

بررسی معادلات آشوب بر سیستم بورس اوراق بهادار (موردکاوی سیستم بورس اوراق بهادار تهران)

مرضیه هاشمی^۱، محمدصادق حری^{۲*}

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد رشته مدیریت اجرایی، واحد اراک، دانشگاه آزاد اسلامی، اراک،

ایران

۲- استادیار، گروه مدیریت اجرایی، واحد اراک، دانشگاه آزاد اسلامی، اراک، ایران

پذیرش: ۱۳۹۵/۰۲/۰۴

دریافت: ۱۳۹۴/۰۶/۰۶

چکیده

از نقطه نظر نظریه آشوب، سیستم‌های پیچیده صرفاً ظاهری پر آشوب دارند و در نتیجه، نامنظم و تصادفی به نظر می‌رسند، در حالی که ممکن است تابع یک جریان معین با یک فرمول ریاضی مشخص باشد. در اقتصاد، بازارهای پولی و مالی یکی از موارد بسیار مناسب برای به‌کارگیری نظریه آشوب هستند، زیرا نظریه‌های موجود در اقتصاد بازارهای پولی و مالی حاکی از آن هستند که متغیرهای پولی مانند نرخ ارز و قیمت سهام، تصادفی و در نتیجه تغییرات آنها غیر قابل پیش‌بینی هستند. مطابق نظریه آشوب اگر فرایند تعیین‌کننده متغیرهای پولی از یک فرایند غیر خطی معین پیروی کند، می‌توان تغییرات آنها را پیش‌بینی کرد. در این مقاله با توجه به نو بودن ادبیات آشوب، قیمت‌های روزانه سهام شرکت‌های پذیرفته شده در بازار بورس تهران در دوره زمانی ابتدای سال ۱۳۸۵ تا ۱۳۹۳ مورد آزمون قرار می‌گیرد تا مشخص شود که آیا سیستم بورس اوراق بهادار از فرایند تصادفی پیروی می‌کند یا متأثر از یک فرایند معین (آشوبی) می‌باشد؟ به این منظور از آزمون‌های BDS و

نمای لیاپانوف و دیکی فولر استفاده شده است. نتایج به دست آمده حاکی از آن است که سیستم بورس اوراق بهادر تهران از یک سیستم آشوبناک پیروی می‌کند.

واژه‌های کلیدی: سیستم آشوب، بازار بورس، آزمون‌های کشف آشوب، آزمون‌های غیر خطی.

۱- مقدمه

با رشد روز افزون بازارهای سرمایه و سهام در دهه‌های اخیر این بازارها نقش اساسی در اقتصاد کشورهای مختلف ایفا نموده، به طوری که تحرک و رونق بورس اوراق بهادار و بازار سهام به عنوان یکی از معیارهای سلامت و پویایی اقتصاد کشورها شناخته می‌شود. بازارهای سهام به عنوان یکی از ارکان اصلی بازار سرمایه، پس‌اندازها و منابع مالی محدود موجود در جامعه را در سریع‌ترین زمان و با هزینه معاملاتی کم به مسیر سرمایه‌گذاری هدایت می‌کنند. با گسترش بازارهای مالی، سهام‌داران، محققان و سیاست‌گذاران برای تصمیم‌گیری‌های بهینه و کاهش ریسک نیازمند آشنایی با مدل‌های پیش‌بینی و استفاده از آنها هستند. برای سالهای متمادی این سؤال که، تا چه اندازه می‌توان از قیمت‌های قبلی بازار سهام برای پیش‌بینی معنادار (معتبر) قیمت‌های آتی استفاده کرد، یکی از مباحث اصلی و رایج در محافل علمی و تجاری بوده است. برای پاسخگویی به این سؤالات مدل‌ها و فرضیه‌های مختلفی ارائه شده‌اند که می‌توان آنها را در چهار گروه اصلی شامل ۱- مدل‌های بنیادی (ساختاری)؛ ۲- مدل‌های فنی؛ ۳- مدل‌های گام تصادفی؛ ۴- مدل‌های آشوبی تقسیم‌بندی کرد.

از ARIMA معروف‌ترین مدل‌ها هستند و به آنها عنوان خطی تصادفی داده می‌شود. گروه دیگر GARCH-ARCH که به آنها عنوان مدل غیر خطی - تصادفی داده می‌شود. سیستم‌های خاصی هم وجود دارد که علی‌رغم داشتن ظاهری پرآشوب و تصادفی تابع جریان معین با فرمول ریاضی مشخص هستند. در علم ریاضیات به فرایندهای غیر خطی تصادفی‌نما، آشوب گوییم [۴، ص ۳۵].

دستگاه معادلات تشکیل‌دهنده نظریه آشوب دارای چند مشخصه است که عبارتند از: ۱- معادلات آشوبی غیر خطی می‌باشند؛ ۲- معادلات آشوبی دارای خاصیت خودمانایی می‌باشند؛ ۳- معادلات آشوبی دارای جاذبه‌های غریب می‌باشند؛ ۴-

دستگاه معادلات آشوبی دارای اثر پراوانه‌ای می‌باشند؛ یعنی نسبت به شرایط اولیه حساسیت بالایی دارند [۱، ص ۲۱].

در این تحقیق قیمت‌های روزانه سهام بازار بورس تهران (TEPIX) در دوره زمانی ابتدای سال ۸۵ تا پایان سال ۱۳۹۳ مورد آزمون قرار گرفته است تا مشخص شود که آیا شاخص قیمت سهام در بورس اوراق بهادار تهران از فرایند تصادفی پیروی می‌کند یا متأثر از یک فرایند معین (آشوبی) هستند؟

۲- ادبیات تحقیق

امروزه بازار اوراق بهادار و سهام به جهت رشد روز افزون، نقش بسیار مهمی در اقتصاد کشورهای مختلف ایفا می‌کند و حجم زیادی از سرمایه در این بازارها مبادله می‌شود، به طوری که یکی از معیارهای مهم سنجش توسعه‌یافتگی اقتصاد هر کشور، میزان توسعه‌یافتگی بازار سهام آن کشور می‌باشد. بازار سهام به عنوان بخش مهمی از بازار سرمایه، منابع مالی محدود موجود در جامعه را با سرعت بالا و هزینه معاملاتی کم به سوی سرمایه‌گذاری‌های بهینه هدایت می‌کند.

با گسترش بازار سهام، سرمایه‌گذاران، سیاست‌گذاران و تحلیلگران برای بهینه‌سازی تصمیم‌گیری‌ها و کاهش هزینه ریسک نیازمند آشنایی با مدل‌های پیش‌بینی و استفاده از آنها هستند. [۷، ص ۳۰].

در بین مدل‌های فوق، مدل‌های آشوب‌گونه تا دهه‌های اخیر اهمیت و اعتبار بیشتری داشته است.

۲-۱- تئوری آشوب

تئوری آشوب در دهه‌های ۶۰ و ۷۰ میلادی شکل گرفته و طرفداران این نظریه بر این باورند که در میان الگوهای ظاهراً تصادفی پدیده‌های مختلف - از سیستم‌های هواشناسی گرفته تا نظام‌ها و بازارهای بورسی - نوعی نظم وجود دارد [۱۹، ص ۲۸۱۹].
دستگاه معادلات تشکیل‌دهنده نظریه آشوب یا نظم غایی دارای چند مشخصه هستند که الوانی آنها را به صورت زیر معرفی می‌نماید [۱، ص ۲۵].

۲-۲- معادلات آشوبی غیر خطی^۱ می‌باشد.

برای تشخیص غیر خطی بودن، آزمون‌های فراوانی طراحی شده‌اند. ساده‌ترین آنها حدس زدن یک مدل غیر خطی مناسب و برازش آن بر داده‌هاست. آزمون بی‌دی اس^۲ هم می‌تواند یک آزمون تشخیص روند غیر خطی باشد [۴، ص ۳۸].

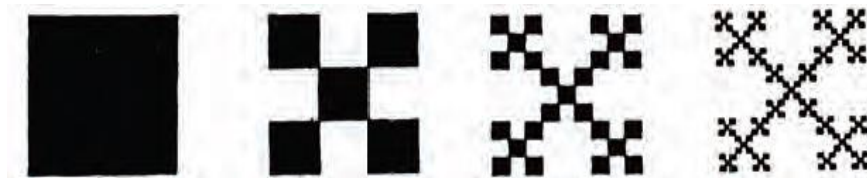
۲-۳- معادلات آشوبی دارای خاصیت خودمانایی^۳ هستند

در تئوری آشوب، نوعی شباهت بین اجزا و کل قابل تشخیص است. بدین ترتیب که هر جزئی از الگو همانند و مشابه کل می‌باشد [۸، ص ۴۷]. به این خاصیت خودمانایی گفته می‌شود [۵، ص ۴۰].

تکرر، فرایندی را تشکیل می‌دهد که چنان سیستمی، برون داد خود را بازخورد می‌نماید و آن را به مثابه درون‌داد تحویل می‌گیرد تا برون‌دادی جدید، پس دهد. این پدیده به عنوان یک سیستم بازخورد می‌تواند طبق رابطه (۱) بیان شود:

$$X_{n+1} = f(X_n) \text{ رابطه (۱)}$$

به شکل ۱ توجه شود:



شکل ۱ فرایند تکراری در ایجاد فراکتال‌های رشد یافته [۴، ص ۳۷]

ابعاد فراکتالی این طرح از ۵ عنصر که با نسبت ۳ به ۱ کوچک‌تر شده‌اند، تشکیل گردیده است ($N=5, R=1/3$). در اینجا در واقع هر بار، مربع اولیه به ۹ قسمت مساوی (هر

1. Non- Linear
2. Bds
3. Self-similarity

بعد به سه قسمت (تقسیم شده و ۵ قسمت آن به طور منظم جایگزین مربع نخستین گردیده است. این خاصیت ((به خود همانندی)) موسوم است. البته تعاریف پیچیده تری از خود همانندی در قالب افرازهای متنوع مجموع‌های خود همانند در آمده است [۱۲].

۲-۴- دستگاه‌های آشوبی دارای جاذبه‌های غریب^۱ می‌باشند.

جاذبه‌های غریب الگو نیستند ولی از الگویی پیروی می‌کنند که خاصیت و ارزش آنها هم در این الگو داشتن است. این جاذبه‌ها دارای ویژگی‌های هندسی پیچیده‌ای هستند و دارای ابعاد غیر صحیح و فراکتالی می‌باشند.

۲-۵- سیستم‌های آشوبی دارای اثر پروانه‌ای هستند؛ یعنی نسبت به شرایط اولیه حساسیت بالایی دارند.

مشخصه مهم سیستم‌های آشوبی، حساسیت آنها به شرایط اولیه است. اثر پروانه‌ای در واقع بیانگر رد روابط خطی بین علت و معلول و تأیید غیر خطی بودن روابط در پدیده‌ها و سیستم‌ها است (شکل ۲).



شکل ۲ اثر پروانه‌ای

۲-۶- کارایی نظریه آشوب در بازار بورس

در پی شکل‌گیری نظریه آشوب و توانایی آن برای توضیح رفتار قیمت‌ها در بازار بورس، فرض بازار کارا که توسط محققانی همچون فاما^۱ (۱۹۶۹) مطرح شده بود، به چالش کشیده شد. فرض بازار کارا بر این مبنا استوار است که قیمت‌ها به طور سریع نسبت به اطلاعات جدید واکنش نشان می‌دهند.

تحقیقات متعددی در بورس‌های مختلف جهان در ارتباط با کارایی بازار انجام شد. نتایج اکثر این تحقیقات (اوریتانن، ۱۹۸۷)، (دنالدسون، ۱۹۹۰) و (گالوتی و شیان تارلی، ۱۹۹۳) حکایت از عدم کارایی بورس‌های مورد مطالعه داشت. تحقیقات انجام شده در خصوص کارایی بازار بورس اوراق بهادار تهران فرضیه کارایی بازار در بورس اوراق بهادار تهران را تأیید نکرده اند [۶].

۲-۷- آزمون‌های کشف آشوب

در این تحقیق برخی از آزمون‌های آشوب مانند آزمون BDS، نمای لیاپونوف، دیکی فولرو آزمون بعد همبستگی، آزمون براک، آزمون کاپلان، نمای هرست، آنتروپی کولموگروف مورد استفاده قرار گرفته است.

۳- چهارچوب نظری تحقیق

برای آزمون فرضیه بازارهای کارا در بازارهای سهام از آزمون‌های مختلفی که اغلب خطی هستند، پیروی شده است، اما به تازگی آزمون‌های آشوبی که مبتنی بر نظریه آشوب هستند برای بررسی وجود فرایندهای غیرخطی معین و آشوبی در سری‌های زمانی پیچیده ارائه شده‌اند. طبق نظریه آشوب شاخص‌های سهام که دارای ظاهری کاملاً تصادفی (کارای ضعیف) هستند ممکن است از فرایند غیرخطی معین تبعیت

1. Fama

کرده (ناکارا باشند) و در نتیجه نتوان آنها را با استفاده از آزمون‌های معمولی از سری‌های تصادفی تمیز داد [۷، ص ۳۱].

وجود فرایندهای آشوبی در ابعاد گوناگونی از اقتصاد مورد بحث قرار گرفته است [۱۰، ص ۳۱۷] اگر مشخص شود که این سری‌های اقتصادی تصادفی نبوده بلکه به وسیله یک فرایند آشوبی معین ایجاد می‌شود در کوتاه‌مدت قابل پیش‌بینی خواهند بود [۸، ص ۵۱].

مطابق نظریات کنیزین‌ها، عامل نوسانات تولید را فعل و انفعالات اقتصاد می‌دانند و از آشوب به عنوان شاهدهی بر ادعای خود استفاده می‌کنند [۱۱، ص ۷۱].

۳-۱- مدل تحلیلی تحقیق

اکثر مدل‌های پویای مورد استفاده اقتصاددانان ناپیوسته و خطی بوده‌اند. دلیل استفاده از مدل‌های پویای ناپیوسته شاید این باشد که کار بر آورد ضرایب متغیرها در این مدل‌ها در مقایسه با مدل‌های پیوسته آسان‌تر است. دلیل تأکید بر مدل‌های پویای خطی نیز احتمالاً امکان حل تحلیلی آنها بوده است [۷، ص ۶۵]. در این تحقیق از مدل سیستم‌های آشوب‌گونه که غیرخطی و تصادفی‌نما می‌باشند، استفاده شده است.

مدل کلی سیستم‌های آشوب‌گونه به صورت تابع زیر است:

$$X_t = f(X_t, X_{t-1}, \dots, X_{t-k})$$

که در این پژوهش این تابع به صورت زیر می‌باشد:

$$P_t = f(P_t, P_{t-1}, \dots, P_{t-k})$$

که P_t بازده سهام است.

و از آزمون‌های BDS، لیاپانوف، دیکی فولر و بعد همبستگی برای آزمون فرضیه‌ها استفاده شده است.

۴- پرسش اصلی تحقیق

۱- آیا بورس اوراق بهادر تهران یک سیستم آشوبناک است؟

۵- سوالات فرعی تحقیق

۱- آیا شاخص‌های مرتبط با بورس اوراق بهادر تهران دارای ماهیت غیر خطی می‌باشند؟

۲- آیا شاخص‌های مرتبط با بورس اوراق بهادر تهران دارای اثر پروانه‌ای است؟
۲- آیا شاخص‌های مرتبط با بورس اوراق بهادر تهران دارای خاصیت خودمانایی می‌باشند؟

۳- آیا شاخص‌های مرتبط با بورس اوراق بهادر تهران دارای جاذبه‌های غریب می‌باشند؟

۶- اهداف تحقیق

هدف از این تحقیق تشخیص روند آشوبی از روند تصادفی است. تشخیص روند آشوبی از روند تصادفی در سیستم بورس اوراق بهادر تهران و بررسی و وجود رفتار آشوب‌گونه در قیمت سهام است تا از این طریق در صورت آشوب‌گونه بودن، بتوان افق قابل پیش‌بینی برای قیمت سهام را به‌دست آورده و در تعیین افق سرمایه‌گذاری توسط سرمایه‌گذاران از نتایج آن استفاده کرد در صورتی که آشوب‌گونه‌گی تأیید نشود روش‌های پیش‌بینی که در سری‌های تصادفی متداول است با اطمینان بیشتری قابل توصیه خواهد بود.

۷- اهمیت و ضرورت انجام تحقیق

بررسی آشوب در سری زمانی به دلایل زیر حایز اهمیت است:

- ۱- اگر مشخص شود که یک سیستم آشوبی است، راه برای تشخیص نوع سیستم آشوبی و مکانیزی که آن را ایجاد کرده هموارتر می‌شود و می‌توان برای توضیح این پدیده مدل‌های مناسبی طراحی کرد که در هنگام حل جوابی آشوبی ایجاد کند؛
- ۲- با کشف یک سیستم آشوبی و محتوای آن می‌توان امیدهای از دست رفته پیش‌بینی‌پذیری متغیرها را دوباره زنده کرد، زیرا پیش‌بینی‌کنندگان اغلب با تغییر وضعیت مواجه می‌شوند که رابطه به دست آمده گذشته را از اعتبار می‌اندازد. این‌گونه مشکلات برای محققانی که در علوم غیر خطی تحقیق می‌کنند، بسیار آشناست؛
- ۳- آگاهی سرمایه‌گذاران چه حقیقی و حقوقی از قابلیت پیش‌بینی قیمت سهام آنها را در انتخاب استفاده از مدل‌های پیش‌بینی قیمت و سرمایه‌گذاری براساس پیش‌بینی‌ها و یا استراتژی پوشش ریسک کمک خواهد کرد؛
- ۴- قیمت سهام در سیستم بورس اوراق بهادار در ایران به عوامل شناخته شده و ناشناخته زیادی بستگی دارد.

۸- نوع تحقیق

تحقیق حاضر یک تحقیق کاربردی است که هدف از این‌گونه تحقیقات (کاربردی) توسعه دانش کاربردی در یک زمینه خاص می‌باشد.

۹- روش‌شناسی پژوهش

همان‌طور که اشاره شد، سیستم‌های آشوبناک دارای چهار خصوصیت اصلی هستند، بنابراین اگر خواستار تأیید آشوبناکی سیستمی باشیم، باید با طراحی آزمون‌های مناسب وجود یا عدم وجود چهار خصوصیت اصلی آشوب در آن سیستم بررسی شود.

۱۰- جامعه و نمونه آماری

۱-۱۰- جامعه آماری

در این پژوهش جامعه آماری تمام شرکت‌های پذیرفته شده در بورس اوراق بهادار تهران است که تقریباً معادل ۴۰۰ شرکت می‌باشد.

۲-۱۰- نمونه آماری و روش نمونه‌گیری

از آن جایی که سیستم‌های آشوب‌گونه ممکن است دوره تناوب بسیار بزرگی داشته باشند، هر چه تعداد داده‌های سری زمانی بیشتر نتایج آزمون‌ها از اعتبار بیشتری برخوردار خواهند بود. از این رو برای اطمینان از کافی بودن حجم داده‌ها، جامعه آماری را که شامل تمام شرکت‌های پذیرفته شده در بورس اوراق بهادار تهران می‌باشد، از نظر تعداد روزهای معاملاتی چارک‌بندی می‌کنیم، سپس چارک بالا را در نظر می‌گیریم. اکنون شرکت‌های به‌دست آمده را از نظر ارزش بازار چارک‌بندی می‌کنیم و این بار دو چالاک بالا را در نظر می‌گیریم. در این مرحله ۴۳ شرکت خواهیم داشت که از بین آنها شرکت‌های سرمایه‌گذاری و هلدینگ را که خود تحت تأثیر سایر شرکت‌ها می‌باشند، حذف می‌کنیم. در نهایت ۳۱ شرکت با ویژگی‌های بالا مورد آزمون قرار می‌گیرند.

۳-۱۰- دوره زمانی و مکانی پژوهش

داده‌های مورد آزمون قیمت سهام شرکت‌های پذیرفته شده در بورس اوراق بهادار تهران است که در طول نه سال از تاریخ ۸۵/۱/۱ تا تاریخ ۱۳۹۳/۱۲/۲۹ جمع‌آوری شده‌اند. داده‌های مربوط به قیمت روزانه هر شرکت در طول این نه سال پس از تعدیل نرمال خواهند شد [۳].

۱۱- روش‌های جمع‌آوری اطلاعات

اطلاعات مورد نیاز پژوهش به صورت میدانی و کتابخانه‌ای جمع‌آوری شده‌اند. اطلاعات مربوط به شرکت‌ها از طریق نرم‌افزار رهاورد نوین ۳ و سایت سازمان اوراق بهادار تهران جمع‌آوری گردیده‌اند. سایر اطلاعات نیز از طریق مقالات، مجلات و کتاب‌های مرتبط با موضوع تحقیق جمع‌آوری شده‌اند.

۱۲- تجزیه و تحلیل داده‌ها

در این قسمت نخست به بررسی آمار توصیفی داده‌ها پرداخته و پس در قالب آمار استنباطی برای بررسی فرضیه‌های پژوهش می‌پردازیم. نرم‌افزار مورد استفاده برای تجزیه و تحلیل داده‌ها E-views نسخه تحت ویندوز و نرم‌افزار مطلب می‌باشد.

۱۲-۱- آمار توصیفی

در جدول ۱ شاخص‌هایی چون حداکثر و حداقل مقدار، میانه، میانگین، انحراف معیار، چولگی و کشیدگی بیان شده است. هدف از مطالعه متغیرهای پژوهش به صورت توصیفی شناخت توزیع و ویژگی‌ها خاص هر متغیر است.

جدول ۱ آمار توصیفی شاخص قیمت برای شرکت‌های نمونه

شاخص‌ها شرکت‌ها	میانگین	میانه	ماکسیمم	مینیمم	انحراف معیار	ضریب چولگی	ضریب کشیدگی
بهمن	550.00	385.00	700.00	200.00	1.25	2.1	0.285
کربن ایران	600.00	495.00	800.00	250.00	0.75	-0.258	0.145
دارو جابر	250.00	240.00	400.00	135.00	1.42	2.1	4.25
ایران خودرو	1,250.00	854.00	1,500.00	400.00	2.58	3.1	-0.145
ایران خودرو دیزل	385.00	210.00	432.00	155.00	3.25	2.14	-0.163
نفت بهران	145.00	100.00	250.00	85.00	2.00	3	0.148
پترو اراک	1,325.00	850.00	1,400.00	600.00	2.10	2.5	3.14
پترو خارک	850.00	400.00	1,000.00	250.00	0.79	1.258	10.12
سایپا	652.00	565.00	800.00	458.00	0.26	1.2	0.235
سیمان فارس خوزستان	145.00	132.00	200.00	120.00	0.13	2.4	0.856
سیمان تهران	500.00	325.00	700.00	200.00	2.10	3.1	-0.325
توسعه معادن روی	410.00	385.00	500.00	250.00	3.50	0.14	2.1
زامیاد	302.00	145.00	500.00	100.00	1.14	-1.5	-0.256
توسعه معادن و فلزات	400.00	398.00	550.00	230.00	0.14	-2.1	-0.1
نفت پارس	124.00	123.00	230.00	98.00	7.10	3	-0.258
سیمان سپاهان	256.00	138.00	302.00	95.00	1.35	-0.754	2.1

شاخص‌ها شرکت‌ها	میانگین	میانه	ماکسیمم	مینیمم	انحراف معیار	ضریب چولگی	ضریب کشیدگی
سیمان شرق	369.00	250.00	400.00	200.00	0.25	2.3	3.1
پتروشیمی اصفهان	810.00	300.00	1,000.00	185.00	0.85	1.2	2.14
تراکتورسازی ایران	935.00	535.00	735.00	385.00	2.10	0.32	3
صنعتی بهشهر	147.00	359.00	232.00	285.00	6.20	0.235	0.285
پارس خودرو	254.00	148.00	320.00	100.00	4.32	0.856	0.145
صنعتی دریایی ایران	1,111.00	650.00	1,400.00	400.00	1.10	-0.325	4.25
معدنی صنعتی چادرملو	1,321.00	132.00	1,400.00	99.00	5.12	2.1	-0.145
بانک کارافرین	299.00	132.00	325.00	98.00	4.15	-0.256	-0.163
گاز لوله	781.00	350.00	800.00	200.00	3.14	-0.1	0.148
کالسیمین	925.00	480.00	1,100.00	250.00	3.00	0.285	3.14
ایران ترانسفو	1,233.00	750.00	1,500.00	400.00	2.45	0.145	10.12
سایپا دیزل	989.00	480.00	1,050.00	235.00	4.12	4.25	2.1
دارویی سبحان	858.00	400.00	1,020.00	205.00	1.30	-0.145	3.2
سیمان شاهرود	457.00	201.00	563.00	145.00	2.10	-0.163	-0.258
سیمان کرمان	550.00	385.00	700.00	200.00	4.50	0.148	-0.123
	600.00	495.00	800.00	250.00	6.30	3.14	-0.148

۱۲-۲- آمار استنباطی

برای بررسی سؤالات پژوهش و آزمون فرضیه‌ها آن از آمار استنباطی به کمک نرم‌افزار E-views و مطلب استفاده می‌کنیم. ابتدا به بررسی فرضیه اولیه، یعنی وضعیت آشوبناک بودن و غیر خطی بودن بورس اوراق بهادار تهران پرداخته می‌شود. فرضیه اصلی: بورس اوراق بهادار تهران دارای وضعیت آشوبناکی است. فرضیه فرعی اول: بورس اوراق بهادار تهران دارای خاصیت غیر خطی است برای بررسی آشوبناک و وجود روابط غیر خطی در سری‌های زمانی از آزمون‌های متعددی استفاده می‌شود که پرکاربردترین این آزمون‌ها^۱ BDS است. از

1. Brock, Dechert And Scheinkman(Bds)

این آزمون برای آزمون این فرض که فرایند ایجاد سری‌های زمانی مستقل و مشابه است، در مقابل فرض وابستگی خطی یا غیر خطی فرایند، استفاده کرد. آماره آزمون BDS تبدیلی از انتگرال همبستگی است. انتگرال همبستگی احتمال اینکه فاصله دو نقطه از دو مسیر مختلف در فضای فاز از ε کمتر باشد، اندازه می‌گیرد، با افزایش فاصله مورد نظر، یعنی ε این احتمال نیز مطابق با بُعد فراکتالی فضای فاز تغییر می‌کند. برای محاسبه انتگرال همبستگی ابتدا باید یک مجموعه m حافظه‌ای از داده‌ها را با استفاده از تئوری تیکن تشکیل داد.

انتگرال همبستگی را رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$t \neq s$$

$$c_m(\varepsilon, t) = \frac{1}{t/m} \sum_{t,s=1}^t h(\varepsilon - |x_t - x_s|), t \neq s$$

در این رابطه H تابع هوی ساید بوده که تعداد نقاطی را که فاصله آنها از ε کمتر است، محاسبه می‌کند.

T_m تعداد مجموعه m حافظه‌ای را که از نمونه‌ای به حجم T ساخته می‌شود، نشان می‌دهد:

$$T_m = T - m + 1$$

ε حداکثر فاصله دو نقطه را که در محاسبه انتگرال همبستگی استفاده می‌شود،

نشان می‌دهد و $c_m(\varepsilon, t)$

انتگرال همبستگی نمونه‌ای به حجم T و m بعد محاط است.

براک و دیگران نشان دادند که اگر یک متغیر IID باشد، آماره BDS توزیع مجانبی

نرمال استاندارد خواهد داشت که می‌توان آن را از طریق رابطه زیر محاسبه کرد:

$$W = \frac{T_m^{\frac{1}{2}} [C_m(\epsilon, T) - C_1^m(\epsilon)]}{\delta_m(\epsilon, T)} \approx N(0, 1) \quad (1)$$

که در این معادله، W آماره BDS و $s_m(\epsilon, t)$ انحراف معیار عبارت داخل علامت $[\]$ است. بنابراین اگر آماره W که برای پسماندهای مدل $ARIMA$ محاسبه شده است، به اندازه کافی بزرگ باشد، می‌توان فرض تصادفی بودن پسماندها را در مقابل تبعیت آنها از فرایند غیر خطی رد کرد.

جدول ۲ نتیجه آزمون BDS

Dimension	Bds Statistic	Std.Error	Z-Standard	Normal Prop	Booststrap Prop
2	0.132558	0.000602	10.2586	0.000	0.000
3	0.312	0.014521	15.1472	0.000	0.000
4	0.215487	0.01478925	11.1478	0.000	0.000
5	0.258471	0.0147852	13.1425	0.000	0.000
6	0.0258147	0.0141001	10.1325	0.000	0.000
Raw epsilon		34.99025			
Pairs within epsilon		1277	V-statistic	0.505214	
Triples within epsilon		2504500	V-statistic	0.251432	
Dimension	C(m,n)	C(m,n)	C(1,n-(m-1)	$\frac{C(1,n-(m-1)}{1}$	$C(1,n-(m-1))^k$
2	1012.52	0.147852	1214.000	0.583	0.587
3	2012.52	0.123582	1236.000	0.413	0.147
4	1425.13	0.136985	2514.000	0.153	0.333
5	2014.2	0.963748	1235.000	0.362	0.148
6	1425.14	0.456789	1463.000	0.147	0.325

همان طور که مشاهده می‌شود، $Prop > 0.05$ است و فرضیه صفر مبنی بر توزیع سری‌های زمانی به صورت مستقل و یکسان رد می‌شود و فرضیه مقابل، یعنی توزیع سری‌های زمانی به صورت آشوبناک غیر تصادفی پذیرفته می‌شود. در نتیجه سری

زمانی مورد مطالعه به صورت آشوبناک است. همچنین با توجه به نتیجه آزمون فوق می توان عنوان کرد که بورس اوراق بهادار تهران دارای خاصیت غیر خطی است. فرضیه فرعی دوم: بورس اوراق بهادار دارای اثر پروانه ای است. برای بررسی اثر پروانه ای بورس اوراق بهادار تهران از توان لیاپانوف (M) به روش رزن اشتاین در قالب نرم افزار matlab استفاده می شود.

محاسبه توان لیاپانوف

ابتدا به علت اینکه الگوریتم های عددی بر روی اعداد بین ۰ و ۱ بهتر عمل می کنند، داده ها را نرمال می کنیم. در اینجا برای نرمال کردن از روش تقسیم کردن مشاهدات بر انحراف معیار آنها استفاده شده است. سپس به محاسبه توان لیاپانوف سری زمانی می پردازیم که اگر یکی از آنها مثبت باشد، نشان دهنده این است که مسیره های زمانی که شرایط اولیه شان اختلاف اندکی با هم دارند با گذشت زمان واگرا می شوند. به این منظور از بزرگترین توان لیاپانوف استفاده می کنیم، زیرا اگر بزرگترین توان لیاپانوف منفی باشد، توان های لیاپانوف دیگر نیز منفی خواهند بود.

جدول زیر اطلاعات ناشی از محاسبه توان لیاپانوف به روش رزن اشتاین با استفاده از داده های نرمال شده، برنامه ای را که به این منظور در برنامه matlab نوشته شده است، نشان می دهد. وقفه جانشانی $T=1$ و بعدهای جانشانی $m=1$ و $m=2$ در نظر گرفته شده است.

$$\lambda_1 = \lim_{\tau \rightarrow \infty} \lim_{\varepsilon \rightarrow 0} \frac{1}{\tau} \ln \left(\frac{|x(\tau) - x_\varepsilon(\tau)|}{\varepsilon} \right), |x(0) - x_\varepsilon(0)| = \varepsilon$$

نتایج به دست آمده از آزمون لیاپانوف در جدول ۳ نشان داده شده است.

جدول ۳ اثر پروانه ای

شرکت ها	M=1	M=2
بهمن	0.315	.310

شرکت‌ها	M=1	M=2
کربن ایران	0.412	.398
دارو جابر	.145	.132
ایران خودرو	.785	.723
ایران خودرو دیزل	.325	.302
نفت بهران	.968	.925
پترو اراک	.145	.130
پتروشیمی خارک	N	N
سایپا	.852	.830
سیمان فارس خوزستان	.658	.602
سیمان تهران	.108	.098
توسعه معادن روی	.107	.100
زامیاد	.214	.202
توسعه معادن و فلزات	.358	.324
نفت پارس	.698	.625
سیمان سپاهان	.314	.284
سیمان شرق	.789	.745
پتروشیمی اصفهان	.987	.952
تراکتور سازی ایران	.414	.400
صنعتی بهشهر	.201	.195
پارس خودرو	.502	.480
صنعتی دریایی ایران	.219	.132
معدنی صنعتی چادرملو	.212	.199
بانک کارافرین	.581	.513
گاز لوله	.362	.321
کالسیمین	.714	.699
ایران ترانسفو	.784	.720
سایپا دیزل	.321	.421
دارویی سبحان	.214	.210
سیمان شاهرود	.914	.839

شرکت‌ها	M=1	M=2
سیمان کرمان	.102	.98

همان‌گونه که جدول ۳ نشان می‌دهد، محاسبات برای تمامی شرکت بجز پتروشیمی خارک از طریق توان لیاپانوف به وسیله روش رزن اشتاین انجام گردید و خروجی برای تمامی شرکت‌ها مثبت می‌باشد. بنابراین فرضیه فرعی دوم مورد تأیید است. فرضیه فرعی سوم: بورس اوراق بهادار تهران دارای خاصیت مانایی است. در پژوهش‌های تجربی، هنگام کار با سری‌های زمانی چنین فرض می‌شود که سری‌های زمانی مانا هستند. اگر این حالت وجود نداشته باشد، آزمون‌های آماری متعارفی که اساس آنها بر پایه آماره‌های F و t بنا شده است، مورد تردید قرار می‌گیرد. در این پژوهش برای بررسی مانایی متغیر پژوهش از آزمون دیکی‌فولر استفاده شده است.

یکی از سودمندترین آزمون‌ها در زمینه مانایی (سکون) آزمون دیکی فولر تعمیم یافته^۱ است. فرض کنید سری y_t ساس ساده‌ترین شکل خود، یک مدل خود رگرسیون از درجه اول است؛ یعنی $y_t = \alpha y_{t-1} + \epsilon_t$ چنانچه $|\alpha| < 1$ باشد، سری ماناست. در این آزمون فرض صفر دلیل بر نامانایی است و حالت مطلوب زمانی اتفاق می‌افتد که فرض صفر رد شود؛ یعنی $H_0: \alpha = 1$ نتایج به دست آمده از آزمون دیکی‌فولر در جدول ۴ آماده است.

جدول ۴ آزمون مانایی دیکی‌فولر

شرکت	مقدار آماره	سطح معناداری	نتیجه
بهن	-۱۲/۳۴۵	۰/۰۰۰	مانا
کربن ایران	-۱۱/۰۱۲	۰/۰۰۰	مانا
داروی جابر	-۴/۸۲۰	۰/۰۱۴	مانا
ایران‌خودرو	-۷/۷۹۲	۰/۰۰۰	مانا

1. Augmented dicky fuller

شرکت	مقدار آماره	سطح معناداری	نتیجه
ایران خودرو دیزل	-۵/۷۵۶	۰/۰۰۰	مانا
نفت بهران	۱۱/۰۱۲	۰,۰۰۰	مانا
پترو اراک	-۳/۵۹۹	۰/۰۰۰	مانا
پترو خارک	-۴/۵۳۵	۰/۰۰۰	مانا
سایپا	-۳/۱۵۳	۰/۰۰۰	مانا
سیمان فارس خوزستان	-۲/۱۵۲	۰/۰۲۰	مانا
سیمان تهران	-۱۲/۳۴۵	۰/۰۰۰	مانا
توسعه معادن روی	-۱۱/۰۱۲	۰/۰۰۰	مانا
زامیاد	-۲/۸۳۰	۰/۰۳۰	مانا
توسعه معادن و فلزات	-۳/۱۴۴	۰/۰۰۰	مانا
نفت پارس	-۱/۱۲۵	۰/۰۰۰	مانا
سیمان سپاهان	۱۱/۰۱۲	۰,۰۰۰	مانا
سیمان شرق	-۳/۵۹۹	۰/۰۰۶	مانا
پترو شیمی اصفهان	-۴/۱۲۵	۰/۰۰۰	مانا
تراکتور سازی ایران	-۳/۱۱۵	۰/۰۰۰	مانا
صنعتی بهشهر	-۳/۲۲۰	۰/۰۱۵	مانا
پارس خودرو	-۱۱/۳۴۵	۰,۰۰۱	مانا
صنعتی دریایی ایران	-۱۱/۰۱۲	۰/۰۰۰	مانا
معدنی صنعتی چادرملو	-۲/۸۱۰	۰/۰۰۳	مانا
بانک کارافرین	-۳/۷۱۴	۰/۰۰۰	مانا
گاز لوله	-۱/۸۵۶	۰/۰۰۰	مانا
کالسیمین	۱۲/۰۱۲	۰/۰۰۰	مانا
ایران ترانسفو	-۳/۵۱۴	۰,۰۱۰	مانا
سایپا دیزل	-۴/۵۴۶	۰/۰۰۰	مانا
دارویی صبحان	-۷/۱۵۳	۰/۰۰۰	مانا
سیمان شاهرود	-۲/۱۵۲	۰/۰۰۰	مانا
سیمان کرمان	-۲,۱۴	۰/۰۰۵	مانا

عدد معناداری یا همان (sig) برای تمامی شرکت‌ها که مورد بررسی قرار گرفته اند، از ۰,۰۵ کمتر می‌باشد. این آماره نشان از این دارد که داده‌های شرکت‌های بورس اوراق بهادار تهران دارای خاصیت مانایی هستند.

۱۳- خلاصه موضوع پژوهش

در تحقیق حاضر وجود رفتار آشوب‌گونه در قیمت سهام شرکت‌های پذیرفته شده در بورس اوراق بهادار تهران را بررسی نموده‌ایم. در فصل اول کلیات را بیان کردیم، سپس در فصل دوم ابتدا به بررسی مبانی نظری پرداخته و کوشش شد که با استدلال منطقی به نظریاتی دست یابیم که اساس تحقیق باشد. در آخر مروری اجمالی بر پژوهش‌های انجام یافته بر تئوری آشوب در بازارهای مالی صورت گرفت. در فصل سوم روش محاسبه آزمون BDS و روش‌های مختلف محاسبه توان لیاپانوف شامل الگوریتم‌های ولف، رزن اشتاین و آزمون دیکی فولر و بعد همبستگی تشریح شد و دوره تحقیق بیان گردید که شامل سال‌های بین ۱۳۸۵ تا آخر سال ۱۳۹۳ می‌باشد. گفته شد که نمونه‌گیری براساس دو فیلتر چارک بالای روزهای معاملات و در فیلتر دوم، دو چارک بالای ارزش بازار انجام خواهد یافت. در فصل چهارم به انجام آزمون‌ها با استفاده از برنامه‌های نوشته شده در نرم‌افزار matlab و e-views پرداختیم.

۱۴- یافته‌ها و نتایج تحقیق

نتایج حاصل از آزمون BDS، آزمون لیاپانوف با الگوریتم رزن اشتاین و آزمون دیکی فولر و بعد همبستگی حاکی از فرایند آشوب‌گونه در سری قیمت‌های شرکت‌های نمونه بود و داده‌های قیمت شرکت‌های بورس اوراق بهادار دارای خاصیت غیرخطی می‌باشند و همچنین دارای اثر پروانه‌ای یا حساسیت بالا نسبت به شرایط اولیه و خودمانا و جاذبه‌های پیچیده می‌باشند.

وجود فرایندهای آشوب‌گونه و در نتیجه وابستگی بالا به شرایط اولیه به طور الزام بر وجود فرصت‌های سودآور قابل بهره‌برداری دلالت نمی‌کند، زیرا نخست پیچیدگی فرایند ممکن است شناسایی آن را توسط عواملان غیر ممکن سازد؛ هر چند که می‌توان گفت اگر محققان بتوانند مدل صحیح را بیابند، بازار نیز قادر به یافتن آن است. دوم اینکه وابستگی بالا به شرایط اولیه به آن معناست که تابع قیمت بازار ممکن است برای تضمین سودآوری کافی نباشد، زیرا دقت مورد نیاز برای پیش‌بینی ممکن است برای تضمین سودآوری کافی نباشد چون دقت مورد نیاز برای پیش‌بینی ممکن است باعث از دست دادن زمان برای انجام معاملات سودده شود و اگر قیمت به هر دلیلی مانند وجود حجم مبنا و دامنه نوسان قیمت اشتباه تعیین شود مسیر قیمت تفاوت بسیار زیادی خواهد داشت. با استفاده از نتایج تخمین نقاط جاذب‌های پیچیده قیمت می‌توان به برآورد دقیق‌تر بازده محتمل و تعادلی سهام دست یافت و تعیین بازده‌های محتمل و بلندمدت به انتخاب سهام کمک خواهد کرد.

بر این اساس به سؤالات اصلی پژوهش، یعنی آیا سیستم بورس اوراق بهادار تهران آشوب‌گونه است؟ و به سؤالات فرعی، یعنی:

- ۱- آیا سیستم بورس اوراق بهادار غیرخطی می‌باشند؟
 - ۲- آیا سیستم بورس اوراق بهادار دارای اثر پروانه‌ای است؟
 - ۳- آیا سیستم بورس اوراق بهادار خودمانا می‌باشد؟
- رفتار قیمت سهام شرکت‌های پذیرفته شده، غیرخطی، خودمانا و دارای اثر پروانه‌ای و جاذبه‌های پیچیده می‌باشد.

۱۵- محدودیت‌های تحقیق

در انجام هر پژوهشی محدودیت‌هایی وجود دارد که می‌تواند بر نتایج آن تأثیرگذار باشد. در این تحقیق نیز محدودیت‌ها و موانعی وجود داشت که بر مسئله و توانایی مدل‌های طراحی شده و نتایج حاصل مؤثر بوده‌اند. از جمله محدودیت‌هایی که می‌توان به آن اشاره کرد، وجود دامنه نوسان در قیمت می‌باشد.

۱۶- ملاحظات پیرامون روش‌های آزمون آشوب

پژوهش‌های تجربی که تاکنون با استفاده از روش‌های آزمون یاد شده برای تعیین وجود آشوب در سری‌های اقتصادی انجام شده‌اند، نتایج سازگار و هماهنگی نداشته است، برای مثال نشان داده شده است که سری‌های زیر دارای فرایند آشوبی هستند. برخی متغیرهای پولی (بارنت و چن، ۱۹۸۷) نرخ بازدهی بازار سهام آمریکا (لی بران، ۱۹۸۹) و (شیکرمن و لی بران، ۱۹۸۹) بازارهای طلا و نقره (فرانک و استیگوس، ۱۹۸۹)، توقف نیروی کار (سایرز، ۱۹۸۶)، اشتغال، بیکاری و تولید صنعتی (بروک و سایلر، ۱۹۸۸) تولید ناخالص ملی در ژاپن (فرانک و همکار، ۱۹۸۸)، نرخ ارز (گرین و ارکال، ۱۹۶۶) [۱۶].

بازار سهام اسپانیا (امیدا و جامونز، ۱۹۹۵)، حساب‌های بانکی (توفالی، ۱۹۹۵) و بازارهای گاز طبیعی مایع آمریکای شمالی، پژوهش‌های دیگری نیز نشان داده‌اند که سری‌های زیر از یک فرایند آشوبی پیروی نمی‌کنند:

تولید ناخالص ملی واقعی آمریکا، بیکاری در کانادا، تولید ناخالص ملی انگلستان، ایتالیا و آلمان، مصرف کل در آمریکا و کانادا و قیمت‌های آتی نفت [۱۸، ص ۳۱۱]. نتایج متفاوت آزمون‌ها تا حدودی به استفاده از روش‌های متفاوت با فرضیه‌های صفر متفاوت مربوط می‌شوند، برای مثال، همان‌گونه که در قسمت قبلی توضیح داده شد، در روش آزمون BDS تصادفی بودن یک فرایند در مقابل غیرتصادفی بودن آن را ارزیابی می‌شود. در نتیجه در صورت رد شدن فرضیه مورد آزمون، غیرتصادفی بودن فرایند ایجادکننده سری و نه به طور لزوم آشوبناک بودن آن تأیید می‌شود. در آزمون‌های توان لیاپانوف و آنتروپی کولموگروف، نتیجه آزمون دلالت بر آشوبی بودن یا غیر آشوبی بودن فرایند دارد. افزون بر این، مسائل و مشکلات زیر نیز در انجام آزمون‌ها و نتیجه‌گیری‌های به دست آمده از آنها باید مدنظر قرار گیرند:

۱- غالب آزمون‌ها مربوط به کشف فرایند آشوبی در یکسری زمانی نیاز به داده‌های فراوان دارند. متأسفانه در اقتصاد تولید اطلاعات با فراوانی بسیار به راحتی سایر علوم تجربی و آزمایشگاهی امکان‌پذیر نیست. این مشکل به‌ویژه در مورد متغیرهای اقتصاد کلان مانند تولید ناخالص داخلی و بیکاری که آمارهای با فراوانی

های حداکثر فصلی دارند، نمود بیشتری دارد. بنابراین در چنین مواردی نتیجه آزمون‌ها را باید با احتیاط بیشتری تفسیر و یا آنها را با انجام سایر آزمون‌های تکمیلی مقایسه کرد؛

۲- آمارهای اقتصادی معمولاً آلوده به اغتشاش (Noise) هستند. این آلودگی که ناشی از خطای اندازه‌گیری و یا شوک‌های برونزا است در صورتی که رفع نشود ممکن است نتایج آزمون‌ها را خدشه‌دار سازد؛

۳- آمارهای اقتصادی معمولاً همان‌گونه که جمع‌آوری می‌شوند، منتشر نمی‌شوند. مسئولان جمع‌آوری و انتشار آمارهای جمع‌آوری شده می‌دهند و یا آنها را با روش‌های خاصی پردازش می‌کنند، به عبارت دیگر، در بسیاری از موارد، آمارهای موجود اقتصادی که در مطالعات کاربردی مورد استفاده قرار می‌گیرند، آمارهای غیر اصلی و پردازش شده هستند. پردازش و تغییر داده‌ها از آنجا که ممکن است الگوهای احتمالی موجود در آنها را به نحوی تحت تأثیر قرار دهد، احتمالاً در نتیجه آزمون‌های آشوب مؤثر خواهد بود.

۱۷- پیشنهاداتی برای تحقیقات آتی

۱- از الگوریتم‌های مختلف محاسبه توان لیپانوف مورد استفاده در این تحقیق می‌توان برای آزمون‌های آشوب‌گونه در بازدهی شاخص کل بورس اوراق بهادار تهران استفاده نمود.

۲- از الگوریتم‌های مختلف محاسبه توان لیپانوف مورد استفاده در این تحقیق می‌توان برای آزمون‌های آشوب‌گونه در قیمت طلا، نفت و نرخ ارز استفاده نمود.

۱۸- منابع

- [1] Alvani Syed Mahdi, Danayefard Hassan (1999) Decision making in choose approach, (5), No. 21, pp: 21-25.

- [2] Tehrani Reza, Rahbar Amirhossin, Saberi Jafar, Ghorbanzadeh Sasan (2010) Chaose Theory and market behavior, *Organizational Culture Management Pub*, No. 22.
- [3] Raey Reza, Talangi, Ahmad (2004) *Advanced investment management*, Human Resource Organization in University (SAMT) Tehran.
- [4] Salami Amirbehdad (2003) "Chaos trend test in Tehran stock market efficiency", *Economical Reserch Pub*, No. 2, pp: 35-84.
- [5] Faghih Nezameddin (1998) "Fractal development in dynamic systems", *Journal of Management Science*, No. 39 and 40, pp. 39-50.
- [6] Fadaenejad Mohammad Esmail (1994) *Chaos trend testing in Tehran stock market efficacy*, Dissertaion in Tehran University.
- [7] Moshiri Said "Surveying the chaos theory and its Application in Economics "(2002) *Journal of Economic Bulletin*, No. 12, pp. 29-68.
- [8] Moshiri Said, Morovvat Habib (2005) "Surveying the chaos process in efficency index of stock total price", *Economic Bulletin*, (7), No. 25, pp. 47-64.
- [9] Moattar H., Mahmoudzade Sayed Mohammad, Pary azari M. S., Zaery M. S. (2007) Surveying the chaos behavior and its application in sales, *Management.5th International Conference of Management*, Tehran.2007
- [10] Brock, W. A., & De Lima, P. J. (1996) "Nonlinear time series, complexity theory, and finance", *Handbook of Statistics*, Vol. 14, pp. 317-361.
- [11] Brock W. A., Sayers C. L. (1988) "Is the business cycle characterized by deterministic chaos?", *Journal of Monetary Economics*, 22 (1), pp. 71-90.
- [12] Hutchinson J. E., *Fractals and self similarity*, University of Melbourne, [Department of Mathematics], 1991.
- [13] Meakin P. (1987) "Fractal aggregates", *Advances in Colloid and Interface Science*, Vol. 28, pp. 249-331.
- [14] Nishimura K., Sorger G. (1996) "Optimal cycles and chaos: A survey", *Studies in Nonlinear Dynamics & Econometrics*, 1(1), pp. 11-28.
- [15] Peitgen H. O., Jürgens H., Saupe D. (1992) "Chaos and fractals: New frontiers of science springer, New York.

- [16] Pynn R., Skjeltorp A. (2013) "Scaling phenomena in disordered systems" *Springer Science & Business Media*, Vol. 133.
- [17] Rosser J. B. (1999) "on the complexities of complex economic dynamics", *The Journal of Economic Perspectives*, 13(4), pp. 169-192.
- [18] Scheinkman J. A., LeBaron B. (1989) "Nonlinear dynamics and stock returns", *Journal of Business*, pp: 311-337.
- [19] Weiss J. N., Garfinkel A., Karagueuzian H. S., Qu Z., Chen P. S. (1999) "Chaos and the transition to ventricular fibrillation a new approach to antiarrhythmic drug evaluation", *Circulation*, 99 (21), pp: 2819-2826.