

## پیش‌بینی سقوط بازار سهام با استفاده از شبکه‌های عصبی نگاشت خودسازمان‌ده

آرش محمدعلی‌زاده<sup>۱</sup>، رضا راعی<sup>۲</sup>، شاپور محمدی<sup>۳</sup>

**چکیده:** سقوط بازار پدیده‌ای است که سبب از دست رفتن ثروت و دارایی سرمایه‌گذاران در بازه زمانی نسبتاً کوتاهی می‌شود، از این رو تلاش برای پیش‌بینی آن از اهمیت زیادی برای سرمایه‌گذاران، سیاست‌گذاران، نهادهای مالی و دولت برخوردار است. بررسی اجمالی تئوری‌ها و مدل‌های ارائه‌شده پیش‌بینی سقوط در بازار سهام نشان می‌دهد میان پژوهشگران درباره الگوهای مشاهده‌شده متغیرها، مانند حجم معامله، بازده‌ها، نوسان‌پذیری، عوامل بنیادی، شاخص‌های رفتاری و غیره در بازارهای سهام پیش از وقوع سقوط، اتفاق نظری وجود ندارد. یکی از روش‌های بسیار مناسب پیشنهادشده برای یافتن الگوهایی که در داده‌های شبکه‌های عصبی وجود دارد، نگاشت خودسازمان‌ده است که روشی ناپارامتریک و غیرخطی محسوب می‌شود. در این پژوهش با استفاده از شبکه‌های عصبی نگاشت خودسازمان‌ده، روشی برای پیش‌بینی سقوط در بازار سهام ایران ارائه شده است. نتایج اجرای مدل و پیش‌بینی برون‌نمونه‌ای حاکی از این است که مدل عملکرد به نسبت قابل قبولی را در پیش‌بینی دوره‌های پیش از سقوط در بازار سهام به دست آورده است.

واژه‌های کلیدی: پیش‌بینی، سقوط بازار سهام، شبکه‌های عصبی، نگاشت خودسازمان‌ده.

۱. دکتری مدیریت مالی، دانشگاه تهران، تهران، ایران

۲. استاد گروه مدیریت مالی، دانشگاه تهران، تهران، ایران

۳. دانشیار گروه مدیریت مالی، دانشگاه تهران، تهران، ایران

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۲/۱۱/۰۸

تاریخ پذیرش نهایی مقاله: ۱۳۹۳/۰۳/۲۵

نویسنده مسئول مقاله: آرش محمدعلی‌زاده

E-mail: alizadearash@ut.ac.ir

**مقدمه**

سقوط بازار پدیده‌ای است که گاهی در بازارهای سهام رخ می‌دهد و سبب از دست رفتن ثروت و دارایی سرمایه‌گذاران در بازه زمانی نسبتاً کوتاهی می‌شود. از سویی این پدیده می‌تواند زمینه‌های ورود اقتصاد به دوره رکود را فراهم کند (کاجیورو، تاباک و ورنک، ۲۰۰۸). از این رو بررسی این پدیده و تلاش برای پیش‌بینی آن از اهمیت زیادی برای سرمایه‌گذاران، سیاست‌گذاران، نهادهای مالی و دولت برخوردار است.

تاکنون مطالعات گوناگونی برای بررسی این پدیده و چگونگی بروز آن در بازارهای مالی صورت گرفته است. همان‌طور که در مطالعه سایر پدیده‌های مالی، دو رویکرد اساسی «تئوری انتظارات عقلایی» و «تئوری‌های رفتاری» به کار می‌رود، در بررسی این پدیده نیز عمده مطالعات صورت گرفته بر مبنای یکی از دو رویکرد فوق است. تعاریف گوناگون از این پدیده نیز بر مبنای اتکای پژوهشگر به یکی از دو رویکرد یادشده توضیح داده می‌شود. بر این اساس، تئوری‌های مبتنی بر انتظارات عقلایی، سقوط بازار سهام را به بالاتر بودن قیمت‌های بازار از ارزش ذاتی سهام و اصلاح قیمت‌ها یا تغییر در عوامل بنیادی بازار نسبت می‌دهند. از این رو، کوچک‌ترین تغییر در اطلاعات سرمایه‌گذاران می‌تواند به تغییر اساسی در قیمت‌ها بینجامد (گنوت و لاند، ۱۹۹۰). از سوی دیگر، طرفداران تئوری‌های رفتاری، تشکیل حباب و سقوط را به اثرهایی همچون تقلید<sup>۱</sup>، تسری<sup>۲</sup> و رفتار توده‌وار<sup>۳</sup> نسبت می‌دهند (لوکس، ۱۹۹۵). در هر حال، می‌توان گفت زمانی که تعداد شایان توجهی سهام در بازار دچار افت شدید و یک‌باره قیمت شود، سقوط بازار رخ داده است که می‌تواند ناشی از تغییر در عوامل بنیادی بازار یا وحشت عمومی<sup>۴</sup> باشد (گاربر، ۱۹۹۲).

تا به امروز پژوهش‌های متعدد و گوناگونی برای پیش‌بینی و مدل‌سازی بازارهای سهام و سقوط آنها انجام گرفته است و هر یک از دیدگاه متفاوتی تلاش کرده‌اند با دقت بیشتری به این مسئله بپردازند. در مجموع از مطالعات انجام گرفته می‌توان سه دسته مدل برای پیش‌بینی و مدل‌سازی بازار سهام شناسایی کرد. مدل‌های دسته اول سقوط بازارهای سهام را بر اساس تغییر در اطلاعات بیرونی عوامل بنیادی بازار توضیح داده و پیش‌بینی می‌کنند. در این مدل‌ها فرض می‌شود تغییر عمده قیمت‌ها را می‌توان به وقایع بیرونی که بر عوامل بنیادی اثر جدی می‌گذارند،

- 
1. Imitation
  2. Contagion
  3. Herd behavior
  4. Panic

نسبت داد (کلیدون، ۱۹۹۵). با وجود این، توجیه سقوط بازار سال ۱۹۸۷ بر اساس تغییر در عوامل بنیادی، مشکل به نظر می‌رسد (فاما و فرنچ، ۱۹۸۸). از این رو مدل‌های دسته دوم بر اساس انباشت اطلاعات ناکافی پیشنهاد شدند (گراسمن، ۱۹۸۸؛ گنوت و لاند، ۱۹۹۰ و ژاکلین، کلیدون و فلایدرر، ۱۹۹۲). در این دسته از مدل‌ها مشارکت‌کنندگان بازار، عقلایی فرض می‌شوند، اما این فرض که قیمت‌ها نشان‌دهنده تمام اطلاعات بازار است، نادیده گرفته می‌شود. بر این اساس کوچک‌ترین تغییر در عوامل بنیادی می‌تواند به سقوط در بازار بینجامد. دسته سوم از مدل‌ها این فرض را که سرمایه‌گذاران لزوماً تصمیم‌های عقلایی می‌گیرند کنار می‌گذارد و بروز حباب و سقوط بازار را ناشی از رفتار توده‌وار و سایر عوامل رفتاری می‌داند (شیلر، ۱۹۸۹).

علاوه بر رویکردهای یادشده در مدل‌سازی و پیش‌بینی سقوط بازارها، رویکرد دیگری وجود دارد که تلاش می‌کند وقایع بازار را بر مبنای مفاهیم فیزیک اقتصاد<sup>۱</sup> توضیح دهد. از روش‌های این رویکرد می‌توان تئوری آشوب و تحلیل فراکتال، سیستم‌های پیچیده و قانون توزیع‌های توانی<sup>۲</sup>، تئوری شبکه‌ها و بحران خودسازمان‌یافته<sup>۳</sup> و... را نام برد (لوکس، ۲۰۰۸).

بررسی اجمالی تئوری‌ها و مدل‌های ارائه‌شده پیش‌بینی سقوط در بازار سهام، نشان می‌دهد میان پژوهشگران درباره الگوهای مشاهده‌شده متغیرها، مانند حجم معامله، بازده‌ها، نوسان‌پذیری، عوامل بنیادی، شاخص‌های رفتاری و غیره در بازارهای سهام پیش از وقوع سقوط، اتفاق نظری وجود ندارد. یکی از روش‌های بسیار مناسب پیشنهادشده برای یافتن الگوهای داده‌های شبکه‌های عصبی، نگاشت خودسازمان‌ده است که روشی ناپارامتریک و غیرخطی محسوب می‌شود (کوهونن، ۲۰۰۱). این روش برای مدل‌سازی و پیش‌بینی وقایع افراطی<sup>۴</sup> نیز، روش مناسبی به‌شمار می‌رود. علاوه بر آن، مزیت این روش نسبت به سایر روش‌های شبکه عصبی این است که توپولوژی داده‌ها بهتر حفظ می‌شود (نادین، ۲۰۰۵).

در این پژوهش تلاش شده است با استفاده از شبکه‌های عصبی نگاشت خودسازمان‌ده، روشی برای پیش‌بینی سقوط در بازار سهام ایران ابداع شود. ساختار مقاله بدین شرح است؛ در بخش دوم سابقه مطالعات و پژوهش‌های انجام‌گرفته در زمینه سقوط بازار سهام مرور می‌شود. بخش سوم به تشریح نگاشت‌های خودسازمان‌ده و مبنای آن اختصاص دارد. در بخش چهارم یافته‌های پژوهش بیان شده است و در بخش پایانی نیز به نتیجه‌گیری و پیشنهادهای پرداخته خواهد شد.

- 
1. Econophysics
  2. Power Law
  3. Self Organized Criticality
  4. Extreme events

### پیشینه پژوهش

در زمینه تئوری‌های سقوط بازار و مدل‌سازی برای آن، تا کنون مطالعات زیادی انجام گرفته است. برخی از پژوهش‌ها بر این تمرکز کرده‌اند که آیا حباب و سقوط در بازار با تئوری انتظارات عقلایی سازگار است؟ آیا می‌توان بر اساس این تئوری مدلی ارائه کرد که قابلیت توضیح و احتمال پیش‌بینی سقوط را داشته باشد؟ در همین راستا، پژوهش‌های بسیاری درباره تقارن اطلاعاتی و اثر آن بر سقوط اجرا شده است. مقاله‌هایی نیز درباره اثر عوامل بنیادی بازار در سقوط وجود دارد. پژوهش‌های بسیاری از تأثیر عوامل رفتاری در توضیح و پیش‌بینی سقوط بهره گرفته‌اند. برخی با استفاده از روش‌های اقتصادسنجی و تأکید بر توزیع‌های آماری غیر از توزیع نرمال - که در تئوری‌های کلاسیک به‌مثابه توزیع بازده دارایی‌ها فرض می‌شود - همچون توزیع‌های دنباله پهن<sup>۱</sup>، توزیع‌های دونمایی<sup>۲</sup> و غیره، سقوط بازار را مدل‌سازی کرده‌اند. علاوه بر این‌ها، در برخی از مدل‌ها با تأکید بر پیش‌بینی نوسان‌پذیری و چولگی، به مدل‌سازی سقوط اقدام شده است. بسیاری از پژوهش‌ها که در دسته پژوهش‌های فیزیک اقتصاد جای دارند، بر «مشخصه قانون - توان‌های متناوب لگاریتمی»<sup>۳</sup> در بازارهای سهام به‌مثابه سیستمی پیچیده، تأکید شده است. همچنین بعضی از مدل‌ها نیز با بهره‌مندی از تئوری کاتاستروف، به تبیین سقوط در بازار پرداخته‌اند. در ادامه به شرح کوتاهی از چند پژوهش یادشده پرداخته می‌شود.

بلانچارد و واتسون در سال ۱۹۸۲ با مطرح کردن این پرسش که وجود حباب در بازار سرمایه با تئوری انتظارات عقلایی سازگار است یا خیر، نتیجه گرفتند قیمت بازار می‌تواند از ارزش ذاتی دور شود، بی‌آنکه شرایط آربیتراژ نقض شود.

فیشر بلک معتقد است تغییر تمایل و عقاید سرمایه‌گذاران نسبت به چگونگی بازگشت به میانگین قیمت‌ها، سبب سقوط می‌شود. بر اساس نظر او، سرمایه‌گذاران قبل از وقوع سقوط ناگهان به این نتیجه می‌رسند که فرایند بازگشت به میانگین بازار، در عمل سریع‌تر از آن است که فکر می‌کردند و این سبب سقوط می‌شود (بلک، ۱۹۸۸). شیرکوند و همکارانش به بررسی فرایند بازگشت به میانگین قیمت‌های سهام بورس اوراق بهادار پرداختند و نتیجه گرفتند از ۶۷ شرکت بررسی‌شده، ۱۰ شرکت خاصیت بازگشت به میانگین را دارد؛ این شرکت‌ها در گروه واسطه‌گری‌های مالی بودند (شیرکوند، محمدی و دولتی، ۱۳۸۷).

---

1. Fat-Tailed  
 2. Bi-Modal  
 3. Log-Periodic Power Law Signature

پژوهش گنوت و لالاند (۱۹۹۰) نشان می‌دهد در نبود اخبار مهم، راهبردهای پوشش ریسکی که سرمایه‌گذاران نهادی اتخاذ می‌کنند، سبب سقوط می‌شود. مدل آنها توضیح می‌دهد که چگونه حجم کوچکی از عرضه می‌تواند به دلیل نقدشوندگی پایین بازار، به سقوط منجر شود. مدل پیشنهادی گنوت و همکارش بر مبنای انتظارات عقلایی است. آنها سه دسته سرمایه‌گذار را معرفی کردند؛ سرمایه‌گذار ناآگاه که فقط از قیمت تعادلی بازار اطلاع دارد، سرمایه‌گذار آگاه از قیمت که از سیگنالی درست درباره قیمت آتی برخوردار است و سرمایه‌گذار آگاه از عرضه که از حجم عرضه آگاه است.

لوی و همکارانش مدلی ارائه دادند که در آن عواید نقدی پایین و انتظارات همگون میان سرمایه‌گذاران، عامل اصلی سقوط در بازار است (لوی، لوی و سولومون، ۱۹۹۴). چودری نوسان‌پذیری و صرف ریسک را قبل و بعد از سقوط بازار سهام در سال ۱۹۸۷ با استفاده از GARCH-M بررسی کرد و نتیجه گرفت نوسان‌پذیری و صرف ریسک، قبل و پس از سقوط تغییر کرده است (چودری، ۱۹۹۶).

مادریگال و شینکمن (۱۹۹۷) بر نقش بازارساز در ایجاد سقوط تأکید کردند و گفتند قیمت‌های تعیین‌شده بازارساز بر اطلاعاتی که آنها از بازار دریافت می‌کنند و اطلاعاتی که بازار می‌دهد، تأثیرگذار است. آنها نشان دادند قیمت تعادلی به‌مثابه تابعی از حجم سفارش در این وضعیت، دچار گسستگی شده است و سقوط در نظر گرفته می‌شود.

ژوزف زیرا (۱۹۹۹) پدیده سقوط را با استفاده از «اضافه جهش اطلاعاتی»<sup>۱</sup> توضیح داد. بر این اساس، اضافه جهش اطلاعاتی زمانی رخ می‌دهد که بازار توسعه پیدا کند و ظرفیت آن افزایش یابد که می‌تواند ناشی از ورود سرمایه‌گذاران جدید به بازار باشد. وی نتیجه می‌گیرد آزادسازی اقتصادی می‌تواند به سقوط بازار منجر شود.

هونگ و استین بر مبنای تفاوت دیدگاه‌های سرمایه‌گذاران، مدلی برای سقوط بازار سهام ارائه دادند و بیان کردند تغییر عمده قیمت‌ها می‌تواند بدون اخبار مهم در عوامل بنیادی ایجاد شود. همچنین آنها توضیح دادند توزیع بازده‌های بازار، چولگی منفی دارد و بر اساس پیش‌بینی برون‌نمونه‌ای، این چولگی منفی در وضعیت حجم زیاد معامله، بیشتر گزارش می‌شود. علاوه بر آن، میان سهام بازار در وضعیت سقوط همبستگی بیشتر است (هنگ و استین، ۱۹۹۹).

در پژوهشی دیگر، چن، هونگ و استین (۲۰۰۱) با استفاده از رگرسیون مقطعی چولگی، بازده روزانه سهام در بازار را پیش‌بینی کردند و نتیجه گرفتند در سهامی که نسبت به روند کل بازار

حجم معامله در مقطع شش ماهه زیاد است و در مقطع سی و شش ماهه قبل از سقوط بازده مثبتی دارد، چولگی منفی بیشتر دیده می شود.

بارلوی و ورونسی با استفاده از نقش سرمایه گذاران عقلایی، اما ناآگاه، به تبیین بروز سقوط پرداختند. آنها بر این باورند که سقوط می تواند بدون هرگونه محرک بنیادی نیز اتفاق بیفتد و اندازه آن به نسبت سرمایه گذاران ناآگاه و حجم سرمایه گذاری منفعل غیرحرفه ای حاضر در بازار بستگی دارد (بارلوی و ورونسی، ۲۰۰۳).

جنکی و گرادوچویک چارچوبی پویا برای تشخیص وحشت در بازار با استفاده از چولگی اختیار خرید اروپایی و تابع چگالی q-Gaussian ارائه کردند و نتیجه گرفتند امکان پیش بینی سقوط بازار سال ۱۹۸۷ از دو ماه قبل وجود داشته است (جنکی و گرادوچویک، ۲۰۱۰).

در رویکرد دوم از مدل های سقوط بازار، به طور عمده عوامل رفتاری عامل بروز و سقوط بازار در نظر گرفته می شود. توماس لوکس در پژوهشی تلاش کرد رفتار توده وار یا تسری تقلیدی مشترک<sup>۱</sup> را توضیح دهد؛ بدین ترتیب که ظهور حباب قبل از سقوط، طی فرایند خودسازمان ده توضیح داده می شود و به سبب آن، قیمت های تعادلی از ارزش ذاتی سهام دور می شود (لوکس، ۱۹۹۵). وسترهوف مدلی رفتاری از بازار سهام ارائه داد که در آن معامله گران از طریق دو عامل طمع و ترس هدایت شده اند. بر اساس این مدل، از آنجاکه افراد به طرز خوش بینانه ای باور دارند بازارها افزایشی است، سهام می خردند، اما وقتی قیمت به سرعت کاهش می یابد از ترس سهام را می فروشند؛ دوره های قبل از سقوط با نوسان پذیری زیاد همراه است (وسترهوف، ۲۰۰۴).

هارمون و همکارانش تلاش کردند با استفاده از معیارهای ترس دسته جمعی، سقوط را پیش بینی کنند. آنها معتقدند ترس ممکن است ناشی از تهدید بیرونی خاص یا تشویش خودسازمان یافته باشد. به نظر آنها بحران اخیر از عامل دوم و دوره طولانی عدم قطعیت و تشویش نشئت گرفته است (هارمون و دیگران، ۲۰۱۱).

برخی از پژوهش ها تلاش کرده اند با بهره گیری از توزیع های آماری پیشرفته تر سقوط را پیش بینی کنند. یکی از این توزیع ها، توزیع نرمال تعمیم یافته (GEN)<sup>۲</sup> است که اجازه می دهد توزیع حالت دونمایی داشته باشد و هر تغییر بین دو نما، سقوط تلقی شود. در این روش از آماره Cardan برای کشف خاصیت دونمایی در توزیع استفاده می شود (کوه، فونگ و چان، ۲۰۰۷).

در پژوهشی سقوط بازارها، داده دورافتاده<sup>۳</sup> در نظر گرفته شده است و چون توزیع بازده سهام در عمل توزیعی پهن گوشه است، این داده های دورافتاده به آسانی تشخیص داده نمی شود؛ از این

---

1. Mutual Mimetic Contagion  
2. Generalized Normal Distribution  
3. Outlier

رو برای تشخیص بازده سهام در توزیع‌های پهن‌گوشه، آزمونی جدید اجرا شده است (شلوتر و ترد، ۲۰۰۸).

رویکرد بعدی در ادبیات پژوهش، رویکرد فیزیک اقتصاد است. در دسته‌ای از این پژوهش‌ها به‌کمک خاصیت «مشخصه قانون - توان‌های متناوب لگاریتمی» در بازارهای سهام به‌مثابه سیستم‌های پیچیده دینامیک غیرخطی، سقوط بازار مدل‌سازی و پیش‌بینی می‌شود (جوهرانسن، لویوت و سورنت، ۱۹۹۹؛ سورنت، ۲۰۰۳ و کاجیورو، تاباک و ورنک، ۲۰۰۸).

علاوه‌بر این مدل‌ها، مدل‌های دیگر فیزیک اقتصادی نیز در ادبیات دیده می‌شود. ووسوردا و بارونیک به‌کمک تئوری کاتاستروف استوکاستیک و با در نظر گرفتن دو متغیر نسبت اختیار فروش به اختیار خرید و حجم معامله، سقوط بازار سال ۱۹۸۷ را پیش‌بینی کردند (بارونیک و ووسوردا، ۲۰۰۹). بلگوریان و راعی نیز با بهره‌مندی از مفهوم شبکه‌های پیچیده و همبستگی عرضی حجم معامله برای تحلیلگران بنیادی و چارته‌ها، نتیجه می‌گیرند در دوره‌های قبل از سقوط، بینش تحلیلگران بنیادی و تکنیکی نسبت به عملکرد مثبت سهام از هم دور می‌شود، اما در بازار در حال سقوط عقاید بدبینانه این دو دسته از سرمایه‌گذاران مشابه هم است (بلگوریان و راعی، ۲۰۱۰). وندوال و همکارانش (۱۹۹۸) و لوی (۲۰۰۸) نیز سقوط بازار را به تغییر فاز در فیزیک و ترمودینامیک تشبیه کردند. در این مدل‌ها ناهمگونی سرمایه‌گذاران همچون حرارت عمل می‌کند و عامل اساسی تعیین امکان وقوع و اندازه سقوط شمرده می‌شود.

پژوهش‌های متعددی نیز در داخل کشور انجام گرفته است که با استفاده از شبکه‌های عصبی به پیش‌بینی متغیرهای مالی در بازار سهام پرداخته‌اند. راعی و چاووشی در سال ۱۳۸۲ با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی پرسپترون چندلایه و الگوریتم آموزش پس‌انتشار خطا، قیمت روزانه سهام شرکت توسعه صنایع بهشهر را پیش‌بینی کردند و نشان دادند این مدل عملکرد بهتری نسبت به مدل چندعاملی دارد. راعی و فلاح‌پور با بهره‌مندی از شبکه‌های عصبی مصنوعی، به پیش‌بینی درماندگی مالی شرکت‌ها پرداختند و نشان دادند دقت پیش‌بینی شبکه‌های عصبی به‌طور معناداری از مدل MDA بیشتر است. نمازی و کیامهر به‌کمک شبکه عصبی مصنوعی، مدلی بهینه بر اساس پرسپترون چندلایه برای پیش‌بینی بازده سهام شرکت‌ها ارائه کردند و نشان دادند شبکه‌های عصبی مصنوعی می‌توانند بازده روزانه را با خطای نسبتاً مناسبی پیش‌بینی کنند (نمازی و کیامهر، ۱۳۸۶).

عمده پژوهش‌های یادشده از شبکه عصبی پرسپترون چندلایه استفاده کرده‌اند، اما این پژوهش با بهره‌مندی از روش نگاشت خودسازمان‌ده (روشی برپایه یادگیری بدون نظارت) اجرا شده است.

نگاشت‌های خودسازمان‌ده در یافتن الگوها و پیش‌بینی، کاربردهای فراوانی دارند. مزیت این نگاشت‌ها تبدیل داده‌هایی با ابعاد زیاد به نگاشتی دوبعدی است که تفسیر تصویری و پیدا کردن الگوها را بسیار آسان می‌کند. از سویی، چون تکنیکی غیرخطی و ناپارامتری است و از روش یادگیری بدون نظارت بهره می‌برد، در یافتن روابط پیچیده بین متغیرها قابلیت زیادی دارد. سارلین و همکارش با استفاده از نگاشت خودسازمان‌ده، سقوط ارز را در هشت کشور پیش‌بینی کردند و معتقدند عملکرد آن را از روش پروبیت بهتر است (سارلین و مارگشو، ۲۰۱۰). جیوانیس نیز با این روش دوره‌های رونق و رکود را در ایالات متحده پیش‌بینی کرد و عملکرد آن را برتر از روش لوجیت دانست (جیوانیس، ۲۰۱۰).

### نگاشت‌های خودسازمان‌ده

شبکه‌های عصبی، نوعی مدل‌سازی ساده‌انگارانه از سیستم‌های عصبی واقعی‌اند و کاربرد فراوانی برای حل مسائل در علوم مختلف دارند. حوزه کاربرد این شبکه‌ها آن‌چنان گسترده است که از کاربردهای طبقه‌بندی گرفته تا کاربردهایی مانند درون‌یابی، تخمین، آشکارسازی و... را شامل می‌شود. شاید مهم‌ترین مزیت این شبکه‌ها، توانایی بسیار در کنار سهولت استفاده از آن باشد.

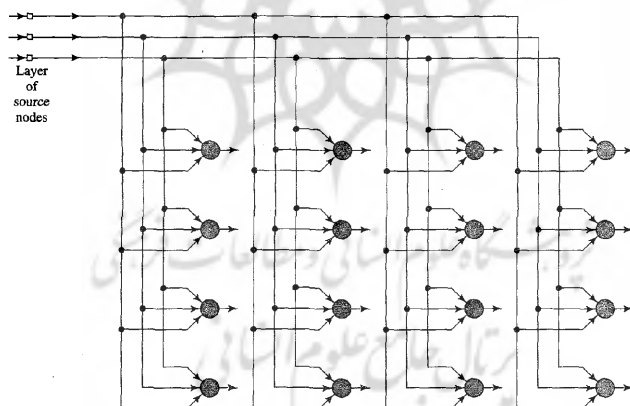
به‌طور کلی شبکه‌های عصبی مصنوعی از لحاظ یادگیری بر دو دسته‌اند: شبکه‌هایی با وزن ثابت و شبکه‌هایی با وزن متغیر (شبکه‌های یادگیرنده). شبکه‌های یادگیرنده نیز به دو دسته با سرپرست<sup>۱</sup> و بی‌سرپرست<sup>۲</sup> تقسیم می‌شوند. در مرحله آموزش شبکه‌های بی‌سرپرست، از نمونه‌هایی استفاده می‌شود که خروجی ایده‌آل متناظر با آنها، از پیش مشخص است. به بیان دیگر، در این گونه شبکه‌ها، نمونه‌های داده ورودی برچسب دارند. در شبکه‌های بی‌سرپرست، بر اساس یک معیار (برای مثال فاصله) و بر اساس نوعی رقابت، خروجی مد نظر در کلاس جداگانه‌ای قرار می‌گیرد.

با توجه به اینکه شبکه عصبی مدل ساده‌شده‌ای از اعصاب بدن است، درست مانند آنها قابلیت یادگیری دارد. به بیان دیگر، شبکه با استفاده از اطلاعاتی که از سرپرست و ورودی دریافت می‌کند، روند موجود در الگوها را فرامی‌گیرد. از این رو مشابه انسان، روند یادگیری در شبکه عصبی نیز از مدل‌های انسانی الهام گرفته است؛ بدین صورت که مثال‌های بسیاری چندین بار به شبکه داده می‌شود و شبکه با تغییر وزن‌ها، خروجی مد نظر را دنبال می‌کند.

1. Supervised  
2. Unsupervised



در این بخش نوع خاصی از شبکه‌های عصبی مصنوعی بررسی می‌شود که آنها را شبکه‌های عصبی نگاشت خودسازمان‌ده می‌نامند. این شبکه‌ها بر مبنای یادگیری رقابتی بنا شده‌اند؛ نورون‌های خروجی شبکه برای فعال شدن با هم رقابت می‌کنند و در نتیجه این رقابت، تنها یک نورون از هر گروه فعال می‌شود. نورون خروجی فعال شده، نورون برنده محسوب می‌شود. در نگاشت خودسازمان‌ده، نورون‌ها معمولاً در گره‌های شبکه یک یا دو بعدی قرار می‌گیرند. امکان شبکه‌هایی با ابعاد بیشتر (سه یا چند بعدی) نیز وجود دارد، اما رایج نیست. نورون‌ها به‌طور انتخابی در معرض الگوهای ورودی متفاوت در فرایند یادگیری رقابتی قرار می‌گیرند. جایگاه نورون‌ها به‌گونه‌ای تنظیم می‌شود که سیستم هماهنگ معناداری برای ورودی‌های مختلف در شبکه ایجاد شود. بنابراین نگاشت خودسازمان‌ده، شکل‌دهی نقشه (نگاشت) توپوگرافیک از الگوهای ورودی است که در آن موقعیت مکانی نورون‌ها در شبکه، خواص آماری ذاتی در الگوهای ورودی را نشان می‌دهد، از این رو خودسازمان‌ده است. هدف اصلی نگاشت خودسازمان‌ده تبدیل الگوی سیگنال ورودی با ابعاد دلخواه به نگاشت یا نقشه گسسته یک یا دوبعدی است؛ به‌گونه‌ای که این تبدیل به حالت توپولوژیکی منظم انجام شود. شکل ۱ نمایی از شبکه دوبعدی نورون‌ها را نشان می‌دهد.



شکل ۱. نمایی از شبکه دوبعدی نورون‌ها

هر نورون در شبکه به‌صورت کامل به همه گره‌های منبع در لایه ورودی متصل است. این شبکه نشان‌دهنده ساختار پشت‌ورو با لایه محاسباتی است که از نورون‌هایی که در سطرها و

ستون‌ها جای گرفته‌اند، تشکیل شده است. در حالت نگاشت یک‌بعدی، تنها یک سطر یا یک ستون وجود دارد.

الگوریتم تشکیل نگاشت خودسازمان‌ده با دادن وزن‌های سیناپسی اولیه به شبکه آغاز می‌شود. این کار با تخصیص مقادیر کوچک انتخاب‌شده از تولیدکننده عدد تصادفی انجام‌پذیر است که در این حالت، هیچ ترتیب ابتدایی تحمیلی بر صفحه مشخصات وجود ندارد.

در به‌کارگیری الگوریتم som سه گام اصلی پس از مقداردهی اولیه طی می‌شود: نمونه‌گیری، تطبیق تشابه و به‌روزرآوری. این سه گام تا زمانی تکرار می‌شود که شکل‌گیری صفحه نگاشت ویژگی تکمیل شود. خلاصه الگوریتم به شرح زیر است:

۱. مقداردهی اولیه: برای بردارهای وزن اولیه مقادیر تصادفی انتخاب کنید  $(w_j(0))$ . تنها محدودیت این است که برای  $l = 1, 2, \dots$  مقادیر  $w_j(0)$  باید متفاوت باشد ( $l$  تعداد نورون‌هاست). بهتر است اندازه وزن‌ها کوچک در نظر گرفته شود. راه دیگر مقداردهی اولیه این است که بردارهای وزن را  $\{w_j(0)\}_{j=1}^l$  به‌طور تصادفی از میان مجموعه در دسترس بردارهای ورودی انتخاب کنیم.

۲. نمونه‌گیری: با احتمال مشخصی نمونه‌ای از بردار ورودی  $x$  انتخاب کنید. طول بردار  $x$  برابر با  $m$  است.

۳. تطبیق تشابه: نرون برنده در گام زمانی  $n$  را با استفاده از معیار حداقل فاصله اقلیدسی (رابطه ۱) پیدا کنید.

$$i(x) = \arg \min_j \|x(n) - w_j\| \quad \text{رابطه ۱}$$

۴. به‌روزرآوری: بردارهای وزن تمام نورون‌ها را با استفاده از رابطه ۲ تعدیل کنید. در این رابطه  $\eta(n)$  پارامتر درصد یادگیری و  $h_{j,i}(x)(n)$  تابع همسایگی به مرکزیت نورون برنده  $i(x)$  است؛  $\eta(n)$  و  $h_{j,i}(x)(n)$  به‌صورت دینامیک برای رسیدن به نتایج بهتر تغییر می‌کنند.

$$w_j(n+1) = w_j(n) + \eta(n)h_{j,i}(x)(n)(x - w_j(n)) \quad \text{رابطه ۲}$$

۵. گام ۲ تا زمانی که دیگر تغییر شایان توجهی در صفحه نگاشت ویژگی دیده نشود، تکرار کنید.

### مدل پژوهش

در این پژوهش هر متغیر به‌صورت رابطه ۳ تعریف می‌شود.

$$Crash = \begin{cases} 1 & \text{if } t_c - T < t < t_c \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad \text{رابطه ۳}$$

در این رابطه  $t_c$  زمان وقوع سقوط در بازار و  $T$  نشان‌دهنده طول بازه زمانی است که مدت زمان قبل از وقوع سقوط را نشان می‌دهد. بنا بر تعریف بیان شده، چنانچه بازار در حالت  $T$  دوره قبل از سقوط باشد، این متغیر عدد ۱ می‌گیرد و در غیر این صورت عدد صفر اختیار می‌کند. برای مثال اگر  $T$  را ۳۰ روز حساب کنیم، در ۳۰ روز منتهی به سقوط بازار،  $Crash$  برابر با ۱ و در دوره‌های قبل از شروع این ۳۰ روز و در دوره‌های بعد از سقوط، صفر خواهد بود. در دوره‌هایی که  $Crash$  (نشان‌دهنده برآورد  $y$  است) بزرگ‌تر از Threshold باشد، بر اساس برآورد مدل، بازار در حالت پیش از سقوط قرار دارد. در این پژوهش  $T$  برابر ۳۰ روز و Threshold معادل ۰/۳۵ در نظر گرفته شده است.

برای انتخاب متغیرهای ورودی مدل که آنها را  $x_i$  می‌نامیم از ادبیات پژوهش بهره برده شده است. البته در مطالعات انجام گرفته درباره اینکه عوامل مؤثر بر قیمت سهام قبل و بعد از وقوع سقوط یا متغیرهای بازار قبل از وقوع سقوط چه الگویی از خود نشان می‌دهند، توافق نظری وجود ندارد. با این حال، برخی از این متغیرها در مطالعات بسیاری، عوامل علامت‌دهنده پیش از وقوع سقوط در نظر گرفته شده‌اند. دسته اول متغیرهای بعدی متغیرهای حجم معاملات است (چن، هنگ و استین، ۲۰۰۱). نوسان‌پذیری بازار قبل از وقوع نیز از متغیرهایی است که در حجم زیادی از مطالعات به آن اشاره شده است (چودری، ۱۹۹۶؛ چن، هنگ و استین، ۲۰۰۱؛ شوارت، ۱۹۸۹؛ وسترهوف، ۲۰۰۴ و جنکی و گرادوچویک، ۲۰۱۰). عملکرد سرمایه‌گذاران نهادی، تفاوت دیدگاه در بین سرمایه‌گذاران نهادی و فردی، چارتریست‌ها و تحلیل‌گران بنیادی نیز از عوامل اشاره شده در تحقیقات است (گنوت و لاند، ۱۹۹۰؛ چن، هنگ و استین، ۲۰۰۱ و بلگوریان و راعی، ۲۰۱۰).

با لحاظ موارد فوق داده‌های مورد استفاده در این پژوهش شامل داده‌های مربوط به حجم کل معاملات در بورس تهران، انحراف معیار ۹۰ روزه بازدهی روزانه شاخص کل و نسبت ارزش معاملات اشخاص حقیقی به کل ارزش معاملات در بورس تهران از ۱۳۸۲/۱/۵ لغایت ۱۳۸۸/۹/۱ به صورت روزانه می‌باشد.

شبکه از دو لایه تشکیل می‌شود: لایه ورودی و لایه خروجی. تعداد نورون‌ها<sup>۱</sup> در لایه ورودی برابر با تعداد متغیرهای ورودی است. لایه خروجی شبکه‌ای (نگاشت) دوبعدی بوده که از تعدادی

مشخص نورون تشکیل شده که به آنها گره<sup>۱</sup> نیز می‌گویند. در طول فرایند یادگیری بدون نظارت هر نورون یاد می‌گیرد داده‌هایی با مشخصات مشابه را جذب کند و در عین حال نورون‌های همسایه نیز یاد می‌گیرند که با وزن‌های کاهنده داده‌های مشابه را جذب کنند. بنابراین نواحی روی نگاشت بر اساس مشخصات داده‌ها سازمان‌دهی شده و بنابراین نورون‌ها را می‌توان در خوشه‌ها<sup>۲</sup> تقسیم کرد (سارلین و مارگشو، ۲۰۱۰).

برای ایجاد امکان پیش‌بینی برون‌نمونه‌ای داده‌ها به دو بخش برون‌نمونه و درون‌نمونه تقسیم می‌گردد. تخمین مدل با استفاده از داده‌های درون‌نمونه انجام می‌گیرد و سپس مدل برای پیش‌بینی دوره‌های سقوط در بخش برون‌نمونه به کار می‌رود.

نهایتاً پس از تخمین مدل و به‌کارگیری آن بر روی داده‌های برون‌نمونه، قدرت پیش‌بینی مدل را با معیارهای زیر می‌سنجیم:

<sup>۳</sup>TP: مثبت‌های درست. تعداد دوره‌هایی که در بازه پیش از سقوط قرار دارند و به درستی برآورد شده‌اند.

<sup>۴</sup>FP: مثبت‌های غلط. تعداد دوره‌هایی که در بازه پیش از سقوط قرار ندارند ولی در این بازه برآورد شده‌اند.

<sup>۵</sup>TN: منفی‌های درست. تعداد دوره‌هایی که در بازه پیش از سقوط قرار ندارند و به درستی برآورد شده‌اند.

<sup>۶</sup>FN: منفی‌های غلط. تعداد دوره‌هایی که در بازه پیش از سقوط قرار دارند ولی در این بازه برآورد نشده‌اند.

TT: تعداد کل دوره‌ها

TC: تعداد کل دوره‌هایی که در بازه پیش از سقوط قرار دارند

TNC: تعداد کل دوره‌هایی که در بازه پیش از سقوط قرار ندارند

$$RecallRate = \frac{TP}{TT} \quad \text{رابطه ۴}$$

$$Recall Rate = \frac{TN}{TT} \quad \text{رابطه ۵}$$

- 
1. Nodes
  2. Clusters
  3. True Positives
  4. False Positive
  5. True Negatives
  6. False Negatives

$$\text{Precision Rate} = \frac{TP}{TC} \quad \text{رابطه ۶}$$

$$\text{Precision Rate} = \frac{TN}{TNC} \quad \text{رابطه ۷}$$

$$\text{Accuracy Rate} = \frac{TN + TP}{TT} \quad \text{رابطه ۸}$$

$$\text{FP Rate} = \frac{FP}{TNC} \quad \text{رابطه ۹}$$

### یافته‌های پژوهش

برای اجرای مدل یادشده در بورس تهران، ابتدا باید تاریخ‌های سقوط بورس تهران مشخص شود. برای این منظور از روشی که یوهانسن و سورنت (۲۰۰۰) ارائه کردند، استفاده شده است. روشی که در ادامه شرح داده می‌شود برای پیدا کردن سقوط‌های رخ داده در بازار به کار می‌رود و یوهانسن و سورنت (۲۰۰۰) برای اولین بار از این روش استفاده کردند. فرض کنیم  $P_t$  سری زمانی شاخص باشد.  $P_{max} = P_k$  را بیشینه محلی و  $P_{min} = P_{k+n}$  را کمینه محلی در نظر بگیرید که در آن  $k \geq 2$  و  $n \geq 1$  است.  $n$  نشان‌دهنده فاصله بین کمینه و بیشینه محلی است. در این حالت افت به صورت رابطه ۱۰ تعریف می‌شود.

$$D = \frac{P_{min} - P_{max}}{P_{max}} \quad \text{رابطه ۱۰}$$

همان‌طور که مشاهده می‌شود در رابطه ۱۰، افت از بیشینه محلی تا اولین جایی محاسبه می‌شود که شاخص افزایشی شود؛ هرچند این افزایش بسیار کم باشد. از آنجاکه داده‌های مالی نوسان زیادی دارند، تعریف یادشده ممکن است معیار خوبی برای اندازه‌گیری افت واقعی بازار و پیدا کردن سقوط نباشد؛ چون در عمل در برخی سقوط‌های رخ داده، چند روز پس از سقوط، بازار افزایش مختصری از خود نشان داده است، اما در روزهای بعد بار دیگر افت ادامه پیدا کرده است. برای رفع این مشکل، حد آستانه‌ای ( $\epsilon$ ) برای افزایش در نظر گرفته می‌شود که وابسته به انحراف معیار بازده‌ها ( $\sigma$ ) است و می‌توان آن را معادل، دو برابر، سه برابر یا بیشتر در نظر گرفت. در این پژوهش  $\epsilon = \sigma$  در نظر گرفته شده است. جدول ۱ سقوط‌های رخ داده در بازار سهام ایران را که با روش یوهانسن و سورنت (۲۰۰۰) استخراج شده‌اند، نشان می‌دهد.

جدول ۱. سقوطهای رخ داده در بازار سهام ایران

| تاریخ سقوط | تاریخ پایان سقوط | تعداد روز افت | مقدار شاخص در ابتدای روز سقوط | مقدار شاخص در انتهای روز سقوط | درصد افت روز اول | درصد افت انباشته |
|------------|------------------|---------------|-------------------------------|-------------------------------|------------------|------------------|
| ۱۳۸۲/۰۵/۱۴ | ۱۳۸۲/۰۵/۱۴       | ۱             | ۹۵۵۴                          | ۹۱۵۴                          | ۴/۲۷             | ۴/۲۷             |
| ۱۳۸۳/۰۵/۱۷ | ۱۳۸۳/۰۶/۰۳       | ۱۶            | ۱۳۸۸۲                         | ۱۳۸۰۹                         | -/۵۲             | ۸/۳۹             |
| ۱۳۸۳/۰۷/۰۶ | ۱۳۸۳/۰۷/۲۹       | ۱۸            | ۱۳۷۹۹                         | ۱۳۷۴۳                         | -/۴              | ۴/۴۵             |
| ۱۳۸۳/۰۹/۲۲ | ۱۳۸۳/۱۲/۲۲       | ۶۲            | ۱۳۸۳۴                         | ۱۳۸۱۳                         | -/۱۵             | ۱۳/۸             |
| ۱۳۸۴/۰۴/۰۴ | ۱۳۸۴/۰۵/۲۶       | ۳۹            | ۱۳۴۹۵                         | ۱۲۳۶۹                         | ۱/۰۱             | ۱۵/۶۸            |
| ۱۳۸۴/۰۶/۰۷ | ۱۳۸۴/۰۸/۳۰       | ۵۹            | ۱۰۸۰۰                         | ۱۰۷۹۱                         | -/۰۸             | ۹/۸۳             |
| ۱۳۸۵/۰۵/۰۲ | ۱۳۸۵/۰۵/۰۴       | ۳             | ۹۵۳۹/۲۳                       | ۹۲۹۵/۱۳                       | ۲/۵۹             | ۵/۰۵             |
| ۱۳۸۶/۰۲/۱۶ | ۱۳۸۶/۰۳/۰۷       | ۱۷            | ۹۷۶۰/۳۴                       | ۹۵۶۰/۴۵                       | ۲/۰۶             | ۵/۲۲             |
| ۱۳۸۶/۰۴/۰۳ | ۱۳۸۶/۰۴/۰۶       | ۴             | ۹۳۱۱/۷۷                       | ۹۱۵۵/۱۵                       | ۱/۶۹             | ۲/۶۶             |
| ۱۳۸۶/۰۸/۱۳ | ۱۳۸۶/۰۹/۱۴       | ۲۳            | ۱۰۳۳۰/۸۲                      | ۱۰۲۴۵/۷۷                      | -/۸۲             | ۷/۴              |
| ۱۳۸۶/۱۱/۱۴ | ۱۳۸۶/۱۲/۱۲       | ۲۰            | ۱۰۳۷۰                         | ۱۰۲۹۲                         | -/۷۵             | ۴/۷۴             |
| ۱۳۸۷/۰۴/۳۱ | ۱۳۸۷/۰۵/۰۶       | ۵             | ۱۲۸۴۹/۰۹                      | ۱۲۶۶۹/۸۶                      | ۱/۴              | ۲/۸۷             |
| ۱۳۸۷/۰۵/۱۵ | ۱۳۸۷/۰۶/۲۴       | ۲۸            | ۱۲۶۴۰                         | ۱۲۶۱۷/۸۷                      | -/۱۷             | ۸/۰۴             |
| ۱۳۸۷/۰۷/۰۳ | ۱۳۸۷/۱۰/۲۵       | ۷۴            | ۱۱۸۱۱                         | ۱۱۷۸۷                         | -/۲              | ۳۳               |
| ۱۳۸۸/۰۸/۱۹ | ۱۳۸۸/۰۹/۰۲       | ۱۰            | ۱۲۵۸۱/۵                       | ۱۲۴۲۶/۱                       | ۱/۲۴             | ۴/۷۶             |

مدل به کمک نرم‌افزار MATLAB R2012a و جعبه ابزار SOM به اجرا درآمد. ابعاد شبکه نیز ۸ در ۹ لحاظ شد. به منظور فراهم کردن امکان پیش‌بینی برون‌نمونه‌ای تخمین مدل برای داده‌های ۱۴۰۰ روز، از کل داده‌ها (۱۶۱۰ روز) استفاده شده است. نتایج اجرای مدل برای داده‌های درون‌نمونه‌ای و برون‌نمونه‌ای در جدول ۲ مشاهده می‌شود.

جدول ۲. معیارهای عملکرد مدل SOM درون‌نمونه‌ای و برون‌نمونه‌ای

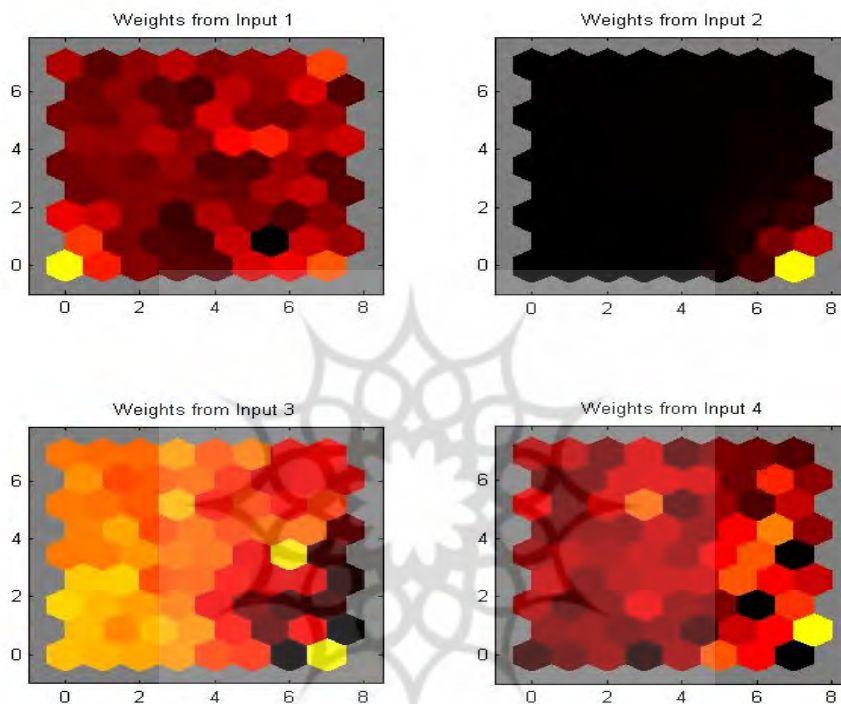
| داده‌ها       | TP  | FP  | TN  | FN  | دوره‌های پیش از سقوط |          | سایر دوره‌ها |          | Accuracy | FP Rate |
|---------------|-----|-----|-----|-----|----------------------|----------|--------------|----------|----------|---------|
|               |     |     |     |     | Precision            | Recall   | Precision    | Recall   |          |         |
| درون‌نمونه‌ای | ۱۶۵ | ۲۲۱ | ۷۶۶ | ۲۴۸ | ۰/۳۹۹۵۱۶             | ۰/۱۱۷۸۵۷ | ۰/۷۷۶۰۸      | ۰/۵۴۷۱۴۳ | ۰/۶۶۵    | ۰/۲۲۳۹۱ |
| برون‌نمونه‌ای | ۲۰  | ۶۰  | ۱۱۹ | ۱۱  | ۰/۶۴۵۱۶۱             | ۰/۰۹۵۲۳۸ | ۰/۶۶۴۸۰      | ۰/۵۶۶۶۶۷ | ۰/۶۶۱۹۰  | ۰/۳۳۵۱۹ |

همان‌طور که در جدول ۲ مشاهده می‌شود مدل پیشنهادی، داده‌های درون‌نمونه‌ای دوره‌های پیش از سقوط را با دقت ۳۹ درصد برآورد کرده است و این دقت در داده‌های برون‌نمونه‌ای به ۶۴ درصد رسیده است. همچنین دقت مدل در برآورد سایر دوره‌ها در درون‌نمونه‌ای ۷۷/۶ درصد و در داده‌های برون‌نمونه‌ای ۶۶ درصد است. در همین حال مقدار صحت<sup>۱</sup> که در داده‌های درون‌نمونه‌ای ۶۶/۵ درصد بود، در داده‌های برون‌نمونه‌ای ۶۶/۲ درصد است. همچنین درصد FP (تعداد دوره‌هایی که به اشتباه دوره پیش از سقوط برآورد شده‌اند)، در داده‌های درون‌نمونه‌ای ۲۲ درصد بوده که در داده‌های برون‌نمونه‌ای به ۳۳ درصد رسیده است. با توجه به رقم‌های به‌دست‌آمده، می‌توان گفت مدل در پیش‌بینی دوره‌های پیش از سقوط و سایر دوره‌ها عملکرد قابل قبولی داشته است.

یکی دیگر از خروجی‌های SOM، نقشه‌هایی است که در تحلیل فضای مطالعه تأثیر شایان توجهی دارد. شکل ۲ نقشه‌های SOM مدل تخمین‌زده شده را به نمایش گذاشته است. در این شکل ۱ Input نشان‌دهنده نوسان‌پذیری بازده شاخص کل، ۲ Input حجم معامله، ۳ Input

1. Accuracy

نسبت حجم ریالی خریداران حقیقی به کل ارزش معاملات و ۴ Input متغیر CRASH است. با عنایت به شکل ۲ می‌توان نتیجه گرفت دو متغیر حجم معامله و نسبت حجم ریالی خریداران حقیقی به کل ارزش معاملات به ترتیب بیشترین تفکیک را در فضای تحلیل ایجاد کرده‌اند.



شکل ۲. نقشه‌های SOM

### نتیجه‌گیری

از مهم‌ترین اهداف تجزیه و تحلیل‌های اقتصادی، تشخیص و پیش‌بینی صحیح و دقیق متغیرها است که می‌تواند به مدیران در تصمیم‌گیری‌های صحیح کمک کند. شبکه‌های عصبی مصنوعی (ANNs) از جمله مهم‌ترین و کارآمدترین روش‌های حال حاضر جهان به منظور تشخیص و پیش‌بینی متغیرها است و در ارتقای کیفیت تصمیم‌های مالی پیشرفت‌های چشمگیری به دنبال داشته است. شبکه‌های خودسازمان‌ده (SOM) بی‌شک از قدرتمندترین شبکه‌ها برای داده‌کاوی و تحلیل فضاهای پیچیده‌اند. در این مقاله با استفاده از شبکه‌های



خودسازمان‌ده (SOM)، سقوط بازار سهام در بورس تهران پیش‌بینی شد. نتایج نشان‌دهنده عملکرد نسبتاً قابل قبول مدل در پیش‌بینی دوره‌های پیش از سقوط در بازار سهام است.

### References

- Barlevya, G. & Veronesi, P. (2003). Rational panics and stock market crashes. *Journal of Economic Theory*, 110(2): 234-263.
- Barunik, J. & Vosvrda, M. (2009). Can a Stochastic Cusp Catastrophe Model Explain Stock Market Crashes? *Journal of Economic Dynamics & Control*, 33(10): 1824-1836.
- Blanchard, O. J. & Watson, M. W. (1982). Bubbles, Rational Expectations and Financial Markets. *NBER Working Paper Series*, Working Paper No. 9115. DOI: 10.3386/w0945.
- Bolgorian, M. & Raei, R. (2010). Convergence of Fundamentalists and Chartists' Expectations: An Alarm for Stock Market Crash. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 389(18): 3822-3827.
- Bree, D.S. & Joseph, N. (2007). The mechanism underlying Log Periodic Power Law fits to financial crashes. *Symposium on agent-based modeling, risk, and finance*, Fribourg, 8-9 November 2007.
- Cajueiro, D.O., Tabak, B.M. & Werneka, F.K. (2009). Can we predict crashes? The case of the Brazilian stock market. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 388 (8): 1603-1609.
- Cecchetti, S.C., Lam, P.S. & Mark, N.C. (1988). Mean Reversion in Equilibrium Asset Prices. *NBER Working Paper Series*. Working Paper No. 2762.
- Chen, J., Hong, H. & Stein, J. C. (2001). Forecasting Crashes: Trading Volume, Past Returns, and Conditional Skewness in Stock Prices. *Journal of Financial Economics*, 61(3): 345-381.
- Choudhry, T. (1996). Stock Market Volatility and the Crash of 1987: Evidence from Six Emerging Markets. *Journal of International Money and Finance*, 15(6): 969-981.
- Fama, E.F. & French, K.R. (1988). Permanent and Temporary Components of Stock Prices. *Journal of Political Economy*, 96(2): 247-273.
- Fischer, B. (1988). An Equilibrium Model of the Crash. In *NBER Macroeconomics Annual 1988*. Cambridge, MA: MIT Press, 269-275.

- Garber, P.M. (1992). Crashes. In: *Newman, P. and al. (eds.): The New Palgrave Dictionary of Money and Finance. I., Macmillan Reference, London, 1992. pp. 511-513.*
- Gençay, R. & Gradojevic, N. (2010). Crash of '87 - Was it expected? Aggregate Market Fears and Long-Range Dependence. *Journal of Empirical Finance*, 17(2): 270-282.
- Genotte, G. & Leland, H. (1990). Market Liquidity, Hedging, and Crashes. *The American Economic Review*, 80(5): 999-1021.
- Giovanis, E. (2010). Application of logit model and self-organizing maps (SOMs) for the prediction of financial crisis periods in US economy. *Journal of Financial Economic Policy*, 2(2): 98 – 125.
- Grossman, S. J. (1988). An Analysis of the Implications for Stock and Futures Price Volatility of Program Trading and Dynamic Hedging Strategies. *Journal of Business*, 61(3): 275-298.
- Harmon, D., de Aguiar, M.A.M., Chinellato, D.D., Braha, D., Epstein, I.R. & Bar-Yam, Y. (2011). Predicting Economic Market Crises Using Measures of Collective Panic. *Arxiv preprint arXiv: 11022620*. available in: <http://arxiv.org/pdf/1102.2620.pdf>.
- Hong, H. & Stein, J. C. (1999). Differences of Opinion, Rational Arbitrage and Market Crashes. *NBER Working Paper*. DOI: 10.3386/w7376.
- Jacklin, C., Kleidon, A., Pflleiderer, P. (1992). Underestimation of Portfolio Insurance and the Crash of October 1987. *Review of Financial Studies*, 5(1): 35-63.
- Johansen, A., Ledoit, O., & Sornette, D. (2000). Crashes as Critical Points. *International Journal of Theoretical and Applied Finance*, 2(3): 219-255.
- Kleidon, A. W. (1995). Stock market crashes, in *Finance, R. A. Jarrow, V. Maksimovic, and W. T. Ziemba, editors, Handbooks in Operations Research and Management Science 9*, 465-495, Elsevier Science, Amsterdam and New York.
- Koh, S.K., Fong, W.M. & Chan, F. (2007). A Cardan's Discriminate Approach to Predicting Currency Crashes. *Journal of International Money and Finance*, 26(1): 131-148.
- Kohonen, T. (2001). *The Self-Organizing Maps*. Heidelberg: Springer.

- Levy, M., Levy, H. & Solomon, S. (1994). A Microscopic Model of the StockMarket: Cycles, Booms, and Crashes. *Economics Letters*, 45(1): 103-111.
- Lux, T. (1995). Herd Behaviour, Bubbles and Crashes. *The Economic Journal*, 105(431): 881-896.
- Lux, T. (2008). Applications of Statistical Physics in Finance and Economics. *Kiel Working Paper* No. 1425. DOI: 10.1.1.163.6265.
- Madrigal, V. & Scheinkman, J.A. (1997). Price Crashes, Information Aggregation, and Market-Making. *Journal of Economic Theory*, 75(1): 16-63.
- Nadin, M. (2005). Anticipating Extreme Events the Need for Faster than Real Time Models. in *Extreme Events in Nature and Society, Frontiers Collection*. New York/Berlin: Springer Verlag, 21-45.
- Namazi, M. & Kiamehr, M. (2008). Predicting Daily Stock Returns of Companies listed in Tehran Stock Exchange Using Artificial Neural Networks. *Journal of Financial Research*, 9(3): 115-134.
- Raei, R., & Chavoshi, K. (2003). Prediction of stock return in Tehran Stock Market: Artificial neural network model and multi factor model. *Journal of Financial Research*, 5(1), 97-120.
- Raei, R. & Fallahpour, S. (2004). Prediction of financial distress of firms using artificial neural network. *Journal of Financial Research*, 6(1): 39-69.
- Sarlin, P. & Marghescu, D. (2010). Visual Predictions of Currency Crises using Self-Organizing Maps. *IEEE International Conference on Data Mining Workshops*. Dec 13, Sydney, NSW.
- Schluter, C. & Trede, M. (2008). Identifying Multiple Outliers in Heavy-Tailed Distributions, *Journal of Empirical Finance*, 15(4), 700-713.
- Schwert, G. W. (1989). Business Cycles, Financial Crises, and Stock Volatility. *Carnegie-Rochester Conference Series on Public Policy*, 31: 83-126.
- Shiller, R.J. (1989). *Market Volatility*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Shirkavand, S., Mohammadi, S. & Dolati, N. (2009). An Investigation on the Presence of Mean Reversion in Stock Prices in Tehran Stock Exchange. *Journal of Financial Research*, 9(4): 41-56.

Vandewalle, N., Boveroux, P., Minguet, A. & Ausloos, M. (1998). The crash of October 1987 seen as a phase transition: amplitude and universality. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 255 (1-2): 201-210.

Westerhoff, F. H. (2004). Greed, Fear and Stock Market Dynamics. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 343(1): 635-642.

Zeira, J. (1999). Informational Overshooting, Booms, and Crashes. *Journal of Monetary Economics*, 43 (1): 237-257.

