

Architecture of collaborative ecosystems in the transfer of complex technologies (CoPS): A meta-synthesis approach

Hamed Ahmadi¹, Amir Zakery^{*2}, Javad Mashayekh³

Received: 08/09/2025

PP: 179-220

Accepted: 02/12/2025

Abstract

Technology transfer (TT) in Complex Product and Systems (CoPS) presents significant challenges, often exceeding the capabilities of individual firms and necessitating intricate collaborative ecosystems. This research aims to identify and analyze the key components and mechanisms constituting the "Collaborative Ecosystem Architecture," a critical dimension for success in this process. Employing a qualitative meta-synthesis methodology, this paper deeply analyzes 30 high-quality empirical studies published between 2005 and 2025, focusing on success factors in CoPS TT across various industries such as aerospace, energy, and rail transportation. Findings reveal that the collaborative ecosystem architecture is underpinned by six fundamental pillars: (1) Multi-stakeholder network formation, (2) Strategic technology partnerships, (3) University-industry collaboration, (4) Supplier development and integration, (5) Trust-based relationships (as the soft infrastructure), and (6) Local stakeholder engagement strategies. By providing an integrated framework for understanding these collaboration mechanisms, this study moves beyond firm-centric or state-centric analyses, emphasizing that sustainable success in CoPS's technology transfer is fundamentally an ecosystem achievement and highlights the need for specific capabilities such as "Ecosystem Orchestration".

Keywords: Complex Product and Systems, CoPS, Technology Transfer, Innovation Ecosystem, Collaborative Architecture, Qualitative Meta-synthesis.

Reference: Ahmadi, H., Zakery, A., & Mashayekh, J. (2026). Architecture of collaborative ecosystems in the transfer of complex technologies (CoPS): A meta-synthesis approach. *Innovation Management Journal*, 14(4), 179-220.

Doi: <https://doi.org/10.22034/imj.2026.558313.2948>

1- Faculty of Management, Economics and Advanced Engineering, Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran.

2- Assistant Professor, Faculty of Management, Economics and Advanced Engineering/Iran University of Science and Technology(Corresponding Author).

3- Assistant Professor, Faculty of Management, Economics and Advanced Engineering/Iran University of Science and Technology.

معماری بوم‌سازگان همکاری در انتقال فناوری‌های پیچیده: رویکرد فراترکیب

حامد احمدی^۱، امیر ذاکری^{۲*}، جواد مشایخ^۳

پذیرش: ۱۴۰۴/۰۹/۱۱

صص: ۲۲۰-۱۷۹

دریافت: ۱۴۰۴/۰۶/۱۷

چکیده

انتقال فناوری سامانه‌های محصولات پیچیده به دلیل فراتر بودن از توانمندی‌های یک شرکت واحد، نیازمند بوم‌سازگان همکاری پیچیده است. هدف این پژوهش، شناسایی و تحلیل اجزا و مکانیسم‌های کلیدی «معماری بوم‌سازگان همکاری» به عنوان یکی از ابعاد حیاتی موفقیت در این فرآیند است. این مقاله با بهره‌گیری از روش فراترکیب (متا-سنتز کیفی)، به تحلیل عمیق ۳۰ مقاله تجربی معتبر (منتشر شده بین ۲۰۰۵ تا ۲۰۲۵) می‌پردازد که به مطالعه عوامل موفقیت در انتقال فناوری سامانه محصولات پیچیده در صنایع مختلفی چون هوافضا، انرژی و حمل‌ونقل ریلی پرداخته‌اند. یافته‌ها نشان می‌دهد که معماری بوم‌سازگان همکاری بر شش ستون اصلی استوار است: (۱) شکل‌دهی شبکه‌های چندذینفعی، (۲) مشارکت‌های استراتژیک فناورانه، (۳) همکاری دانشگاه و صنعت، (۴) توسعه و یکپارچه‌سازی تأمین‌کنندگان، (۵) روابط مبتنی بر اعتماد به عنوان زیرساخت نرم، و (۶) استراتژی‌های تعامل با ذینفعان محلی. این پژوهش با ارائه یک چارچوب یکپارچه برای درک مکانیسم‌های همکاری، فراتر از تحلیل‌های متمرکز بر شرکت یا دولت، تأکید می‌کند که موفقیت پایدار در انتقال فناوری سامانه محصولات پیچیده یک دستاورد بوم‌سازگانی است و نیازمند قابلیت‌های ویژه‌ای چون هم‌سازی یا میانداری بوم‌سازگان است.

کلیدواژه‌ها: سیستم‌ها و محصولات پیچیده، CoPS، انتقال فناوری، بوم‌سازگان نوآوری، معماری همکاری، فراترکیب.

استناددهی (APA): احمدی، حامد، ذاکری، امیر، و مشایخ، جواد (۱۴۰۴). معماری بوم‌سازگان همکاری

در انتقال فناوری‌های پیچیده: رویکرد فراترکیب، *نشریه علمی مدیریت نوآوری*، ۱۴ (۴)، ۲۲۰-۱۷۹.

Doi: <https://doi.org/10.22034/imj.2026.558313.2948>

۱- دانشکده مدیریت، اقتصاد و مهندسی پیشرفت، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران .

۲- استادیار دانشکده مدیریت اقتصاد و مهندسی پیشرفت / دانشگاه علم و صنعت ایران (نویسنده مسئول).

۳- استادیار دانشکده مدیریت اقتصاد و مهندسی پیشرفت / دانشگاه علم و صنعت ایران.



مقدمه

در چشم‌انداز اقتصاد جهانی معاصر، توانمندی در توسعه، جذب و به‌کارگیری فناوری‌های پیشرفته، به ویژه سیستم‌ها و محصولات پیچیده (سامانه محصولات پیچیده)^۱، به یکی از محورهای اصلی رقابت‌پذیری ملی و توسعه پایدار بدل شده است (دیویس و هوبدی^۲، ۲۰۰۵؛ رن و یو^۳، ۲۰۰۶). سامانه محصولات پیچیده که شامل محصولات، سیستم‌ها و زیرساخت‌های مهندسی‌محور، سرمایه‌بر و با یکپارچگی سیستمی بالا در صنایعی چون هوافضا، انرژی، حمل‌ونقل ریلی و ارتباطات می‌شود، نقشی حیاتی در زیربنای فناورانه جوامع مدرن ایفا می‌کند. تسلط بر این حوزه، دیگر نه یک مزیت رقابتی صرف، بلکه یک ضرورت استراتژیک برای کشورها، به خصوص اقتصادهای نوظهور، در مسیر دستیابی به استقلال فناورانه و رشد اقتصادی محسوب می‌شود.

با این حال، فرآیند انتقال و درونی‌سازی این فناوری‌های پیچیده، مسیری پرفراز و نشیب و مملو از چالش‌های فنی، سازمانی و دانشی است. انتقال فناوری در سامانه محصولات پیچیده فراتر از خرید تجهیزات یا دانش فنی مدون^۴ است و مستلزم جذب عمیق دانش ضمنی^۵ (نانوکا و تاکئوچی^۶، ۱۹۹۵)، قابلیت‌های یکپارچه‌سازی سیستم‌ها (هوبدی، دیویس و پرنسپ^۷، ۲۰۰۵) و ایجاد یا بازآرایی روتین‌های سازمانی است. موفقیت در این مسیر می‌تواند به جهش فناورانه^۸ و ارتقای کل پایگاه صنعتی یک ملت منجر شود، همان‌گونه که تجارب برخی کشورهای شرق آسیا گواه آن است (کونابل^۹، ۲۰۲۴). در مقابل، شکست در این فرآیند، سرمایه‌گذاری‌های هنگفت را به هدر داده و می‌تواند مانعی جدی برای توسعه پایدار فناورانه محسوب شود.

1- CoPS: Complex Products and Systems

2- Davies & Hobday

3- Ren & Yeo

4- Codified Knowledge

5- Tacit Knowledge

6- Nonaka & Takeuchi

7- Hobday, Davies & Prencipe

8- Catch-up

9- Conable



ادبیات پژوهشی موجود، عوامل مؤثر بر موفقیت در این حوزه را از منظرهای مختلفی بررسی کرده است. دسته‌ای از مطالعات بر مبانی نظری پایه و قابلیت‌های درونی سازمان گیرنده تمرکز کرده‌اند؛ مفاهیمی بنیادین همچون ظرفیت جذب^۱ (کوهن و لوینتال^۲، ۱۹۹۰) به عنوان پیش‌نیاز یادگیری، و قابلیت‌های پویا^۳ (تیس^۴، ۲۰۰۷) به عنوان توانایی سازمان برای انطباق و پیکربندی مجدد منابع در مواجهه با تغییرات فناورانه. در کنار این مبانی، ادبیات تخصصی در حوزه سامانه محصولات پیچیده، به‌ویژه در بستر ایران، به شکل قابل توجهی رشد کرده و بر ابعاد دیگری تأکید ورزیده است. پژوهشگران داخلی تلاش‌های ارزشمندی برای تحلیل الگوهای جهش فناورانه و یادگیری در این صنایع انجام داده‌اند. برای مثال، مطالعات متعددی بر نقش حیاتی دولت و نهادها در راهبری استراتژیک، تأمین مالی، و تجمیع تقاضا^۵ به عنوان یکی از سیاست‌های کلیدی در صنایع سامانه محصولات پیچیده ایران مانند توربین‌های گازی (صفدری رنجبر، قاضی‌نوری و منطقی، ۲۰۲۲) و فولاد (سلطانی‌زاده، رحمانی و مجیدپور، ۲۰۲۴) تأکید کرده‌اند. همزمان، دسته‌ای دیگر از پژوهش‌ها به تحلیل سطح بنگاه و بررسی الگوهای جهش فناورانه پرداخته‌اند؛ این مطالعات نشان می‌دهند که در صنایع سامانه محصولات پیچیده، برخلاف تولید انبوه، الگوی غالب مبتنی بر پیرو مسیر^۶ است (مجیدپور، ۲۰۱۶) و عواملی چون محرک‌های چندسطحی (بنگاه، صنعت و ملی) بر این فرآیند مؤثرند (صفدری رنجبر و همکاران، ۲۰۱۹).

با وجود غنای این مطالعات (که بر ابعاد «درون بنگاهی» و «دولت‌محور» تمرکز داشته‌اند)، یک شکاف تحلیلی مهم همچنان باقی است. تمرکز غالب بر قابلیت‌های سطح شرکت (مانند مجیدپور، ۲۰۱۶) یا مداخلات سطح کلان دولتی (مانند صفدری رنجبر و همکاران، ۲۰۲۲)، باعث شده است که بُعد

1- Absorptive Capacity
2- Cohen & Levinthal
3- Dynamic Capabilities
4- Teece
5- Smart Procurement
6- Path-following

حیاتی تعاملات بین‌سازمانی و معماری بوم‌سازگان همکاری^۱ که این دو سطح را به یکدیگر پیوند می‌دهد، کمتر به صورت یکپارچه و نظام‌مند مورد مذاقه قرار گیرد. موفقیت در انتقال فناوری سامانه محصولات پیچیده، به ندرت حاصل تلاش انفرادی یک شرکت یا صرفاً نتیجه سیاست‌گذاری دولتی است؛ بلکه برآیند تعاملات پیچیده و هم‌افزای مجموعه‌ای از بازیگران در یک بوم‌سازگان نوآوری است (مور^۲، ۱۹۹۳). درک چگونگی شکل‌گیری، ساختار و کارکرد این بوم‌سازگان همکاری، برای طراحی مداخلات مؤثر و افزایش احتمال موفقیت در پروژه‌های انتقال فناوری سامانه محصولات پیچیده، اهمیتی حیاتی دارد.

از این رو، مقاله حاضر با هدف پر کردن این شکاف، بر تحلیل عمیق یکی از ابعاد کلیدی شناسایی‌شده در یک تحلیل جامع اولیه، یعنی معماری بوم‌سازگان همکاری، متمرکز می‌شود. این پژوهش به دنبال پاسخ به این سوال محوری است:

معماری یک بوم‌سازگان همکاری موفق برای انتقال فناوری سیستم‌ها و محصولات پیچیده (سامانه محصولات پیچیده) از چه اجزاء، مکانیسم‌ها و روابطی تشکیل شده است؟

برای پاسخ به این پرسش، با بهره‌گیری از یافته‌های حاصل از تحلیل نظام‌مند ۳۰ مطالعه تجربی کیفی در حوزه انتقال فناوری سامانه محصولات پیچیده، به ترسیم و تحلیل چارچوب مفهومی این معماری، شناسایی اجزای سازنده آن و بررسی تنش‌های درونی حاکم بر آن خواهیم پرداخت. در ادامه، ابتدا مبانی نظری مرتبط با بوم‌سازگان همکاری مرور شده، سپس روش‌شناسی پژوهش تشریح می‌گردد. پس از آن، یافته‌های تجربی ناظر بر شش مؤلفه اصلی معماری بوم‌سازگان ارائه و تحلیل شده و در نهایت، بحث و نتیجه‌گیری به همراه دلالت‌های نظری و عملی پژوهش ارائه خواهد شد.



پیشینه و مبانی نظری پژوهش

انتقال و جذب فناوری‌های پیچیده (سامانه محصولات پیچیده)، فرآیندی ذاتاً اجتماعی-فنی^۱ است که موفقیت آن صرفاً به قابلیت‌های فنی یا منابع مالی محدود نمی‌شود، بلکه عمیقاً در بستر تعاملات بین‌سازمانی و نهادی ریشه دارد. درک معماری و پویایی این تعاملات مستلزم بهره‌گیری از چارچوب‌های نظری است که فراتر از مرزهای سازمان واحد نگریسته و به تحلیل شبکه‌ها و بوم‌سازگان نوآوری می‌پردازند. این بخش، مبانی نظری کلیدی مرتبط با بوم‌سازگان همکاری در انتقال فناوری سامانه محصولات پیچیده را مرور و تحلیل می‌کند.

مفهوم‌سازی موفقیت در انتقال فناوری سامانه‌های پیچیده

در ادبیات موضوعی سیستم‌های محصولی پیچیده، مفهوم "موفقیت" در انتقال فناوری از تعاریف کلاسیک و خطی فاصله می‌گیرد. بر مبنای مطالعات بنیادین این حوزه (مانند هوبدی^۲، ۱۹۹۸ و لی و یون^۳، ۲۰۱۵)، صرفِ دستیابی به ظرفیت تولیدی مانند نصب تجهیزات، مونتاژ و بهره‌برداری طبق دستورالعمل به منزله موفقیت در انتقال فناوری نیست؛ چرا که این سطح از قابلیت، متضمن پایداری و رقابت‌پذیری در بلندمدت نخواهد بود. در این پژوهش، موفقیت بر اساس مدل تعمیق فناورانه^۴ تعریف می‌شود. این مفهوم به فرآیندی اشاره دارد که طی آن، سازمان گیرنده فناوری از سطوح پایین نردبان قابلیت (یادگیری استفاده و نگهداری) عبور کرده و به سطوح عالی قابلیت (یادگیری تغییر، مهندسی معکوس و طراحی) دست می‌یابد. هوبدی (۱۹۹۸) این گذار را حرکت از قابلیت‌های تولیدی^۵ که ایستا هستند به قابلیت‌های نوآورانه^۶ که پویا و زاینده هستند، تبیین می‌کند. بنابراین، در چارچوب تحلیل این فراترکیب، پروژه‌هایی به عنوان نمونه‌های موفق شناسایی و تحلیل شده‌اند که انتقال

1- Socio-technical

2- Hobday

3- Lee & Yoon

4- Technological Deepening

5- Production Capabilities (Focuses on operation, maintenance, and static efficiency)

6- Innovation Capabilities (Focuses on design, R&D, and dynamic adaptation of the system).

فناوری در آن‌ها محدود به واردات سخت‌افزار نبوده، بلکه منجر به درونی‌سازی دانش چرایی^۱ در کنار دانش چیستی^۲ شده و شبکه بوم‌سازگان را قادر به بازآفرینی و ارتقای مستقل سیستم در پروژه‌های آتی نموده است.

اهمیت همکاری بین‌سازمانی در نوآوری های پیچیده

ادبیات نوآوری به طور فزاینده‌ای از مدل‌های خطی و درون‌زا فاصله گرفته و بر ماهیت شبکه‌ای و توزیع‌شده خلق و انتشار دانش تأکید می‌کند (چسبرو^۳، ۲۰۰۳). در زمینه فناوری‌های پیچیده مانند سامانه محصولات پیچیده، که مشخصه آن‌ها وابستگی متقابل اجزا، دانش چند رشته‌ای و سرمایه‌گذاری‌های هنگفت است، هیچ سازمان منفردی به ندرت تمامی دانش، منابع و قابلیت‌های لازم برای نوآوری یا جذب مؤثر فناوری را در اختیار دارد (هوبدی، ۱۹۹۸؛ بروسونی^۴، ۲۰۰۱). از این رو، همکاری بین‌سازمانی از یک انتخاب استراتژیک به یک ضرورت عملیاتی تبدیل می‌شود. سازمان‌ها از طریق مشارکت در شبکه‌ها و اتحادها می‌توانند به منابع مکمل دسترسی یابند، ریسک‌های فناورانه و مالی را به اشتراک بگذارند، فرآیندهای یادگیری را تسریع بخشند و به بازارهای جدید راه یابند (گولاتی^۵، ۱۹۹۸؛ هاگدورن^۶، ۲۰۰۲).

نظریه شبکه و جریان دانش در سامانه محصولات پیچیده

نظریه شبکه^۷، با تمرکز بر ساختار روابط بین بازیگران و تأثیر آن بر رفتار عملکرد آن‌ها، لنز تحلیلی قدرتمندی برای درک همکاری‌های فناورانه فراهم می‌کند (بورگاتی و فاستر^۸، ۲۰۰۳). از این منظر، موقعیت یک سازمان در شبکه - مرکزیت آن، دسترسی به حفره‌های ساختاری^۹، و قدرت پیوندهای آن (ضعیف یا قوی) - می‌تواند دسترسی آن به اطلاعات جدید، دانش ضمنی و

-
- 1- Know-why
 - 2- Know-how
 - 3- Chesbrough
 - 4- Brusoni
 - 5- Gulati
 - 6- Hagedoorn
 - 7- Network Theory
 - 8- Borgatti & Foster
 - 9- Structural Holes



فرصت‌های نوآورانه را به طور قابل توجهی تحت تأثیر قرار دهد (گرانووتر^۱، ۱۹۷۳؛ بورت^۲، ۲۰۰۴). در زمینه انتقال فناوری سامانه محصولات پیچیده، که بخش قابل توجهی از دانش مورد نیاز ماهیت ضمنی^۳ دارد و به سختی کدگذاری می‌شود (نانوکا و تاکئوچی^۴، ۱۹۹۵)، شبکه‌های مبتنی بر روابط قوی و اعتماد متقابل (که در بخش یافته‌ها تحلیل می‌شود) نقشی حیاتی در تسهیل جریان این نوع دانش ایفا می‌کنند (ناهیپیت و گوشال^۵، ۱۹۹۸). تحلیل ساختار شبکه همکاری می‌تواند گلوگاه‌های جریان دانش یا بازیگران کلیدی (مانند دروازه‌بانان یا واسطه‌های دانش) را شناسایی کند (آلن و کوهن^۶، ۱۹۶۹).

تکامل به سوی بوم‌سازگان نوآوری: معماری و هم‌سازی

در حالی که نظریه شبکه بر روابط دوتایی یا ساختارهای محلی تمرکز دارد، مفهوم بوم‌سازگان نوآوری^۷ نگاهی کل‌نگرتر و سیستمی‌تر به محیط همکاری ارائه می‌دهد (مور، ۱۹۹۳؛ آدنر و کاپور^۸، ۲۰۱۰). بوم‌سازگان نوآوری به مجموعه‌ای از بازیگران ناهمگون (شرکت‌های بزرگ، استارت‌آپ‌ها، دانشگاه‌ها، تأمین‌کنندگان مالی، نهادهای دولتی و ...) اشاره دارد که از طریق روابط پیچیده وابستگی متقابل (نه لزوماً سلسله مراتبی) در جهت خلق و تجاری‌سازی یک گزاره ارزش فناورانه مشخص، با یکدیگر تعامل می‌کنند (آدنر^۹، ۲۰۱۷).

برای انتقال فناوری سامانه محصولات پیچیده، دیدگاه بوم‌سازگانی بسیار مناسب است، زیرا موفقیت نهایی تنها به قابلیت‌های گیرنده فناوری بستگی ندارد، بلکه به عملکرد هماهنگ کل مجموعه بازیگران (از تأمین‌کنندگان قطعات تا نهادهای تنظیم‌گر و کاربران نهایی) وابسته است. شکست یا ضعف هر یک از حلقه‌های این زنجیره می‌تواند کل فرآیند را مختل کند. از این منظر،

1- Granovetter

2- Burt

3- Tacit

4- Nonaka & Takeuchi

5- Nahapiet & Ghoshal

6- Allen & Cohen

7- Innovation Ecosystem

8- Adner & Kapoor

9- Adner

چالش اصلی، نه فقط انتقال دانش فنی، بلکه «هم‌سازی یا میانداری»^۱ این بوم‌سازگان پیچیده است (ثاناراج و پارخه^۲، ۲۰۰۶). این هم‌سازی شامل فعالیت‌هایی چون شناسایی و جذب بازیگران کلیدی، تسهیل تعاملات و جریان دانش، مدیریت وابستگی‌ها و ریسک‌های مشترک، و هم‌راستا سازی اهداف بازیگران مختلف حول یک چشم‌انداز مشترک است. تحلیل «معماری»^۳ این بوم‌سازگان - یعنی شناسایی نقش‌ها، روابط، جریان‌های ارزش و سازوکارهای حاکم بر آن - که تمرکز اصلی این مقاله است، پیش‌نیازی برای درک چگونگی هم‌سازی مؤثر آن محسوب می‌شود.

نقش‌آفرینان کلیدی: مدل مارپیچ سه‌گانه در بستر سامانه محصولات پیچیده

در میان بازیگران متنوع بوم‌سازگان نوآوری، مدل مارپیچ سه‌گانه^۴ بر تعاملات پویا و هم‌پوشان سه نهاد محوری تأکید می‌کند: دانشگاه^۵، صنعت^۶ و دولت^۷ (اتزکویتز و لیدسدورف^۸، ۲۰۰۰). این مدل، فراتر از نقش‌های سنتی (دانشگاه به عنوان مولد دانش پایه، صنعت به عنوان کاربر، و دولت به عنوان تنظیم‌گر)، بر ظهور نقش‌های ترکیبی و همکاری‌های نزدیک بین این سه رکن برای پیشبرد اقتصاد دانش‌بنیان تأکید دارد.

در زمینه انتقال فناوری سامانه محصولات پیچیده، این سه بازیگر نقش‌های مکملی حیاتی ایفا می‌کنند که معماری بوم‌سازگان همکاری را شکل می‌دهد:

- **صنعت:** شامل شرکت‌های گیرنده فناوری، تأمین‌کنندگان، پیمانکاران و شرکت‌های مشاوره‌ای است که مسئولیت اصلی اجرای فنی، تولید، تجاری‌سازی و یکپارچه‌سازی سیستم‌ها را بر عهده دارند. مشارکت‌های استراتژیک بین این شرکت‌ها و برنامه‌های توسعه زنجیره تأمین، از مکانیسم‌های کلیدی همکاری در این لایه هستند.

1- Orchestration
2- Dhanaraj & Parkhe
3- Architecture
4- Triple Helix Model
5- Universities/Research Institutes
6- Industry
7- Government
8- Etzkowitz & Leydesdorff



- دانشگاه: به عنوان منبع دانش علمی پیشرفته، استعداد‌های متخصص و زیرساخت‌های تحقیقاتی عمل می‌کند. همکاری نزدیک دانشگاه و صنعت، همان‌طور که شواهد تجربی نشان می‌دهند (یانگ^۱، ۲۰۲۲)، برای حل چالش‌های فنی پیچیده و توسعه قابلیت‌های بومی ضروری است.

- دولت: نقشی چندگانه به عنوان تنظیم‌گر (تعیین استانداردها، قوانین مالکیت فکری)، تأمین‌کننده مالی (به‌ویژه برای پروژه‌های پرریسک و بلندمدت)، مشتری اصلی (از طریق خریدهای دولتی و جمعیت تقاضا) و مهم‌تر از همه، هماهنگ‌کننده و هم‌ساز بوم‌سازگان ایفا می‌کند (مازوکاتو^۲، ۲۰۱۳؛ صفدری رنجبر و همکاران، ۲۰۲۲).

بنابراین، معماری بوم‌سازگان همکاری در انتقال فناوری سامانه محصولات پیچیده، به شدت تحت تأثیر کیفیت و الگوی تعاملات درون و بین این سه رکن اصلی قرار دارد و موفقیت، نیازمند هم‌راستایی و هم‌افزایی بین آن‌هاست.

مکانیسم‌های همکاری در بوم‌سازگان سامانه محصولات پیچیده

درون چارچوب نظری شبکه‌ها و بوم‌سازگان‌ها، مکانیسم‌های همکاری مشخصی در انتقال فناوری سامانه محصولات پیچیده ظهور می‌یابند که ادبیات پژوهشی به آن‌ها پرداخته است:

- مشارکت‌های استراتژیک و اتحادها^۳: روابط بلندمدت و متعهدانه بین یا چند سازمان برای دستیابی به اهداف مشترک، به‌ویژه در توسعه فناوری‌های جدید یا ورود به بازارهای پیچیده (گولاتی^۴، ۱۹۹۸). این مشارکت‌ها امکان به‌اشتراک‌گذاری ریسک، دسترسی به منابع مکمل و یادگیری متقابل را فراهم می‌کنند.

1- Yang
2- Mazzucato
3- Strategic Alliances
4- Gulati

• همکاری های زنجیره تأمین و توسعه تأمین کنندگان^۱: با توجه به اهمیت تأمین کنندگان در سامانه محصولات پیچیده، همکاری نزدیک در زنجیره تأمین، از جمله برنامه های توسعه قابلیت های فنی و مدیریتی تأمین کنندگان، برای تضمین کیفیت، کاهش هزینه ها و افزایش نوآوری ضروری است (کروزه^۲ و همکاران، ۲۰۰۷).

• کنسرسیوم های تحقیقاتی^۳: همکاری چندین سازمان (اغلب شامل شرکت ها، دانشگاه ها و مؤسسات دولتی) برای انجام تحقیقات پیشارقابتی در حوزه های فناوریانه نوظهور (هاگدورن^۴ و همکاران، ۲۰۰۰).

• نقش اعتماد^۵: به عنوان یک سازوکار حاکمیتی غیررسمی، اعتماد نقشی حیاتی در تسهیل همکاری، کاهش هزینه های نظارت و کنترل، و تشویق به اشتراک گذاری دانش، به ویژه دانش ضمنی، در روابط بین سازمانی ایفا می کند (زهیر^۶ و همکاران، ۱۹۹۸؛ ایوارسون و الوستام^۷، ۲۰۰۵).

این مکانیسم ها، اجزای سازنده معماری بوم سازگان همکاری هستند که در بخش یافته ها، شواهد تجربی مربوط به آن ها در زمینه انتقال فناوری سامانه محصولات پیچیده به تفصیل بررسی خواهد شد. مرور این مبانی نظری، چارچوبی منسجم برای تحلیل یافته های حاصل از متا-سنتر و درک بهتر پیچیدگی های حاکم بر همکاری های فناوریانه در سیستم های محصولی پیچیده فراهم می آورد.

لنز تحلیل

بر مبنای مرور ادبیات فوق، این پژوهش به جای آزمون یک مدل مفهومی از پیش تعیین شده^۸ که می تواند منجر به محدودسازی یافته های کیفی شود، از

1- Supply Chain Collaboration & Supplier Development
2- Krause
3- Research Consortia
4- Hagedoorn
5- Role of Trust
6- Zaheer
7- Ivarsson & Alvstam
8- A priori model

رویکرد مفاهیم حساس‌کننده (بلومر^۱، ۱۹۵۴) بهره‌می‌گیرد. بدین منظور، برای دستیابی به درکی جامع از پدیده چندوجهی انتقال فناوری سامانه محصولات پیچیده، سه جریان نظری مکمل به عنوان لنز تحلیل انتخاب شدند تا ابعاد سه‌گانه «معماری همکاری» را به صورت یکپارچه پوشش دهند:

(۱) نظریه شبکه: برای تحلیل «بعد ساختاری» به منظور شناسایی الگوی روابط، گره‌های کلیدی و کانال‌های انتقال دانش.

(۲) مدل مارپیچ سه‌گانه: برای تبیین «بعد نهادی» به منظور تفکیک نقش‌های مکمل و تعاملات پویا میان دولت، صنعت و دانشگاه.

(۳) نظریه بوم‌سازگان نوآوری: برای واکاوی «بعد پویایی و حکمرانی» در جهت تحلیل مکانیسم‌های هم‌سازی، تکامل هم‌زمان و مدیریت وابستگی‌ها.

این ترکیب نظری سه‌وجهی، به پژوهشگر امکان می‌دهد تا بدون پیش‌داوری اما با ذهنیتی ساختاریافته با رویکرد استقرایی به سراغ داده‌های تجربی رفته و الگوی نهایی معماری را از دل مطالعات استخراج نماید.

روش‌شناسی پژوهش

این پژوهش با هدف شناسایی و تحلیل اجزای سازنده «معماری بوم‌سازگان همکاری» در انتقال فناوری سیستم‌ها و محصولات پیچیده (سامانه محصولات پیچیده)، از روش متا-سنتز کیفی^۲ بهره‌می‌برد. متا-سنتز کیفی، رویکردی نظام‌مند برای یکپارچه‌سازی و تفسیر یافته‌های حاصل از مطالعات کیفی متعدد و مستقل است که به یک پدیده مشترک پرداخته‌اند. این روش، به جای تجمع آماری نتایج (مانند متا-آنالیز)، به دنبال دستیابی به فهمی عمیق‌تر و غنی‌تر از پدیده مورد مطالعه، از طریق ترکیب تفسیری یافته‌های کیفی است.

انتخاب این روش برای پژوهش حاضر، با توجه به ماهیت پیچیده، زمینه‌مند^۳ و چندوجهی انتقال فناوری سامانه محصولات پیچیده، توجیه

1- Blumer

2- Qualitative Meta-synthesis

3- Context-bound

می‌یابد. مطالعات موردی، به دلیل توانایی‌شان در ارائه توصیفات غنی و تحلیل‌های عمیق از فرآیندها و تعاملات پیچیده در بستر واقعی خود، منبع اصلی دانش تجربی در این حوزه محسوب می‌شوند. با این حال، یافته‌های این مطالعات اغلب پراکنده و محدود به زمینه خاص مورد بررسی هستند. متأسفانه، کیفی این امکان را فراهم می‌آورد تا ضمن حفظ غنای زمینه‌ای هر مطالعه، الگوها، مضامین و روابط مشترک را در میان آن‌ها شناسایی کرده و به یک درک یکپارچه و در سطح بالاتری از انتزاع دست یافت.

فرآیند اجرای متا-سنتز

پایه تجربی این پژوهش، یافته‌های حاصل از یک مطالعه فرا-ترکیب کیفی جامع است که پیشتر^۱ با هدف شناسایی ابعاد کلیدی موفقیت در انتقال فناوری سامانه محصولات پیچیده و با پیروی دقیق از چارچوب هفت مرحله‌ای سندلوسکی و باروسو^۲ (۲۰۰۷) انجام پذیرفته است (شکل ۱).



شکل ۱: گام‌های هفتگانه روش ساندولوسکی و باروسو

فرآیند اجرای آن متا-سنتز به‌طور خلاصه شامل مراحل زیر است:

جستجوی جامع: جستجوی نظام‌مند در پایگاه‌های داده معتبر بین‌المللی وب‌آف‌ساینس^۳، اسکپوس^۴ و موتور جستجوی علمی گوگل اسکالر^۵ برای بازه

۱- مطالعه مورد اشاره بخشی از رساله دکتری نویسنده بوده است.

2- Sandelowski & Barroso
3- Web of Science
4- Scopus
5- Google Scholar



زمانی ۲۰ ساله (۲۰۰۵ تا ۲۰۲۵) انجام پذیرفت. استراتژی جستجو بر مبنای ترکیب کلیدواژه‌های مرتبط با سه محور اصلی «انتقال فناوری»، «سیستم‌های محصولی پیچیده» و «حکمرانی/سیاست‌گذاری» طراحی شد. به منظور اطمینان از جامعیت جستجو در حوزه سامانه محصولات پیچیده که ماهیتی بافت‌محور دارد، علاوه بر واژگان و عبارات عام، از نام صنایع پیشران و معرف این حوزه (شامل هوافضا، انرژی، ریلی و دفاعی) نیز در رشته جستجو استفاده گردید. (جدول ۱)

پایش اولیه: در مرحله شناسایی اولیه، جستجوی گسترده منجر به استخراج ۱۵۲۴ رکورد علمی از پایگاه‌های داده شد. به منظور مدیریت این حجم از داده‌ها و غربالگری اولیه، از ابزار کتاب‌سنجی بیبلیوشاینی^۱ (پکیج تحلیل داده‌های علمی در نرم‌افزار R) بهره گرفته شد. با استفاده از این ابزار، ابتدا موارد تکراری شناسایی و حذف شدند و سپس پایش اولیه برای کنار گذاشتن منابع فاقد ساختار علمی پژوهشی مورد نظر این مطالعه، صورت گرفت.

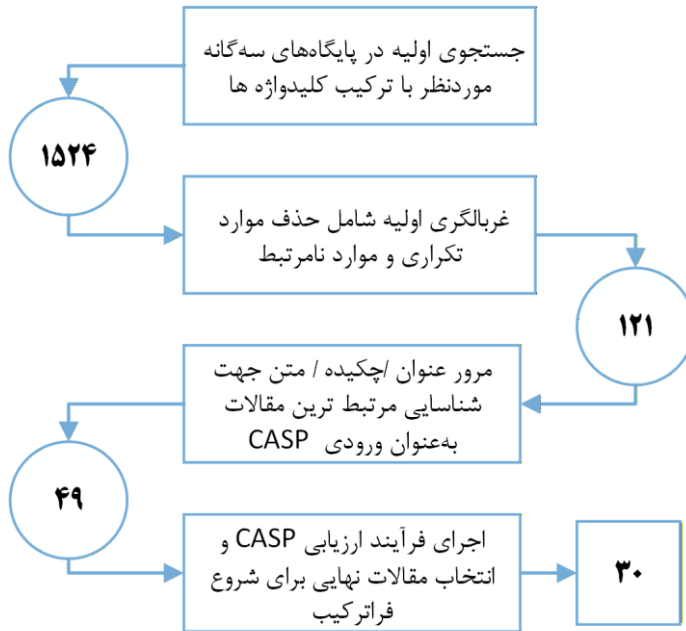
غربالگری دقیق: خروجی مرحله قبل، ۱۲۱ مقاله بود که وارد فرآیند غربالگری دقیق دستی بر اساس پروتکل سندلوسکی و باروسو شدند. در این گام، عناوین و چکیده‌ها بررسی و موارد غیرمرتبط با حوزه سامانه محصولات پیچیده کنار گذاشته شدند که منجر به انتخاب ۴۹ مقاله برای بررسی تمام‌متن شد. معیارهای دقیق در جدول ۱ ارائه شده است.

ارزیابی کیفی: در این مرحله، مقالاتی که رویکرد تجربی نداشتند یا تمرکز اصلی آن‌ها بر مکانیسم‌های انتقال فناوری نبود، حذف گردیدند. در نهایت، ارزیابی کیفیت روش‌شناختی با استفاده از ابزار برنامه مهارت‌های ارزیابی انتقادی (آ^۲) ارزیابی شد. تنها مقالاتی که امتیاز کیفی بالا (نمره ≤ 6.5) کسب کردند، برای سنتز نهایی انتخاب شدند. این فرآیند غربالگری چندمرحله‌ای، در نهایت منجر به گزینش ۳۰ مقاله تجربی-کیفی با کیفیت گردید. جزئیات کامل

1- BiblioShiny

2- Critical Appraisal Skills Programme

فرآیند ورود و خروج مقالات و ریزش آن‌ها در هر مرحله در شکل ۲ و فهرست نهایی مقالات به همراه مشخصات آن‌ها در پیوست ۱ ارائه شده است.



شکل ۲: نمودار جریان غربالگری و انتخاب مطالعات (منطبق با روش سندلوسکی و باروسو)

استخراج و تحلیل داده‌ها: یافته‌های کلیدی (شامل مکانیسم‌ها، چالش‌ها و عوامل موفقیت) از ۳۰ مقاله نهایی استخراج و طی یک فرآیند کدگذاری استقرایی سه مرحله‌ای و با استفاده از نرم افزار MAXQDA تحلیل شدند:

- کدگذاری باز: ایجاد ۶۲۵ کد اولیه برای ثبت مفاهیم جزئی.
- کدگذاری محوری: دسته‌بندی کدهای باز و ادغام آن‌ها در ۴۰ زیرشاخه^۱ معنادار.
- کدگذاری/انتخابی: ترکیب تفسیری زیرشاخه‌ها و شناسایی ۷ تم اصلی^۲ به عنوان ابعاد کلیدی موفقیت در انتقال فناوری سامانه محصولات پیچیده.



جدول ۱: خلاصه راهبرد جستجو و معیارهای انتخاب مقالات

راهبرد جستجو	
Scopus, Web of Science, Google Scholar	پایگاه‌های داده
"Technology Transfer", "Knowledge Transfer", "Complex Product Systems", "Complex Product", "CoPS", "Aerospace", "Energy", "Railway", "Defense", "Case Study", "Qualitative Study", "Government Role", "Policy"	مجموعه کلیدواژه‌های اصلی
"Technology Transfer" OR "Knowledge Transfer"	محور انتخاب کلیدواژه به همراه ترکیب با عملگرهای Boolean
محور انتقال: "Technology Transfer" OR "Knowledge Transfer"	
(CoPS): "Complex Product Systems" OR "CoPS" OR "Complex Products" OR "Complex Projects"	
محور صنایع (نمونه‌های اصلی): "Aerospace" OR "Energy" OR "Railway" OR "Defense"	
محور روش/سیاست: "Case Study" OR "Qualitative" OR "Government Policy"	
معیارهای انتخاب	
انتشار بین سال‌های ۲۰۰۵ تا ۲۰۲۵ (سه ماهه اول)	بازه زمانی
انگلیسی	زبان
مقالات مجلات علمی-پژوهشی (Peer-reviewed)	نوع مقاله
مطالعات تجربی کیفی (Empirical Qualitative) با روش کیفی مشخص (شامل: مطالعه موردی، گرند تئوری، تحلیل محتوا)	روش‌شناسی
تمرکز صریح بر فرایندهای انتقال فناوری در صنایع سامانه محصولات پیچیده	تمرکز محتوا
کسب امتیاز ۶.۵ یا بالاتر بر اساس ابزار ارزیابی کیفی CASP	کیفیت

جدول ۲: مشخصات مقالات تجربی تحلیل شده (N=۳۰)

توزیع جغرافیایی		
درصد	تعداد مقالات	دسته‌بندی اصلی
۴۰.۰٪	۱۲	آسیا (ایران، کره، چین و ...)
۳۰.۰٪	۹	اروپا
۱۳.۳٪	۴	آفریقا
۱۰.۰٪	۳	آمریکا
۶.۷٪	۲	اقیانوسیه و چندقاره‌ای
توزیع صنعتی		
درصد	تعداد مقالات	دسته‌بندی اصلی
۳۰.۰٪	۹	هوافضا و دفاعی
۱۳.۳٪	۴	سیستم‌های انرژی
۱۳.۳٪	۴	ریلی و حمل‌ونقل
۱۰.۰٪	۳	مخابرات و ICT
۳۳.۳٪	۱۰	سایر (خودرو، پزشکی و ...)



تمرکز تحلیلی مقاله حاضر

تحلیل جامع اولیه منجر به شناسایی هفت بُعد کلیدی دارای نقش با اهمیت بر انتقال فناوری سامانه محصولات پیچیده گردید. مقاله حاضر، با هدف ارائه تحلیلی عمیق‌تر و متمرکز بر یکی از مهم‌ترین این ابعاد، یافته‌های مربوط به تم "معماری بوم‌سازگان همکاری" را مورد واکاوی دقیق قرار می‌دهد. داده‌های این تحلیل، شامل تعاریف عملیاتی، شواهد تجربی (نقل قول‌ها) و مقالات منبع مربوط به شش زیرشاخه تشکیل‌دهنده این تم اصلی است که در فرآیند متا-سنتز اولیه شناسایی و مستند شده‌اند. این تمرکز تحلیلی امکان بررسی موشکافانه‌تر اجزاء، روابط و پویایی‌های حاکم بر بوم‌سازگان همکاری در انتقال فناوری سامانه محصولات پیچیده را فراهم می‌آورد و چارچوبی مستقل برای درک این بُعد خاص ارائه می‌دهد.

اعتبارسنجی و پایایی یافته‌ها

به منظور حصول اطمینان از اعتبار^۱ و پایایی^۲ یافته‌های حاصل از فرآیند متا-سنتز که پایه تحلیل‌های این مقاله را تشکیل می‌دهد، مجموعه‌ای از راهکارها در مراحل مختلف پژوهش به کار گرفته شد. اولاً، جستجوی نظام‌مند و جامع در پایگاه‌های داده معتبر و استفاده از معیارهای ورود و خروج صریح برای انتخاب مقالات، سوگیری در انتخاب نمونه را به حداقل رساند. ثانیاً، ارزیابی کیفی دقیق مقالات با استفاده از ابزار استاندارد (CASP)، تضمین نمود که تنها مطالعات با کیفیت روش‌شناختی بالا در فرآیند سنتز وارد شوند. میانگین امتیاز کیفی بالای مقالات منتخب (۸/۴ از ۱۰) مؤید این امر است. ثالثاً، در مرحله تحلیل داده‌ها، از راهکار توافق بین کدگذاران^۳ برای بخشی از مقالات (۱۰ مقاله، معادل ۳۳٪) استفاده شد. محاسبه شاخص کاپای کوهن^۴ برای سطوح مختلف کدگذاری (کدهای باز: ۰/۷۸، زیرشاخه‌ها: ۰/۸۲، تم‌های اصلی: ۰/۹۱)، سطح توافق "قابل توجه" تا "تقریباً کامل" را نشان داد که پایایی فرآیند کدگذاری و استخراج مضامین را تأیید می‌کند. در نهایت، اگرچه این مقاله بر یکی از تم‌های اصلی

1- validity

2- Reliability

3- Inter-coder reliability

4- Cohen's Kappa

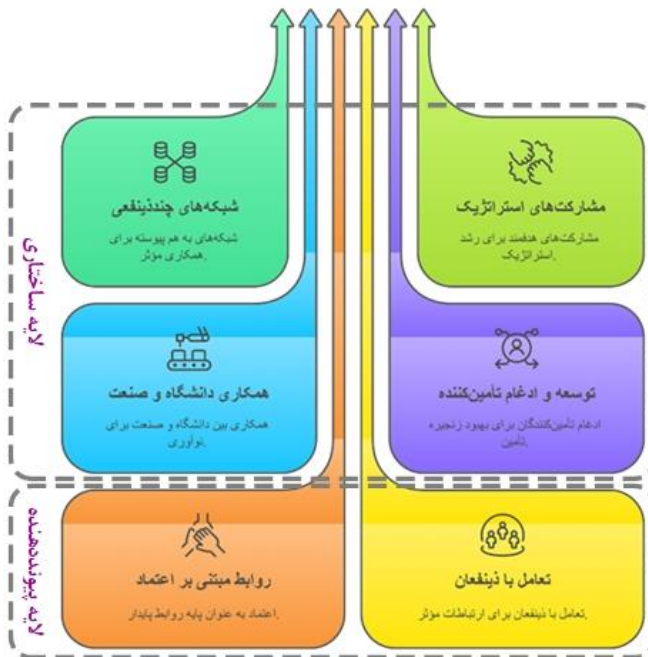


تمرکز دارد، اما یافته‌های آن بر پایه تثلیث منابع داده^۱ حاصل از تحلیل ۳۰ مطالعه تجربی مستقل در زمینه‌ها و صنایع متنوع بنا شده است که به افزایش اعتبار تفاسیر و تعمیم‌پذیری محتاطانه یافته‌ها کمک می‌کند.

یافته‌های پژوهش

ترسیم معماری بوم‌سازگان همکاری

تحلیل فرا-ترکیب ۳۰ مطالعه تجربی کیفی نشان داد که موفقیت در انتقال فناوری سیستم‌ها و محصولات پیچیده (سامانه محصولات پیچیده)، به شدت به شکل‌گیری و مدیریت مؤثر یک “بوم‌سازگان همکاری” وابسته است. همان‌طور که در (شکل ۳) نشان داده شده است، “معماری” این بوم‌سازگان بر شش ستون یا زیرشاخه اصلی استوار است که در ادامه به تفصیل تشریح می‌شوند.



شکل ۳: چارچوب مفهومی معماری بوم‌سازگان همکاری در انتقال فناوری سامانه محصولات پیچیده (منبع: یافته‌های پژوهش)

1- Data Triangulation

این بوم‌سازگان، شبکه‌ای پیچیده از بازیگران متنوعی است که از طریق روابط رسمی و غیررسمی، دانش، منابع و قابلیت‌های خود را برای دستیابی به اهداف مشترک فناورانه بسیج می‌کنند. یافته‌های ما نشان می‌دهد که “معماری” این بوم‌سازگان، یعنی ساختار، اجزا و مکانیسم‌های حاکم بر آن، نقشی حیاتی در تسهیل یا ممانعت از انتقال موفق فناوری ایفا می‌کند. این معماری بر شش ستون یا زیرشاخه اصلی استوار است که در ادامه به تفصیل تشریح می‌شوند.

ستون اول: شکل‌دهی شبکه‌های چندذینفعی^۱

شواهد تجربی به وضوح نشان می‌دهند که انتقال فناوری سامانه محصولات پیچیده در خلأ رخ نمی‌دهد، بلکه نیازمند بستری از شبکه‌های تعاملی با حضور بازیگران متعدد است. این شبکه‌ها، ساختار پایه‌ای بوم‌سازگان را تشکیل می‌دهند و فراتر از روابط دوتایی خریدار-فروشنده یا لیسانس‌دهنده-گیرنده گسترش می‌یابند. مطالعه صفدری رنجبر و همکاران (۲۰۲۲) در مورد صنعت توربین گاز ایران، به خوبی این پدیده را مستند می‌کند: “یک شبکه ارگانیک و چند بازیگره پیرامون پروژه ... شکل گرفته است که شامل بازیگران متعددی با منابع، مهارت‌ها و قابلیت‌های متنوع است”. این بازیگران می‌توانند شامل “تأمین‌کنندگان متخصص، پیمانکاران فرعی، یکپارچه‌سازان سیستم، و همچنین سازمان‌های دولتی و تنظیم‌گر، به علاوه دانشگاه‌ها و مراکز تحقیقاتی” باشند (گالاتی و همکاران، ۲۰۲۱). شکل‌گیری هدفمند این شبکه‌ها امکان دسترسی به دانش توزیع‌شده، به اشتراک‌گذاری ریسک و ایجاد هم‌افزایی را فراهم می‌آورد که برای غلبه بر پیچیدگی‌های سامانه محصولات پیچیده ضروری است.

در دل شبکه‌های گسترده چندذینفعی، روابط عمیق‌تر و متعهدانه‌تری تحت عنوان مشارکت‌های استراتژیک شکل می‌گیرند که نقشی کلیدی در تبادل دانش فنی پیچیده و توسعه قابلیت‌های مشترک ایفا می‌کنند. که بر دو ستون استوار است، مشارکت‌های استراتژیک فناورانه و همکاری دانشگاه و صنعت.

ستون دوم: مشارکت‌های استراتژیک فناورانه

این مشارکت‌ها، روابط بلندمدت بین شرکت‌ها (مانند تولیدکننده اصلی و تأمین‌کنندگان کلیدی، یا شرکت‌های همکار در توسعه) را شامل می‌شوند. مطالعه لی و یون (۲۰۱۵) در صنعت هوافضای کره، اهمیت این روابط را برجسته می‌سازد: "مشارکت بلندمدت بین لاکهید مارتین و کره طی ۲۰ سال گذشته، یکی از توانمندسازهای کلیدی بود". این مشارکت‌ها امکان انتقال دانش ضمنی، توسعه مشترک فناوری و هم‌سوسازی استراتژی‌ها را فراهم می‌کنند که در روابط کوتاه‌مدت و معاملاتی امکان‌پذیر نیست. کیم^۱ و همکاران (۲۰۲۲) نیز تأکید می‌کنند که "مشارکت قوی بین تولیدکنندگان پیشرو و تأمین‌کنندگان، در توسعه مدل‌های جدید هواپیما حیاتی است".

ستون سوم: همکاری دانشگاه و صنعت

این نوع همکاری، پلی حیاتی بین دنیای دانش نظری و نیازهای کاربردی صنعت ایجاد می‌کند. دانشگاه‌ها با تأمین دانش پایه، نیروی انسانی متخصص و زیرساخت‌های تحقیقاتی، و صنعت با طرح مسائل واقعی، تأمین مالی و بستر آزمون، نقشی مکمل ایفا می‌کنند. یانگ و همکاران (۲۰۲۲) در مطالعه توسعه قطار پرسرعت چین، "ارتباط دانشگاه و صنعت (UIL^۲)، مانند تحقیقات مشترک یا قراردادی را یک عامل کلیدی برای جهش فناورانه" معرفی می‌کنند. در موارد دیگر، مانند مطالعه روسکو^۳ و همکاران (۲۰۲۳) در زمینه تولید افزودنی، دانشگاه‌ها حتی نقش تسهیل‌گر در "مراحل اولیه ایده‌پردازی تا نمونه‌سازی" را بر عهده می‌گیرند.

ستون چهارم: توسعه و یکپارچه‌سازی زنجیره تأمین^۴

با توجه به ماهیت سیستمی سامانه محصولات پیچیده، قابلیت‌های شرکت اصلی به شدت به توانمندی‌های شبکه تأمین‌کنندگان آن وابسته است. از این

1- Kim

2- University Industry Linkage

3- Roscoe

4- Supplier Development Integration

رو، توسعه هدفمند قابلیت‌های تأمین‌کنندگان و یکپارچه‌سازی آن‌ها در بوم‌سازگان نوآوری، یکی از ارکان کلیدی معماری همکاری محسوب می‌شود. این فرآیند فراتر از ارزیابی و انتخاب تأمین‌کننده است و شامل سرمایه‌گذاری فعال در ارتقای دانش فنی، سیستم‌های کیفیت و توان مدیریتی آن‌ها می‌شود. مطالعه بزیندنه‌هاوت و بین^۱ (۲۰۲۲) در صنعت دفاعی نشان می‌دهد که "ایجاد یک شبکه تأمین‌کننده محلی، حداقل دو سال زمان و منابع کافی نیاز دارد و موفقیت آن مستلزم راهبردهای زنجیره تأمین مشارکتی و برنامه‌ریزی مشترک محصول و فرآیند" است. این توسعه می‌تواند شامل ارائه مشاوره فنی و آموزش توسط شرکت مادر باشد، همان‌طور که چونگ و هوانگ^۲ (۲۰۰۷) در مورد صنعت مخابرات کره گزارش کرده‌اند. همچنین، همان‌طور که اگرز^۳ و همکاران (۲۰۱۷) اشاره می‌کنند، این فرآیند اغلب چندلایه است و تأمین‌کنندگان رده اول نیاز دارند تا یکپارچه‌سازی منابع بالادستی خود در قالب تأمین‌کنندگان رده n ام را مدیریت کنند.

ستون پنجم: روابط مبتنی بر اعتماد^۴

اگر شبکه‌ها و مشارکت‌ها، ساختار فیزیکی بوم‌سازگان باشند، اعتماد، زیرساخت نرم و نامرئی آن است که جریان روان دانش و همکاری را ممکن می‌سازد. شواهد تجربی به طور مداوم نشان می‌دهند که در غیاب اعتماد، قراردادهای رسمی به تنهایی قادر به تضمین همکاری مؤثر، به ویژه در تبادل دانش ضمنی و مدیریت ریسک‌های مشترک، نیستند. ایوارسون و الوستام^۵ (۲۰۰۵) در مطالعه صنعت خودرو دریافتند که "اعتماد متقابل - علاوه بر کاهش هزینه‌های مبادله - به نظر می‌رسد برای ایجاد پیوندهای غیرقراردادی بین شرکت‌ها حیاتی است". اعتماد، انعطاف‌پذیری در روابط را افزایش می‌دهد (مودی و دودجسون^۶، ۲۰۰۶) و رفتارهای مشارکتی را تقویت می‌کند (اگرز و

1- Bezuidenhout & Bean

2- Choung & Hwang

3- Eggers

4- Trust-Based Relationships

5- Ivarsson & Alvstam

6- Moody & Dodgson



همکاران، ۲۰۱۶). ایجاد و حفظ اعتماد، فرآیندی تدریجی است که از طریق تعاملات مکرر، شفافیت در اشتراک‌گذاری اطلاعات (بزیدنهاوت و بین، ۲۰۲۲) و نشان دادن تعهد به منافع مشترک شکل می‌گیرد.

ستون ششم: استراتژی‌های تعامل با ذینفعان^۱

معماری بوم‌سازگان همکاری، محدود به بازیگران فنی و اقتصادی مستقیم نیست و شامل طیف وسیع‌تری از ذینفعان، از جمله جوامع محلی، نهادهای مدنی و سازمان‌های زیست‌محیطی نیز می‌شود. نادیده گرفتن این گروه از ذینفعان می‌تواند منجر به بروز مقاومت‌های اجتماعی، تأخیر در پروژه‌ها و حتی شکست کامل آن‌ها شود. مطالعه ونگ^۲ و همکاران (۲۰۲۱) در مورد پروژه ریلی مومباسا-نایروبی^۳، نمونه‌ای برجسته از اهمیت تعامل فعال با ذینفعان محلی را نشان می‌دهد. اقدامات شرکت سازنده شامل سازماندهی بیش از ۲۲۰ فعالیت رفاه اجتماعی محلی، همکاری فعال با سازمان‌های محیط زیستی محلی و بین‌المللی و تلاش برای تعامل نزدیک با جوامع محلی به عنوان راهی کارآمد برای ترویج یکپارچگی فرهنگی بود. این یافته‌ها تأکید می‌کنند که همسویی اجتماعی و کسب پروانه اجتماعی برای فعالیت^۴، بخشی جدایی‌ناپذیر از معماری یک بوم‌سازگان همکاری پایدار برای پروژه‌های سامانه محصولات پیچیده، به ویژه پروژه‌های زیرساختی، محسوب می‌شود. (جدول ۳) خلاصه‌ای از این شش مؤلفه کلیدی معماری بوم‌سازگان همکاری را ارائه می‌دهد.

جدول ۳: خلاصه مؤلفه‌های معماری بوم‌سازگان همکاری در انتقال فناوری سامانه محصولات پیچیده

مؤلفه معماری	تعریف مختصر	مکانیسم‌های کلیدی	منابع کلیدی
شبکه‌های چندذینفعی	بستر گسترده تعاملات بین بازیگران متنوع (شرکت‌ها، دولت، دانشگاه، تأمین‌کنندگان و...)	شکل‌گیری شبکه‌های ارگانیک، دسترسی به دانش توزیع‌شده، اشتراک ریسک	Safdari Ranjbar et al. (2022); Galati et al. (2021)
مشارکت‌های	روابط عمیق و بلندمدت	تبادل دانش ضمنی، توسعه	Lee & Yoon (2015); Kim et al. (2022)

1- Stakeholder Engagement Strategies

2- Wang

3- Mombasa-Nairobi

4- Social License to Operate



مؤلفه معماری	تعریف مختصر	مکانیسم‌های کلیدی	منابع کلیدی
استراتژیک فناوریانه	بنگاه-بنگاه مانند شرکت مادر و شرکای فناوری یا تأمین‌کنندگان کلیدی.	مشترک فناوری، هم‌سوسازی استراتژی‌ها (مانند مشارکت لاکهید مارتین و کره).	
همکاری دانشگاه و صنعت	روابط بنگاه-دانشگاه با هدف پر کردن شکاف دانش پایه و کاربردی و توسعه قابلیت‌های بومی.	تحقیقات مشترک یا قراردادی (UIL)، نمونه‌سازی اولیه، تأمین استعدادهاى متخصص.	Yang et al. (2022); Roscoe et al. (2023)
توسعه/یکپارچه‌سازی تأمین‌کنندگان	ارتقای هدفمند قابلیت‌های (فنی، کیفی، مدیریتی) شبکه تأمین‌کنندگان و یکپارچه‌سازی آن‌ها در بوم‌سازگان	برنامه‌های آموزشی، مشاوره فنی، برنامه‌ریزی مشترک محصول/فرآیند	Bezuidenhout & Bean (2022); Eggers et al. (2017)
روابط مبتنی بر اعتماد	زیرساخت نرم و نامرئی مبتنی بر اطمینان متقابل، شفافیت و تعهد به منافع مشترک	کاهش هزینه مبادله، تسهیل اشتراک دانش ضمنی، افزایش انعطاف‌پذیری	Ivarsson & Alvstam (2005); Moody & Dodgson (2006)
تعامل با ذینفعان	درگیر کردن فعالانه بازیگران غیر فنی/اقتصادی (جامعه محلی، نهاد مدنی، ...) در فرآیند انتقال فناوری	کسب پروانه اجتماعی، فعالیت، همسویی اجتماعی، مدیریت مقاومت‌ها، فعالیت‌های رفاه اجتماعی	Wang et al. (2021)

بحث و تحلیل: تبیین چارچوب یکپارچه معماری بوم‌سازگان

یافته‌های ارائه شده در بخش پیشین، تصویری چندوجهی از “معماری بوم‌سازگان همکاری” را ترسیم می‌کند که برای انتقال موفقیت‌آمیز فناوری سیستم‌ها و محصولات پیچیده (سامانه محصولات پیچیده) ضروری است. این معماری، صرفاً مجموعه‌ای از روابط دوتایی نیست، بلکه ساختاری پیچیده و پویا با اجزاء، روابط و مکانیسم‌های حاکم مشخص است. در این بخش، به تحلیل عمیق‌تر این یافته‌ها، بررسی روابط متقابل بین اجزای معماری و واکاوی تنش‌های درونی حاکم بر آن می‌پردازیم.

چارچوب یکپارچه معماری بوم‌سازگان همکاری در سامانه محصولات پیچیده

تحلیل یافته‌های حاصل از فرا-ترکیب نشان می‌دهد که معماری بوم‌سازگان همکاری موفق در انتقال فناوری سامانه محصولات پیچیده، بر پایه تعامل شش مؤلفه اصلی شکل می‌گیرد که می‌توان آن‌ها را در دو لایه مفهومی دسته‌بندی کرد:

الف) لایه ساختاری^۱: این لایه شامل عناصر پایه‌ای شکل‌دهنده بوم‌سازگان است:

- شبکه‌های چندذینفعی (ستون اول): به عنوان بستر گسترده تعاملات اولیه و شناسایی فرصت‌ها عمل می‌کنند.
- مشارکت‌های استراتژیک (ستون دوم و سوم): روابط عمیق‌تر، رسمی‌تر و متعهدانه‌تری هستند که تبادل دانش پیچیده و سرمایه‌گذاری‌های مشترک بلندمدت را ممکن می‌سازند.
- یکپارچه‌سازی زنجیره تأمین (ستون چهارم): بُعد عمودی بوم‌سازگان را شکل می‌دهد و تضمین می‌کند که قابلیت‌ها در کل زنجیره ارزش به صورت هماهنگ توسعه یابند.

ب) لایه پیوندها^۲: این لایه شامل عناصر نرمی است که تعاملات درون لایه ساختاری را تسهیل و تقویت می‌کنند:

- روابط مبتنی بر اعتماد (ستون پنجم): به عنوان “روان‌کننده” تعاملات عمل کرده، هزینه‌های مبادله را کاهش داده و اشتراک‌گذاری دانش ضمنی را تسهیل می‌کند. اعتماد، پیش‌نیاز گذار از روابط سطحی به مشارکت‌های استراتژیک است.
- استراتژی‌های تعامل با ذینفعان (ستون ششم): پیوند بوم‌سازگان فنی-اقتصادی با بستر اجتماعی بزرگتر را برقرار کرده و مشروعیت و پایداری

1- Structural Layer
2- Relational Layer

آن را تضمین می‌کند.

این مؤلفه‌ها به صورت مجزا عمل نمی‌کنند، بلکه سیستمی درهم‌تنیده را تشکیل می‌دهند. به عنوان مثال، اعتماد (لایه پیونددهنده) پیش شرط شکل‌گیری مشارکت‌های استراتژیک مؤثر (لایه ساختاری) است. به همین ترتیب، همکاری موفق دانشگاه و صنعت (لایه ساختاری) می‌تواند به تقویت شبکه چندذینفعی (لایه ساختاری) و افزایش اعتماد بین بازیگران منجر شود. درک این روابط متقابل برای مدیریت و راهبری مؤثر بوم‌سازگان ضروری است.

در این چارچوب یکپارچه، می‌توان نقش بازیگران کلیدی "مدل مارپیچ سه‌گانه" (دولت، دانشگاه و صنعت) را که در مبانی نظری به آن اشاره شد، به شکلی شفاف‌تر ردیابی کرد. "صنعت" (شامل شرکت گیرنده، تأمین‌کنندگان و...) هسته اصلی "مشارکت‌های استراتژیک فناورانه" (بخشی از ستون دوم) و "توسعه و یکپارچه‌سازی زنجیره تأمین" (ستون سوم) را تشکیل می‌دهد. "دانشگاه" (و مؤسسات تحقیقاتی) به طور خاص در "همکاری دانشگاه و صنعت" (ستون دوم) نقش‌آفرینی می‌کند. "دولت" اما، برخلاف دو رکن دیگر، نقشی چندوجهی و نافذ در سراسر این معماری ایفا می‌کند. دولت می‌تواند به عنوان یک بازیگر کلیدی در "شبکه‌های چندذینفعی" (ستون اول) حضور داشته باشد، به عنوان "مشتری اصلی"^۱ یا "تأمین‌کننده مالی" پروژه‌های پرریسک به توسعه زنجیره تأمین (ستون سوم) جهت دهد. بنابراین، چارچوب شش‌وجهی، مدل مارپیچ سه‌گانه را نفی نمی‌کند، بلکه معماری و سازوکارهای عملیاتی مورد نیاز برای تعامل مؤثر این سه رکن را در بستر انتقال فناوری سامانه محصولات پیچیده فراهم می‌سازد.

نهایتاً، یکپارچگی و پویایی این معماری شش‌وجهی، نیازمند یک قابلیت مدیریتی سطح بالاتر است که در ادبیات از آن با عنوان **میان‌داری**^۲ یا **هم‌سازی بوم‌سازگان**^۳ یاد می‌شود (ثاناراج و پارخه^۴، ۲۰۰۶). این قابلیت،

1- Lead Customer

2- Orchestration

3- Ecosystem Orchestration

4- Dhanaraj & Parkhe



ستون هفتم این معماری نیست، بلکه قابلیت فراگیر^۱ و پویایی است که برای “ساختن”، “مدیریت” و “هم‌راستاسازی” این شش ستون و همچنین “مدیریت فعال تنش‌های درونی” (که در بخش بعد به آن پرداخته می‌شود) ضروری است.

ادبیات پژوهشی داخلی نیز بر اهمیت این قابلیت تأکید ورزیده است. ایفای نقش میانداری، نیازمند قابلیت‌های زیربنایی مشخصی چون “پردازش دانش” و “حفاظت دانش” است (مسگری، ذاکری و پیشوایی، ۱۴۰۰). میاندار، این قابلیت‌ها را در قالب نقش‌های سه‌گانه “معمار” (برای جذب اعضا و تعریف شبکه)، “محافظ” (برای حفظ ثبات و هویت‌سازی) و “هدایت‌گر” (برای مدیریت تحرک دانش) ایفا می‌کند (بنی‌حسینی، ذاکری و پیشوایی، ۱۴۰۲). در عمل، این فعالیت‌ها شامل “جذب اعضای کلیدی”، “مدیریت دانش” و “ایجاد زنجیره ارزش و همکاری” است (موحد، ذاکری و نورعلیزاده، ۱۴۰۲).

در این مدل، میاندار که می‌تواند یک شرکت پیشرو، یک نهاد دولتی هماهنگ‌کننده، یا حتی یک دانشگاه کارآفرین باشد، مسئولیت تسهیل شکل‌گیری شبکه‌های چندذینفعی (ستون اول)، شناسایی و پرورش مشارکتهای استراتژیک (ستون دوم) و مهم‌تر از همه، ایجاد و تزریق اعتماد (ستون چهارم) به بوم‌سازگان را بر عهده دارد. بنابراین، موفقیت معماری بوم‌سازگان، نه فقط در وجود این شش ستون، بلکه در کیفیت میانداری حاکم بر آن‌ها نهفته است که خود می‌تواند موضوع پژوهش‌های آتی باشد.

تحلیل تنش‌های درونی بوم‌سازگان همکاری

یافته‌های فرا-ترکیب نشان می‌دهد که معماری بوم‌سازگان همکاری، علی‌رغم منافع فراوان، محیطی ایستا و عاری از چالش نیست. بلکه با مجموعه‌ای از تنش‌ها و پارادوکس‌های ذاتی مواجه است که مدیریت هوشمندانه آن‌ها برای پایداری و موفقیت بوم‌سازگان، اهمیتی حیاتی دارد. درک عمیق‌تر این تنش‌ها، به مثابه نیروهای متضادی که پویایی بوم‌سازگان را

1- Overarching Capability

شکل می دهند، برای راهبران و بازیگران این عرصه ضروری است. تحلیل ما چهار تنش محوری را برجسته می سازد:

پارادوکس رقابت-همکاری^۱: شاید بارزترین تنش در بوم سازگان نوآوری، همزیستی رقابت و همکاری بین بازیگران باشد. در صنایع سامانه محصولات پیچیده، که نیازمند قابلیت های بسیار تخصصی و سرمایه گذاری های هنگفت هستند، شرکت ها به شدت به یکدیگر وابسته اند. تأمین کنندگان کلیدی، مؤسسات تحقیقاتی و حتی شرکت های رقیب ممکن است در پروژه های مختلف یا مراحل متفاوت یک پروژه، نقش های مکملی ایفا کنند (پاول^۲ و همکاران، ۱۹۹۶). به عنوان مثال، در توسعه یک هواپیمای جدید، شرکت های سازنده موتور که در بازار جهانی رقیب یکدیگرند، ممکن است مجبور به همکاری نزدیک با شرکت سازنده بدنه و تأمین کنندگان مشترک باشند (مثال مستنبط از تمرکز مقالات بر هوافضا). این وضعیت که از آن با عنوان "همکاری رقابتی"^۳ یاد می شود (براندنبرگر و نالباف^۴، ۱۹۹۶)، نیازمند مدیریت بسیار دقیقی است. سازمان ها باید مرزهای روشنی برای همکاری تعریف کنند، سازوکارهای قراردادی و مبتنی بر اعتمادی برای حفاظت از مالکیت فکری و جلوگیری از سرریز نامطلوب دانش رقابتی ایجاد نمایند و فرهنگی را ترویج دهند که در آن همکاری در حوزه های پیشارقابتی یا مکمل، امری پذیرفته شده باشد.

دوراهی گشودگی-حفاظت^۵: همکاری مؤثر، به ویژه در انتقال دانش ضمنی^۶، که برای سامانه محصولات پیچیده حیاتی است، مستلزم سطح بالایی از گشودگی، شفافیت و اشتراک گذاری اطلاعات بین شرکاست (نوناکا و تاکئوچی^۷، ۱۹۹۵). همان طور که شواهد نشان می دهد، شفافیت در اشتراک گذاری دانش، به ویژه اطلاعات تولیدی، برای موفقیت همکاری حیاتی است (بزیدنهوت و بین، ۲۰۲۲). با این حال، سازمان ها، به ویژه آن هایی که

1- Competition-Collaboration Paradox

2- Powell

3- Coopetition

4- Brandenburger & Nalebuff

5- Openness-Protection Dilemma

6- Tacit Knowledge

7- Nonaka & Takeuchi



دانش فنی پیشرفته‌تری دارند، به طور طبیعی نگران از دست دادن مزیت رقابتی خود از طریق سرریز دانش به شرکا یا رقبای بالقوه هستند. این دوراهی بین نیاز به اشتراک‌گذاری برای هم‌آفرینی ارزش و نیاز به حفاظت از دارایی‌های دانشی استراتژیک، یکی از چالش‌برانگیزترین جنبه‌های مدیریت بوم‌سازگان است. ایجاد تعادل در این زمینه نیازمند ترکیبی از سازوکارهای رسمی (مانند توافق‌نامه‌های محرمانگی دقیق و مدیریت پورتفولیوی مالکیت فکری) و سازوکارهای غیررسمی مبتنی بر **اعتماد متقابل** است. همان‌طور که یافته‌ها نشان می‌دهند، اعتماد می‌تواند تمایل به اشتراک‌گذاری دانش حساس را افزایش دهد، زیرا ریسک رفتار فرصت‌طلبانه توسط شریک را کاهش می‌دهد (ایوارسون و الوستام، ۲۰۰۵).

تنش ثبات-انعطاف‌پذیری شبکه^۱: روابط پایدار و بلندمدت در شبکه، بستر مناسبی برای شکل‌گیری اعتماد عمیق، سرمایه‌گذاری‌های مشترک در قابلیت‌های ویژه رابطه^۲ و یادگیری تعاملی مؤثر فراهم می‌کنند. مشارکت استراتژیک ۲۰ ساله بین لاکهید مارتین و کره نمونه‌ای از مزایای ثبات در روابط است (لی و یون، ۲۰۱۵). با این حال، پایداری بیش از حد شبکه می‌تواند منجر به “سکون ساختاری^۳” و “قفل‌شدگی^۴” شود (گربر^۵، ۱۹۹۳). در چنین شرایطی، بوم‌سازگان ممکن است نسبت به فناوری‌های نوظهور یا بازیگران جدید با ایده‌های بدیع، بسته عمل کند و توانایی انطباق با تغییرات محیطی را از دست بدهد. از سوی دیگر، انعطاف‌پذیری بیش از حد و تغییر مداوم شرکا، مانع از شکل‌گیری اعتماد عمیق و سرمایه‌گذاری‌های بلندمدت می‌شود. بنابراین، معماری بوم‌سازگان موفق باید بتواند بین حفظ روابط کلیدی و استراتژیک (هسته پایدار شبکه) و ایجاد سازوکارهایی برای ورود و خروج منعطف بازیگران در حاشیه شبکه (برای دسترسی به دانش جدید و انطباق با تغییرات) تعادل برقرار کند. این ممکن است از طریق ایجاد پروژه‌های مشترک

1- Network Stability-Flexibility Tension
2- Relationship-specific assets
3- Structural inertia
4- Lock-in
5- Grabber

کوتاه‌مدت‌تر در کنار مشارکت‌های بلندمدت یا استفاده از پلتفرم‌های بازتر برای همکاری امکان‌پذیر باشد.

چالش یکپارچگی محلی-جهانی^۱: بوم‌سازگان سامانه محصولات پیچیده به ندرت کاملاً محلی یا کاملاً جهانی هستند. آن‌ها اغلب نیازمند دسترسی به پیشرفته‌ترین دانش و فناوری‌های موجود در سطح جهانی هستند (مثلاً از طریق مشارکت با شرکت‌های پیشرو بین‌المللی یا جذب متخصصان خارجی). در عین حال، موفقیت در پیاده‌سازی و بهره‌برداری پایدار از این فناوری‌ها، مستلزم انطباق آن‌ها با شرایط، نیازها و قابلیت‌های محلی است (که به مفهوم “زمینه‌مندسازی فناوری^۲” اشاره دارد). همچنین، تعامل مؤثر با ذینفعان محلی و توسعه زنجیره تأمین بومی، برای پایداری بلندمدت بوم‌سازگان ضروری است (ونگ و همکاران، ۲۰۲۱). مدیریت این تعادل بین جذب بهترین‌های جهانی و تقویت ریشه‌های محلی، چالشی کلیدی است. بوم‌سازگان موفق، سازوکارهایی برای ایفای نقش “دروازه‌بانی^۳” و “ترجمه^۴” بین سطوح محلی و جهانی ایجاد می‌کنند (آلن و کوهن، ۱۹۶۹؛ تاشمن و کاتز^۵، ۱۹۸۰). این می‌تواند از طریق مؤسسات تحقیقاتی محلی با ارتباطات بین‌المللی قوی، شرکت‌های مشترک^۶ یا برنامه‌های هدفمند برای بومی‌سازی فناوری و توسعه قابلیت‌های محلی صورت پذیرد.

تحلیل این تنش‌ها نشان می‌دهد که “معماری بوم‌سازگان همکاری” یک ساختار ایستا نیست، بلکه فرآیندی پویا و مستلزم مدیریت مداوم تعارض‌ها و یافتن تعادل‌های ظریف بین اهداف و نیروهای متضاد است. قابلیت سازمان‌ها و نهادها در تشخیص به موقع این تنش‌ها و به‌کارگیری راهکارهای مناسب برای مدیریت آن‌ها، عامل مهمی در تعیین موفقیت نهایی انتقال فناوری سامانه

1- Local-Global Integration Challenge
2- Technology Contextualization
3- Wang
4- Gatekeeping
5- Translation
6- Tushman & Katz
7- Joint Ventures



محصولات پیچیده محسوب می‌شود. جدول ۴ این تنش‌های ذاتی و دلالت‌های مدیریتی آن‌ها را خلاصه می‌کند.

جدول ۴: تنش‌های ذاتی در بوم‌سازگان همکاری سامانه محصولات پیچیده و دلالت‌های مدیریتی

تنش / پارادوکس	شرح مختصر	دلالت‌های مدیریتی (چالش‌ها / رویکردها)
رقابت - همکاری	بازیگران همزمان همکار و رقیب هستند.	نیاز به مرزهای روشن همکاری، سازوکارهای حفاظت ^۱ ، توسعه فرهنگ همکاری رقابتی ^۲ .
گشودگی - حفاظت	نیاز به اشتراک دانش برای همکاری در مقابل نیاز به حفاظت از دانش فنی محوری و مزیت رقابتی.	ایجاد تعادل؛ نیاز به سازوکارهای قراردادی و مبتنی بر اعتماد پیچیده برای مدیریت دانش مرزی.
ثبات - انعطاف‌پذیری شبکه	روابط پایدار برای اعتماد ضروری است، اما می‌تواند منجر به قفل‌شدگی شود؛ انعطاف‌پذیری برای نوآوری لازم است.	نیاز به معماری شبکه‌ای که ضمن حفظ روابط کلیدی، امکان بازآرایی و ورود/خروج بازیگران را فراهم کند.
یکپارچگی محلی - جهانی	نیاز به دسترسی به دانش و بازارهای جهانی در کنار نیاز به تعامل با ذینفعان محلی و انطباق با شرایط بومی.	مدیریت تعادل؛ توسعه قابلیت‌های دوست‌وستانی ^۳ برای بهره‌گیری همزمان از منابع جهانی و تقویت ریشه‌های محلی.

تحلیل مقایسه‌ای و بافتاری: الگوهای متمایز در بسترها و صنایع مختلف

یافته‌های این فراترکیب نشان می‌دهد که اگرچه مضامین اصلی شناسایی شده در تمام پروژه‌های انتقال فناوری سامانه محصولات پیچیده حضور دارند، اما تحلیل تقاطعی میان ۳۰ مطالعه منتخب نشان می‌دهد که این معماری ایستا نیست. آرایش و اولویت‌بندی ستون‌ها بر اساس دو محور کلیدی تغییر می‌کند: الف) بافتار کلان (سطح توسعه‌یافتگی و نوع صنعت) و ب) الگوی حکمرانی خرد (بازیگر میانداری). در ادامه این دو لایه تحلیل تشریح شده‌اند.

الف) تأثیر بافتار کلان بر وزن‌دهی مؤلفه‌های معماری

تحلیل یافته‌ها نشان می‌دهد که یک نسخه واحد برای معماری وجود ندارد و وزن نسبی ستون‌ها بسته به مقتضیات محیطی تغییر می‌کند (جدول ۵).

1- IP: Ingress Protection

2- Coopetition

3- Ambidexterity



• **دوگانه اقتصادهای نوظهور و توسعه‌یافته:** در اقتصادهای نوظهور (مانند ایران، کنیا و چین)، چالش اصلی خلأهای نهادی و ضعف زنجیره تأمین است. مطالعاتی نظیر وانگ و همکاران (۲۰۲۱) و صفدری رنجبر و همکاران (۲۰۲۲) نشان می‌دهند که در این بسترها، بار اصلی معماری بر دوش شکل‌دهی شبکه (ستون ۱) و توسعه زنجیره تأمین (ستون ۴) است تا زیرساخت‌های اولیه ایجاد شود. در مقابل، در اقتصادهای توسعه‌یافته (مانند سوئد و آلمان)، تمرکز از ایجاد زیرساخت به تسهیل نوآوری در لبه دانش تغییر می‌کند و همکاری دانشگاه-صنعت (ستون ۳) و اعتماد (ستون ۵) اولویت می‌یابند (آمان^۱، ۲۰۲۲).

• **دوگانه صنعت دفاعی و زیرساختی:** در صنایع دفاعی/هوافضا که با ملاحظات امنیتی گره خورده‌اند، اعتماد (ستون ۵) و مشارکت استراتژیک (ستون ۲) متغیرهای حیاتی هستند (بزیدنهاوت و بین، ۲۰۲۲). اما در پروژه‌های زیرساختی و عمومی مانند راه‌آهن یا انرژی، کسب مجوز اجتماعی فعالیت اهمیت بیشتری دارد و لذا تعامل با ذینفعان (ستون ۶) به عامل تعیین‌کننده موفقیت یا شکست تبدیل می‌شود (وانگ، ۲۰۲۱).

جدول ۵: ماتریس اولویت‌بندی مؤلفه‌های معماری بر اساس بافتار محیطی

بافتار مطالعه	ستون‌های دارای اولویت	منطق حاکم بر معماری
اقتصادهای نوظهور	ستون ۱ (شبکه‌سازی) ستون ۴ (زنجیره تأمین)	معماری جبرانی: تمرکز بر پر کردن خلأهای ساختاری و ارتقای قابلیت‌های پایه.
اقتصادهای توسعه‌یافته	ستون ۳ (دانشگاه-صنعت) ستون ۵ (اعتماد)	معماری نوآوری: تمرکز بر تبادل دانش پیچیده در مرزهای تکنولوژی.
صنایع دفاعی/هوافضا	ستون ۵ (اعتماد) ستون ۲ (مشارکت استراتژیک)	معماری حفاظتی: اولویت‌دهی به امنیت دانش و روابط بلندمدت محرمانه.
صنایع عمومی/زیرساختی	ستون ۶ (تعامل با ذینفعان) ستون ۱ (شبکه‌سازی)	معماری مشروعیت‌بخش: تمرکز بر پذیرش اجتماعی و همسویی ذینفعان غیرفنی.



ب) تحلیل گونه‌شناسی الگوهای میانداری^۱

فراتر از بافتار محیطی، تحلیل عمیق‌تر مقالات نشان می‌دهد که ماهیت «میاندار» یا رهبر شبکه، تعیین‌کننده اصلی منطق حاکم بر بوم‌سازگان است. بر این اساس، سه الگوی متمایز شناسایی گردید (جدول ۶):

۱) الگوی دولت-میاندار^۲:

در پروژه‌هایی که دولت محرک اصلی است مانند توربین گاز در ایران یا مخابرات در کره جنوبی، هدف اصلی خلق بازار و جهش فناورانه است. چونگ و هوانگ (۲۰۰۷) و صفدری رنجبر و همکاران (۲۰۱۹) نشان می‌دهند که در این الگو، دولت با استفاده از ابزارهایی نظیر تجزیه محصول^۳ و تضمین خرید، به صورت دستوری شبکه را شکل می‌دهد. در اینجا، مکانیسم اعتماد از نوع نهادی است و ریسک اصلی، تبدیل شدن صنعت به مونتاژکاران وابسته در صورت قطع حمایت دولتی است.

۲) الگوی بنگاه-میاندار^۴:

زمانی که یک یکپارچه‌ساز سیستم رهبری را بر عهده دارد مانند شرکت ساب در پروژه گرپین یا خوشه‌های هوافضا در مراکش، منطق حاکم کارایی اقتصادی و رقابت‌پذیری است. امان (۲۰۲۲) و بنانی و همکاران (۲۰۲۵) نشان می‌دهند که در این الگو، میاندار برای کاهش هزینه‌های تحقیق و توسعه و اشتراک ریسک، به سمت مشارکتهای بین‌المللی حرکت می‌کند. در اینجا اعتماد بر مبنای «عملکرد فنی» و «شهرت» شکل می‌گیرد.

۳) الگوی کاربر-میاندار^۵:

در برخی سیستم‌های پیچیده مانند برخی سیستم‌های سازمانی خاص یا تجهیزات پزشکی خاص، فناوری در محل استفاده‌کننده نهایی تکامل می‌یابد.

1- Orchestration Typology
2- State-Led Orchestration
3- Product Decomposition
4- Firm-Led Orchestration
5- User-Led Orchestration

بارالدی^۱ (۲۰۰۹) و باک^۲ و همکاران (۲۰۱۱) استدلال می‌کنند که در این حالت، کاربر نهایی (مثلاً بیمارستان یا سازمان خریدار) نقش میاندار را ایفا می‌کند. چالش اصلی در این الگو، نه ساخت سخت‌افزار، بلکه «انطباق‌پذیری» و تغییر روتین‌های سازمانی است؛ لذا ستون‌های مربوط به تعاملات انسانی و اعتماد متقابل بیشترین وزن را دارند.

جدول ۶: گونه‌شناسی الگوهای معماری بوم‌سازگان بر اساس نوع بازیگر میاندار

الگوی میانداری	تمرکز استراتژیک	مکانیزم اصلی اعتماد
دولت-میاندار	جبران شکست بازار: ایجاد قابلیت‌ها از طریق سیاست‌های حمایتی و بازار تضمین‌شده.	اعتماد نهادی/الزامی: مبتنی بر قوانین، قراردادهای دولتی و مشوق‌های حاکمیتی.
بنگاه-میاندار	کارایی و نوآوری: کاهش هزینه و زمان از طریق تقسیم کار تخصصی در زنجیره ارزش جهانی.	اعتماد عملکردی: مبتنی بر شایستگی فنی، سابقه همکاری و استانداردهای کیفی.
کاربر-میاندار	بومی‌سازی و انطباق: هم‌راستاسازی فناوری پیچیده با فرآیندها و نیازهای عملیاتی کاربر.	اعتماد تعاملی: مبتنی بر ارتباطات نزدیک میان تیم فنی و کاربران نهایی.

نتیجه‌گیری و بحث

انتقال و جذب موفقیت‌آمیز سیستم‌ها و محصولات پیچیده (سامانه محصولات پیچیده)، یکی از چالش‌برانگیزترین و در عین حال راهبردی‌ترین اهداف پیش روی کشورها و سازمان‌ها در مسیر توسعه فناوریانه است. این پژوهش، با تمرکز بر بُعد حیاتی اما کمتر پرداخته‌شده «معماری بوم‌سازگان همکاری»، تلاشی بود برای پر کردن شکاف موجود در درک سازوکارهای بین‌سازمانی حاکم بر این فرآیند پیچیده. با بهره‌گیری از روش فرا-ترکیب کیفی و تحلیل عمیق ۳۰ مطالعه تجربی، این مقاله به سوال اصلی خود پاسخ داد و نشان داد که معماری یک بوم‌سازگان همکاری موفق برای انتقال فناوری سامانه محصولات پیچیده، ساختاری چندوجهی دارد که بر شش ستون اصلی استوار است: (۱) شکل‌دهی شبکه‌های چنددینامی به عنوان بستر تعاملات، (۲) مشارکت‌های

1- Baraldi
2- Bak



استراتژیک فناوریانه و دانشگاهی برای تبادل دانش عمیق، ۳) توسعه و یکپارچه‌سازی زنجیره تأمین برای ارتقای هماهنگ قابلیت‌ها، ۴) روابط مبتنی بر اعتماد به عنوان زیرساخت نرم و حیاتی، ۵) استراتژی‌های تعامل با ذینفعان محلی برای تضمین همسویی اجتماعی، و ۶) مدیریت فعال تنش‌های ذاتی مانند پارادوکس رقابت-همکاری و دوراهی گشودگی-حفاظت.

یافته‌های این پژوهش، فراتر از ارائه فهرستی از عوامل، بر ماهیت سیستمی و درهم‌تنیده این مؤلفه‌ها تأکید دارد. موفقیت در انتقال فناوری سامانه محصولات پیچیده، نه حاصل تمرکز بر یک یا دو مؤلفه، بلکه برآیند هم‌افزایی و هماهنگی کل معماری بوم‌سازگان است. این چارچوب شش‌وجهی، تصویری جامع‌تر از الزامات همکاری در پروژه‌های فناوریانه پیچیده ارائه می‌دهد و تأکید می‌کند که انتقال فناوری سامانه محصولات پیچیده، اساساً یک “دست‌آورد بوم‌سازگانی” است.

این پژوهش از چند منظر به غنای نظری ادبیات انتقال فناوری و مدیریت نوآوری کمک می‌کند. مهم‌ترین سهم نظری این مقاله، ارتقای سطح تحلیل غالب در مطالعات انتقال فناوری سامانه محصولات پیچیده، از سطح شرکت (قابلیت‌های درونی) و سطح کلان (نقش دولت)، به سطح میانی بوم‌سازگان است. این پژوهش نشان داد که بوم‌سازگان صرفاً یک مفهوم انتزاعی نیست، بلکه دارای “معماری” مشخصی با اجزا و روابط قابل شناسایی است که درک آن، کلید فهم چگونگی تبدیل قابلیت‌های فردی و سیاست‌های کلان به نتایج فناوریانه ملموس است. علاوه بر این، این مقاله با یکپارچه‌سازی چارچوب‌ها، نشان می‌دهد که چگونه نظریه‌هایی چون نظریه شبکه، مدل مارپیچ سه‌گانه و نظریه بوم‌سازگان نوآوری به صورت عملی در تحلیل این پدیده به هم پیوند می‌خورند. در نهایت، این تحلیل با برجسته‌سازی نقش زیرساخت نرم (شامل روابط مبتنی بر اعتماد و تعامل با ذینفعان)، بر اهمیت ابعاد اجتماعی و ارتباطی در کنار ابعاد فنی و اقتصادی تأکید می‌کند و نشان می‌دهد که موفقیت بوم‌سازگان، نیازمند سرمایه‌گذاری هدفمند در ایجاد و حفظ سرمایه اجتماعی است.

در پاسخ به چالش‌های کلیدی مطرح‌شده در بیان مسئله (نرخ بالای شکست پروژه‌ها و فقدان نگاه یکپارچه)، شبکه مضامین شناسایی شده راهکارهای عملی مشخصی را برای گذر از رویکردهای سنتی ارائه می‌دهد. نخست، برای غلبه بر نرخ شکست ناشی از تمرکز صرف بر ابعاد فنی، گذار از مدیریت داخلی به هم‌سازی بوم‌سازگان ضرورت دارد. مدیران سازمان‌های پیشرو باید قابلیت‌های خود را از مدیریت صرف منابع داخلی، به مهارت در شناسایی شرکا، تسهیل تعاملات و مدیریت تعارض‌ها ارتقا دهند؛ قابلیت‌هایی که در ادبیات داخلی نیز تحت عنوان میانداری و نقش‌های سه‌گانه آن (معمار، محافظ و هدایت‌گر) به تفصیل بررسی شده است (برای مثال: مسگری، ذاکری و پیشوایی، ۱۴۰۰؛ بنی‌حسینی، ذاکری و پیشوایی، ۱۴۰۲؛ موحد، ذاکری و نورعلیزاده، ۱۴۰۲).

این امر مستلزم آن است که اعتمادسازی به مثابه یک فعالیت استراتژیک نگریسته شود. ایجاد و حفظ اعتماد در بوم‌سازگان، نباید امری اتفاقی تلقی شود، بلکه نیازمند سرمایه‌گذاری زمانی و مالی مشخص، ایجاد سازوکارهای شفافیت و تعهد عملی به منافع مشترک است و باید به عنوان یک فعالیت مدیریتی صریح در برنامه‌ریزی پروژه‌ها گنجانده شود.

افزون بر این، یافته‌ها بر اهمیت مدیریت فعال ذینفعان اجتماعی و محلی^۱ تأکید دارد. موفقیت بلندمدت پروژه‌های زیرساختی سامانه محصولات پیچیده، در گرو کسب حمایت و همراهی جامعه محلی است (ونگ و همکاران، ۲۰۲۱). سازمان‌ها باید استراتژی‌های مشخصی برای تعامل، مشارکت و به اشتراک‌گذاری منافع با این گروه‌ها تدوین و اجرا کنند.

در نهایت، سیاست‌گذاران و نهادهای توسعه‌ای می‌توانند از چارچوب شش‌وجهی ارائه شده در این پژوهش، برای طراحی هدفمند معماری همکاری استفاده کنند. این چارچوب امکان ارزیابی وضعیت موجود بوم‌سازگان نوآوری و طراحی مداخلات هدفمند برای تقویت مؤلفه‌های ضعیف‌تر (مانند تسهیل همکاری دانشگاه و صنعت یا ایجاد پلتفرم‌هایی برای توسعه تأمین‌کنندگان) را

1- Societal Stakeholders (e.g., local communities, NGOs, and civil society)

فراهم می‌آورد.

محدودیت‌ها و پژوهش آتی

این پژوهش، علی‌رغم تلاش برای ارائه تحلیلی جامع، با محدودیت‌هایی روبرو است. اولاً، به عنوان یک فراترکیب، کیفیت یافته‌های آن به کیفیت و دامنه مطالعات اولیه محدود است. ثانیاً، تمرکز غالب مطالعات اولیه بر موارد موفق انتقال فناوری، ممکن است منجر به سوگیری شده و درک ما از عوامل شکست یا چالش‌های معماری بوم‌سازگان ناموفق را محدود کند.

از این رو، پژوهش‌های آتی می‌توانند در چند مسیر حرکت کنند. انجام مطالعات موردی تطبیقی که به طور مشخص معماری بوم‌سازگان همکاری را در موارد موفق و ناموفق انتقال فناوری سامانه محصولات پیچیده مقایسه کنند، می‌تواند بسیار راهگشا باشد. همچنین، تحلیل‌های کمی برای سنجش تأثیر هر یک از مؤلفه‌های شش‌گانه معماری بوم‌سازگان بر نتایج عملکردی انتقال فناوری (مانند سرعت، هزینه و سطح دستیابی به قابلیت‌ها) مورد نیاز است. افزون بر این، مطالعه عمیق‌تر نقش و مهارت‌های مورد نیاز برای میانداران در بوم‌سازگان سامانه محصولات پیچیده و تحلیل پویایی و تکامل معماری بوم‌سازگان همکاری در طول چرخه عمر انتقال فناوری، از دیگر زمینه‌های مستعد برای تحقیقات آتی هستند.

در نهایت، این پژوهش تأکید می‌کند که دستیابی به توانمندی در حوزه سیستم‌های محصولات پیچیده، مسیری دشوار اما دست‌یافتنی است که نیازمند فراتر رفتن از مرزهای سازمانی و ایجاد بوم‌سازگان همکاری پویا، منعطف و مبتنی بر اعتماد است. درک و بهبود "معماری" این بوم‌سازگان‌ها، گامی کلیدی در جهت تحقق اهداف توسعه فناورانه در این حوزه راهبردی خواهد بود.

تضاد منافع^۱

هیچگونه تضاد منافع توسط نویسندگان بیان نشده است.

1 Conflict of Interest

منابع

- بنی‌حسینی، علیرضا، ذاکری، امیر، و پیشوایی، میرسامان. (۱۴۰۲). واکاوی نقش میاندار تسهیل‌گر در شبکه ملی بهره‌وری ایران به منزله یک شبکه نوآوری. فصلنامه مدیریت توسعه فناوری، ۱۱(۱)، ۱۱۷-۱۵۳.
<https://doi.org/10.22104/JTDM.2024.6549.3238>
- مسگری، محمدعلی، ذاکری، امیر، و پیشوایی، میرسامان. (۱۴۰۰). ارائه مدلی به منظور ساختاردهی به قابلیت‌های میانداری شبکه نوآوری در صنعت خودروی برقی ایران. نشریه علمی مدیریت نوآوری، ۱۰(۱)، ۱۵۹-۱۳۳.
<https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.23225386.1399.9.4.1.5>
- موحد، علی، ذاکری، امیر، و نورعلیزاده، حمیدرضا. (۱۴۰۲). تحلیل نقش سرمایه‌گذاران خطرپذیر به عنوان میانداران شبکه‌های نوآوری. نشریه علمی مدیریت نوآوری، ۱۲(۲)، ۱۹۵-۲۳۲.
<https://doi.org/10.22034/imj.2024.375359.2672>
- Adner, R. (2006). Match your innovation strategy to your innovation ecosystem. *Harvard Business Review*, 84(4), 98-107.
- Adner, R. (2017). Ecosystem as structure: An actionable construct for strategy. *Journal of Management*, 43(1), 39-58. <https://doi.org/10.1177/0149206316678451>
- Adner, R., & Kapoor, R. (2010). Value creation in innovation ecosystems: How the structure of technological interdependence affects firm performance in new technology generations. *Strategic Management Journal*, 31(3), 306-333. <https://doi.org/10.1002/smj.821>
- Allen, T. J., & Cohen, S. I. (1969). Information flow in research and development laboratories. *Administrative Science Quarterly*, 14(1), 12-19. <https://doi.org/10.2307/2391357>
- Amann, D. (2022). Changing Path and Curbing Cost Escalation: Lessons Learnt from the Gripen Case. *Defence and Peace Economics*, 33(4), 421-437. <https://doi.org/10.1080/10242694.2020.1870310>
- Bak, K., Dobrow, M. J., & Hodgson, D. C. (2011). Factors affecting the implementation of complex and evolving technologies: multiple case study of intensity-modulated radiation therapy (IMRT) in Ontario, Canada. *BMC Health Services Research*, 11(1), 178. <https://doi.org/10.1186/1472-6963-11-178>
- 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(01), 19-45. <https://doi.org/10.1142/s1363919609002200>
- Bennani, F. Z., Metwalli, O., Dakkak, B., Dinar, B., & Benjouind, Z. (2025). Impact of Firm Linkages on Technology Transfer: Case of the Moroccan Aerospace Sector.



- International Journal of Engineering Trends and Technology, 73(2), 214-223. <https://doi.org/10.14445/22315381/IJETT-V73I2P118>
- Bezuidenhout, S., & Bean, W. L. (2022). A case study on inter-organisational technology transfer in the defence industry. *Journal of Global Operations and Strategic Sourcing*, 15(1), 48-78. <https://doi.org/10.1108/JGOSS-10-2020-0058>
- Blumer, H. (1954). *Symbolic interactionism: Perspective and method*. Prentice-Hall.
- Borgatti, S. P., & Foster, P. C. (2003). The network paradigm in organizational research: A review and typology. *Journal of Management*, 29(6), 991-1013. https://doi.org/10.1016/S0149-2063_03_00087-4
- Brandenburger, A. M., & Nalebuff, B. J. (1996). *Co-opetition*. Doubleday.
- Brusoni, S., Prencipe, A., & Pavitt, K. (2001). Knowledge Specialization, Organizational Coupling, and the Boundaries of the Firm: Why Do Firms Know More Than They Make? *Administrative Science Quarterly*, 46(4), 597-621. <https://doi.org/10.2307/3094825>
- Burt, R. S. (2004). Structural holes and good ideas. *American Journal of Sociology*, 110(2), 349-399. <https://doi.org/10.1086/421787>
- Chesbrough, H. W. (2003). *Open innovation: The new imperative for creating and profiting from technology*. Harvard Business School Press.
- Choung, J.-Y., & Hwang, H.-R. (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. <https://doi.org/10.1504/ijtld.2007.015404>
- Cohen, W. M., & Levinthal, D. A. (1990). Absorptive Capacity: A New Perspective on Learning and Innovation. *Administrative Science Quarterly*, 35(1), 128. <https://doi.org/10.2307/2393553>
- Conable, J. (2024). Innovation Transfer: Lessons from East Asian Technological Dynamism for Nigeria's Economic Development. *ScienceOpen*. <https://doi.org/10.14293/pr2199.000675.v1>
- Davies, A., & Hobday, M. (2005). *The Business of Projects: Managing Innovation in Complex Products and Systems* (1st ed.). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/cbo9780511493294>
- Dhanaraj, C., & Parkhe, A. (2006). Orchestrating Innovation Networks. *Academy of Management Review*, 31(3), 659-669. <https://doi.org/10.5465/amr.2006.21318923>
- Eggers, J. E., Hofman, E., Schiele, H., & Holschbach, E. (2017). Identifying the "Right" Supplier for Module Developments — A Cross-Industrial Case Analysis. *International Journal of Innovation Management*, 21(03), 1750026. <https://doi.org/10.1142/S1363919617500268>



- Eslami, M. H., & Lakemond, N. (2016). Internal Integration in Complex Collaborative Product Development Projects. *International Journal of Innovation Management*, 20(01), 1650008. <https://doi.org/10.1142/S1363919616500080>
- Etzkowitz, H., & Leydesdorff, L. (2000). The Triple Helix of University-Industry-Government Relations: A Laboratory for Knowledge-Based Economic Development. *EASST Review*, 14(1), 11-19.
- França, J. A. (2019). The Coordination of Complex Product Systems Projects: A Case Study of an R&D Multi-Party Alliance. *International Journal of Innovation Management*, 23(03), 1950024. <https://doi.org/10.1142/S1363919619500245>
- Galati, F., Bigliardi, B., Galati, R., & Petroni, G. (2021). Managing structural inter-organizational tensions in complex product systems projects: Lessons from the Metis case. *Journal of Business Research*, 129, 723-735. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2019.10.044>
- Grabher, G. (1993). The weakness of strong ties: The lock-in of regional development in the Ruhr area. In G. Grabher (Ed.), *The embedded firm: On the socioeconomics of industrial networks* (pp. 255-277). Routledge.
- Granovetter, M. S. (1973). The strength of weak ties. *American Journal of Sociology*, 78(6), 1360-1380. <https://doi.org/10.1086/225469>
- Gregersen, C. T. T. (2022). Local learning and capability building through technology transfer: experiences from the Lake Turkana Wind Power project in Kenya. *Innovation and Development*, 12(2), 209-230. <https://doi.org/10.1080/2157930X.2020.1858612>
- Gulati, R. (1998). Alliances and networks. *Strategic Management Journal*, 19(4), 293-317. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-0266\(199804\)19:4<293::AID-SMJ982>3.0.CO;2-M](https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-0266(199804)19:4<293::AID-SMJ982>3.0.CO;2-M)
- Hagedoorn, J. (2002). Inter-firm R&D partnerships: An overview of major trends and patterns since 1960. *Research Policy*, 31(4), 477-492. [https://doi.org/10.1016/S0048-7333\(01\)00120-2](https://doi.org/10.1016/S0048-7333(01)00120-2)
- Hagedoorn, J., Link, A. N., & Vonortas, N. S. (2000). Research partnerships. *Research Policy*, 29(4-5), 567-586. [https://doi.org/10.1016/S0048-7333\(99\)00090-6](https://doi.org/10.1016/S0048-7333(99)00090-6)
- Hobday, M. (1998). Product complexity, innovation and industrial organisation. *Research Policy*, 26(6), 689-710. [https://doi.org/10.1016/s0048-7333\(97\)00044-9](https://doi.org/10.1016/s0048-7333(97)00044-9)
- Hobday, M., Davies, A., & Prencipe, A. (2005). System integration: a core capability of modern corporation. *Industrial and Corporate Change*, 14(6), 1109-1143. <https://doi.org/10.1093/icc/dth080>
- Ivarsson, I., & Alvstam, C. G. (2005). The Effect of Spatial Proximity on Technology Transfer from TNCs to Local Suppliers in Developing Countries: The Case of AB Volvo in Asia and Latin America. *Economic Geography*, 81(1), 83-111. <https://doi.org/10.1111/j.1944-8287.2005.tb00256.x>



- Kiamehr, M., Hobday, M., & Hamed, M. (2015). Latecomer firm strategies in complex product systems (CoPS): The case of Iran's thermal electricity generation systems. *Research Policy*, 44(6), 1240-1251. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2015.02.005>
- Kim, B., Cho, Y., & Yang, M. G. (2022). Technology Acquisition Strategy: A Latecomer's Perspective on Integrating Component Suppliers With System Integrators. *IEEE Transactions on Engineering Management*, 69(6), 2572-2587. <https://doi.org/10.1109/TEM.2019.2947698>
- Krause, D. R., Handfield, R. B., & Tyler, B. B. (2007). The relationships between supplier development, commitment, social capital accumulation and performance improvement. *Journal of Operations Management*, 25(2), 528-545. <https://doi.org/10.1016/j.jom.2006.05.007>
- Lakemond, N., Holmberg, G., & Pettersson, A. (2024). Digital Transformation in Complex Systems. *IEEE Transactions on Engineering Management*, 71, 192-204. <https://doi.org/10.1109/TEM.2021.3118203>
- Lee, J. J., & Yoon, H. (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. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2015.03.007>
- Lin, Y., Qin, Y., & Xie, Z. (2021). Does foreign technology transfer spur domestic innovation? Evidence from the high-speed rail sector in China. *Journal of Comparative Economics*, 49(1), 212-229. <https://doi.org/10.1016/j.jce.2020.08.004>
- Magnusson, T., & Johansson, G. (2008). Managing internal technology transfer in complex product development. *European Journal of Innovation Management*, 11(3), 349-365. <https://doi.org/10.1108/14601060810889008>
- Majidpour, M. (2016). Technological catch-up in complex product systems. *Journal of Engineering and Technology Management*, 41, 92-105. <https://doi.org/10.1016/j.jengtecman.2016.07.003>
- Mazzucato, M. (2013). *The entrepreneurial state: Debunking public vs. private sector myths*. Anthem Press.
- Miguel, P. A. C., & Prieto, E. (2010). An analysis of transferring value-added activities within the context of modular design. *International Journal of Automotive Technology and Management*, 10(4), 378. <https://doi.org/10.1504/IJATM.2010.035647>
- Mohammadi, N., Heidary Dahooie, J., & Khajevand, M. (2023). A hybrid approach for identifying and prioritizing critical success factors in technology transfer projects (case study: diesel locomotive manufacturing). *Journal of Engineering, Design and Technology*, 21(5), 1389-1413. <https://doi.org/10.1108/JEDT-07-2021-0345>
- Moody, J. B., & Dodgson, M. (2006). Managing Complex Collaborative Projects: Lessons from the Development of a New Satellite. *The Journal of Technology Transfer*, 31(5), 567-588. <https://doi.org/10.1007/s10961-006-9059-y>



- Moore, J. F. (1993). Predators and prey: A new ecology of competition. *Harvard Business Review*, 71(3), 75-86.
- Nahapiet, J., & Ghoshal, S. (1998). Social capital, intellectual capital, and the organizational advantage. *Academy of Management Review*, 23(2), 242-266. <https://doi.org/10.5465/amr.1998.533225>
- Nonaka, I., & Takeuchi, H. (1995). *The knowledge-creating company: How Japanese companies create the dynamics of innovation*. Oxford University Press.
- Oshri, I., & Newell, S. (2005). Component sharing in complex products and systems: Challenges, solutions, and practical implications. *IEEE Transactions on Engineering Management*, 52(4), 509-521. <https://doi.org/10.1109/TEM.2005.857568>
- 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. <https://doi.org/10.1093/icc/dts014>
- Park, T.-Y., & Kim, J.-Y. (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. <https://doi.org/10.1080/19761597.2014.973166>
- Powell, W. W., Koput, K. W., & Smith-Doerr, L. (1996). Interorganizational collaboration and the locus of innovation: Networks of learning in biotechnology. *Administrative Science Quarterly*, 41(1), 116-145. <https://doi.org/10.2307/2393988>
- Ren, Y.-T., & Yeo, K.-T. (2006). Research challenges on complex product systems (CoPS) innovation. *Journal of the Chinese Institute of Industrial Engineers*, 23(6), 519-529. <https://doi.org/10.1080/10170660609509348>
- Roscoe, S., Ahmed, A., Lycett, M., & Janbaz, A. (2023). Transitioning additive manufacturing from rapid prototyping to high-volume production: A case study from the aerospace industry. *Journal of Engineering and Technology Management*, 67, 101725. <https://doi.org/10.1016/j.jengtecman.2023.101725>
- Safdari Ranjbar, M., Ghazinoori, S., & Manteghi, M. (2022). Evolution of Iran's gas turbine sectoral innovation system as a complex product system (CoPS). *African Journal of Science, Technology, Innovation and Development*, 14(4), 1102-1116. <https://doi.org/10.1080/20421338.2021.1936888>
- 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. <https://doi.org/10.1108/JSTPM-09-2018-0090>
- Sandelowski, M., & Barroso, J. (2007). *Handbook for synthesizing qualitative research*. Springer Publishing Company.
- Soltanzadeh, J., Rahmani, S., & Majidpour, M. (2024). Technological catch-up in the Iranian steel industry: Integrating regime-based and complex product systems

- approaches. Resources Policy, 89, 104601. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2023.104601>
- Teece, D. J. (2007). Explicating dynamic capabilities: The nature and microfoundations of (sustainable) enterprise performance. *Strategic Management Journal*, 28(13), 1319-1350. <https://doi.org/10.1002/smj.640>
- Tushman, M. L., & Katz, R. (1980). External communication and project performance: An investigation into the role of gatekeepers. *Management Science*, 26(11), 1071-1085. <https://doi.org/10.1287/mnsc.26.11.1071>
- Wang, J., Du, F., Wu, M., & Liu, W. (2021). Embedded technology transfer from an institution and culture nexus perspective: Experiences from the Mombasa-Nairobi Standard-Gauge Railway. *Journal of Geographical Sciences*, 31(5), 681-698. <https://doi.org/10.1007/s11442-021-1865-5>
- Yang, Z., Qi, L., Li, X., & Wang, T. (2022). How Does Successful Catch-Up Occur in Complex Products and Systems from the Innovation Ecosystem Perspective? A Case of China's High-Speed Railway. *Sustainability*, 14(13), 7930. <https://doi.org/10.3390/su14137930>
- Zaheer, A., McEvily, B., & Perrone, V. (1998). Does trust matter? Exploring the effects of interorganizational and interpersonal trust on performance. *Organization Science*, 9(2), 141-159. <https://doi.org/10.1287/orsc.9.2.141>

