

تعیین و اولویت‌بندی شاخص‌های مؤثر بر برون‌سپاری پروژه‌های تحقیق و

توسعه محصولات با سامانه‌های پیچیده (مورد مطالعه: سازمان صنایع هوایی)

حسین دهقانی پوده^۱

محسن چشم‌براه^۲

حسن ترابی*^۳

محمدحسین کریمی گوارشکی^۴

رضا حسنوی^۵

چکیده

توسعه محصولات با سامانه‌های پیچیده، نیازمند همکاری با تأمین‌کنندگان منابع برتر برون‌سازمانی بوده و برون‌سپاری راهبردی پروژه‌های تحقیق و توسعه این محصولات، از جمله راهکارهای کسب منابع موردنظر در زمینه تجهیزات، دانش، منابع انسانی و مالی است. در این پژوهش، پیرو مرور ادبیات موضوع و مصاحبه‌های اکتشافی، با نظرسنجی از ۳۵ نفر از خبرگان سازمان مورد مطالعه (صنایع هوایی) در قالب پرسشنامه دلفی فازی، ۲۱ شاخص مرتبط و مؤثر در زمینه برون‌سپاری این پروژه‌ها شناسایی شدند. با توجه به اثرگذاری متقابل شاخص‌ها، از روش دیمتال برای تعیین ارتباطات علی و معلولی بین آن‌ها استفاده شد و نتایج این ارتباطات، در اولویت‌بندی نهایی اهمیت شاخص‌ها با استفاده از فرایند تحلیل شبکه‌ای به کار رفت. نتایج رتبه‌بندی نشان می‌دهند که "کاهش هزینه"، "توانایی سازمان در حفاظت از نتایج و مالکیت معنوی پروژه" و "ساختار منعطف سازمان برای برون‌سپاری" به ترتیب حائز بیشترین تأثیر در تصمیم برای برون‌سپاری یا توسعه داخلی این محصولات است.

کلمات کلیدی:

محصولات با سامانه‌های پیچیده، برون‌سپاری، تأمین‌کننده، دیمتال، فرایند تحلیل شبکه‌ای.

۱. عضو هیئت‌علمی، دانشکده مدیریت، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، تهران.

۲. عضو هیئت‌علمی، دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، اصفهان.

۳. دانشجوی دکتری، مهندسی صنایع، دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، تهران.

* نویسنده عهده‌دار مکاتبات: h_torabi@alum.sharif.edu

۴. عضو هیئت‌علمی، دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، تهران.

۵. عضو هیئت‌علمی، دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، تهران.

۱- مقدمه

محصولات با سامانه‌های پیچیده (CoPS¹) دسته خاصی از محصولات هستند که تفاوت‌های زیادی با محصولات عادی و تولید انبوه دارند. از جمله خصوصیات این محصولات عبارت‌اند از: نیاز به دانش خاص مؤلفه‌های سازنده (زیرپلی و بکر^۲، ۲۰۰۸)، مؤلفه‌های شخصی‌سازی‌شده متعدد، متنوع و دارای ارتباط درونی (صفدری رنجبر و همکاران، ۲۰۱۶)، لزوم وجود شبکه همکاران در تولید (هابدی^۳، ۱۹۹۸؛ دیویس و بردی^۴، ۲۰۰۰؛ میلر و همکاران، ۲۰۰۵؛ هابدی و همکاران، ۲۰۰۵؛ ددهیر و همکاران، ۲۰۱۴)، نیاز به تجربه و منابع مالی کافی برای توسعه (نقی زاده و همکاران، ۲۰۱۶)، نظام قانون‌گذاری با یکپارچگی بالا (نقی زاده و همکاران، ۲۰۱۶) و تولید در قالب پروژه یا به صورت دسته‌های کوچک (رن و یئو، ۲۰۰۶). طبیعی است که فراهم نمودن تمامی منابع لازم برای تحقیق و توسعه در مورد چنین محصولاتی خارج از توان یک سازمان است. از سویی امروزه به دلیل وجود تغییرات مداوم و پیدایش فناوری‌های پیچیده و محصولات جدید، رقابت شدیدی برای دستیابی به فرصت‌ها شکل گرفته است؛ بنابراین ایجاد آمادگی برای ارائه واکنش سریع‌تر به‌منظور بهره‌مندی از فرصت‌ها، یکی از چالش‌های اساسی سازمان‌ها و شرکت‌ها است. این واقعیت در خصوص سازمان‌هایی که بر پایه دانش و فن‌آوری هستند؛ باعث شده است تا تحقیق و توسعه در این سازمان‌ها به یکی از عوامل اصلی برای دستیابی به فرصت‌ها و بقا در عرصه رقابت جهانی تبدیل شود (آپیا-آدو و همکاران^۵، ۲۰۱۶). حرکت از جامعه صنعتی به سوی جامعه اطلاعاتی، از اقتصاد ملی به سمت اقتصاد جهانی، از تمرکزگرایی به تمرکززدایی و نهایتاً از ساختار سلسله‌مراتبی به سوی نظام شبکه‌ای، از نشانه‌های آشکار تحولات اساسی در محیط امروز است؛ بنابراین، واحدهای تحقیق و توسعه در سازمان‌ها برای استفاده از فرصت‌ها چاره‌ای جز ایجاد ساختارهای منعطف و همچنین بهره‌مندی بیشتر از امکانات گسترده بیرون از سازمان، ندارند (فوجی و ماناگی^۶، ۲۰۱۶). بی‌شک پاسخگویی به این تحولات نیازمند راه‌حل‌ها و راه‌کارهای جدید است. یکی از این راه‌حل‌ها برون‌سپاری است که هر روز دامنه وسیع‌تری به خود می‌گیرد، به گونه‌ای که در سال‌های اخیر گرایش به برون‌سپاری تحقیق و توسعه از طرف سازمان‌ها مورد استقبال فراینده‌ای

-
- 1 . Complex Product Systems
 - 2 . Zirpoli and Becker
 - 3 . Hobday
 - 4 . David and Brady
 - 5 . Appiah-Adu et al.
 - 6 . Fujii and Managi

قرار گرفته است (سو و لیو^۱، ۲۰۱۳). از برون‌سپاری عموماً به‌عنوان انتقال فعالیت‌ها و فرایندهایی که قبلاً به‌طور داخلی انجام می‌شدند؛ به سازمان بیرونی یاد می‌شود و هیچ شکلی نیست که این مفهوم یکی از پایدارترین روندهای تجارت کنونی است. آنچه شاهد آن بوده‌ایم؛ انقلاب برون‌سپاری است که روش رقابت سازمان‌ها را در صنایع مختلف همچون اتومبیل‌سازی، هوافضا، مخابرات، کامپیوتر، داروسازی، مواد شیمیایی، مراقبت پزشکی، خدمات مالی، سیستم‌های انرژی و نرم‌افزار تغییر داده است (وروال^۲، ۲۰۱۷). در مورد برون‌سپاری محصولات با سامانه‌های پیچیده، پژوهش‌چندانی صورت نگرفته است. لذا ضرورت دارد با مطالعه‌ای بر ادبیات برون‌سپاری و محصولات با سامانه‌های پیچیده، عوامل مؤثر بر برون‌سپاری پروژه‌های تحقیق و توسعه این‌گونه محصولات و اهمیت و روابط بین آن‌ها مشخص شود.

۲- مبانی نظری و پیشینه تحقیق

۲-۱- برون‌سپاری

برون‌سپاری یک تصمیم تجاری آگاهانه و مبتنی بر تفکر برای انتقال کار داخلی به یک تأمین‌کننده خارجی است. اگر بخواهیم از نظر معنی برون‌سپاری را توضیح دهیم؛ این واژه به فراهم آوردن برخی کالاها یا خدمات موردنیاز یک تجارت یا سازمان تحت قراردادی با یک عرضه‌کننده بیرونی مربوط می‌شود (اسپینو رودریگز و همکاران، ۲۰۱۷). کاربرد برون‌سپاری ریشه در اقتصاد هزینه مبادله^۳ (TCE) (کواس^۴، ۱۹۳۷) و دوگانگی داخلی سازی و بیرونی سازی دارد. کواس بیان کرد که علت وجودی شرکت‌ها، توانایی سازمان‌دهی برخی فعالیت‌ها با هزینه‌ای کمتر از قیمت بازار بود (کواس، ۱۹۳۷). همچنین (ویلیامسون^۵، ۱۹۷۵) اظهار داشت که اگر استفاده از بازار منجر به هزینه‌های تراکنش کمتر از ساخت داخلی محصول منجر شود؛ بهتر است از بازار خریداری شده یا به‌عبارت‌دیگر قرارداد خارجی منعقد گردد. برون‌سپاری تنها یک راهبرد برای کاهش هزینه‌های ناشی از سازمان‌دهی سلسله مراتبی فعالیت‌ها نیست بلکه ابزاری برای تحصیل منابع، دانش و قابلیت‌های برتر از نهادهای خارجی است، به‌عبارت‌دیگر راهبردی در جستجوی منبع؛ بنابراین، برون‌سپاری می‌بایست در زمینه

1 . Hsu and Liou

2 . Verwaal

3 . Transaction Cost Economics

4 . Coase

5 . Williamson

نگرش منبع محور (RBV^۱) سازمان بررسی شود (بارنی^۲، ۱۹۹۱).

برون‌سپاری در گذر زمان از حالت سنتی (دهه ۱۹۸۰ تا اوایل دهه ۱۹۹۰) به حالتی راهبردی (اوایل دهه‌ی ۱۹۹۰ تا اوایل دهه‌ی ۲۰۰۰) و در نهایت حالت تبدیلی (از اوایل دهه ۲۰۰۰ به بعد) تکامل یافته است (هاتونن و اریکسون^۳، ۲۰۰۹). برخلاف نگرش‌های RBV و TCE، مفهوم جدید برون‌سپاری تبدیلی به‌طور مستقیم و پایه‌ای بر کاهش هزینه یا به دست آوردن منابعی که به‌طور داخلی در دسترس نیستند؛ دلالت ندارد، بلکه در اینجا تمرکز روی ساختارهای جدید سازمانی است. امروزه مسائلی چون افزایش فشارهای رقابتی، محدودیت منابع، پیچیدگی‌های فناوریانه، شتاب تحولات محیطی، عدم اطمینان به آینده، افزایش هزینه‌ها، بزرگ شدن بیش‌ازاندازه برخی سازمان‌ها به‌ویژه در بخش عمومی و نیز محدودیت‌های قانونی سبب شده است تا سازمان‌ها در الگوی مدیریتی خود تجدیدنظر کرده و برای دستیابی به مزیت‌های رقابتی در دنیای کنونی کسب‌وکار، به استراتژی‌های جدیدی روی آورند (کووروو- کازورا و همکاران، ۲۰۱۷). یکی از این استراتژی‌ها، تمرکز بر شایستگی‌های اصلی و برون‌سپاری انجام بسیاری از فعالیت‌ها به منابع خارج از سازمان است. بر این اساس، به‌منظور فراهم کردن امکان پاسخ‌گویی مؤثر، توأم با سطح خدمت مطلوب به مشتریان و توانمند شدن بنگاه‌ها در واکنش به تقاضاهای متنوع امروزی، استراتژی‌های برون‌سپاری به‌عنوان ابزاری کارآمد توسط بسیاری از سازمان‌های پیشرو به کار گرفته شده است (وروال، ۲۰۱۷؛ کاموریوو و بادن-فولر^۴، ۲۰۱۶). بدین ترتیب، سازمان‌ها فعالیت‌های محدود را برای انجام کار خود برمی‌گزینند و مابقی فعالیت‌های خود را به شبکه بزرگ تأمین‌کنندگان بیرون از سازمان واگذار خواهند کرد (کوتلارسکی و همکاران^۵، ۲۰۱۵). سازمان‌ها همکاری با دیگر سازمان‌ها را در تولید، تحقیق و توسعه نسبت به انجام تمام کارها توسط خود سازمان ترجیح می‌دهند. ایران نیز در مسیر پر نشیب و فراز توسعه‌یافتگی، اکنون در آستانه رخداد تحولاتی بزرگ، به‌ویژه در عرصه‌های اقتصادی، تجاری و صنعتی است و پیدایش شرایط جدیدی همچون بهبود کارایی و پاسخگویی و گسترش تعامل با اقتصاد بین‌الملل، کشور را به سمت آزادسازی اقتصادی، سازمان‌های دولتی با اندازه‌های عقلایی، توسعه شرکت‌های کوچک و متوسط در بخش خصوصی و حرکت در جهت سازمان‌های شبکه-محور سوق داده است. این امر حاکی از گسترش رو

- 1 . Resource based view
- 2 . Barney
- 3 . Hätonen and Eriksson
- 4 . Kamuriwo and Baden-Fuller
- 5 . Kotlarsky et al.

به افزایش برون‌سپاری در ایران، با هدف دستیابی به مدنیت جدید اقتصادی و صنعتی است

۲-۲- محصولات با سامانه‌های پیچیده

محصولات با سامانه‌های پیچیده، اقلام سرمایه‌ای با فناوری و ارزش بالا هستند. نمونه‌هایی از این سیستم‌ها عبارت‌اند از: هواپیماها، سیستم‌های مخابراتی، شبیه‌سازهای پرواز، قطارهای با سرعت بالا، کشتی‌ها، سیستم‌های کنترل ترافیک هوایی، سیستم‌های سلاح و سیستم‌های جابجایی بار. این محصولات، به‌عنوان اقلام منحصربه‌فرد^۱ یا دارای انباشته کم، برای مصرف‌کنندگان تجاری خاص عرضه می‌شوند (نقی زاده و همکاران، ۲۰۱۶؛ میلر و همکاران، ۱۹۹۵؛ صفدری رنجبر و همکاران، ۲۰۱۶). محصولات با سامانه‌های پیچیده نقش کلیدی در اشاعه فناوری‌های جدید، شکل‌گیری و توانمندسازی به‌منظور توسعه فناوریانه، صنعتی و اقتصادی در کشورهای توسعه‌یافته و در حال توسعه بازی می‌کنند (نوری، ۱۳۹۵). برای نوآوری و توسعه محصولات با سامانه‌های پیچیده، قابلیت‌های خاصی مورد نیاز است که عبارت‌اند از قابلیت‌های فناوریانه، آزمون، ساخت و تولید، یکپارچه‌سازی سامانه، شبکه‌سازی، تعامل و همکاری، برنامه‌ریزی و مدیریت پروژه‌های کلان، مدیریت دانش درون و برون‌سازمانی و بالاخره مدیریت بازار و تعامل با مشتری (قیدرخلجانی و همکاران، ۲۰۱۶). در مطالعه دیگری این قابلیت‌ها به‌عنوان عوامل حیاتی موفقیت نوآوری در محصولات با سامانه‌های پیچیده و با در نظر گرفتن پروژه بالگرد ملی سازمان صنایع هوایی به‌عنوان مورد مطالعاتی بررسی شد (حسینی و همکاران، ۲۰۱۶). محققینی که ادبیات این حوزه را توسعه داده‌اند؛ این محصولات را شاخه خاصی از محصولات صنعتی می‌دانند که متمایز از محصولات عادی با تولید انبوه مثل اتومبیل، نیمه‌هادی‌ها و لوازم برقی معمول هستند (هابدی^۲، ۱۹۹۸؛ ددهایر و همکاران^۳، ۲۰۱۴) و درصد قابل توجهی از سرمایه‌گذاری صنعتی یک کشور را می‌توانند به خود اختصاص دهند (بارلو^۴، ۲۰۰۰). برای مثال، مودی و داجسون^۵ (۲۰۰۶) بیان می‌کنند که ۱۱٪ از تولید ناخالص داخلی^۶ (GDP) یک کشور به محصولات با سامانه‌های پیچیده تعلق دارد. آکا و همکاران^۷ (۲۰۰۴) گزارش داده‌اند که سهم محصولات با سامانه‌های

1 . One-off

2 . Hobday

3 . Dedeheyir et al.

4 . Barlow

5 . Moody and Dodgson

6 . Gross domestic product

7 . Acha et al.

پیچیده از GDP انگلستان برای تولید و ساخت، در انتهای دهه ۹۰ میلادی ۱۹٪ بوده است. اما موضوع مهم‌تر این است که محصولات با سامانه‌های پیچیده اثر قابل توجهی بر دیگر دسته‌های محصول هم دارند. برای مثال دستگاه‌های مورد استفاده برای فرایندهای تولید محصولات انبوه اغلب تحت عنوان محصولات با سامانه‌های پیچیده دسته‌بندی می‌شوند و بنابراین، ستون پایه بسیاری از محصولات عادی به حساب می‌آیند (مودی و داجسون، ۲۰۰۶). سازمانی که قصد تحقیق و توسعه در مورد این محصولات را دارد؛ باید امکانات آزمون‌های محیطی^۱ و پایداری^۲ را داشته باشد. همکاران همچون شرکت‌های دانش‌بنیان فقط می‌توانند آزمون‌های عملکردی^۳ را انجام دهند. کاربرد این محصولات در بستری از یکپارچه‌سازی سامانه‌ها تجلی می‌یابد، فضایی که به‌مثابه دو روی یک سکه، شامل فعالیت‌های درون و بیرون سازمان می‌شود. تحقیقات نشان داده است که هر دو روی یکپارچه‌سازی سیستم‌ها ویژگی راهبردی بیشتری یافته‌اند و این یکپارچه، قابلیت اساسی برای مزیت رقابتی شرکت‌های اصلی همچون جنرال الکتریک، McDonnell، ABB، Dell، Ford، IBM، Siemens، Rolls-Royce و همکاران بوده است (پراهالاد و هامل^۴، ۱۹۹۰).

ادبیات این موضوع نشان می‌دهد که یکپارچه‌سازی سامانه‌ها، به‌سرعت در دهه ۱۹۴۰ و ۱۹۵۰ در حوزه نظامی گسترش یافت و بعداً به دیگر صنایع اقلام سرمایه‌ای و انبوه تسری یافت. با شروع از حیطه مهندسی (به‌عنوان قسمتی از شاخه گسترده‌تر مهندسی سامانه‌ها) و حرکت به سمت فعالیت راهبردی تجاری، یکپارچه‌سازی سامانه‌ها اهمیت فزاینده‌ای در سازمان‌دهی شبکه‌های تولید در داخل و مابین شرکت‌هایی با فناوری بالا یافته است. در بیان جزئی‌تر، در قالب قابلیت سازمان، یکپارچه‌سازی سامانه‌ها، به روشی مربوط می‌شود که در آن شرکت‌ها و دیگر عوامل، مؤلفه‌ها، زیرسامانه‌ها، نرم‌افزار، مهارت‌ها، دانش، مهندسی، مدیران و تکنسین‌ها را برای تولید محصولی در رقابت با دیگر عرضه‌کنندگان، جمع می‌کنند. محصولات با سامانه‌های پیچیده، با محصولات عادی که به‌صورت انبوه تولید می‌شوند؛ تفاوت‌هایی دارند که در جدول ۱ به آن‌ها اشاره می‌شود.

1 . environmental

2 . reliability

3 . functional

4 . Prahalad and Hamel

جدول ۱ - مقایسه محصولات با سامانه‌های پیچیده و محصولات عادی (هابدی، ۱۹۹۸)

محصولات دارای سیستم تولید انبوه	محصولات با سامانه‌های پیچیده	
<ul style="list-style-type: none"> • هزینه پایین به ازای تولید یک واحد • دوره عمر محصول کوتاه • ورودی‌های دانشی و مهارتی محدود • کالاهای مصرفی و پایین‌دستی • واسط بین مؤلفه‌ها دارای معماری ساده 	<ul style="list-style-type: none"> • هزینه بالا به ازای تولید یک واحد • دوره عمر محصول طولانی (چند دهه) • ورودی‌های دانشی و مهارتی متنوع • کالاهای سرمایه‌ای و بالادستی • محصول و واسط^۱ بین مؤلفه‌ها دارای ساختار سلسله مراتبی و نظام‌مند 	ویژگی‌های محصول
<ul style="list-style-type: none"> • تولید در حجم بالا / دسته‌های بزرگ 	<ul style="list-style-type: none"> • سیستم تولیدی پروژه‌ای / دسته‌ای کوچک 	ویژگی‌های سیستم تولید
<ul style="list-style-type: none"> • تولیدکننده و تأمین‌کننده محور^۳ • نوآوری مبتنی بر دانش تعبیه‌شده در ابزارها و روش‌ها 	<ul style="list-style-type: none"> • مشتری و کاربر محور^۲ • نوآوری مبتنی بر دانش و تجربه تعبیه‌شده نزد افراد 	فرآیند نوآوری
<ul style="list-style-type: none"> • تمرکز بر اقتصاد مقیاس و کمینه‌سازی هزینه • مکانیستیک • حجم تولید به‌عنوان شایستگی کلیدی • تمرکز بر یک بنگاه 	<ul style="list-style-type: none"> • تمرکز بر طراحی و توسعه محصول • ارگانیک • یکپارچه‌سازی سیستم به‌عنوان شایستگی کلیدی • مدیریت اتحاد‌های چند بنگاهی در پروژه‌های جاری 	راهبردهای رقابتی
<ul style="list-style-type: none"> • یک بنگاه به‌عنوان تولیدکننده انبوه • اتحاد‌ها معمولاً برای تحقیق و توسعه یا تبادل دارایی‌ها 	<ul style="list-style-type: none"> • اتحاد میان چند بنگاه بر اساس پروژه • اتحاد‌های موقت بین چند بنگاه برای نوآوری و تولید 	هماهنگی و تکامل صنعتی
<ul style="list-style-type: none"> • تعداد بالای مبادلات در حجم کم • سازوکارهای بازار مشخص • قیمت‌گذاری بر اساس بازار • رقابت شدید 	<ul style="list-style-type: none"> • مبادلات در تعداد کم ولی با ارزش بالا • بازار سیاسی، قانونی و تحت کنترل • قیمت‌گذاری بر اساس مذاکره • رقابت نسبی 	ویژگی‌های بازار

1 . Interface

2 . User-push

3 . Supplier driven

قابلیت‌های یکپارچه‌سازی سامانه‌ها، ارتباط تنگاتنگی با تصمیمات ساخت داخلی، برون‌سپاری یا مشارکت در ساخت و رقابت دارد. واحد مطالعاتی ما در این پژوهش، پروژه‌های تحقیق و توسعه محصولات با سامانه‌های پیچیده در سازمان صنایع هوایی هستند. از آنجاکه توسعه این محصولات با توجه به ویژگی‌های خاص آن‌ها، خارج از توان فنی و مدیریتی یک سازمان است؛ همکاری در برون‌سپاری، یک نیاز حیاتی برای تداوم تولید این محصولات بوده و شناسایی و اولویت‌بندی شاخص‌های مؤثر در زمینه برون‌سپاری این محصولات به‌عنوان یک شکاف تحقیقاتی مطرح است.

بر اساس مرور ادبیات و مصاحبه‌های اکتشافی، عوامل مؤثر بر برون‌سپاری پروژه‌های تحقیق و توسعه محصولات با سامانه‌های پیچیده در جدول ۲ ارائه شده است. این عوامل به‌صورت پرسشنامه و در قالب طیف لیکرت جهت تأیید به قضاوت خبرگان موضوع در سازمان گذاشته شد.

جدول ۲- عوامل مؤثر بر برون‌سپاری پروژه‌های تحقیق و توسعه محصولات با سامانه‌های پیچیده

ردیف	شاخص‌ها	منابع	نماد
۱	خاص بودن ^۱ تجهیزات مورد نیاز در پروژه	بیوجنسی و همکاران ^۲ (۲۰۱۵)	C ₁
۲	تمایل به کوچک‌سازی سازمان	ناکامورا و اوداجیری ^۳ ، ۲۰۰۵؛ ویگلرز و کاسیمان ^۴ ، ۱۹۹۹؛ چون و مون ^۵ ، ۲۰۱۲	C ₂
۳	ساختار منعطف سازمان برای برون‌سپاری	خبرگان	C ₃
۴	کافی نبودن توان فنی سازمان در پروژه (عدم اطمینان فناورانه)	هابدی، ۱۹۹۸؛ گوناوان و همکاران ^۶ ، ۲۰۰۲؛ اولاسون ^۷ ، ۲۰۰۹؛ مودی و داجسون، ۲۰۰۶؛ ددهایر و همکاران، ۲۰۱۴؛ نقی زاده و همکاران، ۲۰۱۶؛ منطقی و همکاران، ۲۰۱۶؛ ناکامورا و اوداجیری، ۲۰۰۵؛ کلانتون و استانکو ^۸ ، ۲۰۰۷؛ اولست ^۹ ، ۱۹۹۶	C ₄

- 1 . Asset Specificity
- 2 . Beaugency et al.
- 3 . Nakamura and Odagiri
- 4 . Veugelers and Cassiman
- 5 . Chun and Mun
- 6 . Gunawan et al.
- 7 . Olausson
- 8 . Calantone and Stanko
- 9 . Ulset

ردیف	شاخص‌ها	منابع	نماد
۵	تنوع و تعداد زیاد ماژولها و قطعات همراه با شمار پایین محصولات محصول پیچیده	هابدی، ۱۹۹۸؛ بکر و زیرپولی، ۲۰۱۷؛ گوناوان و همکاران، ۲۰۰۲؛ مودی و داجسون، ۲۰۰۶؛ اولاسون، ۲۰۰۹؛ ددهایر و همکاران، ۲۰۱۴؛ منطقی و همکاران، ۲۰۱۶	C ₅
۶	افزایش کیفیت	والکر ^{۱۰} ، ۱۹۹۸؛ هولکومب و هیت ^{۱۱} ، ۲۰۰۷؛ مک ایور ^{۱۲} ، ۲۰۰۸؛ مک ایور، ۲۰۰۹؛ کومار و همکاران ^{۱۳} ، ۲۰۱۰؛ مک ایور، ۲۰۱۰؛ مک ایور، ۲۰۱۱	C ₆
۷	ایجاد اتحاد راهبردی با تأمین‌کننده برای ارتقای محصول	اسپوزیتو ^{۱۴} ، ۲۰۰۴؛ والکر، ۱۹۹۸؛ هولکومب و هیت، ۲۰۰۷؛ مک ایور، ۲۰۰۸؛ مک ایور، ۲۰۰۹؛ مک ایور، ۲۰۱۰؛ کومار و همکاران، ۲۰۱۰	C ₇
۸	قابلیت ایجاد مزیت رقابتی برای سازمان از طریق انجام پروژه	استینزما و کورلی ^{۱۵} ، ۲۰۰۱؛ باردهان ^{۱۶} ، ۲۰۰۶؛ نارولا ^{۱۷} ، ۲۰۰۱	C ₈
۹	ریسک منابع مالی منظم	خبرگان	C ₉
۱۰	دسترسی (کافی) سازمان به منابع تخصصی و برتر تأمین‌کننده	استینزما و کورلی، ۲۰۰۰؛ لاو و روپر ^{۱۸} ، ۲۰۰۵	C ₁₀
۱۱	کاهش زمان توسعه محصول	والکر، ۱۹۹۸؛ هولکومب و هیت، ۲۰۰۷؛ مک ایور، ۲۰۰۸؛ مک ایور، ۲۰۰۹؛ کومار و همکاران، ۲۰۱۰؛ بکر و زیرپولی، ۲۰۱۷	C ₁₁
۱۲	ریسک درز اطلاعات اساسی سازمان	خبرگان	C ₁₂

- 10 . Walker
- 11 . Holcomb and Hitt
- 12 . McIvor
- 13 . Kumar et al.
- 14 . Esposito
- 15 . Steensma and Corley
- 16 . Bardhan
- 17 . Narula
- 18 . Love and Roper

ردیف	شاخص‌ها	منابع	نماد
۱۳	نامشخص بودن و دشواری پیش‌بینی تقاضای محصول پروژه (عدم اطمینان در بازار)	اودرش و همکاران ^{۱۹} ، ۱۹۹۶؛ لائو و روپر، ۲۰۰۵	C ₁₃
۱۴	کاهش هزینه	کالاتون و استانکو، ۲۰۰۷؛ ویوگلرز و کاسیمان، ۱۹۹۹؛ اودرش و همکاران، ۱۹۹۶؛ جه و هو ^{۲۰} ، ۲۰۰۸	C ₁₄
۱۵	وجود تأمین‌کنندگان قابل اطمینان	استینزما و کورلی، ۲۰۰۰؛ پیزانو ^{۲۱} ، ۱۹۹۰؛ جه و هو، ۲۰۰۸	C ₁₅
۱۶	قابلیت کارفرمایی سازمان در برون‌سپاری	خبرگان	C ₁₆
۱۷	یادگیری از تأمین‌کننده	جه و هو، ۲۰۰۸؛ چون و مون، ۲۰۱۲	C ₁₇
۱۸	ریسک سیاسی	خبرگان	C ₁₈
۱۹	توانمندی سازمان در حفاظت از نتایج و مالکیت معنوی پروژه R&D	گوروچورن و هانلی ^{۲۲} ، ۲۰۰۷؛ ناکامورا و اوداجیری، ۲۰۰۵؛ ویوگلرز و کاسیمان، ۱۹۹۹؛ مارتینز-نویا و گارسیا-کانال ^{۲۳} ، ۲۰۱۱؛ درشلر و ناتر ^{۲۴} ، ۲۰۱۲	C ₁₉
۲۰	اعتقاد مدیران سازمان به برون‌سپاری و قابلیت آنان در پیاده‌سازی آن	خبرگان	C ₂₀
۲۱	پیمان‌های (ماژولار) ^{۲۵} بودن محصول و وجود استاندارد برای هر مرحله از تولید	پیزانو و تیسسه ^{۲۶} ، ۲۰۰۷	C ₂₁
۲۲	یادگیری با تمرکز بر انجام پروژه در خود سازمان	بکر و زیرپولی، ۲۰۱۷	C ₂₂
۲۳	توانمندی سازمان در مدیریت ارتباط با تأمین‌کنندگان (SRM ²⁷)	خبرگان	C ₂₃

19 . Audretsch et al.

20 . Ge and Hu

21 . Pisano

22 . Gooroochurn and Hanley

23 . Martínez-Noya and García-Canal

24 . Drechsler and Natter

25 . Modularity

26 . Pisano and Teece

27 . Supplier relationship management

ردیف	شاخص‌ها	منابع	نماد
۲۴	توانمندی سازمان در یکپارچه‌سازی سامانه (شامل تسلط بر ابزارهای هماهنگی ^{۲۸} ، مدیریت ^{۲۹} و دانش مربوط به مؤلفه‌های سامانه)	داویسو برادی ^{۳۰} ، ۲۰۰۰؛ پیزانو تیسسه، ۲۰۰۷؛ بکر و زیرپولی، ۲۰۱۷	C ₂₄
۲۵	چرخه عمر فناوری	کاپور ^{۳۱} ، ۲۰۱۴	C ₂₅

مورد مطالعاتی این مقاله پروژه‌های سازمان صنایع هوایی است. گرچه بیان جزئیات مربوط به این سازمان با محدودیت محرمانگی روبروست اما در مجموع می‌توان این سازمان را از پیشروترین سازمان‌هایی در کشور دانست که با تحقیق و توسعه، تولید و نگهداری محصولات پیچیده‌ای چون هواپیما و بالگرد سروکار دارد. این سازمان دارای ۵ زیرمجموعه (صنعت) دربرگیرنده صنایع هواپیمایی ایران^۲ (فعال در زمینه تعمیرات اساسی بیش از ۱۹ نوع هواپیما، ۱۸ نوع موتور هوایی و ۹ نوع بالگرد، ساخت موتورهای جت، انواع قطعات یدکی پرنده‌های مختلف، آشنیانه‌های پهن‌پیکر و موتورهای توربینی)، شرکت پشتیبانی و نوسازی بالگردهای ایران^۳ (بزرگ‌ترین پشتیبان تعمیرات سنگین ناوگان بالگردهای کشور و دارای شعبات گوناگون ساخت بالگرد، جعبه سیاه و سیستم شناور)، شرکت صنایع هواپیماسازی ایران^۴ (سازنده هواپیمای جت ملخ‌دار ایران ۱۴۰ به ظرفیت ۵۲ نفر با برد بیش از ۲۰۰۰ کیلومتر و پهباد ابابیل، دارای سیستم‌های پیشرفته قاب و نگهدارنده مخصوص ساخت بدنه هواپیما، دفتر طراحی، تعمیر و ساخت هوا ناوها)، صنایع قدس (فعال در طراحی، ساخت و ارائه خدمات گسترده پس از فروش انواع پهباد و پرنده‌های بدون سرنشین، تولید و بهسازی انواع ملخ، چترهای نجات و فرود خودکار و غیر خودکار، طراحی و ساخت ایستگاه‌های کنترل زمینی، سیستم‌های الکترونیک پروازی، تصویربرداری هوایی، هدف‌یابی، ردگیری و رهایی اپتیکی و اویونیک) و پژوهش‌سکده سازمان صنایع هوایی (پژوهش در زمینه فناوری محصولات هوایی، طراحی و ساخت انواع هواگردهای سرنشین‌دار و بدون سرنشین، زیرسیستم‌ها و ابزارآلات، ارائه خدمات آزمون‌های آئرودینامیکی، سازه‌ای و سیستم‌ها

28 . coordination

29 . governance

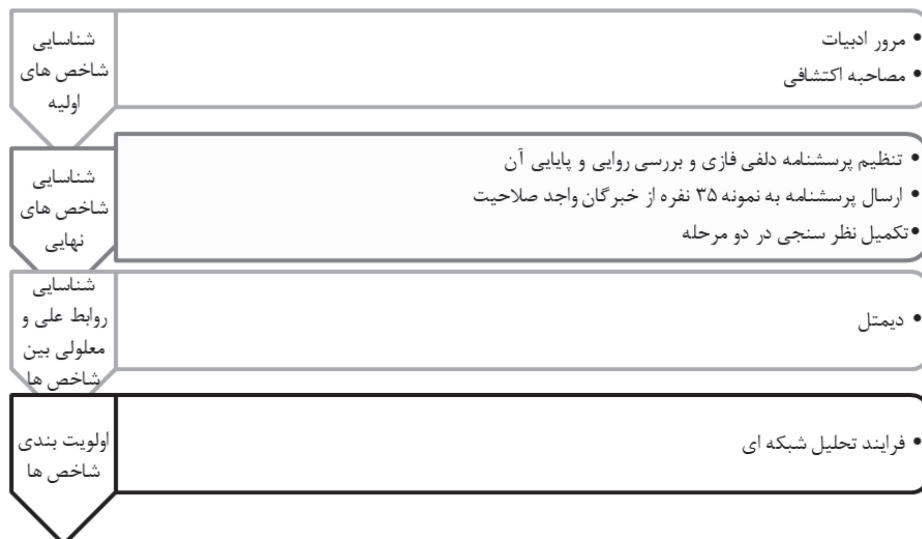
30 . Davies and Brady

31 . Kapoor

با بهره‌گیری از آزمایشگاه‌های معتبر و تونل باد ملی، مستندسازی و استانداردسازی محصولات هوایی، برگزاری دوره‌های آموزشی کوتاه‌مدت و بلندمدت، توسعه و ارتقاء دفاتر طراحی و آزمایشگاه‌ها در حوزه صنعت هوایی) است.^۱

۳- روش تحقیق

پژوهش حاضر از نظر هدف، توصیفی، از لحاظ استفاده، کاربردی، از جهت زمان، مورد مطالعاتی مقطعی و از دیدگاه رویکرد، قیاسی است و در مجموع پژوهشی کمی با روش گردآوری داده پیمایشی است. مراحل انجام پژوهش مطابق شکل ۱ است. ابتدا با مرور ادبیات و مصاحبه‌های اکتشافی، شاخص‌های اولیه شناسایی شدند. در مرحله بعد برای دستیابی به شاخص‌های نهایی که با مورد مطالعاتی موضوعیت دارند؛ از روش دلفی فازی در قالب پرسشنامه بهره گرفته شد و درعین حال روایی و پایایی پرسشنامه هم بررسی شد. پس از تعیین شاخص‌های نهایی، جهت مشخص کردن روابط علی و معلولی بین شاخص‌ها، از دیمتل^۲ (DEMATEL) استفاده شد و در نهایت با توجه به تأثیرگذاری عوامل روی یکدیگر، برای رتبه‌بندی شاخص‌ها، روش تحلیل شبکه‌ای^۳ (ANP) به کار رفت.



شکل ۱- الگوریتم اجرای پژوهش

۱. "سازمان صنایع هوایی نیروهای مسلح- وزارت دفاع. (۱۳۹۶). www.defanews.ir/sug/. تاریخ دسترسی: دی‌ماه ۱۳۹۶.

۲. Decision-Making Trial and Evaluation Laboratory

۳. Analytical Network Process

۳-۱- جامعه و نمونه مورد بررسی

از آنجاکه تبیین عوامل مؤثر بر برون‌سپاری پروژه‌های تحقیق و توسعه محصولات با سامانه‌های پیچیده دشوار است و ضمناً تجربه چشمگیری نیز در این زمینه در سازمان مربوطه وجود ندارد؛ ماهیت مسئله و حل آن به‌گونه‌ای است که حصول به دستاوردهای عینی، مستلزم همفکری و همکاری خبرگان است. واحد تحلیل این پژوهش، پروژه‌های تحقیق و توسعه سازمان صنایع هوایی است. با مرور ادبیات همراه با مصاحبه‌ی اکتشافی با ۱۸ نفر از خبرگان سازمان که به‌صورت غیر تصادفی و قضاوتی، انتخاب شدند؛ ۲۵ شاخص به‌عنوان عوامل مؤثر در برون‌سپاری پروژه‌های تحقیق و توسعه محصولات با سامانه‌های پیچیده احصا شدند. چارچوب نمونه‌گیری شامل افراد خبره و مسلط بر پروژه‌ها در صنعت‌های مختلف سازمان هستند که کل تعداد آن‌ها ۳۸ نفر است. با استفاده از فرمول کوکران، حجم نمونه باید ۳۵ باشد. با انتخاب تصادفی این افراد به‌صورت "طبقه‌ای متناسب" (نیومن، ۲۰۱۰) به‌گونه‌ای که نمونه هر صنعت (طبقه) متناسب با کل تعداد اعضای طبقه باشد؛ پرسشنامه‌ها در اختیار آنان قرار گرفت. ویژگی‌های عمومی خبرگان جهت مصاحبه اکتشافی و نظرسنجی، به‌صورت زیر بوده است:

- دارای مدرک تحصیلی حداقل کارشناسی در زمینه مدیریت فناوری یا رشته‌های فنی مرتبط با طراحی و ساخت محصولات با سامانه‌های پیچیده (مثل مهندسی هوافضا یا مهندسی برق).
- دارای حداقل ده سال سابقه کاری در حوزه تحقیق و توسعه در صنعت هوایی کشور.
- حداقل ۵ سال سابقه مدیریت پروژه‌های تحقیق و توسعه در صنعت هوایی کشور.

۳-۲- روش و ابزار گردآوری داده‌ها

بنا به ابهام در مفاهیم کاربردی و از آنجاکه پاسخ‌ها بر اساس متغیرهای زبانی و در فضایی کیفی و غیر متقن ارائه می‌شوند؛ طیف لیکرت مورد استفاده در پرسشنامه بر اساس روش دلفی فازی مورد بررسی و تحلیل قرار گرفت (جدول ۳). با نظرسنجی از ۱۰ نفر از اساتید مسلط بر موضوع پژوهش و روش تحقیق، روایی محتوای پرسشنامه بررسی شد و شاخص‌های نامرتب و مبهم کنار گذاشته شدند. همچنین جهت بررسی پایایی پرسشنامه، آلفای کرونباخ محاسبه و با مقدار ۰/۸۶ مورد تأیید واقع گردید. از ۳۵ پرسشنامه توزیع شده، ۲۴ مورد به‌صورت کامل تکمیل شده و تحویل گرفته شد. با استفاده از روش دلفی فازی و طی دو مرحله، ۱۵ شاخص به‌عنوان عوامل نهایی انتخاب شدند. شاخص‌هایی که اختلاف میانگین فازی زدایی شده آن‌ها (با استفاده از رابطه ۱) در مرحله اول و دوم

بیشتر از حد آستانه (۰,۱) شد؛ کنار گذاشته شدند و بقیه شاخص‌ها به‌عنوان شاخص نهایی مورد استفاده قرار گرفت. معیار انتخاب حد آستانه در منبع (بوجادزیف و بوجادزیف، ۱۳۸۱) بر مبنای "نزدیکی معقول"^۱ تعریف شده است که خود مفهومی فازی است و می‌تواند بر اساس دیدگاه مدیریتی سازمان تعیین شود اما کمترین مقدار آن ۰,۱ است. در این پژوهش جهت حفظ حساسیت معیار انتخاب، کمترین مقدار انتخاب شد تا شاخص‌هایی با بیشترین تناسب برای بررسی در ادامه پژوهش باقی بمانند. البته می‌توان مقادیر بیشتر را نیز انتخاب کرد ولی در این صورت از حساسیت معیار کاسته شده و شاخص‌هایی با موضوعیت کمتر نیز باقی خواهند ماند.

جدول ۳- اعداد فازی مثلثی معادل متغیرهای کلامی (بوجادزیف و بوجادزیف، ۱۳۸۱)

متغیرهای کلامی در مورد تأثیر شاخص‌ها	عدد فازی مثلثی
خیلی زیاد	(۱ و ۱ و ۰/۷۵)
زیاد	(۱ و ۰/۷۵ و ۰/۵)
متوسط	(۰/۷۵ و ۰/۵ و ۰/۲۵)
کم	(۰/۵ و ۰/۲۵ و ۰)
خیلی کم	(۰/۲۵ و ۰ و ۰)

$$s(Am_{r_1}, Am_{r_2}) = \left[\frac{1}{3} [(am_{r_1} + am_{r_2} + am_{r_3}) - (am_{r_1} + am_{r_2} + am_{r_3})] \right] \quad (1)$$

علاوه بر این برای یافتن ارتباطات شفاف و متقابل بین شاخص‌ها از تکنیک دیمتل استفاده شد تا خبرگان با تسلط بیشتر به بیان نظرات خود در رابطه با اثرات (جهت و شدت آن) میان شاخص‌ها پردازند. دیمتل عمدتاً به‌عنوان یک تکنیک در ایجاد ساختار شبکه‌ای اولیه و تعیین ارتباطات داخلی عناصر در یک مسئله ANP کاربرد دارد. ماتریس حاصله از تکنیک دیمتل (ماتریس ارتباطات داخلی) هم رابطه علی و معلولی بین عوامل و هم اثرپذیری و اثرگذاری آن‌ها را نمایش می‌دهد و تشکیل‌دهنده بخشی از سوپر ماتریس مورد استفاده در ANP است. تلفیق روش‌های دیمتل و ANP موجب کاهش تعداد جداول مقایسات زوجی در تعیین ارتباطات درونی و در نتیجه افزایش کارایی روش ANP می‌گردد. در نهایت هم با استفاده از روش ANP، تعیین اولویت بین شاخص‌ها انجام شد.

۴- تحلیل داده‌ها و بیان یافته‌ها

۴-۱- غربال شاخص‌های تحقیق

بر اساس مراحل انجام شده در روش دلفی فازی، ۲۱ شاخص مورد تأیید نهایی قرار گرفتند که در جدول ۴ به آن‌ها اشاره می‌شود. ۴ شاخص دیگر شامل "تمایل به کوچک‌سازی سازمان"، "عدم اطمینان در بازار"، "یادگیری با تمرکز بر انجام پروژه در خود سازمان" و "چرخه عمر فناوری" از دیدگاه خبرگان، موضوعیت چندانی در پروژه‌های مدنظر این پژوهش ندارند.

جدول ۴- شاخص‌های تأییدشده در پایان دلفی فازی

ردیف	شاخص‌ها	نماد	میانگین فازی زدایی شده بر اساس پرسشنامه دلفی فازی	
			مرحله اول	مرحله دوم
۱	خاص بودن تجهیزات مورد نیاز در پروژه	C ₁	۰/۵۳	۰/۵۱
۲	ساختار منعطف سازمان برای برون‌سپاری	C ₃	۰/۸۷	۰/۹
۳	کافی نبودن توان فنی سازمان در پروژه (عدم اطمینان فناورانه)	C ₄	۰/۵۷	۰/۶۵
۴	تنوع و تعداد زیاد ماژولها و قطعات، همراه با شمار پایین محصولات محصول پیچیده	C ₅	۰/۵۲	۰/۵۱
۵	افزایش کیفیت	C ₆	۰/۶	۰/۶۸
۶	ایجاد اتحاد راهبردی با تأمین‌کننده برای ارتقای محصول	C ₇	۰/۵۵	۰/۶۴
۷	قابلیت ایجاد مزیت رقابتی برای سازمان از طریق انجام پروژه	C ₈	۰/۵۱	۰/۵۷
۸	ریسک منابع مالی منظم	C ₉	۰/۸	۰/۷۵
۹	دسترسی (کافی) سازمان به منابع تخصصی و برتر تأمین‌کننده	C ₁₀	۰/۷	۰/۷۶
۱۰	کاهش زمان توسعه محصول	C ₁₁	۰/۷۲	۰/۷۸
۱۱	ریسک درز اطلاعات اساسی سازمان	C ₁₂	۰/۵۳	۰/۶۱
۱۲	کاهش هزینه	C ₁₄	۰/۹۴	۰/۹۴
۱۳	وجود تأمین‌کنندگان قابل اطمینان	C ₁₅	۰/۷۷	۰/۷۱

ردیف	شاخص‌ها	نماد	میانگین فازی زدایی شده بر اساس پرسشنامه دلفی فازی	
			مرحله اول	مرحله دوم
۱۴	قابلیت کارفرمایی سازمان در برون سپاری	C ₁₆	۰/۸۵	۰/۸۸
۱۵	یادگیری از تأمین کننده	C ₁₇	۰/۵	۰/۵۶
۱۶	ریسک سیاسی	C ₁₈	۰/۶۴	۰/۷۱
۱۷	توانمندی سازمان در حفاظت از نتایج و مالکیت معنوی پروژه R&D	C ₁₉	۰/۹۲	۰/۹۱
۱۸	اعتقاد مدیران سازمان به برون سپاری و قابلیت آنان در پیاده سازی آن	C ₂₀	۰/۶۶	۰/۵۹
۱۹	پیمانهای (ماژولار) ^۱ بودن محصول و وجود استاندارد برای هر مرحله از تولید	C ₂₁	۰/۵۴	۰/۶۳
۲۰	توانمندی سازمان در مدیریت ارتباط با تأمین کنندگان (SRM)	C ₂₃	۰/۸۴	۰/۸۸
۲۱	توانمندی سازمان در یکپارچه سازی سامانه (شامل تسلط بر ابزارهای هماهنگی و مدیریت و دانش مربوط به مؤلفه های سامانه)	C ₂₄	۰/۶۱	۰/۶۹

۴-۲- الگوی روابط بین شاخص‌ها با تکنیک دیمتل

با توجه به تعدد شاخص‌ها و محدودیت تعداد صفحات مقاله، از ارائه ماتریس‌های مربوط به گام‌های اول، دوم و سوم که توضیحاتشان واضح است؛ خودداری شده و فقط نتیجه رابطه علی نمایش داده شده است.

گام نخست - محاسبه ماتریس ارتباط مستقیم (M)

ماتریس اولیه برای هر خبره به صورت رابطه ۲ است.

$$Z^k = \begin{bmatrix} C_1 & 0 & Z_{12}^k & \dots & Z_{1n}^k \\ C_2 & Z_{21}^k & 0 & \dots & 0Z_{2n}^k \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ C_n & Z_{n1}^k & Z_{n2}^k & \dots & 0 \end{bmatrix} \quad (2)$$

در این ماتریس Z_{ij}^k میزان تأثیر عنصر i بر عنصر j را از دیدگاه خبره k ام نشان می‌دهد. برای محاسبه ماتریس ارتباط مستقیم نهایی، باید میانگین دیدگاه خبرگان در هر درایه از ماتریس مطابق رابطه ۳ محاسبه شود.

(۳)

$$X_{ij} = \frac{\sum_1^k (Z_{ij}^k)}{k}$$

و با محاسبه میانگین دیدگاه خبرگان، ماتریس ارتباط مستقیم یا M (مطابق رابطه ۴) محاسبه

می‌شود.

$$X = \begin{bmatrix} 0 & x_{12} & \dots & x_{1n} \\ x_{21} & 0 & & x_{2n} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ x_{m1} & x_{m2} & & 0 \end{bmatrix}$$

(۴)

گام دوم- محاسبه ماتریس ارتباط مستقیم نرمال: $N = K * M$

برای نرمال کردن ماتریس ارتباط مستقیم، معکوس بزرگ‌ترین مقدار جمع سطری و ستونی آن را محاسبه نموده و در خود ماتریس ضرب می‌کنیم (لی و همکاران، ۲۰۱۳).

گام سوم- محاسبه ماتریس ارتباط کامل

برای محاسبه ماتریس ارتباط کامل، مطابق رابطه ۵ عمل می‌نماییم.

(۵)

$$T = N \times (I - N)^{-1}$$

گام چهارم- نمایش نقشه روابط شبکه

برای محاسبه ماتریس روابط داخلی و تعیین نقشه شبکه روابط^۱ (NRM) باید ارزش آستانه محاسبه شود. با این روش می‌توان از روابط جزئی صرف‌نظر کرده و شبکه روابط قابل‌اعتنا را ترسیم کرد. تنها

روابطی که مقادیر آن‌ها در ماتریس T از مقدار آستانه بزرگ‌تر باشد در NRM نمایش داده خواهد شد. برای محاسبه مقدار آستانه روابط کافی است تا میانگین مقادیر ماتریس T محاسبه شود. بعد از محاسبه این آستانه، تمامی مقادیر ماتریس T که کوچک‌تر از آن باشند؛ صفر در نظر گرفته شده و بی‌معنا تلقی می‌گردند. بقیه روابط به‌عنوان روابط معنادار باقی خواهند ماند در این پژوهش، میانگین ماتریس T به‌عنوان شدت آستانه، برابر با 0.455 است. بنابراین روابط معنی‌دار شامل درایه‌هایی از ماتریس T خواهد بود که مقدار آن‌ها بیش از شدت آستانه است. به دنبال تعیین روابط معنادار، مقادیر ذیل محاسبه می‌گردند:

- جمع عناصر هر سطر (D) برای هر شاخص، نشانگر میزان تأثیرگذاری آن شاخص بر سایر شاخص‌ها است.

- جمع عناصر هر ستون (R) برای هر شاخص، نشانگر میزان تأثیرپذیری آن شاخص از سایر شاخص‌ها است.

لذا در ترسیم روابط علی شاخص‌ها

محور افقی (D+R)، جمع میزان تأثیر و تأثر شاخص موردنظر است. به‌عبارت‌دیگر هر چه این مقدار برای شاخصی بیشتر باشد، آن شاخص تعامل بیشتری با سایر شاخص‌ها دارد.

- محور عمودی (D-R)، قدرت تأثیرگذاری مطلق هر شاخص را نشان می‌دهد. اگر این مقدار برای شاخصی مثبت باشد؛ شاخص علی محسوب شده و اگر منفی باشد؛ معلول محسوب می‌شود.

- در نهایت یک دستگاه مختصات دکارتی ترسیم می‌شود. موقعیت هر عامل با نقطه‌ای به مختصات (D+R, D-R) در دستگاه معین می‌شود. به‌این ترتیب یک نمودار گرافیکی نیز به دست خواهد آمد.

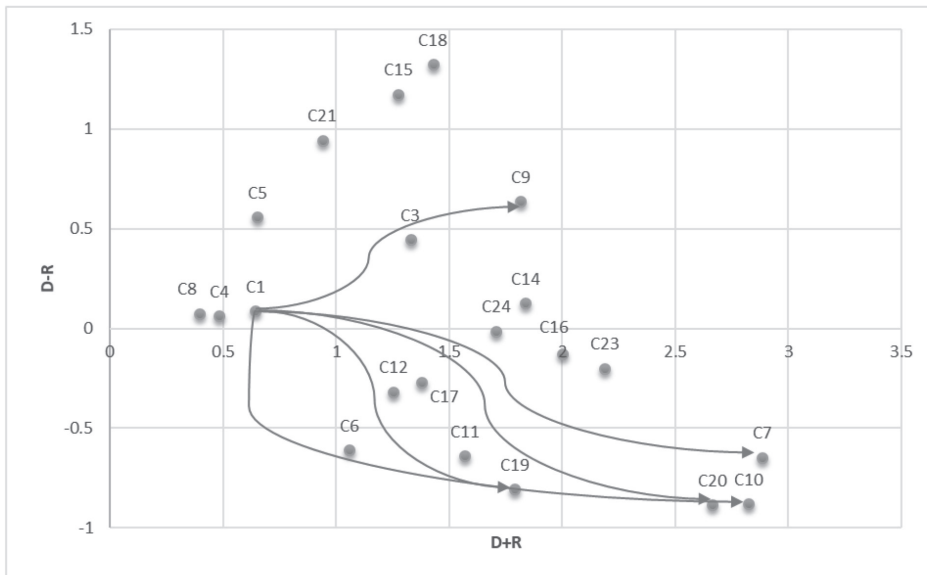
مقادیر D, R و مجموع و تفاضل مدنظر آن‌ها به‌عنوان الگوی روابط علی برای دو شاخص آغازین و دو شاخص پایانی به‌عنوان نماینده‌ای از شاخص‌ها، در جدول ۵ ارائه شده است.

بر اساس جدول ۵، می‌توان روابط علی و معلولی را به‌صورت شکل ۲ ترسیم نمود. هر چه شاخصی از نظر محور افقی مقدار بیشتری داشته باشد؛ مجموع روابط آن با دیگر شاخص‌ها بیشتر است و از سویی هر چه از نظر محور عمودی مقدار بیشتری داشته باشد؛ اثرگذاری مطلق آن بالاتر است. جهت جلوگیری از پیچیدگی و ابهام نمودار، تأثیرگذاری شاخص اول (به‌عنوان نمونه‌ای از شاخص‌ها) بر دیگر شاخص‌ها بر اساس ماتریس روابط کامل نشان داده شده است. می‌توان به‌طور مشابه برای دیگر

شاخص‌ها نیز چنین ارتباطاتی را ترسیم نمود.

جدول ۵- الگوی روابط علی شاخص‌ها

D-R	D+R	R	D	
۰/۰۸۶	۰/۶۴۵	۰/۲۷۹	۰/۳۶۶	C1
۰/۴۴۴	۱/۳۳۳۱	۰/۴۴۴	۰/۸۸۸	C3
....
-۰/۲۰۲	۲/۱۸۹	۱/۱۹۵	۰/۹۹۳	C23
-۰/۰۱۶	۱/۷۱۰	۰/۸۶۳	۰/۸۴۷	C24



شکل ۲- نمودار علی بین شاخص‌ها

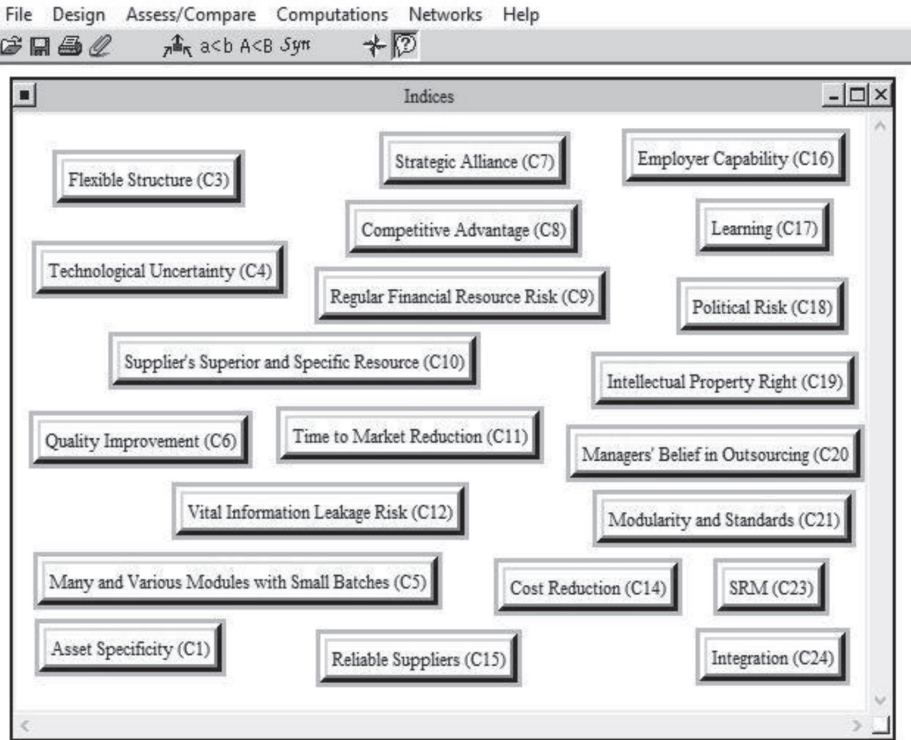
با توجه به جدول ۵ و نمودار متناظر آن در شکل ۲، بیشترین تأثیرگذاری به ترتیب مربوط به شاخص‌های «ریسک سیاسی»، «ریسک منابع مالی منظم» و «وجود تأمین‌کنندگان قابل اطمینان» است. با توجه به اینکه شاخص‌های «ریسک سیاسی» و «وجود تأمین‌کنندگان قابل اطمینان»

تأثیرپذیری کمی دارند؛ از نظر تأثیرگذاری مطلق هم در جایگاه‌های نخست و دوم قرار دارند. کمترین تأثیرگذاری هم به ترتیب مربوط به شاخص‌های «افزایش کیفیت»، «قابلیت ایجاد مزیت رقابتی برای سازمان از طریق انجام پروژه» و «عدم اطمینان فناورانه» است. شاخص‌های «قابلیت ایجاد مزیت رقابتی برای سازمان از طریق انجام پروژه» و «عدم اطمینان فناورانه» از آنجاکه اثرپذیری کمتری هم دارند؛ در مجموع کمترین تعامل را با شاخص‌های دیگر دارند.

شاخص‌های «دسترسی (کافی) سازمان به منابع تخصصی و برتر تأمین‌کننده»، «اعتقاد مدیران سازمان به برون‌سپاری و قابلیت آنان در پیاده‌سازی آن» و «ایجاد اتحاد راهبردی با تأمین‌کننده برای ارتقای محصول» هم به ترتیب بیشترین تأثیرپذیری را دارند. از آنجاکه این شاخص‌ها، تأثیرگذاری بالایی هم دارند؛ از نظر جمع تأثیرگذاری و تأثیرپذیری هم از بقیه شاخص‌ها بالاترند و جالب‌توجه است که به خاطر همین تأثیرپذیری بالا، کمترین تأثیرگذاری مطلق را هم به خود اختصاص داده‌اند. انتظار می‌رفت که شاخص‌های مربوط به ویژگی‌های ثابت، کمترین تأثیرپذیری را داشته باشند. نتایج دیمتال هم بر این انتظار صحه می‌گذارد و ویژگی‌های محصول شامل شاخص‌های «ماژولار بودن محصول و وجود استاندارد برای هر مرحله از تولید» و «تنوع و تعداد زیاد ماژولها و قطعات، همراه با شمار پایین محصولات محصول پیچیده» این‌گونه هستند. بدیهی است ویژگی‌های محصول، مشخصات ذاتی آن‌ها هستند و فارغ از برون‌سپاری یا انجام داخلی، بدون اعمال نظر طراح، تحت تأثیر دیگر عوامل قرار نمی‌گیرند.

۴-۳- وزن دهی با استفاده از روش ANP

در این پژوهش برای تعیین وزن شاخص‌های مدل از تکنیک ANP (شکل ۳) استفاده شده است. برای این منظور با نظرسنجی از ۱۸ نفر از خبرگان و با استفاده از میانگین هندسی و نرمال‌سازی مقادیر به‌دست‌آمده، بردار ویژه محاسبه گردیده است. اعداد به‌دست‌آمده ضریب اهمیت هر یک از شاخص‌ها را نشان می‌دهد (جدول ۹).



شکل ۳- شاخص‌های تحقیق در نرم‌افزار Super decision

جدول ۹- سوپر ماتریس ANP

مقدار ویژه	C24	C23		C3	C1	
۰/۰۳۶	۰/۳۷۳	۰/۲۶۹	...	۰/۲۴۶	۱	C1
۰/۱۹۴	۱/۵۱۶	۱/۰۹۳		۱	۴/۰۶۳	C3
...						
۰/۰۶۲	۱/۳۸۸	۱	...	۰/۹۱۵	۳/۷۱۷	C23
۰/۰۴۸	۱	۰/۷۲		۰/۶۶	۲/۶۸	C24

بر اساس محاسبات صورت گرفته و سوپر ماتریس حد، برون‌داد نرم‌افزار سوپردسیژن که تعیین اولویت نهایی شاخص‌ها را بر اساس وزن نرمال شده نشان می‌دهد؛ در جدول ۱۰ ارائه شده است.

جدول ۱۰- تعیین اولویت معیارهای پژوهش

رتبه نهایی	وزن نهایی	نماد	عنوان شاخص
۱	۰/۱۲۴۷	C11	کاهش هزینه
۲	۰/۰۸۴۹	C19	توانمندی سازمان در حفاظت از نتایج و مالکیت معنوی پروژه R&D
۳	۰/۰۷۳۱	C3	ساختار منعطف سازمان برای برون سپاری
۴	۰/۰۷۳۱	C16	قابلیت کارفرمایی سازمان
۵	۰/۰۶۶۹	C23	توانمندی سازمان در مدیریت ارتباط با تأمین کنندگان (SRM)
۶	۰/۰۶۵۱	C9	ریسک منابع مالی منظم سازمان
۷	۰/۰۵۹۹	C15	وجود تأمین کنندگان بالقوه قابل اطمینان
۸	۰/۰۵۹۳	C11	کاهش زمان توسعه محصول
۹	۰/۰۵۹۳	C10	دسترسی (کافی) سازمان به منابع تخصصی و برتر تأمین کننده
۱۰	۰/۰۵۵۴	C20	اعتقاد مدیران سازمان به برون سپاری و قابلیت پیاده سازی آن
۱۱	۰/۰۴۸۳	C18	ریسک سیاسی
۱۲	۰/۰۴۸۲	C24	توانمندی سازمان در یکپارچه سازی سامانه (شامل تسلط بر ابزارهای هماهنگی، مدیریت و دانش مربوط به مؤلفه های سامانه)
۱۳	۰/۰۴۳۰	C6	افزایش کیفیت
۱۴	۰/۰۳۳۷	C4	کافی نبودن توان فنی سازمان در پروژه R&D (عدم اطمینان فناورانه)
۱۵	۰/۰۲۸۳	C7	ایجاد اتحاد راهبردی با تأمین کننده برای رفع کمبود منابع یا فناوری
۱۶	۰/۰۲۲۰	C21	پیمانهای (ماژولار) بودن محصول و وجود استاندارد برای هر مرحله از تولید
۱۷	۰/۰۱۹۲	C12	ریسک درز اطلاعات اساسی سازمان
۱۸	۰/۰۱۸۰	C1	خاص بودن تجهیزات مورد نیاز در پروژه
۱۹	۰/۰۰۷۳	C5	تنوع و تعداد زیاد ماژولها و قطعات همراه با شمار پایین محصولات محصول پیچیده
۲۰	۰/۰۰۶۳	C8	قابلیت ایجاد مزیت رقابتی برای سازمان از طریق انجام پروژه R&D
۲۱	۰/۰۰۰۴	C17	یادگیری از تأمین کننده

بر این اساس، شاخص‌های کاهش هزینه، توانمندی سازمان در حفاظت از نتایج و مالکیت معنوی پروژه R&D و ساختار منعطف سازمان برای برون‌سپاری، به ترتیب در اولویت اول تا سوم قرار دارند.

۵- نتیجه‌گیری

با توجه به ویژگی‌های خاص محصولات با سامانه‌های پیچیده، تحقیق و توسعه در مورد آن‌ها نیاز به همکاری با منابع برتر و تخصصی خارج از سازمان دارد. از دیدگاه چشم‌انداز منبع محور (RBV)، این منابع در زمینه تجهیزات، دانش، منابع انسانی و مالی، در انجام موفقیت‌آمیز پروژه‌های تحقیق و توسعه این محصولات که مبتنی بر یکپارچه‌سازی سامانه‌ها و ماژول‌های مختلف است؛ اهمیت حیاتی دارد. یکی از روش‌های همکاری، برون‌سپاری است که از حالت سنتی (واگذاری کار و دریافت خروجی در قالب قراردادی کوتاه‌مدت و رسمی) به رویکردی راهبردی و تبدیلی تکامل یافته و به لحاظ یکپارچگی، در طیف همکاری‌های سازمانی ارتقا یافته است. در این پژوهش با مروری بر ادبیات در حوزه برون‌سپاری و محصولات با سامانه‌های پیچیده، همراه با مصاحبه اکتشافی با ۱۸ نفر از خبرگان شاغل در مورد مطالعه (سازمان صنایع هوایی)، شاخص‌های اولیه در زمینه برون‌سپاری پروژه‌های تحقیق و توسعه این محصولات احصا شد. سپس با استفاده از پرسشنامه و طی دو مرحله از روش دلفی فازی، شاخص‌های دارای موضوعیت و مرتبط با محصولات این سازمان، توسط ۳۵ نفر از متخصصان سازمان مشخص شده و معدود شاخص‌های غیر مرتبط کنار گذاشته شدند. برای تعیین ارتباطات علی و معلولی بین شاخص‌ها، از روش دیمتل بهره گرفته شد و نتایج این ارتباطات به‌عنوان بخشی از سوپر ماتریس مورد نیاز برای رتبه‌بندی شاخص‌ها با استفاده از روش ANP مورد استفاده قرار گرفت. با توجه به نتایج اولویت‌بندی شاخص‌های مربوط به برون‌سپاری پروژه‌های تحقیق و توسعه محصولات پیچیده در صنعت هوایی (جدول ۱۰) و ویژگی‌های این محصولات که در جدول ۱ به آن اشاره شده است؛ می‌توان به نتایج ذیل دست‌یافت:

- شاخص «کاهش هزینه» در اولویت اول است. این شاخص که مبتنی بر دیدگاه اقتصاد هزینه معامله (TCE) در نظریه‌های پشتیبان برون‌سپاری است؛ با توجه به هزینه بالا به ازای تولید هر واحد از محصولات پیچیده، مؤلفه‌های سفارشی متعدد آن‌ها و همچنین مبادلات در تعداد کم ولی با ارزش بالا، اهمیت خاصی می‌یابد، مخصوصاً که کمک‌هزینه تحقیق و توسعه برای آن‌ها از سوی کاربر پرداخت می‌شود؛ بنابراین باید توجه داشت که یکی از معیارهای اصلی

برای برون‌سپاری توسعه این محصولات، مسئله هزینه است. در صورتی که برون‌سپاری موجب کاهش هزینه گردد؛ تمایل مشتریان این محصولات که عمدتاً از نیروهای مسلح بوده و با کاهش بودجه‌های دولتی روبه‌رو هستند؛ برای خرید از سازمان بیشتر خواهد بود و این نیروها اقدام به تعریف پروژه‌های موازی ننموده و از این طریق به حفظ سرمایه‌ها و منابع مالی ملی کمک خواهند کرد. از سویی اگر توسعه در درون سازمان هزینه کمتری داشته باشد؛ موجب اتکا به توان داخلی و حفظ مازول‌های تعمیر و نگهداری در سازمان خواهد شد، چراکه مشتریان راغب هستند تعمیر و نگهداری توسط توسعه‌دهنده اصلی محصول انجام شود. علاوه بر این سازمان مشتریان خود را حفظ کرده و از رجوع آن‌ها به رقبای سازمان جلوگیری می‌شود.

- شاخص مهم دوم "توانمندی سازمان در حفاظت از نتایج و مالکیت معنوی پروژه R&D" است. محصولات صنعت هوایی همچون هواپیما، پهپاد، بالگرد و سامانه‌های تشکیل‌دهنده آن‌ها همچون موتورهای جت و توربینی، با توجه به کاربرد در حفظ حریم امنیتی کشور و مقابله با تهدیدات، به‌صورت محرمانه توسعه می‌یابند. در این پژوهش انتظار می‌رفت که این عامل وزن بالایی کسب کند. در هنگام برون‌سپاری این محصولات، باید با نظارت یک مدیر پروژه شایسته که مسلط بر یکپارچه‌سازی سامانه‌ها باشد؛ سامانه‌ها و مؤلفه‌ها تا جای ممکن به اجزای مجزا از هم تجزیه شوند و هر کدام از آن‌ها به تأمین‌کننده‌ای متفاوت برون‌سپاری گردد. این امر باید به‌گونه‌ای باشد که امکان ره‌گیری کاربرد اصلی به حداقل ممکن برسد. سامانه‌هایی که امکان این جداسازی در آن‌ها وجود ندارد؛ باید در داخل سازمان توسعه یابند. در بندهای حقوقی قرارداد با تأمین‌کنندگان نیز باید به حفظ مالکیت معنوی توجه شود. در رعایت محرمانگی، علاوه بر مشخصات پروژه، باید در حفظ اطلاعات اساسی سازمان هم که می‌تواند در امنیت ملی کشور تأثیرگذار باشد؛ اهتمام جدی داشت. البته می‌توان مؤلفه‌های مشترک با محصولات غیرنظامی را به‌عنوان بخشی از آن محصولات اعلام کرد. قابل ذکر است که توانمندی کارفرمایی سازمان (شاخص دارای اولویت چهارم) در ارائه مشخصات مازولها به تأمین‌کنندگان و تحویل‌داری نتایج آن‌ها موجب ارتقای توان سازمان در حفظ نتایج و مالکیت معنوی پروژه‌ها می‌گردد.

- سومین شاخص از نظر اهمیت، "ساختار منعطف سازمان برای برون‌سپاری" است. با توجه به تکامل برون‌سپاری از حالت سنتی به سمت برون‌سپاری و همکاری راهبردی، ساختار انعطاف‌پذیر سازمان برای تحقق موفقیت‌آمیز این همکاری اهمیت شایانی دارد. توسعه محصولات پیچیده

با دارا بودن مازول‌های متعدد و ارتباطات گسترده بین آن‌ها، مؤلفه‌های سفارشی‌سازی شده و زمان‌بر بودن توسعه محصول، نیازمند ارتباط عمیق سازمان و تأمین‌کننده هستند. در فرآیند نوآوری این محصولات، انعطاف‌پذیری و خلاقیت جایگاه خاصی دارد و برخلاف محصولات عادی به صورت دانش مدون و کدگذاری شده نیست. نوآوری در محصولات پیچیده مبتنی بر دانش و تجربه‌ی اندوخته نزد افراد است و نه ابزارها و روش‌ها (آن‌چنان‌که در محصولات عادی این‌گونه است)؛ بنابراین روابط رسمی و تعریف شده^۱ بین کارفرما و تأمین‌کننده در توسعه محصولات عادی، پاسخگوی الزامات همکاری راهبردی برای توسعه این دسته خاص از محصولات نیست و توجه به اشتراکات فرهنگی سازمان با تأمین‌کننده و ادبیات مشترک در این زمینه حیاتی است. در برون‌سپاری توسعه محصولات پیچیده، آموزش به تأمین‌کننده و ارتقای توان آن، بازبینی پیوسته‌های فنی و مذاکره برای کسب اطمینان فناورانه (یکی دیگر از شاخص‌ها) نقش اساسی دارد و این همه در پرتو انعطاف‌پذیری سازمان محقق می‌شود. مسلماً با توجه به اینکه یکی از راهبردهای رقابتی سازمان در این‌گونه محصولات، مدیریت اتحادهای چند بنگاهی است؛ ساختار منعطف سازمان به مدیریت مؤثر تأمین‌کنندگان متعدد این محصولات منجر خواهد شد (شاخص اولویت پنجم).

- از آنجاکه قابلیت یکپارچه‌سازی یکی از شایستگی‌ها کلیدی در توسعه این محصولات است؛ حفظ این شایستگی در درون سازمان ضروری است. سازمان باید در صورتی مبادرت به برون‌سپاری سامانه‌ها نماید که قابلیت یکپارچه‌سازی شامل تسلط بر ابزارهای هماهنگ، مدیریت و دانش مربوط به مؤلفه‌های سامانه‌ها را داشته باشد. با توجه به بازار سیاسی این محصولات، باید تحریم‌های بین‌المللی و ریسک انتقال فناوری و موانع همکاری راهبردی در برون‌سپاری به شرکت‌های خارجی، مورد امعان نظر سازمان قرار گیرد و در بندهای حقوقی قرارداد به صورت شفاف در مورد آن‌ها بحث و نتیجه‌گیری شود.

این پژوهش با توجه به محرمانگی پروژه‌ها، مشقت در جمع‌آوری داده‌ها از سازمان، دشواری ایجاد اعتماد برای کسب نظرات و نیاز به هماهنگی‌های پرپیچ‌وخم و طولانی اداری و بعضاً عدم همکاری به‌موقع برخی افراد، با محدودیت بالایی در زمینه کسب داده‌ها روبرو بوده است اما با وجود این مشکلات، نویسندگان با صرف انرژی و متقاعد نمودن سازمان به اینکه هدف از این پژوهش گامی در

راستای بهبود تصمیم‌گیری برای توسعه محصولات خواهد بود؛ بر محدودیت‌ها غلبه کرده و تمام تلاش خود را صرف ارائه پژوهشی اصیل و دقیق نموده‌اند. پژوهشگران آتی می‌توانند به تصمیم‌گیری در زمینه اتخاذ رویکردهای دیگر همکاری مثل سرمایه‌گذاری مشترک بپردازند و محصولات دیگر سازمان‌های فعال در زمینه توسعه محصولات پیچیده را در نظر بگیرند.

منابع:

- بوجادزیف، جرج؛ بوجادزیف، ماریا (۱۳۸۱). "منطق فازی و کاربردهای آن در مدیریت". حسینی، سید محمد رضا. تهران، ایشیق.
- حسینی، سیدعلی؛ مهدی، محمدی، حاجی حسینی، حجت الله (۱۳۹۵). "عوامل حیاتی موفقیت نوآوری در محصولات و سیستم‌های پیچیده (CoPS)؛ مطالعه موردی: پروژه بالگرد ملی سازمان صنایع هوایی." فصلنامه مدیریت توسعه فناوری ۴(۱): ۱۸۶-۱۵۹.
- صفدری رنجبر، مصطفی؛ رحمان سرشت، حسین؛ منطقی، منوچهر و قاضی نوری، سید سروش (۱۳۹۵). "پیشران‌های کسب و ایجاد قابلیت‌های فناورانه ساخت محصولات و سامانه‌های پیچیده در بنگاه‌های متأخر: مطالعه موردی شرکت توربوکمپرسور نفت (OTC)." مدیریت نوآوری ۵(۳): ۲۶-۱.
- صفدری رنجبر، مصطفی؛ قیدرخلجانی، جعفر؛ طهماسبی، سیامک و توکلی، غلامرضا (۲۰۱۶). "قابلیت‌های کلیدی برای نوآوری و توسعه محصولات و سامانه‌های پیچیده دفاعی." فصلنامه مدیریت توسعه فناوری ۴(۱): ۱۵۸-۱۳۳.
- صفدری رنجبر، مصطفی؛ رحمان سرشت، حسین؛ منطقی، منوچهر و قاضی نوری، سید سروش (۱۳۹۵). "کسب دانش و قابلیت‌های فناورانه ساخت محصولات و سامانه‌های پیچیده در کشورهای در حال توسعه: مورد مطالعه توربین گازی IGT25. ششمین کنفرانس بین‌المللی و دهمین کنفرانس ملی مدیریت فناوری، تهران. نیومن، ویلسام لاورنس (۱۳۸۹). "شیوه‌های پژوهش اجتماعی: رویکردهای کیفی و کمی." دانایی‌فرد، حسن. تهران، موسسه کتاب مهربان نشر.
- Armed forces Aviation industries organization." (2013). from <http://www.iranhavafaza.com/index/article/535>.
- 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.
- Appiah-Adu, K., B. K. Okpattah and J. G. Djokoto (2016). "Technology transfer, outsourcing, capability and performance: A comparison of foreign and local firms in

- Ghana.” *Technology in Society* 47: 31-39.
- Audretsch, D. B., A. J. Menkveld and A. R. Thurik (1996). “The Decision Between Internal and External R & D.” *Journal of Institutional and Theoretical Economics (JITE)/Zeitschrift für die gesamte Staatswissenschaft*: 519-530.
 - Bardhan, A. D. (2006). “Managing globalization of R&D: Organizing for offshoring innovation.” *Human Systems Management* 25(2): 103-114.
 - Barlow, J. (2000). “Innovation and learning in complex offshore construction projects.” *Research policy* 29(7): 973-989.
 - Beaugency, A., M. E. Sakinç and D. Talbot (2015). “Outsourcing of strategic resources and capabilities: opposing choices in the commercial aircraft manufacturing.” *Journal of Knowledge Management* 19(5): 912-931.
 - Becker, M. C. and F. Zirpoli (2017). “How to avoid innovation competence loss in R&D outsourcing.” *California Management Review* 59(2): 24-44.
 - Calantone, R. J. and M. A. Stanko (2007). “Drivers of Outsourced Innovation: An Exploratory Study*.” *Journal of Product Innovation Management* 24(3): 230-241.
 - Chun, H. and S.-B. Mun (2012). “Determinants of R&D cooperation in small and medium-sized enterprises.” *Small Business Economics* 39(2): 419-436.
 - Davies, A. and T. Brady (2000). “Organisational capabilities and learning in complex product systems: towards repeatable solutions.” *Research Policy* 29(7-8): 931-953.
 - Dedehayir, O., T. Nokelainen and S. J. Mäkinen (2014). “Disruptive innovations in complex product systems industries: A case study.” *Journal of Engineering and Technology Management* 33: 174-192.
 - Drechsler, W. and M. Natter (2012). “Understanding a firm’s openness decisions in innovation.” *Journal of Business Research* 65(3): 438-445.
 - Esposito, E. (2004). “Strategic alliances and internationalisation in the aircraft manufacturing industry.” *Technological Forecasting and Social Change* 71(5): 443-468.
 - Fujii, H. and S. Managi (2016). “Research and development strategy for environmental technology in Japan: A comparative study of the private and public sectors.” *Technological Forecasting and Social Change* 112: 293-302.
 - Ge, Z. and Q. Hu (2008). “Collaboration in R&D activities: Firm-specific decisions.” *European journal of operational research* 185(2): 864-883.

- Gooroochurn, N. and A. Hanley (2007). "A tale of two literatures: transaction costs and property rights in innovation outsourcing." *Research Policy* 36(10): 1483-1495.
- Gunawan, B. Igel and K. Ramanathan (2002). "Innovation networks in a complex product system project: the case of the ISDN project in Indonesia." *International Journal of Technology Management* 24(5-6): 583-599.
- Hobday, M. (1998). "Product complexity, innovation and industrial organisation." *Research policy* 26(6): 689-710.
- Hobday, M., A. Davies and A. Prencipe (2005). "Systems integration: a core capability of the modern corporation." *Industrial and corporate change* 14(6): 1109-1143.
- Holcomb, T. R. and M. A. Hitt (2007). "Toward a model of strategic outsourcing." *Journal of operations management* 25(2): 464-481.
- Hsu, C.-C. and J. J. H. Liou (2013). "An outsourcing provider decision model for the airline industry." *Journal of Air Transport Management* 28: 40-46.
- Kamuriwo, D. S. and C. Baden-Fuller (2016). "Knowledge integration using product R&D outsourcing in biotechnology." *Research Policy* 45(5): 1031-1045
- Kumar, S., P. Zampogna and J. Nansen (2010). "A closed loop outsourcing decision model for developing effective manufacturing strategy." *International Journal of Production Research* 48(7): 1873-1900.
- Lee, H.-S., G.-H. Tzeng, W. Yeih, Y.-J. Wang and S.-C. Yang (2013). "Revised DEMATEL: resolving the infeasibility of DEMATEL." *Applied Mathematical Modelling* 37(10-11): 6746-6757.
- Love, J. H. and S. Roper (2005). "Economists' perceptions versus managers' decisions: an experiment in transaction-cost analysis." *Cambridge Journal of Economics* 29(1): 19-36.
- Martínez-Noya, A. and E. García-Canal (2011). "Technological capabilities and the decision to outsource/outsource offshore R&D services." *International Business Review* 20(3): 264-277.
- McIvor, R. (2008). "What is the right outsourcing strategy for your process?" *European management journal* 26(1): 24-34.
- McIvor, R. (2009). "How the transaction cost and resource-based theories of the firm inform outsourcing evaluation." *Journal of Operations Management* 27(1): 45-63.
- McIvor, R. (2010). "The influence of capability considerations on the outsourcing

- decision: the case of a manufacturing company.” *International Journal of Production Research* 48(17): 5031-5052.
- McIvor, R. (2011). “Outsourcing done right.” *Industrial Engineer* 43(1): 30-35.
 - Miller, R., M. Hobday, T. Leroux-Demers and X. Olleros (1995). “Innovation in complex systems industries: the case of flight simulation.” *Industrial and corporate change* 4(2): 363-400.
 - Moody, J. B. and M. Dodgson (2006). “Managing complex collaborative projects: Lessons from the development of a new satellite.” *The Journal of Technology Transfer* 31(5): 568-588.
 - Naghizadeh, M., M. Manteghi, M. Ranga and R. Naghizadeh (2016). “Managing integration in complex product systems: The experience of the IR-150 aircraft design program.” *Technological Forecasting and Social Change*.
 - Nakamura, K. and H. Odagiri (2005). “R&D boundaries of the firm: an estimation of the double-hurdle model on commissioned R&D, joint R&D, and licensing in Japan.” *Economics of Innovation and New Technology* 14(7): 583-615.
 - Narula, R. (2001). “Choosing between internal and non-internal R&D activities: some technological and economic factors.” *Technology Analysis & Strategic Management* 13(3): 365-387.
 - Olausson, D. (2009). *Facing interface challenges in complex product development*, Linköping University Electronic Press.
 - Pisano, G. P. (1990). “The R&D boundaries of the firm: an empirical analysis.” *Administrative Science Quarterly* 35(1): 153-176.
 - Pisano, G. P. and D. J. Teece (2007). “How to capture value from innovation: Shaping intellectual property and industry architecture.” *California Management Review* 50(1): 278-296.
 - Prahalad, C. and G. Hamel (1990). “*The core competence of the corporation*.” Boston (MA).
 - Steensma, H. K. and K. G. Corley (2000). “On the performance of technology-sourcing partnerships: the interaction between partner interdependence and technology attributes.” *Academy of Management Journal* 43(6): 1045-1067.
 - Steensma, H. K. and K. G. Corley (2001). “Organizational context as a moderator of theories on firm boundaries for technology sourcing.” *Academy of Management*

Journal 44(2): 271-291.

- Ulset, S. (1996). "R&D outsourcing and contractual governance: An empirical study of commercial R&D projects." *Journal of Economic Behavior & Organization* 30(1): 63-82.
- Verwaal, E. (2017). "Global outsourcing, explorative innovation and firm financial performance: A knowledge-exchange based perspective." *Journal of World Business* 52(1): 17-27.
- Veugelers, R. and B. Cassiman (1999). "Make and buy in innovation strategies: evidence from Belgian manufacturing firms." *Research policy* 28(1): 63-80.
- Walker, G. (1988). "Strategic sourcing, vertical integration, and transaction costs." *Interfaces* 18(3): 62-73.