فصلنامه مدلسازی اقتصادی (سال چهاردهم، شماره ٤ «پیاپی ٥٢» زمستان ١٣٩٩، صفحه‌های ٢٤- ١)

طبقه‌بندی شاخص آنتروپی اقتصادی در یک مدل کلان اقتصادی

بهروز صادقی عمروآبادی*، محسن رنانی**

تاریخ دریافت: ۹۹/۰۷/۵ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۲/۱۷

چکیده

هدف این مقاله طبقه‌بندی شاخص آنتروپی اقتصادی در یک مدل کلان اقتصادی است. بدین منظور، از روش توصیفی - تحلیلی و نظریه سیستم‌ها در یک مدل کلان اقتصادی استفاده شد. یافته‌ها نشان می‌دهد شاخص آنتروپی اقتصادی در یک مدل کلان اقتصادی به چهار بخش آنتروپی شوک، آنتروپی تنفس، آنتروپی خواب و آنتروپی زباله تقسیم‌بندی می‌شود. افزایش شاخص آنتروپی اقتصادی با توجه به بروز مشکلات کم‌یابی منابع زیست‌محیطی، امکان وقوع فاجعه‌ای اقتصادی محتمل‌تر می‌شود. این رخداد، نه تنها رشد اقتصادی بلکه محیط‌زیست به مثابه مکان زندگی را نیز با مشکلات جدی روبرو خواهد کرد. با توجه به نتایج، کاهش بی‌ثباتی‌ها و فشارهای بیرونی جهت کاهش آنتروپی شوک، تدوین قوانین مناسب برای بنگاه‌های تولیدی جهت کاهش آنتروپی تنفس، سیاست‌های مبتنی بر کاهش زباله‌های فیزیکی و زباله‌های اجتماعی جهت کاهش آنتروپی هرزروی پیشنهاد می‌شود.

طبقه‌بندی JEL: Q43, P28, O21, Q53.

واژگان کلیدی: ترمودینامیک، آنتروپی اقتصادی، مدل‌سازی، اقتصاد فیزیک، اقتصاد کلان.

* استادیار گروه اقتصاد، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران (نویسنده مسئول)، پست الکترونیکی: b.sadeghi@scu.ac.ir

** استاد گروه اقتصاد، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران، پست الکترونیکی: m.renani@gmail.com

۱. مقدمه

مشکلات و نارسایی‌های نظری و تجربی اقتصاد کلاسیک و نئوکلاسیک، باعث شده، آشنایی با مکاتب دیگر از اهمیت زیادی برخوردار شود؛ برای مثال، توجه به مسائل محیط زیست و یا حکمرانی و غیره، یکی از مهم‌ترین ابعاد انتقادی به اقتصاد کلاسیک می‌باشند. در این فضای انتقادی است که «اقتصاد فیزیک یا فیزیک اقتصادی»[1] و «آنتروپی»[2] مطرح می‌شود. آنتروپی اقتصادی مشابه با آنتروپی ترمودینامیک، مقیاسی از انرژی است که صرف تولیدات ارزش‌مند اقتصادی نمی‌شود؛ بلکه در فرایند اقتصادی در یک سیستم اقتصادی به هدر می‌رود (ژوآن، سو، شان و یان[3]، ۲۰۱۲).

در واقع، آنتروپی اقتصادی با توجه به مفهوم آنتروپی در فیزیک به عنوان هدر رفتن انرژی، ناکارایی و به نوعی، هزینه اجتماعی در اقتصاد محسوب می‌شود؛ بنابراین، در مجموع، افزایش آنتروپی اقتصادی به معنای تلفات فزاینده عملکرد یک سیستم اقتصادی است (جاکیمویچ[4]، ۲۰۲۰).

در این پژوهش، سعی می‌شود با استفاده از نظریه سیستم‌ها و مباحث کلاسیک ترمودینامیک در فیزیک و با درنظرگرفتن مدل‌های کلان اقتصادی، یک شاخص بسط یافته فراگیر اقتصادی به نام «آنتروپی اقتصادی» معرفی شود. ارتباط علوم اقتصادی و فیزیک می‌تواند راهکارهای جدیدی برای مشکلات اقتصادی فراهم کند. در ویژگی‌های مرتبط و هماهنگ یک سیستم، مقابله با بی‌نظمی و کهولت (آنتروپی) از مهم‌ترین ویژگی‌های نظریه عمومی سیستم‌ها[5]، شناخته می‌شود (هنری و جاج[6]، ۲۰۱۹).

در این نظریه، فعالیت هر جزء از سازمان بر فعالیت سایر اجزاء آن اثر می‌گذارد؛ بنابراین، نگرش سیستمی موجب می‌شود که مدیران به سازمان به صورت یک کل و بخشی از یک سیستم بزرگ‌تر و متأثر از محیط توجه کنند. اقتصاد به عنوان ارگانیسم زنده دارای تمامی

---

[1] Econophysics
[2] Entropy
[3] Xuan, Su, Shan & Yan
[4] Jakimowicz
[5] General Theory of Systems
[6] Henry & Judge

ویژگی‌های یک سیستم است که در این سیستم بهتر می‌توان مشکلات زیست‌محیطی و کلان را در مواجه با سایر بخش‌ها تحلیل کرد.

از لحاظ تاریخی، آنتروپی، نخستین‌بار در مباحث فیزیک مطرح شد. استفاده عام و گسترده این مفهوم در حوزه اقتصاد، به عنوان «استعاره‌ای بنیادی در اقتصاد» به دهه ۱۹۷۰ میلادی باز می‌گردد. کاربرد خاص آن با مطالعات اقتصاددانی رومانیایی به نام نیکولاس جرجسکیو-روگن[1] در کتاب خود با عنوان *قانون آنتروپی و فرایندهای اقتصادی*[2]، دلالت‌ها و کاربردهای قوانین اصلی ترمودینامیک و به خصوص، قانون دوم ترمودینامیک (آنتروپی) وارد مباحث اقتصادی شد. وی، سرانجام حوزه «اقتصاد زیستی»[3] را پایه‌ریزی کرد (حسینی و رنانی، ۱۳۹٦: ۳٦). این شاخص، در فیزیک، کاربردهای گسترده‌ای یافته و بحث‌های دامنه‌داری با عنوان «اقتصاد بیولوژیک» و «اقتصاد فیزیک» را موجب شده است؛ اما، در ادبیات پژوهشی اقتصادی کشور، کم‌تر اقبالی بدان شده است.

گفتنی است، این شاخص می‌تواند برای طبقه‌بندی واقع‌بینانه عملکرد اقتصادی (بنگاه‌ها، مناطق و کشورها) استفاده شود. این پژوهش با تبیین نظری آنتروپی اقتصادی می‌تواند به درک بهتر هزینه‌ها در سیستم اقتصاد کلان ایران کمک کند. در اینجا، منظور از مدل کلان اقتصادی، مدلی چهاربخشی در اقتصاد کلان با حضور بخش‌های بنگاه، مردم، دولت و بخش خارجی است. این مطالعه با استفاده از مفهوم آنتروپی اقتصادی می‌تواند هزینه‌های اجتماعی اقتصاد ایران را در این مدل اقتصاد کلان بهتر تبیین کند؛ از این‌رو، سؤال تحقیق این است که شاخص آنتروپی اقتصادی در یک مدل کلان اقتصادی به صورت نظری در چه شاخص‌هایی محقق می‌شود و آنتروپی اقتصادی به چه بخش‌هایی تقسیم می‌شود؟

---

[1] Georgescu-Roegen, Nicolas
[2] The Entropy Law and the Economic Process
[3] Bio-Economics

۲. مروری بر ادبیات پژوهش

آنتروپی، اصطلاحی است مربوط به علم فیزیک به معنای درهم‌ریختگی و آشفتگی، میزان تصادفی بودن[1] یا میزان بهم‌آمیختگی[2] که در نظریه ارتباطات، به عنوان سنجه اطلاعات به کار می‌رود.

سیمز[3] (۱۹۹۸) از واژه آنتروپی برای بیان مفهوم «بی‌اعتنایی عقلانی»[4] استفاده کرد (پویا، نجارزاده و حیدری، ۱۳۹۸). فیزیکدان آلمانی، رودلف کلازیوس[5]، مفهوم آنتروپی را در سال ۱۸٤۸ معرفی کرد و بولتزمن[6] نیز به آن پرداخت. در ضمن، ویلارد گیبس[7]، در اثر کلاسیک خود، درباره مکانیک آماری، معنی عمیقی به آن بخشید. آنتروپی درجه‌ای از بی‌نظمی در زمان معین برای هر سیستم است. هر سیستم بسته، تمایل به افزایش آنتروپی تا نابودی نهایی دارد و تنها در صورتی که برخی عملیات در جهت نظم‌بخشی (ضدآنتروپی) درآن انجام شود سیستم به نابودی نمی‌رسد.

مفهوم آنتروپی با مطالعات روگن و نظریه سیستم‌ها وارد مباحث اقتصادی شد. در این پژوهش، بر اساس مبانی ترمودینامیک اقتصادی و نگرش سیستمی، منظور از عبارت **آنتروپی اقتصادی**، مقیاسی از انرژی است که صرف تولیدات ارزش‌مند اقتصادی نمی‌شود؛ بلکه صرف بی‌اثرکردن ناکارآمدی‌های حاصل از فرایندهای اقتصادی در یک سیستم اقتصادی می‌شود (جرجسکیو – روگن، ۱۹۷۱: ۲۵). در دنیای تجارت خارجی هم آنتروپی وجود دارد و تنها در صورتی سیستم به نابودی نمی‌رسد که تعدادی عملیات ضد آنتروپی در آن انجام شود (الیاس[8]، (الیاس[8]، ۲۰۰۸: ۱۵).

اقتصاد کلان یک کشور، همانند یک سیستم باز است که با محیط خارج خود، محیط زیست و یا کشورهای خارجی، ارتباط داشته و به طور پیوسته، مبادلات پول و یا انرژی خواهند داشت. قانون اوّل ترمودینامیک بیان می‌کند که افزایش در انرژی درونی سیستم برابر با

---

[1] Random
[2] Shuffled
[3] Sims
[4] Rationally Inattentive Behavior
[5] Rudolf Clausius
[6] Bultzman
[7] Willard Gibbs
[8] Elias

کار انجام شده یا کل گرمای اضافه شده توسط محیط اطراف آن است. مطابق با قانون اوّل ترمودینامیک ماده و انرژی نه به وجود می‌آید و نه از بین می‌رود، فقط از نوعی به نوع دیگر تبدیل می‌شود (زیمانسکی و دیتمن[1]، ۱۹۸۱).

قانون دوّم ترمودینامیک به عنوان «قانون آنتروپی» شناخته می‌شود که مطابق آن، تمام فرایندهای فیزیکی از طریقی حرکت می‌کنند که انرژی در دسترس، کاهش می‌یابد؛ به این معنا که آنتروپی در سیستم افزایش می‌یابد. مقدار کل انرژی مفید که قابلیت تبدیل به کار را دارد، در یک سیستم منزوی با گذشت زمان کاهش می‌یابد. مطابق با بیان کلوین- پلانک[2] از قانون دوم ترمودینامیک، ساخت ماشین گرمایی با بازدهی ۱۰۰ درصد غیرممکن است (هالیدی و رزینیک، ۱۹۷۸).

آنتروپی ویژگی است که معادل است با میزان انرژی که در سیستم وجود دارد؛ اما، با آن نمی‌توان کار مفید انجام داد و بنابراین، هرچه انرژی برای انجام دادن کار، بیش‌تر باشد؛ آنتروپی، کم‌تر است (قضاوی، ۱۳۹۱).

آنتروپی خاصیتی از هر سیستم است که افزایش آن نشانه کاهش انرژی مفید در سیستم‌ها، بی‌نظمی و تباهی است؛ بنابراین، آنتروپی منفی به عنوان نشانه‌ای از پایداری یک سیستم در نظر گرفته می‌شود (انصاری‌فرد، ۱۳۹۱).

کاربرد ترمودینامیک در اقتصاد به دو دسته «کاربرد حقیقی» و «کاربرد استعاری» تقسیم می‌شود؛ در کاربرد حقیقی، مقولات ترمودینامیکی در معنای واقعی خود به کار گرفته می‌شوند؛ مانند اقتصاد محیط زیست که در آن آشنایی با مفاهیم فیزیکی و ترمودینامیکی و تأثیر آن‌ها بر متغیرهای اقتصادی ضرورت دارد. در کاربرد استعاری از طریق برقراری شباهت میان پدیدار مورد تحقیق و آن مفاهیم مورد نظر قبلی انجام می‌شود (رنانی و حسینی، ۱۳۹۶).

یک سیستم زمانی باز است که مواد با آنتروپی پایین هم‌چون مواد اولیه و انرژی را دریافت می‌کند و مواد با آنتروپی بالا هم‌چون زباله را به محیط پس می‌دهد. ترمودینامیک اقتصادی، مطالعه ترمودینامیکی فرایندهایی است که توسط آن‌ها کالاها تولید و استفاده شده‌اند. ترمودینامیک اقتصادی ادعا می‌کند که سیستم‌های اقتصادی به صورتی مشابه با سیستم‌های

[1] Zemansky & Dittman
[2] Kelvin-Planck

ترمودینامیکی صورت‌بندی می‌شوند. در اصلاح ترمواکونومیک، فعالیت اقتصادی انسان می‌تواند به صورت مشابه با یک سیستم اتلافی (افزایش‌دهنده آنتروپی) تعبیر شود که با مصرف انرژی آزاد درون تبدیلات و مبادله منابع، کالاها و خدمات پیشرفت می‌کند (کرنینگ[1]، ۲۰۰۲، به نقل از انصاری‌فرد، ۱۳۹۱).

هزینه‌های اجتماعی بخش‌هایی از هزینه‌های تحمیل شده به جامعه می‌باشد که یا شناسایی نشده است و یا هزینه‌های آن درونی‌سازی نشده است. به عبارت دیگر، بخش‌های مختلف تولیدی، هزینه‌های تحمیل شده خود بر جامعه را پرداخت نمی‌کنند و این هزینه‌ها در محاسبات تولید ناخالص داخلی و رفاه جامعه محاسبه نمی‌شود. در صورتی که مفاهیم اقتصاد ترمودینامیک و آنتروپی اقتصادی، تمامی هزینه‌های وارد بر سیستم اقتصادی را در نظر می‌گیرند؛ در واقع، شاخص آنتروپی اقتصادی تمامی هزینه‌هایی را که در سیستم اتلاف می‌شود، شناسایی کرده و به عنوان بخشی از هزینه تولید محاسبه می‌کند که می‌تواند شاخصی از هزینه‌های اجتماعی یک سیستم اقتصادی باشد.

ون برتالنفی[2] (۱۹۷۳) برای نخستین‌بار، نظریه عمومی سیستم‌ها را مطرح کرده و با توضیح سیستم‌های باز و بسته و نیز تبیین قوانین ترمودینامیکی به تحدید و تعریف آنتروپی، صرفا، در مورد سیستم‌های بسته مبادرت ورزیده است. وی معتقد است از آنجا که قوانین عادی فیزیک، نسبت به همه سیستم‌ها صادق است و طبق اصل دوم ترمودینامیک، گرایش عام رویدادها در طبیعت، به سمت و سوی وضعیت‌های حداکثر بی‌نظمی است.

فرجی دانا (۱۳۷۵) در بحثی نظری معتقد است نظریه‌های متعارف اقتصاد کلاسیک جدید، مارکسی، کینزی و غیره از فعالیت‌های اقتصادی در دامنه محدودی گفتگو می‌کنند که در آنجا شرایط فیزیکی انسان و بوم‌نظام (اکوسیستم) هرگز مورد توجه و سؤال قرار نگرفته؛ اما این وضع با انتشار اثر روگن (۱۹۷۱) تغییر یافته و معنای آنتروپی اقتصادی به طور عمیق بازشناخته شده است و دریچه‌ای به روی اقتصاددانان گشوده شده است که فرایندهای اقتصادی را به عنوان فرایندهای آنتروپی‌زا، شامل زندگی‌های انفرادی و بوم‌نظام‌های پیرامونی مشخص می‌کند.

---

[1] Corning
[2] Von Bertalanffy

قضاوی (۱۳۹۱) در پژوهش خود به تدوین یک شاخص کمّی و کاربردی برای آنتروپی اقتصادی و تبیین نظری اثر سرمایه اجتماعی بر آنتروپی اقتصادی می‌پردازد. در این مطالعه، تغییرات آنتروپی اقتصادی به عنوان تابعی از نرخ رشد نیروی کار و نرخ رشد انباشت سرمایه و نرخ رشد سرمایه اجتماعی به صورت یک مدل اقتصادسنجی قابل برآورد، ارائه می‌شود. نتایج، نشان می‌دهد ضریب سرمایه اجتماعی دارای علامت منفی در مدل آنتروپی می‌باشد و باعث کاهش آنتروپی خواهد شد.

انصاری‌فرد (۱۳۹۱) در پژوهش خود با تعمیم روابط محاسبه آنتروپی ترمودینامیکی به حوزه اقتصادی، کمّیت آنتروپی اقتصادی را محاسبه کرده و مقدار آن را برای تعدادی از کشورهای توسعه یافته و در حال توسعه در دوره زمانی سی‌ساله ۱۹۸۰ – ۲۰۰۹ برآورد کرده است. نتایج نشان داده است تغییرات آنتروپی اقتصادی در بیش‌تر کشورهای توسعه‌یافته، نزولی و در اغلب کشورهای در حال توسعه، صعودی است. وی دریافته است، جهانی شدن در کشورهای توسعه‌یافته، موجب افزایش آنتروپی و در کشورهای در حال توسعه باعث کاهش آنتروپی اقتصادی شده است.

صادقی عمروآبادی، فث و رنانی[1] (۲۰۱٦) در مطالعه خود با استفاده از روش آنتروپی شانون به اندازه‌گیری شاخص آنتروپی در اقتصاد ایران طی دوره زمانی۱۹۷۰-۲۰۱٤ پرداخته‌اند. در این مطالعه با استفاده از روش بین رشته‌ای اقتصاد و فیزیک، شاخص آنتروپی اقتصادی در یک مدل اقتصادی مورد تبیین قرار گرفت. نتایج نشان می‌دهد این شاخص در ایران در حال افزایش است.

حسینی و رنانی (۱۳۹٦) مطالعه خود را در خصوص اقتصاد فیزیک با رویکرد توصیفی – تحلیلی حول دو محور مباحثاتی انجام داده‌اند. محور اول به ملاحظاتی روش‌شناختی در کاربرد مفاهیم فیزیکی و ترمودینامیکی در علم اقتصاد، مقایسه آنها با یکدیگر و نقد آن‌ها پرداخته است. محور دوم نیز به کاربرد رویکرد ترمودینامیک در نظام توزیعی سرمایه‌داری پرداخته است. نتایج نشان می‌دهد که برطبق قانون حداکثرسازی آنتروپی، اقلیّت ثروتمند جامعه در وضعیت حداکثر آنتروپی قرار ندارند و در نتیجه وضعیت آن ها انحرافی از وضعیت مانای توزیع ثروت در جامعه است.

[1] Sadeghi Amroabadi, Fath & Renani

هال[1] (۲۰۱۰) در مطالعه خود دریافته است محدودیت‌های مرسوم در اقتصاد نئوکلاسیک و عدم رفع مشکلات با توجه به درونی‌سازی اثرات خارجی، ضرورت کاربرد نظریات فیزیکی مناسبی چون آنتروپی را دوچندان کرده است. به اعتقاد نویسنده، برای تبیین شاخص آنتروپی و درونی‌سازی هزینه‌ها، دست‌کاری در طبیعت و تخریب محیط زیست، مساله‌ای قابل توجیه خواهد بود.

ایگلسیاس و آلمیدا[2] (۲۰۱۲) با استفاده از شاخص آنتروپی، اقتصاد سرمایه‌داری و اقتصاد بازار را در توزیع ثروت تحلیل کرده‌اند. به طور خاص، ثروت در یک جامعه با انرژی در یک سیستم فیزیکی مقایسه می‌شود و تجارت بین عوامل به تبادل انرژی بین مولکول‌ها در طول فرایند برخورد با آن‌ها مقایسه و تشبیه می‌شود.

جیزبا و کوربل[3] (۲۰۱۷) با تشریح شاخص آنتروپی در یک اقتصاد، به مزیت‌های این نظریه پرداخته است. آنها با استفاده از شاخص‌های مختلف آنتروپی در آمار توصیفی، نشان داده‌اند، توزیع آنتروپی بهتر می‌تواند واقعیت‌های اقتصادی را نشان دهد. برای مثال، در توزیع درآمد و ثروت. هم‌چنین این شاخص از بهینگی بالاتری برخوردار است.

سکورا، جیل و آفونسو[4] (۲۰۱۸) در مطالعه خود با بررسی نقش آنتروپی در اقتصاد، برای دست‌یابی به اقتصادی درون‌زا، اندازه‌گیری و طبقه‌بندی آنتروپی در اقتصاد را ضروری می‌دانند.

جاکیمویچ (۲۰۲۰) در مطالعه خود، نقش آنتروپی در توسعه اقتصادی را بررسی کرده و به این نتیجه رسیده است که اقتصاد فیزیک، فرضیه بازار کارا را زیر سؤال برده است؛ در حالی که اقتصاد پیچیدگی[5] نشان داده است که بازارها و اقتصادها بهترین عملکرد را در نزدیکی مرز هرج و مرج دارند.

در یک جمع‌بندی می‌توان گفت ادبیات اقتصاد کلاسیک، نئوکلاسیک و حتی کیزین‌ها، به محیط زیست و محدودیت‌های آن توجه نکرده و هزینه‌های اجتماعی را نیز به صورت کامل و جامع ارزیابی نکرده‌اند؛ بر همین اساس، رویکرد آنتروپی به یک اقتصاد کلان بهتر می‌تواند هزینه‌های تحمیل شده بر آن را بررسی نماید؛ از این‌رو، شناخت بهتر هزینه‌ها و

[1] Hall
[2] Iglesias & Almeida
[3] Jizba & Korbel
[4] Sequeira, Gil & Afonso
[5] Complexity Economics

محدودیت‌های آن، سبب به‌کارگیری رویکردهای مناسب‌تری برای افزایش تولید و رفاه در این اقتصاد می‌شود؛ بنابراین، در حوزه اقتصادی، برای تبیین مفهوم ضدپایداری و هرزروی انرژی و به طور وسیع‌تر، برای ارزیابی نوعی هزینه در یک سیستم از شاخص آنتروپی استفاده شده است. در ادامه سعی می‌شود مبتنی بر مطالعات پیشین به شاخص‌سازی انواع آنتروپی در یک مدل اقتصاد کلان اقدام شود.

۳. روش پژوهش

در این پژوهش برای تبیین مفهوم آنتروپی اقتصادی از روش توصیفی استفاده شده است؛ با استفاده از ادبیات اقتصاد فیزیک، روش‌شناسی کلی‌گرایی، نظریه سیستم‌ها (رضاییان، ۱۳۷۷) و نظریه سیستم‌های پیچیده (وکیلی، ۱۳۸۹)، مفهوم آنتروپی از فیزیک وارد فضای اقتصاد به عنوان یک سیستم اجتماعی و اقتصادی زنده شد.

اقتصاد جامعه به عنوان یک سیستم زنده از قوانین ترمودینامیکی فیزیک بهره برده و می‌توان آنتروپی سیستم را به عنوان یکی از حیاتی‌ترین شاخص‌های آن اندازه‌گیری کرد. در این بین، از روش‌شناسی کلی‌گرایی علوم و مطالعات بین‌رشته‌ای اقتصاد و فیزیک استفاده شده است. در این پژوهش به صورت توصیفی در یک مدل کلان اقتصادی به تناظر مفهومی یک به یک هزینه‌های اقتصادی با مفهوم آنتروپی در یک سیستم اقتصادی پرداخته می‌شود. در بخش بعدی با معرفی اجزای مدل کلان اقتصادی، به تصریح مدل مطالعه و تعریف بخش‌های مختلف آن پرداخته می‌شود. مدل این مطالعه با استفاده از مدل کلان چهاربخشی مرسوم به همراه بخش محیط زیست به دلیل توجه به مفهوم آنتروپی و هم‌چنین، ادبیات مربوط به اقتصاد اکولوژیک تصریح شده است.

٤. تصریح مدل

در این بخش، چارچوب کلان اقتصادی و تصریح اجزای آن برای محاسبه آنتروپی اقتصادی و بخش‌های مختلف آن مورد توجه قرار می‌گیرد. با توجه به مدل مفهومی تحقیق، می‌توان آنتروپی را در بخش‌های مختلف مشاهده کرد. در واقع، دلیل معرفی این مدل، نشان دادن

هزینه‌های اجتماعی یک سیستم اقتصادی است. به بیان دیگر، در این مدل، هزینه واقعی سیستم فیزیکی اقتصادی را نشان می‌دهد و با این هزینه، فنّاوری بازیافت و تحقیق و توسعه برای توسعه محیط زیست، دست یافتنی‌تر خواهد بود.

بخشی از این هزینه با عنوان آنتروپی شوک مربوط به هزینه‌های ورود و خروج سیستم است. در بخش دیگر از دستاوردهای نظری، آنتروپی را به عنوان شاخص تنفس یا جبران استهلاک سیستم می‌توان مشاهده کرد. واژه تنفس[1] از مباحث اکولوژی گرفته شده است و در اقتصاد، در زمینه سوخت و ساز سیستم اقتصادی کاربرد دارد. این نوع انرژی از سیستم خارج می‌شود و یا این که در خصوص رشد و توسعه سیستم اقتصادی، تنها برای زنده ماندن از آن استفاده می‌شود. آنتروپی شوک و عدم دسترسی نیز به عنوان بخش دیگری از آنتروپی اقتصادی و دستاورد این پژوهش معرفی می‌گردد.

در این مطالعه، مفهوم آنتروپی در مدل کلان اقتصادی تبیین می‌شود. در بخش اول با بیان یک مدل مفهومی، به طراحی یک مدل کلان اقتصادی جهت محاسبه آنتروپی اقتصادی یا آنتروپی تخصیص، پرداخته می‌شود. در بخش دوم نیز برای محاسبه شاخص آنتروپی در اقتصاد ایران، برای بحث در مورد ارتباط بین جریان‌ها و مفهوم آنتروپی در یک سیستم اقتصادی، مرزهای یک سیستم و بخش‌های درونی و بیرونی سیستم اقتصادی و محیط زیست مشخص می‌شود و مقادیر ذخیره و جریان سیستم اقتصادی تعیین می‌گردد. در واقع، یک سیستم، شبکه‌ای تشکیل شده از جریان‌های بین اجزای آن است. هم‌چنین برخی جریان‌ها بین سیستم و محیط وجود خواهد داشت.

در این بخش به تصریح مدل کلان اقتصادی و معرفی بخش‌های مختلف آن پرداخته شده است. مدل اقتصاد کلان مفهومی که در این مطالعه استفاده خواهد شد از شش بخش دولت، بنگاه‌ها، خانوار (خانواده‌ها)، بازار مالی، کشورهای خارجی و محیط زیست تشکیل شده است. در واقع، این مدل مبتنی بر یک مدل کلان اقتصادی چهاربخشی می‌باشد (رحمانی، ١٣٩٤).

در این مقاله، بخش محیط زیست و مالی به بخش‌های خانوار، بنگاه، دولت و بخش خارجی افزوده شده است؛ بنابراین، مدل طراحی شده پژوهش، یک مدل تعدیل یافته چهاربخشی است که بخش‌های آن در جدول (١) معرفی شده است.

---

[1] Respiration

افزودن بخش محیط زیست با توجه به مفاهیم آنتروپی و مباحث اقتصاد اکولوژیک (دیلی و فارلی[1]، ۲۰۱۱؛ دافرموس، نیکولایدی و گالامیس[2]، ۲۰۱۷؛ ملگار و هال[3]، ۲۰۲۰؛ پرگمایر[4]، ۲۰۲۱) برای تبیین بهتر و مدل‌سازی آنتروپی در یک سیستم اقتصاد کلان پیچیده، ضروری است.

٤-١. پیش‌فرض‌های مدل

پیش‌فرض‌های ضمنی مدل عبارتند از: ۱) کالاهای مصرفی و تولیدی مطرح شده در مدل، از جمله منابع طبیعی نیستند؛ ۲) اقتصاد در شرایط جنگی قرار نداشته و وضعیت عادی و معمول حاکم است و ۳) عقلانیت اقتصادی در رفتار مصرف‌کنندگان و تولیدکنندگان وجود دارد. فرضیات مدل نیز به‌صورت زیر هست:

٤-٢. مفروضات مدل

منطبق بر کلی‌گرایی علوم، فرض می‌شود که همان‌طور که سیستم‌ها طبقه‌بندی دارند، علوم هم طبقه‌بندی داشته و قوانین فیزیک بر اقتصاد تسری داشته و می‌توان گفت قوانین ترمودینامیک در اقتصاد جاری است. فرض می‌شود کل انرژی در سیستم به دو بخش انرژی قابل مصرف و غیرقابل مصرف تقسیم شود که آنتروپی در بخش دوم جای می‌گیرد.

هم‌چنین، فرض می‌شود، مرزهای یک سیستم کلان اقتصادی به دو بخش مرزهای زیست‌محیطی (اکولوژیکی) و جغرافیایی تقسیم می‌شود که لزوماً مرزهای اکولوژیکی با مرزهای جغرافیایی و سیاسی کشور منطبق نیستند.

دیگر اینکه فرض می‌شود سیستم کلان اقتصادی از شش بخش دولت، بنگاه‌ها، خانوار، بازار مالی، کشورهای خارجی و محیط زیست تشکیل شده است. فرض می‌شود هر بخش دارای ذخیره خاص خود بوده و هر دو بخش دارای جریانات بین خود هستند که این جریانات به صورت پولی و ارزشی در نظر گرفته می‌شود.

---

[1] Daly & Farley
2 Dafermos, Nikolaidi & Galanis
3 Melgar-Melgar & Hall
4 Pirgmaier

٤-٣. مدل تحقیق

در مدل اقتصاد کلان این پژوهش، محیط زیست به عنوان موهبتی طبیعی، ارائه‌دهنده منابع طبیعی و انرژی در بخش‌های اقتصادی، به ویژه، برای استفاده بنگاه‌ها جهت تولید کالا و خدمات در نظر گرفته شده است و هم‌چنین، این مدل، محیط زیست را به عنوان بخشی مطرح می‌کند که می‌تواند تمام بخش‌های دیگر را درگیر کرده و در واقع، با تمامی بخش‌های اقتصادی ارتباط دارد.

در این مدل، یک سیستم اقتصادی، انرژی و مواد اولیه را از محیط زیست می‌گیرد و بعد از مقادیر زیاد انتقالات انرژی در درون بخش‌های سیستم اقتصادی، در نهایت، تولید زباله و آلودگی در سیستم اقتصادی را مقصد نهایی کالا می‌داند. در این مطالعه با پذیرش این واقعیت که انرژی و سرمایه، جانشین یکدیگر در تولید نمی‌باشند و بلکه مکمل یکدیگر هستند؛ بنابراین، در فرایند تولید، انرژی و منابع محدود زیست‌محیطی مصرف شده و یا به هدر رفته و بخشی از آن، هرگز بازگشتی نخواهد داشت؛ بنابراین، نظریه تولید به برگشت‌ناپذیری قوانین ترمودینامیک ارتباط دارد.

نکته مهم این است که افزون بر جریانات پولی در یک سیستم اقتصادی باید به جریانات فیزیکی نیز توجه شود و ورود منابع به سیستم اقتصادی و خروج آلودگی و زباله از آن مشخص شود؛ برای مثال، آلودگی‌های آب و هوا می‌تواند به عنوان یک منبع آنتروپی مطرح شود. نقص مدل‌های پیشین این است که یا به بخش‌هایی از این وضعیت توجه شده یا به بخشی از کل سیستم عطف توجه شده است؛ اما، در مدیریت اقتصادی و تحلیل اکوسیستم، به سیستم به عنوان یک کل نگاه می‌شود. از دیدگاه شبکه، ایجاد و تکامل یک سیستم می‌تواند از دو جنبه مورد توجه قرار گیرد: ۱) تغییرات تعداد نقاط اتصال و ۲) تغییرات مسیرهای ارتباطی (مایو[1]، ۲۰۰۷).

موضوع اول به سوخت و ساز اجزای یک سیستم و موضوع دوم به پشت سوخت و ساز سیستم؛ یعنی، ساختار اقتصادی سیستم مرتبط است. به زعم زاپارات[2] (۲۰۱۵)، ارتباط بین اقتصاد و قوانین ترمودینامیکی در سطوح متفاوت بسیار مهم می‌باشد؛ زیرا فرایند اقتصادی از

[1] Miao
[2] Zapart

قوانین ترمودینامیکی پیروی کرده و نظریه‌های اقتصادی باید با قوانین ترمودینامیکی در ارتباط باشد. این ارتباطات، عمق رابطه بین سیستم‌های اقتصادی و چارچوب بیوفیزیکی یک اقتصاد پایا را کم خواهد کرد.

همان‌گونه که در شبکه‌های اکولوژیکی توسط مارستینی[۱] (۲۰۰۸) و یولانویچ[۲] (۲۰۰۹) و هازان[۳] (۲۰۱۹) توصیف شده است، مجموع جریان‌های یک سیستم پیچیده به عنوان جریان‌های کل سیستم[٤] (TST) شناخته می‌شوند. معادل اقتصادی جریان‌های کل سیستم را می‌توان تولید ناخالص ملی یک سیستم پیچیده اقتصادی دانست.

در مفهوم فرایندهای اجتماعی، قوانین ترمودینامیکی به دو دسته تقسیم‌بندی می‌شوند؛ ۱. انرژی در فرایندهای اقتصادی نه مصرف می‌شود و نه تولید می‌شود؛ بلکه تبدیل می‌شود؛ ۲. هر فرایند اقتصادی به خودی خود منجر به افزایش آنتروپی خواهد شد.

برای محاسبه آنتروپی مبتنی بر این مدل، در این مطالعه چهار جنبه شبکه‌های اقتصادی در نظر گرفته می‌شود: ۱. آنتروپی شوک یا آنتروپی صادرات و واردات (ورودی و خروجی سیستم) یا نوسانات تبادل؛ ۲. آنتروپی تنفس یا آنتروپی جبران استهلاک (مصرف انرژی ناشی از کارکردن نرمال سیستم) افزون بر ناکارایی سیستم؛ ۳. آنتروپی هرزروی انرژی یا آنتروپی زباله‌ها، زیان‌های رفاهی اجتماعی و ٤. آنتروپی افزونگی یا حشو یا آنتروپی عدم دسترسی (منظور این است که سیستم کار نمی‌کند؛ اما آنتروپی ایجاد می‌کند) آنتروپی خواب یا ظرفیت آزاد، هزینه – فرصت. در این بخش، پس از تعریف کوتاهی از هرکدام، مثال‌های متعددی جهت درک مفهوم آن در یک سیستم کلان اقتصادی آورده شده است.

الف) آنتروپی شوک[۵]

اولین بخش آنتروپی مطرح شده، آنتروپی اقتصاد کلان یک کشور با کشورهای دیگر جهان (کشورهای خارجی و مبادلات خارجی) و یا به طور کلی‌تر، آنتروپی ناشی از خارج سیستم است. در واقع، بی‌ثباتی‌ها و فشارهای بیرونی که می‌تواند ناشی از نبودن برنامه‌ریزی و سوء

[1] Marchettini
[2] Ulanowicz
[3] Hazan
[4] Total System Throughflow
[5] Export and Import Entropy (Shock Entropy)

مدیریت ارتباطات سیستم با خارج از سیستم باشد یا تحولاتی که از دسترس مدیریت سیستم خارج باشد.

در بدن انسان به عنوان یک سیستم کوچک، هرگونه تبادل غیرطبیعی می‌تواند نوعی شوک ورودی و خروجی باشد. برای بدن انسان به عنوان یک سیستم، پرخوری و یا سوء تغذیه ناشی از کمبود درآمد فرد، شوک‌های آنتروپی‌زا ایجاد می‌کنند. هم‌چنین، تعرق زیاد بدن و یا خون‌ریزی و بالا آوردن غذا را می‌توان به عنوان شوک‌های صادراتی بدن و تغییرات دمایی (گرما و سرما) را می‌توان به عنوان شوک‌های وارداتی به بدن دانست.

برای یک دستگاه تولیدی، نبودن برنامه‌ریزی باعث تغییرات و نوسانات در ورود مواد اولیه و حتی خروج محصول از دستگاه می‌شود. ورود بیش از حد و یا کم‌تر از حد مواد اولیه، می‌تواند دستگاه را با عدم کارایی حداکثری مواجه کند و یا کیفیت پایین مواد اولیه باعث صدمات جبران‌ناپذیری به دستگاه شود. ورود مواد نامرغوب به سیستم و یا محدودیت‌های از طرف شهرداری برای یک تولیدکننده به عنوان شوک‌های برون‌سیستمی می‌تواند ناشی از مدیریت یا خارج از سیستم مدیریتی باشد. حادثه انفجار در کارگاه تولیدی و یا اعتصاب کارگران، دزدی در کارخانه به عنوان یک شوک آنتروپی از داخل به خارج و قطع شدن برق به عنوان یک شوک آنتروپی خارج به داخل در یک سیستم تولیدی مطرح است. انتقال از یک بازار به یک بازار دیگر برای تولیدکننده یک شوک و بنابراین، آنتروپی ایجاد می‌کند که اقتصاد کلاسیک هیچ کدام از موارد فوق را در نظر نمی‌گیرد.

دریک سیستم کلان اقتصادی به طور مثال می‌توان گفت مهاجرت نیروی انسانی و نخبگان و ثروت یک کشور به کشورهای دیگر و یا خالص تراز تجاری کالا و خدمات و انتقالات پول یک کشور به کشورهای دیگر، می‌تواند در این بخش، به عنوان آنتروپی مدنظر قرار گیرد. در واقع، چنانچه خالص ذخیره پول (سرمایه) یا کالای یک کشور منفی باشد، بدان معناست که مقداری پول (ارز) از کشور خارج شده است و میزانی از انرژی سیستم از دست رفته است؛ این بدان معناست که همه موارد یاد شده از ارزش برخوردارند و خروج آن‌ها باعث خروج ارزش از کشور و نوعی آنتروپی محسوب می‌شود.

هم خود جریانات و هم نوسانات این جریانات و تغییرات این موضوع، معادل آنتروپی صادرات و واردات در نظر گرفته می‌شود. در واقع، نوسانات جریانات ورودی و خروجی،

نوعی انباشت آنتروپی برای سیستم محسوب می‌شود؛ برای مثال، خروج نیروی انسانی اگرچه با یک روند منظم و بدون نوسان است؛ اما، در نهایت با تخلیه نیروی انسانی و اثرات سوء آن، اقتصاد کشور، با یک شوک نیروی متخصص روبرو خواهد شد که باعث بی‌ثباتی تولید خواهد شد و این شوک، انباشت آنتروپی طی سالیان خروج نیروی انسانی از کشور خواهد بود. برای یک کشور تغییرات شدید مواد معدنی و محیط زیست به عنوان یک شوک باعث تغییرات شدید قیمت مواد اولیه و انرژی در کشور شده و می‌تواند علاوه بر فرایند تولیدی کشور، زندگی در آن منطقه را با مخاطرات جدی مواجه کند و اقتصاد کشور را دچار بحران رکود تورمی کند.

ب) آنتروپی تنفس[1]

بخش دوم، آنتروپی تنفس یا جبران استهلاک، میزانی از قدرت خرید، پول و انرژی یک سیستم است که سیستم آن جامعه به آن نیاز دارد تا به حالت اولیه بازگشته و زنده بماند.

هر سیستم تولیدی را می‌توان در یک تقسیم‌بندی کلاسیک دارای دو نوع هزینه تبدیل و مبادله دانست. هزینه تبدیل درواقع هزینه‌های جاری کلاسیک سیستم هم‌چون هزینه مواد اولیه، نیروی کار و سرمایه است. حتی اگر سیستم در ارتباط با سیستم‌های دیگر نیز نباشد، یکسری هزینه‌های کلاسیک هم‌چون هزینه جاری و استهلاک سرمایه دارد. سیستم در حالت معمولی کار می‌کند و به مصرف انرژی نیاز دارد که ناشی از کار کردن نرمال سیستم است و می‌توان آن را «استهلاک سیستم» نام نهاد.

قسمت اول هزینه‌های جاری را می‌توان «هزینه جاری تبدیل» و قسمت دوم را «هزینه‌های سرمایه‌ای تبدیل ناشی از استهلاک استاندارد ماشین‌آلات» معرفی کرد؛ اما هزینه‌های قسمت سوم تبدیل را می‌توان «هزینه‌های اجتماعی تبدیل» نام نهاد. این بخش از هزینه‌های تبدیل ناشی از مدیریت نامناسب، قوانین نامناسب و پیچیدگی سیستم است که باعث نوعی ناکارایی سیستم و یا ناکارایی ایکس خواهد بود.

هزینه‌های بخش دوم تولید، هزینه‌های تبادل نام دارد و زمانی که سیستم در ارتباط با بخش‌های دیگر و سیستم‌های دیگر درحال فعالیت است، بوجود می‌آید. نبود سرمایه اجتماعی،

[1] Respiration Entropy

نمود بارز این نوع هرینه‌ی تبادل در سیستم تولیدی یک کارخانه است. کم‌کاری و بداخلاقی کارکنان ناشی از این موضوع است. در حقیقت هزینه‌های تبدیل ناشی از هزینه‌های کارکرد فنی سیستم در حالت طبیعی و یا غیر طبیعی است؛ اما، هزینه‌های مبادله در ارتباط با سیستم‌های دیگر معرفی می‌شود. مثلاً تا زمانی که اطراف فولاد مبارکه انسان‌ها ساکن نباشند، آلودگی فولاد مبارکه یک هزینه مبادله و برون‌ریز منفی نیست و وقتی جامعه اطراف آن ساکن می‌شود و به محیط زیست نیاز پیدا می‌کند، هزینه‌های مبادله و برون‌ریزهای خارجی مطرح می‌شود.

هزینه‌های مبادله به دلیل رعایت نکردن قانون است؛ اما رعایت قوانین بد ناشی از هزینه تبدیل اجتماعی در بخش تنفس است. در واقع، قوانینی که دارای مشکل می‌باشند، در حین اجرا و پس از آن، هزینه‌هایی برای مجریان و افراد جامعه ایجاد می‌کند که جزئی از این نوع آنتروپی محسوب می‌شود؛ برای مثال، دادگاه برای هر پرونده به جای یک ماه، شش ماه زمان، لازم دارد. درست است که قانون است؛ اما قانون نامناسبی است و نیاز به هزینه اجتماعی تبدیل دارد.

همان‌طور که سیستم یک گیاه برای زنده ماندن نیاز به تنفس و مصرف انرژی دارد، سیستم اقتصادی نیز برای آن‌که روی پای خود بایستد، نیاز به مصرف انرژی دارد. بنابراین، سیستم اقتصادی، برای پایدار ماندن، در درجه اول نیاز به میزانی از انرژی و پول دارد که خود را زنده نگه دارد؛ برای مثال، می‌توان خط فقر مطلق یا نسبی را برای هر فرد به عنوان متوسط تنفس اجزای یک سیستم کلان اقتصادی در نظر گرفت.

خط فقر برای یک جامعه، میزان پول و انرژی است که کل سیستم اقتصادی لازم دارد تا نیازهای اولیه ضروری خود را تامین کرده و به صورت فعلی پابرجا بماند. این بخش از انرژی از سیستم خارج می‌شود تا سیستم شناور و پایدار بماند. از طرف دیگر، یک سیستم به دنبال وضعیت پایدار می‌گردد تا از نوسانات و نااطمینانی جریان‌های سیستمی دوری کند که این موضوع مبتنی بر تعریف آنتروپی شانون است. برای پایداری در وضعیت فعلی سیستم و عدم افت از حالت فعلی، فعالیت‌هایی باید انجام شود که در جریان کاهش آنتروپی سیستم خواهد بود. در ادبیات اقتصادی این نوع آنتروپی را می‌توان آنتروپی جبران استهلاک نامید. در واقع، ماشین‌آلات تولیدی، یک عمر مفیدی دارند و بر اساس آن عمر مفید، هر سال بخشی از آن

مستهلک شده و از ارزش آن کاسته می‌شود. این بخش از انرژی نیز از دسترس خارج شده و به بیرون از سیستم هدایت می‌شود. هزینه‌های مصرف دارو در کشور به عنوان هزینه‌های بهبود، نوعی هزینه تنفس یا استهلاک نیروی انسانی به حساب می‌آید. هزینه‌های صرف شده برای بخش عمومی و نظم و امنیت نیز نوعی از هزینه‌های تنفس سیستم است.

ج. آنتروپی هرزروی[1]

بخش سوم، آنتروپی هرزروی انرژی یا آنتروپی زباله‌های سیستم است. هر بخشی از سیستم مقداری زباله و ناکارایی در خود دارد که به معنای وجود و حضور آنتروپی در آن بخش است. برای مثال، بنگاه‌ها زباله و آلودگی تولید می‌کنند که به محیط زیست باز می‌گردد و می‌توان هزینه بازیافت این زباله‌ها را به عنوان هزینه آنتروپی سیستم اقتصادی در نظر گرفت؛ مثال دیگر می‌تواند ناکارایی دولت در سیستم باشد که انرژی سیستم را به‌هدر می‌دهد و می‌تواند به عنوان تفاوت کارایی بخش خصوصی و دولت به این عنوان محاسبه شود. زباله‌های یک اقتصاد را می‌توان به دو بخش زباله‌های فیزیکی و زباله‌های اجتماعی تقسیم‌بندی کرد. آلودگی‌های زیست‌محیطی و زباله‌های خانوار، صنعت و تولید همگی زباله‌های فیزیکی یک سیستم اقتصادی هستند. جرم و جنایت را می‌توان نوعی زباله اجتماعی سیستم توصیف کرد که بخشی از انرژی سیستم را به دلیل نبودن سرمایه اجتماعی در جامعه از بین می‌برد. همه این‌ها نوعی آنتروپی هرزروی انرژی محسوب می‌شود.

در مورد انسان به عنوان یک سیستم، الینه‌شدن انسان‌ها در یک سیستم نوعی زباله اجتماعی سیستم است و یا وجود استرس‌های بالای کاری منجر به مصرف مواد مخدر برای فرد و یا بیش از حد کارکردن فرد، موقعیت عاطفی فرد با خانواده منجر به مشکلات خانوادگی می‌شود و زباله اجتماعی ناشی از کار مطرح است. پرخاشگری، بدگمانی، فریبکاری نوعی از زباله‌های اجتماعی برای بدن انسان است.

در یک سیستم کلان اقتصادی، کاهش سرمایه‌های اجتماعی و افزایش جرم و جنایت در جامعه باعث ایجاد هزینه‌های نیروی انتظامی و دادگاه‌ها در کشور می‌شود که در ظاهر رشد اقتصادی را افزایش می‌دهد؛ اما، در واقع، نوعی هرزروی انرژی است. بنابراین، می‌توان گفت

[1] Dissipation or Pollution Entropy

بخش‌هایی از هزینه‌های مالیاتی مردم برای ارائه این نوع خدمات دولتی مصرف می‌شود؛ اما در واقع، نوعی هرزروی انرژی است. دیگر مثال‌های این بخش را می‌توان فساد در سیستم‌های دولتی و بازارهای مالی، ناکارایی‌های انحصارها و هزینه‌های ناشی از بیماری‌ها و میزان تصادفات رانندگی و... در یک سیستم اقتصادی دانست.

در حقیقت، وجود انحصار خودرو در سیستم اقتصادی کشور، هم کیفیت کالا را کاهش می‌دهد و هم قیمت را افزایش می‌دهد و هم میزان تولید را کاهش خواهد داد که همه این موارد باعث ایجاد یک رفاه منفی اجتماعی است که نوعی هرزروی انرژی و یا زباله اجتماعی به شمار می‌آید. فقر و فحشا و... نیز از این نوع زباله‌های اجتماعی هستند و تنفر دو نفر از یکدیگر یا رقابت‌های بیجای سازمانی نوعی زباله محسوب می‌شوند.

گفتنی است میزان تولید زباله فیزیکی در یک سیستم و یا یک اقتصاد، تابعی از فن‌آوری است و هرچه فن‌آوری بالاتری در دسترس باشد می‌توان میزان زباله‌ها را کاهش داد؛ هرچند بازیافت کامل و در نتیجه، آنتروپی صفر، امکان‌پذیر نیست.

د) آنتروپی خواب[1]

بخش چهارم آنتروپی یک سیستم، آنتروپی افزونگی و یا آنتروپی عدم دسترسی است. میزانی از انرژی یا پول که در سیستم وجود دارد؛ اما، در دسترس نیست؛ اگرچه، مانند زباله قابل مشاهده نیست؛ اما، بدون این‌که منفعتی داشته باشد، به جامعه هزینه تحمیل می‌کند و به عنوان هزینه‌های آنتروپی در داخل سیستم اقتصادی مطرح است. مقداری از پول یا انرژی که منتقل می‌شود؛ اما به جامعه و اجزای سیستم آسیب می‌رساند و برای جامعه مفید نیست. برای مثال، فضای یک مدرسه و یا دانشگاه که هزینه شده است؛ اما استفاده نمی‌شود و یا بخشی از نیروی انسانی که به این داستان دچار شده‌اند. مثال واضح دیگر این بخش، شهرک‌های صنعتی نیمه تعطیل کشور در سالیان گذشته و حال است که با وجود هزینه‌های بسیار زیاد زیرساختی عمومی و حتی خود بخش خصوصی، قابل استفاده نیست.

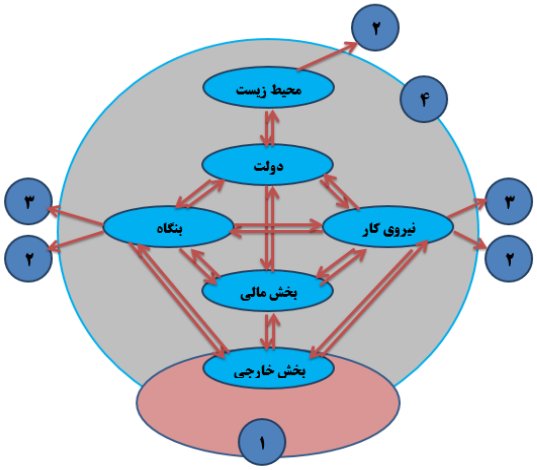
بخش دیگری از این آنتروپی در یک سیستم اقتصادی را می‌توان جمعیت بیکار جامعه دانست. در اقتصاد، افراد کم‌تر از ۱۵ سال و بالای ٦٠ سال، جمعیتِ غیرفعال در نظر گرفته

[1] Redundancy Entropy (Opportunity Cost Entropy)

می‌شود که می‌توانند باعث افزایش آنتروپی اقتصادی سیستم و یا به عنوان گرمای بیومس در یک سیستم اکولوژیکی دانست. این‌ها مثال‌هایی از آنتروپی عدم دسترسی می‌باشند که ثروت، کارایی و رفاه جامعه را کاهش می‌دهند. درواقع، هزینه – فرصت سرمایه‌های ساخت بشر را می‌توان «عدم تولید آنتالپی (کار مفید سیستم)» و یا «آنتروپی عدم نفع‌ها» نام‌گذاری کرد.

شهرک‌های صنعتی با ۲۵ درصد درحال تولید هستند و بقیه سیستم کار نمی‌کند؛ یعنی سیستم تولید نمی‌کند؛ اما هزینه برای سیستم دارد. به عبارت دیگر، سیستم در حالت بیداری است و هزینه‌های بیداری را دارد؛ اما، در حقیقت، خواب است و هزینه‌های آنتروپی خواب را به سیستم تحمیل می‌کند؛ به عبارت دیگر، یک بنگاه به خاطر ظرفیت‌های آزاد خود باید هزینه بدهد.

یک سیستم برای ایجاد خود سرمایه‌گذاری کرده است و هزینه‌های تورم خود را به جامعه تحمیل کرده؛ اما، چنانچه تولیدی صورت نگیرد، نتوانسته هزینه‌های خود را جبران نماید. هزینه‌های فرصت در این بخش از هزینه‌های آنتروپی جای می‌گیرد. با توجه به آنچه گفته شد، مدل مفهومی پژوهش در ادامه ارائه می‌شود.



نمودار ۱. مدل مفهومی ارزش جریانات و مبادلات در یک سیستم پیچیده کلان اقتصادی

راهنمای تصویر: اعداد نشانگر انواع آنتروپی هستند؛ ۱. شوک؛ ۲. هرزروی انرژی؛ ۳. استهلاک، تنفس و ٤. عدم دسترسی (آنتالپی از دست رفته)

منبع: یافته‌های تحقیق

٤-٤. معرفی ذخایر و جریانات مدل مفهومی

در مدل مفهومی ارائه شده، یک سیستم کلان اقتصادی پنج بخشی مرسوم به همراه محیط زیست (٦ بخش) به تصویر کشیده شده است که هر بخش، دارای ذخیره خاص خود بوده و در بین بخش‌ها، مبادلات کالا، خدمات، آلودگی، پول و غیره وجود دارد که تلاش شده تمام مبادلات به صورت ارزش نشان داده شود و طریقه به ارزش تبدیل کردن ذخایر بخش‌ها و جریان‌های بین آن‌ها در این تحقیق به صورت زیر تعریف شده‌اند:

جدول ١. ذخایر بخش‌ها و جریان‌های بین آن‌ها

بخش	ذخیره (دلار)	جریان (دلار)
دولت	بودجه دولت (مجموع هزینه های جاری و عمرانی دولت)	سوبسیدهای دولت به مردم و بنگاه‌ها، اندازه دولت *تفاوت بهره‌وری و هزینه‌های سلامت و جرم و جنایت
بنگاه‌ها	ارزش دارایی‌ها	مالیات، زباله‌ها و آلودگی، استهلاک ماشین‌آلات، متوسط دستمزد*تعداد کارمندان، سپرده‌های بنگاه‌ها در بانک
بخش مالی	ارزش دارایی‌ها	تسهیلات، جریان پول به خارج از کشور
نیروی کار (خانوار)	جمعیت فعال*نرخ اشتغال *درآمد سرانه سالیانه	سپرده‌های در بانک، تعداد مهاجران*درآمد سرانه در سال، مالیات به دولت
محیط‌زیست	ظرفیت تخمینی نفت و معادن	درآمدهای رانتی دولت از نفت، گاز، جنگل و معادن
بخش خارجی	مجموع تولید ناخالص داخلی	جریان پول، جریان مهاجرت* درآمد سرانه در سال

منبع: یافته‌های پژوهش

۵. نتیجه‌گیری و پیشنهادها

در این پژوهش، سعی شد مفهوم آنتروپی در یک سیستم کلان اقتصادی مدل‌سازی شود. تصریح مدل مبتنی بر یک اقتصاد کلان چهاربخشی به همراه بخش مالی و محیط زیست و معرفی اجزای آنتروپی در آن می‌باشد.

نتایج نشان داد مهم‌ترین بخش مدل، زباله‌های بنگاه‌ها و خانوارهاست که شامل زباله‌های فیزیکی و آلودگی‌های هوا، آب، خاک و زباله‌های اجتماعی می‌باشد. این زباله‌ها شامل تخریب محیط زیست و جنگل‌ها و در نهایت، زباله‌های صنعتی و هم‌چنین، اجتماعی و کاهش سرمایه اجتماعی و جرم و فساد است. به طور کلی، در صورت وجود زباله‌ها و آلودگی‌ها به عنوان شاخص آنتروپی اقتصادی سیستم، لازم است بازیافت زباله‌ها با قدرت بیش‌تری انجام شود تا آنتروپی سیستم‌ها کاهش یابد.

بر اساس مدل عرضه شده، آنتروپی هرزروی، انواع هزینه‌ها و زباله‌های اجتماعی، ناکارایی‌های دولت، هزینه‌های جرم و جنایت و هزینه‌های فساد در یک سیستم را دربر می‌گیرد. بخش اول نشانگر تفاوت کارایی بخش‌های خصوصی و موسسات دولتی و بخش دوم ناشی از نبودن سرمایه اجتماعی و بخش سوم نشانگر فساد دولتی و بازار مالی است که کالای سودمندی برای رفاه جامعه تولید نمی‌کند.

هم‌چنین مدل، بخش دیگری از آنتروپی را با عنوان شاخص تنفس یا جبران استهلاک سیستم نشان داده است. آنتروپی شوک و عدم دسترسی نیز به ترتیب در مبادلات با کشورهای خارجی و در کل سیستم دیده می‌شود و آنتروپی خواب، نیز ناشی از عدم استفاده از بخش‌های مختلف اقتصادی و هزینه – فرصت آن‌ها حاصل شده است که قبلاً هزینه خود را به جامعه تحمیل کرده‌اند. این نتایج منطبق بر مطالعات یولانویچ (۲۰۰۹)، سکورا، جیل و آفونسو (۲۰۱۸) و جاکیمویچ (۲۰۲۰) و ادبیات رشد پایدار دیلی و فارلی (۲۰۱۱) می‌باشد.

با توجه به نتایج پژوهش و تقسیم‌بندی شاخص آنتروپی در مدل کلان اقتصادی، سیاست‌های مبتنی بر کاهش آنتروپی اقتصادی ارائه می‌گردد:

برای کاهش آنتروپی شوک، سیاست‌های مبتنی بر کاهش مهاجرت نیروی انسانی و نخبگان و ثروت و پول از کشور و نیز سیاست‌های مبتنی بر کاهش نوسانات این جریانات و یا تغییرات شدید مواد معدنی و محیط زیست توصیه می‌شود.

برای کاهش هزینه‌های تبدیل استهلاک که ناشی از بهبود کارکرد فنی سیستم در حالت طبیعی و یا غیرطبیعی است؛ تدوین قوانین مناسب برای بنگاه‌های تولیدی جهت کاهش هزینه تبدیل اجتماعی در بخش تنفس و نیز سیاست‌های مبتنی بر کاهش خط فقر مطلق یا نسبی برای هر فرد به عنوان متوسط تنفس اجزای یک سیستم و کاهش آنتروپی تنفس توصیه می‌شود. مدیریت هزینه‌های مصرف دارو در کشور به عنوان هزینه‌های بهبود، نوعی هزینه تنفس یا استهلاک نیروی انسانی به حساب می‌آید.

اجرای سیاست‌های مبتنی بر کاهش زباله‌های فیزیکی و زباله‌های اجتماعی در یک سیستم اقتصادی، برای مثال، سیاست‌های مبتنی بر کاهش هزینه‌های نیروی انتظامی و دادگاه‌ها، جرم و جنایت (به عنوان نوعی زباله اجتماعی و نوعی آنتروپی هرزروی انرژی) و نیز اجرای سیاست‌های کاهش فساد در سیستم‌های دولتی و بازارهای مالی، ناکارایی‌های انحصارها و هزینه‌های ناشی از بیماری‌ها و میزان تصادفات رانندگی توصیه می‌شود. از سوی دیگر، از آنجا که میزان تولید زباله فیزیکی در یک سیستم و یا یک اقتصاد، تابعی از فن‌آوری است؛ بنابراین، توسعه و بهبود دانش فناورانه و ارتقای مهارت و تخصص نیروی انسانی و بالابردن سطح کیفی ماشین‌آلات و دستگاه‌های تکنولوژیکی می‌تواند نقش برجسته‌ای در کاهش تولید زباله فیزیکی ایفا نماید.

اجرای سیاست‌های استفاده از فضاهای تولیدی که در حال حاضر استفاده نمی‌شوند؛ برای مثال، افزایش استفاده از ظرفیت‌های خالی شهرک‌های صنعتی و نیز کاهش هزینه‌های فرصت در این بخش از هزینه‌های آنتروپی توصیه می‌شود.

منابع

- انصاری‌فرد، مائده (١٣٩١). تحلیل رابطه جهانی‌شدن و آنتروپی اقتصادی. پایان‌نامه کارشناسی ارشد توسعه اقتصادی و برنامه‌ریزی، دانشگاه اصفهان.
- پویا، محمدمهدی، نجارزاده، رضا، حسن، حیدری (١٣٩٨). تحلیل رفتار قیمتی بنگاه‌ها در اقتصاد ایران با استفاده از روش تبدیل موجک، *فصلنامه علمی مدل‌سازی اقتصادی*، ١٤ (٤٩): ٢٥-٤٨.

- تامانوئی، یوشیرو (۱۳۷۵). به سوی نظریه آنتروپیکی اقتصاد و بوم‌شناسی فرانسوی برداشت مکانیکی تعادل، ترجمه احمد فرجی دانا. *فصلنامه علمی دانشگاه امام صادق (ع)*، ۱ (۳): ۱۱٤-۹۹.
- حسینی، سید عقیل، رنانی، محسن (۱۳۹٦). نقد روش‌شناختی اقتصاد فیزیک و کاربرد آن در تحلیل نظام توزیعی سرمایه‌داری، *بررسی مسائل اقتصاد ایران*، (۱)٤: ٦۹-۳۳.
- رضائیان، علی (۱۳۷۷). تجزیه و تحلیل و طراحی سیستم، تهران: سازمان مطالعه و تدوین کتب علوم انسانی دانشگاه‌ها (سمت)، چاپ سوم.
- قضاوی، مائده (۱۳۹۱). ارتباط بین اقتصاد اجتماعی و ترمودینامیک از مسیر آنتروپی و سرمایه اجتماعی. پایان‌نامه کارشناسی ارشد توسعه اقتصادی و برنامه‌ریزی، دانشگاه اصفهان.
- هالیدی، دیوید، رزنیک، رابرت (۱۹۷۸). فیزیک. جلد دوم، ترجمه: نعمت‌اله گلستانیان و محمود بهار، مرکز نشر دانشگاهی، چاپ سوم.
- وکیلی، شروین (۱۳۸۹). نظریه سیستم‌های پیچیده، تهران: نشر شورآفرین، چاپ دوم.
- رحمانی، تیمور (۱۳۹٤). **اقتصاد کلان**. تهران. ناشر برادران.
- Corning, P. A. (2002). Thermoeconomics: Beyond the second law. *Journal of Bioeconomics*, *4*(1), 57-88.
- Dafermos, Y., Nikolaidi, M., & Galanis, G. (2017). A stock-flow-fund ecological macroeconomic model. *Ecological Economics*, *131*, 191-207.
- Daly, H. E., & Farley, J. (2011). Ecological economics: principles and applications. Island press.
- Elias S. (2008). Entropy in Economics: IT'S Measurement through Primary data and Its Usefulness in Business.
- Georgescu-Roegen, Nicolas (1971). The Entropy Law and the Economic Process. Harvard:
- Hall Charles A. S. (2010). The need for biophysical economics In Bioeconomics and Sustainability, State University of New York, College of Environmental Science and Forestry. Syracuse N. Y. (Edward Elgar Publishing, Cheltenham, England), 125-154.
- Hazan, A. (2019). A maximum entropy network reconstruction of macroeconomic models. *Physica A: Statistical Mechanics and its applications*, *519*, 1-17.
- Henry, M., & Judge, G. (2019). Permutation entropy and information recovery in nonlinear dynamic economic time series. *Econometrics*, *7*(1), 10.
- Iglesias, J.R. and R.M.C. de Almeida (2012). Entropy and equilibrium state of free market models, *Eur. Phys. J. B* (2012), No. 85, PP. 85, DOI: 10.1140/epjb/e2012-21036-1, The European Physical Journal B.

- Jakimowicz, A. (2018). Econophysics as a cause of a scientific revolution in mainstream economics. *Acta Phys*. Pol. A. 133, 1339–1346.
- Jakimowicz, A. (2020). The role of entropy in the development of economics. *Entropy*, *22*(4), 452.
- Jizba, P.; Korbel, J. (2017). On the uniqueness theorem for pseudo-additive entropies. *Entropy*. 19, 605.
- Melgar-Melgar, R. E., & Hall, C. A. (2020). Why ecological economics needs to return to its roots: The biophysical foundation of socio-economic systems. *Ecological Economics*, *169*, 106567.
- Miao, D. S. (2007). *The System Science University Speech*. Renmin University of China Press, Beijing.
- Pirgmaier, E. (2021). The value of value theory for ecological economics. *Ecological Economics*, *179*, 106790.
- Sadeghi Amroabadi, B., & Renani, M.(2016). measuring system entropy generation in a complex economic Network;The Case of Iran. *J.Q.E.* 12(1), 93-126. doi: 10.22055/jqe.2015.11881
- Sequeira, T. N., Gil, P. M., & Afonso, O. (2018). Endogenous growth and entropy. *Journal of Economic Behavior & Organization*, *154*, 100-120.
- Sims, C. A. (1998). Stickiness. *In Carnegie-Rochester Conference Series on Public Policy*, 49: 317-356. North-Holland.
- Ulanowicz, RE, Goerner, SJ, Lietaer, B, Gomez, R (2009). Quantifying sustainability: Resilience, efficiency and the return of information theory. *Ecological Complexity* 6, 27–36.
- Von Bertalanffy, L. (1973). The meaning of general system theory. General system theory: Foundations, development, applications, 30-53.
- Xuan, W. & Su, J. and Shan Shan and Zhang Yan (2012). Urban ecological regulation based on information entropy at the town scale A case study on Tongzhou district, Beijing City, The 18th Biennial Conference of International Society for Ecological Modelling, Procedia Environmental Sciences. 13, 1155 – 1164.
- Zapart, C. A. (2015). Econophysics: A challenge to econometricians. Physica A: Statistical Mechanics and its Applications, 419, 318-327.
- Zemansky, M. W., & R. H. Dittman, (1981). Heat and Thermodynamics, 6th ed., 543 pp., McGraw-Hill, New York.