روش‌های مدل‌سازی تطوری در اقتصاد
(با تاکید بر عناصر مشترک سازنده آنها)

منصور خلیلی عراقی | Khalili@ut.ac.ir
استاد دانشکده اقتصاد، دانشگاه تهران

مجید میرزایی قزانی | majidmirza@ut.ac.ir
دکتری اقتصاد، دانشکده اقتصاد، دانشگاه تهران (نویسنده مسئول)

دریافت: ۱۳۹۲/۵/۶ | پذیرش: ۱۳۹۳/۳/۱

چکیده: دراین مقاله، تلاش شد تا به اجزای برخی از رویکردهای مطرح مدل‌سازی تطوری چون: شبیه‌سازی‌های چندعاملی، محاسبه تطوری و نظریه‌بازی تطوری اشاره شود. همان طور که در مقاله به آن اشاره شده است، در سال‌های اخیر، تعداد ابداعات تطوری وارد شده به مدل‌سازی چندعامله، به طور قابل توجهی افزایش یافته است اما به هر حال، یک قاعده مشترک برای تصریح مدل در این رویکرد، تاکنون ایجاد نشده است. درکنار بهره‌گیری از روش مدل‌سازی چند عامله، استفاده روزافزون از الگوریتم‌های تطوری نیز، برای مطالعه یادگیری رفتار جمعیت، به‌وضوح قابل مشاهده است. از این الگوریتم‌ها، عمدتاً از طریق به کارگیری عملگرهای تغییر (جهش و ادغام) برای خلق نوآوری‌ها، استفاده شده است. در نهایت نیز، در این مطالعه، به نظریه بازی تطوری پرداخته شده که در آن رفتار راهبردی بازیکنان، با لحاظ فرض عقلانیت محدود، مطالعه می‌شود. در نظریه بازی تطوری، پویایی‌های تکرارکننده، به عنوان شناخته‌شده‌ترین گونه از معادلات پویا برای بررسی رفتار جمعیت مطرح است. در نظریه بازی تطوری، از دیگر انواع پویایی‌ها چون: بهترین پاسخ، پویایی‌های مربوط به تقلید، کمتر استفاده شده است.

کلیدواژه‌ها: اقتصاد تطوری، تنوع، عقلانیت محدود، شبیه‌سازی‌های چندعامله، محاسبه تطوری، نظریه بازی تطوری.
طبقه‌بندی JEL: B52, C60, C73.

فصلنامه علمی - پژوهشی
شاپا (چاپی) ۲۲۵۱-۹۰۹۲ | نمایه در ISC
سال نوزدهم | شماره ۲ | تابستان ۱۳۹۳ | ص ص ۷۳-۴۷

مقدمه

طی سه دهه اخیر و به‌خصوص پس از انتشار کتاب «یک نظریه تطوری از تغییر اقتصادی» توسط winter Nelson, (1982)، توجه و مطالعه پیرامون اقتصاد تطوری[1] به عنوان یکی از رویکردهای رقیب رویکرد متعارف یا ارتدکس، با رشد قابل توجهی روبه‌رو شده است. در پژوهش مشترک میدانی نشان داده شده که تعداد مقالاتی که در آنها واژه تطور به عنوان واژه کلیدی به کار رفته است، با رشد شتابانی مواجه شده است (Silva & Teixeira, 2009)؛ و این شتاب کماکان نیز وجود دارد. از این‌رو با عنایت به توجه روزافزون به این رویکرد فکری درحوزه دانش اقتصاد، لازم است تا جامعه علمی و پژوهشگران اقتصادی کشورمان نیز شناخت و آگاهی مناسبی پیرامون این رویکرد جایگزین و روش‌های مدل‌سازی مبتنی بر آن داشته باشند.

آنچه در بررسی این مطالعات و پژوهش‌های صورت‌پذیرفته آشکارا مشاهده می‌شود، این است که نظریه‌های مطرح شده در قالب این رویکرد، اغلب فاقد سازگاری روش‌شناسانه لازم برای انجام مقایسه یا برقراری آزمون معتبر است. این، ممکن است برای پژوهشگرانی که سعی دارند تا اصول اساسی مدل‌سازی اقتصاد تطوری را به دست آورند، گیج‌کننده باشد. بنابراین، ارائه چارچوبی که بتواند طیف گسترده‌ای از دیدگاه‌های مختلف و متنوع موجود دراین رویکرد را پوشش دهد، بسیار مفید و ضروری است. بر همین اساس نیز طی دو دهه اخیر، فراوان تلاش شده است تا با تکیه بر نقاط مشترکِ دیدگاه‌های مطرح در اقتصاد تطوری، روش‌های مدل‌سازی متناسب با این رویکرد ارائه شود. با توجه به این نکات، در این مقاله تلاش شده تا با تکیه بر این نقاط مشترک، به معرفی و تبیین روش‌های مدل‌سازی سازگار با رویکرد تطوری پرداخته شود.

عموماً در مطالعات، اقتصاد به عنوان یک ساختار سلسله‌مراتبی[2] و پیچیده شناخته می‌شود که دربرگیرنده سطوح مختلف و زیرسیستم‌هایی است که از طریق سازوکارهای بازخوردی قوی به یکدیگر متصل شده‌اند (Potts, 2000). فرآیندهای انتخاب[3] و تغییر[4] که در هر یک از این زیرسیستم‌ها رخ می‌دهد، بر روی تغییرات کل محیط تأثیر می‌گذارد. به همین دلیل نیز، ابزارهای ریاضی متنوعی

---

۱. لازم است تا به این نکته اشاره شود که در برخی از متون، واژه اقتصاد تطوری، با عنوان اقتصاد تکاملی نیز بیان شده است. (نویسنده)

2. Hierarchical
3. Selection
4. Variation

هم‌چون نقاط ثابت[1]، مباحث همگرایی و غیره در تحلیل‌های اقتصادی به کارگرفته شده‌اند تا بر این پیچیدگی‌ها فایق آیند. به‌رغم کاربرد فراوان این روش‌ها درتحلیل روابط اقتصادی، این ابزارها عموماً برای تحلیل مواردی هم‌چون: پیچیدگی نظام‌های اقتصادی، وابستگی به مسیر[2]، تنوع[3] افراد و تصمیم‌گیران اقتصادی و بدیل[4] بودن، ناکافی‌اند. اقتصاد تطوری، این‌گونه در نظر می‌گیرد که اقتصاد از حالت بهینه[5]، بسیار دور است و مسیرهای مربوط به تغییرات اقتصادی، بستگی به تعاملات عناصر بسیاری دارد که می‌توانند به طور موازی عمل کنند و اقتصاد تطوری، ابزارهایی را برای احصای[6] این ویژگی‌ها فراهم می‌کند.

در چارچوب مدل‌سازی تطوری می‌توان دیدگاه‌های توسعه‌ای مجزایی را شناسایی کرد که تحت عنوان «نظریه بازی تطوری»[7] (Fudenberg ؛Samuelson, 1997 ؛Weibull, 1995 ؛ Friedman, 1991) تکنیک‌های محاسبه تطوری[8] (Eiben & Smith, 2003؛Fogel, 2000 ؛Gintis, 2001؛& Levine, 1999) و مدل‌سازی مبتنی بر چندعاملی[9] (Tesfatsion & Judd, 2006؛Weiss, 1999 ؛ Wooldridge, 2003) مطرح شده‌اند.

همچنین از روش‌های ریاضی گوناگونی مانند: تحلیل پویایی‌های غیرخطی (مبتنی برمعاملات تفاضلی و دیفرانسیل)، فرآیندهای تصادفی و الگوریتم‌های تطوری در این مدل‌ها بهره گرفته شده است.

در میان روش‌های مدل‌سازی ذکرشده، نظریه بازی تطوری، به عنوان یک متر و معیار مناسب برای انجام تحلیل در سطح کلان[10] مطرح است. پویایی‌ها در این رویکرد، بر روی مسئله انتخاب

1. Fixed Points
2. Path Dependency

نظریه وابستگی به مسیر را ابتدا اقتصاددانان، برای توضیح فرایندهای پذیرش فناوری و تطور صنعت توسعه دادند. در سال‌های بعد این ایده‌های نظری تأثیر زیادی بر اقتصاد تطوری داشته‌اند. (برای نمونه: نلسون و وینتر،۱۹۸۲) نتیجه یک فرایند وابسته به مسیر، اغلب به سمت یک تعادل منحصر به فرد همگرا نمی‌شود، بلکه به یکی از چندین نقاط تعادل موجود متمایل می‌شود. (بدین معنی که تعادل منحصر به فرد و یکتا نیست)

3. Diversity
4. Novelty
5. A Global Attractor
6. Capture
7. Evolutionary Game Theory(EGT)
8. Evolutionary Computation
9. Multi-Agent
10. Aggregate

متمرکز شده و عمدتاً در قالب پویایی‌های تکرارکننده[1] شکل‌گرفته است. جز پویایی‌های تکرارکننده، معادلات انتخاب تصادفی و معین دیگری مانند: تقلید[2]، بهترین پاسخ، جهش‌کننده[3] و پویایی‌های تطبیقی[4] برای تبیین پویایی‌های سیستم وجود دارند، اما به‌ندرت در مطالعات اقتصادی به کارگرفته شده‌اند.

درکنار نظریه بازی تطوری، برای آنکه اصولی هم‌چون جداسازی[5] و بنیان خردی[6] در تحلیل‌ها مطرح شود، از روش‌های شبیه‌سازی چندعاملی بهره برداری شده است. این روش‌ها امکان مدل‌سازی شمار زیادی از عاملان را (با فرض وجود عقلانیت محدود[7] در رفتار آنها) فراهم می کنند که قادر به تعامل با دیگر عاملان و محیط اطراف خود هستند.

در طی دو دهه گذشته، رویکردهای مبتنی بر مدل‌های چند عاملی، به طور گسترده‌ای برای مدل‌سازی نظام‌های پویا و نظام‌های اقتصادی غیر متمرکز به کار گرفته شده‌اند که در ادامه، توسعه‌های اخیر این مدل‌ها را مرور خواهیم کرد.

رویکرد دیگر مدل‌سازی تطوری، در قالب محاسبات تطوری جای می‌گیرد که روش‌هایی از قبیل: الگوریتم‌های ژنتیک، سیستم‌های طبقه‌بندی یادگیری[8]، برنامه‌ریزی ژنتیک و یادگیری تطبیقی[9] در مدل‌ها، از جمله این روش‌هاست. در اینجا، عملگرهای انتخاب[10] و تغییر[11]، هرگونه تغییرات در فراوانی راهبردهای انتخابی در نسل‌های گوناگون را راهبری و هدایت می‌کنند (Riechmann, 2001).

شایان ذکر است که در این چارچوب، یک فرد واحد در طی زمان تغییر نمی‌کند بلکه به جای آن، جمعیتی از افراد در یک فرآیند تکرارِ[12] انتخابی، تطور[13]می‌یابند. الگوریتم‌های ژنتیک همچنین ممکن است برای همراهی[14] با سیستم‌های چند عاملی نیز به کار گرفته شوند. در این حالت، هر عامل

1. Replicator Dynamics
2. Imitation
3. Mutator
4. Adaptive Dynamics
5. Disaggregation
6. Micro Foundation
7. Boundedly Rational
8. Learning Classifier Systems
9. Adaptive Learning
10. Selection
11. Variation
12. Replication
13. Evolve
14. Deal with

با یک مجموعه از قواعد تصمیم روبه‌روست، در حالی‌که الگوریتم ژنتیک، قاعده بهینه برای هر فرد را در پاسخ به (تغییر) محیط، تطور می‌کند.

تاکنون سازوکارهای تطوری مختلفی در حوزه دانش اقتصاد پیشنهاد شده است که از مهمترین آنها می توان به این مطالعات اشاره کرد: (Silverberg, 1998؛ Witt, 1993؛ Silverberg, 1997؛ Dosi Dopfer, ؛Windrum, 2004 ؛Van den Bergh, 2004؛ Kwasnicki, 2001 & 2003 & Winter, 2000 2005؛ Hanusch & Pyka, 2007) اما همان‌گونه که در ابتدای این بخش نیز به آن اشاره شد، به‌رغم چارچوب‌های پیشنهادی، تاکنون یک توافق کلی بر روی دسته‌بندی عناصر سازنده این چارچوب صورت نگرفته است.

با عنایت به موارد بالا، در ادامه مقاله تلاش شده است تا مبتنی بر مقاله Safarzynska (2010) & Van Den Bergh، یک دسته‌بندی کلی برای روش‌های مدل‌سازی تطوری و در قالب عناصر اصلی و مشترک میان گرایش‌های فکری مطرح در این رویکرد مانند: تنوع[1]، نوآوری[2] و عقلانیت محدود[3] صورت پذیرد. در مدل‌سازی‌ها، به برخی از این اجزا، بیش‌تر توجه شده در حالی که برخی دیگر کمتر متداول است.

بررسی مؤلفه‌های سازنده در مدل‌های تطوری

در این بخش یک نگاه کلی به اجزای مدل‌های مرسوم در حوزه اقتصاد تطوری شده است. در واقع، موارد ذکر شده در این بخش از مقاله، به عنوان فصل مشترک تمامی مدل‌های مطرح تطوری است. به این اجزا، در قالب دسته‌بندی‌های زیر اشاره شده است: ۱. تنوع، ۲. نوآوری و۳. عقلانیت محدود.

تنوع

هسته مرکزی هر مدل تطوری یک جمعیت ناهمگن[4] است؛ جمعیتی که به وسیله تنوع داخلی مشخص شده است. تنوع در این فضا به موضوع پیشرفت از طریق اصل فیشر ارتباط پیدا می‌کند که: «هر چه تغییرپذیری[5] ژنتیکی بزرگتر باشد، بهبود[6] انتظاری در تناسب نیز بزرگتر خواهد بود.» (Fisher, 1930).

1. Diversity
2. Innovation
3. Bounded
4. Heterogeneous
5. Variability
6. Improvement

در چارچوب‌های تطوری، تنوع در قالب روش‌های مختلفی رسمیت یافته است. در مدل‌های محاسباتی تطوری،[1] جمعیت‌ها، شامل افرادی است که میزبان راهبردهای متمایزند. در این حالت، هر فردی تنها یک گونه از رفتار را پدید می‌آورد اما گوناگونی افراد می‌تواند موجب ایجاد رفتارهای گوناگون و مختلف شود. این حالت «پرتاب سکه پیش‌رونده[2]» نامیده می‌شود.

در حالت جایگزین، افراد ممکن است کارهای مختلفی را در موقعیت‌های گوناگون انجام دهند. در این حالت، به رفتار فردی که دربرگیرنده گوناگونی در طی حیات وی است، «اختلاط رفتار فردی[3]» می‌گویند (Bergstrom & Godfrey-Smith, 1998).

این رویکرد آخر، به طور گسترده‌ای در سازمان‌دهی بازی تطوری، جایی که مفهوم راهبردهای مختلط بیان می‌شود، به کار گرفته شده است. در نهایت نیز در روش سیستم‌های چندعاملی، عاملان ممکن است با توجه به قواعد رفتاری، دانش، اهداف و ویژگی‌های فیزیولوژیک، از یکدیگر متمایز شوند. این مسئله طیف گسترده‌ای از فرصت‌ها را برای درک کردن ناهمگونی[4] فراهم می‌کند.

نوآوری

نوآوری به عنوان ویژگی ذاتی هر سیستم تطوری محسوب می‌شود. همچنین برای خلق ویژگی تنوع[5] در جامعه هدف، وجود این مولفه، ضروری است اما به دلیل آن که نوآوری ذاتاً از خصوصیت عدم اطمینان برخوردار است، در اغلب مدل‌های اقتصاد تطوری به صورت تصادفی[6] بیان می‌شود. نوآوری‌ها ممکن است در قالب یک رفتار نظام‌مند که به وسیله انباشت پیشرفت‌های فنی به دست آمده، بروز کنند. علاوه بر این، برخی، فرآیندهای نوآورانه را دنبال کردن مسیرهای فناورانه می‌دانند که به طور نسبی طبقه‌بندی شده‌اند. برای نمونه، می‌توان به خط سیرهای طبیعی Nelson & Winter (1977)، نقاط راهنمایِ[7] فناورانه Sahal (1985) و پارادایم‌های فناورانه Dosi (1982) اشاره کرد (در این زمینه برای مطالعه عمیق‌تر به Silverberg & Verspagen, 2003 مراجعه شود).

همچنین نوآوری در رویکرد تطوری ممکن است در شکل تازه‌ای از الگوی زمانی سرمایه[8] تبلور کند

1. Evolutionary Computational
2. Developmental Coin Flipping
3. Individual Behavior Mixing
4. Heterogeneity
5. Diversity
6. Stochastic
7. Guide Point
8. Vintage Capital

(Silverberg & Verspagen, 1995؛ Silverberg & Lehnert, 1993). در مدل‌های الگوی زمانی ـ که در چارچوب بازی تطوری توسعه پیدا نموده اند ـ تغییر و دگرگونی کامل یک بنگاه، از طریق نوآوری رخ می‌دهد. برای مثال Iwai (1984) یک مدل رشدالگوی زمانی سرمایه را برای بررسی راهی توسعه داده است که در آن تعاملات پویا میان نیروی متعادل کننده تقلید و نیروی نامتعادل‌کننده نوآوری، الگوی یک صنعت را شکل می‌دهند. در آن مدل، بازار شامل M بنگاه و n روش تولیدی با هزینه متناظر C_i است $(C_n > \cdots > C_1)$. بنگاه‌ها با دو رویکرد جایگزین مواجه هستند: اینکه فناوری نوینی را پدید آورند یا از فناوری دیگری تقلید[1] کنند که هزینه تولید کمتری نسبت به آنچه که موجود است، ارائه می‌دهد. اگر نوآوری پدید آید، یک تابع فراوانی تجمعی جدید، در ارتباط با هزینه شکل می‌گیرد $F_t(C_N) = \frac{1}{M}$ که در این رابطه C_N، بیانگر هزینه واحد بهترین روش تولیدی با فناوری در دسترس در زمان t است. فراوانی نسبی بنگاه‌های با هزینه واحد معادل با C یا کمتر از آن، با عنایت به رابطه $\Delta F_t(c) = \{\mu F_t(c)\big(1 - F_t(c)\big) + \vartheta M(1 - F_t(c))(1/M)\}\Delta t$ تغییر می‌کند. در این رابطه، پارامترهای μ و θ بیانگر شاخص‌های اثربخشیِ فعالیت‌های نوآوری و تقلیدِ بنگاه مورد نظر، تلقی می‌شوند. متعاقباً عبارت $\theta \Delta t M$ نیز بیانگر این احتمال است که نوآوری به وسیله یکی از بنگاه‌ها و در طی یک دوره زمانی کوتاه (Δt) به کارگرفته شده است.

از دیگر روش‌های پیشرو در ارائه بحث نوآوری در رویکرد تطوری در اقتصاد، روش مورد اشاره Nelson & Winter (1982) است. در مدل آنها، جست‌وجو به عنوان یک فرآیند تصادفی دومرحله‌ای مدل‌سازی شده است. در مرحله نخست، طرح‌های مربوط به نوآوری و تقلید، احتمال انجام فعالیت‌های تحقیق و توسعه (R&D) در یک بنگاه را تعیین می‌کنند (با احتمال صفر و یک). اگر بنگاه i طرح مربوط به تقلید را به دست آورد، در مرحله بعد می‌تواند بهترین تکنیک صنعت مربوط را کپی کند؛ و اگر به طرح نوآورانه دست یابد، سطح A از بهره‌وری را از تابع توزیع فرصت‌های فناورانه $F(A; t, A_{i,t})$ نمونه‌برداری می‌کند که در این حالت، $A_{i,t}$ بیانگر سطح جاری بهره‌وری بنگاه i است. در نهایت نیز اگر بنگاه، ترکیبی از طرح‌های تقلید و نوآوری را به دست آورد، سطح بهره‌وری جدید آن، به وسیله $A_{i,t+1} = Max(A_{i,t}, \bar{A}_t, \bar{A}_{i,t})$ رابطه تعیین می‌شود. در این رابطه، $A_{i,t}$ بیانگر سطح موجود بهره‌وری بنگاه i است؛ $\bar{A}_t$ نشان‌دهنده بهترین سطح بهره‌وری است و $\bar{A}_{i,t}$ نیز یک متغیر تصادفی است که از طرح نوآورانه حاصل آمده است.

1. Imitation

عقلانیت محدود

اصل و ریشه مفهوم عقلانیت محدود به نقد Simon (1955) از انسان اقتصادی باز می‌گردد. Simon (1955, 1956) مفهوم عقلانیت محدود را که در شرایط پیچیدگی و نااطمینانی به کار گرفته می شود، ارائه کرده است. Hodgson (1997) شرط پیچیدگی، وجود یک فاصله[1] میان ظرفیت محاسباتی یک عامل و پیچیدگی محیط پیرامونی وی را تصریح[2]می‌کند. در حالت نااطمینانی نیز عاملان در دریافت اطلاعات حیاتی و ارزیابی احتمالات دارای مشکلات هستند. در این شرایط، انتظار می‌رود افراد عادت‌ها[3] و رفتار مبتنی بر قاعده[4] را از خود بروز دهند.

فرض عقلانیت محدود، در نظریه بازی تطوری بسیار متداول است. در این نظریه فرض شده است که عاملان دارای اطلاعات اندک یا فاقد هرگونه دانش نسبت به بازی هستند. آنها توانایی پیش‌بینی اقدامات[5] عامل دیگر یا عواقب تصمیمات خودشان را ندارند. شکل‌های گوناگونی از معادلات پویایی تکرارکننده برای مدل‌سازی رفتار عقلانیت محدود ارائه شده که در بخش بررسی مدل‌های تطوری به آنها اشاره شده است. Conlisk (1996) در مطالعه خود، بر گونه‌های مختلف عقلانیت محدود در مدل‌های اقتصادی، مرور کرده است.

در اقتصاد متعارف، تحلیل انتخاب تحت شرایط نااطمینانی بر بستر نظریه مطلوبیت انتظاری شکل گرفته که به مبدعان آن یعنی Neumann & Morgenstern (1953)، باز می‌گردد. این نظریه بر پایه سه اصل موضوعه در ارتباط با ترجیحات افراد بنا نهاده شده است: درجه‌بندی[6]، پیوستگی[7] و استقلال[8]. آنچه در واقعیت در بیشتر اوقات رخ می‌دهد، بیانگر آن است که تصمیمات افراد با این اصول موضوعه سازگار نیست.

در این میان، اقتصاد رفتاری از جمله رویکردهایی است که از طریق به کارگیری جنبه‌های روانشناسی بر نظریه انتخاب، به دنبال فراهم آوردن دیدگاه‌های واقع‌بینانه‌تر برای فرآیند تصمیم‌گیری افراد برآمده است. از مطرح‌ترین مطالعاتی که در حوزه اقتصاد رفتاری صورت پذیرفته است، می‌توان

1. Gap
2. Stipulate
3. Habits
4. Rule-driven
5. Actions
6. Ordering
7. Continuity
8. Independence

به مواردی مانند: نظریه چشم‌انداز[1] (Kahneman & Tversky, 1979) نظریه ترجیحات اجتماعی[2] (Guth *et al.*, 1982) نظریه پس‌رفت[3] (Loomes & Sugden, 1986؛ Bell, 1985) و نظریه موردمحور[4] (Gilboa & Schmeidler, 1995) اشاره کرد.

در میان نظریه‌های مطرح در چارچوب اقتصاد رفتاری، بر نظریه چشم‌انداز Kahneman & Tversky (1979) به طور ویژه توجه بیشتری شده است. این نظریه بر مبنای این فرض بنا شده است که افراد به طور گوناگون زیان و منافع حاصل از تصمیمات خود را نسبت به یک نقطه مرجع ارزیابی می‌کنند.

نظریه ترجیحات اجتماعی تحت تأثیر این حقیقت که بازیکنان تمایل دارند تا نابرابری در بازده‌ها را از طریق فداکاری[5] کاهش دهند، شکل گرفته است. در این حالت، بازیکنان دوست دارند تا رفتارهایی که به نفع آنها بوده و به آنها منفعت رسانده است را جبران کنند.

نظریه پس‌رفت فرض می‌کند که تا هنگامی که ماحصل چشم‌انداز، بدتر از مقدار انتظاری باشد، یک احساس نارضایتی ایجاد می‌شود. در حالی که در شرایطی که نتیجه مورد انتظار خوب باشد، فرد مورد نظر احساس رضایت را تجربه می‌کند.

در نهایت در نظریه موردمحور، مطرح می‌شود که افراد اقدامات را مبتنی بر عملکردشان در مشکلات مشابه در گذشته، انتخاب می‌کنند. این نظریه چشم‌اندازهایی را در مورد شکل‌گیری رفتار[6] ارائه می‌دهد.

به طور خلاصه، نظریات موجود در حوزه اقتصاد رفتاری جایگزین‌های جالبی را برای تبیین مفهوم عقلانیت محدود ارائه می‌دهد اما نکته‌ای که وجود دارد این است که برای آنکه بتوان نتیجه‌گیری کرد که چه زمانی از هر یک از این مدل‌ها استفاده شود، راهکار مشخصی وجود ندارد (Fudenberg, 2006).

همچنین، نکته‌ای که در به کارگیری این نظریات وجود دارد این است که اغلب آنها، برای یک چارچوب معین و خاص ایجاد شده‌اند و به اطلاعات غیرقابل مشاهده متکی مانند: وضعیت‌های ذهنی[7] و نقاط مرجع در نظریه چشم‌انداز و همین مسئله کاربرد آنها را آسان نمی‌سازد (Pesendorfer, 2006).

1. Prospect Theory
2. Social Preferences Theory
3. Regret Theory
4. Case-Based Theory
5. Sacrifice
6. Habit Formation
7. Mental Stares

مفهوم عقلانیت محدود، در چارچوب مطالعه رفتار سازمانی، شکل قواعد[1] و روال‌ها[2] را به خود می‌گیرد.

Nelson & Winter (1982) ادعا می‌کنند که بنگاه‌ها در مقیاس گسترده، از نوعی قواعد تصمیم‌گیری بهره می‌گیرند که «رفتار روال‌مندشده»[3] نامیده می‌شود و با فرض حداکثرسازی سود، سازگار نیست. در این حالت، فرآیندهای شناختی[4]، ابتکاری[5] و یادگیری به عنوان مولفه‌های اصلی برای تصمیم‌سازی محسوب می‌شوند.

در بخش بعدی مقاله سعی شده تا با تکیه بر این مفاهیم و عناصر کلیدی، به رویکردهای مطرح مدل‌سازی در حوزه اقتصاد تطوری اشاره شود.

روش‌های مدل‌سازی تطوری

مدل‌های چندعاملی[6]

مدل‌های چندعاملی (برخی اوقات با عناوینی مانند: مدل‌های عامل‌محور، نظام‌های چندعاملی، شبیه‌سازی‌های چندعاملی[7] یا شبیه‌سازی‌های مبتنی بر چند عامل نیز نامیده می‌شوند) امکان مطالعه و بررسی مواردی نظیر فرآیندهای هماهنگ‌سازی،[8] خودسازمان‌دهی،[9] فرآوری توزیع‌شده،[10] تنوع خردی[11] را از طریقی که بسیار فراتر از قابلیت‌های هر مدل عامل نوعی[12] (منظور مدل‌سازی متعارف که در آن همه افراد و تصمیم‌گیرندگان یکسان لحاظ می‌شوند) است فراهم می‌آورند (Potts, 2000). در مطالعات ابتدائی، این رویکرد برای مدل‌سازی فرآیندهای اجتماعی به کار گرفته شد (Schelling, 1978؛ Axelrod, 1987, 2003؛ Arthur, 1991, 1994). مطرح‌ترین کار در این زمینه را، Epstein & Axtell (1996) با مدل 'Sugarscape' که در آن عناصر جمعیتی، اجتماعی، روانشناسی

1. Rules
2. Routines
3. Routinized
4. Cognitive
5. Heuristic
6. Multi-agent Models
7. Multi-agent Simulation
8. Coordination Processes
9. Self-organization
10. Distributed Processing
11. Micro Diversity
12. Representative Agent Model

و اقتصادی با یکدیگر ترکیب شده‌اند، ارائه کردند. مدل آنها نشان می‌دهد چگونه از تعاملات میان عاملان، برخی پدیده‌های اجتماعی مانند: انتقال فرهنگ، اوج‌گیری بحران‌ها، پراکندگی یک بیماری و مهاجرت بروز و ظهور می‌یابد.

در اقتصاد، روش شبیه‌سازی چند عاملی، بیشتر از طریق کار Anderson *et al.* (1988) و Holland & Miller (1991) مطرح شده است. این پژوهشگران در کار خود نگاه به اقتصاد را به صورت یک نظام پیچیده،[1] پویا[2] و تطبیق‌پذیر[3] با لحاظ حجم وسیعی از عاملان مستقل پیشنهاد داده‌اند. در این قالب، شبیه‌سازی چند عامله، یک ابزار بی‌نظیر برای پاسخدهی به تعاملات عاملان ناهمگن[4] و با عقلانیت محدود را که به وسیله ویژگی‌هایی مانند: یادگیری، بازدهی‌های فزاینده و وابستگی به مسیر شکل گرفته‌اند، فراهم می‌آورد.

در این رویکرد، عاملان به صورت شخصیت‌های محاسباتی[5] تعریف می‌شوند که در محیط خاصی، قادر به انجام اقدامات انعطاف‌پذیر خودکار[6] با هدف دستیابی به اهداف تعیین‌شده‌شان هستند (Wooldridge, 1999). به بیان دیگر، عاملان هوشمند به گونه‌ای شکل یافته‌اند که قادر به دریافت اطلاعات از محیط و تعامل با دیگر عاملان و واکنش به آن هستند. این تعاملات می‌تواند به طور غیرمستقیم از طریق محیطی که در آن عاملان تعبیه[7] شده‌اند یا در ارتباط مستقیم میان عاملان شکل بگیرد (Weiss, 1999). نوع و چگونگی تعاملات عاملان، درکنار دریافت بازخورد از پدیده‌های جمعی[8] تا خرد[9]، به عنوان منابع پویایی‌های غیرخطی در این رویکرد محسوب می‌شوند. همچنین گفتنی است که هیچ روش استانداردی برای ساخت و تحلیل مدل‌های مبتنی بر عامل وجود ندارد (Windrum *et al.* , 2007 ؛Epstein, 2007).

Weiss (1999) یک نمای کلی از ویژگی‌های[10] نظام مبتنی بر عامل را بیان کرده که در جدول (۲) قابل مشاهده است.

1. Complex
2. Dynamic
3. Adaptive
4. Heterogeneous
5. Computational Entities
6. Flexible Autonomous Actions
7. Embedded
8. Aggregate
9. Disaggregate
10. Attributes

جدول ۲: یک نمای کلی از ویژگی‌های نظام‌های مبتنی بر چند عامل

مؤلفه	ویژگی	محدوده
عاملان	تعداد	دو یا بیشتر
	اهداف	متضاد یا مکمل
	ساختار	پاسخ انفعالی یا آگاهانه
تعاملات	توانایی‌ها	ساده یا پیشرفته
	فراوانی	کم یا زیاد
	مشخصه	از ناظر محض بر روی عبور سیگنال تا مبادله پیشرفته اطلاعات (گفتگو و مذاکره)
محیط	ماندگاری	کوتاه‌مدت یا بلندمدت
	الگوی جریان اطلاعات	غیرمتمرکز یا سلسله‌مراتبی
	ارتباطات (ساختار تعاملات)	ثابت یا تغییرپذیر
	تغییرات در محیط	پیش‌بینی‌پذیر یا غیرقابل پیش‌بینی
	اطلاعات	نااطمینانی یا دانش کامل
	پایداری	ایستا، پویا، محیط درون‌زا
	دسترسی منابع	محدود یا نامحدود

مأخذ: Weiss (1999,4)

بنیان ساختار این نظام، دربرگیرنده تصریح این متغیرهاست: زمان، تعداد عاملان و وضعیت‌های خرد[1] که می‌تواند به طور دورن‌زا توسط عاملان اصلاح شود؛ پارامترهای خرد که شامل اطلاعات درباره ویژگی‌های رفتاری و فناورانه عاملان است، متغیرهای مستقل از زمان که نظم نهادی و فناورانه را راهبری می‌کنند؛ چگونگی ساختار تعاملات و جریان اطلاعات میان عاملان؛ قواعد تصمیم‌گیری خرد و متغیرهای کلان (Pyka & Fagiolo, 2005).

در طی دو دهه گذشته، رویکرد چند عاملی به عنوان یک راه‌حل متداول برای مدل‌سازی اقتصادی پویا و غیرمتمرکز مورد اقبال قرار گرفته است. در این میان، مدل‌های بسیاری ارائه شده است که الگوهای سازگار با پدیده‌های واقعی اقتصاد خلق نموده‌اند (برای نمونه: Gabriele, 2002؛ Fagiolo *et al.* , 2004؛ Dosi *et al.* ,2006). برای مثال، Fagiolo *et al.* (2004) یک مدل مبتنی بر عامل توسعه داده‌اند که نتایج شبیه‌سازی آن، شواهد واقعی در بازارهای محصول و نیروی کار هم‌چون دستمزد و قانون اوکان را تأیید می‌کند.

1. Micro States

در سال‌های اخیر، مدل‌سازی مبتنی بر عامل به عنوان یک ابزار رسمی، در نسل جدیدی از مدل‌های تطوری که با عنوان مدل‌های «تاریخ‌پسند»[1] شناخته می‌شوند، مطرح شده است (برای نمونه کارهای: Elias-؛Eliasson & Taymaz, 2000 ؛Malerba & Orsenigo, 2001؛ Malerba *et al.* , 1999 Son *et al.* , 2004). این مدل‌ها با هدف شناسایی نظریات کیفی[2] درباره سازوکارها و عواملی شکل گرفته‌اند که تطور صنعتی، پیشرفت‌های فناورانه یا تغییر نهادی را هدایت می‌کنند. برای نمونه، Malerba *et al.* , (1995, 2005) یک مدل مبتنی بر عامل در ارتباط با تطور صنعت رایانه توسعه داده‌اند.: Malerba & Orsenigo (2001) همین تحلیل را در مورد صنعت داروسازی و زیست‌فناوری داشته‌اند. در مدل‌های تاریخ‌پسند، اطلاعات واقعی، برای کالیبره کردن پارامترها و قواعد رفتاری به کار گرفته می‌شود. بنابراین، از این قبیل مدل‌ها ممکن است به عنوان یک روش اعتبارسنجی نتایج، استفاده شود.

رویکردهای جانشین رویکرد فوق (تاریخ‌پسند) شامل رویکرد کالیبراسیون غیرمستقیم و رویکرد ورکر ـ برنر[3] می‌شود (برای مطالعه و بررسی نقاط قوت و ضعف هر یک از رویکردهای مذکور می‌توان به مقاله Windrum *et al.*(2007) مراجعه کرد).

مدل‌های چندعاملی برای مدل‌سازی طیف وسیعی از موضوعات به کار گرفته شده‌اند: یادگیری عامل[4] (Arthur, 1991؛ Ishibuchi, 2001؛ Klos & Nooteboom, 2001) تکامل هنجارها و پیمان‌ها[5] (Axelrod, 1997؛ Thebaud & Locatelli, 2001؛ Hodgson & Knudsen, 2004) بازارهای مالی (Arthur *et al* .1996؛ Caldarelli *et al.*, 1998-2001؛ Levi *et al.*, 2000) انتشار[6] نوآوری‌ها و پویایی‌های صنعت (Windrum & Birchenhall, 1998؛ Gilbert *et al.*, 2001؛ Aversi *et al.*, 1997 Saint-Jean, 2006, 2005؛ Schwoon, 2006) مدیریت محیط زیست و بهره‌برداری مرتع (Paker *et al.*, 2003) اقتصادِ نیروی کار (Tassier & Menczer, 2001؛ Gabriele, 2002؛ Fagiolo *et al.* , 2004). همچنین از این روش برای سیاست‌های زیست‌محیطی بازارهای مختلف نیز استفاده شده است مانند: بازار نساجی (Brannon *et al.* , 1997)؛ بازار شیلات (Kirman & Vriend, 2001)؛ بازار عمده‌فروشی برق و رهنمودهای کشاورزی در یک کشور در حال توسعه (Lansing & Miller, 2004).

1. History Friendly
2. Qualitative Theories
3. Wercker-Brenner
4. Agent Learning
5. Convention
6. Diffusion

برای بررسی گسترده‌تر مدل‌سازی چندعاملی به منابعی هم‌چون: Axelrod؛ Tesfatsion (2001) (2003)؛ Windrum (2004) Dawid (2006) و Epstein (2007) مراجعه شود.

مدل محاسبه تطوری

یکی دیگر از رویکردهای مدل‌سازی در چارچوب فضای تطوری در اقتصاد، به کارگیری مدل‌های مبتنی برمحاسبه تطوری است. در این رویکرد، الگوریتم‌هایی مبتنی بر سازوکارهای انتخاب طبیعی[1] و ژنتیک، از قبیل: الگوریتم‌های ژنتیک (Back،1996؛ Mitchell, 1996؛ Goldberg, 1989)؛ برنامه‌ریزی ژنتیکی (Banzhalf *et al.* , 1989)؛ برنامه‌ریزی تطوری (Back, 1996)؛ طبقه‌بندی یادگیری[2] Lazi *et al.* , 1998) ؛Bowles *et al.* , 2004) و راهبردهای تطوری (Beyer, 1998) ارائه می‌شود.

این فن‌ها به طور فزاینده‌ای در مدل‌سازی تطوری به کار گرفته شده‌اند (به: Arifovic, 2000؛ و Dawid, 1999 مراجعه شود) در مدل‌های محاسبه تطوری، افراد جمعیت در طی زمان تغییر نمی‌کنند، اما جمعیت معینی به دلیل فرآیند ناشی از عملگرهای تغییر[3] و تکرار انتخابی[4]، تطور[5] پیدا می‌کند. Riechmann (1999) پیشنهاد کرده است که مفاهیم عملگرهای تغییر و تکرار انتخابی در چارچوب و ادبیات اقتصادی ـ اجتماعی، به عنوان یادگیری به وسیله تقلید[6] (Selective Replication)، یادگیری به وسیله ارتباط (Crossover) و یادگیری به وسیله تجربه (Mutation) نام برده شوند. هسته مرکزی تمام فن‌ها در روش محاسبه تطوری، همان فرآیند جست‌وجو برای راه‌حل‌های بهتر است. این فرآیند دربرگیرنده خلق[7] گزینه‌های جدید با عملگرهای جهش[8] و نوترکیب[9] است. عملگر جهش، از طریق ایجاد تغییر در مقدار مشخصه[10] از یک فرد و ایجاد یک ویژگی جدید عمل می‌کند. عملگر نوترکیب، اطلاعات جدید را از طریق ادغام کدهای والدین و ایجاد کد فرزند[11] پدید می‌آورد. تفاوت اصلی میان جهش و نوترکیب این است که جهش یک عملگر یگانی[12] است و نیازمند آن است که یک

1. Natural Selection
2. Learning Classifier
3. Variation Processes
4. Selective Replication
5. Evolve
6. Imitation
7. Generating
8. Mutation
9. Recombination
10. Characteristic
11. Offspring
12. Unary

مشاهده[1] به عنوان ورودی به کار گرفته شود در حالی که نوترکیب نوعاً (همانند زیست‌شناسی) یک عملگر دوتایی[2] است که در مورد دو مشاهده (والد) به کار گرفته شده است. گفتنی است که امکان نوترکیبی با بیش از دو والد در چارچوب ادبیات فنی و اقتصادی ـ اجتماعی (به Eiben, 2000 مراجعه شود) وجود دارد. این پدیده یک طیف بسیار گسترده‌ای از نتایج نوآورانه[3] را پدید می‌آورد.

در چارچوب روش محاسبه تطوری، فرآیند تکرار انتخابی، یک مجموعه از افرادی را که میزبان راهبردهای متمایزند، از یک نسل به نسل بعد انتقال می‌دهد. در الگوریتم‌های تطوری، انتخاب[4] شامل دو جزء اصلی است: انتخاب والد[5] و انتخاب بقا[6] (Eiben & Smith, 2003).

نقش انتخاب والد، تحریک افراد شایسته‌تر است تا به عنوان والد در نسل بعدی در نظر گرفته شوند. نوعاً این نقش به طور احتمال‌گونه[7] است: افراد با کیفیت بالاتر، شانس بیشتری برای باز تولید[8] دارند.

برای مثال، والدین ممکن است نسبت به تناسب[9] نسبی‌شان (یک معیار کیفی که به هر راه‌حل نسبت داده شده) انتخاب شده باشند. این رویکرد همچنین با عنوان انتخاب چرخ رولت[10] نیز نامیده می‌شود. شانس انتخاب یک والد خاص، می‌تواند مانند چرخاندن یک چرخ رولت پیش‌بینی[11] شود که در آن اندازه هر بسته متناسب با تناسب والد است.

دیگر انواع سازوکارهای انتخاب در این چارچوب عبارتند از : دسته بندی خطی[12] و روش مسابقه[13].

در دسته‌بندی خطی یک الگوریتم، همه افراد مبتنی بر تناسب‌شان دسته‌بندی می‌شوند و سپس به هر فرد، یک احتمال انتخاب را متناسب با رتبه آن نسبت می‌دهد. در مورد انتخاب مسابقه، یک الگوریتم به طور تصادفی دو والد را انتخاب می‌کند و یک فرزند را از والد متناسب‌تر[14] ایجاد می‌کند.

1. Object
2. Binary
3. Innovation
4. Selection
5. Part
6. Survival Selection
7. Probabilistic
8. Reproduce
9. Fitness
10. Roulette Wheel
11. Envisaged
12. Linear Sorting
13. Tournament
14. Fitter

پرتال جامع علوم انسانی

در نتیجه والدین به جمعیت اولیه بازگرداند شده‌اند. این فرآیند n بار تکرار می‌شود تا یک جمعیت شامل n فرزند را ایجاد کند.

نوع دوم انتخاب با عنوان انتخاب بقا نامیده می‌شود. در این حالت، اولاد برای جایگاه خود در نسل بعدی مبتنی بر تناسب‌شان با یکدیگر رقابت می‌کنند. دو حالت ممکن است از یکدیگر متمایز شده باشند: یک جمعیت جدید می‌تواند از یک مجموعه از والدین و فرزندها ساخته شوند که این حالت با عنوان انتخاب تورش تناسب[1] نامیده می‌شود؛ یا اینکه منحصراً از جمعیت اولاد پدید آمده باشند که با عنوان انتخاب تورش سِن[2] بیان می‌شود.

لازم است به این مسئله اشاره شود که الگوریتم‌های تطوری ممکن است برای مدل‌سازی یادگیری فردی در سیستم‌های چند عاملی نیز به کار گرفته شوند. در این قبیل مدل‌ها، هر عامل بیانگر یک نماینده از وضعیت جاری[3] سیستم است و با عنایت به یک قاعده تصمیم انتخابی[4] (از مجموعه بی‌نهایت از قواعد) دست به انجام و اقدام می‌زند. پس از آنکه تمامی عاملان، تصمیمات خود را گرفتند، بازده‌ها[5] آشکار و اثربخشی قواعد ارزیابی می‌شود. مؤثرترین قواعد، دارای شانس بالاتری برای انتخاب در آینده است. در طی زمان یک الگوریتم تطوری، قاعده بهینه یا مجموعه قواعد را در پاسخ به یک محیط متغیر تطور می‌کند.

نظریه بازی تطوری[6]

در نظریه بازی تطوری به عنوان یکی دیگر از روش‌های مدل‌سازی در چارچوب اقتصاد تطوری، رفتار راهبردی بازیکنان با لحاظ فرض عقلانیت محدود[7] مطالعه می‌شود. Friedman (1991) در ارتباط با بازی تطوری مطرح می‌کند که ایده اصلی در این رویکرد این است که اقدامات (یا رفتارهایی) که «تناسب» بیشتری با محیط پیرامونی خود دارند، در طی زمان جایگزین رفتارهای با تناسب کمتر می‌شود. در واقع، راهبردهای متناسب‌تر، در طی زمان فراگیرتر می‌شوند. در این نظریه، افراد به طور تصادفی از جمعیت‌های بزرگ برگزیده[8] شده‌اند و دارای اطلاعات اندک یا فاقد اطلاعات درباره بازی

1. Fitness Bias Selection
2. Agebias Selection
3. Current State
4. Selected Decision Rule
5. Pay off
6. Evolutionary Game Theory (EGT)
7. Boundedly Rational
8. Drawn

هستند (Weibull, 1998). مجموعه بی‌نهایت از راهبردها در ابتدا در نظر گرفته می‌شود، در حالی که تعادل، در چارچوب راهبردها (راهبردهای خالص)[1] یا از ترکیب آنها (راهبردهای مختلط[2]) حاصل می‌شود.

Friedman (1991) اجزای اصلی نظریه بازی تطوری را این‌گونه معرفی می‌کند:

فضاهای مربوط به وضعیت‌ها[3] و راهبردها[4]: نخست باید جمعیت‌های مرتبط با یکدیگر که با نمادهای K=1,2,... شاخص‌بندی شده‌اند، تعریف شوند که در این جمعیت‌ها هر عضو یک راهبرد را از یک تعداد بی‌نهایت از اقدام‌های امکان‌پذیر[5] انتخاب می‌کند. هر نقطه (r^k) از مجموعه $N:=\{x=(x_1, x_2, \dots, x_N): x_i>0, S^k\sum x_i\}$ نشانگر کسری از جمعیت K است که راهبرد i را به کار می‌گیرند.

توابع تناسب[6]: این توابع، بازده‌ها را به راهبرد r^i بسته به وضعیت موجود S نسبت[7] می‌دهند. این رابطه می‌تواند به صورت زیر نشان داده شود.

$$f: s*s \to R^k \qquad f(r,s)=f'(r',s), f^2(r^2,s),\dots, f^k(r^k,s) \qquad (۱)$$

سیستم معادلات دیفرانسیل معمولی: این بخش از ساختار نظریه بازی تطوری، تطور وضعیت S را در طی زمان نشان می‌دهد. ساختار پویا در این حالت در چارچوب مشتقات نسبت به زمان تعریف شده است:

$$\dot{S}=(\dot{S}^1,\dots,\dot{S}^K)\dot{S}^K := \left(\dot{S}_1^K,\dots,\dot{S}_n^K\right)=\left(\frac{ds_1^k}{dt},\dots,\frac{ds_n^k}{dt}\right) \qquad (۲)$$

فرم ساده‌شده روابط بالا به صورت روبه‌روست:

$$S \to R^{NK}: \dot{s}=F(s)$$

قیود اضافی برای $F: S \to R^{NK}$ لازم است تا پذیرفته شود:

- برای تمامی $s \in S$ و برای $k=1,\dots,N$ رابطه $\sum_i^N f_i^k(s)=0$ برقرار است.
- $S_i^K=0$ اشاره بر $F_i^K(s)=0$ دارد.
- F پیوسته است و نسبت به S، مشتق‌پذیر است.

1. Pure Strategies
2. Mixed
3. States
4. Strategies
5. Possible Actions
6. Fitness
7. Assigns

معادلات دیفرانسیلی که پویایی‌ها را تصریح می‌کنند می‌توانند به شکل معادلات معین[1] یا تصادفی[2] بیان شوند.

هر دو شکل و گونه از این معادلات، در ادامه معرفی شده‌اند.

پویایی‌های تکرارکننده[3]: پویایی‌های بازی تطوری، شرح می‌دهد که چگونگی فراوانی‌های[4] راهبردهای مختلف درون یک جمعیت، با توجه به بازده‌شان در طی زمان تغییر می‌کنند. در این چارچوب، بازده‌ها بستگی به راهبردهای دیگر بازیگران و همچنین فراوانی‌های این راهبردها درون یک جمعیت دارد. از آنجا که این فراوانی‌ها با توجه به بازده ها تغییر می‌کنند، این فرآیند یک سازوکار بازخوردی گردشی[5] ایجاد می‌کند (Samuelson, 1997). پویایی‌های تکرارکننده، اغلب برای احصای این ویژگی به کار گرفته می‌شود.

پویایی‌های تکرارکننده را نخست Fisher (1930) مطرح کرد اما برای نخستین بار، این پدیده توسط Taylor & Jonker (1978) به صورت فرموله‌شده درآمد. پویایی‌های تکرارکننده در واقع، فرآیند انتخاب را راهبری می‌کند که در نتیجه آن اطمینان حاصل می‌شود واحدهایی با تناسب بالاتر از میانگین جمعیت، فراوانی خودشان را در جمعیت افزایش می‌دهند.

پویایی‌های تکرارکننده در مورد هر جمعیتی که به گونه‌های E_1 تا E_n و با فراوانی‌های متناظر با آنها (x_1 تا x_n) تقسیم شده به کار گرفته شده است.

در این مدل، افراد در برخوردهای تصادفی با یکدیگر ملاقات می‌کنند. هر زمان که یک فرد از نوع i فردی از نوع j را ملاقات می‌کند، بازده فرد i برابر با a_{ij} می‌شود. حرکت مربوط به فراوانی نوع i به وسیله رابطه زیر بیان شده است (Hofbauer & Sigmund, 2003):

$$\dot{x}_t = x_i((Ax)_i - x^t Ax) \qquad (۳)$$

که در این رابطه Ax نشان‌دهنده بازده انتظاری برای فرد از نوع i است و x^tAx بیانگر بازده متوسط است.

اگر بازده نوع i از بازده میانگین در جمعیت فراتر رود، فراوانی آن در جمعیت افزایش می‌یابد.

یک تابع تناسب، که برای مدل‌سازی تعاملات دوبه‌دو به کار گرفته شده، اغلب شکلی خطی به خود می‌گیرد.

1. Deterministic
2. Stochastic
3. Replicator Dynamics
4. Frequencies
5. Loop

در چارچوب بازی‌هایی که تعاملات در گروه‌هایی با بیش از دو عضو رخ می‌دهد، تناسب ممکن است به صورت یک تابع غیرخطی از فراوانی‌ها تصریح شده باشد (Nowak & Sigmund, 2004). در این حالت پویایی‌های تکرارکننده به صورت زیر بازنویسی می‌شود:

$$\dot{x} = x_i(f_i(x) - \bar{f}(x)) \quad (۴)$$

که در این رابطه $F_i(x)$ یک تابع تناسب است و $\bar{f}(x) = \sum_i X_i f_i(x)$ نشان‌دهنده تناسب میانگین است.

Foster & Young (1990) نخستین افرادی بودند که واژه[1] تصادفی را به پویایی‌های تکرارکننده وارد کردند. با فرض یک جمعیت بزرگ و تعاملات فراوان، فاستر و یانگ، منبع هرگونه تغییر در بازده‌ها را به وسیله یک فرآیند واینر[2] پیوسته تقریب زدن:

$$\dot{x}_i(t) = x_1(t)[Ax(t)\Delta t - x(t)^T Ax(t)\Delta t + \delta(\Gamma(x)\Delta W(t)_i] \quad (۵)$$

که در این عبارت $x(t) = [x_1(t), \dots, x_n(t)]^T$ بیانگر نسبت راهبردهای مختلف است. W(t)، نشان‌دهنده یک فرآیند پیوسته و وایت‌نویز با میانگین صفر و ماتریس کوواریانس با مقادیر واحد است؛ همچنین $\Gamma(x)$، بر روی x پیوسته و دارای ویژگی $x^T\Gamma(x) = [0,0, \dots,0]^T$ است.

دیگر پویایی‌های انتخاب

پویایی‌های تکرارکننده، یکی از چندین سازوکار انتقال ممکن را در نظریه بازی تطوری توصیف می‌کند. Hofbauer & Sigmund (1998, 2003) دیگر پویایی‌های انتخاب مواردی را مانند: بهترین پاسخ[3]، براون ـ فون نئومن ـ نیش[4]، تقلید[5]، جهش‌گر[6] و پویایی‌های تطبیقی[7] پیشنهاد می‌دهند.[8]

نتیجه‌گیری

به کارگیری و استفاده از روش‌ها و فن‌های تحلیلی در چارچوب اقتصاد متعارف، مستلزم پذیرش برخی فرضیه‌ها است که در دنیای واقعی نقدهای جدی بر آنها وارد است؛ برای نمونه، فرض رفتار

1. Term
2. Weiner Process
3. Best Response
4. Brown- Von Neumann- Nash
5. Imitation
6. Mutator
7. Adaptive Dynamics

۸. به Nowak & Sigmund, 2004 مراجعه شود

عقلایی (به معنای حداکثری آن) که در آن بر دانش و اطلاعات کامل تمامی افراد و تصمیم‌گیران اقتصادی تاکید شده است. با این حال در عمل، شواهد بسیاری وجود دارند که پذیرش این فرض را برای انجام تحلیل و همچنین مدل‌سازی اقتصادی با تردیدهای جدی روبه‌رو می‌کنند. در این میان، رویکردهای رقیب رویکرد متعارف (نئوکلاسیک) تلاش کرده‌اند تا حد امکان از این فروض حدی رهایی یابند.

بنابراین، در این مقاله، در همین چارچوب تلاش شد تا مبتنی بر اصول کلی حاکم بر رویکرد تطوری (به عنوان یکی از این رویکردهای بدیل) هم‌چون: تنوع و ناهمگونی در رفتار تصمیم‌گیران، عقلانیت محدود، نوآوری و انتشار روش‌های مدل‌سازی جایگزینی مطرح امکان تحلیل مناسب‌تر و واقعی‌تر پدیده‌های اقتصادی فراهم شود. بر همین اساس، سه روش مدل‌سازی کلی شامل: شبیه‌سازی چندعاملی، محاسبه تطوری و نظریه بازی تطوری، در این مقاله بررسی و به برخی از کاربردهای این روش‌ها اشاره شد.

در پایان باید به این نکته اشاره کرد که کماکان بسیاری از روش‌های ارائه‌شده در این رویکرد، در مرحله عدم بلوغ قرار دارند و به همین دلیل تلاش‌هایی برای به کارگیری نظریات مطرح از دیگر رشته‌ها (فیزیک، روان‌شناسی، اقتصاد رفتاری) در جریان است تا امکان ایجاد نظریاتی جامع را فراهم آورد.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

منابع

Anderson, P. W., Arrow, K. J., Pines, D. (Eds.) (1988). *The Economy as an Evolving Complex System II.Addison-Wesley*, Reading, MA.

Arifovic, J. (2000). Evolutionary algorithms in macroeconomic models. *Macroeconomic Dynamic*, 4, pp. 373-414.

Arthur, W. B. (1994). Inductive Reasoning and Bounded Rationality. *American Economic Association and Proceedings*, 84, pp. 406-411.

Arthur, W. B. (1991). Designing Economic agents that Act like Human Agents: a Behavioral approach to bounded rationality. *The American Economic Review*, 81, pp. 353-359.

Arthur, W. B., J. H. Holland, B. LeBaron, R. Palmer, and P. Tayler (1996). *Asset pricing under endogenous expectations in an artificial stock market*, Santa Fe working paper. (downloadable at www.santafe.edu).

Aversi, R., G. Dosi, G. Fagiolo, M. Meacci, and C. Olivetti (1997). *Demand dynamic with*

socially evolving preferences, IIASA working paper, Laxenburg, Austria. (downladable at www.iiasa.ac.at).

Axelrod, R. (1987). *The evolution of strategies in the iterated prisoners dilemma*, In: L., David (Eds.) Genetic *Algorithms and Simulated Annealing*. Pitman, London.

Axelrod, R. (2003). Advancing the art of simulation in the social sciences. *Japanese Journal of Management Information Systems*, p.12.

Back, T. (1996). *Evolutionary Algorithms in Theory and Practice*, Oxford University Press, Oxford, UK.

Banzhalf, W., P. Nordin, R.E. Keller, and F. D. Francone (1989). *Genetic Programming: an Introduction.* Morgan Kaufmann, San Francisco.

Bell D (1985). Regret in decision making under uncertainty. *Oper Res Sci* 33: pp.1367–1382

Bergstrom T. C, Godfrey-Smith P. (1998). On the evolution of behavioral heterogeneity in individuals and populations. Biol Philos 13: pp. 205–231.

Beyer H-G (1998). The evolution of strategies. Spinger-Verlag, Leiden

Bower, J., and D. Bunn (2001). Experimental analysis of the efficiency of uniform-price versus discriminatory auctions in the England and Wales electricity market. *Journal of Economic Dynamics and Control*, 25, pp. 561-592.

Bowles, S., J-K. Choi, and A. Hopfensitz (2004). The co-evolution of individual behaviors and social institutions. *Journal of Theoretical Biology*, 223, pp. 153-147.

Brannon, E. L., L. J. Anderson, P. V. Ulrich, T. Marshall, and D.A. Donaldson (1997). *Artificial life simulation of the textile/ apparel marketplace: an innovative approach to strategizing about evolving markets*. National Textile Centre Annual Report (downloadable at www.p2pays.org).

Caldarelli, S. B., M. Marsili, and Y. C. Zhang (1998). 'A prototype model of stock exchange', *Europhysics Letters*, p. 40.

Conlisk, J. (1996). Why bounded rationality?. *Journal of Economic Literature*, 34, pp. 6-69.

Dawid, H. (1999). *Adaptive Learning by Genetic Algorithms, Analytical Results and Application to Economic Models*, 2nd version. Berlin: Springer-Verlag.

Dawid, H. (2006). Agent-based models of Innovation and technological change, 1235-1272, in: L. Tesfatsion, and K. Judd (Eds.), *Handbook of Computational Economics II: Agent based Computational Economics*, North-Holland.

Dopfer, K. (Eds.) (2005). *The Evolutionary Foundations of Economics*. Cambridge University Press.

Dosi, G., and S. Winter (2000). *Interpreting economic change: evolution, structures and games*. LEM Working Paper, 200008/, Sant'Anna School for Advanced Studies, Pisa. (downloadable at www.lem.sssup.it).

Dosi, G., G. Fagiolo, and A. Roventini (2006). An evolutionary model of endogenous business Cycles. *Computational Economics,* 27, pp. 3-34.

Eiben, A. E. (2000). Multiparent recombination In T. Bäck, D. B. Fogel, and Z. Michalewicz, editors, *Evolutionary Computation 1: Basic Algorithms and Operators*, pages 289-307, Institute of Physics Publishing, 2000.

Eiben, A. E., & J. E. Smith (2003). *Introduction To Evolutionary Computing*, Springer.

Eliasson, G. D., D. Johansson & E. Taymaz (2004). Simulating the New Economy.

Structural Change and Economic Dynamics, 15, pp. 289-314.
Eliasson, G., & E. Taymaz (2000). Institutions, entrepreneurship, economic flexibility andgrowth-experiments on an evolutionary micro-to macro model, in: U. Cantner, H. Hanusch & S. Klepper (Eds.) *Economic Evolution, Learning, and Complexity, Heidelberg,* Springer-Verlag, pp. 265-286.
Epstein, C. (2007). *Generative Social Science: Studies in Agent-Based Computational Modeling*, The Princeton University Press.
Epstein, C., & R., Axtell (1996). *Growing Artificial Societies: Social Science from the Bottom Up*, Cambridge, MA: The MIT Press.
Fagiolo, G., G. Dosi, & R. Gabriele (2004). *Towards an evolutionary interpretation of aggregate labour market regularities*. Working Paper, Sant'Anna School of Advanced Studies, Pisa, Italy.
Fisher, R. A. (1930). *The genetical theory of natural selection*. NY: Dover Brooks. Pp.35-48.
Fogel, D. B. (2000). *Evolutionary Computation. Towards a new Philosophy of Machine Intelligence*. IEEE Press, New York.
Foster, D., & P. Young (1990). Stochastic evolutionary games. *Theoretical Population Biology*, 38, pp.219-232.
Friedman, D. (1991). Evolutionary theory of games. *Econometrica*, 59, pp. 637-666.
Fudenberg, D., & D. K. Levine (1997). *The Theory of Learning in Games*, the MIT Press Cambridge.
Fudenberg, D. (2006). Advancing beyond advances in behavioural economics. J Econ Lit 54:649–711
Gabriele, R. (2002). *Labour market dynamics and institutions: an evolutionary approach*. LEM Working Paper, 200207/, Sant'Anna School for Advanced Studies, Pisa. (Downloadable at ww.lem.sssup.it).
Gilboa, I., & Schmeidler, D. (1995). Case-based decision theory. *Quarterly Journal of Economics*, 110 (3), pp. 605-639.
Gilbert, N., A. Pyka, & P. Ahrweiler (2001). Innovation networks- a simulation approach. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, 4, pp. 1-8.
Gintis, H. (2000). *Game Theory Evolving*, Princeton University Press, Princeton, New Jersey.
Goldberg, D. E. (1989). *Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning*. Addison-Wesley.
Guth, W., R., Schmittberger, & B., Schwarze (1982). An experimental analysis ofultimatum bargaining. *Journal of Economic Behaviour and Organization*, 3, pp. 367-388.
Hanusch, H., & A. Pyka (Eds.) (2007). *The Elgar Companion to Neo-Schumpeterian Economics*. Edward Elgar, Cheltenham.
Hodgson, G. M. (1997). The ubiquity of habits and rules. *Cambridge Journal of Economics*, 21, pp. 663-684.
Hodgson, G. M., & T. Knudsen (2004). The complex evolution of a simple traffic convention: the functions and implications of habit. *Journal of Economic Behavior and Organization*, 54, pp. 19-7.
Hofbauer, J., and K. Sigmund (2003). Evolutionary game dynamics. *Bulletin of the*

American Mathematical Society, 4, pp. 479-519.
Holland, J. H., and J. H., Miller (1991). Artificial adaptive agents in economic theory. *American Economic Review*, 81, pp. 365-370.
Ishibuchi, H., R. Sakamota, & T. Nakashima (2001). Evolution of unplanned coordination in a market selection game. *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, 5.
Iwai .K (1984). Schumpeterian dynamics part I: evolutionary model of innovation and imitation. *J Econ Behav Organ* 5:pp. 159–190.
Kahneman, D., & Tversky, A. (1979). Prospect theory: An analysis of decision under risk. *Econometrica* 47(2), pp. 91-263.
Kirman, A., and N. J. Vriend (2001). Evolving market structure: An ACE model of price dispersion and loyalty. *Journal of Economic Dynamics and Control*, 25, pp. 459-502.
Klos, T. B., & B. Nooteboom (2001). Agent based computational transaction cost .*Journal of Economic Dynamic and Control*, 25, pp. 503-526.
Kwasnicki, W. (2001). *Comparative analysis of selected neo-Schumpeterian models of industrial dynamics*. (Downloadable at www.prawo.uni.wroc.pl/~kwasnicki).
Kwasnicki, W. (2003). Schumpeterian modelling', in: H. Hanusch and A. Pyka (Eds.). *The Elgar Companion to Neo-Schumpeterian economics*. Edward Elgar, Cheltenham.
Lansing, J. S, and J. H. Miller (2004). Cooperation, games, and ecological feedback: some insights from Bali. *Current Anthropology*, 46, pp. 328-334.
Lazi, P. L., W. Stolzmann, & S.W. Wilson (Eds.) (1998). *Learning Classifier Systems. From Foundations to Applications*, Springer-Verlag, Berlin.
LeBaron, B. (2001). Empirical regularities from interacting long and short horizon investors in an agent based stock market .*IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, 5.
Levy, M., H. Levy, & S. Solomon (2000). *Microscopic Simulation of Financial Markets*, Academic Press.
Loomes, G., & Sugden, R. (1986). Regret theory: An alternative theory of rational choice under uncertainty. *Economic Journal*, 92(368), pp 805-824.
Malerba, F., and L. Orsenigo (2001). Innovation and market structure in the dynamics of the pharmaceutical industry and biotechnology: toward a history friendly model. *Industrial and Corporate Change*, 11, pp. 667-703.
Malerba, F., R. Nelson, L. Orsenigo, and S. Winter (1999). History friendly models of industry evolution: the computer industry'. *Industrial and Corporate Change*, 8, pp. 3 -41.
Malerba, F., R. Nelson, L. Orsenigo, and S. Winter (2005). *The dynamics of the vertical scope of firms in related industries, the coevolution of competences, technical change and the size and structure of markets*, CESPR, Bocconi University, Milan.
Mitchell, M. (1996). *An Introduction to Genetic Algorithm*. MIT Press, Cambridge (MA), London (UK).
Nelson, R., and S. Winter (1977). In search of useful theory of innovation. *Research Policy*, 6, pp. 36–76.
Nelson, R., and S. Winter (1982). *An Evolutionary Theory of Economic Change*, Cambridge MA: Harvard University Press.
Neumann, J. V & O, Morgenstern. (1953). *Theory of Games and Economic Behavior*. Princeton, NJ. Princeton University Press.

Nowak, M. A., & K. Sigmund (2004). Evolutionary dynamics in biological games.*Science*, 3030, pp. 796-798.
Paker, D. C., S. M., Manson, M. A., Janssen, M. J., Hoffman, & P., Deadman (2003). MultiagentSystems for the simulation of Land-Use and Land cover change: a review. *Annals of the Association of American Geographer*s, 93, pp. 314-337.
Pesendorfer, W., (2006). Behavioral economic comes of age: a review essay on Advance in Behavioral Economics. *Journal of Economic Literature*, 54, pp. 712-721.
Potts, J. (2000). *The New Evolutionary Microeconomics: Complexity, Competence, and Adaptive Behavior*, Cheltenham: Edward Elgar.
Pyka, A., & G. Fagiolo (2005). A*gent-based modeling: a methodology for Neo- Schumpeterian economics*. Working Paper, no 272, Universiteit Augsburg, Germany. (http://hdl.handle.net/1041922795/)
Riechmann, T. (1999). Learning and behavioural stability - an economic interpretation of genetic algorithms. *Journal of Evolutionary Economic*, 9, pp. 225-242.
Riechmann, T. (2001). *Two notes on replication in evolutionary modelling*. Working Paper no. 239, Leibniz Universitat, Hannover. (downloadable at www.wiwi.uni-hannover.de).
Safarzynska, K & van den Bergh, Jeroen C. J. M. (2010) Evolutionary models in economics: a survey of methods and building blocks. *Journal of Evolutionary Economics,* 20, pp.329-373.
Sahal, D. (1985) Technological guideposts and innovation avenues. Res Policy 14:61–82.
Saint-Jean, M. (2006). *Environmental innovation and policy: lessons from an evolutionary model of industrial dynamics.* (downloadable at www.mnp.nl)
Samuelson, L. (1997). *Evolutionary Games and Equilibrium Selection*, Cambridge MA: The MIT Press.
Schelling, T. C. (1978). *Micromotives and Macrobehaviour*. W.W. Norton & Company, NewYork, NY.
Schwoon, M. (2006). Simulating the adoption of fuel cell vehicles. *Journal of Evolutionary Economics*, 16, pp. 435-472.
Silva, S. T., & A. C. Teixeira (2009). On the divergence of evolutionary research paths in the past 50 years: a comprehensive bibliometric account. *Journal of Evolutionary Economics*,19, pp. 605-642.
Silverberg, G. (1997). *Evolutionary modelling in economics: recent history and immediate prospects*. MERIT, University of Maastricht, The Netherlands. (downloadable at www.merit.unu.edu).
Silverberg, G., G. Dosi, & L. Orsenigo (1988). nnovation, diversity and diffusion: a self-organization model. *Economic Journal*, 98, pp. 54-1032.
Silverberg G, & D Lehnert. (1993). Long waves and evolutionary chaos in a simple Schumpeterian model of embodied technical change. *Struct Chang Econ Dyn* 4, pp. 9–37.
Silverberg G, & B Verspagen (1995). An evolutionary model of long-term cyclical variations of catching up and falling behind *J Evol Econ* 5, pp. 209–227.
Silverberg, G., & B. Verspagen. (2003). Brewing the future: stylized facts about innovation and their confrontation with a percolation model. ECIS *working paper* 03،06..
Simon H. (1955) A behavioral model of rational choice. Q J Econ 69:99–118.

Tassier, T., & F. Menczer (2001). Emerging small-word referral networks in evolutionary labor markets. *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, 5, pp. 482-492.

Taylor, P. D., & L. Jonker (1978). Evolutionary stable strategies and game dynamics. *Mathematical Biosciences*, 40, pp. 145-156.

Tesfatsion, L. (2001). Guest editorial: Agent-based modelling of evolutionary economic systems' *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, 5.

Tesfatsion, L., & K. Judd (2006) (Eds.). *Handbook of Computational Economics II: Agent based Computational Economics*, North-Holland.

Thebaud, O., & B. Locatelli (2001). Modelling the emergence of recourse-sharing conventions: an agent-based approach. *Journal of Artificial Societies and Social Simulations*, 4, pp. 3-8.

Van den Bergh, J. C. J. M. (2004). Evolutionary modelling in ecological economics, in: J. Proops, and P. Safonov (Eds.) *Modelling in Ecological Economics*. Edward Elgar, Cheltenham.

Weibull, J. W. (1995). *Evolutionary Game Theory*, Cambridge, MA: The MIT Press.

Weibull, J. W. (1998). *What have we learned from evolutionary game theory so far*. working paper, Research Institute of Industrial Economics, Sweden (downloadable at http://swopec.hhs.se/iuiwop)

Weiss, G. (1999). *Multiagent systems. A modern Approach to Distributed Artificial Intelligence*, Cambridge, MA: MIT Press.

Windrum, P. (2004). *Neo-Schumpeterian simulation models*. MERIT, University of Maastricht, The Netherlands.

Windrum, P., & C. Birchenhall (1998). Is life cycle theory a special case?: dominant designs and emergence of market niches through co-evolutionary learning. *Structural Change and Economic Dynamics*, 9, pp. 109-134.

Windrum, P., & C. Birchenhall (2005). Structural change in the presence of network externalities: a co-evolutionary model of technological successions. *Journal of Evolutionary Economics*, 15, pp. 123-148.

Windrum, P., G. Fagiolo & A. Moneta (2007). Empirical validation of agent-based models: alternatives and prospects. *Journal of Artificial Societies and Social Simulations*, 10. (downloadable http://jasss.soc.surrey.ac.uk/108/2/.html)

Witt, U. (1993) (Eds.). *Evolutionary Economics*. Edward Elgar, Cheltenham.

Wooldridge, M. (1999). Intelligent Agents' in Weiss, E. (Eds.) *Multi-agent systems: Amodern approach to distributed artificial intelligence*, Cambridge, MA: MIT Press.