

مروری بر رهیافت اقتصاد محاسباتی مبتنی بر عامل^۱

حبیب مروت^۲

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۲/۲۲

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۳/۲۷

چکیده

مدل تعادل والراسی (از جمله مدل تعادل عمومی پویای تصادفی) به دلیل ساده‌سازی بیش از اندازه و فقدان توان تجربی، همواره مورد انتقاد بوده است. مهمترین مشکل این رهیافت مدل‌سازی رابطه بین ساختار خرد و کلان می‌باشد. اقتصاد سیستمی است پویا، تطبیقی، در حال تکامل و پیچیده. بنابراین رهیافت دیگری لازم است تا بتواند رفتار این سیستم را مدل‌سازی نماید. با افزایش قدرت پردازش کامپیوترها، امکان استفاده از روشهای محاسباتی مبتنی بر عامل برای مطالعه پدیده‌ها و فرایندهای پیچیده اقتصادی ایجاد شد. در این رهیافت، فروض محدودکننده و ساده‌کننده که در رهیافت والراسی وجود دارد، مطرح نیست. این رهیافت به مطالعه محاسباتی سیستم‌های پویا و پیچیده اقتصادی که در آن، عوامل ناهمگن با یکدیگر تراکنش دارند، می‌پردازد. این رهیافت ترکیبی است از علوم اقتصاد تکاملی، روانشناسی شناختی و رایانه. برخلاف اقتصاد کلان متعارف، در مدل‌های کلان مبتنی بر عامل مدل‌ها از پایین به بالا ساخته می‌شوند. در طی بیش از یک دهه گذشته، این رهیافت نقش مهمی در تحلیل مسائل اقتصاد کلان و سیاست‌گذاری ایفا نموده است. این رهیافت، یکی از روشهای اصلی مدل‌سازی

۱. شناسه دیجیتال (DOI): 10.22051/edp.2018.19633.1146

۲. عضو هیات علمی دانشکده اقتصاد دانشگاه علامه طباطبائی؛ habibmorovat@yahoo.com

اقتصاد رفتاری است. اقتصاد کلان مبتنی بر عامل به علت انعطاف پذیری بالا، کاربردهای فراوانی در شاخه‌های مختلف علم اقتصاد اعم از مدل‌سازی بازارهای برق، تکامل نهادها و هنجارهای اجتماعی، اقتصاد مالی، سازماندهی صنعتی و بازار نیروی کار داشته است. در این پژوهش، ویژگی‌ها، بنیان‌های مفهومی، اجزای مدل‌سازی و مزایای و معایب این رهیافت و برخی از کاربردهای آن مطرح شده است.

واژگان کلیدی: اقتصاد محاسباتی مبتنی بر عامل (ACE)، تعادل عمومی پویای تصادفی (DSGE)، رهیافت پایین به بالا
طبقه‌بندی JEL: E17، E7

۱. مقدمه

اقتصاد کلان به عنوان شاخه ای از علم اقتصاد به وسیله جان مینارد کینز مطرح شد. در اقتصاد کلان کینزی، مدل اقتصادی تنها در سطح کلان به صورت صریح وجود داشت. اما از دهه ۱۹۷۰ و بعد از نقد لوکاس^۱، اقتصاددانان بر مدل‌سازی صریح بنیان‌های خرد اقتصاد کلان تأکید نمودند. آنها در راستای پاسخ به این سؤال که چگونه می‌توان روابط بین متغیرهای اقتصاد کلان و ساختار اقتصاد خرد را مدل‌سازی نمود، بر مدل تعادل والرایی^۲ (مخصوصاً مدل‌های تعادل عمومی پویای تصادفی^۳) به عنوان مدل اصلی تأکید نمودند (اوفنر^۴، ۲۰۰۸). مدل‌های رقابتی به‌طور مستقیم، اما مدل‌های رقابت ناقص نوعاً به عنوان حالتی از موفقیت در هماهنگی^۵، با این مدل سازگار می‌باشند (تسفتسیون^۶، ۲۰۰۶).

در شکل نوین تعادل والرایی، تخصیص کالا و خدمات به‌وسیله مکانیسم قیمت و بر اساس بازارهای غیرمتمرکز با مالکیت خصوصی منابع تولید انجام می‌شود. در این سیستم، تعداد معینی بنگاه حداکثرکننده سود قیمت‌پذیر که کالاها و خدمات با جنس و کیفیت معین تولید می‌کنند، تعداد معینی مصرف‌کننده با ترجیحات برونزا که مطلوبیت ناشی از مصرف (با مقدار مشخص قیمت) را حداکثر می‌کنند، و یک مکانیسم هماهنگ‌کننده قیمت (حراجگر والرایی) که بردار قیمت‌های تسویه‌کننده بازارها را تعیین می‌کند، وجود دارد. با فرض عدم اشباع‌پذیری مصرف‌کننده، اصل اول رفاه تضمین می‌کند که تخصیص تعادل والرایی، بهینه پرتو است.

بارزترین ویژگی ساختاری تعادل والرایی وابستگی شدید آن به مکانیسم قیمت‌گذاری حراجگر والرایی است. حراجگر والرایی ابزاری است برای هماهنگی بین فعالان بازار که امکان

-
1. Lucas critique
 2. Walrasian equilibrium
 3. Dynamic Stochastic General Equilibrium (DSGE)
 4. Oeffner
 5. Coordination success
 6. Tesfatsion

رفتارهای استراتژیک را در نظر نمی‌گیرد. همه تراکنش‌های بین عوامل از خارج و به‌وسیله سیستم‌های پرداخت انجام می‌شود و تراکنش‌های مستقیم و رو در رو نمی‌دهد. قیمت‌ها، تنها رابط بین بنگاه‌ها و مصرف‌کنندگان قبل از معامله واقعی هستند. از آنجایی که مصرف‌کنندگان، قیمت‌ها را مشخص و خارج از کنترل خود فرض می‌کنند، مساله تصمیم‌گیری‌شان به یک مساله ساده بهینه‌سازی که به اعمال و رفتار سایر عوامل بستگی ندارد، کاهش می‌یابد. این مساله برای بنگاه‌های قیمت‌پذیر نیز صادق است. مقادیر تعادلی قیمت‌ها به‌وسیله شرایط تسویه بازار که از طریق حراجگر والراسی تحمیل می‌گردد، تعیین می‌شوند؛ نه به‌وسیله اعمال مصرف‌کننده‌ها، یا بنگاه‌ها و یا عوامل دیگری که واقعاً در بازار وجود دارند.

با حذف مکانیسم قیمت‌گذاری حراجگر والراسی از مدل استاندارد تعادل والراسی، همه قیمت‌ها و مقادیر از طریق فعالیت‌های بنگاه‌ها و مصرف‌کنندگان تعیین می‌شوند. این تغییر کوچک در مدل والراسی باعث تغییر عمده در عملکرد و نتایج آن می‌شود. با حذف این فرض مسائلی مانند نقش اطلاعات، تراکنش‌های استراتژیک، شکل‌گیری انتظارات بر اساس اطلاعات محدود، یادگیری مشترک، آداب و رسوم اجتماعی، هزینه‌های معاملاتی، اثرات خارجی، قدرت بازار، تباری، و احتمال شکست در هماهنگی اهمیت پیدا کرده و رواج آداب و رسوم بازار، قواعد سهمیه‌بندی، مقررات ضدتراست، و سایر انواع نهادها در اقتصاد کلان در دنیای واقعی بهتر درک می‌شوند. بنابراین این فرض به زیبایی و به بهترین شکل اقتصاد را ساده نموده است.

اما مدل تعادل والراسی به دلیل ساده‌سازی بیش از اندازه و فقدان توان تجربی، همواره مورد انتقاد بوده است. مهمترین مشکل این رهیافت، رابطه بین ساختار خرد و کلان می‌باشد. در بیشتر کاربردهای این مدل، بنیان‌های خرد مدل‌های تعادل عمومی به منظور ساده‌سازی در سطح کل و کلان ساخته می‌شوند که در نتیجه آن، نمی‌تواند به این سؤال پاسخ دهد که چگونه رفتارهای افراد (یعنی اقتصاد خرد) پویایی‌های سطح کل (یعنی اقتصاد کلان) را به‌وجود می‌آورند.

اقتصاد سیستمی است پویا، تطبیقی، در حال تکامل و پیچیده^۱. اقتصاد عبارت است از شبکه‌ای از پردازنده‌هایی که با هم تراکنش دارند و هر یک از پردازنده‌ها توان کمتری برای فراوری اطلاعات نسبت به یک مجموعه پردازنده مرکزی که برای حل مساله تخصیص برای کل سیستم لازم است، دارند (لیان هافورد^۲، ۲۰۰۶).

۱. قابل توجه است که نئوکلاسیک‌های قدیمی (مخصوصاً آلفرد مارشال) علم اقتصاد را به عنوان نمود یک سیستم پیچیده می‌دانستند اما ابزارهای ریاضی برای حل دلالت‌های پویای این سیستم‌های پیچیده در اختیار نداشتند. بطوری که اقتصاد نئوکلاسیکی در ابتدا بر اساس نظریه انتخاب نبود و تصمیم‌گیری‌ها بر اساس بهینه‌سازی مقید نبود و فروض محکمی در مورد عقلانیت عوامل مطرح نبود و اقتصاد همواره در تعادل در نظر گرفته نمی‌شد (لیان هافورد، ۲۰۰۶).

در اقتصادها تعداد زیادی از عوامل خرد به‌طور تکراری وارد تعاملات و تراکنش‌های منطقه‌ای و محلی می‌شوند که این تعاملات متغیرهای کلان مانند اشتغال، نرخهای رشد، توزیع درآمد، نهادهای بازار، و آداب و رسوم اجتماعی را به وجود می‌آورند. این متغیرهای کلان به نوبه خود در تعیین تعاملات محلی نمود پیدا می‌کنند. نتیجه این امر، سیستم پیچیده‌ای است از حلقه‌های بازخورد به هم پیوسته که رفتارهای خرد، الگوهای تراکنش و مقررات کلی را به هم مرتبط می‌سازد. بنابراین رهیافت دیگری لازم است تا بتواند رفتار این سیستم را مدل‌سازی نماید. با افزایش قدرت پردازش کامپیوترها و ایجاد زبان‌های برنامه‌نویسی پیچیده‌تر، امکان استفاده از روشهای محاسباتی مبتنی بر عامل برای مطالعه پدیده‌ها و فرایندهای پیچیده اقتصادی ایجاد شد.^۱ بنابراین رهیافت جدیدی در اقتصاد به وجود آمد که به مطالعه اقتصاد آن‌گونه که واقعاً هست، می‌پردازد. این رهیافت، اقتصاد محاسباتی مبتنی بر عوامل نامیده می‌شود. در این رهیافت، فروض محدود کننده و ساده کننده که در رهیافت والراسی وجود دارد، مطرح نیست. اقتصاد محاسباتی مبتنی بر عوامل به مطالعه محاسباتی سیستم‌های پویا و پیچیده اقتصادی که در آن، عوامل نا همگن با یکدیگر تراکنش دارند، می‌پردازد. این رهیافت ترکیبی است از علوم اقتصاد تکاملی^۲، روانشناسی شناختی^۳ و رایانه. برخلاف اقتصاد کلان متعارف، در مدل‌های کلان مبتنی بر عامل، مدل‌ها از پایین به بالا ساخته می‌شوند. مدل‌های مبتنی بر عامل در سطح خرد طراحی می‌شوند. این مدل‌ها شامل چندین هزار عامل فردی هستند و معمولاً رفتارهای سطح کلان از طریق تصریح قیود محدود نمی‌شوند. پویایی‌های ایجاد شده در سطح کلان فقط براساس رفتارها و تراکنش‌های بین افراد و عوامل ایجاد می‌شوند. ویژگی‌های کلی و کلان این سیستم‌ها الزاماً مشابه ویژگی‌های اجزای منفرد آن نیستند. موضوع اصلی محققان اقتصاد محاسباتی مبتنی بر عوامل، عبارت است از فهم قوانین و مقررات عمومی (مانند هماهنگی‌های بدون برنامه‌ریزی معاملات در اقتصادهای غیرمتمرکز که اقتصاددانان آن را به دست نامرئی آدام اسمیت نسبت می‌دهند) که به‌طور طبیعی در فرایندهای اقتصادی به‌وجود می‌آیند. بنابراین چالش اصلی این محققان، عبارت است از توضیح این قواعد عمومی و کلی از پایین به بالا؛ به این مفهوم که این قواعد کلی از تراکنش‌های محلی بین عوامل خودکار و مستقل که از طریق نهادهای اقتصادی بالفعل یا بالقوه هدایت می‌شوند، به‌وجود می‌آیند، نه از طریق مکانیسم‌های هماهنگ کننده از بالا به پایین مانند عامل نماینده^۴.

۱. به اعتقاد لیان هافورد روش‌های مبتنی بر عامل تنها روشی است که می‌تواند با استفاده از توانایی‌های خودتنظیمی مدل‌های پویای تطبیقی فهم ما از پویایی‌های تطبیقی اقتصادهای واقعی افزایش دهند (لیان هافورد، ۲۰۰۶).

2. Evolutionary economics
3. Cognitive Psychology
4. Representative Agent

طی بیش از یک دهه گذشته، این رهیافت نقش مهمی در تحلیل مسائل اقتصاد کلان و سیاست‌گذاری ایفا نموده است. این رهیافت که یکی از روشهای اصلی مدل‌سازی اقتصاد رفتاری است، با توجه به توسعه و گسترش اقتصاد رفتاری این رهیافت نیز اهمیت روزافزونی یافته است. علاوه بر آن، اقتصاد کلان مبتنی بر عامل به علت انعطاف‌پذیری بالا، کاربردهای فراوانی در شاخه‌های مختلف علم اقتصاد اعم از مدل‌سازی بازارهای برق، تکامل نهادها و هنجارهای اجتماعی، اقتصاد مالی، سازماندهی صنعتی، بازار نیروی کار داشته است. البته برخی از اقتصاددانان ایراداتی -از قبیل اعتبارسنجی این مدل‌ها- بر این رهیافت، مطرح کرده‌اند. در ادامه، ابتدا تعریف جامعی از اقتصاد کلان محاسباتی مبتنی بر عامل، و سپس، به ترتیب ویژگی‌ها، بنیان‌های مفهومی، اجزای مدل‌سازی و مزایا و معایب این رهیافت در بخش‌های بعدی بیان خواهد شد و نهایتاً در بخش پایانی، جمع‌بندی و نتیجه‌گیری ارائه خواهد شد.

۲. اقتصاد کلان محاسباتی مبتنی بر عامل (ACE)^۱ چیست؟

کل فرایندهای اقتصادی را -مانند تولید، مصرف، معامله و تجارت که در واقعیت روی می‌دهد- در نظر بگیرید. این فرایندها معمولاً با فعالیت‌های صدها هزار گروه، بنگاه، نهاد اجتماعی و افراد روی می‌دهد. تراکنش بین این عوامل خرد با توجه به ویژگی‌ها و خصوصیات هر یک از آنها منجر به سیستمی می‌شود که بر اساس تعریف، سیستم پیچیده تطبیقی^۲ نامیده می‌شود. بر اساس تعریف، سیستمی پیچیده است که اولاً، از واحدهایی که با هم تراکنش دارند، تشکیل شده باشد. ثانیاً، در سیستم ویژگی‌های جدیدی به وجود آید که ناشی از تراکنش واحدهایی است که خود واحدها این ویژگی‌ها را ندارند. توافق عمومی در مورد تعریف سیستم‌های پیچیده تطبیقی وجود ندارد و تعاریف مختلفی برای آنها مطرح شده است. در سطح ضعیف‌تر، سیستم تطبیقی پیچیده، سیستم پیچیده‌ای است که واحدهای تشکیل‌دهنده آن واکنشگر^۳ اند؛ یعنی به‌طور سیستماتیک در واکنش به تغییرات شرایط محیطی، ویژگی‌های متفاوتی از خود نشان می‌دهند. در سطح قوی‌تر، یک سیستم تطبیقی پیچیده، سیستم پیچیده‌ای است که شامل واحدهای هدف محور^۴ می‌باشد؛ یعنی واحدهایی که دارای اثرات واکنشی هستند و حداقل برخی از واکنش‌های آنها در راستای رسیدن به اهداف بالفعل و بالقوه می‌باشد.

مدل‌سازی و شبیه‌سازی سیستم‌های پیچیده تطبیقی همواره توجه محققان را جلب نموده است. امروزه با به‌کارگیری پیشرفت‌های فناوری اطلاعات، زبان‌های برنامه‌نویسی و شبیه‌سازی رایانه‌ای مبتنی بر عامل، می‌توان دنیای مصنوعی و مجازی ایجاد نمود که تمامی این فرایندها

1. Agent-Based Computational Economics (ACE)

2. Complex adaptive system

3. Reactive units

4. Goal_directed units

در این دنیای مجازی روی می‌دهد. این دنیای مجازی مملو است از تعداد بسیاری زیادی از عوامل که هر یک از این عوامل، مجموعه اطلاعات مشخصی داشته و با هم تعامل و تراکنش دارند. این دنیای مجازی، فضا و ساختار اقتصاد محاسباتی مبتنی بر عامل را شکل می‌دهد. همه فعالیت‌ها در این جهان کاملاً درونزا بوده، اطلاعات دائماً به صورت درونزا در سطح خرد تولید، جمع‌آوری و پردازش می‌شوند. در این جهان همه تصمیمات، فرایندها و اعمال کاملاً خودکار می‌باشند؛ یعنی این جهان مصنوعی کاملاً خودبسندگی^۱ می‌باشد. روش‌شناسی ACE یک رهیافت آزمایشگاهی است برای مطالعه سیستم‌های اقتصادی که به عنوان یک سیستم تطبیقی پیچیده در نظر گرفته می‌شوند.

عوامل در مدل ACE می‌توانند شامل عوامل اقتصادی، اجتماعی، بیولوژیکی، و فیزیکی (به عنوان مثال، خانواده‌ها، آب و هوا و گیاهان) شوند. هر عامل یک جزء کپسوله شده از نرم‌افزار است، شامل داده‌ها و اطلاعات به اضافه روشهای رفتاری. هر عامل با استفاده از روشهای رفتاری داده و اطلاعات در اختیار خود را تجزیه و تحلیل نموده و به پیرامون خود واکنش نشان می‌دهد. برخی از این اطلاعات و روشها خصوصی بوده و بنابراین در دسترس عوامل دیگر نمی‌باشند و برخی دیگر از آنها، تنها در دسترس زیرگروه معینی از سایر عوامل می‌باشند. عوامل می‌توانند با استفاده از روشهای رفتاری مخصوص خود (محافظت‌شده) یا روشهای عمومی با دیگر عوامل تعامل نمایند.

مدلساز ACE یک دنیای اقتصادی مجازی با تعداد زیادی از عوامل (واحد) را به‌طور محاسباتی ایجاد می‌کند. وی برای شروع، وضعیت اولیه یک سیستم اقتصادی را به‌وسیله تصریح اطلاعات اولیه و روشهای رفتاری هر عامل و میزان در دسترس بودن اطلاعات برای سایر عوامل را مشخص می‌کند. اطلاعات مربوط به هر عامل می‌تواند شامل صفات مربوط به نوع و ماهیت عامل (به عنوان مثال، جهان، بازار، بنگاه، مصرف‌کننده)، صفات ساختاری آن (مانند موقعیت جغرافیایی، طراحی، تابع هزینه، تابع مطلوبیت) و اطلاعات در مورد صفات عوامل دیگر (مانند نشانی‌ها و ویژگی‌های کلی و عمومی آنها) باشد. هر عامل در تجزیه و تحلیل داده‌ها و اطلاعات می‌تواند از روشهای عمومی مانند روشهای رفتاری اجتماعی (مانند قوانین ضد تراست^۲، پرتکل‌های بازار^۳) و روشهای رفتاری خصوصی و شخصی (مانند استراتژی‌های تولید و قیمت‌گذاری، الگوریتم‌های یادگیری مربوط به نحوه به روز نمودن استراتژی‌ها) استفاده نماید. مدل ACE نهایی باید از نظر پویایی کامل باشد یعنی، سیستم اقتصادی مدل شده، باید بتواند تنها بر اساس تعامل عوامل و بدون مداخله بیشتر از سوی طراح مدل در طی زمان توسعه یافته و ویژگی‌های کلان را که الزاماً در هر یک از عوامل به صورت فردی وجود ندارد را نشان دهد.

-
1. Autarchic
 2. Antitrust laws
 3. Market protocols

به‌طور خلاصه، تستفسیون اقتصاد محاسباتی مبتنی بر عوامل را به این‌گونه تعریف می‌کند: "اقتصاد محاسباتی مبتنی بر عامل عبارت است از مطالعه محاسباتی فرایندهای اقتصادی که به‌صورت سیستم‌های پویایی که عوامل در آنها تراکنش دارند، مدل‌سازی شده‌اند." به‌منظور درک عمیق‌تر این رهیافت در مقایسه با رهیافت متعارف در اقتصاد کلان مخصوصاً مدل‌های تعادل عمومی تصادفی پویا، در ادامه ویژگی‌ها و فروض این دو رهیافت با یکدیگر مقایسه می‌شوند.

۳. ویژگی‌های اقتصاد کلان محاسباتی مبتنی بر عوامل

بخش عمده‌ای از مدل‌های نوین در اقتصاد کلان متعارف ریشه در چارچوب والراس یا ارو-دبرو^۱ (مدل‌های تعادل عمومی تصادفی پویا)^۲ دارند. اما برخی از فروض اصلی این مدل‌ها در سال‌های اخیر مورد انتقاد بوده است. در ادامه به‌منظور درک عمیق‌تر اقتصاد کلان مبتنی بر عامل و علت مطرح شدن و رشد روز افزون آن، برخی از فروض و ویژگی‌های مدل‌های اقتصاد کلان متعارف را که مورد انتقاد هستند با ویژگی‌های اقتصاد کلان مبتنی بر عوامل مقایسه می‌نماییم.

• جمعیت

اقتصاد متعارف فرض می‌کند که اقتصاد از تعداد زیادی از عوامل همسان تشکیل شده است که رفتار و عملکرد آنها به وسیله یک عامل نماینده^۳، بیان و مشخص می‌شود. گان^۴ (۲۰۰۴) علت اصلی این فرض را مشکلات فراوان تجمیع رفتار عوامل غیرهمسان می‌داند. این رهیافت فرض می‌کند که کل سیستم مشابه هر یک از اجزاء خرد خود بوده و ساده می‌باشد. اما یکی از فروض اصلی نظریه سیستم‌های پیچیده آن است که کل سیستم، پیچیده‌تر از اجزای تشکیل‌دهنده آن می‌باشد (خصوصاً اگر سیستم از اجزای به هم پیوسته تشکیل شده باشد). در نتیجه، فرض عامل نماینده، اقتصاد را به یک عامل منفرد یکتا تقلیل می‌دهد که با ضرورت وجود اقتصاد خرد در تناقض شدیدی است، زیرا بدون عوامل متنوع هیچ معامله و مبادله‌ای اتفاق نمی‌افتد. بنابراین رهیافت عامل نماینده، یک ساده‌سازی شدید و زیبا است که پیچیدگی چارچوب متعارف را به‌منظور رسیدن به تعادل‌های پایدار و یکتا کاهش می‌دهد.

گافو و همکاران^۵ (۲۰۰۷) نیز در نقد اقتصاد کلان نوین مبتنی بر عامل نماینده، سؤال می‌کنند: چگونه می‌توان در اقتصاد کاملاً غیرمتمرکز که از میلیون‌ها فرد خودخواه تشکیل شده است، هماهنگی ایجاد کرد؟ اما کرمن^۶ (۱۹۹۲) انتقادات وارد بر رهیافت عامل نماینده را به

1. Arrow-Debreu framework

2. Dynamic Stochastic General Equilibrium (DSGE) models

3. Representative agent

4. Gun

5. Gaffeo *et al.*

6. Kirman

شکل زیر خلاصه کرده است: ۱- عقلانیت فردی، عقلانیت کل را نمی‌رساند. این بدان مفهوم است که نمی‌توان یک توجیه رسمی برای این فرض پیدا نمود که رفتار حداکثرسازی افراد بتواند در سطح کل و کلان قابل کاربرد باشد. ۲- واکنش عامل نماینده به شوک‌ها نمی‌تواند با کل (مجموع) واکنش‌های خرد افراد همزمان باشد. ۳- حتی اگر مشکلات مطرح شده در بالا حل شوند، حالت‌هایی وجود دارد که در آنها از دو موقعیت موجود x و y ، عامل نماینده موقعیت x را ترجیح دهد اما عوامل فردی دیگر موقعیت y را ترجیح دهند. ۴- مشکل دیگر در سطح تجربی وجود دارد. اگر فردی نظریه‌ای را که بر اساس مدل عامل نماینده طراحی شده است، آزمون نماید، در همان زمان، فرضیه عامل نماینده را نیز آزمون می‌کند.

فرونی و لیبی^۱ (۱۹۹۷) نیز بیان کردند که اگر در یک اقتصاد، عوامل ناهمگن وجود داشته باشد، ویژگی‌های اصلی عوامل خرد در سطح کلان و هنگام کلی‌سازی حفظ نمی‌شود. به عنوان مثال، تجمیع معاملات خرد ایستا ممکن است معادلات پویا در سطح کلان ایجاد نماید.

در مقایسه با این بینش، اقتصاد محاسباتی مبتنی بر عامل، ما را قادر می‌سازد تا حداکثر انعطاف‌پذیری را در طراحی ناهمگنی داشته باشیم. در این رهیافت، اقتصاد مملو است از بسیاری از عوامل که این عوامل می‌توانند در بسیاری از زمینه‌ها (مواردی مانند دارایی‌های اولیه، تکنولوژی، سلیق، رفتار و غیره) ناهمگن باشند. اگر عوامل ناهمگن (به عنوان مثال ناهمگن در رفتار) به طور پیوسته به سمت موقعیت کلی که آنها با هم ایجاد می‌کنند، تعدیل یابند. آنها با محیطی که با هم ایجاد کرده‌اند، سازگار خواهند شد و در طی این سازگاری، آن محیط را تغییر خواهند داد. بر این اساس، تکامل (در قالب اقتصاد تکاملی^۲) در وسیع‌ترین مفهوم آن استفاده می‌شود که می‌توان به عنوان تطبیق عناصری که موقعیت خود را به موقعیتی که با هم ایجاد کرده‌اند، بیان کرد.

اقتصاد مبتنی بر عوامل بر خلاف اقتصاد مبتنی بر عامل نماینده، از پایین به بالا^۳ شکل می‌گیرد. در این اقتصاد ما از انتخاب‌های فردی شروع می‌کنیم، در حالی که در اقتصاد مبتنی بر عامل نماینده، نقطه شروع، روابط مشاهده شده بین متغیرهای کلی و کلان می‌باشد. در مدل‌های مبتنی بر عوامل هیچ کنترل مرکزی از بالا به پایین بر رفتار افراد وجود ندارد. البته معمولاً بین ساختارهای کلان و خرد بازخورد وجود دارد؛ به طوری که عوامل تازه متولد شده به وسیله قواعد یا نهادهای اجتماعی که به طور درونزا و از طریق تعاملات و تراکنش‌های قبل‌تر شکل می‌گیرند، تربیت می‌شوند. بر این اساس، خرد و کلان با هم رشد و تکامل خواهند داشت. اما در تصریح مدل هیچ نیروی کنترلی مرکزی (مانند حراجگر والراسی) یا قدرت‌های بالاتر از ابتدا فرض نمی‌شود (اپستاین^۴، ۲۰۰۶).

-
1. Froni & Lippi
 2. Evolutionary economics
 3. Bottom-up
 4. Epstein

بنابراین مدل‌های مبتنی بر عامل ما را قادر می‌سازد تا رابطه بین پویایی‌های خرد و کلان را که در مدل‌های عامل نماینده امکان‌پذیر نیست، کشف نماییم. از این رو با استفاده از این رهیافت می‌توان مباحث مربوط به سفسطه ترکیب^۱ را نیز بررسی نمود.

• رفتار

علاوه بر فرض غیرقابل باور اقتصاد متعارف مبنی بر اینکه عامل نماینده، نمایندگی کل عوامل را بر عهده دارد، رفتار خود این عامل نماینده نیز بسیار غیرواقعی است.

گان (۲۰۰۴) رهیافت عامل نماینده به منظور به دست آوردن توابع تقاضا که از طریق حداکثرسازی مطلوبیت انتظاری بین دوره‌ای (در حالت نااطمینانی) را که با توجه به قید بودجه به دست آید، زیر سؤال می‌برد. وی بیان می‌کند که از یک سو، این یک مساله برنامه‌ریزی پویا می‌باشد که مساله یک مهندس می‌باشد و نه مسائل اقتصاد و اقتصاددان. از سوی دیگر، فرض می‌کند که عامل نماینده دچار بیماری جنون جوانی یا اسکیزوفرنی^۲ است، زیرا در یک لحظه، هم بنگاه است و هم، خانوار. او خودش را استخدام می‌کند، خودش می‌خرد و می‌فروشد. او به خودش به اندازه بهره‌وری نهایی نیروی کار دستمزد، و به اندازه بهره‌وری نهایی سرمایه، بهره پرداخت می‌کند. نهایتاً این مدل‌ها معمولاً بر یک ناسازگاری تکیه می‌زنند که عبارت است از اینکه همه بنگاه‌ها و خانوارها قیمت گیرنده هستند و نمی‌توانند بر قیمت‌ها اثر بگذارند و آنها را در مسائل بهینه‌سازی از پیش مشخص در نظر می‌گیرند. اما اگر قیمت‌ها برای همه افراد از پیش مشخص هستند، چه کسانی این قیمت‌ها را تعیین می‌کنند.

همان‌طور که واریان^۳ (۱۹۹۲) می‌گوید، تناقض بنیادی بین ایده رقابت و تعدیل قیمت وجود دارد: اگر همه عوامل قیمت را داده شده و خارج از کنترل خود در نظر می‌گیرند، قیمت‌ها چگونه می‌توانند تغییر کنند. چه کسی باید قیمت‌ها را تعدیل نماید؟ در نظریه متعارف این معما به وسیله مفهومی به نام حراجگر والراسی حل شده است؛ کسی که به دنبال قیمت‌های تعادلی می‌گردد تا مساله بهینه‌سازی مشترک همه عوامل در اقتصاد را حل کند. بنابراین او عرضه و تقاضا را در همه بازارهای این اقتصاد با هم برابر می‌سازد. اما در اقتصاد مبتنی بر عوامل، اقتصاد مملو از عواملی است که برای تصمیم‌گیری و انتخاب از رفتار مبتنی بر قواعد^۴ یا روزمره^۵ استفاده می‌کنند و نه از رهیافت بهینه‌سازی. این یک تفاوت عمده نسبت به چارچوب متعارف بوده و حداکثر انعطاف‌پذیری را برای طراحی رفتار عوامل فراهم می‌کند؛ که باعث مدل‌سازی واقعی‌تر تراکنش، فراوری اطلاعات، نااطمینانی و غیره می‌گردد.

1. Composition fallacy
2. Schizophrenic
3. Varian
4. Rule-based
5. Routine

موضوع مهم دیگر در مورد رفتار عوامل، مربوط به نقش نااطمینانی است. در اقتصاد متعارف، عوامل انتظارات عقلایی جلونگر^۱ دارند. در این رهیافت، افراد با ریسک مواجه هستند نه با نااطمینانی محض^۲؛ یعنی عوامل می‌توانند احتمالات مربوط به حوادث آتی را برآورد نمایند و بر این اساس، انتظارات خود را شکل دهند؛ اما در اقتصاد واقعی به دلیل پیچیدگی اقتصاد در کل و به دلیل تراکنش‌های بین عوامل برای یک عامل اقتصادی، محاسبه احتمالات موقعیت‌ها و حوادث مختلف غیر ممکن است؛ زیرا آنها مدل اصلی و صحیح اقتصاد را نمی‌دانند. حتی محققان نیز این مدل‌ها را نمی‌شناسند. آنها فقط اطلاعات و رفتار عادی و روزمره را در نظر می‌گیرند و مدلی که تراکنش بین هزاران نوع از این تراکنش‌ها را در نظر بگیرد را نمی‌دانند و در نتیجه در این رهیافت، عوامل نمی‌توانند نتایج انتظارات عقلایی را برای مقادیر آتی متغیرهای اقتصادی محاسبه نمایند و بنابراین عوامل در دنیای واقعی با نااطمینانی محض^۳ مواجه هستند. به این دلایل، رهیافت اقتصاد محاسباتی مبتنی بر عوامل نااطمینانی محض را مورد توجه قرار می‌دهد.

بر اساس نظر کینز^۴ (۱۹۳۶) دو عامل در شکل‌گیری انتظارات عوامل اثر می‌گذارد: ۱- حقایق جاری؛ ۲- انتظارات عوامل دیگر. کینز بیان می‌کند که انتظارات شکل گرفته تحت نااطمینانی محض، تمایل قابل توجهی به گذشته دارد؛ به طوری که در آن، عوامل گذشته و فعلی برای پیش‌بینی‌های آتی در نظر گرفته می‌شوند. بنابراین عوامل در اقتصاد محاسباتی مبتنی بر عوامل، از انتظارات عقب‌نگر^۵ استفاده می‌کنند.

به‌طور خلاصه، عوامل موجود در اقتصاد سنتی نوعی ابر عقلانیت^۶ یا عقلانیت المپیک^۷ دارند. این عقلانیت هیچ محدودیتی را نمی‌شناسد. اما در برابر آن، در اقتصاد محاسباتی مبتنی بر عوامل، افراد رفتاری مبتنی بر قواعد روزمره، و بنابراین عقلانیت محدود^۸ دارند. این عقلانیت محدود دو جزء دارد: عوامل، نه اطلاعات کامل دارند و نه قدرت محاسباتی نامحدود.

• تراکنش‌های اقتصادی

یکی از عوامل مؤثر در تراکنش بین عوامل اقتصادی، نااطمینانی است. در شرایط نااطمینانی عوامل از نتایج تصمیم‌گیری‌های خود آگاه نیستند.

1. Forward-looking rational expectations

۲. نایت (knight) بین ریسک و نااطمینانی محض تفاوت می‌گذارد در ریسک افراد احتمالات مربوط به وقوع حوادث را می‌دانند اما در نااطمینانی محض عوامل نمی‌توانند احتمالات مربوط به حوادث را نیز به‌دست آورند.

3. Pure uncertainty

4. Keynes

5. Backward looking expectaions

6. Hyper-rationality

7. Olympic rationality

8. Bounded rationality

پسaran^۱ (۱۹۸۷) دو منبع متفاوت برای نااطمینانی را معرفی نمود: ۱- نااطمینانی برونزا: این نوع نااطمینانی ناشی از عوامل برونزا مانند جنگها یا سایر حوادث سیاسی در تحلیل اقتصاد کلان می‌باشد. ۲- نااطمینانی درونزا که نوعی نااطمینانی است که ناشی از فعالیت‌های اقتصادی سایر عوامل اقتصادی می‌باشد. این نوع نااطمینانی، نااطمینانی رفتاری نیز شناخته می‌شود؛ زیرا به‌طور درونزا از رفتار فعالان بازار نشات می‌گیرد. به دلیل وجود نااطمینانی درونزا در تراکنش‌های اقتصادی، نتیجه عمل مشخص یک عامل، ثابت نبوده و با توجه به رفتار سایر عوامل تغییر می‌کند. درجه نااطمینانی درونزا به این بستگی دارد که افراد تا چه حدودی می‌توانند بر اعمال دیگران به وسیله رفتار و اعمال خود اثر بگذارند یا برعکس، تا چه حدی آنها خودشان به وسیله اعمال دیگران تحت تأثیر قرار می‌گیرند. بنابراین همه سیستم‌های تصمیم‌گیری اقتصادی غیرمتمرکز، موضوع نااطمینانی درونزا و رفتاری می‌باشد؛ اما در رهیافت اقتصاد متعارف و سنتی، نااطمینانی رفتاری در نظر گرفته نمی‌شود که این یکی از ضعف‌های مبانی خرد اقتصاد سنتی می‌باشد. در این رهیافت. عوامل به‌طور صریح به رفتار عوامل دیگر واکنش نشان نمی‌دهند. آنها بدون توجه به رفتار و واکنش‌های سایر عوامل از بهینه‌سازی مقید برای به دست آوردن عرضه و تقاضای فردی استفاده می‌کنند. همه تراکنش‌ها و هماهنگی‌ها به وسیله حراجگر والرایی که امکان رفتار استراتژیک را در نظر نمی‌گیرد، انجام می‌شود. در این رهیافت، تراکنش‌های رو در رو اتفاق نمی‌افتد. مقادیر تعادلی متغیرهای قیمتی از طریق شرایط تسویه بازار که به وسیله مکانیسم قیمت‌گذاری حراجگر والرایی تحمیل می‌گردد، تعیین می‌شوند نه به وسیله عملکرد مصرف‌کنندگان، بنگاه‌ها یا به وسیله هر عامل دیگر در اقتصاد. اما در جهان واقعی تراکنش، تجارت و معامله به وسیله فرایند آماده‌سازی^۲ انجام می‌شود. در مقایسه با رهیافت متعارف، تجارت و معامله در دنیای واقعی و اقتصاد مبتنی بر عوامل به وسیله فرایند آماده‌سازی هدایت می‌شود. در جهان واقعی مشتریان و عرضه‌کنندگان مشخص می‌کنند که چه کالاهایی را، با چه حجمی و با چه قیمتی می‌خواهند بخرند و بفروشند. معامله‌گران بالقوه را شناسایی، پیشنهادهای خرید و فروش را تهیه و ارائه، و پیشنهادهای دریافت‌شده از سوی دیگران را ارزیابی و مقایسه و سپس شرکای تجاری را انتخاب می‌کنند و احتمالاً با چانه‌زنی بیشتر برای تعیین شرایط قرارداد و فرایندهای انتقال و پرداخت، معامله انجام می‌شود. بنابراین با حذف حراجگر والرایی، تراکنش‌ها و تعاملات از طریق معامله رو در رو و فرایندهای آماده‌سازی به انجام می‌رسد. در این حالت، عوامل نااطمینانی درونزا و رفتارهای استراتژیک سایر عوامل را در نظر می‌گیرند.

1. Pesaran

2. Procurement processes

• اطلاعات

دسترسی به اطلاعات و امکان فراوری اطلاعات در دسترس برای نحوه عملکرد عوامل و اقتصاد، اهمیت اساسی دارد. اقتصاد سنتی و متعارف در مورد نقش اطلاعات و نحوه رفتار با آن، فروض خاصی را در نظر می‌گیرد. اصولاً دو نوع دیدگاه در مورد نقش اطلاعات در چارچوب والراسی وجود دارد: ۱- دیدگاه غیررسمی؛ ۲- دیدگاه رسمی.

بر اساس دیدگاه غیررسمی، همه عوامل گیرنده قیمت هستند و قیمت به وسیله یک فرایند نامشخص و غیرشفاف تعیین می‌شود. بر اساس این ویژگی، سیستم والراسی یک سیستم کنترل نشده می‌باشد که قیمت‌های تعادلی از طریق فرایندهای چانه زنی نامشخص تعیین می‌شوند (کرم، ۲۰۰۶). بر اساس این دیدگاه، عوامل موجود در اقتصاد سنتی از همه اطلاعات موجود در اقتصاد آگاهی داشته و تمام توانمندی‌های محاسباتی برای فراوری اطلاعات را نیز دارند. در نتیجه، این دیدگاه بیانگر ابر عقلانیت یا عقلانیت المپیکی می‌باشد. اما در دنیای واقعی، عوامل، قدرت محاسباتی محدودی داشته و فقط به اطلاعات محدودی دسترسی دارند. بنابراین می‌توان فرض نمود که هیچ عاملی در دنیای واقعی نمی‌تواند چنین محاسبات پیچیده‌ای را انجام دهد. از سوی دیگر، باید توجه نمود که چارچوب تعادل عمومی پیچیدگی کمتری از واقعیت دارد و بنابراین در واقعیت، عوامل باید قدرت محاسباتی بیشتری برای حل مسائل بهینه‌سازی والراسی داشته باشند.

بر خلاف دیدگاه غیررسمی، یک دیدگاه دقیق‌تر و موجزتر وجود دارد که به دیدگاه اولیه و اصلی والراس یا ارو و دبرو نزدیک است. این دیدگاه فرض می‌کند که مقدار اطلاعاتی که افراد باید بدانند و پردازش کنند، محدود است. همه عوامل برای معامله تنها بر دار جاری قیمت‌ها و محدودیت‌های خود را نیاز دارند. با این حقایق مشخص، عوامل والراسی مازاد تقاضای خود را محاسبه نموده و به مرکز توزیع اطلاع می‌دهند. اما نیاز نیست آنها نحوه تولید قیمت‌های تعادلی را بدانند. حراجگر والراسی قیمت‌های تعادلی را تعیین می‌کند. با این فرض، عوامل فردی اطلاعات اندکی نیاز دارند، زیرا اطلاعات پردازش شده و در اختیار آنها قرار می‌گیرد. اما مشکل اصلی این دیدگاه آن است که وجود و استفاده از حراجگر مرکزی در واقعیت غیرممکن است. چنین نهاد مرکزی برای اینکه سیستم را به تعادل برساند، به مقدار نامحدودی اطلاعات نیاز دارد.

هر دو دیدگاه فروض غیرواقعی در مورد تولید و فراوری اطلاعات بیان می‌کنند. بر خلاف آنها، در اقتصاد مبتنی بر عوامل، عوامل اطلاعات کاملی ندارند یا برنامه‌ریز مرکزی که برای محاسبه قیمت‌های تعادلی بازارها نیاز باشد، وجود ندارد. در اقتصاد مبتنی بر عوامل، اطلاعات خصوصی هستند یا عمومی؟ برخی از اطلاعات شخصی به صورت عمومی برای همه عوامل در دسترس می‌باشد و برخی از آنها خصوصی بوده و در دسترس سایر عوامل نمی‌باشد، و برخی از اطلاعات، از دسترسی همه عوامل مصون بوده و زیرمجموعه‌ای از عوامل می‌توانند به آنها دسترسی داشته باشند.

• پویایی اقتصاد کلان

یک تفاوت اصلی بین اقتصاد متعارف و اقتصاد مبتنی بر عوامل در موقعیت تعادل وجود دارد. در اقتصاد متعارف، تعادل، به‌طور برونزا بر اقتصاد تحمیل شده است. در این رهیافت قیمت‌های تعادلی همزمان در همه بازارها جستجو می‌شود. این جستجو به وسیله حراجگر والراسی هدایت می‌شود. هدف این رهیافت یافتن مقادیر تعادلی متغیرها در قالب یک مدل تعادل عمومی پویای تصادفی می‌باشد که شرایط تعادلی از پیش به مدل تحمیل می‌شود. اما در اقتصاد مبتنی بر عوامل، حوادث، بعد از تصریح شرایط اولیه صرفاً در نتیجه تراکنش بین عوامل ایجاد می‌شوند. بنابراین در این رهیافت به جای تمرکز بر حالت‌های تعادلی، تغییرات یک متغیر در طی زمان بررسی می‌شود که آیا برخی از اشکال تعادلی در طی زمان به وجود می‌آیند یا نه؟ تعادل برونزا بر اقتصاد مبتنی بر عوامل تحمیل نشده است. رفتار کل و پویایی اقتصاد از پایین به بالا و به وسیله رفتارهای فردی و تراکنش‌ها شکل می‌گیرند.

۴. بنیان‌های مفهومی اقتصاد محاسباتی مبتنی بر عوامل

با توجه به مطالب بخش قبلی می‌توان بنیان‌های مفهومی اقتصاد کلان مبتنی بر عوامل را در موارد زیر خلاصه نمود:

• چشم‌انداز پایین به بالا^۱

برای درک بهتر ماهیت مدل‌های اقتصاد کلان بهتر است بین سیستم‌های بالا به پایین و پایین به بالا تفاوت قائل شویم. سیستم بالا به پایین سیستمی است که در آن یک یا چند عامل سیستم را کاملاً می‌فهمند. آنها می‌توانند از برداشت خود از سیستم برای بهینه‌سازی شخصی خود استفاده نمایند. در این نوع سیستم‌ها یک تطابق یک به یک بین اطلاعات موجود در سیستم و اطلاعات موجود در ذهن افراد وجود دارد. مدل‌هایی که از فرض انتظارات عقلایی استفاده می‌کنند، یک نمونه بارز از این مدل‌ها می‌باشند. زیرا، در این مدل‌ها عوامل تصویر کلی اقتصاد را می‌فهمند. در این مدل‌ها فرض می‌شود که عوامل ساختار پیچیده اقتصاد و توزیع‌های آماری کلیه شوک‌های وارد بر اقتصاد را درک می‌کنند، و با استفاده از این اطلاعات، می‌توانند مقادیر بهینه را برای رفاه شخصی خود کسب نمایند؛ اما ماهیت سیستم‌های پایین به بالا کاملاً متفاوت است. در این سیستم‌ها هیچیک از عوامل، تصویری از کل سیستم ندارند. هر یک از عوامل تنها بخش کوچکی از سیستم را درک می‌کنند. این سیستم‌ها با به‌کارگیری از قواعد ساده به وسیله هر یک از افراد موجود در سیستم فعالیت می‌کنند. بسیاری از سیستم‌های زنده بر اساس منطق سیستم‌های پایین به بالا زندگی می‌کنند. سیستم بازار نیز این چنین است.

هایک^۱ (۱۹۴۵) بیان می‌کند کسی وجود ندارد که قادر به درک کل پیچیدگی‌های سیستم بازار باشد بلکه افراد تنها بخش کوچکی از کل اطلاعات را درک می‌کنند. مهمترین عملکرد بازار تجمیع این اطلاعات پراکنده می‌باشد. اگر همه عوامل می‌توانستند تصویر کلی جهان را بفهمند، به بازارها نیاز نداشتیم. این در واقع نقد هایک به اقتصاددانان سوسیالیست بود که یک برنامه‌ریز مرکزی را در نظر می‌گرفتند که تصویر کلی را درک می‌کرد و از این رو می‌توانست تمام قیمت‌های بهینه را محاسبه نماید و بنابراین از این دیدگاه بازار زاید و اضافی بود. اما در مدل‌های پایین به بالا، عوامل به علت محدودیت‌های شناختی، نمی‌توانند تصویر کلی را درک نمایند، بلکه آن بخش اندکی از کل را می‌فهمند و از قواعد ساده برای رفتارهای خود استفاده می‌کنند.

مدل‌های سنتی نئوکلاسیکی چشم‌انداز بالا به پایین دارند که در آن، اقتصاد در سطح کلان در رفتار یک عامل نماینده نمود پیدا کرده است که وی نماینده تمام عوامل خرد می‌باشد، و در مقایسه با آن، مدل‌های مبتنی بر عامل محیطی را ایجاد می‌کنند که عوامل خرد در تراکنش‌ها و تعاملات تکراری وارد می‌شوند. همانند واقعیت، پویایی سطح کلان از رفتار عوامل اصلی در سطح خرد شکل می‌گیرد. بنابراین جهان طراحی شده مبتنی بر عوامل ذاتاً از پایین به بالا طراحی شده‌اند. رفتار اقتصاد در سطح کلان ناشی از فعالیت‌های شخصی و تراکنش‌های تکراری بر اساس دستورالعمل‌ها و اطلاعات عوامل می‌باشد. این رهیافت به ما این اجازه را می‌دهد که رابطه بین پویایی‌های خرد و کلان را بررسی نمائیم.

• ناهمگنی

عوامل در همه ویژگی‌ها یعنی در مورد اطلاعات یا رفتار ناهمگن می‌باشند. ناهمگنی در مورد اطلاعات از طریق متغیرهایی که در طی زمان تغییر می‌کنند یا مقادیر اولیه برخی از متغیرها تعریف می‌شود. ناهمگنی در مورد رفتار در قواعد رفتاری که در طی زمان تغییر می‌کنند، تعریف می‌شوند. بر این اساس، اطلاعات شخصی و دستورالعمل‌های عوامل، این ناهمگنی را منعکس می‌کنند.

• تراکنش‌های شبکه‌ای مستقیم

تراکنش‌های بین عوامل، مستقیم و ذاتاً غیرخطی است. این بدان مفهوم است که تصمیمات یک عامل تا حدودی به انتخاب‌های گذشته و حال همه عوامل دیگر بستگی دارد. علاوه بر آن در اقتصاد مبتنی بر عوامل فرایندهای معامله و آماده‌سازی، معمولاً صریحاً مدل‌سازی می‌شوند که به‌طور ضمنی بیان می‌کند که وجود نهاد حراجگر والراسی الزامی نیست. در نتیجه، این امکان وجود دارد که از اشکال متفاوت فرایندهای آماده‌سازی در مدل مبتنی بر عامل استفاده نمود.

مخصوصاً اقتصاد مبتنی بر عامل امکان تعاملات رو در رو در یک فرایند آماده‌سازی را فراهم می‌سازد.

• عقلانیت محدود

به دلیل ماهیت پیچیده این مدل‌ها، استفاده از عقلانیت کامل منطقی نیست. به عنوان نمونه در مورد نحوه شکل‌گیری انتظارات، عوامل نمی‌توانند همانند مدل‌های رایج و سنتی انتظارات عقلایی داشته باشند. به جای آن باید از نتایج روزمره بهینه‌سازی در ترکیب با انتظارات تطبیقی استفاده شود. استفاده از انتظارات تطبیقی ضروری است؛ زیرا عوامل با نااطمینانی محض مواجه هستند و بنابراین انتظارات نمی‌تواند عقلایی باشد. از آنجایی که در این مدل‌ها عوامل با نااطمینانی محض واقعی روبرو هستند، نتایج آتی تراکنش‌های اقتصادی را نمی‌دانند و نمی‌توانند محاسبه نمایند.

• رفتار و نحوه یادگیری

در بسیاری از مدل‌های اقتصاد مبتنی بر عوامل از الگوریتم‌های یادگیری پیچیده استفاده می‌شود.

۵. اهداف اقتصاد محاسباتی مبتنی بر عوامل

تستفسیون (۲۰۰۶) چهار هدف را برای اقتصاد محاسباتی مبتنی بر عوامل مطرح می‌کند:

• درک مفاهیم تجربی

می‌توان با استفاده از این رهیافت، علل شکل‌گیری برخی از پدیده‌ها و قواعد تجربی را شناسایی نمود. همچنین با استفاده از این رهیافت می‌توان چگونگی تغییرات متغیرهای کلان را در نتیجه تغییرات و تعاملات متغیرهای خرد توضیح داد. به‌عنوان مثال، مدل جداسازی شیلینگ^۱؛ که با استفاده از این مدل‌ها می‌توان حوادث احتمالی آتی را پیش‌بینی نمود.

• درک مفاهیم هنجاری دستوری

از مدل مبتنی بر عوامل می‌توان برای درک موضوعات دستوری استفاده نمود. می‌توان با استفاده از اقتصاد محاسباتی یا به عبارت دیگر اقتصاد آزمایشگاهی، اثر اعمال سیاست‌های مختلف از سوی دولت یا بانک مرکزی را بر متغیرهای کلان ارزیابی نمود و بر این اساس، سیاست‌هایی را که بهینه هستند را توصیه نمود.

• توسعه و پیشرفت روش‌شناسی

به علت انعطاف‌پذیری مدل‌های مبتنی بر عوامل، می‌توان با روشها و شبیه‌سازی‌های مختلف کامپیوتری، سیستم‌های اقتصادی را مطالعه نمود. سپس نتایج هر یک از روشها را با داده‌های واقعی مورد آزمون قرار داد و روشها و مدل‌هایی را که اعتبار بیشتری در برآورده ساختن نیازهای مدلساز دارند را انتخاب نمود. اگر یک محقق روش خاصی را برای مدل‌سازی کشف نماید، در واقع او یک بینش روش‌شناختی دیگری را با توجه به موضوع مورد مطالعه ایجاد و توسعه داده است. البته برای توسعه و ایجاد یک روش‌شناسی جدید، محققان نیاز دارند تا ویژگی‌های ساختاری، نهادی و رفتاری سیستم اقتصادی را شناسایی و مدل‌سازی نمایند.

• نظریه‌پردازی

با استفاده از مدل‌های مبتنی بر عوامل می‌توان بینش‌ها و دیدگاه‌های جدید در مورد مسائل اقتصادی مورد مطالعه پیدا کرد. از شبیه‌سازی مبتنی بر عوامل می‌توان به عنوان روشی جهت نظریه‌پردازی و به منظور بهبود درک پدیده‌های جهان اجتماعی استفاده نمود. در نتیجه یک جهان به خوبی طراحی شده و مناسب مبتنی بر عوامل می‌تواند فهمیدن رفتار پویای یک سیستم پیچیده اقتصادی را بهبود دهد. معمولاً، این هدف مبتنی بر ارزیابی سیستماتیک ورودی‌های شبیه‌سازی (مقادیر اولیه، پارامترهای ساختاری و رفتاری و غیره) و اثر آنها بر نتایج شبیه‌سازی می‌باشد. اقتصاد مبتنی بر عوامل این قدرت را دارد که از آنها در کشف و فرموله‌سازی نظریه‌ها استفاده شود. محققان می‌توانند نظریه‌ها را در دنیای مصنوعی عوامل که ایجاد کرده‌اند، جستجو نمایند. بدین منظور محققان باید نظریه‌ها را که در شکل مفهومی و متنی بیان شده‌اند را گرفته و آنها را به‌گونه‌ای تصریح نمایند که بتوان آنها را در رایانه برنامه‌نویسی نمود. بر این اساس نظریه دقیق، جامع و کامل خواهد بود. در این حالت، شبیه‌سازی رایانه‌ای مبتنی بر عوامل می‌تواند نقشی مشابه ریاضیات در علوم فیزیکی را در علوم اجتماعی ایفا نماید. اما به اعتقاد برخی از محققان، شبیه‌سازی مبتنی بر عوامل برای علوم اجتماعی از ریاضیات مناسب‌تر می‌باشد (گیلبرت و ترویج^۱، ۲۰۰۵).

۶. اجزای تشکیل‌دهنده مدل اقتصاد محاسباتی مبتنی بر عوامل

اجزای تشکیل‌دهنده هر مدل اقتصاد محاسباتی مبتنی بر عوامل عبارتند از (پیکا و فاجیوآ^۲، ۲۰۰۵):

1. Gilbert & Troitzsch
2. Pyka & Fagiolo

• زمان

مدل مبتنی بر عوامل به طور ذاتی و طبیعی یک مدل پویا است و باید چشم‌انداز زمانی آن تعریف شود. چشم‌انداز زمانی می‌تواند پیوسته، یا گسسته باشد.

• عوامل

عوامل مختلف و متعدد اجزاء اصلی هر مدل شبیه‌سازی مبتنی بر عوامل می‌باشد. هر عامل دارای اطلاعات و روشهای مشخصی می‌باشد. این عوامل بخشی از مدل محاسباتی و شبیه‌سازی شده را تشکیل داده و با یکدیگر تراکنش دارند. عوامل می‌توانند: ۱- افراد باشند (به عنوان نمونه تولیدکنندگان یا مصرف‌کنندگان)؛ ۲- گروه‌های اجتماعی باشند (خانواده‌ها، بنگاه‌ها و آژانس‌های دولتی)؛ ۳- نهادها باشند (بازارها)؛ ۴- موجودات بیولوژیکی باشند (دام، جنگل)؛ ۵- موجودات فیزیکی باشند (آب و هوا، مناطق جغرافیایی). معمولاً فرض می‌شود، عوامل: ۱- دارای زندگی مستقل می‌باشند (یعنی موقعیت و رفتار هر عامل پیش از همه مستقل از پیرامون و سایر عوامل می‌باشد)؛ ۲- اجتماعی می‌باشند (یعنی هر عامل می‌تواند با عوامل دیگر تعامل و تراکنش داشته باشد)؛ ۳- عوامل تحت تأثیر قرار می‌گیرند و واکنش نشان می‌دهند (یعنی عوامل قادرند پیرامون خود را درک نمایند که معمولاً منجر به واکنش از سوی آنها می‌شود)؛ ۴- فعال هستند (یعنی عوامل می‌توانند ابتکار عمل داشته باشند).

• متغیرهای خرد

هر عامل به وسیله برداری از متغیرهای اقتصاد خرد (وضعیت) شناخته می‌شود. فرض بر این است این متغیرها به طور درون‌زا طی فرایند شبیه‌سازی اصلاح می‌شوند. در طی اعتبارسنجی مدل، یکی از وظایف مهم، تعیین مقادیر اولیه منطقی برای برخی از متغیرهای خرد می‌باشد.

• پارامترهای خرد

پارامترها متغیرهایی هستند که نمی‌توانند به صورت درون‌زا طی فرایند شبیه‌سازی تغییر نمایند. پارامترهای خرد همانند متغیرهای خرد از مشخصه‌های عوامل می‌باشند. نوعاً این پارامترها یا رفتار یک عامل را توصیف (پارامترهای رفتاری)، یا برخی از قیود را بیان می‌کنند (پارامترهای ساختاری). به عنوان مثال تصمیم به عرضه محصول توسط یک بنگاه تولیدکننده کالای مصرفی از طریق پارامترهای رفتاری تعریف می‌شود. این پارامتر محصول تولید شده در دوره جاری را به منفعت نهایی محصول تولید شده در دوره گذشته ارتباط می‌دهد. علاوه بر آن این تصمیم‌گیری در مورد عرضه به وسیله پارامتر ساختاری که تابع تولید را مشخص می‌سازد، محدود می‌شود.

• پارامترهای کلان

یک سیستم در سطح کلان و کل به وسیله برداری از پارامترهای اقتصاد کلان شناخته می‌شود. این پارامترها همانند پارامترهای خرد طی شبیه‌سازی رایانه‌ای مقدارشان تغییر نمی‌کند و ثابت می‌باشند.

• متغیرهای کلان

متغیرهایی مانند GDP وجود دارند که مقدار آنها از نوعی هم‌فرونی متغیرهای خرد به وجود می‌آیند. اما برخی از این متغیرها ذاتاً در سطح کلان تعریف می‌شوند؛ مانند نرخ بهره.

• ساختار تراکنش

ساختار تراکنش، جریان اطلاعات بین عوامل را کنترل می‌کند. عواملی از نوع بنگاه را در نظر بگیرید که کالاهای سرمایه‌ای را در بازار با هم معامله می‌کنند. به شرطی که دو عامل خاص برای معامله کالای سرمایه‌ای قرارداد ببندند، فروشنده، دفتر ثبت فروش خود و خریدار، دفتر ثبت خرید خود را به روز می‌کند. بر این اساس ذخایر نقدی خریدار کاهش و ذخایر نقدی فروشنده به همان اندازه افزایش می‌یابد. در کنار این اجزاء، جزء سوم نیز در این فرایند پرداخت وجود دارد؛ که ما آن را به عنوان سیستم بانکی وارد می‌نماییم. بنابراین اعمال آتی هر یک از اجزاء می‌تواند به وسیله این معامله تحت تأثیر قرار گیرد. بر اساس این مثال ساده می‌توان تصور کرد که یک ساختار تراکنشی نسبتاً پیچیده ظهور خواهد نمود.

• قواعد تصمیم‌گیری خرد

هر عامل قواعد تصمیم‌گیری مخصوص به خود را دارد. این قواعد، قواعد عادی و روزمره‌ای هستند که تغییرات مشاهده شده در متغیرهای کلان و خرد گذشته را به متغیرهای خرد جاری ارتباط می‌دهند. بنابراین عوامل با استفاده از این قواعد و مقادیر گذشته متغیرها، متغیرهای جاری را شکل می‌دهند. این فرایند سازگاری و شکل‌دهی، بر پارامترهای خرد هر یک از عوامل فردی مبتنی است. مفهوم قواعد تصمیم‌گیری برای مدل‌های مبتنی بر عوامل مهم و حیاتی است؛ زیرا منعکس‌کننده رفتار روزمره و عادی در اقتصاد تکاملی می‌باشد.

۷. مزایا و معایب مدل‌سازی اقتصاد محاسباتی مبتنی بر عوامل

رهیافت اقتصاد محاسباتی مبتنی بر عامل در مقایسه با رهیافت متعارف مزایا و معایبی دارد. مزایای این رهیافت به طور خلاصه عبارتند از:

– یکی از ویژگی‌هایی که مدل‌سازی اقتصاد محاسباتی کلان مبتنی بر عامل را از رهیافت‌های استاندارد و متعارف متمایز می‌کند، آن است که در این مدل‌ها، هنگامی که شرایط اولیه

تصریح شد حوادث، صرفاً به وسیله تراکنش‌های بین عوامل ایجاد می‌شوند. بنابراین در این مدل‌ها به جای تمرکز بر موقعیت‌های تعادلی یک سیستم، بر فرایند توسعه سیستم در طی زمان توجه می‌شود. هدف این رهیافت کسب درک بهتر و عمیق‌تر از تصویر کلی یک سیستم می‌باشد. مزیت تمرکز بر فرایند به جای تعادل آن است که مدل‌سازی، حتی اگر تعادل‌ها غیرقابل دسترس باشند یا وجود نداشته باشند، می‌تواند انجام شود.

— دومین مزیت بالقوه این رهیافت انعطاف‌پذیری آن می‌باشد. این رهیافت امکان تراکنش و تعاملات را بین عوامل فراهم می‌کند. انعطاف‌پذیری در مورد رفتار عوامل، نحوه یادگیری و سایر موارد نیز صادق است.

— اغلب ادعا می‌کنند که مهمترین مزیت این روش نسبت به سایر روشها آن است که مدل‌های مبتنی بر عامل، طراحی عواملی را که خودمختاری نسبتاً بیشتری داشته باشد، تسهیل می‌کند. خودمختاری عوامل به این مفهوم است که آنها توانایی حکمرانی خود را دارند. عامل خودمختار سیستمی است که درون یک محیط قرار دارد و جزئی از آن می‌باشد، آن محیط را حس و درک می‌کند، در طی زمان با توجه به دستور کار خود در آن فعالیت می‌کند، و بر آن اثر می‌گذارد. مدل‌های استاندارد نیز تا حدودی ویژگی فوق را دارند اما درجه و مرتبه خودمختاری در آنها پایین‌تر است. مدل‌های مبتنی بر عامل مدل‌سازی عوامل شناختی را از طریق فراهم نمودن قابلیت‌های یادگیری و شرایط اجتماعی واقعی‌تر (در نتیجه خودمختاری بیشتر) تسهیل می‌کند. این قابلیت‌ها عبارتند از: مهارت‌های برقراری ارتباطات اجتماعی، توانایی یادگیری در مورد پیرامون خود از منابع مختلف (از قبیل جمع‌آوری اطلاعات، تجربیات گذشته، تقلید اجتماعی، اندیشیدن و کنکاش در مورد ایده‌های جدید)، توانایی یافتن و حفظ الگوهای تراکنش اجتماعی (مانند شبکه‌های تجاری)، توانایی افزایش ادراک مشترک (مانند آداب و رسوم پذیرفته‌شده بازار)، توانایی تغییر عقاید و ترجیحات به واسطه یادگیری، و توانایی حداقلی در کنترل زمان‌بندی و نوع اتفاقاتی که در جهان روی می‌دهد. وجه مهم مشترک همه این توانمندی‌ها آن است که همه آنها می‌تواند در قالب فرایندهای درونی هر عامل، یعنی بر اساس روشهای خصوصی هر عامل که از دید سایر عواملی که در جهان قرار دارند، مخفی است، روی دهد. این باعث می‌شود که هر عامل، غیرقابل پیش‌بینی و غیرقابل کنترل باشد. علاوه بر آن، عامل می‌تواند به دلیل توانایی یادگیری تغییرات ساختاری در روشهای خود ایجاد کند. بنابراین، یک عامل می‌تواند در طی زمان شخصیت‌های متمایزی داشته باشد. با وجود آنکه اقتصاد محاسباتی مبتنی بر عوامل در طی دو دهه گذشته موفقیت‌های فراوانی کسب نموده است، اما اقتصاددانان متعارف انتقاداتی بر روش‌شناسی و مدل‌سازی این رهیافت مطرح کرده‌اند:

— یکی از این انتقادات عبارت است از اینکه نظریه علمی باید بر اساس تجرید و انتزاع ارائه گردد اما این رهیافت امکان بازسازی یا کپی واقعیت را با جزئیات کمتر یا بیشتر فراهم

- می‌سازد. این بازسازی و کپی بار اضافی بر مدل اقتصادی تحمیل نموده و باعث روابط پیچیده می‌شود. بنابراین نمی‌تواند شرایط مناسب برای نظریه‌پردازی اقتصادی ایجاد نماید؛ که این در واقع بر خلاف ایده تجرید می‌باشد که بنیادی برای تحقیق علمی است.
- اقتصاددانان نئو کلاسیکی و متعارف، مجموعه‌ای متمرکز از مدل‌های نظری را به وجود آورده‌اند و از آنها در زمینه‌های مختلف تحقیقاتی استفاده می‌کنند. اما اقتصاددانان محاسباتی مبتنی بر عوامل این کار را انجام نداده‌اند. در واقع مدل‌های بسیار زیادی با تنوع مختلف در طی دو دهه گذشته در اقتصاد محاسباتی مبتنی بر عوامل مطرح شده است، بدون آنکه آنها مبانی نظری مشخصی داشته باشند.
 - مدل مبتنی بر عامل نیاز به مدلی دارد که کاملاً پویا مدل‌سازی شده باشد؛ و به مفهوم آن است که از ابتدا برای مدل‌سازی باید این امکان وجود داشته باشد که عوامل به‌طور کامل بدون هیچ محدودیت و دخالتی توسط محقق، با هم تعامل داشته باشند. به دلیل تعاملات، تراکنش‌ها و حلقه‌های بازخورد، توجیه و طراحی اولیه مدل، وظیفه واقعاً مشکلی است.
 - روشهای استاندارد و معینی برای ایجاد و تحلیل مدل‌های مبتنی بر عوامل وجود ندارد. به عنوان مثال توافق عمومی در مورد اینکه چه موقعی باید تحلیل حساسیت در مورد پارامترها انجام شود، وجود ندارد.
 - اعتبارسنجی تجربی مدل‌های مبتنی بر عوامل و مشکلات و مسائل مربوط به رابطه بین مدل‌های مبتنی بر عوامل و مشاهدات تجربی، یکی دیگر از انتقادات مربوط به این مدل‌ها می‌باشد. آزمایشات اقتصاد محاسباتی مبتنی بر عامل توزیع‌هایی برای سیستم‌های اقتصادی نظری که مبانی خرد مشخص و دقیقی دارند، ایجاد می‌کند. این توزیع‌ها اغلب چند نقطه اوج دارند که به جای یک شکل مرکزگرا که امکان پیش‌بینی نقطه‌ای ساده را فراهم می‌سازد، تعادل‌های چندگانه را پیشنهاد می‌دهد. حتی اگر این مدل‌ها فرایندهای ایجاد داده و اطلاعات در جهان واقعی را داشته باشند، تعیین دقت آنها با استفاده از روشهای آماری استاندارد غیرممکن است.

۸. کاربردهای مدل

طی سالیان گذشته، استفاده از این رهیافت برای تبیین و توضیح رویدادهای اقتصاد بسیار افزایش یافته است. اقتصاد محاسباتی می‌تواند برای دامنه وسیعی از سیستم‌های اقتصادی از اقتصاد خرد گرفته تا کلان مورد استفاده قرار گیرد^۱. در این بخش، برخی از زمینه‌های مطالعاتی این رهیافت مطرح می‌شود:

۱. کاربردهای فراوانی از مدل‌سازی مبتنی بر عوامل در علم اقتصاد در سایت اینترنتی اقتصادی محاسباتی مبتنی بر عوامل وجود دارد: <http://www.econ.iastate.edu/tesfatsi>

روسو و همکاران^۱ (۲۰۰۷) یک مدل محاسباتی مبتنی بر عامل را در اقتصاد ارائه می‌دهند که به عنوان یک آزمایشگاه محاسباتی برای ارزیابی نقش سیاست مالی در افزایش عملکرد اقتصادی مورد استفاده قرار می‌گیرد. اقتصاد کلان به عنوان یک سیستم پیچیده‌ای طراحی شده است که رفتارهای پیچیده از تعامل میان عوامل فردی ظاهر می‌شود. در مدل، شرکت‌ها و کارگران با عقلانیت محدود در بازارهای کاملاً غیرمتمرکز کالاها و نیروی کار را با استفاده از پروتکل‌های تلفیقی تصادفی معامله می‌کنند. عوامل متغیرهای انتخابی خود را با استفاده از استراتژی‌های مشخص به روز می‌کنند و مکانیزم انتخابی در کار است که باعث خروج شرکت‌های غیرسودآور می‌شود. در این اقتصاد مجازی، استفاده از درآمدهای مالیاتی برای یارانه دادن به تقاضای کل، نتیجه بدی را از لحاظ سرعت رشد فعالیت‌های کلی دارد. عکس آن اتفاق می‌افتد، اگر درآمد مالیاتی برای یارانه سرمایه‌گذاری تحقیق و توسعه به کار رود.

ویلتهی و آلن^۲ (۲۰۰۸) یک جامعه مجازی را که با تصمیمات پیشگیرانه در زمینه پیشگیری از جرم روبرو هستند، تحلیل می‌کنند. در این جامعه مجازی، سیاست‌گذاران در راستای ایجاد تعادل بین هزینه‌های جرم با هزینه مبارزه با آن تصمیمات خود را در طول زمان تعدیل می‌کنند. جامعه‌ای که در نهایت ظهور پیدا می‌کند، ویژگی‌های جنایی متفاوتی را نشان می‌دهد که مشابه الگوهایی از جرم در جهان طبیعی و واقعی است. یک سری از آزمایشات مبارزه با جرم و جنایت‌ها نشان می‌دهد که چگونه روش‌های مختلف مبارزه با جرم، کارایی متفاوتی در کاهش جرم دارند.

هپی و همکاران^۳ (۲۰۰۸) در مورد تأثیرات یک تغییر سیاست در ساختار بازارهای کشاورزی و بویژه اینکه آیا شرایط اولیه و ساختار بازار تأثیری بر نتیجه نهایی سیاست دارد، بحث می‌کنند. این مطالعه از مدل AgriPolis استفاده می‌کند: در چنین مدل، مزارع به عنوان عوامل ناهمگن مدل‌سازی می‌شوند که هدف نهایی آن حداکثر رساندن درآمد خانوار است. هر مزرعه‌ای دارای عقلانیت محدود است که بسیاری از فعالیت‌های تولیدی و انتخاب‌های سرمایه‌گذاری را با توجه به محدودیت منابع و وضعیت محیطی ترکیب می‌کند. این مدل برای شبیه‌سازی تأثیر سیاست‌ها بر دو ساختار مختلف کشاورزی در مناطق مختلف آلمان استفاده شد. نتیجه نشان داد که ساختار بخش مزرعه تأثیر اساسی بر استفاده از زمین، اندازه مزرعه و سرمایه‌گذاری دارد.

چیارلی و همکاران^۴ (۲۰۰۹) مدل اقتصاد کلان را ارائه می‌دهند که در آن، پویایی تکنولوژی و همچنین توزیع درآمد نقش مهمی ایفا می‌کنند. هدف مقاله، شناخت نقش نوآوری و توزیع درآمد در رشد و مصرف بلندمدت است. در سطح بنگاه، این مدل در سطح بنگاه تأثیر

1. Russo *et al.*
2. Wilhite & Allen
3. Happe *et al.*
4. Ciarli *et al.*

نوآوری‌های تکنولوژیکی و مسائل سازمانی را بر ساختار و توزیع درآمد در نظر می‌گیرد. سپس، این نوع از توزیع پویای درآمد تغییرات در مسیر مصرف را تعیین می‌کند. چنین مدلی، توانایی پیوند بخش عرضه را که براساس الگوهای تکنولوژیکی مشخص می‌شود و نیازهای مصرفی در طرف تقاضا را به هم مرتبط می‌سازد، تعدادی نتایج جالب را ارائه می‌دهد: رشد ناشی از یک فرایند علی پیچیده است که شامل تغییرات تکنولوژیکی و تغییر تقاضا است؛ ساختارهای نهادی اثرات شدیدی بر رشد تولید ناخالص داخلی و توزیع درآمد دارد؛ ناهمگنی محصول در طول زمان، منجر به رشد بیشتر، اما می‌تواند منجر به نابرابری بیشتر شود؛ افزایش نابرابری درآمد تأثیر منفی زیادی بر نابرابری و رشد دارد و منجر به حداقل دستمزد قابل توجهی نیز می‌گردد. در مقاله سینکوتی و همکاران^۱ (۲۰۱۰)، اثر متقابل بین متغیرهای کلان پولی و پویایی و تغییرپذیری تولید و قیمت با در نظر گرفتن عرضه پول، هم از طریق بانک‌های تجاری به عنوان اعتبار به شرکت‌ها و هم، پول بی‌پشتوانه ایجاد شده توسط بانک بررسی شده است. نویسندگان این مساله را با استفاده از یک مدل مبتنی بر عامل و شبیه‌سازی به نام Eurace، که با مجموعه کامل از بازارهای مربوطه و انواع مختلف عوامل تعامل‌کننده مشخص شده است، مطابق با یک روش دقیق ترازنامه مدل می‌کنند. پویایی پول اعتباری، درونزا و وابسته به عرضه اعتبار توسط سیستم بانکی است که بر مبنای سهام و تقاضای اعتبار از سوی شرکت‌ها به منظور تأمین مالی فعالیت تولیدی مقید، و مسیره‌های پویای جایگزین برای پول اعتباری با تعیین سیاست‌های مختلف تقسیم سود سهام شرکت‌ها ایجاد شده است. نتایج، وابستگی شدید تولید و پویایی قیمت‌ها را به متغیرهای کلان پولی نشان می‌دهد و همچنین نشان دادند که ظهور چرخه‌های کسب و کار درونزا عمدتاً به دلیل تعامل بین فعالیت بخش حقیقی اقتصاد و تأمین مالی آن از طریق بازار اعتبار است.

استگلیتز و گالگاتی^۲ (۲۰۱۱) بیان می‌کنند که رویکرد عامل نماینده امکان تجزیه و تحلیل غنی از حداکثرسازی بلندمدت را فراهم می‌سازد اما مانع تجزیه و تحلیل تعاملات پیچیده می‌شود؛ که ریشه بحران‌ها می‌باشد. آنها استدلال می‌کنند که رویکرد عامل نماینده حتی نمی‌تواند به افزایش درک ما از اقتصادهای کلان که می‌باید کمک کند؛ ولی نمی‌تواند چارچوب مناسبی را برای درک اقتصاد حتی در زمان‌های نرمال فراهم نماید. آنها از یک رویکرد پایین به بالا حمایت می‌کنند، که در آن سیستم‌های سطح بالا (اقتصاد کلان) ممکن است دارای خواص جدید و متفاوتی از سیستم‌های پایین (سیستم‌های اقتصادی خرد) که بر اساس آنها ساخته شده‌اند، باشند. رویکرد عامل ناهمگن یک جایگزین را فراهم می‌کند، که خاصیت خود در کمک به ما برای درک ارتباطات بین‌المللی که باعث ایجاد بحران شده، ثابت کرده است.

1. Cincotti *et al.*

2. Stiglitz & Gallegati

تست‌فستیون^۱ (۲۰۱۷) بیان می‌کند که اقتصادهای دنیای واقعی، سیستم‌های پویای باز هستند که متشکل از شرکت‌کنندگان ناهمگن متعامل می‌باشند. شرکت‌کنندگان انسانی تصمیم‌گیرندگانی هستند که به لحاظ استراتژیک اقدامات گذشته و اقدامات آینده بالقوه شرکت‌کنندگان دیگر را در نظر می‌گیرند. همه شرکت‌کنندگان مجبورند به صورت محلی سازنده باشند، به این معنی که اعمال‌شان در هر زمان خاص باید بر اساس قوانین محلی آنها باشد؛ و اقدامات شرکت‌کننده در هر زمان خاص بر موقعیت‌های آتی محلی آنها تأثیر می‌گذارد. با در نظر گرفتن این موارد، این ویژگی‌های اساسی که اقتصادهای دنیای واقعی به‌طور ضمنی بیان می‌کند که اقتصادهای جهان واقعی، بازی‌های متوالی سازنده محلی هستند. این مقاله یک رویکرد مدل‌سازی، اقتصاد محاسباتی مبتنی بر عامل (ACE) را ارائه می‌دهد که اجازه می‌دهد محققان از این دیدگاه برای مطالعه سیستم‌های اقتصادی استفاده کنند. اصول و اهداف مدل‌سازی ACE برای اولین بار به‌طور خلاصه ارائه شده و توضیح داده شده است.

۹. جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

جداسازی اقتصاد کلان و اقتصاد خرد تا بحران اقتصادی اواسط دهه ۱۹۷۰ میلادی و نقد لوکاس ادامه داشت. لوکاس (۱۹۷۶) اعتقاد داشت که تغییرات سیاستی باعث تغییر در رفتار عوامل اقتصادی و ساختار اقتصادی شده و بنابراین از مدل‌های فعلی نمی‌توان برای ارزیابی سیاست‌ها استفاده نمود. در نتیجه مدل تعادل عمومی تصادفی پویا (DSGE) مطرح شد که تلاش می‌کند اقتصاد کلان را با اقتصاد خرد با ارائه پایه‌های اقتصاد خرد برای اقتصاد کلان ادغام کند (ویکنز^۲، ۲۰۰۸). این یکپارچگی با فروض محدودکننده‌ای مانند استفاده از یک عامل نماینده برای تولیدکننده و مصرف‌کننده و توانایی بالای بهینه‌سازی این عوامل همراه است. محدودیت استفاده از رهیافت عامل نماینده، مدت زیادی است که مشخص شده است (به عنوان مثال توسط کرمن، ۱۹۹۲)؛ اما به دلیل اینکه این مدل‌ها تجزیه و تحلیل مناسب ارائه می‌دهند، همچنان مورد استفاده قرار می‌گیرند (ویکنز، ۲۰۰۸).

ویکنز نهایتاً مسائل و اثرات عمده مربوط به عوامل ناهمگن و مشکلات تکنیکی مدل DSGE در مدل‌سازی عوامل ناهمگن را پذیرفته است. از سوی دیگر، رویکرد DSGE فرض می‌کند که اقتصاد قادر به دستیابی و حفظ تعادل است، اگر چه بحث‌های زیادی در مورد چگونگی تعریف تعادل وجود دارد. برخی معتقدند که اقتصاد یک سیستم پویای غیر خطی و پیچیده است که به ندرت به تعادل می‌رسد (آرتور^۳، ۲۰۱۴). درحالی‌که در یک سیستم خطی، فعالیت در سطح کلان از جمع ساده فعالیت‌های در سطح خرد ایجاد می‌شود، اما در یک

1. Tesfatsion
2. Wickens
3. Arthur

سیستم غیر خطی، ممکن است چیزی جدید در سطح کلان ایجاد شود که در سطح خرد وجود نداشته است؛ به طوری که اخیراً، استیگلیتز و گالگاتی (۲۰۱۱) اشاره کرده‌اند که استفاده از عامل نماینده از امکان تجزیه و تحلیل تعاملات پیچیده اجتناب می‌کند لذا، آنها از یک رویکرد پایین به بالا حمایت می‌کنند، که در آن سیستم‌های سطح بالا (اقتصاد کلان) ممکن است خواص جدید و متفاوتی نسبت به سیستم‌های سطح پایین (سیستم‌های اقتصادی خرد) داشته باشند.

از این رو، بسیاری از اقتصاددانان رهیافت اقتصاد محاسباتی مبتنی بر عامل را به عنوان راه پیش رو معرفی نموده و این رهیافت نقش مهمی در مطالعات دهه اخیر ایفا کرده، و در حال حاضر به طور گسترده‌ای به رسمیت شناخته شده که یک جهت و رهیافت جدید نیاز است و ABM ممکن است آن را فراهم کند؛ به طوری که فارمر و فولی^۱ (۲۰۰۹) استدلال کرده‌اند که "مدل‌های مبتنی بر عامل، به طور بالقوه راهی برای مدل‌سازی اقتصاد مالی به عنوان یک سیستم پیچیده ارائه می‌دهد".

مدل‌سازی مبتنی بر عامل (ABM) از تحقیق در مورد پویایی‌های غیر خطی و هوش مصنوعی آغاز، و با ورود رایانه‌های شخصی در دهه‌های ۱۹۸۰ و اوایل دهه ۱۹۹۰ روند استفاده از آن تسهیل شد. یک مدل مبتنی بر عامل، یک برنامه رایانه‌ای است که دنیای مصنوعی برای عوامل ناهمگن ایجاد می‌کند و به بررسی تعاملات بین این عوامل و عوامل دیگر مانند زمان و فضا، و نحوه شکل‌گیری الگوهای موجود در دنیای واقعی می‌پردازد.

کارهای اولیه مانند مدل اپشتین و اکستل^۲ (۱۹۹۶)، توانایی بالقوه این رویکرد را نشان داد. معمولاً عامل یک فرد را نشان می‌دهد، اما می‌تواند یک خانوار، یک شرکت یا حتی یک کشور را نشان دهد. هر مدل مبتنی بر عامل، سه رکن اساسی دارد: ناهمگنی، پویایی و تراکنش. ناهمگنی عوامل یک ویژگی کلیدی بوده، و هر عامل ممکن است یک مجموعه منحصر به فرد از ویژگی‌ها و قوانین رفتار را دارا باشد. واضح است که انواع مختلفی از کار و سرمایه وجود دارد و یک نوع نمی‌تواند جایگزین دیگری شود. همه مصرف‌کنندگان هم یکسان نیستند: یک خانواده ثروتمند، الگوی هزینه بسیار متفاوتی نسبت به یک خانواده فقیر دارد. برخی باید پس‌انداز کنند تا بتوانند به دیگران قرض بدهند. در واقع، بدون ناهمگنی، جایی برای تجارت و مبادله وجود نخواهد داشت. در مدل‌های اقتصاد مبتنی بر عامل، منظور از پویایی، فرایندهای تطبیقی است که بر اساس نظر لیان هافود از ابتدا در علم اقتصاد مطرح بوده است.

اکثر کتاب‌های درسی اقتصادی، تنها موقعیت‌های تعادلی را مقایسه می‌کنند. با این حال، تجزیه و تحلیل ایستای مقایسه‌ای برای تجزیه و تحلیل طیف وسیعی از مشکلات اقتصادی ناکافی است. اما با استفاده از رهیافت اقتصاد مبتنی بر عامل، می‌توان این پویایی‌ها را شبیه‌سازی و تبیین نمود. نحوه تراکنش عوامل خرد در شکل‌گیری پدیده‌های کلان اهمیت

1. Farmer & Foley
2. Epstein & Axtell

زیادی دارد: افراد بر رفتار یکدیگر تأثیر می‌گذارند. رفتار توده‌ای در اقتصاد مخصوصاً بازارهای مالی رایج است. این پدیده معمولاً به دلیل تراکنش عوامل و تأثیرگذاری عقاید و انتظارات آنها بر یکدیگر شکل می‌گیرد. در واقع، بازارها مبتنی بر تراکنش بوده و فروشنندگان و خریداران با هم معامله می‌کنند. مدل‌های اقتصادی سنتی امکان مدل‌سازی این نوع تراکنش‌ها را فراهم نمی‌کند، اما می‌توان این نوع تراکنش‌ها را به سادگی و با استفاده از مدل‌سازی مبتنی بر عامل، مدل‌سازی نمود.

با توجه به رشد سریع علوم رایانه و روانشناسی طی دهه‌های گذشته، امکان مدل‌سازی پدیده‌های اقتصادی با فروض واقعی‌تر فراهم شده است. در این راستا، علم روان‌شناسی و اقتصاد آزمایشگاهی کمک می‌کند تا ویژگی‌های واقعی انسان و سوگیرهای رفتاری وی شناسایی شده و در مدل‌سازی استفاده شود. علم رایانه نیز با استفاده از فراهم نمودن بستر شبیه‌سازی کمک می‌کند تا آثار تغییر در فروض اولیه بر پیامدهای کل و کلان اقتصادی مشخص گردد.

طی دهه گذشته، مطالعات متعددی در زمینه‌های مختلف علم اقتصاد از قبیل اقتصاد خرد و کلان، اقتصاد مالی، اقتصاد نهادی، اقتصاد انرژی و سیاست‌گذاری اقتصادی با استفاده از رهیافت اقتصاد مبتنی بر عامل صورت گرفته، و این روند خصوصاً با بحران مالی و اقتصادی جهان در سالهای ۲۰۰۷ تا ۲۰۰۹ که ضربه‌ای مهم بر رهیافت اقتصاد نئوکلاسیک بود، شدت بیشتری یافته است.

منابع

- Arthur, W. B. (2014). *Complexity and the Economy*. Oxford University Press.
- Ciarli, T., Lorentz, A., Savona, M., & Valente, M. (2009). The effect of consumption and production structure on growth and distribution. A micro to macro model. *Metroeconomica*, 61(1), 180-218.
- Cincotti, S., Raberto, M., & Teglio, A. (2010). Credit money and macroeconomic instability in the agent-based model and simulator Eurace. *Open-Assessment E-Journal*, 4.
- Epstein, J. M. (2006). Remarks on the foundations of agent-based generative social science. *Handbook of Computational Economics*, 2, 1585-1604.
- Epstein, J. M. (2006). *Generative social science: Studies in agent-based computational modeling*. Princeton University Press.
- Epstein, J. M., & Axtell, R. (1996). *Growing artificial societies: social science from the bottom up*. Brookings Institution Press.
- Farmer, J. D., & Foley, D. (2009). The economy needs agent-based modelling. *Nature*, 460(7256), 685.
- Forni, M., & Lippi, M. (1997). *Aggregation and the microfoundations of dynamic macroeconomics*. Oxford University Press.
- Gaffeo, E., Catalano, M., Clementi, F., Gatti, D. D., Gallegati, M., & Russo, A. (2007). Reflections on modern macroeconomics: Can we travel

- along a safer road?. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 382(1), 89-97.
- Gilbert, N., & Troitzsch, K. (2005). *Simulation for the social scientist*. McGraw-Hill Education (UK).
 - Gun, O. (2004). Why do we have separate courses in 'Micro' and 'Macro' economics. *A Guide to What's Wrong with Economics*. Anthem Press, London.
 - Happe, K., Balmann, A., Kellermann, K., & Sahrbacher, C. (2008). Does structure matter? The impact of switching the agricultural policy regime on farm structures. *Journal of Economic Behavior & Organization*, 67(2), 431-444.
 - Hayek, F. A. (1945). The use of knowledge in society. *The American Economic Review*, 35(4), 519-530.
 - Keynes, J. (1936). *The general theory of unemployment, interest, and money*. Palgrave Macmillan, London.
 - Kirman, A. P. (1992). Whom or what does the representative individual represent?. *Journal of Economic Perspectives*, 6(2), 117-136.
 - Leijonhufvud, A. (2006). Agent-based macro. In Tesfatsion, L. and Judd, K., editors, *Handbook of Computational Economics*, Vol. 2 of *Handbooks in Economics*, chapter 36: 1625-1637. North Holland, Amsterdam.
 - Oeffner, M. (2008). Agent-based Keynesian macroeconomics-an evolutionary model embedded in an agent-based computer simulation. MPRA Paper 18199.
 - Pesaran, M. (1987). *The limits to rational expectations*. Basil Blackwell, Oxford.
 - Pyka, A., & Fagiolo, G. (2005). Agent-based modelling: a methodology for neo-schumpeterian economics. *The Elgar Companion to Neo-Schumpeterian Economics*. H. Hanusch and A. Pyka.
 - Russo, A., Catalano, M., Gaffeo, E., Gallegati, M., & Napoletano, M. (2007). Industrial dynamics, fiscal policy and R&D: Evidence from a computational experiment. *Journal of Economic Behavior & Organization*, 64(3-4), 426-447.
 - Stiglitz, J. E., & Gallegati, M. (2011). Heterogeneous interacting agent models for understanding monetary economies. *Eastern Economic Journal*, 37(1), 6-12.
 - Tesfatsion, L. (2006). Agent-based computational economics: A constructive approach to economic theory. *Handbook of Computational Economics*, 2, 831-880.
 - Tesfatsion, L. (2017). Modeling economic systems as locally-constructive sequential games. *Journal of Economic Methodology*, 24(4), 384-409.
 - Varian, H. (1992). *Advanced microeconomics*. W.W. Norton, New York, 3 edition.
 - Wickens, M. (2008). *Macroeconomic theory: A dynamic general equilibrium approach*. Princeton University Press.
 - Wilhite, A., & Allen, W. D. (2008). Crime, protection, and incarceration. *Journal of Economic Behavior & Organization*, 67(2), 481-494.