفوی اعمال کردند. آن‌ها در پژوهش خود با پیشنهاد مفهوم میانگین - آنتروپی و بررسی آن روی ۵۰ سهم از سهام شاخص داوجونز، به مقایسه این روش با روش‌های سنتی پرداختند. آن‌ها دریافتند که نتایج این روش با روش مارکوییتز و مدل تک‌شاخصه شارپ، سازگار است. اگرچه این پژوهش دارای نواقص متعددی بود، اما سبب ورود روشی مؤثر در زمینه انتخاب پرتفوی شد [۱۷]. پس از آن، پژوهشگران زیادی نظریه انتخاب سهام با استفاده از مفهوم آنتروپی را گسترش دادند. بعضی از آن‌ها انواع مختلفی از آنتروپی را مطرح کردند و شکل‌های تعمیم‌یافته‌ای از آنتروپی، چون آنتروپی افزایشی<sup>۳</sup> را به کار گرفتند. زو<sup>۴</sup> و همکاران (۲۰۱۱) مسائل انتخاب سید سهام را با استفاده از آنتروپی ترکیبی<sup>۵</sup> به منظور تخمین ریسک دارایی ناشی از هر دو عامل تصادفی و احتمالی، گسترش دادند [۲۷].

استا و کنتز<sup>۶</sup> (۲۰۱۱) مدل میانگین - واریانس - چولگی - آنتروپی را مطرح کردند که نسبت به مدل‌های سنتی انتخاب سید سهام در آزمون‌های خارج از نمونه عملکرد بهتری داشت [۲۵]. ژو<sup>۷</sup> و همکاران (۲۰۱۳) نیز یک مدل انتخاب سید سهام با اندازه‌گیری آنتروپی اطلاعات - آنتروپی افزایشی - چولگی را ارائه دادند. آن‌ها از آنتروپی افزایشی برای نشان دادن سرعت افزایش سرمایه و از آنتروپی اطلاعات برای اندازه‌گیری ریسک پرتفوی استفاده کردند. نتیجه مقایسه عملکرد این مدل با دو مدل کلاسیک شامل مدل میانگین - واریانس مارکوییتز و مدل میانگین - واریانس - چولگی در بازار شانگهای چین نشان‌دهنده برتری این روش نسبت به دو مدل دیگر بود [۳۰]. یو<sup>۸</sup> و همکاران (۲۰۱۷)، مدلی برای انتخاب پرتفوی مطرح کردند که در آن روش‌های بهبود تنوع سرمایه‌گذاری و پیش‌بینی بازده ترکیب شده است. آن‌ها مدل آنتروپی یاگر<sup>۹</sup> و مدل آریما<sup>۱۰</sup> را ترکیب کردند و نشان دادند که مدل آنتروپی نسبت به مدل میانگین -

1. Shannon
2. Philippatos and Wilson
3. Incremental entropy
4. Xu
5. Hybrid entropy
6. Usta and Kantar
7. Out-of-sample test
8. Zhou
9. Yu
10. Yager
11. ARIMA

واریانس، کارایی بالاتر، هزینه‌های معاملاتی کمتر و تنوع بالاتری در پرتفوی حاصل می‌کند [۲۸]. آنتروپی در زمینه قیمت‌گذاری نیز کاربرد دارد. مثالی از این حوزه، «نظریه قیمت‌گذاری آنتروپی» معرفی شده توسط گولکو (۱۹۹۷) است [۱۱]. نتایج این پژوهش نشان داد که EPT می‌تواند نتایج مقداری مشابهی با مدل قیمت‌گذاری دارایی شارپ - لیتنر و رابطه بلک - شولز ارائه کند. گولکو همچنین EPT را در قیمت‌گذاری سهام به کار گرفت. ارمس<sup>۳</sup> و همکاران (۲۰۱۴) در پژوهش خود نشان دادند که آنتروپی به عنوان یک معیار اندازه‌گیری ریسک، مزایای پارامتر اندازه‌گیری ریسک در مدل CAPM (بتا) و انحراف معیار استاندارد را ترکیب می‌کند. طبق نتایج، هر دو آنتروپی شانون و رنی، تخمین ریسک معتبری ارائه دادند و آنتروپی نسبت به مدل CAPM، قدرت بیشتری در توضیح بازده موردانتظار داشت. آن‌ها همچنین نشان دادند که بتا رفتار متغیر زمانی با آنتروپی دارد [۱۶].

تیل<sup>۵</sup> (۱۹۶۹) نخستین پژوهشگری بود که نظریه اطلاعات را به صورت کاربردی در تحلیل صورت‌های مالی به کار برد [۲۳]. او در پژوهش خود روش جدیدی را بر مبنای مفاهیم نظریه اطلاعات برای تجزیه و تحلیل صورت‌های مالی از طریق صورت‌های مالی با مقیاس مشترک ارائه داد که به توصیف روند تغییرات هر یک از اقلام ترازنامه می‌پردازد. پس از وی، لو<sup>۶</sup> (۱۹۷۱) در پژوهشی به بررسی عملکرد آنتروپی در پیش‌بینی ورشکستگی شرکت‌ها پرداخت. او از طریق مقایسه جفتی ۷۴ شرکت ورشکسته و موفق، دریافت که آنتروپی ترازنامه شرکت‌های ورشکسته در پنج سال آخر قبل از ورشکستگی به شدت افزایش می‌یابد؛ همچنین این پژوهش نشان داد که درجه تغییرات ترکیب ترازنامه برای شرکت‌های ناموفق بیشتر از شرکت‌های موفق است [۱۴]. گاسباریان (۱۳۷۷) و گندم‌کار (۱۳۸۰)، نیز به بررسی میزان ارتباط ریسک سیستماتیک با میزان تغییرات در ترکیب ترازنامه پرداختند [۷، ۸]. نتایج نشان داد شرکت‌هایی که ترکیب ترازنامه آن‌ها دارای تغییرات بیشتری است، ریسک بالاتری دارند و شرکت‌هایی که تغییرات کمتری در ترازنامه خود دارند، دارای ریسک کمتری هستند.

کاربرد آنتروپی در پیش‌بینی شاخص بورس نیز بارها مورد بررسی قرار گرفته است. ائوم<sup>۷</sup> و همکاران (۲۰۰۸) به بررسی رابطه بین کارایی بازار و پیش‌بینی پذیر بودن تغییرات قیمت سهام در کشورهای مختلف پرداختند. آن‌ها کارایی را با محاسبه شاخص هرست و آنتروپی تقریبی<sup>۸</sup> بررسی

- 
1. Entropy Pricing Theory (EPT)
  2. Gulko
  3. Ormos
  4. bata
  5. Theil
  6. Lev
  7. Eom
  8. Approximate Entropy

کردند و نشان دادند که قابلیت پیش‌بینی شاخص سهام با مقدار آنتروپی رابطه منفی و با شاخص هرست رابطه مثبت دارد [۶]. کارایانی (۲۰۱۴) به‌منظور بررسی قدرت پیش‌بینی آنتروپی تجزیه مقدار تکین در بازار سهام، با بررسی بازار سهام ایالات‌متحده آمریکا نشان داد که آنتروپی تجزیه مقدار تکین، قابلیت پیش‌بینی روی شاخص داوجونز را دارد [۴]. گو<sup>۳</sup> و همکاران (۲۰۱۵)، پژوهشی مشابه پژوهش کارایانی (۲۰۱۴) در بازار چین انجام دادند و دریافتند که مقدار تکین آنتروپی تجزیه، قابلیت پیش‌بینی شاخص شنزن<sup>۴</sup> پس از اصلاح سهام غیرقابل معامله را دارا است [۱۰]. حسینی (۱۳۹۴) با بررسی داده‌های ماهانه ۸۰ شرکت تولیدی «بورس اوراق بهادار تهران» در بازه زمانی پنج‌ساله (۱۳۸۸-۱۳۹۳)، دریافت که بین آنتروپی و شاخص کل قیمت (TEPIX)<sup>۵</sup>، رابطه علیت خطی وجود دارد؛ اما بررسی آنتروپی با استفاده از داده‌های روزانه کلیه شرکت‌های بورس و شاخص کل بورس (TEDPIX)<sup>۶</sup> در مقیاس‌های متفاوت و در بازه‌های زمانی مختلف می‌تواند به نتایج متفاوتی منجر شود که در پژوهش حاضر بررسی خواهد شد [۱۳].

تقی‌زاده و همکاران (۱۳۹۷)، از آنتروپی شانون، رنی، تسالیس و سیمپسون تعمیم‌یافته به‌منظور بررسی ارزشمندبودن شاخص‌های بورس تهران استفاده کردند. آن‌ها با استفاده از داده‌های هفته‌ای و ماهانه به مقایسه شاخص کل، شاخص بازار اول، شاخص مالی و شاخص میانگین پنجاه شرکت برتر پرداختند. آن‌ها دریافتند که مقادیر آنتروپی شانون برای شاخص مالی، نسبت به سه شاخص دیگر بیشتر است؛ از این‌رو این شاخص بیشترین بی‌ثباتی را دارد و در نتیجه از سایر شاخص‌ها ارزشمندتر و بهتر است [۲۲].

امیرزاده (۱۳۹۵)، با استفاده از تکنیک آنتروپی انتقال به بررسی بحران‌های مالی در بازه زمانی سال‌های ۲۰۱۶-۱۹۹۰ در بازار آمریکا پرداخت. او با هدف ساختن معیاری از جنس اطلاعات برای شناسایی نواحی بحران، با محاسبه میانگین اطلاعات جاری‌شده در بازه‌های زمانی متوالی، شاخصی از مقدار اطلاعات انتقالی در گذر زمان به‌دست آورد که در شناسایی نواحی بحران کارآمد بود. وی نشان داد که در نواحی بحرانی، اطلاعات انتقالی به‌وضوح دچار کاهش شده و در واقع کارایی بازار کاهش یافته است [۲].

با توجه به آنچه پیرامون روش‌های تحلیل شاخص و کاربرد آنتروپی در حوزه مالی بیان شد، بررسی بازار به‌عنوان یک سیستم پیچیده با به‌کارگیری تکنیک آنتروپی می‌تواند در بررسی رفتار شاخص کل بورس راهگشا باشد و به تحلیل این شاخص از منظری متفاوت بپردازد.

- 
1. Hurst index
  2. Caraiani
  3. Gu
  4. Shenzhen index
  5. Tehran Exchange Price Index
  6. Tehran Exchange Dividend and Price Index

روش‌های پیش‌بینی و تحلیل شاخص. در سال‌های اخیر، پژوهش‌های متعددی پیرامون روش‌های مختلف تحلیل و پیش‌بینی شاخص ارائه شده است که بعضاً ابعاد متفاوتی از ویژگی‌های بازار را بیان می‌دارد و نشان‌دهنده لزوم استفاده از رویکردهای متفاوت با قبل، برای تحلیل شاخص‌های بورس است. لیو<sup>۱</sup> و همکاران (۲۰۰۸) با استفاده از مدل‌های چندفراکتالی سوئیچینگ مارکوف<sup>۲</sup> و شاخص هرست تعمیم‌یافته<sup>۳</sup> داده‌های مالی شامل نرخ ارز خارجی (دلار استرالیا - دلار آمریکا) و نرخ اوراق قرضه خزانه یک‌ساله را بررسی کردند. مطالعه بر روی قیمت، بازده و مربعات بازده نشان داد که بازده و مربعات بازده دارای ویژگی چندمقیاسی هستند و شاخص هرست، ابزار قدرتمندی برای شناسایی ویژگی چندمقیاسی است [۱۵]. زندیه و خامی (۱۳۹۴)، به‌منظور پیش‌بینی قیمت سهام با تلفیق مدل «مارکوف پنهان» و مفهوم «زنجیره مارکوف» این مدل را برای چندین سهام موجود در بازار «بورس اوراق بهادار تهران» اجرا کردند. نتایج نشان داد که با توجه معیار میانگین مطلق درصد خطا (MAPE) که به‌منظور برازش مدل ارائه شده برای مدل‌های مختلف محاسبه شد، تلفیق «زنجیره مارکوف» با مدل «مارکوف پنهان» توانست خطای مدل «مارکوف پنهان» را کاهش دهد [۲۹].

در پژوهش باجلان و همکاران (۱۳۹۶)، مدل ترکیبی جدید از ماشین بردار پشتیبان<sup>۴</sup> وزن‌دهی شده با حجم معاملات واقعی و انتخاب ویژگی هیبرید، ارائه شد. مقایسه نتایج این مدل با حالات انتخاب ویژگی‌های مختلف نشان داد که دقت پیش‌بینی روش انتخاب ویژگی هیبرید پیشنهادی از سایر تکنیک‌های انتخاب ویژگی بیشتر است؛ همچنین برای اثبات برتری ماشین بردار پشتیبان وزن‌دهی شده نسبت به ماشین بردار پشتیبان ساده، اقدام به ارائه استراتژی معاملاتی بر پایه هر دو روش کردند که نتایج روش پیشنهادی در این مورد نیز به میزان زیادی بهتر بود. نتایج همچنین نشان داد که شاخص‌های حجم جاری معاملات و دامنه متوسط واقعی با دقت قابل‌قبولی توانایی پیش‌بینی قیمت سهم را دارند [۳].

حسن‌نژاد (۱۳۹۷) با هدف مدل‌سازی و پیش‌بینی بازده «بورس اوراق بهادار تهران»، از مدل‌های خودرگرسیون میانگین متحرک<sup>۵</sup> و خودرگرسیون میانگین متحرک با ورودی‌های خارجی<sup>۶</sup> استفاده کرد. تخمین مدل‌های ARMA و ARMAX و اجرای آزمون‌های تشخیصی نشان‌دهنده قدرت تصریح مدل‌های یادشده با تأثیرپذیری از روند تاریخی بازده «بورس اوراق

1. Liu
2. Markov switching multifractal models (MSM)
3. Generalized Hurst Exponent (GHE)
4. Hidden Markov Models.
5. Markov Chain
6. Mean Absolute Percent Error
7. support vector machines
8. Auto Regressive Moving Average (ARMA)
9. Auto Regressive Moving Average with exogenous inputs model (ARMAX)



بهادار تهران»، میانگین متحرک بازده بورس، بازده بازار ارز، بازده بازار مسکن و بازده بازار طلا است؛ همچنین مقایسه توان پیش‌بینی مدل‌های بالا با استفاده از معیارهای مختلف، برتری مدل ARMA بر مدل ARMAX را نشان داد [۱۲].

**فرضیه پژوهش.** با توجه به موارد ذکر شده و در راستای تحلیل شاخص کل بازار با تکنیک آنتروپی، سؤال پژوهش به صورت زیر مطرح می‌شود:  
- آیا بین آنتروپی و شاخص کل بورس رابطه خطی وجود دارد؟

### ۳. روش‌شناسی پژوهش

جامعه آماری مورد بررسی در این پژوهش شامل کلیه شرکت‌های پذیرفته‌شده در «بورس اوراق بهادار تهران» است. داده‌های پژوهش شامل قیمت‌های پایانی روزانه کلیه شرکت‌های پذیرفته‌شده در «بورس اوراق بهادار تهران» و نیز مقادیر روزانه «شاخص کل بورس اوراق بهادار تهران (TEDPIX)» در بازه زمانی سال‌های ۱۳۹۲-۱۳۹۶ است که در مجموع ۵ سال را شامل می‌شود. داده‌های مورد نیاز پژوهش از آرشیو سایت «شرکت مدیریت فناوری بورس اوراق بهادار تهران» استخراج شد. برای محاسبات و آزمون‌های آماری از نرم‌افزارهای Eviews 9 و Matlab 2016 استفاده شده است.

**آنتروپی شانون.** در سال ۱۹۴۸ یکی از پژوهشگران «آزمایشگاه بل» به نام «ادوارد شانون»، مقاله‌ای با عنوان «تئوری ریاضی اطلاعات» ارائه داد که پایه‌های موضوعی است که امروزه به «نظریه اطلاعات» شهرت دارد. شانون در این مقاله، مدل ارتباط نقطه‌به‌نقطه را بررسی کرد؛ بدین صورت که اطلاعات توسط یک منبع اطلاعات تولید می‌شود، سپس از کانالی که در معرض نویز است عبور می‌کند و به مقصد می‌رسد. در چنین شرایطی ممکن است پیامی که در مقصد دریافت می‌شود، نسبت به پیام ارسال شده متفاوت باشد؛ از این رو در مقصد، تخمینی از پیام ارسالی صورت خواهد گرفت. شانون مفهومی اساسی را از منظر مخابرات در نظریه اطلاعات بیان کرد: اطلاعات دارای عدم قطعیت (احتمالی بودن) هستند. در واقع یک بسته اطلاعاتی که محتوای آن در مقصد قطعی است، هیچ ارزش اطلاعاتی ندارد؛ زیرا از قبل و بدون هیچ شکی از آن مطلع بودیم [۱۹]. برای درک بهتر، می‌توان تلویزیونی را تصور کرد که همواره یک تصویر ثابت را نمایش می‌دهد و چون بیننده همواره در حال مشاهده یک تصویر ثابت و تکراری است، اطلاعات جدیدی دریافت نمی‌کند. مطابق آنچه مطرح شد می‌توان منبع اطلاعات را با یک متغیر تصادفی مدل کرد و از علم احتمالات برای توسعه نظریه اطلاعات بهره جست.

آنتروپی شانون یک معیار اندازه‌گیری از اطلاعات موجود در یک سیستم است. هر چه مقدار آنتروپی شانون بیشتر باشد، نشان می‌دهد افراد برای درک سیستم به اطلاعات بیشتری نیاز دارند. یک سیستم با آنتروپی شانون بالاتر اطلاعات انتقالی بیشتری را دربر دارد که حاکی از عدم اطمینان بیشتر است. این مطلب یادآوری می‌کند که رویدادی با احتمال وقوع بالاتر، دربردارنده اطلاعات انتقالی کمتری به سیستم است؛ در مقابل، رویدادی با احتمال وقوع کمتر دربردارنده اطلاعات انتقالی بیشتری به سیستم است. به صورت مشابه، هنگامی که فردی به قصد سرمایه‌گذاری وارد بازار بورس می‌شود، اگر تعداد سهام موجود در بورس فقط یک نوع سهم باشد و نیز نوسانات قیمت آن سهم از قبل مشخص باشد، هیچ‌گونه ابهامی برای سرمایه‌گذار وجود نخواهد داشت. در چنین حالتی که قطعیت کامل وجود دارد و آنتروپی آن صفر است، اطلاعات ارزشی نخواهد داشت؛ درحالی‌که اگر نوسانات قیمت از قبل مشخص نباشد، اطلاعات حائز اهمیت است؛ به عبارتی اگر آنتروپی سهام بالاتر باشد، قیمت سهام به میزان کمتری قابل پیش‌بینی است، قیمت‌ها به رفتار گام تصادفی نزدیک‌تر و بازار نیز کاراتر است. اگر آنتروپی شانون یک متغیر تصادفی  $X$  را  $H(x)$  تعریف کنیم، خواهیم داشت:

$$H(x) = - \sum P(x) \log(P(x)) \quad \text{رابطه (۱)}$$

که  $P(x)$  تابع توزیع احتمال هر متغیر تصادفی بوده و جمع روی تمام حالات ممکن برای متغیر تصادفی است؛ به بیانی دیگر، معادله  $H(x)$  مقدار میانگین اطلاعاتی که  $X$  دربردارنده آن است را اندازه‌گیری می‌کند. پایه لگاریتم می‌تواند هر عدد حقیقی بزرگ‌تر از ۱ باشد. اگر پایه لگاریتم ۲ در نظر گرفته شود، واحد آنتروپی «بیت»، و اگر پایه آن  $e$  باشد، واحد آنتروپی «نات»<sup>۱</sup> خواهد بود.

**آنتروپی چندمقیاسی شانون.** گو(۲۰۱۷) با این فرض که  $P_1, P_2, \dots, P_n$  توزیع احتمال است، برای هر مقیاس  $q \neq 0$ ، آنتروپی شانون به صورت زیر تعریف نمود:

$$ENT_q = \left[ \sum_i p_i (\log p_i^{-1})^q \right]^{1/q} \quad \text{رابطه (۲)}$$

برای مقیاس  $q=0$ ، آنتروپی شانون به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$ENT_q = \prod_i e^{p_i} (\log p_i^{-1}) \quad \text{رابطه (۳)}$$

معادلات بالا به طور مشترک، «آنتروپی شانون تعمیم یافته» یا «آنتروپی چندمقیاسی شانون» نامیده می شود. برای مقادیر منفی  $q$ ،  $ent_q$  عمدتاً اطلاعات انتقالی از رویداد با احتمال وقوع بالاتر را توصیف می کند و برای مقادیر مثبت  $q$ ،  $ent_q$  عمدتاً اطلاعات انتقالی رویداد با احتمال وقوع کمتر را توصیف می کند؛ به عبارتی آنتروپی برای مقادیر مثبت  $q$  نشان دهنده جزئیات بیشتر و برای مقادیر منفی  $q$  نشان دهنده ویژگی های کلی سری زمانی (اطلاعات اصلی) است.

**محاسبه آنتروپی چندمقیاسی تجزیه مقدار تکین.** در این قسمت، به پیروی از کارایانی (۲۰۱۴) ابتدا با محاسبه همبستگی بین هر دو سهم موجود در نمونه، ماتریس همبستگی  $A = (R_{i,j})$  تشکیل خواهد شد؛ سپس ماتریس  $A$  تجزیه شده و ماتریس قطری  $S$  به دست آورده می شود. درایه های روی قطر اصلی این ماتریس، «مقادیر تکین شاخص سهام» نامیده می شوند [۴]. با استفاده از این مقادیر، آنتروپی شانون تجزیه مقدار تکین محاسبه می شود؛ سپس با تعریف مقیاس  $(s)$  و پنجره زمانی  $(w)$ ، مقادیر  $ENT_s^w$  محاسبه شده و سری  $ENT_s^w$  تشکیل می شود. برای محاسبه بازده لگاریتمی هر سهم با استفاده از قیمت پایانی آن از فرمول زیر استفاده خواهد شد:

$$y_{kt} = \log \left( \frac{S_{k,t}}{S_{k,t-1}} \right) \quad \text{رابطه (۴)}$$

$y_{kt}$ : سری بازده لگاریتمی از سهام  $k$ .

$S_k$ :  $k$ امین سهم تشکیل دهنده شاخص سهام.

$S_{k,t}$ : قیمت پایانی سهم در روز  $t$ .

$S_{k,t-1}$ : قیمت پایانی سهم در روز  $t-1$ .

$A = (R_{i,j})$  ماتریس همبستگی شاخص سهام است که درایه  $R_{i,j}$  نشان دهنده همبستگی پیرسون

بین  $i$  و  $j$  به صورت زیر است:

$$R_{i,j} = \frac{\langle (y_{it} - \langle y_{it} \rangle) (y_{jt} - \langle y_{jt} \rangle) \rangle}{\sigma_i \sigma_j} \quad \text{رابطه (۵)}$$

$\langle \cdot \rangle$ : میانگین بازده سهام.

$\sigma_k$ : انحراف استاندارد از سری بازگشتی لگاریتمی سهام  $k$ .

هر ماتریس  $A_{m \times n}$  را می‌توان با روش تجزیه مقادیر تکین به صورت زیر تجزیه کرد:

$$A=USV^T \quad \text{رابطه (۶)}$$

که در آن  $U$  یک ماتریس متعامد  $m \times m$  و  $V$  یک ماتریس متعامد  $n \times n$  است. در حالت کلی، ماتریس  $S$  به دست آمده یک ماتریس قطری  $m \times n$  است که مقادیر تکین روی قطر آن قرار دارند:

$$S=\text{diag}(\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_p) \quad \text{رابطه (۷)}$$

$\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_p$  مقادیر تکین ماتریس  $A$  هستند که «مقادیر تکین شاخص سهام» نامیده می‌شوند. حال برای محاسبه آنتروپی شانون با استفاده از مقادیر  $\lambda$ ، ابتدا  $\bar{\lambda}_i$  محاسبه می‌شود:

$$\bar{\lambda}_i = \frac{\lambda_i}{\sum_j \lambda_j}, \text{ where } \sum_i \bar{\lambda}_i = 1 \quad \text{رابطه (۸)}$$

برای هر مقیاس  $S \neq 0$ ، آنتروپی شانون به صورت زیر است:

$$\text{ENT}_s = (\sum_i \bar{\lambda}_i (\log \bar{\lambda}_i^{-1})^s)^{\frac{1}{s}} \quad \text{رابطه (۹)}$$

در این فرمول، متغیر  $S$  در مفهوم مقیاس به کار گرفته شده است. هنگامی که این متغیر مثبت است، مقادیری که بزرگ‌تر هستند، تأثیر بیشتری بر آنتروپی دارند و اگر این متغیر منفی باشد، مقادیری که کوچک‌تر هستند، تأثیر بیشتری بر آنتروپی دارند؛ به بیان دیگر وقتی نمودار در مقیاس بزرگ بررسی شود، پیک‌های تابع و در مقیاس کوچک مقادیر کوچک‌تر و جزئی‌تر مشاهده می‌شود. برای مقیاس منفی  $S$ ،  $\text{Ent}$ ها عمدتاً مقدار اطلاعات انتقالی مفید را منعکس می‌کنند و برای مقیاس مثبت  $S$ ،  $\text{Ent}$ ها عمدتاً مقدار نویز در ماتریس همبستگی را نشان می‌دهند.

اگر آنتروپی‌ها برای مقیاس‌های متفاوت  $S$  یکسان باشند، در این صورت شاخص سهام ویژگی‌های آنتروپی تک‌مقیاسی را دارد؛ در غیر این صورت، شاخص سهام، ویژگی‌های آنتروپی چندمقیاسی را نشان خواهد داد.

**شاخص کل بورس.** شاخص کل بورس، به عنوان یکی از مهم ترین معیارهای سنجش عملکرد بورس اوراق بهادار، از اهمیت بسیاری برخوردار است. شاخص یادشده از تجمیع حرکت های قیمتی سهام کلیه شرکت های بورسی به دست می آید و برآیند بسیاری از متغیرهای اقتصادی - سیاسی را نشان می دهد؛ به عبارتی شاخص کل بورس نشان دهنده وضعیت کلی بازار سهام است. تعریف شاخص کل قیمت و بازده نقدی به صورت زیر است:

$$\text{TEDPIX} = \frac{\sum_{i=1}^n q_{it} p_{it}}{RD_t} \times 100 \quad \text{رابطه (۱۰)}$$

تعدیل پایه شاخص<sup>۱</sup> TEDPIX به وسیله فرمول زیر صورت می گیرد:

$$RD_{t+1} = \frac{\sum_{i=1}^n p_{it} q_{it} - \sum_{i=1}^n DPS_{it+1}}{\sum_{i=1}^n p_{it} q_{it}} \times RD_t + \frac{RD_t}{D_t} \times (D_{t+1} - D_t) \quad \text{رابطه (۱۱)}$$

که در آن:

$P_{it}$ : قیمت شرکت  $i$ ام در زمان  $t$ .

$Q_{it}$ : تعداد سهام منتشره شرکت  $i$ ام در زمان  $t$ .

$RD_t$ : پایه شاخص قیمت و بازده نقدی در زمان  $t$  که در زمان مبدأ برابر  $\sum p_{i0} q_{i0}$  بوده است.

$RD_{t+1}$ : پایه شاخص قیمت و بازده نقدی در زمان  $t+1$  (پس از تعدیل).

$DPS_{it+1}$ : سود نقدی پرداختی شرکت  $i$ ام در زمان  $t+1$ .

$D_{t+1}$ : پایه شاخص کل قیمت در زمان  $t+1$  (پس از تعدیل).

$D_t$ : پایه شاخص کل قیمت در زمان  $t$  (پیش از تعدیل).

(سایت سازمان بورس اوراق بهادار تهران، ۱۳۹۶/۱۱/۲) [۲۶].

**مدل خودرگرسیون برداری (VAR).** مدل های معادلات هم زمان، مبتنی بر رویکردی است که طبق آن، برخی متغیرها را درونزا و برخی را برونزا فرض می کند. تعیین متغیرها به این دو دسته ممکن است پشتوانه نظری داشته باشد یا سلیقه ای باشد؛ اما حتی زمانی که پشتوانه نظری وجود دارد، در خصوص آن تردیدهایی مطرح می شود. در شرایط نداشتن اطمینان از اینکه چه متغیرهایی درونزا و چه متغیرهایی برونزا هستند، از رویکرد دیگری در مدل سازی معادلات هم زمان استفاده می شود که مدل های خودرگرسیون برداری (VAR) نام دارند. در واقع این

1. Tehran Exchange Dividend and Price Index

2. Vector outo regresive

رویکرد همه متغیرها را درون‌زا در نظر می‌گیرد و فرض می‌کند که در آن همه متغیرها تابعی از مقادیر جاری و گذشته یکدیگر هستند [۲۰]. مدل VAR می‌تواند برای آزمون کردن علیت گرنجر دوسری مانای  $X_t$  و  $Y_t$  استفاده شود:

$$x_t = a_1 + \sum_{j=1}^p \beta_{1j} x_{t-j} + \sum_{j=1}^p \gamma_{1j} y_{t-j} + a_{1t} \quad \text{رابطه (۱۲)}$$

$$y_t = a_2 + \sum_{j=1}^p \beta_{2j} x_{t-j} + \sum_{j=1}^p \gamma_{2j} y_{t-j} + a_{2t} \quad \text{رابطه (۱۳)}$$

در معادلات بالا،  $a_{1t}$  و  $a_{2t}$  جملات اختلال تصادفی هستند و  $p$  طول تأخیر بهینه است. اگر  $\beta_{2j} = 0$  برای همه  $j=1,2,\dots,p$  در رابطه (۱۳)، برقرار باشد، آنگاه فرضیه صفر که  $X_t$  علیت گرنجر  $Y_t$  نیست، درست است.

**آزمون علیت تودا و یاماموتو.** همان‌طور که اشاره شد که اگر سری‌های زمانی مانا نباشند، روشی که ارائه شد صحیح نیست. تودا و یاماموتو (۱۹۹۵)، روشی ساده به‌صورت تخمین یک مدل توضیح خودرگرسیون برداری تعدیل‌یافته برای بررسی رابطه علیت گرنجر پیشنهاد دادند. آن‌ها استدلال کردند که این روش حتی در شرایط نبود رابطه هم‌جمعی بین متغیرها نیز معتبر است. در این روش باید ابتدا تعداد وقفه بهینه ( $k$ ) در مدل VAR و سپس درجه انباشتگی حداکثر ( $d_{max}$ ) را تعیین کرد و پس از آن یک مدل خودرگرسیون برداری با تعداد وقفه‌های ( $k+d_{max}$ ) تشکیل داد؛ البته فرآیند انتخاب وقفه، زمانی معتبر خواهد بود که  $k \geq d_{max}$  باشد؛ به‌عبارتی روشی که آن‌ها ارائه کردند در عمل نیازی به مانایی سری زمانی ندارد و به‌صورت زیر است [۲۴]:

$$x_t = a_1 + \sum_{j=1}^{p+d_{max}} \beta_{1j} x_{t-j} + \sum_{j=1}^{p+d_{max}} \gamma_{1j} y_{t-j} + a_{1t} \quad \text{رابطه (۱۴)}$$

$$y_t = a_2 + \sum_{j=1}^{p+d_{max}} \beta_{2j} x_{t-j} + \sum_{j=1}^{p+d_{max}} \gamma_{2j} y_{t-j} + a_{2t} \quad \text{رابطه (۱۵)}$$

اگر  $\beta_{2j} = 0$  برای همه  $j=1,2,\dots,p$  در معادله بالا برقرار باشد،  $X_t$  علیت گرنجر  $Y_t$  نیست و بررسی آن می‌تواند توسط «آزمون ضرایب والدا» صورت گیرد.

## ۴. تحلیل داده‌ها

در این قسمت یافته‌های پژوهش و تجزیه و تحلیل آن‌ها آورده شده است. ابتدا با محاسبه آنتروپی چند مقیاسی شانون برای شرکت‌های بورسی، سری‌های آنتروپی تشکیل خواهد شد. از آنجاکه به منظور بررسی رابطه علیت گرنجر بین آنتروپی و شاخص کل بورس، اطلاعاتی راجع به درجه انباشتگی متغیرها نیاز است، ابتدا مانایی سری‌ها آزمون خواهد شد. نتایج آزمون دیکی فولر تعمیم‌یافته در جدول ۱، آورده شده است. نتایج نشان می‌دهد که تمامی سری‌های آنتروپی به جز سری‌های  $ENT_{-50}^m$  و  $ENT_{50}^m$  ناماننا هستند؛ بنابراین در جدول ۲، نتایج بررسی مانایی تفاضل سری‌ها درج شده است. نتایج جدول ۲، نشان می‌دهد که تفاضل مرتبه اول تمامی سری‌های ناماننا، مانا است و بنابراین انباشته از مرتبه ۱ ( $I(1)$ ) هستند.

جدول ۱. نتایج آزمون دیکی فولر تعمیم‌یافته برای سطح متغیرها

نتیجه آزمون	مقدار بحرانی در سطوح معناداری			P-Value	آماره t	متغیر
	۱۰٪	۵٪	۱٪			
ناماننا	-۲/۵۶۸	-۲/۸۶۴	-۳/۴۳۵	۰/۲۱۹	-۲/۱۶۷	شاخص
ناماننا	-۲/۵۶۸	-۲/۸۶۴	-۳/۴۳۵	۰/۵۹۹	-۱/۳۶۸	$ENT_{-50}^y$
ناماننا	-۲/۵۶۸	-۲/۸۶۴	-۳/۴۳۵	۰/۸۸۴	-۰/۵۲۴	$ENT_{50}^y$
ناماننا	-۲/۵۶۸	-۲/۸۶۴	-۳/۴۳۵	۰/۱۶۷	-۲/۳۱۶	$ENT_{-50}^h$
ناماننا	-۲/۵۶۸	-۲/۸۶۴	-۳/۴۳۵	۰/۵۳۴	-۱/۴۹۹	$ENT_{50}^h$
ناماننا	-۲/۵۶۸	-۲/۸۶۴	-۳/۴۳۵	۰/۱۰۶	-۲/۵۴۱	$ENT_{-50}^q$
ناماننا	-۲/۵۶۸	-۲/۸۶۴	-۳/۴۳۵	۰/۱۵۵	-۲/۳۵۴	$ENT_{50}^q$
مانا	-۲/۵۶۸	-۲/۸۶۴	-۳/۴۳۵	۰/۰۰۰	-۴/۶۹۹	$ENT_{-50}^m$
مانا	-۲/۵۶۸	-۲/۸۶۴	-۳/۴۳۵	۰/۰۲۵	-۳/۱۲۵	$ENT_{50}^m$

جدول ۲. نتایج آزمون دیکی فولر تعمیم‌یافته برای تفاضل مرتبه اول متغیرها

نتیجه آزمون	مقدار بحرانی در سطوح معناداری			p-value	آماره t	متغیر
	۱۰٪	۵٪	۱٪			
مانا	-۲/۵۶۸	-۲/۸۶۴	-۳/۴۳۵	۰/۰۰۰	-۱۱/۶۰۶	شاخص
مانا	-۲/۵۶۸	-۲/۸۶۴	-۳/۴۳۵	۰/۰۰۰	-۱۳/۹۱۶	$ENT_{-50}^y$
مانا	-۲/۵۶۸	-۲/۸۶۴	-۳/۴۳۵	۰/۰۰۰	-۲۱/۴۱۹	$ENT_{50}^y$
مانا	-۲/۵۶۸	-۲/۸۶۴	-۳/۴۳۵	۰/۰۰۰	-۱۷/۹۲۹	$ENT_{-50}^h$
مانا	-۲/۵۶۸	-۲/۸۶۴	-۳/۴۳۵	۰/۰۰۰	-۳۵/۵۷۶	$ENT_{50}^h$
مانا	-۲/۵۶۸	-۲/۸۶۴	-۳/۴۳۵	۰/۰۰۰	-۳۰/۸۹۰	$ENT_{-50}^q$
مانا	-۲/۵۶۸	-۲/۸۶۴	-۳/۴۳۵	۰/۰۰۰	-۴۵/۲۶۴	$ENT_{50}^q$

پیش از انجام آزمون گرنجر باید وقفه بهینه برای استفاده در مدل VAR تعیین شود. در این قسمت برای تعیین وقفه‌های بهینه، مدل VAR بر روی شاخص بورس و هر یک از سری‌های آنتروپی، برازش می‌شود. در جدول ۳، وقفه بهینه بر اساس معیارهای آکائیک (AIC)، حنان - کوئین (HQ) و شوارتز (SC) تعیین شده است. از میان معیارهای ارائه شده برای تعیین وقفه، پسران و شین (۱۹۹۵) معیار شوارتز را برای انتخاب وقفه بهینه پیشنهاد کرده‌اند؛ زیرا این معیار از اصل صرفه‌جویی پیروی می‌کند و تعداد درجات آزادی کمتری را از دست می‌دهد؛ بنابراین در این پژوهش طول وقفه بهینه بر اساس معیار شوارتز انتخاب شده است. وقفه بهینه در مدل VAR بر اساس معیار شوارتز برای سری‌های آنتروپی  $ENT_{50}^q$ ,  $ENT_{50}^h$ ,  $ENT_{50}^y$  مقدار ۲ و برای دو سری  $ENT_{50}^h$  و  $ENT_{50}^y$  مقدار ۴، تعیین شده است.

جدول ۳. تعداد وقفه بهینه در مدل VAR

متغیر وابسته	متغیر مستقل	AIC	HQ	SC
شاخص کل	$ENT_{50}^y$	۶	۶	۲
	$ENT_{50}^y$	۶	۶	۴
	$ENT_{50}^h$	۶	۶	۲
	$ENT_{50}^h$	۸	۴	۴
	$ENT_{50}^q$	۶	۴	۲
	$ENT_{50}^q$	۶	۴	۲

همان‌طور که پیش‌تر بیان شد، سری‌های آنتروپی فصلی، شش‌ماهه و سالانه و سری شاخص کل، مانا نیستند؛ اما در این بخش برای نشان دادن وجود رابطه علی خطی بین شاخص بورس و آنتروپی از آزمون علیت گرنجر تودا - یاماموتو در مدل VAR استفاده می‌شود؛ چراکه در این روش نیازی به مانایی متغیرها نیست و اعمال آن بر متغیرهای نامانا نیز امکان‌پذیر است. از آنجاکه متغیرهای پژوهش، انباشته از مرتبه ۱ هستند، مقدار  $d_{max}$  به کاررفته در این آزمون، مقدار ۱ است.

جدول ۴، نتایج آزمون تودا - یاماموتو با استفاده از وقفه بهینه معیار شوارتز را نشان می‌دهد. نتایج حاکی از آن است که در حالت دارای عرض از مبدأ، برای آنتروپی‌های  $ENT_{50}^q$ ,  $ENT_{50}^h$  و  $ENT_{50}^y$  در سطح ۵ درصد و برای آنتروپی  $ENT_{50}^y$  در سطح ۱ درصد، فرضیه صفر رد می‌شود و این آنتروپی‌ها علت خطی شاخص بورس هستند.

1. Akaike information criterion
2. Hannan-Quinn
3. Schwarz



بدین معنا که آنتروپی با مقیاس ۵۰ که نشان‌دهنده نویز (نوسانات کوچک) است، در بازه فصلی و نیز آنتروپی با مقیاس ۵۰- که حاوی اطلاعات اصلی است، در بازه‌های فصلی، شش‌ماهه و سالانه، علت خطی شاخص بورس هستند.

جدول ۴. نتایج آزمون والد

متغیر وابسته	متغیر مستقل	دارای عرض از مبدأ	
		آماره $\chi^2$	p-value
شاخص کل	$ENT_{-50}^y$	۱۱/۹۳۵	۰/۰۰۸
	$ENT_{50}^y$	۱۲/۱۱۷	۰/۰۳۳
	$ENT_{-50}^h$	۱۰/۰۵۳	۰/۰۱۸
	$ENT_{50}^h$	۸/۵۵۶	۰/۱۲۸
	$ENT_{-50}^q$	۸/۴۹۷	۰/۰۳۷
	$ENT_{50}^q$	۸/۶۸۷	۰/۰۳۴

از آنجا که  $ENT_{50}^m$  و  $ENT_{50}^m$  دو سری مانا هستند و سری شاخص کل نامانا است، درجه هم‌انباشتگی آن‌ها مشابه نیست و نمی‌توان از آزمون تودا - یاماموتو استفاده کرد. به منظور بررسی علیت سری‌های آنتروپی ماهانه و شاخص، ابتدا لگاریتم آن‌ها محاسبه می‌شود و پس از اطمینان از مانایی تمام سری‌ها (جدول ۵)، وقفه بهینه تعیین شده و سپس آزمون علیت گرنجر خطی اجرا خواهد شد. جدول ۶، تعداد وقفه بهینه و جدول ۷ نتایج آزمون علیت گرنجر خطی را نمایش می‌دهد.

جدول ۵. نتایج آزمون مانایی برای لگاریتم سری‌ها

متغیر	آماره t	p-value	مقدار بحرانی در سطوح معناداری			نتیجه آزمون
			۱%	۵%	۱۰%	
شاخص	-۳/۰۵۵	۰/۰۳۰	-۳/۴۳۵	-۲/۸۶۴	-۲/۵۶۸	مانا
$ENT_{50}^m$	-۴/۶۱۸	۰/۰۰۰	-۳/۴۳۵	-۲/۸۶۴	-۲/۵۶۸	مانا
$ENT_{50}^m$	-۳/۱۲۶	۰/۰۲۵	-۳/۴۳۵	-۲/۸۶۴	-۲/۵۶۸	مانا

جدول ۶. تعداد وقفه بهینه در مدل VAR

متغیر وابسته	مستقل متغیر	AIC	HQ	SC
شاخص کل	$ENT_{50}^m$	۶	۴	۲
	$ENT_{50}^m$	۶	۴	۲

جدول ۷. نتایج آزمون علیت گرنجر خطی

متغیر وابسته	متغیر مستقل	دارای عرض از مبدأ	
		آماره $\chi^2$	p-value
شاخص کل	$ENT_{50}^m$	۶/۰۶۵	۰/۰۴۸
	$ENT_{50}^m$	۱/۶۲۰	۰/۴۴۵

نتایج جدول ۷ نشان می‌دهد که برای آنتروپی  $ENT_{50}^m$  فرضیه صفر در سطح ۵ درصد رد می‌شود و این آنتروپی علت خطی شاخص بورس است؛ به عبارتی آنتروپی با مقیاس ۵۰- که حاوی اطلاعات اصلی بوده در بازه ماهانه علت خطی شاخص بورس است؛ اما آنتروپی  $ENT_{50}^m$  که نشان‌دهنده نونویز (سانات کوچک) است، علت خطی شاخص کل نیست.

### ۵. بحث و نتیجه‌گیری

در پژوهش حاضر تلاش شد تا رفتار «شاخص کل بورس اوراق بهادار تهران» تحلیل شود. پژوهش‌های قبلی نشان دادند که بررسی بازار به‌عنوان یک سیستم پیچیده می‌تواند نگرشی جدید و مؤثر در راستای تحلیل بازار محسوب شود؛ همچنین پژوهش‌های صورت‌گرفته نشان‌دهنده کارآمد بودن تکنیک آنتروپی در حوزه‌های مختلف مدیریت مالی است. در این پژوهش با استفاده از قیمت پایانی تمامی شرکت‌های «بورس اوراق بهادار تهران»، مقدار آنتروپی در بازه‌های ماهانه، فصلی، شش‌ماهه و سالانه برای دو مقیاس ۵۰- و ۵۰+ محاسبه شد و سپس وجود رابطه علیت خطی، با استفاده از آزمون‌های تودا - یاماموتو و گرنجر خطی مورد بررسی قرار گرفت.

آزمون علیت گرنجر خطی تودا - یاماموتو نشان داد که برای آنتروپی‌های  $ENT_{50}^q$ ،  $ENT_{50}^h$  و  $ENT_{50}^y$  فرضیه صفر که حاکی از نبود رابطه خطی است، رد می‌شود و این آنتروپی‌ها علت خطی شاخص بورس هستند؛ همچنین آزمون علیت گرنجر وجود رابطه علیت خطی بین  $ENT_{50}^m$  آنتروپی و شاخص کل را تأیید کرد؛ به‌عبارت‌دیگر اطلاعات در بازه‌های زمانی ماهانه، فصلی، شش‌ماهه و سالانه و نویز در بازه فصلی، علت خطی شاخص کل هستند؛ اما آنتروپی با مقیاس ۵۰- که نشان‌دهنده نویز است، تنها در بازه زمانی فصلی علت خطی شاخص بورس است. پیش‌تر بیان شد که اگر آنتروپی در مقیاس‌های مختلف، رفتار متفاوتی را بروز دهد، بازار دارای خاصیت چندمقیاسی است. نتایج نشان‌دهنده ویژگی‌های متفاوت آنتروپی‌های ماهانه، فصلی، شش‌ماهه و سالانه در مقیاس‌های ۵۰ و ۵۰- است؛ بدین معنا که اطلاعات اصلی و نویز (نوسانات کوچک) رفتارهای یکسانی بروز ندادند و هر یک در بازه‌های مشخصی قادر به تحلیل رفتار شاخص هستند؛ بنابراین استفاده از مقیاس‌های مختلف راهکاری مناسب برای بررسی

«بورس اوراق بهادار تهران» تلقی می‌شود. یافته‌های پژوهش حاضر از جهاتی با نتایج پژوهش کارایانی (۲۰۱۴) هماهنگی دارد. کارایانی (۲۰۱۴) با استفاده از داده‌های سهام شاخص دوجونز و با محاسبه آنتروپی تجزیه مقدار تکین، نشان داد که آنتروپی حاصل از داده‌های روزانه و ماهانه، علت گرنجر خطی شاخص دوجونز است. در پژوهش حاضر نیز آزمون علیت گرنجر نشان داد که آنتروپی می‌تواند علت خطی شاخص باشد؛ اما در بازه‌های زمانی متفاوت، در پژوهش حاضر، رابطه علیت خطی میان هر یک از آنتروپی‌های  $ENT_{50}^m$  (آنتروپی ماهانه - اطلاعات اصلی)،  $ENT_{50}^q$  (آنتروپی فصلی - اطلاعات اصلی)،  $ENT_{50}^h$  (آنتروپی فصلی - نوین)،  $ENT_{50}^y$  (آنتروپی سالانه - اطلاعات اصلی) و «شاخص بورس اوراق بهادار تهران» نیز تأیید شد؛ درحالی‌که در پژوهش کارایانی (۲۰۱۴) آنتروپی در این بازه‌های زمانی و نیز مقیاس‌های مختلف، بررسی نشده است.

نتایج پژوهش حاضر در بررسی روابط خطی از جهاتی با پژوهش گو (۲۰۱۵)، مغایرت دارد؛ چراکه وی نشان داد، آنتروپی تجزیه مقدار تکین، در بازه‌های فصلی و نیم‌ساله علت خطی شاخص شنژن چین نیست؛ درحالی‌که نتایج پژوهش حاضر نشان می‌دهد آنتروپی‌های  $ENT_{50}^q$  (آنتروپی فصلی - اطلاعات اصلی)،  $ENT_{50}^h$  (آنتروپی فصلی - نوین)،  $ENT_{50}^y$  (آنتروپی شش ماهه - اطلاعات اصلی) علت خطی «شاخص بورس اوراق بهادار تهران» هستند. وی همچنین نشان داد که پس از شکست ساختاری در بازار چین، آنتروپی سالانه علت خطی شاخص است، لذا از این منظر، نتایج وی با نتایج پژوهش حاضر که آنتروپی  $ENT_{50}^y$  (آنتروپی سالانه - اطلاعات اصلی) علت خطی شاخص کل است، هماهنگی دارد.

نتایج گو (۲۰۱۷) از منظر خطی با یافته‌های این پژوهش مغایرت دارد؛ چراکه وی با استفاده از آزمون تودا و یاماموتو نشان داد آنتروپی تجزیه مقدار تکین در هیچ‌یک از دوره‌های ماهانه، فصلی، نیم‌ساله و سالانه و در هیچ یک از مقیاس‌های  $S=50$  یا  $S=-50$  علت خطی شاخص دوجونز نیست؛ اما نتایج پژوهش حاضر حاکی از این است که آنتروپی اطلاعات اصلی در بازه‌های ماهانه، فصلی، شش‌ماهه و سالانه و نیز آنتروپی نوین در بازه فصلی، علت خطی شاخص بورس هستند. آنچه بیان شد به این معنا است که هم اطلاعات اصلی و هم نوین می‌توانند از قدرت پیش‌بینی شاخص سهام برخوردار باشند؛ اما ظرفیت پیش‌بینی آن‌ها (مدت پیش‌بینی) متفاوت است. وجود این روابط ممکن است نشان‌دهنده این باشد که «شاخص بورس اوراق بهادار تهران»، نسبت به شاخص دوجونز قابل پیش‌بینی‌تر بوده و کارایی آن ضعیف‌تر است؛ البته اثبات این مطلب نیازمند بررسی دقیق‌تر است.

**پیشنهادها و محدودیت‌ها.** برای پژوهش‌های آتی در این حوزه می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- رابطه غیرخطی بین آنتروپی و شاخص کل بورس بررسی شود؛
  - رابطه علیت بین شاخص هر یک از صنایع و آنتروپی شرکت‌های آن صنعت در بازه‌های زمانی متفاوت مورد بررسی قرار گیرد؛
  - آنتروپی چندمقیاسی شانون با استفاده از مقیاس‌های بزرگ‌تر و کوچک‌تر از مقادیر به‌کاررفته در پژوهش حاضر محاسبه و نتایج به‌دست‌آمده مقایسه شود.
- از جمله محدودیت‌هایی پژوهش حاضر که می‌تواند در نتایج تأثیرگذار باشد، وجود متوقف‌کننده‌های خودکار نظیر حجم مبنا و دامنه نوسان محدود در معاملات «بورس اوراق بهادار تهران» است که به‌صورت مشخص بر بازده سهام تأثیر می‌گذارند.

## منابع.

1. Abdoh Tabrizi, H., & Gonabadi, M. (1996). Doubtfulness in the validity of financial models. *Accountants*, 11(115), 13-20 (In Persian).
2. Amirzadeh Goghari, E. (2016). *Analysis of financial crisis using transfer entropy approach*. Master's thesis, Shahid Beheshti University, Tehran (In Persian).
3. Bajalan, S., Fallahpour, S., & Dana, N. (2017). stock price trend prediction using modified support vector machine with hybrid feature selection. *Financial Management perspective*, 7(17), 69-86 (In Persian).
4. Caraianni, P. (2014). The predictive power of singular value decomposition entropy for stock market dynamics. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 393, 571-578.
5. Clausius, R. (1865). Über verschiedene für die Anwendung bequeme Formen der Hauptgleichungen der mechanischen Wärmetheorie. *Annalen der Physik*, 201(7), 353-400.
6. Eom, C., Oh, G., & Jung, W. S. (2008). Relationship between efficiency and predictability in stock price change. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 387(22), 5511-5517.
7. Gandom Kar, H. (2001). *Investigating the Relationship between Balance Sheet Changes and Risk*. Master's thesis, Accounting, Tehran University, Tehran (In Persian).
8. Gasbarian, A. (1998) *Relationship of financial status entropy with systematic beta risk*. Master's thesis, Accounting, Shahid Beheshti University, Tehran. (In Persian)
9. Gu, R. (2017). Multiscale Shannon entropy and its application in the stock market. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 484, 215-224.
10. Gu, R., Xiong, W., & Li, X. (2015). Does the singular value decomposition entropy have predictive power for stock market?—Evidence from the Shenzhen stock market. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 439, 103-113.
11. Gulko, L. (1997). *Dart Boards and Asset Prices: Introducing the Entropy Pricing Theory*. Chapter 14 in *Advances in Econometrics*, TB Fomby and RC Hill, eds.
12. Hassan Nejad, M. (2018). Designing the Tehran Stock Exchange Stock Exchanging Prediction Model Using the auto regression moving average models (ARMA) and auto regressive moving average with exogenous inputs model (ARMAX) and their performance evaluation. *Financial Management perspective*, 8(22), 135-158 (In Persian).
13. Hosseini, A. (2016). An Entropy Index Analysis in the Prospect of Stock Returns in Tehran Stock Exchange. *Master's Theses, Business Management*. (in Persian)
14. Lev, B., (1971), "Financial Failure and Information Decomposition Medsures Western publishing co.", Cincinnati – ohaio , p.102
15. Liu, R., Di Matteo, T., & Lux, T. (2008). Multifractality and long-range dependence of asset returns: the scaling behavior of the Markov-switching multifractal model with lognormal volatility components. *Advances in Complex Systems*, 11(05), 669-684 (In Persian).
16. Ormos, M., & Zibriczky, D. (2014). Entropy-based financial asset pricing. *PloS one*, 9(12), e115742.

17. Philippatos, G. C., & Wilson, C. J. (1972). Entropy, market risk, and the selection of efficient portfolios. *Applied Economics*, 4(3), 209-220.
18. Raei, R., & Chavoshi, K. (2003). Estimation of Stock Returns in Tehran Stock Exchange: Modeling of Artificial Neural Networks and Multivariate Model. *Journal of Financial Research*, 5(15), 97-120 (In Persian).
19. Shannon, Claude E. (1948). A Mathematical Theory of Communication. *Bell System Technical Journal*, 27, 379-423.
20. Soltani Nejad, S. (2014). Investigating the Predictability of Fundamental Analysis on Future Futures of Shares Adjusted on the Size of the Companies Accepted in Tehran Stock Exchange. *The First National Conference on Management and Accounting Standards The New World of Business, Economics and Culture* (In Persian).
21. Souri, Ali (1396). *Econometrics (Advanced), with the use of Eviews and Stata (6th edition)*. Tehran: Nashre Farhang Shenasi. (In Persian)
22. Taghizadeh, Mohtashami Barzadaran, & Amini. (August 2018). *Entropy measurement for evaluating Unstable Exchange indices*. 14th Iranian Statistics Conference (In Persian).
23. Theil, H. (1969). On the use of information theory concepts in the analysis of financial statements. *Management science*, 15(9), 459-480.
24. Toda, H. Y., & Yamamoto, T. (1995). Statistical inference in vector autoregressions with possibly integrated processes. *Journal of econometrics*, 66(1-2), 225-250.
25. Usta, I., & Kantar, Y. M. (2011). Mean-variance-skewness-entropy measures: A multi-objective approach for portfolio selection. *Entropy*, 13(1), 117-133.
25. [www.seo.ir](http://www.seo.ir)
26. Xu, J., Zhou, X., & Wu, D. D. (2011). Portfolio selection using  $\lambda$  mean and hybrid entropy. *Annals of operations research*, 185(1), 213-229.
27. Yu, J. R., Chiou, W. J. P., Lee, W. Y., & Yu, K. C. (2017). Does entropy model with return forecasting enhance portfolio performance?. *Computers & Industrial Engineering*, 114, 175-182
28. Zandieh, M., & Khami, M. (2016). Stock prediction Using the combination of hidden Markov model and Markov chain. *Financial Management perspective*, 5(4), 27-40 (In Persian).
29. Zhou, R., Wang, X., Dong, X., & Zong, Z. (2013). Portfolio selection model with the measures of information Entropy-incremENTAL Entropy-skewness. *Advances in Information Sciences and Service Sciences*, 5(8), 833.