

مقدمه ای بر مدل‌سازی عامل پایه و اقتصاد محاسباتی عامل پایه؛ ارائه یک مدل ساده برای بازار با اطلاعات نامتقارن^۱

محسن کریمی

دانشجوی دکترای اقتصاد دانشگاه علامه طباطبائی، *andanikarimi@gmail.com*

تیمور محمدی*

دانشیار دانشگاه علامه طباطبائی، *mohammadi@atu.ac.ir*

تاریخ دریافت: ۹۶/۰۹/۲۸ تاریخ پذیرش: ۹۸/۰۱/۲۰

چکیده

در این مقاله سعی شده است مدل‌سازی عامل پایه و قابلیت‌ها و کارکرد آن در اقتصاد، که امروزه «اقتصاد محاسباتی عامل پایه» نامیده می‌شود، معرفی گردد. مدل‌های رایج اقتصادی گاهی برای آنکه امکان حل تحلیلی داشته باشند مبادرت به وضع فرض بیش از اندازه ساده کننده می‌کنند و به همین دلیل گاهی آن قدر از واقعیت فاصله می‌گیرند که سیاست‌گذار اقتصادی نمی‌تواند به نتایج این مدل‌ها به راحتی اعتماد کند. تلاش‌های زیادی توسط اقتصاددانان برای کاستن این شکاف صورت گرفته است که اقتصاد محاسباتی عامل پایه یکی از آنهاست. موضوعات و مسائلی در اقتصاد همچون عدم تعادل، ناهمگنی، یادگیری و عقلانیت محدود، غیرخطی بودن، تعاملات محلی، ساختار شبکه‌ای، پیچیدگی، خطای تجمیع و کلیت‌گرایی از جمله مسائلی است که در این مقاله برشمرده می‌شود و ظرفیت‌های اقتصاد محاسباتی عامل پایه در مواجهه با این مسائل تبیین می‌گردد. در پایان نیز یک مدل عامل پایه، با موضوع اطلاعات نامتقارن در بازار محصولاتی با کیفیت پنهان از دید مصرف‌کننده، ارائه شده است تا برخی از قابلیت‌های این رویکرد جدید به تصویر کشیده شود.

واژه‌های کلیدی: مدل‌سازی عامل پایه، اقتصاد محاسباتی عامل پایه، شبیه‌سازی، پیچیدگی.

طبقه‌بندی JEL: E17, C63, B40

^۱ این مقاله مستخرج از پایان نامه دکترای محسن کریمی در دانشگاه علامه طباطبائی می‌باشد.

* نویسنده مسئول مکاتبات

۱- مقدمه

مدل‌های عامل پایه^۱ (ABMs) مدل‌هایی هستند که در آن تعداد بسیار زیادی از موجودات مستقل (عامل) با یکدیگر و با محیط تعامل می‌کنند و در عین حال برون‌داد تعامل آنها به صورت عددی محاسبه می‌شود. واحد پایه تحلیل در ABMs عامل است. هر عامل می‌تواند هر موجود دارای ماهیت بیولوژیک یا یک فرد یا یک گروه اجتماعی مثل خانوار یا بنگاه یا یک نهاد حاکمیتی باشد. عامل‌ها می‌توانند با یکدیگر ترکیب شوند تا عامل‌های جدیدی ایجاد شود. تنها لازم است هر عامل به عنوان یک واحد تجزیه‌ناپذیر از بیرون دیده شود و اینکه هر عامل قادر به انجام یک فعالیت و واکنش به محرک‌های بیرونی و تعامل با محیط و سایر عامل‌ها باشد. محیط شامل موجودیت‌های فیزیکی مثل زیرساخت‌ها، موقعیت‌های جغرافیایی و... است. البته نهادها مثل بازارها، نظام‌های تنظیم‌گری و... نیز می‌توانند به عنوان عامل در نظر گرفته شوند مادام که شرایط اشاره شده محقق باشد. در غیر این صورت به عنوان مجموعه‌ای از متغیرها در نظر گرفته می‌شود. در واقع مدل‌های عامل پایه از مجموعه عامل‌هایی تشکیل می‌شوند که مبتنی بر قواعد رفتاری شناخته شده و اغلب ساده و سرانگشتی، با یکدیگر و با محیط در طول زمان تعامل دارند.

امروزه پیشرفت در علوم کامپیوتر و ریاضیات از یک سو و دسترسی آسان به سخت‌افزارهای حافظه، پردازش و محاسبات در حجم بسیار بالا از سوی دیگر، باعث گردیده است که توجه دانشمندان سایر علوم اعم از علوم اجتماعی و طبیعی بیش از آنکه به ساده‌سازی مسائل معطوف باشد؛ به زوایای کمتر توجه شده رفتار موجود مورد مطالعه و برون‌دادهای جمعی آن متمرکز شود. در مدل‌های رایج اقتصادی اعمال فروض بیش از اندازه ساده کننده^۲ عموماً برای آن است که امکان حل تحلیلی مدل را فراهم کند در حالی که در رویکرد مدل‌سازی عامل پایه حتی با در نظر گرفتن این پیچیدگی‌ها امکان حل مدل البته به صورت محاسباتی^۳ وجود دارد. بکارگیری این رویکرد مدل‌سازی در اقتصاد، به اقتصاد محاسباتی عامل پایه^۴ (ACE) مشهور شده

^۱ Agent Based Models

^۲ Over Simplifying Assumptions

^۳ Computational

^۴ Agent Based Computational Economics(ACE)

است. یعنی مطالعه محاسباتی فرآیندهای اقتصادی که به صورت یک نظام پویا شامل مجموعه عامل‌های در تعامل با یکدیگر مدل‌سازی شده است (تسفاتسیون^۱، ۲۰۰۶). غالباً سه مشخصه اصلی برای مدل‌های اقتصاد محاسباتی عامل پایه بر شمرده می‌شود. ۱- تطبیق مبتنی بر یادگیری^۲ ۲- تنوع و ناهمگنی^۳ ۳- تعامل محلی و شبکه‌های جغرافیایی^۴. این سه مشخصه در مقایسه با فروض ساده‌کننده موجود در مدل‌های رایج اقتصادی، تطابق بیشتری با واقعیت دارد و مدل‌ساز را قادر می‌سازد تا از این فروض رهایی یابد. اینکه بنگاهها و افراد متفاوت و ناهمگن، در محیط‌هایی که اغلب محلی (در مقابل گلوبال) و بر پایه روابط شبکه‌ای است؛ خود را بر اساس یافته‌هایشان با محیط اطراف تطبیق می‌دهند؛ و نهایتاً اینکه تعامل افراد و بنگاه‌ها در یک محیط محلی و مبتنی بر شبکه، فعالیت‌ها، انتظارات و عواید دیگران را متاثر می‌سازد. حتی وقتی ویژگی‌های تجمیعی ABMs مدنظر است، چگونگی ترکیب این چهار مشخصه نیز اهمیت می‌یابد (پیچ^۵، ۲۰۱۲). در واقع در رویکرد ABM ظرفیت‌هایی وجود دارد که بدون اینکه به امکان پذیری حل مدل آسیب بزند می‌تواند حالاتی که در آن ناهمگنی، تعاملات محلی، یادگیری و اثرات بیرونی وجود دارد را مدل‌سازی کند (اپستین^۶، ۲۰۰۶) که در ادامه هر یک از این موارد بیشتر توضیح داده خواهد شد.

۱- ناهمگنی: اقتصاد در میان علوم اجتماعی قرار گرفته است و این بدان معناست که تمرکز این علم نه فقط بر افراد به خودی خود بلکه بر مجموعه افراد و تعامل میان آنها و چگونگی تجمیع^۷ این تعاملات است. یک نوع مواجهه ساده با این موضوع این است که اقتصاد در بردارنده یک عامل نمونه است که اگر این عامل نمونه به درستی رفتار همه افراد هم نوع خود را نمایندگی کند در این صورت پر واضح است که رفتار او منعکس کننده رفتار اقتصاد است. اما این ایده برای بسیاری شک برانگیز است (کیرمن^۸، ۱۹۹۲). باید توجه داشت که فقط در صورت منظور نمودن ناهمگنی عامل‌هاست که امکان شکل‌گیری تعامل میان آنها متصور است چرا که برای عامل‌های همگن هیچگونه بده

¹ Tesfatsion

² Learning adaption

³ Diversity and heterogeneity

⁴ Geography networks

⁵ Page

⁶ Epstein

⁷ Aggregation

⁸ Kirman

بستان و تعاملی متصور نیست. همگن‌سازی آحاد و در نظر گرفتن عامل نمونه اگرچه باعث ساده‌سازی مدل می‌شود اما راه تعامل را در مدل می‌بندد و این بسیار دور از واقعیت است. چه بسا بسیاری از واقعیات اقتصادی همچون چرخه‌های تجاری و فراز و فرود در بازارهای مالی ریشه در تعامل عامل‌های فعال در بازار دارد. معمولاً این کار با انتخاب و اختصاص یک توزیع و یا تخصیص مقادیر آستانه‌ای^۱ متعدد به پارامترهای مدل مثل ترجیحات، ثروت اولیه، موقعیت مکانی، ارتباطات شبکه‌ای و اجتماعی و توانمندی‌ها و حساسیت‌های متفاوت صورت می‌گیرد.

۲- تعامل محلی و ساختار شبکه‌ای: برخلاف مدل‌های سنتی که یا تعامل‌های سراسری (گلوبال^۲) را در نظر می‌گیرند (مثل بازارهای والراسی) یا تعامل‌های محلی ساده، مدل‌های عامل پایه اجازه می‌دهند که شبکه‌ای از تعامل‌های تعریف شده و پویا میان عامل‌ها که دارای مشخصه‌های غنی‌تری هستند در مدل اعمال شود. آحاد اغلب در موقعیت‌های فیزیکی متفاوتی قرار دارند که هر یک همسایگی‌های متفاوتی را رقم می‌زند که بالتبع تعاملات متفاوتی را با همسایگان خود تجربه می‌کنند.

۳- تطبیق مبتنی بر یادگیری و مساله عقلانیت محدود: تطبیق^۳ در کارکرد بیولوژیک عبارت است از فرآیندی که در آن یک ارگانیسم خودش را در محیط قرار می‌دهد. به بیان دیگر تجربه زندگی راهنمای تغییرات ارگانیسم است به طوری که با گذشت زمان ارگانیسم استفاده بهتری از محیط برای منظور خود می‌کند. در واقع عامل‌ها بر اساس تجارب خود قواعد رفتاری خود را تغییر می‌دهند (هلند^۴، ۱۹۹۵). «یادگیری»^۵ ریشه در این ویژگی یعنی تطبیق دارد که طبق تعریف حتی می‌تواند از عامل‌هایی غیر از انسان نیز بروز کند.

در مدل‌های تحلیلی ساده، ترجیح آن است که با نسبت دادن رفتارهای عقلانی به عامل‌ها، یکسری رفتارهای بهینه، از بالا به مدل تحمیل شود. در ABMs اما عامل‌ها نه اطلاعات کامل دارند و نه قدرت محاسباتی نامحدود. اگرچه آنها هدف‌گرا هستند اما به دلیل همین دو محدودیت لزوماً بهینه‌ساز نیستند بلکه مبتنی بر قواعد ساده و اطلاعات محلی عمل می‌کنند (اپستین، ۲۰۰۶).

^۱ Threshold

^۲ Global

^۳ Adaptation

^۴ Holland

^۵ Learning

با این مقدمه هنوز آنچه که مشخصه اصلی ACE است و آن را از سایر زیر رشته‌های اقتصاد متمایز می‌کند بیان نشده است. اگر چه در دانش اقتصاد، برخی مدل‌های تحلیلی مثل نظریه بازی‌ها^۱ در بردارنده عامل هستند و مبتنی بر رفتار عامل‌های ناهمگن ساخته می‌شوند اما این مدل‌ها به دنبال نتایج تحلیلی هستند و به همین دلیل ممکن است در برخی شرایط قابل حل نباشند. برخی دیگر از مدل‌ها همچون مدل‌های پویایی سیستم^۲ (SD) اگر چه رویکرد محاسباتی^۳ دارند اما عامل پایه نیستند بلکه تجمیعی هستند فلذا واجد معایب تجمیعی بودن هستند که در بخش ۲.۱ خواهد آمد. فقط ABMs هستند که هر دو ویژگی مبتنی بر عامل بودن و محاسباتی بودن را همزمان دارا هستند (ریچاردی^۴، ۲۰۱۲).

ترکیب این دو خصیصه یعنی محاسباتی بودن و مبتنی بر عامل بودن در مدل‌های ACE آنها را قادر می‌سازد تا بتوانند نشان دهند که کل یک سیستم می‌تواند بزرگتر از مجموع اجزایش باشد یا حداقل به صورت کیفی از مجموع اجزایش متفاوت باشد. همچنین ترکیب این دو ویژگی، این مدل‌ها را قادر می‌سازد تا در سطح خرد ساخته شوند اما پیچیدگی‌های کلان را توضیح دهند (ریچاردی، ۲۰۱۲).

بر اساس آنچه تا کنون بیان گردید، مدل‌های عامل پایه مدلی هستند که در آن: ۱- تعداد زیادی عامل با یکدیگر و با محیط در تعامل هستند. ۲- عامل‌ها مستقل هستند و کنترل بالا به پایین بر رفتار آنها اعمال نمی‌شود. ۳- برون‌داد تعامل آنها به صورت عددی محاسبه و شبیه‌سازی می‌شود. تاکید می‌شود که هیچکدام از این سه مشخصه به تنهایی روش شناسی ABMs را معین نمی‌کند بلکه در نظر گرفتن همزمان هر سه مشخصه، تعیین کننده روش شناسی خاص ABMs است. مثلاً در نظر گرفتن مشخصه‌های ۱ و ۲، روش شناسی جدیدی را تعیین نمی‌کند چرا که در تئوری بازی‌ها تعاملات استراتژیک عامل‌ها به صورت تحلیلی بحث می‌شود یا بر پایه مشخصه ۳ نیز روش شناسی جدیدی مطرح نیست چرا که رویکرد محاسباتی نوعاً در تعادل عمومی محاسباتی^۵ (CGE) یا در پویایی‌های سیستم (SD) برای تحلیل نموده‌های تجمیعی سیستم مورد استفاده قرار می‌گیرد.

¹ Game Theory

² System Dynamic

³ Computational

⁴ Richiardi

⁵ Computational General Equilibrium

همچنین از آنچه گفته شد بر می‌آید که متغیرهای تجمیعی (کلان) مثل مصرف، پس انداز، سرمایه‌گذاری و ... که واحدهای اولیه تحلیل در اقتصاد کلان کینزی هستند نمی‌توانند در چارچوب مدل‌سازی عامل پایه مدل شوند. همچنین هیچ خبری از یک عامل نمونه^۱ که سنگ بنای اقتصاد نئوکلاسیک است وجود ندارد. بنابراین ACE نمی‌تواند پایه‌های خرد اقتصاد کلان سنتی کینزی را ارائه کند و یا به عنوان نتایج تجمیعی تحلیل نئوکلاسیکی مبتنی بر رفتار حداکثرسازی افراد قلمداد شود. همچنین مدل‌سازی مستقیم توابع عرضه و تقاضا در چارچوب عامل پایه ممنوع است. در حالی که این توابع تجمیعی در چارچوب مدل‌سازی عامل پایه ممکن است به عنوان برآیند تصمیمات عامل‌های فردی بروز یابد. البته ممکن است چنین توابعی ساخته نشود. از آنجا که خاستگاه مدل‌های عامل پایه، تحلیل سیستم‌های پیچیده^۲ بوده است لذا درک مسائل مربوط به سیستم‌های پیچیده کمک خوبی به درک قابلیت‌های ABMs می‌کند بنابراین در بخش بعد ارتباط رویکرد مدل‌سازی عامل پایه و سیستم‌های پیچیده بحث خواهد شد. در بخش ۳ به مقایسه مدل‌های عامل پایه با مدل‌های تعادلی و مسائل مربوط به وجود یا عدم وجود تعادل و یا تعادل‌های چندگانه و یا پویایی‌های خارج از تعادل پرداخته می‌شود. شاید اصلی‌ترین ویژگی مدل‌های عامل پایه که آنها را برای تحلیل در چارچوب نظری اقتصاد تکاملی^۳ مناسب می‌سازد، ویژگی غیر تعادلی بودن این رویکرد مدل‌سازی است که از ابتدا فرض تعادل را به مدل تحمیل نمی‌کند. در بخش ۴ نسبت ریاضیات با مدل‌سازی عامل پایه بحث خواهد شد و سوء تفاهماتی که از منظر ریاضیاتی نسبت به این رویکرد مدل‌سازی وجود دارد تشریح خواهد شد و سپس بررسی خواهد شد که این رویکرد مدل‌سازی چگونه می‌تواند مکملی برای مدل‌های ریاضیاتی (تحلیلی) باشد. در بخش ۵ و پیش از جمع بندی و نتیجه‌گیری، یک مدل عامل پایه ساده ارائه می‌شود با این منظور که در عین سادگی و کوتاهی بخشی از قابلیت‌های این رویکرد مدل‌سازی را به نمایش درآورد تا با مقایسه این رویکرد مدل‌سازی با رویکردهای سنتی قابلیت‌های این رویکرد جدید بیشتر شناخته شود. هدف این مدل ارائه تحلیل و راه‌حلهایی برای حل مساله اطلاعات نامتقارن در بازار

¹ Representative Agent

² Complex systems

³ Evolutionary Economics

محصول است. این مدل بر گرفته از مقاله معروفی است که در سال ۱۹۷۹ توسط اسمال وود و کانلیسک^۱ نگاشته شده است.

۲- مدل‌های عامل پایه و سیستم‌های پیچیده

مدل‌های عامل پایه به دلیل ویژگی‌های خاصی که دارند بسیار مناسب تحلیل سیستم‌های پیچیده هستند. یک سیستم پیچیده متشکل از تعداد زیادی از اجزا اعم از عامل‌ها و فرآیندهاست که با یکدیگر و با محیط در تعامل هستند. در این سیستم‌ها برونداد جمعی سیستم خطی نیست فلذا از جمع جبری رفتار اجزا حاصل نمی‌شود. در واقع یک سیستم پیچیده رفتاری از خود بروز می‌دهد که از رفتار اجزاء به تنهایی قابل استنتاج نیست. غیرخطی بودن و غیرتعادلی بودن این سیستم‌ها باعث شده است که درک رفتار آنها نیازمند توسعه و بکارگیری ابزارهای جدید علمی و شبیه‌سازی‌های کامپیوتری باشد (هلند، ۱۹۹۵).

اینکه اقتصاد به مثابه یک سیستم پیچیده در نظر گرفته شود اولین بار در موسسه سانتافه^۲ در ایالت نیومکزیکو امریکا مطرح شد. در سال ۱۹۸۷ کنت ارو^۳ نوبلیست اقتصاد و فیلیپ اندرسون^۴ نوبلیست فیزیک در همایشی ۱۰ اقتصاددان و ۱۰ فیزیکدان سرشناس را گرد هم آوردند تا بررسی کنند که اقتصاد چگونه می‌تواند از یافته‌های فیزیک، علوم کامپیوتر و بیولوژی بهره‌مند شود. ماحصل این گردهمایی این بود که اقتصاد را باید به مثابه یک سیستم پیچیده متطور^۵ در نظر داشت و نه یک سیستم بیش از اندازه ساده شده و در حال تعادل. پس از آن و خصوصاً طی دو دهه اخیر ادبیات نظری این موضوع کامل‌تر گردید تا اینکه امروزه با بکارگیری ابزار مدل‌سازی عامل پایه ادبیات تجربی نسبتاً قابل ملاحظه‌ای در حال تولید و انتشار است، حتی اخیراً بعد از بحران مالی سال ۲۰۰۸، بعضاً نتایج مدل‌های مبتنی بر این رویکرد در نهادهای سیاستگذار پولی و مالی در اروپا و امریکا مورد استفاده قرار گرفته و در نشریات علمی معتبر انتشار می‌یابد (ریچاردی، ۲۰۱۷).

^۱ Smallwood and Conlisk

^۲ Santa Fe Institute

^۳ Kenneth Arrow

^۴ Philip Anderson

^۵ Economy as an Evolving Complex System

سیستم‌های پیچیده دارای مشخصاتی هستند که دو مورد مهم و مرتبط با موضوع این مقاله عبارتند از: ویژگی تجمیع و غیر خطی بودن (هلند، ۱۹۹۵). این دو ویژگی در ادامه بیشتر توضیح داده خواهد شد.

۲-۱- ویژگی تجمیع

ویژگی تجمیع در سیستم‌های پیچیده معمولاً از دو منظر دیده می‌شود: اولاً به عنوان یک روش معمول و استاندارد برای ساده‌سازی یک سیستم پیچیده بکار می‌رود. چیزهای مشابه که دارای اهمیت تعیین‌کننده در سیستم نیستند در یک طبقه یا دسته تجمیع می‌شوند. از این منظر تجمیع یکی از تکنیک‌های مدل‌سازی است. در واقع در این تکنیک ما تصمیم می‌گیریم که چه جزئیاتی برای سوالات یا انگیزه‌های تحقیق بی‌ربط است که با این تکنیک از آنها چشم‌پوشی می‌کنیم. بنابراین تمام چیزهایی که فقط در موارد چشم‌پوشی شده با هم تفاوت دارند در یک دسته تجمیع می‌شوند.

از منظر دوم، ویژگی تجمیع به خاطر شکل‌گیری پدیده برآیندی یا ظهوریافتگی^۱ در سیستم‌های پیچیده مورد توجه است. ویژگی برآینده یا ظهوریافته آن ویژگی است که در رفتار عامل‌ها مشاهده نمی‌شود اما در رفتار کل سیستم بروز و ظهور می‌یابد. یکی از مهمترین جنبه‌ها و شاید مهمترین ویژگی سیستم‌های پیچیده این است که آنها پدیده‌های برآینده یا ظهوریافته تولید می‌کنند. یک پدیده برآینده اینگونه تعریف می‌شود: «پدیده‌ای که ساخته شده و تولید شده بوسیله فرآیندهای سطح خرد است اما در عین حال از آن فرآیندها مستقل است» (بداو^۲، ۲۰۰۲). به پدیده‌های تجمعی^۳ که این مشخصه‌های پیش‌بینی نشده را نشان می‌دهند اصطلاحاً پدیده‌های برآینده یا ظهوریافته گفته می‌شود. (اکستل^۴، ۲۰۰۳)

مثال لانه مورچه‌ها که هافستاتر بیان کرده است یک مثال خیلی متداول از این پدیده است. یک مورچه به تنهایی یک رفتار شدیداً یکنواخت و کلیشه‌ای دارد و تقریباً همیشه در زمانی که شرایط منطبق با کلیشه نباشد می‌میرد. در حالی که مورچه‌ها در حالت تجمعی یا همان لانه مورچه‌ها رفتاری کاملاً تطبیقی دارد. به نحوی که در یک دوره زمانی بلند مدت در مقابل طیف وسیع و متنوعی از خطرات زنده می‌ماند. این پدیده

¹ Emergent Phenomena

² Bedau

³ Aggregate

⁴ Axtell

شبهه یک ارگانیسم هوشمند است که از افراد غیر هوشمند ساخته شده است (هافستادتر^۱، ۱۹۷۹). وجود کارایی در یک بازار علیرغم عدم وجود این رفتار در آحاد اقتصادی، که در مطالعه گاد و ساندر به خوبی بیان شده است مثالی اقتصادی از این پدیده است (گاد و ساندر^۲، ۱۹۹۳). ویژگی تجمیع از منظر دوم یعنی برآیندگی یا ظهوریافتگی، در واقع یک ویژگی پایه‌ای در همه سیستم‌های پیچیده است.

در نظر نگرفتن این پدیده در یک مدل کلان یا مدلی که مبتنی بر متغیرهای تجمیعی است ممکن است باعث بروز خطای تجمیع و برآیندگی^۳ شود. نقطه شروع مساله خطای تجمیع و برآیندگی یک بحث فلسفی تحت عنوان «مغالطه ترکیب»^۴ است که بیان می‌دارد: «این تصور نادرست است که چیزی صحیح قلمداد شود فقط به خاطر اینکه آن چیز در مورد اجزاء تشکیل دهنده یا حتی همه اجزاء تشکیل دهنده آن صحیح باشد.» اگر این مغالطه را به دو بخش تقسیم کنیم بهتر است: اولاً یک مشخصه می‌تواند در اجزا باشد اما در کل نباشد (خطای تجمیع^۵) دوم اینکه یک مشخصه ای در اجزا وجود نداشته باشد اما در حالت تجمیعی پدیدار شود (برآیندگی یا ظهور یافتگی^۶) (پیچ، ۲۰۱۲).

یک مثال رایج خطای تجمیع مثال پارادوکس کندورسه^۷ یا پارادوکس رای‌گیری است. وضعیتی است که در آن ترجیحات جمعی عده‌ای از افراد خاصیت ترایایی^۸ ندارد علیرغم آنکه ترجیحات فردی همه افراد ترایایی است. در این پارادوکس، ترایایی ترجیحات هر یک از افراد یک گروه دلیل بر ترایایی ترجیحات گروه به عنوان یک کل نیست و چنین استدلالی یک مغالطه ترکیب خواهد بود. فرض کنید فرد شماره ۱ گزینه الف را به گزینه ب و گزینه ب را به گزینه ج ترجیح دهد. فرد شماره ۲ گزینه ب را به گزینه ج و گزینه ج را به گزینه الف ترجیح دهد. فرد شماره ۳ گزینه ج را به گزینه الف و گزینه الف را به گزینه ب ترجیح دهد. همچنین فرض شود که همه افراد در انتخاب خود عقلانی هستند یعنی انتخاب‌های آنها دارای خاصیت ترایایی است. بنابراین فرد ۱ گزینه

¹ Hofstadter

² Gode and Sunder

³ Aggregation failure and emergence

⁴ Fallacy of composition

⁵ Aggregation failure

⁶ Emergence

⁷ Condorcet

⁸ Transitivity

الف را به ج ترجیح می‌دهد و فرد ۲ گزینه ب را به الف ترجیح می‌دهد و نهایتاً فرد ۳ گزینه ج را به ب ترجیح می‌دهد. حال حالت جمعی را که در آن انتخاب جمع بر اساس رای اکثریت تعیین می‌شود را بررسی می‌کنیم. در حالت جمعی گزینه الف به ب ترجیح دارد و گزینه ب به ج ترجیح دارد و گزینه ج برخلاف تصور به الف ترجیح دارد. یعنی انتخاب جمعی که مبتنی بر رای اکثریت باشد دارای خاصیت تراییبی نیست. پارادوکس کندورسه مبنای تئوری عدم امکان ارو^۱ است.

یک مثال از ویژگی برآینده (برآیندگی) وجود کارایی در یک بازار است که در حالت جمعی وجود دارد ولیکن در حالت خرد وجود ندارد. گاد و ساندر در سال ۱۹۹۳ در مقاله خود، از طریق شبیه‌سازی یک بازار با عوامل غیر هوشمند^۲ نشان داده اند که چگونه کارایی جمعی محقق می‌شود در حالی که هیچ یک از عوامل چنین ویژگی رفتاری ندارند و به نوعی یک دلالت در مورد وجود دست نامرئی در بازار ارائه داده‌اند (گاد و ساندر، ۱۹۹۳).

از منظر طراحی نهادی، مثال‌های سه گانه کندورسه و بازار با آحاد غیر هوشمند بهترین و بدترین سناریوها هستند. از یک طرف ما می‌خواهیم از ایجاد نهادهایی اجتناب کنیم که در آن مشخصه‌های خوب اجزا در سطح خرد، مثلاً عقلانیت، در سطح کلان از بین برود. از سوی دیگر علاقه مندیم که نهادهایی ایجاد شود که در سطح جمعی مشخصه‌های مطلوبی داشته باشد حتی با وجود اینکه در سطح خرد هیچ یک از عامل‌ها واجد مشخصه‌های مطلوب نباشند.

۲-۲- ویژگی غیر خطی بودن

در خارج از دنیای ریاضیات به این نکته کمتر توجه شده است که بیشتر ابزارهای ریاضیاتی از علم حساب و معادلات دیفرانسیل گرفته تا توپولوژی جبری، قائم به فرض خطی بودن هستند و همه شاخه‌های ریاضیات به یافتن توابع خطی که تقریب قابل قبولی از واقعیات غیر خطی باشد اختصاص یافته است (هلند، ۱۹۹۵). متأسفانه هیچ یک از این روش‌ها برای سیستم‌های پیچیده کارکرد مناسبی ندارد (هلند، ۱۹۹۵). عامل اصلی غیر خطی بودن مدل‌های اقتصادی در واقع بخش تعاملی^۳ در یک مدل اقتصادی

^۱ Arrow's Impossibility Theorem

^۲ Zero-intelligent agents

^۳ Interactive

است و اینکه حاصلضرب بودن دو متغیر، که یکی از سرمنشاهای غیر خطی بودن است، چگونه باعث بروز خطا در تحلیل‌های کلان می‌شود.

۲-۳- اقتصاد محاسباتی عامل پایه و مساله تعادل

رفتار تجمیعی در ABMs می‌تواند حالات مختلفی به خود بگیرد. می‌تواند منجر به تعادل شود، می‌تواند چرخه‌ها و الگوهایی تولید کند، می‌تواند منجر به حباب یا شکست بشود و یا حتی می‌تواند منجر به آشوب بشود. ABMs توانایی ساخت الگوهای پویا و مسیرهای دستیابی به تعادل‌های ایستا و پویا را دارا می‌باشند. دو پدیده بسیار مهم مثل چرخه‌های تجاری و سقوط بازارهای مالی می‌توانند از همان الگوهایی باشند که ABMs قادر به باز تولید آن هستند. این دو پدیده هنوز به طور کامل شناخته نشده‌اند شاید به این دلیل که در مدل‌های تعادلی همه نیروها در اقتصاد یکدیگر را خنثی می‌کنند و نمی‌توانند توضیح کافی در مورد شرایط خروج از تعادل ارائه کنند.

۲-۴- پویایی‌های خارج از تعادل

ABMs مدل‌های بازگشتی هستند. بدین معنا که حالت سیستم در لحظه $t+1$ از حالت سیستم در لحظه t محاسبه می‌شود. بنابراین در این مدل‌ها این امکان فراهم می‌شود که آنچه در طول مسیر تغییرات و خارج از تعادل رخ می‌دهد مورد بررسی قرار گیرد نه فقط در شروع و پایان مسیر. برایان آرتور^۱ یک بیان زیبا و مختصر از ارتباط این مهم با تئوری اقتصادی دارد که: «در اقتصاد نئوکلاسیکی این سوال مطرح می‌شود که چه فعالیت‌ها، استراتژی‌ها و یا انتظاراتی از عامل‌ها در شرایط تعادل سازگار با برون‌داد جمعی‌ای است که همین رفتارها آن را ایجاد کرده‌اند. در حالی که ABMs ما را قادر می‌سازد که به یک سوال کلی‌تر بپردازیم: اینکه چگونه فعالیت‌ها و یا استراتژی‌ها و یا انتظارات عامل‌ها می‌تواند نسبت به الگوهای جمعی که می‌سازند واکنش نشان دهند یا حتی به صورت درون‌زا تغییر کنند.» (آرتور، ۲۰۰۶)

در یک مدل عامل پایه یک عامل به تغییرات محیط خود واکنش نشان می‌دهد. اگر شرایط محیطی نوسان کند عامل‌های بیشتری تمایل به تغییر رفتار و افعال خود دارند که باعث تشدید اوضاع می‌شود. در عوض در محیطی آرام عامل‌های بیشتری تمایل به حفظ فعالیت خود دارند. باز تولید الگوهای پویا و ایستا تنها به وسیله ABMs انجام نمی‌شود بلکه مدل‌های ریاضیاتی هم می‌توانند چنین الگوهایی را بازتولید کنند. اما

¹ Brian Arthur

مزیت اصلی ABMs این است که این مدل‌ها ما را قادر می‌سازند تا فروض سطح خرد را به شکل‌گیری الگوهای کلان مرتبط کنیم. ABMs برای ما یک آزمایشگاهی می‌سازند برای توضیح اینکه چگونه فروض مختلف سطح خرد در تولید الگوهای کلان موثر هستند.

۲-۵- تعادل‌های چندگانه

ABMs اغلب برای توضیح مفاهیمی بکار می‌روند که شامل جنبه‌هایی از شبکه، ناهمگنی و بازخورد است. در چنین مدل‌هایی معمولاً تعادل‌های چندگانه متداول است. در مواجهه با تعادل‌های چندگانه، یک عالم علوم اجتماعی (مثلاً یک اقتصاددان) یکی از دو رویکرد را ممکن است برگزیند: اولاً او ممکن است بوسیله یک معیار انتخاب یکی را برگزیند، در ادبیات تئوری بازی‌ها معیارهای زیادی از این دست وجود دارد. دوم اینکه او ممکن است از یک قاعده یادگیری استفاده کند. این قاعده یادگیری می‌تواند مبتنی بر یک روش ریاضی یا یک روش عامل پایه باشد. مشتق‌گیری‌های ریاضی در مسیرهای همگرایی ممکن است خیلی مشکل باشد در حالی که در روش‌های عامل پایه به سادگی می‌توان قاعده‌های یادگیری را اعمال نمود. شاید یکی از دلایلی که روش‌های عامل پایه در این موارد پر کاربردتر هستند همین باشد. در یک مدل عامل پایه می‌توان به سادگی یک قاعده رفتاری را به برخی از عامل‌ها نسبت داد و مشاهده نمود که مدل چگونه همگرا می‌شود. حتی محقق می‌تواند در یک فرآیند اکتشافی میزان محتمل بودن تعادل‌های مختلف را دریابد (پیچ، ۲۰۱۲).

۳- نسبت اقتصاد محاسباتی عامل پایه با ریاضیات و مدل‌های تحلیلی

یک سوء تفاهم درباره مدل‌های شبیه‌سازی این است که این مدل‌ها مانند مدل‌های ریاضیاتی نیستند. یعنی آنها یک مجموعه منسجم از معادلات همراه با حل جبری ارائه نمی‌دهند که بتوانند به راحتی تفسیر شوند و یا تعمیم داده شوند.

مدل‌های شبیه‌سازی شامل یک مجموعه از توابع خوش تعریف هستند، که یک سیستم کاملاً بازگشتی را می‌سازد که می‌تواند پویایی‌های کلان سیستم را تبیین کند. این توابع ممکن است قطعی یا تصادفی باشد. تعادل نهایی در امتداد پویایی‌های کلان سیستم در واقع یک تابع شناخته شده از پارامترهای ساختاری و شرایط اولیه است. در ادامه توضیح داده می‌شود که تنها تفاوت این مدل‌ها با مدل‌های ریاضیاتی یا مدل‌های تحلیلی یعنی

مجموعه معادلات قابل حل به صورت جبری، در میزان دانشی است که ما نسبت به این توابع داریم.

ریچاردی برای نشان دادن منظور خود، از یک مدل پویای خرد با مشخصات عمومی به صورتی که در ادامه می‌آید استفاده می‌کند (ریچاردی، ۲۰۱۲ و ۲۰۰۶):

فرض شود در هر دوره زمانی t ، آحاد i ، که $i \in 1, 2, \dots, n$ بوسیله متغیر حالت $x_{i,t}$ به خوبی توصیف شود. دینامیک متغیر حالت نیز بوسیله معادله تفاضلی زیر تعیین می‌شود:

$$x_{i,t+1} = f_i(x_{i,t}, x_{-i,t}, \alpha_i) \quad (1)$$

در واقع فرض شده است که قواعد رفتاری هر یک از آحاد، هم بوسیله پارامترهای اختصاصی α_i و هم بوسیله توابع اختصاصی $f_i(\cdot)$ تعیین می‌شود و هم اینکه وابسته به حالات آحاد دیگر غیر از i نیز می‌تواند باشد یعنی i -. بعد از تعیین معادلات رفتاری می‌توان به برخی جنبه‌های کلان سیستم متمرکز شد.

فرض شود متغیر Y یک متغیر تجمیعی است که از روی تمام جمعیت به صورت زیر تعیین می‌شود:

$$Y_t = S(x_{1,t}, x_{2,t}, \dots, x_{n,t}) \quad (2)$$

سوال اساسی این است که آیا می‌توان معادله (۲) را برای تمام زمان‌ها بدون در نظر گرفتن $f_i(\cdot)$ حل نمود؟ واضح است که یک راه حلی که همیشه وجود دارد این است که به صورت مکرر $x_{i,t}$ در رابطه (۲) با استفاده از رابطه (۳) جایگزین شود یعنی:

$$\begin{aligned} Y_0 &= S(x_{1,0}, x_{2,0}, \dots, x_{n,0}) \\ Y_1 &= S(x_{1,1}, x_{2,1}, \dots, x_{n,1}) \\ &= S(f_1(x_{1,0}, x_{-1,0}, \alpha_1), \dots, f_n(x_{n,0}, x_{-n,0}, \alpha_n)) \\ &\equiv g_1(x_{1,0}, \dots, x_{n,0}; \alpha_1, \dots, \alpha_n) \end{aligned} \quad (4)$$

اگر مجموعه روابط (۴) را روابط بازگشتی بنامیم باید گفت که این روابط بازگشتی نشان می‌دهند که مقدار Y در هر لحظه وابسته به شرایط اولیه سیستم و مقادیر پارامترهاست. در بعضی مواقع، یعنی در مواقعی که سیستم حداقل یک نقطه تعادل دارد و شرایط اولیه و پارامترها به گونه‌ای است که در مسیر همگرایی^۱ قرار گیرد، g_t ممکن

^۱ Basin of Attraction

است به یک تابع غیر وابسته به زمان همگرا شود. در این صورت است که می‌توان یک توصیف از مقدار تعادلی Y به عنوان تابعی از مقادیر اولیه و پارامترها ارائه داد.

$$Y^e = \lim_{t \rightarrow \infty} Y_t \equiv g(x_{1,0}, \dots, x_{n,0}; \alpha_1, \dots, \alpha_n) \quad (5)$$

توجه شود که این فرمول بندی خاص شبیه‌سازی عامل پایه نیست، بلکه هم مدل‌های پویای خرد سنتی و هم مدل‌های شبیه‌سازی عامل پایه را توصیف می‌کند. پس از ارائه این چارچوب فرمول بندی رایج، می‌توان مبتنی بر آن تفاوت‌های مطرح در میان عموم را به زبان ریاضی بحث نمود.

برای توضیح این نکته ابتدا باید مشخص شود که این چارچوب تحلیلی در هر یک از دو رویکرد چگونه بکار می‌آید. به عنوان یک مثال از رویکرد رایج، مدلی را مبتنی بر عامل نمونه^۱ در نظر بگیرید، قاعده رفتاری در این حالت خیلی ساده خواهد بود؛ زیر نویس i حذف می‌شود و هر گونه تاثیرپذیری از سایر آحاد نیز حذف می‌شود. همچنین همه متغیرهای کلان مدل متأثر از تغییرات متغیر حالات فقط یک عامل (عامل نمونه) خواهد بود، فلذا مجموعه روابط بازگشتی (۴) نیز به صورت زیر ساده خواهد شد.

$$\begin{aligned} x_{t+1} &= f(x_t, \alpha) \\ Y_t &= S(x_t) \\ Y_0 &= S(x_0) \\ Y_1 &= S(x_1) = S(f(x_0)) = g_1(x_0) \\ Y_2 &= S(x_2) = S(f(x_1)) = S(f^2(x_0)) = g_2(x_0) \\ Y_t &= g_t(x_0) = S(f^t(x_0)) \end{aligned} \quad (6)$$

توجه شود که در رویکرد عامل نمونه، مساله استخراج معادله تعادل (۵) از روابط بازگشتی (۴) اغلب هم‌هش نادیده گرفته می‌شود. چرا که شرایط تعادل معمولاً به صورت برون‌زا به مدل تحمیل می‌شود و از پویایی‌های حرکت به سوی تعادل در واقع صرف نظر می‌شود. یعنی در واقع سیستم به نقطه تعادل «پرش» می‌کند.

حال به رویکرد شبیه‌سازی عامل پایه باز می‌گردیم. عامل بحرانی که در این فرمول بندی باقی می‌ماند این است که در روابط بازگشتی (۴) برای تعیین Y_t با افزایش t و n عبارت $g_t(\cdot)$ می‌تواند بی اندازه رشد کند و هرگونه تلاش برای حل جبری این عبارت بی نتیجه شود. البته همین مشکل در تئوری بازی هم تجربه می‌شود، زمانی که تعداد بازیگران افزایش می‌یابد و حل جبری مدل نا ممکن می‌شود.

¹ Representative Agent

با این وجود روابط (۴) در اینجا کاملاً قطعی و مشخص است و به همین دلیل این امکان وجود دارد که مقادیر مختلف Y در طول زمان متناسب با شرایط اولیه و پارامترهای مختلف محاسبه شود و در واقع راه حلی محاسباتی ارائه گردد. یک راه برای کشف تخمین موضعی شکل عبارت $g_t(\cdot)$ این است که یک شکل تابعی $\hat{g}_t(\cdot)$ به صورت زیر ساخته شود:

$$\hat{g}_t(x_{1,0}, \dots, x_{n,0}; \alpha_1, \dots, \alpha_n, \beta) \quad (7)$$

این شکل تابعی به نحوی ساخته می‌شود که با داده‌های هوشمند^۱ تولید شده در فرآیند شبیه‌سازی منطبق باشد. مدل‌های شبیه‌سازی جریانی از داده‌های مصنوعی تولید می‌کنند که به آنها داده هوشمند نیز گفته می‌شود. β ها ضرایب $\hat{g}_t(\cdot)$ هستند. برای مثال اگر $\hat{g}_t(\cdot)$ خطی فرض شود دو ضریب β_1 و β_2 به عنوان شیب و عرض از مبدا خواهیم داشت که بوسیله داده‌های هوشمند تخمین زده می‌شود. استفاده از تکنیک‌های اقتصادسنجی برای تخمین $g_t(\cdot)$ از روی داده‌های هوشمند رایج است. نتایج این مدل‌های رگرسیونی تحت عنوان متامدل^۲، سطح پاسخ^۳، شبیه‌ساز^۴ و ... شناخته می‌شود (ریچاردی، ۲۰۱۲).

یک حالت خاص این فرآیند این است که همه پارامترها و مقادیر اولیه مدل ثابت نگه داشته شود و هر بار یکی از آن‌ها تغییر کند و Y با توجه به هر یک از مقادیر آن متغیر رسم شود در این صورت یک مجموعه تخمین غیر پارامتریک کامل از مشتق جزئی $g_t(\cdot)$ به دست می‌آید. این روش تحلیل حساسیت «هر بار یک عامل»^۵ یا به اختصار OAT نامیده می‌شود. تحلیل حساسیت OAT یک اکتشاف محلی از پویایی‌های سیستم حول یک پیکربندی اولیه که به دلخواه انتخاب شده است ارائه می‌دهد. همین فرآیند اساساً می‌تواند برای اکتشاف کلی نیز استفاده شود.

برای توضیح بیشتر درباره آنچه تاکنون گفته شد به جمله چند بند قبل باز می‌گردیم که «تنها تفاوت این مدل‌ها (مدل‌های شبیه‌سازی عامل پایه) با مدل‌های ریاضیاتی تحلیلی، یعنی مجموعه معادلات قابل حل به صورت جبری، در میزان دانشی است که ما نسبت به این توابع داریم.» در واقع هرچه دانش مدل‌ساز نسبت به قواعد رفتاری عامل‌ها

¹ Intelligent Data

² Meta Model

³ Response Surface

⁴ Emulator

⁵ One At Time

و یا ساختار و محیط پیرامونی آن‌ها محدودتر باشد تعداد معادلات کمتری در اختیار خواهد داشت که این خود دستیابی به پاسخ یکتای تحلیلی، که در آن همه متغیرها در یک نقطه تعادلی مشخص می‌گردند، را دچار مشکل می‌کند. رویکرد شبیه‌سازی عامل پایه در مواجهه با این مساله، یعنی فقدان اطلاعات کافی که ممکن است باعث کمتر شدن تعداد معادلات از تعداد متغیرهای مدل شود، به گونه‌ای نیست که صورت مساله را پاک کند و مسائل جدیدی به وجود آورد بلکه آن را می‌پذیرد و در صدد حل مساله با وجود این محدودیت‌ها بر می‌آید. یعنی اینکه سعی نمی‌شود با نسبت دادن فروض متعدد به واقعیتی که نسبت به آن دانش کافی وجود ندارد تعداد معادلات مدل را برای دستیابی به راه حل تحلیلی یکتا (نقطه تعادل) افزایش دهد. اما چگونه ممکن است؟ در حالی که کمبود معادلات مدل باعث خواهد شد که بی‌نهایت پاسخ برای مدل به دست آید که فقط یکی از آنها (در حالت تعادل یکتا) یا تعداد قابل شمارشی از آنها (در حالت تعادل‌های چندگانه پاسخ مدل هستند. برای مثال، یک معادله کمتر باعث می‌شود که پاسخ مدل یک خط راست باشد که همه نقاط روی آن پاسخ‌های قابل قبول مدل به لحاظ تحلیلی هستند یا در صورت کمبود دو معادله، فضای جواب، همه نقاط روی یک صفحه دو بعدی است و به همین ترتیب با فقدان معادلات بیشتر، فضای جواب گسترده‌تر خواهد شد. چگونه می‌توان به نقطه یا نقاط تعادل در صورت وجود دست یافت؟ در رویکرد شبیه‌سازی عامل پایه برای این منظور ابتدا یک مقداردهی اولیه در فضای جواب صورت می‌گیرد یعنی یک نقطه از بی‌نهایت نقطه موجود در فضای جواب به عنوان حالت اولیه سیستم در نظر گرفته می‌شود و با اجرای فرآیند شبیه‌سازی اجازه داده می‌شود که حالات سیستم در زمان‌های متوالی تغییر کند. اگر در بلند مدت، مقادیر جواب به یک نقطه تعادل، که در آن مقادیر متغیرهای اصلی مدل ثابت هستند، همگرا شد مشخص می‌شود که مقداردهی اولیه به نحو خوبی در مسیر همگرایی بوده است و یکی از جواب‌های مدل و شاید تنها جواب مدل (در صورت وجود تعادل یکتا) به دست آمده است. اما اگر در بلند مدت مقادیر جواب به یک نقطه تعادل همگرا نشود معلوم می‌شود که یا مقداردهی اولیه در مسیر همگرایی نبوده است و یا اینکه سیستم فاقد یک جواب تعادلی است. در هر صورت به روش مونت کارلو^۱ آنقدر مقادیر اولیه متعدد به صورت تصادفی در فضای جواب انتخاب می‌شود و فرآیند شبیه‌سازی تکرار

^۱ Monte Carlo

می‌گردد تا از وجود جواب (نقطه تعادل) یا یکتایی آن و یا حتی تعداد تعادل‌ها اطمینان حاصل شود. پیشرفت‌های سایر علوم از جمله ریاضیات و علوم کامپیوتر در زمینه طراحی الگوریتم‌های سریع و بهینه پردازش و محاسبه و پیشرفت‌های سخت افزاری در پردازنده‌ها و حافظه‌ها، استفاده از این رویکردها را در حل مسائل میسر نموده است. با وجود این ابزارها، دیگر استفاده از فروض بیش از اندازه ساده‌کننده و غیر منطبق با واقعیت برای دستیابی به پاسخ‌های تحلیلی توجیهی ندارد.

تا کنون نشان داده شد که ABMs به نوعی مدل‌های ریاضیاتی هستند که ممکن است راه حل تحلیلی نداشته باشند و اینکه آنها می‌توانند برای نتایج عمومی استفاده شوند. هم اکنون اجمالا توضیح داده می‌شود که این مدل‌ها همچنین می‌توانند به وسیله دیتا تخمین زده شوند. یعنی استفاده از دیتای واقعی برای تخمین پارامترهای ساختاری مدل.

مدل‌های تحلیلی این امکان را فراهم می‌سازند تا مدل برای تابع $g(\cdot)$ حل شود؛ پارامترها هم می‌توانند از دیتاهای واقعی به روش تکنیک‌های استاندارد اقتصادسنجی تخمین زده شوند. اما در یک مدل شبیه‌سازی این کار به صورت مستقیم نمی‌تواند انجام شود (ریچاردی، ۲۰۱۲). به هر حال مدل‌های شبیه‌سازی جریانی از دیتای مصنوعی تولید می‌کنند که به آنها دیتای هوشمند نیز گفته می‌شود. برای تخمین یک مدل شبیه‌سازی، یعنی همه آن چیزی که برای مقایسه این دیتاهای مصنوعی با دیتای واقعی مورد نیاز است، پارامترهای ساختاری آنقدر می‌توانند تغییر کنند تا دیتاهایی مصنوعی تا حد امکان به دیتاهایی واقعی شبیه شوند. این استراتژی، استنتاج غیر مستقیم^۱ نامیده می‌شود (گوریروکس و مونفورد^۲، ۱۹۹۷). راه‌های زیادی برای مقایسه دیتای واقعی و دیتای مصنوعی وجود دارد. برای مثال آماره‌های ساده هم برای دیتای واقعی و هم دیتای مصنوعی ساخته می‌شود و سپس در یک اندازه فاصله مشخص با یکدیگر مقایسه می‌شوند. واضح است که این آماره‌ها فقط یک‌بار در دیتای واقعی باید محاسبه شود و یک‌بار برای هر تکرار دیتای مصنوعی تا زمانی که به یک نقطه تعادلی همگرا شود که این خود وابسته است به مقادیر پارامترهای ساختاری. تغییر در مقادیر پارامترهای هر

^۱ Indirect Inference

^۲ Gourieroux and Monfort

تکرار بر اساس یکسری الگوریتم‌های بهینه‌یابی تعیین می‌شود با این هدف که فاصله را حداقل کند (ریچاردی، ۲۰۱۲).

۴- یک مدل عامل پایه ساده برای بازار با اطلاعات ناقص

در این بخش یک مدل عامل پایه ارائه می‌شود. با این منظور که در عین سادگی و کوتاهی بخشی از قابلیت‌های این رویکرد مدل‌سازی را به نمایش درآورد تا با مقایسه این رویکرد مدل‌سازی با رویکردهای سنتی قابلیت‌های این رویکرد جدید بیشتر شناخته شود. هدف این مدل ارائه تحلیل و راه‌حلهایی برای حل مساله اطلاعات نامتقارن در بازار محصول است. این مدل بر گرفته از مقاله معروفی است که در سال ۱۹۷۹ توسط اسمال وود و کانلیسک در نشریه فصلنامه اقتصادی^۱ نگاشته شده است. این مقاله از اولین مقالاتی است که به مساله‌ی اطلاعات ناقص و به طور دقیق‌تر به مساله کیفیت محصول در یک بازار که مصرف‌کنندگان اطلاعات ناقص دارند^۲، می‌پردازد. در این مقاله تلاش شده است تا تعادل‌های مختلف مربوط به سهم بازار کالاها که نتیجه رفتار تطبیقی مصرف‌کنندگان است مورد بررسی قرار گیرد. این مقاله به دنبال آن است تا نشان دهد رفتار تطبیقی مصرف‌کنندگان در مقایسه با رفتار بهینه‌سازی می‌تواند نتایج منطبق‌تری با واقعیت داشته باشد اما این مهم در مقاله مذکور از طریق حل تحلیلی مدل به دست آورده است در حالی که به دلیل محدودیت‌های ریاضیاتی که برای حل تحلیلی وجود دارد نتوانسته است حالت‌های متعددی را که ممکن است نتایج مدل را تغییر دهد مورد بررسی قرار دهد و آنها را به مطالعات آینده واگذار کرده است. از آن جمله به موارد زیر اشاره کرده است: ناهمگنی تطبیقی مصرف‌کنندگان، واکنش‌های متفاوت مصرف‌کننده به از کار افتادن محصول، ناهمگنی بنگاه‌ها در کیفیت محصول، وجود تبلیغات در بازار، وجود شوک‌های برونزا، تغییر همزمان قیمت و کیفیت محصول و اثر اقتصاد مقیاس بر هزینه‌های تولید محصول (اسمال وود و کانلیسک، ۱۹۷۹). در این بخش بعد از ارائه مدل در چارچوب رویکرد مدل‌سازی عامل پایه، نشان داده می‌شود که در نظر گرفتن برخی از این موارد در عین حالی که مانع قابلیت حل مدل نمی‌شود چگونه قابل انجام است.

^۱ Quarterly Journal of Economics

^۲ Product Quality in Markets where Consumers are Imperfectly Informed

لازم است قبل از ارائه مدل این نکته بیان گردد که مساله عدم تقارن اطلاعات مساله‌ای است که از دهه ۱۹۷۰ تا کنون بسیار مورد بررسی بوده است و ادبیات گسترده و مفیدی در آن شکل گرفته است. در واقع اگر مدل‌های اقتصادی مساله عدم تقارن اطلاعات را نادیده بگیرند ممکن است کاملاً باعث انحراف در بازار شوند. اطلاعات نامتقارن نتایجی به بار می‌آورد که باعث ناکارایی و حتی گاهی شکست بازار می‌شود. به همین دلیل است که اقتصاددانان زیادی بیش از چهار دهه است که روی مساله اطلاعات نامتقارن در بازار که موجب کژگزینی یا انتخاب نامساعد^۱ و کژمنشی یا مخاطرات اخلاقی^۲ می‌شود، در حال تحقیق و مطالعه هستند تا به راه‌حلهایی برای تقارن حداکثری اطلاعات بین دو طرف مبادله برسند که باعث می‌شود بهره‌وری بازار افزایش یابد. در همه این مطالعات و تحقیقات مدل‌هایی که ساخته می‌شوند باید از فروض ساده‌کننده مدل‌های اقتصادی فاصله بگیرند. معمولاً در نظر گرفتن ناهمگنی و تعامل محلی و تطبیق مبتنی بر یادگیری برای ارائه مدل‌هایی که بتوانند راه‌حلهایی برای شرایط عدم تقارن اطلاعات داشته باشند ضروریست و این مهم در چارچوب رویکردهای سنتی کار بسیار دشواری است. اما نشان داده می‌شود که در نظر گرفتن این الزامات در چارچوب رویکرد مدل‌سازی عامل پایه مرتبه پیچیدگی مدل را به لحاظ امکان حل محاسباتی، و نه ریاضیاتی، بیشتر نمی‌کند.

در این مدل، همچون دنیای واقعی، فرض می‌شود که مصرف‌کنندگان در مورد کیفیت محصولی که مصرف می‌کنند تخصص و دانش کافی ندارند. با این وجود آنها تلاش می‌کنند که سرنخ‌هایی از کیفیت محصول مصرفی خود به دست بیاورند. یک قاعده سرانگشتی این است که مصرف‌کنندگان به کالایی که بیشتر مورد استفاده دیگران قرار می‌گیرد بیشتر اعتماد کنند. در این چارچوب مشهور بودن و یا مد بودن یک کالا شاخصی از کیفیت قلمداد می‌شود. همچنین در این مدل در ابتدا فروض غیر واقعی اما ساده‌کننده‌ای در نظر گرفته می‌شود که نتایجی سر راست به دست آید اما بعد با استفاده از قابلیت‌های رویکرد مدل‌سازی عامل پایه نشان داده می‌شود که نقض این فروض در این رویکرد به سادگی انجام می‌شود و در عین حال امکان حل محاسباتی مدل تغییر نمی‌یابد.

^۱ Adverse Selection

^۲ Moral Hazard

این فروض عبارتند از اینکه زمان به دوره‌های گسسته با طول دلخواه تقسیم شده است، قیمت همه کالاها یکسان است و تمایزی در توزیع و دسترسی به کارشناسان و همچنین تبلیغات وجود ندارد. اجزای این مدل بنگاه‌ها و محصولاتی هستند که دارای کیفیت متفاوت اما پنهان از دید مصرف کننده است. الگوی تطبیقی مصرف کنندگان یکسان است یعنی مصرف کنندگان از نظر الگوی انتخاب محصول جدید همگن هستند. کیفیت کالاها یکسان است (کالاها همگن هستند).

پویایی مدل به این صورت است که یک مصرف کننده مادامی که کالایی که دارد به درستی کار می‌کند به استفاده از آن ادامه می‌دهد و اگر خراب شود در دوره بعدی کالایی را به صورت تصادفی می‌خرد. احتمال خرید هر کدام از انواع کالاها متناسب با سهم بازار آن کالا است چرا که گفته شد مشهور بودن و یا مد بودن یک کالا در نظر مصرف کنندگان به عنوان شاخصی از کیفیت آن کالا قلمداد می‌شود.

فرض می‌شود احتمال خرابی هر محصول مقداری ثابت و برابر با BD است که مصرف کننده از آن بی‌خبر است. به بیان دیگر در هنگام شبیه‌سازی، هر محصول در حال استفاده به احتمال BD از کار می‌افتد و در دوره بعد محصول جدید خریداری می‌شود. اگر چه مصرف کننده از احتمال خرابی هر محصول با خبر نیست اما می‌تواند فراوانی محصولاتی که دیگران استفاده می‌کنند را مشاهده کند. بنابراین طبق فرض، هر مصرف کننده در ابتدای دوره‌ای که قرار است محصولی خریداری کند به احتمال P_i محصول i را انتخاب می‌کند که این احتمال برابر است با سهم بازار محصول. بنابراین داریم:

$$P_i = \frac{ms_i^\alpha}{\sum_{j=1}^n ms_j^\alpha} \quad (7)$$

پارامتر آلفا در رابطه فوق در واقع شاخص میزان اعتماد مصرف کننده به متغیر سهم بازار است. هر چه مقدار این پارامتر بزرگتر باشد احتمال انتخاب محصولات بنگاه‌های بزرگ افزایش می‌یابد. اگر آلفا صفر باشد یعنی مصرف کنندگان به سهم بازار بی‌تفاوت هستند و اگر آلفا بی‌نهایت باشد فقط محصول بزرگترین بنگاه انتخاب خواهد شد.

برای سهم بازار بنگاه‌ها دو شاخص می‌توان در نظر گرفت. اول اینکه میزان فروش بنگاه i به کل فروش آن محصول، که معمولاً در مدل‌های سنتی و حتی مقاله مذکور اینگونه در نظر گرفته می‌شود، و دوم اینکه نسبت تعداد کاربران محصول یک بنگاه به کل کاربران آن نوع محصول به عنوان شاخص سهم بازار در نظر گرفته شود. شاخص اول مستلزم آن است که مصرف کنندگان از میزان فروش هر بنگاه مطلع باشند در حالی که

به نظر می‌رسد با توجه به فرض مدل، شاخص دوم به مشاهدات مصرف کننده از بازار نزدیک‌تر است. همچنین شاخص دوم برای کالاهای بادوام که یکبار خریداری می‌شوند اما چند دوره مورد مصرف قرار می‌گیرند مناسب‌تر است. لذا در این مدل شاخص دوم در نظر گرفته می‌شود چرا که در یک مدل عامل پایه چنین چیزی به سادگی قابل انجام است. بنابراین متغیر مشاهده‌پذیری بنگاه i بر اساس سهم بازار و میزان اعتماد مصرف کننده به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$\text{Visibility}_t = \text{ms_user}_t^\alpha \quad (۸)$$

در رابطه (۸) متغیر ms_user برای هر بنگاه برابر است با نسبت تعداد استفاده کنندگان از کالای آن بنگاه به کل مصرف کنندگان همه کالاها در بازار.

زمانی که قرار است یک مصرف کننده محصول جدیدی بخرد یک تابع تصادفی فرا خوانده می‌شود که یکی از بنگاه‌ها را با احتمالی متناسب با متغیر مشاهده‌پذیری آن بنگاه انتخاب می‌کند. در ادامه برای هر بنگاه متغیری بنام NumUser_t تعریف می‌شود که مقدار آن در هر دوره از معادله زیر به دست می‌آید:

$$\text{NumUser}_t = \text{NumUser}_{t-1} + \text{Sales}_t - \text{NumLost}_t \quad (۹)$$

که در آن دو متغیر Sales_t و NumLost_t که برای هر بنگاه جداگانه تعریف شده‌اند به ترتیب عبارتند از تعداد فروش‌های جدید بنگاه در دوره t و تعداد محصولات این بنگاه که در این دوره از کار افتاده‌اند. هر بار که فروش جدیدی اتفاق بیفتد و یا محصولی از کار بیفتد توابعی فراخوانده می‌شوند که مقادیر این دو متغیر را بروز کنند.

بعد از مشخص شدن متغیرها و معادلات و پارمترهای اصلی که ساختار مدل را تبیین می‌کنند، برای ایجاد درک بهتر از چارچوب مدل‌سازی عامل پایه، لازم است بالاخص نحوه پیاده‌سازی و اجرای این مدل توضیح داده شود.

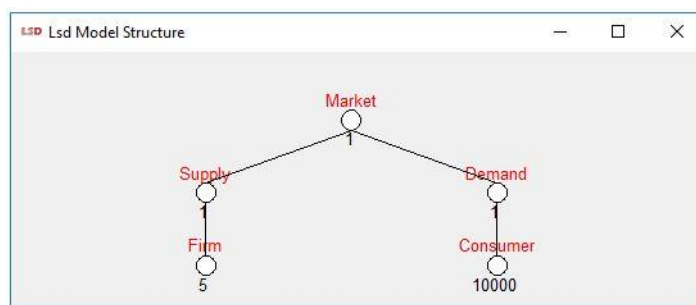
برای ساخت این مدل در چارچوب عامل پایه ابتدا یک زمان برنامه نویسی شی گرا^۱ که قابلیت‌های لازم برای مدل مورد نظر را داشته باشد انتخاب می‌شود. توصیه می‌شود که یکی از دو زبان برنامه نویسی LSD ^۲ و یا پایتون^۳ انتخاب شود. در این مدل زبان برنامه نویسی LSD انتخاب شده است. در این چارچوب برای ساخت مدل ابتدا باید تمام آحاد

^۱ Object Oriented Programming Language

^۲ Laboratory Simulation Development

^۳ Python

(اشیا)^۱ تعریف و در سلسله مراتب منطبق بر مدل جایگذاری شوند. ساختار سلسله مراتبی این مدل مطابق شکل (۱) به این صورت است که یک نهاد (شی) اصلی (ریشه ای^۲) به نام بازار تعریف شده است که ذیل آن دو نهاد عرضه و تقاضا و ذیل هر یک دو نهاد بنگاه و مصرف کننده تعریف شده است. که فرض شده است ۱۰ هزار مصرف کننده و ۵ بنگاه وجود دارد. تعداد آحاد مدل به سادگی قابل افزایش است ولیکن در این مقاله به سبب آنکه نتایج و نمودارها در تعداد اشکال کمتری قابل مشاهده باشد تعداد آحاد حداقلی در نظر گرفته شده است.



شکل (۱): ساختار مدل در نرم افزار شبیه‌ساز LSD

منبع: یافته‌های تحقیق

سپس باید متغیرها^۳، پارامترها^۴ و معادلات^۵ و توابع را به آحاد یا نهادها (اشیا) مختلف نسبت داد. این مرحله از طریق کدنویسی در محیط برنامه نویسی LSD انجام می‌شود. پس از اتمام مرحله کدنویسی، برنامه نوشته شده کامپایل می‌شود. به این معنا که ایرادات برنامه نوشته شده گزارش می‌شود. پس از آن، در محیط LSD امکان تنظیم کردن^۶ مدل یعنی انتساب متغیرها و پارامترها به اشیای مدل، مقدار دهی اولیه به متغیرها و پارامترها و نیز نحوه ذخیره‌سازی اطلاعات ساخته شده در طول شبیه‌سازی (داده‌های هوشمند)^۷ قابل انجام است. همچنین تنظیمات مربوط به نحوه شبیه‌سازی همچون تعداد دفعات شبیه‌سازی، تعیین الگوهای مربوط به متغیرها و توابع تصادفی

¹ Objects

² Root Object

³ Variables

⁴ Parameters

⁵ Equations

⁶ Configuration

⁷ Intelligent Data

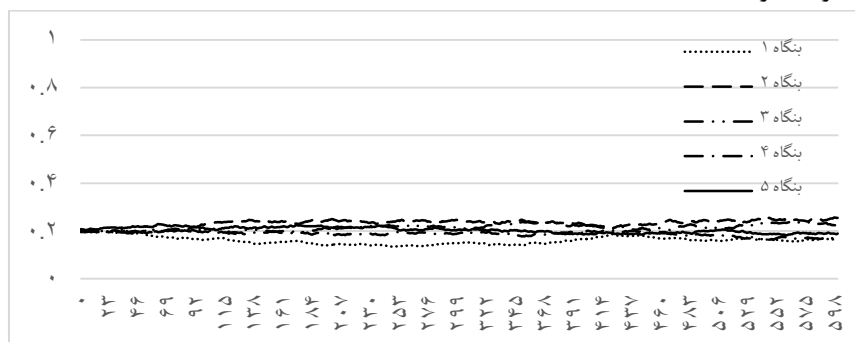
استفاده شده در مدل و نحوه نمایش همزمان نمودار نتایج در هنگام شبیه‌سازی وجود دارد.

در ادامه، نتایج اجرای مدل با فروض گفته شده ارائه می‌شود و سپس قابلیت‌های این رویکرد مدل‌سازی برای تغییر و یا حذف فروض ساده کننده نشان داده می‌شود.

۴-۱- نتایج مدل

قبل از هر چیز برای روشن شدن اهمیت پارامتر آلفا لازم است نتایج مدل نسبت به مقادیر مختلف آلفا ملاحظه شود. همچنان که گفته شد پارامتر آلفا در معادلات مدل به گونه طراحی شده است که در واقع معین کننده میزان اعتماد مصرف کننده به متغیر سهم بازار است. هر چه مقدار این پارامتر بزرگتر باشد احتمال انتخاب محصولات بنگاه‌های بزرگ افزایش می‌یابد. اگر آلفا صفر باشد یعنی مصرف کنندگان به سهم بازار بی تفاوت هستند و اگر آلفا بی نهایت باشد فقط محصول بزرگترین بنگاه انتخاب خواهد شد. نتایج مدل بر حسب مقادیر مختلف آلفا مویید این مطلب است.

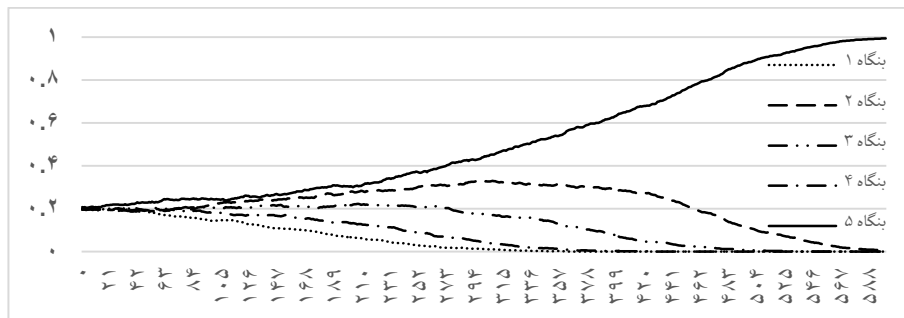
در این مدل ۵ بنگاه وجود دارد که هر کدام یک محصول به بازار عرضه می‌کنند و ۱۰ هزار مصرف کننده وجود دارد که هر کدام در حال استفاده از محصول یکی از بنگاه‌ها هستند. اگر احتمال خرابی همه محصولات یکسان باشد (احتمال خرابی برای همه ۱۰ درصد باشد) و سهم بازار اولیه برای همه بنگاه‌ها در شروع شبیه‌سازی یکسان باشد (سهم بازار اولیه هر بنگاه ۲۰ درصد باشد) در این صورت واضح است که روند تغییرات سهم بازار وابسته به مقدار آلفا است. حال اگر مقدار آلفا کمتر از یک حتی اگر بسیار نزدیک به یک، مثلاً برابر با ۰.۹۹ باشد، آنگاه روند تغییرات سهم بازار به صورت شکل (۲) خواهد بود:



شکل (۲): روند تغییرات سهم بازار در شرایط همسانی بنگاه‌ها و مصرف کنندگان

منبع: یافته‌های تحقیق

اگر مقدار آلفا بیشتر از یک باشد (در اینجا مثلاً ۱.۱ باشد) آنگاه در بلند مدت (در اینجا بعد از گذشت ۳۰۰ دوره) یکی از بنگاه‌ها مطابق شکل (۳) تمام سهم بازار را از آن خود می‌کند و به تدریج همه رقبا از بازار بیرون خواهند رفت و در بازار انحصار مطلق شکل خواهد گرفت. چرا که در این شرایط وجود آلفای بزرگتر از یک باعث شکل‌گیری چرخه بازخورد مثبت می‌شود که طی آن بنگاهی که سهم بازار بزرگی دارد در دوره بعد سهم بازار بیش از پیش بزرگتری را به دلیل الگوی انتخاب مصرف‌کنندگان به دست می‌آورد. بعد از انجام شبیه‌سازی‌های متعدد در چارچوب این مدل، این نتیجه به دست می‌آید که در هر صورت حتماً یکی از بنگاه‌ها به انحصار مطلق خواهد رسید. اما اینکه کدام یک از بنگاه‌ها و در چه زمانی به انحصار مطلق می‌رسد کاملاً تصادفی است.

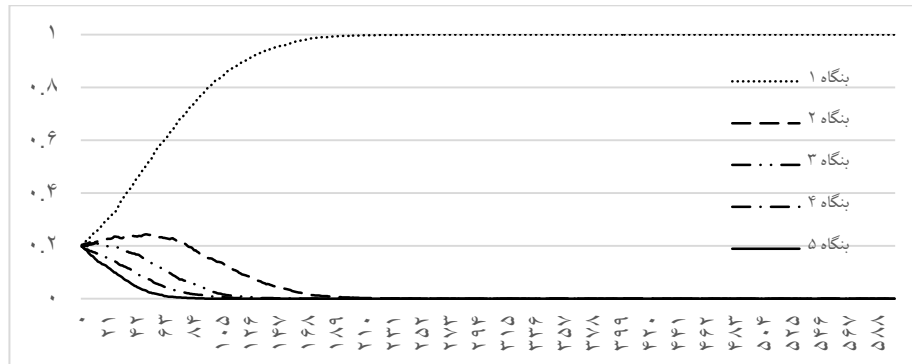


شکل (۳): روند تغییرات سهم بازار در شرایط آلفای بزرگتر از یک (آلفا برابر ۱.۱)

منبع: یافته‌های تحقیق

۴-۲- در نظر گرفتن ناهمگنی در محصول

حال اگر همچنان آلفا بزرگتر از ۱ یعنی ۱.۱ باشد اما کیفیت محصول بنگاه‌ها ناهمگن باشد، یعنی مثلاً احتمال خرابی محصول بنگاه ۱ مثل قبل برابر با ۰.۱ باشد و در مورد محصول بنگاه‌های ۲ تا ۵ به ترتیب ۰.۱۱ و ۰.۱۲ و ۰.۱۳ و ۰.۱۴ باشد. در این صورت روند تغییرات سهم بازار به صورت شکل (۴) خواهد بود. ملاحظه می‌شود بنگاه ۱ که کیفیت محصول بالاتری دارد بعد از گذشت کمتر از ۲۰۰ دوره انحصار مطلق را در بازار به دست می‌آورد. در حالی که وقتی کیفیت محصولات همگن بود (مطابق شکل ۳) بنگاه ۱ پیش از همه از بازار حذف می‌شد.



شکل (۴): روند تغییرات سهم بازار در شرایط ناهمگنی محصولات (محصول بنگاه ۱ با کیفیت‌ترین است).

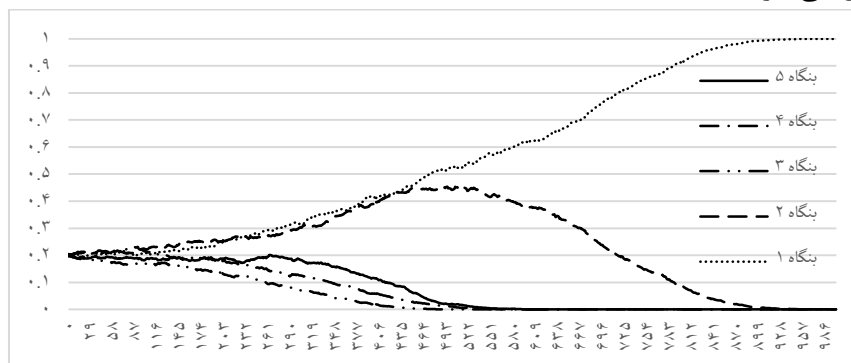
منبع: یافته‌های تحقیق

۳-۴- در نظر گرفتن ناهمگنی در مصرف کنندگان

برای منظور کردن ناهمگنی در رفتار مصرف کنندگان، اصلی‌ترین تفاوتی که در این مدل ساده می‌توان در نظر گرفت این است که اعتماد مصرف‌کنندگان نسبت به مُد (سهم بازار فعلی محصولات) برای انتخاب محصول جدید با هم یکسان نباشد. یعنی مصرف‌کنندگان در خوشبینی نسبت به کیفیت محصولی که مُد شده است یکسان نباشند. بنابراین طبق معادلات مدل باید هر یک از ۱۰ هزار مصرف‌کننده در این مدل آلفای مربوط به خود را داشته باشد. برای اعمال این تغییر در مدل کفایت پارامتر آلفا را که قبلاً ذیل بازار تعریف شده بود و برای کل بازار یکسان بود، ذیل مصرف‌کننده تعریف شود. فلذا دیگر یک پارامتر آلفا وجود نخواهد داشت بلکه به تعداد مصرف کنندگان پارامترهای آلفای متفاوت وجود خواهد داشت.

حال برای مقدار دهی به ۱۰ هزار پارامتر آلفا فرض می‌شود که توزیع آلفا در میان مصرف‌کنندگان از نوع توزیع نرمال با میانگین ۰.۹ و واریانس ۰.۱ باشد. واضح است که احتمال اینکه آلفا برای یک مصرف‌کننده عدد منفی باشد تقریباً صفر است اما با این وجود در برنامه‌نویسی مدل، قدر مطابق مقادیر آلفا منظور می‌شود. برای اینکه فقط اثر ناهمگنی مصرف‌کنندگان بتواند به تنهایی دیده شود در ادامه فرض می‌شود بنگاه‌ها هم از نظر سهم بازار اولیه و هم از نظر کیفیت محصول یکسان هستند یعنی سهم بازار اولیه برای همه ۲۰ درصد است و احتمال خراب شدن محصول نیز برای همه ۱۰ درصد است.

در این صورت نمودار روند تغییرات سهم بازار علیرغم انتظار به صورت شکل ۵ خواهد بود. مشاهده می‌شود که در بلند مدت یعنی بعد از ۹۰۰ دوره انحصار مطلق در بازار شکل می‌گیرد.



شکل (۵): روند تغییرات سهم بازار در شرایط ناهمگنی مصرف‌کنندگان

منبع: یافته‌های تحقیق

انتظار این بود که هیچ بنگاهی به انحصار مطلق نرسد چرا که در زمانی که مصرف‌کنندگان همگن بودند و آلفای یکسان داشتند حتی اگر مقدار آلفا بسیار نزدیک به یک اما کمتر از یک مثلاً ۰.۹۹ می‌بود (مطابق شکل ۱) انحصار مطلق شکل نمی‌گرفت. اما هم اکنون با وجود اینکه میانگین آلفا اکیداً کمتر از یک است و علاوه بر این، ۸۴ درصد مصرف‌کنندگان آلفای کمتر از یک دارند^۱ اما باز هم انحصار مطلق شکل می‌گیرد. این نتیجه مهم علاوه بر آنکه بیانگر اهمیت در نظر گرفتن مساله ناهمگنی است حاکی از آن است که وجود ۱۶ درصد مصرف‌کنندگانی که آلفای بزرگتر از یک دارند یعنی اعتماد زیادی به سهم بازار دارند یا به عبارتی از مُد پیروی می‌کنند باعث شکل‌گیری مُد در کل جامعه می‌شوند. اگرچه این نتیجه‌گیری فقط برای بازار فرضی مدل‌سازی شده در این مقاله صادق است اما می‌تواند ایده‌های خوبی در زمینه تحقیقات در موضوع بازاریابی و تبلیغات داشته باشد.

از آنجا که هدف از آرایه این مدل ساده صرفاً معرفی ملموس‌تر رویکرد مدل‌سازی عامل پایه است لذا برای جلوگیری از اطاله مطلب، از بیان نتایج این مدل در زمانی که پیچیدگی‌های دیگری به مدل اضافه شود خودداری می‌گردد. اما شاید بیان عنوان هر

^۱ از آنجا که توزیع آلفا نرمال استاندارد است لذا آلفای ۵۰ درصد مصرف‌کنندگان زیر ۰.۹ است و آلفای ۳۴ درصد مصرف‌کنندگان نیز حداکثر به اندازه یک برابر انحراف معیار از میانگین بیشتر است. بنابراین آلفای ۸۴ درصد مصرف‌کنندگان کمتر از یک است.

پیچیدگی جدید، که می‌تواند به راحتی به این مدل افزوده شود، برای خواننده مفید باشد. مثلاً اینکه هر مصرف‌کننده اگر محصول مورد استفاده‌اش خراب شد دیگر آن محصول را در دوره بعد خریداری نکند و انتخاب خود را از میان سایر محصولات انجام دهد. و یا اینکه می‌توان تبلیغات را به این صورت وارد مدل کرد که کالای با کیفیت پایین‌تر بتواند در نظر مصرف‌کننده در هنگام انتخاب، محبوب‌تر جلوه کند. به این صورت که ضریب آلفا به ازای هر مصرف‌کننده و برای هر محصول متفاوت باشد. نتایج این تغییرات نیز برای مطالعه و تحقیق در زمینه بازاریابی و تبلیغات و مشتری‌مداری مفید خواهد بود. اعمال این تغییرات ساده در رویکردهای سنتی همچون مقاله معروف اسمال وود و کانلیسک همچنان که در متن مقاله اشاره شده است بسیار سخت و دشوار است (اسمال وود و کانلیسک، ۱۹۷۹). در حالی که در این رویکرد اعمال چنین تغییراتی، همچنان که مشاهده گردید، بسیار ساده‌تر است.

۵- جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

گاهی حل تحلیلی مدل یا ضروری نیست و یا اساساً میسر نیست. در این موارد رویکرد محاسباتی با ارائه یک راه حل عددی از طریق یک فرآیند شبیه‌سازی می‌تواند کارگشا باشد.

در مقایسه با مدل‌های اقتصادی رایج، رویکرد اقتصاد محاسباتی عامل پایه (ACE) در یک بده‌بستان، میان ساده‌سازی و انعطاف‌پذیری، انعطاف‌پذیری را برگزیده است. در این رویکرد، مهارت‌های فردی در ایجاد انتظارات و تصمیم‌گیری، همراه با پیچیدگی در ساختار تعاملات و در نظر گرفتن جزئیات نهادی پذیرفته شده است در حالی که در چارچوب فرضیه انتظارات عقلایی که هسته مرکزی مدل‌های رایج اقتصادی است، الزام قوی سازگاری باورها و رفتارهای همه عامل‌ها در همه زمان‌ها با شرایط تعادلی باعث شده است که مدل‌ها ساده و یک‌تکه^۱ باشد. در حالی که در رویکرد عامل پایه رهایی از الزام سازگاری رفتارها با شرایط تعادلی نیاز به حل مدل به عنوان یک مدل یک‌تکه را مرتفع می‌سازد. به این ترتیب اساساً ABMs می‌توانند ماژولار باشند. همراه با امکانات نامحدود برای بازترکیب و توسعه مدل.

به طور کلی در مورد شرایط فعلی رویکرد ACE باید گفت این رویکرد در برخی سطوح موفقیت‌های بزرگی به دست آورده است و هم اکنون این ذهنیت در میان بسیاری از

^۱ Single Block

اقتصاد دانان ایجاد شده است که تحقیقات اقتصادی می‌توانند از این ابزار مدل‌سازی جدید بهره‌مند شوند. در عین حال تاکنون بسیاری از آرزوها و تصورات اولیه از ACE برآورده نشده است. مدل‌های مبتنی بر این رویکرد امروزه از حیث ادعاها معتدل تر و از حیث دستاوردها دقیق‌تر شده‌اند. در واقع مدل‌هایی که امروزه وجود دارند به رد مدل‌های نئوکلاسیکی نمی‌پردازند. یکی از واقعیت‌های مرتبط با این رویکرد وجود سوء تفاهم خیلی از غیراقتصاددان‌ها در مورد طبیعت تئوری اقتصادی بوده و هست. به بیان ساده تر تئوری اقتصادی قادر است از مزیت‌های رویکرد ACE بهره‌بردار و نقایص خود را مرتفع سازد (بلوم و دورلاف^۱، ۲۰۰۵).

مدل‌های ACE ریاضیاتی هستند که منجر به نتایج عمومی و کلان می‌شوند و می‌توانند از دیتا برای تخمین تجربی پارامترها استفاده کنند. مدل‌های ACE عموماً خودشان را وقف آن کرده‌اند تا رویدادهای اقتصاد کلان را از تعامل عاملان در سطح خرد استخراج کنند. ارتباط بین مشخصه‌های خرد عامل‌ها مثل قواعد یادگیری، تنوع، ساختار شبکه و اثرات بیرونی با مشخصه‌های سطح کلان مثل الگوهای پویا^۲ دوران گذار کوتاه و بلند^۳، مسیرهای همگرایی و نقاط تعادل از مدل‌های ACE استخراج می‌شود (پیچ، ۲۰۱۲).

در مدل‌های عامل پایه برونادهای جمعی^۴ اگرچه از طریق جمع برونادهای فردی محاسبه می‌شود اما با این حال به دلیل در نظر گرفتن تعاملات موجود میان عامل‌ها، رفتار جمعی می‌تواند چیزی متفاوت از رفتار آحاد تشکیل دهنده سیستم باشد. قابلیت‌های ABMs این امکان را فراهم می‌سازد تا مدل‌های بسیار پیچیده ساخته و به روش محاسباتی حل شود اما هرچه یک مدل عامل پایه پیچیده‌تر شود؛ مثلاً از حیث شمول تنوع بیشتر، قواعد رفتاری پیچیده‌تر، ساختارهای بازخورد پیچیده‌تر و یا اثرات شبکه‌ای دقیق‌تر؛ توانایی مدل‌های تجمیعی را برای ردیابی مسیر گردش حالات محدودتر می‌سازد. بنابراین در این رویکرد نیز همچون رویکردهای رایج، ساده‌سازی مفید است اما نه به دلیل محدودیت‌های حل تحلیلی مساله، بلکه به دلیل فهم ساده‌تر نتایج مدل.

¹ Blume and Durlauf

² Dynamic Patterns

³ Long and Short Transient

⁴ Aggregate Outcomes

فهرست منابع

1. Arthur, W. B. (2006). Chapter 32 Out-of-Equilibrium Economics and Agent-Based Modeling. *Handbook of Computational Economics*. 2: 1551-1564.
2. Axtell, R. (2003). Economics as Distributed Computation. *Meeting the Challenge of Social Problems via Agent-Based Simulation: Post-Proceedings of the Second International Workshop on Agent-Based Approaches in Economic and Social Complex Systems*. Springer Japan: 3-23.
3. Bedau, M. A. (2002). weak emergence. *Principia*, 6(1): 5
4. Blume, L. E. and S. N. Durlauf (2005). The Economy As an Evolving Complex System, III: Current Perspectives and Future Directions, *Oxford University Press*.
5. Epstein, J. M. (2006). Remarks on the foundations of agent-based generative social science. *Handbook of computational economics*, 2: 1585-1604.
6. Gode, D. K. and S. Sunder (1993). Allocative Efficiency of Markets with Zero-Intelligence Traders: Market as a Partial Substitute for Individual Rationality. *Journal of Political Economy* 101(1): 119-137.
7. Gourieroux, C. and A. Monfort (1997). Simulation-based Econometric Methods, *Oxford University Press*.
8. Hofstadter, D. R. (1979). *Godel, Escher, Bach: An Eternal Golden Braid*, Basic Books, Inc.
9. Holland, J. H. (1995). Hidden order: how adaptation builds complexity, *Addison Wesley Longman Publishing Co., Inc*.
10. Kirman, A. P. (1992). Whom or What Does the Representative Individual Represent? *The Journal of Economic Perspectives*, 6(2): 117-136.
11. Page, S. E. (2012). Aggregation in agent-based models of economies. *The Knowledge Engineering Review*, 27(2): 151-162.
12. Richiardi, M., R. Leombruni, N. J. Saam and M. Sonnessa (2006). A Common Protocol for Agent-Based Social Simulation. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, 9.(۱).
13. Richiardi, M. G. (2012). Agent-based computational economics: a short introduction. *The Knowledge Engineering*, 27(2): 137-149.
14. Richiardi, M. G. (2017). The Future of Agent-Based Modeling. *Eastern Economic Journal*, 43(2): 271-287.

15. Smallwood, D. E. and J. Conlisk (1979). Product Quality in Markets Where Consumers are Imperfectly Informed. *The Quarterly Journal of Economics*, 93(1): 1-23.
16. Tesfatsion, L. J., K. L. (eds) (2006). *Handbook of Computational Economics*, Elsevier.