اقتصاد تطبیقی، پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
سال چهارم، شمارهٔ اول، بهار و تابستان ۱۳۹۶، ۳۳-۶۸

نقد روش‌شناختی اقتصاد فیزیک و کاربرد آن در تحلیل نظام توزیعی سرمایه‌داری

سیدعقیل حسینی*

محسن رنانی**

چکیده

مباحث این مقاله حول دو محور اصلی است. محور اول به ملاحظاتی روش‌شناختی در باب استفاده از مفاهیم فیزیکی و ترمودینامیکی در اقتصاد، مقایسهٔ‌آن‌ها با یک‌دیگر، و نقد آن‌ها می‌پردازد. محور دوم به استفاده از رویکرد ترمودینامیک در نظام توزیعی سرمایه‌داری می‌پردازد. در این زمینه، با تکیه بر مفهوم آنتروپی از دیدگاه مکانیک آماری و با استفاده از دو مدل قانون حداکثرسازی آنتروپی (توزیع ثروت بولتزمن) و همچنین مدل ترمودینامیکی فرایند کارنو، توزیع ثروت در نظام سرمایه‌داری تبیین می‌شود. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که بر طبق قانون حداکثرسازی آنتروپی، اقلیّت ثروت‌مند جامعه در وضعیت حداکثر آنتروپی قرار ندارند و درنتیجه، وضعیت آن‌ها انحرافی از وضعیت مانای توزیع ثروت در جامعه است، همچنین طبق مدل کارنو حداکثرسازی کارایی در فرایند تولید مستلزم حداکثرسازی شکاف عایدی طبقات ثروت‌مند با دست‌مزد طبقات کم درآمد است و این امر منجر به افزایش شدید و روزافزون شکاف ثروت در اغلب کشورهای نظام سرمایه‌داری شده‌است.

کلیدواژه‌ها: نظام سرمایه‌داری، توزیع ثروت، ترمودینامیک، آنتروپی، مکانیک آماری.

۱. مقدمه[۱]

در اغلب کشورهای پیشرفتهٔ نظام سرمایه‌داری، از قبیل آمریکا، انگلیس، ژاپن، و آلمان، توزیع ثروت ناعادلانه است و در دست عدهٔ محدودی متمرکز شده است. تحقیقات متعدد

* دانشجوی دکتری اقتصاد دانشگاه اصفهان (نویسندهٔ مسئول)، aqil.hoseiny@gmail.com
** دانشیار گروه اقتصاد دانشگاه اصفهان، renani.m@gmail.com
تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۲/۲۸، تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۴/۱۵

در ۳۰ سال گذشته در آمریکا نشان می‌دهد که ۱ درصد ثروت‌مندترین افراد جامعه بیش از ثلث ثروت جامعه را در اختیار دارند و ۵ درصد ثروت‌مندترین افراد بیش از نیمی از ثروت را در اختیار دارند (Yarlagadda and Das, 2003). تبیین این پدیدار اهتمام جدی اندیشمندان اجتماعی و اقتصادی بسیاری را به خود جلب کرده است و مطالعات بسیاری در این زمینه انجام شده است. یکی از رویکردهایی که، به ویژه در دو دهۀ اخیر، بر تبیین این موضوع تمرکز کرده است رویکرد اکونوفیزیک (econophysics) (اقتصادْ فیزیک یا فیزیک اقتصادی) بوده است.[۲] فردریک سادی، برندۀ جایزۀ نوبل شیمی و از پیش‌گامان حوزۀ فیزیک اقتصادی، چنین رویکردی را «ارگوسافی» (ergosophy) (دانش استنتاجی [از فیزیک]) می‌نامد و آن را چنین تعریف می‌کند: «رویکردی که به اقتصاد، جامعه‌شناسی، و تاریخ با نگاه مهندسی و نه علوم انسانی می‌نگرد» (Soddy, 1934: x). در ابتدا، این رویکرد مفاهیم فیزیک آماری را با مفاهیم اقتصادی مقایسه می‌کند و درواقع، استعاره‌ای از حوزۀ مفهومی فیزیک آماری برای حوزۀاقتصاد به وام می‌گیرد. سپس، روابط میان آن دسته از مفاهیم فیزیکی را به مفاهیم اقتصادی تعمیم می‌دهد. در این مقاله نخست، روش‌شناختی مربوط به رویکرد «اقتصادْ فیزیک»، نقدهای وارد بر آن، و محدودیت‌هایش بررسی و تحلیل می‌شود. سپس، با به‌کارگیری مفاهیم ترمودینامیکی از قبیل انرژی، آنتروپی، کار، و گرما نظام توزیعی سرمایه‌داری را تحلیل می‌کند و تفسیرهایی اقتصادی از مدل‌های ترمودینامیکی را ارائه می‌دهد.

در قسمت دوم، سیر تاریخی نگرش ترمودینامیکی به اقتصاد بررسی می‌شود. در قسمت سوم (بخش روش‌شناسی)، سعی بر آن است تا برخی از زوایای این رویکرد استعاری تحلیل شود. همچنین، در این قسمت نقدهای روش‌شناختی واردشده به مدل‌های فیزیک اقتصادی را ارائه خواهیم کرد. در قسمت چهارم، به سه استعارۀ بنیادی عاریت‌گرفته‌شده از حوزۀ فیزیک در اقتصاد، یعنی تعادل، انرژی، و آنتروپی، خواهیم پرداخت. در قسمت پنجم، بر مطالعات «اقتصادْ فیزیک» تجربی نظر کردیم و در مورد توزیع ثروت و علل نابرابری آن خواهیم پرداخت و همچنین نقدهای واردشده به این رویکردها را به اختصار بیان خواهیم کرد. در قسمت ششم، دربارۀ رویکرد ترمودینامیکی به نظام توزیعی سرمایه‌داری بحث می‌شود. در این قسمت نخست، فیزیک اقتصادی توزیع ثروت (مدل لاگرانژ) بررسی می‌شود و سپس از مدل ترمودینامیکی فرایند کارنو برای تبیین توزیع ثروت در نظام سرمایه‌داری بهره گرفته می‌شود. در قسمت هفتم، نتیجه‌گیری ارائه خواهد شد.

۲. سیر تاریخی نگرش ترمودینامیکی به اقتصاد

اقتصاددانان از زمان فیزیوکرات‌ها (physiocrats) استعاره‌های فیزیکی را در تحلیل زندگی اقتصادی و تولید انسان‌ها به‌کار گرفتند. مکتب فیزیوکراسی را پزشکی فرانسوی، به نام فرانسیس کنه (Francois Quesnay, 1694-1774) پی‌ریزی کرد و فیزیوکرات‌ها، بخشی از نهضت روشن‌گری در فرانسه، در اواخر قرن هیجدهم نخستین کسانی بودند که خود را «اقتصاددان» نامیدند. فیزیوکراسی به معنای «حاکمیت طبیعت» است و مکتب فیزیوکراسی سعی داشت با بصیرت‌های حاصل از علم فیزیک به شناخت پدیدارهای اقتصادی بپردازد (Zencey, 1986). فیزیوکرات‌ها هنگامی به منصهٔ ظهور نشستندکه هنوز حوزه‌ای با عنوان ترمودینامیک شکل نگرفته بود و به‌همین علت، دکتر کنه نظام اقتصادی خویش را بر پایهٔ فیزیک نیوتنی بنیان نهاد.

در پی انقلاب ترمودینامیکی در قرن نوزدهم، سرگئی پودولینسکی(Podolinsky, 1850-1891) پزشک و جامعه‌شناس اکراینی، از پیش‌قراولان به‌کارگیری ترمودینامیک در اقتصاد بود که تفسیری ترمودینامیکی از مباحث مارکس و انگلس ارائه کرد، گرچه مارکس و انگلس چنین تفسیری را چندان خوشایند نیافتند و از آن استقبال نکردند. از دیدگاه پودولینسکی، نیروی کار انسانی موجودی دارای استعداد انباشت انرژی مفید روی زمین است و این استعداد بشر موجب برآورده شدن مقتضیات ترمودینامیکی برای دست‌یابی به ماشین کامل کارنو[۳] است. سپس مدعی شد که چنین ماشین کاملی صرفاً در نظام تولید سوسیالیستی امکان بروز دارد. از سوی دیگر، پودولینسکی به تحویل‌گرایی انرژی‌گرایانه گرایش داشت.بدین معنا که تمامی صورت‌های کار و مصرف انسانی به انرژی محض فرومی‌کاست. بر این اساس، کار انسانی به فرایند ترمودینامیکی محضی تبدیل می‌شود.

کتاب پودولینسکی با عنوان *سوسیالیسم و وحدت نیروهای فیزیکی*[۴] (۱۸۸۱) درک جدیدی از انرژی ارائه می‌کرد. با ترکیب فیزیک، فیزیولوژی، و اقتصاد مارکسیستی کوشید تا محوریت انسان را برای انباشت انرژی روی زمین، به ویژه در کشاورزی «به زبان فیزیک» اثبات کند و مبنایی برای نظریهٔ‌کار ـ ارزش مارکس در چهارچوبی ترمودینامیکی ارائه دهد (Foster and Burkett, 2004).

در نظام سرمایه‌داری، یکی از نخستین دانشمندانی که اهمیت «قانون دوم ترمودینامیک»[۵] یا همان قانون آنتروپی را در اقتصاد دریافت و آن را در کتاب خود با عنوان *ثروت، ثروت مجازی، و بدهی* (۱۹۲۶)به‌کار گرفت فردریک سادی بود، هرچند اقتصاددانان پیام وی را

جدی نگرفتند. سادی که به علت نظریهٔ ایزوتوپ‌ها در سال ۱۹۲۱ جایزهٔ نوبل شیمی را کسب کرد، دههٔ دوم عمر طولانی خود را به مباحث اقتصادی سپری کرد. از آن‌جا که ذهن وی در دگماتیسم نظام آموزش آکادمیک اقتصاد اسیر نشده بود توانست به اقتصاد از زاویه‌ای متفاوت بنگرد. از دیدگاه سادی، اقتصاد متعارف یک شبهِ علم بود؛ زیرا حقایق ترمودینامیکی را نادیده می‌گرفت.

به تعبیر هرمن دالی (Daly Herman)، سادی از پیش‌گامان ایجاد مبنایی ترمودینامیکی برای اقتصاد است. سادی، در مقام یک «اقتصاددان خودآموز»، به مشکلات اقتصادی نظام سرمایه‌داری توجه کرد و به این نتیجه رسید که ریشهٔ این مشکلات در نظام پولی و سیستم بانک‌داری این نظام است. به اعتقاد سادی نمی‌توان دائماً یک قرارداد بشری بی‌ارزش از قبیل رشد خودبه‌خودی بدهی (بهرهٔ مرکب) را در تقابل با قانون طبیعی افزایش آنتروپی، یعنی استهلاک خودبه‌خودی ثروت و دارایی، قرار داد. میزان ثروتِ منفی (همان بدهی) می‌تواند بدون هیچ محدودیتی رشد کند؛ زیرا صرفاً ارقام و مقادیر است. اما میزان ثروت واقعی مقید به محدودیت‌های فیزیکی مختلفی است. اولین و البته مهم‌ترین گام در درک علت وقوع بحران در نظام سرمایه‌داری و بحران‌زایی ذاتی این نظام در این بصیرت اساسی سادی نهفته است (Daly, 1980).

استفادهٔ گسترده از مفهوم آنتروپی، استعاره‌ای بنیادی در اقتصاد، به دههٔ ۱۹۷۰ میلادی بازمی‌گردد. حدود ۴۰ سال پس از سادی، اقتصاددانی رومانیایی به نام نیکولاس جرجسکیو- روگن (Georgescu-Roegen, Nicolas)در کتاب خود با عنوان *قانون آنتروپی و فرایندهای اقتصادی* دلالت‌ها و کاربردهای قوانین اصلی ترمودینامیک و به‌خصوص قانون دوم ترمودینامیک (آنتروپی) را در اقتصاد بررسی کرد. در دورهٔ دوم حیات علمی خویش، بر مدل‌سازی فعالیت اقتصادی با درنظرگرفتن قانون دوم ترمودینامیک (آنتروپی) پرداخت و سرانجام حوزهٔ «اقتصاد زیستی» (bio-economics) را پی‌ریزی کرد. جرجسکیو ــ روگن کوشید تا با نقد معرفت‌شناسی مکانیستیِ اقتصاد نئوکلاسیکی، که پدیدارهای مرتبط با گذشت زمان تاریخی را نادیده می‌گرفت، بین یافته‌های اخیر در باب فرایندهای ترمودینامیکی و عدم تعادل‌های اقتصادی ارتباط ایجاد کند و درنهایت میان انسان و طبیعت صلح و هم‌زیستی برقرار کند (Maneschi and Zamagni, 1997). در قسمت روش‌شناسی به این بحث بازخواهیم گشت. بر خلاف مهجورماندن رویکرد ترمودینامیکی به اقتصاد، به دلیل سیطرهٔ رویکرد مکانیکی بر اقتصاد متعارف در گذشته، در دو دههٔ اخیر حجم گسترده‌ای از مطالعات اقتصادی شکل گرفته‌اند که سعی داشتند با برقراری مشابهت میان

مفاهیم ترمودینامیکی و مفاهیم اقتصادی، به تبیین پدیدارهای اقتصادی بپردازند. فیزیک‌دانان تحقیقات گسترده‌ای در حوزهٔ «اقتصادْ فیزیک» در زمینهٔ مدل‌های بازار انجام داده‌اند که غالباً برای توضیح مبادلهٔ اقتصادی از استعارهٔ فرایند پراکندگی (scattering process) در نظریهٔ جنبشی (kinetictheory) گازها یا مایعات بهره می‌گیرند. از این میان، می‌توان به مطالعات ایسپلاتف و همکاران (Ispolatovet al., 1998)، چاکرابارتی (Chakraborti, 2000 -2002)، فررو (Ferrero, 2004)، سکافتا و همکاران (Scafettaet al., 2004)، و سلانینا (Slanina, 2004) اشاره کرد.

پرسش اساسی روش‌شناختی، که پیش از هر چیز باید در این‌باره به آن جواب داد، مشروعیت عاریت‌گرفتن استعاره‌های ترمودینامیکی برای تبیین اقتصادی است. فون نویمن (VonNeumann) این پرسش را به‌درستی طرح کرده است که آیا می‌توان چنین مقایسه‌ای میان مفاهیم ترمودینامیکی و اقتصاد برقرار کرد (McCauley, 2004). در قسمت سوم به این پرسش می‌پردازیم.

۳. تأملی روش‌شناختی بر کاربرد ترمودینامیک در علم اقتصاد

کاربرد ترمودینامیک و مقولات ترمودینامیکی در اقتصاد عمدتاً به دو گونه می‌تواند باشد؛ کاربرد حقیقی و کاربرد استعاری.

کاربرد حقیقی: در این رویکرد مقولات ترمودینامیکی در معنای واقعی خود به‌کارگرفته می‌شوند. این رویکرد در حیطه‌هایی ازاقتصاد قابل به‌کارگیری است که به موضوعات مشترک با علم فیزیک و ترمودینامیک، یعنی به طبیعت، می‌پردازد. از قبیل اقتصاد تولید، اقتصاد انرژی، اقتصاد محیط زیست، اقتصاد رشد، و اقتصاد منابع طبیعی. در این حوزه‌ها، علم اقتصاد برای شناخت دقیق موضوع خویش به آشنایی با مفاهیم فیزیکی و ترمودینامیکی و تأثیرات آن‌ها در متغیرهای اقتصادی نیازمند است. برای نمونه، در اقتصاد تولید ضرورت دارد که به عامل انرژی و کشش‌های جانشینی آن به عوامل کار و سرمایه توجه شود.

همچنین تغییرات میزان و دسترس‌پذیری منابع طبیعی برای اقتصاد محیط زیست و رشد اقتصادی دارای اهمیت است. بازدهی کاهندهٔ انرژی‌های فسیلی و هزینه‌های فزایندهٔ انرژی‌های غیر فسیلی تأثیری منفی در رشد اقتصادی، بهره‌وری، تورم، و تغییرات تکنولوژیک برجاگذاشته است که با روش‌های متعارف اقتصاد کم‌تر بررسی‌شدنی است و نیازمند آگاهی از قوانین ترمودینامیکی است (Celeveland et al., 1984). در برخی از این

موارد، توجه به این حوزه محدودیت‌های جدیدی در فعالیت‌های انسانی و نظریه‌پردازی اقتصادی اعمال می‌کند. برای نمونه، در مباحث رشد اقتصادی بحث رشد پایدار مطرح است که درواقع محدودیت‌های زیست‌محیطی بر رشد اقتصادی را درنظر می‌گیرد (Daly, 1992).

کاربرد استعاری: استعاره روشی برای دست‌یابی به درکی از پدیدارهای پیچیده و مبهم با کمک مفاهیم شناخته‌شدهٔ قبلی از طریق برقراری شباهت میان پدیدار مورد تحقیق و آن مفاهیم است. به‌عبارت دیگر، «استعاره نحوهٔ بازنمایی ساختاری از یک حوزهٔ مفهومی به حوزه‌ای دیگر است» (McCloskey, 1995). رویکرد استعاری روش سودمندی برای شناخت پدیده‌های پیچیده است. برای نمونه، «انسان اقتصادی» استعاره‌ای است که انسان را مشابه یک ماشین محاسبه‌گر درنظر می‌گیرد و یا «سرمایهٔانسانی» استعاره‌ای است که انسان را به سرمایه تشبیه می‌کند. تابلوی اقتصادی کنه استعاره‌ای است که اقتصاد را به مثابهٔ یک ارگانیسم درنظر می‌گیرد. بنابراین، استعاره در این معنا چیزی فراتر از امری ادبی است، بلکه تلاش ذهنی برای ادراک از طریق برقراری ارتباط مفهومی میان پدیدارهای مورد بررسی با مفاهیم شناخته‌شدهٔ ذهنی است. به تعبیر جرج لاکوف، «نظام مفهومی متداول که ما بر حسب آن می‌اندیشیم و عمل می‌کنیم ماهیتاً استعاری است» (ibid).

استعارهٔ بنیادی استعاره‌ای است که برای تفسیر تجربه‌هایی که از طیف وسیعی از پدیدارها به‌دست آورده‌ایم به‌کارگرفته می‌شود و درک بشر را در زمینهٔ ماهیت انسانی، اجتماع، و فرایندهای طبیعی سامان می‌دهد و گسترش می‌بخشد. استعاره‌های بنیادی در مبنای تأملات عمیق ما قرار دارند و اندیشه‌های ما را در باب جهان شکل می‌بخشند. این استعاره‌ها در بنیان الگوهای ادراک در ذهن ما مستترند و موضع معرفت‌شناختی ما را متضمن‌اند. از سوی دیگر، استعاره‌های بنیادی مورد اجماع و با تجربهٔ همگانی مطابق‌اند تا امکان برداشت‌های شخصی و سلیقه‌ای از آن دشوار باشد (ibid: 44). مکانیسم و ارگانیسم دو «استعارهٔبنیادی» به‌شمار می‌روند. جامعهٔانسانی می‌تواند همانند یک مکانیسم (ساختار ماشینی) یا ارگانیسم (اندام‌وارهٔ زنده) درنظر گرفته شود و در آن تأمل شود. آنتروپی نیز استعاره‌ای بنیادی است که در بسیاری حوزه‌ها از قبیل اقتصاد، سیاست، تاریخ، زیست‌شناسی، اکولوژی، کیهان‌شناسی، نجوم، هستی‌شناسی، و فلسفه در حکم اصل سامان‌دهندهٔ تفکر به‌کارگرفته می‌شود.

در استفادهٔ استعاری از مفاهیم ترمودینامیکی در اقتصاد، نخست متناظر با مقولات ترمودینامیکی از قبیل انرژی، آنتروپی، دما، گرما، و کار متغیرهای اقتصادی به تناسب برخی

ویژگی‌های مشترک یافته می‌شود و سپس نتایج و دلالت‌های مربوط به این مقولات در حوزهٔ ترمودینامیک از قبیل قانون اول (قانون بقای انرژی) و قانون دوم (قانون آنتروپی) بـه اقتصـاد تعمیم داده می‌شود و مبتنی‌بر آگاهی حاکم از پدیدارهای اقتصادی، تفسیری از این نتایج ارائـه می‌شود. این شیوه همانند کاربرد ریاضـیات در علـم اقتصـاد متعـارف اسـت کـه بـه منظـور صورت‌بندی و کمّی‌سازی مفاهیم کیفی اقتصادی از قبیل مطلوبیت به‌کار گرفته می‌شود.

اما به چه علتی رفتار انسان‌های مختار منطبق با مدل‌های ترمودینامیکی منطبق با اتم‌های فاقد شعور و اختیار باشد؟ اقتصاددانان با تمسک به دو رویکرد مبنایی متفاوت حکم جـواز استفاده از مدل‌های فیزیکی را برای حوزهٔ اقتصاد صادر کرده‌انـد؛ رویکـرد فیزیوکراسـی و رویکرد ابزارگرایانه.

رویکرد فیزیوکراسی: یک رویکرد بـرای جـواز اسـتفاده از مفـاهیم حـوزهٔ فیزیکـی و ترمودینامیکی به حوزهٔ اقتصاد رویکرد فیزیوکراسی است. از دیـدگاه کنـه اصـول بـدیهی و قوانین طبیعی در عرصهٔ اجتماعی نیز هم‌چون جهان فیزیکـی کـاربرد دارد و میـان ایـن دو حوزه ناسازگاری نیست. درنتیجه، قوانین وضعی انسانی بایسـتی قـوانین طبیعـی را برتابـد: برای فیزیوکرات‌ها نظم طبیعی جامعه زیر مجموعـه‌ای از فیزیـک بـود. کنـه بـه پیـروی از دکارت و مالبرانش جهان را به مثابهٔ ماشینی غول‌پیکر که با نظم هماهنگ و مکانیستی خـود در حال حرکت است درنظر می‌گرفت که این نظم کامل است و نیازی به دخالـت بیرونـی ندارد و بر همین مبنا ایدهٔ «بگذار بگذرد» (laissez faire) را ارائه کرد(Zencey, 1986).

رویکرد ابزارگرایانه: راه‌حل دیگـر بـرای جـواز اسـتفاده از مفـاهیم ترمودینـامیکی در اقتصاد، برخورد ابزارگرایانه است که کسانی چون میلتون فریدمن از آن حمایت کردند. این شیوه درواقع پرسش اساسی را منحل می‌کند و صورت مسئله را پاک می‌کند بدین‌صـورت که صحت فرض‌های اولیه اهمیتی ندارد و آن‌چه اهمیت دارد اعتبار پیش‌بینی‌های ارائه‌شدهٔ نظریه است. بر این اساس، می‌توان فرض کرد موجودات انسانی همانند ذرات گاز در یـک سیستم ترمودینامیکی هستند؛ سپس خواص چنین سیستم تعیّن‌گرایانه (deterministic) را به جامعهٔ انسانی بسط داد و نتایج را آزمایش کرد. در صورت تأیید تجربی نتایج، مـی‌تـوان از رویکرد ترمودینامیکی برای اقتصاد استفاده کرد، اما چنین رویکردی سبب غافل‌شدن نظریه از هدفِ تبیین واقعیت می‌شود. هدف اغلب کسانی که از رویکرد ترمودینامیکی در اقتصـاد استفاده کرده‌اند، از قبیل سادی و جرجسکیو-روگن، تبیین پدیـدارهای اقتصـادی و یـافتن زنجیره‌های علّی بین این پدیدارها به کمک چهارچوب‌های ترمودینـامیکی بـوده اسـت. در

این‌صورت، پرسش اساسی مذکور گریبان‌گیر آن‌ها خواهد بود که به چه اعتباری قواعد حاکم بر حوزهٔ مربوط به پدیدارهای همسان و بی‌درک و بدون اختیار را به حوزهٔ انسانی، که فاقد این ویژگی‌هاست، تعمیم داده‌اند.

۱.۳ نقد روش‌شناسی رویکرد استعاری مدل‌های فیزیک اقتصادی

انتقاد اساسی که به رویکرد «اقتصادْ فیزیک» وارد است استفادهٔ نامناسب از استعاره است.[۶] استعاره هنگامی کاربرد دارد که مفاهیم دو حوزه ویژگی‌های بنیادین مشابهی داشته باشند به نحوی که قیاس مجاز باشد. چنان‌که پل ساموئلسن می‌گوید:

> واقعاً هیچ‌چیز نگران‌کننده‌تر از این نیست که یک اقتصاددان یا مهندس سعی کند که شباهتی تحمیلی میان مفاهیم فیزیکی و مفاهیم اقتصادی برقرار نماید. چه بسیار مقالات تأسف‌برانگیزی داوری کرده‌ام که در آن نویسنده به دنبال یافتن مشابهی برای آنتروپی بود ... (ibid: 2).

پدیدارهایی از قبیل توزیع ثروت چون پیامد تعاملات پیچیده در اقتصاد مدرن است، بنابراین مکانیک آماری نمی‌تواند تبیین دقیقی از آن عرضه کند و این مسئله به‌خوبی در ضعف تئوریک مقالات این حوزه و تمسّک به صورت‌گرایی (فرمالیسم) ریاضی برای پوشش این قصور تئوریک مشهود است. برای نمونه، برخی از نوسانات پارامترهای توزیع، تبیین‌کنندهٔ اختلاف ثروت میان شهروندان یک کشور در سطوح گوناگون توسعه است و ناشی از ماهیت واقعی پدیدارهای اقتصادی است و به هیچ‌عنوان قابل تحویل و فروکاست به مفاهیم فیزیکی محض از طریق جایگزینی ساده‌لوحانهٔ مفاهیمی از این حوزه، از قبیل انرژی به جای پول، نیستند.[۷]

انتقاد دیگری که به مدل‌های فیزیک اقتصادی وارد است این که گرچه این مدل‌ها منطقاً و به‌لحاظ ریاضی درست به‌شمار می‌روند و همچنین ادعا می‌شود که شواهد تجربی گسترده‌ای در تأیید آن‌ها در دست است، ساده‌سازی‌های تصریح‌نشده‌ای را دربر دارند که کاربرد آن‌ها را با محدودیت مواجه می‌کند و به‌همین دلیل بعضی نتایج آن‌ها گمراه‌کننده است. بر این اساس، نتایج این مدل‌ها برای تعمیم به جهان واقعی معتمد نیستند. این ساده‌سازی‌ها مبتنی‌بر گزاره‌های تجربی است که به‌سادگی رد می‌شوند. از مهم‌ترین ساده‌سازی‌ها، درنظرنگرفتن سیستم قیمتی به منزلهٔ مکانیسم تخصیص اقتصادی است. در بسیاری از این مدل‌ها، اساساً سیستم تخصیص منابع وجود ندارد. همچنین در اکثر این

مطالعات درک صحیح و دقیقی از پدیدارهای اقتصادی نمی‌شود. برای نمونه، چاترجی و همکاران (۲۰۰۵) مدعی هم‌ارزی میان پول، درآمد، و ثروت شده‌اند، در حالی‌که از دیدگاه اقتصادی تفاوت مفهومی دارند. همچنین محققین فیزیک اقتصادی بدون توجه به بسیاری از مفاهیم پایه‌ای اقتصادی از قبیل منفعت طرفینی از مبادله، مفهوم هزینهٔ فرصت، سلایق و رجحان‌های متفاوت مصرف‌کنندگان، و تعادل به مفهوم برابری عرضه و تقاضا استعاره‌های فیزیکی را به‌کار گرفتند (Anglin, 2005).

استفادهٔ نابجا از استعاره‌های فیزیکی به‌خوبی در مدل‌های تحلیل توزیع ثروت با تکیه بر مکانیک آماری[۸] (که در قسمت ۵ و ۶ این مقاله ارائه می‌شوند) مشهود است. در قسمت بعد این رویکرد را به‌نقد می‌کشیم.

۲.۳ نقد تحویل‌گرایی روش‌شناختی در مکانیک آماری

انتقاد اساسی از مدل‌هایی که از استعاره‌های حوزهٔ مکانیک آماری استفاده می‌کنند «تحویل‌گرایی روش‌شناختی» است. منظور از تحویل‌گرایی روش‌شناختی (methodological reductionism) (فروکاست‌گرایی) این است که کلْ چیزی جز مجموع افراد نیست و پویایی‌های کلان از طریق پویایی‌های خُرد توضیح‌دادنی است. در چنین نگرشی، عوامل فردیِ قائم‌به‌ذات هستند که شناخت رفتار آن‌ها به صورت مجزا و جدای از سیستم امکان‌پذیر است. شناخت کل سیستم نیز از جمع رفتارهای خرد امکان‌پذیر خواهد بود. اقتصاد متعارف با پیروی از مکانیک کلاسیک نیوتنی سعی می‌کند رفتارهای جمعی را با تحلیل عناصر منفرد آن تبیین کند. این مسئله تنها در صورتی صحیح است که عوامل خرد تعامل متقابل با یک‌دیگر نداشته باشند و رفتارهایشان بر یک‌دیگر اثر نگذارد. یا در صورتی‌که اطلاعات کامل باشد و عواملْ آن را به‌صورت عقلایی پردازش کنند. در صورت برقراری تعامل بین عوامل فردی، کل متفاوت از مجموع افراد خواهد بود. در اقتصاد متعارف تنها تعامل ممکن بین عوامل خرد، تعامل غیرمستقیم از طریق سیستم قیمت‌هاست (Chatterjee et al., 2005: 244).

یکی از وجوه تحویل‌گرایی در اقتصاد متعارف، فرض «ثبات سایر شرایط» (certerispairibus) است که بر اساس آن تحلیل‌گر ضرورتاً جهان اقتصادی را به اجزا یا موضوعات محدود و بسته و درخور تفکیکی فرومی‌کاهد و به این ترتیب درک خود را نیز از آن محدود می‌کند. تحلیل‌گر غافل از این است که از طریق تحلیل خود، نه‌تنها به طور گسترده‌ای در واقعیت اجتماعی ـ اقتصادی دخالت می‌کند، بلکه خود نیز بخشی از مسئله است.

۱.۲.۳ فیزیک کوانتومی: رهایی از تحویل‌گرایی روش‌شناختی

با رخداد انقلاب کوانتوم در فیزیک نظری، فرضیهٔ تحویل‌گرایی (فروکاست‌گرایی) حتی در حوزهٔ فیزیک متزلزل شد. در حالی‌که در مکانیک کلاسیک رفتار و ویژگی‌های اجزای تعیین‌کنندهٔ ویژگی‌های کلسیستم تلقی می‌شد، در مکانیک کوانتومی عکس این مطلب صحیح است: «هر عنصر از جهان اجتماعی با کل نظام آن پیوندی دارد که به طور معکوس نیز برقرار است، به عبارت دیگر هر جزء معنایی جدا از کل ندارد» (کارستن، ۱۳۷۰: ۹۱).

«کوانتوم» به یک واحد بنیادی انرژی اطلاق می‌شود. در نظریهٔ کوانتوم اثبات می‌شود که انتقال یا تبدیل انرژی، در مقیاس اتمی یا ملکولی، نه به‌طور پیوسته بلکه به‌گونه‌ای ناپیوسته و با منشی غیرجبری به صورت واحدهایی ممکن است که انیشتین آن‌ها را «کوانتا» یا بستهٔانرژی (فوتون) می‌نامید. این فرضیه مفاهیم کلاسیک اشیای صلب و جبرگرایی بی‌چون و چرای قوانین طبیعت (استعارهٔ مکانیستی) را به زیر سؤال برد و در آن بر روابط متقابل تمام «اشیا» تأکید شد. به این معنی که اجزای منفرد به صورت جوهرهای جداگانه هویتی ندارند.

از اساسی‌ترین اصول فیزیک کوانتومی «اصل عدم‌قطعیت» (principle uncertainty) هایزنبرگ است که می‌گوید نمی‌توان همهٔ خواص یک سیستم را دقیق شناخت. به این معنی که هرگز نمی‌توان با دقت بسیار موقعیت و اندازهٔ حرکت گشتاور یک ذره (یک متغیر اقتصادی) را باهم شناسایی کرد. بر طبق این اصل، برخلاف فیزیک کلاسیک روابط دیگر معنای تعیّن‌گرایانه و جبری خود را از دست می‌دهند و از این جهت با ماهیت اختیاری و ارادی جهان اقتصادی سازگارتر می‌شوند. «اصل عدم‌قطعیت» دارای این دلالت در حوزهٔ اقتصاد است که شناخت ما از جهان پیرامون چه محدودیت‌هایی دارد و این‌که شناخت دقیق همهٔ مشخصات یک پدیده در حالت ایستا، باعث شناخته‌نشدن پویایی‌های آن می‌شود. قوانین اقتصاد، با نزدیک‌ترشدن به واقعیت، قطعیت خود را از دست می‌دهند و هرچه قطعیت آن‌ها بیش‌تر شود، از واقعیت دورتر می‌گردند.[۹] به موجب نظریهٔکوانتوم، از آن‌جا که اجزای منفرد معنایی جدا از کل ندارند، در تحلیل‌های اقتصادی می‌بایست تصویر اندام‌گونه‌ای از کل مدنظر قرار گیرد. برای مثال، وسلی میشل دریافت برای آن‌که چرخه‌های کسب و کار شناخته شود، می‌بایست از نظام سرمایه‌داری شناختی کامل داشت. بنابراین، فیزیک کوانتومی استعاره‌ای ارگانیستی است و نه مکانیستی (کارستن، ۱۳۷۰: ۹۱).

نیلزبور اصل عدم‌قطعیت را با واژهٔ «کامل‌کنندگی» (complementarity) توضیح داد. به‌کارگیری این تفسیر در اقتصاد به این معنی خواهد بود که نظام اجتماعی ــ اقتصادی را نمی‌توان به صورت تصویری واضح و شفاف و یگانه دید، بلکه می‌بایست به وسیلهٔ یک

دیدگاه هم‌پوشش، کامل‌کننده، و گاه حتی پارادکس‌گونه شناخته شـود. بـه عبـارت دیگـر، اشیای جداگانه و مستقل وجود ندارند. در مقیاس کوانتوم، جهان را نمـی‌تـوان بـه اجـزای مستقل تقسیم کرد، هر جزء رابطهٔ علت و معلولی با دیگری برقرار می‌کند؛ زیرا هر چیز، در مقیاس اتمی، کلی یک‌پارچه است. بنابراین، فیزیک کوانتوم حاکی از یگانگی بنیـانی جهـان است و نشان می‌دهد که نمی‌توان جهان را به کوچک‌ترین واحدهای موجودِ مستقل تجزیه کرد، بلکه بافتی پیچیده از روابط بین اجزای مختلف یک کل آشکار می‌شـود. ایـن روابـط به‌ضرورت مشاهده‌گر و محقق را نیز دربر می‌گیرد. انسان مشاهده‌گر آخرین حلقهٔ زنجیـرهٔ فرایند مشاهده را تشکیل می‌دهد و خواص هر شیء اتمـی فقـط در شـرایطی درک‌شـدنی است که کنش متقابل شیئی با مشاهده‌گر ملحوظ شده باشد. در نظریهٔ‌کوانتوم، تأکید می‌شود که وجود انسان مشاهده‌گر نه‌تنها برای مشاهدهٔ مشخصه‌های یک شیء، یک نظام، و یا یک پارادایم ضروری است، بلکه حضورش برای تعریف آن‌ها نیز لازم است. مشخصه‌های هـر شیء، نظام، و یا پارادایم تنها در چهارچوب کنش متقابل آن‌ها با مشاهده‌گر معنی مـی‌یابـد. به تعبیر هایزنبرگ، «...آن‌چه ما می‌بینیم طبیعت فی نفسه نیسـت، بلکـه جلـوهٔ طبیعـت بـر حسب شیوهٔ تحقیق ماست» (کارستن، ۱۳۷۰: ۹۲). این رویکرد دلالت‌هـای روش‌شـناختی مهمی، به‌ویژه برای رویکرد پوزیتیویستی و عقیدهٔ ارزش ـ خنثایی در علم اقتصاد، دارد کـه بر طبق آن مشاهده‌گر را در فرایند تحقیق خنثا درنظر می‌گیرد و ارزش‌های وی را بی‌ارتباط با فرایند تحقیق تلقی می‌کند. در فیزیک کوانتومی، مشاهده‌گرِ بی‌طرف معنا ندارد و مواضـع ایدئولوژیکی و متافیزیکی محقق در فرایند تحقیق دخیل خواهد بود. از دید بوم، گزاره‌های متافیزیکی نظیر اخلاق و عرف همان‌قدر بـرای علـم اهمیـت دارنـد کـه شـواهد تجربـی. بدین‌ترتیب، فیزیک اقتصادی در صورت ابتنا بر مکانیک کوانتومی به جای مکانیک آمـاری می‌تواند از بند فروکاست‌گرایی[۱۰] و همچنین پوزیتیویسم و افسانهٔ ارزش‌ـخنثایی رها شود.

۴. سه استعارهٔ بنیادی در اقتصاد: تعادل، انرژی، و آنتروپی

۱.۴ استعارهٔ تعادل: مقایسـهٔ تطبیقـی تعـادل مکـانیکی در تقابـل بـا تعـادل ترمودینامیکی و تعادل آماری

اقتصاد متعارف از بدو پی‌ریـزی توسـط مهندسـانی از قبیـل لئـو والـراس، ویلفـرد پـارتو، فرانسیس اجورث، و استنلی جونز برای مطالعهٔ پدیدارهای اقتصادی از قبیل تعادل بازاری از استعاره‌های مکانیستیِ وام گرفت و از مکانیک نیوتنی (از قبیل تعادل خودکار) بهره گرفـت (کارستن، ۱۳۷۰: ۹۱). به موازات شکل‌گیری رویکـرد ترمودینـامیکی و آمـاری در فیزیـک

نظری، برخی از اقتصاددانان از قبیل پودولینسکی، فردریک سادی، جرجسکیو ــ روگن، و بسیاری از محققان معاصر در حوزهٔ «اقتصادْ فیزیک» سعی کردند مفاهیم اقتصادی از قبیل تولید و توزیع ثروت را با استعاره‌هایی چون انرژی، آنتروپی، و توزیع آماری تبیین کنند. مطالعهٔ تعادل مکانیکی (تعادل به منزلهٔ موازنهٔ نیروها در یک سیستم ایستا) در فیزیک نیوتنی قرن هفدهم به‌کار گرفته شد، اما رویکرد آماری به تعادل از قرن نوزدهم مطرح شد و به دنبال ارائهٔ استنباطی دربارهٔ رفتارهای قابل مشاهدهٔ‌کل سیستم بر مبنای استنتاج آماری از حالت‌های اجزای سیستم بود. متعاقب رویکرد اتخاذشده توسط ویلارد گیبس، ملاحظه شد که تعادل آماری هنگامی رخ می‌دهد که آنتروپی سیستم حداکثر شود. انتظار می‌رفت که این روش‌های آماری، مبنایی طبیعی و ریاضی (مقداری) برای نظریهٔ اجتماعی و به طور خاص اقتصاد فراهم آورند (مثلاً در قالب نظریهٔ اقتصاد خرد). اما با ملاحظهٔ تاریخ تفکر اقتصادی، درمی‌یابیم تمایل شدید و افراطی اقتصاددانان اولیه به مطالعهٔ مدل‌های فیزیکی خود را در مفهوم فردی از تعادل، که استعاره‌ای به وام‌گرفته از مکانیک است، ظاهر ساخت. بنیادگذاران اقتصاد ریاضی مدرن غالباً مهندسانی بودند که بیش از آن‌که به مفاهیم فیزیک آماری توجه کنند بر فیزیک نیوتنی تمرکز کردند. در تعادل والراسی، هر زیرسیستمی به صورتی تعیّن‌گرایانه (دترمینیستی) مطلوبیت یا سود خویش را در مواجهه با قیمت‌های یک‌سانی که توسط حراج‌گر تعیین می‌شود حداکثر می‌سازد. چنین تعادلی به صورت لحظه‌ای و بدون دورهٔ گذار محقق می‌شود. پس از تعادل تمامی افرادی که رجحان و دارایی یک‌سان دارند در وضعیت یک‌سانی قرار خواهند داشت.[۱۱]

مفهوم والراسی تعادل در تقابل آشکار با مفهوم ترمودینامیک آماری از تعادل قرار دارد که در آن توزیع انرژی تعادلی زیرسیستم‌ها از طریق مبادلات انرژی میان این زیرسیستم‌ها تعیین می‌شود و طی دورهٔ گذار با یک‌دیگر تعامل یا تصادم دارند تا به وضعیت تعادلی تقرب یابند. پس از تعادل ملاحظهٔ حتی دو جزء یک‌سان نیز عجیب است، با وجود این‌که از وضعیت یک‌سانی شروع کرده‌اند. بازار، در مفهوم ترمودینامیکی از تعادل، داراییِ اولیه از کالاها را از طریق فرایندی نامتمرکز مبادله (برخلاف سیستم متمرکز حراج‌گر والراسی) بین افراد توزیع می‌کند و این مبادله می‌تواند در قیمت‌های غیرتعادلی نیز انجام پذیرد. رویکرد آماری جایگزین مناسبی برای مفهوم تعادل بازاری ارائه می‌دهد؛ قیمت‌های بازاری را می‌توان قیمت‌های سایه‌ای ضریب لاگرانژی به‌دست‌آمده از معادلهٔ لاگرانژ حداکثرسازی آنتروپی مقیّد (با درنظرگرفتن قید تسویهٔ بازار) درنظر گرفت (Foley, 1996).

بنابراین، می‌توان گفت که تعادل آماری تعادلی است که در یک اقتصاد بستهٔ مبتنی بر

مبادلات تصادفی پولی به‌دست می‌آید. اعتقاد فارژون و ماکاور این است که قانون بولتزمن (تعادل آماری) می‌تواند برای پیش‌بینی تعادل کلان، سیستمی به‌کار گرفته شود که در مقیاس خرد از خود رفتاری تصادفی و نامنظم نشان می‌دهد (Farjoun and Machover, 1983). اما هنگامی‌که عوامل اقتصادی به جای مبادلات تصادفی از استراتژی‌های معینی از قبیل حداکثرسازی توابع مطلوبیت استفاده می‌کنند، تعادل آماری دیگر مصداق ندارد. در این وضعیت، مفهوم تعادل مشابه تعادل مکانیکی در فیزیک است که از طریق حداکثرسازی انرژی به‌دست می‌آید. البته درصورتی‌که اجزا زیاد باشند تعادل آماری مفهوم مرتبط‌تری به‌نظر می‌رسد، حتی هنگامی‌که عوامل اقتصادی کوچک ناهمگن از رفتار معینی تبعیت کنند. در این وضعیت، مبادلهٔ‌پول عملاً در حالت کلی تصادفی خواهد بود. همان‌گونه که در فیزیک اگر برخورد اتم‌ها از معادلات حرکتِ کاملاً دترمینیستی (معین) تبعیت کند، مبادلهٔ انرژی آن‌ها عملاً به علت پیچیدگی سیستم تصادفی خواهد بود و منجر به قانون بولتزمن ـ گیبس خواهد شد (Cockshott et al., 2009).

۲.۴ مفهوم آنتروپی

آنتروپی، در عین وضوح، مفهومی بسیار دیریاب و غیراجماعی است. کلاسیوس، پریگوژین، گلمن، و بسیاری دیگر از بزرگان ترمودینامیک تفسیرهایی متفاوت و گاه متضاد از آنتروپی ارائه کرده‌اند. رودلف کلاسیوس (۱۸۶۵) کلمهٔ‌آنتروپی را از ریشهٔ‌یونانی «tropos» به معنای «تبدیل» اخذ کرد. البته، آنتروپی نظر به نوع خاصی از تبدیل دارد. تبدیلی که طی آن یک چیز ارزش‌مند از قبیل انرژی «آزاد»، نظم، و یا معنا از دست می‌رود (Zencey, 1986). آنتروپی شاخصی برای تنزل کیفیت و ازهم‌پاشیدگی و یا بی‌نظمی است و مقیاسی برای سنجش آن قسمت از انرژی سیستم است که در دسترس برای کار مکانیکی نیست. انرژی در دسترس محدود است و به‌صورت برگشت‌ناپذیر در محیط تلف می‌شود، گرچه به‌رغم قانون اول ترمودینامیک (قانون بقای ماده و انرژی) ماده و انرژی در کل نابود نمی‌شوند (Maneschi and Zamagni, 1997). به نظر جرجسکیو ـ روگن، «ترمودینامیک درواقع فیزیک ارزش اقتصادی است ... و قانون آنتروپی اقتصادی‌ترین قانون طبیعت در میان سایر قوانین طبیعی است» و درنتیجه، «اگر یک حوزه بایستی استعارهٔ‌آنتروپی را درنظر بگیرد، آن حوزه اقتصاد است» (Georgescu-Roegen, 1971: 177). به اعتقاد جرجسکیو ریشهٔ اصلی «کمیابی اقتصادی» آنتروپی است. توضیح آن‌که ماده ـ انرژی در یک فرایند اقتصادی به صورت آنتروپی پایین وارد می‌شوند و به صورت آنتروپی بالا از آن خارج می‌شوند. به عبارت

دیگر، ماده و انرژی در فرایند تولید اتلاف می‌شوند و از شکل‌های کاربردی (انرژی آزاد) به شکل‌های کم‌فایده‌تر (با آنتروپی بالا) تبدیل می‌شوند. بدین‌ترتیب، مادهٔ در دسترس برای تولید پیوسته کم‌تر و کم‌تر می‌شود و به دلیل آن‌که زمین، دست‌کم از حیث ماده، سیستمی بسته است، جرجسکیو نتیجه می‌گرفت که آنتروپی محدودیت اصلی و نهایی روی عرضه است و ریشهٔ اصلی کمیابی است (Burkett, 2006). از این‌رو، افزایش بی‌رویهٔ آنتروپی مهم‌ترین مشخصهٔ دردسرساز نظامات تکنولوژیکی مدرن با توجه به محدودیت‌های زیست‌محیطی و منابع است. پرسش اصلی پیش‌روی اقتصاد زیستی این است که «نرخ مناسب افزایش آنتروپی در بلندمدت بایستی چقدر باشد» (Mayumi, 2001).

۱.۲.۴ صورت‌بندی ترمودینامیکی از آنتروپی

از دیدگاه ترمودینامیکی، آنتروپی به‌وسیلهٔ رابطهٔ $S = Q/T$ نشان داده می‌شود که بر طبق آن میزان تغییرات آنتروپی یک سیستم (S) به تغییرات گرما (Q) در یک دمای مطلق (T) بستگی دارد. بر طبق این رابطه، افزایش گرمای یک سیستم همواره آنتروپی آن سیستم را افزایش می‌دهد که البته مقدار آن رابطهٔ معکوسی با دمای اولیهٔ سیستم دارد. کلاسیوس(Clausius) بر مبنای همین مفهوم از آنتروپی، قانون دوم ترمودینامیک را ارائه کرد: آنتروپی هر سیستم بسته در طول زمان افزایش می‌یابد. قانون دوم ترمودینامیک در هر فرایند خودبه‌خودی مصداق دارد و آنتروپی در چنین فرایندی در حال افزایش است.

لازم به ذکر است که، به‌جز تفسیر آنتروپی به‌منزلهٔ بی‌نظمی، تفسیرهای متفاوت دیگری از مفهوم آنتروپی ارائه شده است. آنتروپی بر طبق تعریف کلاسیوس «گرمای از دست‌رفته» (lost heat) یا «انرژی دور از دسترس» (unavailable energy) نیز تفسیر می‌شود. بر این اساس، آنتروپی به مفهوم اندازهٔ کلی اتلاف حرارت یا ماده است و به عبارت شهودی‌تر، درجهٔ ناخالصی (dirtiness) حرارت یا ماده است. در زندگی روزمره، حرارتِ با آنتروپی بالا را به عنوان اتلاف حرارت، و مادهٔ با آنتروپی بالا را به عنوان اتلاف مواد منظور می‌کنیم. بن‌نعیم (Ben-Naim) با این استدلال که مفاهیم نظم و بی‌نظمی مفاهیمی فازی و مبهم و ذهنی‌اند و تعریف کاملاً دقیقی ندارند، تفسیر آنتروپی به عنوان بی‌نظمی را نقد می‌کند و تفسیر شانون از آنتروپی را می‌پذیرد؛ آنتروپی به مثابهٔ درجهٔ جهل (ignorance) یا نااطمینانی یا فقدان اطلاعات است. بر این اساس، گاهی به اطلاعات «آنتروپی منفی» (negentropy) نیز اطلاق می‌شود (Ben-Naim, 2007).

۲.۲.۴ مفهوم آنتروپی از دیدگاه مکانیک آماری

در سال ۱۸۶۶، فیزیک‌دان جوانی به نام لودویگ بولتزمن در ۲۲ سالگی مقاله‌ای با عنوان «در باب مفهوم مکانیکی قانون دوم ترمودینامیک» منتشر کرد. بولتزمن آنتروپی را نه به عنوان اتلاف بازگشت‌ناپذیر انرژی در یک سیستم ترمودینامیکی بلکه به عنوان میزانی که انرژی جنبشی اجزای منفرد در یک سیستم به سمت انرژی جنبشی متوسط کل اجزای درون سیستم میل کرده‌اند تفسیر کرد. تمایل ذاتی اجزا این است که با یک‌دیگر ممزوج شده و انرژی جنبشی خود را با یک‌دیگر از طریق برهم‌کنش تسهیم کنند تا هنگامی‌که تمامی اجزا صاحب انرژی جنبشی مشابهی شوند. در چنین وضعیتی، تفاوت انرژی بین اجزا (پتانسیل کار) از بین رفته و سیستم به حداکثر آنتروپی رسیده است (Zencey, 1986).

در مکانیک آماری در ابتدا توزیع‌های مختلف انرژی بین ذرات مطرح می‌شود و سپس تعداد میکروحالت‌های هر توزیع را محاسبه می‌کنند. یک میکروحالت (وضعیت خُرد) به آرایشی گفته می‌شود که در آن مشخص است چه اتم‌هایی در چه تراز انرژی معینی قرار دارند. اساس کار در مکانیک آماری این است که با محاسبهٔ میکروحالت‌های هر توزیع و سپس محاسبهٔ‌کل میکروحالت‌های ممکن، محتمل‌ترین توزیع انرژی را معین می‌کنند و آن‌را وضعیت تعادلی درنظر می‌گیرند (دگدیل، ۱۳۸۲).[۱۲] طبق قوانین جایگشت، هرگاه تعداد کل ذرات مجموعه N باشد و در تراز انرژی i تعداد n_i ذره قرار داشته باشد، تعداد کل میکروحالت‌های این توزیع برابر خواهد بود با:

$$P = \frac{N!}{n_1!\, n_2! \ldots n_i! \ldots}$$

بولتزمن پیشنهاد کرد در دراز مدت، از آن‌جا که هر میکروحالت با احتمال یک‌سان رخ خواهد داد، احتمال رخداد هر توزیع متناسب با تعداد میکروحالت‌های آن خواهد بود. از این‌رو، توزیع متناظر با بزرگ‌ترین P محتمل‌ترین توزیع خواهد بود. در مجموعه‌های بسیار بزرگ (هنگامی‌که N به سمت بی‌نهایت می‌رود) P مربوط به توزیع دارای بالاترین احتمالْ بسیار بزرگ‌تر از سایر توزیع‌های محتمل دیگر خواهد شد تا جایی که احتمال آن به یک نزدیک می‌شود. بنابراین، سیستم رهاشده به حال خود به احتمال قریب به یقین به سمت چنین توزیعی میل می‌کند و از این‌رو چنین وضعیتی معادل تعادل ترمودینامیک است. از آن‌جا که در یک سیستم منزویِ در حال تعادل، تابع آنتروپی S نیز حداکثر است، بنابراین ارتباط مستقیمی بین P و S برقرار است. این همان کشف بنیادین بولتزمن است که محور مکانیک آماری را تشکیل می‌دهد. بولتزمن ثابت کرد:[۱۳]

$$S = k.\ln P_{max}$$

بر طبق قانون دوم ترمودینامیک، سیستم با انرژی ثابت همیشه تمایل دارد از حالت کم‌تر محتمل به حالت بیش‌تر محتمل درآید و تعادل متناظر با حالت دارای حداکثر احتمال (P_{max}) است. k در این رابطه ثابت بولتزمن است. از آن‌جا که با بزرگ‌تر شدن N تعداد میکروحالت‌های وضعیت تعادلی آن‌قدر زیاد می‌شود که لگاریتم آن به سمت لگاریتم کل میکروحالت‌های مربوط به تمام توزیع‌ها میل می‌کند، بنابراین گاهی به جای P_{max} تعداد کل میکروحالت‌ها یعنی W را به‌کار می‌برند:

$$S = k.\ln W$$

از دیدگاه مکانیک آماری نیز می‌توان تفسیرهای مختلفی برای آنتروپی ارائه کرد. در این رویکرد نیز برخی آنتروپی را «معیاری از بی‌نظمی سیستم» می‌دانند؛ آنتروپی اغلب به معنای بی‌نظمی بیش‌تر است و آنتروپی کم‌تر به معنای منظم‌تر بودن مجموعه است. افزایش آنتروپی در تغییرات خودبه‌خودی و برگشت‌ناپذیر به دلیل سهولت حرکت به سمت بی‌نظمی بیش‌تر تعبیر می‌شود؛ زیرا راه‌های مختوم به بی‌نظمی به مراتب بیش‌تر از راه‌های مختوم به نظم است. بر طبق تفسیری دیگر، آنتروپی به پخش‌شوندگی (spread) (میزان پراکندگی و گسترش ذرات درون مجموعه) تعبیر می‌گردد. با این نگرش، آنتروپی زیاد به معنای پراکندگی و توزیع ذرات در گسترهٔ وسیعی از ترازهای انرژی است.

۱.۲.۲.۴ تعادل آماری: اصل حداکثر آنتروپی (اصل لاگرانژ)

چنان‌که مشخص شد وضعیت تعادلی در رویکرد آماری وضعیت دارای حداکثر آنتروپی است. بنابراین، می‌توان با حداکثرسازی مقید آنتروپی توزیع تعادلی را پیدا کرد. صورت‌بندی ریاضی تحلیل‌های تعادلی آماری تحت عنوان اصل حداکثر آنتروپی شناخته می‌شود. اصل حداکثر آنتروپی توزیع‌های احتمال را با توجه به محدودیت‌های شناخته‌شده روی گشتاور به‌دست می‌آورد. به عبارت دیگر، این اصل تمامی توزیع‌های شناخته‌شده را به‌دست می‌آورد. مثلاً، برای متغیری که n حالت مختلف بتواند اختیار کند حداکثر آنتروپی چنین به‌دست می‌آید:

$$\begin{cases} max\ H : & -\sum_i p_i \log p_i \\ s.t \quad : & \sum_i p_i = 1 \end{cases} \qquad (۱)$$

بر طبق قضیهٔ تراکم (theorem concentration)، توزیعِ دارای حداکثر آنتروپی نه فقط «محتمل‌ترین حالت» به معنای داشتن بیش‌ترین تعداد ترکیب‌هاست، بلکه اکثریت قریب به اتفاق توزیع‌های محتمل را دربر می‌گیرد خصوصاً هنگامی‌که تعداد حالت‌های متغیر مورد نظر بیش‌تر باشد.

۵. مروری بر مطالعات انجام‌شده در باب توزیع ثروت در تعادل آماری

ماهیت مسائل در «اقتصادْ فیزیک» ریشه در حوزهٔ مکانیک آماری دارد که بولتزمن آن را پی‌ریزی کرد (Mimkes and Willis, 2005). هدف فیزیک‌دانان اقتصادی بازتولید قانون‌مندی‌های آماری است که اقتصاددانان از آن چشم‌پوشی کرده‌اند، همچنین از این مدل‌ها به منظور ارائهٔ پیشنهادهایی برای سیاست‌گذاری عمومی که منجر به بهبود رفاه اجتماعی می‌شود بهره می‌گیرند (Anglin, 2005).

یکی از مباحثی که فیزیک‌دانان اقتصادی دارای تحصیلات تخصصی فیزیکی و نه اقتصادی دربارهٔ آن مطالعات گسترده و تحقیقات فراوان کرده‌اند نابرابری شدید در توزیع درآمد در نظام سرمایه‌داری است. طرح پرسش از نابرابری توزیع درآمد با رویکرد فیزیکی، به ویلفرد پارتو، که تحصیلات مهندسی داشت، برمی‌گردد. پارتو در کتاب کلاسیک خود با عنوان *آموزهٔ اقتصاد سیاسی* (۱۸۹۷)، توزیع ثروت در جامعه را بررسی کرد و به این نتیجه رسید که توزیع ثروت در میان ثروت‌مندان از قانون توانی (Power-Law) تبعیت می‌کند:

$$P(m) \sim m^{-(1+v)}$$

P تعداد نرمال‌شدهٔ افراد با درآمد n است و توان v شاخص پارتو نامیده می‌شود. تحقیقات تجربی در قرن اخیر نیز نشان می‌دهند که دنبالهٔ توزیع ثروت از توزیع پارتویی تبعیت می‌کند و شاخص پارتوی (v) آن بین ۱ و ۳ است. بر اساس این توزیع، در هر کشور کم‌تر از ۱۰ درصد افراد مالکِ بیش از ۴۰ درصد ثروت کل جامعه هستند. در کنفرانس فیزیک اقتصادی کلکته (۲۰۰۵) بر این مسئله اجماع صورت گرفت که توزیع ثروت اقلیت ثروت‌مند جامعه (شامل ۳ درصد کل جمعیت جامعه) از توزیع توانی پارتویی تبعیت می‌کند و ۹۷ درصد کم‌درآمد جامعه از توزیع نمایی یا نرمال ـ لگاریتمی یا گاما یا توزیع انرژی بولتزمن ـ گیبس در فیزیک پیروی می‌کند. این مسئله به منزلهٔ یک «واقعیت تثبیت شده» (stylizedfact) در فیزیک اقتصادی درنظر گرفته شده است (Chatterjee et al., 2005). البته چنان‌که ملاحظه می‌شود بر سر این‌که اکثریت طبقات کم‌درآمد دقیقاً از چه توزیعی تبعیت می‌کند اختلاف است و نظرهای متفاوتی ارائه می‌شود (Patriarca et al., 2004). به نظر برخی از محققان «اقتصادْ فیزیک» از قبیل کلمنتی و کالگاتی (۲۰۰۵)، دی‌ماتیو و همکاران (۲۰۰۳) توزیع ثروت اکثریت کم‌درآمد توزیع نرمال لگاریتمی (log-normal) است؛ به نظر برخی دیگر از جمله لوی و سالامون (Levy and Solomon, 1997)، ایسپلاتف و همکاران (۱۹۹۸)، و دراگالسکو و یاکوونکو (Dragulescu and

(Yakovenko, 2000, 2001, 2003) توزیع ثروت طبقات کم‌درآمد از توزیع بولتزمن‌ـگیبس[۱۴] تبعیت می‌کند.

برای توضیح علت تبعیت دنبالهٔ بزرگ توزیع ثروت (مربوط به اقلیت ثروت‌مند) از قانون توانی پارتویی محققان «اقتصادْ فیزیک» توضیحات متفاوتی ارائه داده‌اند: چاترجی و همکاران (۲۰۰۵) با استفاده از استعارهٔ گاز ایدئال آن را به پس‌اندازهای تصادفی نسبت داده‌اند. سلانینا (Slanina, 2004) از مدل فرایند انتشار بی‌کشش ذرات جهت توضیح استفاده کرده است. سینها (۲۰۰۵) از تعامل نامتقارن میان عوامل در مدل‌های مبادله دارایی بهره گرفته است. یارلاگادا و داس (Yarlagadda and Das, 2003) از یک مبادلهٔ دوگانه بهره گرفته‌اند و معتقدند پویایی‌های متفاوتی بر مبادلات فقرا و ثروت‌مندان حاکم است، در حالی‌که فقرا دارای مبادلات جزئی با یک‌دیگرند و ثروت‌مندان مبادلات کلان با سیستم (دولت، بازارها، و ثروت‌مندان کلان دیگر) دارند.

اساس کار «اقتصادْ فیزیک‌دانان» در این تحقیقات مقایسهٔ پول و انرژی است. از آن‌جا که در یک سیستم اقتصادی بسته پول ثابت می‌ماند (با فرض خلق‌نشدن پول توسط دولت و بخش خصوصی و بانک)، پول از قانون بقا تبعیت می‌کند و خصوصیات انرژی را داراست و درنتیجه، قانون‌مندی‌های واحدی بر این دو حکم‌فرماست. مؤلفه‌هایی که موجب تلقی پول به عنوان یک انرژی مجازی می‌شوند بدین‌ترتیب‌اند:

- پول هم‌چون انرژی تعیین‌کنندهٔ میزان توان برای انجام‌دادن کار است؛
- پول هم‌چون انرژی دارای قابلیت ذخیره‌سازی است؛
- پول هم‌چون انرژی می‌تواند به شکل‌های تبدیل‌پذیر به یک‌دیگر وجود داشته باشد (Ksenzhek, 2007).

پول رفتاری همانند انرژی دارد. دارای جریان خودبه‌خودی به سمت تمرکززدایی است (با خرج‌کردن پول، تمرکز آن کاهش می‌یابد). از آن‌جا که هر جریان خودبه‌خودی برگشت‌ناپذیر است، این فرایند نیز برگشت‌ناپذیر است و همراه با اتلاف انرژی است و منجر به کاهش کیفیت آن می‌شود. از سوی دیگر، عکس چنین فرایندی، یعنی انباشت و تمرکز پول، همراه باصرف انرژی خواهدبود. بدین‌ترتیب، نتیجه گرفته می‌شود که پول نوع خاصی از انرژی است که در نظام اجتماعی در حال گردش است و قابلیت تغییر شکل به صورت‌های دیگر انرژی و بالعکس[۱۵] را دارد. از این‌رو، قوانین عام تبدیل انرژی بر آن صدق می‌کند.

بنابراین با قیاس میان پول و انرژی، توزیع تعادلی احتمالی پول بایستی از قانون توزیع‌نمایی بولتزمن ـ گیبس با دمای کارایی برابر با مقدار متوسط پول سرانه تبعیت کند. قانون مبنایی مکانیک آماری تعادلی قانون بولتزمن ـ گیبس است که بیان می‌کند توزیع احتمالی انرژی به صورت $P(\varepsilon) = Ce^{-\varepsilon/T}$ است. از آن‌جا که مهم‌ترین مؤلفهٔ اساسی برای استخراج قانون بولتزمن ـ گیبس قانون بقای انرژی است، در هر موردی که یک کمیت از ویژگی بقا برخوردار باشد، یعنی نه به‌وجود آید و نه از بین برود، می‌توان این قانون را به‌کار بست که هر مقدار نگه‌داری شده‌ای در یک سیستم آماری بزرگ بایستی در حالت تعادل از توزیع احتمال‌نمایی تبعیت کند. همچنین طبق آن‌چه گفته شد فرض می‌کنیم پول جدیدی وارد سیستم نمی‌شود (مقدار کل پول M ثابت است) و همچنین در ابتدا بدهی وجود ندارد ($m>0$). در این وضعیت توزیع احتمال تعادلی پول $P(m)$ بایستی از قانون بولتزمن ـ گیبس تبعیت کند:

$$P(m) = Ce^{-m/T}$$

m نشان‌دهندهٔ پول و T نشان‌دهندهٔ دمای کارایی برابر با مقدار متوسط پول سرانه است (Cockshott et al., 2009).

۱.۵ انتقادات وارده به رویکرد «اقتصادْ فیزیک» به توزیع ثروت

چند انتقاد اساسی به رویکرد فوق وارد است. چنان‌که ملاحظه شد اساسی‌ترین فرض فیزیک‌دانان اقتصادی این است که مقدار کل پول در یک سیستم اقتصادی بسته ثابت باقی می‌ماند. درست است که عوامل اقتصادی حق چاپ پول را ندارند و صرفاً حق مبادلهٔ‌آن را دارند، اما در جهان واقعی دولت و حتی نهادهای خصوصی (بانک‌ها) به خلق پول در مقیاس وسیعی اقدام می‌کنند. در این صورت، تعادل مورد مطالعه در مکانیک صرفاً برای بازه‌های کوتاه و موقتی زمان کاربرد دارد.

از سوی دیگر، قانون مذکورقانون توزیع پول $P(m)$ است و نه توزیع ثروت. ثروت علاوه بر پول شامل ثروت مادی هم می‌شود که در معرض فساد و تباهی و افزایش قرار دارد، لذا انتظار نداریم که در حالت کلی توزیع بولتزمن ـ گیبس در مورد آن صدق کند (چنان‌که گفته می‌شود از توزیع پارتویی تبعیت می‌کند که ناشی از یک فرایند تصادفی با ضریب فزاینده است). همچنین در مدل‌هایی که تقارن بازگشتی زمان در آن‌ها شکسته می‌شود (مدل‌هایی که ویژگی اساسی فرایندهای ترمودینامیکی، یعنی جهت زمانی، را دارند)

قانون بولتزمن ـ گیبس دیگر مصداق ندارد. اشکال وارده به مدل‌های مبادلهٔ دوگانه، از قبیل مدل یارلاگادا و داس (۲۰۰۳)، در این است که مبادلات ثروت‌مندان با فقرا را غیرمستقیم درنظر گرفته‌اند. این در حالی است که ثروت‌مندان همواره به سبب نیاز به نیروی کار در کنار سرمایهٔ خویش با طبقات کم‌درآمد تعامل دارند و یکی از فرضیات شکاف طبقاتی بین این دو طبقه استثمار طبقات کم‌درآمد توسط ثروت‌مندان در این تعامل اقتصادی است و به علت قدرت اقتصادی نامتقارن و در برخی موراد وجود جمعیت زیاد بیکاران قدرت چانه‌زنی فقرا در تعیین ارزش کار خویش کم‌تر است.

۶. رویکرد ترمودینامیکی به نظام توزیعی سرمایه‌داری

۱.۶ مدل اول: فیزیک اقتصادی توزیع ثروت

چنان‌که ملاحظه شد، فرم تابعی توزیع ثروت دو قسمت متفاوت داشت:

دنبالهٔ سمت راست (مربوط به سطوح بالای ثروت) که از یک قانون توانی تبعیت می‌کند و قسمت سمت چپ (مربوط به اکثریت کم‌درآمد) که از توزیع گاما (یا توزیع نمایی و یا بولتزمن ـ گیبس و ...) پیروی می‌کند. ترکیب پرتفولیوی ثروت بستگی به سطح ثروت دارد و تبیین‌کنندهٔ دو رفتار اقتصادی متفاوت در فرایند انباشت ثروت است:

افراد کم‌درآمد که اکثریت جامعه را تشکیل می‌دهند از قاعدهٔ تعدیل موجودی ثروت به‌وسیلهٔ‌جریان درآمدی خود تبعیت می‌کنند. ثروت این افراد تابعی از جریان درآمدی آن‌هاست که با انگیزه‌های احتیاطی انباشت می‌شود. در مرحلهٔ بعد، این ثروت انباشت‌شده عمدتاً به‌جای سرمایه‌گذاری مجدد صرف خرید خانهٔ‌شخصی، پس‌انداز احتیاطی، طرح بازنشستگی، بیمه، و ... می‌شود. بنابراین، افزایش ثروت عمدتاً ناشی از تغییرات جریان درآمدی است و نه سرمایه‌گذاری مجدد ثروت موجود.

در مقابل، ثروت‌مندان و مالکان بزرگ از قاعدهٔ تعدیل جریان عایدی (بازدهی) به‌وسیلهٔ موجودی ثروت تبعیت می‌کنند. این افراد از طریق سرمایه‌گذاری مجدد ثروت خویش یک جریان درآمدی نامطمئن را نصیب خود می‌کنند و به همین دلیل، جریان درآمدی آن‌ها تابعی از موجودی ثروتشان است و به‌وسیلهٔ نرخ کل رشد ثروت محدود می‌شود. در این هنگام توزیع آماری تعادلی ثروت تعیین‌کنندهٔ احتمال کسب عایدی از ترکیب فرصت‌های سرمایه‌گذاری موجود تحت شرایط حداکثر آنتروپی (حداکثر تمرکززدایی فعالیت‌های سرمایه‌گذاری ثروت‌مندان) است (Milakovic, 2003).

چنان‌که گفته شد اصل لاگرانژ ($L = f + \lambda g \rightarrow Max$) جهت حداکثرسازی تابع آنتروپی $f(x)=ln\ P$ در یک سیستم استوکاستیک (تصادفی) با توجه به قید انرژی به‌کارگرفته می‌شود. در مکانیک آماری وضعیت تعادلی وضعیتی است که دارای حداکثر احتمال باشد. از آن‌جا که چنین وضعیتی دارای حداکثر بی‌نظمی است به عنوان وضعیت حداکثر آنتروپی تلقی می‌شود. با تلفیق این دو می‌توان با تکیه بر وجوه تصادفی فیزیک به «توزیع ثروت بولتزمن» دست یافت که گویای در اکثریت قرارگرفتن جمعیت فقیر است. درمقابل، رویکرد عقلایی اقتصاد منجر به «توزیع ثروت پارتویی» می‌شود که گویای در اقلیت قرارگرفتن ثروت‌مندان است (Mimkes and Willis, 2005).

۱.۱.۶ توزیع ثروت بولتزمن

در این وضعیت، سیستم‌های تصادفی با احتمال P نسبت به قید سرمایه حداکثر می‌شود:

$$ln\,P(x_j) - \lambda \sum_j w_j x_j \rightarrow max\,! \qquad (۲)$$

که $ln\,P(x_j)$ لگاریتم احتمال و یا همان آنتروپی است که نسبت به قید $\sum_j w_j x_j$ حداکثر می‌شود. ضریب لاگرانژ $\lambda = 1/\langle w \rangle$ معادل درآمد متوسط سرانه است.

متغیر x_j تعداد نسبی افراد موجود در طبقهٔ درآمدی w_j است ($x_j = N_j/N$). تعداد حالت‌های توزیع N خانوار بین طبقات درآمدی (w_j) بر طبق ترکیب احتمال با این برابر است:

$$P = \frac{N!}{\Pi(N_j!)} \qquad (۳)$$

با استفاده از فرمول استرلینگ ($lnN! = NlnN - N$) خواهیم داشت:

$$\sum_j x_j\, ln\, x_j - \lambda \sum_j w_j x_j \rightarrow max\,! \qquad (۴)$$

وضعیت تعادلی (وضعیت دارای حداکثر احتمال) از طریق حداکثرسازی تابع احتمال (آنتروپی) نسبت به قید به‌دست می‌آید. بر طبق شرایط مرتبهٔ اول، مشتق معادلهٔ۴ نسبت به x_j بایستی صفر شود:

$$\frac{\partial\, ln\, P}{\partial x_j} = -\left(ln\, x_j + 1\right) = \lambda w_j \qquad (۵)$$

در این عملیات، همهٔ متغیرها به‌جز x_j را ثابت درنظر می‌گیریم. برای به‌دست‌آوردن تعداد افراد موجود در طبقهٔ درآمدی (w) خواهیم داشت:

$$N(w) = Ae^{-\frac{w}{\langle w \rangle}} \qquad (۶)$$

(به ازای $x = x_j$). در مدل‌های مکانیک تعداد نسبی افراد (x) در طبقهٔ درآمدی (w) از یک توزیع بولتزمن (معادلهٔ ۶) تبعیت می‌کند. نمودار (۱) تعداد نسبی افراد در طبقات درآمدی را برای آمریکا و توزیع ثروت را در سه کشور سرمایه‌داری ژاپن، انگلیس، و زلاندنو نشان می‌دهد.

در این معادله، متوسط درآمد جایگزین ضریب لاگرانژ شده است:$\lambda = 1/\langle w \rangle$ ثابت A به‌وسیلهٔ تمام افرادِ با درآمدی که از یک توزیع بولتزمن تبعیت می‌کند (N_1) تعیین می‌شود:

$$N_1 = \int_0^\infty N(w)dw = A\langle w \rangle \qquad (۷)$$

مقدار سرمایهٔ طبقه درآمدی (w) برابر است با:

$$K(w) = Awe^{-\frac{w}{\langle w \rangle}} \qquad (۸)$$

مقدار کل سرمایهٔ K_1 برابر است با:

$$K_1 = \int_0^\infty wx(w)dw = A\langle w \rangle^2 \qquad (۹)$$

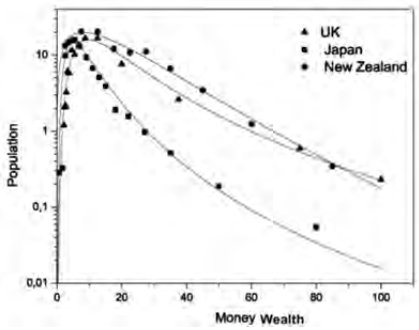
نسبت ثروت کل به تعداد کل خانوارها برابر است با:

$$K_1/N_1 = \langle w \rangle \qquad (۱۰)$$

بنابراین، ملاحظه می‌شودکه این نسبت برابر متوسط درآمد سرانهٔ خانوار است. منحنی توزیع ثروت لورنز $y = K_1(w)$ به عنوان تابعی از $x = N(w)$ می‌تواند از طریق توزیع بولتزمن محاسبه شود:

$$y = x + (1 - x)\, ln(1 - x). \qquad (۱۱)$$

نمودار۱. الف) توزیع افراد در طبقات دست‌مزدی در آمریکا
(منبع: Mimkes and Willis, 2005)



نمودار ۱. ب) توزیع ثروت پولی در بین طبقات درآمدی در سه کشور ژاپن، زلاندنو، و انگلیس (۱۹۹۸).

چنان‌که ملاحظه می‌شود در این کشورها نیز ثروت پولی به صورت کاملاً نابرابر توزیع شده است (Chatterjee et al., 2005).

۲.۱.۶ توزیع ثروت پارتویی

در این حالت، در مسئلهٔ لاگرانژ برای به‌دست‌آوردن توزیع ثروت به‌جای استفاده از یک تابع لگاریتمی مورد تأکید فیزیک‌دانان از یک تابع تولید کاب ـ داگلاس، که اغلب اقتصاددانان آن را به‌کار می‌گیرند ،استفاده می‌کنیم. با انجام‌دادن این محاسبات خواهیم داشت:

$$N(w) = A(\frac{\lambda w}{\alpha A})^{\frac{1}{(\alpha-1)}} = C(\frac{w_m}{w})^{2+\delta} \quad (۱۲)$$

$$N_2 = \int_{w_m}^{\infty} N(w)dw = \frac{Cw_m}{1+\delta} \quad (۱۳)$$

$$K(w) = N(w)w = Cw_m(\frac{w_m}{w})^{1+\delta} \quad (۱۴)$$

$$K_2 = \int_{w_m}^{\infty} N(w)wdw = \frac{Cw_m^2}{\delta} \quad (۱۵)$$

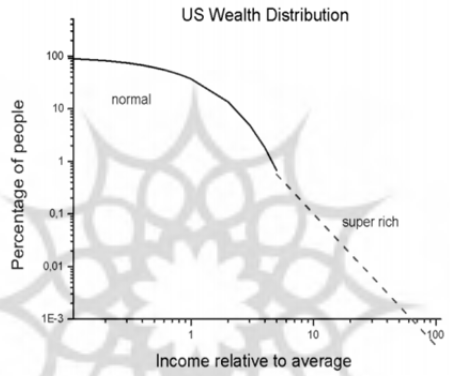
$$w_m = \frac{(\frac{K_2}{N_2})\delta}{1+\delta} \quad (۱۶)$$

در نمودار۲ توزیع ثروت بولتزمن و پارتویی برای آمریکا نشان داده شده است. چنان‌که در این نمودار ملاحظه می‌شود، توزیع ثروت در آمریکا به دو بخش تقسیم شده است. قسمت اول، ثروت اکثریت افراد جامعه ($N_1 = 97\%$) را نشان می‌دهد که از توزیع بولتزمن تبعیت می‌کند (یعنی از توزیع بر طبق معادلهٔ ۶). قسمت دوم، ثروت اقلیت ثروت‌مند جامعه ($N_2 = 3\%$) را نشان می‌دهد که از قانون پارتو تبعیت می‌کند و این دنبالهٔ پارتویی شیبی بین

۲–۳ دارد. این تغییر وضعیت توزیع ثروت همانند فرایند تبدیل مایع به گاز است. بر طبق معادلات مذکور، در آمریکا حداقل ثروت طبقهٔ ثروت‌مند ۸ برابر میانگین نرمال ثروت است: $w_m = 8\,.\,\langle w\rangle$. با فرض $\delta = 0.5$، میانگین ثروت طبقهٔ ثروت‌مند ۲۵ برابر میانگین ثروت نرمال است:

$$\langle w_2\rangle = \left(\frac{K_2}{N_2}\right) = \frac{w_m(1+\delta)}{\delta} = 8\,.\,\langle w\rangle.\,3 = 25\,.\,\langle w\rangle \qquad (۱۷)$$

با محاسبه نشان داده می‌شود که K_2 (ثروت کل این سه درصد ثروت‌مند) ۴۰ درصد ثروت ملی است و ۹۷ درصد بقیهٔ جامعه ۶۰ درصد ثروت ملی را دارند.



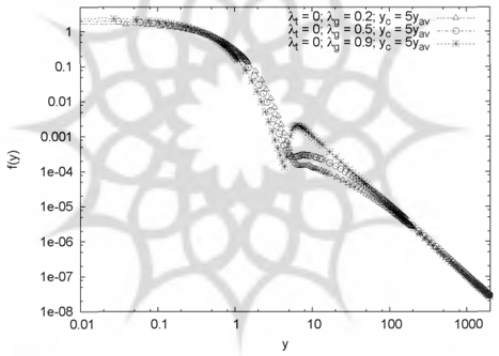
نمودار۲. این نمودار درصد افراد در هر طبقهٔدست‌مزدی را نسبت به میانگین نشان می‌دهد (بر طبق آمار آمریکا در سال‌های ۱۹۸۳ – ۲۰۰۱). (Mimkes and Willis, 2005).

۳.۱.۶ تفسیر اقتصادی توزیع بولتزمن

چنان‌که در نمودار ۲ ملاحظه می‌شود ثروت اکثریت فرودست از توزیع بولتزمن (قانون آنتروپی) پیروی می‌کند، حال آن‌که توزیع ثروت اقلیت مرفّه ثروت‌مند از توزیع پارتویی تبعیت می‌کند. اما این پدیدار واقعی چه تفسیر اقتصادی دارد؟ از آن‌جا که در توزیع بولتزمن آنتروپی حداکثر می‌شود، سیستم در وضعیت تعادلی قرار می‌گیرد و از آن‌جا که این فرایند یک‌طرفه و بازگشت‌ناپذیر است خودبه‌خودی است. اما هر نوع انحرافی از این وضعیت خودبه‌خودی نیست و مستلزم صرف انرژی زیادی برای غلبه بر قانون آنتروپی است و سیستم را در وضعیت عدم تعادل قرار می‌دهد.

در جهان انسانی، به علت ویژگی آگاهی و اختیار، اقلیت ثروت‌مند می‌توانند با صرف انرژی (پول) سیستم را تا مدت زیادی در وضعیت عدم تعادل نگه دارند. تحقیقات یارلاگادا

و داس (۲۰۰۵) مؤید این مدعاست که آمارهای درآمد در آمریکا در خلال سال‌های ۹۸۳–۲۰۰۱ نشان می‌دهند که قسمت بولتزمن گیبس کاملاً ماناست، حال آن‌که دنبالهٔ پارتویی طی زمان دائماً در حال تغییر است (← نمودار ۳). این محققان چنین نتیجه می‌گیرند که احتمالاً قسمت کم‌درآمد توزیع در حالت تعادل قرار دارد در حالی‌که دنبالهٔ ثروت‌مند درآمد با وضعیت تعادلی فاصلهٔ بسیاری دارد. این دو فیزیک‌دان علت این امر را در ضرورت خود سامان‌دهی طبقات ثروت‌مند می‌دانند که ثروتشان منجر به ابداعات جدید، پیشرفت تکنولوژیک، و انحراف از تعادل می‌شود (Yarlagadda and Das, 2003). چنین تبیینی گرچه تا حدی در مورد آن‌هایی که به علت ابداعات تکنولوژیکِ تصادفی ثروت‌مند شده‌اند همانند بیل گیتس صحیح است، اما در مورد افرادی که از طرق دست‌یابی به رانت ثروت‌مند شده‌اند و یا بانک‌دارانی که از طریق مکانیسم خلق پول از هیچ ثروت‌مند شده‌اند چنین تبیینی چندان صادق نیست.



نمودار۳. مانایی توزیع بولتزمن ثروت طبقات کم‌درآمد و نامانایی
توزیع پارتویی ثروت طبقات بالای درآمدی (**Yarlagadda and Das,2003**)

در این نمودار ملاحظه می‌شودکه از سطح درآمد y_c که سطح درآمد جداکنندهٔ اقشار فقیر از ثروت‌مند را نشان می‌دهد (در مورد فوق ۵ برابر درآمد متوسط است). f(y) تابع توزیع ثروت را نشان می‌دهد. λ_t نرخ پس‌انداز احتیاطی را نشان می‌دهد.

۲.۶ مدل دوم: مدل ترمودینامیکی فرایند کارنو برای تبیین توزیع ثروت

دومین مدلی که می‌توان جهت تبیین نظام توزیعی سرمایه‌داری به‌کار برد مدل ترمودینامیکی فرایند کارنو است. اگر رشد را تغییرات در سطح محصول بدانیم

می‌توانیم آن را به صورت فرم تفاضلی بنویسیم: $g = dq(K, L)$. اما از آن‌جا که فرم تفاضلی دو متغیره عموماً کامل نیست، درنتیجه تابع تولید کل q به صورت پیش‌بینی‌شده (*ex ante*) وجود ندارد و تبعاً انتگرال $\int dq$ محاسبه‌شدنی نیست، مگر این‌که مسیر تجمیع معین باشد. همهٔ توابع تولید $q_x(K, L)$ بستگی به فرایند تولید (x) معین دارند. این مسئله مرتبط با «قانون اول ترمودینامیک» است. فرم ناکامل تفاضلی dq در صورتی کامل می‌شود که عامل انتگرال‌گیری (λ) به آن اضافه شود: $dq = \lambda df$. این مسئله مرتبط با «قانون دوم ترمودینامیک» است. در این حالت، تابع f به‌صورت پیش‌بینی‌شده (*ex ante*) وجود دارد که در فیزیک آنتروپی (S) نامیده می‌شود و در اقتصاد تابع تولید نامیده می‌شود.

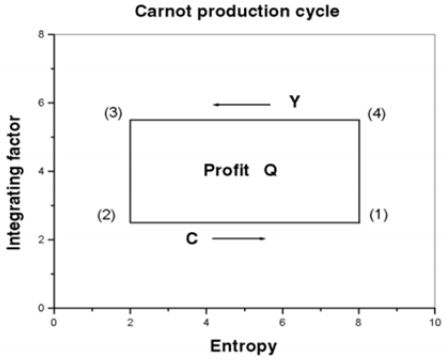
عامل λ متوسط تولید ناخالص داخلی سرانه، متوسط سطح قیمت‌ها، و یا استاندار زندگی را نشان می‌دهد. تولید یک فرایند کارنوست که همواره دو سطح متفاوت λ را ایجاد می‌کند. در یک موتور گرمایی، این دو سطح سرما و گرما نامیده می‌شوند، ولی در نظام اقتصادی فقیر و ثروت‌مند نامیده می‌شوند. هرچه شکاف بین این دو سطح λ بیش‌تر شود کارایی فرایند کارنو بیش‌تر بوده است. به همین دلیل، با افزایش کارایی (مثلاً به دلیل پیشرفت تکنولوژیک)، شکاف طبقاتی میان فقرا و ثروت‌مندان دائماً میل به افزایش دارد (Aruka and Mimkes, 2005).

۱.۲.۶ مفهوم فرم‌های تفاضلی

در فیزیک مفهوم «فرم‌های تفاضلی ناکامل» (not-exact differential forms) ما را به قانون اول و دوم ترمودینامیک رهنمون می‌شود. فرم‌های تفاضلی یک‌بعدی *df(x)* همواره کامل و پیشاپیش قابل حل هستند (از x=A تا x=B انتگرال می‌گیریم). اما فرم‌های تفاضلی دوبعدی $\delta g(x, y)$ ضرورتاً کامل نیستند و ممکن است پیشاپیش قابل حل نباشند. در این حالت انتگرال بسته (انتگرال محصور) فرم‌های تفاضلی ناکامل عموماً صفر نیست و مقدار انتگرال بستگی به حدود A تا B و همچنین مسیر انتگرال‌گیری دارد.

$$\oint \delta g = \int_A^B \delta g_1 + \int_B^A \delta g_2 = \int_A^B \delta g_1 - \int_A^B \delta g_2 \neq 0 \qquad (۱۸)$$

در این وضعیت محصول خالص بستگی به مسیر انتگرال‌گیری دارد و عموماً پیشاپیش معین نیست.



نمودار۲. در چرخهٔ کارنو انتگرال بسته معادلهٔ تولید در شرایطی که λ و S ثابت هستند حساب می‌شود.
(Chatterjee et al., 2005)

۲.۲.۶ فرم‌های تفاضلی در اقتصاد: قانون اول ترمودینامیک

رشد اقتصادی نتیجهٔ تولید دوره‌ای (W) است. محصول تولیدشده به نوبهٔخود بستگی به فرایند تولید دارد (فرایند تبدیل کار و مواد اولیه به محصول). تولید را می‌توان با محاسبهٔ فرم‌های تفاضلی ناکامل محاسبه نمود:

$$-\oint \delta W = \oint \delta q \qquad (۱۹)$$

علامت منفی نشان‌دهندهٔ این است که بایستی کار صرف شود تا محصول به‌دست آید. می‌توان فرایند بستهٔتولید را به دو بخش شکافت: رفتن از A به B (جریان عایدی= Y) و بازگشت از B به A (جریان هزینه= C). عایدی (Y) نصیب مالک ابزار تولید (سرمایه‌دار) می‌شود و هزینهٔ(C) شامل دست‌مزدی است که به کارگران پرداخت می‌شود. این فرایند در نمودار (۴) نشان داده شده است.

$$-\oint \delta W = \oint \delta g = \int_A^B \delta g_1 + \int_B^A \delta g_2 = \int_A^B \delta g_1 - \int_A^B \delta g_2 = Y - C = \Delta \qquad (۲۰)$$

بر طبق قانون اول ترمودینامیک، بدون داشتن فرایند تولید x نمی‌توان تابع تولید کل q را پیشاپیش تعیین کرد (ibid).

۳.۲.۶ فرم‌های تفاضلی در اقتصاد: قانون دوم ترمودینامیک

چنان‌که گفته شد برای تبدیل فرم تفاضلی ناکامل δq به یک فرم تفاضلی کامل df، که پیشاپیش محاسبه‌شدنی است، بایستی از یک عامل انتگرال‌گیری λ استفاده کرد:

$$dq = \lambda df \qquad (۲۱)$$

این قانون منطبق با قانون دوم ترمودینامیک (قانون آنتروپی) است که بر طبق آن آنتروپی برابر است با:

$$dS = \frac{dQ}{T} \rightarrow Q = TdS \qquad (۲۲)$$

در یک سیستم استوکاستیک (ترمودینامیک) $\lambda = T$ دما و $f=S$ آنتروپی نامیده می‌شود. در یک سیستم انسانی $f=U$ تابع تولید و λ متوسط سطح درآمد (درآمد سرانه) نامیده می‌شود.

۴.۲.۶ تابع تولید سیستم‌های استوکاستیک

در سیستم‌های استوکاستیک تابع $f=U$ توسط تابع آنتروپی تعیین می‌شود. S پیچیدگی (آنتروپی) یک فرایند استوکاستیک را اندازه می‌گیرد و توسط لگاریتم احتمال P تعریف می‌شود:

$$S = ln\, P = \frac{ln\, N!}{\prod N_i!} = N\, ln\, N - N \qquad (۲۳)$$

ملاحظه می‌شود که هرچه تعداد میکروحالت‌های سیستم بیش‌تر شود، آنتروپی آن افزایش می‌یابد.

۵.۲.۶ فرایند تولید کارنو

در فرایند کارنو قانون اول و دوم برای یک مسیر بستهٔ‌مشخص ترکیب می‌شوند:

$$\oint \delta q = \oint TdS = T_2\Delta S - T_1\Delta S = Y - C = \Delta q \qquad (۲۴)$$

$\lambda = T = cte.$ معادل تولید در سطوح ثابت رفاهی است. $S = cte.$ معادل انتقال میان سطوح λ_2 و λ_1 به هنگامی است که تولید خالص صفر است ($\delta q = 0$). چرخهٔ کارنو یک فرایند ایدئال است. در صورتی‌که بپذیریم قانون اول و دوم ترمودینامیک جهان شمول است و در اقتصاد، زیست‌شناسی، و علوم طبیعی به یک‌سان صدق می‌کنند، می‌توانیم نتیجه بگیریم که تمامی عوامل اقتصادی از چرخهٔ کارنو (که تجلی قوانین ترمودینامیکی است) پیروی می‌کنند. کارایی فرایند کارنو (η) چنین محاسبه می‌شود:

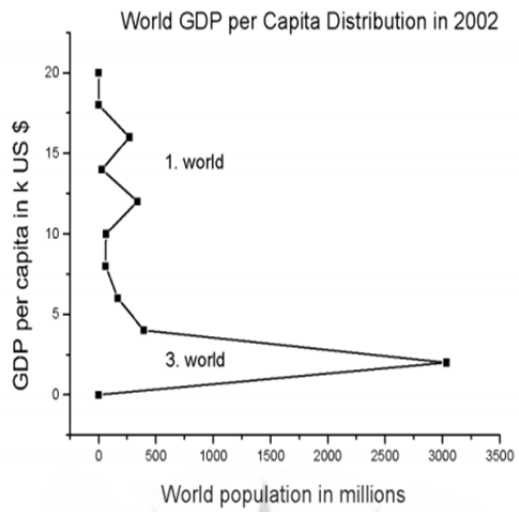
$$\eta = \frac{\lambda_2 - \lambda_1}{\lambda_1} \qquad (۲۵)$$

۶.۲.۶ تفسیر اقتصادی فرایند کارنو

می‌توان از چرخهٔ کارنو برای توضیح شکاف درآمدی فزاینده طبقات فقیر ـ غنی در یک کشور و همچنین شکاف کشورهای مرکز ـ پیرامون در سطح بین‌المللی بهره گرفت. نمودار ۵ توزیع ثروت جهانی در سال ۲۰۰۲ را نشان می‌دهد. چنان‌که ملاحظه می‌شود این نمودار به‌روشنی شکاف کشورهای صنعتی (جهان اول) و کشورهای در حال توسعه (جهان سوم) را نشان می‌دهد. حدود نیمی از جمعیت جهان به جهان سوم تعلق دارند و درآمد سرانهٔ آن‌ها کم‌تر از ۲ هزار دلار است. حدود یک ششم جمعیت جهان متعلق به گروه اول (جهان صنعتی) هستند و درآمد سرانهٔ آن‌ها بین ۱۲ هزار تا ۱۶ هزار دلار است. شکاف کشورهای ثروت‌مند و غنی را از طریق چرخهٔ کارنو می‌توان توضیح داد. کارخانه‌ها با تکنولوژی‌های تولید با کارایی بسیار بالا در اختیار کشورهای صنعتی قرار دارد. این کارخانه‌ها همانند یک ماشین کارنو عمل می‌کنند که ارزش‌های اقتصادی را از کشورهای فقیر به کشورهای صنعتی پمپاژ می‌کند. پیشرفت تکنولوژیک کارایی را می‌افزاید و منجر به افزایش شکاف فقیر ــ غنی و ثروت‌مندتر شدن کشورهای صنعتی می‌شود.

توزیع ثروت داخل یک کشور (برای نمونه در آمریکا در نمودار ۲) نیز به روشنی به دو طبقهٔ اصلی تقسیم می‌شود که به‌وسیلهٔ چرخهٔ کارنو توضیح داده می‌شود. در این حالت نیز مالکیت تکنولوژی در دست سرمایه‌داران است و با رشد کارایی، شکافِ ثروت بیش‌تر می‌شود. ثروت اکثریت جامعه، یعنی اقشار پایین دست، از توزیع بولتزمن پیروی می‌کند که از تابع آنتروپی (تابع لگاریتم احتمال) استخراج می‌شود. ثروت اقلیت جامعه، یعنی طبقهٔ ثروت‌مند، از توزیع پارتو پیروی می‌کند که از تابع کاب ــ داگلاس استخراج می‌شود (ibid).

نکتهٔ دیگری که توجه به آن ضروری است تفاوت اساسی میان فرایندهای فیزیکی و فرایندهای انسانی است که به‌علت ویژگی آگاهی و ارادهٔ انسان‌هاست. در یک فرایند کارنو در سطح فیزیکی وضعیت ایدئال هنگامی است که حداکثر کارایی عاید شود، ولی در محیط انسانی شکاف سطوح درآمدی اگر از حدی بیش‌تر شود، به نارضایتی اکثریت و حتی شورش و انقلاب منجر می‌شود. به همین علت، نظام‌های تأمین اجتماعی شکل گرفته‌اند تا این فرایند را معکوس کنند و مقداری از نتیجه را خنثا کنند تا از شورش طبقات فرودست جلوگیری کنند.



نمودار۳. توزیع ثروت در جهان

روشن است که توزیع به دو طبقه تقسیم می‌شود: اکثریت کشورهای جهان در گروه جهان سوم (3-world) قرار دارند و اقلیت کشورها در گروه جهان اول (1-world) قرار دارند.

ممکن است گفته شود از آن‌جا که طبقات ثروت‌مند اغلب مالک سرمایه هستند در صورتی‌که پیشرفت تکنولوژی سرمایه‌افزا (capital-augmented) باشد، افزایش بهره‌وری ناشی از آن نصیب ثروت‌مندان می‌شود، اما اگر پیشرفت تکنولوژی کارافزا (labour-augmented) و یا به‌اصطلاح تکنولوژی هارودی باشد، آن‌گاه افزایش تکنولوژی در مهارت نیروی کار ظاهر می‌شود و دست‌مزد آن‌ها را بالاتر می‌برد و شکاف درآمدی کاهش می‌یابد. در این صورت نیز عملکرد چرخهٔ کارنو را می‌توان چنین توضیح داد که افزایش بهره‌وریِ نیروی کار ماهر هزینهٔ استفاده از این نیروی کار را بالا می‌برد (C)، ولی به مقداری بیش از این هزینه، درآمد کسب‌شدهٔ مالکان عوامل تولید افزوده می‌شود؛ زیرا همواره مقداری از ارزش اضافی تولیدشده توسط نیروی کار به وسیلهٔ مالکان استثمار می‌شود ($\Delta Y > \Delta C$). بنابراین، حتی در چنین حالتی گرچه وضعیت مطلق نیروی کار بهبود می‌یابد، وضعیت نسبی آن‌ها بدتر می‌شود و شکاف طبقاتی براثر افزایش کارایی در فرایند کارنو افزایش می‌یابد. شواهد تجربی در آمریکا نیز از افزایش ضریب جینی، به عبارت دیگر افزایش نابرابری، در سال‌های اخیر به رغم پیشرفت تکنولوژیک خبر می‌دهد (← نمودار ۶).

Year	Percentile Shares			
	Top 1%	Next 19%	Bottom 80%	Gini Coefficient
Net Worth (Wealth)				
1983	33.8	47.6	18.7	0.799
1989	37.4	45.3	16.2	0.832
1992	37.2	46.6	16.3	0.823
1995	38.5	45.8	16.1	0.828
1998	38.1	45.3	16.6	0.822
2001	33.4	51.3	16.6	0.826
2004	34.3	50.4	16.3	0.829
Income				
1983	12.8	39.0	48.1	0.480
1989	16.4	39.0	44.5	0.521
1992	15.7	40.7	43.7	0.528
1995	14.4	40.8	44.9	0.518
1998	16.6	39.6	43.8	0.531
2000	20.0	38.6	41.4	0.562
2003	17.0	40.9	42.1	0.540

نمودار۶. چنان‌که ملاحظه می‌شود توزیع ثروت در آمریکا در حال نابرابرتر شدن است.
(منبع: Daly and Farley, 2011).

۷. نتیجه‌گیری

در بخش اول مقاله، نخست زمینه‌های روش‌شناختی به‌کارگیری استعاره‌های ترمودینامیکی در اقتصاد را تبیین کردیم و برخی از استعاره‌های به‌عاریت گرفته‌شده از ترمودینامیک برای اقتصاد را، از قبیل انرژی، آنتروپی، و تعادل، را توضیح دادیم و محدودیت‌ها و نقدهای وارد شده به این رویکردهای «اقتصادْ فیزیک» را شرح دادیم.

در بخش دوم مقاله، با تکیه بر مطالعات تجربی در حوزهٔ فیزیک اقتصادی مبنی‌بر این‌که در برخی کشورهای نظام سرمایه‌داری، به‌ویژه آمریکا، توزیع ثروت اقلیت ثروت‌مند جامعه از توزیع توانی پارتویی تبعیت می‌کند و اکثریت کم‌درآمد جامعه از توزیع نمایی یا نرمال – لگاریتمی یا گاما یا توزیع انرژی بولتزمن ـ گیبس در فیزیک پیروی می‌کند، به دنبال یافتن علل مبنایی این پدیدار با کمک مدل‌های متعرف «اقتصادْ فیزیک» بودیم. به این منظور از دو مدل قانون لاگرانژ و مدل کارنو بهره گرفتیم. ملاحظه کردیم که توزیع ثروت تعادلی طبقات کم‌درآمد از قانون حداکثرسازی آنتروپی (توزیع ثروت بولتزمن) پیروی می‌کند. این واقعیت را چنین تفسیر کردیم که اقتصاد در وضعیت تعادلی خود به این سمت می‌رود و در غیر این‌صورت، همانند توزیع پارتویی اقلیت ثروت‌مند، توزیع مانا نخواهد بود. مدل کارنو نیز نشان داد حداکثرسازی کارایی در فرایند تولید مستلزم حداکثرسازی شکاف «درآمد ـ هزینه»، یعنی شکاف «عایدی طبقات ثروت‌مند» نسبت به «دست‌مزد طبقات کم‌درآمد»، است و این امر به افزایش شدید و روزافزون شکاف طبقاتی در نظام سرمایه‌داری منجر می‌شود.

پی‌نوشت‌ها

۱. «قبلهٔ اقتصاددان باید بیولوژی اقتصادی باشد نه مکانیسم‌های اقتصادی» (جرجسکیو ـ روگن).
«بدون درک مفهوم انرژی، هیچ راهی برای درک علم اقتصاد در قرن بیستم وجود ندارد» (فیلیپ میرووسکی).

۲. در حال حاضر، حوزهٔ اکونوفیزیک به‌سرعت در حال گسترش است و کنفرانس‌های منظمی در باب مسائل اکونوفیزیکی برگزار می‌شود؛ از جمله کنفرانس APFA (Application of Physics to Financial Analysis) که از سال ۱۹۹۹ به صورت سالانه یا دوسالانه در کشورها برگزار شده است) و همچنین نهادها و مؤسسات آموزشی و پژوهشی تخصصی بسیاری در این زمینه شروع به فعالیت کرده‌اند. تحقیقات انجمن فیزیک در انگلستان نشان می‌دهد که در حال حاضر ۲۰ درصد از فارغ‌التحصیلان تحصیلات تکمیلی فیزیک وارد حوزهٔ مالی می‌شوند. این انجمن گروهی با عنوان «فیزیک مالی» راه‌اندازی کرده است. انجمن فیزیک آلمان بخشی تحت عنوان «فیزیک سیستم‌های اقتصادی ـ اجتماعی» تأسیس کرده است که در اصطلاح مهندسان اجتماعی در آن به کار مشغول‌اند. حجم این فعالیت‌ها چه در حوزهٔ نظری و چه در حوزهٔ کاربردی هم‌چنان رو به گسترش است (Chatterjee et al., 2005).

۳. یک ماشین حرارتی برگشت‌پذیر که به هنگام کارکردن هیچ نوع اتلاف گرمایی در آن رخ ندهد (دگدیل، ۱۳۸۲: ۴۲).

4. Socialism and the unity of physical forces (1881).

۵. بنابر قانون دوم ترمودینامیک، هر تغییر خودبه‌خودی همراه با افزایش آنتروپی است و به عبارت دیگر، آنتروپی جهان دائماً در حال افزایش است. از آن‌جا که معمولاً آنتروپی به بی‌نظمی تفسیر می‌شود، این قانون به معنای افزایش بی‌نظمی در جهان است.

۶. مک‌کاولی در کتاب اکونوفیزیک و مالیه بر این نظر است که در اغلب موارد به‌کارگیری استعاره‌های ترمودینامیکی برای تبیین پدیدارهای اقتصادی مناسبت ندارد و مثال‌هایی ارائه می‌دهد مبنی‌بر این‌که قیاس ترمودینامیکی نمی‌تواند رفتار اقتصادی را توصیف کند (McCauley, 2004).

۷. گرچه در این مقاله این مدل‌ها به‌کار گرفته شده، با ارائهٔ این نقدها سعی بر این است محدودیت‌های این مدل‌ها گوشزد شود.

۸. منظور از مکانیک آماری و ارتباط آن با حوزهٔ ترمودینامیک در بخش‌های بعدی مقاله تشریح خواهد شد.

۹. جدال بین مکتب تاریخی و اقتصاد کلاسیک و نئوکلاسیک مثال مناسبی در این مورد است. تاریخ‌گرایان به‌کارگیری روش قیاسی را برای تحلیل در اقتصاد به زیر سؤال می‌برند و قوانین

اقتصادی‌ای را که بر پایهٔ اصول موضوع‌های معدودی نهاده شده باشند برای عامه معتبرنمی‌دانند (کارستن، ۱۳۷۰: ۹۲).

۱۰. برای نمونه بر طبق نظریهٔ کوانتومی، استفاده از رویکرد «ثبات سایر شرایط» یا رویکرد ساده‌کردن واقعیت‌های پیچیده به امور ساده در اقتصاد چندان پذیرفته نیست؛ زیرا این فرض که هر پدیده‌ای به متغیرهای اولیهٔ اقتصادی می‌تواند تجزیه و تحویل شود مستلزم آن است که تمام نظریه‌ها و مفروضات می‌بایست به پایین‌ترین و جزئی‌ترین سطح تحویل خود شوند که این به معنای رسیدن به ساده‌ترین عنصر (مقیاس کوانتومی) است. با این همه، اگر عناصر اقتصاد خرد در مقیاس کوانتومی تجزیه شوند، این مقیاس کوانتومی به نوبهٔ خود مشروط به چهارچوب کلان اقتصادی است که در آن جاگرفته است.

۱۱. مفهوم‌سازی سیستم اقتصادی به منزلهٔ یک فضای اقتصادی همگن، که در آن عوامل با یک‌دیگر فقط از طریق واسطهٔ بازار ارتباط برقرار می‌کنند، دقیقاً منطبق با مدل تعادل لاگرانژی است. جرجسکیو ـ روگن، اقتصاددان پیش‌گام در زمینهٔ اقتصاد زیستی (bio-economics)، مخالف مدل‌های ریاضی مبتنی‌بر روش‌های پویای لاگرانژی بود که فرض می‌کنند عوامل اقتصادی تسلیم محض نیروهای مشتق‌شده از یک تابع بالقوه هستند. از دیدگاه او، چنین تأکیدی را که اقتصاددانان بر مدل‌های به وام‌گرفته از فیزیک دارند حتی خود فیزیک‌دانان ندارند. این تعادل درواقع تعمیم آرمان‌گرایی گالیله در مورد جهان در مدل‌های فیزیک سماوی است (Maneschi and Zamagni, 1997).

۱۲. اهمیت مکانیک آماری برای اقتصاد می‌تواند در این باشد که چگونگی تجمیع (aggregation) متغیرهای خرد را در قالب یک متغیر کلان به ما نشان دهد. به عبارت دیگر، می‌توان برای دست‌یابی به مبنای خرد اقتصاد کلان روی استعاره‌های به‌عاریت گرفته‌شده از مکانیک آماری تمرکز کرد.

۱۳. برای اثبات بولتزمن ← دگدیل، ۱۳۸۲.

۱۴. در صورت نداشتن پس‌انداز، هنگامی‌که مبادلهٔ میان دو فرد به صورت کاملاً تصادفی انجام پذیرد، نشان داده می‌شود که توزیع ثروت از قانون گیبس ـ بولتزمن پیروی خواهد کرد (Yarlagadda and Das, 2003).

۱۵. به تعبیر ترمودینامیکی، دارای قابلیت امتزاج طرفینی جریان‌های انرژی (mutual coupling of energy flows) است.

کتاب‌نامه

دگدیل جی. اس. (۱۳۸۲). *آنتروپی و مفهوم فیزیکی آن*، ترجمهٔ محمود بحرالعلوم، مشهد: دانشگاه فردوسی.

کارستن، زیگفرید (۱۳۷۰). «نظریهٔ کوانتوم و اقتصاد اجتماعی»، ترجمهٔ کمال اطهاری، فصل‌نامهٔ *اطلاعات سیاسی ـ اقتصادی*، ش ۵۲–۵۱.

انصاری‌فرد، سیما (۱۳۹۱). «تحلیل رابطهٔ بین آنتروپی اقتصادی و جهانی شدن»، پایان‌نامهٔ کارشناسی ارشد، گروه اقتصاد دانشگاه اصفهان.

Anglin, P. M. (2005).'Econophysics of Wealth Distribution', *Econophysics of Wealth Distributions*, Chatterjee, A. et al. (ed), Springer.

Aruka, Yuji and Jurgen Mimkes (2005).'Carnot Process of Wealth Distribution', *Econophysics of Wealth Distributions*, Chatterjee, A. et al. (ed.), Springer.

Beinhocker, Eric D. (2006). *The Origin of Wealth: Evolution, Complexity, and the Radical Remaking of Economics*, Massachusetts: Harvard Business School Press.

Ben-Naim, arieh (2007).*Entropy Demystified: The Second Law Reduced to Plain Common Sense*, London: World Scientific.

Bennewitz, J. (2007). 'Application of the Main Laws of Thermodynamics on Economy', *Social Science Research Network*.

Burkett, Paul (2006).'Marxism and Ecological Economics', in *Toward a Red and Green Political Economy*, Leiden: Brill.

Celeveland, Culter, Ch. Hall and R. Kaufmann (1984). *Biophysical Economics*, New York: Wiley.

Chakraborti, A. (2002).'Distributions of Money in Model Markets of Economy', *International Journal of Modern Physics*, C. 13.

Chakraborti, A. and B.K.Chakraborti (2000).'Statistical Mechanics of Money: Effects of Saving Propensity', *European Physics Journal*, B. 17.

Chatterjee, A., Sandhakar Yarlagadda, and Bikas K. Chakrabarti (ed.) (2005).*Econophysics of Wealth Distributions*, Springer.

Clementi, F.,M. Gallegati (2005).'Power Law Tails in the Italian Personal Income Distribution', *Physica*, A. 350.

Cockshott, Paulet al.(2009). *Classical Econophysics*, London: Routledge.

Daly, H. (1980). 'The Economic Thought of Frederick Soddy', *History of Political Economy*,Vol. 12, No.4.

Daly, H. (1992). 'Allocation, Distribution, and Scale: toward an Economics that is Efficient, just, and Sustainable', *Ecological Economics*, No.6.

Di Matteo, T., T. Aste, and S.T. Hyde (2003).'Exchanges in Complex Networks: Income and Wealth Distributions', *cond-mat*, 0310544.

Dragulescu, A. A. (2003). 'Applications of Physics to Economics and Finance: Money, Income, Wealth, and the Stock Market', *Cond-Mat*, 0307341.

Dragulescu, A. A. and V. M. Yakovenko (2000). 'Statistical Mechanics of Money', *European Physics Journal*,B. 17.

Dragulescu A. A. and V. M. Yakovenko (2001).'Exponential and Power-Law Probability

Distributions of Wealth and Income in the United Kingdom and the United States', *Physica*, A. 299.

Farjoun, E. and M. Machover (1983). *Laws of Chaos, a Probabilistic Approach to Political Economy*, London: Verso.

Ferrero, J. C. (2004).'The Statistical Distribution of Money and the Rate of Money Transference', *Physica*, A. 341.

Foley, Duncan K. (1996). *Statistical Equilibrium Models in Economics*, Paper presented at the Summer Meetings of the Econometric Society.

Foster, John Bellamy, Paul Burkett (2004). 'Ecological Economics and Classical Marxism: The 'Podolinsky Business' Reconsidered',*Organization and Environment,*Vol. 17, No. 32.

Georgescu-Roegen, Nicolas (1971). *The Entropy Law and the Economic Process*. Harvard: Harvard University Press.

Georgescu-Roegen, Nicolas (I970). 'The Economics of Production', *American Economic Review*, Vol. 6o, No.I-9.

Ispolatov, S., P. L. Krapivsky, and S. Redner (1998).'Wealth distributions in asset exchange models', *European Physics Journal*, B. 2.

Ksenzhek, Octavian (2007). *Money: Virtual Energy; Economy through the Prism of Thermodynamics*, Florida: Universal Publishers.

Ksenzhek, Octavian, Svetlana Petrova (2008). 'Inequality and Economic Efficiency of Society through the Prism of Thermodynamics', *Hungarian Electronic Journal of Sciences*, Manuscript, No.ECO-080111-a.

Levy M., S. Solomon (1997).'New Evidence for the Power-Law Distribution of Wealth', *Physica*, A. 242.

Maneschi, Andreaand Stefano Zamagni (1997).'Nicholas Georgescu-Roegen, 1906-1994', *The Economic Journal*, Vol. 107, No. 442.

Mayumi, Kozo (2001). *The Origins of Ecological Economics; The Bioeconomics of Georgescu-Roegen*, London: Rutledge.

McCauley, Joseph L. (2004). *Dynamics of Markets: Econophysics and Finance*, UK: Cambridge University Press.

McCloskey, D. (1995). 'Metaphors Economists Live By', *Social Research,*Vol. 62, No.2.

Milakovic, M. (2003).*Towards a Statistical Equilibrium Theory of Wealth Distribution*, Ph. D. Thesis, New York: New School University.

Mimkes, Jurgen and Geoff Willis (2005).'Lagrange Principle of Wealth Distribution', *Econophysics of Wealth Distributions*, Chatterjee, A. et al. (ed.), Springer.

Mirowski, P. (1989). *More Heat than Light: Economics as Social Physics. Physics as Nature's Economics*, Cambridge: Cambridge University Press.

Pareto, V. (1897). *Cours d'Economie Politique*, Lausanne, F. Rouge.

Patriarca M., A. Chakraborti and K. Kaski (2004).'Gibbs VersusNon-Gibbs Distributions in Money Dynamics', *Physica*, A 340.

Patriarca, Marcoet al. (2005). 'Kinetic Theory Models for the Distribution of Wealth: Power

Law from Overlap of Exponentials', *Econophysics of Wealth Distributions*, Chatterjee, A. et al. (ed.), Springer.

Scafetta N., S. Picozzi, and B. J. West (2004).'A Trade-Investment Model for Distribution of Wealth', *Physica*, D 193.

Slanina F. (2004). Inelastically Scattering Particles and Wealth Distribution in an Open Economy, *Physical Review*, E69.

Soddy, Frederick (1926). *Wealth, Virtual Wealth and Debt*, New York: E. P. Dutton and Company.

Soddy, Frederick (1934). *The Role of Money: What It Should be, Contrasted with What it has Become*, London: Routledge.

Yarlagadda S., A. Das (2003).'Analytic Treatment of a Trading Model', *Physical Scripta*,T. 106.

Zencey, Eric (1986). *Entropy as a Root Metaphor*, Ph.D. dissertation, Claremont Graduate School.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی