آشوب در سیستمهای پویا و تحول در سیستمهای مدیریت

دکتر نظام‌الدین فقیه

دانشیار دانشگاه شیراز

چکیده مقاله

این مقاله با مطالعه و بررسی پدیداری آشوب در سیستمهای پویا، چگونگی تحول در سیستمهای مدیریت را به پژوهش می‌سپارد. ابتدا مفهوم آشوب و پیدایش آن در سیستمهای متیقن از نظر می‌گذرد، سپس برای تبیین خصلتهای عمومی و جهان شمول پدیده آشوب در سیستمهای پویای غیرخطی، معادله لژیستیک به عنوان یک الگوی بوم‌شناسی، مورد ملاحظه قرار می‌گیرد. به این ترتیب، تأثیر و حساسیت اوضاع اولیه و عوامل کنترل در تکوین پدیده دو پودگی (دو شاخگی) و بروز وضعیت آشوبناک به کنکاش می‌آید.

همچنین و بدین لحاظ فرایند تکرر و توالی اندازه‌های مربوط به تکرارهای آغازیده از یک مقدار اولیه در تشکیل مدار سیستمهای پویا، کاویده می‌شود و پس از آن مسأله ناپایداری در سیستمهای پویا و مجموعه‌های آشوبناک مرتبط با آن مطالعه می‌گردد. آنگاه مجموعه آشوبناک در صفحه، رباینده شگفت، آشوب در سیستمهای پویای مختلط، معیارهای آشوب و چگونگی تشخیص آشوب متیقن، به ویژه نمای لیاپونف و آنتروپی کولموگورف به ملاحظه می‌رسد. سرانجام، آشوب و تحول در سیستمهای مدیریت، نقش ساختارهای ائتلافی در تحول سیستمهای سازمانی، برآمدن نظم از آشوب و مدیریت آشوب و تحول در پرتو یافته‌های مربوط به پدیداری آشوب در سیستمهای پویا به فحص و پژوهش سپرده می‌شود.

واژه‌های کلیدی

سیستمهای پویا - سیستمهای پویای غیرخطی - سیستمهای مدیریت - آشوب - سیستمهای پویای مختلط - تصادف‌پذیری - دوپودگی - ناپایداری - مجموعه آشوبناک - ساختارهای ائتلافی

مقدمه

مبحث آشوب در سیستمهای پویا، اخیراً جایگاه پژوهشی وسیعی را به خود اختصاص داده و در عرصه‌های گوناگون کاربرد سیستمهای پویا، زمینه‌های علمی و پژوهشی گسترده‌ای را در برگرفته است.[۶-۱]

هر فرایند یا پدیده‌ای که در گذر زمان تغییر و تحول پذیرد، مثالی از یک سیستم پویا را تشکیل می‌دهد. در مدیریت علمی و پژوهشهای مرتبط با آن نیز، که بهره‌گیری از نظریه پویایی سیستمی منزلتی ویژه دارد و استفاده از این مهم در موارد بسیاری مطمح نظر قرار می‌گیرد[۱۱-۷]، انکشاف خصلت آشوب، اهمیتی بسزا می‌یابد و می‌تواند همچون ابزاری توانمند در دست پژوهشگران مدیریت، رازهای نهفته در فرایندهای تغییر و تحول را برگشاید.[۲۰-۱۲] امروزه به کارگیری نظریه آشوب و فراکتالها، پرتوافکنی خود را از عرصه علوم فیزیکی فراتر نهاده و در نظریه‌پردازی و توضیح پدیده‌های تغییر، تحول، رشد و توسعه در گستره وسیعی از علوم رفتاری و علوم شناختی، پژوهشهای نوینی را به منصه ظهور رسانیده است.[۳۱-۲۱] این واقعیت نیز به نوبه خود می‌تواند

دامنه کاربردی نظریه آشوب را در پژوهشهای مدیریت و عملکردهای آن، توسعه بخشد. لیکن ابتدا باید مفهوم آشوب و چگونگی وقوع آن در سیستمهای پویا به پیمایش رسد.

آشوب

آشوب، آشفتگی به هم ریختگی و هرج و مرج، معادل واژه «کیس»[۳۲] است. «کیس» از نظر ریشه لغوی از یک کلمه یونانی[۳۳] مشتق گردیده و در اصل به معنای «فضای خالی لایتناهی پیش از آفرینش»[۳۴] و فضای خلاء و بدون شکل است.[۳۵] همچنین به معنی آشفتگی روز ازل[۳۶] و توده بی‌شکل و نامنظم جهان به کار می‌رفته[۳۷] و در پندارهای روم باستان نیز واژهٔ مذکور به مفهوم توده خام اولیه بی‌شکلی تعبیر و تصور می‌گردیده است که جهان‌آفرین در آن نظم و توازن ایجاد کرده باشد.[۳۸] لیکن در کاربردهای نوین و امروزین، این واژه برای بیان حالت بی‌نظمی و آشفتگی، وضعیت به هم ریختگی، هرج و مرج، نابسامانی، اغتشاش و بی‌ترتیبی به کار می‌رود.[۳۹]

از نظر تاریخی و در آزمایشها و بررسیهای علمی، وضعیت آشوب، توسط دانشمندانی چون فاراده[۴۰] در سال ۱۸۳۱ میلادی، و ریلی[۴۱] در سال ۱۸۷۷ میلادی، مشاهده شده است.[۴۲] اما، به طور اخص، دانشمند و ریاضی‌دان شهیر فرانسوی، پوانکاره[۴۳] در سال ۱۸۹۲ میلادی، وقوع آشوب را در برخی از سیستمهای مکانیکی کشف و گزارش کرد. لیکن این موضوع چندان مورد عنایت پژوهشگران قرار نگرفت تا این که در سال ۱۹۶۳ میلادی، محققی در رشته هواشناسی به نام لورنز[۴۴]، نتایج محاسبات دستگاه معادلات دیفرانسیل متشکل از سه معادله دیفرانسیل غیر خطی معمولی و متیقن (دیترمینیستیک) مربوط به جابجایی حرارتی (کنوکسیون) را منتشر، و ملاحظه کرد که در محدوده معینی از عوامل معادلات، بدون مدخلیت عناصر تصادفی یا ورود اغتشاش خارجی، پاسخ سیستم، نوسانات نامنظم بروز می‌دهد.[۴۵] سپس در سال ۱۹۷۱ میلادی پژوهشگران دیگری[۴۶] به وقوع این پدیده عجیب در سیستمهای پویا پی بردند و آن را «رباینده شگفت»[۴۷] نامیدند. در سال ۱۹۷۵ میلادی نیز اصطلاح آشوب برای بیان به هم ریختگی حادث در سیستمهای پویا به کار آمد.[۴۸] آنگاه در سال ۱۹۷۶ میلادی، موضوع پویایی بغرنج به هم ریختگی و وقوع آشوب در الگوهای بسیار ساده جمعیتی مورد مطالعه قرار گرفت.[۴۹] به دنبال آن و سرانجام در سال ۱۹۷۸ میلادی، فایگنبام[۵۰]، کشف خود را در زمینه جهان شمولی وقوع پدیده آشوب در رسته‌ای از تبدیلات و سیستمهای غیرخطی، منتشر کرد که همچون جرقه‌ای، انفجاری عظیم را در پژوهشهای مرتبط با الگوی سیستمهای پویا در رشته‌های علمی گوناگون، موجب گردید.[۵۱] در سالهای اخیر به مدد بهره‌گیری از محاسبات کامپیوتری، فنون پیشرفته آزمایشگاهی و توسعه نتایج نظری، وفور پدیده آشوب در طبیعت و سریان آن در امور مختلف و علوم متعدد، بیش از پیش آشکار و روشن گردیده است.[۵۲]

در بسیاری موارد، اصطلاحات مترادف و اندک متفاوتی مانند «آشوب متیقن»[۵۳]، «نوفه خودزا»[۵۴]، «تصادف‌پذیری پویا»[۵۵]، «تصادف‌پذیری ذاتی»[۵۶] و «تصادف پذیری همیلتونی»[۵۷] (که به سیستمهای همیلتونی در مکانیک کلاسیک اشارت دارد) ممکن است به کار رود؛ لیکن اصطلاح کلی «آشوب»[۵۸] می‌تواند برای جایگزینی هر یک از آنها کفایت کند. نیز باید توجه داشت که این موارد همگی به وقوع آشوب، پدیداری تصادف و وضعیت پیش‌بینی ناپذیری در سیستمهای کاملاً متیقن (دیترمینیستیک) مربوط می‌شوند.[۵۹] هم باید افزود که برای پیدایش آشوب در سیستمهای پویا، شرط غیر خطی بودن سیستم، یعنی سیطره معادلات غیر خطی بر سیستم، شرط لازم (و البته نه کافی) است؛ زیرا حل معادلات تفاضلی و یا دیفرانسیل خطی، که معمولاً توسط تبدیلهای لاپلاس یا فوریه، امکانپذیر است، به آشوب نمی‌انجامد.[۶۰]

رفتار آشوبگون سیستم در گذر زمان، نه به سبب ورود نوفه (نویز) از منابع خارجی، نه به علت درجات آزادی نامتناهی سیستم و نه به خاطر نامتیقن بودن سیستم است[۶۱] (به عنوان مثال، دستگاه معادلات لورنز، که پیشتر نیز از آن سخن رفت در حل به آشوب منجر می‌شود؛ در حالی که هیچگونه منبع اغتشاشی بر آن تأثیر نمی‌گذارد، درجات آزادی آن محدود به سه درجه آزادی و هر سه معادله نیز از نوع دیفرانسیل غیر خطی معمولی و متیقن است)[۶۲] بلکه این گونه رفتار، ناشی از ویژگی سیستم غیر خطی به آن لحاظ است که مسیر حرکت و تغییرات بدواً نزدیک به هم را با سرعتی تصاعدی، متباعد و واگرا می‌سازد. از این رو پیش‌بینی رفتار دراز مدت این قبیل سیستمها، غیرممکن می‌نماید؛ زیرا در عمل، ممکن است فقط بتوان شرایط اولیه را با درجه محدودی از

دقت تعیین کرد و به این ترتیب، تحت تأثیر خاصیت غیرخطی سیستم، خطاهای مربوط می‌تواند با نرخی فزاینده، افزایش پذیرد. لذا آنگاه که معادلات چنین سیستم غیرخطی بخواهد توسط کامپیوتر حل شود، نتایج محاسبات در گذر زمان به تزاید ارقام مورد استفاده در ثبت اعداد اصم، برای نمایش شرایط اولیه، بستگی می‌یابد و از آن رو که ارقام موجود در اعداد اصم، توزیعی نامنظم دارند، مسیر تغییرات و رفتار سیستم آشوبگون می‌نماید.[63] این پدیده به خوبی حساسیت رفتار سیستمهای غیرخطی، نسبت به شرایط اولیه را بارز و آشکار می‌سازد. این حساسیت تا به آن حد است که لورنز آن را «اثر پروانه»[64] نامیده است؛ زیرا در معادلات لورنز (که جریان هوا را در جو اطراف زمین توصیف می‌کند و برای پیش‌بینی وضع هوا به کار می‌آید) نتایج، گویی حتی می‌تواند تحت تأثیر بال زدن پروانه‌ای تغییر یابد.

باید افزود که پدیده آشوب، گاه تجلیات مختلف و چهره‌های گوناگون بروز می‌دهد و ارائه تعریف واحد و یا توصیف یکسان را برای آن دشوار می‌سازد؛[65] به قول جلال‌الدین محمد مولوی [66]:

متحد نقشی ندارد این سرا

تا که مثلی وانمایم مر ترا

یا به قول محمود شبستری:

ز هر یک نقطه زین دور مسلسل

هزاران شکل می‌گردد مشکل

ز هر یک نقطه دوری گشت دایر

همو مرکز همو در دور سایر

لیکن در مقاصد عملی، عموماً وجود شرایط زیر، ناظر بر وقوع آشوب است[68]:

الف - پویایی سیستم جنبه متیقن دارد و به عبارت دیگر، معادلات حاکم بر سیستم معین باشد.

ب - هیچگونه نوفه از منابع برونی به سیستم وارد نشود و در آن دخالت نداشته باشد.

ج - رفتار ظاهراً مغشوش، بی‌قاعده و سرکش در مسیرهای تغییر و حرکت، به طرز حساسی به وقوع تغییرات کوچک در شرایط اولیه وابسته باشد.

د - علی‌رغم رفتار در هر مسیر حرکتی جداگانه، خواص کلی سیستم به عنوان میانگینی حاصل از عملکرد مسیرهای مختلف یا در درازمدت به شرایط اولیه وابسته نباشد.

هـ - با تنظیم عواملی از سیستم بتوان در طی توالی وقایع به آن حالتی که ظاهراً بی‌قاعده و سرکش به نظر آمده، رسید.

اگر چه هنوز پرسشهای بی‌پاسخ در زمینه آشوب به عنوان شاخه‌ای نوین از دانش، بسیار است، اما به هر حال شایان توجه است که سیستمهای غیرخطی، اصولاً بر دو گونه‌اند: یکی سیستمهای اتلافی[69] (دارای اصطکاک) و دیگری سیستمهای ابقایی[70] (فاقد اصطکاک). وقوع حالت آشوبگون در هر یک از انواع سیستم، متفاوت است و تحولات آشوبناک در سیستمهای اتلافی فقط در صورتی رخ می‌نماید که سیستم باز، و تحت تأثیر نیروی محرکه خارجی قرار داشته باشد.[71-74]

به هر تقدیر، پدیده آشوب در سیستمهای غیرخطی از برخی خصلتهای عمومی و جنبه‌های جهان شمول برخوردار است و به منظور تبیین این موضوع در قسمت بعد مسأله‌ای از سیستمهای پویای غیرخطی، مرتبط با الگوهای بوم‌شناسی، مطرح می‌شود تا طی آن، چگونگی پیدایش آشوب نیز تشریح گردد.

معادله لژیستیک

یکی از ساده‌ترین انواع سیستمهای پویای غیرخطی به بوم‌شناسی (اکولوژی) مربوط، و توسط معادله لژیستیک بیان می‌شود.[75-80] جمعیت حشره‌ای را در نظر بگیریم که تولید مثل فصلی داشته باشد. میانگین جمعیت (یا مجموع یا حداکثر و یا هر معیار جمعیتی دیگر) نسل بعد، Y_{n+1}، یعنی نسل n + یکم، به جمعیت نسل پیشین، Y_n، بستگی می‌یابد و می‌توان آن را به صورت رابطه‌ای تابعی نوشت:

$$Y_{n+1}= f(Y_n) \qquad (1)$$

رابطه فوق، یک معادله تفاضلی درجه اول را تشکیل می‌دهد که ساده‌ترین شکل آن می‌تواند یک رابطه خطی باشد:

$$Y_{n+1}= A(Y_n) \qquad (2)$$

حل معادله تفاضلی خطی مزبور، جواب زیر را به دست می‌دهد:

$$Y_{n+1}= y_0 A^n \qquad (3)$$

این جواب چنین بیان می‌دارد که چنانچه از هر حشره، به طور متوسط، تعداد A حشره تولید شود، برای $A>1$، جمعیت از رشد نمایی برخوردار خواهد بود. به این ترتیب، پس از طی چندین نسل، حشرات زاد و ولد یافته از یک حشره اولیه، جمعیت انبوهی

را پدید می‌آورند. در نتیجه، ازدحام جمعیت به اندازه‌ای تواند رسید که فی‌المثل بر سر کمبود غذا، حشرات به جنگ و کشتار همدیگر می‌پردازند یا اینکه قحطی و اشاعهٔ بیماریهای عفونی و مسری، بخشی از جمعیت را از صحنه حیات بزدایند. به هر صورت، هر گونه درگیری و تماس، مستلزم برخورد حداقل دو حشره است و تعداد چنین رویدادهایی به طور متوسط با مقدار (Y_{n+1} -1) $\frac{1}{2}$ Y_{n+1} یعنی Y_{n+1}^2 (برای اندازه‌های بزرگ Y_{n+1})، متناسب خواهد بود. با در نظر گرفتن این عامل بازدارنده، رابطه (۲) را می‌توان به صورت زیر نوشت :

$$Y_{n+1} = Ay_n - By_n^2 \qquad (۴)$$

رابطه فوق را با تغییر متغیر Y به Z می‌توان به صورت هنجار یافته (نرمالیزه) چنین بازنویسی کرد:

$$Z_{n+1} = Kz_n\,(1- z_n) \qquad (۵)$$

در رابطه (۵)، z می‌تواند به عنوان مثال برای بیان جمعیت بر حسب درصد انتخاب شود و مقداری بین صفر و یک را اتخاذ کند ($0 \leq z \leq 1$). در این رابطه، k نیز یک عامل کنترل و به اوضاع بومی وابسته است.

همانگونه که ملاحظه می‌شود رابطه (۵) یک رابطه کاملاً متیقن است و با معلوم بودن مقدار k می‌توان هر بار استفاده از z_n به عنوان مقدار پیشین، مقدار پسایند آن یعنی z_n+1 را مشخصاً محاسبه کرد، لیکن رابطه مزبور علی‌رغم ظاهر ساده و آراسته‌ای که دارد در پویایی خود، می‌تواند رفتاری بغرنج و آشوبناک بروز دهد. برای روشن‌تر شدن موضوع، می‌توان پیش‌بینیهای جمعیتی را با استفاده از الگوی فوق، در ازای اندازه‌های مختلف K، در جدول شماره ۱ ملاحظه کرد. در این جدول چند نکته شایان توجه است: وقتی که مقدار K کوچک باشد، عاقبت امر در تحولات جمعیتی، قابل پیش‌بینی است؛ در واقع، K=۰/۵، به امحای جمعیت می‌انجامد؛ در حالی که اگر عامل k اندازه‌های ۱/۲، ۲/۰، ۲/۷ اتخاذ کند، جمعیت به وضعیتی مانا و پایدار یا حدی معین گرایش خواهد داشت. در اندازه‌های بزرگتر از ۳/۰ برای عامل K (K>۳/۰)، به ازای هر مقدار، نتایج هر دم متفاوتی به دست می‌آید؛ در K= ۳/۱ اندازه‌های z بین دو مقدار مشخص، نوسان می‌کند. در K= ۳/۴ ، اندازه‌های حدی z بین چهار مقدار نوسان نشان می‌دهد و بالاخره در K = ۴/۰ ، نمود مشخصی قابل تمیز نیست. در حالت اخیر به ازای z_0=۰/۵، پس از دو نسل جمعیت نابود و منقطع می‌گردد. حال اینکه برای شرایط اولیه z_0=۰/۴ سیر تغییرات و تحولات جمعیت، جلوه‌ای کاملاً تصادفی بروز می‌دهد.

جدول شماره ۱ و توضیحات فوق، بیانگر ماهیت غیرقابل پیش‌بینی فرایند مورد بحث است؛ زیرا برخی اندازه‌های K به نتایجی کاملاً پیش‌بینی پذیر منجر می‌شود که همانا حدود ثابت یا تواتری z است و برخی دیگر از اندازه‌های K به نتایجی از هر نظر تصادفی و پیش‌بینی ناپذیر منتهی می‌گردد؛ ضمناً مقدار یا شرایط اولیه z یعنی z_0 نیز می‌تواند مسیر تغییر و تحولات را کاملاً دگرگون سازد. در واقع، برای مقدار عامل K=۴/۰، دو مقدار شرایط اولیه نزدیک به هم، یعنی z=۰/۴ و z=۰/۵، به دو مسیر رفتاری واگرا و دور از هم می‌انجامد. به این ترتیب، با توجه به حساسیت رفتار و روند تحول به تخمین و یا تنظیم شرایط اولیه، ابعاد گوناگون پیش‌بینی ناپذیری سیستم یا فرایند غیرخطی بارز می‌گردد[۸۱].

همچنان که در جدول شماره ۱ قابل ملاحظه است، فرایند لژیستیک نیز همچون هر سیستم دیگر، نیاز به طی دوران‌گذار دارد تا بتواند به وضعیت مانای خود سوق یابد.

شکل شماره ۱ تغییرات مقدار z_{n+1} (مقدار پسین) را در برابر z_n (مقدار پیشین) به شیوهٔ ترسیمی نشان می‌دهد. همانگونه که از رابطه (۵) پیداست معادله لژیستیک از درجه دوم و منحنی نمایش آن یک سهمی (دارای نقطه حداکثر تغییرات) است. این منحنی تغییرات (z_{n+1} در برابر z_n) به «نگاره برگردان»[۸۲] مرسوم است. در شکل شماره ۱، نگارهٔ برگردان مربوط به چهار مقدار مختلف عامل K برای معادله لژیستیک نشان داده شده است. چنانکه از رابطه (۵) نیز ملاحظه می‌شود، منحنی نمایش سهمی، محور z_n را در نقاط صفر و یک قطع می‌کند و دارای یک نقطه حداکثر $z_{n+1}=\frac{K}{۴}$ در نقطه z_n=۰/۵ است. با استفاده از نگاره‌های برگردان، می‌توان به روش ترسیمی و بدون انجام محاسبات، پویایی نگاره لژیستیک را به طور کیفی استدراک کرد. اندازه‌های پیاپی جمعیت (z_{n+1}) می‌تواند، به سادگی و با ترسیم خطوط بر روی این نمودارها، تعیین شود. برای هر مقدار اولیه z_0 کافی است که در آن نقطه خطی بر محور z_n عمود شود تا در تقاطع این عمود با سهمی نقطه z_1 به دست آید. از این نقطه نیز می‌توان مجدداً به محور افقی برگشته، به شیوه‌ای مشابه با مقدار z_1 مقدار

z_2 را به دست آورد؛ لیکن چنانکه در شکل شماره ۱ مشاهده می‌گردد، می‌توان بسادگی و با استفاده از خط ۴۵ درجه (z_n= z_{n+1})، این عمل را به شیوه ترسیمی و تصویری انجام داد. در این صورت کافی خواهد بود که از نقطه z_1 خطی موازی محور افق ترسیم، و از نقطه تقاطع آن با خط ۴۵ درجه، خطی عمود شود تا در نقطه تقاطع با سهمی، مقدار z_2 بر محور z_{n+1} خوانده شود. با تکرار این روال، می‌توان اندازه‌های پی در پی z_3, z_4, ... را تعیین کرد.۸۴-۸۳

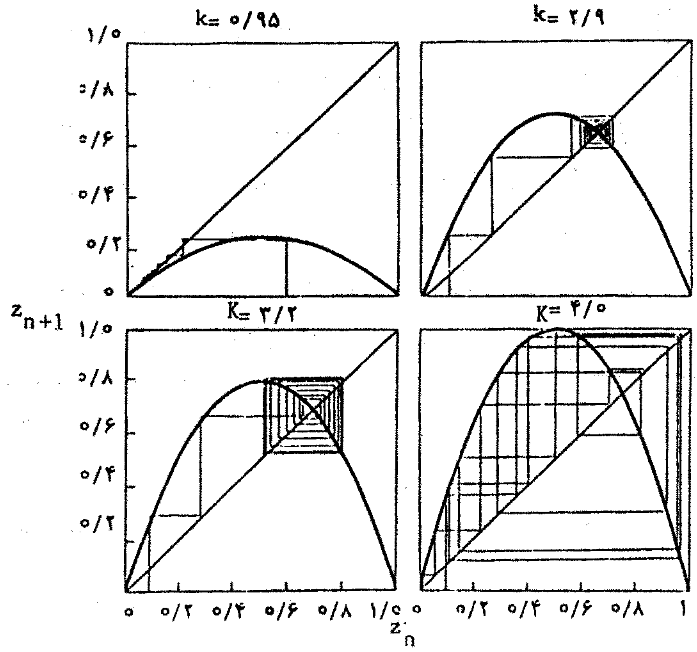
افزون بر آن، چنانکه شیوه ترسیمی نشان می‌دهد، هر آینه مقدار z_n به عنوان رقم هنجار یافته جمعیت در رابطه ۵ از یک تجاوز کند، بلافاصله مقدار z_{n+1} منفی می‌شود و به عبارتی در یک گام جمعیت امحاء می‌شود. به علاوه، برای ۴ < K، نقطه حداکثر سهمی که برابر $\frac{K}{۴}$ است، از یک تجاوز می‌کند و هر مقدار اولیه z_0 که در حول ۰/۵ قرار می‌گیرد (z_0~۰/۵)، در دوگام به امحای جمعیت خواهد انجامید. از این رو، معمولاً تجزیه و تحلیل نگاره لژیستیک، به اندازه‌های K بین صفر و چهار و z_0 بین صفر و یک،

$$Z_{n+1} = Kz_n (1- z_n)$$

۰/۵	۱/۲	۲/۰	K ۲/۷	۳/۱	۳/۴	۴/۰	۴/۰
۰/۵	۰/۵	۰/۵	۰/۵۰۰	۰/۵	۰/۵	۰/۴	۰/۵
۰/۱۲۵	۰/۳	۰/۵	۰/۷۵۰	۰/۷۷۵	۰/۸۵	۰/۹۶	۰
۰/۰۵۵	۰/۲۵۲	۰/۵	۰/۵۶۳	۰/۵۴۰	۰/۴۳۴	۰/۱۵۴	۰
۰/۰۲۶	۰/۲۲۶	۰/۵	۰/۷۳۸	۰/۷۷۰	۰/۸۳۵	۰/۵۲۰	۰
۰/۰۱۳	۰/۲۱۰	۰/۵	۰/۵۸۰	۰/۵۴۹	۰/۴۶۹	۰/۹۹۸	۰
۰/۰۰۶	۰/۱۹۹	۰/۵	۰/۷۳۱	۰/۷۶۸	۰/۸۴۷	۰/۰۰۶	۰
۰/۰۰۳	۰/۱۹۱	۰/۵	۰/۵۹۰	۰/۵۵۳	۰/۴۴۱	۰/۰۲۵	۰
۰/۰۰۲	۰/۱۸۶	۰/۵	۰/۷۲۶	۰/۷۶۶	۰/۸۳۸	۰/۰۹۹	۰
۰/۰۰۱	۰/۱۸۱	۰/۵	۰/۵۹۷	۰/۵۵۵	۰/۴۶۱	۰/۳۵۸	۰
۰/۰۰۰	۰/۱۷۸	۰/۵	۰/۷۲۲	۰/۷۶۶	۰/۸۴۵	۰/۹۱۹	۰
۰/۰۰۰	۰/۱۷۶	۰/۵	۰/۶۰۳	۰/۵۵۶	۰/۴۴۶	۰/۲۹۸	۰
۰/۰۰۰	۰/۱۷۴	۰/۵	۰/۷۱۸	۰/۷۶۵	۰/۸۴۰	۰/۸۳۷	۰
۰/۰۰۰	۰/۱۷۲	۰/۵	۰/۶۰۷	۰/۵۵۷	۰/۴۵۷	۰/۵۴۷	۰
۰/۰۰۰	۰/۱۷۱	۰/۵	۰/۷۱۶	۰/۷۶۵	۰/۸۴۴	۰/۹۹۱	۰
۰/۰۰۰	۰/۱۷۰	۰/۵	۰/۶۱۰	۰/۵۵۷	۰/۴۴۸	۰/۰۳۵	۰
۰/۰۰۰	۰/۱۷۰	۰/۵	۰/۷۱۳	۰/۷۶۵	۰/۸۴۱	۰/۱۳۵	۰
۰/۰۰۰	۰/۱۶۹	۰/۵	۰/۶۱۳	۰/۵۵۷	۰/۴۵۵	۰/۴۶۶	۰
۰/۰۰۰	۰/۱۶۸	۰/۵	۰/۷۱۱	۰/۷۶۵	۰/۸۴۳	۰/۹۹۶	۰
۰/۰۰۰	۰/۱۶۸	۰/۵	۰/۶۱۶	۰/۵۵۷	۰/۴۵۰	۰/۰۱۸	۰
۰/۰۰۰	۰/۱۶۸	۰/۵	۰/۷۱۰	۰/۷۶۵	۰/۸۵۱	۰/۰۷۰	۰
۰/۰۰۰	۰/۱۶۸	۰/۵	۰/۶۱۸	۰/۵۵۷	۰/۴۵۵	۰/۲۶۱	۰
۰/۰۰۰	۰/۱۶۸	۰/۵	۰/۷۰۸	۰/۷۶۵	۰/۸۴۳	۰/۷۷۳	۰

جدول شماره ۱ : اندازه‌های Z_n برای اندازه‌های مختلف K

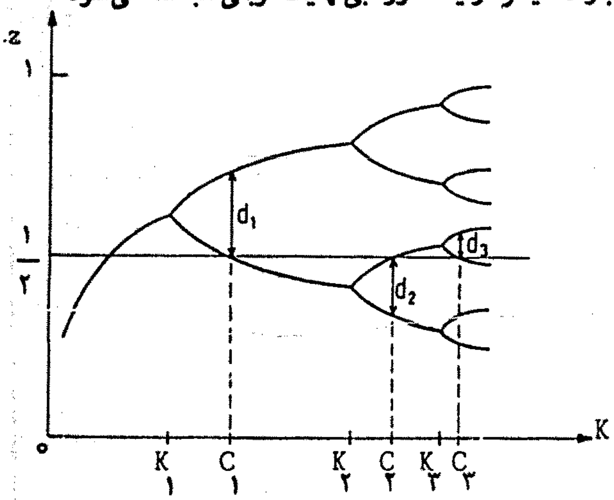
محدود می‌شود.[۸۶-۸۵]



شکل شماره ۱: نگاره برگردان مربوط به چهار مقدار مختلف عامل K

در معادله لژیستیک

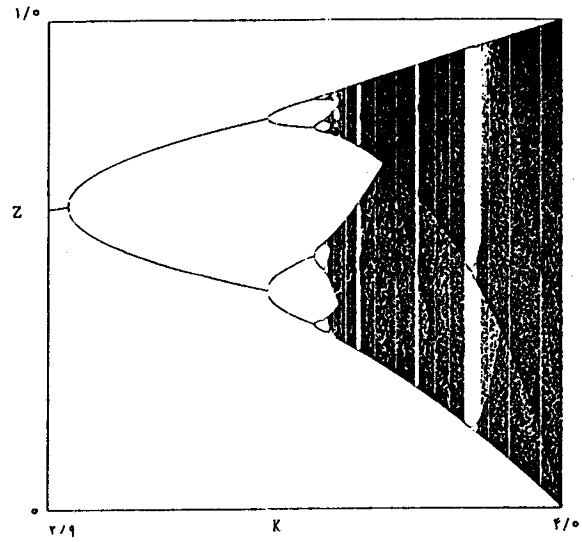
در نمودارهای شکل شماره ۱، شایان توجه است که برای اندازه‌های ۱ > K، ارقام جمعیت (z) همواره به سمت صفر میل می‌کنند. در واقع نقطه z=0 یک نقطه پایدار (حالت مانا) را در نگاره وامی‌نماید که در این حالات، جمعیتهای اولیه همیشه به سمت این نقطه ثابت، به مشابه یک رباینده، مجذوب و در نتیجه ناپدید می‌شوند، لیکن برای اندازه‌های ۱ < K، وضعیت دیگرگون شده و این نقطه ثابت می‌تواند ناپایداری حاصل کند. در این حالات به جای نقطه صفر، خط ۴۵ درجه، سهمی را در نقطه $z = (K-1) / K$ قطع می‌کند که در ازای هر مقدار K، نقطه‌ای را به عنوان نقطه ثابت و پایدار (حالت مانا)، مشخص می‌سازد. برای تمامی اندازه‌های K بین یک تا سه (۱،۳)، می‌توان گفت، تقریباً تمامی جمعیتهای اولیه به سمت این نقطه تعادل سوق می‌یابند. اما همین که مقدار K از ۳ به سوی ۴ فزونی گیرد، پویایی فرایند مورد بحث نیز به گونه‌ای آشکار و قابل توجه، تغییر و تحول می‌جوید. اول اینکه نقطه ثابت ناپایدار می‌شود و در حالت مانا، سیستم در یک نقطه واحد، ثبات و قرار نمی‌پذیرد، بلکه حالت مانای سیستم (پس از طی دوران گذار)، خود وضعیتی پویا پیدا می‌کند. در شکل شماره ۱، برای K= ۳/۲، یک دوره ۲ نوبتی[۸۷]، قابل مشاهده است که در آن جمعیت (z) مثلاً در سالها یا نسلهای پیاپی، بین دو مقدار واقع بر سهمی (z~۰/۵ و z~۰/۸) تناوب نشان می‌دهد. چنانچه مقدار K باز هم افزایش گیرد، دوره دو نوبتی مزبور نیز ناپایدار می‌شود و به یک دوره ۴ نوبتی جای می‌سپارد که در آن جمعیت (z) بالا و پایین می‌شود، یک وضعیت چهارگانه را دور می‌زند و در هر چهارگام (مثلاً چهار سال یا چهار نسل) یک بار به مقدار نخستین باز می‌گردد. و به همین سیاق با افزایش مقدار K، تحولات بلند مدت جمعیتی (z) به دوره‌های ۸، ۱۶، ۳۲، ۶۴، ... نوبتی گرایش می‌یابد. به این ترتیب تعداد تناوبهای هر دوره طی یک تصاعد هندسی (2^i) و به سرعت تکاثر حاصل می‌کند تا اینکه در مقدار ...$K = K_\infty =$ ۳/۵۶۹۹۴۵۶ به بی‌نهایت می‌رسد و به عبارت دیگر در یک دوره بی‌نهایت نوبتی انباشته می‌شود[۹۳-۸۸].



شکل شماره ۲ : چگونگی تکوین پدیده دو پودگی (دو شاخگی) در ازای افزایش عامل K در معادله لژیستیک

پدیده‌ای که شرح آن گفته شد، به «دوپودگی»[۹۴] (دوشاخگی)[۹۵] یا «دو پودگی تناوب مضاعف»[۹۶] موسوم است. شکل شماره ۲ چگونگی تکوین این پدیده را نشان می‌دهد و در شکل شماره ۳ نیز می‌توان انباشتگی دو پودگیها را در برابر افزایش مقدار عامل کنترل K (در معادله لژیستیک) مشاهده کرد. در واقع، هر بار، برای یک مقدار معین K، با استفاده از معادله لژیستیک و تکرر[۹۷] آن، پس از حصول اطمینان از سپری شدن دوران گذار و تثبیت جوابها اندازه‌های پایدار z، در نمودار نگاره لژیستیک[۹۸]، نگاشته شده است تا چگونگی انباشت دو پودگیها به ملاحظه رسد[۱۰۱-۹۹]. آنچه در شکل مشاهده می‌شود، پیش از این مورد بحث قرار گرفته و توجه شده است که برای K<۳، حالت مانا فقط

در یک نقطه پایدار $z=(K-1)/K$ استقرار می‌یابد. سپس در $K>۳$، دو شاخگی شروع، و حالت مانا، ابتدا در دو نقطه، پس از آن در چهار، هشت، شانزده،... نقطه متناوب می‌شود. به این طریق، هر بار دوپودگی بیانگر آن است که تعداد نقاط موجود در حالت مانا و نیز سپارش گامها (فواصل زمانی) در هر تناوب دو برابر می‌شود. ضمناً محدوده مقدار یا تغییرات K که طی آن یک دوره تناوب



شکل شماره ۳ : انباشتگی دو پودگیها در ازای افزایش عامل K
در معادله لژیستیک

پایدار می‌ماند، با افزایش تناوب موجود در هر دور، به سرعت کاهش می‌پذیرد و به همین لحاظ است که انباشت سریع دورهای تناوب با تناوبهای بیشتر و بیشتر به منصه ظهور می‌رسد تا اینکه در K_∞ (یعنی مقدار K برابر با...۳/۵۶۹۹۴۵۶) دوره با تناوب بی‌نهایت پیش می‌آید. در «نظام دوپودگی»[۱۰۲]، معمولاً منطقه مربوط به $1<K<K_\infty$ به «نظام متناوب» و پس از آن ($K_\infty<K<۴$) به «منطقه آشوبناک»[۱۰۴] یا «نظام آشوبناک»[۱۰۵] موسوم است.

با آزمایشهای عددی (کامپیوتری) و انجام محاسبات، فایگنبام[۱۰۶] توانست سرعت سیر به سوی منطقه آشوب را به دست آورد: در نظام متناوب، فواصلی که طی آن یک دور معین پایدار می‌ماند، با یک تصاعد هندسی و با نرخ ...۴/۶۶۹۲۰۱۶۰۹۱ کاهش می‌پذیرد؛ به عبارت دیگر در شکل شماره ۲، مقدار K_i که در آن تعداد نقاط ثابت (نقاط حالت مانا) از ۲^{i-1} به ۲^i تغییر می‌کند برابر است با:

$K_i = K_\infty$ - (۴/۶۶۹۲۰۱۶۱۹۱...) (۶)

و F_1 مقدار ثابتی است. همچنین این که فواصل d_i بین نقاط ثابت موجود در هر «دوره ۲^i نوبتی» در مجاورت خط $z =$ ۰/۵ (شکل شماره ۲)، نسبت ثابتی دارند، یعنی:

d_i / d_{i+1} = ۲/۵/۲۹۰۷۸۷۵۰... (۷)

مضافاً، در شکل شماره ۲، برای اندازه‌های C_i می‌توان نوشت:

Ci = C = (۴/۶۶۹۲۰۱۶۰۹۱...)$^{-i} F_2$

که در آن F_2 مقدار ثابتی است؛ به علاوه اینکه:

$C_\infty = K_\infty$ = ۳/۵۶۹۹۴۵۶ (۸)

در منطقه آشوب ($K_\infty < K <$ ۴) نیز، فواصل آشوبگون تا آنجا دست به هم می‌سپارند و دو پودگیها را در هم می‌تنند که اندازه‌ها (حاصل از تکرر معادله لژیستیک) سرانجام در ازای K = ۴ ، تمام فاصله [۱ و ۰] را بپوشانند و به عبارت دیگر، تامه فاصله ۰ = z تا ۱ = z را در برگیرند[۱۰۷]. نوارهای سفید رنگ (شکل شماره ۳) هم که دریچه‌های متناوب[۱۰۸] نامیده می‌شوند در تناوبهای p دوره‌ای رخ می‌نمایند (...، p=۳،۵،۷) و دوپودگیهای پیاپی p، $۲^۱$p، $۲^۲$p، ... دارند؛ اندازه‌های K_i نیز برای آنها از رابطه (۶)، اما با مقدار متفاوتی برای ثابت F_1، پیروی می‌کند. دریچه‌های متناوب، فواصل مبرا از آشوب و دربرگیرنده حالتهای تناوبی را نشان می‌دهد و وسیعترین آنها در مقدار K=۳/۸۳۹ و با تناوب ۳ روی می‌دهد. ۱۱۱-۱۰۹

نکته بسیار جالب توجه، خاصیت جهان شمولی وقوع آشوب و مصداق ثابتهای اصم (اعداد اصم در روابط ۶،۷و ۸)، به عنوان ثابتهای جهان شمول است که در تمامی توابع درجه دوم، که دارای یک نقطه حداکثر باشند، صدق می‌کند؛ به عبارت دیگر، حالتهای آشوبگون، که به تفصیل تشریح گردید، همراه با اندازه‌های ثابت اصم مربوط، به طور یکسان، در تمامی نگاره‌های واقع در فاصله (۰ و ۱) که دارای یک نقطه ماکزیمم مشتق‌پذیر است و در دو طرف این نقطه ماکزیمم سیر نزولی تک آهنگین داشته باشند، بروز می‌کند. این خاصیت به «جهان شمولی ساختاری»[۱۱۲] موسوم است و به عنوان یک ویژگی کلی و عمومی، بر تمام سیستمهای پویای درجه دوم (تحت سیطره تابع درجه دوم با خصوصیات مزبور)، حاکم است. ۱۱۶-۱۱۳

به منظور امکان تجسم عینی از حالتهای آشوبگون، می‌توان گردبادها، تلاطمات جوی، جریان متلاطم سیاله‌ها، گردابه‌ها و

مانند اینها را ملاحظه و مشاهده کرد.[118-117] شبیه چنین وضعیتهایی در حالتهای آشوبناک سیستمهای پویای مربوط به سایر عرصه‌های تغییر و تحول نیز قابل تصور است؛ از قبیل: فرایندهای شیمیایی[119]، فیزیکی[121-120]، نوری[122]، زیستی[124-123]، واکنش قلب در قبال تکانه‌های الکتریکی[125]، تغییر قیمتها و بحرانهای اقتصادی[127-126]، وقوع جنگها[128]، تلاطمهای مدیریتی[129]، فرایندهای رفتاری، روانی و شناختی[131-130]، رشد و توسعه[133-132] و بسیاری موارد دیگر.

به هر حال، آنگاه که حرکت و تحول، آشوبگون می‌شود، نتایج، غیرقابل پیش‌بینی و بعضاً فاجعه‌آمیز می‌شود، لیکن دیدگاه بینشی عمیق و بصیر چنین می‌نماید که ماهیت و طبیعت آشوب در بسیاری از سیستمهای طبیعی و حتی رفتارهای اجتماعی انسان، ساختار، خاستگاه و بستری همسان و همگون دارد و از خواص کلی، عمومی و جهان شمول برخوردار است.[136-134]

تکرر

چنانکه ملاحظه گردید، عامل اصلی دخیل در معادله لژیستیک، رابطه (۵)، همانا تکرری[137] بودن آن است، به این ترتیب که هر بار با استفاده از مقدار پیشین x_n مقدار پسین آن یعنی x_{n+1} محاسبه می‌شود. تکرر، تکرار مکرر یک فرایند، بارها و بارهاست؛ آن چنان که با به کارگیری یک الگوی تکرری و شروع از یک مقدار اولیه، بتوان نتایج مربوط را در مقطعی مورد نظر محاسبه کرد. رابطه (۵) را می‌توان به صورت تابع زیر نیز نوشت:

$$F(z)= Kz\ (1-z) \qquad (۹)$$

در تابع فوق به هر مقدار z، مقدار جدیدی تخصیص می‌یابد که تصویر z است و F(z) نامیده می‌شود. به این طریق، همانگونه که در توابع ریاضی رایج است، تابع F قاعده‌ای را ارائه می‌کند که طبق آن z به مقدار جدیدی، مانند F(z) یا Kz(1-z)، تبدیل می‌شود. آنگاه این فرایند را می‌توان با محاسبه F(F(z)) تکرار کرد؛ به عبارت دیگر:

$$F(F(z)) = F(Kz(1-z) = K[Kz(1-z)]\ [1-Kz(1-z)] \qquad (۱۰)$$

که می‌تواند مجدداً تکرار گردد:

$$F\ (F(F(z))) = F(K\ [Kz(1-z)]\ [1-Kz(1-z)] \qquad (۱۱)$$

و طریق مشابه تکرار ادامه یابد. به این ترتیب، مطابق رابطه (۵)، می‌توان نوشت:

$$z_1 = F(z)\ ,\ z_2 = F(F(z))\ ,\ z_3 = F(F(F(F))) \qquad (۱۲)$$

یا به صورت ساده‌تر با استفاده از $F^n(z)$ به معنای تکرر مرتبه nام، رابطه فوق به صورت زیر نوشته می‌شود:

$$F^1(z)= F(z),\ F^2 = F(F(z)),\ F_3(z)= F(F(F(Z))) \qquad (۱۳)$$

در واقع، تکرر، عملاً فرایند بسیار ساده‌ای است که در آسانترین صورت ممکن، می‌توان با استفاده از یک ماشین حساب، چگونگی عملکرد آن را مشاهده کرد؛ به عنوان مثال، ماشین حسابی را در نظر بگیریم که دکمه‌های توابعی مانند "exp x", "Sin x", "$\sqrt{x}$" ,"x^2"

و امثال اینها را در برداشته باشد. یکی از این توابع را انتخاب و عدد دلخواهی را به دستگاه وارد می‌کنیم و دکمه مورد نظر را پیاپی فشار می‌دهیم؛ به عنوان مثال چنانچه دکمه مربوط به تابع $\sqrt{x}$ مکرراً فشرده شود، بسادگی تکرر تابع x حاصل می‌شود؛ مثلاً چنانچه $S(x) = \sqrt{X}$ و x = ۲۵۶ به ماشین حساب وارد شود، پویه‌های زیر به دست می‌آید:

S^{1}(۲۵۶) =۱۶

S^{2}(۲۵۶) =۴

S^{3}(۲۵۶) =۲

S^{4}(۲۵۶)=۱/۴۱۴۲۱۴

S^{5}(۲۵۶) =۱/۱۸۹۲۰۷

S^{6}(۲۵۶) =۱/۰۹۰۵۰۸

S^{7}(۲۵۶) =۱/۰۴۴۲۷۴

⋮

S^{20}(۲۵۶) =۱/۰۰۰۰۰۵

شایان توجه است که تکررهای پیاپی S که از عدد ۲۵۶ شروع شده بود، بسرعت به سمت عدد یک تقارب می‌یابد؛ در واقع، مستقل از مقدار عدد اولیه که به دستگاه وارد شده باشد، چنین امری اتفاق می‌افتد، مثلاً چنانچه عدد اولیه ۲۰۰ انتخاب شود، باز هم:

S^{1}(۲۰۰) = ۱۴/۱۴۲۱۴

S^{2}(۲۰۰) = ۳/۷۶۰۶۰۳

S^{3}(۲۰۰) = ۱/۹۳۹۲۲۷

S^{4}(۲۰۰) = ۱/۳۹۲۵۶۱

⋮

S^{20}(۲۰۰) = ۱/۰۰۰۰۰۵ (۱۵)

حتی، اگر مقدار عدد اولیه اعشاری باشد (O<x<1)، باز هم دنباله تکررها به سوی عدد یک تقارب می‌جوید، مثلاً:

S^{1}(۰/۲) = ۰/۴۴۷۲۱۳۶

S^{2}(۰/۲) = ۱۰/۶۶۸۷۴۰۳

S^{3}(۰/۲) = ۰/۸۱۷۷۶۵۴

S^{20}(۰/۲) = ۰/۹۹۹۹۹۸۵ (۱۶)

اینک می‌توان دکمه مربوط به تابع «X^2» را آزمایش کرد. در این صورت، بدیهی است که چنانچه $x>1$ باشد، تکرر مجذور عدد، هر آینه عدد بزرگتری ارائه می‌کند تا آنجا که پس از چند مرتبه تکرر، ماشین حساب مورد استفاده، ممکن است، گنجایش نگهداری جواب را نداشته باشد. در این حالت اگر نوشته شود:

$T(x) = x^2$ (۱۷)

سپس می‌توان نوشت:

(۱۸) اگر $X>1$: برای $n \to \infty$: $T^n(x) \to \infty$:

برعکس، اگر x عددی اعشاری باشد ($0<x<1$)، تکرر نتیجه معکوس می‌دهد؛ مجذور پیاپی چنین اندازه‌ای، هر آینه کوچک و کوچکتر می‌شود؛ یعنی:

(۱۹) اگر $0< X <1$: برای $n \to \infty$: $T^n(x) \to 0$:

ضمناً، بدیهی است که در حد فاصل دو حالت فوق‌الذکر، یعنی وقتی که ۱ =x باشد، همواره و برای تمامی اندازه‌های n:

(۲۰) اگر $X=1$: $T^n(x) =1$

از این رو، چنانکه مشاهده می‌شود، تابع T، در تکرر، بر حسب اندازه‌های مختلف X ($x>1$ یا $x=1$ یا $0<x<1$)، سه گونه رفتار متفاوت بروز می‌دهد و به طریق مشابه، می‌توان مسأله را برای اعداد منفی نیز ادامه داد. ضمناً قابل توجه است که به رغم تابع $F(z) = Kz(1-z)$، در حالتهای مزبور، می‌توان عاقبت متغیر x را تحت عمل تکرر T پیش‌بینی کرد.

مدارها

در فرایند تکرر، توالی اندازه‌های مربوط به تکرار آغازیده از یک نقطه (یا عدد)، مدار آن نقطه (یا عدد) نامیده می‌شود[۱۳۹-۱۳۸]. همچنان می‌توان از ماشین حساب برای محاسبه مدارهای دیگری بهره گرفت، به عنوان مثال می‌توان دکمه مربوط به تابع "Sin x" را مکرراً فشرد تا مدار مربوط به هر ورودی اولیه‌ای (بر حسب رادیان) محاسبه شود. چنانچه $S(x)= \sin x$ و مقدار اولیه x=۱۲۳ انتخاب شود، خواهیم داشت:

(۲۱) S^{1}(۱۲۳) = -۰/۴۵۹

S^{2}(۱۲۳) = -۰/۴۴۳

S^{3}(۱۲۳) = -۰/۴۲۹

S^{4}(۱۲۳) = -۰/۴۱۶

⋮

S^{17}(۱۲۳) = -۰/۳۱۲

S^{18}(۱۲۳) = -۰/۳۰۷

S^{19}(۱۲۳) = -۰/۳۰۲

S^{20}(۱۲۳) = -۰/۲۹۸

چنانکه ملاحظه می‌شود، جریان تقارب Sin x به سمت صفر، بسیار کند و آهسته صورت می‌پذیرد و چنانچه محاسبات فوق ادامه یابد، آنگاه:

S^{73}(۱۲۳) = -۰/۱۸۵

S^{74}(۱۲۳) = -۰/۱۸۴

S^{75}(۱۲۳) = -۰/۱۸۳

⋮

S^{148}(۱۲۳) = -۰/۱۳۵ (۲۲)

S^{149}(۱۲۳) = -۰/۱۳۵

S^{150}(۱۲۳) = -۰/۱۳۴

⋮

S^{298}(۱۲۳) = -۰/۰۹۸۰۴۹

S^{299}(۱۲۳) = -۰/۰۹۷۸۹۲

S^{300}(۱۲۳) = -۰/۰۹۷۵۸

به این ترتیب مدار ۱۲۳ عبارت خواهد بود از توالی اعداد:

۱۲۳ و ۰/۴۵۹- و ... ۰/۴۴۳- و ... و ... و ۰/۲۹۸- و ... ۰/۱۳۵- و ...

(۲۳) ۰/۱۳۴- و ... و ... و ۰/۰۹۸۰۴۹- و ... ۰

که سرانجام به صفر خواهد رسید و خواهیم داشت:

(۲۴) اگر $n \to \infty$: S^n(۱۲۳) → ۰

به عبارت دیگر، مدار ۱۲۳، به طور مجانبی، به سمت صفر میل می‌کند. می‌توان آزمود که رویداد این پدیده، همواره مستقل از مقدار اولیه x است؛ یعنی اینکه:

(۲۵) (برای تمام اندازه‌های x) اگر $n \to \infty$: $S^n(x) \to$ ۰

همواره این پرسش در سیستمهای پویا مطرح است که آیا

می‌توان عاقبت و آینده مدارهای تکرری را پیش‌بینی کرد. مثلاً آیا می‌توان وضع هوا و یا اموری از این قبیل را پیش‌بینی کرد؟ برای سیستمهایی که تاکنون با استفاده از ماشین حساب مورد بررسی قرار گرفتند (یعنی $\text{Sin}\ x, x^2, \sqrt{x}$)، پاسخ ظاهراً مثبت است. اکنون به عنوان آخرین مثال از این نوع، مربوط به امکانپذیری تعیین تکلیف مدارها، می‌توان تکرر یک تابع کسینوسی را مورد نظر قرار داد که البته در این مورد، پیشگویی چندان ساده نخواهد بود. برای تابع کسینوسی زیر

$$C(x)= \text{Cos}\ x \quad (۲۶)$$

با هر مقدار دلخواه اولیه، مثلاً ۱۲۳=x (بر حسب رادیان) نتایج زیر حاصل می‌گردد:

C^{1}(۱۲۳) = -۰/۸۸۷

C^{2}(۱۲۳) = ۰/۶۳۰

C^{3}(۱۲۳) = ۰/۸۰۷

C^{4}(۱۲۳) = ۰/۶۹۱

C^{5}(۱۲۳) = -۰/۷۷۰

⋮

C^{99}(۱۲۳) = ۰/۷۳۹۰۸۵

C^{100}(۱۲۳ = ۰/۷۳۹۰۸۵)

C^{101}(۱۲۳ = ۰/۷۳۹۰۸۵)(۲۷)

بنا بر این، در این مثال مدار ۱۲۳ عبارت است از توالی اعدادی که نهایتاً به عدد ۰/۷۳۹۰۸۵ ختم می‌شود. در این مورد نیز، همچون مثال قبل، رخداد این پدیده مستقل از مقدار اولیه x است و با شروع از هر مقدار دیگری، عاقبت همین نتیجه حاصل می‌شود، لیکن پیشگویی آن از ابتدای امر دشوار به نظر می‌رسد.

در عین حال، با مشاهده چند نمونه از تکررهای تابع کسینوسی، ممکن است چنین استنتاج شود که تمام مدارها به سمت ۰/۷۳۹۰۸۵ میل می‌کنند یا به اصطلاح فنی، می‌توان گفت که تمام مدارهای تابع کسینوسی، مدارهایی پایدار هستند؛ به عبارت دقیق‌تر، یک مدار پایدار، مداری است واجد این خاصیت که چنانچه مقدار ورودی اولیه به سیستم اندکی تغییر یابد، مدار حاصل، رفتاری کم و بیش مشابه بروز دهد. همچنانکه پیش از این ملاحظه گردید، تابع $S(x) = \text{Sin}\ x$ نیز از این خاصیت برخوردار است؛ زیرا تمامی اندازه‌های ورودی اولیه به مدارهایی منجر می‌شوند که نهایتاً به عدد یک میل می‌کنند. لیکن، برای تابع $T(x) = x^2$، چنین خاصیتی آنگاه موجود است که ۰<x<۱ باشد، زیرا در این صورت مدار تابع x^2 به سمت صفر میل می‌کند و در غیر این صورت، مدارهای مربوط به اندازه‌های $x>1$ به سوی بی‌نهایت میل می‌کنند.

مدارهای پایدار، مدارهای مطلوب تلقی می‌شوند؛ بدین مفهوم که چنانچه یک سیستم پویا، نمایانگر فرایندی فیزیکی یا انسانی باشد و پیش‌بینی رفتار آیندهٔ سیستم، مورد نظر قرار گیرد در الگوسازی و محاسبات تخمینی، خطاهای احتمالی در مشاهدات و گزینش شرایط اولیه، تأثیری چندان دگرگون ساز در رفتار و تجلیات نهایی سیستم نخواهد نهاد؛ زیرا برونداد غایی سیستم، مداری پایدار خواهد بود و لذا پیشگوییهای مبتنی بر الگوسازیها، می‌تواند از دقتی کمابیش مطلوب برخوردار باشد. عامل دیگر در مطلوبیت مدارهای پایدار، ناشی از انباشت خطاهای مربوط به گرد شدن اعداد در محاسبات رایانه‌ای است. معمولاً در محاسبات تکرری، توسط رایانه‌ها و یا ماشینهای حساب، برای شبیه‌سازی سیستمهای پویا، هر تکرر پیاپی، تقریبی از مقدار یا وضعیت جدید را ارائه می‌کند. به این ترتیب، مدار محاسبه شده در هر مرحله، ممکن است با مقدار حقیقی آن اندکی متفاوت باشد؛ در نتیجه خطاهای مربوط به هر مرحله، بر هم انباشته شده و به خطاهای آشکار در پیشگوییها منجر می‌گردد. اما چنانچه مدار اولیه، مداری پایدار باشد، اینگونه خطاهای محاسباتی مرتبط با گرد شدن اعداد، نقشی چندان نخواهد داشت و تغییرات کوچک اعمال شده در هر مرحله از محاسبات، رفتار غایی مدار را دیگرگون جلوه نخواهد داد.

ناپایداری و مجموعه آشوبناک

در هر حال، توجه به این نکته حائز اهمیت است که همه مدارهای سیستمهای پویا، پایدار نیستند؛ حتی، ساده‌ترین گونه‌های سیستمهای پویا، ممکن است مدارهایی نابرخوردار از وضعیت پایداری داشته باشند. این گونه مدارها ناپایدار نامیده می‌شوند[۱۴۰]. مدارهای ناپایدار، مدارهایی است که به سمت وضعیتی مشخص و پایداری در در آن تمایل ندارد. برای این گونه مدارها بطور دلخواه و در مجاورت نقطه یا مقدار ورودی اولیه معین، امکان وجود ورودی دیگری هست که مدار آن از مدار اصلی بسیار متفاوت و متباعد باشد. [۱۴۲-۱۴۱]

مدارهای ناپایدار، چهره‌های متفاوت دارند و در سبکها و هیاتهای گوناگون بروز می‌کنند؛ به عنوان مثال، برای معادله لژیستیک در رابطه (۵) مدارهای پیش‌بینی ناپذیر که به نظر می‌رسد به گونه‌ای تصادفی طی مسیر می‌کنند، یکی از انواع مدارهای ناپایدار را تشکیل می‌دهند، لیکن مدارهای ظاهراً ساده‌تر نیز ممکن است ناپایدار باشند؛ مثلاً در رابطه (۱۷)، برای $T(x)=x^2$، مدار «یک» (۱)، ظاهری کاملاً ساده دارد:

$T(1)=1$ و $T^n(1)=1$ (برای تمام اندازه‌های n) (۲۸)

اما همین مدار ساده (که نقطه ثابت سیستم پویا را نیز تشکیل می‌دهد) مداری ناپایدار است؛ زیرا چنانچه اندک اشتباهی در محاسبه یا تخمین مقدار اولیه ۱ اتفاق بیفتد آنگاه مقدار ورودی اولیه مغایر با واحد خواهد بود ($x \neq 1$)، لذا همانگونه که قبلاً ملاحظه گردیده (روابط ۱۸ و ۱۹)، اگر $x>1$ باشد $T^n(x) \rightarrow \infty$ و اگر $1>x>0$ باشد، خواهیم داشت : $T^n(x) \rightarrow 0$ به این ترتیب، شرایط اولیه مجاور و نزدیک به هم به طیف وسیعی از مدارهای گوناگون منتهی می‌شوند که برخی به سمت صفر و بعضی به سوی بی‌نهایت متمایل می‌شوند.

بدیهی است که در یک سیستم پویا، آگاهی از مجموعه تمام نقاطی که دارای مدارهای ناپایدار هستند، حائز اهمیت است. چنانچه مجموعه مدارهای ناپایدار وسیع باشد، دلالت بر میزان فراوان ناپایداری و پیش‌بینی ناپذیری سیستم خواهد داشت؛ در غیر این صورت، می‌توان گفت که الگوی مورد استفاده از احتمال زیادی برای ارائه نتایج مطلوب، برخوردار خواهد بود. متأسفانه، بسیاری از سیستمهای پویای حتی ساده از مجموعه‌های وسیع شرایط اولیه‌ای با مدارهای ناپایدار برخوردار هستند. مجموعه تمامی نقاط یا اندازه‌های دارای مدارهای ناپایدار، «مجموعه آشوبناک»[۱۴۳] نامیده می‌شود؛ مضافاً در این ارتباط، نکته شایان توجه این است که حتی تغییر اندک در عوامل سیستم می‌تواند موجب تغییرات بنیادی در آرایش مجموعه آشوبناک گردد؛ اما به هر حال، شکل این مجموعه، اندازه، سادگی و یا بغرنجی آن و نیز چگونگی تغییرپذیری آن در پیایند تغییرات و تحولات حاصل در خود سیستم پویا، همواره برای تجزیه و تحلیل سیستم و پیشگوییهای مربوط، حائز اهمیت است[۱۴۴].

مجموعه آشوبناک در صفحه

تاکنون در بررسی موضوع آشوب، تمرکز بر سیستمهای پویای تک بعدی، محدود گردید، لیکن غالب پدیده‌های طبیعی و انسانی به بیش از یک متغیر وابسته است و چند متغیره می‌نماید. از این رو بررسی موضوع در سیستمهای چند بعدی ضروری به نظر می‌رسد. اینک، می‌توان یک سیستم پویای دو بعدی را در نظر گرفت، این امر از دو جهت نیز می‌تواند حائز اهمیت باشد: اول اینکه از دیدگاه ریاضی، بیشتر آنچه در پویایی تک بعدی رخ می‌نماید، اگر چه نه به طور کامل، اما در حد مطلوب، قابل فهم است؛ حال اینکه پویایی دو بعدی، مجموعه کاملاً متفاوتی از ممکنات را عرضه می‌دارد که تاکنون حل ناشده مانده است. دوم اینکه برای مطالعات شبیه‌سازی با به کارگیری امکان صفحه دو بعدی سیمانگاری رایانه‌ها، پویایی دو بعدی به آسانی امکان پردازش می‌یابد. ۱۵۰-۱۴۵

اگر سیستم پویای زیر را، که به نگاره «هنون» (اخترشناس فرانسوی که برای اولین بار در سال ۱۹۷۴ میلادی با این نگاره روبرو گردید) مشهور است[۱۵۱] در نظر بگیریم، این سیستم پویا شامل دو متغیر (x_n, y_x) است که مطابق روابط زیر، تحول می‌یابد:

$$X_{n+1} = 1+y_n - Ax^2_n$$
$$X_{n+1} = Bx_n \quad (۲۹)$$

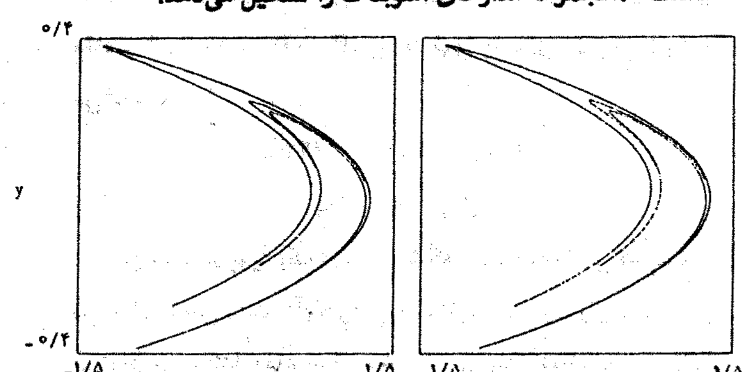
در روابط فوق، A و B عوامل سیستم پویای مورد نظر هستند و می‌توانند اندازه‌های متفاوتی اتخاذ کنند، به عنوان مثال، برای مقادیر A=۱/۴ و B=۰/۳، روابط فوق به صورت زیر نوشته می‌شود:

$$X_{n+1} = 1+y_n - ۱/۴x^2_n$$
$$y_{n+1} = ۰/۳y_n \quad (۳۰)$$

این سیستم پویا یک «رباینده شگفت» (اصطلاحی که پیشتر نیز از آن سخن رفت[۴۷]) دارد. پویه نگاره هنون را در روابط (۳۰) می‌توان برای اندازه‌های اولیه مختلف (x_0, y_0) انجام داد و نتایج محاسبات پویه‌های پیاپی را ترسیم کرد. شکل شماره ۴، نمودار ۱۰۰۰۰۰ تکرار برای دو گونه شرایط اولیه متفاوت، نشان می‌دهد: یکی مدار مربوط به شرایط اولیه (۰،۰) و دیگری مدار مربوط به شرایط اولیه (۰،۱-). در واقع، چنانچه این آزمایش برای شرایط اولیه گوناگون تکرار شود، همواره مدارها یا از ساختار نشان داده شده در شکل شماره ۴ برخوردار می‌گردند یا اینکه به سمت

بی‌نهایت میل می‌کنند. هنون[۱۵۲] این موضوع را ثابت کرده است که دو واقعه مزبور، تنها رویدادهای ممکن را تشکیل می‌دهند. به این ترتیب، قابل ملاحظه است که بسیاری از مدارها در تکرر بر مجموعه یکسان S (که در شکل شماره ۴ ترسیم یافته است) استقرار می‌یابند. مجموعه S از آن جهت یک «رباینده» نامیده می‌شود که تمامی مدارها به اندازه کافی نزدیک به هم به سوی آن می‌گروند و از آن نظر به یک «رباینده شگفت» موسوم است که یک پدیده ساده هندسی، مانند نقطه یا دایره‌ای از نقاط (یک مدار متناوب) را تشکیل نمی‌دهد. [۱۵۳-۱۵۲] باید خاطر نشان کرد که موضوع دریافت و توضیح ساختار دقیق S، یکی از مسایل مهم در ریاضیات و رهیابی در حل آن مفتوح الباب است. [۱۵۶-۱۵۴]

در هر حال، مجموعه S در برگیرنده تمام پویشهای آشوبناک مربوط به تکررهای متوالی است؛ به عنوان مثال، چنانچه دو مقدار بسیار نزدیک به هم (به عنوان شرایط اولیه‌ای که مدارهایشان به S میل می‌کنند) در نظر گرفته شود و آنگاه مثلاً سیاهه صد مقدار حاصل از پویه‌های اولیه تهیه گردد، بلافاصله پس از چند مرتبه تکرر، می‌توان مشاهده کرد که اندازه‌های (نقاط) پیاپی واقع بر مدارها، چندان ربطی به یکدیگر ندارند و کاملاً از یکدیگر متمایز هستند، اما همین که ترسیم شوند همواره تصویر مورد بحث (شکل شماره ۴) را پدید می‌آورد و به طور جسته، گریخته و پراکنده، تصویر مجموعه S را پوشش می‌دهند. و به این ترتیب رباینده شگفت S، مجموعه مدارهای آشوبناک را تشکیل می‌دهد. [۱۵۷]



شکل شماره ۴ : انگاره هنون (رباینده شگفت)

شکل سمت راست، مدار مربوط به شرایط اولیه (۰ و ۱-)

شکل سمت چپ، مدار مربوط به شرایط اولیه (۰ و ۰) را نشان می‌دهد.

سیستمهای پویای مختلط

اکنون که وقوع آشوب در صفحه، مورد ملاحظه قرار گرفته است، می‌توان اگر چه به اختصار، موضوع را در صفحه مختلط نیز مورد ملاحظه قرار داد؛ به عبارت دیگر، سیستم پویایی را می‌توان در نظر گرفت که تابع حاکم بر آن، تابع مختلطی مانند $F(z)$ باشد که در آن z یک متغیر مختلط است:

(۳۱) $$z = x + iy \quad \text{و} \quad i = \sqrt{-1}$$

هر عدد مختلط، دارای دو قسمت «حقیقی» x و «مجازی» y است و از این رو در صفحه دستگاه مختصات دکارتی، می‌تواند به عنوان نقطه‌ای با مختصات x (قسمت حقیقی) و y (قسمت مجازی)، نمایش داده شود. «مقدار مطلق» عدد مختلط z نیز به صورت زیر بیان می‌شود:

(۳۲) $$|z| = (x^2+y^2)^{\frac{1}{2}}$$

همچنین در دستگاه مختصات قطبی و یا به صورت نمایی نیز، عدد مختلط z قابل بیان است :

(۳۳) $$z = re^{i\theta} = r(\cos\theta + \sin\theta)$$

که در آن :

(۳۴) $$r = |z| = (x^2+y^2)^{\frac{1}{2}} \quad , \theta = \tan^{-1}\frac{y}{x}$$

به این ترتیب، هر عدد مختلط مانند z را می‌توان به هر یک از صورتهای فوق نمایش داد. [۱۵۸]

همانند پیش و با بهره‌گیری از ریاضیات تحلیلی کمیتهای مختلط، برای تابع مختلط $F(z)$ و با شروع از هر مقدار اولیه، مثل z_0، می‌توان $F^n(z_0)$، یعنی پویه مرتبه n اُم تابع $F(z)$ را در ازای نقطه شروع z_0 به دست آورد. [۱۵۹]

صرفاً به منظور امکان ملاحظه نوع تصاویر حاصل از پویش سیستمهای مختلط در شکلهای ۵، ۶، ۷ و ۸ نگاره‌های موسوم به مجموعه ژولیا[۱۶۲-۱۶۰] نشان داده می‌شوند.

شکل شماره ۵ پویه‌های مربوط به تابع :

(۳۵) $$F(z) = z^2 + c$$

را برای چهار مقدار مختلف :

(۳۶) C=-۰/۳ و C=-۰/۹+۰/۱۲i و C=۰/۲۵ و C=-۱

نمایش می‌دهد. شکلهای ۶ و ۷ نیز پویه تابع :

(۳۶) $$F(z) = (\frac{1}{e} + c)\, e^z$$

را برای دو حالت :

(۳۷) C = ۰/۱ و C=۰

را نشان می‌دهند (e عدد نپر یا مبنای لگاریتم طبیعی است).

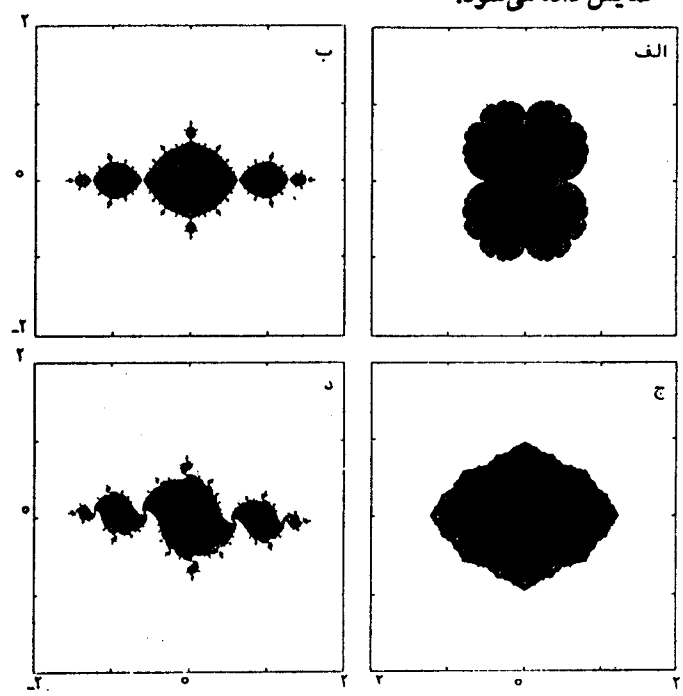
همچنین در شکل شماره ۸، پویه‌های سیستم :

$$F(z) = (1+Ki)\ \mathrm{Sin}z \qquad (۳۸)$$

برای سه حالت :

$$K=0 \text{ و } K=0/1i \text{ و } K=0/4i \qquad (۳۹)$$

نمایش داده می‌شود.



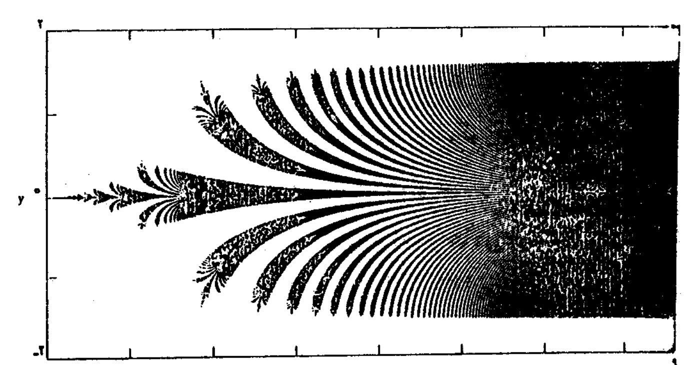
شکل شماره ۵ : نگاره‌های موسوم به مجموعه ژولیا، پویه‌های مربوط به تابع مختلط

$$F(z)= z^{2}+c$$

$$(z=x+iy \text{ ، } i=\sqrt{-1})$$

الف : c=۰/۲۵ ب : c=-۱

ج : c=-۰/۳ د : c=-۰/۹+۰/۱۲i

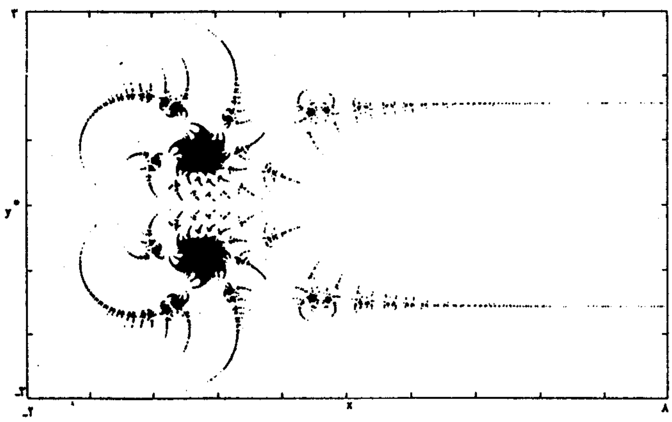


شکل شماره ٦ : نگاره موسوم به مجموعه ژولیا، پویه‌های مربوط به تابع مختلط

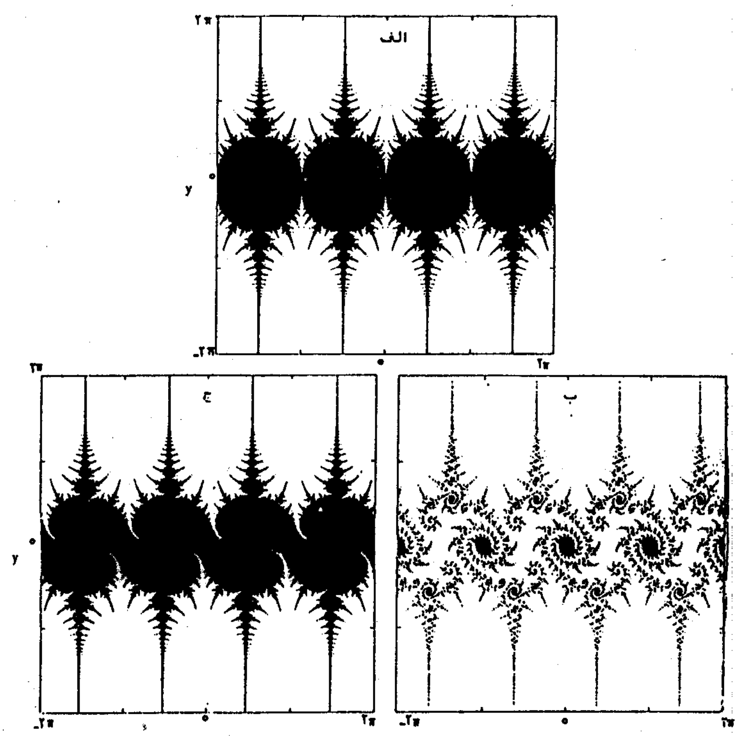
$F(z)= (\frac{1}{e} + c)e^{z}$ و $(z=x+iy), i=\sqrt{-1})$

e عدد نپر (e=۲/۷۱۸۲۸۱۸...) و c=۰ است.

در تمام تصاویر مورد بحث، تغییر الگوهای پویندگی هر سیستم در پی اندک تغییر در عوامل کاملاً نمایان است: نظم، زیبایی و ساختارمندی نگاره‌ها، جالب توجه و از منظر زیبایی‌شناسی نیز شایان التفات است.



شکل شماره ۷ : نگاره موسوم به مجموعه ژولیا، پویه‌های مربوط به تابع مختلط نشان داده شده در شکل شماره ٦، اما برای c= ۰/۱.



شکل شماره ۸ : نگاره موسوم به مجموعه ژولیا، پویه‌های مربوط به تابع مختلط

$$F(z) = (1+Ki)\ \mathrm{Sin}\,z$$

$$(z=x+iy \text{ و } i=\sqrt{-1})$$

الف K= ۰ ب K=۰/۴i ج K=۰/۱i

معیارهای آشوب

اگرچه نادانسته‌ها در پدیده آشوب بسیار است در عین حال در پدیداری فرایند آشوبناک، می‌توان معیارهایی را برشمرد. از نظر کیفی، این معیارها معمولاً از این قرار هستند: بروز جلوه‌های آشوبگونگی، به هم ریختگی، هرج و مرج در روند زمانی فرایند، نوار بسامدی پهن نوفه‌ای در تابع چگالی طیفی (طیف انرژی) فرایند؛ زوال سریع تابع خود همبستگی فرایند و مانند اینها.[۱۶۳] لیکن این گونه معیارها ممکن است در تمیز آشوب (متیقن) از فرایندهای تصادفی (نامتیقن) چندان سودمند واقع نگردد. به این لحاظ، معیارهایی کمی نیز برای تشخیص پدیده آشوب (متیقن) وضع گردیده و یکی از این معیارها، «نمای لیاپونف»[۱۶۴] است.

چنانکه پیشتر ملاحظه گردید، تحت عملکرد نگاره‌ای مانند:

$$x_{n+1}=f(x_n) \qquad (۴۰)$$

نقاط مجاور از هم جدا، و در واگرایی از یکدیگر به وضعیت آشوبناک منتهی می‌شوند. نمای لیاپونف، $\lambda(x_0)$ چون سنجه‌ای، واگرایی مزبور را در قالب یک تابع نمایی اندازه‌گیری می‌کند. این موضوع را می‌توان به صورت زیر نشان داد:

$$\frac{\varepsilon}{x_0 \qquad x_0+\varepsilon} \Rightarrow \frac{\varepsilon e^{n\lambda(x0)}}{fn(x_0) \qquad fn(x_0+\varepsilon)} \qquad (۴۱)$$

یا به عبارت دیگر:

$$\varepsilon e^{n\lambda(x_0)} = \left| f^n(x_0+\varepsilon) - f^n(x_0) \right| \qquad (۴۲)$$

رابطه فوق در حد (برای $\varepsilon \to O$ و $N \to \infty$)، به صورت زیر نوشته می‌شود:(۴۳)

$$\lambda(x_0) = \lim_{n\to\infty} \lim_{\varepsilon\to 0} \frac{1}{n} \operatorname{Log} \left| \frac{f^n(x_0+\varepsilon) - f^n(x_0)}{\varepsilon} \right|$$

$$\lambda(x_0) = \lim_{n\to\infty} \frac{1}{n} \operatorname{Log} \left| \frac{df^n(x_0)}{dx_0} \right|$$

چنانکه ملاحظه می‌گردد، $e^{\lambda(x_0)}$، میانگین افزایش یا کشش فاصله بین نقاط مجاور را در هر پویه (تکرر) نشان می‌دهد.[۱۶۵] مضافاً، قابل اثبات است که نمای لیاپونف، میانگین اطلاعات از دست رفته را طی هر بار تکرار رابطه (۴۰)، در مورد جایگاه نقطه به دست آمده در فاصله (۱ و ۰) بیان می‌دارد و می‌تواند به صورت زیر نوشته شود:[۱۶۶]

$$\lambda(x_0) = \lim_{n\to\infty} \frac{1}{n} \sum_{i=0}^{n-1} \log \left| f'(x_i) \right| \qquad (۴۵)$$

که f' مشتق تابع f است.

در واقع، برای اندازه‌های معین و متیقن، نمای لیاپونف منفی و در حالتهای آشوبناک نمای لیاپونف مثبت است. ضمناً در وقوع هر دو پودگی (دوشاخگی) نیز مقدار نمای لیاپونف به سمت صفر میل می‌کند. به این ترتیب، مقدار مثبت نمای لیاپونف، دال بر پدیده آشوب و در غیر این صورت (مقدار منفی یا صفر) حاکی از عدم وقوع آشوب و حاکمیت اوضاع معین در سیستم است.[۱۶۸]

معیار دیگر برای تمیز پدیده آشوب، استفاده از آنتروپی کولموگورف[۱۶۹] (یا آنتروپی K) است. در واقع، آنتروپی کولموگورف، مهمترین معیار مورد استفاده در تشخیص و سنجش وضعیت آشوب است که می‌تواند در حالت چند بعدی (چند متغیره) نیز به کار گرفته شود.[۱۷۰-۱۷۱] محاسبه آنتروپی کولموگورف بر نظریه اطلاعاتی شانون[۱۷۲] و تعریف آنتروپی به عنوان معیاری برای سنجش بی‌نظمی در یک سیستم، مبتنی است.[۱۷۳] بی‌نظمی، اصولاً، یکی از مفاهیم نظریه اطلاعات است و آنتروپی کولموگورف، K نیز که درجه آشوبگونگی یک سیستم پویا را اندازه‌گیری می‌کند با استفاده از رابطه شانون چنان تعریف می‌شود که مقدار K متناسب با نرخ کاهش اطلاعات (مربوط به وضعیت سیستم پویا در گذر زمان باشد.[۱۷۴-۱۷۵] به علاوه، می‌توان نشان داد که برای یک سیستم چند بعدی، مجموع نماهای مثبت لیاپونف مربوط به هر بعد (متغیر) نیز نرخ کاهش اطلاعات (افزایش آنتروپی) را بیان می‌دارد؛ به عبارت دیگر، آنتروپی کولموگورف، همانا با مجموع نماهای مثبت لیاپونف، برابر است؛ یعنی:

$$K = \sum_i \lambda_i \;, \quad \lambda_i > O \qquad (۴۶)$$

و در غیر این صورت:

$$K = O \;, \quad \lambda_i \leq O \qquad (۴۷)$$

به این ترتیب، چنانچه آنتروپی کولموگورف برابر صفر باشد، دال بر وضعیت معین و منتظم است و مقدار مثبت آن (ناشی از حداقل یک عامل نمای مثبت لیاپونف) حاکی از سیطره وضعیت آشوبناک در سیستم خواهد بود.[۱۷۶-۱۷۹] ضمناً هر چه مقدار آنتروپی کولموگورف بیشتر باشد، دلالت بر شدت بیشتر آشوب در سیستم خواهد نمود و به این لحاظ می‌تواند به عنوان سنجه‌ای برای اندازه‌گیری آشوب به کار رود. سرانجام، برای فرایندهای تصادفی، آنتروپی کولموگورف به سمت بی‌نهایت میل می‌کند و

طریق تشخیص آشوب (متیقن) از فرایند تصادفی در اختیار قرار می‌گیرد. ۱۸۱-۱۸۰

برای محاسبه آنتروپی کولموگورف نیز، می‌توان از روابط (۴۴) یا (۴۵) و (۴۶) استفاده کرد.

همچنین می‌توان ماتریس ژاکوبی[۱۸۲] مربوط به سیستم مورد نظر را تشکیل داد و با محاسبه اندازه‌های ویژه آیگن این ماتریس، آنتروپی کولموگورف را از حاصلضرب اندازه‌های ویژه آیگن به دست آورد. ۱۸۳

بنا براین، پی بردن به پدیداری آشوب در سیستمهای پویا، تمیز آشوب (متیقن) از مدخلیت فرایندهای تصادفی و تشخیص وضعیتهای معین و منتظم با محاسبه نماهای لیاپونف و آنتروپی کولموگورف، امکانپذیر می‌شود.

آشوب و تحول در سیستمهای مدیریت

رویکرد سیستمی از وجهه‌های اصلی علم مدیریت است و در این میان، رهیافت پویایی سیستمی جنبه بنیادین دارد. سیستمهای پویای مدیریت، به سبب دخالت عوامل متعدد، متغیرهای چندگانه، تنوع عناصر متمایز در ساختار سیستم و تعدد روابط آن، می‌توانند بسیار پیچیده و بغرنج باشند. ۱۸۵-۱۸۴ همچنین سازمانهای برخوردار از گوناگونیهای فراوان، حالتهای سیستمی متفاوت و گوناگون اتخاذ می‌کنند و رفتار بغرنج بروز می‌دهند. ۱۸۶ این همه، پیش‌بینی‌پذیری را در سیستمهای مدیریت دشوار می‌سازد؛ بویژه اینکه سیستمهای مدیریت کمتر ممکن است خطی باشند، بلکه غالباً از سیستمهای غیرخطی تشکیل می‌شوند و تحت سیطره تعاملات غیرخطی قرار دارند؛ معمولاً نرخ رشد یا زوال در آنها متغیر است و عوامل انسانی (با عملکردهای غیرخطی) در سیستمهای مدیریت نقش می‌آفرینند. [۱۸۷]از این رو سیستمهای مدیریت می‌توانند به اوضاع آشوبناک منجر شوند. ۱۸۸

تمامی سیستمهای انسانی از ویژگیهای درونی برای بروز عملکردهای غیرخطی، اعوجاجات و اغتشاشات در کارکرد و رفتار برخوردارند. همچنین این سیستمها (درگسست از منابع انرژی و انتظام) دستخوش تأثیرات تخریبی آنتروپی و سوق به سوی بی‌نظمی، پاشیدگی و پریشیدگی هستند. نظم به هم ریختگی، همواره، همچون دو قوه ذاتی و بنیادی در قطبین این سیستمها، عمل می‌کنند و آنگاه که سازمانها در حالت تعادل به سر می‌برند، گویی مبهوت این دو قوه‌اند. استیلای آنتروپی، سازمان را در وضعیتی به هم ریخته به دور از حالت تعادل وامی‌نهد. این وضعیت ممکن است به انحطاط سازمان بینجامد یا اینکه مرحله‌ای را در تکامل به سطح نوینی از تعادل، تشکیل دهد.[۱۸۹] به قولی، به هم ریختگی و آشوب، همانا وارهیدگی سیستم است تا به گونه‌ای درهم آمیخته و آشفته، تمامی امکانات و مقدورات پویای خود را منکشف کند.[۱۹۰]

نیز باید افزود که سیستمهایی از قبیل سیستمهای سازمانی به عنوان سیستمهای پویا، وضعیتی واحد و جداگانه را در مدت نامحدود برقرار نمی‌سازند و به همین لحاظ است که غالباً سنجه‌های چندگانه برای تعیین وضعیت جاری سیستم، ضرورت می‌یابد.[۱۹۱] مضافاً این که برای برقراری تعادل همواره باید توازنی بین تمام بخشهای سیستم اعمال گردد.[۱۹۲] در سیستمهای سازمانی بغرنج و متغیر، ایجاد توازن همزمان بین تمامی زیرمجموعه‌ها بسیار نامحتمل است؛ حتی در سازمانهای بزرگ، صرفاً رسیدن به حدود و درجاتی از تعادل می‌تواند مطرح می‌باشد. پایداری این گونه سیستمها نیز مستقیماً به تعداد عناصر و شماره پیوندهای بین اجزا مربوط می‌شود لذا بدیهی است که سیستمهای بغرنجتر از احتمال کمتری برای ابقای وضعیت تعادل، برخوردار هستند.[۱۹۳] همین که نیروهای کافی برای رانش سیستم از حدود تعادل عادی آن، تجمع یابد، فرایندهای اتلافی[۱۹۴] آغاز می‌گردد؛ به این طریق، سیستم، ممکن است در واکنش به فشارهای متراکم برای تغییر، ساختار خود را به گونه‌ای قابل توجه دیگرگون سازد.[۱۹۶-۱۹۵]

همچنین باید توجه داشت که بسیاری از سیستمها، متشکل از عناصری هستند که به طور عادی و پیوسته نوسان می‌کنند و بالا و پایین می‌روند (به عنوان مثال، سطوح مختلف و متغیر بهره‌وری کارکنان یک سازمان، می‌تواند نمونه‌ای از چنین زیر و بمهایی باشد). انرژی (یا توان) مربوط به چنین جریانهای نوسانی، در صورت کفایت، می‌تواند سیستم موجود را به وضعیتی ظاهراً آشوبناک بکشاند. البته همانگونه که پیشتر ملاحظه گردید، باید به خاطر داشت، که پدیداری حالت آشوب و تحولات آشوبناک در سیستمهای اتلافی، آنگاه تجلی می‌یابد که سیستم، باز، و تحت تأثیر نیروی محرکه خارجی قرار داشته باشد.[۲۰۱-۱۹۷]

در ارتباط با ساختارهای اتلافی، پیش از این وابستگی

حساس به شرایط اولیه تا حد تأثیرات پروانه‌ای به تفصیل مورد بحث قرار گرفت و ملاحظه شد که تغییرات به ظاهر کوچک، می‌تواند منشأ تحولات بزرگ در سیستم باشد و این تغییرات کوچک نیز ممکن است از درون یا برون سیستم نشأت گیرد. چنین تزاحمات و اختلالاتی در وضعیت تعادل سیستم، می‌توان تأثیرات بلند مدت گوناگون برجای نهد. در نتیجه، سیستم ممکن است از آشوب، جان سالم به در نبرد و به ورشکستگی و انحلال بینجامد یا به دیگر طریق، امکان دارد که سیستم، ساختاری نوین بر پا کند یا عملکردی جدید برگزیند؛ همراه با چنان تجدید نظری که بتواند بیشتر همراستای نیروهایی باشد که برای بقای آن کارسازتر و سودمندتر می‌نمایند (معمولاً برای سازمانها این نیروها مشتمل بر مشتریان، اربابان رجوع، متقاضیان، عرضه کنندگان یا دیگر عناصر پیرامونی می‌تواند بود) از آشوب، نظمی نوین، بغرنجتر و با ترازی والاتر برتواند آمد. این وضعیت پایداری نوین و برآمده از آشوب، غالباً در نتیجه اثر و پیامد فرایندهای درونی خود سازمان‌دهنده حاصل می‌شود. چنین فرایندهایی از قبل اهداف اساسی سازمان و ارزشهای رهبران آن، نیروی محرکه می‌جویند. ۲۰۴-۲۰۲

فرایندهای خود سازمان‌دهنده از قبیل فوق، فرایندهای «خودنظمی» (خودسروادگی»)[۲۰۵] نیز نامیده شده‌اند.[۲۰۶] این پدیده از قابلیت و ظرفیت سیستمها برای بازآفرینی و بازیابی الگوی یگانه ساختار خویش، متکی و مبتنی بر منابع درونی اطلاعات، حکایت دارد. بر این اساس، سازمانها از ریخت و ساختی برخوردار هستند که پیرو بنیانهای داخلی آنهاست تا اینکه بر پایه عوامل محیطی قرارگیرد. در نتیجه، ساختارهای نوین و در سطحی برتر (از نظر تکاملی) پدید می‌آیند. این چارچوب نو پدید، الگوی رفتاری بازنگری شده‌ای را بنا می‌نهد که بتواند روابط و فرایندهای جدید را در سیستم هدایت کند و سرانجام، این تجدید سامان، تشخّص و ویژگیهای اساسی سیستم را جرح و تعدیل و متحول می‌کند. این فرایند خود سازمان بخشی در روند تکامل سازمان برای بنیانگذاری نقاط تعادل گوناگون طی گذر زمان، می‌تواند به طور نامحدود، تداوم یابد.[۲۰۷]

تحول و ساختارهای ائتلافی

پیش از این ملاحظه گردید فرایندهای ائتلافی در تحول سیستمهای سازمانی، نقش اساسی دارند. در واقع، الگوی ساختارهای ائتلافی[۲۰۸] از توان بالقوه وسیعی برای توضیح پویشهای تغییر و تحول، و مدیریت در دوره‌های تلاطم برخوردار است.[۲۰۹] این الگو با الهام از نظریه آشوب در سیستمهای ائتلافی (که به تفصیل مورد بحث قرار گرفت) و یافته‌های مربوط در سایر رشته‌ها (مانند فیزیک) در صدد توضیح تحولات و دگردیسیها در سیستمهای اجتماعی و سازمانی و وضع «نظریه‌های تحول»[۲۱۰] برای این سیستمها برمی‌آید.[۲۱۱] در این نظریه‌ها استحاله و تبدیل و تحول، دیگرگونی قابل ملاحظه‌ای را در ساختارها و فرایندهای بنیادی تشکیل‌دهنده تشخص و خصیصه یک سیستم می‌طلبد و فراگردی است تکرری و پویه‌مند، که در طی تکرار و تکرر باز پویه‌ها[۲۱۲]، الگوهای نظم، بالقوه، می‌توانند هم نظم و هم آشوب بیافرینند. استحاله و تحول همچون فراگشتی می‌نماید که ضمن حفظ و ابقای نظم، راه را بر تناوبهای گهگاهی آشوب برمی‌گشاید. فرایندهای متحول از توانایی و ظرفیت لازم برای حفظ و بقای درجاتی از نظم در سیستم برخوردارند؛ لیکن این نظم متحول، همواره پوینده است و امکانات بالقوه فراوانی برای ایجاد تغییر و تحولات باز هم بیشتر دارد. به طریق مشابه، تناوبهای پویای تغییر و تحول نیز از آن حدود نظم و انتظام برخوردار هستند که امکان استقرار و پایداری را در وضعیت تعادلی جدید و ثمربخش فراهم آورند.[۲۱۳]

استحاله و تحول از فرایند خود سازماندهی، پیروی می‌کند و این در واقع عبارت است از توان سیستم برای تغییر شکل و شمایل خود براساس دریافتها و ارجاعات از درون سیستم، دال بر آنچه سیستم باید بشود و یا بدان بگراید. سیستمها خود سازمانبخش، دارای درجه‌ای از آگاهی نسبت به وضعیت موجود خود و تفاوت آن با وضعیتی آرمانی یا عموماً مطلوب، هستند. آنها می‌توانند بر پایه اطلاعاتی که از پیش دارند، خود را نوسازی کنند.[۲۱۴] سیستمهای خود سازمانده، حتی از نظر باز بودن و تعامل با محیط نیز بر اساس اطلاعات داخلی خود، آن دالانه‌هایی را در اندرکنشهای برونی خود باز می‌گذارند که جنبه پشتیبانی داشته باشد.[۲۱۵]

هدف غایی در خود سازمانبخشی، مساعدت در نوشوندگی و نوسازی سیستم است. در سیستمهای زنده، فرایند خودنوشوندگی، ساز و کاری تکاملی است در جهت تأمین تعالی دائمی سیستم. سیستمهای خودنوشونده، دارای امکانات بالقوه برای تجدید

سازمان خویش به روشهایی هستند که ضمن ابقای هویت خود در برابر تغییرات نیز تنظیم و تعدیل حاصل کنند. به این ترتیب، این گونه سیستمها می توانند برای زیست در اوضاع متغیر، تطبیق پذیر گردند.[۲۱۶]

درک فرایند پویای نوشوندگی در سازمان، برای مدیریت علمی، سرنوشت ساز است و تدوین برنامه و سرلوحه کار در این ارتباط، اهمیت حیاتی دارد. در اختیار داشتن سرلوحه‌های مدون و مشخص در کار مدیریت نه تنها در پیش راندن و هدایت امور در تناوبهای آشوب، کمک می‌کند، بلکه نیز می تواند (با تنظیم عوامل) در فرارسیدن و ایجاد مقاطع آشوب متیقن برای بهره‌برداریهای لازم، مساعد واقع گردد. سرلوحه‌های کار و برنامه‌های الهامبخش، ممکن است بطور کامل همراستایی بین عناصر و اجزای سیستم و نیز بین سیستم و محیط پیرامون را هر آینه مشخص و معین کند. برخی کم و زیادها و نوسانات را تقویت و بعضی دیگر را تضعیف کند؛ حتی در این صورت این امکان بالقوه نیز وجود دارد که اعضای سیستم بر اختلافات گذشته، حال و آینده خود، مماشات ورزند و با مذاکره، مصالحه و تفاهمی که حاصل می‌شود، محور توسعه بر دیدگاه‌های مشترک استوار گردد و این همه مستلزم آن است که مدیران از دید حکیمانه و بینش خردمندانه برای به کارگیری این ابزار در یکپارچگی با نیروهای تحول‌زا برخوردار باشند تا آن را به موقع به کار گیرند.[۲۲۰-۲۱۷]

در این میان، درک ویژگیهای ساختارهای اتلافی از اهمیت خاص برخوردار است. فرایند مرکزی تغییر و تحول در سازمانها، متناوباً از آشوب به نظم و از نظم به آشوب در جریان است. این رفتار پویا توسط چارچوب عام ساختارهای اتلافی، توان می‌یابد. ساختارهای اتلافی، آزادی لازم را برای سیستم فراهم می‌آورند تا به گونه‌ای خلاق، ترتیبات درونی نوینی را برای آرایش اجزاء و عناصر خویش بازیابد. هدف از چنین فعالیتی این است که سیستم با ارتقای والایی خود بتواند با اوضاع بغرنجتر، سازگاری و هماوایی داشته باشد. نخستین ساز وکارهای ساختار اتلافی، همانا نقاط دوپودگی یا دو شاخگی است که پیش از این و به تفصیل مورد بحث و بررسی قرار گرفت. در واقع، همانگونه که ملاحظه گردید، نقاط دو پودگی، نقاط انشعاب و تقاطعهایی در حالات یک سیستم هستند که در آنها وضعیت تعادل سیستم از ویژگیهای «فرانا پایداری»[۲۲۱] برخوردار می‌شود. در این نقاط دو پودگی است که ساختارهای پشتیبان تعادل حاکم بر سیستم، می‌توانند عملاً فروپاشند و سیستم را به یک فرایند تحول بنیادی گسیل دارند. فراگرد فروپاشی، ممکن است تا نقطه‌ای که ساختارهای جدید شکل می‌گیرند تداوم یابد تا پشتوانه لازم را برای سطح جدید و پایدارتری از تعادل فراهم آورد.[۲۲۲]

آنگاه که یک نقطه دو پودگی در نتیجه تغییرات حاصل در سیستم فرا می‌رسد، تصمیم‌گیریهای مدیریت در مرحله‌ای حساس و بحرانی قرار می‌گیرد و حزم و دوراندیشی وجهه‌ای خاص می‌یابد. در چنین نقاطی یا اینکه تصمیمی برای مهار منابع سیستم اتخاذ می‌گردد تا چنان الگویی از اندرکنشها پدید می‌آید که به عملیات مؤثر بینجامد یا اینکه ساختارهای سیستم فرو می‌پاشند تا سطوح دیگری از عملکرد را باز یابند؛[۲۲۳] به قولی[۲۲۴] خواص نقطه دوپودگی چنان است که گویی نقطه بیم و امید است : امیدواری از آن جهت که حتی اندک پس و پیش و نوسانات کوچک می تواند بسرعت و شدت رشد کند و ساختار کلی سیستم را دیگرگون سازد (در نتیجه، فعالیت انفرادی نیز محتوم به اغماض نیست) بیم نیز از آن جهت که ممکن است مدار پایداری دست ندهد که سیستم در آن نشستی مانا بیابد؛ زیرا سیستمها مادام که تحولات بالقوه، ثمربخش باشند، مستعد تغییر و تحول هستند. لیکن این امید که سیستم، سرانجام ممکن است به استقرار جدید و مناسبی دور از وضعیت اولیه تعادل خود نایل گردد، اسباب خوشبینی است. اینگونه ناپایداریها بیانگر این است که سیستمها نیاز دایمی به تنظیم، انتظام، ترمیم، نگهداری و مراقبت دارند.[۲۲۶-۲۲۵]

به هر حال، ویژگیهای ساختارهای اتلافی را معمولاً می‌توان از این قبیل برشمرد: در واکنش نسبت به تغییرات، نوسانات جزیی تقویت می‌شود. سیستم باز است. میزان اطلاعات در سیستم در سطحی بالا قرار دارد. امکانات بالقوه برای سازماندهی مجدد و تجدید سامان زیاد است. طبیعت مقاومت سیستم دستخوش تغییر است. تجلیات رفتاری سیستم متلاطم و آشوبناک است. ادراک تغییر در سیستم امری عادی است. نظم سیستم معمولاً نوسانی و دارای زیر و بم است.[۲۲۸-۲۲۷]

تقویت نوسانات و تغییرات جزیی در ساختارهای اتلافی از طریق بازخوران مثبت صورت می‌پذیرد و تحول در نتیجه عدم تعادل هدفمند که ناشی از نوسانات در سطوح خرد سیستم است،

واقع می‌گردد. این نوسانات و یا اعوجاجات، همچون تلاشهایی آشفته و مغشوش به منظور امکان تعیین شقوق دیگر همراستایی و همنوایی با محیط از سیستم سرمی‌زند. وقتی همسازی جدید بین سیستم و محیط برقرار شود، نوسانات تقویت شده از قبل حلقه‌های بازخوران مثبت، سیستم را به محیط پیوند می‌زنند. با تداوم بازخوران مثبت، نوسانات تا آن حد تقویت حاصل می‌کنند که سرانجام، سیستم را ناپایدار می‌کند و اضمحلال و فروپاشی ساختار موجود را برمی‌انگیزند. این فرایند آشوب متیقن در تحول سیستم به وضعیتی نوین و تعادلی برتر، به چهار شرط امکانپذیر می‌شود: اول اینکه سیستم در برابر تغییر و تحولات باز باشد. دوم اینکه سیستم قادر به شکستن و گسیختن الگوی رفتاری موجود باشد. سوم اینکه سیستم بتواند رفتاری نوین ارائه کند. چهارم اینکه سیستم از پایداری ذاتی برخوردار باشد تا از عهده تشکل و پایداری مجدد برآید.[۲۲۹]

مدیریت و آشوب و تحول

چنین نیست که مدیران ملزم به نظاره و ایفای نقشی منفعل یا قربانی شدن در جریان آشوب و تحولات آشوبناک باشند؛ بلکه همانگونه که پیشتر نیز به اشارت آمد مدیران با داشتن سرلوحه کار و برنامه‌های الهامبخش نه تنها می‌توانند سوار بر امواج آشوب، مسیل آشوبناک را پارو بزنند تا در مقصد معینی جای گیرند، بلکه خواهند توانست (با تنظیم عوامل) خودآشوبهای متیقن را ایجاد و برای مقاصد خاص هدایت کنند ـ آنها نه تنها می‌توانند همچون پازاچ و قابله‌ای توانا، آشوبهای آبستن نوپدیدیها را ماهرانه بزایانند، بلکه می‌توانند نطفه نوآوریها را نیز در مهد اوضاع موجود بپرورانند تا نظمی مطلوب نیرو گیرد و از آشوب برآید و این امور با به کارگیری ساختارها، سیستمهای سازمانی، سرلوحه‌های کاری، برنامه‌های الهامبخش، نصب‌العین‌های مدیریتی، ارزشها، اصول و مفاهیم، میسر تواند بود.[۲۳۱-۲۳۰]

به منظور برآمدن نظم از آشوب و برای ایجاد آشوب متیقن و هدفمند در سازمان، به عنوان مثال، می‌توان سرلوحه‌های کاری چالش‌پذیر و در عین حال برخوردار از ایهام را نصب‌العین قرار داد. سیستم در برابر محرکه‌های بازار، تکنولوژیهای جدید، سازمانهای دیگر و مانند اینها باز گذارد و جریان انرژی و اطلاعات را به گونه‌ای مطلوب به سیستم سرازیر کرد. برنامه‌های تحقیق و توسعه و نوآوری را دامن زد. طوفانهای مغزی ایجاد کرد. نظرخواهیها را توسعه بخشید. از رهبری سازمان و عناصر فرهنگی برای تقویت نوسانهای موجود سود جست. با تمرکز بر تعارضات و تناقضات موجود در دیدگاه‌ها، جست و خیزها را توان بخشید. با تشکیل گروه‌های خود سازماندهنده برای حل تعارضات فرایندی پویا ایجاد کرد. اطلاعات انباشت یافته را به دانش تبدیل کرد و سازمانی آموزنده بنا نهاد. برنامه‌های آموزشی و سرانجام، ارتقای مهارتها را توسعه بخشید. نیز همواره باید در نظر داشت که سازمان ممکن است بتواند مسیرهای تحولی گوناگونی را طی کند و از اینرو باید در بازسازی ساختارها، پرداختن به جنبه‌های فرهنگی، اهداف درازمدت جدید، نگرشهای نوین و نویدبخشی آینده‌ای بهتر برای سازمان و کارکنان آن، اهتمام و مراقبت ورزید.[۲۳۲]

اگر چه هنوز نادانسته‌ها در زمینه آشوب بسیار است و بویژه در رویکردهای سازمانی آن و رهیافتهای مدیریت تحول، مطالب متعددی کاملاً مفهوم نیست و در هاله‌ای از ابهام قرار دارد در عین حال، می‌توان اصولی چند را برای مدیران برشمرد:

اول اینکه سازمانها نیازمند به توسعه علایق قابل توجهی در ساخت و پردازش فرایندهای داخلی هستند که بتواند ظرفیت و گنجایش تغییر و تحول را در آنها ارتقا بخشد.[۲۲۳]

دوم اینکه موفقترین سازمانها از ظرفیت و تواناییهای لازم برای آموزندگی و فراگیری از تجربیات و سرعت انتقال آموخته‌ها به عرصه عمل برخوردارند. یادگیری و دانش اندوزی باید ارتباطی تنگاتنگ با عمل و آزمون داشته باشد.[۲۳۴]

سوم اینکه فرایندهای ایجاد نظم و بی‌نظمی در سازمانها، ارتباطی نزدیک دارند. تعیین چارچوب و ترسیم مسیرهای لازم برای ایجاد نظم، توام با گسستن الگوهای موجود و رهگشایی در بروز بی‌نظمی‌های حساب شده برای نوآوریها ضرورت دارد. اینها همه، مستلزم اجرای چرخه‌های پیوسته‌ای از آزمون، عمل و آموزندگی است.[۲۳۵]

منابع و مآخذ و یادداشتها

1- Van Geert, P. (1994), "Dynamics of Development", In R. Port and T. Van Gelder (eds), "Mind as Motion", MIT Press.

2- Smith, L. B. Thelen, E, (1993), eds., "A Dynamic Systems

19- Robb, E. E. (1985), **"Cybernetics in Management Thinking"**, Journal of Systems Research , Vol. 1, No. 1, PP. 5-23.

20- Scott, R. W. (1987), **"Organizations : Rational Natural and Open Systems"**, Prentice Hall.

21- Ibid, Van Geert, P. (1994).

22- Ibid, Smith, L. B. and Thelen E. (1993).

23- Ibid, Schroeder, (1991).

24- Bak, P. and Chen K. (1991), **"Self - Organizing Criticality"**, Scientific American, 265(1), PP. 46-53.

25- Beek, P. (1989), **"Timing and Phase Locking in Cascade Juggling"**, Ecological Psychology , No. 1. PP. 55-96.

26- Van Geert, P. (1982), ed., **"Theory Building in Developmental Psychology"**, North Holland.

27- Hylan, J. P. (1989), **"The Fluctuation of Attention"**, Monograph Supplements of the Psychological Review, 2 (6), March.

28- Peitgen, H. O., Jurgens, H. and Saupe, D. (1992), **"Fractals for the Classroom. Part two: Complex Systems and the Mandelbrot Set"**, Springer.

29- Ta'eed, L. K Ta'eed, O. and Wright, J. E. (1988), **"Determinants Involved in the Perception of the Necker Cube : and Application of Catastrophe Theory"**, Journal of Behavioral Science, No. 33. PP. 97-115.

30- Van der Maas , H. and Maleroai P. (1992), **"A Catastrophe - Theoretical Approach to Cognitive Development"**, Psychological Review, No.99, PP. 392-417.

31- Van Geert, P. (1991), **"A Dynamic Systems Model of Cognitive and Language Growth"**, Psychological Review , No. 98, PP. 3-53.

32- Chaos

33- Xaos

34- Schuster, H. G. (1989), **"Deterministic Chaos: An Introduction"**, VCH Verlag.

۳۵ - آریانپور کاشانی، عباس و آریانپور کاشانی، منوچهر، ۱۳۶۸ ،فرهنگ دانشگاهی انگلیسی - فارسی،، انتشارات امیرکبیر، جلد اول.

۳٦ - همان مآخذ

Approach to Development: Applications", MIT Press.

3- Schroedor, M. (1991), **"Fractals, Chaos and Power Laws"**, Freeman Publishers.

4- Cvitanovich , P. (1986), **"Universality in Chaos"**, Adam Hilger. Ltd., Bristol.

5- Haken, H. (1981), ed., **"Chaos and Order in Nature"**, Springer.

6- Feigenbaum, M. (1980), **"Universial Behaviour in Nonlinear Systems"**, Los Alamos Science Publishers.

7- Forrester, J. (1966), **"Market Growth as Influenced by Capital Investment"**, Industrial Management Review, Vol. IX, No. 2, PP. 83-105.

8- Richardson , G. P. and Pugh, A. L. (1981), **"Introduction to System Dynamic, Modelling with Dynamo"**, MIT Press.

9- Goodman, M. R. (1976), **"Study Notes in System Dynamics"**, Wright - Allen Press.

10- Forrester, J. (1968), **"Industrial Dynamics After the First Decade"**, Management Science, Vol . 14. No.7, PP. 398-415.

11- Forrester, J. (1961), **"Industrial Dynamic"**, Productivity Press.

12- Drucker, P. (1980), **"Managing in Turbulent Times"**, Harper and Row Publishers.

13- Gleick, J. (1987), **"Chaos: Making a New Science"**, Viking Penguin.

14- Klir, G. (1985), **"Complexity : Some General Observations"**, Journal of Systems Research, Vol. 2, No. 1. PP. 131-140.

15- Beer, S. (1985), **"Diagnosing the System"**, John Wiley & Sons.

16- Powers, W. T. (1990), **"Control Theory : A Model of Organisms"**, Systems Dynamics Review, Vol.6, No.1, PP. 1-20.

17- Richardson, G. (1991), **"Feedback Thought in Social Science and Systems Theory"**, University of Pennsylvania Press.

18- Richmond, B. (1990), **"Systems Thinking: A Critical Set of Critical Thinking Skills for the 90,s and Beyond"**, Lyme Publishers.

۳۷ - همان مأخذ

38- Ibid, Schuster , H. G. (1989),

39- Ibid.

40- Faraday.

41- Rayleigh

42- Keolian, R. Putterman, S. J., Turkevich, L. A. Rudnick, I, and Rudnick, J. (1981), **"Subharmonic Sequences in the Faraday Experiment : Departures from Period - Doubling"**, Phys. Rev. Lett., No. 47, PP. 1133-39.

43- Poincare, H. (1892), **"Les Methods Nouvelles de la Mechanique Celester"**, Gauthier - Villars, Paris; in English, NASA Translation TTF-450-452 US Fed. Clearinghouse, Springfield, VA, USA.

44- Lorenz, E. N. (1963), **"Deterministic Nonperiodic Flow"**, Journal of the Atmospheric Science, No. 20, PP. 130-141.

45- Ibid.

46- Ruelle , D. and Takens F. (1971), **"On the Nature of Turbulence"**, Commun. Math. Phys, 20. PP. 167-92.

47- Strange Attractor

48- Li, T. Y. and Yorke, J. A. (1975), **"Period Three Implies Chaos"**, Am Math., Monthly, 82, PP. 985-991.

49- May, R. B. (1976), **"Simple Mathematical Models with very Complicated Dynamics"**, Nature , Vol. 261, PP. 459-467.

50- Feigenbaum, M. J. (1978), **"Quantitative Universality for a Class of Nonlinear Transformations"**, Journal of Statistical Physics, Vol. 19, No. 1, PP. 25-52.

51- Hao, B. L. (1990), **"Chaos", World Scientific"**. (1990).

52- Ibid, Schuster, H. G. (1989).

53- Deterministic Chaos; Ibid, Hao, (1990).

54- Self - Generated Noise; Ibid.

55- Dynamical Stochaticity; Ibid.

56- Intrinsic Stochaticity; Ibid.

57- Hamiltonian Stochaticity; Ibid.

58- Chaos; Ibid.

59- Ibid, Hao, B. L. (1990).

60- Ibid, Schuster, H. G. (1989).

61- Ibid.

62- Ibid, Lorenz, E. N. (1963).

63- Ibid, Schuster, H. G. (1989).

64- Butterfly Effect; Ibid , Lornez, E. N. (1963).

65- Ibid, Hao , B. L. (1990).

۶۶ - مولوی، مولاناجلال‌الدین محمد، (۱۳۶۸)، «مثنوی معنوی»، جلد دوم، دفتر چهارم، چاپ ششم، انتشارات مولی.

۶۷ - شبستری، محمود، (۱۳۶۸)، «گلشن راز»، نشر اشراقیه.

68- Ibid, Hao B. L. (1990).

69- Dissipative Systems.

70- Conservative Systems.

71- Ibid, Schuster, H. G. (1989).

72- Hao , B. L. (1989), **"Elementary Symbolic Dynamic and Chaos in Dissipative Systems"**, World Scientific.

73- Lichtenber, A. J. and Liebermann, M. A. (1982), **"Regular and Stochastic Motion"**, Springer-Verlag.

74- Bountis , T. C. (1981), **"Period - Doubling Bifurcations and Universality in Conservative Systems"**, Physica 3D, North Holland.

75- Ibid, Hao, B. L. (1989).

76- Ibid, May, R. B. (1976).

77- Feigenbaum, M. J. (1976).

78- Karlin, S. and Taylor, H. M. (1975), **"A Frist Course in Stochastic Processes"**, Academic Press.

79- Karlin, S. and Taylor, H. M. 1981, **"A Second Course in Stochastic Processes"**, Academic Press.

80- Devancy , R. L. (1986), **"An Introduction to Chaotic Dynamical Systems"**, Benjamin_Cummings Publishing Co. 81- Ibid.

82- Return Map; Jensen, R. V. (1987), **"Classic Chaos"**, American Scientist, Vol. 75, March - April, PP. 168-181.

83- Ibid.

84- Hale, J. and Kocak, H. (1991), **"Dynamic and Bifurcations"**, Springer Verlag.

85- Ibid.

86- Ibid, Jensen, R. V. (1987).

87- Period - 2 Cycle; Ibid.

88- Ibid, Hale , J. and Kocack , H. (1991).

89- Ibid, Jensen, R. V. (1987).

90- Ibid, Feigenbaum , M. (1980).

91- Ibid, Schuster , H. G. (1989).

92- Ibid, Hao, B. L. (1990).

93- Ibid, Hao, B. L. (1989).

۹۴ - معین، محمد، (۱۳۷۵)، «فرهنگ فارسی»، انتشارات امیرکبیر.

95- Bifurcation ; Ibid, Hale , J. and Kocack , H. (1991).

96- Period - Doubling Bifurcation, Ibid.

97- Iteration

98- Logistic Map.

99- Ibid, Feigenbaum, N. (1980).

100- Ibid, Schuster, H. G. (1989).

101- Ibid., Hao, B. L. (1990).

102- Bifurcation Regime ; Ibid, Schuster, H. G. (1989).

103- Periodic Regime, Ibid.

104- Chaotic Region, Ibid.

105 - Chaotic Regime, Ibid.

106- Ibid, Feigenbaum, M. (1980).

107- Ibid.

108- Periodic Windows.

109- Ibid, Feigenbaum, M. (1980).

110 - Ibid, Schuster, H. G. (1989).

111- Ibid, Hao, B. L. (1990).

112- Structural Universality.

113- Wiggins, S. (1990), **"Introduction to Applied Nonliner Dynamical Systems and Chaos"**, Sringer - Verlag.

114 - Ibid, Feigenbaum, M. (1980).

115- Ibid, Hao, B. L. (1990).

116- Ibid, Schuster, H. G. (1989).

117- Ibid, Rulle, D. and Takens, F. (1971).

118- Sreenivasan , K. (1985), **"Transitions and Turbulence in Fluid Flows and Low Dimensional Chaos"**, in : Davis , S. H. and Lumley , J. L., **"Frontiers in Fluid Mechanics"**, Springer - Verlag, P. 41.

119 - Argoul , F., Arneodo, A., Richetti, P., and Roux, J. C. (1987), **"Chemical Chaos from Hints to Contirmation"**, Accounts of Chemical Research, 20, PP. 436-503.

120 - Jensen, R. V. (1987), **"Chaos in Atomic Physics"**, Journal of Atomic Physics, 10. P. 319-328.

121- Casati, G. (1985), **"Chaotic Behaviour in Quantum Systems"**, Plenum Press. 1985.,

122- Harrison , R. G. (1986), and Biswas, D. J., **"Chaos in light"**, Nature, 321, 6068, PP. 394-401.

123- Oslen, L. F. and Degn, H. (1985), **"Chaos in Biological Systems** "Quarterly Review of Biophysics", 8. 2, PP. 165-225.

124 - Glass, L., Guevera, M. R Belair, J. and Shrier, (1984), **"Global Bifurcations of a Periodically Forced Bilogical Oscillator"**, Phys. Rev., A 29, PP. 1348-1356.

125 - Glass, L. , Guevara, M. R. and Shrier , A. (1983), **"Bifurcation and Chaos in a Periodically Stimulated Cardica Oscillator"**, Physical 7D, PP. 89-96.

126 - Jensen, R. V. and Urban, R. (1984), **"Chaotic Price Behavior in a Nonlinear Cobweb Model"**, Econ . Lett., 15., PP. 235-243.

127- Chen, P. (1988), **"Empirical and Theoretical Evidence of Economic Chaos"**, System Dynamics Review , Vol. 4, No. 1-2, PP. 81-108.

128- Saperstein , A. M. (1984), **"Chaos - a Model for the Outbreak of War"**, Nature, 309, PP. 303-315.

129- Ibid., Drucker, P. (1980).

130- Ibid., Richmond, B. (1990).

131- Ibid., Van Geert, P. (1982).

132- Ibid., Van Geert, P. (1994).

133- Ibid., Smith, L. B. (1993).

134- Ibid., Jensen, R. V. (1987).

135- Ibid., Cvitanovich, P. (1986).

136- Ibid., Haken, H. (1981).

137- Iterative.

138- Ibid., Hale, J. and Kocack, H. (1991).

139- Ibid., Wiggins, S. (1990).

140- Unstable Orbits; Ibid, Hale, J. and Kocack, H. (1991).

141- Ibid.

142- Ibid., Schuster, H. G. (1989).

143- Chaotic Set, Ibid., Wiggins, S. (1990).

144- Ibid.

145- Henon, M. (1976), **"A Two - Dimensional, Mapping with a Strange Attractor"**, Communications in Mathematical Physics, 50, PP. 69-77.

146- Ibid., Lorenz, E. N. (1963).

147- Grebogi, C., Ott, E. and York, J. A. (1987), **"Chaos, Strange Attractors, and Fractal Basin Boundaries in Nonlinear Dynamics"**, Science, 238, PP. 632-638.

148- Ding , M. Z. and Hao, B. L. (1988), **"Systematic of the Periodic Windows in the Lornez Model and its Relation with the Asymmetric Cubic Map"**, Communication in The o retical Physics, Vol. 9, No. 4, PP. 375-386.

149- Crutchfield, J. P. Farmer, J. D. Packard, N. H. and Shaw, R. S. (1986), "Chaos Scientific American, 254, PP. 46-57.

150- Ibid., Jensen, R. V. (1987).

151- Ibid., Henon, M. (1976).

152- Eckman, J. P. and Ruelle, D. (1985), **"Ergodic Theory of Chaos and Strange Attractors"**, Rev. Mod. Phys., 57, PP. 617-629.

153- Ibid., Schuster, H. G. (1989).

154- Ibid., Hao, B. L. (1990).

155- Ibid., Wiggins, S. (1990).

156- Hale, J. and Kocak , H. (1991).

157- Ibid., Henon, M. (1976).

158- Thomas, G. B. and Finney, R. L. (1991), **"Calculus and Analytical Geometry"**, Addison - Wesley.

159- Ibid., Devaney, R. L. (1986).

160- Dewdney , A. K. (1987), **"Computer Recreations: Beauty and Profundity : the Mandelbrot Set and a Folk of its Cousins Called Julia Sets"**, Scienticfic American, Nov. PP. 140-144.

161- Peitgen, H. O. Saupe, D. and Haeseler, F. V. (1984), **"Cayley's Problem and Julia Sets"**, Math, Intelligencer, 6. PP. 11-20.

162- Saupe , D. (1987), **"Efficient Computation of Julia sets and their Fractal Dimension"**, Physica, 28., D, PP. 358-70.

163- Ibid., Schuster, H. G. (1989).

164- Liapunov Exponent.

165- Ibid., Schuster, H. G. (1989).

166- Ibid.

167- Ibid.

168- Kapitaniak, T. (1988), **"Chaos in Systems With Noise"**, World Scintific.

169- Kolmogorov Entropy (k - Enteropy).

170- Nicolis, J. S. (1991), **"Chaos and Information Processing"**, World Scientific.

171- Ibid., Schuster, H. G. (1989).

172- Shannon, C. E. and Weaver, W. (1949), **"The Mathematical Theory of Communication"**, University of Illinois, Press.

173- Ibid., Nicolis, J. S. (1991).

174- Ibid.

175- Ibid, Schuster, H. G. (1989).

176- Ibid.

177- Grassberger, P. and Procaccia, I. (1983), **"Estimation of the Kolmogorov Entropy from a Chaotic Signal"**, Phys, Rev, 29. A , PP. 2591-2596.

178- Ibid., Nicolis , J. S. (1991).

179- Ibid., Kapitaniak, T. (1988).

180- Ibid.

181- Ibid., Schuster, H. G. (1989).

182- Jacobian Matrix.

183- Ibid., Schuster, H. G. (1989).

184- Beer, S. (1984), **"The Viable System Model : Its Provenance, Development, Methodology and Pathology"**, Journal of Operational Research Society, 35, PP. 7-26.

185- Klir , G. (1985), **"Complexity : Some General Observations"**, Systems Research, Vol. 2, No. 2, PP. 131-40.

186 - Espejo, R. and Harnden, R. (1989), **"The Viable System Model"**, John Wiley.

187- Ibid.

188- Ibid., Gleick, J. Harnden, R. (1989).

189- Ibid., Espejo, R. and Harnden, R. (1989).

190- Ibid., Gleick, J. (1987).

Incrementalism", Richard D. Irwin Publishers.

218- Quinn, J. B. (1988), "**Beyond Rational Management**", Jossey - Bass Publishers.

219- Senge, P. (1990), "**The Fifth Discipline: the Art and Practice of the Learning Organization**", Doubleday Publications.

220 - Senge, P. (1991), "**Transfoming the Practice of Management**", Conference on Systems Thinkings in Action, Nov. 14, 1991, Cambridge, Mass. Paper No. D - 4287, System Dynamics Group, MIT, Cambridge, Mass.

221- Ultra - Instability.

222- Liefer, R. (1989), "**Understanding Organizational Transformation Using a Dissipative Structure Model**", Human Relations, Vol. 42, No. 10, PP. 899-916.

223- Ibid.

224- Ibid., Prigogine, I. and Stenger, I. (1984).

225- Ibid.

226- Ibid., Drucker, P. (1989).

227- Ibid, Liefer, R. (1989).

228- Gemmill, G. and Smith, C. (1985), "**A Dissipative Structures Model of Organization Transformation**", Human Relation , Vol. 38, No. 8, PP. 751-66.

229- Ibid.

230- Ibid, Drucker, P. (1980).

231- Nonanka, I. (1988), "**Creating Organizational Order out of Chaos**", California Management Review, Spring, PP. 57-73.

232- Ibid.

233- Boynton, A. and Victor, B. (1991), "**Beyond Flexibility : Building and Managing the Dynamically Stable Organization**", California Management Review, Fall, PP. 53-67.

234- Ibid., Seng, P. (1991).

235- Ibid., Nonanka, I. (1988).

191- Beer, S. (1966), "**Decision and Control**", John Wiley & Sons.

192- Ashby, W. R. (1960), "**Design for a Brain**", Chapman and Hall.

193- Ashby, W. R. and Gardner, H. (1970), "**Connectance of Large Dynamic Systems : Critical Values of Stability**", Nature, PP. 228-237.

194- Dissipative Process.

195- Prigogine, I. and Nicolis, G. (1977), "**Self - Organization in Non Equilibrium System**", John Wiley & Sons.

196- Prigogine, I. and Stengers, I. (1984), "**Order Out of Chaos**", Bantam Books.

197- Ibid.

198- Ibid, Prigogine., I and Nicolis, G. (1977).

199- Ibid, Schuster, G. (1989).

200- Ibid., Hao, B. L. (1989).

201- Ibid, Lichtenbar, A. J. and Lieberman , M. A. (1982).

202- Ibid, Prigogine, I. and Nicolis, G. (1977).

203- Ibid, Prigogine, I. and Stengers, I. (1984).

204- Mathurana. H. and Varela, E. (1980), "**Autopoeisis and Cognition: The Realization of the Iving**", Reidl., Publishers,

205 - Autopoeisis.

206- Ibid., Maturana, H. and Varela, E. (1980).

207- Ibid.

208- Dissipative Structures Model.

209- Ibid, Drucker, P. (1980).

210- Transformation Theories.

211- Loye, D. and Eisler, R. (1987), "**Chaos and Transformation : Implications of Non - Equillirium Theory for Social Science and for Society**", Journal of Behavioral Science , 32, PP. 53-65.

212- Reiterate.

213- Ibid., Loye, D. and Eisler, R. (1987).

214- Ibid.

215- Ibid, Maturana, H. and Valera, E. (1980).

216- Ibid.

217- Quinn, J. B. (1980), "**Strategies for Change: Logical**