

درآمدی انتقادی بر نظریه‌های «آشوب و پیچیدگی»

سید محمدحسین حسینی*

چکیده

هدف این مقاله توصیف و نقد نظریه‌های آشوب و پیچیدگی است. لذا از روش پژوهش «کاوشگری فلسفی انتقادی» استفاده شد. جامعه آماری دربرگیرنده کلیه کتابها، مقالات، مطالعات و پژوهش‌های مرتبط با موضوع بود که حداکثر ممکن منابع به روش نمونه‌گیری هدفمند، به عنوان نمونه انتخاب شدند. داده‌های موردنیاز از طریق سیاهه یادداشت‌برداری گردآوری، و اطلاعات به روش کلامی و استنتاج منطقی تحلیل شد. براساس یافته‌های پژوهش، نظریه آشوب علم مطالعه سیستمهای پیچیده، پویا، غیرخطی، دور از تعادل، و نظریه پیچیدگی علم مطالعه، توصیف و تبیین رفتار سیستم‌های انطباقی پیچیده است که با ویژگی‌های اثر پروانه‌ای، مجذوب‌کننده‌های ناشناس، خودشبهاتی، ظهوریابندگی، حلقه‌های بازخور، عدم تعادل، خودسازماندهی، آشیانه‌ای بودن، شبکه‌ای بودن، کل‌نگری، غیرخطی و غیرقابل پیش‌بینی بودن شناخته می‌شوند. این نظریه‌ها با برداشت کوهنی، یک نظریه علمی، با مفهوم علوم نرم، یک علم و به دلیل زیرسؤال بردن پارادایم مدرنیسم و ارائه مفروضات جایگزین، پارادایم محسوب می‌شوند.

کلیدواژه‌ها: نظریه آشوب، نظریه پیچیدگی، نقد

۱. مقدمه و تبیین مسئله

عصر اخیر، عصر تغییرات شگفت‌انگیز در حوزه‌های مختلف علمی، فناوری، اقتصادی، سیاسی و غیره است. یکی از این تغییرات شگفت‌انگیز، تغییر در مفروضات علم است. مفروضاتی که از چهارصد سال قبل تا نیمه دوم قرن بیستم ثابت مانده و

*دکتری برنامه‌ریزی درسی و عضو پژوهشگاه مطالعات آموزش و پرورش، Hosseini261@gmail.com

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۴/۱۹، تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۶/۲۸

نظروری و عمل حوزه‌های مختلف را شکل داده‌اند. مفروضاتی شامل ایستایی یا ثبات جهان و پدیده‌های آن (Toulmin, 1972)، قطعیت‌گرایی (Friedman; Hoefler, 2016)، خطی بودن و علیت خطی (Northrop, 2010)، کاهش‌گرایی یا تقلیل‌گرایی (Lucas Jr, 2016; Nagel, 1998)، قابل پیش‌بینی بودن (Morrison, 2008; Chappell, 1989) که با «شکاف بزرگ دکارتی» شکل گرفته (Fitzgerald & Eijnatten, 2002) و با فعالیتهای عملی ایساک نیوتن به پارادایم مدرنیسم یا نیوتنیسم تبدیل شد (Gleick, 2011). پس از تکوین پارادایم مدرنیسم و ایدئولوژی قطعیت‌گرایی علمی نیوتن، کار علمی ویژگی‌های مشخصی پیدا کرد که عبارت بود از:

۱- جهان قابل پیش‌بینی است. پیش‌فرض علم این است که از طریق بدست آوردن دانش تقریبی درباره شرایط اولیه سیستم، همچنین دانستن قوانین فیزیکی و با داشتن ظرفیت محاسبه 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 دقیق‌تر آینده این وضعیت از دقت بیشتری برخوردار خواهد شد.

۳- تلاش علمی عبارت است از تجزیه و شکستن یک سیستم به اجزاء تشکیل‌دهنده آن و در نهایت استفاده از قوانین و مقررات علمی برای پیش‌بینی رفتار سیستم.

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

پارادایم مدرنیسم، اگرچه سبب پیشرفت‌های متعددی برای بشر شد. به نحوی که برای بسط همگانی آن در تمام ابعاد زندگی بشری تلاش‌های متعددی صورت گرفت و روانشناسان، جامعه‌شناسان، آموزش و پرورش‌ها، اقتصاددانان و دانشمندان سیاسی در برابر جام مقدس «پیش‌بینی» مسخ شدند، اما، در همان پیش‌فرض‌های اولیه خود با چند کاستی عمده زیر دست به گریبان بود:

- نبود ابزارهایی برای اندازه‌گیری کامل یا دانش تقریبی برای آشکار کردن شرایط اولیه سیستم
- کافی نبودن دانش مرتبط با قوانین و مقررات ساخت اجزاء سیستم
- وجود نداشتن ظرفیت محاسبه ضروری (Ibid).

تعارض ناشی از پذیرش گسترده علم و همچنین کاستی‌های آن سبب شد تا دانشمندان زیادی بر این کاستی‌ها متمرکز شده و برای رفع آنها تلاش نمایند. این تلاشها تا دهه ۱۹۵۰ و ۱۹۶۰ میلادی نتایج قابل توجهی در پی نداشت. اما در این دهه‌ها، سه پیشرفت مهم در علوم سبب احیاء جهان قطعیت‌گرای نیوتنی در سطح کلی شد. به عبارتی دقیق‌تر، تکنولوژی رشد یافت و به تبع آن امکان اندازه‌گیری اطلاعات یا دانش تقریبی از طریق ابزارهای اندازه‌گیری دارای دقت بالا مهیا گردید. نظریه‌های نسبیت و مکانیک کوانتوم سبب شد تا فیزیک‌دانان باور کنند که تمام قوانین فیزیکی را وضع کرده‌اند. و سرانجام تکنولوژی کامپیوتری انجام محاسبات بسیار زیاد را ممکن ساخت و سبب شد تا خیلی از محاسباتی که به صورت دستی تقریباً غیرممکن بود، انجام‌پذیر گردند.

احیاء جهان قطعیت‌گرای نیوتنی و موج خوش‌بینی ناشی از آن سبب شد تا سیستم‌های پیچیده در دیسپلین‌های علمی مختلف به اجزاء خود شکسته شده، قوانین حاکم بر روابط اجزاء آن فرضیه‌سازی شده و برای فرمول‌بندی کردن این روابط، معادله‌هایی ارائه شود. فعالیت‌های انجام شده توسط لازرفیلد (Lazerfield) در علوم اجتماعی، کاسیو (Casio) در روانشناسی کاربردی، هفت قانون ویکتور وروم (Victor Vroom) درباره سبک‌های رهبری در مدیریت و جنبش تربیت‌معلم صلاحیت‌مدار (CBTE) در آموزش و پرورش نمونه‌هایی از ورود روش علمی کلاسیک در دیسپلین‌های غیرفیزیکی-غیرطبیعی است (همان).

با این همه، خوش‌بینی جدید جهان قطعیت‌گرای نیوتنی چندان طول نکشید و پارادایم مدرنیسم در حوزه سیستم‌های باز عملاً متوقف شد و این توقف دقیقاً در جایی رخ داد که نظریه‌های آشوب و پیچیدگی آغاز شد (Sala, 2011). به بیانی دقیق‌تر، یافته‌های علمی ادوارد لورنز در دهه ۷۰ میلادی (Smitherman, 2004) از یک طرف و از طرف دیگر، فعالیت‌های علمی در حوزه‌های سه‌گانه سایبرنتیک، نظریه سیستم‌های عمومی، و دینامیک غیرخطی در نیمه دوم قرن بیستم که منجر به نظریه پیچیدگی شد (Abraham, 2011) سبب کشف ویژگی‌هایی از سیستم‌های زنده شد که تفاوت‌هایی آشکار با مفروضات مدرنیسم داشت و تزلزلی اساسی در کاربرد مدرنیسم در حوزه سیستم‌های زنده ایجاد کرد. نظریه‌هایی که در سطح بین‌المللی، امروزه بسیاری از حوزه‌های علمی را تغییر داده و می‌دهند، اما در سطح ملی آنطور که باید مدنظر قرار

نگرفته‌اند. بنابراین، اینکه نظریه‌های آشوب و پیچیدگی چیست؟، چه ویژگی‌هایی دارند؟، سبب چه مفروضاتی شده‌اند؟، چه نقدهایی بر آنها وارد است؟، موضوعی است که این مقاله درصدد توصیف و تبیین آنهاست.

۲. روش‌شناسی پژوهش

برای بررسی موضوع از روش پژوهش «کاوشگری فلسفی انتقادی» استفاده شد. کاوشگری فلسفی انتقادی یعنی حاکمیت تأمل فلسفی بر عمل (ویل، نقل شده در هاگرسون، ۱۳۸۷)، و جستجوی مبنای منطقی، شیوه‌های استدلال، ارزشهای راهنما، یا هنجارهای حاکم بر اندیشه‌ها و اعمال. از مهمترین اهداف آن می‌توان به ابهام‌زدایی، فهم و شفاف‌سازی، تدارک‌گزینیه‌های بدیل، فراتر رفتن، راهبردشدن به سوی عقلانیت و بهبود عمل اشاره کرد. مراحل این روش شامل تشریح مفروضات روش‌شناختی و هستی‌شناختی سنت پژوهشی در دست بررسی، مقایسه سنتهای پژوهشی چندگانه به منظور توجه به مسئله تحت رسیدگی، و تعیین کارآیی شایسته‌ترین پارادایم یا سنت با اعمال معیار پیش‌روندگی است (هاگرسون، ۱۳۸۷). البته در زمینه نقادی یا کاوشگری انتقادی، ویلیز و مک‌کاجن نیز مراحل را معرفی کرده‌اند. مراحل نقادی از نظر ویلیز (۱۳۸۷) دربرگیرنده مشاهده، توصیف، تفسیر و ارزیابی و از نظر مک‌کاجن (نقل شده در بارون، ۱۳۸۷) شامل توصیف (Description)، تفسیر (Interpretation) و ارزیابی (Assessment) است. توصیف یعنی به تصویر کشیدن کیفیت‌های موجود در یک موقعیت، نظریه یا سیستم، حقایق اساسی و مهم آن و همچنین زمینه وسیع‌تری که پدیده یا نظریه در آن قرار دارد (ویلیز، ۱۳۸۷، بارون، ۱۳۸۷). تفسیر یعنی نسبت دادن معانی به موقعیت. معانی که می‌توانند از درون یا بیرون موقعیت، نظریه یا سیستم حاصل شوند. البته این گام از نقادی نیازمند درنظر گرفتن معیارهایی برای نقد است. ارزیابی نیز شامل اظهارنظر درباره 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:

فعالیت	مرحله
• مفهوم و ویژگی های نظریه ها	۱- توصیف نظریه های آشوب و پیچیدگی
• تحلیل و تفسیر نظریه ها براساس معیارها	۲- تفسیر نظریه های آشوب و پیچیدگی
• تعیین نقاط قوت و ضعف نظریه ها و قضاوت درباره آنها • قضاوت درباره اثرگذاری نظریه ها در عمل	۳- ارزیابی و تعیین کارایی نظریه ها

همچنین در بخش معیارهای نقادی نظریه ها، معیارهای زیر مدنظر قرار گرفت:

معیار تفسیر	شرح معیار
دلالت های نظری	• آیا این نظریه ها، حداقل های لازم برای نظریه، علم یا پارادایم را دارند؟
دلالت های عملی	• این نظریه ها چه کاربردهایی در دنیای علمی داشته اند؟

برای بررسی نظریه های آشوب و پیچیدگی، حداکثر ممکن مطالعات و پژوهش های مرتبط با موضوع، به روش نمونه گیری هدفمند و از طریق سیاهه یادداشت برداری مورد بررسی و تحلیل قرار گرفت. در نهایت، اطلاعات به روش کلامی، تصویری و استنتاج منطقی توصیف، تحلیل و بررسی شد.

۳. تحلیل داده ها و اطلاعات

متناسب با مراحل کاوشگری فلسفی انتقادی، یافته های مربوط به سؤالات به شرح زیر است:

۳-۱. معرفی و توصیف نظریه های آشوب و پیچیدگی و ویژگی های آنها

نظریه های آشوب و پیچیدگی در نیم قرن اخیر مطرح شده اند و از مبانی نظری و پیشینه پژوهشی قابل توجهی برخوردار و ادبیات غنی ای درباره آنها وجود دارد. بنابراین نمی توان تمامی جنبه های آن را در یک مقاله عملی توصیف نمود. بنابراین در این مقاله فقط مفهوم و ویژگی های آنها مطرح شده است.

۳-۱-۱. نظریه آشوب

«آشوب» واژه ای برآمده از واژه یونانی «χάος» (Leadbetter, 'Sala, 2011) به منزله حالت تهی یا بی شکل قبل از خلقت جهان یا کیهان (Vocabulary, 2017؛ 2000)

در اسطوره‌های خلقت یونانی، شکاف اولیه ایجاد شده توسط 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 بعد از آن همه چیز کامل شد (Leadbetter, 2000)، این واژه اگرچه در لغت به معنی فقدان سازماندهی یا نظم کامل؛ توده بی‌نظم؛ منسوخ، شکاف یا پرتگاه، آشفته بازار، (dictionary.reference, 2015)، thefreedictionary، (2016)؛ هرج و مرج و آشفتگی کامل (Oxford English Dictionary, 2002)، متروک، توده بی‌شکل، حالت سردرگمی مطلق و یک توده یا ترکیب مغشوش (-merriam dictionary webster, 2016)، و یک موقعیت یا مکان دارای بیشترین بی‌نظمی یا آشفتگی (Sala, 2011) بوده، و در برداشت عمومی جامعه علمی مدرن به عنوان «سردرگمی» (confusion)، تیمارستان (bedlam)، اغتشاش (anarchy)، دوزخ (pandemonium)، درهم و برهمی (disarray) و دیوانگی (madness) در نظر گرفته می‌شود (Microsoft's thesaurus, Cited in Fitzgerald & Eijnatten, 2002)، اما در دنیای علمی تعابیر متفاوتی برای آن ارائه شده است.

تعبیری مانند نظم در بی‌نظمی (Hayles, 1990؛ Gleick, 2011)، شکلی مرموز از نظم (Calder, cited in Siemens, 2014)، یک حالت بی‌سازمان از ماده و نه حالتی بی‌نظم از آن (Abel, 2011)، وابستگی حساس نسبت به شرایط اولیه در سیستم‌های غیرخطی (Bishop, 2009)، یک فرایند غیرخطی معین که تصادفی نیست، اما تصادفی به نظر می‌رسد (مشیری، ۱۳۸۱)، فرایندهایی که در آنها تغییرات به صورت رشد و پیشرفت زمانی اتفاق می‌افتد و متغیرها اگرچه به نظر براساس احتمال پیشرفت می‌کنند، اما رفتار آنها براساس قوانین دقیق صورت می‌گیرد (Lorenz, 2005)، رفتار سیستم‌هایی که از قوانین قطعیت گرایانه پیروی می‌کنند، اما به صورت تصادفی و غیرقابل پیش‌بینی ظاهر می‌شوند. سیستم‌هایی که به شدت به شرایط اولیه حساس بوده 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 in Bishop, 2009)، که سبب شکل‌گیری نظریه جدیدی شده است که عبارت است از:

- طبقه جدیدی از علم که با سیستم‌هایی سروکار دارد که تکامل آنها به حساسیت بسیار بالا

نسبت به شرایط اولیه وابسته است (The American Heritage, New Dictionary of

(Cultural Literacy, 2005).

- علم سیستم‌های پیچیده، پویا، غیرخطی، مشارکتی-خلاق، دور از تعادل (Fitzgerald & Eijnatten, 2002).
- پارادوکسی درباره نظم ناشی از بی‌نظمی در یک فرایند پویا و تحولی (Haynes, 2015).
- مطالعه سیستم‌های پویای غیرخطی پیچیده (Sala, 2011؛ Levy, 1994). پیچیده، چون دارای متغیرهای زیاد و معادله درون معادله است، غیرخطی، چون معادله همانند کدنویسی برنامه قابل حل نیست، و پویا، چون هر تغییری به چشم‌انداز و عوامل مختلف و متعددی بستگی دارد (Sala, 2011).
- مطالعه کیفی رفتار دوره‌ای ناپایدار در سیستم‌های پویای غیرخطی جبری (قطعی) (Kellert, cited in Bishop, 2009).
- علم مطالعه سیستم‌های دارای رفتارهای نامنظم، غیرخطی و غیرقابل پیش‌بینی و پیچیده، اما دارای یک الگوی نظم غایی در تمام این بی‌نظمی‌ها (اعتباریان، ۱۳۸۶).

مطالعات نیم‌قرون اخیر درباره نظریه آشوب سبب شناسایی ویژگی‌های مختلف آن، به شرح جدول زیر شده است:

ویژگی	اندیشمند
اثر پروانه‌ای و مجذوب‌کننده‌های ناشناس	لورنز (۲۰۰۵)
وابستگی حساس یا اثر پروانه‌ای، قطعیت‌گرایی و غیرخطی بودن	اسمیت (به نقل از بیشاپ، ۲۰۰۹)
غیرخطی بودن، غیرقابل پیش‌بینی بودن، وابستگی درونی، تولیدات هم‌افزایانه (سینرژتیک)، خودزاینده‌گی، محدودیتها، ارتباطات معکوس، خودسازماندهی	نادرلیانسنکی، و دیگران (۲۰۰۸)
آگاهی (consciousness)، اتصال (Connectivity)، عدم قطعیت (Indeterminacy)، ظهوریابندگی (Emergence) و اتلاف (Dissipation)	فیتزجرالد و اینتن (۲۰۰۲)
خودشبهی یا الگوهای فرکتالی، بی‌نهایت محدود شده (Bounded Infinity) و غیرقابل پیش‌بینی بودن	اسمیتزمن (۲۰۰۴)
اثر پروانه‌ای، سازگارسازی پویا، مجذوب‌کننده‌های ناشناس و خودشبهی	رستگاری و ثقفی (۱۳۸۴)

با توجه به جدول فوق، پراظهارترین ویژگی‌های این نظریه عبارت است از:

- اثر پروانه‌ای یا وابستگی حساس: به این معنی که رخدادهای کوچک و تغییراتی اندک، مانند بال زدن یک پروانه در آمازون، در شرایط اولیه می‌تواند تأثیراتی بسیار گسترده و نتایج وسیع و پیش‌بینی نشده‌ای در بروندها و ستاندهای سیستم، مانند توفانی در تگزاس، داشته باشند (Lorenz, 2005؛ جیسون، به نقل از اکوانی و موسوی‌نژاد، ۱۳۹۱).
- مجذوب‌کننده‌های ناشناس یا غریب: به معنی الگوهای پیچیده غیرقابل پیش‌بینی ظاهر شده در طول زمان معین (Lorenz, 2005) که اگرچه بی‌نظم هستند، اما سبب تبدیل داده‌های به ظاهر غیرمنتظره به داده‌های قابل توجه می‌شوند (Nadrljanski, et al, 2008).
- خودشبهاتی یا شباهت درونی و فرکتالی بودن: به معنی فرکتالی یا خودمانایی بودن پدیده‌های آشوبناک، به نحوی که در صورت بزرگنمایی یک بخش، شکل آن همانند شکل کلی آن پدیده می‌شود (Gros, 2010).
- غیرخطی بودن: به معنی عدم تبعیت رفتار سیستم‌های آشوبناک از اصل برهم‌نهی، نبود ارتباطی روشن بین دروندها و بروندهای سیستم، وجود نقاط تعادل جداگانه متعدد در این سیستم‌ها و نشان دادن ویژگی‌هایی مانند چرخه محدود، انشعاب و آشفتگی (Rickle, et al, 2007)، وجود روابط نابرابر بین نیروهای مؤثر بر سیستم و پاسخ‌های آنها، غیرقابل تفکیک بودن تأثیر متغیرهای مختلف بر سیستم، و برهم‌کنشگری اجزاء سیستم و همچنین عوامل مختلف مؤثر بر آن (کرم، ۱۳۸۹).
- غیرقابل پیش‌بینی بودن: به این معنی که رفتار سیستم‌های آشوبناک را به دلیل وابستگی حساس یا اثر پروانه‌ای، و در نتیجه غیرممکن بودن درک تمامی عوامل مؤثر بر سیستم و تغییر دائمی محیط، نمی‌توان با درجه‌ای از اطمینان، یا به روش‌های منظم و از قبل تعیین شده پیش‌بینی نمود (Johnson, Cited in Wood & Butt, 2014؛ Mason, 2008؛ Smitherman, 2004).

۳-۱-۲. نظریه پیچیدگی

پیچیدگی به معنی کیفیت یا حالتی بغرنج و دشوار از نظر فهمیدن، انجام دادن یا ساختن (dictionary merriam-webster, 2016)، دارای بخشها یا جنبه‌های بهم‌پیوسته زیاد (thefreedictionary, 2016)، یا نیروی ماوراءطبیعی به ظاهر مسئول اختلالات جهان (Antunes & Gonzalez, 2015)، واژه‌ای است که تعریف آن بسیار دشوار بوده، و

- در بین دانشمندان تعریف منحصر به فردی از آن یافت نمی‌شود (Johnson, 2009). با این‌همه، تعاریفی متعددی درباره پیچیدگی ارائه شده است که برخی از آنها عبارتند از:
- سیستم‌هایی که کل آنها بزرگتر از مجموع بخش‌هایشان است (Goodwin, Cited in Morrison, 2008).
 - واحدها یا سیستم‌هایی که ویژگی‌هایی را نشان می‌دهند که بیش از مجموع صفات و ظرفیت‌های تک‌تک عوامل است (Davis & Sumara, 2006).
 - رفتارهای نوظهور ناشی از تعاملات درونی و بیرونی بین سیستم‌های خود-سازمانده و سیستم‌های سازگار شونده (انطباقی) (Richardson, 2005).
 - مجموعه‌ای از عناصر بهم‌پیوسته که رفتار جمعی آن به روشی شگفت‌انگیز و متضاد با خواص اجزاء و ارتباطات درونی آنها شکل می‌گیرد (Jakobsson & Working, 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 بوده 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:
- زمینه جدید علمی که به مطالعه نحوه منجر شدن رفتار بخش‌های یک سیستم به رفتار جمعی سیستم، و نحوه تعاملات سیستم با محیط خودش می‌پردازند (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 در اثر تعامل عوامل سیستم با یکدیگر (Horn, 2008).
 - نظریه‌ای که به مطالعه سیستم‌های پویای پیچیده‌ای می‌پردازد که غیرقابل پیش‌بینی بوده و در همان زمان، ویژگی‌های جدید را تولید می‌کنند و به صورت خود به خودی به ساختارهای جدید خودسازمانده می‌شوند (Olmedo, 2010).
 - مطالعه پدیده‌ای که از مجموعه‌ای از اشیاء بهم‌پیوسته پدیدار می‌شود (Johnson, 2009).
 - علم شناسایی و تشریح سیستم‌هایی که برای فهمیدن یا الگوسازی از طریق محاسبات خطی بسیار پیچیده هستند، اما کاملاً تصادفی نیستند (Mitchell, 2009).

- علم جدید مطالعه نظم و ترتیب‌ها به روشهایی نو و نه رویکردی جدید برای مطالعه پیچیدگی جهان (Phelan, 2001).
- روشی برای بررسی سیستمهای پیچیده طبیعی و اجتماعی (Jackson, 2002).
- نظریه‌ای که نشان می‌دهد که چگونه تعداد زیادی از بخشها می‌توانند از طریق خودسازماندهی به واحدهایی تبدیل شوند که الگو تولید کرده، اطلاعات را ذخیره کرده و در تصمیم‌سازی جمعی درگیر شوند (Parrish & Edelman-Keshet, 1999)

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

ویژگی	اندیشمند
حلقه‌های بازخور، درجاتی از نظم خود به خودی، نیرویی از نظم (robustness of the order)، سازمان نوظهور، کثرت (numerosity) و سازمانهای سلسله‌مراتبی	لیدیمن و دیگران (۲۰۱۳)
داشتن عناصر متعددی که خودشان می‌توانند ساده باشند، وجود ارتباط پویا بین این عناصر، غنی بودن ارتباطات بین عناصر، به نحوی که هر عنصر می‌تواند عناصر متعددی را در سیستم تحت تأثیر قرار دهد، تعامل غیرخطی بین عناصر، به نحوی که علل کوچک می‌توانند نتایج بزرگی داشته باشند (و برعکس)، رخ دادن تعاملات در دوره زمانی کوتاه، اما با به دلیل همراهی با دیگر اجزاء دارای تأثیراتی بلندمدت، وجود حلقه‌ها و مسیرهای بازخوری متعدد در سیستم (اثر هر فعالیت ممکن است به خودش بازگردانده شود)، باز بودن و تعامل سیستم با محیط، کارکردن در شرایط دور از تعادل، داشتن یک تاریخچه و تحول از طریق زمان و در نظر گرفتن گذشته به عنوان هم-مسئول (co-responsible) رفتار فعلی، و کل نگر بودن سیستم و در نظر گرفتن آن به عنوان یک کل.	سیلیرز و پریسر (۲۰۱۰)، لیزاک (۱۹۹۹) و سیلیرز (۱۹۹۸)
شبکه‌ای بودن، حلقه‌های بازخور، خودسازماندهی، عدم تعادل (nonequilibrium)، و ماهیت آشیانه‌ای یا لایه‌لایه.	کلاری و کالینز (۲۰۰۷)
ظهور یابندگی و خودسازماندهی؛ پویایی، ناهم‌سازی محدود (Limited)	پاورد و دوگدیل (به نقل از

ویژگی	اندیشمند
descomponibility)؛ ارتباطات انطباقی غیرخطی؛ وابستگی بلندمدت، داشتن تاریخ و تحول برگشت‌ناپذیری؛ فقدان قطعیت‌گرایی؛ و لایه‌لایه بودن	اولمدو، (۲۰۱۰) و اسنودن و بون (به نقل از همان)
۱- داشتن واحدهای پیچیده مستقل، ۲- داشتن واحدهای چندگانه در درون هر بخش، ۳- داشتن کارکردهای بهم‌پیوسته در نهادهای درون پدیده، ۴- جستجوی یک هدف عمومی از طریق یک فرایند سازگارسازی، و ۵- تعاملات غیرقابل پیش‌بینی در درون خود پدیده و بین پدیده و محیط آن	نی و برنج (۲۰۰۸)
انطباق، سیستم باز، یادگیری، بازخور، ارتباط، ظهوریابندگی و خودسازماندهی	موریسون (۲۰۰۸)
مجموعه‌ای از بخشهای بهم‌پیوسته، تعاملات بین بخشها، کل‌نگر بودن یا عمل کردن یک سیستم به عنوان یک کل، ظهوریابندگی (ارتباط بین بخشها و کل) و تأثیر متقابل (تأثیرگذاری بخشهای سیستم بر یکدیگر)	انگلیش (۲۰۰۷)
خودسازماندهی، دور از تعادل بودن، باز بودن (openness)، بازخور و تنومند یا قوی بودن (robust) ^۱ یا وابستگی به مسیر (path dependence)، تاریخ‌مند یا غیرمارکوفین (non Markovian) ^۲ بودن	ریکلز، و دیگران (۲۰۰۷)
خود-سازماندهی شده، ظهور پایین به بالا، ارتباطات دامنه-کوتاه (اکثر اطلاعات درون یک سیستم پیچیده بین همسایه‌های نزدیک تبادل می‌شود، به این معنی که انسجام سیستم عموماً به وابستگی‌های بی‌واسطه عوامل، نه یک کنترل متمرکز یا مدیریت بالا به پایین بستگی دارد)، ساختار آشیانه‌ای (شبکه‌های مقیاس-آزاد)، مرزبندی شده به صورت مبهم (پدیده پیچیده، باز است به این معنی که آنها به صورت مداوم مواد و انرژی را با محیط خود مبادله می‌کند، لذا قضاوت درباره لبه‌های آنها ممکن است نیاز به تحمیل‌های اجباری و نادیده‌گرفتن‌های ضروری داشته باشد)، به صورت سازمانی بسته شده (پدیده پیچیده بسته است، به این معنی که ذاتاً پایدار بوده و الگوهای رفتاری یا سازمانهای درونی آنها، حتی اگر با بسترهای پویای خود مواد و انرژی تبادل کند، تداوم می‌یابد)، ساختار تعیین شده (یک مجموعه پیچیده می‌تواند ساختار خودش را تغییر دهد به این صورت که برای حفظ حیات خود با بسترهای پیچیده، سازگار شود؛ به عبارتی دیگر، سیستم‌های پیچیده سوابق خود را مجسم می‌کنند، آنها یاد می‌گیرند و بنابراین براساس تکامل	دیویس و سومارا (۲۰۰۶)

انديشمند	ويژگي
	داروینی بهتر توصیف می‌شوند تا مکانیک نیوتنی) و دور-از-تعادل (سیستم‌های پیچیده نمی‌توانند در تعادل عمل کنند، در واقع، برای یک سیستم پیچیده تعادل پایدار دلالت بر مرگ دارد).
برتولیا و وایو (۲۰۰۵)	شبکه‌های بازخور، دور از تعادل بودن، غیرقابل پیش‌بینی بودن و غیرقابل برنامه‌ریزی بودن
اسمیرمن (۲۰۰۴)	اتوماتای سلولی، ساختارهای اتلافی و خودزاینده‌گی
استیسی و دیگران (۲۰۰۰)، وجکسون (۲۰۰۲)	سازه‌های متعدد و مستقل که به روش غیرخطی با هم تعامل می‌کنند، سازه‌هایی است که چندین مقیاس را تحت پوشش 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

با توجه به جدول فوق، پراظهارترین ویژگی‌های این نظریه به شرح زیر است:

- رفتار غیرخطی: به معنی عدم تناسب بین درون‌دادها و برون‌دادهای یک سیستم (Northrop, 2010)، روابط نابرابر بین نیروهای مؤثر بر یک سیستم و پاسخ‌های آنها، غیرقابل تفکیک بودن تأثیر متغیرهای مختلف، برهم کنشگری اجزاء سیستم‌های پیچیده و همچنین عوامل مختلف مؤثر بر سیستم، به دلایلی مانند آستانه‌ها، اثرات انباره‌ای، اشباع و تخلیه، خودنیرودهی-بازخور مثبت و خودسازماندهی (کرم، ۱۳۸۹).
- ظهور یابندگی: به معنی شکل‌گیری سازه‌ها، الگوها، و ویژگی‌های تازه و منسجم در یک سیستم پیچیده در طول فرایند خود-سازماندهی (Goldstein, 1999) و ویژگی‌هایی که نشان می‌دهند کاهش طرح‌واره کلی تحول سیستم به مجموع رفتارهای تک‌تک عوامل غیرممکن بوده (Holland, cited in Bertuglia & Vaio, 2005) و کل بزرگتر از مجموع اجزاء آن است (Steels, cited in Abel, 2009).
- حلقه‌های بازخور: به معنی کانال، زنجیره یا مسیری که براساس آن برون‌دادهای یک سیستم به عنوان درون‌داد به خود آن سیستم برگردانده می‌شود تا همان برون‌داد، یا بیشتر یا کمتر از آن را تولید نمایند (Ford, 2010) و سیستم بتواند رفتار بخش‌های خودش را بدون کنترل متمرکز هماهنگ نماید.

- **عدم تعادل یا غیر تعادلی بودن:** به این معنی که سیستم‌های زنده، برای بقا، نمی‌توانند و نباید همیشه در تعادل یا پایداری باشند (businessdictionary, 2016). چنین امری به معنی مرگ این سیستم‌هاست (Stacey, 1992)
- **خودسازماندهی و خودزاینده‌گی:** خودسازماندهی به معنی شکل‌گیری خود به خودی ساختارهای سازمانی، الگوها یا رفتارهای خوب از طریق شرایط اولیه تصادفی (Rocha, cited in Siemens, 2014). یعنی توانایی یک سیستم برای تنظیم خودکار مؤلفه‌ها و عناصر خود به روشی هدفمند (غیر تصادفی)، تحت شرایط مناسب، اما بدون کمک یک عامل بیرونی. و خودزاینده‌گی به معنی رفتار سیستمی که می‌تواند خودش را بازتولید کرده و ارتقاء ببخشد (Maturana & Varela, 1991). شبکه‌ای از فرایندها که اجزاء و بخش‌هایی را ایجاد می‌کنند و آن بخش‌ها یا اجزاء آن فرایندها را بازتولید می‌کنند (Maturana, cited in 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 در عین حال متنوع می‌شود (Al Suwailem, 2011؛ Page, 2008).
- **تاریخچه:** به این معنی که سیستم‌های پیچیده و زنده آنی و دفعی به وجود نمی‌آید، بلکه محصول شرایط و محیط اطراف خود بوده، تاریخچه‌ای دارد و در طول زمان تحول پیدا می‌کند. تاریخچه‌ای که در آن، گذشته به عنوان هم-مسئول رفتار فعلی در نظر گرفته می‌شود و نه تمام مسئول آن و حال نیز، بخشی از آینده را تشکیل می‌دهد و نه تمام آن را (Cilliers & Preiser, 2010؛ Cilliers, 1998؛ Lissack, 1999).
- **آشیا نه‌ای (تو در تو) بودن:** به این معنی که یک سیستم پیچیده در درون خود از زیرسیستم‌هایی تشکیل می‌شود که خود آنها نیز سیستم‌های پیچیده و شامل شونده (دیگر سیستم‌ها) هستند. از طرفی دیگر، این سیستم پیچیده خود در درون سیستم پیچیده بزرگتری قرار می‌گیرد. برای مثال، در یک نظام آموزشی به عنوان یک سیستم پیچیده، مدارس، کلاسهای درسی، و دانش‌آموزان سیستم‌های تو در تو پیچیده هستند که خود آنها در داخل لایه‌های منطقه‌ای، استانی و ملی قرار می‌گیرند (Collins & Clarke, 2008).
- **ارتباط‌گرایی و شبکه‌ای بودن:** به این معنی که سیستم‌های پیچیده اعم از سیستم‌های زیستی (Levin, cited in Cilliers, 1998)، اجتماعی (Haynes, 2015)، و یادگیری (Siemens, 2014) زمانی معنی پیدا می‌کنند که اجزاء و عناصر متعدد آنها به صورتی غیر خطی و شبکه‌ای با یکدیگر ارتباط یافته و یک کل منسجم را تشکیل دهند (Zhao, et)

Ladyman, et (Doll, 2008 ؛ al., 2006). در غیر اینصورت، 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 غیرقابل کاهش هستند (Cilliers, 1998). بنابراین درک این سیستم‌ها نیازمند درک و فهم هر یک از اجزاء، عناصر و عوامل سیستم از یک‌طرف و از طرف دیگر، فهم نحوه تعاملات آنها با یکدیگر و با جهان بزرگتر است. تعاملاتی که منجر به رفتار کلی سیستم می‌شوند (Al Suwailem, 2011).
- **عامل محیطی و اتوماتای سلولی:** به معنی قوانین بسیار ساده منتج به رفتارهای جهانشمول پیچیده نوظهور در سیستم‌های پیچیده (Wolfram, 2002) و اقدامات محلی مسبب رفتارهای پیچیده جهانی یا جهانشمول (Batty, 2000).
- **سازگار شونده‌گی پویا:** به معنی برقراری ارتباط و سازگاری سیستم‌های پیچیده با محیط خود برای تضمین بقاء سیستم (de Lope, et al, 2009) و تغییر رفتار سیستم در پاسخ به شرایط یا نیروی بیرونی، در طول زمان (Baranger, 2000؛ Åström & Murray, 2010).

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 «دلالات‌های نظری» و «دلالات‌های عملی» مدنظر قرار گرفته است. البته معیارهای دیگری نیز می‌توان تعیین و براساس آنها به نقد این نظریه‌ها پرداخت.

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 به عنوان یک نظریه، علم یا پارادایم در نظر گرفت. آشوب و پیچیدگی نیز اینچنین است. زیرا با یک جستجوی 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 & Forgues, 1995؛ Kiel & Elliott, 1996؛ Schlesinger & Bums, 2016؛ Robertson, 2014؛ Davis & Sumara, 2006؛ Mathews, et (Daley, 2016) «علم» (Bricmont, 1995؛ Davis & Sumara, 2006؛ Svensson & Padin, 2012؛ Mowles, et al., 2008؛ Delic & Dum, 2006؛ al., 1999

؛Barker, 2000؛Tasaka, 1999) یا «پارادایم» (Zia, et al., 2014؛ Seifert, et al., 2012 Tremblay &؛ Enns, 2008؛ Pascolo, et al., 2006؛ McMillan, 2002؛ Pavard, 2002 Lauder, et al.,؛ Bums, 2016؛ Mattos, 2016؛ Seifert, et al., 2012؛ Richard, 2011 (2017) نام برده‌اند. بنابراین طرح و نقد آنها براساس سؤال ماهوی ذکر شده ارزشمند و راهگشا خواهد بود.

پاسخگویی به چنین سؤال ماهوی درباره آشوب و پیچیدگی، نیازمند درک نظریه، علم و پارادایم و رسیدن به یک اجماع درباره آنهاست. درباره نظریه، طیفی از دیدگاه‌ها وجود دارد، که در یک سر آن دیدگاه بدیهی یا نحوی اثبات‌گرایانه منطقی و تجربی (مانند نظریه از دیدگاه حلقه 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 دارد. براساس دیدگاه بدیهی، نظریه نیازمند وجود بدیهیات و قوانینی برای ساختارهای قیاسی است. نظریه معنایی یا مدل-نظری، نظریه‌ای است که براساس (۱) مجموعه‌ای از الگوها و (۲) فرض ارتباط بین این الگوها با سیستم‌های فیزیکی آرمانی مشخص می‌شوند. طبق تحلیل کوهنی تأکید خاصی بر ساختار دقیق نظریه علمی وجود ندارد. برعکس، نظریه‌ها انسجام داشته و ابعاد سیستماتیک دانش اساساً توسط نقشی تعریف می‌شود که در طول پارادایم غالب در عمل علمی طبیعی ایفا می‌کنند (Bishop, 2009).

با در نظر گرفتن برداشت‌های فوق از نظریه، می‌توان گفت آشوب و پیچیدگی، نظریه‌ای بدیهی یا نحوی اثبات‌گرایانه منطقی و تجربی نیستند، زیرا ارتباطی بین استنادات مشاهده‌ای و استنادات نظری درباره پویایی آشوبناک-پیچیده وجود ندارد. اگرچه آشوب و پیچیدگی می‌توانند نظریه معنایی یا الگوی-نظری باشند. زیرا الگوهای مختلفی مانند نقشه لجستیکی (logistic map)، نقشه هنون (Henon map)، جذب‌کننده‌های لورنز ارائه شده است که سفت و سخت بوده و تقریباً خوب درک شده‌اند. اما در نظر گرفتن 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 بر سیستم دارند و می‌توان با فرض کردن آنها به عنوان خطاها یا حقایق «قابل اغماض»، 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 می‌شود. اما، براساس ویژگی‌های آشوب و پیچیدگی، یعنی حساسیت نسبت به شرایط اولیه یا اثر پروانه‌ای، ظهور یابندگی، خودزاینده‌گی و غیره تمام تغییرات یا عوامل مؤثر بر سیستم مهم و اساسی بوده و چه بسا، تغییرات بسیار ناچیز، تأثیرات بسیار بزرگی در سیستم داشته باشند. بنابراین در مدل‌سازی‌های آشوبناک-پیچیده خطاها یا حقایق «قابل اغماض» وجود ندارد و نمی‌توان آنها را نادیده گرفت، زیرا حتی کوچکترین حذف کردن‌ها در مدل‌های غیرخطی می‌تواند منجر به تأثیرات فاجعه‌باری شوند. بنابراین تفاوتی ماهوی بین مدل اثبات‌گرایانه و مدل آشوبناک وجود دارد (Bishop, 2009). دومین چالش ابهام در ارتباط مدل‌های آشوبناک-پیچیده با سیستم‌های فیزیکی ایده‌آل است. به بیانی دقیق‌تر، این نظریه‌ها از تدوین فرضیه‌ای برای برقراری ارتباط بین مدل‌های آشوب-پیچیده با سیستم‌های فیزیکی ایده‌آل کوتاه آمده‌اند. سومین چالش، روشن نبودن 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 به صورت ارتباط آشکار یک-به-یک باشد. الگوهای آشوبناک-پیچیده، غیرخطی هستند. بنابراین می‌توان برای هر سیستم الگوهای بالقوه متعددی در نظر گرفت که برای توصیف رفتار سیستم، هر الگو به تنهایی می‌تواند کفایت کند. بنابراین برای هر سیستم نمی‌توان ارتباط آشکار یک-به-یک در نظر گرفت. شاید این ارتباط یک-به-چند (چندین مدل غیرخطی متفاوت برای یک سیستم هدف و برعکس)، یا ارتباطی چند-به-چند باشد. بنابراین الگوهای ریاضیاتی آشوبناک-پیچیده بر الگوها و ارتباطات آنها با نظریه تمرکز دارند و ارتباط الگوها با سیستم‌های فیزیکی. بنابراین، آشوب و پیچیدگی می‌تواند یک نظریه معنایی یا مدل-نظری باشد اما یک نظریه ریاضیاتی و نه یک نظریه فیزیکی.

با این حال، آشوب و پیچیدگی نظریه‌های کوهنی هستند. زیرا براساس مطالعات صورت گرفته در این حوزه‌ها و سیستم‌های آشوبناک-پیچیده، پارادایم جدیدی شکل گرفته و نضج یافته است که در آن بر ناپایداری به جای رفتار پایدار، الگوهای ناپایدار به جای مکانیزم‌ها، ویژگی‌های جهانی [مانند اعداد فیگنباوم (Feigenbaum)]^۵ به جای قوانین و درک کیفی به جای بازنمایی تأکید می‌شود. بنابراین، آشوب و پیچیدگی

نظریه‌هایی هستند که از انسجام لازم برخوردار بوده و پارادایم غالب یا پارادایم نیوتنی را با چالش مواجه کرده و پایه‌های آن را سست کرده‌اند.

همانند نظریه، درباره 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 عینی بودن است (Douthwaite, et al., 2003؛ Hedges, 1987؛ Wilson, 2012؛ Frost, 2009). علوم سخت به علوم مانند فیزیک و علوم طبیعی اطلاق می‌شود که با ویژگی‌هایی مانند تولید پیش‌بینی‌های قابل آزمون، انجام آزمایش‌های کنترل شده، اتکاء بر داده‌های قابل اندازه‌گیری و الگوهای ریاضی، درجه بالایی از دقت و عینیت، درجه بالایی از اجماع، پیشرفت سریع در زمینه، موفقیت اکتشافی بیشتر، استفاده از روش خالص علمی و مدل‌سازی‌ها و تحلیل‌های کمی شناخته می‌شوند (Richardson and Cilliers, cited in Davis & Sumara, 2006؛ Wood & Butt, 2014؛ Lemons, 1996؛ Fanelli, 2010؛ Cole, 1983؛ Wilson, 2012؛ Rose, 2003؛ Gutting, 2012). علوم نرم نیز به علوم مانند علوم اجتماعی، روانشناسی و غیره گفته می‌شود که در آنها دقت، صحت و قابلیت پیش‌بینی کمتری نسبت به علوم سخت وجود دارد.

با در نظر گرفتن علوم سخت و نرم، اگرچه طرح سه رویکرد پیچیدگی سخت، پیچیدگی نرم و تفکر پیچیدگی (Richardson and Cilliers, 2006؛ Davis & Sumara, 2006؛ Wood & Butt, 2014) و الگوهای مختلف ارائه شده براساس نظریه آشوب مانند نقشه لجستیکی، نقشه هنون، جذب‌کننده‌های لورنز نشان می‌دهد که می‌توان آشوب و پیچیدگی را به عنوان علوم سخت در نظر گرفت. از طرفی دیگر مبدأ نظریه‌های آشوب و پیچیدگی در علوم سخت مانند ریاضی، فیزیک و زیست‌شناسی است، اما همانطور که دیویس و سومارا (۲۰۰۶) اظهار می‌کنند اگر برداشت علم سخت مدنظر باشند آشوب و پیچیدگی را نمی‌توان به عنوان علم در نظر گرفت. زیرا این نظریه‌ها با توجه به ویژگی‌ها و مفروضات خود، در صدد پیش‌بینی نبوده و نمی‌توانند پیش‌بینی‌های دقیقی ارائه نمایند. آزمایش‌های کنترل شده جایی در این نظریه‌ها ندارند، عینیت آنطور که باید مطرح نیست و تحلیل‌های کمی اساس این نظریه‌ها را تشکیل نمی‌دهد. علاوه بر آن، سیستم‌های آشوبناک یا پیچیده در مواجهه با شرایط یکسان رفتارها یا پاسخ‌های بسیاری متفاوتی از خود نشان دهند (Davis & Sumara, 2006). با این همه، با در نظر گرفتن علوم نرم و تلقی آن به عنوان «روشی برای دیدن جهان» و

سیستمی تفسیری، به جای سیستمی برای نشان دادن جهان، یا «روشی برای تفکر و عمل» (Ibid:18)، آشوب و پیچیدگی را می‌توان به عنوان علم در نظر گرفت. از طرفی دیگر، مطالعات و پژوهش‌های متعددی مانند بررسی پیدایش و نابودی شهرها توسط جین جیکوبز (Jane Jacobs)، مشاهدات چندساله چرخه زندگی لانه مورچه‌ها توسط دبرا گوردون (Deborah Gordon)، مطالعات فریدریش انگلس (Friedrich Engels) درباره ظهور ساختارهای اجتماعی در جهان بازار آزاد، آزمایش‌های ریشل کارسون (Rachel Carson) درباره تأثیرات زیست‌محیطی جوامع صنعتی، پژوهش هامبرتو متورانا (Humberto Maturana) درباره خودتولیدی و خودمحافظتی موجودات بیولوژیکی، براساس تفکر آشوبناک-پیچیده انجام شده که سبب شناسایی کیفیت‌ها و شرایطی شده‌اند که در طیفی از مطالعات پدیده‌ها مشترک است و روند علمی آنها را نشان می‌دهد. بنابراین آشوب و پیچیدگی علم هستند، اما نه با برداشت علم سخت، بلکه با برداشت علم نرم یا ساخت تعبیر و برداشتی مناسب خود آنها.

درباره 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 مکمل دانستن آنهاست. به بیانی دیگر، بسیاری از اندیشمندان معتقدند که این دو نظریه متفاوت بوده و نمی‌توان آنها را با هم بکار برد. عده‌ای نیز مخالف بوده و بر مکمل بودن 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 (Morcol, 2001؛ محمدی چابکی، ۱۳۹۲) که می‌تواند به عنوان مجموعه‌های از باورها و پیش‌فرضهای بنیادین یا پارادایم در نظر گرفته شود (Kuhn, 2008; Mateos de Cabo, et al. 2002) که راهنمای کنش افراد در زندگی شخصی و علمی قرار می‌گیرد (متناسب با مفهوم پارادایم در دانایی فرد، ۱۳۸۹). این مفروضات عبارتند از: واقع‌گرایی مبتنی بر همزیستی قطعیت‌گرایی و عدم قطعیت‌گرایی، علیت پیچیده یا غیرخطی، قطعیت‌گرایی ساختاری (structural determinism) یا قابلیت پیش‌بینی محدود، معرفت‌شناسی امکان (epistemology of the possible)، کل‌گرایی یا واقعیت به عنوان یک کل نوظهور، بازنمایی توزیع‌شده، و حقیقت‌فازی (Morcol, 2001؛ محمدی چابکی، ۱۳۹۲؛ حسینی، ۱۳۹۵).

از طرفی دیگر، این نظریه‌ها سبب به چالش کشیده شدن پارادایم مسلط علمی، یعنی مدرنیسم، شده‌اند. زیرا ۱- فرض ساده‌بودن جهان و پدیده‌های درون آن را رد کرده‌اند (Baranger, 2000؛ Davis, et al. 2004؛ Prigogine and Stengers, cited in Doll, 2008). ۲- فرض علیت خطی پدیده‌ها زیرسؤال برده‌اند (Mason, 2008). ۳- فرض جامد یا توده سخت بودن جهان را انکار کرده‌اند (Doll, 2008؛ Olssen, 2008). ۴- فرض ایستایی جهان و پدیده‌های آن را رد کرده‌اند (Doll, 2008؛ Morrison, 2008). ۵- فرض تبعیت جهان از سادگی خود را نپذیرفته‌اند (Davis, et al. 2004). ۶- امکان کاهش سیستم‌های زنده را نپذیرفتند (Baranger, 2000). و ۷- فرض قابل‌پیش‌بینی بودن کامل جهان و رفتار سیستم‌های درون آن را رد کرده‌اند (Feigenbaum, 1983؛ Levy, 1994).

۲-۲-۲. دلالت‌های عملی نظریه‌های آشوب و پیچیدگی

دلالت‌های عملی به این معنی است که این نظریه‌ها در عمل چه کاربردهایی دارند و چه نتایجی می‌توانند برای حوزه‌های علمی مختلف داشته باشند. درباره کاربردهای این نظریه‌ها هم می‌توان به دیدگاه‌های اندیشمندان و هم به رخدادهای عملی استناد کرد. بزعم بسیاری از اندیشمندان حوزه‌های مختلف، نظریه‌های آشوب و پیچیدگی برای درک و رشد علمی آینده ضروری است. استفن هاوکینگ (Stephen Hawking)، فیزیکدان و کیهان‌شناس برجسته معاصر (۲۰۰۰) اظهار می‌کند که قرن آینده، قرن پیچیدگی خواهد بود. دال (۲۰۰۸) احساس می‌کند 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 سازماندهی شده به صورت ساده یک گام، و از چشم‌انداز جهان کلاسیک تنظیم شده به صورت الهی دو گام فراتر است. هملو-سیلور و دیگران (۲۰۰۷) اظهار می‌کنند که درک سیستم‌های پیچیده و به تبع درک پیچیدگی برای درک علم اساسی و ضروری است. ولفرم (۲۰۰۲) استدلال می‌کند که پژوهش در نظریه پیچیدگی «گونه جدیدی از علم» را پیشنهاد می‌کند که می‌تواند راه‌های مختلف الگوهای ادراک را تولید نماید (Smitherman, 2004). سیلیرز (۱۹۹۸) نیز اظهار می‌کند که برای بقاء و زنده ماندن مجبوریم به پیچیدگی چنگ بزنیم. پیچیدگی سرچشمه آزادی است. هو (Howe) (۱۹۹۴) 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 می‌دهد. نظریه آشوب پیش‌بینی را از بین نمی‌برد، بلکه مشخص می‌کند که کدام نوع از پیش‌بینی‌ها ممکن بوده و در تعیین محدودیت‌های پیش‌بینی‌ها به ما کمک می‌کند. ایان (Ian) (۱۹۹۵) معتقد است که نظری آشوب ما را به سطحی جدید ارتقاء می‌دهد، کلرت (Kellert) (۱۹۹۴) استدلال می‌کند که نظریه آشوب «درکی پویا» به ما می‌دهد و آرگریرز (Argyros) (به نقل از سیلیرز، ۱۹۹۸) نیز اظهار می‌کند که نظریه‌های آشوب و پیچیدگی علوم هستند که سبب عزیمت ما به سرزمین موعود می‌شوند، و می‌توانند در خدمت آغاز درمان جدایی چهارصدساله علوم و علوم انسانی بوده و سبب تأکید مجدد ما بر مفاهیمی مانند جهانشمولی، هویت، معنا، حقیقت و زیبایی شوند.

در عمل نیز، این نظریه‌ها از دهه ۱۹۷۰ به بعد، آرام آرام جای خود را باز کردند و امروزه تقریباً تمامی حوزه‌های اندیشه‌ای را درگیر کرده‌اند. به بیانی دقیق‌تر، اگرچه در آغاز بسیاری از ریاضیدانان و دانشمندان دیدگاه لورنز (نظریه آشوب) را به دلیل مخالفت با چشم‌انداز نیوتنی-خطی خود به رسمیت نشناختند (Smitherman, 2004)، برای بسیاری از دانشمندان ظهور این علم نوپا با ابهام همراه بود، بعضی از دانشمندان به ویژه 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. با این‌همه، تعداد کمی نیز آن را پذیرفتند (Gleick, 2011)، در اواخر دهه ۱۹۷۰ انجمنی از دانشمندان که خودشان را «دار و دسته آشوب (Chaos Cabal)» نامیدند، به آن پرداختند (Fitzgerald & Eijnatten, 2002)، برخی از مجلات به صورت انحصاری به انعکاس مطالب مربوط به نظریه آشوب پرداختند، واژه‌هایی مانند آشوب و آشوب‌شناس ابداع شد و به صورتی نامرتب، جوایز و عضویت‌های سالیانه به آن اختصاص یافت. تا اینکه در اواسط دهه ۱۹۸۰ توجه به این نظریه و گسترش علمی آن در دانشگاه‌ها مقام و منزلتی قوی پیدا کرد و پژوهشگران، مراکز و مؤسساتی پایه‌گذاری و به پژوهش در زمینه سیستم‌های دارای رفتار غیرخطی، مکانیک حرکت غیرخطی و سیستم‌های پیچیده پرداختند (Gleick, 2011). امروزه، نظریه آشوب نه تنها یک نظریه علمی، بلکه یک روش علمی است. این نظریه در زمینه استفاده از کامپیوتر تکنیک خاص خود را بوجود 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 به نوعی خودآزاری تشبیه شده است. بسیاری آن را پس از دو نظریه نسبیت و کوانتوم، سومین انقلاب علمی عصر حاضر در نظر می‌گیرند. همچنین امروزه سیستم‌های اجتماعی، بوم‌شناختی و اقتصادی نیز تمایل دارند تا به عنوان ارتباطات غیرخطی و تعاملات پیچیده‌ای در نظر گرفته شوند که در طول زمان به طور پویا تحول می‌یابند (Butler, 1990؛ Radzicki, 1990). چنین شناختی سبب هدایت موجی از تمایلات به کاربرد نظریه آشوب در زمینه‌های دیگر مانند بوم‌شناسی (Kauffman, 1991)، پزشکی (Goldberger, et al, 1990)، روابط بین‌الملل (Mayer-) (Kress & Grossman, 1989)، اقتصاد (Baumol & Benhabib, 1989؛ Kelsey, 1988)، هنر و معماری (Sala, 2011)، سازمان و آموزش و پرورش (Nadrijanski, et al. 2008) و غیره شده است.

نظریه پیچیدگی و مطالعات سیستم‌های پیچیده نیز در دهه گذشته گسترش یافته (Hmelo-Silver, et al, 2007؛ Jacobson & Wilensky, 2006؛ Jacobson, 2001؛ Lesh, 2006؛ Bar-Yam, 2004) و برغم ریشه داشتن این نظریه در مطالعات فیزیک، شیمی، سایبرنتیک، هوش مصنوعی، و نظریه سیستم‌ها (Davis & Sumara, 2006؛ Rosser, 1999؛ Schneider & Somers, 2006)، این نظریه در شاخه‌های علمی متعدد مانند مطالعه خانواده، روان‌شناسی، مدیریت کسب و کار، سیاست و غیره بکار برده شده است (Wegener, 2005).

۳-۳. ارزیابی و تعیین کارایی 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 ارائه نکردن راه‌حل جایگزین، گامی به جلو بوده و هم مدرنیسم را نقد کرده و هم مفروضات و راه‌حل‌هایی جایگزین برای آن ارائه می‌کنند. این نظریه‌ها از پشتوانه‌ها و دلالت‌های نظری و عملی قابل توجهی برخوردار بوده و امروزه تقریباً تمامی حوزه‌های علمی را درگیر کرده‌اند و منابع علمی متعددی وجود دارد که از این نظریه‌ها به عنوان یک امیدواری برای گذار علمی یاد می‌کنند.

با این همه، این نظریه‌ها، متناسب با ویژگی‌های خود از سطح دشواری بالاتری نسبت به مدرنیسم برخوردار بوده و درک و فهم آنها نیازمند تأمل و تعمق بیشتر است.

بسیاری از الگوهای این نظریه‌ها مانند نقشه لجستیکی، نقشه هنون، جذب‌کننده‌های لورنز و غیره پیچیده هستند و فهم آنها نیازمند گذار از هندسه اقلیدسی و تأسی به هندسه فرکتالی، به عنوان زبان ریاضیاتی پدیده آشوبناک (Sala, 2011) است. مسلماً فهم تمامی اجزاء سیستم‌های آشوبناک-پیچیده، روابط غیرخطی آنها بسیار دشوار بوده و پدیده‌ها یا سیستم‌های آشوبناک-پیچیده به دلیل وابستگی حساس، خودسازماندهی، خودزاینده‌گی، نوظهور بودن و غیره، همیشه اجزاء و روابط پنهانی دارند که به صورت 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. به بیانی دقیق‌تر، بسیاری از اندیشمندان و پژوهشگران حوزه‌های علمی مختلف خود را ناچار به استفاده از آن بدانند، اما به دلیل دشواری‌های ذکر شده و غیرقابل پیش‌بینی و غیرقطعی بودن سیستم‌های آشوبناک-پیچیده و مطالعه آنها، عملاً وارد این نظریه‌ها نشوند و برای این رفتار خود از استدلال‌های مخالفان این نظریه‌ها استفاده نمایند.

۴. بحث و نتیجه‌گیری

بحث درباره نظریه‌های علمی مؤثر بر 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 نظریه مهم علمی تبدیل شده‌اند که پایه‌های پارادایم مدرنیسم را به چالش کشیده و مفروضاتی جایگزین مفروضات مدرنیسم ارائه کرده‌اند. این نظریه‌ها در سطح بین‌المللی نهادینه شده و به سرعت در حال گسترش و عملی شدن هستند، اما در سطح ملی آنطور که باید مدنظر قرار نگرفته‌اند و تنها محدود پژوهش‌های دانشگاهی مانند نوبری (۱۳۸۸)، محمدی چابکی (۱۳۹۲)، نجاریان (۱۳۹۴)، بازقندی (۱۳۹۴)، حسینی (۱۳۹۵)، و ... به آن پرداخته‌اند. بنابراین این مقاله با هدف معرفی و نقادی بر این نظریه‌ها تهیه شد. آشوب عبارت است از علم مطالعه سیستم‌های پیچیده، پویا، غیرخطی، مشارکتی-خلاق، دور از تعادل، و پیچیدگی به معنی علم مطالعه، توصیف و تبیین رفتار سیستم‌های انطباقی پیچیده است که با ویژگی‌هایی اثر پروانه‌ای یا وابستگی حساس، مجذوب‌کننده‌های ناشناس، خودشبه‌بختی (آشوب)، ظهوریابندگی، حلقه‌های بازخور، عدم تعادل یا غیرتعادلی بودن، خودسازماندهی و خودزاینده‌گی، داشتن عناصر متعدد، آشیانه‌ای (تو در تو) بودن، ارتباط‌گرایی و شبکه‌ای

بودن، کل‌نگری، عامل محیطی و اتوماتای سلولی، سازگار شونده‌گی پویا (پیچیدگی)، غیرخطی بودن و غیرقابل پیش‌بینی بودن (هر دو نظریه) شناخته می‌شوند.

نظریه‌های آشوب و پیچیدگی در دنیای علمی با واژه‌های مختلفی مانند نظریه، علم و پارادایم بکار برده می‌شوند. اما تعمق در واژگان مذکور نشان می‌دهد که توافقی بین اندیشمندان و پژوهشگران درباره نظریه، علم و پارادایم وجود ندارد. بلکه نظریه یا پارادایم در طیفی از دیدگاه‌های بدیهی یا اثبات‌گرایانه منطقی و تجربی، دیدگاه معنایی یا الگوی-نظری و برداشتی کوهنی ترسیم می‌شود و علم به دو دسته سخت و نرم تقسیم می‌شود. با در نظر گرفتن این دسته‌بندی، نظریه‌های آشوب و پیچیدگی نظریه‌های اثبات‌گرایانه و منطقی نیستند، می‌توانند با نادیده گرفتن چالش‌هایی، نظریه‌های معنایی باشند، اما با برداشت کوهنی، یک نظریه علمی محسوب می‌شوند. آشوب و پیچیدگی با برداشت علم سخت، علم به حساب نمی‌آیند، اما با در نظر گرفتن علوم نرم و تلقی آشوب و پیچیدگی به عنوان «روشی برای دیدن جهان» یا «روشی برای تفکر و عمل»، این دو حوزه علم به حساب می‌آیند. همچنین این نظریه‌ها به دلیل قابلیت‌های پارادایمی، براساس برداشت کوهنی، و همچنین زیرسؤال بردن پارادایم غالب علمی و ارائه مفروضاتی جایگزین، قابلیت‌های پارادایمی داشته و می‌توانند با هم بک یک پارادایم مسلط تبدیل شوند.

بزع بسیاری از اندیشمندان و پژوهشگران حوزه‌های علمی مختلف، نظریه‌های آشوب و پیچیدگی به یک الزام و چشم‌انداز جدید برای رشد و توسعه علمی تبدیل شده است، بسیاری از حوزه‌های علمی آن را پذیرفته و براساس آن به بررسی علمی خود پرداخته‌اند و مطالعات و پژوهش‌های متعددی براساس آن انجام شده و در حال انجام است.

پی‌نوشت

۱- قوی بودن به این معنی است که یک سیستم از طریق تغییرات کوچک در متغیرهایش پایدار بوده و در هنگام مواجهه با مداخلات به صورت رادیکال یا بحرانی تغییر پیدا نمی‌کند. سیستم‌های پیچیده از طریق توانایی‌شان برای سازماندهی خود نسبت به محیط‌شان در طول زمان به تنومندی یا قوی بودن خود اضافه می‌کنند. به این امر وابستگی به مسیر گفته می‌شود (Rickle, et al, 2007).

۲- غیرمارکوفین بودن یعنی اینکه سیستم پیچیده حافظه «طولانی‌مدت» داشته و برای آن تاریخ مهم است.

۳- فضای حالت یک فضای انتزاعی ریاضیاتی از نقاطی است که هر یک از این نقاط یک حالت ممکن از سیستم را نشان می‌دهند. یک 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 نماییم. هنگامیکه حالت سیستم توسط متغیرهای موقعیت و نیروی جنبشی آنی به طور کامل مشخص شد، فضای بدست آمده به عنوان فضای حالت شناخته می‌شود. در فضای حالت، یک مدل می‌تواند با دنبال کردن 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 به صورت وفادارانه سیستم‌های فیزیکی و قابلیت‌های واقعی آنها را نشان می‌دهد.

منابع

- اعتباریان، اکبر. (۱۳۸۶). نظم در آشوب. ماهنامه تدبیر، سال هجدهم، شماره ۱۹۰، صص ۳۵-۴۰
- اکوانی، سید حمدالله؛ موسوی‌نژاد، سید ولی. (۱۳۹۲). نظریه آشوب؛ مدلی برای تحلیل پیچیدگی فضای سیاسی ایران. پژوهشنامه علوم سیاسی سال ۸ بهار ۱۳۹۲ شماره ۲ (پیاپی ۳۰). صص ۱۸۳-۲۲۵.
- بارون، تی.ا. (۱۳۸۷). نقادی و خبرگی آموزشی، ترجمه علیرضا کیامنش، در: مهرمحمدی، محمود و همکاران. (۱۳۸۷). برنامه درسی، نظرگاهها، رویکردها و چشم‌اندازها، تهران، سمت و به‌نشر.
- بازفندی، پروین. (۱۳۹۴). استنباط فلسفه آموزش علوم تجربی بر بنیاد فلسفه علم برآمده از نظریه پیچیدگی. تهران: دانشگاه خوارزمی (رساله دکتری)
- حسینی، سیدمحمدحسین. (۱۳۹۵). تدوین الگوی مفهومی تغییر برنامه درسی براساس نظریه‌های آشوب-پیچیدگی و ارزشیابی تغییر برنامه درسی دوره ابتدایی نظام آموزش و پرورش کشور براساس این الگو. تهران: دانشگاه خوارزمی (رساله دکتری).
- رستگاری، عباس‌علی، تقفی، بابک. (۱۳۸۴). عملکرد سیستم‌های مدیریت کیفیت در نظریه آشوب. مدیریت، شماره ۱۰۱-۱۰۲، صص ۱۳-۱۷
- کرم، امیر. (۱۳۸۹). نظریه آشوب، فرکتال (برخال) و سیستم‌های غیرخطی در ژئومورفولوژی. جغرافیای طبیعی لارستان، تابستان ۱۳۸۹، شماره ۳ (پیاپی ۸).
- محمدی چابکی، رضا. (۱۳۹۲). استلزامات طرح نظریه‌ای تربیتی مبتنی بر پارادایم پیچیدگی. مشهد: دانشگاه فردوسی (رساله دکتری)
- محمدی چابکی، رضا. (۱۳۹۲). مؤلفه‌های پارادایم پیچیدگی. روش‌شناسی علوم انسانی سال ۱۹ پاییز ۱۳۹۲ شماره ۷۶

مشیری، سعید. (۱۳۸۱). مروری بر نظریه آشوب و کاربردهای آن در اقتصاد. پژوهش های اقتصادی ایران پاییز ۱۳۸۱ شماره ۱۲، صص ۲۹-۶۸
نجاریان، پروانه. (۱۳۹۴). تبیین مبانی فلسفی نظریه پیچیدگی و استلزامات آن در برنامه درسی. تهران: دانشگاه خوارزمی (رساله دکتری)
نوبری، نازک. (۱۳۸۸). تبیین الگوی رفتاری سازمان با استفاده از مفاهیم تئوری پیچیدگی. تهران: دانشگاه علامه طباطبائی (رساله دکتری)
الوانی، مهدی و دانایی فرد. (۱۳۸۱). تئوری نظم در بی نظمی و مدیریت، تهران: صفار-اشراقی.
ویلیز، جی. (۱۳۸۱). ارزشیابی کیفی. ترجمه علیرضا کیامنش، در مهرمحمدی، محمود و همکاران (۱۳۸۱). برنامه درسی: نظرگاهها، رویکردها و چشم اندازها. مشهد: به نشر.
هاگرسون، نلسون ال. (۱۳۸۷). کاوشگری فلسفی: نقد توسعه‌ی، ترجمه محمدجعفر پاک سرشت. در شورت، ادموند سی (۱۳۸۷) روش شناسی مطالعات برنامه درسی، ترجمه دکتر محمود مهرمحمدی و همکاران، تهران، سمت و پژوهشگاه مطالعات آموزش و پرورش.

- Abel, D. L. (2009). The capabilities of chaos and complexity. *International journal of molecular sciences*, 10(1), 247-291.
- Abel, D. L. (2011). What utility does order, pattern or complexity prescribe? *The First Gene: The Birth of Programming, Messaging and Formal Control*, 75-116.
- Abraham, R. H. (2011). The genesis of complexity. *World Futures*, 67(4-5), 380-394.
- Al Suwailem, S. (2011). Behavioural complexity. *Journal of Economic Surveys*, 25(3), 481-506.
- Antunes, R., & Gonzalez, V. (2015). A production model for construction: a theoretical framework. *Buildings*, 5(1), 209-228.
- Arthur, W. B. (1999). Complexity and the economy. *Science*, 284(5411), 107-109.
- Aström, K. J., & Murray, R. M. (2010). *Feedback systems: an introduction for scientists and engineers*. Princeton university press.
- Baranger, M. (2000). *Chaos, complexity, and entropy*. New England Complex Systems Institute, Cambridge.

- Barker, P. (2000). The Tidal Model of mental health care: personal caring within the chaos paradigm. *Mental Health and Learning Disabilities Care*, 4, 59-63.
- 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* (pp. 95-126). New York: Taylor & Francis.
- Baumol, W. J., & Benhabib, J. (1989). Chaos: significance, mechanism, and economic applications. *The journal of economic perspectives*, 3(1), 77-105.
- Bertuglia, C. S., Vaio, F. (2005). *Nonlinearity, chaos and complexity: The dynamics of natural and social systems*. Oxford: Oxford University Press, 2005
- Bishop, R. (2009). Chaos. In: Zalta, Edward N. (ed.). *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*, 775(1), 131-175.
- Bums, J. S. (2016). Chaos theory and leadership studies: Exploring uncharted seas. *Journal of leadership & organizational studies*.
- 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* (p. 28).
- Chappell, C. (1989). Chaos theory and competency based teacher education. *Australian Journal of Teacher Education*, 14(2), 1.
- Cilliers, P. (1998). *Complexity and Postmodernism_ Understanding Complex Systems*. London: Routledge.
- Cilliers, P; Preiser, R. (2010). *Complexity, Difference and Identity-An Ethical*. Springer
- Clarke, A., & Collins, S. (2007). Complexity science and student teacher supervision. *Teaching and Teacher Education*, 23(2), 160-172.
- Cole, S. (1983). The hierarchy of the sciences? *American Journal of Sociology*, 89(1), 111-139.

- Collins, S., & Clarke, A. (2008). Activity frames and complexity thinking: Honoring both public and personal agendas in an emergent curriculum. *Teaching and Teacher Education*, 24(4), 1003-1014.
- Davis, B., & Sumara, D. J. (2006). *Complexity and education: Inquiries into learning, teaching, and research*. Psychology Press.
- Davis, B., Phelps, R., & Wells, K. (2004). Complicity: An introduction and a welcome. *Complicity: An International Journal of Complexity in Education*, 1(1), 1-8.
- De Lope, J., & Maravall, D. (2009). Adaptation, anticipation and rationality in natural and artificial systems: computational paradigms mimicking nature. *Natural Computing*, 8(4), 757.
- Delic, K. A., & Dum, R. (2006). On the emerging future of complexity sciences. *Ubiquity*, 2006(March), 2.
- dictionary.reference. (2015). Change definition. <http://dictionary.reference.com>.
- Doll, W.E. (2008). *Complexity and the Culture of Curriculum*. In: Mason, Mark. (2008). *Complexity Theory and the Philosophy of Education*. United Kingdom, John Wiley & Sons, Ltd., Publication
- Douthwaite, B., De Haan, N. C., Manyong, V., & Keatinge, D. (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*, 139-156.
- Enns, C. Z. (2008). Toward a complexity paradigm for understanding gender role conflict. *The Counseling Psychologist*, 36(3), 446-454.
- Fanelli, D. (2010). “Positive” results increase down the hierarchy of the sciences. *PloS one*, 5(4), e10068.
- Feigenbaum, M. J. (1983). Universal behavior in nonlinear systems. *Physica D: Nonlinear Phenomena*, 7(1-3), 16-39.

- Fitzgerald, L. A., & van Eijnatten, F. M. (2002). Chaos speak: a glossary of chaordic terms and phrases. *Journal of Organizational Change Management*, ۱۵(۴), ۴۱۲-۴۲۳.
- 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*. Open Road Media.
- Goldberger, A. L., Rigney, D. R., & West, B. J. (1990). Chaos and Fractals in. *Scientific American*.
- Goldstein, J. (1999). Emergence as a construct: History and issues. *Emergence*, 1(1), 49-72.
- Gros, C. (2010). *Complex and Adaptive Dynamical Systems*. Springer.
- Gutting, G. (2012). How reliable are the social sciences. *New York Times*, 17, 2012.
- 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 Disorder in 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*, 42(5), 443.
- Hmelo-Silver, C. E., Marathe, S., & Liu, L. (2007). Fish swim, rocks sit, and lungs breathe: Expert-novice understanding of complex systems. *Journal of the Learning Sciences*, 16(3), 307-331.
- Hofer, C. (2016). Causal determinism. *Stanford Encyclopedia of Philosophy*
- Horn, J. (2008). Human research and complexity theory. *Educational philosophy and theory*, 40(1), 130-143.
- Howe, V. (1994). *Chaos: A new mathematical paradigm*. Institute for Christian Learning. USA: La Sierra University
- <http://www.businessdictionary.com/definition/foundation.html>
- <http://www.merriam-webster.com/dictionary/foundation>

- 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.
- Jacobson, M. J. (2001). Problem solving, cognition, and complex systems: Differences between experts and novices. *Complexity*, 6(3), 41-49.
- Jacobson, M., & Wilensky, U. (2006). Complex systems in education: Scientific and educational importance and implications for the learning sciences. *The Journal of the Learning Sciences*, 15 (1), 11-34.
- Jakobsson, E., & Working Group 1 Collaborators. (2006). Complex systems: Why and what? Retrieved February, from 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. p. 3. ISBN 978-1780740492
- Kauffman, S. A. (1991). Antichaos and adaptation. *Scientific American*, 265(2), 78-84.
- 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*, 40(1), 1-31.
- Kiel, L. D., & Elliott, E. W. (Eds.). (1996). *Chaos theory in the social sciences: Foundations and applications*. University of Michigan Press.
- Kirk, G. S., Raven, J. E., & Schofield, M. (2003). *The presocratic philosophers: A critical history with a selction 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* (pp. 169-180). UK: John Wiley & Sons Ltd.
- Ladyman, J., Lambert, J., & Wiesner, K. (2013). What is a complex system? *European Journal for Philosophy of Science*, 3(1), 33-67.
- Lauder, M., Marynissen, H. M., & Summers, T. C. (2017). A study of normal chaos: a new research paradigm.

- Leadbetter, R. (2000). Chaos. Encyclopedia Mythica. <http://www.pantheon.org/articles/c/chaos.html>
- Leclercq, S., Boumédiène, K., & Baugé, C. (2016). Genetic Determinism of Primary Early-Onset Osteoarthritis. *Trends in Molecular Medicine*, 22(1), 39.
- Lemons, J. (1996). *Scientific uncertainty and its implications for environmental problem solving*. Wiley-Blackwell.
- Lesh, R. (2006). Modeling students modeling abilities: The teaching and learning of complex systems in education. *The Journal of the Learning Sciences*, 15 (1), 45-52.
- Levy, D. (1994). Chaos theory and strategy: Theory, application, and managerial implications. *Strategic Management Journal*, 15, 167-178
- Lissack, M. R. (1999). Complexity: the science, its vocabulary, and its relation to organizations. *Emergence*, 1(1), 110-126.
- 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.
- Mason, M. (2008). Complexity theory and the philosophy of education. *Educational Philosophy and Theory*, 40(1), 4-18.
- Mateos de Cabo, R., Olmedo Fernandez, E., & Manuel Valderas Jaramillo, J. (2002). The new complex perspective in economic analysis and business management. *Emergence*, 4(1-2), 147-163.
- Mathews, K. M., White, M. C., & Long, R. G. (1999). Why study the complexity sciences in the social sciences? *Human relations*, 52(4), 439-462.
- Mattos, S. H. D., Vicente, L. E., Perez Filho, A., & Piqueira, J. R. (2016). Contributions of the complexity paradigm to the understanding of Cerrado's organization and dynamics. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, (AHEAD), 0-0.
- Maturana, H. R., & Varela, F. J. (1991). *Autopoiesis and cognition: The realization of the living* (Vol. 42). Springer Science & Business Media.
- Mayer-Kress, G., & Grossman, S. (1989). Chaos in the international arms race'. *Nature*, 337(6209), 701-704.

- McMillan, E. (2002). Considering organisation structure and design from a complexity paradigm perspective. *Tackling industrial complexity: the ideas that make a difference*, 123-136.
- 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*, 3(1), 104-119.
- Morrison, K. (2008). Educational Philosophy and the Challenge of Complexity Theory. In: Mason, Mark. (2008). *Complexity Theory and the Philosophy of Education*. United Kingdom, John Wiley & Blackwell's.
- Mowles, C., Stacey, R., & Griffin, D. (2008). What contribution can insights from the complexity sciences make to the theory and practice of development management? *Journal of International Development*, 20(6), 804-820.
- Nadrljanski, Đ., Munitić, A., & Nadrljanski, M. (2008). Cybernetics Models of Methods in Informatics Teaching. *Infomedia, The International Journal on Informatics and New M*
- Nagel, T. (1998). Reductionism and antireductionism. *The limits of reductionism in biology*, 213, 3-14.
- Ni, X., & Branch, R. (2007). Complexity Theory. In: Spector, M. J., Merrill, M. D., van Merriënboer, J., & Driscoll, M. P. (Eds.). (2007). *Handbook of Research on Educational Communications and Technology: A Project of the Association for Educational Communications and Technology (Vol. 2)*. Routledge.
- Ni, X., & Branch, R. Niederhauser, D.S., Stoddart. (2008). Complexity Theory. In: Spector, J. Michael; Merrill, M. David; van Merriënboer, Jeroen; Driscoll, Marcy P. (editors). *Handbook of Research on Educational Communications and Technology*. the Taylor & Francis e-Library
- Northrop, R. B. (2010). *Introduction to complexity and complex systems*. CRC Press.
- Olmedo, E. (2010). Complexity and chaos in organisations: complex management. *International Journal of Complexity in Leadership and Management*, 1(1), 72-82.

- Olssen, M. (2008). Foucault as Complexity Theorist: Overcoming the problems of classical philosophical analysis. *Educational Philosophy and Theory*, 40(1), 96-117.
- 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., & Edelstein-Keshet, L. (1999). Complexity, pattern, and evolutionary trade-offs in animal aggregation. *Science*, 284(5411), 99-101.
- Pascolo, P., Barazza, F., & Carniel, R. (2006). Considerations on the application of the chaos paradigm to describe the postural sway. *Chaos, Solitons & Fractals*, 27(5), 1339-1346.
- Pavard, B. (2002). Complexity paradigm as a framework for the study of cooperative systems. *Revue d'intelligence artificielle*, 16(4-5), 419-442.
- Phelan, S. E. (2001). What is complexity science, really? *Emergence, A Journal of Complexity Issues in Organizations and Management*, 3(1), 120-136.
- Pourdavood, Roland G.; Cowen, Lynn M.; Svec, Lawrence V. (1999). Complexity of School Reform: Order and Chaos. Paper presented at the Annual Meeting of the American Educational Research Association (Montreal, Quebec, Canada, April 19-23, 1999). <http://files.eric.ed.gov/fulltext/ED430286.pdf>.
- Radzicki, M. J. (1990). Institutional dynamics, deterministic chaos, and self-organizing systems. *Journal of economic issues*, 24(1), 57-102.
- Richardson, K. A. (2005). Systems theory and complexity: Part 3. *Emergence: Complexity & Organization*, 7(2), 104-114.
- Rickles, D., Hawe, P., & Shiell, A. (2007). A simple guide to chaos and complexity. *Journal of epidemiology and community health*, 61(11), 933-937.
- Rind, D. (1999). Complexity and climate. *Science*, 284(5411), 105-107.
- 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*, 13(4), 169-192.
- Sala, N. (2011). chaos and complexity in arts and architecture. In: Orsucci, Franco F; Sala, Nicoletta .(2011). *Chaos and Complexity Research Compendium*, Volume 1. New York: Nova Science Publishers, Inc
- Schlesinger, J., & Daley, L. P. (2016). Applying the chaos theory of careers as a framework for college career centers. *Journal of Employment Counseling*, 53(2), 86-96.
- Schneider, M., & Somers, M. (2006). Organizations as complex adaptive systems: Implications of complexity theory for leadership research. *The Leadership Quarterly*, 17(4), 351-365.
- Seifert, L., Araújo, D., Komar, J., & Davids, K. (2017). Understanding constraints on sport performance from the complexity sciences paradigm: An ecological dynamics framework. *Human Movement Science*.
- Siemens, G. (2014). *Connectivism: A learning theory for the digital age*. Retrieved 2016 from 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: Doll, W., Fleener, J., and St. Julien, J. (Eds.). (2004). *Chaos, complexity, culture, and curriculum*. New York: Peter Lang.
- Stacey, R. D. (1992). *Managing the unknowable: Strategic boundaries between order and chaos in organizations*. John Wiley & Sons.
- Stacey, R., Griffin D. and Shaw, P. (2000) *Complexity and Management: Fad or Radical Challenge to Systems Thinking?* London: Routledge.
- Svensson, G., & Padin, C. (2012). Teleological approaches from complexity sciences in services: Framework, illustration and proposition. *International Journal of Quality and Service Sciences*, 4(3), 224-237.
- Tasaka, H. (1999). Twenty-first-century management and the complexity paradigm. *Emergence*, 1(4), 115-123.

- 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., & Forgues, B. (1995). Chaos theory and organization. *Organization science*, 6(1), 19-31.
- Toulmin, S. (1972, January). Rationality and scientific Discovery. In *PSA: Proceedings of the Biennial Meeting of the Philosophy of Science Association* (Vol. 1972, pp. 387-406). D. Reidel Publishing.
- Tremblay, M. C., & Richard, L. (2011). Complexity: a potential paradigm for a health promotion discipline. *Health Promotion International*, 29(2), 378-388.
- 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., Bhalla, U. S., & Iyengar, R. (1999). Complexity in biological signaling systems. *Science*, 284(5411), 92-96.
- 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.
- Wood, P., & Butt, G. (2014). Exploring the use of complexity theory and action research as frameworks for curriculum change. *Journal of Curriculum Studies*, 46(5), 676-696.
- Zhao, J., Yu, H., Luo, J., Cao, Z. W., & Li, Y. (2006). Complex networks theory for analyzing metabolic networks. *Chinese Science Bulletin*, 51(13), 1529-1537.
- Zia, A., Kauffman, S., Koliba, C., Beckage, B., Vattay, G., & Bomblies, A. (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 & Networks*, 1(1), 79-88.