پژوهش‌نامهٔ انتقادی متون و برنامه‌های علوم انسانی، پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
ماه‌نامهٔ علمی ـ پژوهشی، سال هفدهم، شمارهٔ ششم، آذر ۱۳۹۶، ۸۵-۱۱۴

درآمدی انتقادی بر نظریه‌های «آشوب و پیچیدگی»

سید محمدحسین حسینی*

چکیده

هدف از نگارش این مقاله توصیف و نقد نظریه‌های آشوب و پیچیدگی است. بنابراین، از روش پژوهش «کاوش‌گری فلسفی انتقادی» استفاده شد. جامعهٔ آماری دربرگیرندهٔ همهٔ کتاب‌ها، مقالات، مطالعات، و پژوهش‌های مرتبط با موضوع بود که حداکثر ممکن منابع به‌روش نمونه‌گیری هدف‌مند، به‌منزلهٔ نمونه، انتخاب شدند. داده‌های موردنیاز ازطریق سیاههٔ یادداشت‌برداری گردآوری و اطلاعات به‌روش کلامی و استنتاج منطقی تحلیل شدند. براساس یافته‌های پژوهش، نظریهٔ آشوب علم مطالعهٔ سیستم‌های پیچیده، پویا، غیرخطی، دور از تعادل، و نظریهٔ پیچیدگی علم مطالعه، توصیف، و تبیین رفتار سیستم‌های انطباقی پیچیده است که با ویژگی‌های اثر پروانه‌ای، مجذوب‌کننده‌های ناشناس، خودشباهتی، ظهوریابندگی، حلقه‌های بازخور، بی‌تعادلی، خودسازمان‌دهی، آشیانه‌ای‌بودن، شبکه‌ای‌بودن، کل‌نگری، غیرخطی، و پیش‌بینی‌ناپذیربودن شناخته می‌شوند. این نظریه‌ها با برداشت کوهنی، یک نظریهٔ علمی و با مفهوم علوم نرم، یک علم و به‌دلیل زیرسؤال‌بردن پارادایم مدرنیسم و ارائهٔ مفروضات جای‌گزین، پارادایم محسوب می‌شوند.

کلیدواژه‌ها: نظریهٔ آشوب، نظریهٔ پیچیدگی، نقد، علم.

۱. مقدمه و تبیین مسئله

عصر اخیر عصر تغییرات شگفت‌انگیز در حوزه‌های مختلف علمی، فناوری، اقتصادی، سیاسی، و ... است. یکی از این تغییرات شگفت‌انگیز تغییر در مفروضات علم است.

* دکترای برنامه‌ریزی درسی و عضو پژوهشگاه مطالعات آموزش‌وپرورش، Hosseini261@gmail.com
تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۴/۱۹، تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۶/۲۸

مفروضاتی که از چهارصد سال قبل تا نیمهٔ دوم قرن بیستم ثابت مانده و نظرورزی و عمل حوزه‌های مختلف را شکل داده‌اند. مفروضاتی شامل ایستایی یا ثبات جهان و پدیده‌های آن (Toulmin 1972)، قطعیت‌گرایی (Hoefer 2016; Friedman cited Leclercq et al. 2016)، خطی‌بودن و علیت خطی (Northrop 2010)، کاهش‌گرایی یا تقلیل‌گرایی (Lucas Jr. 2016; Nagel 1998)، و پیش‌بینی‌پذیربودن (Chappell 1989; Morrison 2008) که با «شکاف بزرگ دکارتی» شکل گرفته‌اند (Fitzgerald and Eijnatten 2002) و با فعالیت‌های عملی ایساک نیوتن به پارادایم مدرنیسم یا نیوتنیسم تبدیل شدند (Gleick 2011).

پس از تکوین پارادایم مدرنیسم و ایدئولوژی قطعیت‌گرایی علمی نیوتن، کار علمی ویژگی‌های مشخصی پیدا کرد که عبارت بودند از:

۱. جهان پیش‌بینی‌پذیر است. پیش‌فرض علم این است که ازطریق به‌دست‌آوردن دانش تقریبی دربارهٔ شرایط اولیهٔ سیستم، هم‌چنین، دانستن قوانین فیزیکی و با داشتن ظرفیت محاسبهٔ کافی می‌توان رفتار تقریبی سیستم را محاسبه و پیش‌بینی کرد؛

۲. اندازه‌گیری دقیق امکان‌پذیر است و هرچه محاسبات مربوط به یک وضعیت دقیق‌تر باشد، حدس آیندهٔ این وضعیت از دقت بیش‌تری برخوردار خواهد شد؛

۳. تلاش علمی عبارت است از تجزیه و شکستن یک سیستم به اجزای تشکیل‌دهندهٔ آن و درنهایت استفاده از قوانین و مقررات علمی برای پیش‌بینی رفتار سیستم؛

۴. فرض اساسی علم این است تغییرات کوچک تأثیرات ناچیزی در سیستم دارند و می‌توان این اثر را نادیده گرفت یا حذف کرد؛ بنابراین، بی‌دقتی کوچک در اندازه‌گیری فقط تأثیر بسیار کمی در نتایج تولید خواهد داشت (Chappell 1989).

پارادایم مدرنیسم اگرچه سبب پیشرفت‌های متعددی برای بشر شد، به‌نحوی‌که برای بسط همگانی آن در همهٔ ابعاد زندگی بشری تلاش‌های متعددی صورت گرفت و روان‌شناسان، جامعه‌شناسان، آموزش‌وپرورشی‌ها، اقتصاددانان، و دانشمندان سیاسی دربرابر جام مقدس «پیش‌بینی» مسخ شدند، اما در همان پیش‌فرض‌های اولیهٔ خود با چند کاستی عمدهٔ زیر دست‌به‌گریبان بود:

- نبود ابزارهایی برای اندازه‌گیری کامل یا دانش تقریبی برای آشکارکردن شرایط اولیهٔ سیستم؛
- کافی‌نبودن دانش مرتبط با قوانین و مقررات ساخت اجزای سیستم؛
- وجود نداشتن ظرفیت محاسبهٔ ضروری (.ibid).

تعارض ناشی از پذیرش گستردهٔ علم و هم‌چنین کاستی‌های آن سبب شد تا دانشمندان زیادی بر این کاستی‌ها متمرکز شوند و برای رفع آن‌ها تلاش کنند. این تلاش‌ها تا دهه‌های ۱۹۵۰ و ۱۹۶۰م نتایج قابل‌توجهی درپی نداشت، اما در این دهه‌ها سه پیشرفت مهم در علوم سبب احیای جهان قطعیت‌گرای نیوتنی در سطح کلی شد. به‌عبارتی دقیق‌تر، فناوری رشد یافت و به‌تبع آن امکان اندازه‌گیری اطلاعات یا دانش تقریبی ازطریق ابزارهای اندازه‌گیری دارای دقت بالا مهیا شد. نظریه‌های نسبیت و مکانیک کوانتوم سبب شدند تا فیزیک‌دانان باور کنند که همهٔ قوانین فیزیکی را وضع کرده‌اند. سرانجام فناوری کامپیوتری محاسبات بسیار زیاد را ممکن کرد و سبب شد تا خیلی از محاسباتی که به‌صورت دستی تقریباً غیرممکن بودند انجام‌پذیر شوند.

احیای جهان قطعیت‌گرای نیوتنی و موج خوش‌بینی ناشی از آن سبب شد تا سیستم‌های پیچیده در دیسیپلین‌های علمی مختلف به اجزای خود شکسته، قوانین حاکم بر روابط اجزای آن فرضیه‌سازی، و برای فرمول‌بندی‌کردن این روابط معادله‌هایی ارائه شوند. فعالیت‌های لازرفیلد (Lazerfield) در علوم اجتماعی، کاسیو (Cascio) در روان‌شناسی کاربردی، هفت قانون ویکتور وروم (Victor Vroom) دربارهٔ سبک‌های رهبری در مدیریت، و جنبش تربیت معلم صلاحیت‌مدار (CBTE) در آموزش‌وپرورش نمونه‌هایی از ورود روش علمی کلاسیک در دیسیپلین‌های غیرفیزیکی ـ غیرطبیعی است (همان).

بااین‌همه، خوش‌بینی جدید جهان قطعیت‌گرای نیوتنی چندان طول نکشید و پارادایم مدرنیسم در حوزهٔ سیستم‌های باز عملاً متوقف شد و این توقف دقیقاً در جایی رخ داد که نظریه‌های آشوب و پیچیدگی آغاز شدند (Sala 2011). به‌بیانی دقیق‌تر، یافته‌های علمی ادوارد لورنز در دههٔ ۱۹۷۰م (Smitherman 2004) ازیک‌طرف و فعالیت‌های علمی در حوزه‌های سه‌گانهٔ سایبرنتیک، نظریهٔ سیستم‌های عمومی، و دینامیک غیرخطی در نیمهٔ دوم قرن بیستم که منجر به نظریهٔ پیچیدگی شدند (Abraham 2011) ازطرف‌دیگر، سبب کشف ویژگی‌هایی از سیستم‌های زنده شدند که تفاوت‌هایی آشکار با مفروضات مدرنیسم داشتند و تزلزلی اساسی در کاربرد مدرنیسم در حوزهٔ سیستم‌های زنده ایجاد کردند. نظریه‌هایی که در سطح بین‌المللی امروزه بسیاری از حوزه‌های علمی را تغییر داده و می‌دهند، اما در سطح ملی آن‌طورکه باید مدنظر قرار نگرفته‌اند. بنابراین، این‌که نظریه‌های آشوب و پیچیدگی چیستند؟، چه ویژگی‌هایی دارند؟، سبب چه مفروضاتی شده‌اند؟، و چه نقدهایی بر آن‌ها وارد است؟ موضوعی است که در این مقاله درصدد توصیف و تبیین آن‌هاییم.

۲. روش‌شناسی پژوهش

برای بررسی موضوع از روش پژوهش «کاوش‌گری فلسفی انتقادی» استفاده شد. کاوش‌گری فلسفی انتقادی یعنی حاکمیت تأمل فلسفی بر عمل (ویل، به‌نقل‌از هاگرسون ۱۳۸۷) و جست‌وجوی مبنای منطقی، شیوه‌های استدلال، ارزش‌های راه‌نما، یا هنجارهای حاکم بر اندیشه‌ها و اعمال. از مهم‌ترین اهداف آن می‌توان به ابهام‌زدایی، فهم، و شفاف‌سازی، تدارک گزینه‌های بدیل، فراتررفتن، راه‌بردشدن به‌سوی عقلانیت، و بهبود عمل اشاره کرد. مراحل این روش شامل تشریح مفروضات روش‌شناختی و هستی‌شناختی سنت پژوهشی دردست بررسی، مقایسهٔ سنت‌های پژوهشی چندگانه به‌منظور توجه به مسئلهٔ تحت‌رسیدگی، و تعیین کارآیی شایسته‌ترین پارادایم یا سنت با اعمال معیار پیش‌روندگی است (هاگرسون ۱۳۸۷)؛ البته در زمینهٔ نقادی یا کاوش‌گری انتقادی، ویلیز و مک‌کاچن نیز مراحلی را معرفی کرده‌اند. مراحل نقادی ازنظر ویلیز (۱۳۸۷) دربرگیرندهٔ مشاهده، توصیف، تفسیر، و ارزیابی و ازنظر مک‌کاچن (به‌نقل‌از بارون ۱۳۸۷) شامل توصیف (description)، تفسیر (interpretation)، و ارزیابی (assessment) است. توصیف یعنی به‌تصویرکشیدن کیفیت‌های یک موقعیت یا نظریه یا سیستم، حقایق اساسی و مهم آن، و هم‌چنین زمینهٔ وسیع‌تری که پدیده یا نظریه در آن قرار دارد (ویلیز ۱۳۸۷؛ بارون ۱۳۸۷). تفسیر یعنی نسبت‌دادن معانی به موقعیت؛ معانی‌ای که می‌توانند از درون یا بیرون موقعیت، نظریه، یا سیستم حاصل شوند؛ البته این گام از نقادی به درنظرگرفتن معیارهایی برای نقد نیازمند است. ارزیابی نیز شامل اظهارنظر دربارهٔ شایستگی و ارزش کل موقعیت یا اجزای آن است. بنابراین، در این مقاله، با هدف درک بهتر روش و فرایند نقادی نظریه‌های آشوب و پیچیدگی، مراحل کاوش‌گری فلسفی انتقادی با مراحل نقادی تلفیق و قالب کلی نقادی شامل مراحل زیر مدنظر قرار گرفت:

جدول ۱. مراحل قالب کلی نقادی

مرحله	فعالیت
۱. توصیف نظریه‌های آشوب و پیچیدگی	مفهوم و ویژگی‌های نظریه‌ها
۲. تفسیر نظریه‌های آشوب و پیچیدگی	تحلیل و تفسیر نظریه‌ها براساس معیارها
۳. ارزیابی و تعیین کارآیی نظریه‌ها	تعیین نقاط قوت و ضعف نظریه‌ها و قضاوت دربارهٔ آن‌ها قضاوت دربارهٔ اثرگذاری نظریه‌ها در عمل

هم‌چنین در بخش معیارهای نقادی نظریه‌ها، معیارهای زیر مدنظر قرار گرفتند:

جدول ۲. معیارهای نقادی نظریه‌ها

معیار تفسیر	شرح معیار
دلالت‌های نظری	آیا این نظریه‌ها، حداقل‌های لازم برای نظریه، علم، یا پارادایم را دارند؟
دلالت‌های عملی	این نظریه‌ها چه کاربردهایی در دنیای علمی داشته‌اند؟

برای بررسی نظریه‌های آشوب و پیچیدگی، حداکثر ممکن مطالعات و پژوهش‌های مرتبط با موضوع، به‌روش نمونه‌گیری هدف‌مند و ازطریق سیاههٔ یادداشت‌برداری، تحلیل شدند. درنهایت، اطلاعات به‌روش کلامی، تصویری، و استنتاج منطقی توصیف، تحلیل، و بررسی شد.

۳. تحلیل داده‌ها و اطلاعات

متناسب با مراحل کاوش‌گری فلسفی انتقادی، یافته‌های مربوط به سؤالات به شرح زیرند:

۱.۳ معرفی و توصیف نظریه‌های آشوب و پیچیدگی و ویژگی‌های آن‌ها

نظریه‌های آشوب و پیچیدگی در نیم‌قرن اخیر مطرح شده‌اند و از مبانی نظری و پیشینهٔ پژوهشی قابل‌توجهی برخوردارند و ادبیات غنی‌ای دربارهٔ آن‌ها وجود دارد. بنابراین، نمی‌توان تمامی جنبه‌های آن‌ها را در یک مقاله به‌طور عملی توصیف کرد و در این مقاله فقط مفهوم و ویژگی‌های آن‌ها مطرح شده است.

۱.۱.۳ نظریهٔ آشوب

«آشوب» واژه‌ای برآمده از واژهٔ یونانی «χάος» (Sala 2011; Leadbetter 2000; Vocabulary 2017) به‌منزلهٔ حالت تهی یا بی‌شکل قبل از خلقت جهان یا کیهان در اسطوره‌های خلقت یونانی، شکاف اولیهٔ ایجادشدهٔ اولین جدایی آسمان و زمین (Kirk et al. 2003)، یک فضای خالی در جهان است که «اروس» (eros) از آن‌جا آمد و دستوری الهی صادر کرد و بعدازآن همه‌چیز کامل شد (Leadbetter 2000). این واژه اگرچه در لغت به‌معنی فقدان سازمان‌دهی یا نظم کامل، تودهٔ بی‌نظم، منسوخ، شکاف یا پرتگاه، آشفته‌بازار (*Dictionary Reference* 2015; *The Free Dictionary* 2016)، هرج‌ومرج و آشفتگی کامل

(*Oxford English Dictionary* 2002)، متروک، تودهٔ بی‌شکل، حالت سردرگمی مطلق و یک توده یا ترکیب مغشوش (*Dictionary Merriam-Webster* 2016)، و یک موقعیت یا مکان دارای بیش‌ترین بی‌نظمی یا آشفتگی (Sala 2011) است و در برداشت عمومی جامعهٔ علمی مدرن «سردرگمی (confusion)، تیمارستان (bedlam)، اغتشاش (anarchy)، دوزخ (pandemonium)، درهم‌وبرهمی (disarray)، و دیوانگی (madness)» در نظر گرفته می‌شود (Microsoft's thesaurus, cited Fitzgerald and Eijnatten 2002)، اما در دنیای علمی تعابیر متفاوتی برای آن ارائه شده است.

تعابیری مانند نظم در بی‌نظمی (Gleick 2011; Hayles 1990)؛ شکلی مرموز از نظم (Calder, cited Siemens 2014)؛ یک حالت بی‌سازمان از ماده و نه حالتی بی‌نظم از آن (Abel 2011)؛ وابستگی حساس دربارهٔ شرایط اولیه در سیستم‌های غیرخطی (Bishop 2009)؛ یک فرایند غیرخطی معین که تصادفی نیست، اما تصادفی به‌نظر می‌رسد (مشیری ۱۳۸۱)؛ فرایندهایی که در آن‌ها تغییرات به‌صورت رشد و پیشرفت زمانی اتفاق می‌افتد و متغیرها اگرچه به‌نظر براساس احتمال پیشرفت می‌کنند، رفتار آن‌ها براساس قوانین دقیق صورت می‌گیرد (Lorenz 2005)؛ رفتار سیستم‌هایی که از قوانین قطعیت‌گرایانه پیروی می‌کنند، اما به‌صورت تصادفی و پیش‌بینی‌ناپذیر ظاهر می‌شوند؛ سیستم‌هایی که به‌شدت به شرایط اولیه حساس‌اند و تغییرات کوچک در این شرایط می‌تواند به نتایجی کاملاً متفاوت منجر شود (*Dictionary Reference* 2015)؛ و رفتار غیردوره‌ای (aperiodicity) ناپایدار در سیستم‌های پویای غیرخطی جبری (قطعی) (Kellert, cited Bishop 2009) که سبب شکل‌گیری نظریهٔ جدیدی شده است که عبارت است از:

- طبقهٔ جدیدی از علم که با سیستم‌هایی سروکار دارد که تکامل آن‌ها به حساسیت بسیار بالا دربارهٔ شرایط اولیه وابسته است (*The American Heritage, New Dictionary of Cultural Literacy* 2005)؛
- علم سیستم‌های پیچیده، پویا، غیرخطی، مشارکتی ــ خلاق، و دور از تعادل (Fitzgerald and Eijnatten 2002)؛
- پارادوکسی دربارهٔ نظم ناشی از بی‌نظمی در یک فرایند پویا و تحولی (Haynes 2015)؛
- مطالعهٔ سیستم‌های پویای غیرخطی پیچیده (Levy 1994; Sala 2011)؛ پیچیده، چون دارای متغیرهای زیاد و معادله درون معادله است و غیرخطی، چون معادله همانند

کدنویسی برنامه قابل‌حل نیست و پویا، چون هر تغییری به چشم‌انداز و عوامل مختلف و متعددی بستگی دارد (Sala 2011)؛

- مطالعهٔ کیفی رفتار دوره‌ای ناپایدار در سیستم‌های پویای غیرخطی جبری (قطعی) (Kellert, cited Bishop 2009)؛
- علم مطالعهٔ سیستم‌های دارای رفتارهای نامنظم، غیرخطی، پیش‌بینی‌ناپذیر، و پیچیده، اما دارای یک الگوی نظم غایی در همهٔ این بی‌نظمی‌ها (اعتباریان ۱۳۸۶).

مطالعات نیم‌قرن اخیر دربارهٔ نظریهٔ آشوب سبب شناسایی ویژگی‌های مختلف آن، به شرح جدول زیر، شده است:

جدول ۳. ویژگی‌های مختلف نظریهٔ آشوب در مطالعات نیم‌قرن اخیر

اندیشمند	ویژگی
لورنز (۲۰۰۵)	اثر پروانه‌ای و مجذوب‌کننده‌های ناشناس
اسمیت (به‌نقل‌از بیشاپ ۲۰۰۹)	وابستگی حساس یا اثر پروانه‌ای، قطعیت‌گرایی، و غیرخطی‌بودن
نادرلیانسکی و دیگران (۲۰۰۸)	غیرخطی‌بودن، پیش‌بینی‌ناپذیربودن، وابستگی درونی، تولیدات هم‌افزایانه (سینرژتیک)، خودزایندگی، محدودیت‌ها، ارتباطات معکوس، خودسازمان‌دهی
فیتزجرالد و اینتن (۲۰۰۲)	آگاهی (consciousness)، اتصال (connectivity)، عدم‌قطعیت (indeterminacy)، ظهوریابندگی (emergence)، و اتلاف (dissipation)
اسمیترمن (۲۰۰۴)	خودشباهتی یا الگوهای فرکتالی، بی‌نهایتِ محدودشده (bounded infinity)، و پیش‌بینی‌ناپذیربودن
رستگاری و ثقفی (۱۳۸۴)	اثر پروانه‌ای، سازگارسازی پویا، مجذوب‌کننده‌های ناشناس، و خودشباهتی

باتوجه‌به جدول مذکور، پراظهارترین ویژگی‌های این نظریه عبارت‌اند از:

- اثر پروانه‌ای یا وابستگی حساس: به این معنی که رخدادهای کوچک و تغییراتی اندک، مانند بال‌زدن یک پروانه در آمازون، در شرایط اولیه می‌توانند تأثیراتی بسیار گسترده و نتایج وسیع و پیش‌بینی‌نشده‌ای در برون‌دادها و ستانده‌های سیستم، مانند توفانی در تگزاس، داشته باشند (جیسون، به‌نقل‌از اکوانی و موسوی‌نژاد ۱۳۹۱؛ Lorenz 2005)؛
- مجذوب‌کننده‌های ناشناس یا غریب: به‌معنی الگوهای پیچیدهٔ پیش‌بینی‌ناپذیر ظاهرشده درطی زمان معین (Lorenz 2005) که اگرچه بی‌نظم‌اند، سبب تبدیل داده‌های به‌ظاهر غیرمنتظره به داده‌های قابل‌توجه می‌شوند (Nadrljanski et al. 2008)؛

- خودشباهتی یا شباهت درونی و فرکتالی‌بودن: به‌معنی فرکتالی یا خودمانایی‌بودن پدیده‌های آشوب‌ناک، به‌نحوی‌که درصورت بزرگ‌نمایی یک بخش شکل آن همانند شکل کلی آن پدیده می‌شود (Gros 2010)؛
- غیرخطی‌بودن: به‌معنی تبعیت‌نکردن سیستم‌های آشوب‌ناک از اصل برهم‌نهی، نبود ارتباطی روشن بین درون‌دادها و برون‌دادهای سیستم، وجود نقاط تعادل جداگانهٔ متعدد در این سیستم‌ها، و نشان‌دادن ویژگی‌هایی مانند چرخهٔ محدود، انشعاب، و آشفتگی (Rickles et al. 2007)، وجود روابط نابرابر بین نیروهای مؤثر در سیستم و پاسخ‌های آن‌ها، تفکیک‌ناپذیربودن تأثیر متغیرهای مختلف در سیستم، برهم‌کنش‌گری اجزای سیستم، و هم‌چنین عوامل مختلف مؤثر در آن (کرم ۱۳۸۹)؛
- پیش‌بینی‌ناپذیربودن: به این معنی که رفتار سیستم‌های آشوب‌ناک را به‌دلیل وابستگی حساس یا اثر پروانه‌ای، و درنتیجه غیرممکن‌بودن درک تمامی عوامل مؤثر در سیستم و تغییر دائمی محیط، نمی‌توان با درجه‌ای از اطمینان یا به روش‌های منظم و ازقبل تعیین‌شده پیش‌بینی کرد (Johnson, cited Wood and Butt 2014; Mason 2008; Smitherman 2004).

۲.۱.۳ نظریهٔ پیچیدگی

پیچیدگی به‌معنی کیفیت یا حالتی بغرنج و دشوار ازنظر فهمیدن، انجام‌دادن، یا ساختن است (*Dictionary Merriam-Webster* 2016)، دارای بخش‌ها یا جنبه‌های به‌هم‌پیوستهٔ زیاد (*The Free Dictionary* 2016)، یا نیروی ماوراءالطبیعی به‌ظاهر مسئول اختلالات جهان است (Antunes and Gonzalez 2015)، تعریف آن بسیار دشوار است و دربین دانشمندان تعریف منحصربه‌فردی از آن یافت نمی‌شود (Johnson 2009). بااین‌همه، تعاریف متعددی دربارهٔ پیچیدگی ارائه شده است که برخی از آن‌ها عبارت‌اند از:

- سیستم‌هایی که کل آن‌ها بزرگ‌تر از مجموع بخش‌هایشان است (Goodwin, cited Morrison 2008)؛
- واحدها یا سیستم‌هایی که ویژگی‌هایی را نشان می‌دهند که بیش از مجموع صفات و ظرفیت‌های تک‌تک عوامل است (Davis and Sumara 2006)؛
- رفتارهای نوظهور ناشی از تعاملات درونی و بیرونی بین سیستم‌های خودسازمان‌ده و سیستم‌های سازگارشونده (انطباقی) (Richardson 2005)؛

- مجموعه‌ای از عناصر به‌هم‌پیوسته که رفتار جمعی آن به‌روشی شگفت‌انگیز و متضاد با خواص اجزا و ارتباطات درونی آن‌ها شکل می‌گیرد (Jakobsson and Working Group 1 Collaborators 2006)؛
- سیستمی با تعاملات متعدد بین مؤلفه‌های بسیار متفاوت آن (Rind 1999)؛
- سیستم یا مؤلفه‌ای که به روشی برنامه‌ریزی و عمل می‌کند که درک و فهم آن دشوار و متغیر است (Weng et al. 1999)؛
- سیستم‌هایی با عناصر متعدد که این عناصر را در سازگاری یا واکنش به یک الگو خلق می‌کنند (Arthur 1999).

نظریه یا علم پیچیدگی نیز عبارت است از:

- زمینهٔ جدید علمی که نحوهٔ منجرشدن رفتار بخش‌های یک سیستم به رفتار جمعی سیستم و نحوهٔ تعاملات سیستم با محیط خودش را مطالعه می‌کند (The New England Complex Systems Institute/ NESCI 2000).
- علم مطالعه، توصیف، و تبیین رفتار سیستم‌های انطباقی پیچیده (Olmedo 2010)؛
- مطالعه و درک رفتارهای نوظهور و شکل‌گیری الگوهای رفتاری براثر تعامل عوامل سیستم با یک‌دیگر (Horn 2008)؛
- نظریه‌ای که سیستم‌های پویای پیچیده‌ای را مطالعه می‌کند که پیش‌بینی‌ناپذیرند و در همان زمان ویژگی‌های جدید را تولید می‌کنند و به‌صورت خودبه‌خودی به ساختارهای جدید خودسازمان‌دهی می‌شوند (Olmedo 2010)؛
- مطالعهٔ پدیده‌ای که از مجموعه‌ای از اشیای به‌هم‌پیوسته پدیدار می‌شود (Johnson 2009)؛
- علم شناسایی و تشریح سیستم‌هایی که برای فهمیدن یا الگوسازی ازطریق محاسبات خطی بسیار پیچیده‌اند، اما کاملاً تصادفی نیستند (Mitchell 2009)؛
- علم جدید مطالعهٔ نظم و ترتیب‌ها به روش‌هایی نو و نه رویکردی جدید برای مطالعهٔ پیچیدگی جهان (Phelan 2001)؛
- روشی برای بررسی سیستم‌های پیچیدهٔ طبیعی و اجتماعی (Jackson 2002)؛
- نظریه‌ای که نشان می‌دهد چگونه تعداد زیادی از بخش‌ها می‌توانند ازطریق خودسازمان‌دهی به واحدهایی تبدیل شوند که الگو را تولید و اطلاعات را ذخیره کنند و در تصمیم‌سازی جمعی درگیر شوند (Parrish and Edelstein-Keshet 1999).

همانند نظریهٔ آشوب، پژوهش‌گران مختلف طیف متنوعی از ویژگی‌ها را به مفهوم چتری علم پیچیدگی نسبت می‌دهند (Davis et al. 2004). برخی از ویژگی‌های نظریهٔ پیچیدگی یا سیستم‌های پیچیده به شرح جدول زیر است:

جدول ۴. ویژگی‌های مختلف نظریهٔ پیچیدگی در مطالعات نیم‌قرن اخیر

اندیشمند	ویژگی
لیدیمن و دیگران (۲۰۱۳)	حلقه‌های بازخور، درجاتی از نظم به‌خودی‌خود، نیرویی از نظم (robustness of the order)، سازمان نوظهور، کثرت (numerosity)، و سازمان‌های سلسله‌مراتبی
سیلیرز و پریسر (۲۰۱۰)، لیزاک (۱۹۹۹)، و سیلیرز (۱۹۹۸)	داشتن عناصر متعددی که خودشان می‌توانند ساده باشند؛ وجود ارتباط پویا بین این عناصر؛ غنی‌بودن ارتباطات بین عناصر، به‌نحوی‌که هر عنصر می‌تواند عناصر متعددی را در سیستم تحت‌تأثیر قرار دهد؛ تعامل غیرخطی بین عناصر، به‌نحوی‌که علل کوچک می‌توانند نتایج بزرگی داشته باشند (و برعکس)؛ رخ‌دادن تعاملات در دورهٔ زمانی کوتاه، اما به‌دلیل هم‌راهی با دیگر اجزا دارای تأثیراتی بلندمدت؛ وجود حلقه‌ها و مسیرهای بازخوری متعدد در سیستم (اثر هر فعالیت ممکن است به خودش بازگردانده شود)؛ بازبودن و تعامل سیستم با محیط؛ کارکردن در شرایط دور از تعادل؛ داشتن یک تاریخچه و تحول ازطریق زمان و درنظرگرفتن گذشته به‌عنوان هم‌مسئول (co-responsible) رفتار فعلی؛ و کل‌نگربودن سیستم و درنظرگرفتن آن به‌منزلهٔ یک کل.
کلارک و کالینز (۲۰۰۷)	شبکه‌ای‌بودن، حلقه‌های بازخور، خودسازمان‌دهی، بی‌تعادلی (nonequilibrium)، و ماهیت آشیانه‌ای یا لایه‌لایه.
پاورد و دوگدیل (به‌نقل‌از اولمدو ۲۰۱۰) و اسنودن و بون (به‌نقل‌از همان)	ظهوریابندگی و خودسازمان‌دهی؛ پویایی، ناهم‌سازی محدود (limited descomponibility)؛ ارتباطات انطباقی غیرخطی؛ وابستگی بلندمدت، داشتن تاریخ، و تحول برگشت‌ناپذیری؛ فقدان قطعیت‌گرایی؛ و لایه‌لایه‌بودن
نی و برنچ (۲۰۰۸)	داشتن واحدهای پیچیدهٔ مستقل؛ داشتن واحدهای چندگانه درون هر بخش؛ داشتن کارکردهای به‌هم‌پیوسته در نهادهای درون پدیده؛ جست‌وجوی یک هدف عمومی ازطریق یک فرایند سازگارسازی؛ تعاملات پیش‌بینی‌ناپذیر درون خود پدیده و بین پدیده و محیط آن
موریسون (۲۰۰۸)	انطباق، سیستم باز، یادگیری، بازخور، ارتباط، ظهوریابندگی، و خودسازمان‌دهی
انگلیش (۲۰۰۷)	مجموعه‌ای از بخش‌های به‌هم‌پیوسته، تعاملات بین بخش‌ها، کل‌نگربودن یا عمل‌کردن یک سیستم به‌منزلهٔ یک کل، ظهوریابندگی (ارتباط بین بخش‌ها و کل)، و تأثیر متقابل (اثرگذاری بخش‌های سیستم در یک‌دیگر)
ریکلز و دیگران (۲۰۰۷)	خودسازمان‌دهی، دور از تعادل بودن، بازبودن (openness)، بازخور و تنومند یا قوی‌بودن (robust)[۱] یا وابستگی به مسیر (path dependence)، تاریخ‌مند یا غیرمارکوین (non markovian)[۲] بودن
دیویس و سومارا (۲۰۰۶)	خودسازمان‌دهی‌شده، ظهور پایین به بالا، ارتباطات دامنه‌کوتاه (اکثر اطلاعات درون یک سیستم پیچیده بین همسایه‌های نزدیک تبادل می‌شود، به این معنی که انسجام سیستم عموماً به وابستگی‌های بی‌واسطهٔ عوامل، نه یک کنترل متمرکز یا مدیریت بالا

اندیشمند	ویژگی
	به پایین بستگی دارد)، ساختار آشیانه‌ای (شبکه‌های مقیاس آزاد)، مرزبندی‌شده به‌صورت مبهم (پدیدهٔ پیچیده باز است به این معنی که آن‌ها به‌صورت مداوم مواد و انرژی را با محیط خود مبادله می‌کند، بنابراین، قضاوت دربارهٔ لبه‌های آن‌ها ممکن است نیاز به تحمیل‌های اجباری و نادیده‌گرفتن‌های ضروری داشته باشد)، به‌صورت سازمانی بسته‌شده (پدیدهٔ پیچیده بسته است، به این معنی که ذاتاً پایدار است و الگوهای رفتاری یا سازمان‌های درونی آن‌ها، حتی اگر با بسترهای پویای خود مواد و انرژی تبادل کند، تداوم می‌یابد)، ساختار تعیین‌شده (یک مجموعهٔ پیچیده می‌تواند ساختار خودش را تغییر دهد به این صورت که برای حفظ حیات خود با بسترهای پیچیده سازگار شود؛ به‌عبارتی‌دیگر، سیستم‌های پیچیده سوابق خود را مجسم می‌کنند، آن‌ها یاد می‌گیرند و بنابراین براساس تکامل داروینی بهتر توصیف می‌شوند تا مکانیک نیوتنی)، و دور از تعادل (سیستم‌های پیچیده نمی‌توانند در تعادل عمل کنند، درواقع، برای یک سیستم پیچیده تعادل پایدار دلالت بر مرگ دارد).
برتولیا و وایو (۲۰۰۵)	شبکه‌های بازخور، دور از تعادل بودن، پیش‌بینی‌ناپذیربودن، و برنامه‌ریزی‌ناپذیربودن
اسمیترمن (۲۰۰۴)	اتوماتای سلولی، ساختارهای اتلافی، و خودزایندگی
استیسی و دیگران (۲۰۰۰) و جکسون (۲۰۰۲)	سازه‌های متعدد و مستقل که به‌روش غیرخطی با هم تعامل می‌کنند، سازه‌هایی است که چندین مقیاس را تحت‌پوشش قرار می‌دهند، رفتار نوظهور، فعل و انفعالی بین آشوب و غیرآشوب و فعل و انفعال بین مشارکت و رقابت
الوانی و دانایی‌فرد (۱۳۸۱)	رفتار غیرخطی، سازگارسازی پویا، دوشاخگی دوره‌ای، و خودسازمان‌دهی

باتوجه‌به جدول مذکور، پراظهارترین ویژگی‌های این نظریه به شرح زیرند:

- رفتار غیرخطی: به‌معنی بی‌تناسبی بین درون‌دادها و برون‌دادهای یک سیستم (Northrop 2010)، روابط نابرابر بین نیروهای مؤثر در یک سیستم و پاسخ‌های آن‌ها، تفکیک‌ناپذیربودن تأثیر متغیرهای مختلف، برهم‌کنش‌گری اجزای سیستم‌های پیچیده و هم‌چنین عوامل مختلف مؤثر در سیستم، به دلایلی مانند آستانه‌ها، اثرهای انباره‌ای، اشباع و تخلیه، خودنیرودهی ـ بازخورد مثبت و خودسازمان‌دهی (کرم ۱۳۸۹)؛
- ظهوریابندگی: به‌معنی شکل‌گیری سازه‌ها، الگوها، و ویژگی‌های تازه و منسجم در یک سیستم پیچیده در فرایند خودسازمان‌دهی (Goldstein 1999) و ویژگی‌هایی که نشان می‌دهند کاهش طرح‌وارهٔ کلی تحول سیستم به مجموع رفتارهای تک‌تک عوامل غیرممکن است (Holland, cited Bertuglia and Vaio 2005) و کل بزرگ‌تر از مجموع اجزای آن است (Steels, cited Abel 2009)؛
- حلقه‌های بازخور: به‌معنی کانال، زنجیره، یا مسیری که براساس آن برون‌دادهای یک سیستم به‌منزلهٔ درون‌داد به خود آن سیستم برگردانده می‌شوند تا همان برون‌داد، یا

بیش‌تر یا کم‌تر از آن، را تولید کنند (Ford 2010) و سیستم بتواند رفتار بخش‌های خودش را بدون کنترل متمرکز هماهنگ کند؛

- بی‌تعادلی یا غیرتعادلی‌بودن: به این معنی که سیستم‌های زنده، برای بقا، نمی‌توانند و نباید همیشه در تعادل یا پایداری باشند (Business Dictionary 2016)؛ چنین امری به معنی مرگ این سیستم‌هاست (Stacey 1992)؛
- خودسازمان‌دهی و خودزایندگی: خودسازمان‌دهی به‌معنی شکل‌گیری خودبه‌خودی ساختارهای سازمانی، الگوها، یا رفتارهای خوب ازطریق شرایط اولیهٔ تصادفی است (Rocha, cited Siemens 2014)؛ یعنی توانایی یک سیستم برای تنظیم خودکار مؤلفه‌ها و عناصر خود به‌روشی هدف‌مند (غیرتصادفی)، تحت شرایط مناسب، اما بدون کمک عاملی بیرونی. خودزایندگی به‌معنی رفتار سیستمی که می‌تواند خودش را بازتولید کند و ارتقا ببخشد (Maturana and Varela 1991). شبکه‌ای از فرایندها که اجزا و بخش‌هایی را ایجاد می‌کنند و آن بخش‌ها یا اجزا آن فرایندها را بازتولید می‌کنند (Maturana, cited Pourdavood et al. 1999)؛
- داشتن عناصر متعدد: به این معنی که سیستم‌های پیچیده از عناصر متعدد و روابط متعامل و شبکه‌ای تشکیل شده‌اند که سبب شکل‌گیری رفتارهای متشابه و درعین‌حال متنوع می‌شوند (Al Suwailem 2011; Page 2008)؛
- تاریخچه: به این معنی که سیستم‌های پیچیده و زنده آنی و دفعی به‌وجود نمی‌آیند، بلکه محصول شرایط و محیط اطراف خودند، تاریخچه‌ای دارند، و طی زمان تحول پیدا می‌کنند. تاریخچه‌ای که در آن، گذشته هم‌مسئول رفتار فعلی در نظر گرفته می‌شود و نه تمام‌مسئول آن؛ و حال نیز بخشی از آینده را تشکیل می‌دهد و نه تمام آن را (Lissack 1999; Cilliers 1998; Cilliers and Preiser 2010)؛
- آشیانه‌ای (تودرتو) بودن: به این معنی که یک سیستم پیچیده درون خود از زیرسیستم‌هایی تشکیل می‌شود که خود آن‌ها نیز سیستم‌های پیچیده و شامل‌شونده (دیگرسیستم‌ها) هستند. ازطرفی‌دیگر، این سیستم پیچیده خود درون سیستم پیچیدهٔ بزرگ‌تری قرار می‌گیرد. برای مثال، در یک نظام آموزشی، درحکم یک سیستم پیچیده، مدارس، کلاس‌های درسی، و دانش‌آموزان سیستم‌های تودرتوی پیچیده‌اند که خود آن‌ها درداخل لایه‌های منطقه‌ای، استانی، و ملی قرار می‌گیرند (Collins and Clarke 2008)؛

- ارتباط‌گرایی و شبکه‌ای‌بودن: به این معنی که سیستم‌های پیچیده اعم از سیستم‌های زیستی (Levin, cited Cilliers 1998)، اجتماعی (Haynes 2015)، و یادگیری (Siemens 2014) زمانی معنی پیدا می‌کنند که اجزا و عناصر متعدد آن‌ها به‌صورتی غیرخطی و شبکه‌ای با یک‌دیگر ارتباط یابند و یک کل منسجم را تشکیل دهند (Zhao et al. 2006; Doll 2008). درغیراین‌صورت، سیستم دیگر پیچیده نیست (Ladyman et al. 2013)؛
- کل‌نگری: به این معنی که سیستم‌های پیچیده را نمی‌توان به مجموعه‌ای از قوانین و مقررات کاهش داد، زیرا این سیستم‌ها تراکم‌ناپذیر یا کاهش‌ناپذیرند (Cilliers 1998). بنابراین، درک این سیستم‌ها نیازمند درک و فهم هریک از اجزا، عناصر، و عوامل سیستم ازیک‌طرف و فهم نحوهٔ تعاملات آن‌ها با یک‌دیگر و با جهان بزرگ‌تر ازطرف‌دیگر است. تعاملاتی که به رفتار کلی سیستم منجر می‌شوند (Al Suwailem 2011)؛
- عامل محیطی و اتوماتای سلولی: به‌معنی قوانین بسیار سادهٔ منتج به رفتارهای جهان‌شمول پیچیدهٔ نوظهور در سیستم‌های پیچیده (Wolfram 2002) و اقدامات محلی مسبب رفتارهای پیچیدهٔ جهانی یا جهان‌شمول (Batty 2000)؛
- سازگارشوندگی پویا: به‌معنی برقراری ارتباط و سازگاری سیستم‌های پیچیده با محیط خود برای تضمین بقای سیستم (de Lope et al. 2009) و تغییر رفتار سیستم در پاسخ به شرایط یا نیروی بیرونی، درطی زمان (Åström and Murray 2010; Baranger 2000)؛

۲.۳ تفسیر نظریه‌های آشوب و پیچیدگی

دومین گام از نقادی نظریه‌های آشوب و پیچیدگی تفسیر آن‌ها براساس معیارهای مشخصی است که در این مقاله دو معیار «دلالت‌های نظری» و «دلالت‌های عملی» مدنظر قرار گرفته‌اند؛ البته معیارهای دیگری را نیز می‌توان تعیین و براساس آن‌ها این نظریه‌ها را نقد کرد.

۱.۲.۳ دلالت‌های نظری نظریه‌های آشوب و پیچیدگی

یکی از روش‌های نقد هر نظریه، علم یا پارادایم، طرح این سؤال ماهوی است که آیا می‌توان آن را به‌منزلهٔ یک نظریه، علم یا پارادایم، درنظر گرفت. آشوب و پیچیدگی نیز

این‌چنین است، زیرا با یک جست‌وجوی ساده در منابع، مراجع، و پایگاه‌های علمی، پژوهشی، و اطلاعاتی می‌توان با مقالات، پژوهش‌ها، و کتاب‌های متعددی مواجه شد که از آشوب و پیچیدگی با عناوین «نظریه» (Thietart and Forgues 1995; Kiel and Elliott 1996; Schlesinger and Daley 2016; Robertson 2014; Bums 2016)، «علم» (Bricmont 1995; Davis and Sumara 2006; Mathews et al. 1999; Delic and Dum 2006; Mowles et al. 2008; Seifert et al. 2012; Svensson and Padin 2012; Zia et al. 2014)، یا «پارادایم» (Tasaka 1999; Barker 2000; Pavard 2002; McMillan 2002; Pascolo et al. 2006; Enns 2008; Tremblay and Richard 2011; Seifert et al. 2012; Mattos 2016; Bums 2016; Lauder et al. 2017) نام برده‌اند. بنابراین، طرح و نقد آن‌ها براساس سؤال ماهوی ذکرشده ارزش‌مند و راه‌گشا خواهد بود.

پاسخ‌گویی به چنین سؤال ماهوی‌ای دربارهٔ آشوب و پیچیدگی نیازمند درک نظریه، علم، و پارادایم و رسیدن به اجماعی دربارهٔ آن‌هاست. دربارهٔ نظریه طیفی از دیدگاه‌ها وجود دارد، که در یک سر آن دیدگاه بدیهی یا نحوی اثبات‌گرایانهٔ منطقی و تجربی (مانند نظریه ازدیدگاه حلقهٔ وین)، در مرکز آن دیدگاه معنایی یا الگوی نظری (مانند الگوها در علم)، و در سر دیگر آن برداشتی کوهنی (Kuhn) و مفاهیمی با دقت کم‌تر از نظریه وجود دارند. براساس دیدگاه بدیهی، نظریه نیازمند وجود بدیهیات و قوانینی برای ساختارهای قیاسی است. نظریهٔ معنایی یا مدل نظری نظریه‌ای است که براساس مجموعه‌ای از الگوها و فرض ارتباط بین این الگوها با سیستم‌های فیزیکی آرمانی مشخص می‌شود. طبق تحلیل کوهنی تأکید خاصی بر ساختار دقیق نظریهٔ علمی وجود ندارد. برعکس، نظریه‌ها انسجام دارند و ابعاد سیستماتیک دانش اساساً با نقشی تعریف می‌شود که در پارادایم غالب در عمل علمی طبیعی ایفا می‌کنند (Bishop 2009).

با درنظرگرفتن برداشت‌های مذکور از نظریه، می‌توان گفت آشوب و پیچیدگی نظریه‌ای بدیهی یا نحوی اثبات‌گرایانهٔ منطقی و تجربی نیستند، زیرا ارتباطی بین استنادات مشاهده‌ای و استنادات نظری دربارهٔ پویایی آشوب‌ناک ــ پیچیده وجود ندارد. اگرچه آشوب و پیچیدگی می‌توانند نظریهٔ معنایی یا الگوی نظری باشند، زیرا الگوهای مختلفی مانند نقشهٔ لجستیکی (logistic map)، نقشهٔ هنون (henon map)، جذب‌کننده‌های لورنز ارائه شده‌اند که سفت و سخت‌اند و تقریباً خوب درک شده‌اند، اما درنظرگرفتن نظریه برای آشوب و پیچیدگی با این برداشت چند چالش اساسی دارد. اولین چالش به مفهوم الگو مربوط می‌شود. در الگوسازی نیوتنی یا اثبات‌گرایانه فرض بر آن است که تغییرات یا عوامل

کوچک تأثیرات ناچیزی در سیستم دارند و می‌توان با فرض‌کردن آن‌ها به‌منزلهٔ خطاها یا حقایق «قابل‌اغماض» این تغییرات یا عوامل را نادیده گرفت یا حذف کرد (Chappell 1989). بنابراین، مدل‌سازی‌های اثبات‌گرایانه براساس عوامل اصلی یا تغییرات بزرگ انجام و عوامل جزئی یا تغییرات کوچک کنار نهاده می‌شوند، اما براساس ویژگی‌های آشوب و پیچیدگی، یعنی حساسیت دربارهٔ شرایط اولیه یا اثر پروانه‌ای، ظهوریابندگی، خودزایندگی، و ...، همهٔ تغییرات یا عوامل مؤثر در سیستم مهم و اساسی‌اند و چه‌بسا، تغییرات بسیار ناچیز تأثیرات بسیار بزرگی در سیستم داشته باشند. بنابراین، در مدل‌سازی‌های آشوب‌ناک ـ پیچیده خطاها یا حقایق «قابل‌اغماض» وجود ندارند و نمی‌توان آن‌ها را نادیده گرفت، زیرا حتی کوچک‌ترین حذف‌کردن‌ها در مدل‌های غیرخطی می‌تواند به تأثیرات فاجعه‌باری منجر شود. بنابراین، تفاوتی ماهوی بین مدل اثبات‌گرایانه و مدل آشوب‌ناک وجود دارد (Bishop 2009)؛ دومین چالش ابهام در ارتباط مدل‌های آشوب‌ناک ـ پیچیده با سیستم‌های فیزیکی ایده‌آل است. به‌بیانی دقیق‌تر، این نظریه‌ها از تدوین فرضیه‌ای برای برقراری ارتباط بین مدل‌های آشوب ـ پیچیده با سیستم‌های فیزیکی ایده‌آل کوتاه آمده‌اند؛ سومین چالش روشن‌نبودن ارتباط بین فضای حالت (state space)[۳]، الگو، سیستم‌های فیزیکی، و قوانین در این نظریه‌هاست؛ چهارمین چالش به نوع ارتباط بین الگو و سیستم هدف مربوط می‌شود. براساس الگوی وفادارانه (faithful model)[۴]، ارتباط الگو و سیستم هدف در مدل‌های خطی یا توابع قدرت به‌صورت ارتباط آشکار یک‌به‌یک است. الگوهای آشوب‌ناک ـ پیچیده غیرخطی‌اند؛ بنابراین، می‌توان برای هر سیستم الگوهای بالقوهٔ متعددی در نظر گرفت که برای توصیف رفتار سیستم هر الگو به‌تنهایی می‌تواند کفایت کند. بنابراین، برای هر سیستم نمی‌توان ارتباط آشکار یک‌به‌یک در نظر گرفت. شاید این ارتباط یک‌به‌چند (چندین مدل غیرخطی متفاوت برای یک سیستم هدف و برعکس) یا ارتباطی چندبه‌چند باشد. بنابراین، الگوهای ریاضیاتی آشوب‌ناک ــ پیچیده بر الگوها و ارتباطات آن‌ها با نظریه تمرکز دارند و ارتباط الگوها با سیستم‌های فیزیکی. بنابراین، آشوب و پیچیدگی می‌تواند یک نظریهٔ معنایی یا مدل نظری باشد، اما یک نظریهٔ ریاضیاتی و نه یک نظریهٔ فیزیکی.

بااین‌حال، آشوب و پیچیدگی نظریه‌های کوهنی‌اند، زیرا براساس مطالعات صورت‌گرفته در این حوزه‌ها و سیستم‌های آشوب‌ناک ـ پیچیده پارادایم جدیدی شکل گرفته و نضج یافته است که در آن بر ناپایداری به‌جای رفتار پایدار، الگوهای ناپایدار به‌جای مکانیزم‌ها، ویژگی‌های جهانی (مانند اعداد فیگنبائوم (Feigenbaum)) به‌جای قوانین، و درک

کیفی به‌جای بازنمایی تأکید می‌شود. بنابراین، آشوب و پیچیدگی نظریه‌هایی‌اند که از انسجام لازم برخوردارند و پارادایم غالب یا پارادایم نیوتنی را با چالش مواجه کرده و پایه‌های آن را سست کرده‌اند.

همانند نظریه، دربارهٔ علم نیز دیدگاه‌های مختلفی وجود دارد. یکی از این دیدگاه‌ها تقسیم علم به دو بخش «سخت» (hard) و «نرم» (soft) براساس معیارهایی مانند دقت روش‌شناختی، صحت، و عینی‌بودن است (Douthwaite et al. 2003; Hedges 1987; Wilson 2012; Frost 2009). علوم سخت به علومی مانند فیزیک و علوم طبیعی اطلاق می‌شود که با ویژگی‌هایی مانند تولید پیش‌بینی‌های قابل‌آزمون، انجام آزمایش‌های کنترل‌شده، اتکا بر داده‌های قابل‌اندازه‌گیری و الگوهای ریاضی، درجهٔ بالایی از دقت و عینیت، درجهٔ بالایی از اجماع، پیشرفت سریع در زمینه، موفقیت اکتشافی بیش‌تر، استفاده از روش خالص علمی، و مدل‌سازی‌ها و تحلیل‌های کمی شناخته می‌شوند (Davis and Sumara 2006; Richardson and Cilliers, cited Wood and Butt 2014; Wilson 2012; Cole 1983; Fanelli 2010; Lemons 1996; Rose 2003; Gutting 2012). علوم نرم نیز به علومی مانند علوم اجتماعی، روان‌شناسی، و غیره گفته می‌شود که در آن‌ها دقت، صحت، و قابلیت پیش‌بینی کم‌تری از علوم سخت وجود دارد.

با درنظرگرفتن علوم سخت و نرم، اگرچه طرح سه رویکرد پیچیدگی سخت، پیچیدگی نرم، و تفکر پیچیدگی (Richardson and Cilliers, cited Wood and Butt 2014; Davis and Sumara 2006) و الگوهای مختلف ارائه‌شده براساس نظریهٔ آشوب مانند نقشهٔ لجستیکی، نقشهٔ هنون، و جذب‌کننده‌های لورنز نشان می‌دهند که می‌توان آشوب و پیچیدگی را به‌منزلهٔ علوم سخت در نظر گرفت. ازطرفی‌دیگر، مبدأ نظریه‌های آشوب و پیچیدگی در علوم سخت مانند ریاضی، فیزیک، و زیست‌شناسی است، اما همان‌طورکه دیویس و سومارا (۲۰۰۶) اظهار می‌کنند اگر برداشت علم سخت مدنظر باشد، آشوب و پیچیدگی را نمی‌توان به‌مثابهٔ علم در نظر گرفت، زیرا این نظریه‌ها، باتوجه‌به ویژگی‌ها و مفروضات خود، درصدد پیش‌بینی نیستند و نمی‌توانند پیش‌بینی‌های دقیقی ارائه کنند. آزمایش‌های کنترل‌شده جایی در این نظریه‌ها ندارند، عینیت آن‌طورکه باید مطرح نیست، و تحلیل‌های کمّی اساس این نظریه‌ها را تشکیل نمی‌دهند. علاوه‌برآن، سیستم‌های آشوب‌ناک یا پیچیده در مواجهه با شرایط یک‌سان رفتارها یا پاسخ‌های بسیار متفاوتی از خود نشان می‌دهند (Davis and Sumara 2006). بااین‌همه، با درنظرگرفتن علوم نرم و تلقی آن به‌منزلهٔ «روشی برای دیدن جهان» و سیستمی تفسیری، به‌جای سیستمی برای نشان‌دادن جهان، یا «روشی

برای تفکر و عمل» (ibid.: 18)، آشوب و پیچیدگی را می‌توان به‌منزلهٔ علم در نظر گرفت؛ ازطرفی‌دیگر، مطالعات و پژوهش‌های متعددی مانند بررسی پیدایش و نابودی شهرها ازسوی جین جیکوبز (Jane Jacobs)، مشاهدات چندسالهٔ چرخهٔ زندگی لانهٔ مورچه‌ها ازسوی دبورا گوردون (Deborah Gordon)، مطالعات فریدریش انگلس (Friedrich Engels) دربارهٔ ظهور ساختارهای اجتماعی در جهان بازار آزاد، آزمایش‌های ریشل کارسون (Rachel Carson) دربارهٔ تأثیرات زیست‌محیطی جوامع صنعتی، و پژوهش هامبرتو متورانا (Humberto Maturana) دربارهٔ خودتولیدی و خودمحافظتی موجودات بیولوژیکی براساس تفکر آشوب‌ناک ـ پیچیده انجام شده که سبب شناسایی کیفیت‌ها و شرایطی شده‌اند که در طیفی از مطالعات پدیده‌ها مشترک‌اند و روند علمی آن‌ها را نشان می‌دهند. بنابراین، آشوب و پیچیدگی علم‌اند، اما نه با برداشت علم سخت، بلکه با برداشت علم نرم یا ساخت تعبیر و برداشتی مناسب خود آن‌ها.

دربارهٔ این‌که آشوب و پیچیدگی قابلیت‌های پارادایمی دارند یا خیر، در بندهای قبلی استدلال شد که براساس برداشت کوهنی از پارادایم آشوب و پیچیدگی می‌توانند به یک پارادایم علمی جدید تبدیل شوند؛ البته این امر نیازمند مکمل‌دانستن آن‌هاست. به‌بیانی‌دیگر، بسیاری از اندیشمندان معتقدند که این دو نظریه متفاوت‌اند و نمی‌توان آن‌ها را با هم به‌کار برد. عده‌ای نیز مخالف‌اند و بر مکمل‌بودن آن‌ها تأکید دارند (به بخش رفتار مدافعان و مخالفان این نظریه‌ها مراجعه شود). تعمق در این نظریه‌ها نشان می‌دهد که هم‌بستگی این دو نظریه سبب شکل‌گیری مفروضاتی شده است (محمدی چابکی ۱۳۹۲؛ Morcol 2001) که می‌تواند به‌مثابهٔ مجموعه‌ای از باورها و پیش‌فرض‌های بنیادین یا پارادایم در نظر گرفته شود (Mateos de Cabo et al. 2002; Kuhn 2008) که راه‌نمای کنش افراد در زندگی شخصی و علمی قرار می‌گیرد (متناسب با مفهوم پارادایم در دانایی‌فرد ۱۳۸۹). این مفروضات عبارت‌اند از: واقع‌گرایی مبتنی‌بر هم‌زیستی قطعیت‌گرایی و عدم‌قطعیت‌گرایی، علیت پیچیده یا غیرخطی، قطعیت‌گرایی ساختاری (structural determinism) یا قابلیت پیش‌بینی محدود، معرفت‌شناسی امکان (epistemology of the possible)، کل‌گرایی یا واقعیت به‌منزلهٔ یک کل نوظهور، بازنمایی توزیع‌شده، و حقیقت فازی (محمدی چابکی ۱۳۹۲؛ حسینی ۱۳۹۵؛ Morcol 2001).

ازطرفی‌دیگر، این نظریه‌ها سبب به‌چالش کشیده‌شدن پارادایم مسلط علمی، یعنی مدرنیسم، شده‌اند، زیرا: الف) فرض ساده‌بودن جهان و پدیده‌های درون آن را رد کرده‌اند (Prigogine and Stengers, cited Doll 2008; Davis et al. 2004; Baranger 2000)؛ ب) فرض

علیت خطی پدیده‌ها را زیرسؤال برده‌اند (Mason 2008)؛ ج) فرض جامد یا تودهٔ سخت‌بودن جهان را انکار کرده‌اند (Doll 2008; Olssen 2008)؛ د) فرض ایستایی جهان و پدیده‌های آن را رد کرده‌اند (Doll 2008; Morrison 2008)؛ هـ) فرض تبعیت جهان از سادگی خود را نپذیرفته‌اند (Davis et al. 2004)؛ و) امکان کاهش سیستم‌های زنده را نپذیرفته‌اند (Baranger 2000)؛ ز) فرض پیش‌بینی‌پذیربودن کامل جهان و رفتار سیستم‌های درون آن را رد کرده‌اند (Levy 1994; Feigenbaum 1983).

۲.۲.۳ دلالت‌های عملی نظریه‌های آشوب و پیچیدگی

دلالت‌های عملی به این معنی است که این نظریه‌ها درعمل چه کاربردهایی دارند و چه نتایجی می‌توانند برای حوزه‌های علمی مختلف داشته باشند. دربارهٔ کاربردهای این نظریه‌ها هم می‌توان به دیدگاه‌های اندیشمندان و هم به رخدادهای عملی استناد کرد. به‌زعم بسیاری از اندیشمندان حوزه‌های مختلف، نظریه‌های آشوب و پیچیدگی برای درک و رشد علمی آینده ضروری‌اند. استفن هاوکینگ (Stephen Hawking)، فیزیک‌دان و کیهان‌شناس برجستهٔ معاصر (۲۰۰۰)، اظهار می‌کند که قرن آینده قرن پیچیدگی خواهد بود. دال (۲۰۰۸) احساس می‌کند که چشمش به آن‌چه قبلاً نمی‌دیده باز شده است و استدلال می‌کند که قانون آشوب قانون ایده‌ها، بداهه‌ها، و فصل باور (والاس استیونس (Wallace Stevens)، «عصاره‌ها» (extracts)) است. چشم‌انداز پیچیدگی نیز از چشم‌انداز نیوتنی سازمان‌دهی‌شده، به‌صورت ساده، یک گام و از چشم‌انداز جهان کلاسیک تنظیم‌شده، به‌صورت الهی، دو گام فراتر است. هملو ـ سیلور و دیگران (۲۰۰۷) اظهار می‌کنند که درک سیستم‌های پیچیده و به‌تبع درک پیچیدگی برای درک علم اساسی و ضروری است. ولفرم (۲۰۰۲) استدلال می‌کند که پژوهش در نظریهٔ پیچیدگی «گونهٔ جدیدی از علم» را پیش‌نهاد می‌کند که می‌تواند راه‌های مختلف الگوهای ادارک را تولید کند (Smitherman 2004). سیلیرز (۱۹۹۸) نیز اظهار می‌کند که برای بقا و زنده‌ماندن مجبوریم به پیچیدگی چنگ بزنیم. پیچیدگی سرچشمهٔ آزادی است. هو (Howe 1994) استدلال می‌کند که این نظریه‌ها به ما کمک می‌کنند تا بر ویژگی‌های مهمی متمرکز شویم که تاکنون نادیده گرفته شده بودند. این نظریه‌ها روش دیدن و تحلیل ما از جهان را تغییر می‌دهند. نظریهٔ آشوب پیش‌بینی را از بین نمی‌برد، بلکه مشخص می‌کند که کدام نوع از پیش‌بینی‌ها ممکن است و در تعیین محدودیت‌های پیش‌بینی‌ها به ما کمک می‌کند. ایان (Ian 1995) معتقد است که نظریهٔ آشوب ما را به سطحی جدید ارتقا می‌دهد، کلرت (Kellert 1994) استدلال می‌کند که نظریهٔ آشوب «درکی

پویا» به ما می‌دهد و آرگریرز (Argyros، به‌نقل‌از سیلیرز ۱۹۹۸) نیز اظهار می‌کند که نظریه‌های آشوب و پیچیدگی علومی‌اند که سبب عزیمت ما به سرزمین موعود می‌شوند و می‌توانند در خدمت آغاز درمان جدایی چهارصدسالهٔ علوم و علوم انسانی باشند و سبب تأکید مجدد ما بر مفاهیمی مانند جهان‌شمولی، هویت، معنا، حقیقت، و زیبایی شوند.

درعمل نیز، این نظریه‌ها از دههٔ ۱۹۷۰م به بعد، آرام‌آرام جای خود را باز کردند و امروزه تقریباً تمامی حوزه‌های اندیشه‌ای را درگیر کرده‌اند. به‌بیانی دقیق‌تر، اگرچه در آغاز بسیاری از ریاضی‌دانان و دانشمندان دیدگاه لورنز (نظریهٔ آشوب) را به‌دلیل مخالفت با چشم‌انداز نیوتنی ـ خطی خود به‌رسمیت نشناختند (Smitherman 2004)، برای بسیاری از دانشمندان ظهور این علم نوپا با ابهام همراه بود؛ بعضی از دانشمندان، به‌ویژه متخصصان علم حرکت سیالات، آشکارا از این علم ابراز انزجار کردند و آن را غیرعلمی و عاری از تفکر و نظم دانستند، برخی از مجلات تخصصی قوانین غیرمدونی علیه انتشار مطالب مرتبط با آن وضع کردند. بااین‌همه، تعداد کمی نیز آن را پذیرفتند (Gleick 2011)؛ در اواخر دههٔ ۱۹۷۰م انجمنی از دانشمندان، که خودشان را «دارودستهٔ آشوب» (Chaos Cabal) می‌نامیدند، به آن پرداختند (Fitzgerald and Eijnatten 2002)؛ برخی از مجلات به‌صورت انحصاری به انعکاس مطالب مربوط به نظریهٔ آشوب پرداختند، واژه‌هایی مانند آشوب و آشوب‌شناس ابداع شد و به‌صورتی نامرتب، جوایز و عضویت‌های سالیانه به آن اختصاص یافت. تااین‌که در اواسط دههٔ ۱۹۸۰م توجه به این نظریه و گسترش علمی آن در دانشگاه‌ها مقام و منزلتی قوی پیدا کرد و پژوهش‌گران مراکز و مؤسساتی پایه‌گذاری کردند و به پژوهش در زمینهٔ سیستم‌های دارای رفتار غیرخطی، مکانیک حرکت غیرخطی، و سیستم‌های پیچیده پرداختند (Gleick 2011). امروزه، نظریهٔ آشوب نه‌تنها یک نظریهٔ علمی، بلکه یک روش علمی است. این نظریه در زمینهٔ استفاده از کامپیوتر تکنیک خاص خود را به‌وجود آورده، علم ریاضی تبدیل به علمی تجربی و عملی شده، کامپیوتر جای آزمایشگاه‌های پر از لوله و میکروسکوپ را گرفته، تصاویر گرافیکی اساس کار علمی شده، و فعالیت بدون تصاویر و اشکال برای متخصصان ریاضی به‌نوعی خودآزاری تشبیه شده است. بسیاری آن را، پس از دو نظریهٔ نسبیت و کوانتوم، سومین انقلاب علمی عصر حاضر در نظر می‌گیرند. هم‌چنین، امروزه سیستم‌های اجتماعی، بوم‌شناختی، و اقتصادی نیز تمایل دارند تا به‌مثابهٔ ارتباطات غیرخطی و تعاملات پیچیده‌ای در نظر گرفته شوند که درطی زمان به‌طور پویا تحول می‌یابند (Butler 1990; Radzicki 1990). چنین شناختی سبب هدایت موجی از تمایلات به کاربرد نظریهٔ آشوب در زمینه‌های دیگر مانند بوم‌شناسی

(Kauffman 1991)، پزشکی (Goldberger et al. 1990)، روابط بین‌الملل (Mayer-Kress and Grossman 1989)، اقتصاد (Kelsey 1988; Baumol and Benhabi 1989)، هنر و معماری (Sala 2011)، سازمان و آموزش‌وپرورش (Nadrljanski et al. 2008)، و غیره شده است.

نظریهٔ پیچیدگی و مطالعات سیستم های پیچیده نیز در دههٔ گذشته گسترش یافته است (Hmelo-Silver et al. 2007; Jacobson and Wilensky 2006; Jacobson 2001; Lesh 2006; Bar-Yam 2004) و به‌رغم ریشه‌داشتن این نظریه در مطالعات فیزیک، شیمی، سایبرنتیک، هوش مصنوعی، و نظریهٔ سیستم‌ها (Davis and Sumara 2006; Rosser 1999; Schneider and Somers 2006)، این نظریه در شاخه‌های علمی متعدد مانند مطالعهٔ خانواده، روان‌شناسی، مدیریت کسب‌وکار، سیاست، و غیره به‌کار برده شده است (Wegener 2005).

۳.۳ ارزیابی و تعیین کارآیی نظریه‌های آشوب و پیچیدگی

نظریه‌های آشوب و پیچیدگی را باید سومین انقلاب علمی عصر اخیر در نظر گرفت. نظریه‌هایی که پس از نقدهای پست‌مدرنیسم بر مدرنیسم و ارائه‌نکردن راه‌حل جای‌گزین گامی به جلو می‌برند و هم مدرنیسم را نقد می‌کنند و هم مفروضات و راه‌حل‌هایی جای‌گزین برای آن ارائه می‌کنند. این نظریه‌ها از پشتوانه‌ها و دلالت‌های نظری و عملی قابل‌توجهی برخوردارند و امروزه تقریباً تمامی حوزه‌های علمی را درگیر کرده‌اند و منابع علمی متعددی وجود دارد که از این نظریه‌ها به‌منزلهٔ یک امیدواری برای گذار علمی یاد می‌کنند.

بااین‌همه، این نظریه‌ها متناسب با ویژگی‌های خود از سطح دشواری بالاتری در مقایسه با مدرنیسم برخوردارند و درک و فهم آن‌ها نیازمند تأمل و تعمق بیش‌تر است. بسیاری از الگوهای این نظریه‌ها مانند نقشهٔ لجستیکی، نقشهٔ هنون، جذب‌کننده‌های لورنز، و غیره پیچیده‌اند و فهم آن‌ها نیازمند گذار از هندسهٔ اقلیدسی و تأسی به هندسهٔ فرکتالی، به‌منزلهٔ زبان ریاضیاتی پدیدهٔ آشوب‌ناک (Sala 2011)، است. مسلماً فهم تمامی اجزای سیستم‌های آشوب‌ناک ـ پیچیده و روابط غیرخطی آن‌ها بسیار دشوار است و پدیده‌ها یا سیستم‌های آشوب‌ناک ـ پیچیده به‌دلیل وابستگی حساس، خودسازمان‌دهی، خودزایندگی، نوظهوربودن، و ... همیشه اجزا و روابط پنهانی دارند که به‌صورت توالی زمانی و مکانی آشکار می‌شوند.

چنین وضعیتی سبب می‌شود تا بهره‌گیری از این نظریه‌ها در دنیای علمی با یک دوگانگی، یعنی ضرورت استفاده و دشواری‌های فهم و کاربرد، هم‌راه باشد. به‌بیانی دقیق‌تر،

بسیاری از اندیشمندان و پژوهش‌گران حوزه‌های علمی مختلف خود را ناچار به استفاده از آن می‌دانند، اما به‌دلیل دشواری‌های ذکرشده و پیش‌بینی‌ناپذیری و غیرقطعی‌بودن سیستم‌های آشوب‌ناک ـ پیچیده و مطالعهٔ آن‌ها عملاً وارد این نظریه‌ها نمی‌شوند و برای این رفتار خود از استدلال‌های مخالفان این نظریه‌ها استفاده می‌کنند.

۴. نتیجه‌گیری

بحث دربارهٔ نظریه‌های علمی مؤثر در اندیشه و عمل اندیشمندان و پژوهش‌گران حوزه‌های مختلف یکی از موضوعات ضروری در هر دوره است. در عصر اخیر نیز نظریه‌های آشوب و پیچیدگی به دو نظریهٔ مهم علمی تبدیل شده‌اند که پایه‌های پارادایم مدرنیسم را به‌چالش کشیده و مفروضاتی جای‌گزین مفروضات مدرنیسم ارائه کرده‌اند. این نظریه‌ها در سطح بین‌المللی نهادینه شده و به‌سرعت درحال گسترش و عملی‌شدن‌اند، اما در سطح ملی آن‌طورکه باید مدنظر قرار نگرفته‌اند و فقط معدود پژوهش‌های دانشگاهی مانند نوبری (۱۳۸۸)، محمدی چابکی (۱۳۹۲ الف)، نجاریان (۱۳۹۴)، بازقندی (۱۳۹۴)، حسینی (۱۳۹۵)، و ... به آن پرداخته‌اند. بنابراین، این مقاله با هدف معرفی و نقدی بر این نظریه‌ها تهیه شد. آشوب عبارت است از علم مطالعهٔ سیستم‌های پیچیده، پویا، غیرخطی، مشارکتی ـ خلاق، و دور از تعادل و پیچیدگی به‌معنی علم مطالعه، توصیف، و تبیین رفتار سیستم‌های انطباقی پیچیده است که با ویژگی‌هایی اثر پروانه‌ای یا وابستگی حساس، مجذوب‌کننده‌های ناشناس، خودشباهتی (آشوب)، ظهوریابندگی، حلقه‌های بازخور، بی‌تعادلی یا غیرتعادلی‌بودن، خودسازمان‌دهی و خودزایندگی، داشتن عناصر متعدد، آشیانه‌ای (تودرتو)بودن، ارتباط‌گرایی و شبکه‌ای‌بودن، کل‌نگری، عامل محیطی و اتوماتای سلولی، سازگارشوندگی پویا (پیچیدگی)، غیرخطی‌بودن، و پیش‌بینی‌ناپذیربودن (هردو نظریه) شناخته می‌شوند.

نظریه‌های آشوب و پیچیدگی در دنیای علمی با واژه‌های مختلفی مانند نظریه، علم، و پارادایم به‌کار برده می‌شوند، اما تعمق در واژگان مذکور نشان می‌دهد که توافقی بین اندیشمندان و پژوهش‌گران دربارهٔ نظریه، علم، و پارادایم وجود ندارد؛ بلکه نظریه یا پارادایم در طیفی از دیدگاه‌های بدیهی یا اثبات‌گرایانهٔ منطقی و تجربی، دیدگاه معنایی یا الگوی نظری، و برداشتی کوهنی ترسیم می‌شود و علم به دو دستهٔ سخت و نرم تقسیم می‌شود. با درنظرگرفتن این دسته‌بندی، نظریه‌های آشوب و پیچیدگی نظریه‌های

اثبات‌گرایانه و منطقی نیستند، می‌توانند با نادیده‌گرفتن چالش‌هایی نظریه‌های معنایی باشند، اما با برداشت کوهنی یک نظریهٔ علمی محسوب می‌شوند. آشوب و پیچیدگی با برداشت علم سخت علم به‌حساب نمی‌آیند، اما با درنظرگرفتن علوم نرم و تلقی آشوب و پیچیدگی به‌منزلهٔ «روشی برای دیدن جهان» یا «روشی برای تفکر و عمل» این دو حوزه علم به‌حساب می‌آیند. هم‌چنین، این نظریه‌ها به‌دلیل قابلیت‌های پارادایمی براساس برداشت کوهنی، زیرسؤال‌بردن پارادایم غالب علمی، و ارائهٔ مفروضاتی جای‌گزین قابلیت‌های پارادایمی دارند و می‌توانند با هم به یک پارادایم مسلط تبدیل شوند.

به‌زعم بسیاری از اندیشمندان و پژوهش‌گران حوزه‌های علمی مختلف، نظریه‌های آشوب و پیچیدگی به یک الزام و چشم‌انداز جدید برای رشد و توسعهٔ علمی تبدیل شده‌اند، بسیاری از حوزه‌های علمی آن‌ها را پذیرفته و براساس آن‌ها به بررسی علمی خود پرداخته‌اند، و مطالعات و پژوهش‌های متعددی براساس آن‌ها انجام شده و درحال انجام است.

پی‌نوشت‌ها

۱. قوی‌بودن به این معنی است که یک سیستم ازطریق تغییرات کوچک در متغیرهایش پایدار است و در هنگام مواجهه با مداخلات به‌صورت رادیکال یا بحرانی تغییر پیدا نمی‌کند. سیستم‌های پیچیده ازطریق توانایی‌شان برای سازمان‌دهی خود دربرابر محیطشان درطی زمان به تنومندی یا قوی‌بودن خود اضافه می‌کنند. به این امر وابستگی به مسیر گفته می‌شود (Rickles et al. 2007).

۲. غیرمارکوین‌بودن یعنی این‌که سیستم پیچیده حافظهٔ «طولانی‌مدت» دارد و برای آن تاریخ مهم است.

۳. فضای حالت یک فضای انتزاعی ریاضیاتی از نقاطی است که هریک از این نقاط یک حالت ممکن از سیستم را نشان می‌دهند. یکی از مزایای فعالیت در فضای حالت این است که غالباً امکان می‌دهد ویژگی‌های هندسی مسیرهای سیستم معین را بدون دانستن راه‌حل‌های دقیق معادلات پویا مطالعه کنیم. هنگامی‌که حالت سیستم با متغیرهای موقعیت و نیروی جنبشی آنی به‌طور کامل مشخص شد، فضای به‌دست‌آمده به‌منزلهٔ فضای حالت شناخته می‌شود. در فضای حالت یک مدل می‌تواند با دنبال‌کردن مسیرهای حالت اولیه تا برخی از حالت‌های انتخابی نهایی مطالعه شود (Bishop 2009).

۴. الگوی وفادارانه حالتی است که در آن فرض می‌شود الگوی ریاضیاتی به‌صورت وفادارانه سیستم‌های فیزیکی و قابلیت‌های واقعی آن‌ها را نشان می‌دهد.

کتاب‌نامه

اعتباریان، اکبر (۱۳۸۶)، «نظم در آشوب»، ماهنامهٔ *تدبیر*، س ۱۸، ش ۱۹۰.

اکوانی، سید حمدالله و سید ولی موسوی‌نژاد (۱۳۹۲)، «نظریهٔ آشوب؛ مدلی برای تحلیل پیچیدگی فضای سیاسی ایران»، پژوهش‌نامهٔ *علوم سیاسی*، س ۸ بهار.

بارون، تی. اِل (۱۳۸۷)، *نقادی و خبرگی آموزشی*، ترجمهٔ علی‌رضا کیامنش، در: *برنامهٔ درسی، نظرگاه‌ها، رویکردها، و چشم‌اندازها*، تهران: سمت؛ مشهد: به‌نشر.

بازقندی، پروین (۱۳۹۴)، *استنباط فلسفهٔ آموزش علوم تجربی بر بنیاد فلسفهٔ علم برآمده از نظریهٔ پیچیدگی*، رسالهٔ دکتری، تهران: دانشگاه خوارزمی.

حسینی، سید محمدحسین (۱۳۹۵)، *تدوین الگوی مفهومی تغییر برنامهٔ درسی براساس نظریه‌های آشوب ـ پیچیدگی و ارزش‌یابی تغییر برنامهٔ درسی دورهٔ ابتدایی نظام آموزش‌وپرورش کشور براساس این الگو*، رسالهٔ دکتری، تهران: دانشگاه خوارزمی.

رستگاری، عباس‌علی و بابک ثقفی (۱۳۸۴)، «عملکرد سیستم‌های مدیریت کیفیت در نظریهٔ آشوب»، *مدیریت*، ش ۱۰۱– ۱۰۲.

کرم، امیر (۱۳۸۹)، «نظریهٔ آشوب، فرکتال (برخال)، و سیستم‌های غیرخطی در ژئومورفولوژی»، *جغرافیای طبیعی لارستان*، ش ۳، تابستان.

محمدی چابکی، رضا (۱۳۹۲ الف)، *استلزامات طرح نظریه‌ای تربیتی مبتنی‌بر پارادایم پیچیدگی*، رسالهٔ دکتری، مشهد: دانشگاه فردوسی.

محمدی چابکی، رضا (۱۳۹۲ ب)، «مؤلفه‌های پارادایم پیچیدگی»، *روش‌شناسی علوم انسانی*، س ۱۹، ش ۷۶، پاییز.

مشیری، سعید (۱۳۸۱)، «مروری بر نظریهٔ آشوب و کاربردهای آن در اقتصاد»، *پژوهش‌های اقتصادی ایران*، ش ۱۲، پاییز.

نجاریان، پروانه (۱۳۹۴)، *تبیین مبانی فلسفی نظریهٔ پیچیدگی و استلزامات آن در برنامهٔ درسی*، رسالهٔ دکتری، تهران: دانشگاه خوارزمی.

نوبری، نازک (۱۳۸۸)، *تبیین الگوی رفتاری سازمان با استفاده از مفاهیم تئوری پیچیدگی*، رسالهٔ دکتری، تهران: دانشگاه علامه طباطبایی.

الوانی، مهدی و حسن دانایی‌فرد (۱۳۸۱)، *تئوری نظم در بی‌نظمی و مدیریت*، تهران: صفار ـ اشراقی.

ویلیز، جی. (۱۳۸۱)، *ارزش‌یابی کیفی*، ترجمهٔ علی‌رضا کیامنش، در: *برنامهٔ درسی: نظرگاه‌ها، رویکردها، و چشم‌اندازها*، مشهد: به‌نشر.

هاگرسون، نلسون ال. (۱۳۸۷)، *کاوش‌گری فلسفی: نقد توسّعی*، ترجمهٔ محمدجعفر پاک‌سرشت، در: *روش‌شناسی مطالعات برنامهٔ درسی*، ترجمهٔ محمود مهرمحمدی و دیگران، تهران: سمت؛ پژوهشگاه مطالعات آموزش‌وپرورش.

Abel, D. L. (2009), "The Capabilities of Chaos and Complexity", *International Journal of Molecular Sciences*, vol. 10, no.1.

Abel, D. L. (2011), "What Utility Does Order, Pattern or Complexity Prescribe?", *The First Gene: The Birth of Programming, Messaging and Formal Control*, Department of Proto Bio Cybernetics/ Proto Bio Semiotics.

Abraham, R. H. (2011), "The Genesis of Complexity", *World Futures*, vol. 67.

Al Suwailem, S. (2011), "Behavioural Complexity", *Journal of Economic Surveys*, vol. 25, no. 3.

Antunes, R. and V. Gonzalez (2015), "A Production Model for Construction: A Theoretical Framework", *Buildings*, vol. 5, no. 1.

Arthur, W. B. (1999), "Complexity and the Economy", *Science*, vol. 284, no. 5411.

Aström, K. J. and R. M. Murray (2010), *Feedback Systems: An Introduction for Scientists and Engineers*, Princeton University Press.

Baranger, M. (2000), *Chaos, Complexity, and Entropy*, Cambridge: New England Complex Systems Institute.

Barker, P. (2000), "The Tidal Model of Mental Health Care: Personal Caring within the Chaos Paradigm", *Mental Health and Learning Disabilities Care*, vol. 4.

Bar-Yam, Y. (2004), *Making Things Work: Solving Complex Problems in a Complex World*, NECSI: Knowledge Press.

Batty, M. (2000), "Geocomputation Using Cellular Automata", in: *Geocomputation*, New York: Taylor and Francis.

Baumol, W. J. and J. Benhabib (1989), "Chaos: Significance, Mechanism, and Economic Applications", *The Journal of Economic Perspectives*, vol. 3, no. 1.

Bertuglia, C. S. and F. Vaio (2005), *Nonlinearity, Chaos and Complexity: The Dynamics of Natural and Social Systems*, Oxford: University Press.

Bishop, R. (2009), "Chaos", in: *The Stanford Encyclopedia of Philosophy*, <http://plato.stanford.edu/archives/fall2009/entries/chaos>.

Bricmont, J. (1995), "Science of Chaos or Chaos in Science?", *Annals of the New York Academy of Sciences*, vol. 775, no. 1.

Bums, J. S. (2016), "Chaos Theory and Leadership Studies: Exploring Uncharted Seas", *Journal of Leadership and Organizational Studies*, vol. 7, no. 3.

Butler, K. (1990), "Atomic Data Requirements for Stellar Atmospheres: Work in Munich on Hot Star Atmospheres and Winds", in 3rd International Collogium of the Royal Netherlands Academy of Arts and Sciences.

Chappell, C. (1989), "Chaos Theory and Competency Based Teacher Education", *Australian Journal of Teacher Education*, vol. 14, no. 2.

Cilliers, P. (1998), *Complexity and Postmodernism: Understanding Complex Systems*, London: Routledge.

Cilliers, P. and R. Preiser (2010), *Complexity, Difference and Identity: An Ethical*, Berlin: Germany Springer.

Clarke, A. and S. Collins (2007), "Complexity Science and Student Teacher Supervision", *Teaching and Teacher Education*, vol. 23, no. 2.

Cole, S. (1983), "The Hierarchy of the Sciences?", *American Journal of Sociology*, vol. 89, no. 1.

Collins, S. and A. Clarke (2008), "Activity Frames and Complexity Thinking: Honoring Both Public and Personal Agendas in an Emergent Curriculum", *Teaching and Teacher Education*, vol. 24, no. 4.

Davis, B. and D. J. Sumara (2006), *Complexity and Education: Inquiries into Learning, Teaching, and Research*, Psychology Press.

Davis, B., R. Phelps, and K. Wells (2004), "Complicity: An Introduction and a Welcome", *Complicity: An International Journal of Complexity in Education*, vol. 1, no. 1.

De Lope, J. and D. Maravall (2009), "Adaptation, Anticipation and Rationality in Natural and Artificial Systems: Computational Paradigms Mimicking Nature", *Natural Computing*, vol. 8, no. 4.

Delic, K. A. and R. Dum (2006), "On the Emerging Future of Complexity Sciences", *Ubiquity*, vol. 2.

Dictionary Reference (2015), "Change Definition", <http://dictionary.reference.com>.

Doll, W. E. (2008), "Complexity and the Culture of Curriculum", in: *Complexity Theory and the Philosophy of Education*, United Kingdom: John Wiley & Sons, Ltd.

Douthwaite, B. et al. (2003), "Blending 'Hard' and 'Soft' Science: The 'Follow-the-Technology' Approach to Catalyzing and Evaluating Technology Change", Integrated Natural Resource Management: Linking Productivity, the Environment, and Development.

English, L. D. (2007), "Complex Systems in the Elementary and Middle School Mathematics Curriculum: A focus on Modeling", Festschrift in Honor of Gunter Torner, *The Montana Mathematics Enthusiast*.

Enns, C. Z. (2008), "Toward a Complexity Paradigm for Understanding Gender Role Conflict", *The Counseling Psychologist*, vol. 36, no. 3.

Fanelli, D. (2010), "'Positive' Results Increase Down the Hierarchy of the Sciences", *Plos one*, vol. 5, no. 4.

Feigenbaum, M. J. (1983), "Universal Behavior in Nonlinear Systems", *Physica D: Nonlinear Phenomena*, vol. 7.

Fitzgerald, L. A. and F. M. Van Eijnatten (2002), "Chaos Speak: A Glossary of Chaordic Terms and Phrases", *Journal of Organizational Change Management*, vol. 4, no. 15.

Ford, A. (2010), *Modeling the Environment*, Island Press

Frost, P. (2009), *Soft Science and Hard News*, Columbia University.

Gleick, J. (2011), *Chaos: Making a New Science*, New York: Open Road Media.

Goldberger, A. L., D. R. Rigneyand, and B. J. West (1990), "Chaos and Fractals", *Scientific American*, vol. 262.

Goldstein, J. (1999), "Emergence as a Construct: History and Issues", *Emergence*, vol. 1, no. 1.

Gros, C. (2010), *Complex and Adaptive Dynamical Systems*, Berlin: Springer.

Gutting, G. (2012/05/17), "How Reliable are the Social Sciences", *New York Times*.

Hawking, S. (2000), "I Think the Next Century will be the Century of Complexity", *San José Mercury News*, Morning Final Edition, January, 23.

Hayles, N. K. (1990), *Chaos Bound: Orderly Disorderin Contemporary Literature and Science*, Ithaca, NY: Cornell University Press.

Haynes, P. (2015), *Managing Complexity in the Public Services*, UK: Open University Press.

Hedges, L. V. (1987), "How Hard is Hard Science, How Soft is Soft Science? The Empirical Cumulativeness of Research", *American Psychologist*, vol. 42, no. 5.

Hmelo-Silver, C. E., S. Marathe, and L. Liu (2007), "Fish Swim, Rocks Sit, and Lungs Breathe: Expertnovice Understanding of Complex Systems", *Journal of the Learning Sciences*, vol. 16, no. 3.

Hoefer, C. (2016), *Causal Determinism*, Stanford Encyclopedia of Philosophy.

Horn, J. (2008), "Human Research and Complexity Theory", *Educational Philosophy and Theory*, vol. 40, no. 1.

Howe, V. (1994), *Chaos: A New Mathematical Paradigm, Institute for Christian Learning*, USA: La Sierra University

Ian, S. (1995), *Does God Play Dice? The Mathematics of Chaos*, Cambridge, MA: Basil Balckwell.

Jackson, N. (2002), "Using Complexity Theory to Make Sense of the Curriculum", <www.palatine.ac.uk>.

Jacobson, M. and U. Wilensky (2006), "Complex Systems in Education: Scientific and Educational Importance and Implications for the Learning Sciences", *The Journal of the Learning Sciences*, vol. 15, no. 1.

Jacobson, M. J. (2001), "Problem Solving, Cognition, and Complex Systems: Differences between Experts and Novices", *Complexity*, vol. 6, no. 3.

Jakobsson, E. and Working Group 1 Collaborators (2006), "Complex Systems: Why and What?", <http://necsi.org/events/cxedk16/cxedk16_1.html>.

Johnson, N. F. (2009), *Chapter 1: Two's Company, Three is Complexity, Simply Complexity: A Clear Guide to Complexity Theory*, Oneworld Publications.

Kauffman, S. A. (1991), "Antichaos and Adaptation", *Scientific American*, vol. 265, no. 2.

Kellert, S. H. (1994), *In the Wake of Chaos: Unpredictable Order in Dynamical Systems*, University of Chicago Press.

Kelsey, D. (1988), "The Economics of Chaos or the Chaos of Economics", *Oxford Economic Papers*, vol. 40, no. 1.

Kiel, L. D. and E. W. Elliott (eds.) (1996), *Chaos Theory in the Social Sciences: Foundations and Applications*, University of Michigan Press.

Kirk, G. S., J. E. Raven, and M. Schofield (2003), *The Presocratic Philosophers: A Critical History with a Selcetion of Texts*, Cambridge University Press.

Kuhn, L. (2008), "Complexity and Educational Research: A Critical Reflection", in M. Mason (ed.), *Complexity Theory and the Philosophy of Education*, UK: John Wiley & Sons Ltd.

Ladyman, J., J. Lambert, and K. Wiesner (2013), "What is a Complex System?", *European Journal for Philosophy of Science*, vol. 3, no. 1.

Lauder, M., H. M. Marynissen, and T. C. Summers (2017), "A Study of Normal Chaos: A New Research Paradigm*", SSRN Electronic Journal*, <https://www.researchgate.net>.

Leadbetter, R. (2000), "Chaos", *Encyclopedia Mythica*, <http://www.pantheon.org/articles/c/chaos.html>.

Leclercq, S., K. Boumédiene, and C. Baugé (2016), "Genetic Determinism of Primary Early-Onset Osteoarthritis", *Trends in Molecular Medicine*, vol. 22, no. 1.

Lemons, J. (1996), *Scientific Uncertainty and its Implications for Environmental Problem Solving*, Hoboken, New Jersey: Wiley-Blackwell.

Lesh, R. (2006), "Modeling Students Modeling Abilities: The Teaching and Learning of Complex Systems in Education", *The Journal of the Learning Sciences*, vol. 15, no. 1.

Levy, D. (1994), "Chaos Theory and Strategy: Theory, Application, and Managerial Implications", *Strategic Management Journal*, vol. 15.

Lissack, M. R. (1999), "Complexity: the Science, its Vocabulary, and its Relation to Organizations", *Emergence*, vol. 1, no. 1.

Lorenz, E. N. (2005), *The Essence of Chaos*, University of Washington Press.

Lucas Jr, C. W. (2016), "The Role of Reductionism in Modern Science", *Foundations of Science*, vol. 19, no 2.

Mason, M. (2008), "Complexity Theory and the Philosophy of Education", *Educational Philosophy and Theory*, vol. 40, no. 1.

Mateos de Cabo, R. et al. (2002), "The New Complex Perspective in Economic Analysis and Business Management", *Emergence*, vol. 4.

Mathews, K. M., M. C. White, and R. G. Long (1999), "Why Study the Complexity Sciences in the Social Sciences?", *Human Relations*, vol. 52, no. 4.

Mattos, S. H. D. et al. (2016), "Contributions of the Complexity Paradigm to the Understanding of Cerrado's Organization and Dynamics", *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, vol. 88, no. 4.

Maturana, H. R. and F. J. Varela (1991), "Autopoiesis and Cognition: The Realization of the Living", *Springer Science and Business Media*, vol. 42.

Mayer-Kress, G. and S. Grossman (1989), "Chaos in the International Arms Race", *Nature*, vol. 337.

McMillan, E. (2002), "Considering Organisation Structure and Design from a Complexity Paradigm Perspective", *Tackling Industrial Complexity: the Ideas that Make a Difference*, Cambridge, UK: Institute of Manufacturing, University of Cambridge.

Mitchell, M. (2009), *Complexity: A Guided Tour*, Oxford University Press.

Morcol, G. (2001), "What Is Complexity Science? Postmodernist or Postpositivist?", *Emergence, A Journal of Complexity Issues in Organizations and Management*, vol. 3, no. 1.

Morrison, K. (2008), "Educational Philosophy and the Challenge of Complexity Theory", in: *Complexity Theory and the Philosophy of Education*, United Kingdom: John Wiley and Blackwell's.

Mowles, C., R. Stacey, and D. Griffin (2008), "What Contribution Can Insights from the Complexity Sciences Make to the Theory and Practice of Development Management?", *Journal of International Development*, vol. 20, no. 6.

Nadrljanski, Đ., A. Munitić, and M. Nadrljanski (2008), "Cybernetics Models of Methods in Informatics Teaching", *Infomedia*, *The International Journal on Informatics and New Media in Education*, no.1.

Nagel, T. (1998), "Reductionism and Antireductionism", *The Limits of Reductionism in Biology*, vol. 213.

Ni, X. and R. Branch (2007), "Complexity Theory", in: *Handbook of Research on Educational Communications and Technology: A Project of the Association for Educational Communications and Technology*, vol. 2, Routledge.

Ni, X. et al. (2008), "Complexity Theory", in: *Handbook of Research on Educational Communications and Technology*, The Taylor and Francis E-Library.

Northrop, R. B. (2010), *Introduction to Complexity and Complex Systems*, Florida: CRC Press.

Olmedo, E. (2010), "Complexity and Chaos in Organisations: Complex Management", *International Journal of Complexity in Leadership and Management*, vol. 1, no. 1.

Olssen, M. (2008), "Foucault as Complexity Theorist: Overcoming the Problems of Classical Philosophical Analysis", *Educational Philosophy and Theory*, vol. 40, no. 1.

Oxford English Dictionary (2002), *The Concise Oxford English Dictionary*, 10th ed., Revise J. Pearsall (ed.), New York: Oxford University Press.

Page, S. E. (2008), *The Difference: How the Power of Diversity Creates Better Groups, Firms, Schools, and Societies*, Princeton University Press.

Parrish, J. K. and L. Edelstein-Keshet (1999), "Complexity, Pattern, and Evolutionary Trade-offs in Animal Aggregation", *Science*, vol. 284.

Pascolo, P., F. Barazza, and R. Carniel (2006), "Considerations on the Application of the Chaos Paradigm to Describe the Postural Sway", *Chaos, Solitons and Fractals*, vol. 27, no. 5.

Pavard, B. (2002), "Complexity Paradigm as a Framework for the Study of Cooperative Systems", *Revue d'Intelligence Artificielle*, vol. 16.

Phelan, S. E. (2001), "What is Complexity Science, Really? Emergence", *A Journal of Complexity Issues in Organizations and Management*, vol. 3, no. 1.

Pourdavood, Roland G. et al. (1999), "Complexity of School Reform: Order and Chaos", Paper Presented at the Annual Meeting of the American Educational Research Association Montreal, Quebec, Canada, <http://files.eric.ed.gov/fulltext/ED430286.pdf>.

Radzicki, M. J. (1990), "Institutional Dynamics, Deterministic Chaos, and Self-Organizing Systems", *Journal of Economic Issues*, vol. 24, no. 1.

Richardson, K. A. (2005), "Systems Theory and Complexity: Part 3", *Emergence: Complexity and Organization*, vol. 7, no. 2.

Rickles, D., P. Hawe, and A. Shiell (2007), "A Simple Guide to Chaos and Complexity", *Journal of Epidemiology and Community Health*, vol. 61, no. 11.

Rind, D. (1999), "Complexity and Climate", *Science*, vol. 284.

Robertson, R. (2014), *Chaos Theory in Psychology and the Life Sciences*, Psychology Press.

Rose, S. (2003), *Lifelines: Life Beyond the Gene*, Oxford University Press.

Rosser, J. B. (1999), "On the Complexities of Complex Economic Dynamics", *The Journal of Economic Perspectives*, vol. 13, no. 4.

Sala, N. (2011), "Chaos and Complexity in Arts and Architecture", in: *Chaos and Complexity Research Compendium*, vol. 1, New York: Nova Science Publishers, Inc.

Schlesinger, J. and L. P. Daley (2016), "Applying the Chaos Theory of Careers as a Framework for College Career Centers", *Journal of Employment Counseling*, vol. 53, no. 2.

Schneider, M. and M. Somers (2006), "Organizations as Complex Adaptive Systems: Implications of Complexity Theory for Leadership Research", *The Leadership Quarterly*, vol. 17, no. 4.

Seifert, L. et al. (2017), "Understanding Constraints on Sport Performance from the Complexity Sciences Paradigm: An Ecological Dynamics Framework", *Human Movement Science*, vol. 56.

Siemens, G. (2014), *Connectivism: A Learning Theory for the Digital Age*, <http://er.dut.ac.za/bitstream/handle/123456789/69/Siemens_2005_Connectivism_A_learning_theory_for_the_digital_age.pdf?sequence=1>.

Smitherman, S. (2004), "Chaos and Complexity Theories: Wholes and Holes in Curriculum", in: *Chaos, Complexity, Culture, and Curriculum*, New York: Peter Lang.

Stacey, R. D. (1992), *Managing the Unknowable: Strategic Boundaries Between Order and Chaos in Organizations*, UK: John Wiley & Sons.

Stacey, R., D. Griffin, and P. Shaw (2000), *Complexity and Management: Fad or Radical Challenge to Systems Thinking?*, London: Routledge.

Svensson, G. and C. Padin (2012), "Teleological Approaches from Complexity Sciences in Services: Framework, Illustration and Proposition", *International Journal of Quality and Service Sciences*, vol. 4, no. 3.

Tasaka, H. (1999), "Twenty-First-Century Management and the Complexity Paradigm", *Emergence*, vol. 1, no. 4.

The American Heritage, New Dictionary of Cultural Literacy (2005), "Chaos in Culture", Houghton Mifflin Company, Third Edition.

The Free Dictionary (2016), "Chaos", <thefreedictionary.com/ Chaos>.

The New England Complex Systems Institute/ NESCI (2000), *About Complex Systems*, <http://necsi.edu/guide/>.

Thietart, R. A. and B. Forgues (1995), "Chaos Theory and Organization", *Organization Science*, vol. 6, no. 1.

Toulmin, S. (1972), "Rationality and Scientific Discovery", in: *PSA: Proceedings of the Biennial Meeting of the Philosophy of Science Association*, Boston: D. Reidel Publishing.

Tremblay, M. C. and L. Richard (2011), "Complexity: A Potential Paradigm for a Health Promotion Discipline", *Health Promotion International*, vol. 29, no. 2.

Vocabulary.Com (2017), "Chaos", <http://www.vocabulary.com/dictionary/chaos>.

Wegener, I. (2005), *Complexity Theory, Exploring the Limits of Efficient Algorithms*, Translated from the German by Randall Pruim, Germany: Springer-Verlag Berlin Heidelberg.

Weng, G., U. S. Bhalla, and R. Iyengar (1999), "Complexity in Biological Signaling Systems", *Science*, vol. 284.

Wilson, T. D. (2012), *Stop Bullying the 'Soft' Sciences*, Los Angeles Times.

Wolfram, S. (2002), "A New kind of Science vol. 5", Champaign: Wolfram Media, *American Mathematical Society*, vol. 40.

Wood, P. and G. Butt (2014), "Exploring the Use of Complexity Theory and Action Research as Frameworks for Curriculum Change", *Journal of Curriculum Studies*, vol. 46, no. 5.

Zhao, J. et al. (2006), "Complex Networks Theory for Analyzing Metabolic Networks", *Chinese Science Bulletin*, vol. 51, no. 13.

Zia, A. et al. (2014), "From the Habit of Control to Institutional Enablement: Re-Envisioning the Governance of Social-Ecological Systems from the Perspective of Complexity Sciences", *Complexity, Governance, and Networks*, vol. 1, no. 1.

http://www.businessdictionary.com/definition/foundation.html.

http://www.merriam-webster.com/dictionary/foundation.