***چشم‌انداز مدیریت مالی***
شماره ۲۴ ـ زمستان ۱۳۹۷
ص‌ص ۱۸۰ ـ ۱۵۹

# 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 درنظرگرفتن بازار به‌عنوان یک سیستم پیچیده، روابط موجود در آن را از این منظر مطالعه کرد. یکی از مفاهیم این حوزه، آنتروپی است که عدم‌قطعیت 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 موردبررسی قرار گرفت. نتایج پژوهش نشان می‌دهد که آنتروپی‌های $\mathrm{ENT}_{-50}^{\mathrm{y}}$، $\mathrm{ENT}_{-50}^{\mathrm{h}}$، $\mathrm{ENT}_{-50}^{\mathrm{q}}$، $\mathrm{ENT}_{50}^{\mathrm{q}}$ و $\mathrm{ENT}_{-50}^{\mathrm{m}}$ 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.

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

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

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).
E-mail: m.baqeri@ymail.com

## 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 قابل‌توجه در سرمایه‌گذاری شناخته می‌شود؛ به‌عبارتی فعال‌بودن بازار بورس سبب تسهیل در تأمین مالی شرکت‌ها و به‌کارگیری سرمایه‌های خُرد که اغلب غیرمولد هستند، در مسیر تولید خواهد شد. شاخص‌های بورس در بیشتر کشورها یکی از اصلی‌ترین معیارهای قابل‌اعتماد 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 مورداستفاده 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. درصورتی‌که بتوان شاخص بازار سهام را با استفاده از روش‌های مناسب تحلیل کرد، می‌توان تصمیم‌های بهتری اتخاذ کرد؛ ازاین‌رو 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 عدم‌قطعیت و پیچیدگی سیستم پویا را اندازه‌گیری کند. درواقع 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 ـ یاماموتو بیان می‌شود [۲۳]. در بخش چهارم به بیان یافته‌های پژوهش و تجزیه‌وتحلیل آن‌ها پرداخته شده است و بخش پنجم نیز به بحث پیرامون یافته‌های تحقیق و نتیجه‌گیری از انها 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 تجزیه‌وتحلیل بنیادی، کشف اطلاعاتی است که در قیمت کنونی سهام منعکس نشده و بنابراین پیش‌بینی‌کننده قیمت‌های آتی است؛ چراکه قیمت‌ها در آینده به‌سوی 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 به‌وسیله بررسی قیمت‌های گذشته، قیمت‌های آینده را پیش‌بینی کنند؛ به‌عبارتی 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[1]نخستین فردی بود که در اواسط قرن ۱۹، مقالاتی در مورد تحلیل تکنیکال در «وال‌استریت ژورنال»[2]به چاپ رساند. برای

1. Charles Dow
2. Wall Street Journal

نخستین بار پیتر برنستین(۱۹۹۳) در کتاب «انگاره‌های سرمایه»[2]، 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 می‌کرد. این مفهوم عملی «گشت تصادفی»[3] نام گرفت و به‌تدریج در نشریه‌ها و کتاب‌های معتبر جهان جای خود را باز کرد. بعدها یوجین فاما[4]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 به‌هم‌پیوسته فرضیه بازار کارا، نظریه پرتفوی و مدل قیمت‌گذاری دارایی‌های سرمایه‌ای (CAPM)[5] که از حوزه‌های این رویکرد است، موردتأیید 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 درنظرگرفتن بعضی از ویژگی‌های بازار، پدیده آشفتگی را مطرح کرده‌اند و بازار را یک سیستم پیچیده[6]و در حال تحول می‌دانند. آن‌ها حرکات قیمت سهام را ناشی از عوامل زیادی می‌دانند که در هر لحظه درحال 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؛ به‌طوری‌که 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 درنظرگرفتن روابط بین اجزای ان بررسی خواهد شد [۲]. آنتروپی یک مفهوم مهم در علوم مختلف است و عدم‌قطعیت و پیچیدگی سیستم پویا را اندازه‌گیری می‌کند [۹]. مفهوم پایه آنتروپی ابتدا در فیزیک مطرح شد. کلازیوس[7](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، به‌کار برد [۱۹].

**کاربرد آنتروپی در حوزه مالی.** در ادامه پژوهش‌های صورت‌گرفته در زمینه کاربرد آنتروپی در حوزه مالی بررسی خواهد شد. فیلیپاتوس و ویلسون[۲](۱۹۷۲) نخستین پژوهشگرانی بودند که مفهوم آنتروپی را در انتخاب پرتفوی اعمال کردند. آن‌ها در پژوهش خود با پیشنهاد مفهوم میانگین ـ 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[۳]را به‌کار گرفتند. زو[۴]و همکاران (۲۰۱۱) مسائل انتخاب سبد سهام را با استفاده از آنتروپی ترکیبی[۵] به‌منظور تخمین ریسک دارایی ناشی از هر دو عامل تصادفی و احتمالی، گسترش دادند [۲۷].

استا و کنتر[۶](۲۰۱۱) مدل میانگین ـ واریانس ـ چولگی ـ آنتروپی را مطرح کردند که نسبت به مدل‌های سنتی انتخاب سبد سهام در آزمون‌های خارج از نمونه[۷]عملکرد بهتری داشت [۲۵]. ژو[۸]و همکاران (۲۰۱۳) نیز یک مدل انتخاب سبد سهام با اندازه‌گیری آنتروپی اطلاعات ـ آنتروپی افزایشی ـ چولگی را ارائه دادند. آن‌ها از آنتروپی افزایشی برای نشان‌دادن 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 ـ واریانس مارکوییتز و مدل میانگین ـ واریانس ـ چولگی در بازار شانگهای چین نشان‌دهنده برتری این روش نسبت به دو مدل دیگر بود [۳۰]. یو[۹]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[۱۰]و مدل آریما[۱۱]را ترکیب کردند و نشان دادند که مدل آنتروپی نسبت به مدل میانگین ـ

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[1]» معرفی‌شده توسط گولکو[2](۱۹۹۷) است [۱۱]. نتایج این پژوهش نشان داد که EPT می‌تواند نتایج مقداری مشابهی با مدل قیمت‌گذاری دارایی شارپ ـ لیتنر و رابطه بلک ـ شولز ارائه کند. گولکو همچنین EPT را در قیمت‌گذاری سهام به‌کار گرفت. ارمس[3] و همکاران (۲۰۱۴) در پژوهش خود نشان دادند که آنتروپی به‌عنوان یک معیار اندازه‌گیری ریسک، مزایای پارامتر اندازه‌گیری ریسک در مدل CAPM (بتا[4]) 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].

ثیل[5](۱۹۶۹) نخستین پژوهشگری بود که نظریه اطلاعات را به‌صورت کاربردی در تحلیل صورت‌های مالی به‌کار برد [۲۳]. او در پژوهش خود روش جدیدی را بر مبنای مفاهیم نظریه اطلاعات برای تجزیه‌وتحلیل 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، لِو[6](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 به‌شدت 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 [۸، ۷]. 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 موردبررسی قرار گرفته است. اِئوم[7] و همکاران (۲۰۰۸) به بررسی رابطه بین کارایی بازار و پیش‌بینی‌پذیربودن تغییرات قیمت سهام در کشورهای مختلف پرداختند. آن‌ها کارایی را با محاسبه شاخص هرست و آنتروپی تقریبی[8] 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[1]رابطه مثبت دارد [۶]. کارایانی[2](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[3]و همکاران (۲۰۱۵)، پژوهشی مشابه پژوهش کارایانی (۲۰۱۴) در بازار چین انجام دادند و دریافتند که مقدار تکین آنتروپی تجزیه، قابلیت پیش‌بینی شاخص شنزن[4]پس از اصلاح سهام غیرقابل‌معامله 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[5])، رابطه علیت خطی وجود دارد؛ اما بررسی آنتروپی با استفاده از داده‌های روزانه کلیه شرکت‌های بورسی و شاخص کل بورس (TEDPIX[6]) 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؛ ازاین‌رو این شاخص بیشترین بی‌ثباتی را دارد و در نتیجه از سایر شاخص‌ها ارزشمندتر و بهتر است [۲۲].

امیرزاده (۱۳۹۵)، با استفاده از تکینک 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 درواقع 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 Divedend 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[1] و همکاران (۲۰۰۸) با استفاده از مدل‌های چندفراکتالی سوئیچینگ مارکوف[2] و شاخص هرست تعمیم‌یافته[3] داده‌های مالی شامل نرخ ارز خارجی (دلار استرالیا ـ 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[4]» و مفهوم «زنجیره مارکوف[5]» 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[6]) 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[7] وزن‌دهی‌شده 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 وزن‌دهی‌شده 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[8] و خودرگرسیون میانگین متحرک با ورودی‌های خارجی[9] 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 exigenous 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 ARMAبر مدل ARMAX را نشان داد [۱۲].

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

## ۳. روش‌شناسی پژوهش

جامعه آماری موردبررسی 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 درمجموع ۵ سال را شامل می‌شود. داده‌های موردنیاز پژوهش از آرشیو سایت «شرکت مدیریت فناوری بورس اوراق بهادار تهران» استخراج شد. برای محاسبات و آزمون‌های آماری از نرم‌افزارهای Eviews 9 و Matlab2016 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؛ بدین‌صورت 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 ارسال‌شده متفاوت باشد؛ ازاین‌رو در مقصد، تخمینی از پیام ارسالی صورت خواهد گرفت. شانون مفهومی اساسی را از منظر مخابرات در نظریه اطلاعات بیان کرد:

اطلاعات دارای عدم‌قطعیت (احتمالی‌بودن) هستند. درواقع 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 عدم‌اطمینان 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. به‌صورت 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؛ به‌عبارتی اگر آنتروپی سهام بالاتر باشد، قیمت سهام به میزان کمتری قابل‌پیش‌بینی 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:

$$H(x) = -\sum P(x) \log(P(x))$$ 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»[1] خواهد بود.

**آنتروپی چندمقیاسی شانون.** گو(۲۰۱۷) با این فرض که $P_1, P_2, \dots, P_n$ توزیع احتمال است، برای هر مقیاس $q\neq0$، آنتروپی شانون به‌صورت زیر تعریف نمود:

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

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

1. Nat

$$\mathrm{ENT}_{\mathrm{q}}=\prod_i e^{p_i}(log\ p_i^{-1})$$ رابطه (۳)

معادلات بالا به‌طور مشترک، «آنتروپی شانون تعمیم‌یافته» یا «آنتروپی چندمقیاسی شانون» نامیده می‌شود. برای مقادیر منفی q ، $\mathrm{ent}\,\mathrm{q}$ عمدتاً اطلاعات انتقالی از رویداد با احتمال وقوع بالاتر را توصیف می‌کند و برای مقادیر مثبت q، $\mathrm{ent}\,\mathrm{q}$ عمدتاً اطلاعات انتقالی رویداد با احتمال وقوع کمتر را توصیف می‌کند؛ به‌عبارتی آنتروپی برای مقادیر مثبت q نشان‌دهنده جزئیات بیشتر و برای مقادیر منفی q نشان‌دهنده ویژگی‌های 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 $A = (\mathrm{R_{i,j}})$ تشکیل خواهد شد؛ سپس ماتریس A تجزیه شده و ماتریس قطری S به‌دست آورده می‌شود. درایه‌های روی قطر اصلی این ماتریس، «مقادیر تکین شاخص سهام» نامیده می‌شوند[۴]. با استفاده از این مقادیر، آنتروپی شانون تجزیه مقدار تکین محاسبه می‌شود؛ سپس با تعریف مقیاس $(\mathrm{s})$ و پنجره زمانی (w)، مقادیر $ENT_s^w$ محاسبه شده و سری $ENT_s^w$ تشکیل می‌شود. برای محاسبه بازده لگاریتمی هر سهم با استفاده از قیمت پایانی آن از فرمول زیر استفاده خواهد شد:

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

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

$S_k$: kاُمین سهام تشکیل‌دهنده 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 $R_{i,j}$ نشان‌دهنده همبستگی پیرسون بین i و j و به‌صورت زیر است:

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

$\langle . \rangle$: 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 به‌صورت زیر تجزیه کرد:

رابطه (۶) $A=USV^T$

که در آن U یک ماتریس متعامد m×m و V یک ماتریس متعامد n×n است. در حالت کلی، ماتریس S به‌دست‌آمده یک ماتریس قطری m*n است که مقادیر تکین روی قطر آن قرار دارند:

رابطه (۷) $S=\mathrm{diag}(\lambda_1, \lambda_2, \ldots \lambda_p)$

$\lambda_p$ ، ... ، $\lambda_2 \lambda_1$، 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:

رابطه (۸) $\bar{\lambda}_i = \frac{\lambda_i}{\sum_j \lambda_j}$ , where $\sum_i \bar{\lambda}_i = ۱$

برای هر مقیاس Sb0، آنتروپی شانون به‌صورت زیر است:

رابطه (۹) $ENT_s = \left( \sum_i \bar{\lambda}_i (log\ \bar{\lambda}_i^{-1})^s \right)^{\frac{1}{s}}$

در این فرمول، متغیر S در مفهوم مقیاس به‌کار 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؛ به‌بیان‌دیگر وقتی نمودار در مقیاس بزرگ بررسی شود، پیک‌های تابع و در مقیاس کوچک مقادیر کوچک‌تر و جزئی‌تر مشاهده می‌شود. برای مقیاس منفی S، Entها عمدتاً مقدار اطلاعات انتقالی مفید را منعکس می‌کنند و برای مقیاس مثبت S، Entها عمدتاً مقدار نویز در ماتریس همبستگی را نشان می‌دهند.

اگر آنتروپی‌ها برای مقیاس‌های متفاوت S یکسان باشند، در این‌صورت 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، به‌عنوان یکی از مهم‌ترین معیارهای سنجش عملکرد بورس اوراق بهادار، از اهمیت بسیاری برخوردار است. شاخص یادشده از تجمیع حرکت‌های قیمتی سهام کلیه شرکت‌های بورسی به‌دست می‌آید و برآیند بسیاری از متغیرهای اقتصادی ـ سیاسی را نشان می‌دهد؛ به‌عبارتی شاخص کل بورس نشان‌دهنده وضعیت کلی بازار سهام است. تعریف شاخص کل قیمت و بازده نقدی به‌صورت زیر است:

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

تعدیل پایه شاخص[1] TEDPIX به‌وسیله فرمول زیر صورت می‌گیرد:

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

که در آن:

$P_{it}$: قیمت شرکت iام در زمان t.

$q_{it}$: تعداد سهام منتشره شرکت i م 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 iام 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).** مدل‌های معادلات هم‌زمان، مبتنی بر رویکردی است که طبق آن، برخی متغیرها را درون‌زا و برخی را برون‌زا فرض می‌کند. تعیین متغیرها به این دو دسته ممکن است پشتوانه نظری داشته باشد یا سلیقه‌ای باشد؛ اما حتی زمانی که پشتوانه نظری وجود دارد، در خصوص آن تردیدهایی مطرح می‌شود. در شرایط نداشتن اطمینان از اینکه چه متغیرهایی درون‌زا و چه متغیرهایی برون‌زا هستند، از رویکرد دیگری در مدل‌سازی معادلات هم‌زمان استفاده می‌شود که مدل‌های خودرگرسیون برداری (VAR) نام دارند. درواقع این

1. Tehran Exchange Divedend 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 آزمون‌کردن علیت گرنجر دوسری مانای $X_t$ و $Y_t$ استفاده شود:

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

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

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

**آزمون علیت تودا و یاماموتو[1].** 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 $d_{max}$ ـ k باشد؛ به‌عبارتی روشی که آن‌ها ارائه کردند در عمل نیازی به مانایی سری زمانی ندارد و به‌صورت زیر است [۲۴]:

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

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

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

1. Toda and Yamamoto
2. Wald

## ٤. تحلیل داده‌ها

در این قسمت یافته‌های پژوهش و تجزیه‌وتحلیل آن‌ها آورده شده است. ابتدا با محاسبه آنتروپی چند مقیاسی شانون برای شرکت‌های بورسی، سری‌های آنتروپی تشکیل خواهد شد. ازآنجاکه به‌منظور 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 به‌جز سری‌های $ENT^{m}_{-50}$ و $ENT^{m}_{50}$ نامانا هستند؛ بنابراین در جدول ۲، نتایج بررسی مانایی تفاضل سری‌ها درج شده است. نتایج جدول ۲، نشان می‌دهد که تفاضل مرتبه اول تمامی سری‌های نامانا، مانا است و بنابراین انباشته از مرتبه ۱ ($I(1)$) هستند.

*جدول ۱. نتایج آزمون دیکی فولر تعمیم‌یافته برای سطح متغیرها*

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

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

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

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 ـ کوئین (HQ) و شوارتز (SC) تعیین شده است. از میان معیارهای ارائه‌شده برای تعیین وقفه، پسران و شین (۱۹۹۵) معیار شوارتز را برای انتخاب وقفه بهینه پیشنهاد کرده‌اند؛ زیرا این معیار از اصل صرفه‌جویی پیروی می کند 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 $ENT^{y}_{-50}$ , $ENT^{h}_{-50}$ , $ENT^{q}_{50}$, $ENT^{q}_{-50}$ مقدار ۲ و برای دو سری $ENT^{y}_{-50}$ و$ENT^{h}_{50}$، مقدار ۴، تعیین شده است.

*جدول ۳. تعداد وقفه بهینه در مدل VAR*

| متغیر وابسته | متغیر مستقل | AIC | HQ | SC |
|---|---|---|---|---|
| شاخص کل | $ENT^{y}_{-50}$ | ۶ | ۶ | ۲ |
| | $ENT^{y}_{50}$ | ۶ | ۶ | ۴ |
| | $ENT^{h}_{-50}$ | ۶ | ۶ | ۲ |
| | $ENT^{h}_{50}$ | ۸ | ۴ | ۴ |
| | $ENT^{q}_{-50}$ | ۶ | ۴ | ۲ |
| | $ENT^{q}_{50}$ | 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 نشان‌دادن وجود رابطه علّی خطی بین شاخص بورس و آنتروپی از آزمون علیت گرنجر تودا ـ یاماموتو در مدل VAR استفاده می‌شود؛ چراکه در این روش نیازی به مانایی متغیرها نیست و اعمال آن بر متغیرهای نامانا نیز امکان‌پذیر است. ازآنجاکه متغیرهای پژوهش، انباشته از مرتبه ۱ هستند، مقدار $d_{max}$ به‌کاررفته در این آزمون، مقدار ۱ است.

جدول ۴، نتایج آزمون تودا ـ 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 $ENT^{q}_{-50}$، $ENT^{q}_{50}$ و $ENT^{h}_{-50}$ در سطح ۵ درصد و برای آنتروپی $ENT^{y}_{-50}$ 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 $x^2$ | p-value |
| شاخص کل | $ENT^{y}_{-50}$ | ۱۱/۹۳۵ | ۰/۰۰۸ |
| | $ENT^{y}_{50}$ | ۱۲/۱۱۷ | ۰/۰۳۳ |
| | $ENT^{h}_{-50}$ | ۱۰/۰۵۳ | ۰/۰۱۸ |
| | $ENT^{h}_{50}$ | ۸/۵۵۶ | ۰/۱۲۸ |
| | $ENT^{q}_{-50}$ | ۸/۴۹۷ | ۰/۰۳۷ |
| | $ENT^{q}_{50}$ | ۸/۶۸۷ | ۰/۰۳۴ |

ازآنجاکه $ENT^{m}_{-50}$ و $ENT^{m}_{50}$ دو سری مانا هستند و سری شاخص کل نامانا است، درجه هم‌انباشتگی آن‌ها مشابه نیست و نمی‌توان از آزمون تودا ـ یاماموتو استفاده کرد. به‌منظور 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 ازمون 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 |
| $ENT^{m}_{-50}$ | -۴/۶۱۸ | ۰/۰۰۰ | -۳/۴۳۵ | -۲/۸۶۴ | -۲/۵۶۸ | مانا |
| $ENT^{m}_{50}$ | -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 | $ENT^{m}_{-50}$ | ۶ | ۴ | ۲ |
| | $ENT^{m}_{50}$ | ۶ | ۴ | ۲ |

*جدول ۷. نتایج آزمون علیت گرنجر خطی*

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

نتایج جدول ۷ نشان می‌دهد که برای آنتروپی $ENT^{m}_{-50}$ فرضیه صفر در سطح ۵ درصد رد می‌شود و این آنتروپی علت خطی شاخص بورس است؛ به‌عبارتی آنتروپی با مقیاس۵۰- که حاوی اطلاعات اصلی بوده در بازه ماهانه علت خطی شاخص بورس است؛ اما آنتروپی $ENT^{m}_{50}$ 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 کارآمدبودن 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 ـ یاماموتو و گرنجر خطی موردبررسی قرار گرفت.

آزمون علیت گرنجر خطی توتا ـ یاماموتو نشان داد که برای آنتروپی‌های $ENT^{q}_{-50}$، $ENT^{q}_{50}$، $ENT^{h}_{-50}$ و $ENT^{y}_{-50}$ 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 $ENT^{m}_{-50}$ 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 نداده‌اند 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 داوجونز و با محاسبه آنتروپی تجزیه مقدار تکین، نشان داد که آنتروپی حاصل از داده‌های روزانه و ماهانه، علت گرنجر خطی شاخص داوجونز 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 $\mathrm{ENT}_{-50}^{\mathrm{m}}$ (آنتروپی ماهانه ـ اطلاعات اصلی)، $\mathrm{ENT}_{-50}^{q}$ (آنتروپی فصلی ـ اطلاعات اصلی)، $\mathrm{ENT}_{50}^{\mathrm{q}}$ (آنتروپی فصلی ـ نویز)، $\mathrm{ENT}_{-50}^{\mathrm{h}}$ (آنتروپی شش‌ماهه ـ اطلاعات اصلی) و $\mathrm{ENT}_{-50}^{\mathrm{y}}$ (آنتروپی سالانه ـ 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 $\mathrm{ENT}_{-50}^{q}$ (آنتروپی فصلی ـ اطلاعات اصلی)، $\mathrm{ENT}_{50}^{\mathrm{q}}$ (آنتروپی فصلی ـ نویز)، $\mathrm{ENT}_{-50}^{\mathrm{h}}$ (آنتروپی شش ماهه ـ 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 $\mathrm{ENT}_{-50}^{\mathrm{y}}$ (آنتروپی سالانه ـ 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= ۵۰ یا S= −۵۰ علت خطی شاخص داوجونز نیست؛ اما نتایج پژوهش حاضر حاکی از این است که آنتروپی اطلاعات اصلی در بازه‌های ماهانه، فصلی، شش‌ماهه و سالانه و نیز آنتروپی نویز در بازه فصلی، علت خطی شاخص بورس هستند. آنچه بیان شد به این معنا است که هم اطلاعات اصلی و هم نویز 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 داوجونز 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:

ـ رابطه غیرخطی بین آنتروپی و شاخص کل بورس بررسی شود؛

ـ رابطه علیت بین شاخص هر یک از صنایع و آنتروپی شرکت‌های آن صنعت در بازه‌های زمانی متفاوت موردبررسی قرار گیرد؛

ـ 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.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

## 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 prespective, 7(17)* ,69-86 (In Persian).
4. Caraiani, 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 exigenous inputs model(ARMAX) and their performance evaluation. *Financial Management prespective, 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. Çincinnati ˚ 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
26. Xu, J., Zhou, X., & Wu, D. D. (2011). Portfolio selection using 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.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی