Volume 17, Number 1, Spring 2024

Journal of
Science & Technology Policy

Development and Evolution of Innovation Ecosystem from The Perspective of Complexity and Chaos Theory: A Systematic Review

Mehrnaz Moeenian[1], Sepehr Ghazinoory[2], Pegah Yaghmaie[3]

1- Ph.D. Candidate, Department of Technology Management, Faculty of Management and Economics, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran
2- Professor, Department of Information Technology Management, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran
(Corresponding Author: Ghazinoory@modares.ac.ir)
3- Faculty Member, School of Business-Capilano University, Vancouver, Canada

Abstract

In this research, a systematic review was conducted to assess the impact of complexity and chaos theory on understanding and explaining the development and evolution of innovation ecosystems. To this end, the theoretical foundations required for this study were collected by first reviewing the literature on these two theories. Then PRISMA protocol was followed, and published articles from 2005 to the end of 2023 in the field of innovation ecosystems that directly or indirectly utilized complexity and chaos theory or their characteristics for analysis were selected and filtered in four stages upon document type and language, relation to innovation ecosystem development and evolution and using complexity as a theory not as a common word, that resulting in 43 articles. The findings indicate that selecting the most suitable framework for understanding the development and evolution of innovation ecosystems depends on several factors, including the research objective, the nature of the ecosystem, the level of analysis, and the available data. Accordingly, by combining the findings and results obtained from this systematic review and the principles and characteristics of complexity theory, chaos theory, and complex adaptive systems, a new and comprehensive theoretical framework is proposed for understanding the development and evolution of innovation ecosystems. This framework includes the key components of actors and relationships, innovation processes, environment, dynamics and evolution, co-opetition performance, the role of enabling technologies, the importance of data and information, the role of government and policymaking, the role of culture and society, novelty and self-organization, time horizons and the edge of chaos, sensitivity to initial conditions, and state space and strange attractors. It can be applied for policy design, ecosystem assessment, prediction, and education planning.

Keywords: Innovation Ecosystem, Development And Evolution, Complexity, Chaos Theory, Systematic Review, PRISMA.

How to Cite this Paper:
Moeenian, M., Ghazinoory, S. & Yaghmaie, P. (2024). **Development And Evolution of Innovation Ecosystem from The Perspective of Complexity And Chaos Theory: A Systematic Review.** *Journal of Science & Technology Policy*, 17(1), 69-88. {In Persian}. Doi: 10.22034/jstp.2024.11529.1710

CC BY

Publisher: National Research Institute for Science Policy

فصلنامه علمی-پژوهشی
سیاست علم و فناوری

سال هفدهم، شماره ۱، بهار ۱۴۰۳

مقاله پژوهشی

توسعه و تکامل بوم‌سازگان نوآوری از دید نظریه پیچیدگی و آشوب: یک مرور نظام‌مند

مهرناز معینیان[۱]، سپهر قاضی‌نوری[۲]، پگاه یغمائی[۳]

۱- دانشجوی دکتری مدیریت تکنولوژی، دانشکده مدیریت و اقتصاد، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

۲- استاد گروه مدیریت فناوری اطلاعات، دانشکده مدیریت و اقتصاد، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.

(نویسنده عهده‌دار مکاتبات: Ghazinoory@modares.ac.ir)

۳- عضو هیات علمی دانشکده کسب و کار، دانشگاه کاپیلانو، ونکوور، کانادا.

چکیده

در این پژوهش از مرور نظام‌مند برای ارزیابی تاثیر دیدگاه نظریه پیچیدگی و تئوری آشوب در توضیح و درک روند توسعه و تکامل بوم‌سازگان‌های نوآوری استفاده شده است. برای انجام مرور نظام‌مند بر اساس پروتکل PRISMA مطالب منتشر شده از سال ۲۰۰۵ تا آخر سال ۲۰۲۳ در حوزه بوم‌سازگان نوآوری که بطور مستقیم یا غیرمستقیم دو نظریه پیچیدگی و آشوب یا ویژگی‌های آن‌ها را برای تحلیل بکار برده بودند، شامل ۴۳ مقاله انتخاب شدند. یافته‌ها نشان می‌دهد که هرچند انتخاب بهترین چارچوب برای درک توسعه و تکامل بوم‌سازگان‌های نوآوری به عوامل متعددی از جمله هدف پژوهش، ماهیت بوم‌سازگان، سطح تحلیل و داده‌های موجود بستگی دارد؛ اما بر اساس نتایج بدست آمده از این مرور نظام‌مند و اصول و ویژگی‌های نظریه پیچیدگی، تئوری آشوب و سیستم‌های پیچیده سازگارشونده، ما یک چارچوب نظری جدید و جامع برای درک توسعه و تکامل بوم‌سازگان‌های نوآوری شامل اجزای اصلی بازیگران و روابط، فرآیندهای نوآوری، محیط، دینامیک و تکامل، کارایی همزیستی، نقش فناوری‌های توانمندساز، داده و اطلاعات، نقش دولت و سیاست‌گذاری، نقش فرهنگ و جامعه، نوآیندی و خودسازماندهی، افق‌های زمانی و لبه آشوب، حساسیت به شرایط اولیه و فضای حالت و جاذب‌های عجیب پیشنهاد می‌کنیم. چارچوب نظری پیشنهادی در طراحی سیاست‌های نوآوری، ارزیابی نقاط قوت و ضعف بوم‌سازگان و شناسایی فرصت‌های بهبود، شبیه‌سازی رفتار بوم‌سازگان‌های نوآوری و پیش‌بینی تغییرات آینده و برنامه‌ریزی برای آموزش و پژوهش در حوزه نوآوری کاربرد دارد.

کلیدواژه‌ها: بوم‌سازگان نوآوری، توسعه و تکامل، پیچیدگی، نظریه آشوب، مرور نظام‌مند، PRISMA.

برای استنادات بعدی به این مقاله، قالب زیر به نویسندگان محترم مقالات پیشنهادمی‌شود:

معینیان، مهرناز.، قاضی‌نوری، سپهر.، یغمائی، پگاه. (۱۴۰۳). **توسعه و تکامل بوم‌سازگان نوآوری از دید نظریه پیچیدگی و آشوب: یک مرور نظام‌مند.** *سیاست علم‌وفناوری*، (۱)۱۷، ۸۸-۶۹.

Doi: 10.22034/jstp.2024.11529.1710

CC BY

۱- مقدمه

تحولات سریع فناورانه و بحران‌های جهانی و تاثیرات همه جانبه آن‌ها بر زندگی بشر اکنون بیش از هر زمان دیگری، همکاری در ارائه راه حل‌های نوآورانه برای بهبود اجتماعی و اقتصادی، پایداری محیطی و انعطاف‌پذیری را ضروری ساخته است. مهم است که ارزش نوآوری برای همه به حداکثر برسد تا از انتشار عادلانه منافع آن اطمینان حاصل شود. این امر می‌تواند با استفاده از بوم‌سازگان‌های نوآوری که از نقاط قوت بوم‌سازگان‌های ملی، منطقه‌ای و محلی استفاده کرده و به هم متصل می‌شوند، میسر شود [۱]. اما ظهور ویژگی‌های پیش‌بینی‌نشده (بعضاً غیرقابل پیش‌بینی)، کنشگران بوم‌سازگان نوآوری را در حفظ و توسعه بوم‌سازگان به چالش می‌کشاند [۲, ۳]. از آنجا که بوم‌سازگان نوآوری یک سیستم پیچیده پویای غیرخطی است، مشکلات در مسیر توسعه و تکامل آن ریشه در پیچیدگی ناشی از تعامل و ارتباط متقابل موجودیت‌های سیستم و محیط درون و برون آن دارند [٤]. تاب‌آوری در مقابل شوک‌های ایجاد شده بر اثر تغییرات درونزا و برونزای محیطی یکی از اهداف مهم یک بوم‌سازگان نوآوری برای دستیابی به توسعه پایدار است [٥]. مثال کووید-۱۹[1] یکی از همین تغییرات برونزاست که توانست با تغییر در شرایط اولیه موجب برهم زدن نظم موجود و بروز آشوب در بوم‌سازگان‌ها گردد [٦]. باید توجه داشت که آشوبناک بودن یک سیستم لزوما به معنی فروپاشی آن نیست. قاعده غالب این است که پس از هر بی‌نظمی، سیستم به نظمی جدید و عموما در سطحی بالاتر دست می‌یابد. اما در سیستم‌های انسانی، کنترل این گذار برای هدایت سیستم به سوی نظم نوین، نیازمند پیش‌بینی، سیاستگذاری و برنامه‌ریزی به موقع و آگاهانه است. بنابراین برای درک چگونگی توسعه و تکامل بوم‌سازگان نوآوری باید از نظریه‌های علمی کمک گرفت که توانایی تحلیل این جنبه‌ها را داشته باشند. نظریه پیچیدگی با درک نحوه ظهور رفتارهای پیچیده از تعاملات ساده‌ترین اجزاء سیستم [۲] و تئوری آشوب یا همان "تئوری دینامیک سیستم‌های غیرخطی" به عنوان یکی از رایج‌ترین رویکردهای علم پیچیدگی [۷] با فراهم کردن ابزارها و مدل‌هایی بر پایه ریاضیات و شبیه‌سازی برای توضیح واکنش‌های بسیار پیچیده و غیرقابل پیش‌بینی در برابر تغییرات محیطی (کوچک و بزرگ) در طول مسیر توسعه و تکامل بوم‌سازگان نوآوری به ما کمک می‌کنند. از دید پیچیدگی، سیستم‌های اجتماعی مانند پیوندهای انسانی، مدل‌های اقتصادی، زنجیره تامین، بازار مصرف [۸] و بوم‌سازگان‌های نوآوری را می‌توان از نظر مفهومی به عنوان سیستم‌های پویا، در حال تغییر و سازگاری تلقی کرد که در آن‌ها رابطه علت و معلولی به طور خطی قابل پیش‌بینی نیست، و تعادل بلندمدت انتظار نمی‌رود. به طور معمول، مشاوران و متخصصان کسب و کار در پی ارائه راهکار برای موقعیت‌های پیچیده پیش آمده هستند و نسخه‌هایی را برای "مدیریت موارد غیرمنتظره" [٦] "رقابت برای بقا در لبه آشوب" [۹] و "پذیرش و تطبیق با پیچیدگی" [٦] ارائه می‌کنند. اگرچه تحقیقات اخیر نشان می‌دهد که تئوری پیچیدگی تأثیر گسترده‌ای در علوم اجتماعی دارد [۷]، اما به رغم افزایش توجه اهمیت موضوع و حیاتی بودن شناسایی و اندازه‌گیری آشوب برای درک بهتر ماهیت و ذات پویایی‌های اجتماعی یا صنعتی بویژه در بزنگاه‌های بحرانی [۱۰]، تحقیقات نسبتا کمی در این زمینه انجام شده است. بررسی‌های نویسندگان نشان داد که برخی از ویژگی‌های مهم و اساسی نظریه پیچیدگی که در CAS[2] مورد بحثند شامل افق‌های زمانی و لبه آشوب و همچنین ویژگی‌های فضای حالت و جاذب‌های عجیب از تئوری آشوب در تحلیل‌های مرتبط با توسعه و تکامل بوم‌سازگان‌های نوآوری مورد کم‌توجهی قرار گرفته‌اند. به علاوه ویژگی‌های مذکور در طراحی مدلی که بتواند تغییرات حالات بوم‌سازگان نوآوری را در مسیر توسعه و در مواجهه با اختلالات درونی و بیرونی فرموله کرده و راهکارهای کاربردی برای گذار از شرایط آشوبناک ناشی از این اختلالات و ادامه حیات در سطح بالاتری از نظم و سازگاری بدهد بکار گرفته نشده‌اند. همچنین به رغم اهمیت، تنوع، چند رشته‌ای بودن و نرخ روبه‌رشد انتشارات در این حوزه (از سال ۲۰۰۵ به بعد) مرور نظام‌مندی که پژوهش‌های انجام‌گرفته در خصوص کاربرد دو نظریه پیچیدگی و آشوب در توضیح چگونگی تکامل بوم‌سازگان‌های نوآوری را از جنبه‌های مختلف دسته‌بندی کند یافت نشد. بنابراین برای روشن شدن

[1] Covid-19

[2] Complex adaptive systems

تاثیر و نتایج کاربرد نظریه‌های پیچیدگی و آشوب در درک و تحلیل توسعه و تکامل بوم‌سازگان‌های نوآوری و شناسایی نیازها و شکاف‌های تحقیقاتی در این حوزه به مرور نظام‌مند تحقیقات پیشین می‌پردازیم که مبنایی برای تحقیقات بیشتر خواهد بود.

هدف اصلی این پژوهش درک و شناخت تأثیر نظریه پیچیدگی و تبیین اهمیت چشم‌انداز آن در بوم‌سازگان‌های نوآوری و شناسایی مولفه‌هایی از این بوم‌سازگان‌هاست که از چشم‌انداز نظریه پیچیدگی قابل تفسیر هستند. انتظار می‌رود یافته‌ها و نتایج این پژوهش بتوانند در روشن‌تر شدن نحوه استفاده از ویژگی‌ها و قابلیت‌های دو نظریه پیچیدگی و آشوب برای توضیح تغییرات بوم‌سازگان نوآوری در مسیر توسعه و تکامل به تحقیقات آتی توسط سایرین کمک کنند.

۲- مبانی نظری

۲-۱ نظریه پیچیدگی

این نظریه مطرح می‌کند که شناخت و پیش‌بینی رفتار تک تک اجزای یک سیستم لزوما به شناخت و پیش‌بینی رفتار یک مجموعه پیچیده از آن‌ها منجر نمی‌شود [٦]. البته نظریه واحدی در مورد پیچیدگی وجود ندارد اما توافق نسبتاً کاملی وجود دارد که سیستم‌های پیچیده "ایده‌آل"، شامل سیستم‌های طبیعی و به‌ویژه سیستم‌هایی که با مردم سروکار دارند، مثل بدن، گروه‌ها، جامعه و فرهنگ ما هستند [۱۱].

۲-۲ تئوری آشوب

تئوری آشوب مطالعه کیفی رفتار دوره‌ای ناپایدار در سیستم‌های پویای غیرخطی قطعی است و نشان می‌دهد که بسیاری از سیستم‌های غیرخطی شناخته شده در فیزیک، رفتاری غیرقابل پیش‌بینی و آشوبناک دارند، به نحوی که شناخت مدل آن‌ها کمکی به شناخت رفتار آن‌ها در آینده نمی‌کند [۱۱] زیرا تعاملات غیرخطی، تفاوت‌های کوچک در وضعیت سیستم را بزرگ کرده وتجمیع آن‌ها در طول زمان به تفاوت‌های اساسی در حالت سیستم تبدیل می‌شوند [۱۱].

۲-۳ سیستم های پیچیده سازگارشونده (CAS)

سیستم‌های پیچیده سازگارشونده، یک مورد خاص از سیستم‌های پیچیده هستند که دارای مؤلفه‌های بسیار زیادی‌اند که همزمان با تعامل یاد می‌گیرند. این سیستم‌ها مدل‌های داخلی‌ای را شکل می‌دهند و از آن‌ها برای پیش بینی آینده بر اساس اقدامات جاری برنامه‌ریزی شده جهت رسیدن به نتایج مورد انتظار استفاده می‌کنند. این ویژگی است که سیستم‌های پیچیده سازگارشونده را از انواع دیگر سیستم‌های پیچیده متمایز می‌کند؛ و نیز، فهم و درک رفتار نوآیند سیستم‌های پیچیده سازگارشونده را پیچیده و دشوار می‌سازد [۱۱]. این سیستمها رفتارهای سیستمی بسیار پیچیده‌ای از خود نشان می‌دهند و در بسیاری از زمینه‌های تحقیقاتی از جمله نوآوری، تجارت، بازارها، بوم‌سازگان‌ها، اینترنت و سیستم‌های بیولوژیکی قابل اجرا هستند. جدول ۱ جنبه‌های کلیدی نظریه CAS و تئوری آشوب را توضیح می‌دهد.

۲-۳ بوم‌سازگان‌های نوآوری به مثابه یک سیستم پیچیده سازگارشونده

نظریه پیچیدگی، اقتصاد نوآوری-محور را به عنوان یک سیستم پیچیده سازگارشونده یا یک بوم‌سازگان در نظر می‌گیرد که متشکل است از تعداد بیشماری جریان‌های دانش و تعاملات متعدد بین عناصر متنوع و ناهمگنی است که از طریق شبکه‌ها با هم در ارتباطند [۱, ۱۲]. از این منظر، *شبکه‌های همکاری نیز به مانند اقتصادهای شبکه-محور، بوم‌سازگان‌های نوآوری را به عنوان محیط جدایی‌ناپذیر و در حال تکامل خود* ایجاد می‌کنند و ممکن است به طور کامل یا تا حدی، ویژگی‌های عمومی CAS را که در ادامه توضیح داده می‌شود، نشان دهند [۲, ۵, ۱۳, ١٤]:

- **اثر اصلی شبکه:** بوم‌سازگان‌ها شبکه‌هایی پایان باز هستند که در آن‌ها هر عامل به صورت غیرخطی از هر افزایش ساده‌ای در تعداد گره‌های شبکه و کنشگران سود می‌برد. در نتیجه، بوم‌سازگان‌های شبکه-محور در مقایسه با سیستم‌های خطی؛ از مزیت رقابتی در پویایی برخوردارند.
- **نوآیندی یا رفتار غیرقطعی:** بوم‌سازگان‌ها تقریبا غیرقابل پیش‌بینی هستند. آن‌ها ممکن است به گونه‌ای رفتار کنند که پیرو حالت قبلی آن‌ها یا ویژگی‌های اجزای آن‌ها نباشد و این

جدول ۱) جنبه‌های کلیدی نظریه CAS و تئوری آشوب برای تحلیل بوم‌سازگان‌های نوآوری [۶, ۸, ۱۱]

	ویژگی	مفهوم
نظریه CAS	**سازگاری**	به توانایی بوم‌سازگان در تغییر، تطبیق و پاسخگویی به تغییرات محیطی و شرایط درونی خود سازگاری گفته می‌شود. این ویژگی به سیستم اجازه می‌دهد تا در برابر اختلالات و تغییرات مقاوم بوده و به حیات خود ادامه دهد.
	افق‌های زمانی	افق زمانی در تحولات یک بوم‌سازگان نوآوری اهمیت زیادی دارد زیرا برای گردانندگان آن مشخص می‌کند چه نوع تصمیمات و اقداماتی را اتخاذ کنند تا بر اساس مدت زمانی که ممکن است طول بکشد تا سازگاری اثر خود را بگذارد، تغییرات سازگارشونده توسعه بوم‌سازگان نوآوری را ترویج دهند.
	لبه آشوب	وجود بوم‌سازگان نوآوری در "لبه آشوب" (نقطه بحرانی) نشان می‌دهد که بوم‌سازگان در شرایطی قرار دارد که ممکن است به سرعت به حالت جدید تغییر کند.
تئوری آشوب	**حساسیت به شرایط اولیه**	درون یک بوم‌سازگان نوآوری، تعاملات اجزای بوم‌سازگان در مراحل توسعه و پروژه‌های مختلف ممکن است به دلیل تغییرات نامحسوس در شرایط اولیه اجزا پیامدهای بسیار متفاوتی به دنبال داشته باشد. نکته دیگر اینکه اگرچه این حساسیت برای شرایط اولیه تعریف شده ولی این اثر می‌تواند در هر زمان در یک سیستم آشوبناک رخ دهد.
	فضای حالت	جایگاه بوم‌سازگان نوآوری در فضای حالت در هر زمان توسط مقادیر متغیرهای سیستم تعریف و مشخص می‌گردد. این بدان معنی است که اگر مسیر توسعه بوم‌سازگان نوآوری از طریق تغییرات در حالت آن (نه رویدادهای خاص) دنبال شود، می‌توان پیش بینی کرد که چه زمانی بوم‌سازگان نوآوری ممکن است به یک حالت پیش‌بینی نشده یا نامطلوب بپرد. با تکامل یا تغییر سیستم، حالت آن تغییر می‌کند و تغییر حالت خود را به عنوان ردی از یک مسیر در فضای حالت نشان می‌دهد. در سیستم‌های آشوبناک، این مسیرها تصادفی اما محدود به یک منطقه در فضای حالت هستند.
	جاذب‌های عجیب	جاذب عجیب مسیری است در فضای حالت که رفتار سیستم آشوبناک در طول زمان و جذب شدن آن به تعداد کمی از حالات ایده‌آل را نشان می‌دهد. جاذب بوم‌سازگان یک موجودیت، عامل تأثیرگذار یا حالت بوم‌سازگان است که به عنوان نیروی استوار کننده و مرجع عمل می‌کند طوری که همه عناصر بوم‌سازگان با تعامل و تکیه بر آن برای دستیابی به تعادل کالیبره می‌شوند.

به رفتار غیرخطی مربوط است که باعث جایگزینی ناگهانی نظم با بی‌نظمی، یا ثبات با بی‌ثباتی، و بالعکس می‌شود.

- **وجود پیوندهای بازخورد و چرخه‌های بازتابی مثبت و منفی:** الگو و سطح تعاملات بین عامل‌ها در بوم‌سازگان بیش از ویژگی‌ها و رفتار فردی هر کدام از آن‌ها به صورت جداگانه اهمیت دارد زیرا هریک از عوامل متقابلاً در رفتار خود به رفتار سایر عوامل با وابستگی متقابل بالا واکنش نشان می‌دهند، کیفیت و کمیت پیوندهای بازخورد در یک بوم‌سازگان اثربخشی کلی آن را تعیین می‌کند.
- **سازگاری یا ظرفیت انطباق:** در جریان تعاملات، عامل‌های بوم‌سازگان رفتار خود را در واکنش به و با در نظر گرفتن رفتار سایر عامل‌ها تغییر می‌دهند، که موجب تنظیم رفتار کل بوم‌سازگان و سازگاری بالای آن با تغییرات می‌شود.
- **خودسازماندهی، خودتنظیمی[1] و خودگردانی[2]:** بوم‌سازگان‌ها شبیه به خودسازگاری موجودات زنده به طور خودجوش شروع می‌شوند و به پیش می‌روند. بر این اساس، آن‌ها از طریق تحولات ساختاری داخلی و خودتنظیمی که ممکن است شامل یک ترکیب چابک پایدار از دارایی‌های مشترک در گردش در داخل یک بوم‌سازگان باشد، منابع جدید برای رشد و پایداری پویا به دست می‌آورند.
- **خودمانایی، یا بازگشت از نوع فراکتال:** بوم‌سازگان‌ها می‌توانند مشابه‌هایی بزرگتر یا کوچکتر از خود در هر سطح از مقیاس تولید کنند چرا که شبکه‌ها، شبکه‌هایی دیگر با ویژگی‌های مشابه در محدوده‌های جغرافیایی و فضاهای نهادی مختلف را تشکیل می‌دهند.
- **طبیعت کل‌نگر و هم‌افزایی:** رفتار، پویایی و نوآوری یک بوم‌سازگان نتیجه یکپارچگی تعاملات بین عوامل (و نه یک تجمیع ساده از رفتارها و اقدامات کنشگران) آن است و موجب هم‌افزایی می‌گردد که بهره‌وری بوم‌سازگان را همواره بیشتر از مجموع نتایج فردی کنشگران آن بالا می‌برد.

۳- روش‌شناسی

برای ارزیابی تاثیر کاربرد تئوری‌های پیچیدگی و آشوب در

[1] Self-regulation

[2] Self-governance

توضیح و فهم تغییرات بوم‌سازگان‌های نوآوری در مسیر توسعه و تکامل، در دو مرحله به بررسی و جمع‌آوری اطلاعات پرداختیم. ابتدا با مطالعه پیشینه مربوط به این دو نظریه مبانی نظری مورد نیاز برای این پژوهش را گردآوری کردیم که در بخش ۲ این مقاله درج شده است. سپس برای انجام مرور نظام‌مند مطالعات پیشین از سال ۲۰۰۵ تا آخر سال ۲۰۲۳ بر اساس پروتکل PRISMA[1] [۱۵] اقدام نمودیم. هدف اصلی این پژوهش درک و شناخت تأثیر نظریه پیچیدگی و تبیین اهمیت چشم‌انداز آن در بوم‌سازگان‌های نوآوری و شناسایی مولفه‌هایی از این بوم‌سازگان هاست که از چشم‌انداز نظریه پیچیدگی قابل تفسیر هستند.

۳-۱ گردآوری داده‌ها

در این مرور از مقالات منتشره در مجلات به زبان انگلیسی[2] در پایگاه داده Web of Science برای به دست آوردن نتایج قابل اعتماد استفاده شده است. بازه زمانی جستجو از سال ۲۰۰۵ تا آخر سال ۲۰۲۳ در نظر گرفته شد و آخرین جستجو در تاریخ ۳۱ دسامبر ۲۰۲۳ انجام گرفت. جزئیات جستجو انجام شده در جدول ۲ آمده است [۱۶].

مقالات برای درج در این بررسی باید دارای معیارهای زیر بودند: یکی یا هر دو نظریه پیچیدگی و آشوب یا سیستم‌های پیچیده سازگارشونده، یا حداقل یکی از ویژگی‌های سازگاری (خودسازماندهی)، افق‌های زمانی، لبه آشوب، حساسیت به شرایط اولیه، فضای حالت و جاذب‌های عجیب، یا پیامدهای دوشاخگی، نوآیندی و وابستگی به مسیر برای تحلیل عملکرد بوم‌سازگان نوآوری یا شبکه‌های همکاری و تعاملی مبتنی بر نوآوری در مقاله بکار گرفته شده باشند؛ روند توسعه و تکامل بوم‌سازگان نوآوری در تحلیل‌ها مد نظر باشد؛ کلمات پیچیدگی و آشوب نه به معنی عام بلکه به منظور استفاده از دو نظریه پیچیدگی و آشوب در مقاله آمده باشند.

۳-۲ فرایند انتخاب

بعد از شناسایی مقالات واجد شرایط، یک روش امتیازدهی شامل میزان مرتبط بودن مطالعه با اهداف این پژوهش و کافی بودن روش‌ها و تحلیل‌ها برای پاسخ به سوالات این پژوهش جهت ارزیابی کیفیت مقالات به کار گرفته شد[۱۷]. برای تضمین قابلیت اعتماد در ارزیابی، همه مقالات توسط دو نفر از نویسندگان مطالعه شده و بر اساس تعاریف و توضیحاتی از پیش در نظر گرفته شده به طور پیوسته ارزیابی و دسته‌بندی شدند. میانگین امتیازات دو ارزیاب به عنوان امتیاز نهایی مقاله در نظر گرفته شده است. مقالاتی که امتیاز نهایی آن‌ها کمتر از ٦ بوده، از تحلیل‌های بعدی حذف شده‌اند. در صورت اختلاف نظر، فرد دیگری برای تصمیم‌گیری به آن‌ها کمک می‌کرد. سپس مقالات واجد شرایط با استفاده از ابزار تحلیلی Clarivate Analytics و Microsoft Excel کدگذاری و تجزیه و تحلیل شدند.

از ۱۱۷ مقاله حاصل از پایگاهWoS، پس از پالایش اولیه ۱۰٤ مقاله بدست آمد. سپس، طبق راهنمایی‌های PRISMA، فرآیند غربالگری انجام شد (شکل ۱). در این فرآیند، ۳۳ مقاله پس از بررسی عناوین و چکیده‌های آن‌ها، نامرتبط شناخته شدند و ۲۸ مقاله دیگر طبق معیارهای ذکر شده در بالا واجد شرایط نبوده و فیلتر شدند. در نتیجه، ٤۳ مقاله که با موضوع این مرور نظام‌مند مرتبط بودند برای تحلیل باقی ماندند.

۳-۳ تحلیل توصیفی داده‌ها

در این بخش به تحلیل مقالات منتخب از جنبه‌های سال انتشار، کلمات کلیدی، حوزه مطالعاتی و مجلات پرداخته‌ایم. همانطور که در شکل ۲ دیده می‌شود بین سال های ۲۰۲۱ تا ۲۰۲۳ فراوانی مقالات در ارتباط با مطالعه بوم‌سازگان‌های نوآوری با استفاده از ویژگی‌های پیچیدگی بطور قابل ملاحظه‌ای بیشتر می‌باشد.

این افزایش چشمگیر در تعداد مقالات مرتبط با این موضوع، گویای تحولات مهمی در حوزه پژوهش‌های نوآوری است. از یک سو نشان می‌دهد که محققان به طور فزاینده‌ای به پیچیدگی ذاتی بوم‌سازگان‌های نوآوری پی برده‌اند و برای درک بهتر این سیستم‌ها، به سراغ ابزارها و مفاهیم نظریه پیچیدگی رفته‌اند. از سوی دیگر استفاده از ویژگی‌های پیچیدگی به محققان اجازه می‌دهد تا به جای نگاه جزئی به اجزای مختلف بوم‌سازگان، به کل سیستم و تعاملات بین اجزا توجه کنند. این رویکرد، درک

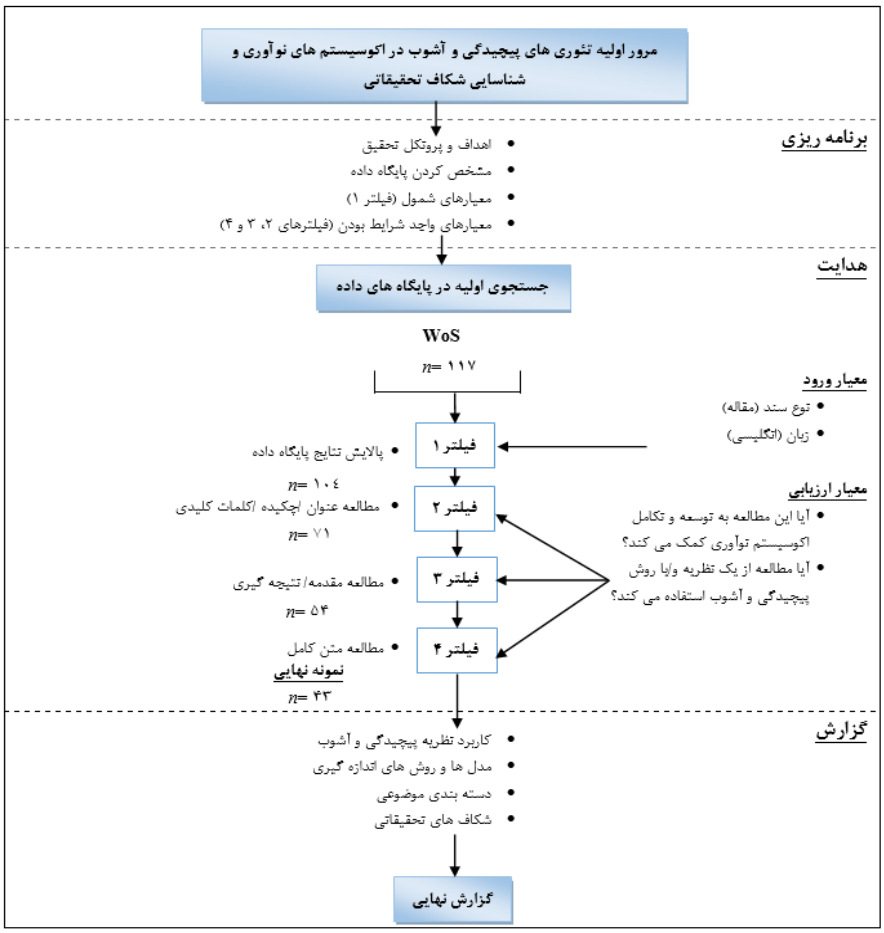
[1] Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses

[2] بدون اعمال محدودیت در سایر فیلترها

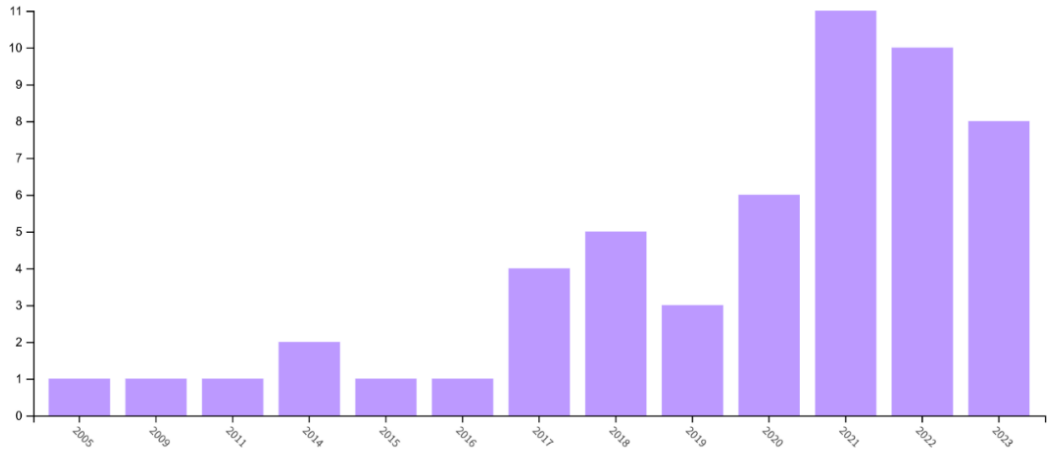
بهتری از دینامیک‌های پیچیده نوآوری و عوامل مؤثر بر آن را فراهم می‌کند. به علاوه توسعه ابزارهای تحلیلی در حوزه داده‌کاوی و مدل‌سازی پیچیده، محققان را قادر می‌سازد تا داده‌های بزرگ مربوط به بوم‌سازگان‌های نوآوری را تحلیل کرده و الگوهای پنهان را کشف کنند. نهایتاً نشان‌دهنده نیاز روزافزون سیاست‌گذاران به درک عمیق از بوم‌سازگان‌های نوآوری است تا بتوانند سیاست‌های مؤثری برای ترویج نوآوری تدوین کنند. شکل ۳ بیشترین تکرار کلمات در مقالات منتخب را نشان می‌دهد.

جدول ۲) جزئیات جستجو در پایگاه داده در مطالعه حاضر

موضوع	موارد جستجو
برچسب فیلد: عنوان (TS)	TS= (“complexity” OR “complexity theory” OR “complex adaptive systems” OR “CAS” OR “chaos” OR “chaos theory” OR “sensitivity to initial conditions” OR “time horizons” OR “strange attractors” OR “edge of chaos” OR “tripping point” OR “state space” OR “adaptation” OR “self-organization” OR “self-regulation” OR “self-governance” OR “emergence” OR “bifurcation” OR "butterfly effect" OR “path dependency” OR “Nonlinear dynamics” OR “fractals” OR “positive feedback” Or “negative feedback” OR “feedback loops”) And (“innovation ecosystem” OR “open innovation networks” OR “innovation clusters”) And (“evolution” OR “development” OR “change”)
پایگاه داده:	Web of Science
زبان:	انگلیسی
دسته‌بندی‌های Web of Science:	همه دسته‌ها
نوع:	مقاله
سال انتشار:	۲۰۰۵–۲۰۲۳



شکل ۱) فرایند انجام مرور نظام‌مند تحقیق



شکل ۲) فراوانی مقالات مرتبط به تفکیک سال انتشار (در بازه زمانی ۲۰۰۵ تا آخر سال ۲۰۲۳)

شکل ۳) ابر کلمات کلیدی در پژوهش‌های مرتبط با کاربرد نظریه پیچیدگی در درک توسعه و تکامل بوم‌سازگان‌های نوآوری از ۲۰۰۵ تا ۲۰۲۳

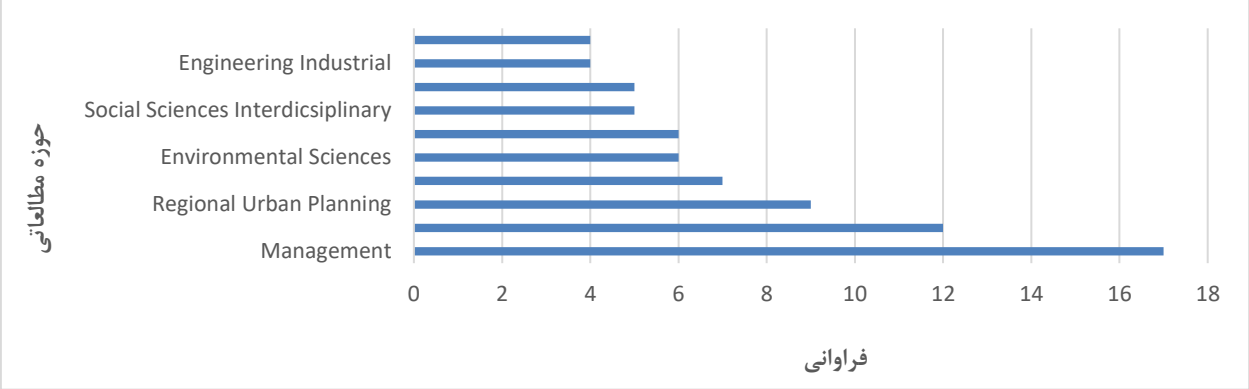
ابر کلمات ارائه‌شده، تصویری روشن از تمرکز پژوهش‌های اخیر حوزه بوم‌سازگان‌های نوآوری ارائه می‌دهد. این پژوهش‌ها به طور فزاینده‌ای بر درک پیچیدگی، پویایی و تکامل این سیستم‌ها متمرکز شده‌اند. فناوری به عنوان یک محرک اصلی در شکل‌گیری و تکامل بوم‌سازگان‌های نوآوری شناخته شده و نقش انسان، به ویژه کارآفرینان، مدیران و تصمیم‌گیران، در هدایت و شکل‌دهی این بوم‌سازگان‌ها نیز بسیار مهم است.

از نظر حوزه مطالعاتی (شکل ٤) دو حوزه مدیریت و کسب و کار دارای بیشترین تعداد مقاله در ارتباط با بوم‌سازگان‌های نوآوری و پیچیدگی هستند و سایر حوزه‌ها شامل برنامه‌ریزی شهری، اقتصاد، علوم اجتماعی، مهندسی، محیط زیست و... دارای توزیع نسبتا یکسانی از مقالات هستند.

غلبه مقالات در حوزه مدیریت و کسب‌وکار نشان‌دهنده اهمیت جنبه‌های مدیریتی و سازمانی از جمله مدیریت منابع، ساختارهای سازمانی، فرهنگ سازمانی و رهبری در ایجاد و توسعه بوم‌سازگان‌های نوآورانه است. حضور پررنگ برنامه‌ریزی شهری نشان می‌دهد که بوم‌سازگان‌های نوآوری به شدت تحت تأثیر محیط فیزیکی و ساختار شهری مانند زیرساخت‌ها، دسترسی به منابع، و تراکم جمعیت قرار دارند. همچنین اقتصاد به عنوان یک حوزه کلیدی در مطالعه بوم‌سازگان‌های نوآوری عمل می‌کند. توزیع نسبتا یکسان مقالات در سایر حوزه‌ها مانند علوم اجتماعی، مهندسی و محیط زیست نشان‌دهنده ماهیت چند رشته‌ای بوم‌سازگان‌های

نوآوری است. این نشان می‌دهد که برای درک کامل این بوم‌سازگان‌ها، نیاز به تلفیق دانش و دیدگاه‌های مختلف از جمله علوم اجتماعی، فنی و طبیعی است. البته باید در نظر داشت که این تحلیل مبتنی بر داده‌های موجود در یک بازه زمانی خاص است. ممکن است با بررسی داده‌های مربوط به دوره‌های زمانی مختلف، تغییراتی در توزیع مقالات مشاهده شود. برای مثال، با افزایش اهمیت فناوری‌های دیجیتال، ممکن است سهم مقالات در حوزه مهندسی و علوم کامپیوتر افزایش یابد.

همچنین مقالات منتخب عمدتاً در مجلات Technological forcasting and social change, Technovation, Complexity, Sustainability, International journal of technology management, & production cleaner به چاپ رسیده‌اند که نشان می‌دهد که تمرکز بر پیش‌بینی آینده، درک پیچیدگی، و توجه به مسائل زیست‌محیطی از ویژگی‌های بارز این تحقیقات است. جدول ۳ مهمترین مقالات در رابطه با نظریه پیچیدگی و توسعه و تکامل بوم‌سازگان‌های نوآوری که بیشترین ارجاعات را داشته‌اند را نشان می‌دهد.



شکل ٤) فراوانی مقالات مرتبط به تفکیک حوزه مطالعاتی

جدول ۳) اطلاعات کتابشناختی تعدادی از مقالات منتخب بر اساس تعداد ارجاعات

تعداد ارجاعات	سال انتشار	مجله	عنوان مقاله	منبع
۲۹٤۱	۲۰۰۹	International Journal of Technology Management	'Mode 3'and'Quadruple Helix': toward a 21st century fractal innovation ecosystem	[۱۸]
٤٥۲	۲۰۲۰	International Journal of Production Economics	Industry 4.0 innovation ecosystems: An evolutionary perspective on value cocreation	[۱۹]
۳۱٤	۲۰۱۸	Technological Forecasting and Social Change	Leveraging complexity for ecosystemic innovation	[۲]
۲۱۰	۲۰۱۷	Technological Forecasting and Social Change	Creating the innovation ecosystem for renewable energy via social entrepreneurship: Insights from India	[۷]
۱٥۹	۲۰۱۹	International Journal of Information Management	A General framework for studying the evolution of the digital innovation ecosystem: The case of big data	[۲۰]
۱٤۸	۲۰۱۸	Technological Forecasting and Social Change	How entrepreneurs manage collective uncertainties in innovation ecosystems	[۲۱]
۱٤٦	۲۰۰٥	Technovation	Technology-based regional development strategies and the emergence of technological communities: A case study of HSIP, Taiwan	[۲۲]
۱۱۹	۲۰۱۸	Technological Forecasting and Social Change	Digital innovation in the energy industry: The impact of controversies on the evolution of innovation ecosystems	[۲۳]
۹۷	۲۰۱٦	European Journal of Innovation Management	The complexity of innovation: an assessment and review of the complexity perspective	[۸]
۹۷	۲۰۱۸	European Journal of Innovation Management	Diffusion of innovation among Malaysian manufacturing SMEs	[۲٤]

٤- یافته‌ها

در مورد کاربرد نظریه آشوب چه از جنبه ریاضیاتی آن و چه ویژگی‌هایی که در جدول ۲ به آن‌ها اشاره شد، پژوهشی در موضوع مورد بحث این مرور نظام‌مند یافت نشد. تنها یک مقاله با اشاره به جاذب‌های تغییر به عنوان یکی از ویژگی‌های CAS (نه نظریه آشوب) به تحلیل پویایی‌های بوم‌سازگان نوآوری پرداخته است. لذا با حذف نظریه آشوب به دسته‌بندی و تحلیل مقالات منتخب از نظر حوزه بوم‌سازگان نوآوری، روش اندازه‌گیری و تحلیل، ویژگی‌های مورد استفاده از نظریه پیچیدگی، مدل یا چارچوب مفهومی و نتایج می‌پردازیم. جداول ٤-۸ این دسته‌بندی‌ها را نشان می‌دهند.

جدول ٤) حوزه بوم‌سازگان نوآوری

حوزه	موارد	منبع
حوزه‌های صنعتی خاص	بخش بهداشت و سلامت، از جمله توسعه دارو، تجهیزات پزشکی و سیستم‌های اطلاعاتی سلامت	[۲۲، ۲۵، ۲٦]
	حوزه انرژی‌های تجدیدپذیر، انرژی هسته‌ای و سایر حوزه‌های مرتبط با انرژی	[٤، ۷، ۲۳، ۲۷]
	حوزه فناوری اطلاعات، ارتباطات، اینترنت اشیا، هوش مصنوعی و سایر فناوری‌های نوظهور	[۱۳، ۱۹، ۲۰، ۲۵، ۲۸، ۲۹]
	صنایع مختلف تولیدی مانند خودرو، هوافضا، مواد غذایی و ...	[۱، ۲۲، ۳۰-۳۵]
حوزه‌های موضوعی خاص	بررسی تشکیل، رشد و توسعه خوشه‌های نوآوری در مناطق مختلف و صنایع مختلف	[۲۲، ۳٦]
	بررسی نقش پلتفرم‌های دیجیتال و فیزیکی در تسهیل همکاری و نوآوری در بوم‌سازگان‌های مختلف	[۳۰، ۳۲، ۳۷-٤۰]
	بررسی نقش کارآفرینان و استارت‌آپ‌ها در ایجاد و توسعه بوم‌سازگان‌های نوآوری	[۷، ۲۱، ۳٤، ٤۱]
	به بررسی نقش دولت و سیاست‌های عمومی در شکل‌گیری و توسعه بوم‌سازگان‌های نوآوری	[۱۸، ۲۲، ۳٤، ۳۷]
	بررسی نقش دانش، یادگیری و آموزش در بوم‌سازگان‌های نوآوری	[۲، ۱۸، ۳٤، ۳٦، ۳۷، ۳۹، ٤۲، ٤۳]
ابعاد جغرافیایی	بررسی بوم‌سازگان نوآوری در سطح یک کشور یا منطقه وسیع	[۱، ۲۲، ۲۸، ۳٤]
	به بررسی بوم‌سازگان نوآوری در سطح یک منطقه خاص مانند یک شهر یا استان	[۳۳، ۳۷، ۳۸]
	بررسی بوم‌سازگان نوآوری در سطح یک سازمان یا یک خوشه صنعتی خاص	[۸، ۲٤، ۳٦، ٤۳]

جدول ٥) روش اندازه‌گیری و تحلیل

روش	موارد	منبع
روش‌های کیفی	مطالعه موردی که عمیقاً به بررسی یک مورد خاص می‌پردازد و برای درک پیچیدگی‌های بوم‌سازگان‌های نوآوری بسیار مفید است.	[۱، ۲، ۷، ۲۰-۲۳، ۲۵، ۳۰، ۳۲-۳٤، ۳۵-٤۱، ٤٤]
	مصاحبه برای جمع‌آوری داده‌های کیفی از بازیگران کلیدی در بوم‌سازگان نوآوری	[۱، ۷، ۱۸-۲۵، ۳۱-۳۵، ۳٦-۳۹، ٤۱، ٤٤]
	تحلیل محتوا: برای تحلیل اسناد، متون و سایر داده‌های کیفی	[۲، ۷، ۲۰، ۲۲-۲٤، ۳۰، ۳۲-۳٤، ۳٦، ۳۹-٤۱، ٤٤]
	مشاهده مستقیم فعالیت‌ها و تعاملات در بوم‌سازگان	[۳۵،۳۸]
روش‌های کمی	تحلیل داده‌های آماری برای تحلیل داده‌های کمی جمع‌آوری شده از منابع مختلف، مانند داده‌های ثبت اختراع، داده‌های مالی، و داده‌های نظرسنجی	[۷،۲۰،۲٤،۲۸،۲۹،۳۱،٤۰،٤۲،٤۳]
	مدل‌سازی برای شبیه‌سازی و پیش‌بینی رفتار بوم‌سازگان‌های نوآوری، شامل مدل‌های شبیه‌سازی مبتنی بر عامل، مدل‌های سیستم‌های دینامیکی و مدل‌های شبکه‌ای	[٤، ۱۰، ۱۳، ۲۸، ٤۱، ٤۲، ٤۵]
	تحلیل شبکه‌ای برای بررسی روابط بین بازیگران مختلف در بوم‌سازگان و درک ساختار و دینامیک آن	[۲۰، ۲۲، ۲۳، ۳۰-۳٤، ۳۹]
	روش‌های آماری چندمتغیره برای تحلیل همزمان چندین متغیر و شناسایی روابط بین آن‌ها	[۱۳، ۲۰، ۳٤، ٤۳]
روش‌های ترکیبی	برخی از مطالعات از ترکیبی از روش‌های کیفی و کمی استفاده کرده‌اند تا به درک جامع‌تری از بوم‌سازگان‌های نوآوری دست یابند.	[۱، ٤، ۷، ۲۰، ۲۳، ۲٤، ٤۰، ٤۲]

جدول ٦) ویژگی‌های غالب نظریه پیچیدگی در مطالعات بوم‌سازگان نوآوری

ویژگی	توضیح	منبع
خودسازماندهی	اکثر مقالات بر توانایی بوم‌سازگان‌های نوآوری برای خودسازماندهی و ایجاد ساختارهای پیچیده بدون دخالت مرکزی تأکید دارند.	[۱، ۲، ۷، ۸، ۱۳، ۱۸–۲۰، ۲۲، ۲٤، ۲۵، ۲۸، ۲۹–۳٤، ۳٦، ۳۸–٤۳، ٤٤، ٤۵]
شبکه‌های پیچیده	تحلیل شبکه‌های ارتباطی بین بازیگران مختلف در بوم‌سازگان نوآوری یکی از روش‌های رایج برای درک ساختار و دینامیک این سیستم‌ها است. این تحلیل نشان می‌دهد که روابط بین بازیگران مختلف بسیار پیچیده و غیرخطی است.	[۱، ۱۰، ۱۳، ۱۸، ۱۹، ۲۲، ۲۵، ۲۹، ۳۰، ۳۵، ۳۸–٤۲]
نوآیندی	ظهور ویژگی‌های جدید و پیچیده در سطح سیستم که از تعامل اجزای آن ناشی می‌شود، یکی دیگر از ویژگی‌های مهم بوم‌سازگان‌های نوآوری است.	[۱، ۷، ۸، ۱۰، ۱۸–۲۰، ۲۲–۲۵، ۲۸، ۳۰، ۳۲–۳۵، ۳۹–٤۳، ٤٤]
غیرخطی بودن	روابط بین اجزای بوم‌سازگان‌های نوآوری اغلب غیرخطی هستند، به این معنی که تغییرات کوچک در یک جزء می‌تواند اثرات بزرگی بر کل سیستم داشته باشد.	[٤۵، ٤٤، ٤۳، ۳٦، ۳۵، ۳۳–۳۱، ۲۸، ۲۰، ۱۰، ۲]
پویایی	بوم‌سازگان‌های نوآوری سیستم‌های پویا هستند که به طور مداوم در حال تغییر و تحول هستند.	[٤۵–٤۳، ۳٦، ۳۵، ۱۰، ٤، ۲]
عدم قطعیت	آینده بوم‌سازگان‌های نوآوری قابل پیش‌بینی نیست و عوامل بسیاری بر آن تأثیر می‌گذارند.	[٤۰، ۳۰، ۲۷، ۲٤، ۲۱، ۷، ۱]

جدول ۷) مدل مفهومی

دسته‌بندی اصلی	کاربرد	دسته‌بندی فرعی
۱. بر اساس سطح تحلیل	نشان می‌دهد که هر مدل به کدام سطح از پیچیدگی بوم‌سازگان نوآوری توجه می‌کند.	سطح میکرو: تمرکز بر واحدهای کوچک‌تر مانند شرکت‌ها، تیم‌های تحقیقاتی یا پروژه‌های خاص است.
		سطح مزو: تمرکز بر خوشه‌های صنعتی، مناطق جغرافیایی خاص یا شبکه‌های خاص از بازیگران است.
		سطح ماکرو: تمرکز بر سطح ملی یا بین‌المللی و بررسی سیاست‌ها، قوانین و عوامل ساختاری است که بر بوم‌سازگان نوآوری تأثیر می‌گذارند.
۲. بر اساس رویکرد	نشان می‌دهد که هر مدل از چه زاویه‌ای به بوم‌سازگان نوآوری نگاه می‌کند.	رویکرد سیستمی: این رویکرد بوم‌سازگان نوآوری را به عنوان یک سیستم پیچیده با اجزای متعدد و تعاملات بین آن‌ها در نظر می‌گیرد.
		رویکرد شبکه‌ای: این رویکرد بر روابط بین بازیگران مختلف در بوم‌سازگان نوآوری تمرکز دارد و از مفاهیم نظریه شبکه‌ها استفاده می‌کند
		رویکرد تکاملی: این رویکرد بر تغییرات و تکامل بوم‌سازگان نوآوری در طول زمان تمرکز دارد.
		رویکرد مبتنی بر عامل: این رویکرد از مدل‌های مبتنی بر عامل برای شبیه‌سازی رفتار بازیگران مختلف در بوم‌سازگان نوآوری استفاده می‌کند
۳. بر اساس هدف	نشان می‌دهد که هدف اصلی از استفاده از هر مدل چیست.	توصیف: این مدل‌ها به دنبال توصیف ساختار و اجزای بوم‌سازگان نوآوری هستند.
		تبیین: این مدل‌ها به دنبال توضیح چگونگی عملکرد بوم‌سازگان نوآوری و عوامل موثر بر آن هستند.
		پیش‌بینی: این مدل‌ها به دنبال پیش‌بینی تغییرات آینده در بوم‌سازگان نوآوری هستند.
		طراحی: این مدل‌ها برای طراحی و بهبود سیاست‌ها و مداخلات در بوم‌سازگان نوآوری استفاده می‌شوند.
٤. بر اساس مفاهیم اصلی	نشان می‌دهد که هر مدل بر کدام جنبه از پیچیدگی بوم‌سازگان نوآوری تمرکز دارد.	خودسازماندهی: این مفهوم به توانایی بوم‌سازگان نوآوری برای ایجاد ساختارهای پیچیده بدون دخالت مرکزی اشاره دارد.
		نوآیندی: این مفهوم به ظهور ویژگی‌های جدید و پیچیده در سطح سیستم اشاره دارد که از تعامل اجزای آن ناشی می‌شود.
		شبکه‌های پیچیده: این مفهوم به روابط بین بازیگران مختلف در بوم‌سازگان نوآوری و نقش این روابط در شکل‌گیری و عملکرد سیستم اشاره دارد.
		پویایی: این مفهوم به تغییرات و تحولات مداوم در بوم‌سازگان نوآوری اشاره دارد.

جدول ۸) اهداف، یافته‌ها و نتایج مرور نظام‌مند تحقیق

جنبه	اصلی	جزئی
اهداف	۱. درک ساختار و عملکرد بوم‌سازگان‌های نوآوری	• شناسایی بازیگران کلیدی: مشخص کردن نقش و اهمیت هر یک از بازیگران مانند دولت، دانشگاه‌ها، شرکت‌ها، سرمایه‌گذاران و کارآفرینان در بوم‌سازگان. • بررسی روابط و تعاملات: تحلیل روابط بین بازیگران مختلف و چگونگی تأثیر این روابط بر نوآوری. • مدل‌سازی بوم‌سازگان: ارائه مدل‌های مفهومی و ریاضی برای نمایش ساختار و دینامیک بوم‌سازگان‌های نوآوری.
	۲. شناسایی عوامل مؤثر بر نوآوری	• عوامل محیطی: بررسی تأثیر عوامل محیطی مانند سیاست‌ها، قوانین، فرهنگ، زیرساخت‌ها و اقتصاد بر نوآوری. • عوامل سازمانی: تحلیل عوامل داخلی سازمان‌ها مانند فرهنگ سازمانی، ساختار سازمانی و منابع انسانی بر نوآوری. • عوامل فردی: بررسی نقش افراد و ویژگی‌های شخصیتی مانند خلاقیت، ریسک‌پذیری و یادگیری در فرآیند نوآوری.
	۳. توسعه مدل‌های نوآوری	• مدل‌های خطی و غیرخطی: بررسی مدل‌های مختلف نوآوری و تطبیق آن‌ها با شرایط مختلف. • نوآوری باز و بسته: مقایسه مزایا و معایب مدل‌های نوآوری باز و بسته. • نوآوری رادیکال و تدریجی: تحلیل تفاوت‌ها و اهمیت هر دو نوع نوآوری در بوم‌سازگان‌ها.
	٤. طراحی و ارزیابی سیاست‌ها	• طراحی سیاست‌های حمایتی: ارائه پیشنهاداتی برای طراحی سیاست‌های حمایتی از نوآوری در سطح ملی و منطقه‌ای. • ارزیابی اثربخشی سیاست‌ها: ارزیابی تأثیر سیاست‌های موجود بر نوآوری و ارائه پیشنهادات برای بهبود آن‌ها.
	۵. توسعه ابزارها و روش‌های تحقیق	• روش‌های کمی و کیفی: استفاده از ترکیبی از روش‌های کمی و کیفی برای جمع‌آوری و تحلیل داده‌ها. • مدل های شبیه‌سازی: استفاده از شبیه‌سازی برای بررسی سناریوهای مختلف و پیش‌بینی آینده بوم‌سازگان‌های نوآوری. • تحلیل شبکه‌ای: استفاده از ابزارهای تحلیل شبکه‌ای برای بررسی روابط بین بازیگران مختلف در بوم‌سازگان نوآوری.
یافته‌ها	۱. پویایی و تکامل بوم‌سازگان‌های نوآوری	• عوامل مؤثر بر توسعه بوم‌سازگان: سیاست‌های دولتی، زیرساخت‌ها، فرهنگ نوآوری، اثرات شبکه‌ای. • نقش بازیگران مختلف: دولت‌ها، دانشگاه‌ها، شرکت‌ها، استارت‌آپ‌ها و تعاملات بین آن‌ها. • الگوهای تکاملی: نحوه تکامل بوم‌سازگان‌ها در طول زمان، از جمله مراحل ظهور، رشد و بلوغ.
	۲. محرک‌ها و موانع نوآوری	• محرک‌های نوآوری: فناوری، تقاضای بازار، سیاست‌های دولتی و فعالیت‌های کارآفرینی. • موانع نوآوری: کمبود بودجه، موانع قانونی، کمبود نیروی کار ماهر و مقاومت فرهنگی.
	۳. نقش همکاری و شبکه‌ها	• اهمیت شبکه‌ها: چگونگی تسهیل انتقال دانش، نوآوری و اشتراک‌گذاری منابع توسط شبکه‌ها. • انواع شبکه‌ها: شبکه‌های رسمی و غیررسمی، شبکه‌های مجازی و فیزیکی.
	٤. پیامدهای سیاست‌گذاری	• سیاست‌های دولتی: نقش سیاست‌های دولتی در شکل‌دهی بوم‌سازگان‌های نوآوری، از جمله حمایت از تحقیق و توسعه، بوم‌سازگان‌های استارت‌آپی و چارچوب‌های نظارتی. • توصیه‌های سیاستی: برای سیاست‌گذاران جهت تقویت نوآوری، از جمله ایجاد محیط حمایتی، تسهیل سرمایه‌گذاری، تقویت همکاری‌های بین‌المللی، توسعه زیرساخت‌های فناوری، آموزش نیروی انسانی متخصص در حوزه نوآوری.
	۵. روندهای نوآیند	• اهمیت داده‌ها و هوش مصنوعی: داده‌ها و هوش مصنوعی به عنوان منابع کلیدی برای نوآوری در آینده شناخته شده‌اند. • توجه به پایداری: نوآوری‌های پایدار و با تأثیر کم بر محیط زیست به عنوان یک اولویت مطرح شده است. • نوآوری اجتماعی: نوآوری‌های اجتماعی که به حل چالش‌های اجتماعی کمک می‌کنند، مورد توجه قرار گرفته‌اند. • نقش رویکردهای باز و مشارکتی: رویکردهای باز و مشارکتی مانند نوآوری باز و منبع باز به عنوان راهکارهایی برای تسریع نوآوری مطرح شده‌اند.
	٦. رویکردهای روش‌شناسی	• مطالعات موردی: استفاده از مطالعات موردی برای درک بوم‌سازگان‌های نوآوری خاص. • تفکر سیستمی: کاربرد تفکر سیستمی برای تحلیل تعاملات پیچیده در بوم‌سازگان‌های نوآوری. • رویکردهای مبتنی بر داده: استفاده از تحلیل داده و یادگیری ماشین برای شناسایی الگوها و روندها.
	۷. چالش‌ها و فرصت‌ها در بوم‌سازگان‌های نوآوری	• چالش‌ها: کمبود منابع مالی، عدم وجود زیرساخت‌های مناسب، رقابت شدید، تغییرات سریع فناوری و عدم اطمینان از آینده از جمله چالش‌های موجود در بوم‌سازگان‌های نوآوری هستند. • فرصت‌ها: فناوری‌های نوظهور، بازارهای جدید، تغییرات در الگوهای مصرف و حمایت دولت از جمله فرصت‌های جدید برای نوآوری هستند.

نتایج	• همزیستی بین بازیگران مختلف بوم‌سازگان‌های نوآوری، به ویژه در صنایع پیشرفته، نقش کلیدی در موفقیت این بوم‌سازگان‌ها ایفا می‌کند. • فناوری‌های پیچیده قابلیت بالایی برای ایجاد تحول در بوم‌سازگان‌های نوآوری دارند. این فناوری‌ها می‌توانند به عنوان کاتالیزور برای ایجاد طراحی‌های غالب جدید عمل کنند و به این ترتیب، مسیر توسعه بوم‌سازگان نوآوری را تغییر دهند. • دسترسی به داده‌های محلی و حاکمیت نهادی قوی، از عوامل کلیدی برای توسعه بوم‌سازگان‌های نوآوری موفق هستند. به علاوه داده‌های محلی می‌توانند به عنوان یک شاخص برای ارزیابی عملکرد بوم‌سازگان نوآوری و شناسایی فرصت‌های جدید استفاده شوند. • شرکت‌های چندملیتی می‌توانند با انتقال دانش و فناوری، جذب سرمایه‌گذاری و ایجاد شبکه‌های بین‌المللی، به رشد بوم‌سازگان‌های نوآوری کمک کنند. • پلتفرم‌های فناوری بستری برای همکاری بین بازیگران مختلف هستند و به عنوان ابزارهای قدرتمندی برای تسهیل همکاری، کاهش هزینه‌ها و افزایش دسترسی به منابع در بوم‌سازگان‌های نوآوری عمل می‌کنند. • دانشگاه‌ها به عنوان مراکز تولید دانش و تربیت نیروی انسانی متخصص، نقش محوری در بوم‌سازگان‌های نوآوری ایفا می‌کنند. • سیاست‌های حمایتی دولت، از جمله ایجاد زیرساخت‌ها، حمایت از تحقیق و توسعه و تسهیل سرمایه‌گذاری، برای توسعه بوم‌سازگان‌های نوآوری ضروری است. • ایجاد فرهنگ نوآوری در سازمان‌ها و جامعه، نقش مهمی در موفقیت بوم‌سازگان‌های نوآوری دارد. • بوم‌سازگان‌های نوآوری سیستم‌های پیچیده و پویایی هستند که تحت تأثیر عوامل متعدد و متقابلی قرار دارند.

٤-١ بر اساس حوزه بوم‌سازگان نوآوری

با توجه به اطلاعات استخراج‌شده از مقالات منتخب و جدول ٤، می‌توان نتیجه‌گرفت که:

- رویکرد بوم‌سازگانی به معنی در نظر گرفتن شبکه‌ای از بازیگران و روابط بین آن‌ها در تحلیل فرآیند نوآوری دارای اهمیت است.
- دولت و سیاست‌های عمومی در شکل‌گیری و توسعه بوم‌سازگان‌های نوآوری نقش کلیدی دارند.
- فناوری‌های نوظهور مانند هوش مصنوعی، اینترنت اشیا و بلاکچین به عنوان محرک‌های اصلی نوآوری در بسیاری از صنایع مطرح هستند.
- دانشگاه‌ها و مؤسسات تحقیقاتی به عنوان تولیدکنندگان دانش و نیروی انسانی متخصص، نقش مهمی در توسعه و تکامل بوم‌سازگان‌های نوآوری ایفا می‌کنند.
- همکاری بین شرکت‌ها، دانشگاه‌ها، دولت و سایر ذینفعان برای ایجاد و توسعه بوم‌سازگان‌های نوآوری ضروری است.

٤-٢ بر اساس روش اندازه‌گیری و تحلیل

با توجه به جدول ٥ روند روش‌های اندازه‌گیری و تحلیل در درک چگونگی توسعه و تکامل بوم‌سازگان‌های نوآوری بر پایه نظریه پیچیدگی به سمت استفاده از:

- **روش‌های ترکیبی** (کیفی و کمی) به دلیل ارائه درک جامع‌تری از بوم‌سازگان‌های نوآوری
- **تحلیل شبکه‌ای** به عنوان یک ابزار قدرتمند برای درک روابط بین بازیگران مختلف در بوم‌سازگان نوآوری
- **مدل‌سازی** به عنوان ابزاری که به محققان اجازه می‌دهد تا رفتار بوم‌سازگان‌های نوآوری را شبیه‌سازی کرده و سناریوهای مختلف را بررسی کنند.
- **ابزارهای تحلیل داده‌های بزرگ** به دلیل افزایش حجم داده‌های موجود و ضرورت روش‌های جدید برای تحلیل این داده‌ها رو به افزایش است.

٤-٣ بر اساس ویژگی‌های مورد استفاده از نظریه پیچیدگی برای درک توسعه و تکامل بوم‌سازگان نوآوری

بطور کلی روند مطالعات بوم‌سازگان نوآوری بر توجه به ابعاد مختلف پیچیدگی در این بوم‌سازگان‌ها و استفاده از مدل‌های پیچیده برای تحلیل آنها تاکید دارند. همچنین این تحقیقات اهمیت تاریخچه و مسیر توسعه بوم‌سازگان‌های نوآوری را برجسته کرده و همکاری بین رشته‌های مختلف مانند اقتصاد، جامعه‌شناسی، مدیریت و مهندسی برای درک پیچیدگی این بوم‌سازگان‌ها را ضروری دانسته‌اند.

٤-٤ بر اساس مدل یا چارچوب مفهومی ارائه شده برای تحلیل روند توسعه و تکامل بوم‌سازگان نوآوری

با استفاده از این دسته‌بندی، می‌توان به یک درک جامع‌تر از مدل‌ها و چارچوب‌های مفهومی استفاده شده در مطالعات بوم‌سازگان نوآوری از جنبه‌های مناسب بودن، نقاط قوت و

ضعف هر مدل، ارتباط بین مدل‌های مختلف و زمینه‌های جدید برای بهبود تحقیقات آینده در این حوزه دست یافت. بطور مثال مدل مارپیچ چهارگانه [۱۸] از یک رویکرد سیستمی و سطح کلان استفاده می‌کند و بر تعامل بین علم، فناوری، بازار و جامعه تمرکز دارد، مدل‌های مبتنی بر عامل [۴۲, ۴۳] برای شبیه‌سازی رفتار بازیگران مختلف در بوم‌سازگان نوآوری استفاده می‌شوند و در سطح خرد و میانی کاربرد دارند، مدل‌های شبکه‌ای [٤, ۳۹] برای تحلیل روابط بین بازیگران مختلف در بوم‌سازگان نوآوری استفاده می‌شوند و در سطوح مختلف قابل استفاده هستند و مدل‌های پویایی سیستم [۲٤, ٤۱] برای شبیه‌سازی تغییرات در طول زمان در بوم‌سازگان نوآوری استفاده می‌شوند و در سطح کلان کاربرد دارند. بنابراین در یک تحلیل عمیق‌تر بر اساس مثال‌های ارائه شده می‌توان به برخی از الگوهای زیر پی برد:

- **ترکیب روش‌ها:** بسیاری از مطالعات از ترکیبی از روش‌های کمی و کیفی استفاده می‌کنند. به عنوان مثال، مطالعه‌ای که از مدل مارپیچ چهارگانه استفاده می‌کند، علاوه بر تحلیل کمی، از روش‌های کیفی مانند مصاحبه و مطالعه موردی نیز بهره می‌برد.
- **توجه به نقش بازیگران مختلف:** اکثر مطالعات بر نقش بازیگران مختلف در بوم‌سازگان نوآوری تاکید و تعاملات بین آن‌ها را مورد بررسی قرار می‌دهند.
- **اهمیت محیط:** محیطی که بوم‌سازگان نوآوری در آن قرار دارد، از جمله عوامل اقتصادی، اجتماعی، سیاسی و فرهنگی، بر عملکرد آن تأثیرگذار است.
- **تاکید بر پویایی و تغییر:** بوم‌سازگان‌های نوآوری سیستم‌های پویا و در حال تغییری هستند و مدل‌ها باید این ویژگی را در نظر بگیرند.
- **استفاده از شبیه‌سازی:** بسیاری از مطالعات از شبیه‌سازی برای بررسی سناریوهای مختلف و پیش‌بینی آینده بوم‌سازگان نوآوری استفاده می‌کنند.

٤-۵ براساس اهداف، یافته‌ها و نتایج

در یک مقایسه کلی می‌توان نتیجه گرفت که مقالات مختلف از نظر یافته ها و نتایج در نکات زیر دارای اشتراک هستند:

- **اهمیت بافت و زمینه:** بوم‌سازگان‌های نوآوری بسته به شرایط خاص هر منطقه متفاوت هستند و عواملی که در یک بوم‌سازگان به نوآوری می‌انجامد، ممکن است در بوم‌سازگان دیگری متفاوت باشد.
- **نقش عدم قطعیت:** عدم قطعیت یکی از ویژگی‌های اصلی بوم‌سازگان‌های نوآوری است و بازیگران باید راهبردهایی برای مدیریت آن توسعه دهند.
- **نیاز به رویکرد چند رشته‌ای:** درک بوم‌سازگان‌های نوآوری نیازمند رویکردی چند رشته‌ای است که از اقتصاد، جامعه‌شناسی و مدیریت بهره می‌برد.

بنابراین بوم‌سازگان‌های نوآوری سیستم‌های پیچیده و پویایی هستند که تحت تأثیر عوامل متعدد و متقابلی قرار دارند. برای توسعه و تقویت این بوم‌سازگان‌ها، نیاز به یک رویکرد جامع و چندجانبه است که در آن همه بازیگران بوم‌سازگان با هم همکاری کنند و از سیاست‌های حمایتی دولت، فناوری‌های نوآیند و فرهنگ نوآوری بهره ببرند.

۵- بحث

با توجه به یافته‌های پژوهش، باید گفت نظریه پیچیدگی یک چارچوب مفید برای مطالعه بوم‌سازگان‌های نوآوری فراهم می‌کند تا از آن طریق بتوان سیاست‌های بهتری برای ترویج نوآوری تدوین کرد. در ادامه بر اساس مطالعات پیشین مرور شده مهمترین چارچوب‌ها برای درک توسعه و تکامل بوم‌سازگان‌های نوآوری و سپس یک چارچوب نظری جدید بر پایه نظریه پیچیدگی و آشوب ارائه می‌شوند.

۵-۱ مهمترین چارچوب‌ها برای درک توسعه و تکامل بوم‌سازگان‌های نوآوری

هدف اصلی از مرور نظام‌مند مطالعات بوم‌سازگان نوآوری از دیدگاه نظریه پیچیدگی در پژوهش حاضر تبیین کاربرد ویژگی‌های این نظریه در درک توسعه و تکامل بوم‌سازگان‌های نوآوری و شناسایی مولفه‌هایی از این بوم‌سازگان‌هاست که از چشم‌انداز نظریه پیچیدگی قابل تفسیر هستند. لذا بر اساس یافته‌های این پژوهش می‌توان نتیجه گرفت که انتخاب بهترین چارچوب برای درک توسعه و تکامل بوم‌سازگان‌های نوآوری به عوامل متعددی از جمله هدف پژوهش، ماهیت بوم‌سازگان، سطح تحلیل و داده‌های موجود بستگی دارد. هر چارچوب

دارای مزایا و محدودیت‌های خاص خود است. جدول ۹ مهم‌ترین چارچوب‌ها و مزایا و محدودیت‌های آن‌ها را با توجه به مطالعات پیشین مرور شده نشان می‌دهد.

برای انتخاب بهترین چارچوب، باید سوالاتی از قبیل اینکه هدف پژوهش چیست؟ آیا تحلیل ساختار بوم‌سازگان مدنظر است یا مدل‌سازی فرآیندهای نوآوری یا بررسی تغییرات بوم‌سازگان در طول زمان؟ بوم‌سازگان مورد مطالعه چه ویژگی‌هایی دارد؟ آیا بوم‌سازگان کوچک و محلی است یا بزرگ و بین‌المللی؟ آیا بوم‌سازگان بالغ است یا در حال توسعه؟ چه داده‌هایی در دسترس است؟ آیا داده‌های کمی در مورد شبکه‌های ارتباطی، فعالیت‌های نوآورانه و سایر عوامل وجود دارد؟ یا بیشتر داده‌های کیفی مانند مصاحبه‌ها و مطالعات موردی در دسترس است؟ را در نظر گرفت.

در بسیاری از موارد، استفاده از یک چارچوب واحد برای درک کامل بوم‌سازگان کافی نیست. ترکیب چندین چارچوب می‌تواند دید جامع‌تری از بوم‌سازگان ارائه دهد. به عنوان مثال، می‌توان از چارچوب بوم‌سازگان نوآوری برای درک کلی بوم‌سازگان، از چارچوب مبتنی بر شبکه برای تحلیل روابط بین بازیگران و از چارچوب تکاملی برای بررسی تغییرات بوم‌سازگان در طول زمان استفاده کرد. بطور مثال برای تحلیل یک بوم‌سازگان نوآوری شهری، می‌توان از چارچوب بوم‌سازگان نوآوری برای درک کلی بوم‌سازگان، از چارچوب مبتنی بر شبکه برای تحلیل روابط بین دانشگاه‌ها، شرکت‌ها و دولت و از چارچوب مبتنی بر سیستم‌های پیچیده برای بررسی تأثیر سیاست‌ها بر پویایی بوم‌سازگان استفاده کرد یا برای تحلیل فرآیند توسعه یک فناوری جدید، می‌توان از چارچوب تکاملی برای بررسی مراحل مختلف توسعه فناوری، از چارچوب مبتنی بر عامل برای شبیه‌سازی رفتار بازیگران مختلف در فرآیند توسعه و از چارچوب مبتنی بر شبکه برای تحلیل همکاری‌های بین بازیگران استفاده کرد. در نهایت، انتخاب بهترین چارچوب به تجربه، دانش و خلاقیت پژوهشگر بستگی دارد.

۵-۲ چارچوب نظری جدید برای درک توسعه و تکامل بوم‌سازگان‌های نوآوری بر پایه نظریه پیچیدگی و آشوب

در این بخش با تلفیق یافته‌ها و نتایج بدست آمده از این مرور نظام‌مند و اصول و ویژگی‌های نظریه پیچیدگی، تئوری آشوب و سیستم‌های پیچیده سازگارشونده (بخش های ۱.۲، ۲.۲ و ۳.۲)، یک چارچوب نظری جدید برای درک توسعه و تکامل بوم‌سازگان‌های نوآوری پیشنهاد می‌شود. جدول ۱۰ اجزای اصلی چارچوب نظری بدست آمده از نتایج پژوهش حاضر را نشان می‌دهد.

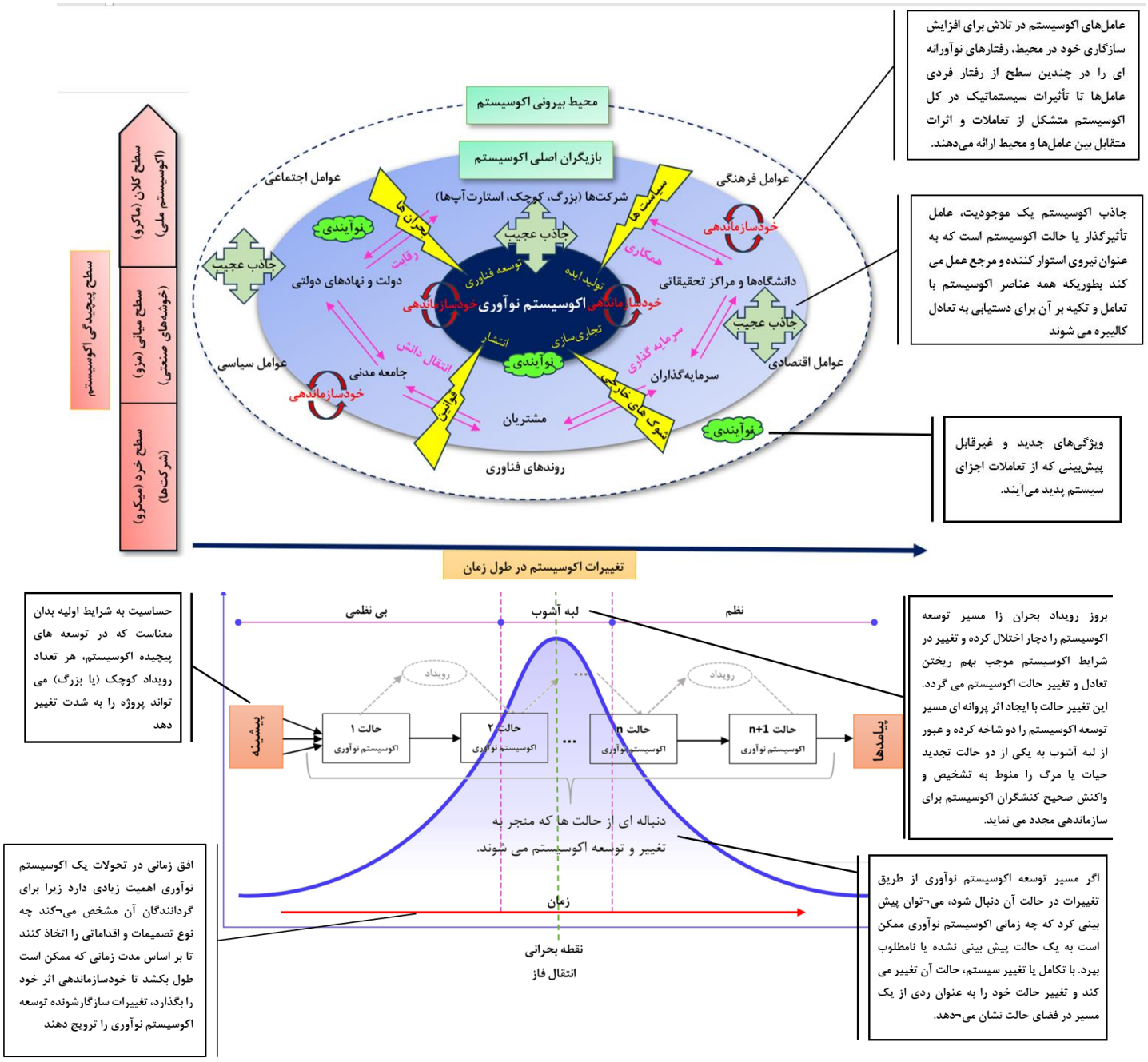
شکل ۵ نمای کلی چارچوب نظری پیشنهادی را در قالب یک دیاگرام نشان می‌دهد. ترسیم دیاگرامِ چارچوب نظری از این جهت که با ارائه یک تصویر کلی و جامع از بوم‌سازگان نوآوری به درک بهتر پیچیدگی‌های آن کمک می‌کند و ابزاری موثر برای ارتباط با سایر ذینفعان و پایه‌ای برای مدل‌سازی‌های پیچیده‌تر و تحلیل‌های کمی بدست می‌دهد، مفید است. البته باید توجه داشت که ممکن است دیاگرام به دلیل ترسیم به صورت دو بعدی نتواند تمام پیچیدگی‌های چارچوب نظری پیشنهادی را به طور کامل نشان دهد.

جدول ۹) مهمترین چارچوب‌ها برای درک توسعه و تکامل بوم‌سازگان‌های نوآوری

چارچوب	مزایا و محدودیت‌ها
چارچوب بوم‌سازگان نوآوری	• مزایا: دید جامعی از بوم‌سازگان به عنوان یک سیستم پیچیده و پویا ارائه می‌دهد. • محدودیت‌ها: می‌تواند بسیار کلی باشد و جزئیات کافی در مورد فرآیندهای داخلی بوم‌سازگان ارائه ندهد.
چارچوب مبتنی بر شبکه	• مزایا: به بررسی روابط بین بازیگران مختلف در بوم‌سازگان می‌پردازد و ساختار شبکه‌ای بوم‌سازگان را نشان می‌دهد. • محدودیت‌ها: به تنهایی برای درک دینامیک‌های پیچیده بوم‌سازگان کافی نیست.
چارچوب مبتنی بر سیستم‌های پیچیده	• مزایا: به بررسی بوم‌سازگان به عنوان یک سیستم پیچیده با رفتارهای غیرخطی و خودسازمانده می‌پردازد. • محدودیت‌ها: مدل‌سازی و تحلیل سیستم‌های پیچیده می‌تواند بسیار پیچیده باشد.
چارچوب تکاملی	• مزایا: به بررسی تغییرات و تحولات بوم‌سازگان در طول زمان می‌پردازد و مکانیزم‌های تکامل را مورد بررسی قرار می‌دهد. • محدودیت‌ها: در پیش‌بینی تغییرات آینده بوم‌سازگان محدودیت دارد.
چارچوب مبتنی بر عامل	• مزایا: به شبیه‌سازی رفتار بازیگران مختلف در بوم‌سازگان می‌پردازد و به درک بهتر تعاملات بین آن‌ها کمک می‌کند. • محدودیت‌ها: نیاز به داده‌های دقیق و پیچیده برای کالیبراسیون مدل دارد.

جدول ۱۰) اجزای اصلی چارچوب نظری پیشنهادی (محقق ساخته)

اجزای اصلی	توضیحات
۱. بازیگران و روابط	• طیف گسترده‌ای از بازیگران (شرکت‌ها، دانشگاه‌ها، دولت، سرمایه‌گذاران، ...) • روابط پیچیده و متغیر بین بازیگران (همکاری، رقابت، انتقال دانش، ...) • تاثیر شبکه‌های اجتماعی و پلتفرم‌های آنلاین بر تعاملات
۲. فرآیندهای نوآوری	• فرآیندهای خطی و غیرخطی نوآوری • شناسایی فرآیندهای کلیدی نوآوری مانند تولید ایده، توسعه فناوری، تجاری‌سازی و انتشار • نقش فناوری‌های جدید (هوش مصنوعی، بلاکچین، ...) در تسریع فرآیندها • اهمیت هم‌کاری باز و مشارکتی در نوآوری • تحلیل تعاملات بین فرآیندهای مختلف و عوامل مؤثر بر آن‌ها
۳. محیط	• عوامل محیطی داخلی و خارجی (سیاست‌ها، قوانین، فرهنگ، فناوری، اقتصاد، ...) • تأثیر محیط بر پویایی بوم‌سازگان، رفتار بازیگران و شکل‌گیری فرآیندهای نوآوری • اهمیت انطباق با تغییرات محیطی
۴. پویایی و تکامل	• بررسی تغییرات در طول زمان در ساختار، عملکرد و رفتار بوم‌سازگان • تحلیل عوامل محرک تغییر و مکانیزم‌های بازخورد در بوم‌سازگان • تغییرات تدریجی و جهشی در طول زمان • نقش عوامل مختلف در تسریع یا کند شدن فرآیند تکامل (مانند سیاست‌ها، فناوری، بحران‌ها) • اهمیت یادگیری سازمانی و انطباق با تغییرات
۵. کارایی همزیستی	• توانایی بوم‌سازگان در ایجاد ارزش مشترک برای همه بازیگران • عوامل مؤثر بر کارایی همزیستی (سیاست‌ها، زیرساخت‌ها، فرهنگ، ...)
۶. نقش فناوری‌های توانمندساز	• تأثیر فناوری‌های پیچیده و نوظهور بر تحول بوم‌سازگان • اهمیت طراحی‌های غالب در شکل‌دهی به مسیر توسعه بوم‌سازگان
۷. اهمیت داده و اطلاعات	• نقش داده‌های محلی در بهبود عملکرد بوم‌سازگان • اهمیت زیرساخت‌های داده‌ای و حاکمیت داده
۸. نقش دولت و سیاست‌گذاری	• سیاست‌های حمایتی، نظارتی و هدایتی دولت • ایجاد محیطی مساعد برای نوآوری و سرمایه‌گذاری
۹. نقش فرهنگ و جامعه	• تأثیر فرهنگ، ارزش‌ها و نگرش‌ها بر رفتار بازیگران و نوآوری • اهمیت ایجاد فرهنگ نوآوری و یادگیری مستمر
۱۰. نوآیندی و خودسازماندهی	• ظهور ویژگی‌های جدید و غیرقابل پیش‌بینی در سطح کلان بوم‌سازگان • نقش خودسازمان‌دهی در شکل‌گیری ساختار و عملکرد بوم‌سازگان
۱۱. افق‌های زمانی و لبه آشوب	• تغییرات تدریجی در برابر جهش‌های ناگهانی: بوم‌سازگان‌های نوآوری اغلب تحت تأثیر تغییرات تدریجی و جهش‌های ناگهانی قرار می‌گیرند. مفهوم "لبه آشوب" نشان می‌دهد که چگونه حتی تغییرات کوچک می‌توانند سیستم را به نقطه بحرانی برسانند و منجر به تغییرات اساسی شوند. • مدیریت ریسک: درک افق‌های زمانی مختلف به مدیران بوم‌سازگان کمک می‌کند تا ریسک‌های مرتبط با تغییرات را بهتر ارزیابی کرده و استراتژی‌های مناسب برای مدیریت آن‌ها را اتخاذ کنند.
۱۲. حساسیت به شرایط اولیه و فضای حالت	• پیش‌بینی غیرممکن اما قابل مدیریت: حساسیت به شرایط اولیه به این معنی است که حتی تغییرات بسیار کوچک در ابتدای کار می‌توانند نتایج بسیار متفاوتی در بلندمدت ایجاد کنند. این نشان می‌دهد که پیش‌بینی دقیق رفتار بلندمدت بوم‌سازگان تقریباً غیرممکن است. با این حال، با استفاده از مفهوم فضای حالت، می‌توان مسیرهای احتمالی را شناسایی کرده و برای سناریوهای مختلف برنامه‌ریزی کرد. • اهمیت نقاط عطف: نقاط عطف در فضای حالت به عنوان نقاطی هستند که در آن‌ها سیستم ممکن است به مسیر دیگری تغییر جهت دهد. شناسایی این نقاط به مدیران کمک می‌کند تا به تغییرات سریع و موثر پاسخ دهند.
۱۳. جاذب‌های عجیب	• هویت بوم‌سازگان: جاذب عجیب به عنوان هویت یا شخصیت بوم‌سازگان عمل می‌کند. این جاذب، مسیر تکامل بوم‌سازگان را شکل می‌دهد و به آن جهت می‌دهد. • نقش رهبری: رهبران می‌توانند با تأثیرگذاری بر جاذب عجیب، جهت تکامل بوم‌سازگان را تغییر دهند.



شکل ۵. دیاگرام متناظر چارچوب نظری پیشنهادی این پژوهش (محقق ساخته)

برای تطبیق چارچوب نظری پیشنهادی برای یک بوم‌سازگان نوآوری خاص، به عنوان مثال برای تحلیل بوم‌سازگان نوآوری در حوزه هوش مصنوعی در ایران، باید ویژگی‌های منحصر به فرد آن (شامل تمرکز بر هوش مصنوعی، اندازه متوسط، محدوده ملی، مرحله رشد)، بازیگران کلیدی (شامل شرکت‌های دانش‌بنیان، دانشگاه‌ها، پارک‌های علم و فناوری، دولت، سرمایه‌گذاران)، فرآیندهای نوآوری (شامل تولید الگوریتم‌های جدید، توسعه محصولات مبتنی بر هوش مصنوعی، تجاری‌سازی محصولات)، محیط (شامل سیاست‌های حمایتی دولت، زیرساخت‌های فناوری، دسترسی به داده، فرهنگ نوآوری) و نوآیندی‌ها (از جمله ظهور شرکت‌های استارت‌آپی در حوزه هوش مصنوعی، توسعه کاربردهای جدید هوش مصنوعی در صنایع مختلف و ...) را با جزئیات شناسایی و اندازه‌گیری نمود. داده‌های مورد نیاز برای کاربرد عملی

چارچوب نظری پیشنهادی شامل داده‌های کمی (تعداد شرکت‌ها، میزان سرمایه‌گذاری، تعداد ثبت اختراع، تعداد مقالات علمی، تعداد جوایز و ...)، داده‌های کیفی (مصاحبه با بازیگران کلیدی، مطالعات موردی، تحلیل اسناد و مدارک)، داده‌های شبکه‌ای برای تحلیل روابط بین بازیگران و ساختار شبکه بوم‌سازگان و داده‌های زمانی برای تحلیل تغییرات در طول زمان و شناسایی روندها هستند.

چارچوب نظری پیشنهادی و دیاگرام متناظر آن، با تلفیق یافته‌های پژوهش‌های مختلف و اصول نظریه پیچیدگی، یک دیدگاه جامع و پویا از بوم‌سازگان‌های نوآوری و ابزاری برای درک توسعه و تکامل این بوم‌سازگان‌ها ارائه می‌دهد. با استفاده از این چارچوب، می‌توان به شناخت عمیق‌تری از این سیستم‌های پیچیده دست یافته و راهکارهای مؤثری برای تقویت و توسعه آن‌ها ارائه داد. در خصوص مزایای چارچوب نظری پیشنهادی (جدول ۱۰/ شکل ۵) می‌توان به ارائه دید جامعی از بوم‌سازگان نوآوری به عنوان یک سیستم پیچیده، انعطاف پذیری در تحلیل انواع مختلف بوم‌سازگان‌های نوآوری با سطوح پیچیدگی مختلف، درک بهتر پویایی و دینامیک بوم‌سازگان از طریق توجه به تغییرات و تحولات در طول زمان، تاکید بر اهمیت تعاملات بین بازیگران مختلف در شکل‌گیری بوم‌سازگان، پوشش گسترده عوامل مؤثر بر توسعه و تکامل بوم‌سازگان، کمک به پیش‌بینی سناریوهای مختلف در خصوص رفتار بلندمدت بوم‌سازگان و طراحی سیاست‌های موثرتر برای تقویت بوم‌سازگان‌های نوآوری اشاره کرد. البته باید در نظر داشت که مشابه سایر چارچوب‌های نظری، چارچوب نظری پیشنهادی پژوهش حاضر نیز با محدودیت‌هایی از جمله، نیاز به روش‌های پیچیده و ابزارهای تخصصی برای تحلیل سیستم‌های پیچیده، داده‌های فراوان و باکیفیت، تغییر در دینامیک بوم‌سازگان بواسطه تغییرات سریع محیط کسب‌وکار و دشواری پیش‌بینی رفتار سیستم‌های پیچیده با توجه به ماهیت غیرخطی آن‌ها مواجه است.

٦- نتیجه‌گیری

پژوهش حاضر با هدف اصلی درک و شناخت تأثیر نظریه پیچیدگی بر بوم‌سازگان‌های نوآوری انجام شده است. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که نظریه پیچیدگی، با تاکید بر ماهیت پویا، خودسازمانده و غیرخطی بوم‌سازگان‌های نوآوری، چارچوبی قدرتمند برای تحلیل و درک این سیستم‌های پیچیده فراهم می‌کند. با بهره‌گیری از این نظریه، می‌توان به شناخت عمیق‌تری از روابط متقابل بین بازیگران مختلف بوم‌سازگان، فرآیندهای نوآوری و عوامل محیطی دست یافت. همچنین، نظریه پیچیدگی به ما کمک می‌کند تا اهمیت خودسازماندهی، ظهور و غیرقابل پیش‌بینی بودن برخی از پدیده‌های نوآوری را بهتر درک کنیم. یافته‌ها نشان داد که روابط بین بازیگران مختلف در بوم‌سازگان نوآوری بسیار پیچیده و متغیر است و این تأثیر قابل توجهی بر پویایی بوم‌سازگان دارد. محیط اطراف بوم‌سازگان نوآوری، از جمله سیاست‌ها، فرهنگ و فناوری، نقش تعیین‌کننده‌ای در شکل‌گیری و تکامل آن ایفا می‌کند. بوم‌سازگان‌های نوآوری به طور خودکار و بدون نیاز به برنامه‌ریزی مرکزی، ساختارها و الگوهای رفتاری خود را ایجاد می‌کنند. نوآوری‌های بزرگ اغلب به عنوان نتیجه تعاملات پیچیده بین اجزای سیستم و به صورت ناگهانی پدیدار می‌شوند. آینده بوم‌سازگان‌های نوآوری بسیار نامشخص و غیرقابل پیش‌بینی است در مجموع، این پژوهش نشان می‌دهد که نظریه پیچیدگی می‌تواند به عنوان یک ابزار قدرتمند برای تحلیل و درک بوم‌سازگان‌های نوآوری مورد استفاده قرار گیرد. با درک بهتر این سیستم‌ها، می‌توان سیاست‌های مؤثرتری برای ترویج نوآوری تدوین کرد.

محدودیت اصلی این مرور نظام‌مند جستجو پژوهش‌های مرتبط با کاربرد نظریه آشوب و ویژگی‌های آن در تحلیل چگونگی توسعه و تکامل بوم‌سازگان‌های نوآوری بود. به طوری که با توجه به کلمات جستجو و چکیده برخی از پژوهش‌های یافت شده اینطور به نظر می‌رسید که ویژگی‌هایی از آشوب برای تحلیل بوم‌سازگان نوآوری بکار گرفته شده‌اند ولی بررسی کلی مقالات نشان می‌داد که اینطور نیست که نهایتا موجب شد در بخش یافته‌ها و به تبع آن نتیجه‌گیری از تئوری آشوب صرفنظر شود. در خصوص پیشنهاد نویسندگان برای تحقیقات آتی، اگرچه ادبیات درباره تکامل بوم‌سازگان نوآوری با استفاده از نظریه پیچیدگی در حال رشد است، اما هنوز نیاز به تحقیقات تجربی بیشتر و همکاری بین رشته‌ای وجود دارد.

کمبود مطالعات طولی و با استفاده از سری‌های زمانی بلند مدت (بیش از ۲۰ سال) و بررسی نقش بازیگران مختلف داخل یک بوم‌سازگان، که موجب افزایش عمق و گستردگی درک این حوزه می‌گردد یکی از شکاف‌های مهم تحقیقاتی است. همچنین تحقیقات بیشتری درباره نقش عوامل فرهنگی در بوم‌سازگان‌های نوآوری و نحوه تأثیر پویاییهای فرهنگی بر تکامل این برساخت‌های اجتماعی–فنی نیاز است. علاوه بر این، ضرورت مطالعه تعاملات در مقیاس‌های مختلف، مانند اینکه چگونه روندهای نوآوری جهانی بر بوم‌سازگان‌های نوآوری محلی تأثیر می‌گذارد و برعکس باید مورد توجه محققان قرار گیرد. ضمنا، با توجه به طبیعت پیچیده غیرخطی و سازگارشونده بوم‌سازگان‌های نوآوری، نیاز به توسعه روش‌ها و ابزارهای تحلیلی جدید برای مطالعه آن‌ها وجود دارد. بعلاوه استفاده از نظریه آشوب چه از جنبه ریاضیاتی با استفاده از داده‌های بلند مدت و چه مفهوم‌سازی ویژگی‌های آن در تفسیر و تحلیل سیر توسعه و تکامل بوم‌سازگان‌های نوآوری یکی دیگر از شکاف‌های مهم تحقیقاتی است.

تعارض منافع

نویسنده تعهد می‌کند که هیچ تعارض منافعی در این مقاله وجود نداشته‌است.

References

[1] Crescenzi, R., Dyèvre, A., & Neffke, F. (2022). **Innovation Catalysts: How Multinationals Reshape the Global Geography of Innovation**. *Economic Geography*, 98(3), 199-227. https://doi.org/10.1080/00130095.2022.2026766

[2] Russell, M. G., & Smorodinskaya, N. V. (2018). **Leveraging Complexity for Ecosystemic Innovation**. *Technological Forecasting and Social Change*, 136, 114-131. https://doi.org/10.1016/j.techfore.2017.11.024

[3] Kashani, E. S., & Roshani, S. (2019). **Evolution of Innovation System Literature: Intellectual Bases and Emerging Trends**. *Technological forecasting and social change*, 146, 68-80. https://doi.org/10.1016/j.techfore.2019.05.010

[4] Weil, H. B., Sabhlok, V. P., & Cooney, C. L. (2014). **The Dynamics of Innovation Ecosystems: A Case Study of The US Biofuel Market**. *Energy strategy reviews*, 3, 88-99. https://doi.org/10.1016/j.esr.2014.07.005

[5] Boyer, J. (2020). **Toward an Evolutionary and Sustainability Perspective of the Innovation Ecosystem: Revisiting the Panarchy Model**. *Sustainability*, 12(8), 3232. https://doi.org/10.3390/su12083232

[6] Moeenian, M., Ghazinoory, S., & Yaghmaie, P. (2024). **Analysing The Performance of a Health Innovation Ecosystem in the COVID-19 Crisis: Complexity and Chaos Theory Perspective**. *Health Research Policy and Systems*, 22(1), 59. https://doi.org/10.1186/s12961-024-01136-4

[7] Surie, G. (2017). **Creating the Innovation Ecosystem for Renewable Energy Via Social Entrepreneurship: Insights from India**. *Technological Forecasting and Social Change*, 121, 184-195. https://doi.org/10.1016/j.techfore.2017.03.006

[8] Poutanen, P., Soliman, W., & Ståhle, P. (2016). **The Complexity of Innovation: An Assessment and Review of the Complexity Perspective**. *European Journal of Innovation Management*, 19(2), 189-213. http://dx.doi.org/10.1108/EJIM-03-2014-0036

[9] Brown, S. L. (1998). **Competing on the Edge: Strategy as Structured Chaos**. *Harvard Business School Press*.

[10] Brem, A., Nylund, P. A., & Roshani, S. (2024). **Unpacking The Complexities of Crisis Innovation: A Comprehensive Review of Ecosystem-Level Responses to Exogenous Shocks**. *Review of Managerial Science*, 18(8), 2441-2464. https://doi.org/10.1007/s11846-023-00709-x

[11] Baranger, M. (2000). **Chaos, Complexity, and Entropy**. *New England Complex Systems Institute, Cambridge*, 17.

[12] Elyasi, M., & Malekifar, F. (2019). **STI Policies to Augment Innovation Ecosystems**. *Journal of Science and Technology Policy*, 12(2), 209-220. {In Persian}.

[13] Sun, J., Zou, H., Zhang, S., & Qin, H. (2022). **Gravitational Agglomeration of Local Synchronization Data Set in Innovation Ecosystem: A Game between Innovation and Institutional Governance**. *Mathematical Problems in Engineering*, 2022(1), 9620979. https://doi.org/10.1155/2022/9620979

[14] Ghazinoory, S. (2021). **Innovation Ecosystems or Innovation Boundaries?** *Journal of Science and Technology Policy*, 14(3): p. 1-1. {In Persian}. https://doi.org/10.22034/jstp.2021.13899

[15] Moher, D., Liberati, A., Tetzlaff, J., Altman, D. G., & Group, P. (2009). **Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses: The PRISMA Statement**. *Annals of internal medicine*, 151(4), 264-269.

[16] Mahdad, M., & Roshani, S. (2024). **The Open Innovation Kaleidoscope: Navigating Pathways and Overcoming Failures**. *Review of Managerial Science*, 1-32. https://doi.org/10.1007/s11846-024-00804-7

Hydrogen Energy Fuel Cell. *International Journal of Technology Management*, 75(1-4), 28-54.
[28] Zhang, W., Pingfeng, L., & Zhang, J. (2019). **Multi-Group Symbiotic Evolution Mechanism in An Innovative Ecosystem: Evidence from China**. *Revista de Cercetare si Interventie Sociala*, 66, 249. https://doi.org/10.33788/rcis.66.15
[29] Nylund, P. A., Brem, A., & Agarwal, N. (2022). **Enabling Technologies Mitigating Climate Change: The Role of Dominant Designs in Environmental Innovation Ecosystems**. *Technovation*, 117, 102271. https://doi.org/10.1016/j.technovation.2021.102271
[30] Pushpananthan, G., & Elmquist, M. (2022). **Joining Forces to Create Value: The Emergence of An Innovation Ecosystem.** *Technovation*, 115, 102453. https://doi.org/10.1016/j.technovation.2021.102453
[31] Dedehayir, O., & Seppänen, M. (2015). **Birth And Expansion of Innovation Ecosystems: A Case Study of Copper Production**. *Journal of technology management & innovation*, 10(2), 145-154.
[32] Gamidullaeva, L., Tolstykh, T., Bystrov, A., Radaykin, A., & Shmeleva, N. (2021). **Cross-sectoral digital platform as a tool for innovation ecosystem development.** *Sustainability*, 13(21), 11686. https://doi.org/10.3390/su132111686
[33] Breslin, D., Kask, J., Schlaile, M., & Abatecola, G. (2021). **Developing A Coevolutionary Account of Innovation Ecosystems**. *Industrial Marketing Management*, 98, 59-68. https://doi.org/10.1016/j.indmarman.2021.07.016
[34] Gifford, E., McKelvey, M., & Saemundsson, R. (2021). **The Evolution of Knowledge-Intensive Innovation Ecosystems: Co-Evolving Entrepreneurial Activity And Innovation Policy In The West Swedish Maritime System**. *Industry and Innovation*, 28(5), 651-676. https://doi.org/10.1080/13662716.2020.1856047
[35] Drori, I., & Lavie, D. (2023). **How Do Innovation Ecosystems Emerge? The Case of Nanotechnology in Israel**. *Journal of Management Studies*. https://doi.org/10.1111/joms.13026
[36] Castro, L. (2015). **Strategizing Across Boundaries: Revisiting Knowledge Brokering Activities in French Innovation Clusters**. *Journal of Knowledge Management*, 19(5), 1048-1068. http://dx.doi.org/10.1108/JKM-02-2015-0050
[37] Grobbelaar, S. (2018). **Developing a local Innovation Ecosystem Through a University-Coordinated Innovation Platform: E University of Fort Hare**. *IN PLACE*, 122. https://doi.org/10.1080/0376835X.2017.1421902
[38] Harmaakorpi, V., & Rinkinen, S. (2020). **Regional development platforms as incubators of business ecosystems. Case study: The Lahti urban region, Finland**. *Growth and Change*, 51(2), 626-645. https://doi.org/10.1111/grow.12375
[17] Feng, Z., González, V. A., Amor, R., Lovreglio, R., & Cabrera-Guerrero, G. (2018). **Immersive Virtual Reality Serious Games for Evacuation Training and Research: A Systematic Literature Review**. *Computers & Education*, 127, 252-266.
[18] Carayannis, E. G., & Campbell, D. F. (2009). **'Mode 3'and'quadruple Helix': Toward A 21st Century Fractal Innovation Ecosystem**. *International Journal of Technology Management*, 46(3-4), 201-234.
[19] Benitez, G. B., Ayala, N. F., & Frank, A. G. (2020). **Industry 4.0 Innovation Ecosystems: An Evolutionary Perspective on Value Cocreation**. *International Journal of Production Economics*, 228, 107735. https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2020.107735
[20] Chae, B. K. (2019). **A General Framework for Studying the Evolution of the Digital Innovation Ecosystem: The Case of Big Data.** *International Journal of Information Management*, 45, 83-94. https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2018.10.023
[21] de Vasconcelos Gomes, L. A., Salerno, M. S., Phaal, R., & Probert, D. R. (2018). **How Entrepreneurs Manage Collective Uncertainties in Innovation Ecosystems**. *Technological Forecasting and Social Change*, 128, 164-185. https://doi.org/10.1016/j.techfore.2017.11.016
[22] Hu, T.-S., Lin, C.-Y., & Chang, S.-L. (2005). **Technology-Based Regional Development Strategies and the Emergence of Technological Communities: A Case Study of HSIP, Taiwan**. *Technovation*, 25(4), 367-380. https://doi.org/10.1016/j.technovation.2003.09.002
[23] Kolloch, M., & Dellermann, D. (2018). **Digital Innovation in The Energy Industry: The Impact of Controversies on The Evolution of Innovation Ecosystems**. *Technological Forecasting and Social Change*, 136, 254-264. http://dx.doi.org/10.1016/j.techfore.2017.03.033
[24] Mamun, A. A. (2018). **Diffusion of Innovation Among Malaysian Manufacturing SMEs**. *European Journal of Innovation Management*, 21(1), 113-141. https://doi.org/10.1108/EJIM-02-2017-0017
[25] Hlongwane, S., & Grobbelaar, S. S. (2022). **A Practical Framework for Value Creation in Health Information Systems from An Ecosystem Perspective: Evaluated in The South African Context**. *Frontiers in Psychology*, 13, 637883. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2022.637883
[26] Pombo-Juárez, L., Könnölä, T., Miles, I., Saritas, O., Schartinger, D., Amanatidou, E., & Giesecke, S. (2017). **Wiring Up Multiple Layers of Innovation Ecosystems: Contemplations from Personal Health Systems Foresight**. *Technological Forecasting and Social Change*, 115, 278-288. http://dx.doi.org/10.1016/j.techfore.2016.04.018
[27] Mahmoud-Jouini, S. B., & Charue-Duboc, F. (2017). **Experimentations in Emerging Innovation Ecosystems: Specificities and Roles. The Case of The**

[39] Aryan, V., Bertling, J., & Liedtke, C. (2021). **Topology, Typology, And Dynamics of Commons-Based Peer Production: On Platforms, Actors, And Innovation In The Maker Movement**. *Creativity and innovation management*, 30(1), 63-79. https://doi.org/10.1111/caim.12392

[40] Ngongoni, C. N., Grobbelaar, S., & Schutte, C. S. (2022). **Making Sense of the Unknown: Using Change Attractors to Explain Innovation Ecosystem Emergence.** *Systemic Practice and Action Research*, 35(2), 227-252. https://doi.org/10.1007/s11213-021-09564-x

[41] Feng, N., Fu, C., Wei, F., Peng, Z., Zhang, Q., & Zhang, K. H. (2019). **The Key Role of Dynamic Capabilities in The Evolutionary Process for A Startup to Develop into An Innovation Ecosystem Leader: An In-depth Case Study**. *Journal of Engineering and Technology Management*, 54, 81-96. https://doi.org/10.1016/j.jengtecman.2019.11.002

[42] Yilmaz, L. (2011). **Toward Multi-Level, Multi-Theoretical Model Portfolios for Scientific Enterprise Workforce Dynamics**. *Journal of Artificial Societies and Social Simulatio*n, 14(4), 2.

[43] Wu, R., Wang, Z., & Shi, Q. (2021). **Increment Of Heterogeneous Knowledge in Enterprise Innovation Ecosystem: An Agent-Based Simulation Framework**. *Complexity*, 2021, 1-16. https://doi.org/10.1155/2021/9550232

[44] Vidmar, M. (2019). **Agile Space Living Lab–The Emergence of a New High-Tech Innovation Paradigm.** *Space Policy*, 49, 101324. https://doi.org/10.1016/j.spacepol.2019.05.002

[45] Chen, X., Sun, Q., Xia, F., & Chen, Y.-H. (2021). **Robust Resource Allocation Strategy for Technology Innovation Ecosystems: State and Control Constraints**. *Nonlinear Dynamics*, 103, 2931-2954. https://doi.org/10.1007/s11071-021-06215-7