



Identifying and Prioritizing Factors Influencing the Adoption of Design for Supply Chain (DFSC) in the Iranian Shipbuilding Industry Using the Analytic Hierarchy Process

Seyed Mahdi Ebrahimi¹, Mahdi Nakhaeinejad^{*2} 

¹PhD Student, Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Yazd University, Yazd, Iran. Email Address: s.mahdi.ebrahimi@stu.yazd.ac.ir

²Associate Professor, Department of Industrial Engineering, Yazd University, Yazd, Iran. Email Address: m.nakhaeinejad@yazd.ac.ir

ARTICLE INFO

Article history:

Article Type: Research Paper

Received: 3 February 2025

Received in revised form: 23 June 2026

Accepted: 30 August 2026

Available online: 16 September 2026

Keywords:

Design for Excellence (DFX)

Design for Supply Chain (DFSC)

Shipbuilding Industry

Analytic Hierarchy Process (AHP)

Supply Chain Management

ABSTRACT

Given the requirements of the 4.0 industry and the increasing competitiveness in the fast-moving consumer goods (FMCG) industry, this study aims to provide a pioneering theoretical framework to identify the requirements and paths for implementing a smart supply chain in this industry. The main goal is to provide insights and practical strategies for FMCG companies to systematically transition to a smart supply chain. The present study was conducted with a qualitative approach and using semi-structured interviews. The data were analyzed using the content analysis method and ultimately led to the development of a model. The statistical population included academic experts familiar with the field of supply chain and the FMCG industry, 11 of whom were selected through purposive sampling. The sample size was determined based on the theoretical saturation rule. The results of data analysis led to the identification of concepts in the form of 5 main themes including acceptance process, participation, culture building, process synchronization and supply chain smartization, and were examined at four levels: physical, organizational, data and technology. The main innovation of the research is to provide a comprehensive and multi-level framework as an operational roadmap for supply chain intelligence in the FMCG industry. The findings show that systematic implementation of this framework can lead to improved transparency, enhanced service quality, increased operational agility, and ultimately enhanced competitive advantage and business growth in the digital space. This framework can be used as a practical basis for decision-making by managers and policymakers in the FMCG industry.

Cite this article: S. M. Ebrahimi and M. Nakhaeinejad, "Identifying and Prioritizing Factors Influencing the Adoption of Design for Supply Chain (DFSC) in the Iranian Shipbuilding Industry Using the Analytic Hierarchy Process, vol. 28, no. 2, pp. 83-100, 2026. DOI: <https://doi.org/10.47176/scmj.2026.1699>



© Author(s) retain the copyright and full publishing rights
Publisher: Imam Hossein University

Introduction

As a resource-intensive, technology-driven, and infrastructural sector, the shipbuilding industry plays a pivotal role in fostering economic development and facilitating maritime transportation. Nevertheless, its inherently project-based nature, prolonged design-to-delivery lifecycles, substantial technical complexity, and stringent regulatory standards render it one of the highest-risk industrial sectors.

In recent decades, the Design for Supply Chain (DFSC) approach has emerged as an innovative paradigm aimed at integrating strategic supply chain decisions into the earliest stages of conceptual and detailed engineering design. Despite extensive research on aligning engineering design with supply chain capabilities, a conspicuous research gap persists regarding the systematic operationalization of this approach within the maritime and shipbuilding industries, particularly in the context of developing economies.

To bridge this gap, the present study seeks to comprehensively identify, categorize, and prioritize the critical success factors influencing the effective adoption of DFSC in the Iranian shipbuilding industry. Ultimately, this research proposes a robust decision-support framework to enhance design–supply chain integration and foster the strategic implementation of DFSC practices.

Research Objectives and Questions

This study addresses the fundamental research question: What are the critical factors and criteria influencing the implementation of Design for Supply Chain (DFSC) in the Iranian shipbuilding industry, and how are these factors prioritized based on their relative importance?

Specifically, the primary objectives are as follows:

- To comprehensively identify the key dimensions, determinants, and operational challenges affecting DFSC implementation in the shipbuilding industry.
- To contextualize and refine the identified criteria based on expert consensus from maritime industry leaders and supply chain specialists.
- To determine the relative weights and prioritize criteria and sub-criteria systematically using the Analytic Hierarchy Process (AHP).
- To provide actionable managerial insights and policy guidelines aimed at mitigating risks, containing costs, and enhancing operational efficiency across vessel design and procurement stages.

Methodology

This research is applied in terms of its objective and employs a quantitative, descriptive-survey methodology for data collection and analysis. The implementation process was executed across four consecutive stages:

- Initial Identification and Screening: A systematic review of relevant literature on Design for Excellence (DFX), DFSC, and marine engineering challenges was conducted to formulate an initial pool of candidate dimensions and metrics.

- **Structural Model Refinement:** A panel of 10 domain experts—comprising senior engineering directors, naval architects, and supply chain management scholars (with an average professional experience exceeding 10 years in the maritime sector)—was engaged to screen and finalize the criteria.
- **Questionnaire Design and Data Collection:** Pairwise comparison matrices based on Saaty's 1–9 fundamental scale were developed to elicit expert preferences and judgments.

Hierarchical Analysis and Consistency Verification: The relative weights and overall priorities were computed using computational software (Expert Choice and Excel). The Consistency Ratio (CR) for all pairwise comparison matrices remained strictly below 0.10, confirming the robustness and logical consistency of expert evaluations.

The finalized hierarchical model comprises 9 main dimensions—Design Technology, Supply Chain, Economic Factors, Organizational & Managerial Factors, Environmental & Regulatory Aspects, Information Technology & Data Integration, Risk Management, Sustainability & Environmental Considerations, and Supplier Collaboration—encompassing a total of 28 specialized sub-criteria.

Findings

The empirical findings derived from the pairwise comparisons revealed an uneven distribution of importance across dimensions and sub-criteria, converging predominantly around three core hubs: Design Technology and Engineering, Economic Feasibility, and Supplier Relationship Management:

- At the sub-criteria level, “Ship Design Complexity” (A1) obtained the highest global priority with a weight of 0.1662, ranking first overall.
- “Initial Design and Production Setup Costs under DFSC” (C1) ranked second with a global weight of 0.1238.
- “Standardization Barriers of Marine Parts and Equipment” (A2) secured the third position with a weight of 0.0674.

Discussion

The empirical findings substantiate that the shipbuilding industry, governed by an Engineer-to-Order (ETO) paradigm and exceptionally complex product architectures, is fundamentally constrained by engineering complexity. The dominance of “Ship Design Complexity” (A1) aligns with core tenets in concurrent engineering literature, asserting that the inability to decouple product architectures into clearly delineated, modular building blocks constitutes the primary barrier to alignment between engineering teams and procurement networks.

Furthermore, the prominence of “Initial Setup Costs” (C1) underscores the prevailing apprehension among maritime executives regarding upfront engineering expenditure. However, theoretical DFSC principles demonstrate that front-loading investments during conceptual design yield exponential downstream cost savings by eradicating costly rework, engineering change orders (ECOs), and logistics bottlenecks during fabrication and outfitting. Moreover, the elevated rankings of component standardization (A2) and Early Supplier Involvement (I1) demonstrate that traditional procurement mechanisms—characterized by post-design competitive tendering—are structurally obsolete in modern shipbuilding, emphasizing the necessity of embedding manufacturing and supply chain constraints into early-stage engineering decisions.

Conclusions and Managerial Implications

The prioritization framework developed in this study provides actionable guidance for decision-makers and senior executives across shipbuilding and marine industrial complexes. To operationalize DFSC effectively, industrial strategies should prioritize the following initiatives:

- Adopting Modular and Platform-Based Design Architectures: Mitigating ship structural complexity through standardized, functionally independent blocks and machinery modules that facilitate concurrent manufacturing and parallel procurement.
- Developing Standard Equipment Catalogs and Libraries: Enhancing engineering–supply chain cohesion by eliminating unnecessary component proliferation in high-volume categories (such as piping systems, valves, auxiliary engines, and electrical fittings).
- Institutionalizing Early Supplier Involvement (ESI): Establishing strategic partnerships with key structural and navigational equipment suppliers during conceptual design to optimize lead times, component availability, and Design for Manufacturing and Assembly (DFMA).
- Deploying Product Lifecycle Management (PLM) Infrastructure: Bridging CAD/CAM environments with Enterprise Resource Planning (ERP) and supply chain systems to provide design engineers with real-time visibility into supplier inventories, component lead times, and unit costs.

Limitations and Future Research Directions:

As with most expert-based studies, this research was subject to certain limitations, notably the restricted access to proprietary and classified maritime data, alongside a reliance on purposive sampling of domain experts. Future research could empirically validate the proposed model through real-world case studies focusing on specific vessel classes, such as Offshore Support Vessels (OSVs) or specialized cargo ships. Furthermore, to effectively capture the interdependencies and dynamic feedback loops among the various dimensions, future studies are encouraged to employ interactive Multi-Criteria Decision-Making (MCDM) frameworks, such as the Analytic Network Process (ANP) or hybrid fuzzy decision-making systems.

شناسایی و رتبه بندی عوامل مؤثر بر بکارگیری رویکرد طراحی برای زنجیره تامین در صنعت

کشتی سازی ایران با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی

سید مهدی ابراهیمی^۱، مهدی نخعی نژاد^{۲*} 

^۱ دانشجوی دکتری مهندسی صنایع، دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه یزد، یزد، ایران. رایانامه: s.mahdi.ebrahimi@stu.yazd.ac.ir

^۲ دانشیار گروه مهندسی صنایع، دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه یزد، یزد، ایران (نویسنده مسئول). رایانامه: m.nakhaeinejad@yazd.ac.ir

مشخصات مقاله

تاریخچه مقاله:

نوع مقاله: علمی پژوهشی

دریافت: ۱۴۰۴/۱۱/۱۴

بازنگری: ۱۴۰۵/۰۴/۰۲

پذیرش: ۱۴۰۵/۰۶/۰۸

ارائه آنلاین: ۱۴۰۵/۰۶/۲۵

کلیدواژه‌ها:

طراحی برای تعالی (DFX)

طراحی برای زنجیره تامین

(DFSC)

صنعت کشتی سازی

روش تحلیل سلسله مراتبی

مدیریت زنجیره تامین

چکیده

صنعت کشتی سازی یکی از صنایع مهم و اساسی است که توجه به توسعه آن منجر به توسعه زنجیره ای وسیع از تولیدکنندگان و تامین کنندگان خواهد شد. براین اساس این پژوهش با هدف شناسایی و رتبه بندی عوامل مؤثر بر بهره گیری از رویکرد طراحی برای زنجیره تامین (DFSC) در یک صنعت کشتی سازی در ایران انجام شده است. در این مطالعه، ابتدا با مرور ادبیات و نظرات خبرگان، عوامل مؤثر بر پیاده سازی رویکرد طراحی برای زنجیره تامین شناسایی شدند. سپس، با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP) که یکی از روش های تصمیم گیری چندمعیاره است و براساس نظرات ۱۰ تن از خبرگان این صنعت با استفاده از مصاحبه ساختاریافته، این عوامل بر اساس اهمیت و تأثیرگذاری رتبه بندی شدند. نتایج پژوهش نشان داد که عواملی نظیر پیچیدگی طراحی کشتی و هزینه بهره گیری از مبحث طراحی برای زنجیره تامین و مشکلات حوزه استانداردسازی قطعات به ترتیب از مهم ترین عوامل تأثیرگذار بر بهره گیری از رویکرد طراحی برای زنجیره تامین هستند. این مطالعه موردی در صنعت کشتی سازی می تواند به عنوان راهنمایی جهت شناسایی شاخص های اثرگذار بر رویکرد طراحی برای زنجیره تامین در سایر صنایع مشابه مورد استفاده قرار گیرد.

استناد: ابراهیمی، سید مهدی، نخعی نژاد، مهدی، "شناسایی و رتبه بندی عوامل مؤثر بر بکارگیری رویکرد طراحی برای زنجیره تامین در

صنعت کشتی سازی ایران با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی"، دوره ۲۸، شماره ۲، صفحات ۸۳-۱۰۰، ۱۴۰۵.

DOI: <https://doi.org/10.47176/scmj.2026.1699>

© نویسنده (گان) حق نشر و حقوق کامل انتشار را برای خود محفوظ می دارند.

ناشر: دانشگاه جامع امام حسین (ع).



OPEN ACCESS

۱- مقدمه

در بسیاری از پژوهش‌ها این موضوع مورد بررسی قرار گرفته که هرچه تفکر زنجیره تامین و بسیاری از موارد سیستماتیک دیگر زودتر در فرآیند طراحی و توسعه محصول ادغام شود، نتیجه به طور بالقوه سودمندتر خواهد بود و تولیدکنندگان قابلیت تولید بهتری خواهند داشت. حتی اگر برخی ملاحظات نتوانند در طراحی گنجانده شوند، باز هم به شناسایی ریسک‌های تامین در چرخه عمر کلی محصول کمک خواهد کرد. این مفهوم توسط مراجعی همچون کلایپل و همکاران و هو و همکاران مورد بررسی قرار گرفته است [۱]، [۲]. همچنین صنعت کشتی‌سازی به عنوان یکی از مهم‌ترین و پیچیده‌ترین صنایع جهان، نقش کلیدی در اقتصاد جهانی، تجارت دریایی و توسعه زیرساخت‌های حمل و نقل ایفا می‌کند. این صنعت با چالش‌های متعددی از جمله پیچیدگی‌های طراحی، هزینه‌های بالای تولید و زیرساخت، الزامات کیفی سخت‌گیرانه و نیاز به انعطاف‌پذیری در پاسخگویی به تقاضاهای متنوع بازار و موارد مرتبط با ایمنی مواجه است [۲]. در این راستا، رویکرد طراحی برای زنجیره تامین به عنوان یک استراتژی پیشرفته و چندوجهی با هدف بهینه‌سازی فرآیندهای طراحی و تولید از طریق تمرکز بر معیارهای کلیدی مرتبط با طراحی، توسعه و ساخت سیستم‌ها مورد توجه قرار گرفته است. این رویکرد با یکپارچه‌سازی ملاحظات مختلف در مراحل اولیه طراحی، امکان کاهش هزینه‌ها، بهبود عملکرد تولید محصول یا به عبارتی ساخت‌پذیری و افزایش رقابت‌پذیری در بازار را فراهم می‌آورد. با وجود مزایای بالقوه‌ای که رویکرد طراحی برای زنجیره تامین به دنبال دارد، پیاده‌سازی موفق آن در صنایع پیچیده‌ای مانند کشتی‌سازی نیازمند شناسایی دقیق عوامل مؤثر بر آن و اولویت‌بندی این عوامل بر اساس اهمیت و تأثیرگذاری آن‌ها است. عوامل متعددی از جمله فناوری‌های مورد استفاده، مهارت نیروی انسانی، مدیریت زنجیره تامین و الزامات قانونی و زیست‌محیطی می‌توانند بر موفقیت این رویکرد تأثیر بگذارند [۳]. در این پژوهش، با بهره‌گیری از روش تصمیم‌گیری چندمعیاره^۱ AHP، تلاش شده است تا این عوامل در چارچوب یک مطالعه موردی در یک صنعت کشتی‌سازی در ایران شناسایی و رتبه‌بندی شوند و در ادامه راهکارهای بهبود رویکرد طراحی برای زنجیره تامین ارائه شود. روش تحلیل سلسله مراتبی با ارائه یک رویکرد نظام‌مند و علمی، امکان ارزیابی گزینه‌ها و تعیین اولویت‌ها را بر اساس معیارهای متفاوت و چندگانه فراهم می‌کند. این مطالعه با تمرکز بر صنعت کشتی‌سازی به عنوان یک مورد مطالعاتی، نه تنها به شناسایی عوامل کلیدی مؤثر بر بهره‌گیری از مفهوم طراحی برای

زنجیره تامین می‌پردازد، بلکه با رتبه‌بندی این عوامل، چارچوبی کاربردی برای مدیران، مهندسان و تصمیم‌گیرندگان این صنعت ارائه می‌دهد. انتظار می‌رود نتایج این پژوهش، به بهبود فرآیندهای طراحی، کاهش هزینه‌های تولید و افزایش کارایی کلی زنجیره‌های تامین در صنعت کشتی‌سازی کمک کند و زمینه‌ساز توسعه راهکارهای نوآورانه در این حوزه باشد.

با توجه به اهمیت مفهوم طراحی برای زنجیره تامین این پژوهش به دنبال شناسایی و رتبه‌بندی عوامل مؤثر بر بهره‌گیری از رویکرد طراحی برای زنجیره تامین بوده و به صورت کلی نتایج مورد انتظار از انجام این پژوهش عبارت است از:

- شناسایی فهرستی جامع از عوامل مؤثر بر بهره‌گیری از مفهوم طراحی برای زنجیره تامین در صنایع پیچیده و به خصوص صنعت کشتی‌سازی
- رتبه‌بندی این عوامل بر اساس اهمیت و تأثیرگذاری با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی
- ارائه پیشنهادها کاربردی برای بهبود فرآیندهای طراحی و تولید در صنعت کشتی‌سازی با توجه به مفهوم طراحی برای زنجیره تامین

۲- مبانی نظری پژوهش

در بازار بسیار رقابتی و جهانی شده امروزی، شرکت‌های تولیدی بر کارایی و اثربخشی هزینه تاکید دارند. یکی از روش‌های کاهش هزینه‌ها و بهبود کارایی که در حال محبوبیت است، مفهومی است که به نام طراحی برای زنجیره تامین (DFSC^۲) شناخته می‌شود. هدف این روش طراحی زنجیره تامین به موازات طراحی یک محصول جدید است. به طور سنتی، زنجیره تامین پس از تکمیل مرحله طراحی محصول طراحی می‌شود که اغلب منجر به زمان چرخه طراحی طولانی‌تر و سودآوری کلی کمتر از میزان بهینه محصول می‌شود. نشان داده شده است که با همکاری مهندسان زنجیره تامین در مراحل اولیه طراحی، می‌توان به بهبود بهره‌وری و کاهش هزینه‌های قابل توجهی دست یافت [۱]. موفقیت محصول به زنجیره تأمینی که آن را تولید می‌کند بستگی دارد. از آنجایی که طراحی محصول الزامات متعددی را در زنجیره تامین دیکته می‌کند، همانطور که قبلاً ذکر شد، واضح است که پس از تکمیل طراحی محصول، ساختار زنجیره تامین را هدایت می‌کند و انعطاف‌پذیری را محدود می‌کند [۴].

با این حال، طراحی محصول نه تنها بر تولید تقاضا، بلکه بر فرآیندهای تولید، هزینه، کیفیت و زمان تولید نیز تأثیر می‌گذارد. طراحی محصول مستقیماً بر زنجیره تامین مرتبط و بر الزامات آن تأثیر می‌گذارد، همچنین می‌تواند به مواردی همچون،

^۲ Design for supply chains^۱ Analytical Hierarchy Process

رویکردی که به طور گسترده در صنعت به کار می‌رود، نشان می‌دهد که طراحی محصول باید بر اساس نیازهای مشتری، بازاریابی و مدیریت به طور مستقل از تجزیه و تحلیل اثرات زنجیره تامین تکمیل شود. پس از تکمیل طراحی، زنجیره تامین باید تولید و سپس برای عملکرد آن بررسی شود. اگر عملکرد زنجیره تامین در محدوده‌های مطلوب نباشد، طراحی محصول باید تا زمانی که عملکرد زنجیره تامین رضایت‌بخشی حاصل شود، بازنگری شود. با این حال، این رویکرد به احتمال زیاد به دلیل رسیدگی به هر مشکل به طور جداگانه منجر به پیکربندی طراحی محصول و زنجیره تامین نامناسب می‌شود. حتی پس از ایجاد یک طراحی محصول بهینه برای نیازهای مشتری و شرکت، تغییرات بعدی در طراحی اجزا و قطعات برای دستیابی به یک زنجیره تامین با عملکرد بهتر ممکن است منجر به طراحی کلی محصول و زنجیره تامین غیربهینه شود در مقابل، طراحی همزمان محصول و زنجیره تامین بر این کاستی‌ها غلبه می‌کند. این رویکرد نه تنها از نیازهای مشتری، بازاریابی و مدیریت لازم برای طراحی محصول استفاده می‌کند، بلکه اطلاعات تامین‌کننده را نیز در بر می‌گیرد. با این رویکرد، رویه چرخه‌ای طراحی محصول، تولید زنجیره تامین، ارزیابی زنجیره تامین و طراحی مجدد محصول در بسیاری از موارد به یک تکرار کاهش می‌یابد. با این حال، هزینه‌ها و زمان مورد نیاز مربوط به تعیین یا طراحی چندین جزء به طور همزمان باید برای رویکرد همزمان در نظر گرفته شود [۴].

گسترش جهانی شدن فرصت‌های فزاینده‌ای را برای مشتریان فراهم می‌کند تا بهترین محصولات را از بین انواع مختلف در سراسر جهان انتخاب کنند که مطابق با نیازهای آنها باشد. این پدیده برای شرکت‌های بالادستی ضروری می‌سازد تا محصولات سفارشی‌سازی‌شده‌تری را برای برآورده کردن خواسته‌های متنوع مشتریان ایجاد کنند و در عین حال هزینه‌های محصول را تا حد ممکن پایین نگه دارند تا رقابت‌پذیری را حفظ کنند همچنین شرایط فعلی تولید، زنجیره تامین و ترجیحات مشتری، محدودیت‌هایی را بر طراحی یک محصول تحمیل می‌کند و آن را هدایت می‌کند. در این بین، طراحی یک محصول پیامدهایی بر هزینه ساخت محصول، هزینه زنجیره تامین و رضایت مشتری دارد. با توجه به اهداف متناقض بهبود کیفیت و تنوع محصول و در عین حال کاهش هزینه، چالش دستیابی به یک طراحی محصول بهینه است که رضایت مشتری را به حداکثر برساند و در عین حال تولید و سایر هزینه‌های مرتبط را تا حد امکان کاهش دهد [۸].

هدف طراحی برای زنجیره تامین طراحی یک زنجیره تامین به موازات طراحی یک محصول جدید است [۱]، [۶]. طراحی یک محصول می‌تواند بر هزینه‌های عملیاتی زنجیره‌های تامین پایین دستی تاثیر بگذارد. در این میان، شرایط زنجیره‌های تامین،

ساخت، حمل و نقل، کیفیت، کمیت، برنامه زمانبندی تولید، انتخاب مواد، فناوری‌های تولید، سیاست‌های تولید، مقررات و قوانین نیز تاثیر گذارد. از منظری وسیع، موفقیت زنجیره تامین به طراحی محصول و قابلیت‌های زنجیره تامین بستگی دارد. گنجاندن تصمیمات چرخه عمر محصول پس از طراحی مانند مونتاژ، هزینه و تدارکات در مرحله طراحی محصول، موضوعی است که به طور گسترده مورد مطالعه قرار گرفته و مزایای آن در کاربردهای صنعتی به اثبات رسیده است. از آنجایی که طراحی محصول الزامات مختلفی را در مورد قابلیت ساخت، هزینه و پارامترهای مشابه ایجاد می‌کند، زنجیره تامین نیز به تصمیمات طراحی محصول مرتبط است و تحت تاثیر آنها قرار می‌گیرد [۴]. اصطلاح طراحی برای مدیریت زنجیره تامین برای اولین بار در سال ۱۹۹۵ در مقاله ای توسط لی و بیلینگتون استفاده شد [۵]. آنها مفهوم طراحی برای مدیریت زنجیره تامین را به عنوان فرصتی برای بهبود فرآیند طراحی محصول معرفی کردند. چندین سال بعد، لی و ساسر یک مطالعه موردی از اجرای مفهوم طراحی برای زنجیره تامین ارائه کردند [۶].

مفهوم طراحی برای زنجیره تامین در اوایل چرخه طراحی انجام می‌شود و به شناسایی تعداد قطعات سازنده انتخابی که به دلایل چرخه عمر، در دسترس بودن، سازگاری یا اعتبار فرآیند قبل از طراحی اولیه مورد بررسی قرار می‌گیرد، کمک می‌کند. مراحل طراحی برای زنجیره تامین شامل بررسی درخت محصول (BOM^1)، تحلیل چرخه عمر BOM و اضافه کردن ارزش می‌شود [۷]. هدف از طراحی برای زنجیره تامین طراحی یک محصول جدید و زنجیره تامین مربوط به آن به صورت همزمان است. طراحی برای زنجیره تامین به طور همزمان طراحی محصول و تصمیمات طراحی زنجیره تامین را برای دستیابی به اهداف طراحی مرتبط با کیفیت محصول، هزینه‌ها و حتی اثرات زیست محیطی بهینه می‌کند [۸].

طراحی برای زنجیره تامین به صورت خلاصه طراحی برای بهبود بهره‌وری زنجیره تامین، چرخاندن موجودی و کاهش زمان تحویل، طراحی برای کارایی بالای مونتاژ و تولید، طراحی برای بهبود کارایی لجستیک، کاهش هزینه لجستیک محصول (بسته‌بندی، حمل و نقل و غیره) می‌باشد [۹]. هو و همکاران [۲] در پژوهش خود مفهوم طراحی برای زنجیره تامین را به عنوان یک موضوع تصمیم‌گیری در نظر گرفته است که همزمان تصمیمات طراحی محصول و زنجیره تامین را برای دستیابی به اهداف طراحی مرتبط با کیفیت محصول، هزینه‌ها و اثرات زیست محیطی بهینه می‌کند.

¹ Bill Of Material

۳- پیشینه پژوهش

مانوهار و همکاران [۱۲] در پژوهشی تحت عنوان "ارزیابی معیارهای زنجیره تامین" اینگونه بیان می‌کند که در یک اقتصاد جهانی، شرکت‌ها باید مسائل زنجیره تامین را فراتر از دیدگاه سنتی لجستیک، حمل‌ونقل، انبارداری و سایر ملاحظات که بر تصمیم‌گیری‌های طراحی و تولید تأثیر می‌گذارند، بررسی کنند. برای گنجاندن دیدگاه‌های زنجیره تامین در طراحی محصولات و فرآیندهای تولید، داده‌های عملکرد زنجیره تامین نقش مهمی ایفا می‌کند. این مقاله منبع داده‌های مربوط به طراحی زنجیره تامین را با استفاده از روش‌هایی مانند تحلیل زنجیره ارزش مشتری و استقرار عملکرد کیفیت بررسی می‌کند. یک مطالعه معیار چند صنعتی همچنین رویکردهای مختلف طراحی برای زنجیره تامین و چالش‌های نوظهور زنجیره‌های تامین اجتماعی و زیست محیطی را برجسته می‌کند. این مطالعه نشان داد که زمان هدایت، کیفیت و معیارهای اجتماعی/محیطی مهمترین معیارها برای طراحی زنجیره تامین هستند. تحقیقات آینده به اصلاح معیارها، تعریف داده‌های مربوطه برای طراحی محصول و رویکردهای موثر برای گنجاندن اطلاعات در فرآیند تعریف محصول می‌پردازد. گوخان و همکاران [۱۳] در پژوهش خود اینگونه بیان می‌کند که، در محیط پیچیده کسب و کار امروز، به خوبی تشخیص داده شده است که توجه ناکافی به طراحی محصول و زنجیره تامین ممکن است منجر به زیان مالی شود. بیلکی و همکاران در کتاب خود که با عنوان "محصول عالی در صنعت کامل - طراحی برای لجستیک" به چاپ رسیده، به بررسی مفهوم طراحی برای لجستیک پرداخته است. ایشان در فصل اول، که بخش نظری این پژوهش را تشکیل می‌دهد، به سه موضوع اصلی مرتبط با موضوعات مورد بحث در کتاب یعنی: طراحی محصول، محصول به عنوان موضوعی برای طراحی، و طراحی برای تعالی (DfX^۱) می‌پردازد، فصل دوم از بخش نظری کتاب به بررسی موضوع طراحی برای لجستیک (DfL) و مفهوم کارایی لجستیک محصول می‌پردازد و یک رویکرد قیاسی و استقرایی به DfL در زمینه کارایی لجستیک محصول ارائه شده است [۱۴].

ریتسما و همکاران [۳] در پژوهشی با عنوان "بررسی ادبیات سیستماتیک طراحی زنجیره تامین در طول توسعه محصول" از طریق بررسی سیستماتیک ۱۴۳ مقاله مجله‌ای که به زبان انگلیسی نوشته شده‌اند، به بررسی این موضوع می‌پردازد که چگونه زنجیره‌های تامین را می‌توان در طول توسعه محصول^۲

به‌ویژه زنجیره‌های تامین بالادستی، می‌تواند محدودیت‌هایی را بر تلاش برای طراحی محصولات ارزان قیمت تحمیل کند. علاوه بر هزینه‌های مواد، نیروی کار و سرمایه، هزینه یک محصول می‌تواند شامل هزینه‌های اجتماعی و زیست محیطی ناشی از تصمیمات طراحی محصول نیز باشد [۸].

با همکاری خوب بین تیم‌های توسعه محصول، بازاریابی، تولید، مالی، تدارکات و زنجیره تامین، می‌توان ارزش محصول را افزایش داد و به طور همزمان هزینه‌های کلی را کاهش داد. با یک استراتژی دقیق طراحی برای زنجیره تامین کسب و کار می‌تواند دید زنجیره تامین، پاسخگویی، ارتباطات را افزایش و هزینه‌های محصول، زمان رسیدن به بازار و ریسک‌های مرتبط با زنجیره تامین را کاهش دهد. با این امتیازات، شرکت می‌تواند به مزیت رقابتی نسبت به رقبای خود در بازار جهانی دست یابد [۱۰]. سارمنتو [۱۱] در پایان‌نامه خود با ارائه درک تجربی غنی از عدم تقارن‌های ادراک عملکردی در زمینه طراحی زنجیره تامین در پروژه‌های طراحی محصولات جدید، ضمن تدوین یافته‌های کلیدی برای تسهیل پذیرش رویکرد طراحی برای زنجیره تامین در تیم‌های توسعه محصولات جدید، به گفتمان گسترده‌تر کمک می‌کند. از طریق این بینش‌ها، تصمیم‌گیرندگان و سازمان‌ها را با یک نقشه راه اصلاح‌شده برای اجرای رویکرد طراحی برای زنجیره تامین توانمند می‌سازد تا پیچیدگی‌های توسعه محصول تولیدی مدرن را کنترل کنند [۱۱]. ریتسما و همکاران [۳] با بررسی سیستماتیک ۱۴۳ مقاله ژورنالی، به بررسی چگونگی طراحی زنجیره‌های تامین در طول توسعه محصول (PD) می‌پردازد. یافته‌ها نشان می‌دهد که متخصصان می‌توانند ۱۴ فعالیت طراحی زنجیره تامین را در طول توسعه محصول انجام دهند. ایشان در مقاله خود همچنین چارچوبی برای توسعه چک‌لیست‌های خاص شرکت و پروژه ارائه می‌دهد که می‌تواند برای اهداف متعددی، از جمله برنامه‌ریزی، اجرا یا ارزیابی فعالیت‌های طراحی زنجیره تامین قبل، حین یا بعد از پروژه‌های توسعه محصول، مورد استفاده قرار گیرند. اجرای این چارچوب، مطابق با ویژگی‌های یک تولیدکننده و پروژه‌های توسعه محصول آن، فرصتی برای ایجاد زنجیره‌های تامین انعطاف‌پذیر فراهم می‌کند.

با توجه به موارد بیان شده سازمان‌ها دریافته‌اند جهت بقاء خود در محیطی که تنوع، تعداد و مسئولیت‌پذیری آن‌ها بالا باشد، باید قادر باشند تا خود را با تغییرات آینده تطابق دهند. نیازمندی‌های مشتری بطور مداوم در حال تکامل بوده و چرخه عمر محصول نیز کوتاه‌تر می‌گردد. بنابراین، زنجیره تامین میبایستی بتواند به بازار پاسخ دهد که یکی از رویکردهایی که می‌تواند این موضوع را بهبود دهد مبحث طراحی برای زنجیره تامین است.

^۱ Design for Excellence

^۲ product development

شامل هزینه‌های اجتماعی و زیست محیطی ناشی از تصمیمات طراحی محصول نیز باشد.

مرآتی و همکاران [۱۵] در پژوهشی با عنوان "طراحی مدل توسعه‌ی معماری پلتفرم محصول با رویکرد چند هدفه شامل DFC و DFV و DFSC، مطالعه‌ی موردی: سیستم آنتن آرایه فازی" بیان می‌کند که از روش طراحی برای تنوع‌پذیری (DFV)^۲ و دو شاخص تنوع نسلی (GVI)^۳ و شاخص اتصال (CI)^۴ برای اندازه‌گیری یک معماری محصول استفاده می‌شود و با استفاده از مفهوم گسترش عملکرد کیفیت (QFD) و ماتریس ساختار طراحی شاخص‌های مذکور شناسایی و رتبه‌بندی می‌شوند. همچنین رویکرد روش طراحی برای تنوع‌پذیری (DFV) همزمان با مقوله‌های طراحی برای هزینه (DFC)^۵ و طراحی برای زنجیره تامین مدل‌سازی می‌شود و یک مدل ریاضی کاربردی جهت توسعه‌ی معماری پلتفرم محصول حاصل می‌گردد که به دنبال تنوع‌پذیری محصول و کاهش هزینه‌ها و مدیریت فرآیند زنجیره تامین است [۱۵]. در ادامه در جدول (۱) مقایسه‌ای بین خلاصه مرور ادبیات و محدودیت هر پژوهش و تمایز با پژوهش حاضر ارائه شده است.

جدول (۱): مقایسه پژوهش‌های انجام شده و پژوهش پیش رو

ردیف	نویسنده	محدودیت	تمایز پژوهش پیش رو
۱	هو و همکاران (۲۰۲۲)	عدم تمرکز بر صنعت خاص و عدم رتبه‌بندی عوامل	تمرکز بر صنعت کشتی‌سازی ایران + رتبه‌بندی عوامل با AHP
۲	ریتسما و همکاران (۲۰۲۳)	عدم بررسی عوامل مؤثر و اولویت‌بندی	شناسایی و اولویت‌بندی عوامل با روش AHP در مطالعه موردی
۳	سارمنتو (۲۰۲۴)	تمرکز عمومی بر صنایع تولیدی	کاربرد در صنعت کشتی‌سازی با چالش‌های خاص (تحریم، پیچیدگی طراحی، استانداردسازی)
۴	ولده‌سیلاسی و همکاران (۲۰۲۴)	تمرکز بر فناوری افزودنی	بررسی جامع عوامل چندبعدی (تکنولوژی، اقتصادی، سازمانی، ریسک) با AHP
۵	پژوهش حاضر	-	اولین مطالعه موردی در صنعت کشتی‌سازی ایران با استفاده از AHP، تمرکز بر عوامل محلی (تحریم، استانداردسازی قطعات، لجستیک معکوس) و ارائه راهکارهای عملی

(PD) طراحی کرد. یافته‌ها نشان می‌دهد که محققان می‌توانند ۱۴ فعالیت طراحی زنجیره تامین (SCD) را در طول PD انجام دهند. این فعالیت‌ها در سطوح و حوزه‌ها گروه‌بندی می‌شوند و مدلی ایجاد می‌شود که طراحی زنجیره تامین را با ۹ ویژگی محصول مرتبط می‌کند. به این ترتیب، به محققان بینش عمیقی در مورد ادبیات طراحی زنجیره تامین در طول توسعه محصول داده می‌شود. همچنین چارچوبی برای توسعه چک لیست‌های خاص شرکت و پروژه ارائه می‌دهد که می‌تواند برای اهداف متعدد، از جمله برنامه‌ریزی، انجام، یا ارزیابی فعالیت‌های طراحی زنجیره تامین قبل، در حین، یا بعد از پروژه‌های توسعه محصول مورد استفاده قرار گیرد. اجرای چارچوب، با توجه به ویژگی‌های یک سازنده و پروژه‌های توسعه محصول آن، فرصتی برای ایجاد زنجیره‌های تامین انعطاف پذیر است [۳].

ارو تاکالا [۱۰] در پایان‌نامه خود با عنوان "جستجوی طراحی برای روش‌های زنجیره تامین در فرآیند توسعه محصول جدید" فرآیندهای مربوط به فرآیند بهبود توسعه محصول به نام طراحی برای زنجیره تامین و طراحی برای لجستیک (DFL) پوشش داده است. این پژوهش بیان می‌کند که طراحی برای زنجیره تامین و طراحی برای لجستیک تفاوت‌های ظریفی با روش‌های برجسته‌تر مانند طراحی برای تولید و مونتاژ (DFMA)^۱ و طراحی برای تعالی (DFX) دارند. مفهوم طراحی برای زنجیره تامین و طراحی برای لجستیک توسعه محصول را با بهبودهای زنجیره تامین لجستیک و در دامنه وسیع تر ترکیب می‌کنند. به دلیل ایجاد اختلال در زنجیره‌های عرضه جهانی مانند بیماری‌ها، درگیری‌ها، نوسانات بازار انرژی و تورم، ترکیب این موارد به طور فزاینده‌ای اهمیت بیشتری پیدا می‌کند و موارد حوزه لجستیک می‌تواند عواقب شدیدی بر هزینه‌های کلی و سودآوری کسب و کارها داشته باشد [۱۰].

هو و همکاران [۲] در پژوهش مروری خود با عنوان "مروری بر ادبیات طراحی برای سفرهای سازی انبوه، طراحی برای تولید، و طراحی برای زنجیره تامین" بیان می‌کند که شرایط فعلی تولید، زنجیره تامین و ترجیحات مشتری، محدودیت‌هایی را بر طراحی یک محصول تحمیل می‌کند و آن را هدایت می‌کند. در این میان، طراحی یک محصول پیامدهایی بر هزینه ساخت محصول، هزینه زنجیره تامین و رضایت مشتری دارد و طراحی یک محصول می‌تواند بر هزینه‌های عملیاتی زنجیره‌های تامین پایین دستی تاثیر بگذارد. در این میان، شرایط زنجیره‌های تامین، به‌ویژه زنجیره‌های تامین بالادستی، می‌تواند محدودیت‌هایی را بر تلاش برای طراحی محصولات ارزان قیمت تحمیل کند. علاوه بر هزینه‌های مواد، نیروی کار و سرمایه، هزینه یک محصول می‌تواند

^۲ design for variety

^۳ generational variety index

^۴ coupling index

^۵ design for cost

^۱ Design for manufacture

صنایع و همچنین نوع کشتی و فرآیندهای طراحی و ساخت متفاوت باشد. بنابراین، گروه بر اساس ادبیات و تجربیات صنعتی، به ۹ شاخص کلی و ۳ تا ۴ زیرشاخص برای هر بعد محدود شد تا مطالعه ساده‌تر و پیگیری آن برای مدیریت آسان‌تر شود. جامعه و نمونه پژوهش و همچنین شیوه مصاحبه در ادامه مورد بررسی قرار گرفته است.

جامعه آماری: خبرگان صنعت کشتی‌سازی شامل مدیران فنی، مهندسان ارشد طراحی، مدیران زنجیره تامین و متخصصان دانشگاهی با تجربه مرتبط.

نمونه: ۱۰ نفر از خبرگان با معیارهای purposive sampling انتخاب شدند به بیان دیگر به جای اینکه به صورت تصادفی از همه افراد جامعه نمونه گرفته شود، عمداً و هدفمند افرادی را انتخاب شدند که بیشترین اطلاعات و تجربه مرتبط را با موضوع پژوهش دارند و در این پژوهش دارای شرایط زیر باشند.

۱- حداقل ۱۰ سال تجربه کاری در صنعت کشتی‌سازی.

۲- آشنایی با مفاهیم طراحی محصول و مدیریت زنجیره تامین.

۳- سابقه مشارکت در پروژه‌های بزرگ کشتی‌سازی

ویژگی‌های نمونه: ۷ نفر از صنعت (مدیران و مهندسان) و ۳ نفر از کارشناسان خبره با تمرکز بر مدیریت صنعتی/مهندسی.

سوالات کلیدی مصاحبه در ادامه بیان شده است. این سوالات علاوه بر مقایسات زوجی مورد استفاده در روش تحلیل سلسله مراتبی بوده است.

۱- به نظر شما مهم‌ترین عوامل مؤثر بر پیاده‌سازی رویکرد DFSC در صنعت کشتی‌سازی ایران کدامند؟ (لیست اولیه ارائه و درخواست تکمیل/حذف)

۲- میزان تأثیر هر عامل را بر موفقیت DFSC چقدر ارزیابی می‌کنید؟ (مقیاس ۱ تا ۹)

۳- چه موانع و چالش‌های اصلی (فنی، سازمانی، اقتصادی، قانونی) در مسیر پیاده‌سازی DFSC وجود دارد؟

۴- چه راهکارهای عملی برای غلبه بر این موانع پیشنهاد می‌کنید؟

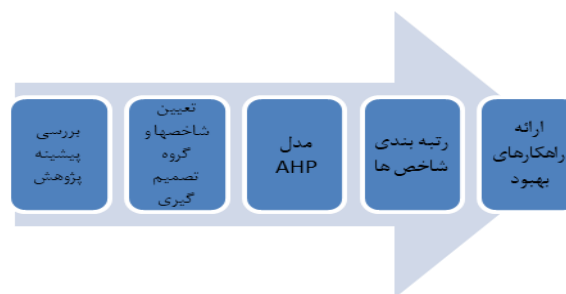
اولویت‌بندی معیارها و زیرمعیارها را بر اساس تجربه خود انجام دهید (مقایسه زوجی).

ماتریس‌های مقایسه زوجی ۱۰ خبره با استفاده از روش میانگین هندسی (Geometric Mean) ادغام شد. این روش استاندارد در AHP برای ترکیب نظرات گروهی است و وزن نهایی هر معیار را به دست می‌دهد. سپس، وزن‌های محلی محاسبه و به وزن‌های کلی تبدیل شدند.

در جهت دستیابی به اهداف پژوهش در ابتدا کلیه شاخص‌های اثر گذار بر بهره‌گیری از رویکرد طراحی برای زنجیره تامین با مرور منابع علمی، مقالات، کتاب‌ها و گزارش‌های مرتبط با رویکرد طراحی برای زنجیره تامین و صنعت کشتی‌سازی استخراج می‌شود. منابع کلیدی شامل مطالعات حوزه طراحی برای زنجیره تامین مثل ریتسما و همکاران [۳] هستند. در ادامه معیارها و شاخص‌های اثرگذاری که در مرحله قبل شناسایی شده توسعه داده می‌شود تا معیارهای اصلی و زیر معیارهای مرتبط با رویکرد طراحی برای زنجیره تامین مشخص شود. عوامل شناسایی شده و مقالات مرتبط در جدول (۲) قابل مشاهده است.

۴- روش تحقیق

فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) یک روش تصمیم‌گیری است که این قابلیت را فراهم می‌کند تا گزینه‌ها و معیارهای مد نظر یک پژوهش بر اساس یک رویکرد سیستماتیک و عینی و براساس نظرات خبرگان مرتبط با آن حوزه ارزیابی و مقایسه شوند. این روش شامل ایجاد یک سلسله مراتب است که به موجب آن گزینه‌ها در یک چارچوب ساختار یافته قرار می‌گیرند و امکان ارزیابی ویژگی‌ها و مزایای نسبی آنها را فراهم می‌کند. رتبه‌بندی‌های حاصل، با ارائه یک ساختار واضح و منسجم برای ارزیابی و انتخاب مناسب‌ترین گزینه‌ها، تصمیم‌گیری آگاهانه را تسهیل می‌کنند [۱۶]. روند کلی پیش رو در شکل (۱) ارائه شده است.



شکل (۱): مدل پژوهش پیش‌رو

روش تحلیل سلسله مراتبی به دلیل قابلیت آن در شناسایی، ارزیابی و اولویت‌بندی ابعاد و شاخص‌های مرتبط با عوامل مؤثر بر طراحی برای زنجیره تامین برای یک کارخانه کشتی‌سازی انتخاب شد. گروه تصمیم‌گیری شامل متخصصان صنعتی و نخبگان دانشگاهی بود. در طول بحث‌ها و مصاحبه‌های رو در رو با متخصصان و دانشگاهیان، پژوهشگران به این نتیجه رسیدند که تا حد امکان شاخص‌های کلی اثر گذار بر موضوع طراحی برای زنجیره تامین را شناسایی کند. تعداد شاخص‌ها ممکن است بسته به نوع کارخانه کشتی‌سازی، فرآیندهای تولید و میزان بلوغ

پس از جمع‌آوری داده‌ها، ماتریس‌های مقایسه زوجی در نرم‌افزار Expert Choice تحلیل شد. نسبت ناسازگاری (CR) برای تمام مقایسه‌ها کمتر از ۰/۱ بود که نشان‌دهنده consistency acceptable است.

در این بخش در ابتدا شاخص‌های شناسایی شده و دلایل بررسی هر یک از آنها در جدول (۲) فهرست و مورد بررسی قرار گرفته است.

۵- یافته‌ها

جدول (۲): دلایل بررسی هر یک شاخص‌های مؤثر بر بهره‌گیری از رویکرد مفهوم طراحی برای زنجیره تامین در صنعت کشتی‌سازی

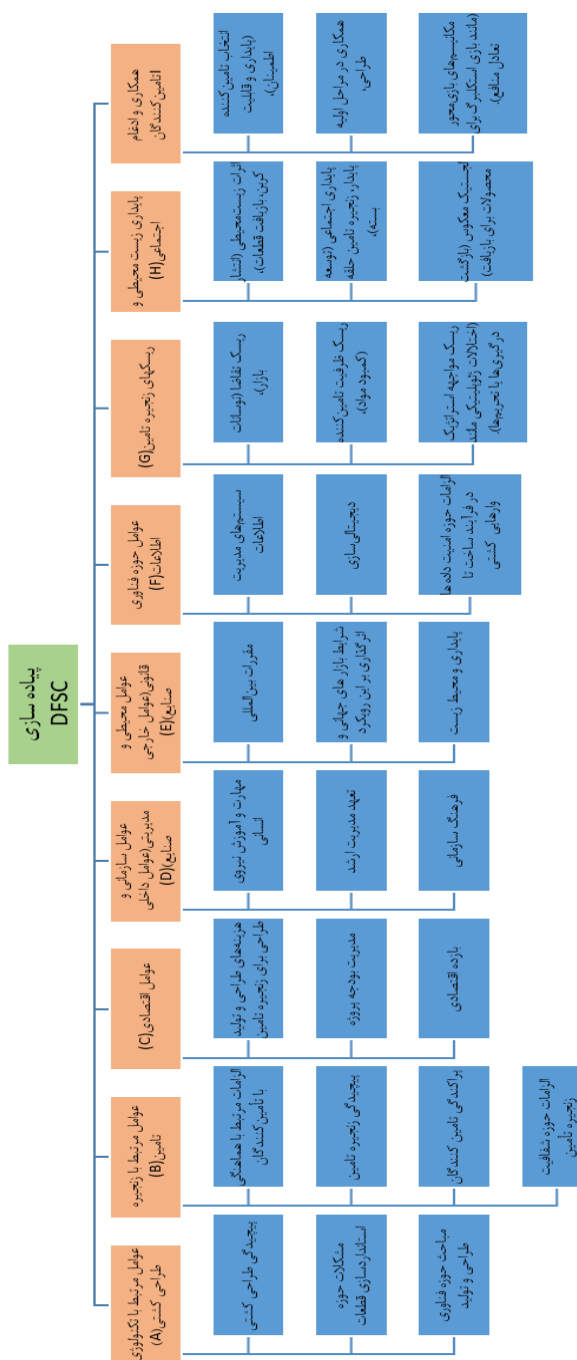
ردیف	عوامل جزئی	دلایل بررسی هر عامل
۱	پیچیدگی طراحی کشتی	کشتی یکی از پیچیده‌ترین محصولات مهندسی جهان است که از قطعات منحصر به فرد متعددی تشکیل شده است هرچه پیچیدگی بالاتر باشد، هماهنگی زود هنگام مابین زنجیره تامین و تولید سخت‌تر و حیاتی‌تر می‌شود.
۲	مشکلات حوزه استانداردسازی قطعات	کشتی‌ها معمولاً بیش از ۴۰۰۰۰ قطعه منحصر به فرد دارند و در ایران بانک قطعات استاندارد ملی وجود ندارد. فقدان استانداردسازی باعث افزایش تعداد تامین‌کنندگان، طولانی شدن زمان تامین و افزایش هزینه‌های انبارداری می‌شود و مهم‌ترین مانع کاهش تعداد قطعات و اجرای موفق مفهوم طراحی برای زنجیره تامین است
۳	مباحث حوزه فناوری طراحی و تولید	کشتی‌سازی نیاز به فناوری‌های پیشرفته CAD/CAE/CAM، شبیه‌سازی، تولید افزودنی و جوشکاری رباتیک دارد. عدم به‌کارگیری این فناوری‌ها در مراحل اولیه طراحی، قابلیت ساخت‌پذیری و تامین‌پذیری قطعات را به شدت کاهش می‌دهد.
۴	الزامات مرتبط با هماهنگی با تامین‌کنندگان	بیش از ۷۰٪ ارزش کشتی مربوط به قطعات خریداری شده است. هماهنگی زود هنگام طراحان با تامین‌کنندگان تنها راه کاهش ریسک تأخیر و هزینه‌های تغییر طراحی در مراحل بعدی است.
۵	پیچیدگی زنجیره تامین	زنجیره تامین کشتی معمولاً بیش از ۵ لایه دارد و شامل تامین‌کنندگان داخلی و خارجی در کشورهای متعدد است. این پیچیدگی، مفهوم طراحی برای زنجیره تامین را به یک ضرورت استراتژیک برای کاهش زمان تحویل و هزینه تبدیل می‌کند.
۶	پراکندگی تامین کنندگان	تامین‌کنندگان کلیدی در کشورهای کره جنوبی، چین، آلمان، نروژ و ... پراکنده‌اند. بنابراین لجستیک و هماهنگی بسیار دشوارتر می‌شود.
۷	الزامات حوزه شفافیت زنجیره تامین	به دلیل تحریم، ریسک تامین‌کنندگان جعلی و قطعات تقلبی بسیار بالاست. شفافیت کامل (Traceability) از مواد خام تا نصب نهایی، شرط سازمان‌های رده‌بندی بین‌المللی (DNV, Lloyd's) و بیمه‌گران است.
۸	هزینه‌های طراحی و تولید سیستم و مفهوم طراحی برای زنجیره تامین	پیاده‌سازی مفهوم طراحی برای زنجیره تامین نیازمند سرمایه‌گذاری سنگین در نرم‌افزارها، آموزش افراد و تشکیل تیم‌های مشترک است. در پروژه‌های چند هزار میلیارد تومانی کشتی‌سازی، این هزینه‌ها در مقایسه با صرفه‌جویی بلندمدت ناچیز است اما در کوتاه‌مدت مانع اصلی محسوب می‌شوند.
۹	مدیریت بودجه پروژه	پروژه‌های کشتی‌سازی معمولاً ۵ تا ۸ سال طول می‌کشند و بودجه آن‌ها به شدت تحت تأثیر نوسانات ارزی است. طراحی برای زنجیره تامین با کاهش تغییرات مهندسی تا ۴۰٪ می‌تواند انحراف بودجه را به‌طور قابل توجهی کاهش دهد.
۱۰	بازده اقتصادی	حاشیه سود پروژه‌های کشتی‌سازی در ایران معمولاً زیر ۸٪ است. هر ۱٪ کاهش هزینه زنجیره تامین می‌تواند مستقیماً به سود پروژه اضافه شود؛ بنابراین مفهوم طراحی برای زنجیره تامین مهم‌ترین اهرم افزایش بازده اقتصادی است.
۱۱	مهارت و آموزش نیروی انسانی	نبود دانش و فرآیند در خصوص طراحی براساس زنجیره تامین و کمبود متخصص باعث مقاومت سازمانی و خطای انسانی در پیاده‌سازی می‌شود.
۱۲	تعهد مدیریت ارشد	تجربه جهانی، نشان می‌دهد بدون حمایت قاطع مدیرعامل و هیئت‌مدیره، پروژه‌های طراحی برای زنجیره تامین محکوم به شکست هستند
۱۳	فرهنگ سازمانی	با توجه به فرهنگ سازمانی حاکم بر اساس جدایی واحد طراحی از خرید و تولید در اکثر شرکت‌های کشتی‌سازی می‌توان گفت مهم‌ترین مانع فرهنگی اجرای مفهوم طراحی برای زنجیره تامین این مورد است.
۱۴	مقررات بین‌المللی	کشتی‌های تجاری و نظامی که در ایران ساخته می‌شوند، برای دریافت گواهینامه‌های بین‌المللی و امکان تردد در آب‌های جهانی، ناگزیر از رعایت مقررات و استانداردهای اجباری هستند و این مقررات مستقیماً بر

جدول (۲): دلایل بررسی هر یک شاخص‌های مؤثر بر بهره‌گیری از رویکرد مفهوم طراحی برای زنجیره تامین در صنعت کشتی‌سازی

ردیف	عوامل جزئی	دلایل بررسی هر عامل
		انتخاب مواد، طراحی اتصالات، جوشکاری، پوشش‌ها، تجهیزات ایمنی و حتی تأمین‌کنندگان تأثیر می‌گذارند
۱۵	شرایط بازار های جهانی و اثرگذاری بر این رویکرد	سفارش‌دهندگان کشتی‌ها با توجه به سرمایه و فرصت‌های پیش‌رو به شدت به زمان تحویل و قیمت حساس‌اند.
۱۶	پایداری و محیط زیست	در دهه های اخیر تلاش برای کاهش انتشار کربن، استفاده از سوخت‌های با آلودگی پایین و بازیافت قطعات ضروری شده است که این موارد نیازمند توجه و سرمایه گذاری است.
۱۷	سیستم‌های مدیریت اطلاعات	بدون وجود یک سیستم یکپارچه قوی و چابک، امکان تبادل اطلاعات کلیدی یا حدود ۳۰۰-۴۰۰ تأمین‌کننده وجود ندارد. دیجیتالی‌سازی پایه اصلی اجرای موفق مفهوم طراحی برای زنجیره تامین است.
۱۸	دیجیتالی‌سازی	این شاخص به شدت وابسته به شاخص سیستم‌های مدیریت اطلاعات می‌باشد.
۱۹	الزامات حوزه امنیت داده ها در فرآیند ساخت تا وارهایی کشتی	نقشه‌ها و مشخصات فنی کشتی‌های تجاری جزو اطلاعات طبقه‌بندی‌شده محسوب می‌شوند. هرگونه نشت اطلاعات می‌تواند قرارداد را لغو کند؛ بنابراین امنیت سایبری در مفهوم طراحی برای زنجیره تامین حیاتی است
۲۰	ریسک تقاضا (نوسانات بازار)،	بازار کشتی‌سازی بسیار نوسان‌هاست. مفهوم طراحی برای زنجیره تامین باید انعطاف‌پذیری زنجیره تأمین را برای پاسخ به این نوسانات بالا ببرد.
۲۱	ریسک ظرفیت تامین‌کننده	در صنعت کشتی‌سازی، بیش از ۶۵ درصد ارزش نهایی کشتی مربوط به مواد و قطعات خریداری‌شده (ورق‌های فولادی خاص، آلیاژهای نیکل-کروم، لوله‌های بدون درز فشار بالا، توربین‌ها، ژنراتورها، سیستم‌های پیش‌ران‌ش و ...) است. این مواد عمدتاً از تولیدکنندگان محدودی در جهان تأمین می‌شوند که ظرفیت تولید آن‌ها کاملاً برنامه‌ریزی‌شده و ظرفیت‌شان از سال‌ها قبل رزرو می‌شود.
۲۲	ریسک مواجهه استراتژیک (اختلالات ژئوپلیتیکی مانند درگیری‌ها یا تحریم‌ها)	تحریم‌های یکجانبه آمریکا و اروپا مهم‌ترین ریسک خارجی صنعت کشتی‌سازی ایران است. مفهوم طراحی برای زنجیره تامین باید تأمین‌کنندگان جایگزین و داخلی‌سازی استراتژیک را از روز اول طراحی پیش‌بینی کند
۲۳	اثرات زیست‌محیطی (انتشار کربن، بازیافت قطعات)،	در جهت کاهش انتشار کربن، طراح باید از مرحله طراحی مفهومی یکسری تصمیم بگیرد که همگی به زنجیره تامین وابسته است.
۲۴	پایداری اجتماعی (توسعه پایدار، زنجیره تامین حلقه بسته)،	اگرچه «پایداری اجتماعی» در مقایسه با انتشار کربن و مقررات IMO کمتر در تیترا اخبار قرار می‌گیرد، اما در سال‌های ۲۰۲۵-۲۰۲۳ به یک، از سه معیار اصلی تصمیم‌گیری خریداران بزرگ کشتی (یونان، آلمان، آمریکا، فرانسه، انگلیس و ژاپن) و همچنین بانک‌های تأمین‌کننده مالی پروژه تبدیل شده است. عدم توجه به آن در مرحله طراحی، اجرای واقعی طراحی برای زنجیره تامین را به شدت محدود یا حتی غیرممکن می‌کند.
۲۵	لجستیک معکوس (بازگشت محصولات برای بازیافت)	لجستیک معکوس در کشتی‌سازی دیگر یک موضوع اختیاری یا انتهای چرخه عمر نیست؛ بلکه از سال ۲۰۲۵ به یک الزام قانونی بین‌المللی و شرط اصلی قراردادهای فروش و فاینانس کشتی تبدیل شده است. عدم در نظر گرفتن آن از روز اول طراحی، اجرای واقعی طراحی برای زنجیره تامین را عملاً غیرممکن می‌کند.
۲۶	انتخاب تامین‌کننده (پایداری و قابلیت اطمینان)،	در کشتی‌سازی، بیش از ۷۵-۷۰٪ ارزش نهایی کشتی به تأمین‌کنندگان خارجی و داخلی تعلق دارد (فقط ۳۰-۲۵٪ در یارد انجام می‌شود). بنابراین انتخاب تأمین‌کننده دیگر فقط یک تصمیم خرید نیست؛ بلکه مهم‌ترین تصمیم طراحی است که از روز اول پروژه، سرنوشت هزینه، زمان تحویل، کیفیت و حتی امکان فروش کشتی را تعیین می‌کند.
۲۷	همکاری در مراحل اولیه طراحی،	تأمین‌کنندگان کلیدی باید از فاز مرحله طراحی مفهومی سیستم وارد چرخه تامین شوند.
۲۸	مکانیسم‌های بازی‌محور (مانند بازی استکلبرگ برای تعادل منافع)	مکانیزم بازی استکلبرگ یک چارچوب تحلیل، قدرتمند برای مدل‌سازی تعاملات پیچیده و یافتن تعادل بهینه بین منافع بازیگران مختلف ارائه می‌دهد. در این مدل، رهبر (چه قانون‌گذار و چه سازنده اصلی) با در نظر گرفتن عکس‌العمل عقلایی پیروها (سازندگان، تأمین‌کنندگان)، تصمیمی می‌گیرد که در نهایت به بهبود کارایی کل سیستم زنجیره تامین منجر شود. پیاده‌سازی موفق رویکرد طراحی برای زنجیره تامین مستلزم درک پویایی‌های استراتژیک و یافتن راه‌حل‌های بهبود مبحث طراحی برای زنجیره تامین است.

در ادامه در جدول (۳) شاخص‌ها شماره‌گذاری و دسته‌بندی شده است.

مقایسه زوجی را تضمین می‌کند. مقدار CR برای ارزیابی سازگاری و قابلیت اطمینان گروه تصمیم‌گیری استفاده می‌شود. در حالی که CI شاخص سازگاری و RI شاخص تصادفی طبق معیارها است. به عنوان یک قاعده سرانگشتی، مقدار CR کمتر از ۰/۱ قابل قبول است، در غیر این صورت، برای دستیابی به یک ماتریس سازگار، باید مقادیر اصلاح شوند. تمام مقادیر CR کمتر از ۰/۱ هستند و از این رو مدل مطابق جدول (۴) سازگار و معتبر است.



شکل (۲): ساختار سلسله مراتبی مدل مورد بررسی

جدول (۳): شاخص‌های مؤثر بر بهره‌گیری از رویکرد طراحی برای

زنجیره تامین در صنعت کشتی‌سازی با توجه به منابع و نظرات خبرگان

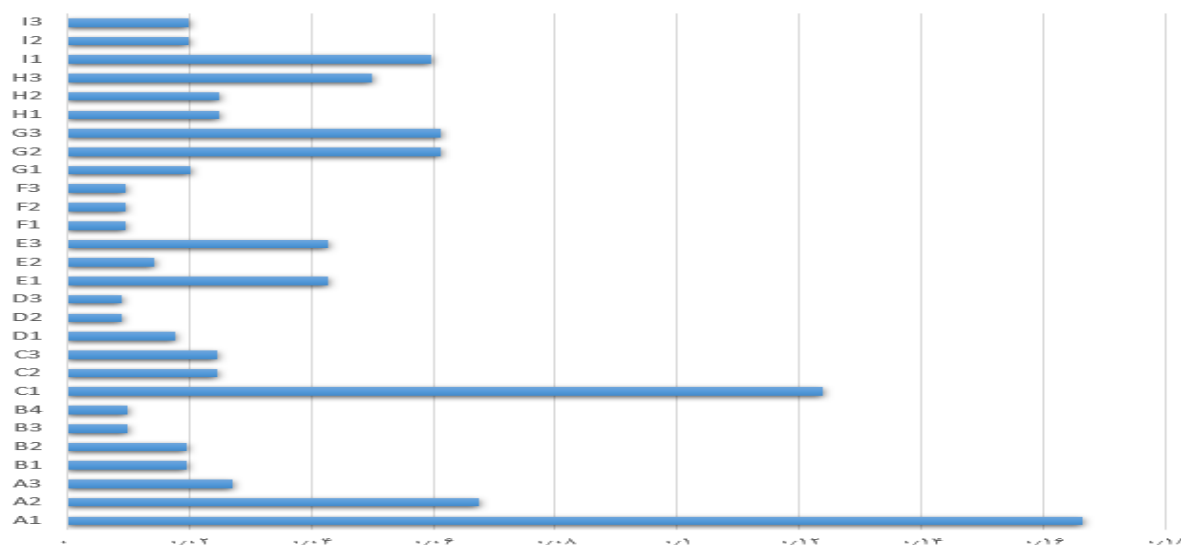
ردیف	عوامل کلی	عوامل جزئی	ID
۱	عوامل مرتبط با تکنولوژی طراحی کشتی (A)	پیچیدگی طراحی کشتی	A1
۲		مشکلات حوزه استانداردسازی قطعات	A2
۳		مباحث حوزه فناوری طراحی و تولید	A3
۴	عوامل مرتبط با زنجیره تامین (B)	الزامات مرتبط با هماهنگی با تامین کنندگان	B1
۵		پیچیدگی زنجیره تامین	B2
۶		پراکندگی تامین کنندگان	B3
۷		الزامات حوزه شفافیت زنجیره تامین	B4
۸	عوامل اقتصادی (C)	هزینه‌های طراحی و تولید مفهوم طراحی برای زنجیره تامین	C1
۹		مدیریت بودجه پروژه	C2
۱۰		بازده اقتصادی	C3
۱۱		مهارت و آموزش نیروی انسانی	D1
۱۲	مدیریتی (عوامل داخلی صنایع) (D)	تعهد مدیریت ارشد	D2
۱۳		فرهنگ سازمانی	D3
۱۴		مقررات بین‌المللی	E1
۱۵	عوامل محیطی و قانونی (عوامل خارجی صنایع) (E)	شرایط بازار های جهانی و اثرگذاری بر این رویکرد	E2
۱۶		پایداری و محیط زیست	E3
۱۷		سیستم‌های مدیریت اطلاعات	F1
۱۸	عوامل حوزه فناوری اطلاعات (F)	دیجیتالی سازی	F2
۱۹		الزامات حوزه امنیت داده ها در فرآیند ساخت تا وارهایی کشتی	F3
۲۰	ریسک‌های زنجیره تامین (G)	ریسک تقاضا (نوسانات بازار)،	G1
۲۱		ریسک ظرفیت تامین کننده	G2
۲۲		ریسک مواجهه استراتژیک (اختلالات ژئوپلیتیکی، مانند درگیری‌ها یا تحریم‌ها).	G3
۲۳	پایداری زیست محیطی و اجتماعی (H)	اثرات زیست محیطی (انتشار کربن، بازیافت قطعات)،	H1
۲۴		پایداری اجتماعی (توسعه پایدار، زنجیره تامین حلقه بسته)،	H2
۲۵		لجستیک معکوس (بازگشت محصولات برای بازیافت)	H3
۲۶	همکاری و ادغام تامین کنندگان I	انتخاب تامین کننده (پایداری و قابلیت اطمینان)،	I1
۲۷		همکاری در مراحل اولیه طراحی،	I2
۲۸		مکانیسم‌های بازی محور (مانند بازی استکلبرگ برای تعادل منافع).	I3

همچنین نمودار سلسله مراتب به صورت شکل (۲) نمایش داده می‌شود. با توجه به موارد بیان شده پرسشنامه شامل مقیاس نه امتیازی ارائه شده توسط ساعتی (۱۹۹۹) [۱۶] بود به ۱۰ نفر از خبرگان ارائه شد تا نظرات خود را بیان کنند. پس از تعیین وزن برای ابعاد و شاخص‌ها، وزن‌های نرمال شده و رتبه‌بندی انجام شده است. سازگاری آخرین مرحله است و نسبت (CR) سازگاری

جدول (۴): اهمیت هر یک از معیارها با توجه به اجرای روش تحلیل سلسله مراتبی

ردیف	عامل جزئی	رتبه	وزن کلی	ID
۱	پیچیدگی طراحی کشتی	۱	۰/۱۶۶۲	A1
۲	هزینه‌های طراحی و تولید مفهوم طراحی برای زنجیره تامین	۲	۰/۱۲۳۸	C1
۳	مشکلات حوزه استانداردسازی قطعات	۳	۰/۰۶۷۴	A2
۴	ریسک ظرفیت تامین‌کننده	۵-۴	۰/۰۶۱۲	G2
۵	ریسک مواجهه استراتژیک (اختلالات ژئوپلیتیکی مانند درگیری‌ها یا تحریم‌ها)	۵-۴	۰/۰۶۱۲	G3
۶	انتخاب تامین‌کننده (پایداری و قابلیت اطمینان)	۶	۰/۰۵۹۸	I1
۷	لجستیک معکوس (بازگشت محصولات برای بازیافت)	۷	۰/۰۴۹۹	H3
۸	مقررات بین‌المللی	۹-۸	۰/۰۴۲۷	E1
۹	پایداری و محیط زیست	۹-۸	۰/۰۴۲۷	E3
۱۰	مباحث حوزه فناوری طراحی و تولید	۱۰	۰/۰۲۷۳	A3
۱۱	اثرات زیست‌محیطی (انتشار کربن، بازیافت قطعات)	۱۲-۱۱	۰/۰۲۴۹	H1
۱۲	پایداری اجتماعی (توسعه پایدار، زنجیره تامین حلقه بسته)	۱۲-۱۱	۰/۰۲۴۹	H2
۱۳	مدیریت بودجه پروژه	۱۳	۰/۰۲۴۸	C2
۱۴	بازده اقتصادی	۱۴	۰/۰۲۴۸	C3
۱۵	ریسک تقاضا (نوسانات بازار)	۱۵	۰/۰۲۰۴	G1
۱۶	همکاری در مراحل اولیه طراحی	۱۷-۱۶	۰/۰۱۹۹	I2
۱۷	مکانیسم‌های بازی‌محور (مانند بازی استکلبرگ برای تعادل منافع)	۱۷-۱۶	۰/۰۱۹۹	I3
۱۸	الزامات مرتبط با هماهنگی با تأمین‌کنندگان	۱۸	۰/۰۱۹۷	B1
۱۹	پیچیدگی زنجیره تامین	۱۹	۰/۰۱۹۷	B2
۲۰	مهارت و آموزش نیروی انسانی	۲۰	۰/۰۱۷۸	D1
۲۱	شرایط بازار های جهانی و اثرگذاری بر این رویکرد	۲۱	۰/۰۱۴۲	E2
۲۲	پراکندگی تامین‌کنندگان	۲۲	۰/۰۰۹۸	B3
۲۳	الزامات حوزه شفافیت زنجیره تأمین	۲۳	۰/۰۰۹۸	B4
۲۴	سیستم‌های مدیریت اطلاعات	۲۶-۲۴	۰/۰۰۹۷	F1
۲۵	دیجیتالی‌سازی	۲۶-۲۴	۰/۰۰۹۷	F2
۲۶	الزامات حوزه امنیت داده‌ها در فرآیند ساخت تا وارهای کشتی	۲۶-۲۴	۰/۰۰۹۷	F3
۲۷	تعهد مدیریت ارشد	۲۷	۰/۰۰۸۹	D2
۲۸	فرهنگ سازمانی	۲۸	۰/۰۰۸۹	D3

در ادامه در نمودار (۱) به صورت واضح شاخص‌ها و اهمیت آنها نمایش داده شده است.



نمودار (۱): درجه اهمیت هر یک از معیارها

در ادامه با توجه به معیارهای بررسی شده در بخش قبل در شده در این جدول با توجه به شرایط موجود و با همفکری کلیه جدول (۵) راهکارها نمایش داده شده است. راهکارهای بررسی خبرگان مشارکت کننده در این پژوهش جمع آوری شده است.

جدول (۵): راهکارهای پیش بینی شده در جهت استقرار رویکرد طراحی برای زنجیره تامین

ردیف	عامل کلی	عامل جزئی (ID)	راهکارهای بهبود پیشنهادی
۱	عوامل مرتبط با تکنولوژی طراحی کشتی (A)	پیچیدگی طراحی کشتی (A1)	استفاده از طراحی مدولار و پلتفرم مشترک کشتی (مانند مدل شرکت‌های کره جنوبی) - به کارگیری نرم افزارهای پیشرفته CAD/CAE/CAM و شبیه سازی یکپارچه از فاز مفهومی - استانداردسازی اجزای غیراساسی برای کاهش پیچیدگی.
۲	عوامل مرتبط با تکنولوژی طراحی کشتی (A)	مشکلات حوزه استانداردسازی قطعات (A2)	ایجاد بانک ملی قطعات استاندارد و مدولار کشتی با همکاری ایزواپکو، صدرا و سایر یاردها - الزام استفاده از قطعات استاندارد در مناقصات دولتی - توسعه کتابخانه دیجیتال قطعات و BOM استاندارد.
۳	عوامل مرتبط با تکنولوژی طراحی کشتی (A)	مباحث حوزه فناوری طراحی و تولید (A3)	سرمایه گذاری در فناوری های افزودنی (3D Printing)، جوشکاری رباتیک و دیجیتال توپین - آموزش مهندسان طراحی درخصوص رویکردهای DfSC و DFMA و بومی سازی نرم افزارهای شبیه سازی زنجیره تامین.
۴	عوامل مرتبط با زنجیره تامین (B)	الزامات مرتبط با هماهنگی با تأمین کنندگان (B1)	تشکیل تیم های مشترک طراحی و قراردادهای مشارکت بلندمدت (۱۰ ساله) با تأمین کنندگان کلیدی.
۵	عوامل مرتبط با زنجیره تامین (B)	پیچیدگی زنجیره تامین (B2)	نقشه برداری کامل زنجیره تامین (Supply Chain Mapping) و شناسایی نقاط بحرانی - کاهش لایه های تامین از طریق ادغام و داخلی سازی استراتژیک.
۶	عوامل مرتبط با زنجیره تامین (B)	پراکندگی تأمین کنندگان (B3)	توسعه شبکه تأمین کنندگان منطقه ای (آسیا، اروپا) و لجستیک یکپارچه - استفاده از پلتفرم های دیجیتال
۷	عوامل مرتبط با زنجیره تامین (B)	الزامات حوزه شفافیت زنجیره تأمین (B4)	یاده سازی سیستم بررسی مواد و تجهیزات از قطعات خام تا نصب با بهره گیری از blockchain یا RFID و رعایت استانداردهای DNV و Lloyd's برای مقابله با قطعات تقلبی.
۸	عوامل اقتصادی (C)	هزینه های طراحی و تولید (C1)	ایجاد صندوق توسعه DFSC با مشارکت دولت و صنعت برای پوشش هزینه های اولیه - محاسبه ROI بلندمدت و توجیه سرمایه گذاری با کاهش ۲۵-۴۰٪ هزینه های تغییر مهندسی.
۹	عوامل اقتصادی (C)	مدیریت بودجه پروژه (C2)	استفاده از DFSC برای کاهش تغییرات مهندسی و انحراف بودجه و مدل سازی مالی یکپارچه با ابزارهای AHP/ERP.

۱۰	عوامل اقتصادی (C)	بازده اقتصادی (C3)	تمرکز بر کاهش هزینه‌های زنجیره تامین (کاهش این هزینه منجر به افزایش مستقیم سود می‌شود) - توسعه مدل‌های قیمت‌گذاری مبتنی بر ارزش DFSC
۱۱	عوامل سازمانی و مدیریتی (D)	مهارت و آموزش نیروی انسانی (D1)	برنامه‌های آموزشی جامع DFSC برای طراحان، خریداران و مدیران - ایجاد مرکز آموزش تخصصی کشتی‌سازی.
۱۲	عوامل سازمانی و مدیریتی (D)	تعهد مدیریت ارشد (D2)	حمایت مستقیم هیئت‌مدیره و مدیرعامل از پروژه - DFSC، گنجاندن DFSC در KPI های مدیریتی.
۱۳	عوامل سازمانی و مدیریتی (D)	فرهنگ سازمانی (D3)	تغییر ساختار سازمانی به سمت یکپارچگی طراحی-خرید-تولید - کمپین‌های فرهنگی و تغییر مدیریت مقاومت سازمانی.
۱۴	عوامل محیطی و قانونی (E)	مقررات بین‌المللی (E1)	رعایت کامل استانداردهای IMO، SOLAS و مقررات زیست‌محیطی از فاز طراحی - همکاری با سازمان‌های رده‌بندی بین‌المللی.
۱۵	عوامل محیطی و قانونی (E)	شرایط بازارهای جهانی (E2)	مانیترینگ مداوم بازار و انعطاف‌پذیری طراحی برای سفارشات سفارشی - تمرکز بر زمان تحویل و قیمت رقابتی از طریق DFSC.
۱۶	عوامل محیطی و قانونی (E)	پایداری و محیط زیست (E3)	طراحی سبز و کاهش انتشار کربن از فاز مفهومی - استفاده از مواد قابل بازیافت و سوخت‌های کم‌آلاینده.
۱۷	عوامل حوزه فناوری اطلاعات (F)	سیستم‌های مدیریت اطلاعات (F1)	پیاده‌سازی ERP/PLM یکپارچه برای تبادل اطلاعات با تامین کنندگان
۱۸	عوامل حوزه فناوری اطلاعات (F)	دیجیتال‌سازی (F2)	توسعه پلتفرم دیجیتال ملی DFSC برای BOM، نقشه و زمان‌بندی زنده - بومی‌سازی یا خرید سیستم‌های کلاس جهانی.
۱۹	عوامل حوزه فناوری اطلاعات (F)	الزامات حوزه امنیت داده‌ها (F3)	تقویت امنیت سایبری و طبقه‌بندی اطلاعات حساس نظامی/تجاری - پروتکل‌های رمزنگاری و کنترل دسترسی.
۲۰	ریسک‌های زنجیره تامین (G)	ریسک تقاضا (نوسانات بازار) (G1)	طراحی ماژولار و انعطاف‌پذیر برای پاسخ سریع به نوسانات - سناریوسازی تقاضا در مدل‌های DFSC.
۲۱	ریسک‌های زنجیره تامین (G)	ریسک ظرفیت تامین‌کننده (کمبود مواد) (G2)	رزرو ظرفیت بلندمدت با تامین‌کنندگان کلیدی - داخلی‌سازی مواد استراتژیک (ورق‌های فولادی خاص، آلیاژها).
۲۲	ریسک‌های زنجیره تامین (G)	ریسک مواجهه استراتژیک (تحریم‌ها) (G3)	پیش‌بینی تامین‌کنندگان جایگزین و داخلی‌سازی از روز اول طراحی - تنوع‌بخشی جغرافیایی زنجیره تامین.
۲۳	پایداری زیست‌محیطی و اجتماعی (H)	اثرات زیست‌محیطی (H1)	ارزیابی چرخه حیات (LCA) در طراحی و انتخاب مواد کم‌کربن.
۲۴	پایداری زیست‌محیطی و اجتماعی (H)	پایداری اجتماعی (H2)	رعایت معیارهای ESG خریداران بزرگ (یونانی، نروژی و ...).
۲۵	پایداری زیست‌محیطی و اجتماعی (H)	لجستیک معکوس (H3)	طراحی برای بازیافت و لجستیک معکوس از فاز
۲۶	همکاری و ادغام تامین‌کنندگان (I)	انتخاب تامین‌کننده (I1)	انتخاب تامین‌کنندگان بر اساس معیارهای پایداری، قابلیت اطمینان و DFSC از روز اول.
۲۷	همکاری و ادغام تامین‌کنندگان (I)	همکاری در مراحل اولیه طراحی (I2)	ورود رسمی تامین‌کنندگان استراتژیک به فاز Concept Design با پاداش عملکرد.
۲۸	همکاری و ادغام تامین‌کنندگان (I)	مکانیسم‌های بازی‌محور (I3)	استفاده از مدل‌های بازی (مانند Stackelberg) برای تعادل منافع طراح-تامین‌کننده و بررسی قراردادهای مشوق‌محور.

و تصمیم‌گیرندگان این صنعت کمک کند تا با اولویت‌بندی صحیح عوامل، منابع محدود خود را به صورت بهینه تخصیص دهند و از مزایای رویکرد طراحی برای زنجیره تامین بهره‌مند شوند. استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی در این تحقیق، امکان تحلیل جامع معیارهای کمی و کیفی را فراهم کرده و دقت نتایج را افزایش داده است.

انجام هر پژوهش با محدودیت‌هایی روبه‌رو است در این پژوهش محدودیت دسترسی به داده‌های واقعی از صنعت کشتی‌سازی به دلیل محرمانه بودن برخی اطلاعات و وابستگی نتایج به نظرات خبرگان، که ممکن است تحت تأثیر سوگیری‌های شخصی باشد جز مهم‌ترین محدودیت‌های پیش روی پژوهش بوده است.

با توجه به نتایج رویکرد تحلیل سلسله مراتبی انجام شده در این پژوهش برای تحقیقات آتی، بررسی تأثیر متقابل عوامل شناسایی شده و توسعه مدل‌های پویا برای ارزیابی اثرات بلندمدت پیاده‌سازی رویکرد طراحی برای زنجیره تامین در صنعت کشتی‌سازی پیشنهاد می‌شود. همچنین، تطبیق این یافته‌ها با دیگر صنایع دریایی می‌تواند زمینه‌ساز تحقیقات مقایسه‌ای ارزشمندی باشد که تفاوت این رویکردها را با توجه به انواع روش‌ها و یا استراتژی‌های تولید بیان می‌کند.

۷- مراجع

- [1] E. Claypool, B. A. Norman, and K. L. Needy, "Modeling risk in a design for supply chain problem," *Comput. Ind. Eng.*, vol. 78, pp. 44–54, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2014.08.003>
- [2] S. Hou, J. Gao, and C. Wang, "Design for mass customisation, design for manufacturing, and design for supply chain: A review of the literature," *IET Collaborative Intelligent Manufacturing*, vol. 4, no. 1, pp. 1–16, 2022. <https://doi.org/10.1049/cim2.12044>
- [3] E. Reitsma, P. Hilletoft, and E. Johansson, "Supply chain design during product development: a systematic literature review," *Production Planning & Control*, vol. 34, no. 1, pp. 1–18, 2023. <https://doi.org/10.1080/09537287.2021.1971670>
- [4] N. M. Gokhan, K. L. Needy, and B. A. Norman, "Development of a simultaneous design for supply chain process for the optimization of the product design and supply chain configuration problem," *Engineering Management Journal*, vol. 22, no. 4, pp. 20–30, 2010. <https://doi.org/10.1080/10429247.2010.11431878>
- [5] H. L. Lee and C. Billington, "The evolution of supply-chain-management models and practice at Hewlett-Packard," *Interfaces (Providence)*, vol. 25, no. 5, pp. 42–63, 1995. <https://doi.org/10.1287/inte.25.5.42>
- [6] H. L. Lee and M. M. Sasser, "Product universality and design for supply chain management," *Production Planning & Control*, vol. 6, no. 3, pp. 270–277, 1995. <https://doi.org/10.1080/09537289508930283>
- [7] B. Brian Morrison, "Design for Excellence (DFX) Driving Product Optimization Through Early Stage Supplier Engagement, manufacturing partner to innovators," 2016.
- [8] S. Hou, J. Gao, and C. Wang, "Design for mass customisation, design for manufacturing, and design for supply chain: A review of the literature," *IET Collaborative Intelligent*

۶- بحث و نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) انجام‌شده با مشارکت ۱۰ نفر از خبرگان ارشد صنعت کشتی‌سازی و وزن‌های به‌دست‌آمده، مهم‌ترین موانع و در عین حال اهرم‌های کلیدی موفقیت طراحی برای زنجیره تامین به ترتیب اولویت عبارتند از:

- (۱) پیچیدگی طراحی کشتی، (۲) هزینه‌های پیاده‌سازی مفهوم طراحی برای زنجیره تامین، (۳) مشکلات استانداردسازی قطعات، (۴) ریسک تحریم و ظرفیت تأمین‌کنندگان

بر این اساس، راهکارهای عملی و اولویت‌دار زیر برای بهره‌گیری موفق از رویکرد طراحی برای زنجیره تامین در صنعت کشتی‌سازی ایران پیشنهاد می‌شود:

۱. ایجاد بانک ملی قطعات استاندارد و مدولار کشتی: تشکیل کنسرسیوم مشترک از شرکت‌های کشتی‌سازی همچون ایزواکو، صدرا برای تدوین و تصویب «فهرست قطعات استاندارد ملی کشتی» و الزام استفاده از قطعات مدولار در تمامی مناقصات دولتی و نیمه‌دولتی مشابه برنامه Modular Shipbuilding کره جنوبی، انتظار می‌رود این اقدام به‌تنهایی ۳۵٪-۲۵٪ از پیچیدگی زنجیره تأمین و هزینه‌های تغییر مهندسی را کاهش دهد.

۲. تشکیل صندوق توسعه مفهوم طراحی برای زنجیره تامین با مشارکت دولت و صنعت: ایجاد صندوق ویژه برای پوشش هزینه‌های اولیه نرم افزارهای یکپارچه، آموزش متخصصین و تشکیل تیم‌های مشترک طراحی و تأمین.

۳. اجرای برنامه «تأمین‌کننده اولیه با تأمین‌کنندگان استراتژیک انتخاب تأمین‌کنندگان کلیدی و امضای قرارداد مشارکت بلندمدت ۱۰ ساله: ورود رسمی این تأمین‌کنندگان به فاز Concept Design و اختصاص ۱۰٪-۵٪ از سود پروژه به آن‌ها به‌عنوان پاداش عملکرد.

۴. توسعه پلتفرم دیجیتال یکپارچه مفهوم طراحی برای زنجیره تامین خرید یا بومی‌سازی یک سیستم یکپارچه کلاس جهانی یا بومی‌شده آن و اتصال آنالاین تمام تأمین‌کنندگان کلیدی به این پلتفرم برای تبادل BOM، نقشه و برنامه زمان‌بندی به‌صورت زنده در این پژوهش تمرکز خاص بر صنعت کشتی‌سازی است که در مطالعات طراحی برای زنجیره تامین و سایر زیرشاخه‌های مبحث طراحی برای تعالی کمتر مورد توجه قرار گرفته است.

ارائه چارچوبی عملی برای پیاده‌سازی مفهوم طراحی برای زنجیره تامین در یک صنعت پیچیده و استراتژیک که بهره‌گیری عوامل طراحی برای تعالی می‌تواند در آن موثر بوده و منجر به رشد و شکوفایی آن شود.

پیاده‌سازی موفق رویکرد طراحی برای زنجیره تامین در صنعت کشتی‌سازی نیازمند توجه همزمان به عوامل و فرآیندهای فنی، سازمانی و انسانی است. یافته‌های این پژوهش می‌تواند به مدیران

- Manufacturing, vol. 4, no. 1, pp. 1–16, 2022. <https://doi.org/10.1049/cim2.12044>
- [9] H. Sharifi, H. S. Ismail, and I. Reid, "Achieving agility in supply chain through simultaneous 'design of' and 'design for' supply chain," *Journal of Manufacturing Technology Management*, vol. 17, no. 8, pp. 1078–1098, 2006. <https://doi.org/10.1108/17410380610707399>
- [10] T. Eero, "Exploring design for supply chain methods in new product development process," 2022.
- [11] Sarmiento, Filipe Daniel Goncalves. "Implementing" Design for Supply Chain" to Enhance New Product Development: A Design Science Approach." PhD diss., Aston University, 2024. <https://doi.org/10.48780/publications.aston.ac.uk.00047436>
- [12] K. Manohar and K. Ishii, "Design for Supply Chain: Evaluation of Supply Chain Metrics," in *ASME International Mechanical Engineering Congress and Exposition*, 2008, pp. 203–211. <https://doi.org/10.1115/IMECE2008-66322>
- [13] N. M. Gokhan, K. L. Needy, and B. A. Norman, "Development of a simultaneous design for supply chain process for the optimization of the product design and supply chain configuration problem," *Engineering Management Journal*, vol. 22, no. 4, pp. 20–30, 2010. <https://doi.org/10.1080/10429247.2010.11431878>
- [14] M. Bielecki, B. Galińska, and A. Polak-Sopińska, "Perfect product in perfect industry—design for logistics," 2021.
- [15] M. Merati, M. Karbasian, A. Toloie Ashlaghi, and H. Haleh, "A combined Model design for developing and optimizing product platform architecture considering parameters of DFV, DFC, DFSC, and DFAv, case study: phased array radar," *Journal of Optimization in Industrial Engineering*, vol. 16, no. 2, pp. 115–130, 2024. <https://doi.org/10.22094/JOIE.2023.1992382.1978>
- [16] T. L. Saaty, "Basic theory of the analytic hierarchy process: How to make a decision," *Revista de la Real Academia de Ciencias Exactas Fisicas y Naturales*, vol. 93, no. 4, pp. 395–423, 1999. <https://doi.org/10.1007/BF03038937>
- [17] Woldesilassiea, Tekalign Lemma, Hirpa G. Lemu, and Endalkachew Mosisa Gutema. "Impacts of adopting additive manufacturing process on supply chain: systematic literature review." *Logistics* 8, no. 1 (2024): 3. <https://doi.org/10.3390/logistics8010003>