

تحلیل بازار بورس اوراق بهادار تهران با استفاده از شبکه‌های پیچیده مبتنی بر روش حد آستانه

رضا راعی¹، غلامرضا جعفری²، علی نمکی³

چکیده: تحلیل بازار سهام از طرق مختلف به‌عنوان عنصری تأثیرگذار در پیش‌بینی رویدادهای آتی کاربرد دارد. یکی از جدیدترین روش‌ها جهت تحلیل آن، استفاده از مفهوم شبکه‌های پیچیده است. شبکه‌های پیچیده مفهومی جدید در ادبیات علوم کمی برای نگاه کلان‌نگر به کل بازار است. کمی ساختن ارتباط میان سهام‌های مختلف نه تنها موضوع مورد علاقه مطالعات علمی از جهت درک سیستم‌های پیچیده است؛ بلکه برای مقاصد عملی‌ای همچون تخصیص دارایی‌ها و تخمین ریسک پرتفولیوهایی از آن‌ها نیز راهگشا خواهد بود. این چنین کمی‌سازی بر اساس مدل‌سازی نوسانات قیمتی سهام‌ها و اثرگذاری آن‌ها بر یکدیگر انجام می‌پذیرد. در این مقاله جهت ساختن شبکه سهام‌های بورس اوراق بهادار تهران از روش حد آستانه استفاده کرده و سپس به تحلیل آن اقدام شده است. از نکات قابل توجه در این ساختار وجود ریسک سیستمیک بالا در آستانه‌های اطراف میانگین همبستگی‌ها و نیز افزایش تعداد عناصر مستقل بازار در اثر افزایش حد آستانه و بنابراین کاهش احتمال انتشار ریسک سیستمیک در بازار است. در ضمن این تحلیل نشان می‌دهد، بازار بورس تهران در محدوده خاصی از همبستگی‌ها از خود رفتار بی‌مقیاسی بروز داده و بنابراین قاعده اعداد بزرگ برای آن سازگار است. این بدین معنا است که این شبکه از تعدادی ناچیز hub (مراکز و رأس‌های با درجه ارتباط بالا) و تعداد قابل توجهی رأس (سهام) با درجه پایین تشکیل شده است. این مهم در مباحثی چون مدیریت ریسک پرتفوی‌های بازار کاربرد بسیاری خواهد داشت.

واژه‌های کلیدی: شبکه پیچیده سهام، بی‌مقیاسی، ضریب خوشگی، ریسک سیستمی، حد آستانه.

1. دانشیار دانشکده مدیریت دانشگاه تهران، ایران

2. استادیار دانشکده علوم پایه دانشگاه شهید بهشتی، ایران

3. دانشجوی MBA گرایش مالی دانشکده مدیریت دانشگاه تهران، ایران

تاریخ دریافت مقاله: 1389/2/12

تاریخ پذیرش نهایی مقاله: 1389/7/21

نویسنده مسئول مقاله: علی نمکی

Email: Alinamak1@yahoo.com

مقدمه

محیط تجاری کنونی چالش برانگیز و پیچیده بوده و واکنش افراد در برابر اطلاعات موجود در بازار برای اخذ تصمیمات اقتصادی، یکسان نیست. واکنش تصمیم‌گیران به اطلاعات انتخاب شده به‌طور عمده خارج از مدل‌های استفاده شده در پژوهش‌های اقتصاد اطلاعات است. هرچه محیط تصمیم‌گیری پیچیده‌تر و عدم اطمینان بیشتر باشد، بر دشواری‌های تصمیم‌گیری می‌افزاید. بنابراین، این نکته پژوهشگران را به سمت مدل‌هایی توانمندتر از جمله شبکه‌های پیچیده، برای توضیح دنیای واقعی رهنمون شده است. اکثر سیستم‌های اقتصادی، اجتماعی و ... دارای شاخصه‌های نسبتاً پیچیده‌ای در رابطه با خصوصیات توپولوژیکی خود بوده و نوع ارتباط میان عناصر آن‌ها دارای نظم نسبی است [17].

در طبیعت تعداد زیادی از سیستم‌ها را می‌توان از طریق شبکه‌های پیچیده¹ و قوانین مرتبط با آن‌ها توضیح داد [8] [11] [14]. در یک شبکه، رأس‌ها برابر با عناصر اصلی سیستم بوده و هر دو رأس که با یکدیگر ارتباط دارند، با یک یال به هم وصل می‌نماییم. طی دهه 1970، زمانی که دانشمندان نکات بیشتری درباره رفتار نظام‌های پیچیده فهمیدند، علاقه بیشتری به نظام‌هایی پیدا کردند که ذرات، چیزهای ساده با رفتار ثابت نبودند، بلکه اموری با مقدراری هوش و توانایی انطباق یافتن با محیط زیست خود بودند. دانشمندان به بخش‌ها یا ذراتی که توانایی پردازش اطلاعات و انطباق رفتار خویش را دارند، عامل یا کارگزار (Agent) گفته و نظام‌هایی که کارگزاران در آن تعامل دارند؛ نظام‌های تطبیقی پیچیده می‌گویند. از جمله نظام‌های تطبیقی پیچیده می‌توان به سلول‌ها در دستگاه ایمنی بدن، اورگانیزم‌های تعاملی در یک اکوسیستم و کاربران در اینترنت اشاره نمود. با پیدایش رایانه‌های با قدرت تحلیل بالا در دهه 1980، دانشمندان توانستند به پیشرفت‌های سریعی در درک نظام‌های تطبیقی پیچیده در جهان طبیعی دست یابند. چنین نظام‌هایی را به مثابه شکل دهنده‌ی یک طبقه سراسری با بسیاری رفتار مشترک می‌بینند. پژوهشگران علوم اجتماعی با پیروی از این جریانات، شروع به طرح این پرسش نمودند که آیا اقتصاد نیز یک نوع نظام تطبیقی پیچیده نیست؟ بدیهی‌ترین ویژگی اقتصاد این است که در آن، مجموعه‌هایی از مردم به شیوه‌های پیچیده با یکدیگر تعامل دارند، اطلاعات را پردازش کرده و رفتارشان را تطبیق می‌دهند.

1. Complex network

در دهه‌های 80 و 90 میلادی، پژوهشگران شروع به پژوهش در رابطه با مدل‌هایی از پدیده‌های اقتصادی کردند که تفاوت‌های بنیادی با مدل‌های سنتی داشتند. این مدل‌ها به جای اینکه اقتصاد را به صورت یک نظام تعادلی ایستا توصیف کنند آن را به صورت کندوی زنبور با فعالیت‌های پویا ارایه نمودند که هیچ تعادلی در افق آن دیده نمی‌شود. به طور دقیق همانند الگوی گرداب که از تعامل مولکول‌های آب برمی‌خیزد. این مدل‌ها الگوهای پیچیده رونق و رکود و امواج نوآوری را نشان داده‌اند که از تعامل کارگزاران شبیه‌سازی شده پدیدار می‌شود، دقیقاً همانند آنچه در اقتصاد واقعی رخ می‌دهد. علاقه‌ی پژوهش به درک اقتصاد با عنوان یک نظام تطبیقی پیچیده طی دهه گذشته به سرعت رشد نموده است [6].

در واقعیت بازارهای سهام نیز با توجه به تعامل انواع شرکت‌ها و سرمایه‌گذاران، نوعی از شبکه‌های پیچیده چند عامله هستند. این نوع از شبکه‌های پیچیده ناشی از نوسانات قیمت میان سهام‌های مختلف بوده و پژوهش‌هایی که بر روی شبکه سهام‌های موجود در اکثر بازارها صورت پذیرفته، خاصیت‌های دنیای کوچک بودن¹ و بی‌مقیاسی² در شبکه حاصل از ماتریس همبستگی بازار سهام که در آن سهم‌ها به عنوان رأس و آثار تغییرات قیمتی میان سهم‌ها به عنوان یال‌ها در نظر گرفته می‌شود، یافت شده است [12] [17].

در این مقاله نویسندگان با توضیح شبکه‌های پیچیده سهام به ساختن شبکه سهام بورس تهران بر اساس روش حدآستانه³ پرداخته و در ادامه با بررسی بورس تهران از دیدگاه شبکه‌های پیچیده، نتایجی ارایه شده است. شناخت بازار بورس اوراق بهادار تهران از جنبه‌ها و زوایای مختلف می‌تواند ضمن پیش‌بینی بهتر آینده‌ی این بازار و تغییرات آن، ریسک سرمایه‌گذاری را کاهش داده و بازده بیشتری را دهد.

-
1. Small-world
 2. scale-free
 3. threshold method

کلیاتی در رابطه با شبکه های پیچیده سهام

کاربرد شبکه‌های پیچیده در حوزه مالی جهت مدلسازی ارتباط میان اتفاقات رخ داده در بازارهای مالی و آثار متقابل میان شرکت‌های موجود و بررسی این آثار از ابعاد گوناگون به وجود آمده است [13].

بخشی از ادبیات موضوع مربوط به ساختارشناسی شبکه‌ها و بخشی نیز در راستای استنتاج نتایج از آن بوده و در راستای به کارگیری مفاهیم مربوط به شبکه‌های پیچیده در جهت درک چگونگی تعاملات سهام‌های موجود در بازار بورس و اثر آن بر کلیت شبکه سهام، است. در واقع ما با استفاده از مدلسازی شبکه سهام‌ها سعی در درک رفتار آنها داریم.

در هنگام صحبت از یک شبکه در واقع منظور یک گراف از یال‌ها و رأس‌ها است. مجموعه رئوس مجموعه‌ای یک بعدی از نقاط (در این مقاله مجموعه‌ای از سهام شرکت‌ها) است که می‌توان آن‌ها را از عدد 1 تا N شماره‌گذاری نمود. در مقابل یال‌ها، مجموعه‌ای دو بعدی از خطوط هستند که هر عضو آن میان دو رأس ارتباط ایجاد می‌نماید. از آنجا که اکثر پژوهش‌های انجام شده در بازار سهام مبتنی بر ماتریس همبستگی یال‌ها در شبکه پیچیده سهام است، یال‌ها را می‌توان نماینده آثار متقابل نوسان قیمت سهام‌ها بر یکدیگر دانست.

به‌طور کلی می‌توان دو دسته شبکه معرفی کرد. دسته اول شبکه‌ها (گراف‌ها)ی جهت‌دار و دسته دوم شبکه‌های بی‌جهت است. منظور از شبکه‌های جهت‌دار، شبکه‌هایی است که جهت اتصال یال‌ها در آن‌ها مهم است؛ یعنی جهت اتصال میان رأس‌ها توسط یال‌ها معلوم و مشخص و متفاوت تفسیر می‌شود. در مقابل در شبکه‌های بی‌جهت، نوع ارتباط ایجاد شده توسط یال‌ها میان رأس‌ها متفاوت نبوده و تفسیر واحدی از نوع ارتباط استنباط می‌شود. بنابراین؛ در شبکه‌ها، شکل ارتباط میان رئوس بسته به نوع شبکه متفاوت تفسیر می‌شود. در پژوهش مورد نظر نیز ارتباط میان سهام‌های موجود از جنس شبکه‌های بی‌جهت ارزیابی می‌شود.

مجموعه رئوس و اتصالات یک شبکه را می‌توان در قالب یک ماتریس $N \times N$ نمایش داد. این ماتریس، ماتریس مجاورت یا همسایگی نامیده می‌شود. این ماتریس کاربردهای بسیاری در مسایل مربوط به شبکه دارد. در ضمن مقادیر ویژه این ماتریس و تابع توزیع آن بیانگر ویژگی‌های خاصی از شبکه هستند.

درواقع شبکه‌های واقعی با خاصیت دنیای کوچک، خاصیت کوتاهی طول مسیر را از شبکه‌های تصادفی و خاصیت بالا بودن ضریب خوشگی را از شبکه‌های منظم به دست آورده‌اند.

هر شبکه پیچیده از تعدادی hub (با درجه اتصال بالا) و تعدادی node (مرکز یا رأس با درجه اتصال کم) تشکیل شده است که توسط اتصالاتی با یکدیگر ارتباط می‌یابند. امروزه و پس از پژوهش‌های فراوان به این نکته دست یافته‌اند که شبکه‌های پیچیده در حوزه‌های مختلف از جمله بازار سهام و .. شباهت‌های ساختاری بسیاری به یکدیگر داشته و اکثراً دارای خاصیت بی‌مقیاسی هستند. منظور از این خاصیت این است که شبکه دارای تعداد کمی رأس با درجه بالا و تعداد زیادی رأس با درجه پایین بوده و در حقیقت همان خاصیت اعداد بزرگ است که خود را در قالب توزیع درجات نمایش می‌دهد [8].

در نهایت برای توصیف یک شبکه واقعی می‌توان از مدل‌های تعمیم یافته تری استفاده نمود. در این مدل‌ها به دنبال بررسی تحول یک شبکه واقعی هستیم. موقعی می‌توان به مدلی موفق در توصیف یک شبکه واقعی دست یافت که به مراحل رشد، تشکیل و گسترش یک شبکه توجه نماییم. در واقع ماهیت پویای شبکه‌های واقعی که هر روز در حال تکامل و افزایش یا کاهش تعداد اعضای شبکه هستند، نوع تحلیل شبکه‌ها را متفاوت خواهد ساخت. به طور مثال در یک شبکه اقتصادی، رئوسی که دارای همسایه‌های درجه اول بیشتری هستند، با شانس بالاتری شرکایی جدید پیدا می‌کنند. بر عکس شرکت‌های کوچک‌تر که دارای همسایه‌های درجه اول کمتری دارند، به راحتی از انزوا خارج نخواهند شد.

پیشینه‌ی پژوهش

در سال 1998 واتر و استروگیتز مدلی را در زمینه شبکه‌های پیچیده ارائه نمودند که بسیاری از ویژگی‌های دنیای کوچک را برآورده می‌ساخت [5]. در ادامه در سال 1999 مدل دیگری توسط Newman-Watts ارائه شد که مشکلات پیش آمده در مدل قبلی را رفع نموده و به سمت تحلیل شبکه‌های واقعی رهنمون شده است [9].

منتگنا (Mantegna) برای اولین بار شبکه سهام را بر اساس همبستگی تغییرات قیمتی بنا نمود. وی شبکه خویش را بر مبنای سهام‌های دو مجموعه S&P500 و DJIA30 در بازه

زمانی 1989 تا اکتبر 1995 بنا نمود [12]. انلا و همکاران (Onnela et al.) به ساختن شبکه سهام بازار نیویورک بر اساس روشی به نام "گراف دارایی" پرداختند. آن‌ها به بررسی خصوصیات مختلف این شبکه از خواص توپولوژیکی، تعداد و اندازه عناصر مستقل و ضریب خوشگی آن و مقایسه اطلاعات به دست آمده از این شبکه با یک شبکه کاملاً تصادفی پرداختند [7]. تومینلو و همکاران (Tumminello et al.) به پژوهش در مورد پرتفولیوی از 300 عدد از بزرگ‌ترین سهام‌های بازار نیویورک در طول بازه زمانی 2001 الی 2003 و خواص ساختاری آن شبکه پرداختند [10].

بگینسکی و همکاران (Boginski et al.) به ساختن شبکه 6546 سهم از بازار سهام آمریکا در طول 500 روز معاملاتی متوالی در طول سال‌های 2000 الی 2002 پرداختند. در این پژوهش به بررسی خواص این شبکه و یافتن عناصر مستقل و ضریب خوشگی آن اقدام نمودند [15].

وی چیانگ هووانگ و همکاران (Wei-Qiang Huang et al.) در مقاله خود به تشریح ساختار شبکه سهام بازار چین در طول 1198 روز کاری در بازه 2003-2007 و مشتمل بر 1080 سهم، پرداختند. آن‌ها در این مقاله به تشریح خاصیت بی‌مقیاسی شبکه سهام یاد شده و به دست آوردن توزیع ضرایب همبستگی، ضریب خوشگی¹ و عناصر مستقل بازار چین اقدام نمودند. روش مورد استفاده در مقاله آن‌ها، استفاده از روش "حد آستانه" است. در این روش به ازای مقادیر همبستگی پایین‌تر از عدد آستانه، عدد همبستگی را برابر صفر و برای همبستگی‌های بالاتر از عدد آستانه، عدد همبستگی را برابر یک فرض می‌نمایند [17].

نحوه‌ی ساختن شبکه سهام و موارد مربوط به آن

همان‌طور که پیش از این نیز گفته شد، اکثر پژوهش‌های انجام شده، در رابطه با شبکه بازار سهام مبتنی بر ماتریس همبستگی میان بازده سهام‌ها است. در رابطه با ایجاد ماتریس همبستگی بر اساس بازده‌ها باید به این نکته توجه داشت که با توجه به فرض حرکت لگاریتمی قیمت سهام، روش کار به این شرح است که ابتدا به محاسبه بازده نرمال لگاریتمی هر سهم طبق رابطه (2) و سپس با استفاده از رابطه (3) به محاسبه درایه‌های ماتریس همبستگی می‌پردازیم.

1. clustering coefficient

$$G_i(\tau) = \ln P_i(\tau) - \ln P_i(\tau - \Delta\tau) \quad (1)$$

$$g_i(t) = \frac{G_i(t) - \langle G_i \rangle}{\sigma_i} \quad (2)$$

$$C_{ij} = \langle g_i(t)g_j(t) \rangle \quad (3)$$

حد آستانه: منظور از حد آستانه در ساختار سهام بازار، این است که ارتباطها و همبستگی‌هایی که کوچک‌تر از عدد آستانه است، برابر صفر و چنانچه بزرگ‌تر از آن باشد؛ برابر یک قرار می‌دهیم.

$$E = \begin{cases} e_{ij} = 1 & i \neq j \quad \text{and} \quad C_{ij} \geq \theta \\ e_{ij} = 0 & i = j \quad \text{or} \quad C_{ij} < \theta \end{cases} \quad (4)$$

در این روش که همان روش اصلی تحلیل شبکه‌های پیچیده سهام در این پژوهش است، طبق تعریف، به همبستگی‌های کوچک‌تر از حد آستانه عدد صفر و به همبستگی‌های بزرگ‌تر از آن عدد یک را اختصاص می‌دهیم. بنابراین، این عمل، درحقیقت نوعی فیلترسازی برای فهم شبکه و انجام پژوهش روی آن است. توزیع درجات شبکه سهام: درجه هر رأس، منظور تعداد رئوس متصل به هر رأس (سهام) است که از فرمول زیر به دست می‌آید [17].

$$k_i = \sum_{j \neq i} e_{ij} \quad (5)$$

در دنیای واقع ما به دنبال تابع توزیع درجات شبکه سهام هستیم. این تابع در حقیقت نوعی تابع احتمال بوده و به معنای آن است که احتمال اینکه یک رأس با درجه k بیابیم، چه اندازه است. نتیجه بسیاری از پژوهش‌ها در مورد شبکه‌های واقعی به این نتیجه به دست آمده است که توزیع درجات شبکه سهام از قانون اعداد بزرگ پیروی می‌نماید. شبکه‌هایی که توزیع درجات آن از قانون اعداد بزرگ پیروی می‌نمایند، شبکه‌های بی‌مقیاس می‌نامند.

$$P_k \propto k^{-\gamma} \quad (6)$$

عناصر مستقل: منظور از عناصر مستقل، آن دسته از سهام‌هایی است که به صورت مستقیم یا غیرمستقیم به یکدیگر مرتبط بوده و به غیر از ارتباط با یکدیگر، ارتباط با عنصر دیگری

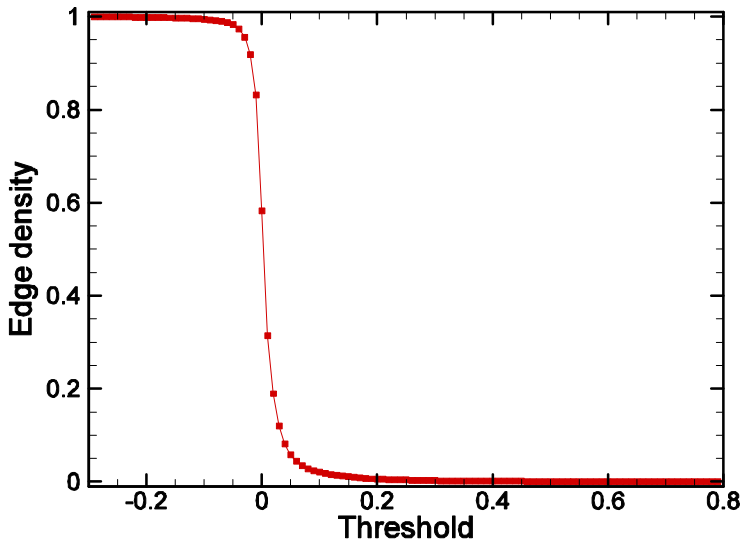
ندارند. این ارتباط با در نظر گرفتن آستانه‌های متفاوت و ایجاد ساختارهای گوناگون ناشی از آن، مختلف خواهد بود¹[16][17].

ضریب خوشگی: منظور از ضریب خوشگی، این است که به طور میانگین چند ارتباط ممکن میان اولین همسایگی‌های هر رأس (سهام) وجود دارد. این مفهوم رابطه نزدیکی با ریسک سیستمیک² موجود در شبکه سهام دارد؛ زیرا طبق تعاریف ریسک سیستمیک، احتمال نکول کردن سیستمی شبکه سهام و در نتیجه از هم پاشیدن شبکه سهام را می‌توان از طریق همبستگی‌های درجه اول مشاهده نمود [5][9][17].

تجزیه و تحلیل داده‌ها

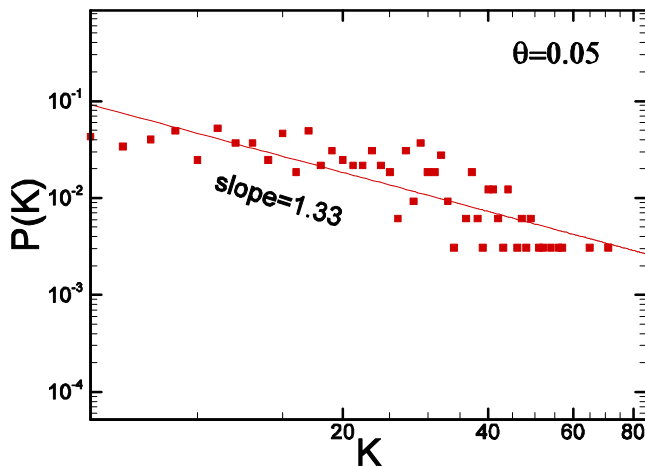
در این پژوهش از داده‌های مربوط به قیمت 325 سهم بازار بورس اوراق بهادار تهران در طول 1291 روز کاری از 1384/1/6 لغایت 1389/5/4 استفاده شده است. در مورد ساختار شبکه بورس تهران از روش "حد آستانه" که توضیح آن در دستور پیشین گفته شد، استفاده شده است. اساس کار در این روش، محاسبه پارامترهای شبکه به ازای مقادیر مختلف حد آستانه است. در نمودار (1) تراکم یال‌ها که همان ارتباطات موجود در شبکه در مقابل تعداد کل روابط ممکن به ازای حدود آستانه مختلف است، ترسیم شده است. همانطور که در این شکل مشاهده می‌شود، به ازای افزایش حد آستانه درصد تراکم ارتباطات کاهش می‌یابد. این امر در اطراف میانگین همبستگی‌ها شدت بالایی می‌یابد و به مفهوم اثرگذاری مهم مقدار میانگین بر شبکه سهام است. با توجه به آنکه مفهوم تراکم یال‌ها نوعی از درجه ارتباط میان سهام‌های بازار را نشان می‌دهد، طبعاً هر چه این ارتباط بیشتر شود، احتمال سرایت اتفاقات سیستمیک به رأس‌های دیگر افزایش می‌یابد؛ بنابراین، به نوعی مفهوم ریسک سیستمیک را در بردارد.

1. منظور از ارتباط، یعنی حرکت قیمتی یک سهم در عنصر مزبور باعث حرکت مستقیم یا غیر مستقیم سایر سهام‌های موجود در آن عنصر شود.

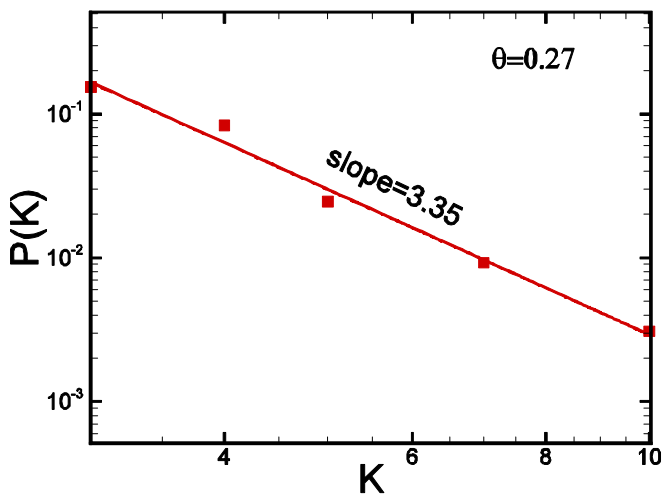


نمودار 1. تراکم یال‌ها (ارتباطات) در شبکه سهام به ازای حد آستانه‌های متفاوت

در ادامه به بررسی خاصیت بی‌مقیاسی در شبکه سهام می‌پردازیم. برای این مهم به بررسی تعمیم‌پذیری رابطه (6) به ازای حدود آستانه متفاوت می‌پردازیم. جهت تفهیم بهتر موضوع، دو مورد از توزیع احتمالات رئوس (سهام‌ها) شبکه بورس اوراق بهادار تهران در فضای لگاریتمی ($\log\text{-}\log$) به ازای دو حد آستانه 0.05 و 0.27 در ادامه می‌پردازیم. به مخالف شیب به دست آمده از این نمودارها، پارامتر مشخصه شبکه به ازای آن حد آستانه اطلاق می‌شود که در واقع همان درجه بی‌مقیاسی شبکه است.

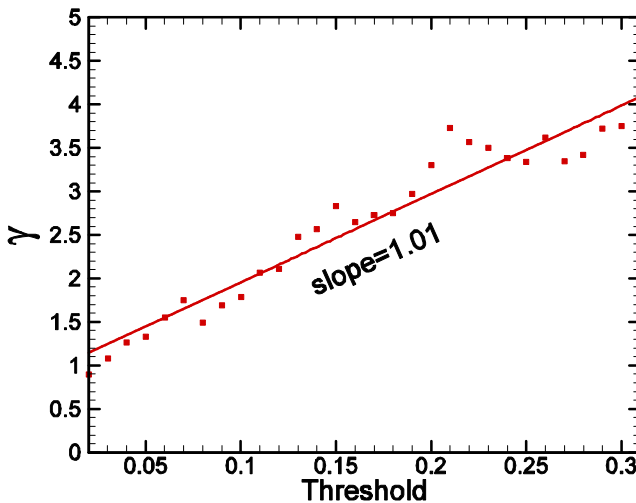


نمودار 2. تابع توزیع احتمال لگاریتمی درجات رئوس (سهام‌ها) شبکه بورس اوراق بهادار تهران به ازای حدآستانه 0.05



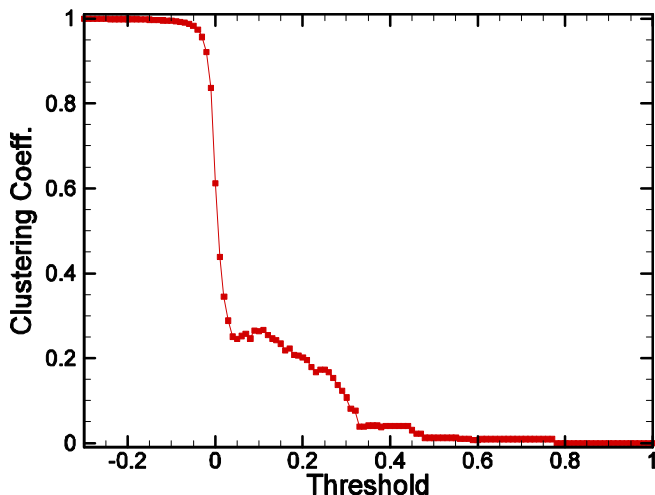
نمودار 3. تابع توزیع احتمال لگاریتمی درجات رئوس (سهام‌ها) شبکه بورس اوراق بهادار تهران به ازای حدآستانه 0.27

اینک در این مرحله به ترسیم رابطه بین شیب‌های به‌دست آمده از روابط بی‌مقیاسی نسبت به حد آستانه می‌پردازیم. با محاسبه مشخص شد، فقط در بازه حد آستانه $[0/02, 0/31]$ توزیع درجات رئوس از قاعده بی‌مقیاسی تبعیت می‌نماید. در ضمن رفتار این تابع صعودی و روبه بالا است؛ یعنی با افزایش حد آستانه، درجه رئوس تقریباً به هم نزدیک شده و تعداد رئوس با درجه بالا، کاهش می‌یابد. این مطلب به معنای کاهش ریسک سیستمیک است؛ زیرا در هنگام بحران احتمال آنکه رأسی قدرتمند شبکه سهام را دچار بحران نماید، کاهش می‌یابد.



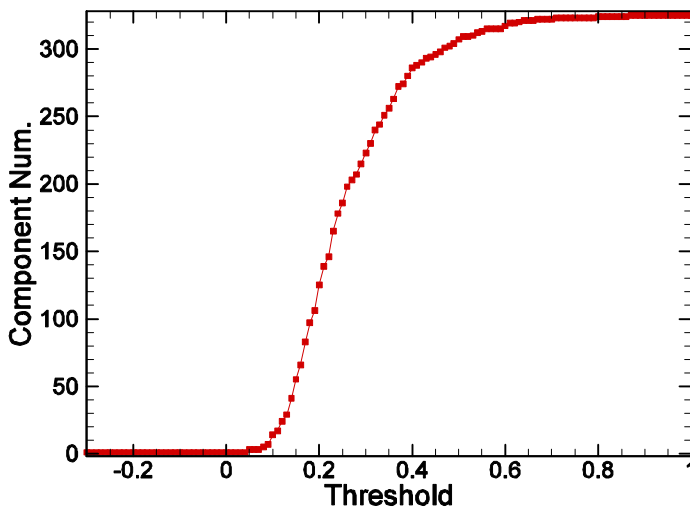
نمودار 4. پارامتر شبکه به ازای حدود آستانه متفاوت

از دیگر مسائلی که در شبکه سهام به آن می‌پردازیم، ضریب خوشگی شبکه است. همان‌طور که پیش از این گفته شد، ضریب خوشگی نمادی از ریسک سیستمیک است. در نمودار 5 مشاهده می‌نماییم که این ضریب به ازای افزایش حد آستانه، به شکل محسوسی کاهش می‌یابد و به این معنا است که درجه همبستگی میان شبکه سهام‌ها کاهش یافته و چنانچه اتفاق خاصی در این شبکه رخ دهد، از آنجا که اثر سیستمی این شبکه کم شده، تأثیرگذاری آن اتفاق کاهش می‌یابد.

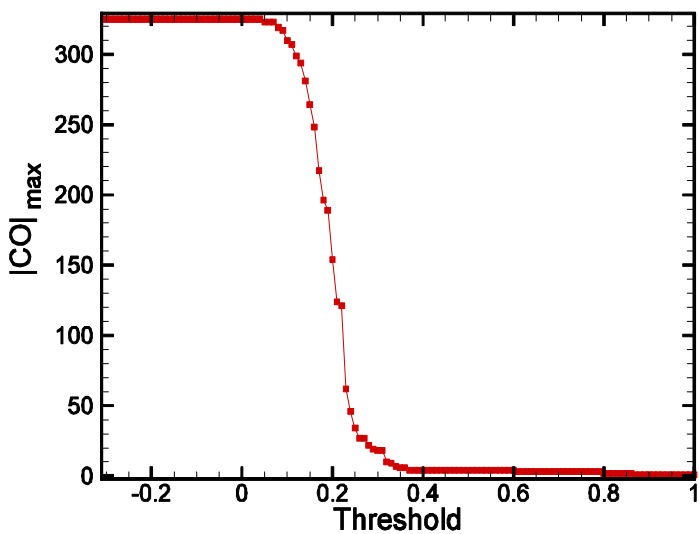


نمودار 5. ضریب خوشگی شبکه به ازای حدود آستانه متفاوت

مورد بعدی به دست آوردن عناصر مستقل شبکه و چگونگی پخش شدن آن‌ها است. همان‌طور که در نمودار (6) مشاهده می‌کنیم، تعداد عناصر مستقل با افزایش حدود آستانه افزایش می‌یابد. این بدان مفهوم است که حرکت اثرگذار قیمتی میان سهام‌ها چه به صورت مستقیم و چه غیرمستقیم در اثر افزایش حد آستانه سازنده شبکه، کاهش و بنابراین ریسک سیستمیک کمتر می‌شود. این مفهوم را می‌توان در نمودار (7) نیز که تعداد عناصر (سهام) بزرگ‌ترین عنصر شبکه را به ازای حدود آستانه مختلف به تصویر می‌کشد، مشاهده نمود. بنابراین، با افزایش حد آستانه، همبستگی‌های شبکه کاهش می‌یابد و مهار اتفاقات رخ داده در یک عنصر و یا تعدادی از عناصر به منظور جلوگیری از حرکت آن‌ها به سایر شبکه آسان‌تر می‌شود.



نمودار 6. تعداد عناصر مستقل به ازای حدود آستانه مختلف



نمودار 7. تعداد عناصر (سهام) موجود در بزرگ‌ترین عنصر شبکه به ازای حدود آستانه

نتیجه‌گیری

- بر اساس بررسی‌های انجام شده توسط روش "حد آستانه" به جمع‌بندی نکات زیر رسیدیم:
1. بازار بورس تهران به همراه شرکت‌های موجود در آن از خود رفتار بی‌مقیاسی را نمایش داده و بر این اساس بحث‌های مورد اشاره در مقالات باراباشی و استروگیتز در رابطه با شبکه‌های پیچیده در مورد آن صادق است. این نتیجه به این معناست که بازار بورس نیز همانند بسیاری از شبکه‌های دیگر از خود رفتار حاکم بر پدیده‌ها از جمله قانون اعداد بزرگ را نمایش می‌دهد. در نتیجه می‌توان از این نتیجه در توضیح رفتارهای غیرنرمال بازار سهام و پدیده‌هایی چون بحران و تحلیل‌های دینامیک بازار استفاده نمود.
 2. در محدوده‌ای که در حدود میانگین همبستگی‌ها است، نمودار تراکم یال‌ها از خود رفتار کاهنده شدیدی را بروز می‌دهد که این به معنای وجود اکثر همبستگی‌ها در حول و حوش میانگین است؛ بنابراین هرچه از حول و حوش میانگین دور شویم، ریسک سیستمیک بازار کاهش می‌یابد.
 3. در رابطه با وجود "عناصر مستقل" در ساختار بورس تهران به این نکته می‌توان اشاره نمود که با افزایش تعداد عناصر مستقل همانطور که انتظار می‌رفت، تعداد سهام‌های موجود در بزرگ‌ترین عنصر کاهش می‌یابد. این مطلب نیز به معنای کاهش ریسک سیستمیک است؛ زیرا پخش شدگی سهام‌های موجود در عناصر شبکه یکنواخت‌تر می‌شود.
 4. رفتار ضریب خوشگی به‌عنوان نماینده ریسک سیستمیک بازار در محدوده حرکت از همبستگی‌های منفی به‌سوی همبستگی‌های میانگین به شدت دارای افت و کاهش است که این به معنای وجود کوپل شدگی شدید در محدوده اطراف میانگین است که بر ریسک سیستمیک بازار اثر گذار است.
 5. البته باید توجه کرد؛ چنانچه فقط محدوده اطراف آستانه بزرگ‌تر از میانگین همبستگی‌ها را در نظر بگیریم، می‌توان افزایش میزان ضریب خوشگی را در هنگام حرکت از حد آستانه حدود مقدار میانگین تا مقدار آستانه اطراف 0.1 و سپس کاهش آن را مشاهده نمود. شاید علت این امر را با تمرکز بر دو نمودار 5 و 7 بتوان به‌دلیل وجود تعداد عناصر زیاد همبسته به هم در این محدوده و سپس کاهش آن‌ها نسبت داد.

در واقع اطراف حد آستانه 0.1 تعداد عناصر مستقل تغییرات کمی داشته است؛ ولی تعداد عناصر موجود در بزرگ‌ترین عنصر مستقل به شدت تغییر می‌کند و این به معنای کاهش ریسک سیستمیک در بازار در اطراف آستانه 0.1 به ازای افزایش تعداد عناصر همبسته به هم در یک عنصر مستقل است.

6. در مقایسه رفتار ضریب خوشگی و تراکم یال‌ها به این نکته می‌رسیم که حتی در محدوده‌هایی که اشاره شد، رفتار ضریب خوشگی به شدت رفتار تراکم یال‌ها افتادگی نداشته و این به معنای وجود ریسک سیستمیک حتی در زمان‌هایی است که تراکم یال‌ها محدود است.

7. آستانه حدی 0.05 نقطه شکست از حالت تک عنصری به چند عنصری است و این به مفهوم آن است که می‌توان با افزایش حد آستانه آثار تغییر قیمت در بخشی از ساختار بازار را از کل بازار حذف نمود.

8. بیشترین تغییر تعداد عناصر مستقل با افزایش حد آستانه از مقدار 0.22 به مقدار 0.23 اتفاق می‌افتد که این تغییر آستانه با بیشترین تغییرات در رابطه با کاهش مقادیر سهام موجود در بزرگ‌ترین عناصر نیز همگام بوده و بنابراین احتمالاً در صورت بحران در حول و حوش این مقدار آستانه، ساختار بورس احتمالاً شکننده تر خواهد بود.

از جمله پیشنهادهای مطروحه ساخت ماتریس همبستگی بر اساس سایر پارامترهای اثرگذار از جمله حجم بازار، درجه نقدشوندگی و... و مقایسه‌ی آن با نتایج پژوهش حاضر است که احتمالاً به نتایج جالبی منجر خواهد شد.

به‌عنوان پیشنهادی دیگر می‌توان به ترکیب پدیده‌های رفتاری در حوزه مالی از جمله انواع راهبردهای سرمایه‌گذاری در سهام و نیز ساختار مالکیت که در پژوهش‌های گذشته در مورد بازار بورس اوراق بهادار تهران بر روی آن تأکید شده است [1] [2] [3] [4] با مقوله شبکه‌های پیچیده و رفتار ریسک سیستمیک بازار و اثر راهبردهای مزبور بر آن پرداخت.

منابع

1. فدایی‌نژاد محمد اسماعیل، صادقی محسن، بررسی استراتژی‌های مومنتوم و معکوس در بورس اوراق بهادار تهران، فصلنامه پیام مدیریت 1385؛ 5(1718).

2. محمدی‌شاپور، قالیباف اصل حسن، مشکئی مهدی، بررسی اثر ساختار مالکیت بر بازدهی و ارزش شرکت‌های پذیرفته شده در بورس اوراق بهادار تهران، فصلنامه تحقیقات مالی 1388؛ 11(28).

3. مهرانی ساسان، نونهال نهر علی اکبر، ارزیابی واکنش کمتر از حد مورد انتظار سرمایه‌گذاران در بورس اوراق بهادار تهران، فصلنامه بررسی‌های حسابداری و حسابرسی 1387؛ 54: 117-136.

4. یگانه یحیی و همکاران، بررسی رابطه بین سرمایه‌گذاران نهادی و ارزش شرکت، فصلنامه بررسی‌های حسابداری و حسابرسی 1387؛ 52: 107-122.

5. D.J.Watts, S.H.Strogatz, Nature 1998; 393.

6. Eric D Beinhocker, The origin of wealth, Evolution, Complexity and the Radical Remaking of Economics, Harvard business school press; 2010.

7. J.P.Onnela, K.Kaski K, J.Kertesz, The European Physical Journal B 2004; 38.

8. M.E.J.Newman, SIAM Review 2003; 45.

9. M.E.J.Newman, D.J.Watts, Physica Letters A 1999; 263.

10. M.Tumminello, T.D.Matteo, T.Aste, R.N.Mantegna, The European Physical Journal B 2007; 55.

11. R.Albert, A.L.Barabasi, Reviews of Modern Physics 2002; 74.

12. R.N.Mantegna, The European Physical Journal B 1999; 11.

13. S.W.Chen, Journal of Management Science in China 1999; 2.

14. T.Zhou, W.J.Bai, B.H.Wang, et al., Physics 2005; 34.

15. V.Boginski, S.Butenko, P.M.Padalos, Computational Statistics & Data Analysis 2005; 48.

16. W.Aiello, F.Chuang, L.Lu, Experimental Mathematica 2001; 10.

17. W.Q.Huang, X.T.Zhuang, S.Yao, Physica A 2009; 388.