

## نگرش سیستمی و مفهوم آنتروپی در اقتصاد<sup>۱</sup>

سیما انصاری فرد\*

### چکیده

در دهه‌های اخیر، رویکرد کلی‌نگر و یا رویکرد سیستمی در نحوه نگرش پژوهش‌گران در زمینه‌های گوناگون علمی تأثیرگذار بوده است. در این رویکرد کلی‌نگر، مدل‌ها، اصول، و قوانینی یافت می‌شوند که، بدون توجه به نوع خاص عناصر متشکل و روابط و نیروهای بین‌عنصری، بر سیستم‌های عمومی حاکم‌اند. یکی از این قوانین جهان‌شمول از دیدگاه سیستمی، قانون دوم ترمودینامیک است و آنتروپی، از مهم‌ترین خاصیت سیستم‌های فیزیکی و مفهومی برآمده از قانون دوم ترمودینامیک، ویژگی‌ای است که نه تنها در سیستم‌های فیزیکی، بلکه در سیستم‌های زنده، اجتماعی، و حتی اقتصادی نیز وجود دارد. حضور مفهوم آنتروپی در ادبیات اقتصاد نیز از نوعی تفکر سیستمی برخاسته است. در این مقاله پس از تشریح مفاهیم سیستمی و آنتروپی، نگرشی نوین به مفهوم آنتروپی در اقتصاد با استفاده از رهیافتی سیستمی تبیین شده است.

**کلیدواژه‌ها:** نگرش سیستمی، نظریه عمومی سیستم‌ها، علم کنترل و ارتباطات، آنتروپی، پایداری اقتصادی، آنتروپی اقتصادی.

### ۱. مقدمه

چگونگی شکل‌گیری جریان‌های فکری، روش‌های تحلیل در علوم، و روش‌شناسی‌ها از جالب‌ترین مباحث فلسفه علم به شمار می‌روند. تفکر سیستمی، برخلاف برخی از جنبش‌های فکری که در یک رشته علمی در محدوده معینی رشد کرده‌اند، در خارج از محدوده یک علم معین متولد شد و در محیطی میان‌رشته‌ای رشد کرد. از آنجا که این شیوه

\* دانشجوی کارشناسی ارشد توسعه اقتصادی و برنامه‌ریزی، دانشگاه اصفهان sansarifard@yahoo.com

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۶/۶، تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۹/۲۸

تفکر به طور کلی با مجموعه‌هایی متشکل از اجزا سروکار دارد و نه با خود اجزا، ضرورتاً از مرزهای سنتی علوم خاص فراتر رفته و عمومیت یافته است. تفکر سیستمی بر تغییر نگرش مبتنی بر تفکیک علوم به حوزه‌های تخصصی و ریز، به نگرش مبتنی بر ترکیب یافته‌های رشته‌های گوناگون علمی تأکید دارد. این نگرش، با رشد و توسعه دو جنبش جداگانه نظریه عمومی سیستم‌ها (general systems theory) و علم کنترل و ارتباطات (science of control and communications) یا سایبرنتیک (cybernetics)، که تقریباً هدف واحدی را دنبال می‌کردند، هویت مستقل پیدا کرد. در واقع، این دو گرایش روش‌هایی برای ایجاد چهارچوبی جامع و کلی از علوم گوناگون به شمار می‌روند (رضائیان، ۱۳۷۷: ۱۲).

از دیدگاه سیستمی، در هر سیستم عواملی وجود دارند که در خلاف جهت نظم سیستم عمل می‌کنند و می‌توانند موجب سستی سیستم شوند. این عوامل را آنتروپی (entropy) می‌خوانند. آنتروپی در اصل ویژگی‌ای است که برای سیستم‌های فیزیکی و ترمودینامیکی (thermodynamics)، پس از رسیدن به قانون دوم ترمودینامیک، کشف شد. آنتروپی در تعریف ابتدایی آن کمیتی است که نشان‌دهنده میزان انرژی‌ای است که نمی‌توان آن را به کار مفید تبدیل کرد. پس از مدتی، تلاش برای درک آنتروپی با یک نگرش میکروسکوپی، منجر به تعریف جدیدی از آنتروپی شد. آنتروپی در این دیدگاه کمیتی است که میزان بی‌نظمی در ساختار ملکولی سیستم‌ها را نشان می‌دهد و افزایش آن به زوال و نابودی سیستم منتهی می‌شود. البته این تعریف جدید، در مفهوم، اختلافی با تعریف اولیه آنتروپی ندارد و اثبات آن به دانش تخصصی در زمینه ترمودینامیک و فیزیک آماری نیازمند است. از این رو، پرداختن به آن منجر به دور شدن از هدف اصلی مقاله خواهد شد. این روش نگرش به مفهوم آنتروپی همان روشی است که از نظر متفکران سیستمی توانایی تعمیم به حوزه سایر علوم را داشته است و آنتروپی در نگرش سیستمی (system view) خاصیتی است که در همه سیستم‌ها تعریف‌پذیر است.

اما ورود اصطلاح آنتروپی در ادبیات اقتصادی، دقیقاً به شکلی که در بالا گفته شد، صورت نگرفته است. مفهوم آنتروپی در اقتصاد، با نگرش‌های زیست‌محیطی و مباحث توسعه پایدار (sustainable development) ارتباط تنگاتنگی داشته است. اگرچه رویکردهای زیست‌محیطی در مسائل اقتصادی نیز از نوعی نگرش سیستمی نشئت می‌گیرد، تاکنون هیچ کمیتی به منزله آنتروپی یک سیستم اقتصادی از این رهیافت معرفی نشده است. در مقاله حاضر در ابتدا، رویکردهای سیستمی تشریح و پس از آن مفهوم آنتروپی از دو

دیدگاه سیستمی و دیدگاه پایداری بررسی شده و در نهایت نیز مفهوم آنتروپی در اقتصاد با رویکردی نوین معرفی شده است.

## ۲. مروری بر مطالعات پیشین

حسین پور در مقاله خود، بر اساس نگرش و تفکر سیستمی، راهبردهای سیستمی ارائه می‌کند و آن‌ها را ابزارهای بسیار سودمند و کارآمد برای تدوین برنامه‌های استراتژیک ارتباطات و توسعه در سطح ملی می‌داند. او تفکر بیش‌تر مدیران را تفکر جزئی‌نگر و تحلیلی تجزیه‌مدار می‌داند که در این نوع بینش به تعامل میان ابعاد گوناگون توسعه توجه نمی‌شود (حسین پور، ۱۳۸۴). به همین علت، ضعف یک شاخص و یک بعد از توسعه موجب ضعف در اجزای دیگر سیستم ارتباطات می‌شود. بنابراین، استدلال می‌کند که با بهره‌گیری از بینش سیستمی، از بخشی‌نگری پرهیز می‌شود و تمام مجموعه به‌مثابه یک سیستم در نظر گرفته می‌شود. همچنین تفکر و اندیشه سیستمی اجزا را در ارتباط با یک کل مشترک می‌بیند و تمامی اجزای سیستم را در تعامل با هم در اجرای اهداف یک سیستم می‌داند که سبب توسعه همه‌جانبه و پایدار خواهد شد. در مقاله یادشده، کوشش می‌شود تا به این سؤالات پاسخ داده شود که توسعه چیست، تفکر سیستمی و سیستم چیست، تفکر سیستمی چه سازوکارها، اصول، و ویژگی‌هایی دارد، فرایند برنامه‌ریزی و نحوه قابلیت انطباق سیستم با برنامه‌ریزی چیست، استراتژی‌های اصلی اجرایی و تدوین راه‌کارهای سیستم برنامه‌ریزی کدام است و در واقع ترکیب سیستم، انواع سیستم، و اهمیت دیدگاه سیستمی تحلیل و بررسی می‌شود (همان).

کاروالو (J. F. Carvalho) در ابتدا سه حالت متمایز پایداری، یعنی پایداری اقتصادی، پایداری اجتماعی، و پایداری محیطی، را نشان می‌دهد و تصور در تئوری اقتصادی را به این صورت نشان می‌دهد که پایداری در اقتصاد تنها به معنای حفظ قدرت سرمایه و سوددهی آن، بدون در نظر گرفتن هیچ محدودیتی برای آن به لحاظ فناپذیری منابع طبیعی، است. او این حالت را پایداری ضعیف تلقی می‌کند و ادامه می‌دهد که پایداری اقتصادی به پایداری اجتماعی وابسته است و هر دوی آن‌ها با پایداری محیطی ارتباط دارند؛ یعنی یک پایداری محیطی برای یک عملکرد اقتصادی پایسته یک الزام است و این موجب قرار گرفتن محدودیت‌های فیزیکی، به صورت عرضه انرژی و مواد خام و ظرفیت محیط برای جذب و بازیافت اتلاف‌ها بر اقتصاد، می‌شود. از نظر او، آنتروپی می‌تواند مبنای یک تعریف کمی از

پایداری باشد. به این صورت که فعالیت‌های اقتصادی مختلف بنا بر بزرگی تأثیراتی که بر محیط زیست دارند طبقه‌بندی شوند و شالوده این طبقه‌بندی را مفاهیم بنیادی ترمودینامیک می‌داند. زیرا زمین را سیستمی باز<sup>۲</sup> و اتلافی<sup>۳</sup> معرفی می‌کند که با جهان، انرژی مبادله می‌کند و نتیجه می‌گیرد که هر فرایند رخ‌یافته در زمین، به افزایش آنتروپی جهان منجر می‌شود؛ زیرا انرژی با کیفیت بالا به انرژی‌های با کیفیت پایین تبدیل می‌شود. در نهایت او توسعه پایدار را، با در نظر گرفتن تأثیرات محیطی فعالیت‌های اقتصادی، فرایندی تعریف می‌کند که تمایل به حفظ مجموع جریان‌های تولید آنتروپی در نزدیکی سطح فعلی آن دارد. به طوری که بقای زندگی در زمین تضمین شود. بر این اساس، مقیاسی قراردادی به نام درجه آنتروپی فعالیت‌ها معرفی می‌کند و فرایندهای تولید اصلی را بر اساس درجه آنتروپی آن‌ها، که همان شدت اثرگذاری آن‌ها بر محیط است، درجه‌بندی می‌کند. با این روش استدلال می‌کند که همه زنجیره‌های اصلی تولید، یعنی بخش‌های صنعت، کشاورزی، و خدمات، انرژی مصرف می‌کنند، پس بسته به این که چه مقدار انرژی بر حسب مشتقات نفتی برای یک کارخانه مصرف می‌شود، به آن درجه خاصی می‌دهد. با این حال، این مقیاس را دقیق نمی‌داند؛ زیرا اطلاعات لازم برای محاسبه دقیق آن در دسترس نیست (Carvalho, 2011: 1073-1079).

### ۳. مبانی نظری

#### ۱.۳ تفکر سیستمی

در قرن بیستم، تخصص‌گرایی که در جست‌وجوی شناخت جزئیات یک رشته یا موضوع، به صورت دقیق و مجرد از مجموعه مرتبط با آن رشته یا موضوع بود، توسعه یافت. در تخصص‌گرایی، به جای ارائه تصویری کلی از مسائل مرتبط و جست‌وجو برای حل یک مسئله عمیق، شناخت در یک بعد و بی‌توجه به مسائل مرتبط با موضوع صورت می‌گرفت. دانشمندان هر رشته پله‌ای به دور خود می‌تیندند که آن‌ها را از درک و فهم مجموعه مسائل و ارتباط آن‌ها با یک‌دیگر باز می‌داشت.

روش تحقیق عملیات (operation research)، که از جنگ جهانی دوم به بعد از صنایع نظامی به سازمان‌ها و مؤسسات اقتصادی انتقال یافت، باعث شد گروه‌های تحقیقاتی از متخصصان رشته‌های گوناگون علوم، برای حل مسائل مدیریت و سازمان‌ها، تشکیل شود و این نخستین گام برای مطالعه چندبعدی مسائل بود (جاسبی، ۱۳۸۴: ۵۲).

مبنای تفکر سیستمی مفهوم کلیت است. اندیشه سیستمی، برخلاف تفکر تجزیه‌گرایانه، کل هر پدیده را اساس کار قرار می‌دهد. به اعتبار این شیوه تفکر، از شناخت ماهیت و خواص عناصر نمی‌توان به شناخت کل نایل آمد. البته این به شرطی است که آن کل یک سیستم باشد. در مکتب سیستمی، یک کل، که خود یک سیستم است، دارای شخصیت و رفتاری است که عناصر تشکیل‌دهنده آن شخصیت و رفتار را ندارند (فرشاد، ۱۳۶۲: ۴۰).

بدین ترتیب، تأکید بر تفکر سیستمی روش مطمئن‌تری را، در مقایسه با تفکر تحلیلی تجزیه‌مدار، برای شناخت پدیده‌های پیچیده و مطالعه آن‌ها ارائه می‌کند. البته تفکر سیستمی در تضاد با تفکر تحلیلی تجزیه‌مدار نیست. در واقع، این دو روش مکمل یک‌دیگرند، نه جایگزین هم. با وجود این، متفکران سیستمی دریافته‌اند که مطالعه فرایندهای به‌هم‌پیوسته اجزای یک سیستم مفیدتر از تحلیل ریز آن‌هاست.

### ۲.۳ نظریه عمومی سیستم‌ها

#### ۱.۲.۳ منشأ و نحوه شکل‌گیری

در سال ۱۹۵۴، انجمنی پژوهشی با سرپرستی لودویک ون برتالانفی (L. V. Bertalanffy) زیست‌شناس، کنت بولدینگ (K. Boulding) اقتصاددان، آناتول راپوپورت (A. Rapoport) ریاضی‌دان، و رالف جرارد (R. Gerard) فیزیولوژیست تشکیل شد. اهداف و وظایف اولیه این انجمن، که بعدها «انجمن نظریه عمومی سیستم‌ها» نام گرفت، به شرح زیر تدوین شد. هدف این انجمن توسعه آن دسته از سیستم‌های نظری است که در بیش از یک بخش سنتی دانش کاربرد دارند و وظایف اصلی آن بدین قرار است:

۱. انتقال یافته‌های یک حوزه علمی به حوزه‌های دیگر، از طریق بررسی و مطالعه شباهت‌ها و میزان همانندی مفاهیم، قوانین، و مدل‌های به‌کاررفته در رشته‌های متفاوت علمی؛

۲. تشویق به ایجاد و طراحی مدل‌های نظری در حوزه‌هایی که تعداد کافی مدل ندارند؛

۳. به حداقل رساندن تکرار و دوباره‌کاری در مطالعات و تلاش‌های نظری در حوزه‌های

علمی گوناگون؛

۴. ایجاد وحدت در میان علوم، از طریق بهبود ارتباطات میان متخصصان علوم گوناگون

(Blauberg et al., 1977:162).

برتالانفی در مورد معنای نظریه عمومی سیستم‌ها و مقاصد آن می‌گوید:

علم به رشته‌های بی‌شماری که خود پیوسته شاخه‌های فرعی جدیدی پیدا می‌کنند، تقسیم شده است. در نتیجه، زیست‌شناس، فیزیک‌دان، روان‌شناس، و جامعه‌شناس به عبارتی در دنیا‌های خصوصی خود محصورند و ارتباط بین آن‌ها دشوار است. با بررسی سیر تکاملی علم نوین ما به پدیده‌ی اعجاب‌انگیزی برخورد کرده‌ایم. در شعبی که کاملاً از یک‌دیگر متمایز هستند مستقلاً پدیده‌ها و مفاهیم مشابهی تکوین یافته‌اند (فرشاد، ۱۳۶۲: ۹۵).

از دیدگاه برتالانفی، مدل‌ها و اصول و قوانینی یافت می‌شوند که، بدون توجه به نوع خاص عناصر تشکیل‌دهنده و روابط و نیروهای بین‌عنصری، بر سیستم‌های عمومی حاکم‌اند. موضوع نظریه عمومی سیستم‌ها تعیین اصولی است که برای سیستم‌ها به طور کل صادق باشد. این دیدگاه فکری را می‌توان به این صورت توصیف کرد که علم فیزیک با سیستم‌های دربردارنده سطوح مختلف عمومیت سروکار دارد. این علم از سیستم‌های خاص، مانند یک پل یا یک ماشین، تا قوانین خاص رشته‌های فیزیکی، مثل مکانیک و نور، تا قوانین عام، مثل اصول ترمودینامیک که در سیستم‌های با طبیعت متفاوت مکانیکی، گرمایی، شیمیایی و غیره اعمال‌شدنی‌اند، گسترش و تعمیم می‌یابد. هیچ عاملی تجویز نمی‌کند که پژوهش‌گران خود را به سیستم‌هایی محدود کنند که به شیوه سستی در حوزه فیزیک قرار می‌گیرند، بلکه آن‌ها می‌توانند در پی یافتن اصولی باشند که بر سیستم‌ها در کل حاکم‌اند و بی‌آن‌که به طبیعت آن‌ها (فیزیکی، بیولوژیکی، و اجتماعی) توجه کنند. چنانچه مفهوم مناسبی از سیستم تعریف کنیم، به این نتیجه خواهیم رسید که مدل‌ها، اصول، و قوانینی وجود دارند که بر سیستم‌های عمومی حاکم‌اند و از نوع خاص عناصر و نیروهای درگیر مجردند (همان: ۹۶-۹۷).

### ۳.۳ علم کنترل و ارتباطات (سایرنیتیک)

علم کنترل ارتباطات در حیوان و ماشین چندی پیش از نظریه عمومی سیستم‌ها مطرح شد. این علم نیز ماهیتی میان‌رشته‌ای دارد و از علوم مهندسی، کامپیوتر، ریاضیات، و فیزیولوژی بهره گرفته است و می‌توان در آن با اصول و قوانین کلی، پدیده کنترل و ارتباطات را، خواه در موجودات زنده و خواه در سیستم‌های بی‌جان، بررسی و مطالعه کرد. نوربرت وینر (N. Wiener)، از پایه‌گذاران اصلی این علم، آن را علم کنترل و ارتباطات در حیوان و ماشین نامیده است. این علم الگویی ارائه می‌دهد که همه سیستم‌های دارای عامل کنترل را با یک‌دیگر مقایسه و ارتباط میان آن‌ها را کشف می‌کند (رضائیان، ۱۳۷۷: ۱۸).

سایبرنتیک (cybernetics) کلمه‌ای یونانی است که به معنای هنر ناوخدایی است و یک دانش میان‌رشته‌ای است که از ریاضیات، منطق، زیست‌شناسی، و ارتباطات بهره می‌گیرد. با وجود این از محتوا تهی است؛ زیرا با رفتار سیستم‌های مختلف، اعم از مکانیسم‌ها، موجودات زنده، و اجتماعات حیوانی و انسانی سروکار دارد. رویکرد اصلی در این علم نیز یافتن هم‌شکلی رفتاری در سیستم‌های گوناگون است؛ برای مثال همانندی میان مکانیسم‌های کنترل‌کننده در یک ماشین خودکار و سلسله اعصاب یک ارگانیسم زنده. بنابراین، محقق سایبرنتیک در پی یافتن اصول عمومی کنترل و یا نظریه عمومی در مورد سیستم‌های کنترل است.

سایبرنتیک با هندسه مقایسه می‌شود. یعنی رابطه سایبرنتیک ماشین‌ها، سیستم‌های الکترونیکی، عصبی، اجتماعی، و اقتصادی با رابطه دانش هندسه با سنگ، درخت، و حیوان مقایسه‌شدنی است. هندسه علمی مجرد است و قالبی فراهم می‌کند که در آن اشیای جهان جای می‌گیرند و ارتباط هندسی آن‌ها با هم و هم‌شکلی‌های صوری آن‌ها مشخص می‌شود. علم سایبرنتیک در مورد سیستم‌هایی که در آن‌ها عامل کنترل دیده می‌شود همین نقش را داراست. سایبرنتیک نیز همانند هندسه قالبی مجرد است که در آن انواع ماشین‌های مصنوعی و یا سیستم‌های طبیعی و همه سیستم‌های کنترلی جای می‌گیرند و با هم مقایسه می‌شوند.

در سایبرنتیک مفهوم اطلاعات اهمیت اساسی دارد و همان نقشی را دارد که ماده و انرژی در سیستم‌های مکانیکی دارند. آنچه در مدارهای سایبرنتیک جریان دارد ماده و انرژی نیست، بلکه اطلاعات است. عملکرد سیستم‌ها به صورت اطلاعات به سیستم‌های کنترل‌کننده پس فرستاده می‌شود و فرمان‌های کنترل‌کننده به صورت اطلاعات و قسمت‌های مختلف سیستم فرستاده می‌شود (فرشاد، ۱۳۶۲: ۱۱۸-۱۱۹).

### ۴.۳ مفاهیم مهم در نظریه سیستمی

در دیدگاه متفکران سیستمی، آنچه منجر به مدلی عمومی برای زمینه‌های گوناگون علمی می‌شود، پیش فرضی است که آن‌ها در مورد سیستم و ویژگی‌های آن دارند. برای مثال، تصریح مدلی مشترک میان یک سیستم فیزیکی و یک سیستم اقتصادی به این معنا نیست که آن‌ها ادعا می‌کنند اجزای سیستم‌های فیزیکی، که اغلب اتم‌ها هستند، با اجزای سیستم‌های اقتصادی، که انسان‌ها هستند، تشابه دارند، بلکه برای مثال بنا بر استدلال نظریه سیستم‌ها

فرایندهای یکسانی در سیستم‌های فیزیکی و سیستم‌های اقتصادی رخ می‌دهد و این فرایندها حاصل ارتباط متقابل اجزای هر یک از این سیستم‌هاست.

بنابراین مفهوم سیستم و ویژگی‌های مرتبط با آن از اهمیت خاصی برخوردار است. تعاریف متعددی از سیستم توسط افراد مختلف ارائه شده است. در کل، سیستم مجموعه‌ای از اجزاست که با یکدیگر ارتباط متقابل دارند و مجموعه‌ای واحد را تشکیل می‌دهند که خصوصیات آن از خصوصیات اجزای آن متمایز است.

برای نمونه، انسان سیستمی است که از مجموعه بی‌شماری از اجزای مرتبط و وابسته به یکدیگر تشکیل شده است و این اجزا بر یکدیگر اثر می‌گذارند، ولی اگر این اجزا را از هم جدا کنیم، مجموع آن‌ها دیگر انسان نخواهد بود.

اگر اجزای تشکیل‌دهنده سیستمی را بشناسیم، لزوماً سیستم را نشناخته‌ایم؛ زیرا علاوه بر اجزا باید رابطه بین اجزا و موقعیت آن‌ها را نیز شناخت. در واقع، روابط است که اجزای سیستم را به هم پیوند می‌دهد و به سیستم، به‌منزله مجموعه‌ای مرتبط و هماهنگ، مفهوم و معنا می‌بخشد.

بنابراین، سیستم مجموعه‌ای از اجزای به‌هم‌وابسته است که، به علت وابستگی حاکم بر اجزای خود، کلیت جدیدی را پدید آورده‌اند. اجزای سیستم، ضمن برخورداری از ارتباطات کنشی و واکنشی، از نظم و سازمان خاصی پیروی می‌کنند و در جهت تحقق هدف‌هایی معین، که علت وجودی سیستم‌اند، فعالیت می‌کنند.

به‌اجمال، سه ویژگی حائز اهمیت در این تعریف عبارت‌اند از مفهوم کلیت، روابط متقابل بین اجزا، و وجود هدف. به عبارت دیگر، هنگامی که این سه مشخصه اساسی در کنار هم قرار گیرند، اطلاق واژه سیستم به هر موجودیتی امکان‌پذیر می‌شود.

محیط هر سیستم را عواملی تشکیل می‌دهند که اگرچه جزء سیستم نیستند، تغییر در هر یک از آن‌ها می‌تواند موجب تغییراتی در سیستم شود. بنابراین، محیط سیستم شامل همه متغیرهایی است که می‌توانند در وضع سیستم مؤثر باشند و یا از سیستم تأثیر بپذیرند.

البته همواره تشخیص محیط سیستم از خود آن به‌آسانی میسر نیست. در برخی از سیستم‌ها، میزان ارتباط و آمیختگی سیستم و محیط چنان است که در نظر گرفتن خط و مرز مشخص بین آن دو کاری دشوار است. به این ترتیب، تفکیک سیستم از محیط آن، موضوعی قراردادی تلقی می‌شود و وسیله‌ای است که ما انسان‌ها به کمک آن شناخت پدیده‌های پیچیده جهان را در حوزه توانایی ذهنی خود قرار می‌دهیم.



### ۵.۳ سیستم‌های باز و بسته در نگرش سیستمی

طبقه‌بندی سیستم‌ها به سیستم‌های باز و بسته، مبتنی بر مفاهیم مرز و منابع سیستم است. در واقع، همه آن عناصری که برای اجرای فعالیت‌ها و تحقق اهداف سیستم در دسترس قرار می‌گیرند جزئی از منابع سیستم به شمار می‌روند. بنابراین، منابع یک سیستم، نیروی انسانی، پول، تجهیزات، و انرژی است. در سیستم‌های بسته میزان منابع ثابت است و همه منابع با هم عرضه می‌شوند؛ یعنی ورود منابع اضافی یا نفوذ انرژی جدید از محیط به مرز سیستم و درون آن ممکن نیست. در حالی که سیستم‌های باز می‌توانند به تبادل منابع و انرژی اضافی خود پردازند (Davis and Olson, 1984: 274-276).

سیستم بسته سیستمی است که عملیات خودش را خودکار، از طریق ابزارهای واکنش به اطلاعات تولیدشده خود، کنترل یا تعدیل می‌کند. سیستم باز سیستمی است که با محیط خود تبادل ماده و انرژی و اطلاعات دارد.

شاید مناسب‌ترین روش بررسی میزان بازبودن و بسته‌بودن سیستم فرض کردن آن روی یک پیوستار باشد که در یک انتها سیستم باز و در انتهای دیگر سیستم بسته قرار دارد؛ یعنی بازوبسته‌بودن سیستم امری نسبی است که به میزان ارتباط آن با محیط بستگی دارد. سیستم کاملاً بسته سیستمی است که به هیچ‌وجه از محیط انرژی دریافت نمی‌کند و به هیچ‌وجه از خود به محیط انرژی نمی‌دهد. البته، تصور چنین سیستمی دشوار است (رضائیان، ۱۳۷۷: ۵۹).

### ۶.۳ آنتروپی در نگرش سیستمی

در هر سیستم، عواملی وجود دارند که در خلاف جهت نظم سیستم عمل می‌کنند و در نهایت، می‌توانند موجب سستی سیستم شوند. این عوامل را آنتروپی می‌خوانند. آنتروپی به دو گونه تقسیم می‌شود و عبارت‌اند از آنتروپی مثبت، که عملکردش در خلاف جهت نظم سیستم است، و آنتروپی منفی یا نگانترپوی (negentropy)، که عملکردش در خلاف جهت آنتروپی مثبت است؛ یعنی برای ایجاد تغییرات به منظور اصلاح انحرافات و بقای سیستم در محیط عمل می‌کند.

در سیستم‌های بسته که در آن‌ها تبدالی با محیط صورت نمی‌گیرد، آنتروپی مثبت گرایش به افزایش دارد و بر میزان بی‌نظمی داخل سیستم می‌افزاید. تغییر آنتروپی در

سیستم‌های بسته همیشه مثبت است و نظم دائماً از بین می‌رود. اگر یک سیستم بسته به حال خود رها شود، سرانجام به سوی بی‌نظمی و اغتشاش و تعادل ایستا خواهد رفت و این عاقبتی است که هر سیستم بسته به آن دچار خواهد شد.

از سوی دیگر در سیستم باز، به علت ارتباط داشتن با محیط، آنتروپی مثبت گرایش به کاهش دارد و سیستم باز در قبال محیط خود واکنش‌هایی نشان می‌دهد که منجر به کامل‌تر شدن و پیچیده‌تر شدن سیستم می‌شود. سیستم باز، برخلاف سیستم‌های بسته، گرایش به تعادلی پویا و نیاز به تبادل ماده و انرژی با محیط دارد. از طریق این تبادل با محیط است که میزان آنتروپی مثبت کاهش می‌یابد و بر نظم سیستم افزوده می‌شود.

برتالانفی، که در نیمه اول قرن بیستم نظریه سیستم‌های باز را ارائه کرده است، موجودات زنده را سیستم‌های بازی می‌داند که با محیط خود ارتباط دارند و حالت تعادل پویا و تعادل پایا دارند. به نظر او، سیستم‌های زنده که وجود خود را در حالتی مانا حفظ می‌کنند، می‌توانند از افزایش آنتروپی مثبت پرهیز کنند و حتی ممکن است به سوی نظم و سازمان بیش‌تری تمایل داشته باشند.

سیستم در هر یک از حالات خود دارای مقداری آنتروپی است. به این ترتیب، آنتروپی عبارت است از آن‌چه پس از به‌وجود آمدن سیستم در درون آن، در خلاف جهت نظم سیستم فعالیت می‌کند و آن را آنتروپی مثبت می‌نامند. سیستم برای این‌که بتواند با گرایش به فنا مقابله کند و به حیات خویش ادامه دهد، ناچار است که آنتروپی مثبت را به طریقی از بین ببرد و با ایجاد آنتروپی منفی، که برخلاف آنتروپی مثبت عمل می‌کند، نیروهای ضد خویش را به وجود آورد و ادامه حیات خود را تضمین کند. آنتروپی منفی نقش کاهنده آنتروپی مثبت را بر عهده دارد و با مفهوم نظم و سازمان در سیستم مترادف است. از این رو، ایجاد آنتروپی منفی نظم دوباره را به سیستم برمی‌گرداند. سیستم‌ها معمولاً مجبورند برای مبارزه با نیروهای ضد نظم بیش‌تر از آن‌چه صادر می‌کنند، انرژی و مواد اولیه را وارد کنند و این اضافه وارد شده را صرف مبارزه با آنتروپی مثبت و تعدیل آن کنند (زاهدی، ۱۳۷۶: ۶۳).

می‌توان نتیجه گرفت که آنتروپی خاصیتی از هر سیستم است که افزایش آن نشانه کاهش انرژی مفید در سیستم‌ها، بی‌نظمی، و تباهی است. بنابراین، آنتروپی منفی می‌تواند شاخصی از پایداری سیستم در نظر گرفته شود. سیستم پایدار طبق تعریف سیستمی است که در دوره زمانی معین، بقا و کارکرد خود را حفظ می‌کند و دوره کامل زندگی مورد انتظار خود را طی می‌کند (محمدرضایی، ۱۳۸۲: ۲۵).

### ۷.۳ پایداری در اقتصاد و آتروپی

ایده پایداری ریشه در گذشته‌های دور دارد و به تفکرات جنبش‌های زیست‌محیطی بازمی‌گردد. اگرچه به یک پارچگی انسان و به محیط او قرن‌ها توجه شده است، در پایان قرن نوزدهم میلادی بود که ارنست هیکل (Ernest Hakel)، مبتکر اصلاح اکولوژی (ecology)، کوشید تا صورت علمی و مدونی به این گونه آموزه‌ها و مباحث ببخشد. بدین‌سان می‌توان ادعا کرد که بحث‌های پایداری در روندهای توسعه یا توسعه پایداری ریشه در مطالعات زیست‌شناسان دارد و سپس از این طریق به تدریج به مقولات اجتماعی و اقتصادی و کالبدی تزریق شده است. بحث درباره پایداری به سال‌های قبل از ۱۹۸۰ برمی‌گردد، اما در حقیقت توجه جهانی از هنگام کمیسیون برانتلند (Brundtland) برانگیخته شد. با افزایش نگرانی از عواقب فعالیت‌های انسانی در کره زمین، بر پایه قطع‌نامه مجمع عمومی سازمان ملل در اواخر سال ۱۹۸۳ کمیسیون جهانی با ریاست خانم برانتلند، نخست‌وزیر وقت نروژ، به منظور بررسی جامع مسائل زیست‌محیطی و توسعه جهانی تشکیل شد. به همین علت، به کمیسیون جهانی محیط زیست و توسعه گاهی کمیسیون برانتلند نیز گفته می‌شود. هدف کمیسیون بر اساس آئین‌نامه داخلی آن توجه به علل بروز مسائل زیست‌محیطی به جای توجه به آثار تنزل‌یافتن محیط زیست است. این امر آغازگر مباحث توسعه پایداری بود و به مبحث پایداری معطوف شد (فرجی، ۱۳۸۶: ۲۰).

مفهوم توسعه پایداری در نتیجه افزایش آگاهی درباره روابط مشکلات پیچیده زیست‌محیطی و موضوعات اقتصادی-اجتماعی با فقر و نابرابری و آینده‌ای سالم برای بشر پدید آمده است. بر اساس تعریف کمیسیون برانتلند در ۱۹۸۷، پس از گذشت چهار سال از تأسیس آن، توسعه پایداری عبارت است از فرایند تغییر در استخراج منابع، مسیر سرمایه‌گذاری‌ها، روندهای توسعه فناوری، و تغییری نهادی و هم‌ساز و هماهنگ با قابلیت‌های حال و آینده برای تأمین نیازها و برآورده ساختن آمل بشری. کمیسیون جهانی محیط زیست و توسعه با این مفهوم از توسعه پایداری مؤلفه‌های پایداری را در گستره‌ای وسیع‌تر، از آنچه نویسندگان پیشین می‌دانستند، در نظر گرفت و تعریفی از توسعه پایداری ارائه کرد که مستلزم تغییر شکل از مفهوم زیست‌محیطی «پایداری» به زمینه اقتصادی و اجتماعی توسعه است. در این تعریف، فرض بر این است که محیط زیست و اقتصاد نمی‌توانند از هم مجزا باشند، بلکه اجزای وابسته به هم در نظامی پیچیده و پویا به‌شمار می‌روند (Hopwood et al., 2005: 45).

شاید بهترین مفهوم ارائه شده از پایداری را بتوان از گزارش سال ۱۹۸۷ کمیسیون جهانی توسعه و محیط زیست (world commission on environment and development) به دست آورد. این گزارش با نام «آینده مشترک ما» مجموعه‌ای از توصیه‌های متفاوت با بحث‌های عمومی رایج را دربر داشت. نخست، توسعه پایدار به این تعبیر مطرح شده بود که فعالیت‌های اقتصادی تا حد زیادی می‌تواند به جای آن‌که پایداری را با حفاظت از بیوسفر (biosphere) یا اکوسیستم و نظام‌های طبیعی محدود کند، جواب‌گو و برطرف‌کننده نیازهای انسان باشد. دوم، هیچ نوع پیش‌فرضی ضد مطلوب‌بودن و امکان‌پذیری رشد اقتصادی ارائه نشده است، بلکه از رشد و توسعه اقتصادی بیش‌تر استقبال شده است:

گذشته از حتمی بودن توقف رشد اقتصادی (توسعه پایدار)، باید مشخص شود که مشکلات فقر و توسعه‌نیافتگی را نمی‌توان حل کرد، مگر آن‌که یک دوران جدید رشد را تجربه کنیم که در آن کشورهای در حال توسعه نقش بزرگ‌تری به عهده داشته باشند و منافع بیش‌تری به دست آورند (پرمن و دیگران، ۱۳۸۲: ۱۸۴).

سه اصل اساسی مفهوم پایداری بدین شرح‌اند:

۱. پایداری زیست‌محیطی، به این مفهوم که توسعه با حفظ فرایندهای زیست‌محیطی، بیولوژیک، و منابع مربوط به آن سازگار باشد؛

۲. پایداری فرهنگی و اجتماعی، بدین معنا که توسعه موجب افزایش تسلط انسان بر زندگی خود می‌شود و توسعه با عوامل فرهنگی و ارزش‌ها، که در این راه تحت تأثیر قرار می‌گیرند، منافات ندارد و سبب تقویت جامعه می‌شود؛

۳. پایداری اقتصادی، توسعه‌ای که با بازده بالای اقتصادی انجام گیرد به گونه‌ای است که نظارت و کنترل لازم بر منابع اعمال می‌شود و می‌توان آن را برای نسل‌های آینده حفظ کرد (فرجی، ۱۳۸۶: ۳۱).

مراد سخن آن‌که می‌توان مفهوم توسعه پایدار را با دیدگاهی سیستمی تحلیل کرد. چراکه نه تنها در مفهوم توسعه، بلکه در مفهوم پایداری آن نیز مسائل اقتصادی، اجتماعی، سیاسی، و زیست‌محیطی با یک‌دیگر ترکیب می‌شوند و ارتباط متقابل دارند.

فراگیر شدن مفهوم توسعه پایدار نه تنها منجر به درک بهتر از ارتباط میان رشد اقتصادی، ابعاد اجتماعی، و زیست‌محیطی شده است، بلکه موجب تأکید اقتصاددانان بر این نکته شده است که توجه یک‌جانبه به رشد اقتصادی به نحو اجتناب‌ناپذیری توسعه را ناپایدار می‌کند. به این اعتبار، سرانه تولید ناخالص ملی لزوماً نشانه خوش‌بختی مردم یک جامعه نیست؛

زیرا معیارهای دیگری نیز در این بین تأثیر گذارند که تولید ناخالص ملی با رویکرد اقتصادی محض آن‌ها را دربر نمی‌گیرد. امروزه ادبیات توسعه پایدار، با گذر از توجه صرف به سرمایه‌های فیزیکی، انواع سرمایه‌های تأثیرگذار در فرایند توسعه را، مانند سرمایه‌های طبیعی شامل خدمات، کارکردها، فرایندها، و منابع تجدیدپذیر و تجدیدنپذیر، سرمایه انسانی شامل دانش، مهارت، سلامتی، تغذیه، ایمنی، امنیت، و انگیزه انسان‌ها، و سرمایه‌های اجتماعی شامل انسجام اجتماعی، اعتماد متقابل، تشخیص فرهنگی، مشارکت‌پذیری و تشریک مساعی در امور، برابری فرصت‌ها، نظم، و مواردی از این دست را مد نظر قرار داده است (Gladwin et al., 1995: 18).

با وجود این، الگوهای اندازه‌گیری توسعه پایدار در ابتدا بیش‌تر به نقش سرمایه‌های طبیعی در پایداری توجه داشتند؛ زیرا در سال‌های بعد از دهه ۱۹۵۰ اصول و مبانی اساسی فیزیک و بیولوژی در توسعه دانش بوم‌شناختی و نظام نوین علوم زیست‌محیطی سهمی مهم بر عهده داشته‌اند. مسئله پایداری اکوسیستم‌ها (ecosystems) نیز در مرکز توجه قرار گرفت و علوم یادشده در زمینه کاربردهای گوناگون اصل تعادل مواد (قانون اول ترمودینامیک) به نحو جدی در اقتصاد محیط زیست وارد شدند. اولین به‌کارگیری این اصول در اقتصاد در تجزیه و تحلیل آلودگی محیط زیست و دفع مواد زائد بود. مهم‌ترین کاربردهای اصول یادشده را دالی (Daly)، بولدینگ (Boulding)، آیرس (Ayres)، و نیز (Kneese) تحلیل کردند (پرمن و دیگران، ۱۳۸۲: ۲۱۲). بر همین اساس، جورجسکو-روگن (Georgescu-Roegen) پای مفهوم آنتروپی را به عرصه متون اقتصادی گشود (Georgescu-Roegen, 1986).

بر اساس نظریه‌های جورجسکو-روگن و دالی، نابودی نهایی سیستم بر اثر نیروهایی است که باعث افزایش آنتروپی سیستم می‌شوند. جورجسکو-روگن بر این نظر بود که همه تکنولوژی‌ها از منظر ترمودینامیک پیروی می‌کنند و بنابراین نمی‌توان به نوعی تکنولوژی متوسل شد تا از اصل آنتروپی رهایی جست. اما به نظر دالی، استفاده دائمی از منابع طبیعی بازتولیدشده با به‌کارگیری از بازیافت انرژی خورشیدی امکان‌پذیر است و مادامی که نرخ استفاده از مواد و انرژی بیش از بازیافت نرخ انرژی خورشیدی است، رشد اقتصادی پایدار امکان‌پذیر نیست (پرمن و دیگران، ۱۳۸۲: ۲۲۰).

بنابراین در ادبیات اقتصادی و توسعه پایدار، آنتروپی کل اکوسفر (ecosphere) مد نظر بوده است که همواره در حال افزایش است (قانون دوم ترمودینامیک) و می‌تواند یک محدودیت اساسی برای رشد سیستم کل اقتصاد جهان شود.

#### ۴. آنتروپی اقتصادی

گرچه مفهوم آنتروپی در مباحث اقتصادی به کار رفته، هرگز کمیتی به نام آنتروپی اقتصادی به حوزه علم اقتصاد وارد نشده است. می‌توان با تعمیم رویکردهای سیستمی به علم اقتصاد و تعریف نظام‌های اقتصادی به منزله سیستم‌های اقتصادی، همانند سایر سیستم‌ها، خاصیتی به نام آنتروپی اقتصادی برای آن‌ها تعریف کرد؛ زیرا نظام‌های اقتصادی در مقام سیستم‌های اقتصادی همه ویژگی‌های سیستم را در نگرش‌های سیستمی دارند. هر نظام اقتصادی از افراد، بنگاه‌ها، و مصرف‌کنندگان خرد تشکیل شده است و رفتار اقتصادی تک‌تک افراد است که یک نظام اقتصادی را تشکیل می‌دهد، اما نتایج کلان این رفتارها از جمع ساده نتایج خرد به دست نمی‌آید و این همان چیزی است که اقتصاد خرد و کلان را از یک‌دیگر متمایز می‌کند.

بنابراین، می‌توان نظام اقتصادی هر کشور را به مثابه سیستمی اقتصادی در نظر گرفت که با محیط زیست خود، جامعه، و نظام‌های سیاسی در تعامل است و می‌تواند ویژگی آنتروپی اقتصادی را داشته باشد که با استفاده از معنای ترمودینامیکی آنتروپی به این صورت تعریف می‌شود: «مقیاسی از انرژی است که صرف تولیدات ارزش‌مند اقتصادی نمی‌شود، بلکه صرف ناکارآمدی حاصل از فرایندهای اقتصادی در یک سیستم اقتصادی می‌شود». افزایش آنتروپی اقتصادی در مجموع می‌تواند به معنای اتلافی بودن فزاینده عملکرد یک سیستم اقتصادی یا در کل شاخصی از پایداری نظام‌های اقتصادی کشورهای گوناگون باشد و به کار گرفته شود. یعنی اگر در دوره‌های متوالی آنتروپی اقتصادی کاهش یابد، سیستم اقتصادی کاراتر عمل می‌کند. به بیان دیگر، کاهش آنتروپی اقتصادی افزایش نظم را در آن سیستم اقتصادی نشان می‌دهد. البته لازمه کاهش آنتروپی در هر سیستمی، از جمله سیستم‌های اقتصادی ارتباط سیستم با سایر زیرسیستم‌های اجتماعی، محیط طبیعی، و دیگر سیستم‌های اقتصادی مجاور، است. با توجه به اصول رویکرد سیستمی در همه سیستم‌ها، از جمله نظام‌های اقتصادی، اتلاف انرژی در فرایندها به تدریج زیاد می‌شود و سیستم متلاشی می‌شود، مگر آن‌که با افزایش میزان بازبودگی سیستم اتلاف‌ها به محیط منتقل شود و از محیط انرژی گرفته شود (Hermansson, 2008: 4).

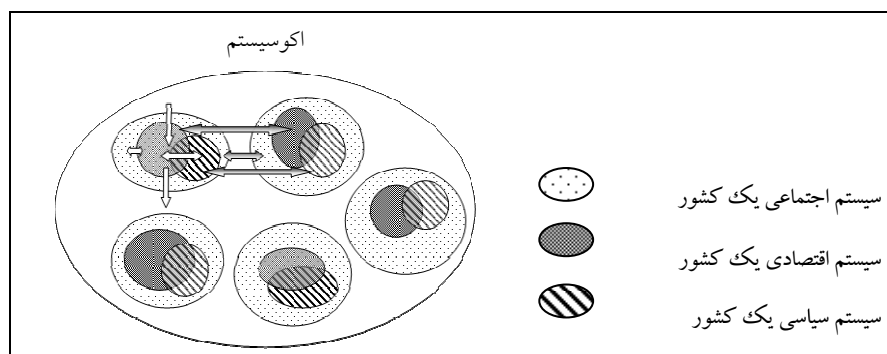
یک سیستم اقتصادی ذاتاً سیستمی باز است؛ زیرا از سویی در تعامل نزدیک با سیستم اجتماعی است و از سوی دیگر با اکوسیستم و در نهایت با سایر سیستم‌های اقتصادی

مرتبط است. از آنجا که میزان بازبودن سیستم می‌تواند توان مقابله آن را در برابر افزایش آنتروپی نشان دهد، نیاز است تا کمیت‌هایی شناخته شوند که مقیاس مناسبی برای این شاخص به شمار می‌روند.

تعامل سیستم اقتصادی با سیستم اجتماعی دربردارنده آن می‌تواند به افزایش نظم و کاهش آنتروپی آن کمک کند. این تعامل را می‌توان در دو شکل کلی فرض کرد:

۱. روابط حاکم در میان افراد یک جامعه می‌تواند در اقتصاد جامعه مؤثر باشد. نشانه بارز آن تأثیر سرمایه اجتماعی در رشد اقتصادی آن جامعه است؛

۲. شیوه‌های متفاوت ارتباط یک سیستم اقتصادی با سیستم سیاسی حاکم بر جامعه خود نظم فرایندهای اقتصادی را تغییر می‌دهد؛ زیرا سیستم سیاسی نیز یکی از زیرسیستم‌های اجتماعی به شمار می‌رود. حتی می‌توان با استفاده از این رویکرد، کارایی نظام‌های اقتصاد بازار، نظام اقتصاد متمرکز، و سایر نظام‌های مختلط را، از جمله نظام‌هایی که سیاست گسترش حکم‌رانی خوب دارند، تحلیل کرد.



شکل ۱. تعامل سیستم‌های سیاسی، اجتماعی، و اقتصادی کشورهای جهان:

سیستم‌های سیاسی و اقتصادی در یک کشور زیرمجموعه‌ای از سیستم اجتماعی در آن کشور است. پیکان‌های دوطرفه تیره ارتباط‌های سیاسی، اجتماعی، و اقتصادی بین کشورها را نشان می‌دهد. پیکان‌های یک‌طرفه ارتباط سیستم اقتصادی با اکوسیستم طبیعی را نشان می‌دهد. پیکان ورودی به سیستم اقتصادی جریان مواد طبیعی و پیکان خروجی جریان اتلاف‌ها و آلودگی‌ها از سیستم اقتصادی به محیط است. پیکان‌های دوطرفه روشن ارتباط سیستم اقتصادی در یک کشور را با سیستم اجتماعی و سیستم سیاسی در آن کشور نشان می‌دهد.

نتیجه می‌شود که یک سیستم اقتصادی برای پایدارماندن، کارامانندن، و کاهش‌یافتن آنتروپی اقتصادی باید از سایر سیستم‌های مجاور خود انرژی دریافت کند، اما تعامل سیستم

اقتصادی با محیط خود لزوماً به کاهش آنتروپی سیستم اقتصادی منجر نمی‌شود. گاهی این تعامل منجر به افزایش آنتروپی اقتصادی می‌شود. برای مثال، اگر آنتروپی سیستم اجتماعی، که سیستم اقتصادی زیرمجموعه‌ای از آن محسوب می‌شود، افزایش یابد (افزایش هرج و مرج در جامعه)، این افزایش آنتروپی به سیستم اقتصادی منتقل می‌شود و بنابراین سیستم اقتصادی برای کاهش آنتروپی خود باید از سایر سیستم‌های محیط خود مانند سیستم سیاسی، با اجرای قوانین مناسب، یا از محیط زیست، با افزایش تولید ملی از طریق مواهب طبیعی، انرژی دریافت کند.

واضح است که برای تحلیل دقیق‌تر این موضوع باید آنتروپی اقتصادی به صورت کمی اقتصادی تعریف و محاسبه شود، اما کدام یک از کمیت‌های اقتصادی می‌توانند به کمی کردن مفهوم آنتروپی اقتصادی کمک کنند؟ این پرسشی است که برای پاسخ به آن باید از رویکردی به نام اقتصاد فیزیک بهره جست و نیازمند پژوهش‌های دیگری است.

## ۵. نتیجه‌گیری

آنتروپی از مهم‌ترین مفاهیم فیزیکی و ترمودینامیکی است که با آثار جورجسکو-روگن به حوزه مسائل اقتصادی وارد شد. به نظر او، قانون دوم ترمودینامیک بر همه فرایندها و از جمله فرایندهای اقتصادی حاکم است. بنابراین، فرایندهای اقتصادی آنتروپی سیستم اقتصادی و محیط زیست مرتبط با آن را افزایش می‌دهد و این افزایش آنتروپی منجر به محدود شدن رشد اقتصادی می‌شود. در این مقاله به شیوه‌ای متفاوت به مفهوم آنتروپی پرداخته شده است. در واقع، با استفاده از رویکردهای سیستمی که در آن‌ها آنتروپی ویژگی همه سیستم‌ها، از قبیل زنده و غیرزنده است، ویژگی‌ای به نام آنتروپی اقتصادی برای سیستم‌های اقتصادی معرفی می‌کند و بر اساس قانون دوم ترمودینامیک، بقای سیستم‌های اقتصادی را در گرو افزایش نیافتن این ویژگی می‌داند.

## پی‌نوشت

۱. این مقاله از پایان‌نامه کارشناسی ارشدی در دانشگاه اصفهان با عنوان «تحلیل رابطه جهانی شدن و آنتروپی اقتصادی» اقتباس شده است و راهنمایی‌های استاد ارجمند آقای دکتر رنانی در نگارش آن درخور توجه و قدردانی است.
۲. سیستم باز سیستمی است که ماده و انرژی می‌تواند از مرزهای آن عبور کنند.



۳. از لحاظ ترمودینامیکی در یک سیستم اتلافی، فرایندهایی وجود دارند که منجر به افزایش آنتروپی در سیستم می‌شوند.
۴. سیستمی که همه سیستم‌های زنده و غیرزنده بر کره زمین را دربر می‌گیرد.

## منابع

- پرم، راجر و دیگران (۱۳۸۲). *اقتصاد محیط زیست و منابع طبیعی*، ترجمه حمیدرضا ارباب، تهران: نشر نی.
- جاسبی، عبدالله (۱۳۸۴). *اصول و مبانی مدیریت*، تهران: مرکز انتشارات علمی دانشگاه آزاد اسلامی.
- حسین‌پور، جعفر (۱۳۸۴). «نبود نگرش‌های سیستمی در تدوین برنامه‌های راهبردی ارتباطات و توسعه»، *اطلاعات سیاسی - اقتصادی*، ش ۲۲۱ و ۲۲۲.
- رادکلیف، مایکل (۱۳۷۳). *توسعه پایدار*، ترجمه حسین نیر، تهران: مرکز مطالعات برنامه ریزی و اقتصاد کشاورزی.
- رضائیان، علی (۱۳۷۷). *تجزیه و تحلیل و طراحی سیستم*، تهران: سمت.
- زاهدی، شمس السادات (۱۳۷۶). *تجزیه و تحلیل و طراحی سیستم‌ها (مبانی سیستم‌های اطلاعاتی مدیریت)*، تهران: دانشگاه علامه طباطبایی.
- زیمانسکی، مارک والدو، و ریچارد دیتمن (۱۳۶۴). *حرارت و ترمودینامیک*، ترجمه حسین توتونچی، حسن شریفیان عطار و محمدهادی هادی‌زاده، تهران: مرکز نشر دانشگاهی.
- فرجی، نورمحمد (۱۳۸۶). «سنجش و سطح‌بندی پایداری اقتصادی نواحی روستایی»، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران.
- فرشاد، مهدی (۱۳۶۲). *نگرش سیستمی*، تهران: امیرکبیر.
- محمدرضایی عمران، شهریار (۱۳۸۲). *رویکرد سیستمی به تجزیه و تحلیل اکوسیستم‌ها*، تهران: آبیژ.
- هالیدی، دیوید و رابرت رزنیک (۱۳۶۶). *فیزیک*، ج ۲، ترجمه نعمت‌الله گلستانیان و محمود بهار، تهران: مرکز نشر دانشگاهی.

- Blauberg, I. V., V. N. Sadorsky, and E. G. Yudin (1977). *Systems Theory: Philosophical and Methodological Problems*, Mosco: Progress Publisher.
- Carvalho, J. F. (2011). 'Measuring Economic Performance, Social Progress and Sustainability Using an Index', *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, No. 15.
- Daly, H. E. (1987). 'The Economic Growth Debate: What Some Economist Have Learned But Many Have Not', *Journal of Environmental Economics and Managment*, Vol 14, No. 4.
- Davis, G., and M. H. Olson (1984). *Management Information Systems: Conceptual Foundation, Structure and Development*, NY: McGraw-Hill.
- Georgescu-Roegen, Nicholas (1986). 'The Entropy Law and Economic Process in Retrospect'. *Eastern Economic Journal*, Vol. XII, No. 1.

- Gladwin, T. N., J. Kennelly, and T. Krause (1995). 'Shifting Paradigms for Sustainable Development: Implication for Management Theory and Research', *Academy of Management Review*, No. 20.
- Hermansson, Henrik (2008). 'Economic Growth Featuring Costly Extraction of Low Entropy Natural Resources', Lund University's Master's Thesis Database-LUP Student Papers.
- Hopwood, B., M. Mellor, and G. O'Brien (2005). 'Sustainable Development: Mapping Different Approaches', *Sustainable Development*, No.13.