مجله مهندسی مالی و مدیریت اوراق بهادار
شماره بیست و پنجم / زمستان ۱۳۹٤

تحلیل زنجیره‌های نزول (DRAWDOWNS) بورس اوراق بهادار تهران با استفاده از تبدیل موجک

احمد قلی برکیش[۱]

تاریخ دریافت: ۹۴/۲/۶ تاریخ پذیرش: ۹۴/۵/۲۳

چکیده

توصیف موفقیت‌آمیز پویایی‌های قیمت‌های سهام به‌ویژه پیش‌بینی کاهش‌های شدید می‌تواند تأثیر بسیار زیادی بر روی مدیریت ریسک داشته باشد. از سوی دیگر، از آنجایی که تحلیل موجک به طور همزمان مؤلفه‌های فرکانسی (مقیاس‌ها) و تمرکز مکانی آن‌ها در طول زمان را در نظر می‌گیرد، می‌تواند ابزار مناسبی برای تحلیل پویایی‌های سری‌های زمانی بازارهای مالی باشد. در این مطالعه با استفاده از ضرایب تبدیل موجک (نگاره مقیاس–زمان) ویژگی‌های سری زمانی شاخص کل بورس اوراق بهادار تهران در هنگام مواجهه با سقوط‌ها و زنجیره‌های نزول مورد بررسی قرارگرفته است. بدین منظور از شاخص به دست آمده بر مبنای ضرایب تبدیل موجک و داده‌های شاخص کل قیمت بورس اوراق بهادار تهران در بازه زمانی ۱۳۹۱/۱۱/۲۳ تا ۱۳۹۲/۱۱/۹ برای بررسی و پیش‌بینی سقوط‌های بازار بورس تهران استفاده نموده‌ایم. نتایج این مطالعه و بررسی نشان می‌دهد که شاخص مذکور از توان بالایی برای پیش‌بینی و رصد سقوط‌های شدید شاخص کل بورس اوراق بهادار تهران برخوردار است و می‌تواند به عنوان یک روش برای پیش‌بینی تغییرات ناگهانی آن مورداستفاده قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: زنجیره نزول، اختلالات ناگهانی در بازار سهام، تبدیل موجک.

۱- دانشجوی دکتری اقتصاد دانشگاه فردوسی مشهد و دانشجوی ریاضی کاربردی کالج دانشگاه فردوسی مشهد.
gbarkish@gmail.com

۱- مقدمه

توصیف موفقیت‌آمیز پویایی‌های قیمت سهام به‌ویژه پیش‌بینی کاهش‌های شدید می‌تواند اهمیت بسیار بالایی برای مدیریت ریسک داشته باشد. بازار اوراق بهادار به عنوان یک بازار متشکل و رسمی سرمایه در هر اقتصادی شناخته می‌شود که مهم‌ترین وظیفه آن تجهیز و تخصیص منابع مالی و تبدیل آن‌ها به سرمایه است؛ بنابراین از ارکان مهم اقتصاد محسوب شده و می‌تواند نقش مهمی در رشد و توسعه اقتصادی کشورها داشته باشد، از این رو هرگونه اخلالی در آن تخصیص بهینه سرمایه را با مشکل مواجه خواهد نمود. این نوع اختلال قیمت‌ها سبب گسترش نگرانی‌ها و ایجاد سردرگمی شدید در سرمایه‌گذاران، ایجاد نااطمینانی نسبت به عملکرد بازارهای مذکور و درنهایت کاهش اعتماد عمومی سرمایه‌گذاران به این نوع بازارها خواهد شد، به همین دلیل در طول دهه‌های گذشته تلاش‌های بسیاری برای پیش‌بینی نوسانات و سقوط‌های شدید بازارهای مالی صورت گرفته است و مدل‌های بسیاری در این حوزه توسط محققین برای تخمین رفتار آتی این نوع بازارها و پیش‌بینی پویایی‌های قیمت سهام ارائه شده است تا شرایط مطلوب تخصیص بهینه منابع مالی و امکان تصمیم‌گیری بهتر فراهم آید.

در کشور ما نیز بورس اوراق بهادار تهران به عنوان یکی از ارکان مهم بازار سرمایه کشور در چند سال اخیر و به خصوص بعد از اجرای طرح هدفمندی یارانه‌ها به کانون توجه عموم افراد جامعه برای سرمایه‌گذاری تبدیل شده است. نگاهی به کارنامه عملکردی بورس اوراق بهادار تهران نشان می‌دهد که به تدریج و در طول زمان به اهمیت این بازار در اقتصاد کشور افزوده شده است، به‌گونه‌ای که شاخص سهام که در گذشته اهمیت چندانی در اقتصاد کشور نداشته است امروزه تغییرات آن حساسیت‌های بسیار زیادی نه‌تنها در حوزه‌های اقتصادی بلکه حتی در حوزه‌های غیراقتصادی به دنبال دارد و توجه بسیاری از مسئولان و صاحب‌نظران را در جهت تلاش برای ارتقا جایگاه و رونق آن به خود جلب نموده است. با این حال این بازار در طول سال‌های اخیر و به‌ویژه از اواسط دی‌ماه ۱۳۹۲ شاهد سقوط‌های بسیار شدیدی بوده است، مطابق با آمارها در فاصله زمانی اواسط دی‌ماه ۱۳۹۲ تا اواسط دی‌ماه ۱۳۹۳ شاخص کل بورس در حدود ۲۲ هزار واحد کاهش یافته است، همچنین این شاخص فقط در طول یک هفته کاری بعد از ۱۵ دی‌ماه ۱۳۹۲ حدود ۴۰۰۰ واحد کاهش را تجربه نمود. این کاهش‌های شدید بورس می‌تواند به اعتماد سرمایه‌گذاران لطمات جبران‌ناپذیری زده و سبب خروج آن‌ها از این بازار شود. از این رو ارائه روش‌های آماری که با به‌کارگیری آن‌ها بتوان رفتار آتی بورس را پیش‌بینی نمود می‌تواند گام مهمی در جهت بهبود نحوه تصمیم‌گیری برای انجام معاملات و کاهش تبعات منفی سقوط‌های شدید باشد.

به همین دلیل در این مطالعه با استفاده از تبدیل موجک و توزیع ضرایب مبتنی بر آن ویژگی‌ها و پویایی‌های شاخص کل بورس اوراق بهادار تهران را در هنگام مواجه‌شدن با تغییرات و سقوط‌های ناگهانی مورد مطالعه قرار می‌دهیم. باقیمانده مقاله شامل بخش‌های زیر است، در بخش بعدی نخست مروری بر مطالعات انجام‌شده در این حوزه خواهیم داشت، پس از آن به‌طور مختصر به مبانی نظری تبدیل موجک اشاره خواهیم نمود. در ادامه ضمن توضیح مفهوم زنجیره نزول[1] به معرفی تعریف جدیدتر زنجیره نزول

ε-drawdowns یا زنجیره نزول دانه‌درشت[۲] که توسط جوهانسن[۳] (۲۰۰۳) ارائه شده است می‌پردازیم. سپس بر مبنای آن شاخص پیش‌نگر[۴] معرفی‌شده توسط کاتانو و یونیاما[۵] (۲۰۰۹) را برای شاخص کل بورس اوراق بهادار تهران به دست آورده و نتایج حاصل را در مقایسه با سری زمانی اصلی مورد ارزیابی قرار می‌دهیم و در قسمت پایانی نیز همراه با خلاصه بندی مطالب به ارائه بحث نهایی خواهیم پرداخت.

۲- مبانی نظری و مروری بر پیشینه پژوهش

از زمان بحران مالی جهانی در سال ۱۹۲۹، تلاش‌های بسیاری برای توضیح و تبیین عوامل اساسی این نوع رخداد صورت گرفته است. تغییرات ناگهانی در قیمت سهام می‌تواند به یکی از دو صورت صعودی و یا نزولی باشد. مجموعه این مطالعات ابتدا با مطالعه حباب‌های بازار مالی شروع شد. حباب را می‌توان به‌طور ساده به‌صورت افزایش در قیمت بر اثر انتظارات افزایشی آن تعریف نمود که سبب جذب خریداران جدید می‌شود. در پی این‌گونه افزایش قیمت‌ها، اغلب انتظارات معکوس و کاهش شدید قیمت‌ها پدید آمده که معمولاً به بحران‌های مالی انجامیده است (میرشمسی و هژبرکیانی،۱۳۷۹). توسعه نظریه حباب شامل سه مرحله به نام‌های نظریه حباب‌های عقلایی[۶] (بلانچارد و واتسون[۷] ۱۹۸۲)، نظریه حباب غیر عقلایی[۸] (دی لانگ[۹] و همکاران ۱۹۹۰) و نظریه پویایی‌های غیرخطی[۱۰] است. برخلاف دو نظریه ابتدایی نظریه سوم نیازی به فرض اینکه سرمایه‌گذاران عقلایی هستند یا در نظر گرفتن روابط پیچیده میان رفتار مالی و نظریه‌های مدرن مالی ندارد. توصیف دقیق و موفقیت‌آمیز مکانیسم عملکرد حباب‌ها با استفاده از این روش آن را به‌عنوان یک روش پرکاربرد در حال حاضر تبدیل نموده است (چن و لی[۱۱]،۲۰۱۲).

یکی از رویکردها در این مطالعات استفاده از این فرض بوده است که رفتار پویایی‌های قیمت سهام دقیقاً قبل از سقوط شباهت بسیار نزدیکی به برخی از پدیده‌های فیزیکی دارد (جوهانسن و سورنته[۱۲]،۲۰۰۱ و جوهانسن[۱۳]،۲۰۰۳). به‌عنوان نمونه جوهانسن (۲۰۰۳) نشان داده است که رفتار قیمت‌ها در بازار سهام، دقیقاً قبل از تغییرات ناگهانی از خود الگوهایی بسیار مشابه آنچه در پدیده زمین‌لرزه[۱۴] مشاهده می‌شود نشان می‌دهند. چن[۱۵] (۲۰۰۲،۱۹۹۶) نیز با رویکرد متفاوت دیگری و با کمک دو مدل ریاضی تطبیق داده‌شده برای استفاده در بازارهای مالی نشان داده است که امکان مشاهده آشوب‌ها قبل از رخداد در بازارهای مالی وجود دارد.

همچنین سورنته[۱۶]، جوهانسن[۱۷] و بوخواد[۱۸] در سال ۱۹۹۶ مدل ریاضی قاعده تناوب لگاریتمی (LPPL) با نوسانات عمدتاً سینوسی که اندازه آن در هنگام نزدیک شدن تغییرات ناگهانی تمایل به کوچک‌تر شدن دارد، در حالی که نوسانات و فرکانس آن تشدید می‌شود را ارائه داده‌اند. آن‌ها در مطالعات خود وجود علائم لگاریتم پریودیک را در برخی بازارهای مالی موردمطالعه شناسایی کردند که می‌توانست به‌وسیله یک مدل فیزیکی مدل‌سازی گردد و زمان سقوط تخمین زده شود؛ اما به اعتقاد برخی از محققین تخمین تغییرات ناگهانی از طریق مدل LPPL مبتنی بر فرض نوسانات لگاریتم-پریودیک در بازه‌های طولانی قیمت سهام است؛ درنتیجه سقوط‌های کوچک به خاطر محدودیت زمانی نمی‌توانند به‌وسیله مدل LPPL تحلیل شوند،

در این حالت یکی از جایگزین‌های مناسب می‌تواند تبدیل موجک باشد؛ از آنجایی که تبدیل موجک به‌طور همزمان مؤلفه‌های فرکانسی (مقیاس‌ها) و تمرکز مکانی آن‌ها در طول زمان را در نظر می‌گیرد، می‌تواند ابزار مناسبی برای تحلیل سری‌های زمانی بازارهای مالی باشد (چن و لی،۲۰۱۲). کاتانو و یونیاما (۲۰۰۹ و ۲۰۱۰) با تأکید بر این ویژگی و استفاده از موجک کلاه مکزیکی، نگاره مقیاس-زمان سری‌های زمانی روند و سیکل زدایی شده شاخص بورس اوراق بهادار سائوپائولوی برزیل[۱۹] و شاخص میانگین داو جونز[۲۰] را ترسیم نموده‌اند. این نگاره‌ها الگوهای گردباد[۲۱] مانندی را در هنگام عبور از زمان‌های بحرانی سقوط از خود نشان می‌دهند، آن‌ها بر مبنای ضرایب تبدیل موجک شاخصی را برای بررسی کمی این الگوها ارائه داده‌اند، مطالعات آن‌ها نشان می‌دهد که استفاده از این شاخص توانایی بالایی برای پیش‌بینی و مانیتورینگ سقوط در شاخص‌های موردمطالعه دارد (کاتانو و یونیاما،۲۰۰۹). در مطالعه دیگری چن و لی (۲۰۱۲) با استفاده از شاخص پیش‌نگر معرفی‌شده به‌وسیله کاتانو ویونیاما (۲۰۰۹) ویژگی‌های بازار مالی بورس اوراق بهادار چین را مورد بررسی قرار داده‌اند، آن‌ها نتیجه گرفته‌اند که شاخص مذکور توان بالایی در پیش‌بینی و مانیتورینگ سقوط و زنجیره‌های نزول بازار مالی چین داراست و می‌توان از آن به‌عنوان یک ابزار باارزش برای پیش‌بینی بازار مالی استفاده نمود.

در کشور ما نیز مطالعات متعدی در زمینه کاربرد نظریه موجک در حوزه‌های اقتصادی و مالی انجام‌شده است. به‌عنوان نمونه انصاری (۱۳۸۶) به بررسی تأثیر استفاده از مقیاس‌های زمانی متفاوت در محاسبه ارزش در معرض ریسک با استفاده از تئوری موجک پرداخته است. جهانشاد و خلیلی (۱۳۹۲) نیز رابطه بین نرخ رشد دارایی‌های ثابت و بازده سهام در شرکت‌های پذیرفته‌شده در بورس اوراق بهادار تهران را برای بازه‌های زمانی مختلف و با استفاده از تبدیل موجک مورد بررسی قرار داده‌اند، نتایج مطالعات آن‌ها نشان می‌دهد که رابطه منفی در بازه شش‌ماهه و رابطه مثبت در بازه سه‌ماهه و سالانه بین نرخ رشد دارایی‌های ثابت با بازه سهام وجود دارد.

پازوکی و همکاران (۱۳۹۲) جهت بررسی و مطالعه میزان ارتباط و همبستگی بازارهای مالی از تبدیل موجک برای تجزیه سری‌های زمانی قیمت نفت، قیمت طلا، نرخ ارزهای مختلف و شاخص کل بورس اوراق بهادار تهران به مؤلفه‌های با مقیاس‌های زمانی مختلف آن‌ها استفاده نموده‌اند و با استفاده از آن‌ها میزان همبستگی متغیرهای مذکور در بازه‌های زمانی مختلف را محاسبه و مورد تجزیه تحلیل قرار داده‌اند. نتایج مطالعات آن‌ها نشان می‌دهد که میزان همبستگی متغیرها در بازه‌های زمانی مختلف متفاوت بوده و با میزان همبستگی مستقیم محاسبه شده بین متغیرها نیز تفاوت دارد با این حال حتی در مواقعی که همبستگی مستقیم معناداری بین دو متغیر وجود ندارد، همبستگی‌های معناداری در بازه‌های زمانی مختلف می‌تواند وجود داشته باشد. حسین عباسی نژاد و شاپور محمدی (۱۳۸۵) نیز در مطالعه خود از موجک به منظور تجزیه سری زمانی تولید ناخالص داخلی ایران استفاده کرده‌اند. نتایج تحقیقات آن‌ها نشان می‌دهد که روش موجک در شرایط تغییرات هموار سری‌های زمانی تفاوت زیادی با روش هودریک پرسکات ندارد و برای تشخیص سیکل‌ها در سری‌های زمانی با تغییرات ناگهانی بهتر از روش‌های دیگر عمل می‌کند.

۳- مدل‌های پژوهش و متغیرهای آن

۳-۱ تبدیل موجک

تجزیه موجک با استفاده از توابع پایه‌ای[۲۲] یک سری زمانی را به فضای فرکانس برده و آن را به‌صورت تابعی از مقیاس-زمان نشان می‌دهد، در این تبدیل نیز همانند تبدیل فوریه، سیگنال در یک تابع (تابع موجک) ضرب می‌شود و تبدیل به‌طور جداگانه برای قسمت‌های مختلف سری زمانی در بعد زمان محاسبه می‌شود؛ اما برخلاف تبدیل فوریه که از توابع پایه‌ای سینوسی بهره می‌برد، تجزیه موجک دارای توابع پایه‌ای پیوسته و ناپیوسته‌ی متفاوت است که همگی آن‌ها دارای انرژی محدود[۲۳] هستند. به‌صورت واضح‌تر یک موجک، شکل موج مانندی است که دارای طول زمانی محدود است که می‌تواند برای تبدیل سری زمانی زودگذر و نامانا نیز مورداستفاده قرار گیرد.

توابع خانواده موجک‌های ψ را می‌توان از باز (و فشرده نمودن) و شیفت یک تابع که موجک مادر نامیده می‌شود به دست آورد؛ بنابراین اگر تابع φ موجک مادر باشد آنگاه خانواده توابع ψ با استفاده از پارامتر مقیاس $a \neq 0$ و انتقال (شیفت) b به‌صورت رابطه ریاضی زیر تعریف می‌شوند:

$$\psi = \left\{ \varphi^{a,b}(.) \in L^2(R); \varphi^{a,b}(t) = |a|^{-1/2} \varphi\left(\frac{t-b}{a}\right), a \in R, b \in R \right\} \qquad (1)$$

که در آن $L^2(R)$ نمایانگر مجموعه‌ای از توابع قابل انتگرال‌گیری است به‌عبارت‌دیگر:

$$\left\{ f : R \to R \qquad s.t. \qquad \int_{-\infty}^{+\infty} |f(t)|^2 \, dt < \infty \right\}.$$

مطابق رابطه (۱) در حالت $b=0$ پارامتر a به‌صورت ساده پارامتر فشردن و بازنمودن موجک در طول محور زمان خواهد بود، همچنین در حالت $a=1$، b تابع موجک را به‌صورت ساده در طول محور زمان انتقال خواهد داد. زمانی که a و b پیوسته باشند ψ تابع پایه‌ای موجک پیوسته[۲۴] نامیده می‌شود. تحت برخی از فروض ψ یک مجموعه پایه‌ای را برای فضای $L^2(R)$ تشکیل می‌دهد و با استفاده از آن تبدیل موجک تابع f ($f \in L^2(R)$) با $\varphi^{a,b} \in \psi$ (برای هر a و b) به‌صورت رابطه زیر به دست می‌آید:

$$W_f(a,b) = \int_{-\infty}^{+\infty} f(t) \varphi^{a,b} dt.$$

در رابطه فوق $W_f(a,b)$ضرایب موجک نامیده می‌شوند. با داشتن ضرایب موجک می‌توان f را مجدداً با استفاده از رابطه زیر بازیابی نمود:

$$f(t) = \frac{1}{C} \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} W_f(a,b) \varphi^{a,b}(t) dt.$$

که در آن C وابسته به موجک مادر است و شرط مقبولیت[۲۵] نامیده می‌شود و از رابطه $C=\int_{-\infty}^{+\infty}\frac{|\hat{\varphi}(\omega)|^{۲}}{|\omega|}d\omega$ به دست می‌آید، در رابطه فوق $\hat{\varphi}(\omega)$ تبدیل فوریه موجک مادر (φ) است.

در این مطالعه از دو موجک مادر به نام‌های موجک مادر کلاه مکزیکی[۲۶] و موجک میر[۲۷] استفاده می‌نماییم، راحت‌تر است که موجک میر را در حوزه فرکانس به شکل زیر نمایش داد:

$$\varphi(\omega)=\begin{cases}\frac{e^{i\omega/۲}}{\sqrt{۲\pi}}\sin(\frac{\pi}{۲}v(\frac{۳}{۲\pi}|\omega|-۱)) & \frac{۲\pi}{۳}\le|\omega|\le\frac{٤\pi}{۳},\\ \frac{e^{i\omega/۲}}{\sqrt{۲\pi}}\cos(\frac{\pi}{۲}v(\frac{۳}{۲\pi}|\omega|-۱)) & \frac{٤\pi}{۳}\le|\omega|\le\frac{۸\pi}{۳},\\ o & |\omega|\notin[\frac{۲\pi}{۳},\frac{۸\pi}{۳}].\end{cases}$$

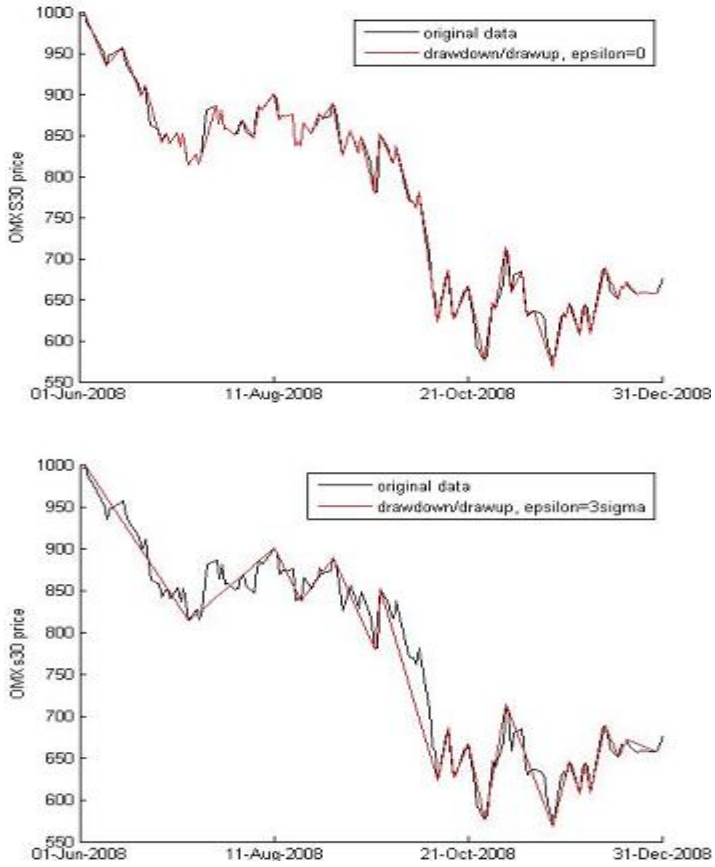
که در آن v یک تابع از R به R به شکل زیر است:

$$v(a)=a^{٤}(۳٥-۸٤a+۷۰a^{۲}-۲۰a^{۳}),\quad a\in[۰,۱]$$

موجک کلاه مکزیکی نیز به‌عنوان مشتق دوم تابع گوسین تعریف می‌شود.

۳-۲- زنجیره نزول

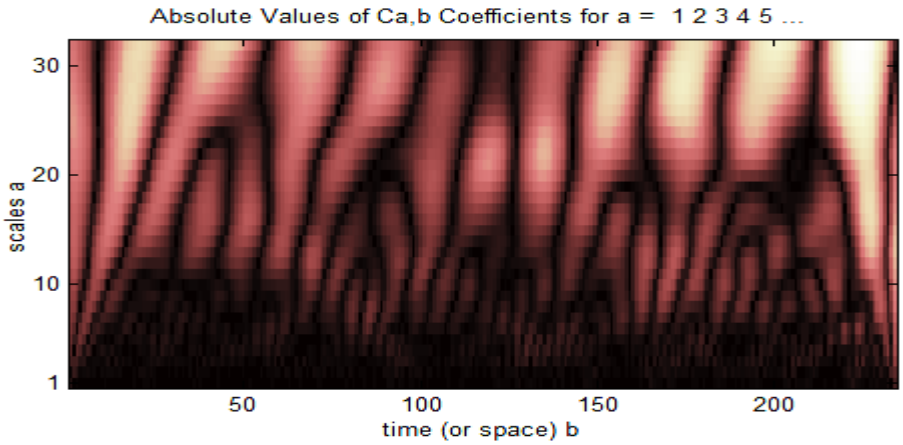
یکی از مفاهیم بازار سهام مفهوم دراودان یا زنجیره نزول است. زنجیره نزول به‌صورت کاهش مداوم در قیمت‌ها در طول روزهای متوالی تعریف می‌شود، بنابراین می‌توان آن را به‌صورت خسارت تجمعی از یک ماکزیمم تا مینیمم بعدی در قیمت‌ها در نظر گرفت. با این وجود به اعتقاد جوهانسن (۲۰۰۳) چون تعریف ماکزیمم (حداکثر) و مینیمم (حداقل) جز در حوزه ریاضی محض منحصربه‌فرد نیست، وی زنجیره نزول را به‌صورت «کاهش نسبی در قیمت‌ها از یک ماکزیمم محلی تا مینیم محلی دیگر با صرف‌نظر کردن از افزایش قیمت‌ها (نسبی یا مطلق) با اندازه « ε » در میان دو ماکزیمم» تعریف نموده است[۲۸]، وی این زنجیره نزول را ε-drawdowns یا اصطلاحاً زنجیره نزول دانه‌درشت نامیده است (ε نیز حد آستانه این زنجیره نزول است). جاکوبسن (۲۰۰۹) بر مبنای این تعریف الگوریتمی را برای تشخیص زنجیره‌های نزول و صعود در یک سری زمانی ارائه داده است. در شکل (۱) ترسیم نموداری یک سری زمانی و اعمال این نوع تعریف از زنجیره نزول/صعود[۲۹] به ازای مقادیر متفاوت ε ارائه‌شده است. در این مطالعه برای تشخیص زنجیره‌های نزول بورس اوراق بهادار تهران از $\varepsilon=۱٪$ استفاده شده است.



شکل (۱) ترسیم نموداری زنجیره نزول/صعود (ε-drawdown/drawup) به ازای مقادیر $\varepsilon = ۰$ و $\varepsilon = ۳\sigma$ برای یک سری زمانی منتخب (برگرفته از مطالعه جاکوبسن[۳۰] (۲۰۰۹))

۳-۳- استفاده از نگاره مقیاس-زمان برای تحلیل اختلالات ناگهانی بازار سهام

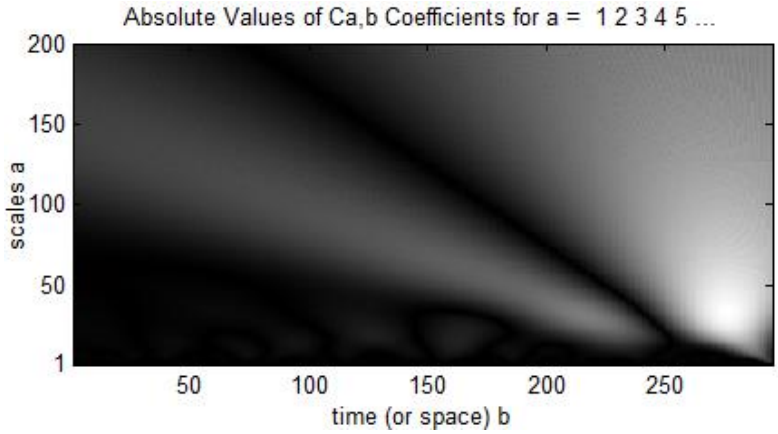
همان‌طور که قبلاً نیز ذکر گردید، از آنجایی که تحلیل موجک به‌طور همزمان مؤلفه‌های فرکانسی (مقیاس‌ها) و تمرکز مکانی آن‌ها در طول زمان را در نظر می‌گیرد می‌تواند ابزار مناسبی برای تحلیل سری‌های زمانی بازارهای مالی باشد. شکل (۲) نگاره مقیاس- زمان[۳۱] مربوط به ضرایب موجک با استفاده از موجک مادر میر برای سری زمانی موردمطالعه در این مقاله را نشان می‌دهد.



شکل (۲) نگاره مقیاس-زمان (ضرایب تبدیل موجک میر (Meyer)) سری زمانی شاخص کل بورس اوراق بهادار تهران پس از حذف مؤلفه‌های روند و سیکلی آن در بازه زمانی ۱۳۹۱/۱۱/۲۳ تا ۱۳۹۲/۱۱/۹

در نگاره‌های مقیاس-زمان، محور عمودی نشان‌دهنده مقیاس و محور افقی نشان‌دهنده زمان است. همچنین نواحی دارای رنگ روشن‌تر نشان‌دهنده وجود ضرایب با اندازه بیشتر و نواحی با رنگ‌های تیره‌تر نمایش‌دهنده ضرایب دارای اندازه کوچک‌تر می‌باشند. در تبدیل موجک مقیاس نسبت عکس با فرکانس دارد، به‌نحوی‌که مقیاس‌های کوچک متناظر با فرکانس‌های بالا و مقیاس‌های بزرگ‌تر متناظر با فرکانس‌های پایین‌تر هستند. از این رو پارامتر مقیاس در تحلیل موجک کارکردی شبیه مقیاس در نقشه‌ها دارد، بدین معنا که مقیاس‌های بالا معادل نگاه کلی و غیردقیق به یک سیگنال و مقیاس‌های پایین معادل نگاه دقیق و جزئی به یک سیگنال هستند. همان‌طور که از شکل (۲) مشخص است نواره‌های مربوط به ضرایب موجک مرتبط با مقیاس‌های کوچک باریک‌تر بوده که بیانگر شدیدتر بودن تغییرات ضرایب در این مقیاس‌هاست، این در حالی است که نواره‌های ضرایب موجک مقیاس-بزرگ به نسبت عریض‌تر هستند که دلالت بر کند بودن تغییرات ضرایب در مقیاس‌های متناظر دارد، از این رو عملاً نگاره مقیاس-زمان یک همبستگی مثبت بین فرکانس و تغییرات ضرایب موجک را نشان می‌دهد که می‌تواند به‌عنوان یک شاخص برای پیش‌بینی سقوط‌ها مورد استفاده قرار گیرد. از سوی دیگر با نزدیک‌تر شدن به تغییرات ناگهانی بازار سهام همراه با کاهش تدریجی شکاف‌های قیمتی[۳۲]، معاملات کوتاه‌مدت[۳۳] بیشتری در بازار ظاهر خواهند شد و قیمت‌ها نوسانات با فرکانس‌های بالا از خود نشان می‌دهند، این تغییرات در بازار سهام سبب افزایش نسبی اندازه ضرایب موجک (به‌ویژه در مقیاس‌های کوچک که متناظر با فرکانس‌های بالا هستند) می‌شوند (چن و لی،۲۰۱۲)، بنابراین تحلیل ضرایب تبدیل موجک از طریق بررسی الگوهای شکل‌گرفته در نگاره مقیاس-زمان می‌تواند به‌عنوان ابزاری برای اندازه‌گیری احتمال تغییرات ناگهانی در قیمت‌های سهام مورد استفاده قرار گیرد.

در این راستا، کاتانو ویونیاما (۲۰۰۹ و ۲۰۱۰) به بررسی تغییرات رخداده در ضرایب تبدیل موجک شاخص‌های موردمطالعه در هنگام نزدیک شدن به زمان‌های سقوط پرداخته‌اند. آن‌ها با استفاده از موجک کلاه مکزیکی، نگاره مقیاس-زمان سری‌های زمانی روند و سیکل زدایی شده شاخص بورس اوراق بهادار سائوپائولوی برزیل و شاخص میانگین داو جونز را ترسیم نموده‌اند. نگاره‌های مقیاس-زمان ترسیم‌شده شاخص‌های مذکور عمدتاً الگوهایی گردباد مانندی را در هنگام گذر از زمان‌های سقوط از خود نشان می‌دهند (این الگوها در نگاره مقیاس-زمان سری زمانی روند و سیکل زدایی شده شاخص کل بورس اوراق بهادار تهران که در شکل (۳) ترسیم شده است نیز مشهود است)؛ به عبارت دیگر در هنگام نزدیک شدن به زمان سقوط در یک شاخص نقاط قرار گرفته روی نوارهای عمودی با عرض مشخص در نگاره مقیاس-زمان مربوط به آن شاخص نسبتاً بزرگ‌تر (روشن‌تر) می‌شوند که می‌توان با تحلیل تغییرات اندازه آن‌ها نسبت به وجود احتمال تغییرات ناگهانی در قیمت‌های سهام آگاه شد.



شکل (۳) تبدیل موجک با استفاده از موجک کلاه مکزیکی برای سری زمانی شاخص کل بورس اوراق بهادار تهران پس از حذف مؤلفه‌های روند و سیکلی آن در بازه زمانی ۱۳۹۱/۱۰/۲۰ تا ۱۳۹۳/۱/۱۷،

همان‌طور که از شکل مشخص است این نگاره الگوی گردباد مانند را در عبور از زمان‌های بحرانی اواسط دی‌ماه ۱۳۹۲ نشان می‌دهد.

بر مبنای مطالب مطرح‌شده، ضرایب تبدیل موجک (نگاره مقیاس–زمان) می‌تواند برای بررسی احتمال تغییرات ناگهانی بازار سهام مورداستفاده قرار گیرد، ولی تعیین زمان بحرانی گذارها از طریق نگاره مقیاس-زمان تا حد بسیار زیادی امری ذهنی و سلیقه‌ای است، زیرا از یک‌سو قضاوت و تفسیر تغییرات رخداده در نگاره مقیاس-زمان برای تشخیص الگوهای خاص که بیانگر نزدیک شدن به زمان سقوط هستند امر کیفی است و از سوی دیگر اندازه سایه‌های خاکستری به دست آمده از تبدیل موجک در این نگاره تا حد بسیار زیادی خود به نوع موجک مورداستفاده بستگی داشته و مطلق بوده در حالی که تعیین زمان بحرانی گذارها

مستلزم بررسی مقادیر و تغییرات نسبی ضرایب می‌باشد. به همین دلیل کاتانو و یونیاما (۲۰۰۹) یک معیار و شاخص کمی برای تشخیص تغییرات ناگهانی در بازار مالی پیشنهاد داده‌اند که مقداری بین صفر و یک دارد:

$$\zeta(t) = \frac{n(t)}{N} \qquad (۲)$$

بر مبنای این رابطه هرچه ζ به یک نزدیک‌تر باشد احتمال سقوط بسیار بالاتر خواهد بود و زمانی که ζ به صفر نزدیک‌تر باشد بازار تمایل به حفظ روند خود دارد.

در این رابطه N تعداد ضرایب روی نوار عمودی با اندازه δ است و $n(t)$ نیز تعداد ضرایب دارای مقادیر بیشتر از یک حد آستانه مفروض می‌باشد. در این مقاله با توجه به روزانه بودن شاخص موردمطالعه اندازه عرضی نوار (δ)، یک روز در نظر گرفته‌شده است، همچنین بر مبنای سری زمانی موردمطالعه و آزمایش‌های متعدد حد آستانه ثابت ۲۰۰۰ برای شاخص پیش‌نگر انتخاب شد. به‌عنوان جایگزین‌های دیگر می‌توان به جای استفاده از اعداد ثابت از میانگین اندازه کل ضرایب موجک که می‌توان آن را به عنوان معیاری برای میانگین سایه‌های خاکستری نگاره مقیاس– زمان در نظر گرفت استفاده نمود (چن و لی، ۲۰۱۲).

۴-روش‌شناسی پژوهش

هدف این پژوهش بررسی ویژگی‌ها و پویایی‌های شاخص کل بورس اوراق بهادار تهران (TEPIX) در هنگام مواجهه با تغییرات و سقوط‌های ناگهانی با استفاده از ضرایب تبدیل موجک است؛ بدین منظور نخست با استفاده از روش حداقل مربعات مؤلفه‌های روند و سیکلی سری زمانی شاخص کل را به ترتیب برای سری زمانی اصلی و روند زدایی شده تخمین زده و سپس با استفاده از موجک میر ضرایب تبدیل موجک را برای سری زمانی فاقد مؤلفه سیکلی و روند به دست می‌آوریم؛ در گام بعدی به مقایسه شاخص پیش‌نگر مبتنی بر ضرایب موجک با نقاط سقوط به دست آمده توسط تعریف جدید زنجیره نزول جوهانسن (زنجیره نزول دانه‌درشت) برای شاخص کل بورس اوراق بهادار تهران می‌پردازیم و نتایج حاصل از آن را در پیش‌بینی و تشخیص زمان‌های سقوط بازار بورس اوراق بهادار تهران مورد ارزیابی آماری قرار خواهیم داد. درنهایت نیز امکان تشخیص زمان‌های سقوط و نحوه ارتباط آن‌ها با شاخص مذکور را جهت اتخاذ اقدامات احتیاطی بررسی خواهیم نمود. در یک نگاه اجمالی در این مطالعه به دنبال پاسخگویی به این سؤال می‌باشیم که آیا تبدیل موجک توانایی پیش‌بینی سقوط‌های بازار بورس اوراق بهادار تهران را دارد یا خیر؟

نوع این تحقیق کاربردی و روش مورداستفاده توصیفی-تحلیلی می‌باشد؛ همچنین برای گردآوری داده‌ها از روش‌های کتابخانه‌ای بهره گرفته شده است. سری زمانی مورداستفاده در این مقاله شاخص قیمت بورس اوراق بهادار تهران (TEPIX) در فاصله ۱۳۹۱/۱۱/۲۳ تا ۱۳۹۲/۱۱/۹ است که جمعاً شامل ۲۳۴ داده

می‌باشد. بازه زمانی به‌گونه‌ای انتخاب‌شده که شامل دوره نسبتاً آرام بورس در اواخر سال ۱۳۹۱ تا سقوط‌های بزرگ شاخص کل بورس در دی‌ماه ۱۳۹۲ باشد.

تمام برنامه‌های موردنیاز برای انجام این مطالعه توسط نگارنده مقاله در محیط برنامه‌نویسی R و متلب نوشته شده است[۳۴]، همچنین در برخی از بخش‌های مقاله نرم‌افزارهای SPSS وMinitab هم مورد استفاده قرار گرفته‌اند.

۵- نتایج پژوهش

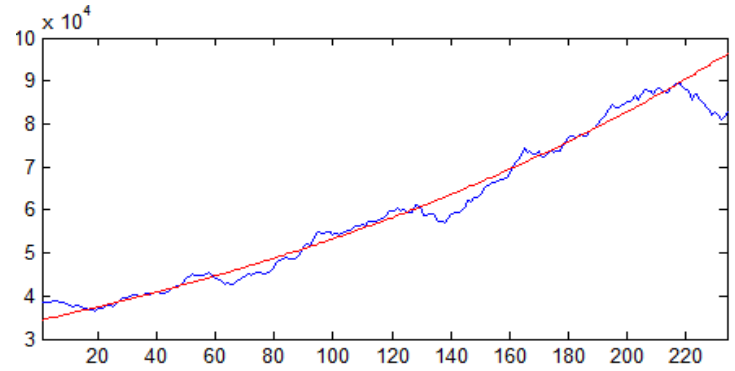
به دلیل وجود مؤلفه‌های روند و سیکلی در سری زمانی موردمطالعه، تجزیه موجک را نمی‌توان به‌صورت مستقیم برای آن بکار برد و باید این مؤلفه‌ها را از سری زمانی موردنظر حذف نمود. در این مطالعه برای تجزیه سری زمانی (تخمین مؤلفه‌های روند و سیکلی) از روش حداقل مربعات[۳۵] استفاده می‌شود و سری زمانی نهایی از کسر این مؤلفه‌ها از سری زمانی اولیه به دست می‌آید. بدین منظور نخست روند نمایی سری زمانی اصلی که آن را با $y_T(t)$ نشان می‌دهیم با استفاده از روش حداقل مربعات تخمین زده می‌شود. رابطه (۳) نتیجه تخمین روند نمایی را برای داده‌های موردبررسی نشان می‌دهد:

$$y_T = ۳۳۹۱۰e^{۰/۰۰٤۳۹t} \,, \bar{R}^۲ = ۰/۹۸٤ \qquad (۳)$$

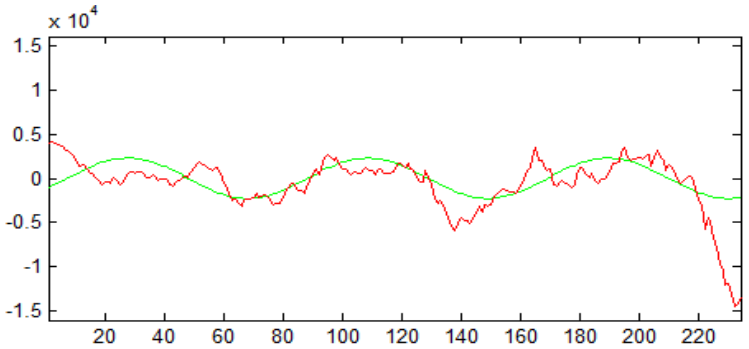
در گام بعد، $y_T(t)$ تخمین زده‌شده را از سری زمانی اصلی کسر می‌نماییم $(y(t)-y_T(t))$ و سپس مجدداً با استفاده از روش حداقل مربعات، مؤلفه سیکلی (دوره‌ای) سری به‌دست‌آمده را تخمین می‌زنیم که نتیجه تخمین آن در رابطه (۴) آمده است:

$$y_C = ۱۷۰٤\sin(۰/۰٦۹۹t + ۰/٤۳۹) \qquad ,\bar{R}^۲ = ۰/۵۳۸ \qquad (۴)$$

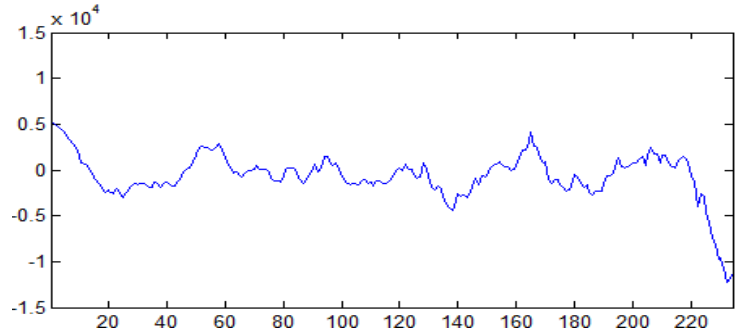
درنهایت با کسر سری تخمین زده‌شده از سری زمانی روند زدایی شده در مرحله قبل سری زمانی نهایی به دست می‌آید (نتیجه این مراحل به ترتیب در شکل‌های (۴)، (۵) و (۶) ارائه‌شده‌اند). حال تبدیل موجک را برای سری زمانی نهایی به کار می‌بریم. در این مطالعه برای تبدیل موجک و به دست آوردن شاخص مبتنی بر ضرایب موجک از موجک میر با محدوده مقیاس‌های ۱ تا ۱۲۰ استفاده شده است.



شکل (۴)-نمودار سری زمانی شاخص کل و نمودار روند نمایی تخمین زده‌شده با استفاده از روش حداقل مربعات در بازه زمانی موردمطالعه



شکل (۵)-نمودار سری زمانی شاخص کل روند زدایی شده و نمودار مؤلفه سیکلی (دوره‌ای) تخمین زده‌شده آن با استفاده از روش حداقل مربعات در بازه زمانی موردمطالعه



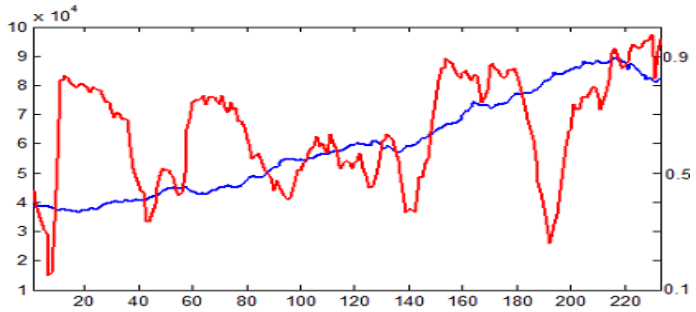
شکل (۶)-نمودار سری زمانی شاخص کل پس از حذف مؤلفه‌های روند نمایی و سیکلی در بازه زمانی موردمطالعه

در شکل (۷) نمودار سری زمانی شاخص کل به همراه نمودار ζ ترسیم شده است. همان‌طور که روند دو نمودار نشان می‌دهد با نزدیک شدن به زمان‌های بحرانی اواسط دی‌ماه ۱۳۹۲ مقدار ζ به‌تدریج افزایش یافته به نحوی که بیشترین مقادیر به همراه ماکزیمم مطلق آن در بازه مورد مطالعه پس از گذر از این محدوده زمانی اتفاق می‌افتد. این روند صعودی نمودار ζ با نزدیک شدن به اواسط دی‌ماه ۱۳۹۲ را (همان‌گونه که قبلاً نیز اشاره شد) می‌توان دلیلی بر بحرانی بودن بازار در آن محدوده زمانی دانست. در ادامه به مطالعه و بررسی دقیق‌تر ارتباط بین دو نمودار خواهیم پرداخت.

بر مبنای شکل (۷) نتایج استفاده از روش تبدیل موجک برای شناسایی نقاط تغییرات ناگهانی به همراه برخی از آماره‌های توصیفی مربوط به زنجیره‌های نزول در جدول (۱) ارائه‌شده است، در این جدول منظور از درصد، درصد خسارت و کاهش نهایی نسبت به نقطه ماکزیمم اولیه است و همچنین «تعداد روزها» اشاره به تعداد روزهایی که در آن‌ها نزول قیمت‌ها ادامه داشته است دارد. ζ نیز نمایانگر نقاط ماکزیمم نمودار $\zeta(t)$ متناظر با نقاط آغازین سقوط و یا قبل آن است و نقاطی که مدل توان پیش‌بینی آن‌ها را ندارد با علامت خط تیره در جدول مشخص‌شده‌اند.

همان‌طور که نتایج این جدول نشان می‌دهد درمجموع از تعداد ۳۰ نقطه شروع‌کننده زنجیره نزولی، روش اتخاذشده در این مطالعه توانسته است ۲۱ مورد را شناسایی نماید، بنابراین توان پیش‌بینی تبدیل موجک در زمان‌های متناظر با ماکزیمم شدن نمودار ζ برابر ۷۰٪ است؛ به عبارت دیگر ۷۰ درصد از زمان‌های سقوط توسط شاخص موردنظر به‌درستی پیش‌بینی‌شده است.

همچنین بر مبنای نتایج جدول (۱) یک رابطه همبستگی مثبت قوی بین دو متغیر روز و قدر مطلق درصد وجود دارد (ضریب همبستگی پیرسون بین این دو متغیر ۰/۸۹۴ و معنادار در سطح یک درصد است)؛ به عبارت دیگر با طولانی شدن زمان زنجیره نزول درصد کاهش آن بیشتر می‌شود که به‌وضوح آشکار است؛ اما نکته مهم ارتباط و همبستگی بین هر دو متغیر و شاخص ζ است، این رابطه مثبت بین متغیر روزها و ζ بارزتر است؛ به نحوی که به نظر می‌رسد با افزایش ζ مقدار قدر مطلق درصد کاهش شاخص بیشتر می‌شود. در ادامه به‌منظور بررسی دقیق‌تر این موضوع و آزمون صحت تفکیک‌پذیری متغیر درصد کاهش نسبت به ζ از آزمون کروسکال-والیس و آزمون میانه استفاده می‌نماییم.



شکل (۷) نمودار سری زمانی شاخص کل بورس در فاصله ۱۳۹۱/۱۱/۲۳ تا ۱۳۹۲/۱۱/۹(سمت چپ) به همراه نمودار سری زمانی $\zeta(t)$ (سمت راست)

جدول (۱) مقدار و تاریخ زنجیره‌های نزول بورس اوراق بهادار تهران در فاصله ۱۳۹۱/۱۱/۲۳ تا ۱۳۹۲/۱۱/۹ با استفاده از روش $\varepsilon - drowdown$ پیشنهادشده به‌وسیله جوهانسن (۲۰۰۳) برای $\varepsilon = ٪۱$

درصد	روز	سقوط	ζ	تاریخ
-۳/۲۴۲	۶	۳۷۸۱۱/۶-۳۶۵۸۵/۵	۰/۸۱۶	۱۳۹۱/۱۲/۰۹
-۱/۲۷۰	۲	۳۷۹۹۸/۷-۳۷۵۱۶/۱	۰/۸۰۱	۱۳۹۱/۱۲/۲۳
-۰/۰۶۷	۱	۳۹۷۴۱/۸-۳۹۷۱۴/۹	-	۱۳۹۲/۰۱/۰۷
-۰/۵۸۶	۲	۴۰۱۵۱/۱-۳۹۹۱۵/۶	۰/۷۳۳	۱۳۹۲/۰۱/۱۴
-۰/۸۶۵	۲	۴۰۶۰۶/۶-۴۰۲۵۵/۱	۰/۷۲۵	۱۳۹۲/۰۱/۲۰
-۰/۸۰۵	۳	۴۰۸۳۴/۹-۴۰۵۰۶/۰	-	۱۳۹۲/۰۱/۲۷
-۰/۶۸۸	۴	۴۴۹۹۳/۵-۴۴۶۸۳/۹	۰/۴۹۱	۱۳۹۲/۰۲/۱۴
-۶/۰۱۰	۸	۴۵۵۱۲/۷-۴۲۷۷۷/۲	-	۱۳۹۲/۰۲/۲۲
-۰/۴۸۰	۱	۴۵۱۶۲/۲-۴۴۹۵۴/۱	۰/۷۴۱	۱۳۹۲/۰۳/۰۸
-۰/۸۵۷	۲	۴۵۵۹۰/۰-۴۵۱۹۹/۱	۰/۷۲۵	۱۳۹۲/۰۳/۱۳
-۰/۷۷۱	۱	۴۸۹۱۶/۷-۴۸۵۳۹/۳	۰/۵۸۳	۱۳۹۲/۰۳/۲۹
-۰/۷۶۱	۱	۵۲۲۴۴/۱-۵۱۸۴۶/۳	۰/۵۰۸	۱۳۹۲/۰۴/۱۰
-۰/۹۷۲	۷	۵۴۷۶۸/۶-۵۴۲۳۵/۹	-	۱۳۹۲/۰۴/۱۶
-۰/۲۴۱	۱	۵۶۴۲۶/۳-۵۶۲۹۰/۳	۰/۶۰۲	۱۳۹۲/۰۵/۰۲
-۰/۲۳۱	۱	۵۷۳۹۷/۲-۵۷۲۶۴/۴	۰/۶۲۵	۱۳۹۲/۰۵/۱۲
-۰/۲۴۲	۱	۵۹۷۵۴/۸-۵۹۶۱۰/۲	۰/۵۲۵	۱۳۹۲/۰۵/۲۲
-۱/۸۶۸	۴	۶۰۴۱۰/۳-۵۹۲۸۱/۶	۰/۵۱۶	۱۳۹۲/۰۵/۲۶
-۶/۷۴۹	۱۰	۶۱۱۶۳/۵-۵۷۰۳۵/۴	-	۱۳۹۲/۰۶/۰۳
-۰/۰۷۹	۱	۵۹۱۶۴/۶-۵۹۱۱۷/۴	-	۱۳۹۲/۰۶/۲۰
-۰/۵۵۷	۱	۶۲۰۵۳/۲-۶۱۷۰۷/۲	-	۱۳۹۲/۰۶/۳۰
-۲/۹۵۵	۶	۷۴۴۰۰/۲-۷۲۲۰۱/۰	۰/۸۳۳	۱۳۹۲/۰۷/۲۷
-۰/۰۶۵	۱	۷۳۵۵۳/۲-۷۳۵۰۴/۸	۰/۸۶۶	۱۳۹۲/۰۸/۰۸
-۰/۲۸۹	۱	۷۷۱۱۸/۹-۷۶۸۹۵/۹	۰/۸۶۷	۱۳۹۲/۰۸/۱۹
-۰/۵۹۰	۱	۷۷۶۷۳/۰-۷۷۲۱۴/۲	-	۱۳۹۲/۰۸/۲۵
-۰/۸۰۳	۱	۸۴۳۸۴/۹-۸۳۷۰۶/۵	-	۱۳۹۲/۰۹/۱۰
-۰/۹۴۸	۱	۸۶۵۱۱/۲-۸۵۶۹۱/۱	۰/۷۵۸	۱۳۹۲/۰۹/۲۰
-۱/۲۴۵	۳	۸۸۱۱۲/۵-۸۷۰۱۵/۵	۰/۷۶۶	۱۳۹۲/۰۹/۲۵
-۰/۸۶۸	۲	۸۸۱۹۰/۷-۸۷۴۲۵/۲	۰/۷۹۱	۱۳۹۲/۱۰/۰۴
-۴/۵۷۷	۵	۸۹۵۰۰/۶-۸۵۴۰۴/۱	۰/۹۲۵	۱۳۹۲/۱۰/۱۵
-۷/۱۷۶	۹	۸۷۱۱۲/۹-۸۰۸۶۱/۴	۰/۹۴۱	۱۳۹۲/۱۰/۲۳

آزمون کروسکال-والیس یک روش نیمه پارامتریک برای آزمون برابری میانگین‌های جامعه‌های مختلف است، این آزمون بر مجموع رتبه‌های مشاهدات مبتنی و شبیه به تحلیل واریانس است، با این تفاوت که نیازی به فرض نرمال بودن ندارد. آماره این آزمون با H نشان داده می‌شود و به‌صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$H = \frac{۱۲}{n(n+۱)} \sum_{i=۱}^{k} \frac{R_i^{۲}}{n_i} - ۳(n+۱)$$

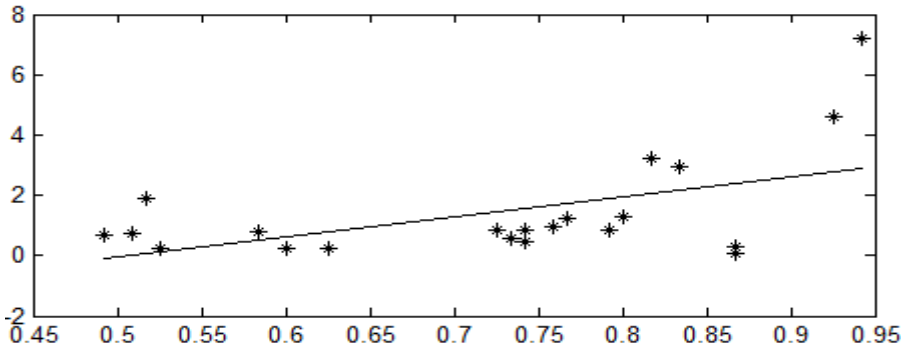
در این رابطه k تعداد جامعه و n نیز برابر مجموع تعداد اعضای کل جوامع است. آماره فوق تقریباً از توزیع کادو با درجه آزادی k-1 پیروی می‌کند. بیشتر بودن آماره فوق از مقدار بحرانی کادو به معنای رد فرضیه صفر متفاوت نبودن میانگین جامعه‌ها خواهد بود (آذر و مومنی،۱۳۸۱). آزمون میانه نیز یک آزمون ناپارامتریک است که فرضیه صفر برابری میانه‌های دو یا چند جامعه را بر مبنای نمونه‌های به‌دست‌آمده از آن‌ها آزمون می‌نماید (هولوسکو و تایر[۳۶]،۲۰۱۱).

نتیجه آزمون کروسکال-والیس برای دسته‌بندی متغیر «درصدها» در دو کلاس با ویژگی‌های $\zeta > ۰/۷۵$ و $\zeta < ۰/۷۵$، مقدار ۵/۰۷ با p-value برابر ۰/۰۲۴۲ به دست می‌دهد که به معنای رد فرضیه صفر در سطح ۵٪ می‌باشد. همچنین آماره کادو آزمون میانه برای تمایز بین دو کلاس نیز ۵/۸۴ با مقدار p-value=۰/۰۱۶ به دست می‌آید که به معنای رد فرضیه صفر در سطح ۵٪ است.

این نتایج به معنای امکان تفکیک متغیر «درصد» در دو دسته با ویژگی‌های $\zeta > ۰/۷۵$ و $\zeta < ۰/۷۵$ است. دسته‌بندی ویژگی‌های آماری متغیرهای آزمون در دو کلاس می‌تواند به تشخیص مناسب مشخصات زنجیره‌های نزول در هنگام مواجهه با سقوط‌ها کمک نماید.

همچنین مبتنی بر نتایج این آزمون‌ها ماکزیمم‌های متناظر با مقادیر بزرگ‌تر از $\zeta = ۰/۷۵$ به طور میانگین می‌تواند منجر به کاهش ۲/۲۶۳ درصد (میانگین دسته اول) شود در حالی که این رقم برای ζ کوچک‌تر از ۰/۷۵، ۰/۶۹۰ درصد (میانگین دسته دوم) است. این نتیجه توسط نمودار (۸) نیز مورد تائید قرار می‌گیرد، در نمودار (۸) مقادیر قدر مطلق درصد کاهش در مقابل مقادیر ζ به همراه خط رگرسیون برآورد شده (با استفاده از روش حداقل مربعات معمولی) حاصل از رگرس متغیر درصد بر روی مقادیر ζ ترسیم‌شده‌اند.

شیب مثبت خط برآورد شده ارتباط معنادار و مثبت ζ های ماکزیمم با مقادیر قدر مطلق درصد را نشان می‌دهد؛ بنابراین با افزایش ζ چون احتمال کاهش بیشتری در مقدار شاخص در هنگام سقوط وجود دارد باید اقدامات احتیاطی بیشتری را اتخاذ نمود.



شکل (۸) نمودار پراکنش مقادیر قدر مطلق درصد کاهش در مقابل ζ و نمودار خط رگرسیون برآورد شده -شیب مثبت نمودار برآورد شده (شیب =۶/۵۷۷) ارتباط مثبت بین قدر مطلق درصد کاهش و ζ را به‌ویژه به ازای مقادیر بالای ζ نشان می‌دهد.

۶- نتیجه‌گیری و بحث

به‌طورکلی در هنگام نزدیک شدن تغییرات ناگهانی بازار سهام، اندازه شکاف‌های قیمتی کوچک‌تر و کوچک‌تر می‌شوند و در حالی که قیمت‌ها نوسانات با فرکانس‌های بالا از خود نشان می‌دهند حجم معاملات بیشتر و بیشتر خواهد شد، این تغییرات در بازار سهام می‌تواند توسط تبدیل موجک که به‌طور همزمان مؤلفه‌های فرکانسی (مقیاس‌ها) و تمرکز مکانی آن‌ها در طول زمان را در نظر می‌گیرد تشخیص داده شود. از این رو تحلیل موجک می‌تواند ابزار مناسبی برای تحلیل پویایی‌های سری‌های زمانی بازارهای مالی باشد.

درواقع با نزدیک شدن به زمان‌های سقوط و افزایش نااطمینانی‌ها حجم معاملات افزایش‌یافته و تغییرات و قدر مطلق تغییرات قیمت‌ها افزایش شدیدی می‌یابند، به‌عنوان نمونه آمارهای بورس اوراق بهادار نشان می‌دهد که متوسط حجم معاملات در ۳۰ روز کاری منتهی به ۱۶ دی‌ماه ۱۳۹۲، ۱/۵۴ برابر مدت‌زمان مشابه قبل از آن است. از سوی دیگر با نزدیک شدن به اواسط دی‌ماه ۱۳۹۲ قیمت‌ها نیز تغییرات بسیار شدیدی از خود نشان می‌دهند، همبستگی مثبت بین قدر مطلق تغییرات قیمت (نوسانات) و تغییرات قیمت با حجم معاملات در مطالعات مختلف مورد تأیید قرار گرفته است؛ اوزبورن[۳۷] (۱۹۶۰) به عنوان اولین محقق دریافت که همبستگی مثبتی بین حجم معاملات و قدر مطلق تغییر قیمت‌ها وجود دارد. بعد از وی پژوهش‌های بسیاری در مورد ارتباط بین حجم معاملات و تغییر قیمت‌ها انجام شده است که عمده آن‌ها همگام با یک ضرب‌المثل قدیمی در بورس نیویورک که «این حجم معاملات است که قیمت‌ها را به حرکت درمی‌آورد» ایده ارتباط همزمان بین حجم معاملات و قدر مطلق تغییر قیمت‌ها را تائید نموده‌اند. در کشور ما نیز مطالعاتی پیرامون ارتباط بین حجم معاملات با تغییر قیمت‌ها و قدر مطلق تغییر قیمت‌ها انجام شده است، به عنوان نمونه نجارزاده و زیودار (۱۳۸۵) در مطالعه خود همگام با مطالعات انجام‌شده قبلی ارتباط همزمان بین حجم معاملات با تغییر قیمت‌ها (بازده) و قدر مطلق تغییر قیمت‌ها (نوسانات) را برای بورس اوراق بهادار تهران نشان داده‌اند. نتایج مطالعات آن‌ها همچنین وجود یک رابطه بازخوردی (دوطرفه) بین

حجم معاملات و بازده سهام را برای بورس اوراق بهادار تهران تائید می‌کند. این افزایش تغییرات و قدر مطلق تغییرات قیمت‌ها همگام با افزایش حجم معاملات در هنگام نزدیک شدن به سقوط‌ها می‌تواند به‌وسیله تبدیل موجک مدل شود؛ به‌بیان‌دیگر مبتنی بر ویژگی‌های ضرایب تبدیل موجک با نزدیک‌تر شدن به زمان سقوط‌ها اندازه ضرایب به‌ویژه در مقیاس‌های کوچک (که متناظر با فرکانس‌های بالا هستند) نسبتاً افزایش خواهد یافت؛ کااتانو ویونیاما (۲۰۰۹)، بر اساس این ویژگی یک شاخص کمی برای تحلیل و مانیتورینگ زمان‌های سقوط ارائه داده‌اند. همگام با این رویکرد در این مطالعه با استفاده از تبدیل موجک و شاخص پیش‌نگر مبتنی بر آن به بررسی و پیش‌بینی سقوط‌های شاخص کل بورس اوراق بهادار تهران در بازه زمانی ۱۳۹۱/۱۱/۲۳ تا ۱۳۹۲/۱۱/۹ پرداخته‌ایم. این بازه شامل دی‌ماه ۱۳۹۲ است که در آن بورس اوراق بهادار تهران سقوط‌های بزرگی را تجربه نموده است. برای تعریف سقوط و زنجیره نزول نیز در این مطالعه از مفهوم (زنجیره نزول دانه‌درشت) که توسط جوهانسن در سال ۲۰۰۳ معرفی‌شده است، با مقدار $\varepsilon = ٪۱$ استفاده نمودیم. از آنجایی که داده‌های موردمطالعه دارای مؤلفه روند و سیکلی (دوره‌ای) هستند، ابتدا با استفاده از روش حداقل مربعات، مؤلفه روند و سیکلی را به ترتیب برای سری زمانی اصلی و سری زمانی روند زدایی شده تخمین زده و با کسر آن‌ها از سری زمانی اصلی سری زمانی نهایی را به دست آوردیم، سپس بر مبنای سری زمانی نهایی شاخص پیش‌نگر مبتنی بر ضرایب موجک را تخمین زده و با تطبیق نتایج آن‌ها برای سقوط‌های واقعی سری زمانی موردمطالعه به ارزیابی نتایج آن پرداختیم. نتایج آزمون‌ها نشان می‌دهد که در ۷۰ درصد موارد استفاده از شاخص پیش‌نگر نتیجه درست برای زمان‌های وقوع سقوط پیش‌بینی می‌نماید.

این نتایج همگام با نتایج به دست آمده به‌وسیله چن و لی (۲۰۱۲) و کااتانو و یونیاما (۲۰۱۰ و ۲۰۰۹) است. با این حال نتایج حاصل از پیش‌بینی شاخص بورس اوراق بهادار تهران توسط شاخص مذکور دقتی نسبتاً کمتر از آن دو مطالعه دارد که آن را می‌توان تا حدودی به فروض این شاخص مانند فرض وجود تقارن اطلاعات نسبت داد، به‌گونه‌ای که اگر بازار بورس موردمطالعه نتواند به طرز مؤثری انعکاس‌دهنده انتظارات چشم‌انداز بازار آینده باشد، احتمالاً شاخص پیش‌نگر در سطح پایینی قرار خواهد گرفت. از سوی دیگر ممکن است در برخی از موارد شاخص مذکور در یک نقطه در ماکزیمم محلی قرار گیرد ولی بازار پس از آن انتظار یک سقوط یا زنجیره نزول را نداشته باشد.

در ادامه به بررسی تفکیک‌پذیری متغیرهای آزمون پرداختیم. نتایج آزمون‌های ناپارامتریک کروسکال-والیس و آزمون میانه نشان می‌دهند که متغیر «درصد» را می‌توان در دو دسته با ویژگی‌های $\zeta > ۰/۷۵$ و $\zeta < ۰/۷۵$ دسته‌بندی نمود. این نوع دسته‌بندی در دو کلاس می‌تواند به استنباط اندازه و دیگر ویژگی‌های زنجیره‌های نزول در هنگام مواجهه با یک سقوط مشخص کمک نماید.

در یک جمع‌بندی می‌توان گفت که نتایج این مطالعه و بررسی نشانگر این مطلب است که شاخص به دست آمده بر مبنای ضرایب تبدیل موجک از توان خوبی برای مانیتورینگ سقوط‌ها و زنجیره‌های نزول شاخص کل قیمت بورس اوراق بهادار تهران برخوردار است و می‌تواند به‌عنوان یک روش برای پیش‌بینی تغییرات ناگهانی آن مورد استفاده قرار گیرد.

فهرست منابع

* انصاری، حجت‌الله (۱۳۸۶)، بررسی تأثیر استفاده از مقیاس‌های زمانی متفاوت در محاسبه ارزش در معرض ریسک با استفاده از تئوری موجک، پایان‌نامه، دانشکده مدیریت دانشگاه تهران، تهران.
* جهانشاد، آزیتا و سید احمد خلیلی (۱۳۹۲)، رابطه بین بازده سهام و نرخ رشد دارایی‌های ثابت در بازه‌های زمانی مختلف با استفاده از تبدیل موجک، مجله مهندسی مالی و مدیریت اوراق بهادار، شماره ۱۵، صفحات ۱۵-۱.
* عباسی نژاد، حسین و شاپور محمدی (۱۳۸۵)، تحلیل سیکل‌های تجاری ایران با استفاده از نظریه موجک‌ها، مجله تحقیقات اقتصادی، شماره ۷۵، صفحات ۲۰-۱.
* پازوکی، نیما، اکرم حمیدیان، شاپور محمدی و وحید محمودی (۱۳۹۲)، استفاده از تبدیل موجک جهت بررسی میزان همبستگی نرخ ارزهای مختلف، قیمت نفت، قیمت طلا و شاخص بورس اوراق بهادار تهران در مقیاس‌های زمانی مختلف، فصلنامه علمی پژوهشی دانش سرمایه‌گذاری، سال دوم، شماره هفتم، صفحات ۱۴۸-۱۳۱.
* میرشمسی، آرش و کامبیزهژبرکیانی (۱۳۷۹)، حباب‌های عقلایی در بورس اوراق بهادار تهران، مجله برنامه‌ریزی و بودجه، شماره ۴۸، صفحات ۶۲-۳۱.
* نجارزاده، رضا و مهدی زیودار (۱۳۸۵)، بررسی رابطه تجربی بین حجم معاملات و نوسانات بازده در بورس اوراق بهادار تهران، مجله تحقیقات اقتصادی، شماره ۷۴، صفحات ۲۹۹-۲۷۳.
* Blanchard, Olivier and Mark Watson, (1982). Bubbles, rational expectations, and financial markets. In: Paul Watchel, ed., Crises in the Economic and Financial Structure. Lexington Books, Lexington, MA, 295-315.
* Caetano, M. A. L., & Yoneyama, T. (2007). Characterizing abrupt changes in the stock prices using a wavelet decomposition method. Physica A: Statistical Mechanics and its Applications, 383(2), 519-526.
* Caetano, M. A. L., & Yoneyama, T. (2009). A new indicator of imminent occurrence of drawdown in the stock market. Physica A: Statistical Mechanics and its Applications, 388(17), 3563-3571.
* Caetano, M. A. L., & Yoneyama, T. (2012). A method for detection of abrupt changes in the financial market combining wavelet decomposition and correlation graphs. Physica A: Statistical Mechanics and its Applications, 391(20), 4877-4882.
* Chen, P. (1996). A random walk or color chaos on the stock market? Time-frequency analysis of S&P indexes. Studies in Nonlinear Dynamics & Econometrics, 1(2).
* Chen, P. (2002, August). Understanding economic complexity and coherence: market crash, excess capacity and technology wavelets. In Shanghai international symposium on complexity science.
* Chen, Y., & Li, X. Y. (2012). Forecasting abrupt changes in the Chinese stock market via wavelet decomposition. Advances in Applied Economics and Finance, 1(1), 61-65.
* De Long, J. B., Shleifer, A., Summers, L. H., & Waldmann, R. J. (1990). Noise trader risk in financial markets. Journal of political Economy, 703-738.
* Holosko, M. J., & Thyer, B. A. (2011). Pocket glossary for commonly used research terms. SAGE.

* Jacobsson, E. (2009). How to predict crashes in financial markets with the Log-Periodic Power Law. Master diss., Department of Mathematical Statistics, Stockholm University.
* Johansen, A. (2003). Characterization of large price variations in financial markets. Physica A: Statistical Mechanics and its Applications, 324(1), 157-166.
* Johansen, A. (2004). Origin of crashes in three US stock markets: shocks and bubbles. Physica A: Statistical Mechanics and its Applications, 338(1), 135-142.
* Johansen, A., & Sornette, D. (2001). Finite-time singularity in the dynamics of the world population, economic and financial indices. Physica A: Statistical Mechanics and its Applications, 294(3), 465-502.

یادداشت‌ها

[1] با توجه به اینکه Drawdown ماهیتاً اشاره به کاهش مداوم در شاخص موردمطالعه را دارد در این مطالعه این واژه را به زنجیره نزول ترجمه نموده‌ایم. همچنین به جای واژه Drawup نیز از عبارت زنجیره صعود استفاده نموده‌ایم.

[2] Coarse-grained drawdowns
[3] Johansen,2003
[4] Leading indicator
[5] Caetano and Yoneyama
[6] Rational bubble theory
[7] Blanchard and Watson,1982
[8] Irrational bubble theory
[9] De Long, et al.
[10] Nonlinear dynamics theory
[11] Chen and Li,2012
[12] Johansen and Sornette,2001
[13] Johansen,2003
[14] Earthquake
[15] Chen,1996,2002
[16] Sornette
[17] Johansen
[18] Bouchaud
[19] IBOVESPA
[20] Dow Jones average
[21] Tornado
[22] Basis Function
[23] Finite Energy
[24] Continuous wavelet basis function
[25] Admissible condition
[26] Mexican Hat wavelet
[27] Meyer wavelet
[28] Johansen,2003,p:158
[29] Drawup
[30] Jacobsson,2009,p:8
[31] Scale-time chart
[32] Price spread
[33] short-term trading

[34] تمام برنامه‌های مورداستفاده در این مقاله توسط نگارنده مقاله در محیط برنامه‌نویسی متلب و همچنین برخی از توابع در زبان برنامه‌نویسی R نوشته شده است که در صورت درخواست می‌تواند در اختیار محققین گرامی قرار گیرد.

[35] Least squares method
[36] Holosko, Thyer,2011
[37] Osbern