Volume 12, Number 4, Winter 2020

Journal of

Science & Technology Policy

A Systematic Review of a Quarter of a Century of Research Background on Complex Products and Systems (CoPS): Trends and Approaches

Mostafa Safdari Ranjbar[1*], Mehdi Kiamehr [2]

1- Assistant Professor, University of Tehran (College of Farabi), Qom, Iran
2- Assistant Professor, Sharif University of Technology, Tehran, Iran

Abstract

Complex product systems (CoPS) industries largely contribute to industrial development, economic growth and creation of national wealth in both developed and developing economies. CoPS also show a number of specific characteristics as a distinctive category of industrial products in comparison with mass-produced consumer goods. These aspects have attracted the attention of scholars to study CoPS over the last 25 years, resulting in a fairly extensive body of literature on the subject. However, there is a further need to connect research findings in this area, to illustrate a macro view of the development in the field, explore common themes, and identify possible paths into the future.

This study aims to contribute to these ends by: 1) exploring the quantitative aspects of the CoPS literature; 2) illustrating topical classification of CoPS studies and their findings; and 3) suggesting opportunities for future research through examining common trends and unresolved issues in the literature.

The findings of this study include the presentation of various descriptive statistics, thematic classification of previous studies, introduction of key trends in the development of research background, suggestions for future research and management and policy implications in the field of innovation in complex products and systems (CoPS).

Keywords: Complex Products and Systems, Innovation, Technology, Systematic Literature Review

* Corresponding author: Khaleghi.m@ut.ac.ir

فصلنامه علمی-پژوهشی

سیاست علم و فناوری

سال دوازدهم، شماره ٤، زمستان ۱۳۹۹

مروری نظام‌مند بر ربع قرن پیشینه پژوهشی سامانه‌های محصول پیچیده: روندها و رهیافت‌ها

مصطفی صفدری رنجبر[1*]، مهدی کیامهر[2]

۱- عضو هیئت علمی پردیس فارابی دانشگاه تهران، قم

۲- عضو هیات علمی دانشگاه صنعتی شریف، تهران

چکیده

سامانه‌های محصول پیچیده (CoPS) نقش چشمگیری در توسعه صنعتی، رشد اقتصادی و خلق ثروت در کشورهای توسعه‌یافته و درحال‌توسعه بازی می‌کنند. از طرفی، این سامانه‌های محصول پیچیده دارای ویژگی‌ها و مشخصه‌های متفاوت و متمایزی در مقایسه با کالاهای مصرفی با سامانه تولید انبوه هستند. این تفاوت‌ها و تمایزها طی ربع قرن اخیر توجه تعداد زیادی از پژوهشگران و صاحبنظران حوزه مدیریت فناوری و نوآوری را به خود جلب کرده است که منجر به شکل‌گیری پیشینه پژوهشی و بدنه دانشی قابل توجهی حول سامانه‌های محصول پیچیده شده‌است. به همین دلیل نیاز است از طریق واکاوی در پژوهش‌های پیشین این حوزه، به ارائه تحلیل‌ها و آمارهای توصیفی، موضوعات مورد مطالعه و روندهای آینده این حوزه پرداخته شود. این مقاله قصد دارد از طریق مرور نظام‌مند پیشینه پژوهشی ربع قرن اخیر این حوزه به هدف فوق جامه عمل بپوشاند. یافته‌های این پژوهش مشتمل بر ارائه آمارهای توصیفی متعدد، دسته‌بندی موضوعی مطالعات پیشین، معرفی روندهای کلیدی در زمینه تکامل پیشینه پژوهش، پیشنهادهایی برای پژوهش‌های آتی و دلالت‌های مدیریتی و سیاستی در حوزه نوآوری در سامانه‌های محصول پیچیده می‌باشد.

کلیدواژه‌ها: سامانه‌های محصول پیچیده، نوآوری، فناوری، مرور نظام‌مند پیشینه پژوهشی.

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

Safdari Ranjbar, M., & Kiamehr, M. (2020). **A Systematic Review of a Quarter of a Century of Research Background on Complex Products and Systems (CoPS): Trends and Approaches.** *Journal of Science & Technology Policy*, 12(4), 19-36. {In Persian}.
DOI: 10.22034/jstp.2020.12.4.1190

۱- مقدمه

وودوارد[2] [۱] بیان می‌کند که الگوی فعالیت‌های اقتصادی در محصولات پیچیده با ساختار پروژه‌محور، با کالاهای مصرفی با ساختار تولید انبوه به‌طور چشمگیری تفاوت دارد. صاحبنظران حوزه نوآوری نیز میان کالاهای مصرفی با سامانه تولید انبوه و کالاهای سرمایه‌ای با حجم پایین، فناوری پیشرفته و پیچیده و پرهزینه که در قالب پروژه‌ها توسعه پیدا می‌کنند، تمایز قائل شده‌اند [۲]. دسته دوم محصولات به عنوان سامانه‌های محصول پیچیده شناخته می‌شوند [۳]. سامانه‌های محصول پیچیده به عنوان کالاها، سامانه‌ها، زیرساخت‌ها، شبکه‌ها و سازه‌های مهندسی و سامانه‌های خدماتی پرهزینه، مهندسی، پیچیده و مشتمل بر نرم‌افزارهای پیشرفته هستند [٤]. نمونه‌هایی از سامانه‌های محصول پیچیده، شامل: شبیه‌ساز پرواز [٥]، سامانه‌های ارتباطی موبایل [٦]، نرم‌افزارهای پیچیده [٧]، سامانه کنترل هواپیماها [٨]، سامانه‌ها و شبکه‌های مخابراتی [۹-۱۰]، سامانه‌های دولت الکترونیک [۱۱]،

DOI: 10.22034/ jstp.2020.12.4.1190

* نویسنده عهده‌دار مکاتبات: mostafa.safdary@ut.ac.ir

[2] Woodward

هواپیماهای تجاری و نظامی [۱۲-۱۳]، توربین‌های گازی [۱٤-۱۵] و سامانه‌های تولید برق [۱٦] هستند.

سامانه‌های محصول پیچیده به عنوان کالاهای سرمایه‌ای پیچیده، نقش کلیدی در اشاعه فناوری‌های مدرن در اقتصادها و توسعه صنعتی و اقتصادی جوامع توسعه‌یافته و درحال‌توسعه بازی می‌کنند [۱۷]. اهمیت سامانه‌های محصول پیچیده در توسعه فناورانه و اقتصادی، باعث شده پژوهش‌های متعددی به این حوزه اختصاص داده شود. به‌علاوه، سامانه‌های محصول پیچیده به عنوان یک حوزه مطالعاتی متمایز در مدیریت نوآوری به حساب می‌آید [۱۸]. بنابراین، طی ربع قرن اخیر از زمانی که میلر[1] و همکارانش [۵] اولین بار مفهوم سامانه‌های محصول پیچیده را معرفی کردند، پژوهشگران زیادی از دیدگاه‌های متنوعی به مطالعه این حوزه پرداخته‌اند. در نتیجه، در حال حاضر تعداد کافی مطالعات در بدنه دانشی این حوزه وجود دارد که بتوان به مرور، مقایسه و ارزیابی یافته‌های آن‌ها پرداخت [۱۹].

پس از جستجوهای وسیع در پیشینه پژوهشی این حوزه، تعداد اندکی مطالعات مروری مانند رن و یئو[2] [۲۰]، صفدری رنجبر و همکاران [۱۹] و پارک و جی[3] [۲۱] یافت شد که به مرور پیشینه پژوهشی این حوزه پرداخته‌اند. مطالعه مروری رن و یئو حدود ۱۵ سال پیش انجام گرفته و بسیاری از مهمترین پژوهش‌های این حوزه را پوشش نداده است [۲۰]. مطالعه مروری صفدری رنجبر و همکاران با این‌که مروری نظام‌مند و جامع بر پیشینه پژوهشی این حوزه انجام داده، مقالاتی را که تا سال ۲۰۱٦ به نگارش درآمده، پوشش داده و برخی مقوله‌های جدید و محوری نظیر مدیریت ارتباطات با ذی‌نفعان متنوع و متعدد، مشروعیت‌بخشی به توسعه برخی سامانه‌های محصول پیچیده نظیر نیروگاه‌های هسته‌ای و پنجره‌های فرصت یادگیری و فرارسی فناورانه در سامانه‌های محصول پیچیده را که طی چند سال اخیر به آن‌ها توجه شده، پوشش نداده است [۱۹]. مقاله مروری پارک و جی که جدیدترین مقاله مروری در زمینه سامانه‌های محصول پیچیده است، صرفاً بر موضوع فرارسی فناورانه در کشورهای درحال‌توسعه و دیرآمده تمرکز کرده و توجهی به سایر موضوعات مرتبط با سامانه‌های محصول پیچیده ندارد [۲۱]. لذا این مقاله قصد دارد با مرور و بررسی نظام‌مند پیشینه پژوهشی سامانه‌های محصول پیچیده طی ربع قرن اخیر، به ارائه تحلیل‌هایی مبتنی بر داده‌ها و آمارهای توصیفی و همچنین موضوعات و مضامین کلیدی مطالعات پیشین بپردازد.

در رابطه با پیشینه پژوهشی سامانه‌های محصول پیچیده سوالاتی کلیدی و مهم وجود دارد:

۱) از روند انتشار مقالات در زمینه سامانه‌های محصول پیچیده در طول زمان چه بینش‌هایی می‌توان استخراج کرد؟

۲) کدام بخش‌های صنعتی در پیشینه پژوهشی سامانه‌های محصول پیچیده مورد بررسی قرار گرفته‌اند؟

۳) کدام کشورها مورد مطالعه قرار گرفته‌اند؟

٤) کدام راهبردهای پژوهش بیشتر استفاده شده‌اند؟

۵) کدام مباحث و ابعاد نظری تاکنون مورد بررسی قرار گرفته است و کدام جنبه‌های مهم نظری نادیده گرفته شده‌اند؟

٦) شکاف‌ها و روندهای نظری ناشی از آثار قبلی کدام هستند؟

به منظور پر کردن این شکاف، مقاله حاضر سه هدف اصلی دارد: ۱) ارائه اطلاعات و آمارهای کمی با استفاده از تحلیل‌های توصیفی؛ ۲) ارائه یافته‌های حاصل از طبقه بندی موضوعی آثار پژوهشی پیشین؛ ۳) معرفی جهت‌گیری‌های تحقیقاتی آینده با بحث در مورد روندهای کلیدی و دیدگاه های نظری مغفول در زمینه سامانه‌های محصول پیچیده.

۲- سامانه‌های محصول پیچیده

روزنبرگ[4] [۲۲] و چادنووسکی[5] و همکاران [۲۳] از مفهوم "کالاهای سرمایه‌ای پیچیده" در کارهایشان استفاده کرده‌اند که تا حدودی متفاوت از سامانه‌های محصول پیچیده است. با این حال، کالاهای سرمایه‌ای پیچیده نیز همچون سامانه‌های محصول پیچیده نقش کلیدی در اشاعه فناوری‌های مدرن در یک اقتصاد بازی می‌کنند. لذا این مفهوم با تعریف سامانه‌های محصول پیچیده معادل هم گرفته می‌شوند [۳]. میلر و همکاران از مفهوم "سامانه‌های پیچیده" برای متمایز کردن برخی محصولات از کالاهای مصرفی[6] بهره گرفتند.

[1] Miller
[2] Ren and Yeo
[3] Park and Ji
[4] Rosenberg
[5] Chudnovsky
[6] Commodity goods

سامانه‌های پیچیده نیز دارای برخی مشخصه‌های مشترک با سامانه‌های محصول پیچیده هستند. از جمله این مشخصه‌ها می‌توان به تعداد زیادی از مولفه‌های سفارشی‌سازی‌شده به‌هم‌مرتبط و همچنین ویژگی‌های پدیدارشونده در حین پاسخ به نیازهای در حال تکامل کاربران اشاره نمود [۵].

در نهایت هابدی مفهوم سامانه‌های محصول پیچیده را به عنوان محصولات، سامانه‌ها، زیرسامانه‌ها، شبکه‌ها و زیرساخت‌های پرهزینه، مهندسی و مشتمل بر مولفه‌های متعدد با فناوری پیشرفته تعریف نمود [۳]. آچا[1] و همکاران بیان می‌کنند که واژه "پیچیده" معرف تعداد زیادی مولفه‌های سفارشی‌شده، وسعت و عمق بالای دانش و مهارت‌های مورد نیاز و درجه بالای دانش‌های جدید است که در طراحی و تولید این محصولات و سامانه‌ها به‌کار می‌روند [۱۷]. دیویس و هابدی[2] نیز سامانه‌های محصول پیچیده را به عنوان کالای سرمایه‌ای با فناوری بالا و با ارزش معرفی می‌کنند [٤]. تقریباً همه صاحبنظران و پژوهشگرانی که به مطالعه در زمینه سامانه‌های محصول پیچیده پرداخته‌اند، هدف مشترکی داشته‌اند و آن ایجاد تمایز میان این دسته از محصولات با کالاهای مصرفی با سامانه تولید انبوه و بازار انبوه و یا کالاهای سرمایه‌ای با فناوری پایین بوده است [۱۸،۲۰].

۳- روش‌شناسی

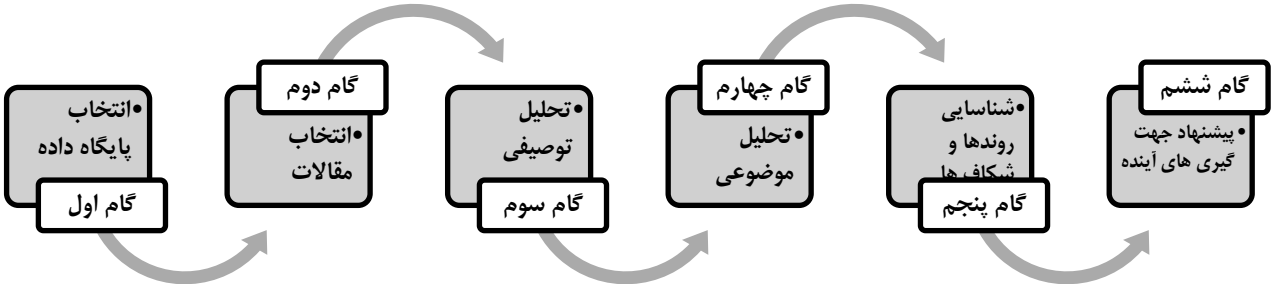
در این مقاله مروری، فرآیندی شش مرحله‌ای به منظور انجام این پژوهش طراحی شده است که در شکل ۱ نمایش داده شده‌است. در گام اول با هدف جستجو و جمع آوری ورودی‌های مورد نظر، پایگاه مقالات گوگل اسکولار[3] به دلیل مزیت‌هایی نظیر سرعت بالای جستجو، رابط کاربردی مناسب، دسترس‌پذیری آسان و اطلاعات مرتبط با ارجاعات انتخاب گردید. در گام دوم، از سه واژه کلیدی Complex Product Systems، Complex Products and Systems و Complex Capital Goods بدون هیچگونه محدودیت در نوع و زمان جهت جستجو بهره‌برداری شد. به این دلیل از این سه واژه کلیدی استفاده شد که این سه واژه کلیدی معرف محصولات و صنایعی هستند که مورد توجه و تمرکز این مقاله است. نتیجه جستجوهای اولیه مشتمل بر مقالات منتشرشده در نشریات، مقالات ارائه‌شده در کنفرانس‌ها، کتاب‌ها و گزارش‌ها در این رابطه بود.

در ادامه، با هدف تضمین کیفیت مقالات و کنار گذاشتن ورودی‌های غیرمرتبط از سه معیار برای غربال استفاده شد: اول، ربع قرن اخیر (۱۹۹۵ تا ۲۰۲۰) به عنوان بازه زمانی مورد نظر انتخاب شد، زیرا انتشار مقاله میلر و همکاران (۱۹۹۵) به عنوان مبدأ انتشار مقالات در زمینه سامانه‌های محصول پیچیده تعیین گردید. دوم، صرفاً مقالاتی که در نشریه‌های معتبر انگلیسی‌زبان بر اساس فهرست نشریه‌های ABS[4] منتشر شده بودند، انتخاب گردید. سوم، به عنوان یک قاعده فقط مقالاتی انتخاب شدند که یکی از واژه‌های کلیدی سه‌گانه مذکور در عنوان، چکیده یا واژگان کلیدی آن‌ها ذکر شده باشد. با به کار بستن این فرآیند جستجو، تعداد ۵۵ مقاله از نشریه‌های معتبر علمی جهت مطالعه و بررسی‌های عمیق‌تر انتخاب شدند. نمودار مربوط به شناسایی منابع، غربال آن‌ها و دستیابی به نمونه نهایی مقالات جهت مطالعه و بررسی عمیق در شکل ۲ نمایش داده شده است.

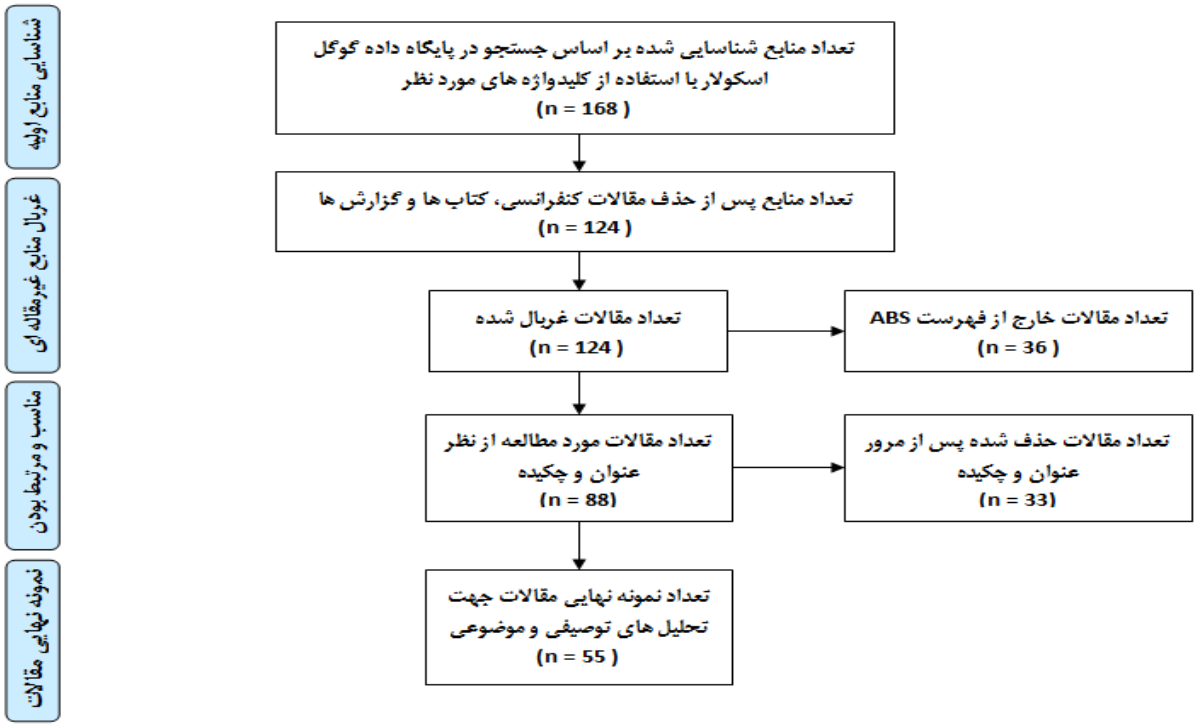
مقالات مروری که از روش های کمی بهره‌برداری می‌کنند، از نمونه بزرگی از مقالات استفاده می‌نمایند. برای مثال، راندهاوا[5] و همکاران که به انجام تحلیل‌های هم‌ارجاعی[6] و متن‌کاوی[7] پرداخته اند، بر روی یک نمونه متشکل از ۳۲۱ مقاله در زمینه نوآوری باز[8] کار کرده‌اند [۲٤]. نمونه مورد مطالعه این مقاله مروری از آن‌جایی که مشتمل بر تعداد کمتری (۵۵ مقاله) است، زمینه را برای انجام تحلیل‌های کمی از جمله تحلیل‌های نامبرده فراهم نمی‌سازد. بنابراین، این مقاله از رویکردهای توصیفی و کیفی برای انجام این پژوهش مروری بهره‌برداری می‌کند.

در گام سوم، برای توصیف و نمایش هرچه بهتر جنبه‌های کمی مقالات منتخب این پژوهش، پنج معیار توصیفی در نظر گرفته شده است: ۱) تعداد مقالات منتشرشده در طول زمان (دوره‌های پنج‌ساله)؛ ۲) حوزه‌های صنعتی که مورد مطالعه قرار گرفته‌اند؛ ۳) کشورهایی که مورد مطالعه قرار گرفته‌اند؛

[1] Acha
[2] Davies and Hobday
[3] Google Scholar
[4] Academic Journal Guide, 2015
[5] Randhawa
[6] Co-citation Analysis
[7] Text mining
[8] Open Innovation



شکل ۱) فرآیند اجرای مطالعه مروری حاضر



شکل ۲) نمودار شناسایی، غربال و دستیابی به نمونه نهایی مقالات

٤) راهبردهای پژوهش که مورد کاربرد قرار گرفته‌اند؛ ٥) نشریه‌های علمی با بیشترین مقالات این حوزه. علاوه بر این جنبه‌های کمی و توصیفی، در گام چهارم یک دسته‌بندی شامل هفت موضوع (ویژگی‌ها و مشخصه‌ها، قابلیت‌های کلیدی، فرارسی فناورانه، مدیریت ارتباط با ذی‌نفعان، ساختار سازمانی، ابزارها و روش‌های مدیریتی و نقش و سیاست‌های دولت) ارائه شد که بر اساس آن مقالات مورد بررسی و واکاوی کیفی قرار گیرند.

٤- تحلیل و آمارهای توصیفی

٤-١ تعداد مقالات منتشرشده در طول زمان

دوره زمانی مورد مطالعه این مقاله مروری ۲۵ سال است (از سال ۱۹۹۵ تا ۲۰۲۰) که به پنج دوره ۵ ساله تقسیم شده و تعداد مقالات در زمینه سامانه‌های محصول پیچیده در هر دوره در شکل ۳ نشان داده شده‌است. این شکل نشان‌دهنده دو صعود در میان پنج دوره زمانی است. اولین صعود به دلیل انتشار مقالات متعددی است که از پژوهش‌های صورت‌گرفته در مرکز پژوهش‌های سامانه‌های محصول پیچیده[1] و بر روی مواردهایی از کشورهای اروپایی و آمریکای شمالی (کشورهای توسعه‌یافته) به دست آمده‌اند (سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۵). در حالی که صعود دوم نشان‌دهنده گسترش تعداد مطالعات در زمینه سامانه‌های محصول پیچیده در کشورهای درحال‌توسعه نظیر ایران، چین و کره جنوبی است (سال های ۲۰۱۱ تا ۲۰۱۵). این آمار بیانگر این واقعیت است که حدود ۱۰ سال طول کشیده تا مفهوم سامانه‌های محصول پیچیده توسط پژوهشگرانی از کشورهای درحال‌توسعه و با هدف مطالعه صنایع این کشورها مورد بهره‌برداری قرار گیرد.

[1] CoPS Research Centre

٤-٢ حوزه‌های صنعتی مورد مطالعه

همانطور که در شکل ٤ نمایان است، شش حوزه صنعتی با سامانه‌های محصول پیچیده به طور مکرر مورد مطالعه قرار گرفته‌اند. این حوزه‌های صنعتی به ترتیب عبارتند از: صنایع هوافضا و هوایی (۱۱ مقاله)، صنایع فناوری اطلاعات و سامانه‌های نرم افزاری (۹ مقاله)، صنعت انرژی (۹ مقاله)، سامانه‌ها و شبکه‌های مخابراتی (۸ مقاله)، پروژه‌های زیرساختی (۷ مقاله) و ماشین‌آلات و تجهیزات (٦ مقاله). ویژگی بارز و مشترک همه این حوزه‌های صنعتی دربرگرفتن محصولات و سامانه‌هایی با پیچیدگی ساختاری بالا، فناوری‌های پیشرفته، مبتنی بر دانش‌ها و قابلیت‌های متنوع با روابط کسب‌وکار به کسب‌وکار (B2B) و کسب‌وکار به دولت (B2G) می‌باشد. از میان ۵۵ مقاله مورد مطالعه، ٤٦ مقاله بر یک صنعت خاص و ۲ مقاله بر بیش از یک صنعت تمرکز داشته‌اند. مابقی مقالات (۷ مقاله) بر صنعت خاصی تمرکز نداشته‌اند و بیشتر به نظریه‌سازی عمومی پرداخته‌اند تا اینکه حوزه صنعتی خاصی را مورد واکاوی قرار دهند.

٤-٣ کشورهای مورد مطالعه

شکل ۵ بیانگر کشورهایی است که بیش از کشورهای دیگر در زمینه سامانه‌های محصول پیچیده مورد مطالعه واقع شده‌اند. از میان ۵۵ مقاله، ۳۹ مقاله به مطالعه یک کشور پرداخته‌اند در حالی که ۱۱ مقاله بیش از یک کشور را مورد مطالعه قرار داده‌اند. همچنین، ۵ مقاله هیچ کشور خاصی را مورد بررسی قرار نداده‌اند و بیشتر به نظریه‌سازی‌های عمومی اقدام کرده‌اند. کشور انگلستان با ١٤ مقاله، ایالات متحده آمریکا با ۹ مقاله و ایران با ۷ مقاله بیشترین مقالات را به خود اختصاص داده‌اند. کشورهای چین (٦ مقاله)، آلمان (۵ مقاله)، کره جنوبی و سوئد (٤ مقاله) و فرانسه (۳ مقاله) در رتبه‌های بعدی قرار دارند. با توجه به تعداد مقالاتی که کشورهای درحال‌توسعه نظیر ایران، چین و کره جنوبی را مورد مطالعه قرار داده‌اند، مشخص می‌شود که سامانه‌های محصول پیچیده صرفاً در انحصار کشورهای توسعه‌یافته قرار ندارد، هرچند مقالاتی که در رابطه با کشورهای درحال‌توسعه به نگارش درآمده‌اند، عمدتاً تجاربی از جنس یادگیری و فرارسی فناورانه در سامانه‌های محصول پیچیده را مدون ساخته‌اند تا این‌که به نوآوری در این صنایع پرداخته باشند.

٤-٤ راهبردهای پژوهش

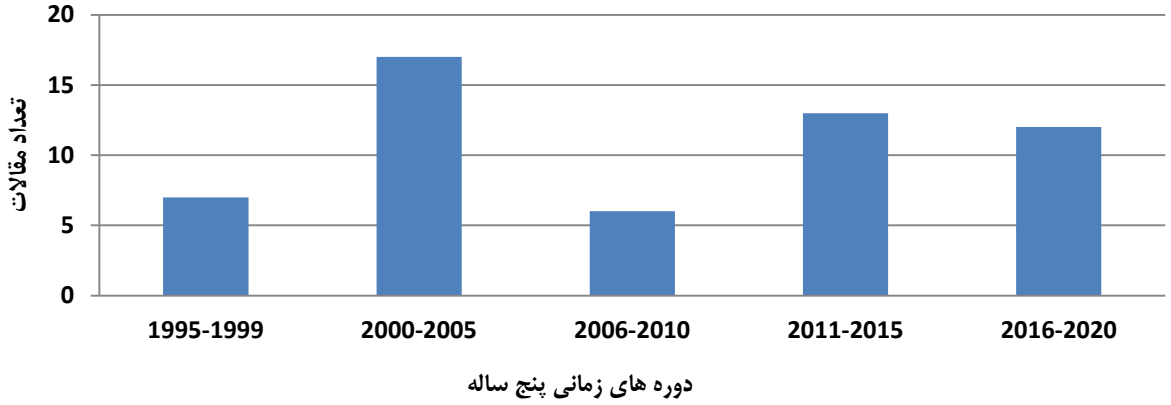
شکل ٦ نشان می‌دهد که از میان ۵۵ مقاله مورد مطالعه، ٤۹ مقاله از راهبردهای پژوهش کیفی نظیر موردکاوی، اقدام‌پژوهی و نظریه‌سازی بهره‌برداری کرده‌اند. در حالی که فقط ٦ مقاله از راهبردهای پژوهش کمی و مدلسازی‌های ریاضی مانند رگرسیون لجستیک، تحلیل‌های آماری و تحلیل ثبت اختراعات استفاده نموده‌اند. بر اساس این آمارها می‌توان نتیجه گرفت که اکثر پژوهشگران حوزه مطالعاتی سامانه‌های محصول پیچیده تلاش کرده‌اند از طریق موردکاوی به نظریه‌سازی اقدام نمایند و تعداد بسیار اندکی از مطالعات به دنبال نظریه‌آزمایی در این حوزه مطالعاتی رفته‌اند. البته بخشی از این واقعیت را می‌توان اینگونه تشریح کرد که سامانه‌های محصول پیچیده به دلیل ویژگی‌های خاصی که دارند و عمدتاً در غالب برخی پروژه‌های یکتا و خاص توسعه می‌یابند، زمینه مطالعاتی مناسبی برای اجرای پژوهش‌های کمی نظیر پیمایش‌های تجربی که نیازمند جامعه و نمونه آماری بالا هستند، نمی‌باشند.

٤-۵ نشریه‌های علمی

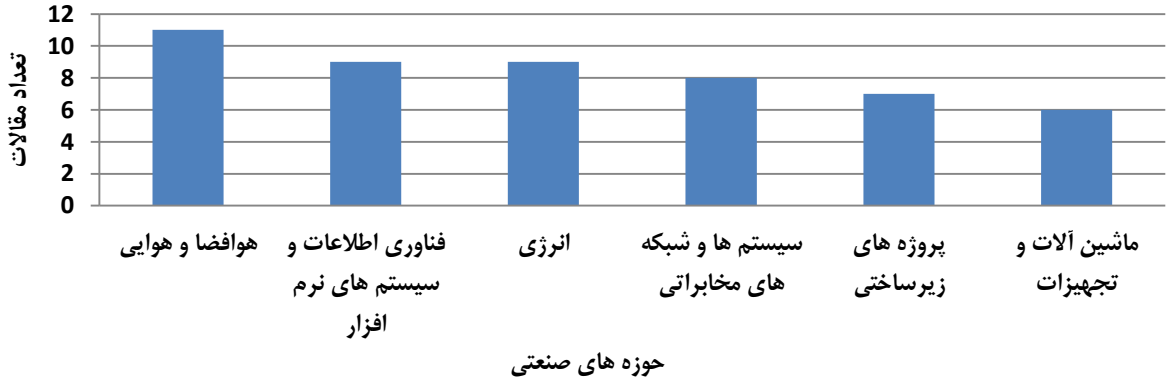
شکل ۷ نشان‌دهنده نشریات علمی است که بیش از سایر نشریات به انتشار مقالاتی پیرامون سامانه‌های محصول پیچیده اقدام نموده اند. همانطور که قابل مشاهده و همچنین قابل انتظار است نشریه Research Policy با فاصله زیادی از سایر نشریه‌های علمی حوزه سیاستگذاری و مدیریت نوآوری و با انتشار ۱۵ مقاله در صدر قرار دارد. یکی از دلایل این امر انتشار ویژه‌نامه‌ای در زمینه سامانه‌های محصول پیچیده است که در سال ۲۰۰۰ توسط این نشریه منتشر شده است. نشریاتی مانند Industrial and Corporate Change و International Journal of Innovation Management نیز با چاپ ۷ مقاله در جایگاه های بعدی قرار گرفته اند. نشریه معتبر Industrial Marketing Management نیز با چاپ ویژه‌نامه‌ای در زمینه سامانه‌های محصول پیچیده در سال ۲۰۱۸ در جایگاه بعدی قرار گرفته است.

۵- دسته‌بندی موضوعی مطالعات پیشین

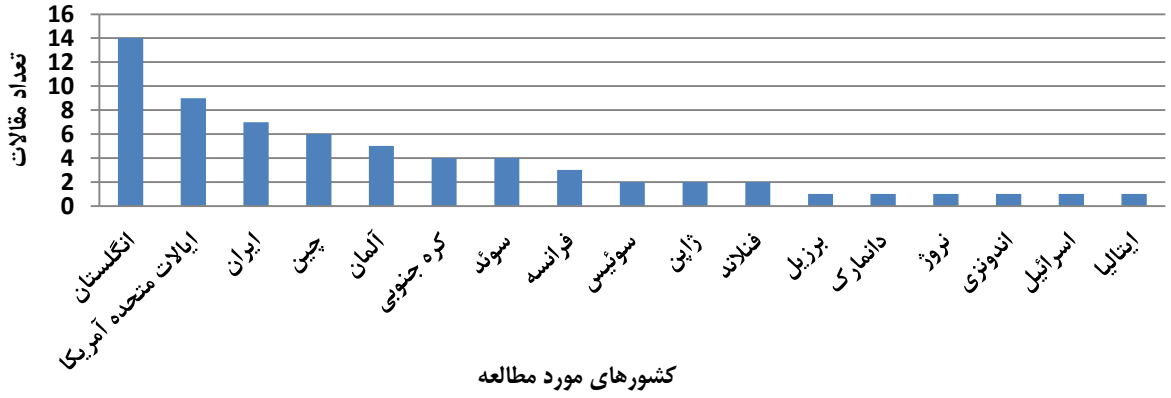
علی‌رغم برخی همپوشانی‌ها، یک دسته‌بندی موضوعی هفتگانه بر اساس الگوبرداری از دسته‌بندی‌های موضوعی



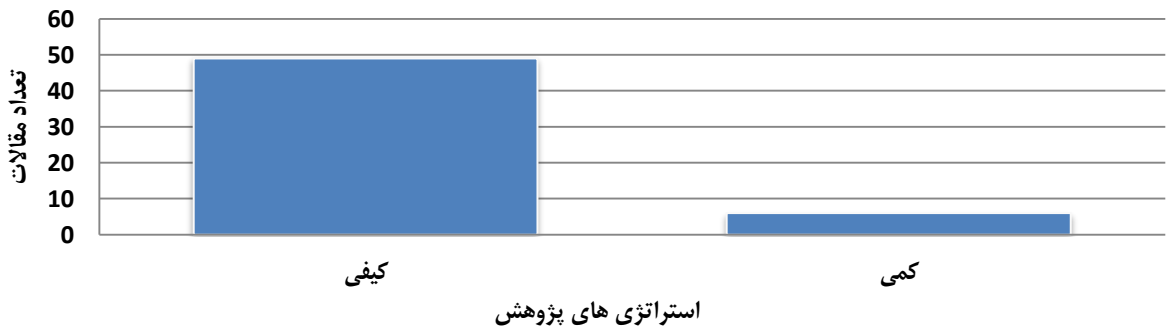
شکل ۳) تعداد مقالات منتشرشده در طول زمان



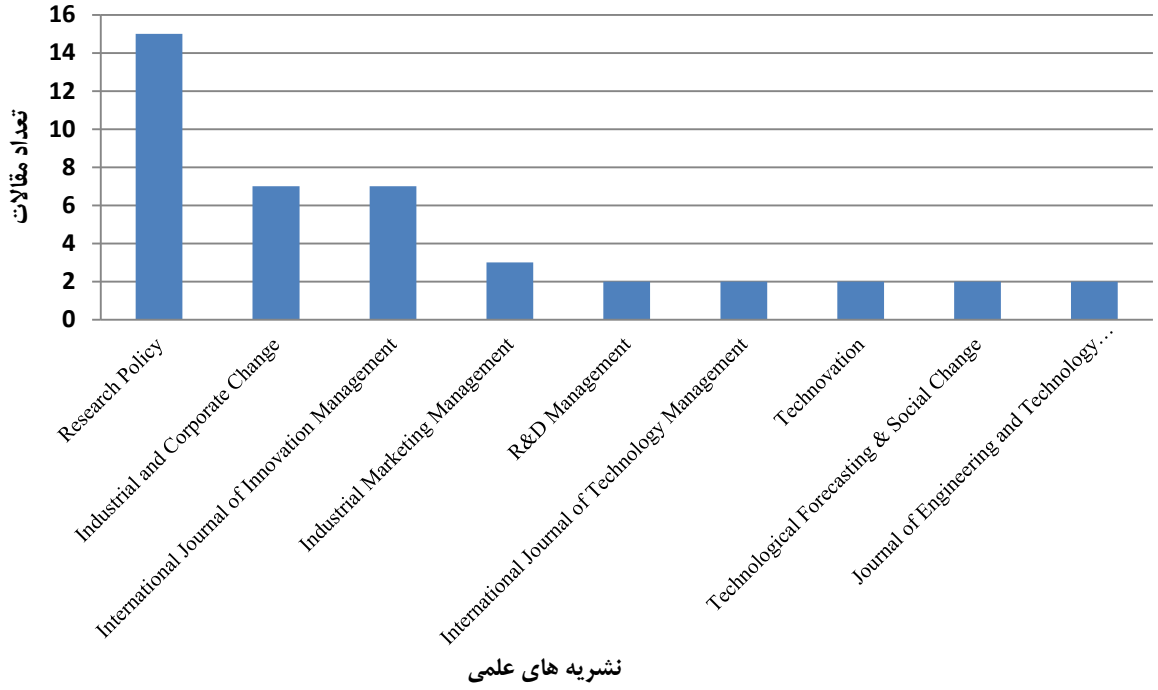
شکل ٤) تعداد مقالات منتشر شده در حوزه های صنعتی مختلف



شکل ٥) تعداد مقالات منتشر شده در کشورهای مختلف



شکل ٦) تعداد مقالات منتشرشده بر اساس روش‌های پژوهش مورداستفاده



شکل ۷) تعداد مقالات منتشرشده به تفکیک نشریه‌های علمی

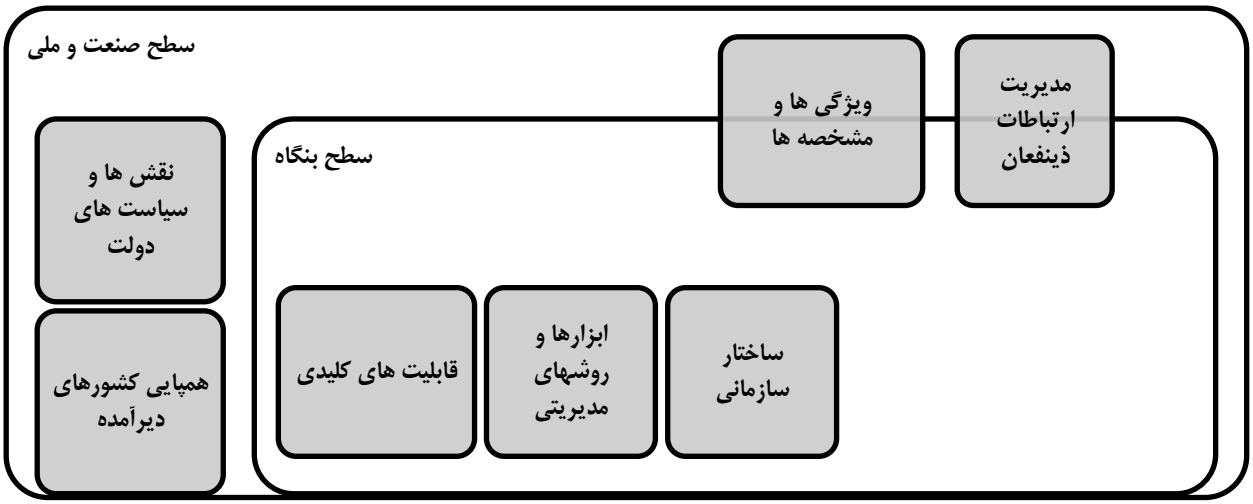
ارائه‌شده در مقالات هابدی و همکاران [۱۸]، رن و یئو [۲۰]و صفدری رنجبر و همکاران [۱۹]، تلفیق آن‌ها و افزودن برخی موضوعات کلیدی نظیر مدیریت ارتباطات با ذی‌نفعان معرفی شده است (شکل ۸). دسته‌بندی‌های موضوعی در مقالات مروری مذکور و مقاله حاضر در جدول ۱ نمایش داده شده؛ سپس مقالات بر اساس عنوان و کلیدی‌ترین موضوعی که مورد بررسی قرار داده‌اند، دسته‌بندی شدند و در یکی از این دسته‌های هفتگانه قرار گرفتند. این دسته‌بندی‌های موضوعی عبارتند از: ۱) ویژگی‌ها و مشخصه‌ها، ۲) ابزارها و روش‌های مدیریتی، ۳) قابلیت‌های کلیدی، ٤) ساختار سازمانی، ٥) نقش‌ها و سیاست‌های دولت، ٦) فرارسی فناورانه ۷) مدیریت ارتباطات با ذی‌نفعان. سهم هر یک از موضوعات در میان نمونه مورد بررسی در این مقاله در شکل ۹ نمایش داده شده‌است.

۵-۱ ویژگی‌ها و مشخصه‌ها

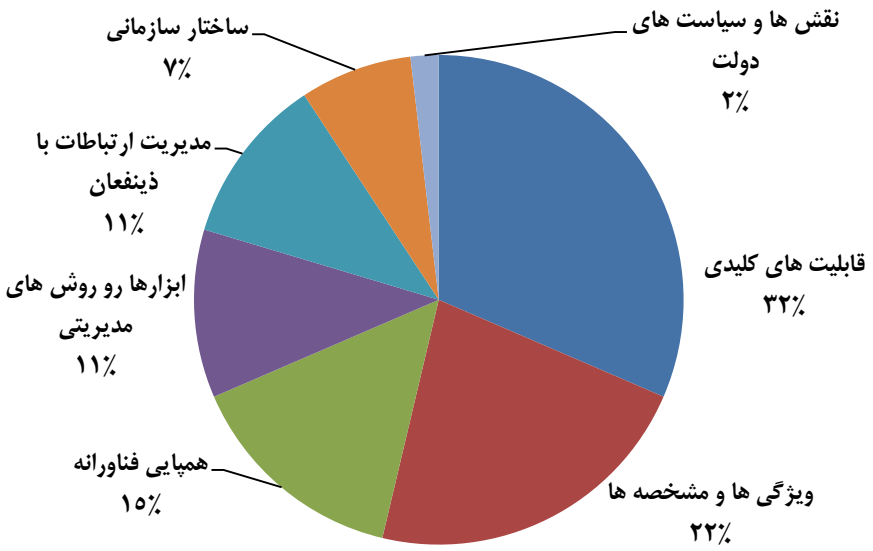
صاحبنظران معتقدند که تفاوت‌ها و تمایزهای متعددی میان سامانه‌های محصول پیچیده و کالاهای مصرفی با سامانه تولید انبوه و بازار انبوه وجود دارد. برای مثال، هابدی [۳] به مقایسه این دو دسته از محصولات پرداخت و به این نتیجه رسید که

جدول ۱) دسته‌بندی‌های موضوعی در مقالات مروری مذکور و مقاله حاضر

	ویژگی‌ها و مشخصه‌ها	ابزارها و روش‌های مدیریتی	قابلیت‌های کلیدی	ساختار سازمانی	نقش‌ها و سیاست‌های دولت	فرارسی فناورانه	مدیریت ارتباطات با ذی‌نفعان
هابدی و همکاران[۱۸]	*	*	*	*	*	*	
رن و یئو [۲۰]	*		*	*	*	*	
صفدری رنجبر و همکاران[۱۹]	*	*	*	*	*	*	
مقاله حاضر	*	*	*	*	*	*	*



شکل ۸) دسته‌بندی موضوعات در سطح بنگاه، صنعت و ملی



شکل ۹) دسته‌بندی موضوعی مقالات و سهم هر یک از موضوعات

نوآوری در "مدل متداول و موجود[1]" با نوآوری در سامانه‌های محصول پیچیده تفاوت بارزی دارد. به‌علاوه، هانسن و راش[2] [۲۵] و هابدی و راش[3] [۲۶] به دشواری‌هایی که بنگاه‌های توسعه‌دهنده سامانه‌های محصول پیچیده با آن‌ها مواجه می‌شوند، پرداخته‌اند. علاوه بر این، رن و یئو بر برخی ویژگی‌ها و مشخصه‌های سامانه‌های محصول پیچیده تمرکز کرده‌اند: حجم تولید محصول و دوره عمر آن؛ درجه نوآوری‌های فناورانه و سفارشی‌سازی؛ وسعت و عمق دانش و مهارت‌ها؛ سطح بالای فعالیت‌های هماهنگی و یکپارچه‌سازی و شدت بالای مشارکت مشتریان، کاربران و سازمان‌های تنظیم‌گر در فرآیند نوآوری این محصولات [۲۰]. دیویس اشاره می‌کند که فاز معماری در مراحل اولیه طراحی و توسعه یک محصول و سامانه پیچیده به شدت تحت‌تاثیر سازمان‌های تنظیم‌گر، تأمین‌کنندگان، سازمان‌های استانداردگذار و کاربران بزرگ است [٦]. همچنین، برخی دیگر از صاحبنظران بر اهمیت نقش کاربران و مشتریان در میان سایر ذی‌نفعان درگیر در پروژه‌های طراحی و توسعه سامانه‌های محصول پیچیده تاکید کرده‌اند [۲۷–۲۸]. به‌علاوه، ددهایر[4] و همکاران بیان می‌کنند که نوآوری‌های مخرب در

[1] Conventional Model
[2] Hansen and Rush
[3] Hobday and Rush
[4] Dedehayir

سامانه‌های محصول پیچیده مستلزم مجموعه‌ای از عوامل، متفاوت از عواملی است که در کالاهای مصرفی مشاهده شده‌است [۲۹]. مجیدپور نیز به این موضوع پرداخته است که الگوی فرارسی فناورانه در سامانه‌های محصول پیچیده فقط محدود به دنباله‌روی مسیر[1] می‌شود، برخلاف کالاهای مصرفی که همه الگوهای فرارسی شامل دنباله‌روی مسیر، فرارسی پرشی[2] و خلق مسیر جدید[3] در آن‌ها تجربه شده است [۱۶].

۵-۲ روش ها و ابزارهای مدیریتی

هابدی و راش پیشنهاد می‌کنند که در صنایع با سامانه‌های محصول پیچیده برخلاف کالاهای مصرفی با تولید انبوه، ابزارهای مدیریتی و ابزارهای فناوری اطلاعات، استاندارد و ثابت شده نیستند [۲۶]. از آن‌جایی که بسیاری از ابزارهای مدیریتی توسعه‌یافته برای مدیریت کالاهای مصرفی با تولید انبوه برای سامانه‌های محصول پیچیده مناسب نیستند، تعدادی از صاحبنظران اقدام به توسعه ابزارهای مدیریتی جدید برای سامانه‌های محصول پیچیده کرده‌اند. برای مثال، هابدی و برادی به ارائه یک روش ساده و سریع برای تحلیل و بهبود نرم افزارهای پیچیده پرداخته‌اند [۷]. همچنین، گیل[4] [۳۰] به معرفی روش‌های مناسب مدیریت پژوهش در سامانه‌های محصول پیچیده پرداخته است. به‌علاوه، یئو و رن[5] [۳۱] یک مدل بلوغ مدیریت ریسک برای پروژه‌های توسعه سامانه‌های محصول پیچیده طراحی نموده‌اند. همچنین، ماگنای[6] و همکاران [۳۲] یک روش جدید برای برنامه‌ریزی، پایش و ارزیابی توسعه سامانه‌های پیچیده ارائه کرده‌اند. دو[7] و همکاران [۳۳] نیز روش جدیدی برای انتخاب تامین‌کنندگان در پروژه‌های سامانه‌های محصول پیچیده معرفی کرده‌اند.

۵-۳ قابلیت‌های کلیدی

صاحبنظران معتقدند که طراحی و توسعه سامانه‌های محصول پیچیده نیازمند قابلیت‌های خاص است، زیرا این محصولات و سامانه‌ها ماهیتاً با کالاهای مصرفی با سامانه تولید انبوه متفاوت هستند. برای مثال، هاردستون[8] [۳۴] قابلیت‌هایی نظیر مدیریت پروژه‌های کلان، مدیریت شبکه همکاران، قابلیت‌های بازار و یکپارچه‌سازی سامانه در سطوح مختلف را به عنوان قابلیت‌های کلیدی معرفی کرده‌است. علاوه بر این، رن و یئو [۲۰] تعدادی از قابلیت‌های کلیدی مانند یکپارچه‌سازی سامانه، مدیریت پروژه‌های کلان‌مقیاس، مدیریت تدارکات و زنجیره تامین پیچیده، مدیریت دانش درون و برون سازمانی، مدیریت ریسک و مهارت‌های نرم نظیر سبک رهبری مناسب برای هدایت پروژه‌ها و مهارت‌های سیاسی، مدیریت افراد در فضاهای چندفرهنگی، مدیریت قراردادها و تجربه‌های حقوقی را نام برده‌اند. سو و لیو[9] [۳۵] نیز به شناسایی سه بعد قابلیت‌های پویا در سامانه‌های محصول پیچیده پرداخته‌اند: درک و شناخت نیاز مشتریان، مدیریت شبکه‌های چندسازمانی و یادگیری سازمانی. پارک و جی[10] [۳۶] نیز چهار قابلیت را جهت موفقیت در زمینه سامانه‌های محصول پیچیده شناسایی کرده‌اند: قابلیت‌های تحقیق و توسعه؛ ایجاد یک شبکه ارگانیک و پویا متشکل از بازیگران متعدد؛ قابلیت اهرم‌سازی منابع دولتی و عمومی و ایجاد تقاضای کافی در بازار.

دیویس و برادی [۳۷] بر قابلیت مدیریت پروژه در پروژه های توسعه سامانه‌های محصول پیچیده تاکید کرده‌اند. پرنسیپ[11] [۸] توسعه قابلیت‌های فناورانه متنوع و با عمق بالا را برای توسعه این محصولات و سامانه‌ها ضروری می‌داند. دیویس و هابدی [۴] نیز از یکپارچه‌سازی سامانه به عنوان یک قابلیت راهبردی و سازمانی کلیدی در سامانه‌های محصول پیچیده یاد کرده‌اند. یکپارچه‌سازی سامانه منجر به خلق ارزش افزوده از طریق طراحی و یکپارچه‌سازی زیرسامانه‌ها، مولفه‌ها، اجزا و نرم‌افزارها می شود. یکپارچه‌سازی سامانه خود دارای دو بعد درون‌سازمانی و برون‌سازمانی می‌باشد. کیامهر و همکاران [۳۸] بر اساس مطالعه موردی سامانه‌های برقابی در ایران، پیشنهاد می‌کنند که قابلیت یکپارچه‌سازی سامانه در کشورهای دیرآمده[12] برای فرارسی فناورانه این کشورها در سامانه‌های محصول پیچیده کلیدی است. نقی‌زاده و همکاران [۱۳] از یکپارچه‌سازی شبکه بازیگران به عنوان قابلیت کلیدی در پروژه‌های طراحی و توسعه سامانه‌های محصول پیچیده یاد

[1] Path Following
[2] Stage Skipping
[3] Path Creating
[4] Gil
[5] Yeo and Ren
[6] Magnaye
[7] Du
[8] Hardstone
[9] Su and Liu
[10] Park and Ji
[11] Prencipe
[12] Latecomer Systems Integration Capability

کرده‌اند. چن[1] و همکاران [۳۹] و نگای[2] و همکاران [٤٠] نیز بر قابلیت مدیریت دانش درون و برون سازمانی در رابطه با سامانه‌های محصول پیچیده اشاره کرده‌اند.

٥-٤ ساختار سازمانی

سامانه‌های محصول پیچیده معمولاً در قالب پروژه‌ها و دسته‌های کوچک طراحی و تولید می‌شوند و همین امر باعث اهمیت یافتن فعالیت‌های پروژه‌محور در سازمان‌های سازنده این محصولات و سامانه‌ها شده است [٤١-٤٢]. دیویس و همکاران [٤٣] بیان می‌کنند که محصولات، سامانه‌ها، شبکه‌ها، کالاهای سرمایه‌ای و زیرساخت‌های پرهزینه و پیچیده در حجم بسیار کم و مطابق با نیازها و الزامات مشتریان خاص تولید می‌شوند. به همین دلیل، توسعه آن‌ها مستلزم راهبرد پروژه، قابلیت‌های مدیریت پروژه، روش‌های مدیریت پروژه و ساختار سازمانی مناسب است. در همین راستا، بسیاری از صاحبنظران حوزه سامانه‌های محصول پیچیده به معرفی و مطالعه ساختار سازمانی پروژه‌محور[3] (PBO) به عنوان ساختار مناسب برای بنگاه‌های سازنده این محصولات و سامانه‌ها پرداخته‌اند. برای مثال، هابدی [٤٤] و دیویس و هابدی [٤] بیان می‌کنند که ساختار سازمانی پروژه‌محور، بنگاه‌های سازنده سامانه‌های محصول پیچیده را قادر می‌سازد که با تغییر در نیازهای مشتریان و ظهور ویژگی‌های نو در طراحی کنار بیایند. اما این ساختار دارای برخی معایب نظیر ضعف در اجرای روتین‌ها و روال‌های سازمانی، دشواری در دستیابی به مزیت‌های ناشی از مقیاس و تنوع، کاهش سطح یادگیری سازمانی و دشواری در یکپارچگی کسب‌وکار می‌باشد. دیویس و همکاران [٤٣] نیز به فهرستی از مشکلات متداول و چالش‌های راهبردی شامل دشواری‌های توسعه و کاربرد قابلیت‌های پروژه برای نوآوری؛ ناپیوستگی‌ها در جریان دانشی و یادگیری و موانع موجود بر سر راه یادگیری درون و بین پروژه‌ها؛ عدم‌یکپارچگی میان یادگیری پروژه‌محور و فرآیندهای کسب‌وکار؛ دشواری در مدیریت روابط بلندمدت با مشتریان کلیدی؛ دشواری‌های توسعه قابلیت یکپارچه‌سازی سامانه و ارائه راه‌حل‌های پروژه‌محور اشاره کرده‌اند.

٥-٥ نقش‌ها و سیاست های دولت

دولت ها نقش چشمگیری در توسعه و کاربرد سامانه‌های محصول پیچیده به عنوان تنظیم‌گر، سرمایه‌گذار، تولیدکننده و کاربر بازی می‌کنند [۱۸،۲۰]. همین امر برخی پژوهشگران را بر آن داشته که نقش دولت و سیاست‌های آن را در صنایع مختلف مرتبط با سامانه‌های محصول پیچیده مورد واکاوی قرار دهند. برای مثال، دیویس و برادی [۳۷] بیان می‌کنند که دولت به صورت مستقیم (اعطای یارانه‌های دولتی) و غیرمستقیم (از طریق مقررات‌گذاری و تنظیم‌گری و تدوین استانداردهای فنی) در شکل‌گیری و توسعه صنعت سامانه‌ها و شبکه‌های مخابراتی کشورهای اروپایی، آمریکای‌شمالی و ژاپن نقش داشته است.

به‌علاوه، چانگ و هوانگ[4] [۹] به تعدادی از نقش‌های کلیدی دولت در زمینه توسعه سامانه‌های محصول پیچیده در اقتصادهای تازه‌صنعتی‌شده نظیر کره جنوبی اشاره کرده‌اند که عبارتند از: دولت به عنوان مشتری بزرگ این محصولات و سامانه‌ها از طریق خریدهای دولتی و تدوین استانداردهای لازم. مجیدپور [١٤] بیان می‌کند که مشارکت وسیع دولت از ویژگی‌های بارز تولید سامانه‌های محصول پیچیده در کشورهای درحال‌توسعه است. کیامهر و همکاران [۲] بر دو نقش دولت تاکید می‌کنند: ۱) سرمایه‌گذاری در نوآوری‌های طراحی و مهندسی؛ ۲) تقویت برنامه‌های آموزشی در دانشگاه‌ها برای کسب دانش و فناوری‌های مورد نیاز برای توسعه سامانه‌های محصول پیچیده. پارک و کیم [۱۱] نیز فهرستی از مهمترین نقش‌های دولت در این زمینه را معرفی کرده‌اند: نظارت مستقیم؛ سرمایه‌گذاری بلندمدت برای توسعه زیرساخت‌ها؛ تصویب قوانین لازم برای توسعه این محصولات و سامانه‌ها.

٥-٦ فرارسی فناورانه

هابدی و راش [٢٦] بیان می‌کنند که در رابطه با قابلیت‌ها و رقابت‌پذیری در زمینه سامانه‌های محصول پیچیده، انگلستان و دیگر کشورهای اروپایی جلوتر از کشورهای آسیایی (به استثنای ژاپن) قرار دارند، در حالی که این کشورهای درحال‌توسعه تاکنون پیشرفت خوبی در زمینه کالاهای مصرفی با سامانه تولید انبوه مانند لوازم الکتریکی و پوشاک از خود به نمایش گذاشته‌اند. علی‌رغم این ادعا، تجارب فرارسی

[1] Chen
[2] Ngai
[3] Project-based Organization
[4] Choung and Hwang

موفقیت‌آمیزی توسط کشورهای دیرآمده نظیر چین، کره جنوبی، برزیل، هند و ایران در زمینه توسعه و تولید سامانه‌های محصول پیچیده مشاهده شده و به ثبت رسیده است [۱۹]. این تجارب موفقیت‌آمیز به طور کلی قابل تقسیم‌بندی به دو سطح ملی و بنگاهی هستند.

در مطالعاتی که در سطح ملی انجام شده اند، چانگ و هوانگ [۹] به معرفی عوامل کلیدی موفقیت نظیر قابلیت هماهنگی و یکپارچه‌سازی بازیگران مختلف، برنامه‌ریزی و مدیریت پروژه، قابلیت‌های مدیریتی، هم تکاملی میان نهادها و فناوری‌ها، تعامل میان بنگاه‌های بزرگ و موسسات تحقیقاتی داخلی در تجربه توسعه و تجاری‌سازی سامانه‌های مخابراتی در کره جنوبی پرداخته‌اند. همچنین، پارک [۱۰] به معرفی چهار عامل کلیدی در تجربه موفق فرارسی کره جنوبی در سامانه‌ها و شبکه‌های مخابراتی پرداخته است: نقش نهادها و قوانین مناسب؛ اکتساب و بهره‌برداری از قابلیت‌های محوری؛ همکاری با سازمان‌های استانداردگذار بین‌المللی و نقش آفرینی بنگاه‌های بزرگ کره‌ای. علاوه بر این، لی و یون[1] [۱۲] به مقایسه سه کشور دیرآمده یعنی چین، برزیل و کره جنوبی در زمینه روش‌های اکتساب فناوری در صنعت هواپیماهای نظامی پرداخته‌اند. آن‌ها همچنین، به توصیف نقش شرکای خارجی و اقدامات دولت که بر روش اکتساب فناوری در این کشورها تاثیرگذار بوده است، پرداخته اند. واک و یون[2] [٤٥] نیز نشان دادند که چگونه کاهش مشروعیت[3] در صنعت انرژی‌های هسته‌ای در کشورهای توسعه‌یافته و افزایش مشروعیت آن در کره جنوبی و همچنین تلاش‌های این کشور در زمینه درونی‌سازی پنجره‌های فرصت منجر به این گردید که کره جنوبی از واردکننده این صنعت در قالب پروژه های کلیددردست[4] به صادرکننده جهانی این صنعت به کشورهای درحال‌توسعه دیگر نظیر امارات متحده عربی تبدیل گردد.

در سطح بنگاه، کیامهر و همکاران [۲] به مطالعه فرآیند فرارسی فناورانه در سامانه‌های محصول پیچیده در یک بنگاه دیرآمده ایرانی در زمینه سامانه‌های تولید برق حرارتی (مپنا) پرداخته‌اند. آن‌ها این فرآیند را به چهار مرحله راهبردک تقسیم کرده‌اند: ۱) غلبه بر موانع ورود؛ ۲) اکتساب قابلیت‌های تولیدی؛ ۳) ایجاد قابلیت‌های مهندسی و طراحی به منظور گسترش بازار و صادرات؛ و ٤) گذار به رهبری. ضمناً، کیامهر [١٦] از طریق مطالعه یک تامین‌کننده ایرانی سامانه‌های تولید انرژی برقابی (فراب) به این واقعیت دست یافت که برخلاف مسیرهای مرسوم برای فرارسی در محصولات الکتریکی مصرفی در کشورهای آسیایی و آمریکای لاتین و به جای شروع از مراحل اولیه چرخه عمر محصول، انباشت قابلیت‌های فناورانه از مراحل میانی یعنی مهندسی محصول شروع شده است. سپس به مرحله پایانی یعنی عملیات و رفع نواقص محصولات رفته و سرانجام به مرحله آغازین فرآیند یعنی مفهوم‌سازی و طراحی محصولات رسیده است. مجیدپور [١٤] نیز از طریق مطالعه یک شرکت سازنده توربین‌های گازی (توگا) نشان داد که به دلیل رژیم فناورانه و بازار خاص سامانه‌های محصول پیچیده، مدل غالب فرارسی فناورانه در این صنایع دنباله روی مسیر است. او معتقد است که مدل پرش در برخی فناوری‌های فرعی رخ می‌دهد در حالی که مدل خلق مسیر جدید تقریباً غیرممکن است. صفدری رنجبر و همکاران [۱۵] نیز به شناسایی عوامل موثر بر فرارسی یک شرکت سازنده توربین‌های گازی در ایران (OTC) در سطح بنگاه (اتخاذ راهبرد مناسب برای اکتساب قابلیت‌های فناورانه و ایجاد قابلیت‌های مدیریتی و سازمانی)، صنعت (شبکه‌سازی و همکاری میان بازیگران کلیدی و وجود بازار و تقاضای داخلی چشمگیر و روبه‌رشد) و ملی (سیاست‌ها و اقدامات دولت و ترتیبات نهادی و شرایط سیاسی) پرداختند.

۵-۷ مدیریت ارتباطات با ذی‌نفعان

بازیگران متعدد و متنوعی با منابع، قابلیت‌ها و اهداف گوناگونی در فرآیند توسعه و تولید این سامانه‌های محصول پیچیده مشارکت می‌کنند و دست به خلق ارزش مشترک می‌زنند [٤٦]. لتینن[5] و همکاران [٤٧] از طریق مطالعه یک پروژه کلان توسعه منطقه‌ای در اروپا (یک مجتمع مسکونی به همراه یک مرکز خرید با زیرساخت‌های حمل‌ونقل پیشرفته) به بررسی منطق حاکم بر مشارکت‌دهی و عدم‌مشارکت‌دهی ذی‌نفعان مختلف در تصمیم‌گیری‌ها و خلق ارزش مشترک پرداختند. یافته‌های آن‌ها حاکی از اهمیت

[1] Lee and Yoon
[2] Kwak and Yoon
[3] Legitimacy
[4] Turnkey
[5] Lehtinen

درگیر کردن و عدم درگیر کردن زمان‌مند ذی‌نفعان پروژه در فعالیت‌های مختلف دارد. برای این منظور لازم است یک دیدگاه دوره عمر برای پروژه اتخاذ گردد که مشارکت دادن ذی‌نفعان در مراحل مختلف دوره عمر پروژه با منطق خاصی صورت پذیرد.

کرسپین- مازت[1] و همکاران [٤٨] با مطالعه پروژه احداث قطار شهری به واکاوی روابط و تعاملات پویا میان تامین کنندگان سامانه‌های محصول پیچیده با هدف یکپارچه کردن نیازهای متنوع ذی‌نفعان (فنی، اقتصادی، اجتماعی و سیاسی) در فرآیند نوآوری پرداخته‌اند و یک مدل یکپارچه برای فرآیندهای بازاریابی و فروش جهت پشتیبانی از توسعه مشترک[2] نوآوری در سامانه‌های محصول پیچیده ارایه کرده‌اند. روهریچ[3] و همکاران [٤٩] نیز تلاش کرده‌اند تا درک و شناخت موجود از مدیریت نوآوری در سامانه‌های محصول پیچیده و روابط درون سازمانی را ارتقا دهند. آن‌ها به کنکاش در این رابطه پرداخته‌اند که چگونه ساختارهای سازمانی مختلف در طول زمان تغییر می‌کنند و روابط درون سازمانی جدید شکل می‌گیرند تا از فرآیندها و فعالیت‌های مدیریت نوآوری در سامانه‌های محصول پیچیده حمایت نمایند. گالاتی[4] و همکاران [٥٠] از طریق مطالعه یک پروژه در زمینه هوافضا که ذی‌نفعان متعددی نظیر دانشمندان، بنگاه‌های بین‌المللی و سازمان‌های فضایی در آن درگیر بودند، به این موضوع پرداختند که تنش‌های متعدد چگونه در طول زمان در این پروژه‌ها ظهور می‌یابند و در صورت بروز چگونه حل و فصل می‌شوند.

٦- روندهای کلیدی و رهنمودهایی برای آینده

در این بخش در رابطه با برخی روندهای کلیدی مستخرج از مرور پیشینه پژوهشی موجود بحث خواهد شد و تعدادی رهنمود برای پژوهش‌های آتی در این حوزه مطالعاتی ارائه گردیده است.

٦-١ کدام صنایع در زمره سامانه‌های محصول پیچیده هستند؟

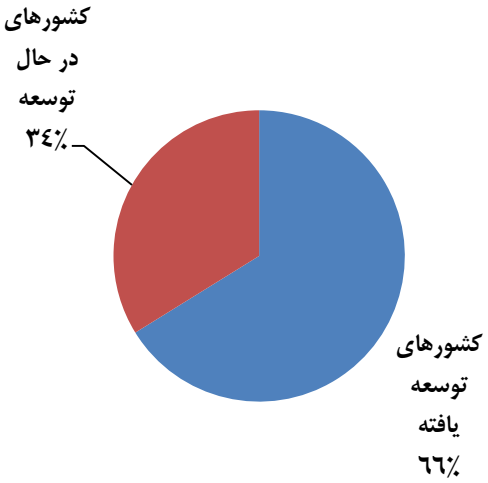
اگرچه تعریف پایه برای سامانه‌های محصول پیچیده توسط میلر و همکاران [٥] و هابدی [٣] ارائه شده و فهرستی از سامانه‌های محصول پیچیده توسط هابدی [٣]، هابدی و راش [٢٦] و دیویس و هابدی [٤] معرفی گردیده است، هر یک از پژوهشگران بر جنبه‌ای از این سامانه‌های محصول پیچیده تمرکز کرده‌اند و یا از واژه‌های مختلفی برای معرفی این محصولات و سامانه‌های بهره گرفته‌اند. هابدی و راش [٢٦] اشاره می‌کنند که هیچ تعریف واحد و ساده‌ای که پذیرش گسترده در نزد پژوهشگران و صنعتگران داشته باشد، برای این محصولات و سامانه‌ها وجود ندارد. بر طبق نظر رن و یئو [٢٠] چندین جریان در رابطه با سامانه‌های محصول پیچیده وجود دارد که عبارتند از محصولات پیچیده، پروژه‌های مهندسی کلان[5] (LEP) و نرم‌افزارها و سامانه‌های کلان فاوا. از طرفی، برخی پژوهشگران از عبارت کالاهای سرمایه‌ای پیچیده به جای سامانه‌های محصول پیچیده استفاده می‌کنند [١٦-١٧]. در مجموع مطابق با نظر هابدی و راش [٢٦] مطالعات مفهومی بیشتری نیاز است تا تفاوت‌های فرآیند نوآوری در سامانه‌های محصول پیچیده و مدل‌های رایج برای کالاهای مصرفی را برجسته نمایند و از طرفی تشابهات میان سامانه‌های محصول پیچیده مختلف را آشکار سازند.

٦-٢ ظهور و خیزش کشورهای دیرآمده

علی‌رغم همه چالش‌های موجود بر سر راه کشورهای دیرآمده، شواهد متعددی از شکل‌گیری قابلیت‌های فناورانه ساخت سامانه‌های محصول پیچیده در کشورهای دیرآمده با بازار داخلی بزرگ نظیر چین، هند، برزیل و ایران مشاهده شده‌است [١٩]. همچنین، شواهد موجود نشان می‌دهد که اکثر این کشورهای دیرآمده در ساخت این سامانه‌های محصول پیچیده موفق عمل کرده‌اند [١٤،١٦] و تعداد کمی از آن‌ها مانند چین، برزیل و کره جنوبی توانسته‌اند به قابلیت‌های نوآوری در این محصولات و سامانه‌ها دست پیدا کنند [١٢]. این مطالعه مروری نشان می‌دهد که حدود ٣٤٪ مقالات این حوزه به مطالعه تجارب کشورهای درحال‌توسعه و دیرآمده در زمینه توسعه سامانه‌های محصول پیچیده پرداخته‌اند (شکل ١٠). به‌علاوه، پژوهش‌ها نشان می‌دهد که مطالعات اولیه در زمینه سامانه‌های محصول پیچیده توسعه‌یافته در کشورهای

[1] Crespin-Mazet
[2] Co-development
[3] Roehrich
[4] Galati
[5] Large Engineering Projects

پیشرو نظیر انگلستان، ایالات متحده، آلمان و ژاپن بوده است [۱۷،۳٤] در حالی که در سال‌های اخیر چرخشی به سمت مطالعات فرارسی و گذار به رهبری از طریق مطالعه تجربیات موفق اقتصادهای درحال‌توسعه نظیر کره جنوبی، چین، برزیل و ایران رخ داده است [۱۰،۱۲،۱٤،۱٦]. بنابراین، از منظر تجربی و نظری لازم است تا پژوهش‌های بیشتری در زمینه فهم شرایط و الزامات فرارسی و گذار به رهبری کشورهای دیرآمده در سامانه‌های محصول پیچیده صورت پذیرد.

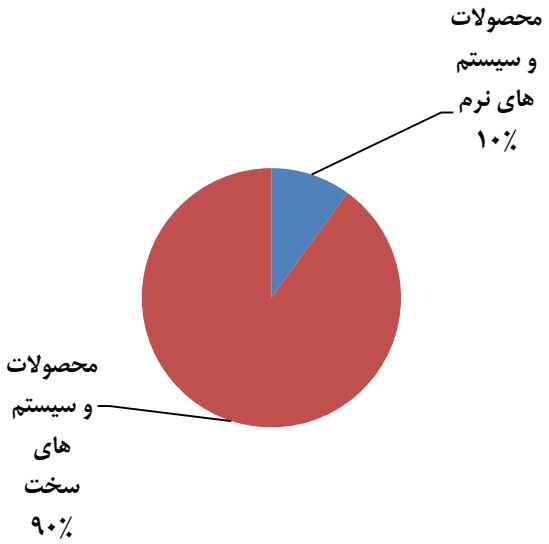


شکل ۱۰) سهم مقالاتی که به بررسی تجارب کشورهای توسعه‌یافته و درحال‌توسعه پرداخته‌اند.

در همین راستا، پارک و جی [۲۱] از طریق مطالعه ۳۹ مقاله به انجام یک مطالعه مروری نظام‌مند در زمینه فرارسی فناورانه کشورهای دیرآمده در سامانه‌های محصول پیچیده پرداختند. آن‌ها توانستند شواهد خوبی از فرارسی و جهش فناورانه در این صنایع بیابند که حداقل منجر به فرارسی در بازار داخلی و انجام کلان‌پروژه‌های توسعه سامانه‌های محصول پیچیده شده‌است. برخلاف مجیدپور [۱٤] آن‌ها بیان می‌کنند که الگوی فرارسی فناورانه در سامانه‌های محصول پیچیده مشابه صنایع تولیدکننده کالاهای مصرفی با سامانه تولید انبوه است. همچنین، آن‌ها به شناسایی ۱۵ عامل موفقیت و شکست فرارسی فناورانه در سامانه‌های محصول پیچیده پرداختند که مهمترین آن‌ها عبارتند از [۲۱]: حمایت‌ها و سیاست‌های دولت، انتقال فناوری از منابع خارجی، فعالیت‌های تحقیق‌وتوسعه درونی، وجود خوشه صنعتی و اتحادهای راهبردی با شرکای کلیدی.

٦-۳ سامانه‌های محصول پیچیده: نرم یا سخت

یکی از موضوعات قابل توجه در رابطه با پیشینه پژوهشی این حوزه، تمرکز مقاله‌ها بر صنایع "سخت" یا "نرم" است. می‌توان سامانه‌های محصول پیچیده را به دو دسته تقسیم کرد: ۱) سامانه‌های محصول پیچیده نرم که مشتمل بر نرم‌افزار است؛ ۲) سامانه‌های محصول پیچیده سخت که عمدتاً مبتنی بر سخت‌افزار است. مثال‌هایی از سامانه‌های محصول پیچیده نرم عبارتند از: سامانه دولت الکترونیک [۱۱]، شبیه‌ساز پرواز [۵] و نرم‌افزارهای پیچیده [۷]. مثال‌های سامانه‌های محصول پیچیده سخت نیز مشتمل بر تجهیزات مخابراتی [۱۰]، توربین‌های گازی [۱٤،۱۵] و موتور هواپیما [۸] می‌باشد.

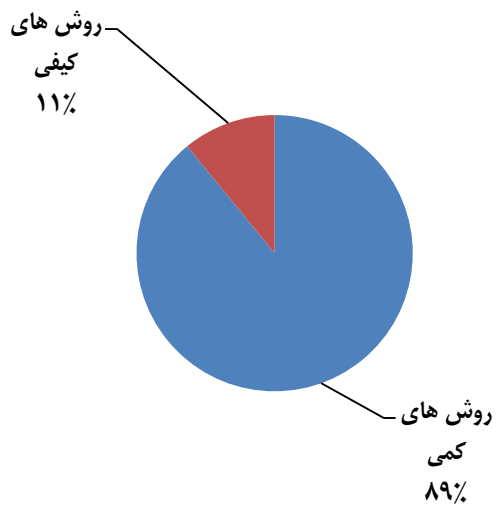


شکل ۱۱) سهم سامانه‌های محصول پیچیده سخت و نرم از مقالات این حوزه

بررسی مقالات این حوزه مشخص می‌سازد که چه در کشورهای توسعه‌یافته و چه درحال‌توسعه تمرکز بالایی بر سامانه‌های محصول پیچیده سخت صورت گرفته‌است، تا جایی که حدود ۹۰٪ مقالات به این دسته از سامانه‌های محصول پیچیده پرداخته‌اند و تنها ۱۰٪ مقالات سامانه‌های محصول پیچیده نرم را به عنوان مورد مطالعه برگزیده‌اند (شکل ۱۱). به‌علاوه، در میان مطالعات صورت‌گرفته نمی‌توان مقاله‌ای را یافت که به بررسی شباهت‌ها و تفاوت‌های این دوگونه از سامانه‌های محصول پیچیده پرداخته باشد. این واقعیت می‌تواند پژوهشگران این حوزه را دعوت نماید که به مطالعه و کنکاش در سامانه‌های محصول پیچیده نرم مانند سامانه دولت الکترونیک و نرم افزارهای بانکداری بپردازند.

٦-٤ غلبه راهبردهای پژوهش کیفی بر کمی

بررسی مقالات منتشرشده در زمینه سامانه‌های محصول پیچیده از منظر راهبردهای پژوهش به‌کار گرفته‌شده، نمایان ساخت که ۸۹٪ پژوهش‌های این حوزه از راهبردهای پژوهش کیفی بهره‌برداری کرده‌اند و تنها ۱۱٪ مقالات حاصل کاربست راهبردهای پژوهشی کمی است (شکل ۱۲). در اینجا قصد نداریم در زمینه ارجحیت راهبردهای پژوهش بر یکدیگر بحث نماییم، با این حال پیشینه پژوهشی سامانه‌های محصول پیچیده به شواهد کمی بیشتری در راستای ادعاهای خود نیاز دارد. عمده صاحبنظران این حوزه ادعا می‌کنند که سامانه‌های محصول پیچیده نقش پررنگی در افزایش ثروت ملی و توسعه اقتصادی جوامع بازی می‌کنند، در حالی که تاکنون فقط یک مقاله با مطالعه داده‌های مربوط به کشور انگلستان در جهت واکاوی این ادعا برآمده است [۱۷].



شکل ۱۲) سهم روش‌های کمی و کیفی در میان مقالات این حوزه

در حال حاضر این یک سوال اساسی و راهبردی است که سامانه‌های محصول پیچیده تا چه حد به توسعه اقتصادی جوامع به‌ویژه اقتصادهای نوظهور و دیرآمده کمک کرده‌اند؟ انتظار می‌رود که این موضوع مطابق با سطح توسعه اقتصادی جوامع و ساختار اقتصادی آن‌ها (صادرات‌محور یا واردات‌محور بودن، غلبه بنگاه‌های بزرگ بر کسب‌وکارهای کوچک و متوسط یا بلعکس و بازار داخلی بزرگ یا کوچک) متفاوت باشد. به طور کلی، این پژوهش نشان می‌دهد که عمده مقالات منتشرشده در زمینه سامانه‌های محصول پیچیده حاصل به‌کارگیری راهبرد پژوهش موردکاوی[1] است که عمدتاً به نظریه‌سازی پرداخته‌اند.

٦-٥ تنوع و پویایی سیاست‌ها و نقش‌های دولت

دولت یک بازیگر بی‌بدیل در فرآیند طراحی، توسعه و تولید سامانه‌های محصول پیچیده است که پذیرای نقش‌های متنوعی نظیر قانونگذار، تنظیم‌کننده مقررات و استانداردها، تامین کننده مالی پروژه‌های کلان، مشتری و خریدار اصلی و بهره‌بردار از محصولات و سامانه‌ها می‌باشد. با این حال، تاکنون سیاست‌های کمی به طور خاص برای تحریک نوآوری و توسعه فناوری در صنایع با سامانه‌های محصول پیچیده طراحی شده است [۱۹]. در همین راستا، پژوهش‌های آتی می‌توانند به ارزیابی ارزش سیاست‌های جدید برای ارتقای نوآوری در سامانه‌های محصول پیچیده بپردازند [۲٦]. به‌علاوه، از طریق بررسی مطالعات انجام‌شده در زمینه فرارسی کشورهای دیرآمده، مشخص شد که نقش دولت در کشورهای دیرآمده حتی پررنگ‌تر از کشورهای توسعه‌یافته و پیشتاز است، به‌خصوص که دولت‌های کشورهای دیرآمده تمایل دارند که در انتقال دانش از کشورهای پیشرو در مراحل اولیه شکل‌گیری قابلیت‌های فناورانه حمایت کنند [۲].

مجیدپور نشان داد که دولت‌ها در زمینه سامانه‌های محصول پیچیده از یک کشور به کشور دیگر نقش‌های کاملاً متفاوتی را اتخاذ می نمایند [۱٤]. صفدری رنجبر و همکاران [۱۵] نیز از طریق مطالعه تجربه فرارسی یک شرکت سازنده توربین‌های گازی در ایران، نشان دادند که نه تنها دولت سیاست‌های متنوعی را در قبال سامانه‌های محصول پیچیده اتخاذ می‌کند، بلکه سیاست‌های دولت در طول زمان تغییر می‌کنند و نوعی پویایی در سیاست‌های مشهود است. علی‌رغم تلاش‌های صورت‌گرفته در این خصوص، هنوز فرصت‌های زیادی برای مطالعه در زمینه نقش دولت وجود دارد. برای مثال، یک سوال مهم آن است که نقش‌های دولت چگونه در طول مراحل فرارسی کشورهای دیرآمده در سامانه‌های محصول پیچیده تغییر می‌کند؟ همچنین، پژوهش‌های آتی می‌توانند به میزان همگرایی یا واگرایی سیاست‌های اتخاذشده توسط کشورهای دیرآمده در صنایع سامانه‌های محصول پیچیده بپردازند [۱۰].

[1] Case Study

٦-٦ چارچوب‌های نظری مغفول

این مطالعه مروری نشان داد که بیشتر مقالات این حوزه از دیدگاه‌های نظری نظیر "یادگیری فناوری" یا "ساخت قابلیت" برای واکاوی تجارب کشورها و بنگاه‌های دیرآمده استفاده کرده‌اند [۱۰،۱۲،۱٦]. با این حال، مطالعات معدودی مانند کیامهر و همکاران [۲] که از دیدگاه راهبرد بنگاه‌های دیرآمده به این موضوع پرتو افکنده‌اند، توانسته‌اند بینش‌های جدیدی در زمینه نقش مدیران این بنگاه‌ها در زمینه اتخاذ راهبردهای خلاقانه برای شروع فرآیند کسب قابلیت‌های فناورانه به دست آورند. همچنین، اخیراً پژوهشگران به مطالعه تولیدکنندگان سامانه‌های محصول پیچیده در کشورهای دیرآمده از منظر "زنجیره های ارزش جهانی" پرداخته‌اند [۱٦]. به نظر می‌رسد که ادغام دیدگاه زنجیره‌های ارزش جهانی و راهبرد بنگاه می‌تواند ایده‌های ارزشمندی خلق نماید که چگونه بنگاه‌های دیرآمده می‌توانند قابلیت‌های فناورانه خود را ارتقا دهند و با چالش های پیش رو مواجه شوند.

همچنین، مجیدپور به مطالعه فرارسی فناورانه در سامانه‌های محصول پیچیده پرداخته است و معتقد است که به دلیل رژیم‌های فناورانه و بازار خاص این محصولات و سامانه‌ها، مدل غالب برای فرارسی فناورانه عبارت است از "دنباله‌روی مسیر". به همین دلیل، مطالعه در زمینه مدل‌های فرارسی فناورانه در سامانه‌های محصول پیچیده نیاز به توجه بیشتری دارد [۱٤]. در همین راستا، پارک و جی [۲۱] طی یک مطالعه مروری نظام‌مند به فرارسی فناورانه در سامانه‌های محصول پیچیده پرداخته و به این نتیجه دست یافتند که مدل فرارسی در سامانه‌های محصول پیچیده تفاوتی با کالاهای مصرفی ندارند. به‌علاوه، تعدادی از مطالعات [۵۱-۵۲] به طور صریح یا تلویحی از دیدگاه نظری "نظام‌های نوآوری بخشی" برای مطالعه سامانه‌های محصول پیچیده بهره برده‌اند.

برخی مطالعات نیز به بهره‌برداری از مفهوم پنجره‌های فرصت برای واکاوی فرارسی فناورانه در کشورها و بنگاه‌های دیرآمده پرداخته‌اند [۵۳]. برای مثال، ورتسای [٥٤] از این دیدگاه نظری پنجره‌های فرصت برای مطالعه فرارسی فناورانه در صنعت هواپیماهای جت منطقه‌ای در کانادا و بزریل پرداخته است. اما در این مطالعه اشاره‌ای به سامانه‌های محصول پیچیده و ویژگی‌های خاص آنها نشده‌است، هر چند موردکاوی این مطالعه بیانگر یک صنعت سامانه‌های محصول پیچیده است که با سایر بخش‌های تولیدکننده کالاهای مصرفی مانند گوشی‌های تلفن همراه یا دوربین‌های عکاسی متمایز است. کواک و یون [٤٥] نیز با بهره‌گیری از مفاهیم مشروعیت‌بخشی و درونی‌سازی پنجره‌های فرصت از طریق کارکردهای نظام‌های نوآوری فناورانه به مطالعه فرارسی فناورانه کره جنوبی در صنعت نیروگاه‌های هسته‌ای پرداخته‌اند. سرانجام، اگرچه پویایی‌های سطح بنگاه برای فرارسی فناورانه اهمیت زیادی دارد، ولی نقش هم‌تکاملی ترتیبات نهادی با قابلیت‌های فناورانه در سامانه‌های محصول پیچیده قابل چشم‌پوشی نیست [۵۵].

۷- نتیجه‌گیری

این مقاله، مروری به ارائه یک تصویر کلان از فرآیند توسعه پیشینه پژوهشی سامانه‌های محصول پیچیده و ارائه بینش‌های حاصل از آن پرداخته است. در بخش تحلیل آماری توصیفی، پاسخ به سوالاتی پیرامون "تعداد مقالات منتشرشده در طول زمان" و "کشورهای مورد مطالعه" منجر به این نتیجه گردید که مقالات منتشرشده در این حوزه دو صعود (قله) را تاکنون تجربه کرده است. اولین قله نمایانگر تلاش‌های مطالعاتی در کشورهای صنعتی و توسعه‌یافته است، در حالی که با فاصله تقریباً ده ساله دومین قله گویای رشد مقالاتی است که به تجربه کشورهای درحال‌توسعه و دیرآمده پرداخته‌اند. بررسی مقالات این حوزه به طور کلی بیانگر یک خیزش از سوی کشورهای درحال‌توسعه و دیرآمده در زمینه ساخت و بعضاً نوآوری در سامانه‌های محصول پیچیده است. واکاوی حول سوال "صنایع مورد مطالعه" به شناسایی شکافی جدی در زمینه مطالعه سامانه‌های محصول پیچیده نرم در مقایسه با سخت، منجر شد. به‌علاوه، نگاه به مقالات مورد مطالعه از منظر "راهبردهای پژوهش" نشان داد که عدم توازن جدی در میان راهبردهای تحقیق وجود دارد که به سمت راهبردهای تحقیق کیفی به‌ویژه "مطالعه موردی" سنگینی می‌کند.

با درنظرگرفتن همه یافته‌های این پژوهش، برخی دلالت‌های مدیریتی و سیاستی پیرامون طراحی، توسعه و ساخت سامانه‌های محصول پیچیده ارائه می‌شود. از دیدگاه دلالت‌های مدیریتی مشخص شد که فرآیند طراحی و توسعه

سامانه‌های محصول پیچیده نیازمند قابلیت‌های کلیدی نظیر یکپارچه‌سازی سامانه، مدیریت پروژه‌های کلان، مدیریت دانش درون و برون سازمانی، مدیریت شبکه‌ای ارگانیک و پویا از بازیگران و ذی‌نفعان متعدد و متنوع، توسعه و بهره‌برداری از طیف وسیعی از دانش‌ها و قابلیت‌های فناورانه، طراحی و توسعه نرم‌افزارهای پیچیده و کلان مقیاس، مهارت‌های ارتباطی و هماهنگی سطح بالا و اهرم‌سازی حمایت‌های دولتی می‌باشد. اگرچه این قابلیت‌ها ممکن است برای صنایع دیگر نیز اهمیت داشته باشند، ولی نقش آن‌ها در پیشبرد فرآیند توسعه سامانه‌های محصول پیچیده حیاتی و اجتناب ناپذیر است.

از منظر دلالت‌های سیاستی، تحلیل‌های صورت‌گرفته نشان می‌دهد که دولت‌ها نقش مهم و بی‌بدیلی به‌ویژه در مراحل اولیه توسعه قابلیت‌های فناورانه در این صنایع بازی می‌کنند. دولت‌ها می‌توانند از طریق خریدهای دولتی و ایجاد بازار داخلی برای این محصولات، علاوه بر تشویق بنگاه‌های داخلی به توسعه قابلیت‌های فناورانه، منجر به ترغیب بنگاه‌های خارجی به انتقال فناوری به این کشورها شوند. زمانی که بنگاه‌های داخلی رشد کردند، باید بیشتر و بیشتر در زمینه فعالیت‌های تحقیق‌وتوسعه سرمایه‌گذاری نمایند و در این مراحل یارانه‌های تحقیق‌وتوسعه و تخفیف‌های مالیاتی اهمیت بالایی پیدا می‌کنند. علاوه بر این، در مراحل پایانی توسعه، دولت باید شرایط مناسبی برای بنگاه‌های داخلی فراهم آورد تا وارد بازارهای خارجی شوند و از این طریق هم بازارهای صادراتی خود را توسعه دهند و هم وارد شبکه‌های بین‌المللی تحقیق‌وتوسعه شوند. همچنین، دولت‌ها می‌توانند از طریق تنظیم مقررات و استانداردها، سرمایه‌گذاری در آموزش و پژوهش تخصصی و سرمایه‌گذاری در زیرساخت‌های صنعتی کشور، به تسهیل و شتابدهی به فرآیند ساخت و اکتساب قابلیت‌های فناورانه و نوآورانه در این صنایع اقدام نمایند.

انتظار می‌رود که این مقاله مروری بتواند شناخت و بینش مناسبی نسبت به بدنه دانشی و پیشینه پژوهشی شکل‌گرفته حول سامانه‌های محصول پیچیده طی ربع قرن اخیر به پژوهشگران این حوزه ارائه نماید. با این حال، این پژوهش دارای محدودیت‌هایی است. اول این که نمونه مورد مطالعه این مقاله مروری، مشتمل بر تعداد کمی مقاله (۵۵ مقاله) است و به همین دلیل امکان انجام تحلیل‌های کمی رایج در سایر مطالعات مروری در آن وجود ندارد. دوم این که مطالعه در زمینه سامانه‌های محصول پیچیده به حوزه سیاستگذاری و مدیریت فناوری و نوآوری محدود نمی‌شود و در حوزه‌های دیگر نظیر مهندسی سامانه نیز به این دسته از محصولات و سامانه‌ها پرداخته شده است که البته از محدوده مطالعاتی این پژوهش خارج است و به عنوان موضوعی برای پژوهش‌های مروری آتی در این زمینه پیشنهاد می‌شود.

منابع References

[1] Woodward, J. (1958). **Management and Technology**. London: ~~H~~ Majesty's Stationary Office.

[2] Kiamehr, M., M. Hobday, and M. Hamedi. (2015). **Latecomer Firm Strategies in Complex Product Systems (CoPS): The Case of Iran's Thermal Electricity Generation Systems**. Research Policy. 44 (6): 1240–1251.

[3] Hobday, M. (1998). **Product Complexity, Innovation and Industrial Organisation**. Research Policy. 26 (6): 689–710.

[4] Davies, A., and M. Hobday. (2005). **The Business of Projects (Managing Innovation in Complex Product Systems)**. New York: Cambridge University Press.

[5] Miller, R., M. Hobday, Th Lerouxdemers, and X. Olleros. (1995). **Innovation in Complex Systems Industries: The Case of Flight Simulation**. Industrial and Corporate Change. 4 (2): 363–400.

[6] Davies, A. (1997). **The Life Cycle of a Complex Product System**. International Journal of Innovation Management. 1 (3): 229– 256.

[7] Hobday, M., and T. Brady. (2000). **A Fast Method for Analysing and Improving Complex Software Processes.** R&D Management. 30 (1): 1–22.

[8] Prencipe, A. (2000). **Breadth and Depth of Technological Capabilities in CoPS: The Case of the Aircraft Engine Control System**. Research Policy. 29 (7–8): 895–911.

[9] Choung, J. Y., and H. R. Hwang. (2007). **Developing the Complex System in Korea: The Case Study of TDX and CDMA Telecom System**. International Journal of Technological Learning, Innovation and Development. 1 (2): 204–225.

[10] Park, T. Y. (2013). **How a Latecomer Succeeded in a Complex Product System Industry: Three Case Studies in the Korean Telecommunication Systems**. Industrial and Corporate Change. 22 (2): 363–396

[11] Park, T. Y., and J. Y. Kim. (2014). **The Capabilities Required for Being Successful in Complex Product Systems: Case Study of Korean e-Government**. Asian Journal of Technology Innovation. 22 (2): 268–285.

[12] Lee, J. J., and H. Yoon. (2015). **A Comparative Study of Technological Learning and Organizational Capability Development in Complex Products Systems: Distinctive Paths of Three Latecomers in Military Aircraft Industry**. Research Policy. 44 (7): 1296–1313.

[13] Naghizadeh, M., M. Manteghi, M. Ranga, and R. Naghizadeh. (2017). **Managing Integration in Complex Product Systems: The Experience of the IR-150 Aircraft Design Program**. Technological Forecasting and Social Change. 122: 253–261.

[14] Majidpour, M. (2016). **Technological Catch-up in Complex Product Systems**. Journal of Engineering and Technology Management. 41: 92–105.

[15] Safdari Ranjbar, M., Park, T. Y., Ghazinoori, S., Manteghi, M. (2019). **Multi-level drivers of catching up in complex product systems: an Iranian gas turbine producer**. Journal of Science and Technology Policy Management. 11 (1): 85-106.

[16] Kiamehr, M. (2017**). Paths of Technological Capability Building in Complex Capital Goods: The Case of Hydro Electricity Generation Systems in Iran**. Technological Forecasting and Social Change. 122: 215–230.

[17] Acha, V., A. Davies, M. Hobday, and A. Salter. (2004). **Exploring the Capital Goods Economy: Complex Product Systems in the UK**. Industrial and Corporate Change. 13 (3): 505–529.

[18] Hobday, M., H. Rush, and J. Tidd. (2000). **Innovation in Complex Products and System**. Research Policy. 29 (7–8): 793–804.

[19] Safdari Ranjbar, M., Park, T. Y., Kiamehr, M. (2018). **What happened to complex product systems literature over the last two decades: progresses so far and path ahead**. Technology Analysis & Strategic Management. 30 (8), 948–966.

[20] Ren, Y. T., and K. T. Yeo. (2006). **Research Challenges on Complex Product Systems (CoPS) Innovation**. Journal of the Chinese Institute of Industrial Engineers. 23 (6): 519–529.

[21] Park, T. Y., Ji, I. (2020). **Evidence of latecomers' catch-up in CoPS industries: a systematic review**. Technology Analysis & Strategic Management. 32 (8)

[22] Rosenberg, N. (1982). **Inside the Black Box: Technology and Economics**. Cambridge: Cambridge University Press.

[23] Chudnovsky, D., M. Nagao, S. Jacobsson, and F. Pinter. (1983). **Capital Goods Production in the Third World**. London: Palgrave Macmillan.

[24] Randhawa, K., R. Wilden, and J. Hohberger. (2016). **A Bibliometric Review of Open Innovation: Setting a Research Agenda.** Journal of Product Innovation Management. 33 (6): 750–772.

[25] Hansen, K. L., and H. Rush. (1998). **Hotspots in Complex Product Systems: Emerging Issues in Innovation Management**. Technovation. 18 (8/9): 555–590.

[26] Hobday, M., and H. Rush. (1999**). Technology Management in Complex Product Systems (CoPS) – Ten Questions Answered**. International Journal of Technology Management. 17 (6): 618–638

[27] Baraldi, E. (2009). **User-related Complexity Dimensions of Complex Products and Systems (CoPS): A Case of Implementing an ERP System**. International Journal of Innovation Management. 13 (1): 19–45.

[28] Liu, J., and J. Su. (2014). **Market Orientation, Technology Orientation and Product Innovation Success: Insights from CoPS**. International Journal of Innovation Management. 18 (4): 1–25.

[29] Dedehayir, O., T. Nokelainen, and S. J. Makinen. (2014). **Disruptive Innovations in Complex Product Systems Industries: A Case Study.** Journal of Engineering and Technology Management. 33: 174–192.

[30] Gil, N. (2007). **On the Value of Project Safeguards: Embedding Real Options in Complex Products and Systems**. Research Policy. 36 (7): 980–999.

[31] Yeo, K. T., and Y. T. Ren. (2009). **Risk Management Capability Maturity Model for Complex Product Systems (CoPS) Projects**. Systems Engineering. 12 (4): 275–294.

[32] Magnaye, R., B. Sauser, P. Patanakul, C. Nowicki, and W. Randall. (2014). **Earned Readiness Management for Scheduling, Monitoring and Evaluating the Development of Complex Product Systems**. International Journal of Project Management. 32 (7): 1246–1259.

[33] Du, B., Sh Guo, X. Huang, Y. Li, and J. Guo. (2015). **A Pareto Supplier Selection Algorithm for Minimum the Life Cycle Cost of Complex Product System**. Expert Systems with Applications. 42 (9): 4253–4264.

[34] Hardstone, G. A. P. (2004). **Capabilities, Structures and Strategies Re-Examined: Incumbent Firms and the Emergence of Complex Product Systems (CoPS) in Mature Industries**. Technology Analysis & Strategic Management. 16 (2): 173–196.

[35] Su, J., and J. Liu. (2012). **Effective Dynamic Capabilities in Complex Product Systems: Experiences of Local Chinese Firm**. Journal of Knowledge-Based Innovation in China. 4 (3): 174–188.

systems (CoPS). Industrial Marketing Management. 79: 53-57.

[47] Lehtinen, J., Aaltonen, K., Rajala, R. (2018**). Stakeholder management in complex product systems: Practices and rationales for engagement and disengagement**. Industrial Marketing Management. 79: 58-70.

[48] Crespin-Mazet, F., Romestant, F., Salle, R. (2018). **The co-development of innovative projects in CoPS activities.** Industrial Marketing Management. 79: 71-83.

[49] Roehrich, J. K., Davis, A., Frederiksen, L., Sergeeeva, N. (2018). **Management innovation in complex products and systems: The case of integrated project teams**. Industrial Marketing Management. 79: 84-93.

[50] Galati, F., Bigliardi, B., Galati, R., Petroni, G. (2019). **Managing structural inter organizational tensions in complex product systems projects: Lessons from the Metis case.** Journal of Business Research. https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2019.10.044

[51] Kim, Y. Z., and K. Lee. (2008). **Sectoral Innovation System and a Technological Catch-up: The Case of the Capital Goods Industry in Korea**. Global Economic Review. 37 (2): 135–155.

[52] Zhang, L., W. Lam, and H. Hu. (2013). **Complex Product and System, Catch-up, and Sectoral System of Innovation: A Case Study of Leading Medical Device Companies in China**. International Journal of Technological Learning, Innovation and Development. 6 (3): 283.

[53] Lee, K., and F. Malerba. (2017). **Catch-up Cycles and Changes in Industrial Leadership: Windows of Opportunity and Responses of Firms and Countries in the Evolution of Sectoral Systems**. Research Policy. 46 (2): 338–351.

[54] Vertesy, D. (2017). **Preconditions, Windows of Opportunity and Innovation Strategies: Successive Leadership Changes in the Regional jet Industry**. Research Policy. 46 (2): 388–403.

[55] Choung, J. Y., H. R. Hwang, and H. Yang. (2006). **The Co-Evolution of Technology and Institution in the Korean Information and Communications Industry**. International Journal of Technology Management. 36 (1/2/3): 249–266.

[36] Park, T. P., and I. Ji. (2015). **From Mass Production to Complex Production: Case of the Korean Telecom Equipment Sector**. Asia-Pacific Journal of Accounting & Economic. 22 (1): 78–102.

[37] Davies, A., and T. Brady. (1998). **Policies for a Complex Product System**. Futures. 30 (4): 293 304.

[38] Kiamehr, M., M. Hobday, and A. Kermanshah. (2014). **Latecomer Systems Integration Capability in Complex Capital Goods: The Case of Iran's Electricity Generation Systems**. Industrial and Corporate Change. 23 (3): 689–716.

[39] Chen, J., L. Tong, and E. W. T. Ngai. (2007). **Inter-Organizational Knowledge Management in Complex Products and Systems (Challenges and an Exploratory Framework)**. Journal of Technology Management in China. 2 (2): 134–144.

[40] Ngai, E. W. T., Ch Jin, and T. Liang. (2008). **A Qualitative Study of Inter-Organizational Knowledge Management in Complex Products and Systems Development**. R&D Management. 38 (4): 421–440.

[41] Gann, D. M., and A. Salter. (1998). **Learning and Innovation Management in Project-Based, Service-Enhanced Firms.** International Journal of Innovation Management. 2 (4): 431–454.

[42] Gann, D. M., and A. J. Salter. (2000). **Innovation in Project-Based, Service-Enhanced Firms: The Construction of Complex Products and Systems**. Research Policy. 29 (7–8): 955–972.

[43] Davies, A., T. Brady, A. Prencipe, and M. Hobday. (2011). **Innovation in Complex Products and Systems: Implications for Project Based Organizing.** Project-Based Organizing and Strategic Management. Advances in Strategic Management 28: 3–26.

[44] Hobday, M. (2000). **The Project-based Organization: An Ideal form for Managing Complex Products and Systems?** Research Policy. 29 (7–8): 871–893.

[45] Kwak, K., Yoon, H. (2020). **Unpacking transnational industry legitimacy dynamics, windows of opportunity, and latecomers' catch-up in complex product systems**. Research Policy. 49 (4).

[46] Appio, F. P., Lacoste, S. (2018). **B2B relationship management in complex product**