The Agent-based modeling of stockholders' behavior in Iranian capital market

Adel Azar
Prof, Department of Industrial Management, School of Management & Economics, University of TarbiatModares, Tehran, Iran. E-mail: azara@modares@ac.ir.

Alireza Saranj
*Corresponding author, Assistant Prof, Department of Industrial Management and Finance, Faculty of Management and Accounting, Farabi Campus, University of Tehran, Qom, Iran. E-mail: alisaranj@ut.ac.ir.

Ali Asghar Sadeghi Mogghadam
Ph.D. Candidate in Industrial Management, Department of Industrial Management and Finance, Faculty of Management and Accounting, Farabi Campus, University of Tehran, Qom, Iran. E-mail: sadeghi1447@yahoo.com.

Ali Rajabzadeh
Associate Prof, Department of Industrial Management, School of Management & Economics, University of TarbiatModares, Tehran, Iran. E-mail: alirajabzadeh@modares.ac.ir.

Hashem Moazzez
Assistant Prof, Department of Industrial Management and Finance, Faculty of Management and Accounting, Farabi Campus, University of Tehran, Qom, Iran. E-mail: h.moazzez@ut.ac.ir.

Abstract

Objective: One of the main concerns of the market regulators is the prediction of the effects of these new strategies on the market due to the heterogeneity of the agents, rational boundary and behavioral factors in the investors'decision making. The Iranian stock market has always been fluctuating; therefore,awareness of the effects of strategies before they are implementedwill help regulators to market more effectively. The main objective of this research is to create an artificial market according to the Iranian stock market so that different scenarios can be simulated.

Methods: One of these emerging areas, which emphasizes the impact of social sciences, cognitive sciences and behavioral sciences on operational research, is "Behavioral Operations Research" that helps us solve real-world problems.In this research, considering modeling based onagent-based capabilities, shareholders' capabilities, bonds including different types of stocks and risk-free papers, and trading rules.

Results: In this artificial market in each trading period, in accordance with the trading strategy and learning procedures, the agents intendto buy and sell. Eventually they worked as the market makers, in accordance with the auction mechanism, and began to execute orders and perform clearing and settlement operations. In order to examine the validity of the model, the statistical output of this market wasadapted to the statistical characteristics of the financial markets and, after validating the model with the scenario, simulation of the research questions were done. In this research, the scenarios for eliminating the range of price fluctuations and elimination of the informed stakeholders and their effects on stock prices were reviewed.

Conclusion: According to the simulated scenarios of the Iranian stock market, due to its immature nature, eliminating controlling mechanisms such as the range of price fluctuations, in the short term the Market willbe highly instable, but in the long run the market tends to be more efficient.

Keywords: Agent-based modeling, Artificial market, Behavioral Operations Research, simulation, stock market

Citation: Azar, A., Saranj, A., Sadeghi Mogghadam, A., Rajabzadeh, A.,& Moazzez, H. (2018). The Agent-based modeling of stockholders' behavior in Iranian capital market. *Financial Research Journal*, 20 (2), 130-150. *(in Persian)*

Financial Research Journal, 2018, Vol. 20, No.2, pp 130-150
DOI: 10.22059/frj.2018.259369.1006670
Received: April 26, 2018; Accepted: February 2, 2018
© Faculty of Management, University of Tehran

مدل‌سازی عامل‌گرای رفتار سهام‌داران در بازار سرمایه ایران

عادل آذر
استاد گروه مدیریت صنعتی، دانشکده مدیریت و اقتصاد، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران. رایانامه: azara@modares@ac.ir

علیرضا سارنج
*نویسنده مسئول، استادیار گروه مدیریت صنعتی و مالی، دانشکده مدیریت و حسابداری، پردیس فارابی، دانشگاه تهران، قم، ایران. رایانامه: alisaranj@ut.ac.ir

علی اصغرصادقی‌مقدم
دانشجوی دکتری مدیریت صنعتی، گروه مدیریت صنعتی و مالی، دانشکده مدیریت و حسابداری، پردیس فارابی، دانشگاه تهران، قم، ایران. رایانامه: sadeghi1447@yahoo.com

علی رجب‌زاده
دانشیار گروه مدیریت صنعتی، دانشکده مدیریت و اقتصاد، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران. رایانامه: alirajabzadeh@modares.ac.ir

هاشم معزز
استادیار گروه مدیریت صنعتی و مالی، دانشکده مدیریت و حسابداری، پردیس فارابی، دانشگاه تهران، قم، ایران. رایانامه: h.moazzez@ut.ac.ir

چکیده

هدف: یکی از دغدغه‌های متولیان بازار پیش‌بینی تأثیرات استراتژی‌های جدید باتوجه به ناهمگن بودن، عقلانیت محدود و عوامل رفتاری در تصمیم‌گیری سهامداران است. بازار سهام ایران همواره با نوسانات شدیدی روبرو بوده، آگاهی از تأثیرات استراتژی‌ها قبل از اجرا به متولیان در جهت کاراتر نمودن بازار کمک می‌نماید. هدف اصلی این تحقیق ایجاد یک بازار مصنوعی مطابق با بازار سهام ایران بوده به نحوی که بتوان سناریوهای مختلف را شبیه‌سازی نمود.

روش: یکی از حوزه‌های نوظهور در تحقیق در عملیات «تحقیق در عملیات رفتاری» است که با ابزار مدلسازی مبتنی برعامل، ما را در حل این مسئله یاری می‌رساند. در این پژوهش با تمرکز بر قابلیت‌های مدلسازی مبتنی بر عامل، سهامداران، اوراق قابل معامله شامل انواع سهام و اوراق بدون ریسک و قوانین معاملاتی مدلسازی می‌شوند.

یافته‌ها: عامل‌ها در این بازار مصنوعی در هر دوره معاملاتی مطابق با استراتژی معاملاتی و یادگیری‌های صورت پذیرفته اقدام به پیشنهاد خرید، فروش و در نهایت بازارساز مطابق با مکانیزم حراج، شروع به تطبیق سفارشات و انجام عملیات تسویه و پایاپای می‌نمایند. جهت بررسی اعتبار مدل، خروجی آماری این بازار را با مشخصه‌های آماری بازارهای مالی تطبیق داده و پس از تأیید اعتبار مدل، سناریو حذف دامنه نوسان قیمت و حذف سهامداران آگاه و تأثیرات آن بر روی قیمت سهام بررسی شدند.

نتیجه گیری: مطابق با سناریوهای‌های شبیه‌سازی شده بازار سهام ایران با توجه به نابالغ بودن با حذف مکانیزم‌های کنترلی مثل دامنه نوسان قیمت در کوتاه مدت به شدت پر نوسان بوده اما در بلند مدت بازار به سمت کارایی هر بیشتر متمایل می‌شود.

کلیدواژه‌ها: بازار سهام، بازار مصنوعی، تحقیق در عملیات رفتاری، شبیه‌سازی، مدل‌سازی مبتنی بر عامل

استناد: عادل، آذر؛ سارنج، علیرضا؛ صادقی مقدم، علی اصغر؛ رجب‌زاده، علی؛ و معزز، هاشم (۱۳۹۷). مدل‌سازی عامل‌گرای رفتار سهام‌داران در بازار سرمایه ایران. *فصلنامه تحقیقات مالی*، ۲۰ (۲)، ۱۳۰- ۱۵۰.

فصلنامه تحقیقات مالی، ۱۳۹۷، دوره ۲۰، شماره ۲، ص. ۱۳۰- ۱۵۰
DOI: 10.22059/frj.2018.259369.1006670
دریافت: ۱۳۹۶/۱۱/۱۳، پذیرش: ۱۳۹۷/۰۲/۰۶
© دانشکده مدیریت دانشگاه تهران

مقدمه

با مشاهده ویژگی‌های مختلف در پویایی بازدهی‌های بازارهای مالی که با پیش‌بینی‌های نظریه بازار کارا همخوانی نداشت، فصل جدیدی در پژوهش‌ها و مطالعات پیش روی مدیریت مالی گشوده شد و به تدریج مدل‌های مبتنی بر رفتار انسان پا به این عرصه گذاشتند. بازار سهام ایران همواره با حباب‌ها و نوسانات شدیدی مواجه بوده و این متولیان بازار هستند که با تدوین و بازنگری قوانین معاملاتی به دنبال کاراتر نمودن بازار و کاهش این نوسانات قدم بر می‌دارند. هدف اصلی این پژوهش، طراحی مدل شبیه‌سازی مبتنی بر عامل بازار سرمایه ایران با تمرکز بر رفتارهای گوناگون است تا ضمن پاسخگویی به این سوالات، متولیان بازار را در اتخاذ تصمیم یاری رساند:

آیا حباب قیمتی در حالت وجود اطلاعات نهانی برخی از عامل‌ها به دفعات بیشتری اتفاق می‌افتد؟

تغییر در قوانین و پارامترهای‌های کنترلی بازار (مثل تغییر دامنه نوسانات قیمت) چه تأثیری بر روی عملکرد بازار می‌گذارد؟

عدم توانایی سایر مکاتب پژوهش در عملیات به مدل‌سازی رفتارهای پیچیده جمعی به دلیل عدم توجه هم‌زمان به علوم اجتماعی، روانشناسی، علوم رفتاری و علوم شناختی و عدم توانایی ابزارهای آنها برای مدل‌سازی فرآیندهای پیچیده ذهنی تصمیم‌گیرندگان، که منجر به یک رفتار می‌شود، محقق را بر آن داشت تا از یکی از روش‌های کارای پژوهش در عملیات رفتاری[1] که به مدل‌سازی سیستم‌های پیچیده انسانی اجتماعی می‌پردازد، برای حل این مسئله استفاده کند. این ابزار مدل‌سازی مبتنی بر عامل[2] است که یکی از روش‌های جدید محاسباتی می‌باشد و برای فهم بهتر سیستم‌های پیچیده اجتماعی مورد استفاده قرار می‌گیرد (گیلبرت[3]، ۲۰۰۸ و روزمند، ۲۰۱۴). در این پژوهش با ایجاد بازاری مجازی[4] و بررسی اعتبار آن به شبیه‌سازی رفتار سهام‌داران بپردازد. این مدل با سناریوسازی امکان ارزیابی رفتار عامل‌ها و قابلیت پاسخ به سوال‌های پژوهش را فراهم می‌آورد.

پیشینه پژوهش

ادبیات نظری پژوهش در دو حوزه مدل‌سازی مبتنی بر عامل و کاربردهای مدل‌های مبتنی بر عامل در حوزه مالی تشریح می‌گردد.

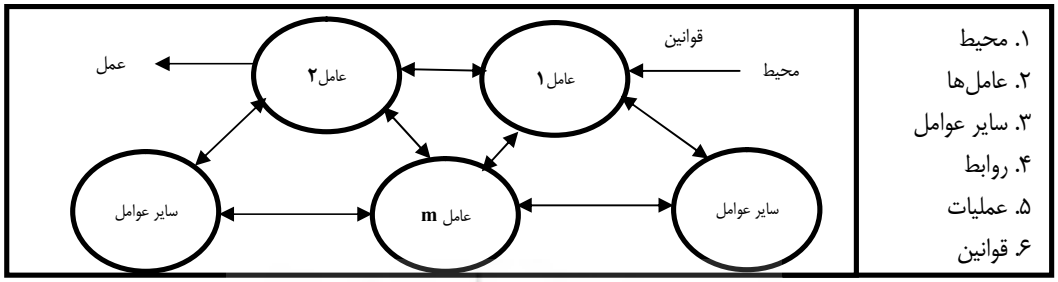
مدل‌سازی مبتنی بر عامل

مدل‌سازی عامل‌محور یک دیدگاه عاملی و یک رویکرد شبیه‌سازی است که ارتباط بسیاری با سایر حوزه‌ها همچون علوم پیچیدگی، علوم سیستمی، پویایی‌های سیستم[5]، علم رایانه، شاخه‌های مختلف علوم اجتماعی و غیره دارد (ماسال و نورث[6]، ۲۰۰۵). مدل‌سازی مبتنی بر عامل یک روش جدید محاسباتی برای سیستم‌های پیچیده است که سعی در مدل‌سازی نزدیک به واقعیت افراد را دارد. این مدل‌سازی در سطح فرد انجام می‌شود و با درنظر گرفتن تعاملات میان

---

1. Behavioral Operation Research
2. Agent Based Modeling
3. Gilbert
4. Artificial Stock Market
5. System Dynamic
6. Macal & North

افراد، امکان بررسی نتایج در سطح سیستم را فراهم می‌آورد (گیلبرت، ۲۰۰۸). هدف مدل‌سازی عامل محور، بررسی و شبیه‌سازی فرآیندهای پویایی است که توسط عوامل خود مختار، مستقل و تصمیم‌گیرنده انجام می‌گیرد. مدل‌سازی عامل‌محور در حقیقت مدل‌سازی مجموعه‌ای از عوامل مستقل و ناهمگون است که به طور گسترده باهم در ارتباط هستند (رستگار، ۱۳۹۶). از مدل‌سازی عامل‌محور هم در تصمیم‌گیری فردی و هم تصمیم‌گیری اجتماعی استفاده می‌شود (کلس و همکاران[1]، ۲۰۱۶). یک مدل مبتنی بر عامل شامل عناصر تعریف شده در شکل ۱ است:



شکل۱. اجزای یک مدل مبتنی بر عامل

در مدل طراحی شده عامل‌ها (بازیگران) همان سهام‌داران بازار می‌باشند که در یک محیط تعریف شده (بازار سهام) با توجه به قوانین و قواعد خاص، با یکدیگر در نقش خریدار و فروشنده با هم تعامل می‌کنند. جدول ۱ تفاوت مدل‌سازی مبتنی بر عامل و سایر روش‌های مدل‌سازی سنتی را نشان می‌دهد (مایکل و نورث، ۲۰۰۵).

جدول۱. تفاوت مدل‌سازی مبتنی بر عامل با سایر روش‌های سنتی مدل‌سازی

مدل‌سازی مبتنی بر عامل	مدل‌سازی سنتی
تصادفی	در بیشتر موارد قطعی
پایین به بالا	در اکثر مواقع بالا به پایین
مبتنی بر عامل‌های انطباق‌پذیر	مبتنی بر فرمول‌ها و معاملات ریاضی
تعداد پارامترها زیاد	تعداد پارامترهای کم
ایجادکننده محیط	مبتنی بر محیط
قدرت یادگیری عامل‌ها از تعاملات	تعاملات در حد واکنش

مدل‌سازی مبتنی بر عامل در حوزه بازارهای مالی

مدل‌سازی مبتنی بر عامل در بسیاری از محیط‌های اقتصادی به‌کار گرفته شده است اما، بازارهای مالی به علت ویژگی پویایی قیمت، ویژگی ناهمگنی عامل‌ها و رفتارهای گوناگون سرمایه‌گذاری عامل‌ها، بیشتر مورد توجه بوده است.

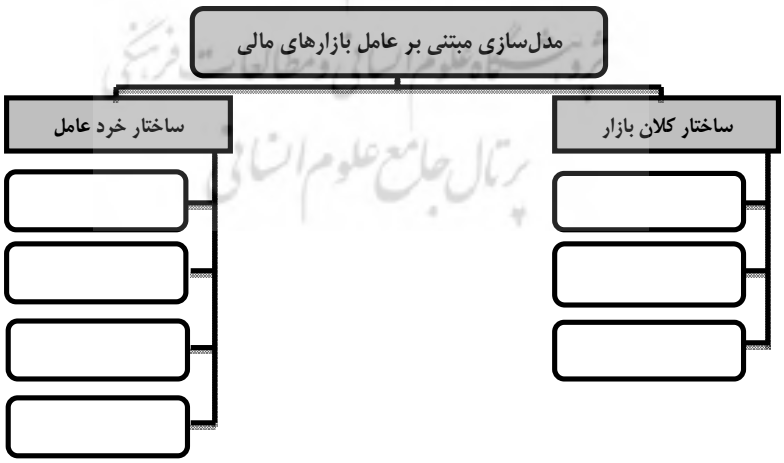
[1]. Keles, Bublitz, Zimmermann, Genoese & Fichtner

پژوهش‌های آماری در جدول ۲ بیان می‌کنند، که رفتار حاکم بر متغیرهای بازار، غیرخطی می‌باشد و از نظر معیارهای آماری همواره رفتار خاصی را از خود نشان می‌دهد.

جدول۲. مشخصه‌های آماری بازده‌های روزانه‌ی سهام منتخب و شاخص سهام (فرانسیز و دیجک[1]، ۲۰۰۰)

سهم	میانگین	میانه	کمینه	بیشینه	واریانس	چولگی	کشیدگی	$cor(r_t^{\wedge 2}, r_{t-1})$
لندن	/۰۴۱	/۰۲۷	(۱۳/۰۲)	۷/۵۹	/۸۴	(۱/۵۹)	۲۷/۴۱	(/۱۹)
آمستردام	/۰۳۸	/۰۲۹	(۱۲/۷۸)	۱۱/۱۸	۱/۲۷	(/۶۹)	۱۹/۷۹	(/۰۴)
پاریس	/۰۲۶	۰	(۱۰/۱۴)	۸/۲۲	۱/۴۳	(/۵۲)	۱۰/۵۶	(/۰۴)
فرانکفورت	/۰۳۵	/۰۲۶	(۱۳/۷۱)	۷/۲۸	۱/۵۲	(/۹۴)	۱۵/۰۶	(/۰۹)
توکیو	/۰۰۵	۰	(۱۶/۱۳)	۱۲/۴۳	۱/۰۲	(/۲۱)	۱۴/۸۰	(/۱۳)

ضریب کشیدگی بازارهای سهام منتخب، همه بیشتر از توزیع نرمال، که نشان دهنده دنباله پهن می‌باشد، است. دنباله‌های پهن نقض‌کننده مدل‌های سنتی اقتصاد هستند چرا که فراوانی رویدادهای بزرگ بیشتر از توزیع نرمال انتظاری به وقوع می‌پیوندد. بازده‌های مالی دارای ضریب چولگی منفی می‌باشند به این معنی که بازده‌های منفی بیشتر از بازده‌های مثبت به وقوع می‌پیوندد. $corr(r_t^{\wedge 2}, r_{t-1})$ منفی نشان‌دهنده این است که اغلب نوسانات شدید به دنبال بازده‌های منفی رخ می‌دهد و به این خوشه‌بندی، نوسانات می‌گویند. مباحث مطرح در مدل‌سازی مبتنی بر عامل را می‌توان در دو سطح ساختار کلان بازار و سطح خرد عامل‌ها تشریح نمود.



شکل۲. مباحث مطرح در سطوح خرد و کلان

[1].Franses, & Van Dijk

در ادامه به تشریح مختصر نمونه‌هایی از مدل‌های مبتنی بر عامل در بازارهای مالی پرداخته می‌شود: در بازار مالی مدل لوکس (۱۹۹۸) عامل‌های اخلالی و بنیادگرا حضور دارند. تصمیمات عامل‌های اخلالی بر پایه قیمت‌های تاریخی و رفتار اکثریت عامل‌ها است. عامل‌های اخلالی به دو گروه خوش‌بین و بدبین تقسیم می‌شوند. عامل‌های بنیادی خرید و فروش خود را براساس ارزش ذاتی دارایی تنظیم می‌نمایند. اگر قیمت بازار یک دارایی از ارزش ذاتی آن پایین‌تر باشد تصمیم به خرید، در غیر اینصورت تصمیم به فروش آن دارایی می‌گیرند. عامل‌ها قابلیت تغییر استراتژی معاملاتی را دارند. عامل‌ها سفارشات خرید و فروش خود را به یک بازارساز اعلام می‌نمایند و بازارساز وظیفه تطبیق سفارشات و حذف عرضه و تقاضای مازاد را بر عهده دارد.

لوکس و مارچسی[1] (۲۰۰۰) دلیل کشیدگی زیاد و خوشه‌شدگی نوسانات بازدهی‌های مالی را تغییر استراتژی معاملاتی بین نمودارگرایی و بنیادگرایی مطرح نمودند. دلیل اصلی پویایی بازار، توسعه جمعیت عامل‌های اخلالی است. هنگامی که در بازار نسبت جمعیتی عامل‌های اخلالی به حد بحرانی می‌رسد، آشفتگی در بازار رخ می‌دهد اما در بازارهایی که قیمت پیرامون ارزش بنیادین سیر می‌کند، پویایی بازار یک تعادل سراسری ایستا حفظ می‌نماید.

در بازار مالی فارمر و جوشی[2] (۲۰۰۲) شبیه بازار مالی لوکس قیمت‌ها از تقابل سرمایه‌گذاران ارزشی و دنباله‌رو روند ایجاد می‌شوند. سرمایه‌گذاران ارزشی، قیمت جاری بازار را با ارزش بنیادی دارایی مقایسه می‌نمایند در حالی که دنباله‌روها با استفاده قواعد تکنیکی به پیش‌بینی قیمت می‌پردازند. رفتار معاملاتی عامل‌ها از قواعد مشخصی پیروی می‌نماید. بازارساز از طریق تعدیل قیمت‌ها عرضه و تقاضا را متعادل می‌سازد. تقابل عامل‌های بنیادی و دنباله‌رو روند موجب پیدایش دنباله ضخیم، همبستگی بین حجم معاملات با نوسان بازار و نوسان زمانی اختلاف قیمت و ارزش دارایی می‌شود.

کالدارلی[3] (۱۹۹۷) تعاملات میان عامل‌ها را که هیچ عامل خارجی وجود ندارد، بررسی نمود. عامل‌های استراتژی معاملاتی خود را بر اساس الگوهای قیمتی گذشته تنظیم نموده‌اند. تعدیل قیمت‌ها در واکنش به مازاد بازار عمل می‌نماید. سری زمانی قیمت بازار قابل مقایسه با داده‌های دنیای واقعی می‌باشد. برای مثال، بازده‌ها دارای ویژگی‌های مقیاس[4] مشابه بازارهای سهام یا ارز، هستند. دنباله توزیع بازدهی‌ها دارای ویژگی توان است. از زمانی به زمان بعد سقوط بازار بدون هیچ پیش مقدمه‌ای ظهور می‌کند. این ویژگی‌ها در نتیجه فعالیت معاملاتی جمعی عامل‌ها ظاهر می‌شوند.

در مدل یوسفمیر[5] (۱۹۹۷) عامل‌ها به منظور دستیابی به منابع محدود در محیطی غیرقابل پیش‌بینی، رفتاری متغیر دارند. عامل‌ها با رفتار خود به دنبال بیشینه‌سازی مطلوبیت هستند. عامل‌ها بر پایه عقلانیت محدود تصمیم‌گیری می‌کنند. نوساناتی که حول یک تعادل پایدار رخ می‌دهد ناشی از تغییر رفتار عامل‌ها است. در برخی اوقات نوسانات شدیدی در بازار رخ می‌دهد که بعد از مدتی پایان می‌یابد. ایشان نتیجه گرفتند که رفتار و تقابلات عامل‌ها می‌تواند

---

1. Lux & Marchesi
2. Farmer & Joshi
3. Caldarelli
4. Scaling Properties
5. Youssefmir

خوشه‌شدگی نوسانات مشاهده شده در برخی از سری‌های زمانی مثل بازدهی‌های نرخ ارز را توضیح دهد.

در بازار مصنوعی دلازما و یورت[1] (۱۹۹۵) عامل‌ها استراتژی معاملاتی خود را براساس الگوریتم ژنتیک بهبود می‌بخشیدند. عامل‌ها در طول دوره معاملاتی مجبور به ارسال سفارش هستند. هر عامل برای تنها اوراق قابل معامله قیمت عادلانه که همان میانه قیمت‌ها است محاسبه می‌نماید. عامل‌ها بر اساس داده‌های تاریخی پیشنهاد خرید و فروش خود را به بازار اعلام می‌نمودند. عامل‌هایی که قیمتی بالاتر (پایین‌تر) از قیمت تعادلی پیشنهاد داده بودند یک سهم می‌خریدند (می‌فروشند). با شبیه‌سازی این مدل، نویسندگان دریافتند که تحت شرایطی معین، برخی از معامله‌گرها در طول یک دوره زمانی طولانی سودهایی باثباتی کسب می‌کنند.

در بازار سهام مصنوعی باک و همکاران[2] (۱۹۹۷) عامل‌ها قابلیت رفتار مقلدانه دارند. در کل، دو نوع عامل، معامله‌گرهای اخلالی و عامل‌های عقلایی وجود دارد. معامله‌گران اخلالی الگوهای گذشته قیمت را در نظر می‌گیرند و همچنین ممکن است رفتار سایر عامل‌ها را نیز تقلید نمایند. عامل‌های عقلایی تابع مطلوبیت خود را براساس تحلیل بنیادی سهام تحت معامله بهینه می‌سازند. تقابل میان عامل‌ها یک سری قیمت باز تولید می‌کند که ویژگی‌های آماری مشابه با مشاهده‌های علمی را دارند. نتیجه‌ی عمده دیگر این است که، اگر جمعیت نسبی معامله‌گرهای عقلایی کوچک باشد، اغلب حباب‌های قیمت اتفاق می‌افتند.

بازار سهام مصنوعی مبتنی بر اطلاعات لیندا پونتا و همکاران[3] (۲۰۱۸) از سهام‌ها و جمعیتی از عامل‌های ناهمگن تشکیل شده است. در بازار، عامل‌ها دارایی‌های ریسکی را درازای وجه نقد معامله می‌کنند. در کنار مقدار نقدینگی و سهام متعلق به هر عامل، احساسات هر عامل مشخص شده و عوامل از طریق تعاملات شبکه‌ای، احساسات خود را به اشتراک می‌گذارند. یک بازارساز فرآیند قیمت‌گذاری هر سهم را از طریق تقاطع منحنی عرضه و تقاضا تعیین می‌نماید. قیمت سهام به‌تنهایی نشانگر خوشه‌بندی نوسانات و توزیع ضخیم بازده است. هنگامی که فرآیند قیمت چند متغیره هم حقایق ایستا و هم پویا را نشان می‌دهند. عامل‌های ایستا همچون منبع همبستگی متقابل بازدهی‌های سهام‌های مختلف بررسی می‌شوند.

در بازار سهام آگریا و همکاران[4] (۲۰۱۸)، میزان مشارکت سهام‌داران بستگی به اندازه جذابیت بازار و ارزش بنیادین بازار دارد. بازارساز قیمت سهام را متناسب با تقاضای اضافی بازار تنظیم می‌کند که این خود عوامل مختلف اقتصادی بستگی دارد. شرکت‌کنندگان بازار مجاز به تغییر استراتژی بین استراتژی‌های مختلف (بنیادی، دنبال‌کننده روند) هستند. نتایج تحلیلی و عددی تأیید می‌کند، که چگونه مشارکت مطابق با شواهد تجربی و آزمایشی موجب رونق و تحرک درون می‌شود.

یک توضیح مناسب برای توجیه سودآوری استراتژی‌های تکنیکی در کار جوشی و همکاران[5] (۱۹۹۸) آمده است.

---

1. De la Maza. and Yuret
2. Bak, Paczuski, and Shubik
3. Ponta, Pastore & Cincotti
4. Agliari, Naimzada & Pecor
5. Joshi & Bedau

آنها بر پایه یک بازار سهام مصنوعی (از نوع معرفی شده در موسسه سانتافه) نشان دادند که در قالب یک معمای زندانی چند نفره که در آن ورود قواعد معامله تکنیکی به مجموعه قواعد تجاری معامله‌گر یک استراتژی غالب باشد، معامله براساس قواعد تکنیکی در بازار شایع می‌شود. در این مدل، زمان ناپیوسته است و در هر دوره زمانی داده شده، هر عامل تصمیم می‌گیرد که چقدر از پول خود را بر یک دارایی ریسکی و چقدر را بر یک دارایی بدون ریسک سرمایه‌گذاری کند. سهام ریسکی، سود تصادفی d_t را عاید صاحب خود می‌سازد. عامل‌ها در زمانی که می‌خواهند تصمیم به سرمایه‌گذاری بگیرند سودهای سهام امروز و گذشته را تشخیص می‌دهند.

چن و همکاران[1] (۲۰۰۱) یک بازار سهام مصنوعی را مطالعه کردند که به یک جمعیت عامل در حال نمو متکی است. سازوکاری که یادگیری عامل‌ها تحت آن اتفاق می‌افتد « مدرسه بازار» نامیده می‌شود و در واقع یک فرآیند برنامه‌ریزی ژنتیک است. به عنوان یک نتیجه مهم این مدل عامل‌مدار، محققان دریافتند که سری قیمت‌های مصنوعی از یک فرآیند گشت تصادفی تبعیت می‌کند. تا اینجا شکل قوی بازارهای کارا تأیید می‌شود. به طور شگفت‌آوری نوسان تصادفی قیمت توسط تقابل عامل‌هایی که کارایی بازار را باور ندارند، خلق می‌شود. اما، نتایج این پژوهش همچنین نشان می‌دهد که برخی از عامل‌ها در کوتاه مدت می‌توانند بازار را از کارایی انداخته و از این طریق سود کسب کنند.

در مدل رابرتو و همکاران[2] (۲۰۰۱) سازوکار حراج واقعی دو طرفه میان عامل‌های خرید و فروش حاکم بوده و عامل‌ها در تصمیمات سرمایه‌گذاری به محدودیت منابع مالی توجه می‌کنند. در این مدل امکان فعال نبودن عامل‌ها در دوره‌های زمانی درنظر گرفته شده است. عامل‌هایی که در معامله شرکت می‌کنند کسری از تعداد کل عامل‌ها می‌باشند. هربار درصدی از جمعیت کل با استراتژی‌ها و ثروت‌های متفاوت (شامل سهم و پول نقد) به طور تصادفی انتخاب و به معامله می‌پردازند. در دوران با نوسان بالا معامله‌گرها هیجان‌زده هستند، لذا حدود قیمتی بزرگتری را جهت اینکه بتوانند به معامله خود سرعت ببخشند، اعلام می‌دارند.

در مدل کریچ و همکاران[3] (۲۰۱۷) حقایق شکل گرفته بازارهای نابالغ (دنباله ضخیم و ...) بر مبنای اطلاعات نامتقارن و رفتارهای توده‌ای بازتولید می‌نماید. جریان اطلاعات مطابق با شبکه موزون مستقیم مدل‌سازی شده است. در این مدل N عامل ناهمگن تنها دارایی ریسکی را با قیمت شروع (p_f)۱۰ را در یک بازار مبتنی بر سفارش محدود معامله می‌کنند. عامل i تصمیم سرمایه‌گذاری خود را با ترکیب نمودن رفتار معاملاتی و اطلاعات تسهیم شده با همسایگان در شبکه رفتاری از طریق احساسات اجتماعی نشان می‌دهند. رفتار معاملاتی عامل i درجه‌ای از ترکیب موزون بنیادگرایی، تکنیکالی و اخلالی است. این وزن‌ها مطابق با توزیع احتمال نمایی σ_1، σ_2 و σ_n میان عامل‌ها تقسیم می‌شود. دارایی اولیه و وجه نقد اولیه از توزیع یکنواخت پیروی می‌کند.

در مدل آدریانس[4] (۲۰۰۲) طول حافظه عامل‌ها متفاوت است و درجات متفاوت دانایی در بین عامل‌ها و استفاده

---

1 Chen., Chen & Yeh
2. Roberto, Cincotti, & Focardi
3. Krichene, & Mhamed
4. Adriaens

آنها از دانش در بازار مالی بررسی می‌شود. عامل‌ها در دو حوزه مرتبط با دانایی، طول حافظه‌ای که به‌کار می‌گیرند و روش پیش‌بینی که برای برآورد قیمت‌های آینده سهام به‌کار می‌برند، با یکدیگر فرق می‌کنند. چهار نوع عامل در مدل حضور دارند: ۱- عامل‌هایی با دانایی کامل، ۲- عامل‌های ساده، ۳- عامل‌های رگرسیونی، و ۴- عامل‌های AR.

در مدل شاتنر[1] (۲۰۰۰) تصمیم‌گیری عامل‌ها طی فرآیندی مستقل و منحصربه‌فرد در هر زمان که بخواهد سفارش خرید و فروش را به سیستم اعلام می‌دارد. در این مدل معامله‌گر به طور پیوسته فعال نیست. در شرایطی که هیچ عملیاتی یا حادثه‌ای در بازار اتفاق نیافتد، زمان متوقف فرض می‌شود. معامله‌گر با تحقق آنچه از پیش تعیین کرده، از خواب بیدار می‌شود. معامله‌گر پس از بیدار شدن تصمیم می‌گیرد که سفارش خرید یا فروش بدهد.

در مدل دی‌لانگ و همکاران[2] (۱۹۹۱) عامل‌های اخلالی و عامل‌های حرفه‌ای عقلانی وجود دارند. دو نوع دارایی یکی دارایی ریسکی که سود نامطمئن پرداخت می‌نماید و دیگری دارایی مطمئن که سود ثابت پرداخت می‌نماید. تقاضای دارایی ریسکی از حداکثرسازی مطلوبیت انتظاری تابع مطلوبیت CARA برحسب ثروت فرد، به‌دست می‌آید. یک کسر ثابت از جمعیت معامله‌گر اخلالی و مابقی معامله‌گر عقلایی هستند.

در مدل آرتور[3] (۲۰۰۴) که به مدل سانتافه مشهور است. عامل‌ها نامتجانس هستند و مدام انتظارات خود را با شرایطی که مشاهده می‌کنند، تطبیق می‌دهند. در نتیجه، تغییرات بازار براساس انباشت این انتظارات پدید می‌آید. افراد انتظارات خود را براساس پیش‌بینی انتظار سایر افراد شکل می‌دهند و به انتخاب مدل‌های تشکیل انتظارات که در گذشته عملکرد خوبی داشته‌اند، گرایش دارند. به این ترتیب، شکل‌گیری باور عامل‌ها درون‌زا می‌شود با توجه به نتایج این مدل اگر فرآیند یادگیری و تطبیق آهسته باشد، تعادل EMH به‌دست می‌آید و اگر فرآیند کشف و تطبیق دیدگاه‌ها سریع باشد، بازار به سمت یک سیستم پیچیده گرایش می‌یابد.

طراحی مدل مبتنی بر عامل بازار سرمایه

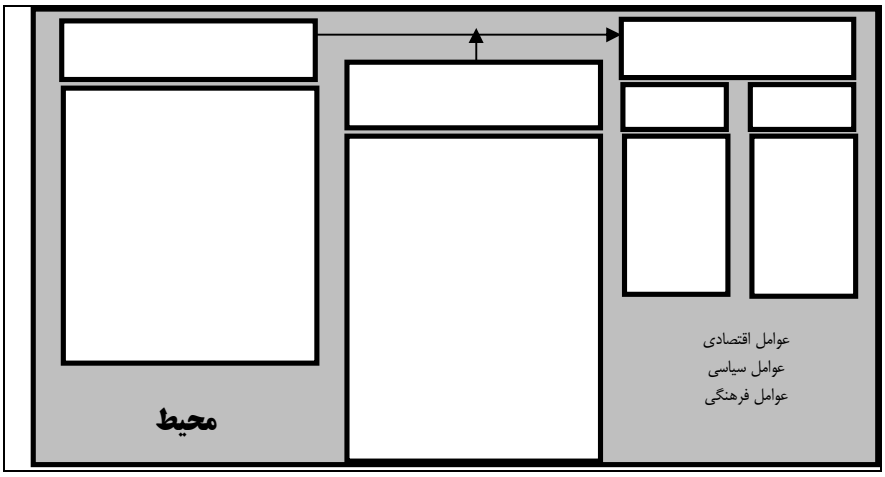
طراحی مدل در چهار مرحله (مدل‌سازی مفهومی، مدل‌سازی ریاضی، پیاده‌سازی مدل و سناریوسازی) صورت می‌پذیرد.

مدل‌سازی مفهومی

در گام اول مدل‌سازی با مصاحبه با سهام‌داران و خبرگان و مطالعه ادبیات پژوهش چارچوب اولیه مدل مبتنی بر عامل تشکیل گردید.

---

1. Shatner, Muchnik, Leshno, & Solomon.
2. DeLong, Schleifer, Summers, & Waldmann
3. Arthur



شکل۳. مدل مفهومی رفتار عامل‌ها در بازار سرمایه ایران

مدل‌سازی تبیین روابط ریاضی خرید و فروش سهام‌داران و قوانین معاملاتی بازار مطابق

مدل مفهومی

پس از ساخت مدل مفهومی و مشخص شدن عامل‌ها و محیط، گام دوم شبیه‌سازی مبتنی بر عامل یعنی مدل‌سازی ریاضی، آغاز می‌شود. در این مرحله، ویژگی عامل‌ها و همچنین قوانین تعاملی میان عامل‌ها به طور دقیق شناسایی و تعریف می‌شوند.

مفروضات مدل‌سازی

به منظور ساده‌سازی فرآیند مدل‌سازی رفتار سهام‌داران در بازار سرمایه همانند هر روش شبیه‌سازی، تعدادی مفروضات در نظر گرفته می‌شوند؛ سهام‌داران در این مدل با توجه به استراتژی‌های معاملاتی خود به دو دسته تقسیم می‌شوند. سهام‌داران تکنیکال، سهام‌داران بنیادی که مطابق با سیر تحولی مدل سهام‌داران تصادفی و سهام‌داران آگاه هم به مدل اضافه می‌شود. در این مدل فرض شده که ناهمگنی عامل‌ها از ریسک‌گریزی، حافظه یادگیری، دارایی سهام شرکت‌های ریسک‌پذیر، دارایی اوراق مشارکت بدون ریسک، میزان نقدینگی، استراتژی‌های خرید و فروش نشأت می‌گیرد.

از آنجایی که این ناهمگنی‌ها لحظه به لحظه در حال تغییر است و نمی‌توانستیم از طریق نمونه‌گیری از دنیای واقعی این ویژگی‌ها را به عامل‌ها نسبت دهیم چرا که اولاً دسترسی به تمام سهام‌داران یک شرکت سهامی به جز سهام‌داران حقوقی میسر نبود و دوماً سایر ویژگی‌های مطرح هم لحظه به لحظه در حال تغییر بود لذا این ویژگی‌ها تا جایی که امکان داشت مطابق با اطلاعات افشاء شده شرکت بورس اوراق بهادار به عامل‌ها نسبت داده‌ایم (مثلاً تعداد سهام‌داران حقوقی یک شرکت سهامی به همراه تعداد سهام) و سایر ویژگی‌ها هم به طور کاملاً تصادفی به عامل‌ها نسبت داده شده است (مثلاً ریسک‌گریزی یا نقدینگی). در هر دور معامله مطابق با بازار سرمایه، هر معامله‌گر در هنگام

ارائه سفارش می‌تواند یک سهم یا چند سهم یا اوراق با درآمد ثابت را خرید یا فروش نماید و سفارشات عملی نشده خود را مبلغی سازد. در مدل جاری توانایی اصلاح و الگوبرداری از افراد موفق به سهام‌دارن داده شده است. در این مدل همه‌ی معامله‌گرها در هر دور معاملاتی سفارش‌هایی تصادفی با توجه به ویژگی‌های عامل محور خود مطابق با قوانین ساختاری بازار سرمایه ایران به سیستم اعلام می‌نمایند. در این بازار خرید و فروش قرضی (اعتباری) امکان‌پذیر نیست. مطابق با بازار سهام ایران سعی شده تا از هر صنعت فعال در بازار سرمایه حداقل سه شرکت حضور داشته باشد، که سازوکار انجام معاملات و تعیین قیمت در این مدل با سازوکار موجود در بازار اوراق بهادار ایران مشابه است. قیمت تعادلی هر یک از اوراق قابل معامله از تقاطع منحنی عرضه و تقاضا در قیمت معامله آن سهم مطابق با دامنه نوسان قیمت آن روز بدست می‌آید. در این مدل برخلاف مدل‌هایی همچون هازم کریچ (۲۰۱۷) هیچ تضمینی برای انجام معامله تمامی سفارش‌های پیشنهادی نیست. همچنین، در صورتی که قیمت پیشنهادی در دامنه نوسان قیمت آن روز سهم نباشد آن سفارش از سیستم حذف می‌شود.

این مدل برخلاف بازار واقعی سهام، امکان ارسال سفارش خرید و فروش در حین روز معاملاتی فراهم نمی‌نماید. در ابتدای هر دور معاملاتی، معامله‌گران اقدام به ارسال سفارش خرید و فروش به بازار می‌نمایند. تجمیع سفارش‌ها طی روز (یک ساعت یا کسری از آن) و تسویه هم‌زمان آن در طی دوره شبیه‌سازی صورت نمی‌پذیرد. بلکه با توجه به شبیه‌سازی گسسته در پایان هر دور شبیه‌سازی می‌باشد. این مدل برخلاف بازار واقعی سهام، سود تقسیمی هر سهم را در مدل‌سازی وارد ننموده و فرض می‌شود که بازدهی هر سهم به نوسانات قیمت آن خلاصه می‌شود.

اجزای مدل

اجزای مدل ریاضی بر اساس مدل مفهومی به دو دسته متغیرها و ماژول‌ها تقسیم می‌شوند که به طور خلاصه به بیان آنها می‌پردازیم.

متغیرها

الف) متغیرهای عامل‌ها: سهام‌داران در بازار می‌توانند در نقش معامله‌گر حقوقی یا حقیقی ظاهر شوند. مقدار سهام‌دار حقوقی در مدل مطابق با شرکت‌های پذیرفته شده در بازار که سهام آنها در حال مبادله است از سایت فناوری بورس برای ۹۴ شرکت حاضر در مدل استخراج شده و برابر با ۵۱۶ سهام‌دار حقوقی ثابت فرض می‌شود. تعداد سهام‌داران حقیقی مطابق با تابع تعداد افراد[1] متغیر بوده و توسط کاربر سیستم قبل از اجرا در بازه [۱۰۰۰ ۱] قابل تنظیم است. سهام‌داران هر شرکت به‌صورت لینک‌های ارتباطی که بین شرکت که به صورت نماد کارخانه می‌باشد و سهام‌دار که به‌صورت آدمک سفید (سهام‌دار حقیقی) و آدمک صورتی (سهام‌دار حقوقی) برقرار می‌شود در مدل نشان داده می‌شود. هنگامی که سهام‌دار سفارش خرید سهمی را به سیستم وارد می‌کند یک لینک ارتباطی خرید به رنگ صورتی بین

[1]. Person Count

سهام‌دار و شرکت برقرار می‌شود. هنگامی که سهام‌دار سفارش فروش سهمی را به سیستم وارد می‌کند لینک ارتباطی قبلیبین سهام‌دار و شرکت به رنگ آبی متمایل به سبز تغییر رنگ می‌دهد. نقدینگی[1] هر یک از سهام‌داران در مدل به طور تصادفی تعیین می‌شود. با توجه به اینکه استراتژی معاملاتی هر سهام‌دار در مدل بایستی مشخص شود تا قیمت خرید و فروش را بر آن اساس اعلام نماید. قبل از اجرای مدل، احتمال تکنیکال بودن توسط کاربر سیستم در بازه [۱۰۰ ۰] تعیین می‌شود. این عدد نشان دهنده این است که چند درصد از سهام‌داران بازار به اختیار کاربر در خرید و فروش‌های خود از استراتژی تکنیکال پیروی کنند. در هر دور معاملاتی یک عدد تصادفی بین صفر و یک به تمامی بازیگران فعال در مدل تخصیص می‌یابد. اگر عدد تخصیص داده شده کوچکتر یا مساوی احتمال تکنیکال بودن (احتمال پیروی از استراتژی تکنیکال در خرید و فروش) باشد استراتژی معاملاتی سهام‌دار، تکنیکالی خواهد بود و اگر بزرگتر از احتمال تکنیکال بودن باشد، استراتژی معاملاتی سهام‌دار، بنیادی خواهد بود. یکی دیگر از ویژگی‌های سهام‌داران بازار سرمایه میزان ریسک‌گریزی آنها است. هنگام ایجاد سهام‌داران در مدل به طور تصادفی در بازه [۱ ۰]عددی را به‌عنوان ریسک‌گریزی به آنها تخصیص می‌دهیم. سبد سهام[2] هر یک از سهام‌داران متفاوت خواهد بود. قدرت یادگیری عامل‌ها در مدل متفاوت بوده یا سهام‌داران دارای قدرت یادگیری هستند و یا نیستند (صفرو یک) در هر دور معاملاتی عددی بین صفر و یک به سهام‌داران تخصیص می‌یابد در صورتی که کوچکتر یا مساوی احتمال تصادفی بودن باشد معامله‌گر در خرید و فروش از استراتژی معاملاتی پیروی نمی‌کند. در صورتی که عدد تخصیصی بزرگتر از احتمال تصادفی بودن باشد معامله‌گر از استراتژی تکنیکالی یا بنیادی پیروی می‌کند. در مدل طراحی شده برای معامله‌گران بازار یادگیری تغییر استراتژی سرمایه‌گذاری، از سهام با ریسک، به اوراق بدون ریسک نیز در نظر گرفته شده است.

ب) متغیرهای تصمیم سرمایه‌گذاری: در مدل طراحی شده امکان سرمایه‌گذاری در تمامی صنایع فعال در بازار سرمایه و همچنین اوراق بدون ریسک فراهم شده است. در بازار طراحی شده بر خلاف سایر مدل‌های مطرح در ادبیات پژوهش که در آنها تنها یک سهام و در برخی دیگر یک سهام و یک اوراق قرضه معامله می‌شد در مدل مذکور ۳۳ صنعت فعال در بازار سرمایه ایران حضور دارند و از هر صنعت حداقل سه شرکت با توجه به اندازه سرمایه آنها (کوچک، متوسط و بزرگ) و با توجه به حجم معاملاتشان انتخاب شده‌اند. معامله‌گران علاوه بر سرمایه‌گذاری در سهام می‌توانند در اوراق بدون ریسک سرمایه‌گذاری نمایند. اوراق طراحی شده در مدل، نرخ بازده آنها در بازه [۱۰۰ ۰] قابل تنظیم بوده و کاربر سیستم علاوه بر تنظیم نرخ بازده، تاریخ سررسید آنها را تعیین می‌نماید. در تاریخ سررسید اصل پول اوراق دریافت می‌شود و اوراق از بین می‌رود و از فردا اوراق جدیدی در بازار قابل معامله است.

ج) متغیرهای مکانیزم بازار: با توجه به سیستم گسسته شبیه‌سازی مدل، هر روز معاملاتی بازار یک دوره معاملاتی[3] محسوب می‌شود. هر دوره معاملاتی با پیشنهاد خرید و فروش عامل‌ها آغاز و با انجام معامله و تسویه و پایاپای و محاسبه قیمت پایانی به پایان می‌رسد در هر دور معاملاتی قیمت سهام شرکت تنها می‌تواند به اندازه ۵ درصد قیمت

[1].Finance [2]. Portfolio [3]. Counter

پایانی دوره قبل نوسان داشته باشد. هنگامی که خریداران و فروشندگان پیشنهاد خرید و فروش سهمی اعلام می‌نمایند، سفارشی ثبت می‌گردد که در دامنه نوسان قیمتی مثبت و منفی ۵ درصد باشد. در بورس اوراق بهادار تهران، زمان تسویه و پایاپای مدت زمان مدیدی T+3 بود و اخیراً به T+2 تغییر یافته است. در مدل طراحی شده تسویه و پایاپای پس از پایان هر دوره معاملاتی صورت می‌پذیرد. شناوری آزاد که در واقع آن بخش از سهام شرکت است که در بازار مورد معامله قرار می‌گیرد. در مدل طراحی شده شناوری آزاد هر سهم متفاوت بوده و مطابق با اطلاعات منتشره شرکت بورس به‌صورت برون‌زا و ثابت تعیین می‌شود.

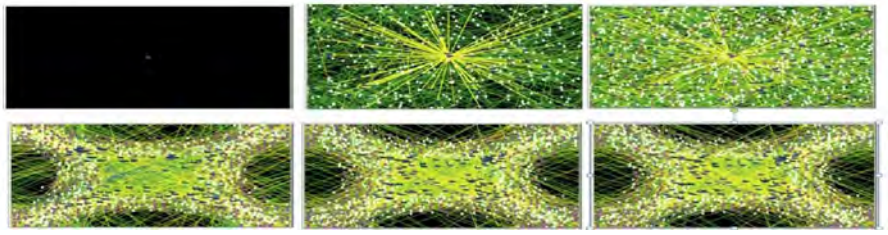
ماژول‌ها

ماژول‌های مدل، همان برنامه‌های عملیاتی هستند که پشت سر هم به اجرا درمی‌آیند تا بازار سهام ایجاد و معامله‌گران در یک محیط تصادفی معامله‌کنند. این ماژول‌ها عبارتند از: ماژول ایجاد سهام شرکت‌های مختلف و اوراق بدون ریسک، ماژول ایجاد سهام‌داران حقیقی و حقوقی، ماژول تخصیص اولیه سهام به سهام‌داران، ماژول تعریف استراتژی معاملاتی تکنیکالی، بنیادی، تصادفی و آگاه، ماژول پیشنهادات خرید و فروش و نهایی کردن معامله، ماژول محاسبه ارزش پورتفوی و به‌روزرسانی آن پس از هر دور معاملاتی، ماژول تسویه و پایاپای، ماژول ایجاد شوک در سود پیش‌بینی هر سهم.

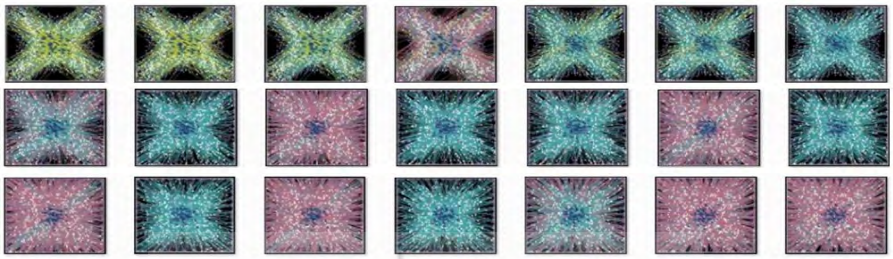
پیاده‌سازی مدل

با توجه به اینکه شبیه‌سازی برنامه به کمک نرم افزار NetLogo صورت پذیرفته، این نرم افزار قابلیت مانیتورینگ رفتار عامل‌های بازار را طی روز معاملاتی و گزارش‌گیری هر دور اجرا را فراهم می‌نماید. کاربر سیستم قبل از اجرای برنامه مطابق با برنامه‌نویسی صورت پذیرفته یکسری تنظیمات (تعداد دفعات اجرا، حضور یا عدم حضور سهام‌دار آگاه، تعداد سهام‌دار حقیقی، تعداد ورود افراد جدید در هر دور، بازده ثابت اوراق، احتمال تکنیکال بودن، احتمال تصادفی بودن، سرعت اجرای شبیه‌سازی، انتخاب سهام قابل پیگیری) جهت اجرای هرچه بهتر مدل را انجام می‌دهد. پس از کدنویسی و تنظیمات اولیه، با تأیید گزینه پیکربندی اولیه، عامل‌های حقیقی و حقوقی، شرکت‌های سهامی، تخصیص سهام به سهام‌داران، تعریف شدن مکانیزم معاملات بازار، تعریف شدن مکانیزم یادگیری و تعاملات عامل‌ها صورت می‌پذیرد.

شکل ۴ نشان دهنده تخصیص اولیه سهام شرکت‌ها به سهام‌داران است. نقاط پراکنده تیره رنگ که در مرکز متمرکز شده‌اند. شرکت‌های سهامی و اوراق بدون ریسک حاضر در مدل و نقاط سفید و صورتی رنگ پراکنده شده در اطراف، سهام‌داران حقیقی و حقوقی مدل هستند و لینک ارتباطی زرد رنگ نشان دهنده تخصیص اولیه سهام (به سهام‌داران حقوقی بر اساس اطلاعات منتشره بورس و به سهام‌داران حقیقی به صورت تصادفی تخصیص می‌یابد) به هر سهام‌دار است. بر روی این لینک تعداد سهام خریداری شده و نرخ خرید و دوره خرید نگهداری می‌شود.

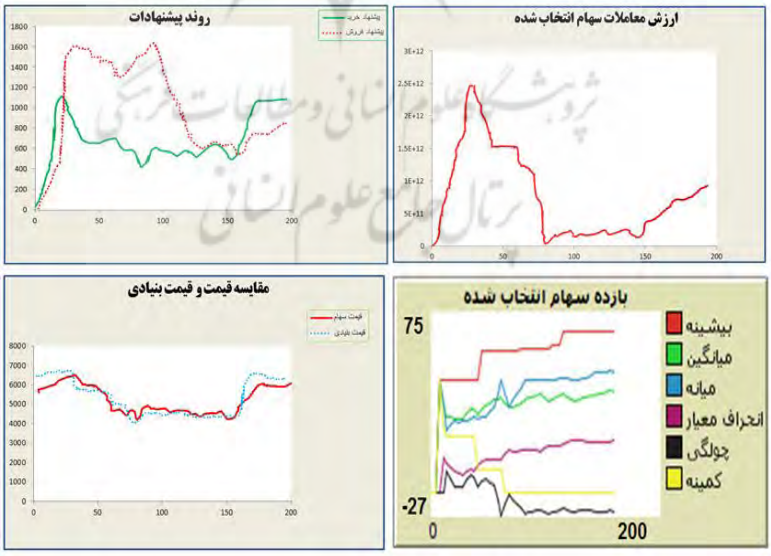


شکل٤. مراحل پیکری‌بندی اولیه مدل



شکل٥. رفتار کلی سیستم در اجراهای متوالی

شکل ۵ رفتار کلی سیستم بازار را در طول اجراهای متوالی نشان می‌دهد که هر دوره معاملاتی با پیشنهاد خرید (رنگ صورتی) و فروش (آبی متمایل به سبز) شروع و با نهایی شدن معاملات (سبز) به پایان می‌رسد. نرم‌افزار جهت ترسیم نمودار قیمت هر سهم، اطلاعات قیمت نهایی شده هر سهم را از روی این لینک‌ها بازیابی می‌نماید. شکل ۶ رفتار سهام‌داران شبندر و بازار را در طول ۲۰۰ دور (شبیه‌سازی به تعداد متفاوتی اجرا شد که پس از ۲۰۰ دور نتایج حالت پایداری داشت و پس از آن تغییر محسوسی در خروجی مشاهده نمی‌شد) شبیه‌سازی نمایش می‌دهد.



شکل٦. رفتار سهام‌داران شبندر و بازار در طول شبیه‌سازی

اعتبارسنجی مدل و طراحی سناریوهای مختلف

اعتبار مدل‌های مبتنی بر عامل بازارهای مالی معمولاً توسط چک نمودن توانایی مدل برای باز تولید مجموعه‌ای از حقایق شکل گرفته تجربی (مثل خوشه‌شدگی، فقدان خودهمبستگی، میزان کشیدگی و چولگی و ...)، تأیید می‌شود (هومس[1]، ۲۰۰۶، لبارون[2]، ۲۰۰۶).

اعتبارسنجی مدل‌های مبتنی بر عامل، چالش مربوط به پیچیدگی ذاتی این نوع مدل‌ها است در جایی‌که غیرخطی بودن تعاملات، ناهمگنی، پویایی تصادفی، تعاملات جزئی در میان عامل‌ها و حلقه‌های بازخورد خرد و کلان معمولاً حضور دارند (فاگیلو و همکاران[3]، ۲۰۰۶). این منجر به بحث‌های شدیدی در مورد چگونگی اعتبار مدل‌های مبتنی بر عامل شده و سطوح مختلف اعتبارسنجی مطرح شده است (بیاچی و همکاران[4]، ۲۰۰۷): ۱-اعتبار تکثیری[5] (خروجی‌های مدل با داده‌هایی که اکنون از سیستم دنیای واقعی بدست می‌آید، مقایسه شود)، ۲- اعتبار پیش‌بینی[6] (مدل توانایی تولید رفتار سیستم قبل از اینکه در سیستم واقعی رخ دهد داشته باشد)، و ۳- اعتبار ساختاری[7] (مدل نه تنها رفتار سیستم واقعی را باز تولید نماید، بلکه به درستی راهی که سیستم واقعی عمل می‌کند تا این رفتار تولید شود را منعکس نماید).

جهت اعتبارسنجی مدل، پس از تهیه نسخه نهایی، مشخصه‌های آماری خروجی مدل شبیه‌سازی شده را با داده‌های واقعی بورس اوراق بهادار تهران مقایسه نموده تا اعتبار مدل تأیید تا در مرحله بعد خروجی سناریوهای شبیه‌سازی قابل استناد باشد. لازم به ذکر است قبل از رسیدن به نسخه نهایی، نسخه‌های دیگر هم از لحاظ ویژگی‌های آماری بررسی گردید و با انجام تغییرات در پارامترهای مدل مثل تعریف نمودن انواع استراتژی‌های معاملاتی، نحوه پیشنهاد خرید و فروش، نحوه یادگیری عامل‌ها، تعریف دامنه نوسان قیمت، افزودن اوراق با درآمد ثابت به مدل، احتمال تکنیکال و فاندامنتال بودن و ... ، به نسخه نهایی که بیشترین شباهت به بازارهای مالی را داشت، دست یافتیم. در جدول ۳ ویژگی آماری بازدهی قیمت یکی از سهام‌های منتخب بازار (سهام پالایشگاه نفت بندرعباس) با تکامل مدل نشان می‌دهیم.

جدول۳. بازدهی قیمت سهام شبندر مطابق داده‌های شبیه‌سازی شده

نسخه	بیشینه	کمینه	میانگین	میانه	انحراف معیار	چولگی	کشیدگی	همبستگی
پایه	۴۵/۵۶	-۲۲/۳۲	-۰/۲۸	۰/۰۰۸	۶/۲۱	-۵/۳۲	۱۴/۲۱	۰/۰۶
۱	۴۲/۷۰	-۲۳/۵۴	-۰/۱۱	۰/۰۰۶	۶/۷۶	-۶/۲۲	۲۲/۱۶	۰/۰۵
۲	۴۱/۴۳	-۲۴/۶۴	-۰/۰۷	۰/۰۰۶	۵/۲۲	-۱۱/۶۹	۳۲/۸۹	۰/۰۴
۳	۵۰/۶۴	-۲۳/۲۵	-۰/۰۸	۰/۰۰۵	۵/۳۱	-۱۵/۲۹	۳۳/۵۴	۰/۰۲

[1]. Hommes
[2]. LeBaron
[3]. Fagiolo, Windrum, & Moneta
[4]. Bianchi, Cirillo, Gallegati & Vagliasindi
[5]. Replicative validity
[6]. Predictive validity
[7]. Structural validity

٤	۵۵/۶۷	−۲۵/۶۶	−۰/۰۴	۰/۰۰۴	۴/۵۵	−۲۵/۳۵	۴۲/۶۷	۰/۰۳
۵	۶۰/۵۱	−۲۵/۳۰	−۰/۰۱	۰/۰۰۳	۴/۵۴	−۲۶/۴۵	۴۱/۲۰	۰/۰۴
٦	۷۴/۳۴	−۲۶/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰۱	۳/۶۳	−۲۶/۴۷	۴۳/۶۰	۰/۰۲

داده‌های قیمتی سهام پالایشگاه نفت بندرعباس در بازه زمانی یک ساله از وبگاه شرکت بورس تهران استخراج گردید و تحلیل‌های آماری با نرم افزار Excel بر روی بازده قیمتی آن انجام شد. نتیجه این تحلیل به‌صورت زیر می‌باشد:

جدول٤. بازدهی قیمت سهام شبندر مطابق داده‌های واقعی

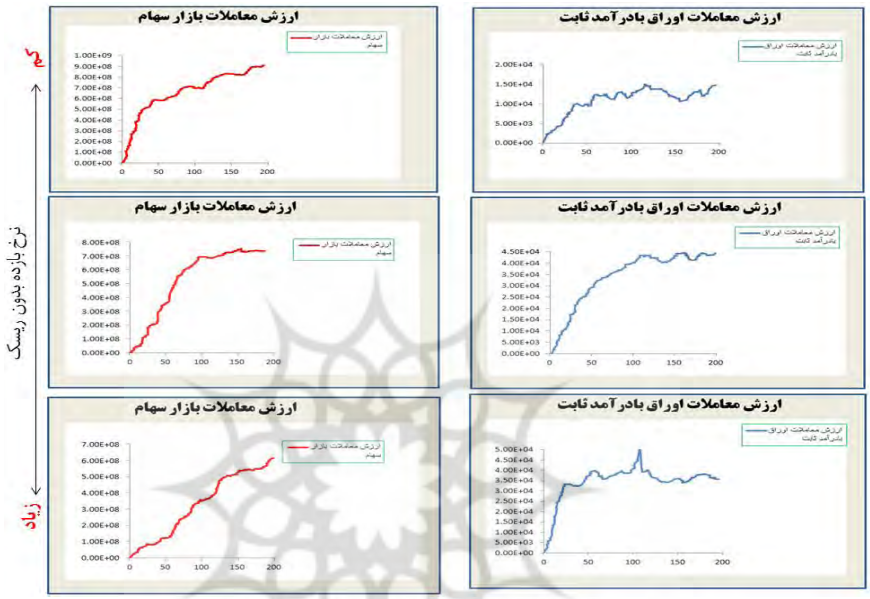
داده واقعی بازار	بیشینه	کمینه	میانگین	میانه	انحراف معیار	چولگی	کشیدگی	همبستگی
	۸۶/۲۴	−۲۵/۲۴	−۰/۰۱۹	−۰/۰۰۶	۴/۳۵۵	−۷/۲۴	۶۳/۵۶	−۰/۰۲۴

مقایسه نتایج تحلیل داده‌های شبیه‌سازی شده با تحلیل داده‌های واقعی نشان از صحت خروجی‌های مدل دارد. همانطور که مشاهده می‌شود تمامی معیارهای سنجش مدل، در نسخه ۶ با ویژگی‌های بازار واقعی تطبیق داشته همچون بیشینه و کمینه‌های به نسبت بزرگ، میانگین و میانه‌های نزدیک به صفر، چولگی منفی و ضریب کشیدگی بزرگتر از ۳ و انحراف معیار بزرگتر از یک، لذا جهت سناریوسازی سوالات پژوهش از این نسخه استفاده می‌شود تا خروجی شبیه‌سازی بیشترین تطبیق را با دنیای واقعی داشته باشد. همین تحلیل در خصوص ۹۳ شرکت سهامی دیگر حاضر در مدل صورت پذیرفت و اعتبار مدل مورد تأیید قرار گرفت. در خصوص تست اعتبار پیش‌بینی مدل، در حین اجرای شبیه‌سازی هنگامی که قیمت سهام شرکت منتخب نسبت به قیمت بنیادی آن اُفت زیادی داشته باشد پیش‌بینی می‌شود که پس از چند دور اجرا قیمت سهام شرکت رشد نماید و به قیمت بنیادین نزدیک شود. این رفتار را پس از ۲۰۰ بار اجرای شبیه‌سازی سهام شبندر مشاهده می‌نماییم.

مطابق با شکل ۶ (مقایسه قیمت و قیمت بنیادی) تا روز ۴۰ ام قیمت بنیادین سهام شرکت بیشتر از قیمت سهام شرکت بوده بنابراین قیمت سهام شرکت روند صعودی پیدا کرده و در قیمت ۴۵۰۰ ریال، قیمت بنیادین سهام و قیمت معامله سهام به هم می‌رسند و حباب موجود از بین می‌رود. از روز ۴۰ ام به بعد روند نزولی قیمت سهام شرکت آغاز می‌شود چون قیمت بنیادی سهام روند نزولی خود را آغاز نموده است. تمامی مدل‌های مبتنی بر عامل از اعتبار ساختاری بالایی برخوردار هستند چرا که این نوع مدل‌سازی از کوچکترین قسمت که همان عامل‌ها می‌باشند آغاز می‌شود و با توجه به مدل‌سازی آنها مطابق دنیای واقعی و رعایت تمایز ویژگی و رفتاری آنها قاعدتاً ساختار کلی مدل هم مطابق با دنیای واقعی خواهدشد.

یکی دیگر از تست‌های اعتباری مدل تجزیه و تحلیل حساسیت است. یکی از تست‌های حساست مدل، حساسیت

نسبت به نرخ بازده اوراق بدون ریسک است. در بازار واقعی هر چه نرخ بازدهی اوراق بـدون ریسـک افـزایش یابـد افـراد تمایل دارند تا سرمایه‌گذاری خود را به آن سمت هدایت کنند و سرمایه‌گذاری خود را در سهام بـه علـت ریسـک بـالاتر از اوراق کاهش دهند. جهت تست حساسیت مدل نسبت به نرخ بازدهی اوراق، این نرخ را در کمترین میـزان ممکـن سـپس متوسط و زیاد قرار دادیم و روند تغییرات ارزش معاملات بازار سهام و ارزش معاملات اوراق بدون ریسـک را در ایـن سـه حالت بررسی نمودیم. مطابق شکل ۷ مدل نسبت به این تغییرات به درستی رفتار نموده است.



شکل۷. تحلیل حساسیت مدل نسبت به تغییر نرخ بازده بدون ریسک

هدف از طراحی مدل قابلیت پاسخگویی آن به سوالات پژوهش است. در این پژوهش سـوال اصـلی پـژوهش ایـن بوده که مدل شبیه‌سازی مبتنی برعامل بازار سرمایه با تمرکـز بـر رفتارهـای گونـاگون سـهام‌داران چگونـه مـدلی (بـازار مجازی) است. جهت پاسخ به این سوال دو سوال فرعی زیر مطرح شد:

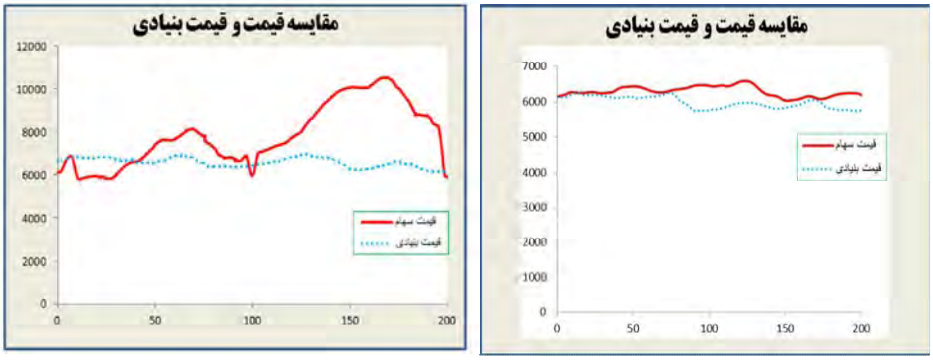
سوال فرعی۱: آیا حباب قیمتی در حالت وجود اطلاعات نهانی برخی از عامل‌ها به دفعات بیشتری اتفاق می‌افتد؟

سوال فرعی۲: تغییر در قوانین و پارامترهای های کنترلی بازار (مثل تغییر دامنه نوسـانات قیمـت) چـه تـأثیری بـر روی عملکرد بازار می‌گذارد ؟

در مدل طراحی شده، سهام یکی از شرکت‌های مدل‌سازی شده را انتخاب نموده (پتروشیمی پردیس با نماد شپدیس انتخاب شد). سپس مدل را با حضور و با عدم حضور سهام‌داران آگاه[1] اجرا نمودیم. معیار وجود حباب قیمتی وجود انحـراف میان قیمت معامله شده سهم و قیمت بنیادین است. مقایسه دو نمودار زیر نشان می‌دهد کـه حضـور سـهام‌داران آگـاه در

[1]. Aware user on/off

بازار سبب انحراف قیمت سهام از قیمت بنیادین شده است و این فرضیه که سهام‌داران آگاه که در بازارهـای مـالی نابـالغ حضور دارند سبب ایجاد حباب قیمتی می‌شوند مورد تأیید قرار گرفت.



شکل۸. مقایسه قیمت معاملاتی و قیمت بنیادی سهام شپدیس بدون حضور (راست) و با حضور (چپ) سهام‌داران آگاه

جهت پاسخ سوال دوم پژوهش محدودیت دامنه نوسان قیمت را از ۵ درصد مثبت و منفی نسـبت بـه قیمـت پایـانی روز قبل را از مدل حذف نمودیم و خریداران و فروشندگان قیمت پیشنهادی خود را در هر بازه مـی‌توانسـتند وارد سیسـتم کنند. در این حالت مشاهده گردید قیمت سهام شرکت‌ها در بازه زمانی کوتـاه مـدت نوسـانات شـدیدی نسـبت بـه ارزش بنیادین داشته و سپس به حالت تعادلی قیمت نزدیک می‌شود. برای تست این سوال پژوهش سـهام بیمـه دانـا را انتخـاب نموده و در کدینگ دامنه ۵ درصدی را حذف می‌نماییم و برنامه را ۲۰۰ بار اجرا می‌نماییم. نتـایج شـبیه‌سـازی مطـابق بـا نمودار زیر است. نمودار قیمت سهام شبیه‌سازی شده بیانگر نوسانات شدید تا رسیدن به حالت تعادل است.

شکل۹. نوسانات قیمت سهام بیمه دانا با حذف دامنه نوسان قیمت روزانه

بحث

مطابق با شکل ۸ مشاهده می‌شود هنگامی که سهام‌داران آگاه در مدل حضور دارند قیمـت سـهام شـپدیس در دوره‌هـای ۲۰، ۶۰ و ۱۵۰ ام از قیمت بنیادین فاصله زیادی داشته و این شکاف با گذشت زمان تشدید می‌شـود. سـهام‌داران آگـاه بـا توجه به دسترسی به اطلاعات پنهان باعث جهت‌دهی به قیمت می‌شوند. این سناریو اهمیت نحوه افشاء اطلاعـات سـهام

را نشان می‌دهد اگر همه بازیگران، هم‌زمان به اطلاعات دسترسی داشته باشند. قیمت سهام معامله شده از قیمت بنیادین کمترین انحراف را خواهد داشت و شاهد ایجاد حباب قیمتی نخواهیم بود. مطابق با شکل ۹ مشاهده می‌شود که حذف دامنه نوسان قیمت موجب نوسانات شدید قیمت سهام دانا در ۱۰۰ دور اول شده است و پس از آن نوسانات کمتر و در نهایت به حالت پایدار رسیده است. اجرای این سناریو نشان می‌دهد که در بازار سهام ایران حذف دامنه نوسانات قیمت در کوتاه مدت باعث تشدید حرکت سفته بازانه در بازار می‌شود اما در بلند مدت باعث کاراتر شدن بازار و نزدیک شدن قیمت معامله سهام به قیمت بنیادی می‌شود.

در مدل طراحی شده قیمت تعادلی هر سهم از تطبیق سفارشات خرید و فروش بدست آمده (مطابق بازار سرمایه ایران)، برخلاف مدل‌های رایج در ادبیات پژوهش که قیمتی را از قبل به عنوان قیمت تعادلی بیان می‌نمودند. در این مدل سعی شد تا تمامی محدودیت‌های حاضر در بازار سرمایه ایران (با توجه به ویژگی‌های ذاتی آن) که نقش بسزایی در قیمت معامله سهام شرکت‌های حاضر در بازار می‌گذارد، رعایت و مولفه‌های تأثیرگذار بر قیمت، علاوه بر عرضه و تقاضا (مثل تحریم‌ها)، به‌صورت شوک‌های تصادفی که بر سود پیش‌بینی هر سهم تأثیرگذار است، مدل‌سازی شود. در این مدل برخلاف اکثر مدل‌های موجود در این حوزه علاوه بر سهام، اوراق بدون ریسک به عنوان نماینده بازارهای پولی مدل‌سازی و تا حدی اثرات تقابلی آنها برهم شبیه‌سازی و بررسی شد.

نتیجه‌گیری

در این پژوهش سعی شد تا با طراحی مدل مبتنی بر عامل بازار سهام و ارزیابی‌های سناریوهای مختلف، متولیان بازار را در اتخاذ تصمیمات راهبردی یاری رسانیم. در این مدل استراتژی هر عامل را به طور تصادفی با مقایسه با احتمال تکنیکال بودن تعیین شده اما متولیان بازار با توجه به دسترسی به اطلاعات تاریخی و محرمانه خرید و فروش تمامی سهام‌داران در هر دوره، امکان خوشه‌بندی سهام‌داران مطابق با استراتژی معاملاتی آنها را دارند تا با دقت و با واقعیت بیشترشبیه‌سازی نمایند تا نتایج کاربردی‌تر باشد.

در این پژوهش فرض شده که در هر دور معاملاتی هر سهام‌دار تنها از یک استراتژی معاملاتی پیروی می‌کند، به محققان آتی پیشنهاد می‌شود که امکان به‌کارگیری استراتژی ترکیبی برای هر سهام‌دار با تابع توزیع احتمالات فراهم نمایند. در این مدل مفرض شده که معامله‌گران بنیادی تنها از ابزار نسبت $\frac{P}{E}$ و معامله‌گران تکنیکال تنها از ابزار میانگین موزون برای پیشنهاد خرید و فروش استفاده می‌نمایند. پیشنهاد می‌شود که محققان آتی ابزارهای متعدد محاسبه قیمت تکنیکال و بنیادی (مثل انواع اندیکاتورها، دنباله‌ها، خطوط روند، ارزش فعلی جریانات آتی ...) را در مدل‌سازی نمایند.

دراین مدل فرض شده که یادگیری سهام‌داران تنها در مقایسه با بازده اوراق بدون ریسک متبلور می‌شود اما سهام‌داران می‌توانند بازده سهام‌دارن پیروی از یک استراتژی معاملاتی را با بازده سهام‌داران استراتژی دیگر مقایسه و استراتژی خود را مطابق با استراتژی بیشترین بازده تنظیم نماید.

منابع

سعیدی، علی؛ و فرهانیان، سید محمد جواد (۱۳۹۴). *مبانی اقتصاد و مالی رفتاری*. تهران: انتشارات بورس (وابسته به شرکت اطلاع رسانی و خدمات بورس).

رستگار، محمدعلی؛ و ساعدی فر، خاطره (۱۳۹۶). استراتژی بهینه اجرای معاملات بزرگ با رویکرد شبیه‌سازی عامل‌گرا. *تحقیقات مالی*، (۲)۱۹، ۲۳۹-۲۶۲.

References

Adriaens H. (2002). *Simulating Financial Markets With Heterogeneous Agents: A Study in an Agent Based Computational Economics Framework*. master's thesis, University of Tilburg, www.stuw.uvt.nl/~hendri/University/education.html .

Agliari, A., Naimzada, A., & Pecora, N. (2018). Boom-bust dynamics in a stock market participation model with heterogeneous traders. *Journal of Economic Dynamics and Control*, 91, 458-468. doi.org/10.1016/j.jedc.2018.04.007.

Arthur W. B. (2004). Inductive Reasoning and Bounded Rationality., *The American Economic Review*, 84 (2), 406-411.

Bak, P., Paczuski, M., & Shubik, M. (1997). Price variations in a stock market with many agents. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 246 (3-4), 430-453.

Bianchi, C., Cirillo, P., Gallegati, M., & Vagliasindi, P. A. (2007). Validating and calibrating agent-based models: a case study. *Computational Economics*, 30 (3), 245-264.

Caldarelli, G., Marsili, M. & Zhang, Y. C. (1997).A prototype model of stock exchange. *EPL (Europhysics Letters)*, 40 (5), 479-484.

Chen S., Chen H. & Yeh C. (2001). Evolving Traders and the Business School With Genetic Programming: A New Architecture of the Agent-Based Artificial Stock Market, *Journal of Economic Dynamics and Control*, 25, 363-393.

De la Maza M. & Yuret D (1995) .A Model of Stock Participants In Birthahn J. and Nissen V., eds., Evolutionary Algorithms in Management Applications, Springer Verlag, Heidelberg, 290-304.

DeLong J.B., Schleifer, A., Summers, L. H. & Waldmann, R. (1991). The Survival of Noise Traders in Financial Markets, *Journal of Business*, 64, 1-19.

Fagiolo, G., Windrum, P., & Moneta, A. (2006). *Empirical validation of agent-based models: A critical survey* (No. 2006/14). LEM Working Paper Series.

Farmer, J. D., & Joshi, S. (2002). The price dynamics of common trading strategies. *Journal of Economic Behavior & Organization*, 49 (2), 149-171.

Franses, P. H., & Van Dijk, D. (2000). *Non-linear time series models in empirical finance*. Cambridge University Press.

Gilbert N., and Troitzsch K. (2008). *Simulation For The Social Scientist*, New York: Open University Press.

Krichene, H., & El-Aroui, M. A. (2017). Artificial stock markets with different maturity levels: simulation of information asymmetry and herd behavior using agent-based and network models. *Journal of Economic Interaction and Coordination*, 1-25

Hommes, C. H. (2006). Heterogeneous agent models in economics and finance. *Handbook of computational economics*, 2, 1109-1186.

Joshi, S., & Bedau, M. A. (1998).An explanation of generic behavior in an evolving financial market.*Complex Systems*, 98, 326-332.

Keles, D., Bublitz, A., Zimmermann, F., Genoese, M., & Fichtner, W. (2016). Analysis of design options for the electricity market: The German case. *Applied energy*, 183, 884-901.

LeBaron, B. (2006). Agent-based computational finance. *Handbook of computational economics*, 2, 1187-1233.

Lux, T. (1998). The Socio-economic Dynamics of Speculative Markets: Interacting Agents, chaos, and the Fat Tails of Return Distributions, *Journal ofEconomic Behavior and organization*, 33, 143-165.

Lux, T., & Marchesi, M. (2000). Volatility clustering in financial markets: a microsimulation of interacting agents. *International journal of theoretical and applied finance*, 3 (04), 675-702.

Macal, C. M., & North, M. J. (2005).Tutorial on agent-based modeling and simulation.In *Simulation conference, 2005 proceedings of the winter* (pp. 14-pp).IEEE.

Ponta, L., Pastore, S., & Cincotti, S. (2018). Static and dynamic factors in an information-based multi-asset artificial stock market. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 492, 814-823.

Rastegar, M., Saedi Far, K. (2017). Optimal Execution Strategy: An Agent-based Approach. *FinancialResearchJournal*, 9 (2), 262-239.*(in persian)*

Roberto, M., Cincotti, S., Focardi, S. M., & Marchesi, M. (2001).Traders' long-run wealth in an artificial financial market. *Computational Economics*, 22 (2-3), 255-272.

Roozmand O., and Webster D. (2014) "Consumer Choice and aggregate demand: AnABM approach to understanding the impacts of satisficing behavior ", International Journal of Agent Technologies and Systems (IJATS), 6 (4), 1-18.

Sa'idi, A. & Farhanian, S. M. J. (2015). *Basics of Behavioral Economics and Finance*. Tehran: Exchange. *(in Persian)*

Shatner, M., Muchnik, L., Leshno, M., & Solomon, S. (2000). A continuous time asynchronous model of the stock market; beyond the lls model. *arXiv preprint cond-mat/0005430*.

Youssefmir, M., Huberman, B. A., & Hogg, T. (1998). Bubbles and market crashes. *Computational Economics*, 12 (2), 97-114.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی