نشریه علمی – پژوهشی بهبود مدیریت
سال نهم، شماره ۳، پیاپی ۲۹، پاییز ۱۳۹۴
صفحات ۸۲ - ۵۳

ارایه الگویی برای ارزیابی گزینه‌های طراحی مفهومی در پروژه‌های توسعه محصولات پیچیده دفاعی با در نظر گرفتن پیوستگی و تاثیر متقابل ریسک‌ها

(تاریخ دریافت: ۹۳/۱۲/۰۳ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۰۸/۰۱)

عادل آذر[۱]، جعفر قیدرخلجانی[۲]، سید مجتبی هاشمی مجومرد[۳]*

چکیده

ارزیابی گزینه‌ها در مرحله طراحی مفهومی و انتخاب گزینه مناسب یکی از گلوگاه‌های کلیدی در فرآیند توسعه‌ی محصولات جدید به‌ویژه محصولات نظامی است. در این مقاله یک مدل بهینه‌سازی چندهدفه با سه تابع هدف شامل حداقل شدن ریسک، حداکثر شدن اثربخشی و حداقل شدن هزینه برای ارزیابی گزینه‌ها ارایه شده است. تصمیم‌گیرنده می‌تواند با توجه به سطح ریسک‌پذیری خود و نیز محدودیت میزان بودجه، گزینه‌ای را انتخاب کند که دارای بیشترین اثربخشی باشد. ویژگی مهم مدل ارایه‌شده در نظر گرفتن ریسک‌های مرتبط با متغیرهای پیوسته طراحی و نیز اثر متقابل آن‌ها بر یکدیگر است. این امر باعث لحاظ تمام ریسک‌های طراحی و نیز افزایش دقت محاسبه میزان ریسک طرح‌ها شد. همچنین لحاظ کردن اثر هزینه‌ای ریسک‌ها در تابع هزینه، باعث بهبود فرآیند محاسبه هزینه طرح شده است.

واژگان کلیدی:

توسعه محصول جدید، ریسک، اثربخشی، بهینه‌سازی چندهدفه، طراحی مفهومی

۱- استاد گروه مدیریت صنعتی دانشگاه تربیت مدرس Azara@modares.ac.ir

۲ - استادیار دانشگاه صنعتی مالک اشتر Kheljani@mut.ac.ir

۳ *- دانشجوی کارشناسی ارشد مدیریت صنعتی دانشگاه تربیت مدرس(نویسنده مسئول): Mojtaba.hashemi@modares.ac.ir

۱- مقدمه

رقابت روزافزون همراه با محیط بسیار متغیر، بازار کنونی شرکت‌ها را وادار به جستجوی راه‌هایی برای تولید محصولات باکیفیت‌تر، با کم‌ترین هزینه و در کوتاه‌ترین زمان ممکن نموده است [۲۷]. این امر در پروژه‌های توسعه محصولات جدید (NPD[۱])، به‌دلیل اهمیت این‌گونه پروژه‌ها، نمود ویژه‌ای پیدا می‌کند چراکه بقا و موفقیت بسیاری از شرکت‌ها بستگی به ارایه محصولات نوآورانه جدید دارد [۱۹ و ۷]. یکی از راه‌های رسیدن به این هدف مدیریت ریسک‌ها در توسعه محصولات جدید است. ریسک و خلاقیت به‌طور اجتناب‌ناپذیری به یکدیگر مرتبط هستند و محیطی که در آن محصولات جدید مفهوم‌سازی و توسعه داده می‌شوند، نیازمند خلاقیت و ریسک در اغلب سطوح است [۱۷] و همان‌طور که میرواکی[۲] [۲۰]، بیان می‌کند مفهوم ریسک در فرآیند توسعه محصول جدید یک مفهوم کلیدی است. با افزایش سطح نوآوری، احتمال رخداد رویدادهای نامطلوب یا همان ریسک‌ها نیز افزایش می‌یابد [۱۹] این ریسک‌ها می‌توانند باعث افزایش هزینه، افزایش زمان توسعه محصول و یا کاهش عملکرد محصول شوند. علاوه بر این در توسعه محصولات نظامی جدید و نوآورانه، با توجه به اهمیت آن‌ها در کسب مزیت رقابتی برای کشور و نیز پیامدهای بسیار سنگین شکست این پروژه‌ها و یا تولید محصول معیوب باید به‌منظور دست‌یابی به اهداف عملکردی و زمانی تعیین‌شده با روشی رسمی و سامان‌مند به مدیریت ریسک پروژه‌های توسعه محصولات جدید پرداخت [۲۰].

بااین‌حال، تعداد کمی از پروژه‌های توسعه محصول، مدیریت ریسک را به شکلی مناسب اجرا می‌کنند [۲۲ و ۱۷]. همچنین، چین[۳] و همکاران [۱۰] نیز دریافتند که مدیریت ریسک در پروژه‌های NPD در بسیاری از سازمان‌ها اغلب با شیوه‌های غیررسمی و غیر سیستماتیک و تا حد زیادی بر مبنای احساسات و ادراکات مدیریت انجام شده است.

در این پژوهش، برای مدیریت مؤثرتر ریسک‌ها در توسعه محصول جدید سعی شده است ریسک‌ها از همان ابتدای طراحی یعنی مرحله طراحی مفهومی مورد توجه قرار گرفته و مدیریت شوند. دلیل انتخاب این مرحله برای لحاظ کردن مفاهیم مدیریت ریسک این است که در مراحل ابتدایی پروژه‌ها اقدامات مؤثرتری می‌توان در رابطه با ریسک‌ها صورت داد [۱]. در مدل ارایه‌شده، روش و معیارهایی برای اندازه‌گیری ریسک‌های مرتبط با متغیرهای طراحی ارایه خواهد شد. سعی شده است تأثیرات مقابل ریسک‌ها و نیز ریسک‌های پیوسته که در پژوهش‌های پیشین مدنظر قرار نگرفته‌اند لحاظ شود. این روش جزئی از روش بهینه‌سازی چندهدفه در طراحی مفهومی محصولات نظامی است. هدف از این روش بهینه‌سازی، فراهم‌سازی روش-شناسی و چارچوب ثابتی برای طراحی و ارزیابی طرح‌ها بر اساس شاخص‌های چندگانه اثربخشی، هزینه و ریسک است. رویکرد ارایه‌شده، روش مؤثرتری را برای جستجو در فضای طراحی و انتخاب طرح (طرح‌های) بهینه نسبت به روش‌های سنتی فراهم می‌کند.

---

[۱] New Product Development (NPD)
[۲] Mierzwicki
[۳] Chin

۲- ادبیات موضوع

۲-۱- توسعه محصول جدید

از مهم‌ترین نیروهای محیطی که تاثیر مستقیم بر کارکردهای سازمان‌های تولیدی دارند نیروهای رقابتی حاکم بر محیط سازمان هستند. تولید و توسعه محصولات جدید، فرآیندی است که همواره به‌عنوان یک مزیت رقابتی برای سازمان‌های تولیدی مطرح‌شده است. درواقع تمایز از طریق توسعه محصول جدید یکی از مؤثرترین راه‌ها برای کسب موفقیت است [۲۴]. لین و چن[۱] [۱۸] معتقد هستند گرچه توسعه محصولات جدید نیازمند فرآیندهای مدیریتی پیچیده است و ریسک بالایی را دارد اما یک پروژه موفق توسعه محصولات جدید به‌طورقطع می‌تواند فواید فراوانی را نصیب سازمان نماید و مزیت رقابتی را برای سازمان ایجاد نماید.

عبارت محصول جدید طیفی از محصولات کاملاً جدید تا بهبود در محصولات فعلی شرکت را شامل می‌شود. جدول ۱، تعاریف مختلف محصول جدید را نشان می‌دهد [۱۲]:

جدول ۱- انواع تعاریف محصول جدید

نوع	ماهیت
محصولات جدید برای بازارهای جهانی	محصولاتی که به‌تازگی اختراع و نوآوری شده‌اند و یا این‌که سبب بروز تغییرات بسیار شگرفی در محصولات موجود شده‌اند و درواقع برای اولین بار تولید می‌شوند.
انواع جدیدی از یک محصول	این قبیل محصولات برای بازارهای جهانی جدید نیستند اما شرکت تولیدکننده را در گروه شرکت‌های جدید قرار می‌دهند.
فراورده‌های اضافه‌شده به خط تولید	این قبیل فرآورده‌ها جهت توسعه و گسترش خطوط تولیدی بر آن اضافه می‌شوند.
فعال کردن کاربردهای دیگر از محصولات موجود	در این موارد محصولات به‌منظور کاربردهای دیگرشان موردتوجه تولید مجدد قرار می‌گیرند و نوع مصرف در مورد تولید دوباره آن‌ها تغییر کرده است.

همان‌گونه که ملاحظه می‌شود، طیف محصولات جدید شامل محصولاتی که به‌تازگی اختراع و نوآوری شده و برای اولین بار در بازار عرضه می‌شوند تا محصولاتی که کاربردهای دیگر آن‌ها افزایش‌یافته و یا خط تولید آن‌ها توسعه‌یافته است را شامل می‌شود.

بر اساس تحلیل سودآوری در مورد ۲۰ درصد از شرکت‌های برتر که توسط انجمن مدیریت و توسعه محصول (PDMA[۲]) انجام شده است، فروش محصولات جدید، ۴۲ درصد از سود این شرکت‌ها را تشکیل می‌دهد. از سوی دیگر این پژوهش نشان داد نرخ شکست پروژه‌های توسعه محصول جدید ۴۱ درصد است که خود نشان‌دهنده ریسک زیاد این نوع پروژه‌ها است [۹]. بر این اساس، برای افزایش سودآوری و کاهش ریسک شرکت‌ها باید به‌دقت به ارزیابی ریسک پروژه‌های NPD بپردازند.

---

۱ Lin & Chen

۲ Product Development & Management Association

۲-۲- مفهوم ریسک

ریسک از جنبه‌ی نظری، به معنای احتمال انحراف از نیل به هدف مطلوب است. در نظریه‌ی ریسک، اصطلاحاتی نظیر عدم قطعیت یا نامشخص بودن وضعیت و شرایط عدم اطمینان از آینده نیز هم‌ارز با اصطلاح ریسک به کار می‌رود [۱].

موسسه مدیریت پروژه [۲]، ریسک را به‌صورت زیر تعریف می‌کند: "رویدادی نامعین یا موقعیتی که اگر اتفاق بیافتد بر هدف پروژه تاثیر مثبت یا منفی خواهد گذاشت. ریسک دلیلی دارد و در صورت اتفاق نیز تجربه‌ای از آن حاصل می‌شود.

بالانچارد[۱] [۴]، ریسک را به‌صورت پتانسیل رخ دادن یک خطا به‌عنوان نتیجه‌ی یک یا دنباله‌ای از وقایع تعریف می‌کند که با استفاده از ترکیبی از احتمال رخداد و پیامدهای ارزیابی‌شده در صورت وقوع آن اندازه‌گیری می‌شود.

- ریسک، یک تابع است که احتمال و اندازه خسارت را تعیین می‌کند [۱].
- ریسک فنی به شکست پروژه در تامین معیارهای عملکرد اشاره دارد [۳].

همان‌گونه که مشاهده می‌شود، دامنه تعاریف بسیار گسترده است. بااین‌وجود، از تعاریف ارایه‌شده دو جنبه‌ی مشخص‌کننده ریسک قابل استخراج است: عدم قطعیت پیشامدها و خسارت‌های ممکن. بنابراین، احتمال وقوع پیشامد و اثرات احتمالی آن، دو فاکتور مهم و مشخص‌کننده یک ریسک هستند.

۲-۳- پیشینه مدیریت ریسک در فرآیند توسعه محصول

پژوهش‌های صورت گرفته در مورد مدیریت ریسک در حوزه توسعه محصول را می‌توان به دو دسته تقسیم نمود. دسته اول از معیار ریسک برای انتخاب یک پروژه از میان پروژه‌های مختلف توسعه محصول که دارای ریسک کمتری است، استفاده نموده‌اند؛ که به‌طور مختصر می‌توان موارد زیر را به‌عنوان کارهای صورت گرفته در این دسته مورد اشاره قرار داد:

چانگ[۲] [۸]، با استفاده از ترکیب ANP و TOPSIS، مدلی را برای انتخاب و رتبه‌بندی پروژه‌های NPD در صنایع غذایی تایوان ارایه داده است. او با شناسایی ۱۲ معیار از جمله قابلیت‌ها، ریسک، زمان انتظار، شهرت، سود و ... ابتدا با استفاده از ANP به وزن دهی این معیارها پرداخته و سپس با کمک روش TOPSIS پروژه‌های مختلف NPD را رتبه‌بندی نموده است. چیانگ و چه [۹] با استفاده از شبکه‌های بیز و تحلیل پوششی داده‌ها (DEA) یک مدل ارزیابی فازی برای انتخاب و رتبه‌بندی پروژه‌های توسعه محصول جدید ارایه دادند. آن‌ها سه نوع ریسک را برای پروژه‌های NPD در نظر گرفتند که عبارت‌اند از: ریسک زمان ارایه به بازار، ریسک سود (بازده) مورد انتظار و ریسک قابلیت و توانایی ساخت. چوی و آهن[۳] [۱۱] یک مدل تحلیل ریسک پیشنهاد دادند تا درجه عوامل ریسک را در توسعه محصول جدید تعیین کنند.

---

۱ Blanchard
۲ Chang
۳ Choi & Ahn

این مدل هم از نظریه‌ی فازی و هم از فرآیندهای مارکوف بر مبنای مهندسی هم‌زمان استفاده می‌کرد. مدل‌های فازی ارزش‌های فاکتورهای ریسک را تعیین می‌کردند و فرآیندهای مارکوف احتمال رخداد ریسک را مشخص می‌کردند. وی و چانگ[۱] [۲۶]، با ترکیب نظریه‌ی فازی و تصمیم‌گیری گروهی چند معیاره، مدلی برای انتخاب محصول جدید معرفی کردند. مدل آن‌ها کارایی پروژه، تحویل پروژه و ریسک پروژه توسعه محصول جدید را در شامل می‌شود و انتخاب پروژه NPD را به‌صورت یک مسئله برنامه‌ریزی خطی فازی فرموله می‌کند.

دسته دوم از پژوهش‌ها درزمینه‌ی مدیریت ریسک در پروژه‌های توسعه محصول جدید، مدیریت ریسک را به‌عنوان بخشی از فرآیند توسعه محصول در نظر گرفته و همه اعضا و بخش‌های درگیر در فرآیند توسعه محصول را در فرآیند مدیریت ریسک دخیل می‌کنند. در این دسته از پژوهش‌ها، بعد از انتخاب پروژه توسعه محصول، فرآیند مدیریت ریسک هم‌زمان با توسعه محصول و توسط خود گروه توسعه محصول اجرا می‌شود. به‌عنوان مثال وانگ و لین[۲] [۲۴]، یک مدل به‌منظور تعیین ریسک زمان‌بندی برای توسعه محصول جدید پیشنهاد کردند. آن‌ها با ارایه این مدل تأثیر ساختار فرآیندی بر زمان تحویل یک پروژه توسعه محصول را مورد تحلیل قرار دادند و یک الگوریتم شبیه‌سازی توسعه دادند تا تأثیر ساختار فرایندی بر زمان تحویل را تجزیه‌وتحلیل کنند.

اومن[۳] و همکارانش [۲۱]، به بررسی ارتباط بین فعالیت‌های مدیریت ریسک و پنج معیار در پروژه‌های توسعه محصول جدید پرداخته‌اند. این پنج معیار عبارت‌اند از تصمیم‌گیری در مورد کیفیت، ثبات بالای برنامه، سازمان‌دهی باز و کنش‌گرایانه، موفقیت پروژه و موفقیت محصول. آن‌ها با بررسی این ارتباطات در ۲۹۱ پروژه NPD مؤثرترین اقدامات در مدیریت ریسک این پروژه‌ها را مشخص می‌نمایند. جراد و همکاران [۱۷] با مطالعه پنج شرکت خلاق به بررسی مهم‌ترین ریسک‌های مشترک بین آن‌ها و نحوه شناسایی و کنترل آن‌ها در توسعه محصولات پرداخته‌اند. توجه آن‌ها بیشتر بر روی ریسک انسانی و ریسک‌های غیرقابل اندازه‌گیری با روش‌های رسمی بوده است. مارمایر و همکارانش [۱۹] با یکپارچه‌سازی مدیریت پروژه، مدیریت ریسک و مدیریت طراحی محصول، مدلی را ارایه کرده‌اند که به تصمیم‌گیرندگان در تصمیم‌گیری‌های استراتژیک بر مبنای ریسک در پروژه‌های توسعه محصول جدید کمک می‌نماید. در مدل آن‌ها ابتدا گزینه‌های مختلف طراحی در نظر گرفته شده و تأثیر آن‌ها بر ریسک و استراتژی مدیریت ریسک بررسی می‌شود و سپس پیامدهای آن‌ها بر زمان‌بندی و هزینه پروژه محاسبه می‌شود. آن‌ها برای انجام این محاسبات از درخت تصمیم و تئوری احتمال استفاده نموده‌اند. ژائو و همکارانش [۲۷] با طراحی یک سیستم پشتیبانی تصمیم (DSS) به اندازه‌گیری هزینه و ریسک در زمان توسعه محصول پرداخته‌اند. این سیستم به‌گونه‌ای است که هم‌زمان با ایجاد تغییر در طراحی شاخص‌های عملکردی مانند زمان توسعه محصول، هزینه درآمد، میزان رضایت مشتری، حاشیه سود و ریسک مورد اندازه‌گیری مجدد قرار می‌گیرد و مدیران

---

[۱] Wei & Chang
[۲] Wang & Lin
[۳] Oehmen

می‌توانند با توجه به این شاخص‌ها بهترین طراحی را انتخاب نمایند. آن‌ها ریسک‌های هزینه‌ای، فنی و زمانی را در نظر گرفته‌اند. برون[۱] و مایرزویکی [۵] به بررسی ریسک‌های مختلف موجود در فرآیند طراحی محصول پرداخته‌اند. آن‌ها در این پژوهش، برای بهینه‌سازی طراحی ابتدا فنّاوری‌های مختلف موجود برای محصول موردنظر را ازلحاظ ریسک بررسی نموده‌اند؛ سپس با ارزیابی کیفی ریسک‌ها امتیازی را به هرکدام از ریسک‌ها تخصیص دادند و در نهایت برای بهینه‌سازی طراحی سه شاخص ریسک، اثربخشی و هزینه را وارد یک مدل بهینه‌سازی چندهدفه نمودند.

با مرور ادبیات صورت گرفته مشخص شد که مطالعات بسیار کمی در رابطه با مدیریت ریسک در فاز طراحی محصول جدید صورت گرفته است. جراد و همکارانش [۱۷] بیان می‌کنند ادبیات مرتبط با ریسک به‌طور شگفت‌آوری در ارتباط با طراحی محصول ساکت مانده است. در اندک مطالعات صورت گرفته نیز به متغیرهای پیوسته در طراحی محصول توجه نشده است درحالی‌که، ممکن است ریسک‌های بسیار مهمی به متغیرهای پیوسته وابسته باشند. به‌عنوان نمونه، در این پژوهش، ریسک شکست بدنه کشتی، به متغیر پیوسته طول کشتی وابسته است و در نتیجه، در نظر نگرفتن این نوع از ریسک‌ها و متغیرها باعث نقص و غیر اثربخش شدن فرآیند مدیریت ریسک خواهد شد. همچنین شکاف دیگری که در این زمینه وجود دارد، در نظر نگرفتن اثر متقابل ریسک‌ها بر یکدیگر است. درواقع ریسک‌ها می‌توانند باعث تشدید اثرات یکدیگر شوند و حتی در برخی از مواقع باعث چند برابر شدن پیامد ریسک شده و یک ریسک سطح پایین را به یک ریسک سطح بالا تبدیل کنند. ازاین‌رو، با توجه به اهمیت این دو عامل و به‌عنوان نوآوری پژوهش، در این مقاله ریسک‌های مرتبط با متغیرهای پیوسته و نیز اثرات متقابل ریسک‌ها بر پیامدهای یکدیگر در مدل محاسبه ریسک کلی طرح، در نظر گرفته خواهد شد. همچنین، به‌منظور برآورد دقیق‌تر هزینه‌ها، اثرات هزینه‌ای ریسک در تعیین هزینه طرح‌ها مدنظر قرار می‌گیرد. این مدل، بخشی از مدل بهینه‌سازی سه هدفه در فاز طراحی مفهومی محصول خواهد بود که با توجه به مدل برون و مایرزویکی [۵]، توسعه داده شده است. با استفاده از این مدل طراحان و تصمیم‌گیرندگان خواهند توانست طرح‌هایی را انتخاب کنند که دارای بیشترین اثربخشی در تامین اهداف و کمترین ریسک و هزینه با توجه به آن اثربخشی باشند.

۳- روش‌شناسی پژوهش

۳-۱- بهینه‌سازی طراحی محصولات

به‌منظور بهینه‌سازی طراحی محصولات نظامی، در این پژوهش، معیار ریسک همراه با معیارهای مهم دیگر مانند هزینه و اثربخشی در قالب یک مدل ریاضی در نظر گرفته شده است چراکه اگر صرفاً به حداقل‌سازی ریسک پرداخته شود ممکن است مفاهیمی در طرح مفهومی محصول لحاظ گردد که اثربخشی کم و یا هزینه بسیار بالایی را داشته باشند.

---

[۱] Brown

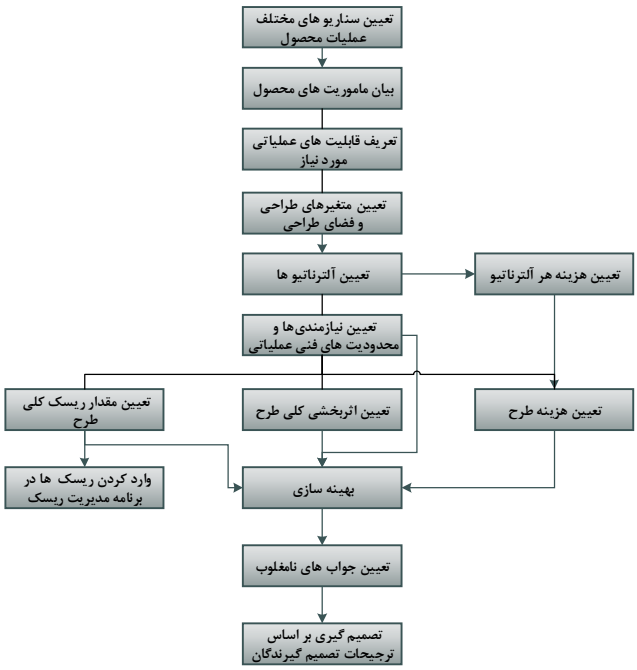
باید توجه نمود که ریسک، هزینه و اثربخشی، شاخص‌هایی غیرمشابه هستند و واحدهای اندازه‌گیری متفاوتی دارند. در نتیجه، به‌طور منطقی نمی‌توان این توابع را به یک تابع هدف واحد تبدیل نمود و باید به‌صورت مجزا ولی به شکل مدیریت‌پذیر برای تصمیم‌گیری ارایه شوند تا بتوان توازنی بین سه معیار صورت داد و طراحان و مهندسان یا سایر تصمیم‌گیرندگان با توجه به ترجیحات خود برای ریسک، هزینه و اثربخشی طرح بهینه مورد نظر خود را انتخاب نمایند. بدین منظور مدل در نظر گرفته‌شده برای بهینه‌سازی طراحی، یک مدل بهینه‌سازی چندهدفه با توابع هدف، ریسک، اثربخشی و هزینه است.

مراحل اجرای این مدل بهینه‌سازی (نمودار ۱) به شرح زیر است:

۱. ابتدا موقعیت‌ها و سناریوهای مختلف عملیات محصول مشخص می‌شود. به‌عنوان مثال، برای یک محصول نظامی سناریوهای قبل از درگیری–حین درگیری–بعد از درگیری می‌تواند مناسب باشد.
۲. برای هر یک از این سناریوها ماموریت‌های محصول بیان می‌شود.
۳. بعد از تعریف ماموریت‌های محصول، با استفاده از آن‌ها قابلیت‌های عملیاتی شناسایی می‌شود که برای تامین این ماموریت‌ها لازم هستند.
۴. تعریف متغیرهای طراحی و تعیین گزینه‌های هر کدام از این متغیرها. مرحله بعدی در این مدل شناسایی خصوصیات، زیرسیستم‌ها و فن‌آوری‌های مورد نیاز برای فراهم نمودن قابلیت‌های مورد نیاز در سطحی از ریسک، هزینه و عملکرد است. متغیرهای طراحی با انتخاب گزینه‌هایی از خصوصیات، زیرسیستم‌ها و فن‌آوری‌ها که مناسب و یا قابل کاربرد برای یک یا گروهی از قابلیت‌های عملیاتی هستند انتخاب می‌شوند. متغیرهای طراحی می‌توانند گسسته و یا پیوسته باشند. متغیرهای گسسته از بین سیستم‌هایی که وظایف یکسانی را با سطوح عملکردی متفاوتی فراهم می‌کنند، انتخاب می‌شوند. متغیرهای پیوسته دامنه مشخصی دارند و بر سطح عملکرد سیستم طراحی‌شده اثر می‌گذارند.
۵. تعریف محدودیت‌ها برای هریک از متغیرهای طراحی و نیز محدودیت‌های فنی و تولیدی که در ساخت محصول وجود دارد. همچنین ناسازگاری‌ها و یا وابستگی‌هایی که بین متغیرها و گزینه‌های مختلف وجود دارد.
۶. در این مرحله با جستجو در فضای طراحی و انتخاب و ترکیب گزینه‌ها طرح‌های موجه و امکان‌پذیر تولید می‌شود، سپس با توجه به مقادیر توابع هدف در این فرآیند بهینه‌سازی چندهدفه جواب‌های غیر مغلوب تولید می‌شوند.
۷. محاسبه مقادیر تابع هدف برای هریک از گزینه‌ها و طرح‌ها. در این مرحله هریک از توابع هدف هزینه، ریسک و اثربخشی با توجه به فرآیند محاسباتی که در ادامه خواهد آمد محاسبه می‌شوند.

با توجه به غیرخطی بودن توابع هدف و برخی از محدودیت‌ها روش مورد استفاده برای بهینه‌سازی چندهدفه فوق یک روش فرا ابتکاری (روش NSGA-II) خواهد بود.

۸. بعد از تعیین طرح‌های نامغلوب باید ریسک‌های مرتبط با متغیرهای طراحی و فرآیندی را در برنامه مدیریت ریسک و لیست ریسک‌ها وارد نمود تا برای برنامه‌ریزی پاسخ و پیگیری آن‌ها اقدامات لازم صورت گرفته و فرآیند مدیریت ریسک ادامه یابد.



نمودار ۱- فرآیند کلی بهینه‌سازی طراحی

در ادامه فرآیند محاسبه هرکدام از توابع هدف در این مدل ارایه خواهد شد:

۳-۱-۱- تابع ریسک کلی OMOR[۱]

با توجه به اهداف این پژوهش، برای در نظر گرفتن ریسک‌های مرتبط با متغیرهای پیوسته (مانند شکست در بدنه بر اساس متغیر نسبت طول به ارتفاع) و نیز اثر متقابل ریسک‌ها بر روی یکدیگر، فرآیند محاسبه ریسک کلی طرح‌های مفهومی توسعه داده شد. در این مدل سه نوع ریسک عملکردی، زمانی و هزینه‌ای در نظر گرفته شده است. ریسک عملکردی، ریسک‌هایی هستند که باعث می‌شوند، اجزای محصول به استانداردهای موردنظر، دست نیابند. وقوع ریسک‌های زمانی، باعث ایجاد تاخیر در تولید محصول و یا اجرا

[۱] Overall Measure Of Risk

آن می‌شوند. ریسک‌های هزینه‌ای، باعث افزایش در هزینه دست‌یابی به اجزای محصول و تولید محصول نهایی خواهد شد.

برای شروع این فرآیند، ورودی‌هایی مانند برنامه مدیریت ریسک، بیانیه ماموریت‌های محصول، لیست متغیرهای طراحی و گزینه‌های هر متغیر لازم است. سپس با استفاده از این ورودی‌ها و تکنیک‌های شناسایی ریسک، ریسک‌های موجود مورد شناسایی قرار می‌گیرد.

فرآیند محاسبه ریسک کلی محصول، به‌صورت زیر است:

۱. **شناسایی ریسک**. هریک از مقادیر متغیرهای طراحی ممکن است دارای ریسک‌های منحصربه‌فردی باشد. در نتیجه، برای محاسبه‌ی این ریسک‌ها، باید مقادیر هر متغیر با توجه به نواحی و منابع ریسک موجود در فرآیند توسعه محصول، مورد ارزیابی قرار گیرد. همچنین، می‌توان از تکنیک‌های طوفان فکری یا لیست‌های آماده، اقدام به شناسایی ریسک‌ها نمود.

۲. **تخصیص ریسک‌ها به گزینه‌های طراحی.** در این مرحله، برای مقادیر مختلف متغیرهای طراحی و فرآیندی، ریسک‌های شناسایی‌شده لیست می‌شوند. ریسک‌ها می‌توانند وابسته به متغیرهای پیوسته (مانند نسبت طول به ارتفاع) یا گسسته (نوع سیستم متحرکه) طراحی و یا هر دو باشد.

۳. **تعیین احتمال وقوع و اثرات هزینه‌ای، زمانی و عملکردی هر یک از ریسک.** در این پژوهش، فرض شده است که ریسک‌ها در فرآیند توسعه محصول جدید شناخته شده‌اند و اطلاعات خوبی از آن‌ها در اختیار است و می‌توان با استفاده از داده‌های تاریخی، شبیه‌سازی و یا روش‌های کمی‌سازی نظرات خبرگان توابع احتمال و اثر ریسک‌ها را به‌طور دقیق مشخص نمود و بدین‌وسیله بهینه‌سازی طراحی را به‌طور دقیقی انجام داد. به‌عنوان مثال، اثر زمانی یک ریسک می‌تواند افزایش ۴۰ روزه زمان تولید یک محصول باشد و یا اثر هزینه‌ای آن می‌تواند افزایش ۵ برابری هزینه تهیه یک قطعه باشد. با ارزیابی دقیق و کمی ریسک‌ها می‌توان با در نظر گرفتن ریسک‌های هزینه‌ای در تابع هزینه توسعه محصول و در نظر گرفتن ریسک‌های زمانی در برنامه زمان‌بندی توسعه محصول، هزینه و زمان‌بندی پروژه توسعه محصول را به‌صورت واقعی‌تری مدل‌سازی کرد و برآورد نمود. در مورد اثر عملکردی چون یک معیار کیفی است و نمی‌توان به‌سادگی آن را کمّی کرد. در نتیجه، برای سنجش آن از مقیاس معرفی شده در استاندارد مدیریت ریسک وزارت دفاع آمریکا [۲۳]، استفاده می‌شود.

جدول ۲- معیار پیامدها / تاثیرات عملکردی (مثال) [۲۳]

در صورت وقوع ریسک‌ها، شدت تأثیر عملکردی ریسک چقدر است؟	سطح
حداقل یا بی‌تاثیر	۰/۱
قابل‌قبول با کاهش در عملکردهای جنبی	۰/۳
قابل‌قبول با کاهش عمده عملکردهای جنبی	۰/۵
قابل‌قبول بدون عملکردهای جنبی	۰/۷
غیرقابل‌قبول	۰/۹

با توجه به این‌که تعیین توابع احتمال و اثر برای ریسک‌ها زمان‌بر و نیازمند اطلاعات دقیق است لذا تنها می‌توان به تعداد معدودی از ریسک‌ها پرداخت. برای بهبود این کار ابتدا باید یک تحلیل کیفی اولیه مانند تحلیل کیفی به‌وسیله ماتریس احتمال–اثر [۱] برای ریسک‌ها صورت داد و آن‌ها را اولویت‌بندی نمود. سپس ریسک‌های مهم برای تعیین این توابع و تحلیل‌های کمی بعدی انتخاب شوند.

٤. **تعیین تاثیر متقابل ریسک‌ها بر یکدیگر.** در شرایط واقعی هریک از ریسک‌ها ممکن است بر دیگری تأثیر داشته باشد و رخداد هم‌زمان دو ریسک باعث تشدید اثرات آن‌ها شود. لذا بعد از شناسایی ریسک‌ها باید روابط متقابل و تأثیراتی که هریک از آن‌ها بر سایر ریسک‌ها می‌گذارند را شناسایی و میزان این تأثیر تخمین زده شود. برای تعیین میزان تأثیر ریسک‌ها بر یکدیگر نیز می‌توان از مقیاس ذکرشده در جدول ۳ استفاده نمود.

جدول ۳- معیار کیفی و کمی متناظر اثرات متقابل ریسک (مثال)

سطح	میزان تاثیر یک ریسک بر ریسک دیگر چقدر است؟
۰,۱	خیلی کم
۰,۳	کم
۰,۵	متوسط
۰,۷	زیاد
۰,۹	خیلی زیاد

۵. **تعیین وزن و میزان اهمیت عناصر زمان، هزینه و عملکرد در پروژه توسعه محصول.** در پروژه‌های مختلف توسعه محصول، هر یک از معیارهای هزینه، زمان و عملکرد ممکن است دارای اهمیت نسبی متفاوتی باشند. در نتیجه، در این مرحله وزن هریک از این عناصر، به‌وسیله مقایسات زوجی و روش AHP، تعیین می‌شود.

٦. **محاسبه امتیاز هر ریسک و مقدار ریسک کلی هر طرح.** برای محاسبه مقدار ریسک در استاندارد وزارت دفاع آمریکا [۲۳] و همچنین در کار برون و مایرزویکی [۵] از ضرب احتمال وقوع ریسک در مجموع وزنی سه نوع تأثیر ریسک استفاده شده است. آن‌ها طبق معادله (۱) ابتدا امتیاز هر ریسک را با ضرب احتمال رخداد ریسک (P) در میزان اثر ریسک (C) محاسبه و سپس با محاسبه مجموع وزنی ریسک‌های عملکردی (W_{perf})، هزینه‌ای (W_{cost}) و زمانی (W_{sched})، ریسک کلی طرح را محاسبه می‌کنند.

$$OMOR = W_{perf} \sum_i \frac{w_i}{\sum_i w_i} P_i C_i + W_{cost} \sum_j P_j C_j + W_{sched} \sum_k P_k C_k \qquad (۱)$$

(برون و میرواکی، ۲۰۰۶)

بر این اساس، در این مقاله، این تابع با توجه به ریسک‌های مربوط به متغیرهای پیوسته و نیز تاثیر متقابل ریسک‌ها بسط داده شد و به‌صورت زیر تبدیل شد:

معادله(۲)

$$OMOR = \sum_{i=1}^{n} \left[(P_i(X) + \sum_{r=1}^{t} \sum_{s=1}^{k} p_{irs} y_{rs}) * \left(\begin{array}{l} W_T * \left(1 + \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^{n} \left(P_j(X) + \sum_{r=1}^{t} \sum_{s=1}^{k} p_{jrs} y_{rs} \right) * PT_{ij} \right) * \left(\frac{T_i(X) + \sum_{r=1}^{t} \sum_{s=1}^{k} T_{irs} y_{rs}}{T} \right) + \\ W_C * \left(1 + \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^{n} \left(P_j(X) + \sum_{r=1}^{t} \sum_{s=1}^{k} p_{jrs} y_{rs} \right) * PC_{ij} \right) * \left(\frac{C_i(X) + \sum_{r=1}^{t} \sum_{s=1}^{k} C_{irs} y_{rs}}{C} \right) \\ + W_E * \left(1 + \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^{n} \left(P_j(X) + \sum_{r=1}^{t} \sum_{s=1}^{k} p_{jrs} y_{rs} \right) * PE_{ij} \right) * \left(\sum_{r=1}^{t} \sum_{s=1}^{k} E_{irs} y_{rs} \right) \end{array} \right) \right]$$

پارامترها و متغیرهای این معادلات عبارت‌اند از:

متغیرهای طراحی

Y_{rs}=۰،۱ (Y_{rs}=۱: اگر گزینه sام برای متغیر طراحی rام انتخاب شود و Y_{rs}=۰: اگر گزینه sام برای متغیر طراحی rام انتخاب نشود)

X: مجموعه متغیرهای پیوسته طراحی

t: تعداد متغیرهای طراحی

k: تعداد گزینه‌های موجود برای متغیر طراحی

n: تعداد ریسک‌ها

$P_i(x)$: تابع احتمال وقوع ریسک i ام برحسب متغیرهای پیوسته

P_{irs}: مقدار افزایش احتمال وقوع ریسک i ام درصورت انتخاب گزینه rs (متغیر گسسته rs)

$T_i(x)$: تابع افزایش زمان پروژه در صورت وقوع ریسک i ام (بر حسب متغیرهای پیوسته طراحی)

$C_i(x)$: تابع افزایش هزینه پروژه در صورت وقوع ریسک i ام (برحسب متغیرهای پیوسته طراحی)

C(x): تابع هزینه برحسب متغیرهای پیوسته

پارامترهای مدل

P_i: احتمال رخداد ریسک iام

W_T: وزن عنصر مدت زمان توسعه محصول

W_C: وزن عنصر هزینه توسعه محصول

W_E: وزن عنصر عملکرد محصول

T_i: میزان تاثیر ریسک iام بر روی مدت‌زمان توسعه محصول

C_i: میزان تاثیر ریسک iام بر روی هزینه توسعه محصول

E_i: میزان تاثیر ریسک iام بر عملکرد محصول

T_{irs}: مقدار افزایش زمان پروژه در صورت وقوع ریسک i ام و انتخاب گزینه rs (متغیر گسسته rs)

C_{irs}: مقدار افزایش هزینه پروژه در صورت وقوع ریسک iام و انتخاب گزینه rs (متغیر گسسته rs)

PT_{ij}: درصد تشدید تأثیر زمانی ریسک iام توسط ریسک jام

PC_{ij}: درصد تشدید تأثیر هزینه‌ای ریسک iام توسط ریسک jام

PE_{ij}: درصد تشدید تأثیر عملکردی ریسک iام توسط ریسک jام

C_{rs}: هزینه گزینه sام برای متغیر طراحی rام

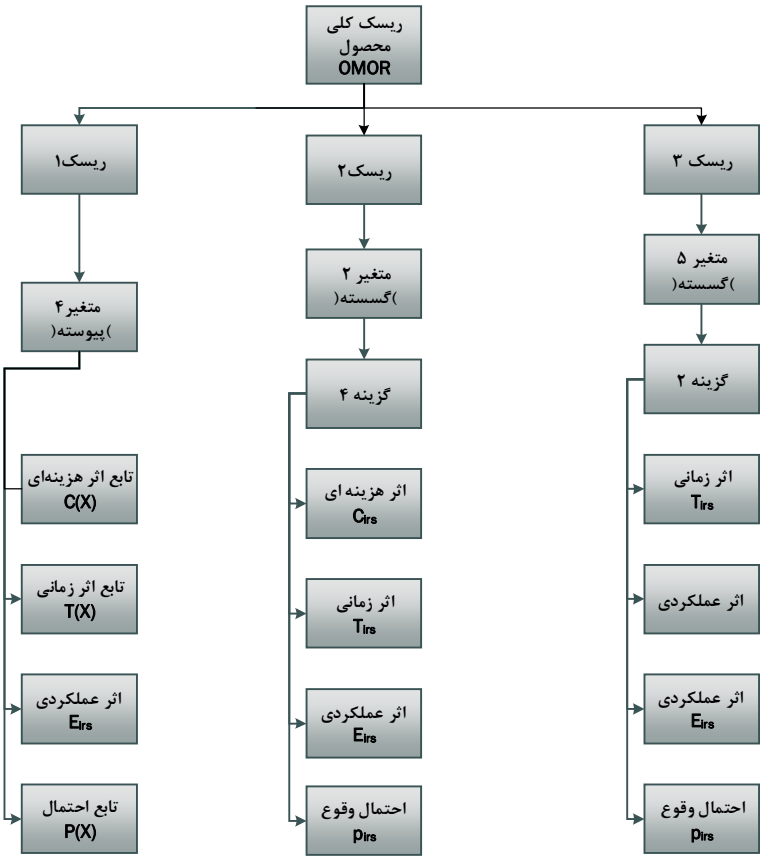
T: حداکثر مدت‌زمان کل پروژه

C: بودجه پروژه

در این معادله برای این‌که بتوان اثرهای متفاوت زمانی، هزینه‌ای و عملکردی ریسک را باهم جمع نمود، با استفاده از بودجه پروژه و حداکثر مدت‌زمان آن‌ها بی مقیاس و همگن شده است.

در معادله فوق بخش‌های $\sum_{\substack{j=1 \\ j\neq i}}^{n}\left(P_j(X)+\sum_{r=1}^{t}\sum_{s=1}^{k} p_{jrs}y_{rs}\right) * PT_{ij}$ برای محاسبه اثرات متقابل سایر ریسک‌ها بر ریسک iام است. در این بخش از تابع برای محاسبه مقدار تأثیر هر ریسک، سایر ریسک‌ها بررسی می‌شوند تا با توجه به مقدار متغیرهای طراحی (y_{rs}) و احتمال رخداد ریسک jام (p_{irs}) میزان افزایش تأثیر ریسک iام را محاسبه شود.

نمودار (۲) که مثالی از یک ساختار شکست ریسک است را در نظر بگیرید. هنگامی که در طراحی موردنظر متغیر طراحی ۲ گزینه ۴ خود و متغیر ۵ گزینه ۲ خود را بگیرد (مقادیر$y_{۲۴}$ و $y_{۲۴}$ هم‌زمان مقدار یک بگیرند)، ریسک ۲ با احتمال $P_{۲۲۴}$ و ریسک‌های۳ با احتمال $P_{۳۵۲}$ رخ می‌دهند. حال فرض کنید ریسک ۲ باعث افزایش $PE_{۲۴}$ درصدی اثر عملکردی ریسک ۳ می‌شود. در نتیجه، امتیاز ریسک ۳ به‌اندازه $P_{۳۵۲} * p_{۲۲۴} * PE_{۲۴} * E_{۳۵۲}$ افزایش می‌یابد.



نمودار ۲- مثالی از ساختار شکست ریسک

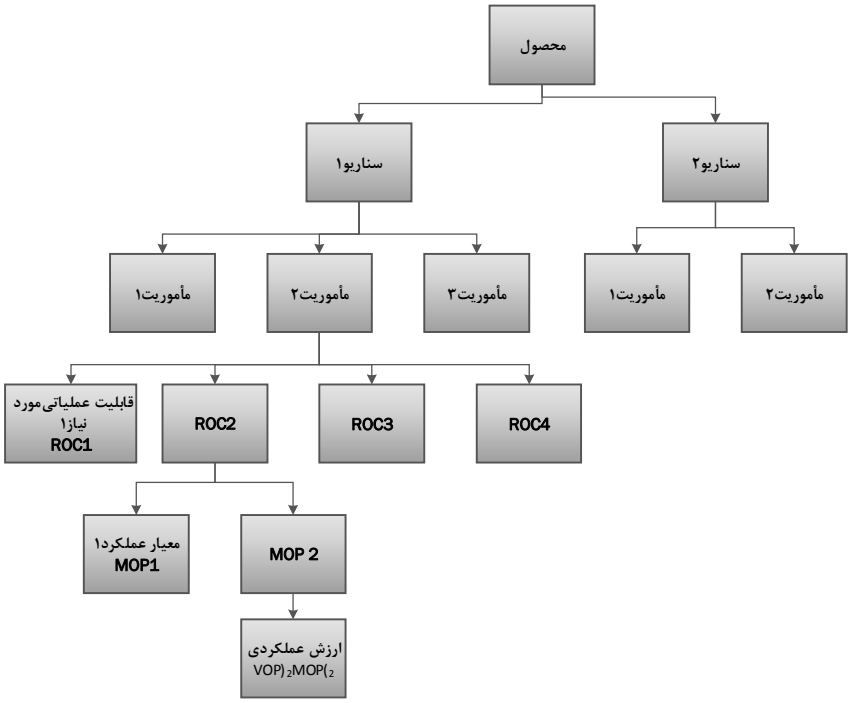
۳-۱-۲- تابع اثربخشی کلی محصول (OMOE[۱])

در این مدل، برای بیان اثربخشی محصول از شاخص اثربخشی کلی (OMOE) استفاده خواهد شد. استفاده از این شاخص در کنار شاخص‌های ریسک و هزینه کمک شایانی به انتخاب طرح بهینه خواهد نمود. این شاخص بیانگر میزان اثربخشی یک محصول پیچیده چندهدفه در یک سری از مأموریت‌های تعیین‌شده برای آن است، شاخص کلی اثربخشی مقداری بین ۰ تا ۱ بوده که توانایی محصول در انجام ماموریت‌های موردنیاز را نشان می‌دهد.

این معیار میزان اثربخشی یک محصول را برای چند ماموریت مختلف محاسبه می‌نماید. در نتیجه، محاسبه آن بر پایه ساختار شکست ماموریت‌های آن وسیله (نمودار۳) خواهد بود.

---

[۱] Overall Measure Of Effectiveness



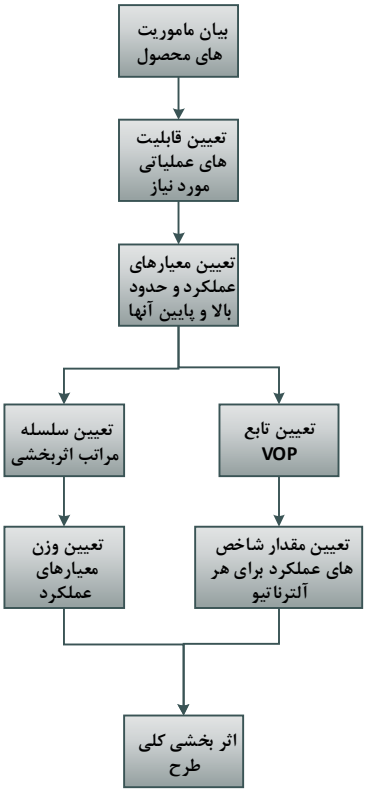
نمودار ۳-ساختار شکست ماموریت

برای محاسبه شاخص کلی اثربخشی ورودی‌هایی مانند اهداف و سیاست دفاعی، تهدیدات، ساختار نیروی دفاعی موجود، ماموریت‌های موردنیاز، سناریوهای ماموریت، نتایج شبیه‌سازی، جنگ آزمون[۱] و نظرات خبرگان نیاز است. به‌طور ایده‌آل می‌توان تمام دانش درباره مساله را در یک مدل جنگ آزمون وارد کرد و شاخص اثربخشی برای ورودی‌های مختلف شاخص‌های عملکرد را با استفاده از سناریوهای احتمالی محاسبه نموده و نیز برای تعریف ارتباط بین ورودی‌های شاخص‌های عملکرد و خروجی شاخص‌های اثربخشی از تحلیل رگرسیون استفاده می‌شود. دقت چنین شبیه‌سازی‌ای وابسته به مدل‌سازی تعاملات جزئی بین سیستم فیزیکی و انسانی و پاسخ‌های این مدل بر اساس دامنه وسیعی از متغیرهای کمی و کیفی است. بسیاری از این ورودی‌ها و پاسخ‌ها به‌صورت احتمالی می‌باشند لذا ازلحاظ آماری باید تعداد قابل‌توجهی از این شبیه‌سازی‌ها برای هر مجموعه از این متغیرهای گسسته صورت گیرد. از لحاظ کاربردی قابلیت این مدل‌سازی گسترده و حجیم هنوز وجود ندارد [۵].

---

۱ War Gaming

یکی از جایگزین‌های این مدل‌سازی ارزیابی ارزش یا مطلوبیت معیارهای عملکرد محصول با استفاده از تابع OMOE است [۱۴]. این مساله می‌تواند به‌صورت یک مساله تصمیم‌گیری چند شاخصه تعریف شود. دو روش غالب برای این مسایل، نظریه‌ی مطلوبیت چند شاخصه[۱](MAUT) و تحلیل سلسله مراتبی (AHP) است. در گذشته طرفداران هریک از این روش‌ها انتقادات جدی را به یکدیگر وارد می‌نمودند اما اکنون این دو روش با یکدیگر در ساخت تابع‌های ارزش چند شاخصه[۲](MAVT) ترکیب شده‌اند [۱۴]. برون و توماس [۶] از این رویکرد ترکیبی برای محاسبه OMOE در مساله طراحی مفهومی کشتی استفاده نموده است که فرآیند توسعه تابع هدف OMOE در نمودار ۴ نشان داده شده است.



نمودار ٤-فرآیند توسعه تابع هدف OMOE

گام ۱. تعیین سناریوهای مختلف ماموریت مانند قبل از جنگ، حین جنگ و بعد از جنگ

---

۱ Multi-Attribute Utility Theory

۲ Multi-Attribute Value (MAV) Functions.

گام ۲. ماموریت‌های موردنیاز در هر سناریو معین و توصیف‌شده و قابلیت‌های عملیاتی موردنیاز (ORC) برای انجام هر یک از این ماموریت‌ها شناسایی می‌شوند. این قابلیت‌ها دو نوع هستند: برخی از آن‌ها تابعی از متغیرهای طراحی هستند و در طرح‌های مختلف تغییر می‌کنند و برخی دیگر ثابت بوده ولی در تمام طرح‌ها موردنیاز هستند و به‌عنوان الزامات و محدودیت‌های فنی اعمال می‌شوند.

گام ۳. تعیین معیارهای عملکرد (MOP[۱]) برای هریک از قابلیت‌های وابسته به متغیرها و تعیین حدود پذیرش برای هر یک از معیارهای عملکرد. شاخص عملکرد (MOP)، معیاری برای اندازه‌گیری توانایی محصول در تامین قابلیت‌های عملیاتی موردنیاز (ROC) برای دستیابی به مأموریت‌های محوله است. هریک از این معیارها مشخصه‌هایی فنی از محصول (مانند سرعت، ظرفیت سلاح، برد) و مستقل از نوع ماموریت هستند. این شاخص‌ها می‌تواند خود جزو متغیرهای طراحی باشند و یا این‌که تابعی از متغیرهای طراحی باشند.

گام ٤. تهیه ساختار شکست ماموریت

گام ۵. محاسبه وزن هر یک از عناصر ساختار شکست ماموریت با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی AHP. وزن دهی قابلیت‌ها و شاخص‌ها باید با توجه به سناریوها و ماموریت‌ها صورت گیرد. در نتیجه، ممکن است یک قابلیت در دو ماموریت مختلف، دو وزن متفاوت داشته باشد.

گام ٦. تعیین تابع ارزش و مطلوبیت شاخص‌های عملکرد (VOP). این توابع، ارزش یک شاخص عملکرد را در یک ماموریت خاص در یک سناریو خاص را تعیین می‌نمایند و مقداری بین ۰ تا ۱ دارند. این توابع با استفاده نظریه‌ی ارزش چند شاخصه (MAVT) و با توجه به حد بهینه و حد آستانه (عدم پذیرش) به دست می‌آیند. در این محاسبات مقدار تابع ارزش برای حد آستانه برابر صفر و ارزش مقدار هدف (حد بالایی شاخص عملکرد) برابر ۱ است.

گام ۷. محاسبه شاخص کلی اثربخشی: بعد از محاسبه وزن هر یک از عناصر ساختار شکست ماموریت و شاخص‌های عملکرد با استفاده از AHP و محاسبه تابع VOP با استفاده از روش MAVT، حال با استفاده از رابطه زیر مقدار شاخص کلی اثربخشی، محاسبه می‌شود.

$$OMOE = \sum_{i} W_i * VOP_i(MOP_i) \qquad (۳)$$

W_i: وزن شاخص عملکردی iام

$VOP_i(MOP_i)$: مقدار تابع ارزش شاخص عملکردی iام

[۱] Measure of Performance

۳-۱-۳- تابع هزینه

همان‌طور که در بخش‌های قبلی ذکر شد وقوع ریسک باعث افزایش هزینه خواهد شد. براین اساس، باید در محاسبه هزینه کل، اثرات ریسک‌ها بر هزینه کل نیز مدنظر قرارگرفته و هزینه واقعی‌تری در اختیار تصمیم‌گیرندگان قرار گیرد. بر این اساس، در این پژوهش، با توسعه تابع هزینه و اضافه نمودن بخش دوم تابع این اثرات، در نظر گرفته شد. در این مدل، برای محاسبه هزینه تولید محصول نخست باید تابع هزینه برحسب متغیرهای پیوسته محاسبه شود و سپس با استفاده از معادله زیر هزینه کل را محاسبه نمود.

$$OMOC = C(\mathrm{X}) + \sum_{r=1}^{t}\sum_{s=1}^{k} C_{rs}Y_{rs} + \sum_{i=1}^{n}\left[\left(P_i(X) + \sum_{r=1}^{t}\sum_{s=1}^{k} p_{irs}y_{rs}\right) * \left(\begin{array}{l}(1 + \sum_{\substack{j=1 \\ j\neq i}}^{n}\left(P_j(X) + \sum_{r=1}^{t}\sum_{s=1}^{k} p_{jrs}y_{rs}\right) * PC_{ij})\\ * \left(C_i(\mathrm{X}) + \sum_{r=1}^{t}\sum_{s=1}^{k} c_{irs}y_{rs}\right)\end{array}\right)\right] \quad (۴)$$

۳-۱-٤- محدودیت‌ها

برای تعریف فضای طراحی و منطقه موجه در این مدل انواع مختلفی از محدودیت‌ها لحاظ می‌شود.

۱. **محدودیت بودجه.** این محدودیت بیان می‌کند که هزینه تولید محصول باید کمتر از بودجه موردنظر (C) باشد.

$$OMOC \leq C \quad (۵)$$

۲. محدودیت‌های انتخاب یک گزینه از بین گزینه‌های موجود برای یک متغیر طراحی.

$$\sum_{s=1}^{k} y_{rs} = 1 r = 1, \ldots\ldots, t \quad (۶)$$

۳. محدودیت‌های مربوط به حدود آستانه و الزامات فنی موردنیاز

٤. محدودیت‌های فنی مربوط به وابستگی بین گزینه‌ها. این محدودیت هنگامی اعمال می‌شود که انتخاب یکی از گزینه‌های طراحی باعث اجبار ما در انتخاب گزینه (های) خاصی در متغیر (های) طراحی دیگر شود.

$$y_{rs} \leq y_{tu} \quad (۷)$$

۵. محدودیت‌های فنی مربوط به ناسازگاری بین یک یا چند گزینه.

چنانچه بین گزینه‌های مختلف از لحاظ فنی ناسازگاری وجود داشته باشد و نتوان دو یا چند گزینه از متغیرهای طراحی مختلف را هم‌زمان در طراحی لحاظ نمود می‌توان از این محدودیت استفاده نمود.

$$y_{rs} + y_{tu} = ۱ \quad (۸)$$

٦. محدودیت مربوط به احتمال وقوع ریسک

به دلیل اینکه احتمال وقوع هر ریسک نباید بیش از یک باشد لذا در این محدودیت مجموع تابع احتمال ریسک برحسب متغیرهای پیوسته و مجموع احتمال وقوع ریسک در صورت انتخاب گزینه‌های مختلف کوچک‌تر، مساوی یک قرار داده شده است. $P_i(X)$ تابع احتمال مربوط به ریسک پیوسته است که با توجه به داده‌های تاریخی و یا کمی‌سازی نظرات خبرگان به‌دست می‌آید. p_{irs} نیز احتمال رخداد ریسک‌های گسسته است.

$$P_i(X) + \sum_{r=۱}^{t} \sum_{s=۱}^{k} p_{irs} \leq ۱ i = ۱, \ldots, n \quad (۹)$$

۷. محدودیت‌های ضمنی

$$y_{rs} = ۰,۱ \quad (۱۰)$$

۸. جمع‌آوری اطلاعات و حل مدل

در این بخش، به‌منظور تست مدل ارایه‌شده، به پیاده‌سازی آن‌ها برای یک کشتی نظامی پرداخته خواهد شد. در طراحی اولیه این کشتی با بررسی فن‌آوری‌ها و مفاهیم ضروری برای اجرای قابلیت‌های عملیاتی مورد نیاز، ۲۱ متغیر طراحی در نظر گرفته شده است (جدول ۲). این مفاهیم و فن‌آوری‌ها مواردی مانند شکل بدنه، تعداد و نوع هواپیماها، قابلیت ذخیره‌سازی مهمات و کالاهای مصرفی، سیستم نیروی محرکه، سیستم‌های پرتاب و توقف هواپیما و...، هستند.

در مدل، به‌منظور طراحی و بهینه‌سازی، ترکیبی از مقادیر مختلف این پارامترها در دامنه‌های تعریف شده انتخاب می‌شود و با بررسی الزامات و محدودیت‌های فیزیکی و طراحی، طرح‌های ایجادشده بالانس می‌شوند و از نظر موجه بودن مورد بررسی قرار می‌گیرند.

جدول ٤- پارامترها و متغیرهای طراحی

ردیف	متغیر طراحی	واحد	دامنه
۱	شکل بدنه	نوع	۱. General Monohull ۲. LPD-۱۷ ۳. WPTH
۲	ضریب منشوری	-	$C_P = ۰,٦ - ۰,۸$
۳	حداکثر ضریب مقطع	-	$C_X = ۰,۹ - ۰,۹۹$
۴	نسبت طول به جابجایی	lton/ft۲	$C_{\Delta L} = ۵۰ - ۹۰$
۵	نسبت عریض‌ترین قسمت قایق به عمق کشتی در زیر	-	$C_{BT} = ۳,۰ - ۵,۰$

ردیف	متغیر طراحی	واحد	دامنه
	آب		
۶	نسبت طول به ارتفاع	–	$C_{D۱۰} = ٦ – ٨$
۷	محل جداگانه برای پرواز بالگرد	گزینه	۱. Yes ۲. No
۸	نرخ حجم اتاق روی عرشه	–	C_{vd}= ۰,۰۵ – ۰,۳
۹	سیستم ضد هوایی (AAW)	گزینه	۱. ESSM + CIWS۲ ۲. RAM + CIWS۲
۱۰	تعداد بالگرد	عدد	۱. ۲ HELOS ۲. ٤ HELOS
۱۱	برد عملیاتی	مایل دریایی	۱. ۱۲۰۰۰ nm ۲. ۸۰۰۰ nm ۳. ٤۰۰۰ nm
۱۲	میزان اندوخته	روز	۱. ۱۲۰ ۲. ۹۰ ۳. ٦۰
۱۳	سیستم محرکه	گزینه	۱. ۲ LM۲۵۰۰, ۱ shaft, mechanical ۲. ۲ ICR, ۱ shaft, mechanical ۳. ۱ ICR, ۱ LM۲۵۰۰, ۱ shaft, mechanical ٤. LPD-۱۷ ۵. ۲ LM۲۵۰۰, ۲ PC۲,۵V۱٦, ۲ shaft, mechanical ٦. ۲ LM۲۵۰۰, ۱ shaft, IPS ۷. ۲ ICR, ۱ shaft, IPS ۸. ۵ PC۲,۵V۱٦, ۱ shaft, IPS ۹. ۱ ICR, ۱ LM۲۵۰۰, ۱ shaft, IPS ۱۰. ۳ LM۲۵۰۰, ۲ shaft, IPS ۱۱. ۳ ICR, ۲ shaft, IPS ۱۲. ۵ PC۲,۵V۱٦, ۲ shaft, IPS ۱۳. ۲ LM۲۵۰۰, ۱ ICR, ۲ shaft, IPS ۱٤. ۲ PC۲,۵V۱٦, ۲ LM۲۵۰۰, ۲ shaft, IPS
۱۴	عامل اتوماسیون و کارکنان موجود کشتی	–	۰,۵ – ۱,۰
۱۵	نوع ساختار بدنه	گزینه	۱. ADH ۲. Conventional
۱۶	سیستم حفاظت گروهی (CPS)	گزینه	۱. Full Ship ۲.PartialShip (Citadel) ۳. None
۱۷	تعداد هواپیماهایUAV	تعداد	۵ – ۲۰
۱۸	تعداد هواپیماهایUCAV	تعداد	۱۰ – ۳۰
۱۹	عامل کارکنان هوایی	-	۰,۵ – ۱,۰
۲۰	ظرفیت کشتی برای سوخت	میلیون تن	۳۰ MTs – ٦۰ MTs

ردیف	متغیر طراحی	واحد	دامنه
	هواپیما (وزن)	برای هر هواپیما	
۲۱	ظرفیت کشتی برای مهمات هواپیما (وزن)	میلیون تن برای هر هواپیما	۵ MTs – ۱۵ MTs

٤-۱- محاسبه شاخص ریسک کلی

در بررسی ریسک‌های این کشتی سه نوع ریسک هزینه‌ای، عملکردی و زمانی در نظر گرفته شده است و ارزیابی اولیه‌ای از ریسک‌های موجود در مرحله اکتشاف مفاهیم صورت گرفت. در این مرحله با بررسی تاثیر متغیرهای طراحی، مفاهیم و فن‌آوری‌های موجود و گزینه‌ها بر سه معیار هزینه، زمان و عملکرد محصول، ریسک‌ها شناسایی شدند و احتمال رخداد و میزان پیامدهای هر ریسک و اثرات متقابل ریسک‌ها بر یکدیگر مشخص شد. ریسک‌های شناسایی شده برای کشتی نظامی CUVX در جدول ۵، ارایه شده است. به‌منظور محاسبه شاخص کلی ریسک، وزن هریک از عناصر زمان، هزینه و عملکرد در پروژه تولید محصول CUVX با انجام مقایسات زوجی و تکنیک فرآیند سلسله مراتبی AHP تعیین گردید که به ترتیب عبارت بودند از: ۰/۲۶، ۰/۳۳ و ۰/۴۱.

کشتی طراحی‌شده ممکن است با بیشتر شدن نسبت طول به ارتفاع (DV۶) در تست فشار pvwe دچار صدمه و شکست شود (ریسک‌های ۹، ۱۰، ۱۱ و ۱۲). بر اساس اطلاعات گذشته در مورد این ریسک تابع احتمال رخداد این ریسک یک تابع نمایی (معادله ۱۱) می‌باشد و اثر هزینه‌ای آن به صورت معادله ۱۲ است:

$$p(x) = \left(۱.۲٦e^{-۱٤}\right) * \exp(٤x) \qquad (۱۱)$$

$$C(R) = ۲۰(x) \qquad (۱۲)$$

همچنین در این طراحی دو ریسک ۳ و ۱۲ بر روی ریسک‌های ۱۳ و ۱۴ اثرگذار هستند. با ارزیابی این اثرات میزان اثر آن‌ها کم و کم تا متوسط برآورد گردید. بعد از جمع‌آوری اطلاعات، آن‌ها وارد مدل بهینه‌سازی چندهدفه گردید و با توجه به مقادیر متغیرهای طراحی و با استفاده از معادله OMOR میزان ریسک کلی هر طرح محاسبه می‌شود.

جدول ۵- لیست ریسک‌های شناسایی‌شده

ردیف	ریسک	شرح ریسک	متغیر طراحی	مقدار متغیر طراحی	نوع تأثیر ریسک	احتمال وقوع	میزان تأثیر	تأثیر بر سایر ریسک‌ها	میزان تأثیر
۱	فقدان موفقیت در تست PVLS EDM	تأثیر بر عرشه پرواز	D۱۰	۱	عملکردی	۰,۳	.۵	–	–
۲	نبود توانایی در پیش‌بینی دقیق میزان مقاومت در برد عملیاتی	پیش‌بینی بیش از اندازه توان مقاومت	DV۱	۲	عملکردی	۰,۲	۰,۳	–	–
۳	توسعه و استفاده از سیستم IPS جدید	سیستم‌ها و تجهیزات جدید قابلیت اطمینان را کاهش می‌دهند	DV۱۳	۵>	عملکردی	۰,۴	۰,۴	R۱۴	٪۲۵
۴	نبود توانایی در پیش‌بینی دقیق میزان مقاومت در سرعت پایدار	پیش‌بینی بیش از اندازه سرعت پایدار	DV۱	۲	عملکردی	۰,۲	۰,۵		
۵	نبود توانایی در پیش‌بینی دقیق عملکرد دریامانی بدنه WPTH	عملکرد دریامانی قابل‌قبول نباشد	DV۱	۲	عملکردی	۰,۵	۰,۵		
۶	نبود توانایی در پیش‌بینی دقیق حرکات شدید و ثبات بدنه WPTH	مقاومت در برابر خسارت بدنه WPTH قابل‌قبول نباشد	DV۱	۲	عملکردی	۰,۷	۰,۷		
۷	نبود توانایی در انجام هم‌زمان اعزام و ریکاوری در ماموریت‌های SEAD	مشکلات پیش‌بینی نشده در عرشه پرواز (پرتاب، سوخت، مهمات)	DV۷	۱	عملکردی	۰,۴	۰,۸		
۸	نبود توانایی در انجام هم‌زمان اعزام و ریکاوری در ماموریت حمله ضربتی	مشکلات پیش‌بینی نشده در عرشه پرواز (پرتاب، سوخت، مهمات)	DV۷	۱	عملکردی	۰,۴	۰,۹		
۹	شکست در تست pvwe	مقاومت کم در برابر فشار	DV۶	۷–۷,۴	عملکردی	تابع احتمال ۱	۰,۴		
۱۰	شکست در تست pvwe	مقاومت کم در برابر فشار	DV۶	۷,۴–۷,۸	عملکردی	تابع احتمال ۱	۰,۶		
۱۱	شکست در تست pvwe	مقاومت کم در برابر فشار	DV۶	۷,۸–۸	عملکردی	تابع احتمال ۱	۰,۷		
۱۲	شکست در تست pvwe	مقاومت کم در برابر فشار	DV۶	۷,۸–۸	هزینه‌ای	تابع	تابع		

ردیف	ریسک	شرح ریسک	متغیر طراحی	مقدار متغیر طراحی	نوع تأثیر ریسک	احتمال وقوع	میزان تأثیر	تأثیر بر سایر ریسک‌ها	میزان تأثیر
						احتمال ۱	هزینه ۱		
۱۳	توسعه و یکپارچه‌سازی سیستم IPS جدید فراتر از برنامه زمان‌بندی باشد	مشکلات غیرقابل انتظار با سیستم‌ها و تجهیزات جدید	DV۱۳	>۵	زمانی	۰,۳	۳ ماه	R۱۵	٪۴۰
۱۴	هزینه توسعه و یکپارچه‌سازی سیستم IPS جدید فراتر از هزینه پیش‌بینی شده باشد	مشکلات غیرقابل انتظار با سیستم‌ها و تجهیزات جدید	DV۱۳	>۵	هزینه‌ای	۰,۳	۶۰ میلیون دلار		
۱۵	توسعه و یکپارچه‌سازی سیستم EMALS جدید فراتر از برنامه زمان‌بندی باشد	مشکلات غیرقابل انتظار با سیستم‌ها و تجهیزات جدید و یکپارچه‌سازی با IPS	DV۱۳	>۵	زمانی	۰,۵	۴ ماه		
۱۶	هزینه توسعه و یکپارچه‌سازی سیستم EMALS جدید فراتر از هزینه پیش‌بینی شده باشد	مشکلات غیرقابل انتظار با سیستم‌ها و تجهیزات جدید و یکپارچه‌سازی با IPS	DV۱۳	>۵	هزینه‌ای	۰,۵	۶۰ میلیون دلار		
۱۷	سیستم تست و توسعه PVLS EDM هزینه بیشتری داشته باشد	مشکلات غیرقابل انتظار با سیستم‌ها و تجهیزات جدید	DV۹	۱	هزینه‌ای	۰,۲	۴۰ میلیون دلار		
۱۸	سیستم تست و توسعه PVLS EDM هزینه بیشتری داشته باشد	مشکلات غیرقابل انتظار با سیستم‌ها و تجهیزات جدید	DV۹	۱	زمانی	۰,۲	۲ ماه		
۱۹	تاخیر و مشکل با تست WPTH	مشکلات غیرقابل انتظار و عملکرد غیر رضایت‌بخش شکل بدنه جدید	DV۱	۲	زمانی	۰,۵	۷ ماه		
۲۰	تاخیر و مشکل با تست WPTH	مشکلات غیرقابل انتظار و عملکرد غیر رضایت‌بخش شکل بدنه جدید	DV۱	۲	هزینه‌ای	۰,۵	۶۰ میلیون دلار		

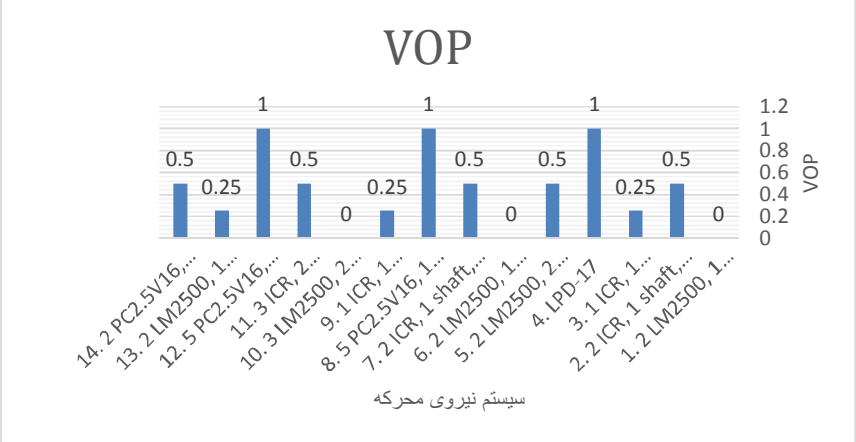
٤-۲- محاسبه شاخص کلی اثربخشی (OMOE)

به‌منظور پشتیبانی از ماموریت‌های در نظر گرفته‌شده برای کشتی CUVX، قابلیت‌های عملیاتی مورد نیاز این کشتی تعریف و برای سنجش توانایی کشتی طراحی‌شده در تامین این قابلیت‌های عملیاتی شاخص‌های عملکردی شفافی تعیین گردید. همچنین برای هریک از شاخص‌های عملکردی مقادیر آستانه و هدف تعیین

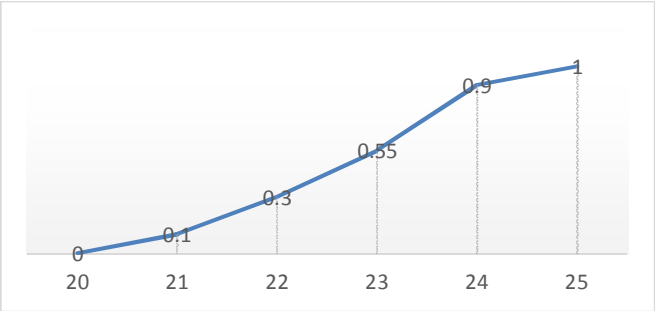
گردیده تا بتوان برای بررسی اثربخشی گزینه‌ها معیار مناسبی در دست داشت. برخی از این قابلیت‌های عملکردی به طور مستقیم وابسته به متغیرهای طراحی می‌باشند و برخی دیگر تابعی از معیارهای دیگری مانند سرعت پایدار است لذا برای ارزیابی آن‌ها نخست معیار مورد نظر محاسبه و سپس با توجه آن، اثربخشی طرح مورد ارزیابی قرار می‌گیرند. در مورد برخی دیگر از قابلیت‌های عملکردی نیز ما ملزم به لحاظ نمودن آن‌ها در طراحی‌ها هستیم و به‌عنوان محدودیت‌های طراحی در نظر گرفته می‌شوند.

بعد از مشخص شدن شاخص‌های عملکردی و حدود آستانه و هدف آن، ابتدا با استفاده از تکنیک MAVT، توابع مطلوبیت (VOP) برای هر یک از شاخص‌های عملکردی تعیین شد. این توابع که با توجه به نوع متغیرهای طراحی مربوطه و نیز نوع رابطه آن‌ها هم به‌صورت توابع پیوسته و هم به‌صورت توابع گسسته می‌باشند؛ که به‌عنوان مثال تابع مطلوبیت برای شاخص عملکردی اثر مادون قرمز (VOP۲۳) بر مبنای متغیر طراحی سیستم محرکه و به‌صورت گسسته است (نمودار ۵) و یا شاخص عملکردی سرعت پایدار به‌صورت پیوسته و تابعی از متغیرهای طراحی سیستم محرکه و شکل بدنه است (نمودار ۶). برای به دست آوردن تابع ارزش، ارزش حد آستانه، برابر صفر و ارزش مقدار هدف (حد بالایی شاخص عملکرد)، برابر با ۱، در نظر گرفته می‌شود. سپس برای محاسبه ارزش سایر مقادیر گسسته، با توجه به دو حد بالا و پایین و با مقایسه زوجی ارزش آن‌ها در تأمین هر یک از اهداف تعیین می‌شود. برای توابع ارزش پیوسته نیز ابتدا آن‌ها را به‌صورت گسسته درآورده و سپس همانند توابع ارزش گسسته، ارزش مقادیر محاسبه می‌شود.

نکته قابل توجه این است که ممکن است چند شاخص عملکردی به یک متغیر طراحی یکسان وابسته باشند اما تابع مطلوبیت آن‌ها متفاوت است همانند شاخص‌های عملکردی ۲۳، ۲۴، ۱۳ و ۱۹.

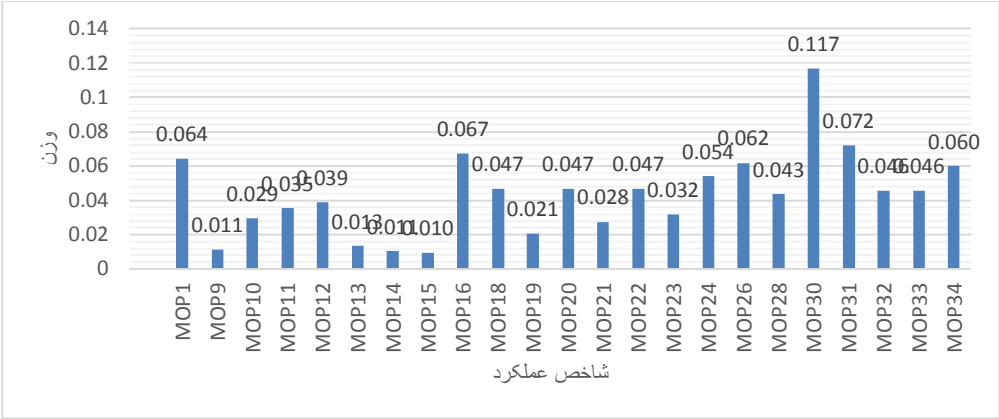


نمودار ۵- تابع مطلوبیت شاخص عملکردی اثر مادون‌قرمز



نمودار ۶- تابع مطلوبیت شاخص عملکردی سرعت پایدار

وزن هریک از عناصر ساختار شکست اثربخشی نیز با استفاده از AHP و انجام مقایسات زوجی مشخص گردیده است که در نمودار ۷ ارایه گردیده است.



نمودار ۷- وزن شاخص‌های عملکرد

بعد از محاسبه تمام توابع مطلوبیت برای شاخص‌های عملکردی و وزن آن‌ها این اطلاعات وارد مدل بهینه‌سازی چندهدفه شدند و با استفاده از تابع OMOE مقدار اثربخشی هر طرح محاسبه گردید.

٤-۳- هزینه

در محاسبه هزینه ابتدا هزینه هر یک از گزینه‌های متغیرهای طراحی گسسته و نیز تابع هزینه برای متغیرهای پیوسته طراحی تعیین شد و سپس هزینه هر طرح بر اساس تابع هزینه محاسبه شد.

٤-٤- بهینه‌سازی چندهدفه

فضای طرحی محصولات نظامی، غیرخطی، گسسته و دارای محدودیت‌های بسیاری است. این خصوصیات باعث می‌شوند تا دیگر نتوان از روش‌های بهینه‌سازی مبتنی بر گرادیان مانند برنامه‌ریزی خطی استفاده نمود. لیکن الگوریتم ژنتیک برای این نوع از مسایل و فضای طراحی بسیار کارا و مؤثر است. در نتیجه، در مساله نیز با توجه این شرایط بعد از جمع‌آوری و محاسبه اطلاعات موردنیاز در مورد ریسک، هزینه و اثربخشی، با استفاده از روش فرا ابتکاری الگوریتم ژنتیک با مرتب‌سازی غیر مغلوب (NSGA-II)، جواب‌های نامغلوب محاسبه شدند تا با توجه به ترجیحات تصمیم‌گیرندگان طرح مناسب برای طراحی‌های تفصیلی انتخاب شود.

٤-٤-١-الگوریتم ژنتیک با مرتب‌سازی غیر مغلوب (NSGA-II)

الگوریتم ژنتیک با مرتب‌سازی غیر مغلوب (NSGA-II[1]) یکی از شناخته‌شده‌ترین و پرکاربردترین الگوریتم‌های موجود است که توسط دب و همکارانش [۱۳] معرفی شده است. الگوریتم فرابتکاری NSGA-II یک الگوریتم تکاملی چندهدفه نخبه‌گرا است که بر مبنای مفهوم "نا مغلوب" طراحی شده است.

روش NSGA-II جمعیتی از طرح‌ها را در نسل‌های متوالی تولید و ارزیابی کرده و بهبود می‌بخشد. در این مسئله برای تولید نسل اول، جمعیت اولیه از طراحی‌ها با انتخاب تصادفی مقادیر متغیرهای طراحی در فضای طراحی ایجاد شدند. هر کروموزوم یا بردار طراحی با ۲۱ پارامتر طراحی یک طرح را ارایه می‌دهد. کدگذاری و نمایش جواب در دو مرحله صورت می‌گیرد. در مرحله نخست هر یک از ۲۱ متغیر طراحی به‌صورت یک ژن در کروموزوم نظر گرفته می‌شود (شکل ۱). مقادیر این ژن‌ها برای متغیرهای گسسته به‌صورت شماره هر یک از گزینه‌ها و برای متغیرهای پیوسته مقدار آن متغیر است. به‌طور نمونه برای ژن اول که نشان‌دهنده متغیر طراحی ۱ است، مقادیر مجاز برابر اعداد ۱، ۲ و ۳ است چرا که سه گزینه طراحی برای آن وجود دارد و یا ژن دوم به علت پیوسته بودن متغیر دوم می‌تواند مقادیر پیوسته‌ای بین ۰/۶ تا ۰/۸ را بگیرد. علت انتخاب این روش در این مرحله ساده‌سازی انجام عمل‌های تقاطع و جهش و نیز حذف دسته دوم از محدودیت‌های مدل که مربوط به انتخاب تنها یک گزینه از بین گزینه‌های موجود است می‌باشد. این اقدام باعث کاراتر شدن مدل گردید. در مرحله دوم از کدگذاری در کرموزم مرحله یک بجای هر یک از ژن‌های مربوط به متغیرهای گسسته یک دسته ژن با مقادیر صورت صفر و یک جایگزین می‌شود. این دسته ژن طولی به اندازه تعداد گزینه‌های موجود برای متغیر گسسته متناظر با آن‌ها دارد. مقادیر هر یک از این ژن‌های جدید بدین‌صورت است که برای گزینه انتخاب‌شده در مرحله اول مقدار یک و برای سایر ژن‌ها که مربوط به گزینه‌های انتخاب نشده هستند مقدار صفر در نظر گرفته می‌شود. به‌عنوان مثال در شکل ۱ در مرحله نخست برای ژن اول مقدار ۳ انتخاب شده است که به معنی گزینه سوم (بدنه نوع WPTH) از بین گزینه‌های موجود برای متغیر اول طراحی (شکل بدنه کشتی) می‌باشد. این ژن در مرحله دوم از کدبندی تبدیل به سه ژن می‌شود که مقدار ژن اول و دوم برابر یا صفر بوده و ژن سوم مقدار یک می‌گیرد.

---

[1] Non-dominated Sorting Genetic Algorithm II

بنابراین، در مرحله دوم از کدگذاری طول کروموزوم از ۲۱ ژن به ۴۶ ژن افزایش می‌یابد. از کروموزوم حاصل شده در مرحله دوم برای محاسبه مقادیر توابع هدف و بررسی سایر محدودیت‌های مدل استفاده می‌شود.

موجه بودن هر یک از طرح‌های تولیدی (کروموزوم‌ها) با استفاده از محدودیت‌های مدل ایجادشده بررسی و سپس هزینه، ریسک و اثربخشی آن‌ها محاسبه می‌شود. برای جلوگیری از غیرموجه شدن طرح‌ها نیز از مقداری جریمه برای توابع هدف استفاده شد تا در صورت غیرموجه شدن طرح‌ها، با لحاظ نمودن جریمه این طرح‌ها از جمعیت طرح‌های غیر مغلوب خارج شوند. این طرح‌ها بر اساس مقدار برازندگی یا تسلطشان در معیارهای ریسک، هزینه و اثربخشی نسبت به سایر طرح‌ها در جمعیت رتبه‌بندی می‌شوند. همچنین برای جلوگیری از گیر افتادن در بهینگی محلی با استفاده از عملگرهای تقاطع و جهش ناحیه جستجو تغییر داده می‌شود. با توجه به مقاله انگلبرت [۱۵] برای تقاطع از عملگر تقاطع دونقطه‌ای و برای جهش از عملگر جهش گوسی برای متغیرهای پیوسته و جهش تصادفی (یکنواخت) برای متغیرهای گسسته استفاده شده است.

۲۵ درصد از این طرح‌ها برای عمل تقاطع و ۵ درصد از آن‌ها نیز برای عمل جهش در کروموزوم و مقادیر متغیرهای طراحی انتخاب می‌شدند. این مقادیر با توجه به کارهای پیشین ازجمله کار برون و مایرزویکی [۵] انتخاب شد. تعداد جمعیت انتخاب‌شده در هر نسل برابر ۵۰ و تعداد تکرار ۱۰۰ در نظر گرفته‌شده است.

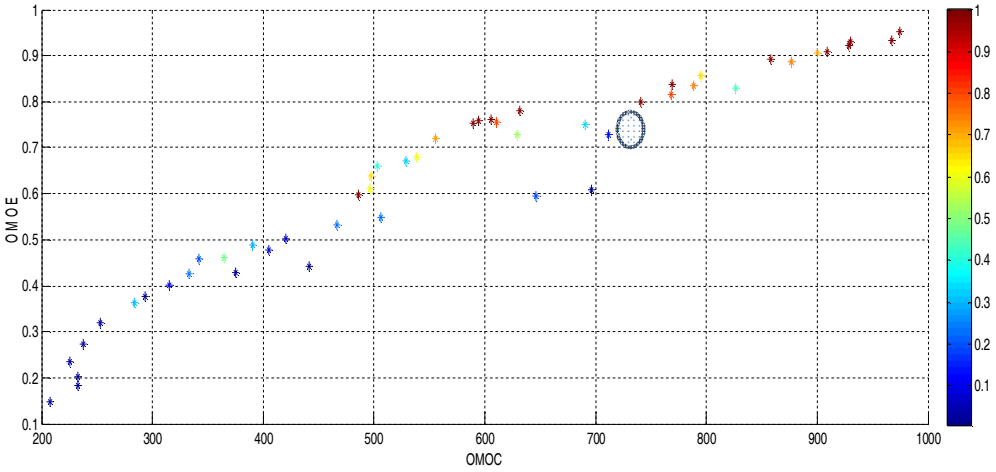
متغیر ۱	متغیر ۲	متغیر ۳	متغیر ۴	متغیر ۵	متغیر ۶	متغیر ۷	متغیر ۸	متغیر ۹	متغیر ۱۰	متغیر ۱۱	متغیر ۱۲	متغیر ۱۳	متغیر ۱۴	متغیر ۱۵	متغیر ۱۶	متغیر ۱۷	متغیر ۱۸	متغیر ۱۹	متغیر ۲۰	متغیر ۲۱
۳	۷۶۶۰	۰٫۹۳۱	۷۸٫۵۴۷	۳۰٫۲۸۹	۷٫۳۳۸	۲	۰٫۲۳۳	۱	۲	۱	۱۲۰	۱۴	۰٫۵۳۶	۱	۲	۱۷	۲۳	۰٫۸۷۳	۵۰٫۲۰۲	۱۴٫۸۹۳

شکل ۱- ساختار کروموزوم

٤-٥- نتایج مدل

بعد از حل مدل، جبهه یک مدل که شامل طرح‌های نامغلوب است، به‌صورت شکل ۲، است. این شکل به صورت یک نمودار سه بعدی است که محور افقی آن هزینه کلی طرح (OMOC)، محور عمودی آن میزان اثربخشی کلی طرح (OMOE) و محور سوم مقدار ریسک است که به‌صورت طیفی رنگی نشان داده شده است. در شکل ۲، ۵۰ طرح مختلف که دارای ارجحیت یکسانی نسبت به یکدیگر هستند، نشان داده شده است و تصمیم‌گیرندگان می‌توانند با توجه به ترجیحات خود برای ریسک، اثربخشی و هزینه یکی از طرح‌های نامغلوب را انتخاب و در مرحله توسعه مفاهیم و طراحی تفصیلی جزییات بیشتری را به طرح انتخابی اضافه نمایند. به‌عنوان مثال اگر تصمیم‌گیرندگان خواسته باشند تنها ۷۱۰ میلیون دلار هزینه کرده و

ریسک‌پذیری پایینی داشته باشند می‌توانند طرح مشخص‌شده در شکل که دارای اثربخشی ۰/۷۳ است را انتخاب نمایند.



شکل ۲- طرح‌های نامغلوب تولیدشده به‌وسیله مدل

در جدول (۴) از ۵۰ طرح نامغلوبی که با استفاده از روش بهینه‌سازی چندهدفه NSGA-II ایجاد شده است، مشخصات و مقادیر متغیرهای طراحی چهار طرح ایجاد شده توسط مدل به‌صورت نمونه آورده شده است.

جدول ٤- طرح‌های نامغلوب تولیدشده

متغیر طراحی	طرح ۱	طرح ۲	طرح ۳	طرح ٤
شکل بدنه	۳. WPTH	۱. General Monohull	۱. General Monohull	۱. General Monohull
ضریب منشوری	۰/۶۶۸	۰/۶۴۱۸	۰/۶۴۱۸	۰/۶۵۴۵
حداکثر ضریب مقطع	۰/۹۳۱	۰/۹۲۱۰	۰/۹۲۱۱	۰/۹۲۱۱
نسبت طول به جابجایی	۷۸/۵۴۷۵	۷۸/۵۴۷۵	۷۷/۴۲۶	۷۸/۵۴۸
نسبت عریض‌ترین قسمت قایق به عمق کشتی در زیر آب	۳/۰۲۸۹۲	۳/۶۲۳۹	۳/۳۷۹۴	۳/۴۶۴
نسبت طول به ارتفاع	۷/۸۳۸۵	۷/۵۸۶۷	۸	۷
محل جداگانه برای پرواز بالگرد	No	No	No	No
نرخ حجم اتاق روی عرشه	۰/۲۳۳۵	۰/۲۳۳۵	۰/۱۳۷۶	۰/۰۵
سیستم ضد هوایی (AAW)	۱. ESSM + CIWS۲	۱. ESSM + CIWS۲	۱. ESSM + CIWS۲	۱. ESSM + CIWS۲
تعداد بالگرد	۲	۲	۲	۲

متغیر طراحی	طرح ۱	طرح ۲	طرح ۳	طرح ٤
برد عملیاتی	۱. ۱۲۰۰۰ nm	۲. ۸۰۰۰ nm	۲. ۸۰۰۰ nm	۲. ۸۰۰۰ nm
میزان اندوخته	۱۲۰	۱۲۰	۱۲۰	۱۲۰
سیستم محرکه	۱۴	۵	۱۱	۱۱
عامل اتوماسیون و کارکنان موجود کشتی	۰/۵۳۶۷	۰/۷۵۱۸	۰/۸۳۸۷	۰/۵۸۴۷
نوع ساختار بدنه	۱. ADH	۱. ADH	۱. ADH	۱. ADH
سیستم حفاظت گروهی (CPS)	۲.PartialShip (Citadel)	۱. Full Ship	۱. Full Ship	۱. Full Ship
تعداد هواپیماهایUAV	۱۷	۱۷	۱۸	۱۷
تعداد هواپیماهایUCAV	۲۳	۱۰	۱۵	۱۰
عامل کارکنان هوایی	۰/۸۷۳۹	۰/۸۷۱۴	۰/۸۷۳۹	۰/۵
ظرفیت کشتی برای سوخت هواپیما (وزن)	۵۰/۲۰۲۲	۵۵/۳۵۷۱	۵۷/۲۷۶	۵۷/۲۷۶
ظرفیت کشتی برای مهمات هواپیما (وزن)	۱۴/۸۹۳۲	۱۴/۹۴۷۸	۱۴/۸۹۳	۱۴/۹۴۸
ریسک	۰/۱۸۷۸	۰/۰۶۸۷	۰/۵۲۷۹	۰/۳۲۵۸
اثربخشی	۰/۵۹۵۹	۰/۵۰۲۱	۰/۷۲۹۳	۰/۶۷۰۸
هزینه	۶۴۶/۴۱۱	۴۲۰/۷۴۹۴	۶۲۸/۹۳	۵۲۸/۸۳

با انجام بهینه‌سازی با توجه به سه تابع هدف ریسک، اثربخشی و هزینه می‌توان در مرحله طراحی مفهومی در این مطالعه مقادیر متغیرهای طراحی تعیین شود و طراحان می‌توانند با توجه به این مقادیر برای طراحی تفصیلی کشتی موردنظر اقدام نمایند.

۵- بحث و نتیجه‌گیری

طراحی محصولات پیچیده و جدید به‌ویژه محصولات نظامی همواره با ریسک‌های همراه است که توجه نکردن به آن‌ها در مرحله طراحی مفهومی می‌تواند در ادامه مشکلات فراوانی را به لحاظ هزینه‌ای، زمانی و عملکردی به تیم پروژه یا کارفرمای آن تحمیل کند. ارایه شاخص‌هایی که بتواند بر اساس شناسایی ریسک‌های محتمل و اثرات آن‌ها طراحان و کارفرمایان پروژه‌های پیچیده را در انتخاب طرح برتر یاری نماید همواره یکی از دغدغه‌ها بوده است و مدل‌های مختلفی نیز برای این منظور ارایه شده است. در این پژوهش، به‌منظور کنترل مؤثر ریسک‌ها در فرآیند توسعه محصولات جدید نظامی، مدلی چندهدفه ارایه شد تا بر اساس سه شاخص ریسک، اثربخشی و هزینه، طرح‌های بهینه مورد ارزیابی قرارگرفته و طرح برتر انتخاب شود. یکی از ریسک‌های مهم در فرآیند طراحی ریسک‌های مرتبط با متغیرهای پیوسته هستند که در مدل

ارایه شده در این مقاله این نوع ریسک‌ها نیز در مرحله ارزیابی مورد توجه قرار گرفته‌اند. هم‌چنین در اغلب مدل‌های ارزیابی ریسک‌های طراحی، ریسک‌ها به‌صورت مستقل از هم در نظر گرفته می‌شوند و اثرات متقابل بین ریسک‌ها در نظر گرفته نمی‌شود این در حالی است که در دنیای واقعی ریسک‌ها دارای اثرات روی یکدیگر هستند و یک ریسک می‌تواند باعث تشدید اثرات یک ریسک دیگر یا حتی افزایش احتمال وقوع یک ریسک دیگر شوند. در نتیجه، برای رفع این مشکل نیز سعی شد تا در مدل‌سازی ارایه شده این اثرات متقابل، در نظر گرفته شوند. البته در مدل ارایه شده صرفاً اثرات پیامدی ریسک‌ها بر یکدیگر مورد توجه قرارگرفته است. هم‌چنین اثرات هزینه‌ای ریسک‌ها نیز به‌عنوان یک هدف مورد توجه قرار گرفته است.

در پژوهش‌های آتی، می‌توان اثراتی که ریسک‌ها بر روی احتمال وقوع یکدیگر دارند را نیز در مدل، در نپر گرفت. در مدل ارایه شده، تعداد طرح‌های نامغلوب زیادی تولید می‌شود که می‌توان با ارایه مدلی نسبت به اولویت‌بندی این طرح‌ها به‌منظور کمک به طراحان اقدام نمود.

منابع : **References:**

۱- عوض‌خواه، حسین و محبی، امیر حسن (۱۳۸۹)، «مدیریت ریسک پروژه»، کیان رایانه.

۲- موسسه مدیریت پروژه (۱۳۸۸)، «راهنمای گستره دانش مدیریت پروژه (*PMBOK*)»، ترجمه محسن ذکایی آشتیانی، ویرایش چهارم، انتشارات آدینه.

۳- Bijl, M. G. H., & Hamann, R. J. (۲۰۰۲). "Risk Management Literature Survey". Delft University of Technology: Delft University of Technology.

٤- Blanchard, B. S. (۲۰۱۲). System engineering management, (Vol. ٦٤): Wiley. com.

٥- Brown, A., & Mierzwicki, T. (۲۰۰٤). "Risk Metric for Multi-Objective Design of Naval Ships". Naval Engineers Journal, ۱۱٦(۲), ٥٥-۷۲. doi: ۱۰,۱۱۱۱/j.۱٥٥۹-۳٥۸٤,۲۰۰٤.tb۰۰۲٦۸.x

٦- Brown, A., & Thomas, L. M. (۱۹۹۸). "Reengineering the Naval Ship Concept Design Process", From Research to Reality. Paper presented at the in Ship Systems Engineering Symposium, ASNE.

۷- Campbell, A.J. & Cooper, R.G. (۱۹۹۹). "Do customer partnerships improve new product success rates? Industrial Marketing Management", ۲۸(٥): p. ٥۰۷-٥۱۹.

۸- Chang, K.-L. (۲۰۱۳). "Combined MCDM approaches for century-old Taiwanese food firm new product development project selection". British Food Journal, ۱۱٥(۸), ۸-۸ .

۹- Chiang, T.-A., & Che, Z. (۲۰۱۰). "A fuzzy robust evaluation model for selecting and ranking NPD projects using Bayesian belief network and weight-restricted DEA". Expert Systems with Applications, ۳۷(۱۱), ۷٤۰۸-۷٤۱۸ .

۱۰- Chin, K.-S., Tang, D.-W., Yang, J.-B., Wong, S. Y., & Wang, H. (۲۰۰۹). "Assessing new product development project risk by Bayesian network with a systematic probability generation methodology". Expert Systems with Applications, ۳٦(٦), ۹۸۷۹-۹۸۹۰ .

۱۱- Choi, H.-G., & Ahn, J. (۲۰۱۰). "Risk analysis models and risk degree determination in new product development: A case study". Journal of Engineering and Technology Management, ۲۷(۱), ۱۱۰-۱۲٤ .

۱۲- US Department of Defence, College, D. S. M. (۲۰۰٦). Risk Management Guide for DOD Acquisition (٦th ed.): Defense Acquisition University Press.
۱۳- Cooper, L. P. (۲۰۰۳). "A research agenda to reduce risk in new product development through knowledge management: a practitioner perspective". Journal of Engineering and Technology Management, ۲۰(۱), ۱۱۷-۱٤۰.
۱٤- Deb, K., Pratap, A., Agarwal, S., & Meyarivan, T. (۲۰۰۲). "A fast and elitist multiobjective genetic algorithm: NSGA-II. Evolutionary Computation", IEEE Transactions on, ٦(۲), ۱۸۲-۱۹۷.
۱٥- Demko, D. (۲۰۰٥). "Tools for multi-objective and multi-disciplinary optimization in naval ship design". Virginia Polytechnic Institute and State University.
۱٦- Engelbrecht, A. P. (۲۰۰۷). Computational intelligence: an introduction, John Wiley & Sons.
۱۷- Ferreira, V. V. O., A. (۲۰۰٤). "Guidelines for the systematization of the process of development planning products with a focus on interfaces and risks". Paper presented at the III National Congress Mechanical Engineering PA, Brazil.
۱۸- Jerrard, R. N., Barnes, N., & Reid, A. (۲۰۰۸). "Design, risk and new product development in five small creative companies". International Journal of Design, ۲(۱), ۲۱-۳۰.
۱۹- Lin, C.-T., & Chen, Y.-T. (۲۰۰٤). "Bid/no-bid decision-making–a fuzzy linguistic approach". International Journal of Project Management, ۲۲(۷), ٥۸٥-٥۹۳.
۲۰- Marmier, F., Deniaud, I. F., & Gourc, D. (۲۰۱٤). "Strategic decision-making in NPD projects according to risk: application to satellites design projects". Computers in Industry, ٦٥(۸), ۱۱۰۷-۱۱۱٤.
۲۱- Mierzwicki, T. S. (۲۰۰۳). Risk index for multi-objective design optimization of naval ships. Virginia Polytechnic Institute and State University.
۲۲- Oehmen, J., Olechowski, A., Kenley, C. R., & Ben-Daya, M. (۲۰۱٤). "Analysis of the effect of risk management practices on the performance of new product development programs". Technovation, ۳٤(۸), ٤٤۱-٤٥۳
۲۳- Smith, P. G., & Merritt, G. M. (۲۰۰۲). "Proactive risk management", Productivity Press, New York, USA.
۲٤- Wang, J., & Lin, Y.-I. (۲۰۰۹). "An overlapping process model to assess schedule risk for new product development". Computers & Industrial Engineering, ٥۷(۲), ٤٦۰-٤۷٤.
۲٥- Wang, W. (۲۰۰۹). "Evaluating new product development performance by fuzzy linguistic computing". Expert Systems with Applications, ۳٦(٦), ۹۷٥۹-۹۷٦٦.
۲٦- Wei, C.-C., & Chang, H.-W. (۲۰۱۱). "A new approach for selecting portfolio of new product development projects". Expert Systems with Applications, ۳۸(۱), ٤۲۹-٤۳٤.
۲۷- Zhao S., Oduncuoglu, A., Hisarciklilar O., Thomson, V. (۲۰۱٤). "Quantification of cost and risk during product development". Computers & Industrial Engineering, ۷٦, ۱۸۳-۱۹۲ .