



Shahid Sattari Aeronautical University
of Science and Technology

Journal of Innovation Management In
Defensive Organizations

Print ISSN: 2676-7112

Volume 4, Issue 11

Spring 2021

Modeling the Challenges of Innovation in the Development of Complex Aerospace Products

Ali Kazemzadeh¹, Manouchehr Manteghi², Abbas Toloie Ashlaghi³, Jahangir Jedi⁴

Abstract

Background & Purpose: Uncertainty and ambiguity are the most challenges issues with organizations that developing complex products Which is mainly due to the limited knowledge and growing complexity of products and the interaction of these phenomena. This paper has done to identifying and modelling complex product development challenges in aerospace complex product.

Methodology: This research is from the perspective of use, practica and in term of purpose, descriptive and survey-oriented and the data type, quantity and the time horizon, cross-sectional study in which was used the Fuzzy Delphi and structural equation modeling techniques.

Findings: Based on data analysis, complex product development challenges are categorized into three groups: complex product development risks, complex product development process characteristics, and complex products features. complex products features have effect on product development risks and development process characteristics. Also, the development process characteristics have effect on product development risks. And the development process characteristics as a mediator affect the relationship between the complex products features and the product development risks.

Conclusion: According to the research results, the role of development process characteristics in the configuration and structure of the process should be considered by managers.

Keywords: *Complex Products, Complex products innovation, Complex Products Development, Structural equations modeling*

Citation: Kazemzadeh, Ali; Manteghi, Manouchehr; Toloie Ashlaghi, Abbas; Jodey, Jahangir(2021). Modeling the Challenges of Complex Products Innovation in the Development of Complex Aerospace Products. *Journal of Innovation Management In Defensive Organizations*, 4(11), 53-78.

1. Department of Technology management, Science And Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

E-mail: Kazemzade.ie@gmail.com

2. Prof. Malek Ashtar University of Technology, Tehran, Iran. E-mail: manteghi@guest.ut.ac.ir

3. Prof. Faculty of Management and Economic, Science And Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran. E-mail: toloie@gmail.com

4. Assistant Prof. Malek Ashtar University of Technology, Tehran, Iran. E-mail: jahangirjodey@chmail.ir



دانشکده مدیریت

فصلنامه مدیریت نوآوری در سازمان‌های دفاعی
شاپای انتشار: ۷۱۱۲-۲۶۷۶
دوره ۴، شماره ۱۱
بهار ۱۴۰۰
صص ۵۳-۷۸

مدل سازی چالش‌های نوآوری در توسعه محصولات پیچیده هوافضایی

علی کاظم زاده^۱، منوچهر منطقی^۲، عباس طلوعی اشلقی^۳، جهانگیر جدی^۴

چکیده

زمینه و هدف: ابهام و عدم قطعیت از چالش‌برانگیزترین مسائل سازمان‌های درگیر در توسعه محصولات پیچیده است که عمدتاً از دانش محدود و پیچیدگی‌های رو به رشد محصولات و تعامل این پدیده‌ها ناشی می‌شود. این مقاله با هدف شناسایی و مدل‌سازی چالش‌های نوآوری مرتبط با توسعه محصولات پیچیده هوافضایی انجام شده است. **روش‌شناسی:** این پژوهش از منظر نوع استفاده، کاربردی و از نظر هدف، توصیفی از نوع پیمایشی و از نظر نوع داده‌ها، کمی و از نظر افق زمانی، پژوهشی مقطعی است و در آن از تکنیک دلفی فازی و مدل‌سازی معادلات ساختاری استفاده شد.

یافته‌ها: بر اساس تحلیل داده‌ها، چالش‌ها در سه گروه ریسک‌های توسعه محصولات پیچیده، خصوصیات فرایند توسعه محصولات پیچیده و ویژگی‌های محصولات پیچیده دسته‌بندی شدند. ویژگی‌های محصولات پیچیده بر ریسک‌های فرایند توسعه محصولات پیچیده و خصوصیات فرایند توسعه محصولات پیچیده هوافضایی تأثیر دارد، خصوصیات فرایند توسعه محصولات پیچیده بر ریسک‌های فرایند توسعه این محصولات تأثیر دارد. همچنین خصوصیات فرایند توسعه محصولات پیچیده تأثیر ویژگی‌های محصولات پیچیده بر ریسک‌های فرایند توسعه محصولات پیچیده را میانجی‌گری می‌کند.

نتیجه‌گیری: با توجه به نتایج پژوهش، نقش خصوصیات فرایند توسعه در پیکره‌بندی و ساختار فرایند مورد توجه مدیران قرار گیرد.

کلیدواژه‌ها: محصولات پیچیده، نوآوری محصولات پیچیده، توسعه محصولات پیچیده، مدل‌سازی معادلات ساختاری

استناد: کاظم زاده، علی؛ منطقی، منوچهر؛ طلوعی اشلقی، عباس؛ جدی، جهانگیر (۱۴۰۰). مدل‌سازی چالش‌های نوآوری در توسعه محصولات پیچیده هوافضایی. فصلنامه مدیریت نوآوری در سازمان‌های دفاعی، ۴ (۱۱)، ۵۳-۷۸.

۱. دانشجوی دکتری مدیریت تکنولوژی، گروه مدیریت تکنولوژی، دانشکده مدیریت و اقتصاد، واحد علوم و تحقیقات،

دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران. **رایانامه:** Kazemzade.ie@gmail.com

۲. استاد، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، تهران، ایران. **رایانامه:** Manteghi@guest.ut.ac.ir

۳. استاد، دانشکده مدیریت و اقتصاد، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران. **رایانامه:** Toloie@gmail.com

۴. استادیار دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، تهران، ایران. **رایانامه:** Jahangirjodey@chmail.ir

نوع مقاله: پژوهشی

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۹/۰۲/۱۸

تاریخ پذیرش نهایی مقاله: ۱۳۹۹/۰۹/۱۰

نویسنده مسئول مقاله: منوچهر منطقی

DOI: 10.22034/QJIMDO.2020.229774.1303

مقدمه

توسعه محصول نقشی حیاتی در پیشرفت مداوم جامعه، سلامت اقتصادی و میزان رقابت‌پذیری شرکت‌های فن‌آوری ایفا می‌کند. توانایی سازمان در هدایت محصولات جدید (از ایده تا راه‌اندازی سریع‌تر و با اشتباهات کمتر) موضوعی حیاتی برای بهبود نوآوری محصول است (کوپرو الکو^۱، ۱۹۹۹). امروزه افزایش پیچیدگی محصولات و سامانه‌ها، مستلزم مستلزم به کارگیری فرایندهای پیچیده توسعه محصولات است (الفینگ^۲، ۲۰۰۷). فرایند توسعه محصول جدید بخشی از فرایند نوآوری محصول است. فرایند نوآوری به سه بخش تقسیم می‌شود. ابتدا ایده‌زایی، سپس توسعه محصول جدید و در انتها محصولات جدید تجاری‌سازی می‌گردند (کوئن و همکاران^۳، ۲۰۰۲: ۶). برخی دلایل اصلی شکست شرکت‌ها در توسعه محصولات جدید شامل موارد زیر است؛ افزایش زمان و هزینه در تمام مراحل توسعه محصول جدید، مشکلات در زمان‌بندی معقول توسعه و تولید، برنامه‌های توزیع منابع و شکست در پاسخگویی اثربخش و کارا به عوامل ریسک در فرایندهای توسعه (هوگان و همکاران^۴، ۲۰۱۱: ۵۱). پژوهش انجام شده توسط میلر و لیزارد^۵ نشان داد که از ۶۰ پروژه مهندسی بزرگ^۶ تنها ۴۵٪ آن‌ها به اهداف پروژه می‌رسند و ۲٪ پس از اینکه مقدار زیادی از بودجه را تلف می‌کنند رها می‌شوند (میلر و لیزارد، ۲۰۰۰). بر اساس یک نظرسنجی از ۷۰۰ پروژه توسعه محصولات پیچیده^۷، میزان موفقیت توسعه محصولات پیچیده تنها ۳۵ درصد بود (لای^۸، ۲۰۱۰: ۱۴).

علاوه بر دلایل شکست نوآوری و توسعه محصولات پیچیده در سطح دنیا، شکاف تکنولوژی ایران در حال توسعه با کشورهای توسعه‌یافته، تحریم‌های ظالمانه اقتصادی و تکنولوژیکی بین‌المللی، سطح غیرقابل قبول همکاری‌های بین‌المللی، شبکه محدود و غیر متنوع همکاران بین‌المللی، تعاملات محدود متخصصان بخش هوافضای کشور با متخصصین و سازمان‌های هم‌تراز از جمله عواملی هستند که اهمیت توسعه دانش در زمینه شناسایی و مدیریت چالش‌ها و کاهش ریسک برای توسعه این‌گونه محصولات را دوچندان ساخته

1. Cooper and Elko
2. Elfving
3. Koen et al.
4. Hoo-gon et al.
5. Miller and Lessard
6. Large Engineering Projects(LEP)
7. Complex products and system(Cops)
8. Lai

است. از این روی، این مقاله با هدف مدل‌سازی چالش‌های نوآوری محصولات پیچیده در توسعه محصولات پیچیده هوافضایی انجام شده است و نقطه تمایز این پژوهش با پژوهش‌های موجود، مدل‌سازی جامع چالش‌های نوآوری محصولات پیچیده از سه منظر، یعنی ویژگی‌های محصولات پیچیده، خصوصیات فرایند توسعه و ریسک‌های فرایند توسعه محصولات پیچیده است.

پیشینه پژوهش

تحقیقات مختلفی در خصوص ویژگی‌های محصولات پیچیده صورت گرفته است و ویژگی‌های محصول پیچیده را در چندین محور بیان کرده‌اند؛ تعداد زیاد اجزا و زیرسیستم‌ها، تولید در مقیاس کوچک، شامل درجه خاص و بالایی از فن‌آوری‌های نو، سفارشی‌سازی برای مشتریان خاص، نیازمند سطح بالایی از هماهنگی و همکاری در طراحی و پیاده‌سازی، نیازمند مشارکت بین کاربر و تولیدکننده، مداخله دولت و مقررات، دربرگیرنده طیف وسیعی از دانش و مهارت، شامل سطح بالایی از یکپارچگی و مهندسی سیستم، هزینه بالای توسعه و درجه بالایی از ریسک و عدم اطمینان، طول عمر بالای محصول، متمایل به انحصار چندقطبی و وابستگی به تأمین‌کنندگان و سیستم‌تدارکاتی پیچیده (کراولی و همکاران^۱، ۲۰۱۵؛ دیویس و هابدی^۲، ۲۰۰۵). شبکه‌های ارتباط از راه دور، شبیه‌سازهای پرواز، موتورهای هواپیما، سامانه‌های الکترونیک هوایی، موتور ترن‌ها، از مهم‌ترین نمونه‌های سامانه‌های محصول پیچیده به شمار می‌روند (هابدی، ۱۹۹۸؛ ۶۸۹).

ریسک به‌عنوان احتمال وقوع یک عامل بیرونی یا داخلی همراه با یک نتیجه منفی تعریف شده است. به عبارت دیگر، ریسک یک مشکل بالقوه است، چیزی که در صورت امکان باید اجتناب شود و گرنه احتمال یا عواقب آن باید کاهش یابد. مانسر و همکارانش، در پژوهش خود با عنوان «عوامل ریسک اثرگذار در توسعه محصولات جدید در صنایع کوچک و متوسط» چهار گروه ریسک مؤثر بر عملکرد توسعه محصول شامل سازمان، فنی، بازار و مالی و زیرمجموعه‌های مربوط را شناسایی کردند (مانسر و همکاران^۳، ۲۰۱۶).

درایان و اپینگر در پژوهش‌های خود نشان دادند که توصیف فرآیندهای توسعه محصول نیازمند شناسایی خصوصیات است که در تمامی فرآیندها به اشتراک گذاشته می‌شود؛ تمامی

1. Crawley et al.

2. Davies and Hobday

3. Mansser et al.

فرآیندهای توسعه محصول نوعی بازنگری‌های طراحی را به کار می‌گیرند تا استانداردها را حمایت و یا نقاط عطف را مشخص کنند، همچنین فرایندها شامل تکرارهایی هستند تا تغییرات و حلقه‌های بازخور را بین گروه‌های طراحی و مراحل پروژه ترکیب کنند، انواع تکرار و بازنگری و روابط میان آن‌ها ممکن است متفاوت باشد (درایان و اپینگر^۱، ۲۰۱۱ و ۲۰۰۹).

ویژگی‌های محصولات پیچیده و ریسک‌های توسعه محصول

در تحقیقی که هادی جابر^۲، در توسعه محصولات صنعت خودرویی با عنوان «مدل‌سازی و تحلیل انتشار ریسک در توسعه محصولات پیچیده» با هدف کاهش ریسک‌های ناشی از پیچیدگی محصولات انجام داد، ضمن دسته‌بندی پیچیدگی محصولات به تعداد زیاد اجزا و روابط بین آن‌ها، حاکمیت پروژه، محیط بیرونی، منابع، تیم پروژه، ارتباطات و هماهنگی سهامداران و ریسک‌های توسعه به هشت گروه عملکرد فنی، ایمنی و قابلیت اطمینان، حجم تولید، برنامه زمانی، تصویر نام تجاری، همکاری، هزینه و ریسک‌های ناشی از صنعتی شدن، نشان داد که رشد پیچیدگی محصولات یکی از بزرگ‌ترین علل شکست پروژه توسعه محصول هست و وابستگی بین اجزا محصول، ریسک‌ها را افزایش می‌دهد و این پیچیدگی، ریسک‌های تأخیر در تحویل دهی (ریسک زمان‌بندی) و هزینه زیاد (ریسک بودجه‌بندی) را موجب شده است (جابر، ۲۰۱۶: ۴۰).



شکل ۱: روابط پویا بین چالش‌های محصولات پیچیده (جابر، ۲۰۱۶)

یئو و یینگتائو^۳ پژوهشی باهدف مفهوم‌سازی و توسعه یک چارچوب چند سطحی برای مدل بلوغ قابلیت مدیریت ریسک^۴، به‌ویژه برای توسعه محصولات پیچیده انجام دادند. آن‌ها ۵۱ پروژه محصولات پیچیده شامل محصولات هوافضا و دفاع، هواپیماهای تجاری، نیروگاه‌ها، حمل‌ونقل فوق‌سریع، توسعه فرودگاه و پلت فرم دریایی نفتی را مورد مطالعه قرار

1. Drarian and Eppinger
2. Hadi Jaber
3. Yeo and Yingtao
4. Risk Management Capability Maturity Model

دادند و منابع ریسک را شناسایی و به چهار دسته شامل ریسک‌های مرتبط با فرایند، سازمان، تکنولوژی و محیط زیست تقسیم کردند. آن‌ها با توجه به تعریف محصولات پیچیده دریافتند که پیچیدگی ذاتی از نظر وظیفه و روابط انسانی در محصولات پیچیده، منبع اصلی ایجاد ریسک است و می‌تواند به نوعی چالش تبدیل شده و به آن آسیب برساند. از این رو نیاز به ایجاد نوعی قابلیت مدیریت پیشرفته ریسک برای مقابله با ویژگی‌های منحصر به فرد این پروژه‌های پیچیده وجود دارد (یئو و بینگتائو، ۲۰۱۴: ۲۰)؛ بنابراین فرضیه اول به شکل زیر تدوین شد؛

H_1 : ویژگی‌های محصولات پیچیده بر ریسک‌های توسعه محصولات پیچیده تأثیر دارد.

خصوصیات فرایند توسعه و ریسک‌های توسعه محصول

تاووزر و همکارانش در پژوهش خود با استفاده از روش غربالگری در شرکت‌های کوچک و متوسط، مهم‌ترین ریسک‌های فرایند توسعه محصول جدید را شناسایی کردند. آن‌ها در این پژوهش، ریسک‌های فرایند توسعه محصول جدید را به چهار دسته اصلی یعنی ریسک فنی، بازار، تجاری و سازمانی تقسیم کردند. از نظر آنان زیرمعیارهای هر کدام از ریسک‌ها می‌تواند در صنایع مختلف متغیر باشد (تاووزر و همکاران^۱، ۲۰۱۷).

زاویه و فکری در پژوهشی با هدف دستیابی به روشی نظام‌مند در مدیریت ریسک در فرایند توسعه محصول جدید با شناسایی ریسک و اولویت‌بندی این ریسک‌ها در صنعت خودروسازی ایران انجام دادند، ابتدا ریسک‌های فرایند توسعه محصول را به شش گروه طبقه‌بندی کردند (سازمانی، مالی، تولید، بازاریابی زمان‌بندی و فنی) و ضمن تجزیه و تحلیل و اولویت‌بندی آن‌ها، رابطه بین مدیریت ریسک و مراحل فرایند توسعه محصول جدید را با استفاده از روابط خطی ساختاری^۲ بررسی و تأیید کردند (زاویه و فکری، ۲۰۱۴).

وو و همکارانش در تحقیق خود در صنایع اتومبیل‌سازی ریسک‌های توسعه محصول را در سه گروه اصلی دسته‌بندی نمودند. گروه ریسک محصول؛ ریسک‌های دامنه فنی محصول نظیر محتویات محصول، انواع محصول و درجه نوآوری محصول را شامل می‌شود. گروه ریسک فرایند؛ ریسک‌های فرآیندهای عملیاتی برای توسعه یک محصول، روش‌های کاربردی، استانداردها و منابع در حوزه‌های کاربردی را شامل می‌شود. گروه ریسک پروژه؛ به شرایط مهلت زمانی و میزان پایبندی به تعریف فرایند توسعه محصول جدید مربوط است. نتیجه پژوهش آن‌ها نشان داد که ریسک

1. Thouser et al.

2. Linear Structural RELations (LISREL)

محصول مهم‌ترین ریسک در بین ریسک‌های سه‌گانه است (وو و همکاران^۱، ۲۰۱۸). درایان و اپینگر، بازنگری و تکرار را به‌عنوان دو عامل مهم و ابزار تمایز بین مدل‌های مختلف فرایند توسعه محصول جدید شناسایی کردند و با تعریف شاخص‌هایی برای تکرارهای فرایند مانند گستردگی تکرار و تعداد تکرار و درجه برنامه‌ریزی تکرارها و همچنین شاخص‌های بازنگری مانند فراوانی بازنگری و درجه سختگیری بازنگری نشان دادند که برای مدیریت ریسک‌ها و کاهش یا تحت کنترل نگه‌داشتن ریسک‌های توسعه محصولات، استفاده از خصوصیات فرایند توسعه مناسب‌ترین ابزار در فرایند توسعه به خصوص در مراحل ابتدایی فرایند است (درایان و اپینگر، ۲۰۱۱)؛ بنابراین در این راستا فرضیه دوم مطرح می‌شود؛

H_2 : خصوصیات فرایند توسعه محصولات پیچیده بر ریسک‌های توسعه محصولات پیچیده تأثیر دارد.

ویژگی‌های محصولات پیچیده و خصوصیات فرایند توسعه

تعداد تکرارهای مورد نیاز برای همگرا شدن ارزش‌های قابل قبول پارامتر طراحی، به‌طور عمده به کیفیت طراحی مفهومی وابسته است یعنی کار در نقاط ابتدایی جستجو و الگوریتم همگرایی طراحی شروع می‌شود. این همگرایی با شدت دخالت مشتری در این مرحله بیشتر می‌شود (راماچاندران^۲، ۱۹۹۲). اجزا زیاد و فعالیت‌های وابسته به هم نسبت به اجزا و فعالیت‌هایی که وابستگی کمی دارند، اهداف عملکرد توسعه محصول را به‌کندی همگرا می‌کنند، به‌طوری که سطح بالاتری از یکپارچه‌سازی را می‌طلبند و این چالش یکپارچگی را می‌توان با تکرار طراحی و استفاده از مهندسی سیستم در شکست سلسله‌مراتبی محصول به اجزا کوچک‌تر حل کرد (اپینگر و همکاران^۳، ۱۹۹۴؛ اسمیت و اپینگر^۴، ۱۹۹۷). کیفیت توالی فرایند که تابعی از سطح دانش و مهارت مورد نیاز برای توسعه محصول و نیز درجه نوآوری و فناوری محصول است نه‌تنها تعداد تکرارهای غیر عمد و بازنگری را تحت تأثیر قرار می‌دهد بلکه بر روی تعداد و دامنه فعالیت‌های چرخه تکرار و بازنگری تأثیر می‌گذارد (اپینگر و همکاران ۱۹۹۴؛ اسمیت و اپینگر ۱۹۹۷)، بنابراین در این راستا فرضیه سوم مطرح می‌شود و در نهایت پس از شکل‌گیری مدل مفهومی و بر اساس آن فرضیه چهارم نیز مطرح می‌شود.

H_3 : ویژگی‌های محصولات پیچیده بر خصوصیات فرایند توسعه محصولات پیچیده

-
1. Vu et al.
 2. Ramachandran
 3. Eppinger et al.
 4. Smith and Eppinger

تأثیر مثبت و معناداری دارد.

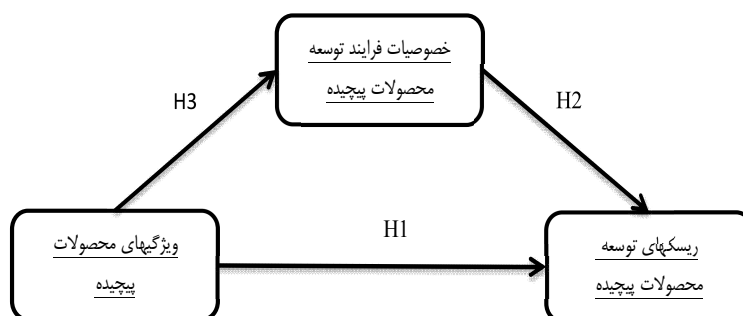
H_4 : خصوصیات فرایند توسعه محصولات پیچیده تأثیر ویژگی‌های محصولات پیچیده بر ریسک‌های توسعه محصولات پیچیده را میانجی‌گری می‌کند.
با توجه به مرور ادبیات و پژوهش‌های انجام شده می‌توان عوامل مورد بررسی تحت عنوان چالش‌های نوآوری را مطابق جدول ۱ جمع‌بندی نمود.

جدول ۱: خلاصه‌ای از پیشینه نظری عوامل

ریسک‌های فرایند توسعه						خصوصیات فرایند		ویژگی‌های محصولات پیچیده				زیر مقوله	
خیزر و هالمن (۲۰۰۹)	مو و همکاران (۲۰۰۹)	یئو و بینگتاو (۲۰۱۴)	زاویه و فکری (۲۰۱۴)	مانسرو همکاران (۲۰۱۶)	جابر (۲۰۱۶)	وو و همکاران (۲۰۱۸)	دریان و ایننگر (۲۰۰۹)	دریان و ایننگر (۲۰۱۱)	هابدی (۱۹۹۸)	دیویس و هابدی (۲۰۰۵)	رن و جیم (۲۰۱۱)		کرولی و همکاران (۲۰۱۵)
									*	*	*	*	تعداد زیاد اجزا و زیرسیستم‌ها
									*	*	*	*	هزینه بسیار بزرگ محصول
									*	*	*	*	عمر طولانی محصول
									*	*	*	*	طیف وسیع دانش و مهارت
									*	*	*	*	سطح بالای مهندسی سیستم و یکپارچه‌سازی
									*	*	*	*	مقیاس تولید کوچک
									*	*	*	*	شدت دخالت مشتری
										*	*	*	درجه بالا و خاص تازگی فن‌آوری و نوآوری
										*	*	*	شدت دخالت قانون‌گذاران
										*	*	*	ساختار انحصاری دوجانبه بازار
										*	*	*	شدت دخالت تأمین‌کنندگان
										*	*	*	خصوصیات بازار، نهادی و سیاسی و قانونی
			*	*	*	*							ریسک فرایند
*	*		*	*	*	*		*					ریسک تکنولوژی/فنی
*	*	*	*	*	*								ریسک سازمان
			*	*	*	*		*					ریسک زمان‌بندی
*	*	*	*	*	*			*					ریسک بازار
		*	*	*	*			*					ریسک هزینه یا بودجه

						*	*					بازنگری
						*	*					تکرار

با بررسی ادبیات پژوهش و نتایج تحقیقات و مطالعات پیشین در حوزه محصولات پیچیده مشخص می‌شود که پژوهش‌های قبلی دارای سه مشخصه اصلی هستند. نخست برخی از پژوهش‌ها به صورت جداگانه تأثیر ویژگی محصولات بر ریسک‌ها، تأثیر ویژگی محصولات بر تکرار و بازنگری و تأثیر تکرار و بازنگری بر ریسک‌ها را بررسی کرده‌اند یا به صورت فهرست‌وار به این عوامل اکتفا کرده‌اند اما در هیچ‌یک از پژوهش‌ها، این سه عامل به صورت هم‌زمان در قالب نظریه‌های مشخص ارائه نشده‌اند. دوم اینکه هیچ‌کدام از پژوهش‌ها به بررسی رابطه هم‌زمان این سه عامل به صورت کمی پرداخته‌اند. سوم، بررسی متغیر خصوصیات فرایند توسعه محصولات به‌عنوان میانجی‌گر در تأثیر ویژگی‌های محصولات پیچیده بر ریسک‌های توسعه محصول مشاهده نشده است. با توجه به مطالب ارائه شده در بخش‌های قبلی، مدل مفهومی اولیه این پژوهش در شکل ۲ ارائه شده است.



شکل ۲: مدل مفهومی پژوهش

روش شناسی پژوهش

این پژوهش از منظر نوع استفاده، کاربردی و از نظر هدف، توصیفی از نوع پیمایشی و از نظر نوع داده‌ها، کمی و از نظر افق زمانی، پژوهشی مقطعی است که طی مراحل زیر انجام شده است؛ در گام اول چالش‌های نوآوری و روابط بین آن‌ها در توسعه محصول بر اساس ادبیات شناسایی شدند. در گام دوم از طریق تکنیک دلفی فازی این چالش‌ها بومی‌سازی شدند و در گام نهمایی از طریق مدل معادلات ساختاری فرضیه‌های پژوهش آزمون شدند. برای شناسایی و بومی‌سازی عوامل از روش دلفی فازی استفاده شده است و برای نمونه‌گیری به دلیل اینکه اعتبار نتایج به شایستگی و دانش اعضای پنل بستگی دارد گزینش اعضای واجد شرایط برای پنل دلفی از

مهم‌ترین مراحل روش دلفی است (سامرویل^۱، ۲۰۰۸). از طرفی حبیبی و همکارانش در پژوهش خود به نقل از هوگارت معتقد هستند ۶ تا ۱۲ عضو برای روش دلفی ایده‌آل است (حبیبی و همکاران، ۲۰۱۵)، بنابراین روش نمونه‌گیری از نوع قضاوتی هدفمند است. نمونه‌گیری هدفمند از خبرگان، شامل انتخاب از بین افرادی است که تجربه و یا خبرگی آن‌ها در یک حوزه مطالعاتی محرز شده است (سینگ^۲، ۲۰۰۷). در این پژوهش، معیارهای انتخاب خبرگان تسلط نظری به فرایند توسعه محصول، تجربه عملی در توسعه محصولات هوافضا، سابقه بالای ۱۵ سال، بالای ۵ سال سابقه تخصصی در توسعه محصول، تمایل و توانایی مشارکت در پژوهش و دسترس بودن بود. برای رسیدن به لیست خبرگان ابتدا ۲۲ خبره شناسایی شدند که بعد از پالایش و اعمال معیارهای پیش‌گفته لیست ۱۵ نفری به دست آمد.

برای آزمون فرضیه‌ها و تعیین ارتباط بین متغیرها از روش معادلات ساختاری با حداقل مربعات زوجی استفاده شد. جامعه آماری پژوهش ۵ پژوهشگر مستقر در ۵ گروه صنعتی که طراحی و توسعه و نوآوری محصولات را بر عهده دارند و برای آزمون رابطه بین متغیرها و تعیین میزان وجود متغیرها در محصولات واقعی، از ۵ محصول محوری استفاده شد که در این ۵ پژوهشگر در حال توسعه و اصولاً در مراحل پایانی یعنی نمونه‌سازی یا راه‌اندازی تولید بودند استفاده شد؛ بنابراین کلیه افراد شاغل شامل ۱۳۵ نفر از مدیران ارشد و متخصصین حوزه نوآوری و طراحی و توسعه محصولات در این ۵ پژوهشگر که به‌صورت کامل در توسعه ۵ محصول انتخابی مشغول بودند، به‌عنوان جامعه آماری در نظر گرفته شدند. در ادامه با استفاده از فرمول کوکران، حجم نمونه تقریبی پژوهش ۱۰۰ نفر برآورد شد. با لحاظ کردن ۲۰ درصد ضریب اطمینان، ۱۲۰ پرسشنامه پاسخ داده شد که ۲ تا از آن‌ها که کمتر از پنجاه درصد پاسخ داده شده بود (بالای ۵ درصد پاسخ گم‌شده) حذف شد و ۹۷ پرسشنامه مبنای تحلیل قرار گرفت. حجم آماری نمونه به تفکیک هر زیرگروه در جدول ۲ درج شده است.

جدول ۲: حجم جامعه آماری به تفکیک زیرگروه‌ها جهت تعیین حجم نمونه

شرح	تعداد	درصد	تعداد نمونه انتخاب شده
پژوهشگر گروه صنعتی اول	۲۳	۱۷	۲۱
پژوهشگر گروه صنعتی دوم	۳۵	۲۶	۳۱
پژوهشگر گروه صنعتی سوم	۲۰	۱۵	۱۸

۲۶	۲۲	۳۰	پژوهشکده گروه صنعتی چهارم
۲۴	۲۰	۲۷	پژوهشکده گروه صنعتی پنجم
۱۲۰	۱۰۰	۱۳۵	جمع کل

در این پژوهش برای روایی صوری و محتوایی، نسخه اولیه پرسشنامه قبل از ارسال به جامعه مخاطب، در اختیار ۸ نفر از اساتید و افراد متخصص در زمینه روش تحقیق، رشته مدیریت و متخصص محصولات پیچیده قرار گرفت و پس از بازبینی‌های مکرر اصلاحات لازم به عمل آمد؛ و برای روایی سازه از روایی واگرا و همگرا استفاده شده است و برای محاسبه پایایی پرسشنامه از سه معیار ضریب بارهای عاملی، آلفای کرونباخ و پایایی ترکیبی استفاده شد.

به دلیل اینکه عبارات کلامی مورد استفاده در تکنیک دلفی برای سنجش دیدگاه خبرگان در انعکاس کامل مکنونات ذهنی پاسخ‌دهنده محدودیت‌هایی دارد. در نتیجه نشان دادن دیدگاه خبرگان به روش سنتی و عدد قطعی، امکان انعکاس کامل سبک تفکر انسانی را ندارد بنابراین استفاده از مجموعه‌های فازی، سازگاری بیشتری با توضیحات زبانی و بعضاً مبهم انسانی دارد و بهتر است با به کارگیری اعداد فازی به تصمیم‌گیری در دنیای واقعی پرداخت. در منطق کلاسیک هر عدد یک مقدار قطعی و مشخص است اما در منطق فازی هر عدد مقداری تقریبی است. برای تعیین میزان اهمیت شاخص‌ها و غربال مهم‌ترین شاخص‌های شناسایی شده از روش دلفی با رویکرد فازی. شامل گام‌های زیر استفاده شده است (حبیبی و همکاران، ۲۰۱۵):

۱- شناسایی طیف مناسب برای فازی سازی عبارات کلامی

۲- تجمیع فازی مقادیر فازی شده

۳- فازی زدائی مقادیر

۴- انتخاب شدت آستانه و غربال معیارها

در این مقاله از عبارات کلامی و از طیف فازی مثلثی مطابق جدول ۳ استفاده شده است و به خاطر اینکه تابع عضویت مثلثی بیشتر بر روی مقیاس‌های ۵ درجه‌ای مناسب است و کارایی محاسباتی اعداد فازی مثلثی به علت سادگی انجام عملیات ریاضی روی آن بسیار زیاد است (آذر و فرجی، ۱۳۸۹). عدد فازی مثلثی یک عدد فازی است که با سه عدد حقیقی به صورت $F = (l, m, u)$ نمایش داده می‌شود. کران بالا که با u نشان داده می‌شود بیشینه مقادیر و کران پایین که با l نشان داده می‌شود کمینه مقادیری هستند که عدد فازی F می‌تواند اختیار کند. مقدار m محتمل‌ترین مقدار یک عدد فازی است (حبیبی و همکاران، ۲۰۱۵).

جدول ۳: گزینه‌های زبانی و اعداد فازی مثلثی (مارتینز و کانل، ۲۰۱۱)

خیلی زیاد	زیاد	متوسط	کم	خیلی کم
(۰/۷۵, ۱, ۱)	(۰/۵, ۰/۷۵, ۱)	(۰/۲۵, ۰/۵, ۰/۷۵)	(۰, ۰/۲۵, ۰/۵)	(۰, ۰, ۰/۲۵)

پس از انتخاب طیف فازی مناسب، دیدگاه خبرگان گردآوری شده و به صورت فازی ثبت شد. در گام دوم برای تجمیع دیدگاه خبرگان، میانگین فازی از رابطه (۱) محاسبه شد. روش‌های متعدد و پیچیده‌ای برای فازی زدائی وجود دارد. یکی از بهترین و ساده‌ترین روش‌ها برای فازی زدائی میانگین اعداد فازی مثلثی است (حبیبی و همکاران، ۲۰۱۵: وو و همکاران، ۲۰۱۱)، رابطه (۲). بنا بر نظر خبرگان در این پژوهش مقدار آستانه ۰/۵ برای تأیید یا رد عامل‌ها در نظر گرفته شده است.

$$F_{AVE} = \frac{\sum l}{n}, \frac{\sum m}{n}, \frac{\sum u}{n} \text{ (رابطه ۱)}$$

$$\text{Crisp number} = Z^* = \frac{L+M+U}{3} \text{ (رابطه ۲)}$$

مرحله اجماع و اتمام دلفی فازی: در این مرحله چنانچه قدر مطلق اختلاف میانگین دو مرحله متوالی دلفی فازی از ۰/۱ کمتر باشد دلفی فازی به اتمام می‌رسد (چنگ و لین، ۲۰۰۲).

یافته‌های پژوهش

در این مرحله، برای بومی‌سازی و غربالگری عوامل به دست آمده از پیشینه پژوهش متناسب با شرایط بستر مورد مطالعه پرسشنامه‌ای شامل ۲۱ شاخص چالش نوآوری محصولات پیچیده و تأثیرگذار بر توسعه محصول در سه گروه مختلف در اختیار خبرگان قرار گرفت و از آن‌ها درخواست شد نظرشان را درباره اهمیت شاخص‌ها با متغیرهای کلامی (خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد) و ارائه شاخص‌های دیگر بیان کنند. ابتدا نظرات ۱۵ خبره جمع‌آوری شد. سپس بر اساس جدول ۳ به اعداد فازی تبدیل شد در گام بعد از اعداد فازی توسط رابطه ۱ میانگین گرفته شد تا برای هر شاخص یک عدد فازی ادغام شده به دست آید. سپس این عدد فازی ادغام شده توسط رابطه ۲ به عدد غیر فازی (قطعی) تبدیل شد تا امتیاز قطعی و نهایی هر شاخص به دست آید سپس بر اساس عدد آستانه ۰/۵ که توسط خبرگان تعیین شد در مورد تأیید یا رد شاخص‌ها تصمیم‌گیری شد به عبارت دیگر شاخص‌هایی که میانگین قطعی بالاتر از ۰/۵ دارند مورد تأیید قرار می‌گیرند. همچنین در مرحله اول دلفی

فازی، شاخص «مهندسی سیستم» توسط خبرگان به بعد «خصوصیات فرایند» اضافه شد. پژوهش در دو مرحله برای اطمینان و اجماع نظر انجام شد. در مرحله دوم، نتایج مرحله اول، به همراه میانگین شاخص‌های مرحله اول و شاخصی که توسط خبرگان اضافه شده بود، تهیه و در اختیار خبرگان قرار داده شد و دلفی تکرار شد که نتایج مرحله اول و دوم دلفی فازی در جداول ۴ تا ۶ آورده شده است. به دلیل اینکه قدر مطلق اختلاف میانگین دور اول و دوم تمامی شاخص‌ها کمتر از ۰/۱ هست بر اساس نظر چنگ و لین، دلفی فازی به اتمام می‌رسد.

جدول ۴: نتایج مرحله اول و دوم دلفی فازی در خصوص ریسک‌های فرایند توسعه محصولات پیچیده

شاخص	میانگین فازی مرحله اول	میانگین فازی مرحله دوم	وضعیت مرحله اول	میانگین فازی مرحله دوم	میانگین قطعی مرحله دوم	اختلاف میانگین‌ها قدر مطلق
ریسک فرایند	(۰/۸۳، ۰/۶۲) (۰/۳۷)	(۰/۹، ۰/۷) (۰/۴۵)	تأیید	(۰/۶۲، ۰/۶۰۶)	۰/۶۸۳	۰/۰۷۸
ریسک تکنولوژی و فنی	(۰/۸۵، ۰/۶۳) (۰/۳۸)	(۰/۸۸، ۰/۶۷) (۰/۴۳)	تأیید	(۰/۶۳، ۰/۶۲۲)	۰/۶۶۱	۰/۰۳۹
ریسک سازمان	(۰/۷۰، ۰/۵) (۰/۳۲)	(۰/۷۵، ۰/۵۸) (۰/۳۸)	تأیید	(۰/۵، ۰/۵۰۶)	۰/۵۷۲	۰/۰۶۷
ریسک زمان‌بندی	(۰/۸۸، ۰/۷۵) (۰/۴۵)	(۰/۸۳، ۰/۶۲) (۰/۳۷)	تأیید	(۰/۷۵، ۰/۶۷۸)	۰/۶۰۶	۰/۰۷۲
ریسک بازار	(۰/۸۷، ۰/۶۳) (۰/۳۸)	(۰/۸۸، ۰/۶۸) (۰/۴۳)	تأیید	(۰/۶۳، ۰/۶۲۸)	۰/۶۶۷	۰/۰۳۹
ریسک هزینه و بودجه	(۰/۸۸، ۰/۶۸) (۰/۴۳)	(۰/۸۸، ۰/۷۳) (۰/۴۸)	تأیید	(۰/۶۸، ۰/۶۶۷)	۰/۷۰۰	۰/۰۳۳

جدول ۵: نتایج مرحله اول و دوم دلفی فازی در خصوص ویژگی‌های محصولات پیچیده

شاخص	میانگین فازی مرحله اول	میانگین فازی مرحله دوم	وضعیت مرحله اول	میانگین فازی مرحله دوم	میانگین قطعی مرحله دوم	اختلاف میانگین‌ها قدر مطلق
تعداد زیاد اجزا و زیرسیستم‌ها	(۰/۸۵، ۰/۶۵) (۰/۴)	(۰/۹، ۰/۷) (۰/۴۵)	تأیید	(۰/۶۵، ۰/۶۳۳)	۰/۶۸۳	۰/۰۵
هزینه بسیار بزرگ محصول	(۰/۸۷، ۰/۶۵) (۰/۴)	(۰/۸۷، ۰/۶۵) (۰/۴)	تأیید	(۰/۶۵، ۰/۶۳۹)	۰/۶۳۹	۰

تفاوت میانگین‌ها قدر مطلق	میانگین قطعی مرحله دوم	میانگین فازی مرحله دوم	وضعیت مرحله اول	میانگین قطعی مرحله اول	میانگین فازی مرحله اول	شاخص
۰/۰۴۴	۰/۷	(۰/۷۳، ۰/۸۸) (۰/۴۸)	تأیید	۱۶۵۶ ۰	(۰/۶۸، ۰/۸۵) (۰/۴۳)	عمر طولانی محصول
۰/۰۳۴	۱/۲۸ ۰	(۰/۷۵، ۰/۹۳) (۰/۵)	تأیید	۱۶۹۴ ۰	(۰/۷۲، ۰/۹) (۰/۴۷)	طیف وسیع دانش و مهارت
۰/۰۱۷	۱/۶۵۶ ۰	(۰/۶۸، ۰/۸۵) (۰/۴۳)	تأیید	۱۶۳۹ ۰	(۰/۶۷، ۰/۸۳) (۰/۴۲)	سطح بالای مهندسی سیستم و یکپارچه‌سازی
۰/۰۱۷	۰/۷	(۰/۷۳، ۰/۸۸) (۰/۴۸)	تأیید	۱۶۸۳ ۰	(۰/۷۲، ۰/۸۷) (۰/۴۷)	مقیاس تولید کوچک
۰/۰۱۶	۱/۶۸۳ ۰	(۰/۷۲، ۰/۸۷) (۰/۴۷)	تأیید	۱۶۶۷ ۰	(۰/۷، ۰/۸۵) (۰/۴۵)	شدت دخالت مشتری
۰/۰۱۷	۱/۷۶۱ ۰	(۰/۸، ۰/۹۳) (۰/۵۵)	تأیید	۱/۷۴۴ ۰	(۰/۷۸، ۰/۹۲) (۰/۵۳)	درجه بالا و خاصی از تازگی فن‌آوری و نوآوری
۰	۱/۴۸۹ ۰	(۰/۶۸، ۰/۸۵) (۰/۴۵)	رد	۱/۴۸۹ ۰	(۰/۴۸، ۰/۷۲) (۰/۲۷)	شدت دخالت قانون‌گذاران
۰/۰۲۸	۱/۶۶۱ ۰	(۰/۲۵، ۰/۵) (۰/۱۳)	تأیید	۱/۶۳۳ ۰	(۰/۶۵، ۰/۸۲) (۰/۴۳)	ساختار انحصاری دوجانبه بازار
۰	۱/۴۸۹ ۰	(۰/۴۸، ۰/۷۲) (۰/۲۷)	رد	۱/۴۸۹ ۰	(۰/۴۸، ۰/۷۲) (۰/۲۷)	شدت دخالت تأمین‌کنندگان
۰	۱/۴۸۳ ۰	(۰/۴۷، ۰/۷) (۰/۲۸)	رد	۱/۴۸۳ ۰	(۰/۴۷، ۰/۷) (۰/۲۸)	خصوصیات بازار نهادی/سیاسی

جدول ۶: نتایج مرحله اول و دوم دلفی فازی در خصوص خصوصیات فرایند توسعه محصولات پیچیده

تفاوت میانگین‌ها	میانگین قطعی مرحله دوم	میانگین فازی مرحله دوم	وضعیت مرحله اول	میانگین قطعی مرحله اول	میانگین فازی مرحله اول	شاخص
۰	۰/۷۳۳	(۰/۷۸، ۰/۸۸) (۰/۵۳)	تأیید	۰/۷۳۳	(۰/۷۸، ۰/۸۸) (۰/۵۳)	بازنگری
۰/۰۲۸	۰/۷۵۶	(۰/۸، ۰/۹۲) (۰/۵۵)	تأیید	۰/۷۲۸	(۰/۷۷، ۰/۸۸) (۰/۵۳)	تکرار
۰	۰/۷۳۳	(۰/۷۷، ۰/۹۲) (۰/۵۲)			توسط خبره‌ها ارائه شده است.	مهندسی سیستم

نتایج دلفی فازی نشان می‌دهد که مطابق جدول ۴ هر شش ریسک اصلی مورد تأیید قرار گرفتند و مطابق جدول ۵، ۱۲ شاخص ویژگی‌های محصولات پیچیده ۳ شاخص حذف و ۹ شاخص مورد تأیید قرار گرفت و مطابق جدول ۶، دو شاخص خصوصیات فرایند توسعه تأیید و یک شاخص (مهندسی سیستم) به آن اضافه شد. در نتیجه این غربالگری ۱۸ شاخص متناسب با بستر مورد مطالعه حاصل شد. این شاخص‌ها به همراه بارهای عاملی و پایایی و روایی در ادامه آمده است. در روش حداقل مربعات زوجی قبل از آزمودن فرضیه‌ها به بررسی برازش مدل شامل الف) برازش مدل اندازه‌گیری، ب) برازش مدل ساختاری و ج) برازش مدل کلی پرداخته می‌شود (هالند^۱، ۱۹۹۹).

برازش مدل اندازه‌گیری^۲: پایایی سازه، روایی همگرا^۳ و روایی واگرا پایایی سازه^۴ توسط سه معیار: ۱) ضرایب بارهای عاملی، ۲) ضریب آلفای کرون باخ و ۳) پایایی ترکیبی مورد سنجش قرار می‌گیرد.

ضرایب بارهای عاملی^۵ شاخص‌ها: مقدار هر یک از بارهای عاملی شاخص‌های متغیر مکنون مربوطه باید بزرگ‌تر یا مساوی ۰/۴ باشد (هالند، ۱۹۹۹). در جدول ۷، میزان بارهای عاملی برای شاخص‌های متغیرهای مکنون مدل تحقیق قابل مشاهده است.

جدول ۷: بارهای عاملی شاخص‌های متغیرهای مکنون

متغیر	کد	شاخص	کد شاخص	بار عاملی
ویژگی‌های محصول ^۶	PF	تعداد زیاد اجزا و زیرسیستم‌ها	PF1	۰/۷۳۶
		هزینه بسیار بزرگ محصول	PF2	۰/۸۵۲
		عمر طولانی محصول	PF3	۰/۸۵۴
		طیف وسیع دانش و مهارت	PF4	۰/۸۱۱
		سطح بالای مهندسی سیستم و یکپارچه‌سازی	PF5	۰/۸۶۱
		مقیاس تولید کوچک	PF6	۰/۷۹۴

1. Hulland
2. Measurable Models Goodness Fit
3. Convergent validity
4. Construct reliability
5. Factor Loadings
6. Product Feature (PF)

۰/۷۹۵	PF7	شدت دخالت (مشارکت) بالای مشتری		
۰/۵۷۹	PF8	درجه بالا و خاص تازگی فن‌آوری و نوآوری		
۰/۷۱۲	PF9	ساختار انحصاری دوجانبه بازار		
۰/۸۸۹	PC1	تکرار	PC	خصوصیات فرایند ^۱
۰/۸۲۲	PC2	بازنگری		
۰/۹۲۰	PC3	مهندسی سیستم		
۰/۸۴۴	R1	ریسک فرآیند	R	ریسک ^۲
۰/۸۵۸	R2	ریسک فن‌آوری / فنی		
۰/۸۸۷	R3	ریسک سازمان		
۰/۹۰۹	R4	ریسک زمان‌بندی		
۰/۸۱۹	R5	ریسک بازار		
۰/۷۳۳	R6	ریسک هزینه / بودجه		

همان‌طور که در جدول ۷، ملاحظه می‌شود تمامی مقادیر بارهای عاملی برای مدل تحقیق بالاتر از ۰/۴ است. جدول ۸، مقدار ضریب آلفای کرون باخ و پایایی ترکیبی را برای هر یک از متغیرهای مکنون مدل تحقیق نشان می‌دهد.

جدول ۸: ضریب آلفای کرونباخ و پایایی ترکیبی متغیرهای مکنون تحقیق

کد متغیر	متغیرهای مکنون	آلفای کرون باخ (Alpha > ۰/۷)	پایایی ترکیبی (CR > ۰/۷)
PC	خصوصیات فرایند	۰/۸۵۳	۰/۹۱۰
PF	ویژگی‌های محصول	۰/۹۱۹	۰/۹۳۳
R	ریسک	۰/۹۱۸	۰/۹۳۷

همان‌طور که مشاهده می‌شود مقدار ضریب آلفای کرون باخ و پایایی ترکیبی برای مدل تحقیق این ضرایب همگی بالاتر از ۰/۷ می‌باشند، بنابراین مدل اندازه‌گیری برای مدل تحقیق از پایایی سازه مناسبی برخوردار است.

روایی همگرا: در مدل پی‌آل اس توسط معیار میانگین واریانس استخراج شده^۳ مورد تحلیل قرار می‌گیرد. این شاخص نشان‌دهنده میزان همبستگی هر سازه با سؤالات (شاخص‌های) خود است. برای این معیار فورنل و لاکر، مقادیر بیشتر از ۰/۵ را پیشنهاد می‌کنند چراکه این مقدار تضمین

1. Process Characteristics (PC)
2. Risk (R)
3. Average variance extracted (AVE)

می‌کند حداقل ۵۰ درصد واریانس یک سازه توسط شاخص‌هایش تعریف می‌شود. همان‌طور که در جدول ۹ ملاحظه می‌شود تمامی مقادیر میانگین واریانس استخراج‌شده برای متغیرهای مکنون برای مدل تحقیق بزرگ‌تر از ۰/۵ بوده و بنابراین مدل اندازه‌گیری برای مدل از روایی همگرایی مناسب برخوردار است (فورنل و لاکر، ۱۹۸۱).

جدول ۹: نتایج روایی همگرایی متغیرهای مکنون تحقیق

کد متغیر	متغیرهای مکنون	میانگین واریانس استخراج‌شده ($AVE > 0.5$)
PC	خصوصیات فرایند	۰/۷۷۱
PF	ویژگی‌های محصول	۰/۶۱۱
R	ریسک	۰/۷۱۲

روایی واگرا^۱ میزان همبستگی یک سازه با شاخص‌هایش در مقایسه با همبستگی آن سازه با سایر سازه‌ها را نشان می‌دهد (داوری و رضازاده، ۱۳۹۲). روایی واگرا مدل اندازه‌گیری از معیار فورنل و لاکر استفاده شده است. همان‌طور که در جدول ۱۰ مشاهده می‌شود جذر میانگین واریانس استخراج‌شده بر روی قطر اصلی بزرگ‌تر از مقادیر متغیرهای دیگر است. پس می‌توان گفت آزمون روایی واگرا برای مدل تحقیق تأیید می‌شود. با توجه به موارد فوق می‌توان بیان کرد که مدل از برازش اندازه‌گیری خوبی برخوردار است.

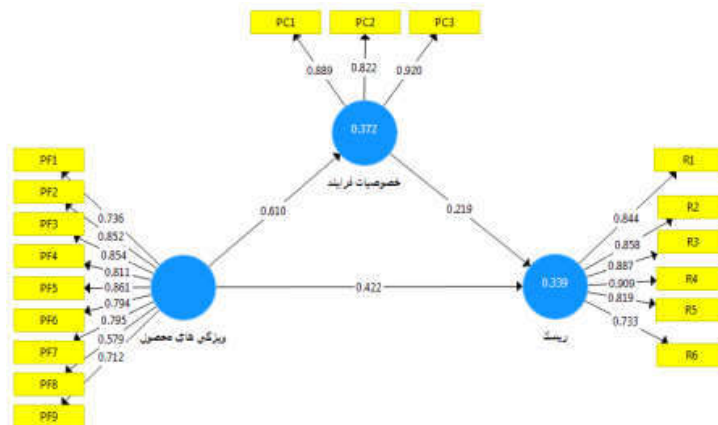
جدول ۱۰: نتایج روایی واگرای متغیرهای مکنون تحقیق

کد متغیر	PC	PF	R
PC	۰/۸۷۸		
PF	۰/۶۱۰	۰/۷۸۲	
R	۰/۴۷۶	۰/۵۵۵	۰/۸۴۴

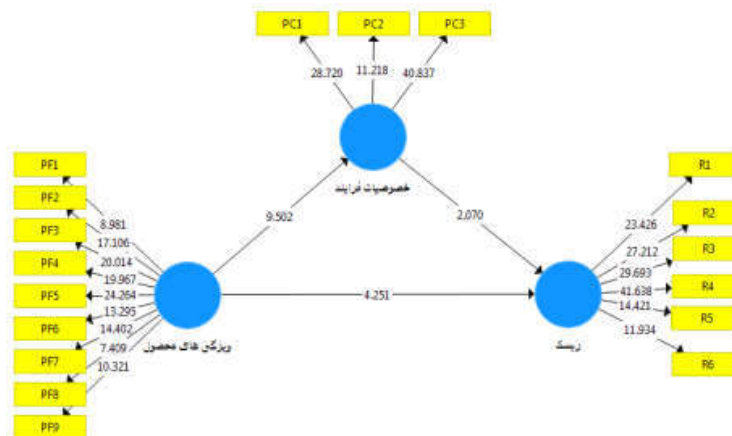
برازش مدل ساختاری^۲: مدل ساختاری برخلاف مدل اندازه‌گیری، به سؤالات (متغیرهای آشکار) مربوط نیست و تنها متغیرهای پنهان همراه با روابط میان آن‌ها را بررسی می‌کند و از معیارهای ضریب مسیر، ضریب تعیین و آماره تی یا ضرایب معناداری برای ارزیابی مدل استفاده می‌شود. تمامی این ضرایب با تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار اسمارت پی آل اس در مدل معادلات ساختاری زیر برای مدل تحقیق حاصل شده است. در

1. Discriminant Validity
2. Structure Model Goodness Fit

شکل ۴، ضرایب مسیر^۱ یا ضریب بتا (β) و در شکل ۵، ضرایب معناداری (تی^۲) برای مدل تحقیق نشان داده شده است. معیار اول برای بررسی برازش مدل ساختاری، ضرایب معناداری یا مقادیر (آماره تی) است. مطابق با شکل ۵، تمامی مسیرها دارای ضریب معناداری بزرگ‌تر از ۱/۹۶ می‌باشند پس تمامی مسیرها برای مدل تحقیق تأیید می‌شوند.



شکل ۴: مدل معادلات ساختاری تحقیق همراه با ضرایب مسیر



شکل ۵: مدل معادلات ساختاری تحقیق همراه با ضرایب معناداری (آماره تی)

دومین معیار برای بررسی برازش مدل ساختاری، ضرایب تعیین، R^2 مربوط به متغیرهای پنهان درون‌زای (وابسته) مدل است. سه مقدار ۰/۱۹، ۰/۳۳ و ۰/۶۷ به‌عنوان مقدار ملاک برای مقادیر ضعیف، متوسط و قوی R^2 در نظر گرفته می‌شود (چین^۳، ۱۹۹۸). مطابق جدول ۱۱، مقدار R^2 برای سازه‌های درون‌زا برای مدل تحقیق محاسبه شده است که با توجه

1. Path Coefficient
2. T- values
3. Chin

به سه مقدار ملاک، مناسب بودن برازش مدل ساختاری برای مدل تحقیق را تأیید می‌کند.

جدول ۱۱: نتایج معیار R2 متغیرهای مکنون درون‌زای تحقیق

کد متغیر	متغیرهای مکنون درون‌زا	معیار R2
PC	خصوصیات فرایند	۰/۳۷۲
R	ریسک	۰/۳۳۹

سومین معیار برازش مدل ساختاری، معیار استون-گیزر^۱ یا Q2 است که قدرت پیش‌بینی مدل را مشخص می‌سازد. هنسeler و همکاران^۲ (۲۰۰۹) سه مقدار ۰/۰۲، ۰/۱۵ و ۰/۳۵ را برای نشان دادن قدرت پیش‌بینی ضعیف، متوسط و قوی سازه یا سازه‌های درون‌زای مربوط به آن تعریف کرده‌اند (داوری و رضازاده، ۱۳۹۲).

جدول ۱۲: نتایج معیار Q2

کد متغیر	متغیرهای مکنون درون‌زا	معیار Q2
PC	خصوصیات فرایند	۰/۲۶۰
R	ریسک	۰/۲۱۹

همان‌طور که در جدول ۱۲ مشاهده می‌شود برای مدل تحقیق، تمامی متغیرها در میزانی بالاتر از ۰/۱۵ هستند و نشانگر قدرت پیش‌بینی قوی در قبال سازه و مدل را دارند. برازش مدل کلی^۳: برای بررسی برازش مدل کلی که هر دو بخش مدل اندازه‌گیری و ساختاری را کنترل می‌کند، از معیار SRMR استفاده می‌شود که توسط وتزلز و همکاران^۴ (۲۰۰۹) مقدار کمتر از ۰/۰۸، به‌عنوان معیار قوی برای SRMR معرفی شده است.

جدول ۱۳: نتایج برازش مدل کلی

مقدار	شاخص برازش کلی
۰/۰۷۵	SRMR

با توجه به مقدار به‌دست‌آمده در جدول ۱۳ برای معیار SRMR به میزان ۰/۰۷۵ که کمتر از مقدار ۰/۰۸ است برازش بسیار مناسب مدل کلی برای مدل تحقیق تأیید می‌شود.

-
1. Stone-Geisser Criterion
 2. Henseler et al.
 3. Total Model Goodness Fit
 4. Wetzels et al.

بررسی فرضیه‌های تحقیق:

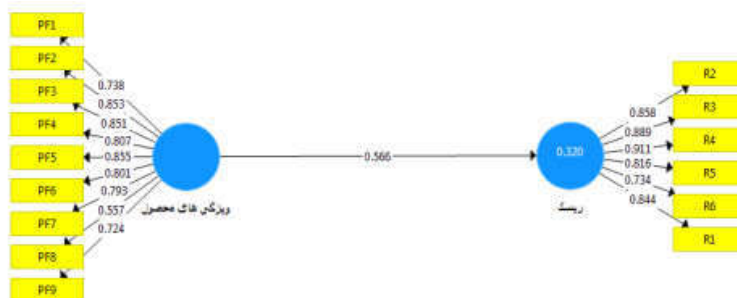
پس از بررسی برازش مدل‌های اندازه‌گیری، مدل ساختاری و مدل کلی، به آزمون فرضیه‌های پژوهش در دو بخش بررسی ضرایب تی یا معناداری و ضرایب مسیر پرداخته شد. نتایج آزمون در جدول ۱۶ آمده است. وقتی مقدار تی آماری، برای آزمون یک فرضیه در سطح $0/05$ بالاتر از حداقل $1/96$ باشد، فرضیه تأیید می‌شود (مؤمنی و قیومی، ۱۳۹۱) ضریب مسیر نیز نشان‌دهنده اثر مستقیم یک سازه بر سازه دیگر است. هر چه ضریب مسیر بالاتر باشد، تأثیر پیش‌بینی کننده متغیر مکنون نسبت به متغیر وابسته بیشتر خواهد بود؛ بنابراین بر اساس ضرایب مسیر و اعداد معناداری فرضیه‌های اول و دوم و سوم تأیید می‌شوند. در جدول ۱۵، نتایج آزمون فرضیات تحقیق در مدل معادلات ساختاری آمده است.

جدول ۱۵: نتایج آزمون فرضیات تحقیق

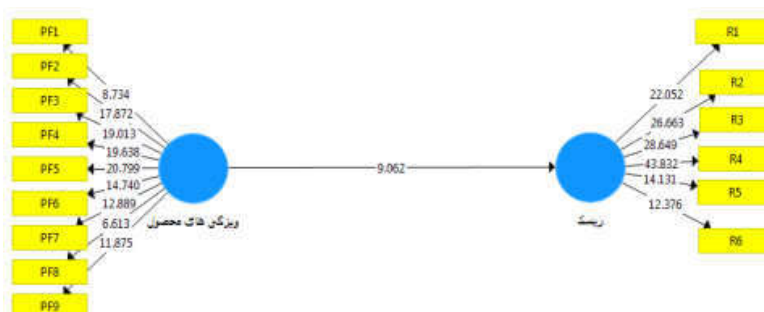
فرضیات اصلی	مسیر	ضریب مسیر	ضریب معناداری	سطح معناداری	نتیجه
فرضیه اول	ویژگی‌های محصول ← ریسک‌های فرایند توسعه	۰/۴۲۲	۴/۲۵۱	۰/۰۰۰	تأیید، مثبت و معنادار
فرضیه دوم	خصوصیات فرایند ← ریسک‌های فرایند توسعه	۰/۲۱۹	۲/۰۷۰	۰/۰۰۰	تأیید، مثبت و معنادار
فرضیه سوم	ویژگی‌های محصول ← خصوصیات فرایند توسعه	۰/۶۱۰	۹/۰۵۲	۰/۰۰۰	تأیید، مثبت و معنادار
فرضیه چهارم	ویژگی‌های محصول ← خصوصیات فرایند توسعه ← ریسک‌های فرایند	۰/۱۳۳	-	-	میانجی‌گری جزئی

برای اثرات میانجی، محققان بیشتر از رویکرد پریچر و هایس که برای مدل‌های میانجی ساده و چندگانه کار می‌کند، پیروی می‌کنند و توزیع نمونه‌گیری اثرات غیرمستقیم را بوت استرپ می‌کنند، بنابراین باید یک‌بار مدل را بدون حضور میانجی و بار دیگر با حضور متغیر میانجی در نرم‌افزار اجرا و از مقدار شمول واریانس^۱ استفاده کرد.

1. Variance Accounted For (VAF)



شکل ۶: مدل معادلات ساختاری همراه با ضرایب مسیر بدون متغیر میانجی



شکل ۷: مدل معادلات ساختاری همراه با ضرایب معناداری بدون متغیر میانجی

همان‌طور که در شکل‌های ۴، ۵، ۶ و ۷ مشاهده می‌شود و در جدول ۱۴ به صورت خلاصه آمده است ضرایب معناداری (تی) اثر ویژگی‌های محصولات پیچیده بر ریسک‌های فرایند توسعه با حضور متغیر میانجی (خصوصیات فرایند توسعه) $4/251$ و بدون حضور متغیر میانجی $9/062$ است و با توجه به اینکه آماره تی در هر دو حالت بزرگ‌تر از مقدار بحرانی $1/96$ در سطح خطای $0/000$ است بنابراین اثر ویژگی‌های محصولات پیچیده بر ریسک‌های فرایند توسعه در هر دو حالت معنادار است و می‌توان بیان کرد خصوصیات فرایند توسعه نقش میانجی‌گری دارد در نتیجه برای تعیین میزان جذب‌کنندگی اثر از سوی متغیر میانجی، شمول واریانس بکار گرفته می‌شود. شمول واریانس اندازه اثر غیرمستقیم نسبت به اثر کل (اثر غیرمستقیم + اثر مستقیم) را تعیین می‌کند:

جدول ۱۴: خلاصه آزمون‌ها با حضور و بدون حضور متغیر میانجی

مسیر	میزان اثر یا ضریب مسیر	ضریب مسیر	ضریب معناداری	سطح معناداری
تأثیر ویژگی‌های محصول بر ریسک‌های فرایند توسعه، بدون حضور خصوصیات فرایند توسعه		$0/566$	$9/062$	$0/000$
تأثیر ویژگی‌های محصول بر ریسک‌های فرایند توسعه، با حضور خصوصیات فرایند توسعه	p13	$0/422$	$4/522$	$0/000$

۰/۰۰۰	۹/۰۵۲	۰/۶۱۰	p12	تأثیر ویژگی‌های محصول بر خصوصیات فرایند توسعه
۰/۰۰۰	۲/۰۷۰	۰/۲۱۹	p23	تأثیر خصوصیات فرایند توسعه بر ریسک‌های فرایند توسعه

رابطه شمول واریانس $VAF = (p12 \times p23) / (p12 \times p23 + p13)$

اگر مقدار شمول واریانس کمتر از ۲۰٪ باشد می‌توان نتیجه گرفت که میانجی‌گری صورت نگرفته است. در مقابل، وقتی مقدار شمول واریانس بالاتر از ۸۰٪ باشد، می‌توان ادعای میانجی‌گری کامل کرد. وضعیتی که در آن شمول واریانس بیشتر از ۲۰٪ و کمتر از ۸۰٪ است، به‌عنوان میانجی‌گری جزئی شرح داده می‌شود.

$$VAF = \frac{0.610 \times (0.219)}{(0.610 \times (0.219)) + 0.422} = 0.24$$

همان‌طور از محاسبه شمول واریانس پیداست، مقدار شمول واریانس برابر با ۰/۲۴ بوده که برابر با ۲۴٪ است از مقدار ۲۰٪ بیشتر و از مقدار ۸۰٪ کمتر است. پس می‌توان ادعا کرد که متغیر خصوصیات فرایند توسعه رابطه بین ویژگی محصولات پیچیده و ریسک‌های فرایند توسعه را به‌صورت جزئی، میانجی‌گری می‌کند.

بحث و نتیجه‌گیری

در پژوهش حاضر چالش‌های توسعه محصولات پیچیده هوافضایی شناسایی و بومی‌سازی شدند. سپس با مدل‌سازی و تحلیل، روابط پیچیده این مؤلفه‌ها بر یکدیگر با در نظر گرفتن مؤلفه خصوصیات فرایند توسعه به‌عنوان میانجی بررسی شد؛ بنابراین پس از طراحی مدل ساختاری، برآورد و آزمون مدل، کلیه شاخص‌های برازش مدل در بازه قابل قبولی قرار گرفتند و درنهایت مدل تأیید شد و در ادامه روابط بین متغیرها به تحلیل مسیر و آزمون فرضیه منتهی شد. نتایج غربالگری و بومی‌سازی شاخص‌های استخراج‌شده از پیشینه پژوهش در بافت کشور ایران نشان داد که پیچیدگی محصول ناشی از شاخص‌های، شدت دخالت تأمین‌کنندگان (هابدی و دیویس، ۲۰۰۵)، خصوصیات بازار نهادی و سیاسی و قانونی (رن و خم، ۲۰۱۱) و شدت دخالت قانون‌گذاران (رن و خم، ۲۰۱۱) که در بستر کشورهای دیگر عامل پیچیدگی محصول بودند در ایران به دلایلی مانند ساختار اداری متفاوت دولت، عدم اتحاد استراتژیک تولیدکننده محصولات با تأمین‌کنندگان و نیز ساختار نظامی بستر مورد مطالعه از اهمیت ناچیزی برخوردار بودند و به‌عنوان عوامل پیچیدگی محصولات شناخته نشدند و این تمایز در ویژگی‌ها، جنبه‌ای از نوآوری پژوهش به شمار می‌رود. در مورد خصوصیات فرایند توسعه، نتیجه مهم دیگر، اضافه شدن شاخص مهندسی سیستم به

شاخص‌های خصوصیات فرایند توسعه (بازنگری و تکرار) بود که جنبه مهم دیگری از نوآوری‌های پژوهش است.

نتیجه آزمون فرضیه اول نشان داد که ویژگی‌های محصولات پیچیده بر ریسک‌های توسعه محصول اثر مثبت، مستقیم و معناداری دارد و این هم‌راستا با پژوهش‌های (جابر، ۲۰۱۶) و (یئو و بینگتائو، ۲۰۱۴) است، ازاین‌رو در زمان طراحی و توسعه محصول راهکارهایی چون شکستن محصولات پیچیده به کوچک‌ترین جز و استفاده از مهندسی سیستم در هر مرحله توسعه، برآورد مناسب هزینه و زمان توسعه و اتحادهای استراتژیک با تأمین‌کنندگان به‌عنوان پیشنهادهای کاربردی، برای سازمان مورد مطالعه پیشنهاد می‌شود. تأیید فرضیه دوم بیانگر اثر مثبت، مستقیم و معنادار خصوصیات فرایند توسعه محصولات پیچیده بر ریسک‌های توسعه محصولات پیچیده است و این هم‌راستا با مطالعات (درایان و اپینگر، ۲۰۱۱) است. در این خصوص پیشنهاد کاربردی این است که از تکرارهای داخل مراحل استفاده شود و بازنگری‌های سخت‌گیرانه و بعد از هر مرحله توسعه صورت پذیرد و فرایند مهندسی سیستم تا پایین‌ترین جز درخت محصول انجام شود. تأیید فرضیه سوم اثر مثبت و معنادار ویژگی‌های محصولات پیچیده بر خصوصیات فرایند توسعه را نشان می‌دهد و این نتیجه همسو با نتایج پژوهش‌های (اپینگر و همکاران ۱۹۹۴: اسمیت و اپینگر ۱۹۹۷) است و بر این اساس استفاده از تعداد و دامنه زمانی مناسب بازنگری و تکرار در فرایند توسعه می‌تواند کاربردی پیشنهاد می‌شود.

آزمون فرضیه چهارم نقش میانجی‌گری خصوصیات فرایند توسعه در اثرگذاری ویژگی‌های محصولات پیچیده بر ریسک‌های فرایند توسعه را مورد تأیید قرار داد. هر چند در پژوهش‌های گذشته به آن پرداخته نشده است با این حال، استفاده از تعداد و نوع تکرارها و بازنگری و مهندسی سیستم در فرایند توسعه می‌تواند اثر پیچیدگی‌های محصول بر ریسک‌ها را که یکی از منابع افزایش ریسک است تحت تأثیر قرار دهد، بنابراین انتخاب خصوصیات فرایند توسعه به‌عنوان متغیر میانجی در این پژوهش جنبه نوآوری دیگری از پژوهش حاضر است.

با توجه به عدم مطالعه هم‌زمان رابطه ویژگی‌های محصولات پیچیده، خصوصیات فرایند توسعه محصولات پیچیده و ریسک‌های فرایند توسعه در قالب نظریه‌ها و نبود مطالعه قبلی مشابه در بستر محصولات پیچیده هوافضا در ایران، پژوهش حاضر از نوعی تازگی و نوآوری برخوردار است. بر اساس تحلیل داده‌ها مدل نهایی پژوهش به شکل زیر ارائه شد:



شکل ۸: مدل مفهومی نهایی چالش های نوآوری محصولات پیچیده

توجیه مصاحبه شوندگان در زمینه رویکرد پژوهش و زمان بر بودن فرایند از محدودیت های تحقیق حاضر بود. با توجه به محدودیت های پژوهش مطالعات موردی از صنایع دارای محصولات پیچیده دیگر به عمق دانش در این حوزه کمک خواهد کرد و بررسی تأثیر این عوامل بر عملکرد پروژه های توسعه محصولات پیچیده بسیار مفید خواهد بود و نیز تحقیق بیشتر در مورد چگونگی مدیریت این چالش ها در توسعه محصولات پیچیده مورد نیاز است.

منابع

- آذر، عادل. فرجی حجت. (۱۳۸۹). علم مدیریت فازی، تهران. انتشارات کتاب مهربان نشر.
- داوری، علی. رضازاده، آرش. (۱۳۹۲). مدل سازی معادلات ساختاری با نرم افزار نمونه سازی معادلات ساختاری PLS. تهران: انتشارات جهاد دانشگاهی.
- Cheng, C.H. and Lin, Y. (2002), *Evaluating the Best Main Battle Tank Using Fuzzy Decision Theory with Linguistic Criteria Evaluation*. European Journal of Operational Research. Vol,142. No1,174-186.
- Chin, W. (1998), *Issues And Opinion On Structural Equation Modeling*, MIS Quarterly, Vol, 22. No.1, 7-16.
- Cooper, R.G. and Elko, J. Kleinschmidt. (1999), *New Product Processes at Leading Industrial Firms in IBM-3M-GM-Northern Telecom-Emerson Electrics*.

- Crawley, E. Cameron, B. and Selva, D. (2015), *System Architecture – Strategy and Product Development for Complex Systems*, Hoboken, Prentice Hall.
- Davies, A. and Hobday, M. (2005), *The Business of Projects; Managing Innovation in Complex Products and Systems*, New York, Cambridge University press.
- Drarian, W.U. and Eppinger, S.D. (2011), *Improving Product Development Process Design: a Method for Managing Information Flows, Risks, and Iterations*. Journal of Engineering Design, Vol, 22. No, 10, 689-699.
- Darian, W.U. and Eppinger, S.D. (2009), *Comparing Product Development Processes and Managing risk*. International Journal of Product Development, Vol, 8. No, 4.
- Elfving, S. (2007), *Managing Collaborative Product Development*. Department of Innovation Design and Product Development, Malardalen University Press Dissertations.
- Eppinger, S.D. Daniel E. Whitney, Robert P. Smith, and David A. Gebala (1994), *A Model-Based Method for Organizing Tasks in Product Development*, *Research in Engineering Design*. Vol 6, 1-13.
- Fornell, C. & David Larcker. (1981), *Evaluating Structural Equation Models with Unobservable Variables and Measurement Error*. Algebra and statistic Journal of Marketing Research.
- Habibi, A. Jahantigh, F. F. Sarafrazi. A. (2015), *Fuzzy Delphi Technique for Forecasting and Screening Items*. Asian Journal of Research in Business Economics and Management. Vol. 5, No. 2, 130-143.
- Hobday, M. (1998), *Product Complexity, Innovation and Industrial Organisation*. Research Policy, Vol 26, 689-710.
- Hadi, Jaber. (2016), *Modeling and Analysis of Propagation Risks in Complex Projects: Application to the Development of New Vehicles*. Chemical and Process Engineering. Universit_e Paris-Saclay.
- Henseler, J. Ringle, C. And Sinkovics, R. (2009), *The Use Of Partial Least Squares Path Modeling In International Marketing*. New Challenges To International Marketing, Vol. 20, 277-320.
- Hulland, J. (1999). *Use of Partial Least Squares (PLS) in Strategic Management Research: a Review of Four Recent Studies*. Strategic Management Journal, vol, 20. No, 2. 195–204.
- Hoo-Gon Choi, Seonmuk Park, Jongseong Kim. (2011), *A Risk Management System Framework for New Product Development (NPD)*. IPEDR vol.4 © IACSIT Press, Singapore, 51-55.
- Keizer J.A, Halman I.M. (2009), *Risks in Major Innovation Projects, a Multiple Case study Within a World's Leading Company in the Fast Moving Consumer goods*. Int. J. Technology Management, Vol, 48. No, 4.
- Koen, P.A. Ajamian, G. Boyce, S. Clamen, A. Fisher, E. Fountoulakis, S. Johnson A. Puri. P. Seibert, R. (2002). *Fuzzy-Front End: Effective Methods, Tools and Techniques*, In P. Belliveau, A. Griffen and S. Sorermeyer, eds. *PDMA Toolbook for New Product Development*. New York: John Wiley and Sons, 2 -35.

- Lai, C. (2010). *Research on Non-linear Dynamics Correcting Mechanism of Complex Products and System*. *Advanced Materials Research*. 113-116 and 679-684.
- Mansor, N. Siti, N.Y. & Kazuhiro O. (2016), *Risk Factors Affecting nwe Product Development (NPD) Perfoemance in Small Medium Enterprises (SMES)*. Aichi Institute of Technology (Motoyama Campus), 1-38.
- Martínez-Noya, A. and García-Canal, E. (2011). *Technological Capabilities and the Decision to Outsource/Outsource Offshore R&D Services*. *International Business Review*, Vol,20. No,3, 264-277.
- Miller, R. Lessard, D. (2001), *Understanding and Managing Risks in Large Engineering Projects*. *International Journal of Project Management*. Vol, 19, 437-443.
- Ramachandran, Natarajan, Noshir A. Langrana, Louis I. Steinberg, and Vakram R. J. (1992). *Initial Design Strategies for Iterative Design*. *Research in Engineering Design* Vol,4.159-169.
- Ren, Ying Tao and Khim, Teck Yeo. (2011). *Research Challenges on Complex Product Systems (CoPS) Innovation*, 1-11.
- Singh, K. (2007), *Quantitative Social Research Methods*, SAGE
- Somerville, J. A. (2008). *Effective Use of the Delphi Process in Research: Its Characteristics, Strengths, and Limitations*.
- Smith, Robert P. and Steven D. Eppinger. (1997). *Identifying Controlling Features of Engineering Design Iteration*. *Management Science*, Vol, 43.No,3, 276-293.
- Thouser, J. M. de Visser. M. L. Ehrenhard. (2017). *Risk Management of New Product Development*. A Manual for SMEs 9th IBA Bachelor Thesis Conference. Enschede, The Netherlands.
- Vu, M. Spinler, S. Huchzermeier, A. (2018). *Risk Management in Complex New Product Development Projects – the Automotive Industry Perspective*. WHU – Otto Beisheim School of Management. 8-34.
- Wetzels, M. Odekkerken-Schroder, G. Van Oppen, C. (2009). *Using PLS Path Modeling for Assessing Hierarchical Construct Models*. *Guidelines and Empirical Illustration*, *MIS Quarterly*. Vol,33.No, 1, 177.
- Yeo k T, Yingtao Ren, (2014). *Risk Management Capability Maturity Model for Complex Product Systems (CoPS) Projects*.
- Zavieh Seyyed Ghasem Salimi, Fekri Roxana, (2014). *The Prioritization of the Risk Factors in the Processes of the New Product Development in the Iranian Automobile Industry with the FMEA Method and the SEM Analysis Model* *International Journal of Basic Sciences & Applied Research*. Vol. 3 (SP), 299-311.

