نوشته: هال وفاگن
ترجمه: دکتر عبدالله جاسبی

# تعریف سیستم

## ۱ ــ مقدمه

منظور از این مقاله، بحث مربوط به خواص سیستم‌ها به صورتی کم و بیش مجرد است. بدین معنی که سیستم را تعریف کنیم و خواصی را که میان بسیاری از آن‌ها مشترک بوده و مشخص کننده آن‌ها است توضیح دهیم.

## ۲ ــ تعریف سیستم

متأسفانه کلمه‌ی سیستم معانی محاوره‌ای زیادی دارد که بعضی از آن‌ها در مباحثات علمی جایی ندارد. برای خارج شدن از این نوع معانی و در عین حال ارائه‌ی یک نقطه‌ی شروع، تعریف زیر را بیان می کنیم:

**یک سیستم عبارت از مجموعه‌ای از اجزاء روابط بین اجزاء و روابط بین صفات آن‌ها است.**

البته تعریف ما این موضوع را نشان می دهد که یک سیستم دارای خواص، وظایف و هدف‌های جدا از اجزاء، روابط و صفات آن است.

این تعریف به اندازه‌ای موجز و مبهم است که نیازمند ارائه‌ی نقطه نظرهای بیش‌تری است و اولین نظر با تمام صراحت تأکید بر احتیاط است. این تعریف **نه به هیچ وجه در نظر** داشته و نه بهانه‌ای برای این بوده تا تعریفی با مفهوم ریاضی یا فلسفی را ارائه دهد.

تعریفهایی از نوع ریاضی یا فلسفی دقیق و خود شمول هستند که بطور کامل و بدون ابهام، سوال مربوط به مفهوم یک عبارت داده شده را مشخص می کنند. تعریف فوق قطعاً چنین خواست‌هایی را پاسخ نمی دهد و در حقیقت آدمی باید رنج بسیاری را متحمل شود تا چنین تعریفی بیابد. این مشکل از مفهومی ناشی می شود که ما سعی داریم آن را تعریف کنیم که به طور ساده مفاهیم تابع یک توضیح کامل و قطعی نیستند. برای اینکه از ابهام موجود در درون این تعریف بکاهیم، روی واژه‌های اجزاء، روابط و صفات دقیق می شویم.

### ۱ــ۲ اجزاء (Objects)

اجزاء به طور ساده قسمت‌های یک سیستم هستند که از نظر تنوع نامحدودند. بسیاری از سیستم‌هایی که ما با آن‌ها سروکار داریم، از

اجزاء فیزیکی تشکیل شده‌اند مثل: اتم‌ها، ستارگان، رله‌های الکتریکی، جرم‌ها، فنرها، سیم‌ها، استخوان‌ها، نرون‌ها، ژن‌ها، عضله‌ها، گازها و... همچنین اجزاء مجرد مثل: متغیرهای ریاضی، معادلات، قوانین و مقررات، فرآیندها و غیره را نیز به عنوان اجزاء قبول داریم.

## ۲ــ۲ صفات (Attributes)

صفات، خواص اجزاءاند به عنوان مثال در نمونه‌های قبل اجزاء فهرست شده شامل چند صفت از جمله صفت‌های یاد شده در زیراند:

اتم‌ها: تعداد الکترون‌های در حال دوران، وضعیت انرژی اتم‌ها، تعداد اجزاء اتمی در درون هسته، وزن اتمی.

رله‌های الکتریکی: سرعت عملیات، وضعیت

اجرام: جابجایی، ممان اینرسی، گشتاور، سرعت، انرژی سی نیتیک، جرم.

فنرها: تنش فنر، جابجایی

سیم‌ها: قدرت کشش، مقاومت الکتریکی، قطر، طول

## ۳ــ۲ روابط (Relationships)

روابطی که ما به آن اشاره می‌کنیم آن چیزهایی هستند که سیستم را به هم پیوند می‌دهند. در حقیقت این روابط هستند که مفهوم مفیدی از سیستم را ارائه می‌دهند.

برای هر مجموعه از اجزاء ممکن نیست که روابطی میانشان وجود نداشته باشد چرا که مثلاً فاصله‌ی بین هر جفت از اجزاء را می‌توان به عنوان رابطه مطرح کرد. برای ما بسی مشکل خواهد بود که بخواهیم پیوندها را با کنار گذاشتن روابط جزئی به طور دقیق بررسی کنیم و یا یک تصور فلسفی مثل رابطه‌ی علیت را به عنوان معیار ارائه دهیم. در عوض ما این گرایش را انتخاب می‌کنیم که روابط قابل توجه در یک مجموعه‌ی مورد نظر و متشکل از اجزاء، بستگی به مسئله‌ی مطرح شده دارند. لذا روابط مورد توجه و مهم دخالت داده می‌شوند و روابط غیر ضرور و جزیی کنار گذارده می‌شوند. تصمیم در مورد این که کدام رابطه مهم و کدامین جزیی است بستگی به بررسی کننده‌ی مسئله دارد. یعنی سئوال در مورد جزیی بودن روابط به خواست‌های نسبی فرد باز می‌گردد. برای توضیح این فکر به چند مثال ساده نظر می‌افکنیم.

## ۳ــ مثال‌هایی از سیستم‌های فیزیکی

ابتدا یک فنر، یک وزنه و یک سقف ثابت را به عنوان اجزاء در نظر می‌گیریم. بدون اتصال‌های مشخص، این اجزاء بی‌ارتباط هستند (مگر بعضی روابط منطقی مثل بودن اجزاء در یک اطاق و غیره). اما وقتی فنر را از سقف آویزان کرده و وزنه را به آن بیاویزیم، در این صورت روابط (حاصل از اتصال فیزیکی) ایجاد شده، تبدیل به یک سیستم می‌شود، بخصوص که روابط جدیدی نیز میان صفات معینی از اجزاء به وجود می‌آید. طول فنر فاصله‌ی میان وزنه و سقف، تنش فنر و اندازه‌ی وزنه، همگی با هم مرتبط‌اند. سیستمی که بدین ترتیب مشخص می‌شود، سیستم ایستا (استاتیک) است، یعنی

که صفات آن در طول زمان تغییر نمی کند، اما وزنه با یک حرکت اولیه از حالت سکون خارج شده و سرعت مشخصی پیدا خواهد کرد که وضعیت آن برحسب اندازه‌ی وزنه و تنش فنر در طول زمان تغییر می کند. در این حالت، سیستم، یک سیستم پویا (دینامیک) است.

یک مثال پیچیده‌تر را می توان توسط سیستم تولید صوت مطرح ساخت. گرچه اجزاء این سیستم زیادند اما برای آسان شدن کار، فقط: میزگردان، بازوی ضبط کننده، آمپلی فایر، بلندگو و محفظه‌ی آن را در نظر می گیریم. مجدداً و بدون برقراری اتصال، این اجزاء خود به خود و به عنوان یک سیستم تولید کننده‌ی صدا عمل نمی کنند. با برقراری اتصال (و در این جا تنظیم زوج الکتریکی از ورودی به خروجی)، این اجزاء و صفات آن طوری رابطه پیدا می کنند که در آن هر مرحله‌ای به عمل کرد سایر مراحل بستگی پیدا می کند. مثلاً ارتعاشات مکانیکی در بلندگو به جریان و ولتاژ در آمپلی فایر و غیره مربوط می گردد.

## ۴ ــ مثال‌هایی از سیستم‌های تجریدی یا ادراکی (Examples of Abstract (or conceptual Systems)

یا مجموعه‌ای از متغیرهای واقعی، مثالی از سیستم‌های غیر فیزیکی ارائه می شود: مشخص‌ترین خواص یک متغیر واقعی، اندازه عددی آن است. به عبارت دیگر دراین مثال، اجزاء و صفات شدیداً در هم آمیخته‌اند (در حقیقت و درهر مثالی، یک جزء سرانجام به وسیله‌ی صفاتش مشخص می گردد). روابط شناخته شده بین متغیرها به صورت معادله نشان داده می شوند. برای روشن شدن این موضوع، دو متغیر $X_1$ و $X_2$ در نظر گرفته شده که در دو معادله خطی زیرین صدق می‌نمایند:

$$\begin{cases} a_1x_1+a_2x_2=c_1 \\ b_1x_1+b_2x_2=c_2 \end{cases} \quad (1)$$

معادلات، محدودیت‌هایی را برای متغیرها ایجاد می کنند. دو معادله روی هم یک سیستم از معادلات خطی را به وجود می‌آورند. اجزاء این سیستم عبارتند از متغیرهای $X_1$ و $X_2$ و روابطی که به وسیله‌ی اعداد ثابت و ضرایب متغیرها مشخص می گردند. سیستم معادلات (۱) را به خاطر شباهتی که به سیستم فنر و وزنه در حالت سکون دارد می‌توان سیستم استاتیک نامید. شباهت به این صورت مشخص می شود که اعدادی که در معادلات صدق می کنند ثابت هستند همان طور که طول فنر در مدل مکانیکی ثابت بود.

از طرف دیگر با وارد کردن عامل دیگری (مثلاً عامل زمان)، معادلات به این صورت در می‌آیند.

$$\begin{cases} \frac{dx}{dt} = a_1 x_1 + a_2 x_2 \\ \frac{dx}{dt} = b_1x_1 + b_2x_2 \end{cases} \quad (2)$$

سیستم معادلات (۲) به خاطر شباهت بیش‌تر به مثال فنر و وزنهٔ در حالت حرکت، سیستم دینامیک نامیده می‌شود، در اینجا حل مسئله تابعی از زمان می گردد همان طور که طول فنر در سیستم دینامیک نیز تابعی از زمان بود. واژه‌های استاتیک یا دینامیک همواره در رابطه با سیستمی هستند که معادلات مربوط به آن تشکیل یک

مدل مجرد را می دهند. روابط مجرد ریاضی و یا منطقی، خودشان همواره خارج از محدودیت زمان هستند.

## ۵ ــ سیستم های مجرد به عنوان مدل

دو مثالی که زده شد، چیزی بیش‌تر از نمایش اتفاقی از طرز فکر سیستم را ارائه می دهند. آن‌ها یکی از پر بارترین روش‌های تجزیه و تحلیل سیستم‌های فیزیکی را پیش‌نهاد می کنند که روشی تجریدی است وبه عنوان یک روش اساسی درعلوم شناخته شده است.

بازگشت به زوج وزنه و فنر نمایش مستقیمی از این تفکر را ارائه می دهد. در حالت استاتیک، خصوصیات مورد توجه عبارت‌اند از فنر ثابت K، جا به جایی X و وزن W که با یک دیگر به صورت معادله‌ی خطی یاد شده در زیر (بر طبق قانون هوک و در محدوده‌ی الاستیک) مرتبط می گردند.

$$KX=W \quad (۳)$$

که از نوع معادلات شماره‌ی (۱) برای یک متغیر است. به علاوه این معادله، رابطه‌ی درونی میان یک سیستم مجرد مثل معادله‌ی شماره‌ی (۱) و واقعیت فیزیکی آن را نشان می دهد. برای مطالعه‌ی یک سیستم فیزیکی، یک سیستم مجرد را با روابط همانند جانشین آن می سازیم و در نتیجه، مسئله یک مسئله‌ی ریاضی خواهد شد. در سیستم دینامیکی هم مشکل نیست که نشان دهیم که همان نوع شباهت به دست می آید. در این حالت، سیستم به جای یک معادله‌ی جبری خطی، با یک معادله‌ی دیفرانسیل نشان داده می شود.

این تجربه قطعاً برای فیزیک و شیمی دان‌ها و مهندسان تجربه‌ی آشنایی است که معمولاً از آن به عنوان ابداع یک مدل ریاضی نام می برند. زمینه‌ای که بر اساس آن یک مدل با رفتار واقعی سیستم تطبیق می کند، میزان قدرت کاربرد آن مدل برای وضعیت مورد نظر است. از طرف دیگر سهولت نحوه‌ی نمایش یک سیستم مورد نظر که بتواند به طور دقیق و به وسیله‌ی یک مدل ریاضی بیان شود، عبارت از اندازه‌ی سهولت در تجزیه و تحلیل آن سیستم است.

برای این که یک سیستم به طور کامل تابع تجزیه و تحلیل ریاضی باشد بایستی ویژگی های خاصی داشته باشد. اول این که روابط بایستی به روشنی شناخته شده باشند، دوم اینکه صفات مهم بایستی قابل اندازه گیری بوده و آن قدر زیاد نباشد که فهرست کردنشان غیر ممکن شود. و سرانجام نحوه‌ی رفتار (که ممکن است با یک قانون فیزیکی مثل قانون هوک ارائه شود) تحت مجموعه‌ی روابط داده شده بایستی شناخته شده باشد. متأسفانه کم سیستی است که فی الواقع همه‌ی این خصوصیات را داشته باشد. به عبارت کامل‌تر سیستم ها این کیفیات را تا درجه ای دارا هستند، و جالب‌ترین سیستم‌ها، مثل موجودات زنده، نمایش کم‌تری از برابری را نسبت به سیستم های ساده‌تر دارند (مثل سیستم های مکانیکی که فنر و وزنه یک نمونه‌ی خاص آن است).

## ۶ ــ تعریف محیط (Definition of Environment)

اکنون به نظر می رسد که می توان در باره‌ی محیط سیستم‌ها صحبت کرد. برای هدف‌های مورد نظر، محیط را می‌توان به بهترین وجه و به گونه‌ای کاملاً شبیه به آن چه که برای تعریف سیستم ارائه شد چنین تعریف کرد و گفت:

**برای هر سیستم مورد نظر، محیط مجموعه‌ی اجزایی است که هر تغییر در صفات آن‌ها روی سیستم اثر می گذارد و هم چنین اجزایی که صفات آن‌ها تحت تأثیر رفتار سیستم تغییر می‌یابد.**

عبارت مذکور در فوق این سئوال را مطرح می‌سازد که یک جزء چه موقع متعلق به یک سیستم است و چه موقع متعلق به محیط؟ چرا که اگر یک جزء به صورتی که توضیح داده شد نسبت به یک سیستم واکنش نشان بدهد، آیا نباید قسمتی از آن سیستم به حساب آید؟ برای این سوال به هیچ وجه پاسخی قطعی وجود ندارد. به یک مفهوم، یک سیستم همراه با محیط خود در یک محدوده‌ی مورد نظر، جهان متشکل از همه‌ی اجزاء مورد نظر را به وجود می آورد. تقسیم فرعی این جهان به دو مجموعه‌ی «سیستم و محیط» به صورت‌های گوناگون می تواند صورت پذیرد که در واقع کاملاً تصنعی است. سرانجام این تعریف بستگی به نیت کسی دارد که جهان مشخصی را که توسط آن ترکیب ممکنی از اجزاء بایستی به عنوان یک سیستم انتخاب شود مطالعه می کند که ممکن است با ارائه مثال‌هایی این طرز فکر را نشان داد.

## ۷ ــ سیستم‌ها و محیطشان

نخست اجازه دهید به یکی از مثال‌های اولیه‌مان (سیستم تولید صوت) باز گردیم. فرض کنیم تمامی سیستم در یک اتاق قرار گرفته و ضبط‌صوتی هم در حال کار کردن است. محیط سیستم می‌تواند شامل نواری که در حال پخش صدا است، اتاقی که دستگاه در آن قرار گرفته است و یا فرد شنونده باشد. به آسانی دیده می شود که هر یک از این اجزاء نسبت به رفتار سیستم، برخی روابط را در بر می گیرند. صفحه گرام، توالی تحریکات الکتریکی و نوسانات مکانیکی در مراحل مختلف سیستم را معین می کند ومتقابلاً خروجی سیستم، قالب امواج صوتی در داخل اتاق و نیز وضعیت مغزی شنونده را تحت تأثیر قرار می دهد (که برای [high-fi«bug»] ممکن است بین جاذبیت محض تا ناراحتی عصبی برحسب کیفیت خروجی تغییر کند). هر جزء یا تمامی این اجزاء مربوط به محیط، می توانند به جای جزیی از محیط، جزیی از سیستم به حساب آیند. این کار برای هدف‌های مشخص ممکن است یک تخصیص تصنعی باشد. هر وقت که صفحه‌ی گرام دیگری به کار می افتد، انسان ممکن است در این مورد آن را سیستم دیگری به حساب آورد، در حالی که سیستم مورد علاقه‌ی یک مهندس صوت به هر گرام، جداگانه مربوط نمی شود و بدین ترتیب طبیعت سیستم از یک صفحه‌ی گرام تا صفحه‌ی گرام دیگر تغییر نمی کند. از طرف دیگر چنان چه انسان علاقه‌مند به سیستمی برای معرفی صوت مشخصی باشد، به حساب آوردن هر گرام

به عنوان جزیی از یک سیستم بیش‌تر مفهوم خواهد بود.

مثال مذکور در فوق فقط به این دلیل بیان شد تا روشن شود که منظور از سیستم و محیط سیستم چیست و چرا حالت دو بعدی مجموعه‌ای متشکل از اجزاء مرتبط به سیستم و محیط اساساً بستگی به دیدگاه مورد نظر دارد. درهر حال مشکل اساسی مشخص کردن محیط یک سیستم مورد نظر خیلی بیشتر از یک موضوع جزیی است. برای تشخیص یک محیط به طور کامل، لازم است انسان تمامی عوامل را که بر سیستم اثر می گذارند و یا تحت تأثیرش قرار می گیرند بشناسد، که این مسئله به طور کلی به اندازه‌ی شناسایی کامل خود سیستم مشکل است. همچون هر فعالیت مشخص انسان، جهان متشکل از سیستم و محیط آن را شامل همه‌ی اجزایی می داند که گمان می برد مهم‌ترین جزء‌ها هستند. روابط میان اجزاء را به کامل‌ترین صورت توضیح می دهد و نزدیک‌ترین توجه را به صفاتی معطوف می دارد که بیش‌ترین تأثیر را دارند و صفاتی را که نقش اساسی ندارند کنار می گذارد. انسان می تواند با این روش، از تصور کمال مطلوب بخصوص در فیزیک و شیمی مثل قرقره‌های بدون ریسمان، اصطکاک بدون هوا، گازهای کامل و نظایر آن که مفروضات متداولی هستند و توضیح و تجزیه و تحلیل جهان‌های مکانیکی و ترمودینامیکی را ساده می کنند کنار بیاید. با زیست شناسان، جامعه شناسان، اقتصاددانان، روان‌شناسان و دیگر علمای علاقه‌مند به سیستم‌های متحرک و رفتار آن‌ها بخت تا این اندازه مساعد نیست چرا که در این رشته‌ها هیچ روشی برای جدا کردن متغیرهای اساسی از متغیرهای غیراساسی وجود ندارد، یعنی مشخص کردن جهان و تقسیم دوگانه آن به سیستم و محیط خود،جدا از تجزیه و تحلیل روابط متقابل آن‌ها مشکلی است که از پیچیدگی اصولی برخوردار است.

## ۸ — سیستم‌های فرعی (Subsystems)

از تعریف سیستم و محیط، مشخص می شود که هر سیستم مورد نظر می تواند به سیستم‌های فرعی بیش‌تری تقسیم گردد. اجزاء متعلق به یک سیستم فرعی، بخوبی ممکن است بخشی از محیط سیستم فرعی دیگر به حساب آید. البته ملاحظه‌ی یک سیستم فرعی باعث ملاحظه‌ی مجموعه‌ی جدیدی از روابط در سطح کلی می گردد. رفتار سیستم فرعی ممکن است کاملاً به رفتار سیستم اولیه شباهت نداشته باشد. بعضی نویسندگان به‌خاصیت سلسله‌مراتب سیستم‌ها رجوع می کنند. این موضوع به‌طور ساده همان نظر توضیح داده شده در ارتباط با تقسیم سیستم‌ها به سیستم‌های فرعی است. به صورت دیگر می توان گفت عناصر یک سیستم ممکن است خودشان سیستم‌هایی در سطح پایین‌تر باشند.

در گذار از این موضوع، ارزش دارد یادآوری کنیم که فکر آزمایش سیستم‌های فرعی و رفتار آن‌ها مفهوم وسیع‌تری در ریاضیات، بخصوص در نگرش مجموعه‌ها و جبرمدرن دارد. در این جلو به عنوان یک مثال می توان گفت که مطالعه‌ی

گروه‌ها (جمع اجزأ ریاضی که دارای خواص جبری مشخصی هستند)شامل بررسی خواص گروه‌های فرعی می گردد، به علاوه رفتار گروه‌های فرعی در تمام جنبه‌ها، لزوماً مثل رفتار(رفتاردر این جابه مفهوم جبری آن است) گروه‌های اصلی خودشان نیست.

با بازگشت به مثال قبلی مان از سیستم تولید صوت، ملاحظه خواهیم کرد که فکر تقسیم سیستم به سیستم‌های فرعی کاملاً نشان داده شده است. آمپلی فایر خود نیز یک سیستم با پیچیدگی قابل توجه است، بازوی متحرک و بلندگو، سیستم هایی با خصوصیات مختلف، به طور کاملاً طبیعی قسمت‌هایی از محیط آمپلی فایر به حساب می‌آیند. آمپلی فایر به نوبه‌ی خود مجدداً به مراحلی تقسیم شده است و هر حلقه به عنوان یک سیستم فرعی جداگانه به حساب آمده است.

## ۹ــ نظریه‌ی کلان در مقابل نظریه‌ی خرد از رفتار سیستماتیک

**(Macroscopic vs. Microscopic views of systematic Behavior)**

یک روش برای مطالعه‌ی سیستم هایی که بی نهایت پیچیده هستند بررسی رفتار مشخصی از سیستم‌های فرعی آن به صورت زیر است. روش دیگر نادیده گرفتن ساختمان فرعی و تنها مشاهده‌ی رفتار کلان سیستم به‌صورت یک کل است. این هردو روش در خیلی از رشته‌ها متداول و شناخته شده و از اهمیت اساسی بر خوردارانند. قبل از بحث بیشتر پیرامون این روش‌ها مثال آشنایی را توضیح می دهیم.

اختلاف بین این دو روش را می توان با بررسی نقش‌های اندام شناس (فیزیولوژیست)وروان شناس از انسان به عنوان یک سیسنم مشاهده کرد. فیزیولوژیست علاقمندبه ویژگی‌های داخلی بدن است، او وظایف اعضای مختلف داخلی را در ارتباط با فعالیت‌های بدن تقسیم کرده و جداگانه مورد مطالعه قرارشان می دهد. به عنوان مثال برای مطالعه‌ی قلب، جریان خون، شش‌ها، کلیه‌ها و غیره ممکن است آنها به‌خوبی به عنوان اجزایی از محیط به حساب آیند. از طرف دیگر روان شناس در حالی که به طور کامل شرایط درونی را کنار نمی‌گذارد، اصولاً با قالب‌های رفتاری سیستم تحت شرایط مختلف خارجی سرو کار دارد. این امکان دارد. که روان‌شناس از نظر تئوریکی بتواند دانش خود را باروش زیست شناسی توسعه دهد اما از نقطه نظر تجربی شاید این واقعاً غیر ممکن باشد. متغیرها و روابط میانشان، هنوز خارج از توضیح وادراک اند، روان شناس با این واقعیت سروکار دارد که تحقیق پیرامون رفتارازدیدگاه نظریه کلان نتایج بیش تری دارد.

## ۱۰ ــ بعضی از خواص کلان سیستم‌ها

**(Some Macroscopic Properties of systems)**

تا این جا در باره‌ی جزییات سیستم‌ها صحبت کردیم به طوری که از این مقدمات وجود نوعی نظریه‌ی واحد در مورد سیستم‌ها استنباط می گردد. واقعیت این است که تاکنون چنین

نظریه‌ای وجود ندارد، گرچه برای به دست آوردن آن تلاش شده است. هنگام بررسی نظریه‌های عمومی، چه خوب است مطمئن شویم که نوع سیستم مورد بحث به صورت روشنی شناخته شده است و موقعی که مدعی تعمیم تئوری به سیستم‌هایی ازانواع دیگر می شویم، دقت کنیم که آیا همه همسانی ها و مطابقت‌ها متغیراند یا نه؟

سرانجام برخی خواص متعلق به سطوحی از سیستم‌ها وجود دارند که ارزش دارد به طور خلاصه یادآوری شوند. هم چنین تشابهات مفید و معتبری در ارتباط با رفتار و خواص انواع مشخصی از سیستم‌ها یافت می شوند که به تجزیه وتحلیل سیستم‌های مشخصی، حداقل از نظر درک آن‌ها، کمک می کنند. معنی آنتروپی به عنوان یک مثال قابل ذکر که درسیستم ترمودینامیک مفید بوده و شباهت با ارزش و جالبی با بررسی مفهوم آنتروپی به صورتی که برای منابع پیام‌ها در نظریه‌ی اطلاعات تعریف شده است دارد. سایر مثالهای آشنا در مشابهت‌های نزدیک بین سیستم‌های الکتریکی، مکانیکی، و صوتی یافت شده‌اند، یک مثال ساده عبارت از یک حلقه R- L- C و مشابه مکانیکی آن است، یک دوتایی (کوپل) جرم: فنروخط چین مقاومت.
خواسی که مکرر به وسیله‌ی نویسنده گان مختلف[۱و۲] در بحث سیستم ها تذکر داده شده عبارت‌اند از:

## کلیت و استقلال
## (Wholcness and independence)

در تعریف سیستم یاد آوری کردیم که همه‌ی سیستم‌ها رابطه‌هایی میان اجزاً و صفاتشان دارند، اگر هر قسمت از سیستم به هر قسمت دیگر از سیستم آن چنان مرتبط باشد که یک تغیردرهر قسمت معین، باعث یک تغییر در همه‌ی قسمت‌های دیگر و در تمامی سیستم بشود، میگویند سیستم،به عنوان یک کل یا یک ذات عمل می کند. در منتهاالیه طرف دیگر، یک مجموعه متشکل از قسمتهایی است که کاملاً بی ارتباط با یک دیگراند، یعنی هر تغییر در یک قسمت فقط به همان قسمت بستگی دارد. در این صورت تغییر در مجموعه، جمع فیزیکی تغییر در قسمت‌ها است. چنین رفتاری، استقلال یا تجمع فیزیکی نامیده می شود.

کلیت یاذات و استقلال یا تجمع ظاهراً دو خصوصیت جدا از هم نیستند بلکه دو منتهاالیه یک خصوصیتند. ممکن است صحبت از صد درصد کلیت و صفر درصد استقلال در یک انتهای مقیاس بکنیم، اما کاربرد این اصطلاحات تنها موضوعی برای راحتی در محاوره خواهد بود. حال آن که مسئله‌ای کلیت و استقلال ممکن است مسئله‌ی درجه‌ی آن‌ها باشد که هنوز روش معقولی برای اندازه گیری آن‌ها وجود ندارد. بنابر این خصوصیت سیستم یک تصور مفید از کیفیت را ارائه می کند. در واقع از آن جا که همه‌ی سیستم‌ها درجه‌ای از کلیت را دارا هستند، این خصوصیت توسط برخی

نویسندگان برای تعریف سیستم به کار برده شده است.

از آن جا که همه‌ی سیستم‌ها تا درجه‌ای دارای کلیت‌اند، در نشان دادن این خصوصیت، مشکلی نخواهیم داشت. در انتهای مقیاس نزدیک به صد درصد سیستم‌هایی مثل شبکه‌های الکتریکی بدون مقاومت و مشابه مکانیکی آن‌ها را داریم. در انتهای دیگر مقیاس برای پیدا کردن مثال با مشکل روبه‌رو خواهیم شد.

در واقع پیش‌ترین قسمت ادبیات شامل عبارت «کپه» یا «مجتمع» برای توضیح یک مجموع از اجزایی است که انحصاراً مستقل‌اند و عبارت «سیستم» فقط برای موقعی که درجه‌ای از کلیت وجود دارد به کار برده می‌شود. ما ترجیح می‌دهیم که مجموعه‌ای متشکل از قسمت‌هایی با استقلال کامل را «سیستم‌های از هم پاشیده» بنامیم زیرا همان طور که قبلاً گفته شد، امکان ندارد که بتوان روابط سیستماتیک در یک کپه از شن یا خرده ریز و یا نیروهای مکانیکی موجود در آن‌ها را که براساس متوازی الاضلاع عمل می‌کنند انکار کرد.

## تجزیه گرایی فزاینده
## (Progressive Segregation)

مفاهیم کلیت و تجمع می‌توانند برای تعریف یک خصوصیت کمی دیگر که اغلب در سیستم‌های فیزیکی دیده می‌شوند به کار برده شود. بسیاری از سیستم‌های غیر مجرد همراه با زمان تغییر می‌یابند. اگر این تغییرات به صورت یک انتقال تدریجی از کلیت به تجمع باشند، می‌گویند سیستم در حالت تجزیه گرایی فزاینده است. این موضوع را می‌توان به صورت خیلی ساده در معادلات (۲) با قرار دادن ضرایب «انحصاری» یا «انتقالی» $a_2$ و $b_1$ به عنوان توابعی از زمان نشان داد. اگر این ضرایب به سمت صفر میل کنند، با رسیدن به حد خود، دو سیستم مستقل خواهیم داشت که به وسیله‌ی معادلات نشان داده شده‌اند، یا می‌توان گفت سیستم بزرگ‌تر شامل دو معاله‌ی چند مجهولی به یک «سیتم تجزیه شده» تبدیل گشته است.

دو نوع تجزیه گرایی فزاینده را می‌توانیم از یک دیگر متمایز کنیم. اولین و ساده‌ترین نوع آن در رابطه با پوسیدگی است. این نوع تجزیه، همچون اجزای معمای جیگسا هستند که با دست کاری زیاد آن قدر درهم می‌شود که یک قطعه‌ی مورد نظر به هیچ وجه با قطعات دیگر هماهنگ نمی‌گردد. یا یک سیستم تلفن کاریر با سیستم باز را در نظر بگیرید که از تعمیر محروم شده باشد. لوله‌های خلاء آن از بین می‌رود، قطب‌هایش از کار می‌افتد و قس علی هذا، به طوری که سرانجام مجموعه‌ای از اجزاء خواهد بود که دیگر مثل یک سیستم عمل نخواهد کرد.

نوع دوم از تجزیه گرایی فزاینده مربوط به رشد است. در این حالت سیستم در جهت تقسیم قسمت‌ها به سیستم‌های فرعی (زیر مجموعه‌ها) و سیستم‌های فرعی فرعی (زیرزیرمجموعه‌ها) یا تفکیک وظایف تغییر می‌کند. به نظر می‌رسد این نوع تجزیه در سیستم‌هایی ظاهر می‌گردد که دارای فرآیندهایی از خلاقیت یا فرآیندهای تکاملی و توسعه هستند. مثال آن توسعه‌ی جنین است که

در آن نطفه از حالت کلیت به حالتی که در آن شبیه یک مجموعه از قسمت‌ها که مستقلاً درون اعضای تخصصی توسعه می‌یابند انتقال پیدا می‌کنند. مثال دیگر که بیش‌تر در ایجاد و توسعه‌ی سیستم جدید ارتباطات دیده می‌شود، موقعی است که نوعی طرز فکر پیدا می‌شود و یا یک نیاز تعریف می‌گردد، و سرانجام مفهوم قدیمی یک سیستم که از طریق کوشش‌های برنامه‌ریزی به سیستم‌های فرعی که طرح و توسعهٔ آن به صورت تقریباً مستقل پیش می‌رود، تجزیه می‌شود.

## سیستم گرایی فزاینده

**Progressive Systematization**

این خصوصیت به طور ساده نقطه مقابل تجزیه گرایی فزاینده است و فرآیندی است که در آن تغییر در جهت کل گرایی است. این ممکن است شامل استحکام بخشیدن به روابط موجود از قبل در میان اجزاء، توسعه‌ی روابط میان اجزایی که قبلاً با یک دیگر ارتباط نداشته‌اند و اضافه کردن تدریجی اجزاء و روابط به یک سیستم، یا ترکیبی از تغییرات مذکور در فوق باشد. به عنوان مثال توسعه‌ی شبکه‌ی تلفن راه‌دور را ملاحظه کنید. ابتد ارتباطات تلفن داخلی در کشور برقرار شده و سپس به خطوط اصلی متصل می‌گردند. همان گونه که روشهای انتقال بهبود می‌یابند، مبادلات بیش‌تری نیز با فواصل زیادتر اضافه می‌گردند. بعداً شماره‌گیر همراه با زنگ اضافه می‌شود و شبکه زیر فرمان تلفنچی قرار می‌گیرد و سرانجام در اختیار مشتریان. سابقه امر نشان دهنده‌ی وحدت فزاینده‌ی تمامی این سیستم است.

امکان وقوع تجزیه‌گرایی فزاینده و سیستم گرایی فزاینده در یک سیستم نیز وجود دارد. این فرآیند می‌تواند هم زمان به وقوع پیوسته و به صورت نامحدود ادامه یابد به طوری که سیستم بتواند در نوعی حالت پایدار، مثل فرآیندهای سوخت و ساز در بدن به حیات خود ادامه دهد. این فرآیندها همچنین می‌توانند صورت بپذیرند. تاریخ پیدایش آمریکا را در طول مدتی که گروه‌های مردم بخش‌های مختلفی از کشور را به شکل مستعمره در آورده بودند ملاحظه کنید. این گروه‌ها دائماً استقلال بیشتری نسبت به کشورهای مادر خود پیدا کردند. به تدریج و به همان ترتیب که تبادلات میان گروه‌ها فزونی می‌یافت، کشور جدید ماهیت مستقل‌تری پیدا کرده و دولت جدیدی تشکیل شد و...

## تمرکز گرایی (Centralization)

یک سیستم متمرکز، نظامی است که یک عنصر یا یک سیستم فرعی در آن نقش مسلط و اساسی را به عهده داشته باشد که ممکن است آن را قسمت هدایت کننده بنامیم و یا بگوییم که سیستم به دور این قسمت متمرکز شده است. بدین ترتیب یک تغییر کوچک در قسمت هدایت کننده به تمام سیستم انعکاس پیدا کرده و باعث تغییر قابل ملاحظه‌ای خواهد شد. درست مثل ماشه‌ی تفنگ که صدای آن با یک تغییر کوچک همه‌ی سیستم را فرامی‌گیرد. یک مثال درسیاست ممکن است یک رژیم مستبدانه باشد که

در آن، تصمیم های یک دیکتاتور رفتار تمامی سیستم را تحت تأثیر قرار بدهد.

هر یک از خصوصیت های تجزیه گرایی فزاینده یا سیستم گرایی فزاینده می توانند با تمرکزگرایی فزاینده همراه باشد، و وقتی سیستم ظهور می کند قسمتی ازآن به عنوان قسمت مرکزی یا کنترل کننده ظاهر شود. در مورد توسعه ی جنین که قبلاً یادآوری شد، به چند دلیل تجزیه به حد خود نمی رسد که مهم ترین آن ظهور مغز به عنوان یک قسمت مهار کننده و وحدت بخش است.

## ۱۱ ــ سیستم های طبیعی و سیستم های ساخت انسان

## (Natural and Man-made Systems)

برای عمق بخشیدن به مفهوم «سیستم»، بین سیستم های طبیعی و ساخت انسان فرق می گذاریم. مهندسان به طور مستقیم علاقه مند به سیستم های ساخت انسان اند اگر چه در محیط این سیستم های ساخت انسان، سیستم های طبیعی هم یافت می شوند که احتیاج به تحقیق نیز دارند، زیرا خصوصیاتشان با سیستم مورد نظر در مواجهه است. به علاوه، خصوصیات مشخصی هستند که هر دو نوع سیستم به طور مشترک دارا می باشند. سیستم های ساخت انسان بیش تر تقلیدهایی از سیستم های طبیعی بوده و یا دست کم برای این ساخته شده اند که وظایف مشابهی را انجام دهند.

### ۱ــ۱۱ سیستم های طبیعی

تشریح سیستم های طبیعی وظیفه ی منجم، فیزیک دان، شیمی دان، زیست شناس و اندام شناس (فیزیولوژیست) و امثال ایشان است، و باز مقداری که یک نفر می تواند در باره ی یک سیستم طبیعی بگوید، بستگی به تعداد متغیرهای اساسی درگیر در آن سیستم دارد.

### سیستم های باز و بسته

### (Open and closed systems)

بسیاری از سیستم های آلی، سیستم های باز هستند، بدین معنی که مواد، انرژی و اطلاعات را با محیط خودشان مبادله می کنند. یک سیستم وقتی بسته است که هیچ گونه ورود و خروج انرژی (به هر صورت) نظیر اطلاعات، حرارت، مواد فیزیکی و غیره نداشته باشد و بدین ترتیب هیچ تغییری در اجزاء آن حاصل نگردد. مثال آن واکنش شیمیایی است که دریک ظرف عایق و پوشیده صورت می گیرد. یک سیستم باز وقتی که راه ورودی و خروجی انرژی آن قطع گردد، به یک سیستم بسته بدل می شود.

این که یک سیستم مورد نظر باز یا بسته باشد، بستگی به این دارد که چه قدر از جهان در داخل سیستم و چه مقدار در محیط سیستم قرار بگیرد. با افزودن آن قسمت از محیط به سیستم که مبادله با آن صورت می پذیرد، سیستم به صورت بسته در می آید. به عنوان مثال قانون دوم ترمودینامیک که برای سیستم های بسته کاربرد جهانی دارد، به نظر می رسد با فرآیندهای آلی سازگار نیست. اگر چه برای سیستم آلی و محیط آن، هنوز قانون دوم ترمودینامیک رعایت

می شود[۳].

## سیستم های سازگار (Adaptive systems)

بسیاری از سیستم های طبیعی مخصوصاً سیستم های زنده، کیفیتی را نشان می دهند که سازگاری نامیده می شوند. این بدین معنی است که آنها توانایی عکس‌العمل نسبت به محیط خود را به گونه‌ای دارا هستند که مطلوب بوده و یا به عبارت دیگر در جهت ادامه‌ی عملیات سیستم است. گویا سیستم هایی از این نوع دارای «پایانی» از پیش مشخص شده می باشند و رفتار سیستم به گونه‌ای است که علی رغم شرایط نامساعد محیطی در جهت همین پایان هدایت شده است. این «پایان» ممکن است نوع دیگری از ادامه‌ی حیات باشد، نظریه‌ی تکامل به مقدار زیادی روی عقیده‌ی سازگاری با محیط پایه ریزی شده است.

مثال های زیادی از رفتار سازگار را در بدن انسان می توان ارائه کرد. بسیاری از آن ها مکانیسم هایی هستند که در جهت قرار گرفتن در داخل محدوده‌ی فیزیولوژیکی معینی از شرایط مختلف جسمانی، مثل درجه‌ی حرارت بدن، تعادل فیزیکی و نظایر آن هستند. مکانیسم هایی از این نوع، گاهی «مکانیسم های هموستاتیک» نامیده می شوند. یک مثال آن واکنش طبیعی بدن انسان در مقابل سرما به کمک لرزش میباشد که مقاومت در مقابل کاهش حرارت بدن را از طریق تولید حرارت توسط لرزش جبران کند. نظریه‌ی پایداری در ارتباط نزدیک با مفهوم سازگاری همانا آموزش و تکامل است.

## سیستم های پایدار (Stable systems)

یک سیستم در رابطه با متغیرهای مشخص خود وقتی پایدار است که این متغیرها در داخل محدوده‌ی تعریف شده‌ای باقی بمانند. ترموستات ساخت انسان مثال یک دستگاه برای اطمینان از پایداری در درجه‌ی حرارت یک سیستم حرارتی است. نظریه‌ی پایداری همچنین در مکانیک و بخصوص در زمینه‌ی ارتباطات، نظریه‌ی آشنایی است. توجه داشته باشید که یک سیستم ممکن است در بعضی جنبه ها پایدار و در سایر جنبه ها ناپایدار باشد. یک سیستم سازگار، پایداری را برای همه‌ی متغیرهایی که لازم است برای انجام عملیات مورد نظر در محدوده‌ی خود باقی بمانند حفظ می کند. در فیزیولوژی «هم آهنگی محرک» شدیداً با پایداری ارتباط پیدا می کند. ناهنجاری، لرزش و بی نظمی مثال هایی از نارسایی یا اشکال درهم آهنگی محرک و نشان ناپایداری است.

## سیستم های دارای باز خور (Systems with Feedback)

سیستم های معینی این خصوصیت را دارند که بخشی از بازداده یا رفتار آن ها به صورت داده، توسط سیستم بازخور می شود و روی بازداده های بعدی آن اثر می گذارد. چنین سیستم هایی به اندازه‌ی کافی برای مهندسان ارتباطات نام آشنایی است. به طور کلی سرومکانیسم ها (Servomehanisms) سیستم های ساخت انسان اند که اصول باز خور را به کار می برند. سیستم های باز خوردار در طبیعت بسیار زیاداند

که تنظیم حالات بدن انسان یک مثال از آن است. این یک واقعیت شناخته شده است که طبیعت کشش‌های مثبت و منفی و درجه‌ی باز خور در یک مجموعه، تاثیر قاطعی بر پایداری یا ناپایداری نظام دارد.

## ۲ ـ ۱۱ سیستم‌های ساخت انسان

سیستم‌های ساخت انسان بسیاری از ویژگی‌های سیستم‌های طبیعی را دارا می‌باشند و دیدگاه‌های ساده‌ای چون کلیت، تجزیه و تجمع در هر دو نوع سیستم قابل فهم‌اند. از طرف دیگر، ماشین‌های ساخت انسان تا این اواخر حتی درمقیاس متوسط نیزنمی توانستندسیستم بارفتار سازگار نامیده شوند.

انواع دیگر سیستم‌های ساخت انسان، مثل زبان و سیستم‌هایی از سازمان اجتماعی، همواره رفتارهای سازگار از خود نشان داده‌اند.

سازگاری در سیستم‌های ساخت انسان دقیقاً همانند سازگاری در سیستم‌های طبیعی نیست. در واقع آن چه که ممکن است در بخشی از سیستم‌های طبیعی مرموز تلقی شود، برای سیستم‌های ساخت انسان کاملاً قابل توضیح است. در قسمتی از یک ماشین، هر رفتار هوشیارانه یا هدف‌دار به وسیله‌ی طراح آن در درون ماشین تعبیه شده است. همچنین رفتار سازگار در قسمتی از یک ماشین لزوماً برای اطمینان از ادامه‌ی حیات ماشین نیست بلکه برای اطمینان از انجام دادن کاری مشخص است.

علاوه بر اختلاف مذکور در فوق، ملاحظات بیش‌تری نیز در ارتباط با سیستم‌های ساخت انسان وجود دارند که به نظر می‌رسند در سیستم‌های طبیعی کم‌تر مطرح باشند.

## هم آهنگی
## (Compatibility or Harmony)

اغلب وقت‌ها و به هنگام ساختن یک سیستم که بتواند با محیط مورد نظر یا با آن چه که دقیقاً نظیر همان سیستم است کار کند (مثل اضافه کردن اجزای جدید به سیستم موجود یا متصل کردن دو سیستم که پشت سر هم قرار می‌گیرند)، مشکلاتی پیدا می‌شود. هیچ تضمینی وجود ندارد که سیستمی که برای یک هدف مورد نظر ساخته شده است پس از تغییر محیط آن باز هم به طور صحیح ادای وظیفه کند (همه‌ی خودنویس‌ها زیر آب نمی‌نویسند). همین طور ممکن است دو سیستم به طور مستقل در برخی جنبه‌ها کاملاً رضایت بخش باشند اما در ارتباط با یک دیگر نتایج کاملاً متمایزی داشته و لزوماً خصوصیاتشان مطلوب نباشد.

سیستم‌ها ممکن است در بعضی جنبه‌ها هم آهنگ و در جنبه‌های دیگر ناهم‌آهنگ باشند، این بستگی به هدفی دارد که برای آن سیستم‌ها معرفی شده‌اند و همین طور عوامل محیطی. هم چنین سیستم‌ها ممکن است به عنوان درجه‌ای از هم آهنگی با سیستم مورد نظر مقایسه شده باشند. در رابطه با سیستم تولید صوت، ممکن است به عنوان مثال مشکل تنظیم بلندگو با سایر وسایل را در نظر بگیریم. بلندگوهای مختلف با درجه‌های مختلفی از

موفقیت عمل می کنند. بعضی از عوامل محیطی ممکن است اندازه‌ی اتاق، مقدار پول موجود برای خرج کردن روی بلندگو و نظایر آن باشد. یک بلندگو با مقاومت کاملاً مناسب و ساختمان مکانیکی عالی، نتایج جالبی را درمجموعه‌ی مورد نظر خواهد داشت. اما اگر ارزش آن چند هزار دلار باشد، نسبت به حداقل یک عامل محیطی، به آسانی می تواند ناهم آهنگ باشد.

### بهینه سازی (Optimization)

ملاحظات مربوط به هم‌آهنگی به طور طبیعی به مشکل بهینه‌سازی هدایت می گردد. همان طوری که‌مفهوم‌عبارت می رساند، بهینه‌سازی به معنی سازگاری سیستم با محیط آن و به منظور اطمینان از بهترین بازده ممکن در بعضی جنبه‌ها می باشد. بازده بهینه در یک جنبه، لزوماً به معنی بازده آن در جنبه‌ی دیگر نیست. مجدداً این یک سوال مربوط به مقاصد در مورد برنامه‌ریزی سیستم می باشد. بیش‌تر عامل مورد نظر در یک مشکل بهینه‌سازی، عامل اقتصادی است: عرض نواری که به خط تلفن اختصاص می یابد چقدر باشد، چه تعداد کیف مورد نیاز برای ادارات تهیه گردد ونظایر آن. توجه داشته باشید که عرض بهینه برای انتقال تمامی خصوصیات صدا با ظرافت، مثل بهینه از نقطه نظر اقتصادی نیست.

## ۳ ــ ۱۱ سیستم‌های احتمالی (Systems with Randomness)

در هر یک از سیستم‌های طبیعی یا ساخت انسانی، گاهی اوقات لازم می شود که رفتار احتمالی را به حساب بیاوریم. این که احتمالی بودن به چه معنی است و چه موقع در تجزیه و تحلیل یک سیستم معرفی می گردد، سوالاتی است که می تواند مبنای بحث‌های داغ فلاسفه باشد. معمولاً و در عمل، احتمالی بودن وقتی به عنوان یک عامل معرفی می گردد که متغیرهایی که ممکن است یک صفت مورد نظر را تحت تأثیر قرار دهند از نظر تعداد آن قدر زیاد یا دست‌رس ناپذیر باشند که هیچ انتخابی وجود نداشته باشد به جز این که رفتار را تابعی از شانس در نظر بگیریم. مثال، وجود صدا در یک لوله‌ی خلاء به علت خروج احتمالی الکترون‌ها از قطب منفی است. متغیرهای احتمالی در هر دو سطح خرد و کلان وارد می شوند. مکانیک آماری و فیزیک مدرن هر دو وابسته به مفروضات احتمالی میکروسکوپی می باشند. شرایط اقتصادی، تعداد مشتریان بالقوه و نظایر آن عوامل کلانی هستند که هم چنین تابع تغییرات اتفاقی اند.

عملیات بعضی سیستم‌های دارای احتمال، می توانند به بهترین وجه برحسب فرآیندهای احتمالی توضیح داده شوند (هم چنین فرآیندهای اتفاقی یا سری‌های زمانی). مثال‌های آشنا در قسمت ارتباطات، منابع پیام اتفاقی و صدای مزاحم در نظریه‌ی اطلاعات، و نظریه‌ی خطوط انتظار در ترافیک تلفن هستند.

## ۱۲ ــ هم شکلی (Isomorphism)

همان طور که قبلاً مطرح شده است در علوم، نمونه‌های بسیاری وجود دارند که به موجب آن

روش‌ها و ساختمان عمومی در یک رشته شباهت درونی به شیوه‌ها (تکنیک‌ها) و ساختمان‌های عمومی مشابه آن در رشته‌ی دیگر دارد. مطابقت جزء به جزء بین مواردی که رابطه‌ی میان اجزاء را مشخص می کند هم شکلی نامیده می شود. به عنوان مثال در تشابه دوتایی مکانیکی الکتریکی، یک مدار مقاومت سلف ــ خازن (R-L-C) نسبت به مشابه مکانیکی آن[1] همشکل است چرا که هر جزء از مدار الکتریکی تفسیر معادل مکانیکی آن را دارد و روابط آن‌ها رسماً یک سان است.

هم شکلی از این نوع خیلی زیاد است. در حقیقت عمومیت آن‌ها به سمت تلاش‌های زیادی در جهت هم آهنگ کردن رشته‌های مختلف علوم و با استفاده از آرمان (ایده) سیستم به عنوان یک مفهوم اساسی هدایت شده است، اما این کوشش‌ها هنوز ناقص‌اند. البته نظام‌های متعددی با هدف‌های نسبتاً معتدلی وجود دارند که به موفقیت‌های قابل توجهی دست یافته‌اند. برای فهم این موضوع، به گفتار یک ریاضی‌دان معروف نظر می دوزیم.[1]

«بایستی به خاطر داشته باشیم برای این که یک تئوری ریاضی در عمل مفید واقع گردد، به هیچ وجه نیازی نیست که این تئوری، مدل‌های دقیق از پدیده‌های رویت شده را ارائه دهد. در عمل و در خیلی از موارد، نقش سازنده‌ی تئوری‌های ریاضی نسبت به فکر و تجربه‌های اقتصادی که می‌تواند منجر به ساده کردن مفروضات نسبتاً مهم کیفی و حذف آن‌ها به توسط بحث‌های ریاضی شوند اهمیت کم‌تری دارد. به عنوان مثال در زمین شناسی، ما با فرآیندهای احتمالی روبه‌رو می گردیم که ملیون‌ها سال ادامه داشته است و بعضی از آن‌ها سطح روی زمین را پوشانیده است. ما مشاهده می کنیم که بعضی از انواع مشخص، در دوره‌ای از آینده فقط برای این به صورت تدریجی رشد می کنند که ناگهان و بدون دلایل مشهود از بین بروند. آیا واقعاً لازم است که تغییرات بزرگ و ناگهانی را در سطح زمین یک طرفه علیه بعضی از انواع فرض کنیم یا این که لازم است توضیح دیگری برای آن جست و جو کنیم؟ تئوری ولترا ــ لوتکا (Volterra-Lotka) در مورد مبارزه برای حیات، به ما می‌آموزد که حتی تحت شرایط ثابت، وضعیت طوری خود را نشان می دهد که از نظر یک مشاهده کننده‌ی ساده، شبیه بسیاری از تغییرات بزرگ و ناگهانی در زمین‌شناسی است. هم چنین اگر چه ارائه‌ی یک تئوری ریاضی دقیق از تکامل غیر ممکن است، اما حتی ساده‌ترین مدل ریاضی از یک فرآیند احتمالی همواره با مشاهدات دوره توزیع جغرافیایی، اندازه‌های انواع و دسته‌های مختلف، امکان استنباط اطلاعات ارزش‌مندی را که مربوط به تأثیر روی تکامل عوامل مختلف مثل انتخاب، تحول و نظیر آن است، مقدور می سازد. در این راه بحث کیفی غیرقطعی به وسیله‌ی تجزیه و تحلیل کمی که بیش‌تر می تواند قانع

۱ــ منظور از مشابه مکانیکی آن جرم ـ فنر ـ اصطکاک می باشد (مترجم).

کننده باشد، تکمیل می گردند.»

علاوه بر تئوری ولتزا—لوتکا که شرحش گفته آمد، تئوری‌های دیگری با همان خصوصیات وجود دارند که برای هم آهنگ کردن حوزه‌های فرعی دانش به کار می‌آید. به عنوان مثال، بیولوژی ریاضی موفقیت قابل ملاحظه‌ای در این جهت داشته‌است. کوشش‌های زیادی در ارائه‌ی یک تئوری ریاضی از تاریخ به عمل آمده است. به علم ارتباط و کنترل[1] به طور وسیعی به عنوان هم آهنگ کننده‌ی حوزه ارتباط بامطالعه‌ی رفتار ارگانیسم‌های زنده اشاره شده است (ولی کمتر درک شده). آمار اجتماع انسانی، مطالعه‌ای از رشد و توسعه‌ی جمعیت است و هم چنین نظایر آن. اما این کوشش‌ها در حالی که این امید را به وجود آورده‌اند که بعضی قسمت‌ها سرانجام هم آهنگ می گردند. مع‌الوصف هنوز ناقص‌اند.

به این ترتیب هم شکلی‌ها به صورت تمام یا جزیی وجود دارند و وجود آن‌ها تصادفی یا اسرارآمیز نیست. آن‌ها این واقعیت را نشان می‌دهند که بسیاری از سیستم‌ها هنگامی که به صورت مجرد ملاحظه شوند، از نظر ساختمانی مشابهند. مثلاً شماره‌های تلفن، تجزیه‌های رادیواکتیو و برخورد ذرات همه به عنوان حوادث اتفاقی در یک زمان، خصوصیات تجریدی یک‌سانی را دارند و با مدل ریاضی کاملاً یک‌سانی می‌توانند مشاهده گردند. بنابر این جای تعجب نیست که خواص نشان داده شده توسط سیستم‌های گازها با حرکت آن‌ها در تجزیه و تحلیل خطوط انتظار شماره‌های تلفن مفید واقع شوند (وبالعکس).

## ۱۳ ــ سیستم با وضعیت معلوم

**(The State-Determined System)**

به عنوان یک مثال از تصور هم شکلی برای تشریح برخی از خواص ماکروسکوپی که بحث شده است و برای تعمیق بیش‌تر در روشی دقیق از مفهوم سیستم، سیستمی معروف به سیستم با وضعیت معلوم را آزمایش می کنیم و این سیستم به عنوان یک «سیستم نامتغیر در زمان»[2] که برای ریاضی‌دانان شناخته شده است خواص ساده و تفسیرهای وسیعی دارد.

### ۱ــ۱۳ تعریف سیستم با وضعیت معلوم

فرض کنیم که یک سیستم به طور کامل با متغیرهای $X_1$، $X_2$، تا $X_n$ مشخص شده باشد، در این صورت وضعیت این سیتم انحصاراً به وسیله‌ی مجموعه‌ای از n عدد، قابل توضیح است. با استفاده از اصطلاحات فیزیک، مجموعه نقاط متعلق به n بُعد را که وضعیت‌های ممکن از یک سیستم را توضیح می دهند، شکل فضایی[3] می نامند.

برای تشریح رفتار یک سیستم از این نوع، کافی است که مسیرهای ممکن در شکل فضایی یا به عبارت دیگر توالی حالت‌هایی را که سیستم طی می کند مشخص کنیم. برای ساده شدن، فرض کنیم که سیستم با دو متغیر مشخص می گردد. در این صورت شکل فضایی تبدیل به

1- Sybernetics 2-Time Invariant Systems 3-Phase Spae

یک سطح هندسی معمولی می‌شود که مسیرهای ممکن، منحنی‌های روی این سطح هستند.

اگر سیستمی این خاصیت را داشته باشد که با مشخص بودن وضعیت اولیه، بی‌توجه به این که چه گونه به این حالت اولیه رسیده است، خط سیر آن به شکل انحصاری مشخص باشد، آن را سیستم با وضعیت معلوم می‌نامند.

یک چنین سیستم‌هایی، خواص ریاضی و مهمی دارند که ما بی آن که قصد اثبات آن را داشته باشیم تنها به توضیحش می‌پردازیم.

شرط لازم و کافی برای وجود یک سیستم با وضعیت معلوم این است که متغیرهای آن در دستگاه معادلات زیر با توجه باینکه توابع $f_1$ تا $f_n$ توابع تک مقداری هستند صدق کند.

$$\begin{cases} \frac{dX_1}{dt} = f(X_1, \ldots, X_n) \\ \text{----------} \\ \text{----------} \\ \text{----------} \\ \frac{dX_n}{dt} = f_n(X_1, \ldots, X_n) \end{cases} \qquad (٤)$$

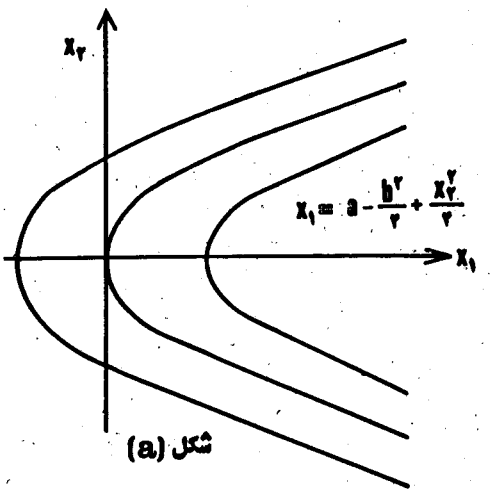
مثلاً سیستم معادله‌ی (۲)، مطابق این تئوری، سیستم با وضعیت معلوم است.

فقدان t در معادلات (٤) چیزی است که مارگنا (Margenau) آن را لازمه‌ی علمیت می‌داند. مجموعه مشابهی توسط اشبی (Ashby) برای تعریف سیستم‌های مطلق و توسط برتا لانفی (Bertalanffy) برای نمایش امکان یک «تئوری عمومی سیستم‌ها» به کار برده شده است. موقعی که مقادیر ثابت مجموعه، تابعی از زمان باشند، (نظیر تجزیه گرایی یا سیستم گرایی فزاینده) این تعریف دیگر صدق نمی‌کند.

برای این که از دو سیستم که یکی دارای وضعیت معلوم است و دیگری فاقد نمایش تئوری مشروح در فوق مثالی بیاوریم، ابتداء به سیستم زیر که خطوط رفتاری آن به وسیله‌ی معادلات نشان داده شده است نگاه می‌کنیم.

$$\begin{cases} X_1 = a + bt + t^2 \\ X_2 = b + 2t \end{cases} \qquad (٥)$$

این یک سیستم با وضعیت معلوم است، چرا که اگر منحنی‌هایی که به این ترتیب تعریف شده‌اند، روی صفحه‌ی ($X_1$ و $X_2$) ترسیم شوند، به آسانی ملاحظه می‌شود که تمامی آن‌ها منحنی‌های سهمی‌ای هستند که رئوس آن‌ها روی محور $X_1$ و به سمت راست باز است. بنابر این، هم دیگر را قطع نمی‌کنند و به طور دقیق از هر نقطه‌ی صفحه، تنها یکی از منحنی‌های سهمی می‌گذرد (به شکل 1a توجه شود).



شکل (a)

هم چنین منحنی‌های شماره‌ی ۵ در معادلات

دیفرانسیل زیر صدق می کنند.

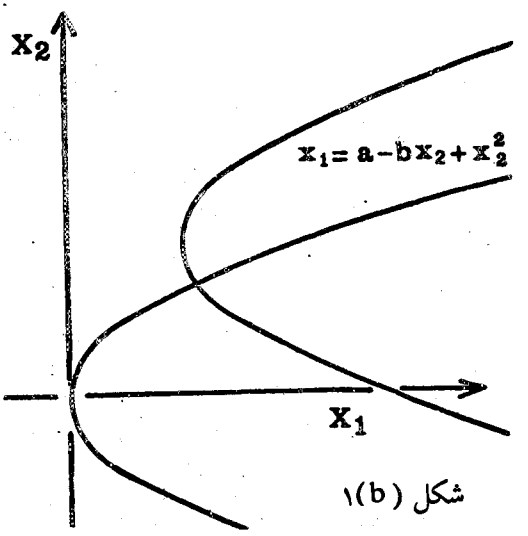
$$\begin{cases} \frac{dx_1}{dt} = X_2 \\ \frac{dx_2}{dt} = 2 \end{cases} \qquad (۶)$$

که این معادلات از نوع معادلات (٤) هستند با داشتن $f_1(X_1,X_2)=X_2$ و $f_2(X^1,X_2)=2$ که تأکیدی بر نظریه‌ی مذکور در فوق است.

از طرف دیگر یک سیستم با خطوط رفتاری دستگاه داده شده توسط معادلات:

$$\begin{cases} X_1=a+bt+t^2 \\ X_2= b+t \end{cases} \qquad (۷)$$

سیستم با وضعیت معلوم نیست. منحنی ها در این حالت بازهم سهمی هستند اما این بار تمامی رئوس روی محور $X_1$ قرار نمی گیرد به طوری که یک منحنی سهمی، سایر منحنی های سهمی از این خانواده راقطع می کند (شکل ۱b ملاحظه گردد).




شکل (b)۱

با مشتق گرفتن از معادلات (۷) و جانشین کردن آن‌ها در (۷) می توان دید که منحنی هایی که بدین ترتیب تعریف شده‌اند، در دستگاه معادلات دیفرانسیل زیر صدق می کنند.

$$\begin{cases} \frac{dX_1}{dt}=X_2+t \\ \frac{dX_2}{dt}=1 \end{cases} \qquad (۸)$$

که از فرم دستگاه معادلات (٤) نیست چرا که $\frac{dX_1}{dt}$ نه تنها به $X_2$ که به $t$ نیز وابسته است.

سیستم های معادلات از نوع (٤) در خیلی از رشته‌ها پدیدار می شوند که آشناترین آن‌ها در مکانیک، تئوری حلقه (Circuit Theory) و نظایر آن است. این که آن‌ها، باید به کثرت اتفاق بیافتند، به ساختمان زیر بناییشان مربوط می شود. هر جا که سیستم دارای وضعیت معلوم است (یعنی وضعیت موجود پیش رفت آینده یا خط رفتار آن را به صورت کامل مشخص می کند، می تواند با معادلاتی از این نوع توضیح داده شود.

## ۲ ــ ۱۳ ــ خواص سیستم‌های با وضعیت معلوم

سیستم معادلات (٤) را می توان برای مشخص کردن بعضی از مفاهیم که قبلاً درباره‌ی آن‌ها صحبت کردیم به کار برد.

در صورتی که $f_1$ تا $f_n$ یعنی متغیرهایی که

بازمان تغییر می کنند همگی صفر باشند، سیستم ایستا است. در غیر این صورت وقتی که حداقل یک متغیر با زمان تغییر کند، سیستم پویا است. درجه‌ی کلیت این سیستم به وسیله‌ی توابع $f_1$ تا $f_n$ مشخص می گردد. اگر هر یک از توابع قویاً بستگی به یک یک متغیرها داشته باشد سیستم درجه‌ی بالایی از کلیت را نشان می دهد. در این حالت یک تغییر در هر متغیر، تغییرات محسوسی در بقیه‌ی سیستم ایجاد خواهد کرد. از طرف دیگر اگر هر یک از توابع فقط به یکی از متغیرها وابسته باشد، سیستم فاقد اتصالات قوی خواهد بود. در حالت خاص اگر معادله به صورت زیر تجزیه گردد.

$$\begin{cases} \frac{dX_1}{dt} = f_1(X_1) \\ \frac{dX_n}{dt} = f_n(X_n) \end{cases} \qquad (۹)$$

اجزا به طور مستقل عمل می کنند و یا تغییر در هر متغیر فقط به شرایط همان متغیر بستگی دارد.

از طرف دیگر دستگاه معادلات زیرین، نوع روابطی را مشخص می سازد که ممکن است خصوصیات یک سیستم با کلیت باشد.

$$\begin{cases} \frac{dX_1}{dt} = X_1X_2 \\ \frac{dX_2}{dt} = X^2_1 + X^2_2 \end{cases} \qquad (۱۰)$$

در معادلات (۱۰) هر متغیر روی سایر متغیرها در یک حالت کاملاً سیستماتیک اثر می گذارد.

سرانجام یک سیستم متمرکز ممکن است شکل زیر را داشته باشد.

$$\begin{cases} \frac{dX_1}{dt} = X_1 \\ \frac{dX_2}{dt} = X^3_1 + X_2 \ , \ X_1 < X_2 < 1 \end{cases} \qquad (۱۱)$$

جزیی که به وسیله $X_1$ نشان داده شده است یک نقش مرکزی را در تعیین تغییرات سیستم بازی می کند.

یک فرم ساده که معادلات نوع (٤) به کثرت در آن ظاهر می شوند عبارت است از:

$$\frac{dX}{dt} = aX, \ X(0) = X_0 \qquad (۱۲)$$

این معادله به عنوان نمونه وقتی به کار می رود که ضریب تغییر در تعداد اجزاء سیستم با تعداد اجزایی که قبلاً بوده‌اند متناسب باشد. مثلاً رشد نامحدود جمعیت موقعی که a مثبت باشد یا تجزیه‌ی رادیوم وقتی که a منفی باشد مصداق دارد. البته راه حل (خط رفتار) به صورت توان است.

$$X = X_0 e^{at} \qquad (۱۳)$$

مثال ساده‌ای دوم از این نوع چنین است

$$\frac{dX}{dt} = 2X + bX^2 \qquad X(0) = X_0 \quad b<0 \qquad (۱٤)$$

که حل آن به این طریق است

$$X = \frac{aX_0}{(a+bX_0)e^{-at} - bX_0} \qquad (۱۵)$$

منحنی توضیح داده شده در معادله‌ی (۱۵) بر خلاف معادله‌ی (۱۳) وقتی که t بزرگ شود به

مقدار حد $\frac{a}{b}$ می‌رسد. این منحنی معمولاً لوجستیک نامیده می‌شود و در کاربرد مربوط به فرآیندهای رشد در وضعیتی که رشد با عوامل مشابه به طور محدود اشباع شده باشد ظاهر می‌گردد. نمونه‌های مشخص که در آن فرآیندهای رشد به خوبی و به وسیله‌ی یک منحنی لوجستیک توضیح داده شده است، شامل رشد جمعیت انسانی در یک فضای محدود از زندگی (از نظر جمعیت شناسی)، رشد یک خط آهن یا شبکه‌ی ارتباطات در یک محدوده‌ی معین، و قانون «راکسیون آتوکاتالیتیک» (از نظر شیمی فیزیک) در توضیح این که چه گونه یک ترکیب در ظرف بسته‌ای از واکنش، صورت بندی خود را کاتالیزه می‌کند تا مولکول‌ها به تمامی انتقال پیدا کنند می‌گردد.

مثال‌های بالا از این جهت داده شده که راه‌حل‌های آن ساده هستند و تفسیرهای بسیار آشنایی ازآن‌ها دردست‌رس است. نمونه‌ی عمومی که در آن n متغیر و به همین ترتیب n معادله دارد خیلی پیچیده‌تر است و مثال‌هایی با بیش از یک متغیر عبارات ریاضی بیش‌تری از آن چه که ارزش آن را داشته باشد شامل می‌شود و به همین دلیل مورد توجه قرار نخواهد گرفت.

سرانجام، مفهوم پایداری برای سیستم‌های با وضعیت معلوم می‌تواند با ملاحظه‌ی خطوط رفتاری در شکل فضایی نشان داده شود. برای سادگی کار، مجدداً یک نمونه‌ی دو متغیری از خطوط رفتاری را که منحنی‌های هم خانواده در یک صفحه هستند ملاحظه کنید. برای یک منطقه‌ی معین در صفحه، یک خط رفتاری وقتی در آن منطقه پایدار خواهد بود که از یک نقطه واقع در آن منطقه به خارج از منطقه کشیده نشود. این موضوع در ارتباط با تعریف قبلی ما از پایداری است، یعنی چنان چه خط رفتار محدود به یک منطقه از پیش تعیین شده‌ای گردد که از یک نقطه‌ی واقع در آن شروع می‌شود، متغیرهای مربوط به آن محدود به عمل در داخل آن منطقه خواهند بود. به عنوان مثالی ساده وسیله‌ی نقلیه‌ای را در نظر می‌گیریم که سرعت آن بستگی به سرعت انتقال سوخت دارد که متقابلاً به توسط راننده‌ی حساس نسبت به سرعت مهار می‌شود. راننده ممکن است طوری برنامه‌ریزی کند که سوخت را تا یک ساعت بحرانی افزایش دهد و در آن سرعت، افزایش سوخت را قطع کند تا سرعت به درجه‌ی بحرانی دیگری در پایین برسد، سپس سوخت را مجدداً افزایش دهد و... با ترسیم یک خط متداول از رفتار (درجه‌ی جریان سوخت در مقابل سرعت)، می‌توان مشاهده کرد که یک مدار بسته (از یک شکل که بستگی به اجزاء سیستم دارد) به دست می‌آید. این یک سیستم پایدار است زیرا هم درجه‌ی جریان سوخت و هم سرعت آن ناگزیر از تغییر در داخل محدوده‌ی تعریف شده‌اند.

## ۱۴ ــ خلاصه‌ی موضوع و ملاحظات بیش‌تر

در قسمت‌های قبل نظریه سیستم مورد بحث قرار گرفت و برخی از برداشت‌های متعلق به آن که به طور کلی در ادبیات سیستم‌ها زیاد با آن روبه‌رو هستیم معرفی گردید. این را می‌پذیریم

که نظریه‌هایی که بدین صورت معرفی شده‌اند و مثال‌های نشان دهنده‌ی آن‌ها برای بسیاری از قسمت‌ها، نظریه‌ها و مثال‌های ساده و آشنایی بوده‌اند که سطح پیچیدگی آن‌ها به طور محسوس پایین‌تر از سطح لازم به منظور حل مسایل فنی و واقعی می‌باشند.

در این جا نقش متخصص یا مهندس، پیچیده و با اهمیت است، کار آن‌ها علاوه بر خیلی چیزها، نیازمند تجزیه و تحلیل، ترکیب و ارزیابی عملیات سیستم‌ها است.

یک متخصص برای تجزیه و تحلیل سیستم‌ها بایستی از مدل‌های موجود و محدودیت‌ها به عنوان وسیله‌ای برای کمک به این تجزیه و تحلیل آگاه باشد. علم به این موضوع که چه موقع یک مدل ریاضی را به کار بریم و وجود چه نوع مدلی ضروری است، نیازمند درک تأثیر متقابلی است که یک روش علمی و یک روش تجربی برای تجزیه و تحلیل سیستم به صورت مساوی روی یک دیگر می گذارند. غیر از مدل‌های ریاضی، مدل‌های دیگری (مثلاً مدل فیزیکی)، وجود دارد که خواه مدل‌هایی با مقیاس واقعی و خواه مدل‌های مشابه باشند، برای تجزیه و تحلیل خیلی مؤثرتر و دقیق‌تر از یک مدل مجرد که به صورت ضعیفی با واقعیت مطابقت دارد و بسیار نیز پیچیده است هستند. از طرف دیگر، همان طور که در قسمت هم شکلی بیان شد، مواردی است که یک مدل ریاضی اگر چه ساده و نسبتاً فاقد دقت باشد، می‌تواند به صورت تعجب‌آوری معرف ساده کردن و روشنگری درمسئله باشد. قسمت مربوط به سیستم‌های با وضعیت معلوم، برای تأکید روی همین آرمان ارائه شده است. برای این که یک سیستم با وضعیت معلوم باشد، بایستی دارای خصوصیات ویژه‌ی متعددی باشد و ساده‌اندیشی است که فکر کنیم سیستم‌های پیچیده‌تری مورد بحث تا این حد ساده و مشخص باشند. ولی با توجه و شناخت صحیح می‌توان چارچوب سیستم‌های با وضعیت معلوم را با نتایج مطلوبی برای وضعیت‌های بسیار متنوعی مورد استفاده قرار داد. درک هم شکلی‌ها بیش‌تر به کشف نقاط اتصال و یک پارچگی‌های جدید و بی ابهام رهنمون می‌شوند.

ترکیب سیستم‌ها خیلی مشکل‌تراند. در این جا علم و مهندسی، عناوین هنر را به خود می گیرند. یک برنامه‌ریز یا طراح سیستم‌ها بایستی سیستم‌ها را نه تنها طوری بسازد که هم در حالت انفرادی و هم به صورت مجموعه با سایرین کار کنند بلکه بایستی چیزهای زیادی در باره‌ی محیطی که سیستم در آن قرار است عمل کند بداند. توجه به عوامل محیطی، نیاز به تجربه و بینش دارد و هیچ کس نمی‌تواند همه‌ی متغیرهای مهم را پیش‌بینی کند و انتخاب هر متغیر مهمی که متعلق به سیستم باشد کار مشکلی است.

سرانجام یک متخصص در ارزیابی عمل کرد سیستم، با مشکلی رویارو است که در طبیعت، با تجزیه و تحلیل و ترکیب سیستم‌ها فرق دارد. او اغلب اوقات با ارزیابی حجم عظیمی از عملیات که بایستی توقف فرآیند آن مورد مطالعه قرار گیرد روبه‌رو می گردد. یک

مثال خوب، مطالعه‌ی ترافیک عملیات در اداره‌ی مرکزی تلفن است. هنگامی که هیچ گونه معیار کمی وجود ندارد، تصمیم در مورد این که سطح عمل کرد چه باشد نیازمند معیارهای مشخصی است. مثلاً در ارزیابی یک سیستم ترافیک تلفن، بایستی تصمیم گرفت که تأخیر، چه تأثیری روی کیفیت خدمات خواهد گذاشت چنان چه قسمت خدمات تلفن شماره گرفته و ارائه دهد، یک تأخیر متوسط چند دقیقه‌ای ممکن است ناپذیرفتنی باشد در حالی که همین متوسط تأخیر برای ارائه‌ی خدمات خطوط تلفن خارج از کشور کاری متعارف است معمولاً لازم می شود یک سطح غیر واقعی و قراردادی را به عنوان شاخص عمل کرد در نظر بگیریم. این نیز مجدداً نیازمند ترکیبی از قضاوت درست و علم به محیط است.

به طور خلاصه یک متخصص در تجزیه و تحلیل ارزیابی و ترکیب خود از سیستم‌ها، اساساً تنها با قطعات سخت افزار که یک سیستم را تشکیل می دهند سروکار ندارد، بلکه با مفهوم کلی، روابط داخلی و رفتار آن در محیط مورد نظر سروکار دارد که ما در این مقاله چند نظریه‌ی مربوط به سیستم و محیط آن را به صورت روشن، و ورود آن به هر جزء از کار عملی را به صورت ضمنی و مقدار ارائه کرده‌ایم.

## مآخذ


۱— اِل. وُن برتالانفی، «خلاصه‌ای از تئوری عمومی سیستمها»، مجله بریتانیائی فلسفه‌ی علم، جلد ۱، شماره ۲، سال ۱۹۵۰.

۲— اِل. اس اِستبینگ، «مقدمه‌ی جدیدی بر منطق»، شرکت ت وای کِروُلِ، اِن وای، سال ۱۹۳۰.

۳— اِل. وُن برتالانفی، «تئوری سیستمهای باز در فیزیک و زیست‌شناسی»، مجله‌ی علوم، سال ۱۹۵۰، جلد ۳.

٤— دبلیو فِلِر، «تئوری فرآیندهای احتمالی با مراجعه خاص به کاربردها»، بروک، برکلی، علائمی در ریاضیات، آمار و احتمالات، انتشارات دانشگاه کالیفرنیا، سال ۱۹٤۹.

۵— اِچ مارگنا، «طبیعت واقعیت فیزیکی»، مک گروهیل، نیویورک، سال ۱۹۵۰.

٦— دبلیو. آر. اِشبی، «طراحی برای ذهن»، چامپان و هال، لندن، سال ۱۹۵۲.