سایبودینامیک، قوانین جریان اطلاعات در چرخه‌ی سایبرنتیک

محمدعلی شکوهیان‌راد[۱]، سمانه کاتبی کوشالی[۲]

[۱]مدرس دانشگاه تهران و پژوهشگر ارشد آزمایشگاه پژوهشی فضای سایبر دانشگاه تهران
cm@shokoohian.ir
[۲]دانش‌آموخته‌ی دکتری شیمی - فیزیک، دانشگاه کاشان
sahab135@gmail.com

چکیده

تلقی انسان از جهان و ارکان سازنده‌ی آن در طول تاریخ، چنین بوده که صرفاً ماده و انرژی سازندگان پایه‌ی جهان هستند. لذا دانش‌هایی که بتوانند ماهیت، کارکرد، قوانین حاکم و نحوه‌ی کنترل ماده و انرژی را توضیح دهند، برای فهم جهان کفایت می‌کنند. اما عصر اطلاعات که با وقوع انقلاب صنعتی سوم آغاز شد، فضای فهم و ادراک از جهان را به‌سمت مؤلفه‌ی نوینی سوق داد که در گذر زمان اثبات شد حتی ماده و انرژی نیز تحت سیطره‌ی آن هستند: اطلاعات. همچنین به‌دلیل استیلای اطلاعات بر ماده و انرژی، دانش سایبرنتیک –دانش تخصصی کنترل جریان اطلاعات– نیز بر دانش فیزیک سلطه دارد. به‌تدریج مشخص گردید اطلاعات در حالی که می‌تواند ماده و انرژی را کنترل نماید، به‌دلیل ماهیت متفاوتی که دارد از قوانین حاکم بر ماده و انرژی پیروی نمی‌کند. این مهم آغاز یکی از بزرگترین انقلاب‌های علمی جهان شد که مبنای اکثر دانش‌ها را از ماده و انرژی به اطلاعات تغییر داد؛ تغییری که بر پایه‌ی دانش سایبرنتیک رقم خورد و کماکان ادامه دارد. از سوی دیگر، ثبات‌مندی و پایداری بسیار بالای جریان اطلاعات حاکی از قانون‌مندی روند آن است. بدین سبب جریان‌مندی اطلاعات، قطعاً از قوانین مشخصی پیروی می‌کند؛ قوانینی که در دانش فیزیک مطالعه نشده و باید کشف شوند. در این راستا، طی نسبت‌شناسی میان مؤلفه‌ی گرما در پویایی ماده و انرژی که قوانین ترمودینامیک بر پایه‌ی آن تدوین شده، با مؤلفه‌ی سایبر که جریان اطلاعات را در چرخه‌ی سایبرنتیک ایجاد و کنترل می‌نماید، برای نخستین بار «قوانین پویایی جریان اطلاعات» با عنوان سایبودینامیک مورد مطالعه قرار گرفت.

کلمات کلیدی: سایبرنتیک؛ سایبودینامیک؛ قوانین جریان اطلاعات؛ مثلث اطلاعات، ماده و انرژی (مثلث اِما).

۱ مقدمه

دانش سایبرنتیک، دانشی است که اساساً بر مؤلفه‌ی اطلاعات تمرکز دارد؛ به همین دلیل است که به‌عنوان دانش اعمال کنترل از طریق جریان اطلاعات شناخته می‌شود. از سوی دیگر، موضوع کنترل، مقوله‌ای است

که به‌دلیل ماهیت کشف و اصلاح خطا، خودش باید فاقد هرگونه خطا باشد. به‌همین دلیل است که حوزه‌ی کنترل، حوزه‌ای است که نیازمند ثبات و پایداری است و از هر عاملی که برهم‌زننده‌ی پیش‌بینی‌پذیری است حذر دارد. به‌عبارت دیگر زمانی می‌توان به درستی اعمال کرد و خطاهای احتمالی را در هر فرایند مدنظر، کشف و اصلاح نمود که خود ساز و کار کنترلی دچار خطا و عدم پایداری نباشد.

بنابر این دانش سایبرنتیک، در حوزه‌ی کنترل از طریق جریان اطلاعات از ثبات و پایداری بسیار بالایی برخوردار است، تا آنجا که در زمره‌ی معدود دانش‌هایی است که مبانی فلسفی و نظری آنها طی حدود دو قرن گذشته، مردود اعلام نشده، بلکه بر همان مسیر اولیه تکمیل گردیده است. این ثبات و پایداری درونی دانش سایبرنتیک، قطعاً حاصل استوار شدن این دانش بر قوانینی است که در نسبت با عالم، همسو و منطبق هستند. به‌عبارت دیگر اگر صحبت از کنترل بر اساس جریان اطلاعات می‌شود، ثبات آن بابت ثباتی است که جریان اطلاعات از آن برخوردار است. از این رو می‌توان اذعان داشت جریان‌مندی اطلاعات از قوانین مشخصی پیروی می‌کند.

اما آیا قوانین اطلاعات، استخراج شده است؟ آیا قوانین حاکم بر اطلاعات، همان قوانین حاکم بر ماده و انرژی است که دانش فیزیک مطرح می‌کند؟ چه نسبتی میان قوانین حاکم بر جریان اطلاعات با قوانین حاکم بر جریان ماده و انرژی برقرار است؟ نوآوری پژوهش حاضر از آن جنبه است که نخستین متن علمی در زبان فارسی است که تلاش دارد بخشی از قوانین جریان اطلاعات را الگو نموده و تشریح کند.

بدین منظور، پژوهش حاضر ابتدا ماده و انرژی و قوانین حاکم بر جریان‌مندی آن را طبق دانش فیزیک بررسی کرده و سپس در نسبت با آن به معرفی جریان اطلاعات، نسبت جریان اطلاعات به جریان ماده و انرژی و نهایتاً تدوین و تشریح بخشی از قوانین حاکم بر جریان اطلاعات می‌پردازد.

۲ پیشینه‌ی پژوهش

بر اساس مطالعات انجام شده، نخستین فردی که پیرامون قانون‌مندی و نظریه‌پذیری اطلاعات صحبت کرده، یک فیزیک‌دان اروپایی به نام لئو زیلارد است. زیلارد مقاله‌ای در مورد شیطان ماکسول با عنوان «درباره‌ی کاهش آنتروپی در یک سیستم ترمودینامیکی با مداخله‌ی موجودات هوشمند» نوشته است. وی دیدگاهی را معرفی کرد که اکنون موتور زیلارد نامیده می‌شود و در تاریخچه‌ی دانش برای درک شیطان ماکسول مهم تلقی شد. این مقاله همچنین اولین معادله‌ی آنتروپی منفی و اطلاعات را ارائه کرده است (لئو زیلارد، ۱۹۲۹). به این ترتیب، زیلارد را می‌توان به‌عنوان یکی از بنیانگذاران نظریه‌ی اطلاعات معرفی کرد.

دومین مطالعات مهم در باب قانون‌پذیری اطلاعات توسط لئون بریلوئین[1] –فیزیک‌دان فرانسوی– انجام شده است. وی از اولین کسانی است که تلاش نموده از طریق جریان اطلاعات و قوانین حاکم بر آن، مسائل فیزیکی را بررسی نماید. بریلوئین از نظریه‌پردازانی است که تلاش داشته تا بتواند از منظر مباحث فیزیکی، با کنترل جریان اطلاعات در محیط و ایجاد آنتروپی منفی، بر مسأله‌ی آنتروپی که به افول و زوال تدریجی سیستم‌ها اشاره دارد، غلبه نماید. وی در خصوص سایبرنتیک اعتقاد دارد «ما با تلقی اطلاعات به‌صورت مجزا

[1] Léon Nicolas Brillouin

[تا پیش از سایبرنتیک]، راه نادرستی را انتخاب کرده‌ایم. ضروری است که همیشه این دو را به‌صورت مجموعه بررسی کنیم، یعنی اطلاعات به‌علاوه‌ی آنتروپی منفی» (کلاود شانون، ۱۹۴۸).

بریلوئین در یکی از مهم‌ترین آثار خود پیرامون سایبرنتیک با عنوان «زندگی، ترمودیناک و سایبرنتیک»، نظر خود درباره‌ی نگاه وینر به موضوع ایجاد آنتروپی منفی از طریق جریان اطلاعات را چنین بیان می‌نماید: «اگر اطلاعات به‌معنای آنتروپی منفی است» –همانطور که وینر پیشنهاد کرده است– چگونه می‌خواهیم این متغیر و مداخله‌گر جدید را در آنتروپی اندازه‌گیری کنیم؟ وینر تعاریف عملی و عددی را پیشنهاد می‌کند که ممکن است برای ساده‌ترین مسائل ممکن از این نوع به کار رود. این یک میدان کاملاً جدید برای تحقیق و یک ایده‌ی تحول‌آفرین را نشان می‌دهد» (لئون بریلوئین، ۱۹۴۹).

بریلوئین در کتاب «دانش و نظریه‌ی اطلاعات»[۲] که در سال ۱۹۵۶ میلادی منتشر شد، با مبحث کنترل محیط از طریق کنترل جریان اطلاعات به‌واسطه‌ی ایجاد آنتروپی منفی، تعیین تکلیف نموده و آن را کاملاً واقعی و ممکن دانسته است. وی در این کتاب، برای بیان آنتروپی منفی از طریق اطلاعات، اصطلاح «نِگِنتروپی»[۳] را مطرح می‌کند[۴] که ابتناء بر اصلی دارد که خودش پایه‌گذاری نموده است: «اصل نگنتروپی اطلاعات»[۵] که سه سال پیش از این (۱۹۵۳ میلادی) در مقاله‌ای با همین عنوان آن را تشریح کرده است (لئون بریلوئین، ۱۹۵۳). این فیزیک‌دان رابطه‌ی میان آنتروپی منفی و اطلاعات را چنین تشریح کرده است: «آنتروپی معمولاً به‌عنوان اندازه‌گیری میزان بی‌نظمی در یک سیستم فیزیکی توصیف می‌شود. به بیانی دقیق‌تر، آنتروپی میزان خلأ اطلاعات در مورد ساختار واقعی سیستم را اندازه‌گیری می‌کند. این فقدان اطلاعات، امکان وجود تنوع زیادی از ساختارهای متمایز میکروسکوپی را مطرح می‌کند که ما در عمل قادر به تشخیص آنها از یکدیگر نیستیم. از آنجایی که هر یک از این ریزساختارهای مختلف واقعاً در هر زمان معیّن قابل تحقق است، فقدان اطلاعات مربوط به بی‌نظمی واقعی در درجات پنهان آزادی است» (لئون بریلوئین، دانش و نظریه‌ی اطلاعات).

از مهم‌ترین مطالعاتی که تلاش نموده قوانین اطلاعات را شناسایی و از طریق جریان‌مندی اطلاعات، آنتروپی سیستم را تحت کنترل درآورد متعلق به نوربرت وینر[۶] است که پدر دانش سایبرنتیک می‌باشد. وینر در این خصوص بیان می‌دارد: «ما در نوعی زندگی مستغرق هستیم که در آن دنیا به‌طور کلی، از اصل دوم ترمودینامیک پیروی می‌کند: درهم‌آشفتگی افزایش و نظم کاهش می‌یابد (نوربرت وینر، ۱۳۶۶). زمانی که من ساختمان یک موجود زنده را با ماشین مقایسه می‌کنم، حتی برای یک لحظه مقصودم این نیست که فرآیندهای ویژه‌ی فیزیکی، شیمیایی و روحانی زندگی، بدان معنایی که عادتاً آنها را می‌شناسیم، همانند فرآیندهایی هستند که درون ماشین‌ها روی می‌دهند. منظور من صرفاً آن است که هر دو می‌توانند در محل

---

[2] Science and Information theory

[3] Negentropy

[۴] می‌توان پیشینه‌ی اصطلاح نگنتروپی بریلوئین را در اصطلاح «آنتروپی منفی»(Negative Entropy)،که توسط اروین شرودینگر مطرح شده است، جستجو نمود اما تعاریف بریلوئین حاکی از آن است که نگنتروپی، دقیقاً همان آنتروپی منفی شرودینگر نیست و پدیده‌ی اطلاعات در آن نقش بسیار جدی یافته است.

[5] Negentropy Principle of Information

[6] Norbert Wiener

خود، نمونه‌ای از فرایندهای پادآنتروپیک باشند» (همان).

۳ ادبیات پژوهش

۱.۳ قوانین ماده و انرژی در ترمودینامیک

ماده و انرژی، دو حوزه‌ی اصلی مورد مطالعه در دانش فیزیک هستند و کلیت این دانش بر آنها تمرکز دارد، به‌گونه‌ای که هدف دانش فیزیک، کشف روابط میان ماده و انرژی و ارائه‌ی الگوی دقیق محاسباتی برای آنها است. در فیزیک کلاسیک و شیمی عمومی، ماده به هر جزء یا ماهیتی گفته می‌شود که دارای جرم است و با داشتن حجم، فضا را اشغال می‌کند (پِنروس، ۱۹۹۱). همچنین انرژی خاصیت کمی است که به یک جسم یا یک سیستم فیزیکی منتقل می‌شود و در انجام کار و به شکل گرما و نور قابل تشخیص است (پائولو بوسوتی، ۲۰۲۳).

رابطه‌ای که فیزیک میان ماده و انرژی در نظر می‌گیرد چنین است که انرژی، فعال‌کننده‌ی ماده است و همانطور که بیان شد، این فعال‌شوندگی از علائم کمّی برخوردار و قابل تشخیص است که اهم آن گرما است. به‌عبارت دیگر، انتقال انرژی به ماده به‌گونه‌ای که گرمای آن را افزایش دهد، اثر فیزیکی انرژی بر ماده است که از طریق پایش دما اندازه‌گیری می‌شود. بنابر این می‌توان گرما را مؤلفه‌ی پویایی ماده از طریق انرژی دانست. به‌همین سبب است که قوانین ماده، انرژی و ارتباطات میان آنها از طریق مؤلفه‌ی مهم دما مورد مطالعه قرار می‌گیرد.

به‌صورت مشخص، مبحثی که قوانین ماده و انرژی در نسبت با دما را در دانش فیزیک و شیمی مورد مطالعه قرار می‌دهد، ترمودینامیک است. ترمودینامیک، علم ماکروسکوپی است که ارتباط‌های خواص تعادلی یک سیستم و تغییرات آن را در خلال فرآیندها مطالعه می‌کند (ایرا لوین، ۱۳۸۶، ص۱). همانطور که بیان شد، دما خاصیت کلیدی در ترمودینامیک است که بدین سبب گاهی ترمودینامیک به‌عنوان مطالعه‌ی رابطه‌ی دما با خواص ماکروسکوپی ماده نیز تعریف می‌شود (ایرا لوین، ۱۳۸۶، ص۳). پس به‌طور کل می‌توان دانش فیزیک را دانش مطالعه‌ی ماده، انرژی و خواص و قوانین حاکم بر آنها دانست که یکی از اهم قوانین شناخته شده در مبحث ترمودینامیک مطرح شده است که مؤلفه‌ی اصلی آن دما (سنجش میزان گرما) است.

۲.۳ اطلاعات، کنترل‌کننده‌ی ماده و انرژی

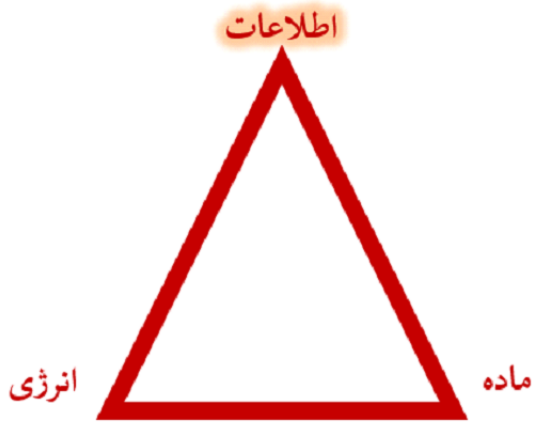
اطلاعات را می‌توان عمیق‌ترین مؤلفه‌ای دانست که تاکنون بشر به فهم و توانایی استفاده‌ی گسترده از آن دست یافته است، زیرا کاربرد اطلاعات در عصر حاضر صرفاً در راستای بهبود یا تکامل نیست، بلکه می‌تواند پدیده‌ها را از بنیان دگرگون سازد. **از این رو اطلاعات، مؤلفه‌ای است که نه فقط باعث طراحی و اجرای جدید پدیده‌ها می‌شود، بلکه سرشت ذاتی آنها یعنی هستی‌شناسی‌شان را به‌طور بنیادین تغییر می‌دهد.** بدین معنا اطلاعات، جهان ما را نه فقط بازطراحی و بازمهندسی، بلکه به واقع مجدداً هستی‌شناختی می‌کند. فضای اطلاعات به‌قدری عمیق و همه‌جا حاضر شده است که جهان امروز در اینفوسفِر قرار گرفته و این مسأله تا آنجا پیش رفته که قطع شدن ارتباط انسان‌ها –خصوصاً نسل‌های جدید– با اینفوسفِر همانند

بیرون افتادن ماهی از درون آب است.

این موضوع حتی برای دانش فیزیک نیز که تماماً در حیطه‌ی ماده و انرژی تعریف شده، مصداق یافته است؛ آنجا که بشر متوجه شد ماده و انرژی ذیل اطلاعات کار می‌کنند. به‌عبارت دیگر ماده، انرژی و قوانین حاکم بر آنها تحت تأثیر جریان اطلاعات هستند. بنابراین با کنترل جریان اطلاعات، می‌توان جریان ماده و انرژی را نیز کنترل نمود.

اگر مؤلفه‌ی اطلاعات را که یک مؤلفه‌ی سایبرنتیکی است، به دو مؤلفه فیزیکی ماده و انرژی اضافه کنیم، به‌گونه‌ای که ارجحیت اطلاعات بر ماده و انرژی لحاظ شود؛ یک مثلث شکل می‌گیرد که به **«مثلث اطلاعات، ماده و انرژی»** (به اختصار، مثلث اِما) شهرت دارد، به‌گونه‌ای که رأس فوقانی آن جایگاه اطلاعات و دو رأس تحتانی آن محل استقرار ماده و انرژی است (شکل ۱).

مبنای شکل‌گیری مثلث اِما از آنجا است که پردازش اطلاعات، به انرژی نیاز دارد تا در سطح ماده نسبتاً قابل مشاهده باشد، یعنی تجسم و فشرده‌سازی آن. عناصر اصلی مادی مانند زمین، هوا، آتش و آب... همگی از انرژی ساخته شده‌اند، اما شکل‌های مختلف آنها توسط اطلاعات تعیین می‌شود. انجام هر کاری نیاز به انرژی دارد. برای مشخص کردن آنچه انجام می‌شود نیاز به اطلاعات است. انرژی و اطلاعات ذاتاً (بدون جناس) در هم تنیده شده‌اند. بنابراین اطلاعات، ماده و انرژی در یک خود ارجاعی «درهم تنیده» در نظر گرفته می‌شود (اینّا سِمِتسکی، ۲۰۱۰).



شکل ۱: مثلث اطلاعات، ماده و انرژی (به اختصار، مثلث اِما)

هر چند در مثلث اِما، به‌علت وجود رابطه‌ی $E = mc^2$ که مبنای تبدیل ماده و انرژی به یکدیگر است، ماده و انرژی با یکدیگر هم‌طراز هستند؛ اما جایگاه اطلاعات به‌دلیل توضیحاتی که بیان شد، فرای ماده و انرژی است و ماده و انرژی تحت تأثیر اطلاعات هستند.

۳.۳ آنتروپی سایبرنتیکی، کنترل‌کننده‌ی آنتروپی فیزیکی

همانگونه که فیزیک، دانش شناخت ماهیت و روابط محاسباتی ماده و انرژی است؛ سایبرنتیک نیز دانش شناخت ماهیت و قوانین جریان‌مندی اطلاعات است. از سوی دیگر بیان شد اطلاعات، ماده و انرژی را کنترل می‌کند. از این رو دانش سایبرنتیک نیز توانایی کنترل دانش فیزیک را دارا است. اروین شرودینگر (فیزیکدان) در خصوص برتری جریان اطلاعات بر فیزیک در موجودات زنده می‌گوید: «ماده‌ی زنده، در حالی که قوانین شناخته‌شده‌ی فیزیک را نقض نمی‌کند، ممکن است تابع قوانین دیگری از فیزیک باشد که هنوز ناشناخته هستند». در این طرز فکر، شرودینگر تنها نبود و پایه‌گذاران دیگر مکانیک کوانتومی مانند نیلز بور و ورنر هایزنبرگ نیز احساس کردند که ماده‌ی زنده، نیازمند فیزیک جدیدی است (پل دیویس، ۱۳۹۹). لذا در حالی که جهان تحت تأثیر قوانین فیزیک کار می‌کند، تابع قوانین دیگری است که فیزیک بر آنها سیطره ندارد؛ قوانینی که مرتبط با حوزه‌ی جریان اطلاعات است. اما موضوع بسیار مهم این است که هنوز در هیچ دانشی، قوانین اطلاعات، پویایی اطلاعات و چرخه‌های اطلاعاتی به‌صورت جامع بررسی نشده است.

اکنون این پرسش مطرح می‌شود که منظور از قوانین اطلاعات چیست؟ مگر قوانین حاکم بر اطلاعات با قوانین حاکم بر ماده و انرژی متفاوت است؟ با یک مثال می‌توان پاسخ داد. بدیهی است که ماده و انرژی، هر چه بیشتر مصرف شوند، از مقدارشان کاسته می‌شود تا آنکه به اتمام برسند. آیا مصداقی از ماده یا انرژی سراغ دارید که در اثر مصرف، افزایش یابد؟ یعنی مصداقی از انرژی می‌شناسید که هر چه بیشتر مصرف کنیم، بیشتر شود یا نوعی از ماده که در صورت استفاده‌ی بیشتر، افزایش یابد؟ لذا کاهش مقدار در اثر مصرف شدن، یکی از قوانین حاکم بر ماده و انرژی است.

اما برخلاف ماده و انرژی، اطلاعات در اثر مصرف شدن بیشتر می‌شود. برای مثال وقتی اطلاعات موجود روی یک سیستم را در ذخیره‌ساز خود کپی می‌کنیم تا مورد استفاده قرار دهیم، عملاً با ایجاد یک نسخه‌ی همانند از نسخه‌ی اولیه، آن را دو برابر کرده‌ایم؛ آن هم با همان کیفیت و و یژگی‌های نسخه‌ی اولیه.

بنابراین قوانین حاکم بر اطلاعات متفاوت است از قوانین حاکم بر ماده و انرژی. لذا قوانینی که دانش فیزیک برای ماده و انرژی ارائه کرده است، نمی‌تواند روابط و قوانین حاکم بر اطلاعات را توضیح دهد. این در حالی است که بیان شد اطلاعات، ماده و انرژی را کنترل می‌کند. بنابر این اولاً همانگونه که دانش فیزیک، قوانین را برای ماده و انرژی توصیف کرده است؛ دانش سایبرنتیک نیز قوانین را برای اطلاعات توصیف می‌کند؛ و ثانیاً خود دانش فیزیک، تحت تأثیر دانشی است که قوانین حاکم بر اطلاعات را توضیح می‌دهد که دانش سایبرنتیک است. یک مثال دیگر برای فهم دقیق‌تر و عمیق‌تر این گزاره:

سه بسته کاغذ را در نظر بگیرید، سه بسته‌ای که از تمامی جهات فیزیکی مانند، مواد اولیه‌ی تولید، زمان تولید، شرایط نگهداری، مقدار و ... کاملاً یکسان هستند. بسته‌ی اول در واقع یک کتاب علمی صد صفحه‌ای است، بسته‌ی دوم شامل صد صفحه مجله‌ی سرگرمی است و بسته‌ی سوم حاوی صد صفحه روزنامه‌ی باطله.

پرسش این است: آیا آنتروپی این سه بسته کاغذ از منظر دانش فیزیک، با یکدیگر تفاوت دارند؟ قطعاً پاسخ شما خیر است. این بدین معنا است که در روال عادی طبیعت، آنتروپی هر سه بسته‌ی کاغذ یکسان است و همزمان و هماهنگ دچار زوال می‌شوند. حال پرسش دوم این است: زمانی که قصد مطالعه‌ی یک

متن علمی را دارید، کدام یک از کاغذها را انتخاب می‌کنید؟ کتاب علمی، مجله‌ی سرگرمی یا روزنامه‌های باطله؟ به‌طور کلان‌تر، از هر کدام از بسته کاغذهای مذکور در چه زمانی و چه اموری استفاده می‌کنید؟ تبعاً پاسخ‌تان چنین است که از کتاب حاوی متن علمی برای مطالعات علمی و کسب دانش، از مجلات سرگرمی برای سپری کردن اوقات فراغت و از روزنامه‌های باطله برای نظافت یا بسته‌بندی اشیاء استفاده می‌کنیم. اکنون پرسش مهم این است که مگر هر سه بسته‌ی کاغذهای مذکور از حیث شرایط و ویژگی‌های فیزیکی، یکسان نیستند؟ پس چرا در انتخاب کاربرد آنها نسبت به شرایط مختلف، تصمیمات مختلفی اخذ می‌کنید؟

حتماً پاسخ‌تان این است که به‌دلیل تفاوت‌شان در محتوایی که ارائه می‌کنند.

بله! تنها تفاوت میان این سه دسته کاغذ صد صفحه‌ای، اطلاعاتی است که ارائه می‌کنند. به‌عبارت دیگر، تفاوت در تصمیم‌گیریِ ما، حاصل از تفاوت در اطلاعاتِ مندرج در این سه منبع است. دقیقاً اختلاف در اطلاعات منابع است که باعث می‌شود کتاب علمی را برای مدت بسیار طولانی در کتابخانه نگه دارید و به منفی شدن آنتروپی آن کمک کنید اما روزنامه‌های باطله را حتی نه برای مطالعه، بلکه برای نظافت سطوح استفاده کنید که در واقع آنتروپی آن را سریع‌تر می‌کنید.

در مثال فوق به‌وضوح مشخص است که علی‌رغم یکسان بودن آنتروپی فیزیکیِ (آنتروپی ماده و انرژی) سه بسته کاغذ، با دخالت متغیر اطلاعات، سرنوشت متفاوتی برای آنها رقم می‌خورد. از این رو با مفهومی متفاوت و بسیار اثرگذار مواجه هستیم که**آنتروپی اطلاعات** نام دارد و از آنجا که اطلاعات و تمامی مسائل مرتبط با آن در دانش سایبرنتیک مورد مطالعه و بررسی قرار می‌گیرد، مؤلفه‌ی دیگری علاوه بر آنتروپی فیزیکی مطرح می‌شود که آن را **آنتروپی سایبرنتیکی** آنتروپی سایبرنتیکی می‌نامیم.

همچنین مثال فوق نشان داد که آنتروپی سایبرنتیکی، کاملاً بر آنتروپی فیزیکی اثرگذار است. دقیقاً به‌دلیل آنتروپی سایبرنتیکی است که از سویی، یک کتاب قدیمی که در حال پوسیدن و زوال فیزیکی است (آنتروپی فیزیکی) را با روش‌های مختلف ترمیم نموده و نگهداری می‌کنیم تا از بین نرود (آنتروپی منفی فیزیکی) زیرا اطلاعات آن ارزشمند است و باید حفظ شود؛ ولی از سوی دیگر، انبوهی از کاغذهایی که محتوای چاپ شده روی آنها باطل شده است (آنتروپی سایبرنتیکی) علی‌رغم سالم بودن خود کاغذها (آنتروپی منفی فیزیکی) به خمیر تبدیل می‌کنیم (آنتروپی فیزیکی) تا بتوان از کاغذ بازیافت شده، مجدداً برای چاپ اطلاعات و محتوای جدید استفاده نمود. **نکته‌ی بسیار مهم این است که مبتنی بر مثلث اِما، از آنجا که اطلاعات بر ماده و انرژی برتری و استیلا دارد؛ در نتیجه آنتروپی سایبرنتیکی، کنترل‌کننده‌ی آنتروپی فیزیکی است.**

۴.۳ نسبت‌شناسی قوانین سایبودینامیک با قوانین ترمودینامیک

بیان شد بخشی از دانشمندان سایبرنتیک، خصوصاً آن دسته که عموماً از منظر فیزیک و مهندسی به سایبرنتیک نگریسته‌اند؛ تزریق اطلاعات به سیستم را به‌مثابه آنتروپی منفی برای آن سیستم در نظر گرفته و بدین نحو، کارکرد کنترلی را برای جریان اطلاعات، اثبات و احراز نموده‌اند. این نگاه، در حالی که از سویی اتکا بر قوانین ترمودینامیک دارد، از سوی دیگر تعبیری مبتنی بر سایبرنتیک و پویایی اطلاعات را به‌جای دیدگاه فیزیکی ارائه می‌نماید. در پژوهش حاضر برای نخستین بار، نه فقط مفهوم آنتروپی منفی بلکه هر

جدول ۱: چهار حالت بر اساس ماتریس دو در دو

x	سیستم الف	سیستم ب
کنترل‌کننده	کنترل‌کننده سیستم الف	کنترل‌کننده سیستم ب
کنترل‌شونده	کنترل‌شونده سیستم الف	کنترل‌شونده سیستم ب

چهار قانون ترمودینامیک از منظر سایبرنتیک تشریح شده است؛ مبحثی که آن را سایبودینامیک[۷] به‌معنای «پویایی جریان اطلاعات» می‌نامیم. قوانین پویایی جریان اطلاعات (سایبودینامیک) به‌صورت ذیل بازتعریف می‌شود:

۱.۴.۳ قانون یکم سایبودینامیک: تعادل جریان اطلاعات میان سیستمی

گزاره: اگر دو سیستم با سیستم سومی در تعادل کنترلی به‌واسطه‌ی جریان اطلاعات باشند، خود آن دو سیستم نیز با یکدیگر در حالت تعادل جریان اطلاعات هستند.

اثبات: همواره شکل‌گیری کنترل سایبرنتیکی، نیازمند شکل‌گیری چرخه‌ی سایبرنتیک است. لذا حتماً از میان دو سیستم، یکی از آنها کنترل‌کننده و دیگری کنترل‌شونده است که به‌ترتیب سیستم‌های الف و ب می‌نامیم. حال سیستم سومی به چرخه‌ی سایبرنتیک اضافه می‌شود که سیستم پ نام دارد. بدیهی است که سیستم مذکور نسبت به هر کدام از دو سیستم الف و ب، یا باید نقش کنترل‌کننده داشته باشد یا کنترل‌شونده و نمی‌تواند نسبت به یک سیستم، همزمان در هر دو نقش ظاهر شود. از آنجا که دو سیستم موجود است و نسبت به هر سیستم، دو نقش قابل احراز؛ در نتیجه چهار حالت بر اساس ماتریس دو در دو شکل می‌گیرد (جدول ۱).

اگر سیستم پ، کنترل‌کننده‌ی سیستم الف باشد: از آنجا که سیستم الف نیز کنترل‌کننده‌ی سیستم ب بوده و میان آنها چرخه‌ی سایبرنتیک از قبل به‌صورت بدون نقص و پایدار برقرار شده؛ در نتیجه سیستم الف نیز در تعادل اطلاعاتی با سیستم ب است. زیرا اگر جز این باشد، از طریق جریان اطلاعات ارسالی به کنترل‌شونده‌ی خود (سیستم الف) بر عملکرد آن به‌گونه‌ای اثر خواهد گذاشت که نهایتاً سیستم الف که نقش کنترل‌کننده‌ی سیستم ب را دارا است، از تعادل با آن سیستم خارج می‌گردد. پس مادامی که سیستم الف با سیستم ب در تعادل چرخه‌ی سایبرنتیک است، به‌معنای این است که سیستم پ با سیستم الف در تعادل چرخه‌ی سایبرنتیک می‌باشد؛ در نتیجه میان سیستم پ و سیستم ب نیز **تعادل سایبوسایبرنتیک** (سایبرنتیک مرتبه‌ی دوم) وجود دارد.

اگر سیستم پ، کنترل‌کننده‌ی سیستم ب باشد: از آنجا که سیستم ب کنترل‌شونده‌ی سیستم الف است ابتدا باید مشخص شود سیستم پ با سیستم الف چه نسبتی دارد؟ اگر میان سیستم پ و سیستم الف، نسبت کنترل‌کننده – کنترل‌شونده برقرار باشد که تکرار حالت قبل است و در واقع سیستم پ از طریق

[7] Cybodynamics

سایبوسایبرنتیک بر سیستم ب کنترل دارد. اما اگر نسبت سیستم پ به سیستم الف از نوع کنترل‌شونده – کنترل‌کننده باشد، روند بدین صورت است که سیستم پ در راستای کنترل سیستم الف، سیستم ب را کنترل می‌نماید. در این حالت سیستم پ به سیستم داخلی سایبوسایبرنتیک سیستم الف تبدیل می‌شود و از آنجایی که سیستم پ از سویی با سیستم الف به‌عنوان کنترل‌کننده‌اش و از سوی دیگر با سیستم ب به‌عنوان کنترل‌شونده‌اش در تعادل چرخه‌ی سایبرنتیک است؛ در نتیجه سیستم‌های الف و ب نیز با یکدیگر در تعادل جریان اطلاعات هستند.

اگر سیستم پ، کنترل‌شونده‌ی سیستم الف باشد: در این صورت بنابر اینکه سیستم الف، سیستم ب را نیز کنترل می‌نماید، مشخصاً سیستم الف در جایگاه کنترل‌کننده‌ی مطلق قرار می‌گیرد. حال باید مشخص شود نسبت سیستم پ به سیستم ب چگونه است؟ اگر سیستم پ کنترل‌کننده‌ی سیستم ب باشد، حالت قبل رخ می‌دهد که تشریح شد. اما اگر سیستم پ کنترل‌شونده‌ی سیستم ب باشد، در این صورت سیستم الف در حال کنترل سیستم ب بوده و سیستم ب نیز سیستم پ را کنترل می‌نماید. در مجموع کنترل سایبوسایبرنتیک بدین صورت شکل می‌گیرد که سیستم ب، سیستم داخلی کنترل سایبوسایبرنتیک سیستم الف بر سیستم پ است. لذا از آنجا که سیستم ب به‌عنوان کنترل‌شونده در تعادل چرخه‌ی سایبرنتیک با سیستم الف بوده و به‌عنوان کنترل‌کننده نیز چرخه‌ی سایبرنتیک با سیستم پ دارد؛ در نتیجه سیستم‌های الف و پ با یکدیگر در تعادل جریان اطلاعات هستند.

اگر سیستم پ، کنترل‌شونده‌ی سیستم ب باشد: بنابر اینکه سیستم ب توسط سیستم الف کنترل می‌شود، دقیقاً حالت قبل واقع می‌شود. در نتیجه تعادل جریان اطلاعات میان سیستم الف و پ به‌واسطه‌ی جایگاه سیستم ب برقرار است.

۲.۴.۳ قانون دوم سایبودینامیک: توان اقدام کنترل‌شونده

گزاره: همواره میزان توان اقدام کنترل‌شونده نسبت به کنترل‌کننده، برابر است با اختلاف میزان اقدام انجام شده و میزان اطلاعات دریافتی از کنترل‌کننده.

اثبات: در چرخه‌ی سایبرنتیک، کنترل‌شونده از سمتی، اطلاعات را از کنترل‌کننده دریافت می‌کند و از سمت دیگر، اقدام متناظر با اطلاعات دریافتی را انجام می‌دهد که این اقدام، به‌صورت کنش بر محیط ظاهر می‌شود. از سوی دیگر بیان شد که میزان کیفی و کمّی اقدام کنترل‌شونده، اولاً به توان محاسباتی آن وابسته است که کاملاً درونی است و هیچ راهی برای کنترل‌کننده نسبت به اطلاع مستقیم از آن وجود ندارد، مگر رصد محیط و تغییراتی که در آن بر حسب اقدام کنترل‌شونده حاصل می‌گردد. ثانیاً به میزان انرژی دریافتی کنترل‌شونده از محیط باز می‌گردد. برآیند دو گزاره‌ی مذکور، مشخص می‌سازد که توان اقدام بالقوه‌ی کنترل‌شونده در راستای اطلاعات دریافتی از کنترل‌کننده چه میزان است. لذا اختلاف کیفی و کمّی میان اطلاعات دریافتی از کنترل‌کننده و اقدام صورت گرفته از کنترل‌شونده، بیانگر توان اقدام کنترل‌شونده است.

جدول ۲: نُه حالت حاصل از جایگشت سه حالت کوچکتر، مساوی و بزرگتر از منظر تناسب ریاضی با دوگانه‌ی کیفی و کمّی

x	کوچکتر	مساوی	بزرگتر
کیفی	به لحاظ کیفی کوچکتر	به لحاظ کیفی مساوی	به لحاظ کیفی بزرگتر
کمی	به لحاظ کمی کوچکتر	به لحاظ کمی مساوی	به لحاظ کیفی بزرگتر

در اینجا از جایگشت سه حالت کوچکتر، مساوی و بزرگتر از منظر تناسب ریاضی با دوگانه‌ی کیفی و کمّی، نُه حالت حاصل می‌شود که محل سنجش توان اقدام کنترل‌شونده در نسبت با مطالبات کنترل‌کننده درون چرخه‌ی سایبرنتیک است.

۱-۱) به‌لحاظ کیفی و کمّی، کوچکتر: در این حالت، توان اقدام کنترل‌شونده، هم از حیث کیفیت و هم از حیث کمیّت آن، کمتر از حد مطلوب کنترل‌کننده است. بدین معنا که اقدام صورت گرفته، نه عمق لازم را دارا است و نه گستره‌ی لازم را. جارو برقی هوشمندی را در نظر بگیرید که کنترل‌کننده (انسان) به آن برنامه داده اتاق ۱۰ متر مربعی را ظرف ۵ دقیقه، از هرگونه کثیفی و ذرات بزرگتر از دو میلی‌متر پاک نماید. حالت جاری چنین است که جارو پس از اتمام ۵ دقیقه، هم بخشی از مساحت را جارو نکرده باشد و هم در آن بخشی که جارو کرده است، همچنان ذرات بزرگتر از دو میلی‌متر یافت شود.

۱-۲) به‌لحاظ کیفی، کوچکتر و کمّی، مساوی: بدان معنا است که اقدام کنترل‌شونده از حیث گستره‌ی اقدام در محیط، در حد مورد انتظار کنترل‌کننده است اما بخش‌های تحت تأثیر از عمق لازم اثرپذیری برخوردار نیستند. به‌تعبیر دیگر کنترل‌شونده توانسته انتظارات کمی را برآورده سازد اما ضعیف‌تر از کیفیت مطلوب. مصداق این وضعیت در مثال جاروی هوشمند، اینگونه است که برنامه‌ی جاروی اتاق ۱۰ متری رأس مدت ۵ دقیقه پایان می‌یابد اما کماکان در فضای اتاق، ذرات بزرگتر از ۲ میلی‌متر وجود دارد.

۱-۳) به‌لحاظ کیفی، کوچکتر و کمّی، بزرگتر: در این حالت، کنترل‌شونده توانسته گستره‌ی اقدام را پوشش دهد اما فاقد کیفیت مطلوب می‌باشد. مانند اینکه جاروبرقی هوشمند، اتاق ۱۰ متری را درزمان کمتر از ۵ دقیقه جارو نماید اما همچنان ذرات بزرگتر از ۲ میلی‌متر در فضا یافت شود.

۱-۲) به‌لحاظ کیفی، مساوی و کمّی، کوچکتر: توان اقدام کنترل‌شونده با عمق فرمان کنترل‌کننده، برابری دارد اما به‌لحاظ کمّی وضعیت مطلوب را دارا نیست. برای مثال جاروبرقی هوشمند می‌تواند ۱۰ متر مربع را کاملاً از ذرات بزرگتر از ۲ میلی‌متر پاک نماید اما در مدت زمانی بیش از ۵ دقیقه.

۲-۲) به‌لحاظ کیفی و کمّی، مساوی: چنانچه توان اقدام کنترل‌شونده در نسبت با مطلوبات کنترل‌کننده، از هر دو حیث کیفی و کمّی در وضعیت برابر باشد، در وضعیت فعلی قرار می‌گیرد. بدان معنا است که جاروی هوشمند، فضای ۱۰ متری را دقیقاً رأس ۵ دقیقه به‌گونه‌ای جارو کند که هیچ ذره‌ی بزرگتر از ۲ میلی‌متر روی زمین باقی نمانده باشد.

۳-۲) به‌لحاظ کیفی، مساوی و کمّی، بزرگتر: کنترل‌شونده قادر است اطلاعات دریافتی از کنترل‌کننده را با کیفیت مطلوب و گستره‌ای فراتر از سطح انتظار کنترل‌کننده محقق سازد. البته لازم به‌ذکر است که کنترل‌شونده دقیقاً باید معادل اطلاعات دریافتی از کنترل‌کننده اقدام کند و اگر توان کاهش آن را دارد، اقدام به کاهش ننماید مگر آنکه اطلاعاتی در این خصوص دریافت نموده باشد. برای نمونه، جاروی هوشمند فضای ۱۰ متری اتاق را می‌تواند در زمان کمتر از ۵ دقیقه از ذرات بزرگتر از ۲ میلی‌متر پاکسازی کند اما مادامی که برای استفاده از این توانمندی مخیر نشده است، در همان مدت ۵ دقیقه باید کار را به اتمام رساند.

۳-۱) به‌لحاظ کیفی، بزرگتر و کمّی، کوچکتر: یعنی نسبت به آنچه مطلوب کنترل‌کننده است، توان اقدام کنترل‌کننده از حیث عمق اثر بیشتر بوده اما گستره‌ی آن کمتر است. البته زمانی مجاز به اقدام فراتر از حد مطلوب است که کنترل‌کننده فرمان آن را صادر نموده باشد. نظیر جاروی هوشمندی که می‌تواند در اتاق ۱۰ متری، ذرات کوچکتر از ۲ میلی‌متر را نیز جارو نماید (در صورت دریافت فرمان) اما در زمانی بیش از ۵ دقیقه.

۳-۲) به‌لحاظ کیفی، بزرگتر و کمّی، مساوی: کنترل‌شونده می‌تواند عمق اثری فراتر از حد مطلوب کنترل‌کننده را در صورت درخواست وی، دقیقاً در گستره‌ی مقرر ارائه نماید. مانند زمانی که جاروی هوشمند بتواند علاوه بر ذرات ۲ میلی‌متری و بزرگتر از آن، ذرات کوچکتر از ۲ میلی‌متر را نیز از فضای ۱۰ متری اتاق دقیقاً در زمان ۵ دقیقه جارو نماید.

۳-۳) به‌لحاظ کیفی و کمّی، بزرگتر: نسبت توان اقدام کنترل‌شونده با اطلاعات دریافتی از کنترل‌کننده، هم از حیث عمق اثر و هم گستره‌ی اثرگذاری بیشتر است. منتها برای عملیاتی‌سازی هر دو باید از کنترل‌کننده فرمان دریافت کند. بدین معنا است که جاروبرقی هوشمند می‌تواند علاوه بر ذرات بزرگتر از ۲ میلی‌متر، ذرات کوچکتر را نیز به‌گونه‌ای جارو نماید که فضای ۱۰ متری در زمان کمتر از ۵ دقیقه پاکسازی شود.

۳.۴.۳ قانون سوم سایبودینامیک: هدر رفت توان اقدام کنترل‌شونده

گزاره: در چرخه‌ی سایبرنتیک، کنترل‌شونده نمی‌تواند تمامی توان خود را به اقدام در راستای اطلاعات دریافتی از کنترل‌کننده تبدیل نماید.

اثبات: توان اقدام کنترل‌شونده از برآیند توان محاسباتی آن و میزان انرژی ستاده از محیط حاصل شده است. اولاً محاسبات از دو بخش پردازش و ذخیره‌سازی تشکیل شده است. پردازش نسبت به اطلاعات دریافتی از کنترل‌کننده و سایر مواردی که نیازمند پردازش اطلاعاتی هستند، می‌باشد. از سویی هیچ سیستم هوشمندی، توان محاسبات صد در صدی محیط را ندارد. به‌تعبیر دیگر ادراک هر پدیده‌ی هوشمند از محیط، مطابق ظرفیت پردازشی‌اش است، نه دقیقاً تمامی شئون و کیفیاتی که در محیط وجود دارد. از این رو بدیهی است اگر بخشی از مطلوبات کنترل‌کننده، یا اصلاً توسط کنترل‌شونده پردازش نشود یا دچار نقص و خطا گردد. در نتیجه بخشی از توان پردازشی کنترل‌شونده، درگیر خطا است ولو آنقدر کم که قابل اغماض بوده و

بر اصل فرایند کنترل در چرخه‌ی سایبرنتیک اثرگذار نباشد. ازسوی دیگر، فرایند ذخیره‌سازی نیز از تضمین مطلق برخوردار نیست و ممکن است در بخش‌های مختلف آن نظیر ذخیره‌سازی، بازخوانی و بازیابی و ... دچار اشکال گردد که در نتیجه بخشی یا تمام توان محاسباتی را دچار اختلال می‌نماید.

اما آنچه بیان شد، تمام دلیل نیست. یکی از مشکلات پر تکرار در سیستم‌های هوشمند، عقب ماندن توان اقدام نسبت به توان ادراک است. بدین معنا که ممکن است پدیده‌ی هوشمند (اعم از زیستی و غیر زیستی) از حیث ادراکی متوجه شود که باید چه کار کند اما عملگرهای مناسبی برای اجرا و عینیت‌بخشی به آن را نداشته باشد یا از تسلط کافی برای به‌کارگیری عملگرهایش برخوردار نباشد. برای نمونه، سیستمی که متولی ایجاد برش‌های بسیار کوچک و دقیق روی اجسام است، به‌لحاظ نرم‌افزاری می‌تواند در راستای دستور دریافت شده از کنترل‌کننده، میزان و محل برش را تعیین کند اما نمی‌تواند در عمل به‌صورت دقیق و کاملاً منطبق، اجرا نماید. لذا معمولاً میان دریافت انتزاعی یک فرمان با پیاده‌سازی آن، اختلاف وجود دارد، ولو قابل چشم‌پوشی.

از سمت دیگر، مسأله‌ی انرژی نیز بر توان اقدام کنترل‌شونده مؤثر است. اینکه کنترل‌شونده در چه زمانی، از چه طریقی، به چه میزانی، به کدام منابع انرژی دسترسی یابد؛ تأثیر مستقیم بر این دارد که چگونه و چه میزان بتواند در راستای اطلاعات دریافتی از کنترل‌کننده، اقدام متناسب صورت دهد. کوچکترین اخلالی در بخش انرژی کنترل‌شونده، به‌معنای اخلال در توان اقدام آن است و از آنجا که ذات فیزیکی انرژی، فاقد خطا نیست؛ در نتیجه همیشه میزانی از خطا بابت مسائل مرتبط به انرژی در توان اقدام کنترل‌شونده وجود دارد.

در مجموع آنکه همواره بخشی از توان اقدام کنترل‌شونده، به‌دلایلی که بیان شد بابت فرایند اقدام صرف می‌شود و به خروجی تبدیل نمی‌گردد، از این رو تمام توان اقدام کنترل‌شونده به خروجی در راستای چرخه‌ی سایبرنتیک تبدیل نمی‌گردد.

بر اساس آنچه بیان شد، مفهوم بهینگی برای توان اقدام کنترل‌شونده مطرح می‌شود، بدین معنا که چگونه می‌توان حداکثر بهره‌وری و خروجی را از یک کنترل‌شونده در چرخه‌ی سایبرنتیک دریافت نموده و ناتوانی کمّی و کیفی آن را به حداقل ممکن رساند؟ بخش مهمی از تمرکز هوش مصنوعی، دقیقاً در راستای ارائه‌ی پاسخ‌های کیفی و کمّی به پرسش فوق است و اساساً یکی از مهم‌ترین انگیزه‌های بشر برای جایگزینی ماشین هوشمند با انسان در امور روتین و حتی تخصصی، بابت این است که به‌طور میانگین، ماشین‌ها از بهینگی بالاتری نسبت به انسان در توان اقدام برخوردار هستند.

۴.۴.۳ قانون چهارم سایبودینامیک: پایداری چرخه

گزاره: چرخه‌ی سایبرنتیک در دو وضعیت، پایدار است:

- **الف) برقراری تناسب میان اطلاعات و اقدام**
- **ب) عدم وجود جریان اطلاعات: چرخه‌ی خاموش**

اثبات: برای اثبات، هر بخش به‌صورت مجزا مورد بررسی قرار می‌گیرد:

الف) استمرار و پایداری چرخه‌ی سایبرنتیک، حاصل ایجاد و ادامه یافتن مدار اطلاعات میان اجزای چرخه‌ی مذکور است. از سمت دیگر اساس وجود چرخه‌ی سایبرنتیک بر کنش و واکنش‌های میان کنترل‌کننده و کنترل‌شونده بنا شده است به‌گونه‌ای که کنترل‌کننده، اطلاعات مد نظر را برای کنترل‌شونده ارسال نموده و در مقابل آن، اقدام دریافت می‌کند. حال اگر میان اطلاعات ارسالی و اقدام دریافتی، تناسب کیفی و کمّی برقرار باشد؛ چرخه‌ی سایبرنتیک در وضعیتی پایدار و با ثبات قرار می‌گیرد. به‌عبارت دیگر ارسال اطلاعات از سوی کنترل‌کننده و اقدام متناسب آن ازسوی کنترل‌شونده، باعث جلوگیری از بروز بی‌نظمی و ناپایداری در چرخه‌ی سایبرنتیک گشته و مانع از زوال سیستم خواهد شد. پس تا زمانی که تناسب مذکور ادامه داشته باشد، شرایط چرخه نیز پایدار خواهد بود.

نکته‌ی مهم آن است که تفاوتی ندارد چرخه‌ی سایبرنتیک در پدیده‌های زیستی پیاده‌سازی شود یا غیر زیستی. در هر حال، چه کنترل‌شونده، ماشین باشد و چه انسان، شرایط قوانین سایبودینامیک از جمله قانون پایداری چرخه بر آن صادق است.

ب) مادامی که جریان اطلاعات وجود دارد، دائماً تمامی اجزا خصوصاً کنترل‌کننده و کنترل‌شونده در حال تغییر وضعیت هستند که باعث می‌شود نظمی پویا ایجاد گردد، نه ایستا. در این شرایط هر لحظه امکان دارد به‌دلیل وقوع خطا در عملکرد هر کدام از اجزای چرخه، جریان اطلاعات از استمرار خارج شده و متوقف گردد یا به سمت انحراف اطلاعاتی سوق یابد. لذا پایداری چرخه‌ی سایبرنتیک مختل شده و به‌سمت ناپایداری میل می‌کند. بنابر این، هر چند که فعالیت چرخه‌ی سایبرنتیک، به‌واسطه‌ی ثبات در جریان اطلاعات از ثبات و پایداری برخوردار است اما باید توجه داشت که این پایداری، نسبی است نه مطلق و هر لحظه امکان ناپایدار شدن چرخه وجود دارد. ولیکن اگر چرخه‌ی سایبرنتیک علی‌رغم تعریف ارتباط معنادار میان اجزا، هنوز فعال نشده و جریان اطلاعات در آن برقرار نشده باشد؛ در این حالت به‌دلیل آنکه یک نظم ایستا بر چرخه حاکم شده، احتمال میل چرخه‌ی سایبرنتیک به‌سمت ناپایداری به صفر می‌رسد، حالتی که چرخه‌ی خاموش یا غیرفعال نام دارد.

۴ نتیجه‌گیری

هر چند اطلاعات از ابتدای حیات بشر در زندگی نقش داشته و تا واپسین دقایق زیست بشر این نقش بی‌بدیل ادامه خواهد یافت؛ اما نقش اطلاعات در اعصار مختلف از حیث عمق و گستره‌ی اثرگذاری یکسان نبوده است. عصر حاضر، عصری است که مهم‌ترین عنصر سازنده‌ی تمدن، اطلاعات است. گزاره‌ای که پیش از این هرگز تا این حد جدیت و شمولیت نداشته است. لذا عصر حاضر از حیث نقش عظیم و ویژه‌ی اطلاعات در تمدن‌سازی، نقطه‌ی عطف تاریخ انسان است.

از سوی دیگر مشخص شد اطلاعات، علاوه بر اثر بی‌بدیلی که در حوزه‌ی کنترل محیط و بسترسازی حکمرانی دارد، تا آنجا که حتی ماده و انرژی را نیز تحت سیطره‌ی خود دارد، اما قوانین متفاوتی دارد.

لذا جهان امروز ما در حالی که از حکمرانی اطلاعاتی ساخته شده و تغییرات بنیادین در آن و همچنین در شناخت انسان نسبت به جهان بر اساس جریان‌سازی و جریان‌مندی اطلاعات صورت می‌پذیرد، اما عموم انسان‌ها اینگونه تصور می‌کنند که این تغییرات صرفاً وابسته به ماده و انرژی است و قوانین حاکم بر این دو، برای فهم جهان نوین کفایت می‌کند. از این رو بزرگترین و عمیق‌ترین غافل‌گیری راهبردی برای عموم ملت‌ها و دولت‌ها رخ داده است. اطلاعاتی شدن جهان حاضر، تلفیقی توأمان از تهدیدها و فرصت‌ها است. فرصت‌هایی از جنس انجام اموری که سابقاً با اتکا با ابعاد ماده و انرژی امکان‌ناپذیر یا سخت‌امکان‌پذیر بودند، اما امروز با توان انسان در کنترل جریان اطلاعات امکان‌پذیر شده‌اند که همزمان به‌دلیل بسترسازی نوین برای تهدیدات نوپدید، جنبه‌ی تهدیدآفرین نیز دارد.

بنابر این ضروری است شناخت ما از جهان پیرامونی و رخدادهایی که در آن واقع می‌شود و همچنین رخدادهایی که در رکن اطلاعات گزارش می‌شود اما در ارکان ماده و انرژی هنوز رصد نشده است، مبتنی بر مؤلفه‌ی اطلاعات به‌روز رسانی و کامل گردد تا بتوانیم ملت آینده باشیم و در آینده‌ی جهان، نقش تمدنی خود را به‌عنوان کانون انقلاب اسلامی در جهان ایفا نماییم.

مراجع

[۱] نوربرت وینر، «**استفاده‌ی انسانی از انسان‌ها**»، ترجمه‌ی مهرداد ارجمند، تهران، سازمان انتشارات و آموزش انقلاب اسلامی، ۱۳۶۶، ص ۳۰.

[۲] ایرا لوین، «**شیمی فیزیک**»، ترجمه‌ی غلامرضا اسلامپور، انتشارات فاطمی، ویرایش پنجم، ۱۳۸۶، تهران، جلد یکم،

[۳] پل دیویس، «**شبح در ماشین**»، مترجم: تورج حوری، انتشارات مازیار، ۱۳۹۹،

[4] Leo Szilard, **"Über die Entropieverminderung in einem thermodynamischen System bei Eingriffen intelligenter Wesen"**, 1929, Zeitschrift für Physik (in German), P 53.

[5] Claude Shannon, **"A Mathematical Theory of Communication"**, Bell System Technical Journal, July 1948, Pages 379-423 and October 1948, Pages 623-656.

[6] Léon Nicolas Brillouin, **"Life, Thermodynamics, and Cybernetics"**, American Scientist Journal, Year 1949, Vol 37, Page 554.

[7] Brillouin, Leon, **"Negentropy Principle of Information"**, J. of Applied Physics, Year 1953, Vol 24, Pages 1152–1163.

[8] Léon Nicolas Brillouin, **"Science and Information Theory"**, Courier Corporation, 2nd edition, Pages 159-161.

[9] R. Penrose, **"The mass of the classical vacuum"**, (1991), In S. Saunders; H.R. Brown (eds.). The Philosophy of Vacuum, Oxford University Press, Pages 21–26.

[10] Paolo Bussotti, **"Introducing the concept of energy: educational and conceptual considerations based on the history of physics"**, University of Udine, Italy, Proceedings of the 5th International Baltic Symposium on Science and Technology Education, BalticSTE 2023, Link: https://files.eric.ed.gov/fulltext/ED629206.pdf

[11] Inna Semetsky, **"Information and Signs: The Language of Images"**, Entropy Journal, Year 2010, Volume 12, Link: https://doi.org/10.3390/e12030528