نشریه علمی-تخصصی
پژوهش های نوین علوم مهندسی
ISSN: 2538-3809
سال هشتم، شماره ۱ (پیاپی: ۴۲)، بهار ۱۴۰۲

بهینه‌سازی چند موضوعی برای طراحی یک هواپیمای تجاری و بررسی تأثیر آن بر روی نتایج اقتصادی با استفاده از الگوریتم گرگ خاکستری

ایمان فزونی تلوکی[1*]، علیرضا طلوعی[2*]، ایمان شفیعی‌نژاد[3]، سجاد سمیع پور[4]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۱/۱۸
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۲/۱۲
کد مقاله: ۹۸۶۵۵

چکـیده

در این مقاله به بررسی بهینه‌سازی چند موضوعی برای طراحی یک هواپیمای تجاری مسافربری و بررسی تأثیر آن بر روی نتایج اقتصادی پرداخته شده است. در طراحی سنتی هواپیماهای تجاری سعی در بهبود عملکرد و کاهش هزینه‌های عملیاتی با به حداقل رساندن وزن برخاست دارد. یک رویکرد طراحی بهتر همچنین عواملی مانند تقاضای هواپیما، عدم اطمینان بازار و هزینه‌های توسعه و ساخت را در نظر می‌گیرد. در این مقاله یک روش طراحی ارائه می‌کند که یک مدل عملکرد هواپیما را با یک تکنیک ارزیابی برنامه مبتنی بر تئوری گزینه‌های واقعی و الگوریتم بهینه‌ساز گرگ خاکستری برای رسیدگی به تقاضای بازار نامشخص و انعطاف‌پذیری مدیریتی ادغام می‌کند. چارچوب عملکرد/مالی همراه، یک رویکرد یکپارچه برای طراحی فنی و تصمیمات برنامه‌ای را ممکن می‌سازد. علاوه بر این، روش چارچوبی را برای مشخص کردن الزامات طراحی و برای تعیین کمیت پیامدهای مالی مرتبط با عدم اطمینان فنی و تجاری فراهم می‌کند. این روش برای یک نمونه طراحی هواپیما از مفهوم بدنه ترکیبی بال نشان داده شده است. با مقایسه طرح‌های بهینه‌سازی شده و مالی، نشان داده شده است که استفاده از بهینه‌سازی چند موضوعی به‌عنوان معیار طراحی منجر به مبادله بین بازده آیرودینامیکی و کاهش هزینه‌های تولید می‌شود. یافته‌های کلیدی نشان می‌دهد که معیارهای مالی سنتی باعث می‌شود تصمیم‌گیرنده بیش از حد بر کاهش هزینه‌ها در کوتاه‌مدت تمرکز کند. تصمیم‌گیری تصادفی نشان می‌دهد که تمایل به صرف هزینه اولیه در فرآیند طراحی برای اطمینان از سودآوری بلندمدت، استراتژی بهتری را از خود نشان داده است.

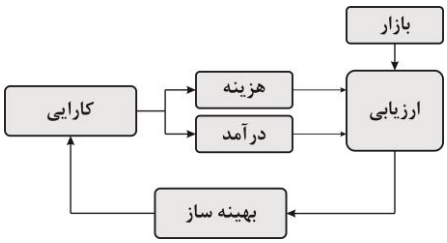
واژگـان کلـیدی: بهینه‌سازی، بهینه‌سازی چند موضوعی، طراحی بهینه مفهومی هواپیما، الگوریتم بهینه‌سازی گرگ خاکستری

۱- دانشجو دکتری مهندسی هوافضا – دینامیک پرواز و کنترل دانشگاه شهید بهشتی (نویسنده مسئول)
i-fozounitalouki@sbu.ac.ir
۲- دانشیار و عضو هیات علمی دانشکده فناوری های نوین و هوافضا دانشگاه شهید بهشتی
۳- استادیار و عضو هیات علمی پژوهشگاه هوافضا وزارت علوم تحقیقات و فناوری
۴- استادیار و عضو هیات علمی دانشکده فناوری های نوین و هوافضا دانشگاه شهید بهشتی

۱- مقدمه

از اهدف تاریخی برای بهینه کردن طراحی، به حداقل رساندن وزن ناخالص برخاست[1] در طراحی هواپیما برای بهبود عملکرد در نظر گرفته شده است. و از طرفی کاهش هزینه‌های عملیاتی، در درجه اول از طریق کاهش مصرف سوخت ایجاد می‌شود. بااین‌حال، چنین رویکردی سودآوری یک طراحی هواپیما را از دیدگاه سازنده سازه هواپیما تضمین نمی‌کند. در یک بازار رقابتی فزاینده برای هواپیماهای تجاری، سازندگان ممکن است بخواهند قبل از انجام چنین سرمایه‌گذاری پرهزینه‌ای، علاوه بر شایستگی فنی، برای بهبود قابلیت مالی یک برنامه هواپیما طراحی کنند. رویه موجود در طراحی هواپیما از منظر فنی بدون در نظر گرفتن تأثیر همزمان بر ارزش کلی برنامه، از نظر تجاری نامطلوب است. برای ارزیابی قابلیت مالی بلند مدت یک برنامه هواپیما، یک رویکرد طراحی مبتنی بر ارزش ضروری است. چنین رویکردی همچنان باید عملکرد را در نظر بگیرد و در عین حال ابزارهایی برای تخمین سودآوری برنامه را نیز در بر گیرد. مدل‌های مالی، مانند تحلیل هزینه چرخه عمر و هزینه عملیاتی مستقیم، در گذشته توسط چندین محقق در بهینه‌سازی طراحی چند رشته‌ای[2] هواپیما گنجانده شده‌اند. معیارهای ارزش، مانند ارزش فعلی خالص[3] ، نرخ بازده داخلی[4] و بازده سرمایه‌گذاری[5]، نیز به عنوان اهداف طراحی در نظر گرفته شده است. تعریف عملکرد به طور سنتی، مانند این موارد، MDO را به راه حل های قطعی برای وزن خالص برخاست ، ارزش، یا سایر اهداف مورد علاقه منجر کرده است. اخیراً، تلاش‌هایی به رویکردهای چند رشته‌ای احتمالی برای پرداختن به موضوع عدم قطعیت اختصاص یافته است. تمرکز اصلی این کار، ایده ریسک طراحی است، یعنی چگونه عدم قطعیت فنی یا مالی بر عملکرد و ارزش تأثیر می گذارد. عدم قطعیت در قالب مقرون به صرفه بودن طراحی و ایجاد تعادل بین عملکرد فنی، هزینه و ریسک، و از طریق طراحی احتمالی برای بهبود بازده سرمایه‌گذاری و هزینه هر مایل مسافر مورد توجه قرار گرفته است. برای به حداقل رساندن ریسک با استفاده از رویکردی مبتنی بر تئوری تخمین و بهینه‌ساز گرگ خاکستری. برای کاربردهای خودرویی، طراحی مبتنی بر تصمیم به عنوان راهی برای ادغام ملاحظات فنی و مالی با استفاده از ارزش فعلی خالص را به عنوان تابع هدف و با استفاده از تکنیک تجزیه و تحلیل انتخاب گسسته برای ساخت یک محصول استفاده شده است. معیارهای ارزش مانند ارزش فعلی خالص که بر اساس ارزیابی های ایستا طراحی هستند. این معیارها سعی نمی‌کنند صراحتاً عدم قطعیت‌های فنی یا مالی را که ممکن است به وجود آیند، نشان دهند و به این ترتیب، ریسک تجاری مرتبط با برنامه را به درستی در نظر نمی‌گیرند. علاوه بر این، موضوع مربوط به انعطاف پذیری یعنی توانایی سازنده برای تصمیم‌گیری در پاسخ به شرایط غیر منتظره یا متغیر در نظر گرفته نمی‌شود. در زمینه مالی، تحقیقات قابل توجهی برای توسعه تکنیک‌های ارزش‌گذاری پیچیده‌تر برای رفع کاستی‌های تکنیک‌های ارزش‌گذاری سنتی انجام شده است. ادبیات قابل توجهی برای توصیف نظریه گزینه های واقعی وجود دارد، که راهی برای کمی کردن ارزش یک محصول یا استراتژی در حضور عدم قطعیت ارائه می‌دهد.

با توجه به بهبود تکنیک‌های ارزش‌گذاری، یک چارچوب برنامه‌ریزی دینامیکی تصادفی۶ برای تصمیم‌گیری در زمینه طراحی برنامه هواپیماهای تجاری ایجاد شده است. و یک ارزیابی کمی بر حسب ارزش فعلی خالص مورد انتظار یک برنامه هواپیما در یک بازار نامشخص. نشان داده شده است که ارزش گذاری تصادفی روشی جامع برای ارزیابی برنامه های هواپیماهای تجاری ارائه می‌دهد. با این حال، در آن کار، ارزش گذاری به صورت پسینی برای طرح های هواپیما که از بهینه‌سازی مبتنی بر عملکرد سنتی حاصل می‌شود، اعمال شد.



شکل۱- نمودار بلوکی چارچوب MDO مبتنی بر عملکرد و هزینه.

در اینجا، یک روش جدید با استفاده از ارزش گذاری تصادفی به طور مستقیم برای تصمیم‌گیری های طراحی مفهومی هواپیما از طریق یک چارچوب بهینه‌سازی ایجاد می‌شود که طراحی فنی و ارزش را در یک مسئله واحد ترکیب می‌کند. کاربردهای این رویکرد مبتنی بر ارزش برای طراحی مفهومی هواپیمای بال ترکیبی در اینجا ارائه شده است.

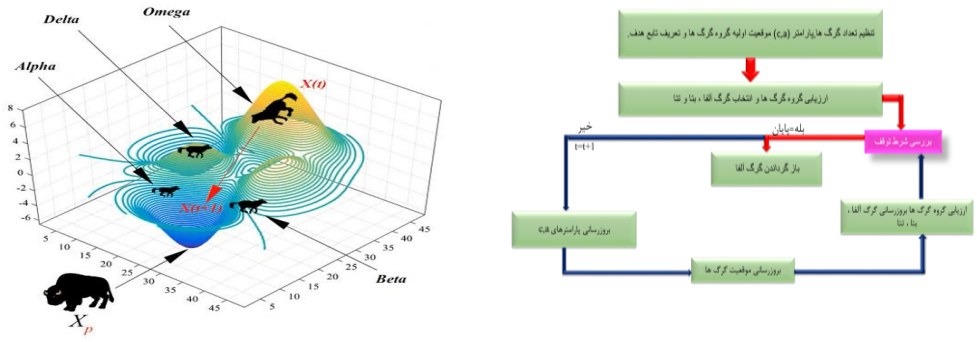
پس از آن می توان ریسک تجاری را که برنامه به دلیل منابع احتمالی عدم قطعیت با آن مواجه است برای طرح های حاصل ارزیابی کرد. چارچوب نشان‌داده‌شده در شکل ۱ رویکردی را برای جفت کردن یک مدل عملکرد و روال بهینه‌سازی مرتبط با مدل‌های مالی مبتنی بر تجربی، یک مدل تصادفی از یک بازار نامشخص، و یک الگوریتم برای محاسبه ارزش برنامه مورد انتظار نشان می‌دهد. یک مفهوم برنامه واحد که طراحی فنی و همچنین پارامترهای مالی را در بر می‌گیرد، می تواند از نظر عملکرد یا اهداف تجاری خاص، به عنوان مثال، به حداقل رساندن وزن خالص برخاست یا به حداکثر رساندن ارزش برنامه، بهینه شود. بخش

1 Gross Take-Off Weight (GTOW)
2 Multi-Disciplinary Optimization (MDO)
3 Net Present Value (NPV)
4 Internal Rate of Return (IRR)
5 Return Of Investment (ROI)
6 Dynamic Programming

بعدی چارچوب بهینه‌سازی، مدل‌های عملکرد و مالی، و روش‌شناسی ارزش‌گذاری تصادفی را شرح می‌دهد. سپس نمایشی از روش یکپارچه برای یک برنامه فرضی ارائه می‌شود. در بخش زیر به مشخصات الزامات برنامه ای و طراحی پرداخته می‌شود. نمونه هایی برای تنظیم محدوده طراحی و سرعت ارائه شده است. کاربرد روش مبتنی بر ارزش برای ارزیابی ریسک تجاری ناشی از عدم اطمینان فنی و مالی در ادامه در نظر گرفته می‌شود. در نهایت، مقاله با جمع بندی یافته‌های کلیدی به پایان می‌رسد.

۲- چارچوب بهینه‌سازی

چارچوب طراحی بهینه‌سازی عملکرد و مدل‌های مالی را با یک روال بهینه‌سازی که در شکل ۱ نشان داده شده است مرتبط می‌کند. برای طراحی هواپیمای تجاری، چارچوب طراحی چند منظوره عملکرد آیرودینامیک بال بهینه‌سازی شده چند منظوره[1] استفاده می‌شود. یک بردار طراحی اولیه برای Wing- MOD ارائه شده است تا اندازه هواپیما را تخمین بزند. و ویژگی های عملکرد سپس خروجی‌های مربوطه توسط مدل‌های هزینه و درآمد برای تقریب ارقام هزینه، قیمت و تقاضای پایه برای طراحی استفاده می‌شود. ماژول ارزیابی از یک الگوریتم گرگ خاکستری به صورت تصادفی استفاده می‌کند که رشد و عدم قطعیت بازار را محاسبه می‌کند تا مجموعه ای از تصمیمات طراحی بهینه و هدف: ارزش فعلی خالص مورد انتظار را تعیین کند. بهینه‌سازی با استفاده از یک الگوریتم برنامه نویسی فرا ابتکاری گرگ خاکستری برای به حداکثر رساندن انجام می‌شود. به دلیل گستردگی مسئله طراحی ، بهینه‌سازی مبتنی بر عملکرد به‌طور متوالی به‌عنوان تعدادی از مراحل میانی که توسط واکایاما[2] شرح داده شده است، انجام می‌شود. این مراحل طراحی را به ترتیب زیر به سمت راه‌حل کلی آن پیش می‌برد (گروه‌بندی شده در دسته‌های کلی که مستلزم آن است. چند مرحله): اندازه و طرح هواپیما را تنظیم کنید، عملکرد (شامل برد و سرعت) را تنظیم کنید، هواپیما را کوتاه کنید و محدودیت‌های کنترلی را تعیین کنید، و تعادل هواپیما را در حالی که وزن خالص برخاست را به حداقل می‌رسانید. بهینه‌سازی طراحی مبتنی بر ارزش یک مرحله اضافی اضافه می‌کند: به حداکثر رساندن[E - ارزش فعلی خالص] . هر زیر بهینه‌سازی هدف خاص خود را دارد، بردار طراحی با متغیرهای O(۱۰۰) و محدودیت های O(۱۰۰۰) مختص به هدف کوتاه‌مدت. لازم است که بهینه‌سازی را به این روش تجزیه کنیم تا بهینه‌ساز به راه‌حلی همگرا شود که تمام معیارهای طراحی را برآورده کند. به دلیل محدودیت‌های عددی بهینه‌سازی مبتنی بر گرادیان، یک رویکرد بهینه‌سازی همه آتونس همگرایی به یک راه‌حل عملی را دشوار می‌کند (مگر اینکه یک طراحی اولیه بسیار خوب ارائه شده باشد). همانطور که توسط پیپلز[3] به تفصیل مورد بحث قرار گرفته است، موقعیت در دنباله بهینه‌سازی مبتنی بر ارزش برخی از اثرات را بر نتیجه دارد. بهترین نتایج با ترکیب مرحله بهینه‌سازی حداکثر [E-ارزش فعلی خالص] در قسمت آخر دنباله به دست آمد. در بخش های بعدی، هر یک از اجزای چارچوب بهینه‌سازی با جزئیات بیشتری توضیح داده شده است. الگوریتم گرگ خاکستری در سال ۲۰۱۴ توسط آقای میر جلیلی اریه شد است. نحوه شکار گرگ ها به نحوه دسته جمعی میباشد. یک الکوریتم فرابتکاری در دسته الگوریتم های هوش ازدحامی و مبتنی بر جمعیت میباشد.گرگ خاکستری متعلق به خانواده کانید می باشد و به عنوان شکارچیان راس در نظر گرفته میشونداغلب ترجیح میدهند در یک دسته باشند و به شار بپردازند، اندازه هر گروه بین ۵تا ۱۲ گرگ می‌باشد که دارای سلسله مراتب اجتماعی هستند.



شکل ۳. مدلسازی ریاضی الگوریتم بهینه‌سازی گرگ خاکستری.

مزایای الگوریتم های هوش ازدحامی به الگوریتم های تکاملی شامل این موارد می‌باشد: ۱- این نوع روش در قیاس با روش‌های تکاملی[4] که اطلاعات مربوط به نسل قبلی را حذف می نماید ، در طول تکرار نگه می دارد. ۲- اغلب از حافظه برای ذخیره بهترین راه حل به دست آمده تا کنون ، استفاده می کنند. ۳- معمولاً پارامترهای کمتری برای تنظیم دارند. ۴- الگوریتم

1 Wing- MOD
2 Wakayama
3 Peoples
4 Evolutionary Algorithms

های هوش ازدحامی[1] در مقایسه با رویکردهای تکاملی (تقاطع، جهش، نخبه گرایی و غیره) عملگرهای کمتری دارند. ۵- پیاده سازی الگوریتم های هوش ازدحامی آسان است. روشهای فرا ابتکاری بر دو اساس جستجوی خود را انجام می دهند که تشکیل شده اند از استخراج[2] و اکتشاف[3]. استخراج و اکتشاف دو مفهومی هستند که در حقیقت نحوه جستجو را مدیریت می کنند . در این قسمت فلوچارت الگوریتم گرگ خاکستری ارایه شده است (شکل ۳)

جدول ۱.علایم اختصاری الگوریتم بهینه‌سازی گرگ خاکستری.

n	علائم	مشخصات	n	علائم	مشخصات
1	α	اولین مناسب ترین راه حل	7	XP	بردار موقعیت طعمه
2	β	دومین مناسب ترین راه حل	8	X	بردار موقعیت یک گرگ خاکستری
3	δ	سومین مناسب ترین راه حل	9	X∗ ; Y∗	موقعیت به روز شده طعمه
4	ω	مابقی راه حل ها	10	n	تعداد افراد
5	T	تکرارهای فعلی	11	R	بردار تصادفی
6	C;A	ضرایب			

۳- ارزیابی برنامه نوشته شده

تعدادی معیار برای ارزیابی ارزش برنامه موجود است، مانند ارزش فعلی خالص ، IRR و ROI. هر کدام مزایا و معایبی دارند و همچنین سناریوهای سرمایه‌گذاری خاصی وجود دارد که برخی از معیارها نسبت به سایرین مناسب تر هستند. ارزش فعلی خالص قطعی NPV یکی از رایج ترین معیارهای مورد استفاده در ارزیابی برنامه های مهندسی است. ارزش فعلی خالص قطعی با جمع کردن جریان های نقدی تنزیل شده به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$\mathrm{NPV} = \sum_{t=0}^{n} \frac{Pt}{(1+rd)} \qquad (۱)$$

که در آن t نشان دهنده یک دوره زمانی آتی است که از زمان جاری (t = 0) تا دوره زمانی نهایی N و Pt تابع سود است که از تفاوت بین درآمدها و هزینه‌های شرکت در یک دوره زمانی معین t تشکیل شده است. نرخ تنزیل تعدیل شده با ریسک هم هزینه فرصت سرمایه و هم ریسک درک شده ذاتی یک سرمایه‌گذاری را به حساب می آورد. معمولاً مقادیر فرضی برای یک برنامه هواپیما ممکن است از ۱۲٪ تا ۲۰٪ متغیر باشد. ۱۵،۲۰ به طور کلی، یک ارزش فعلی خالص مثبت نشان دهنده یک سرمایه‌گذاری مناسب است و یک ارزش فعلی خالص منفی به این معنی است که یک برنامه نباید دنبال شود. با این حال، این رویکرد از برخی جهات در توانایی خود برای ارائه یک ارزش گذاری قطعی محدود است. ارزش فعلی خالص و سایر معیارهای قطعی مبتنی بر یک ارزیابی ایستا از طرح هستند، زیرا جریان نقدی مورد انتظار باید برای هر دوره زمانی اختصاص داده شود. موضوع انعطاف پذیری یعنی توانایی سازنده برای تصمیم‌گیری در پاسخ به شرایط متغیر در نظر گرفته نمی‌شود. علاوه بر این، عدم قطعیت در جریان های نقدی آتی تنها از طریق انتخاب کنترل می‌شود. یافتن یا محاسبه نرخ تنزیل که اثرات ریسک را در بر می‌گیرد، فرآیندی دشوار و در نهایت خودسرانه است. استفاده از نرخ تنزیل بالا برای انعکاس عدم قطعیت بیشتر، ریسک را به درستی در نظر نمی‌گیرد و اغلب منجر به ارزیابی بدبینانه می‌شود، زیرا جریان های نقدی در سال های بعد مقدار کمی را به مبلغ معادله کمک می‌کند مطابق با رابطه (۱).

۴- روش ارزیابی تصادفی

یک رویکرد ارزیابی تصادفی مبتنی بر تئوری گزینه‌های واقعی به چند مورد از کاستی‌های یک محاسبه ارزش فعلی خالص قطعی می‌پردازد. به جای تکیه بر نرخ تنزیل تعدیل شده با ریسک، عدم قطعیت تقاضا به صراحت از طریق یک مدل تصادفی مبتنی بر نوسانات بازار به طور تجربی تعیین می‌شود. ارزش گذاری ریسک خنثی است، یعنی به ترجیحات ریسک تصمیم‌گیرنده بستگی ندارد. برای به دست آوردن انعطاف‌پذیری، برنامه به عنوان مجموعه‌ای از تصمیمات سرمایه‌گذاری در نظر گرفته می‌شود که با «حالت‌های» برنامه‌های گسسته، از جمله مراحل طراحی، ابزارسازی و ساخت مشخص می‌شوند. تولیدکننده ممکن است تصمیم بگیرد برنامه را در حالت‌های خاصی متوقف یا لغو کند، و اگر شرایط بازار آینده نامطلوب به نظر برسد، همانطور که مدل تقاضا تعیین می‌کند، پول بیشتری سرمایه‌گذاری نکند. برنامه موفقیت آمیز هواپیما به ضرورت یک سرمایه‌گذاری پویا خواهد بود،

1 Swarm Intelligence
2 Exploitation
3 Exploration

بنابراین محاسبه توانایی تصمیم‌گیری در حین پیشرفت برنامه برای ارزیابی سودآوری آن ضروری است. [E-ارزش فعلی خالص] برای این مسئله با حل معادله بلمن محاسبه می‌شود.

$$F_t(s_t) = \max\{P_t(s_t, u_t) + [1/(1 + r_f)]E_t[F_{t+1}(s_{t+1})] \quad (۲)$$

که در آن Ft (st) مقدار (تابع هدف) در زمان t و بردار حالت st است، Pt سود در دوره زمانی t به عنوان تابعی از بردار حالت st و بردار کنترل ut است، و r f تخفیف بدون ریسک است. نرخ (در حال حاضر فقط برای ارزش زمانی پول و نه برای ریسک). Et عملگر انتظار است که در این مورد مقدار مورد انتظار F را در زمان t + 1 با توجه به حالت st و کنترل ut در زمان t ارائه می‌کند. برای برنامه هواپیما که در اینجا مدل شده است، افق زمانی T = 30 سال در نظر گرفته شده است. بردار حالت شامل دو عنصر است: مقدار هواپیمای مورد نیاز، که به طور تصادفی تکامل می‌یابد، و حالت عملیاتی دوره قبل. همانطور که مارکیش به تفصیل توضیح داد، ۱۵ حالت عملیاتی وضعیت فعلی برنامه هواپیما را توصیف می‌کند (چه در طراحی، ابزار، ساخت با ظرفیت کم و غیره). بردار کنترل حاوی تصمیمی است که باید گرفته شود، در این مورد حالت عملکرد برنامه برای دوره بعدی. فرمول این ارزش گذاری تصادفی به طور کامل در منابع توضیح داده شده است. ۱۵ و ۱۶. معادله (۲) سپس با استفاده از یک الگوریتم طراحی پویا حل می‌شود که در دوره زمانی نهایی، t = N، شروع می‌شود و به عقب به زمان فعلی، t = 0 کار می‌کند. خروجی ماژول ارزش گذاری برنامه [E-ارزش فعلی خالص] ، ارائه شده توسط F0، و مجموعه متناظر از تصمیمات کنترل بهینه، ut (st) است. این تصمیمات کنترلی نشان دهنده استراتژی تصمیم‌گیری بهینه است. یعنی قوانین تصمیم‌گیری مقدار بهینه ای را که متغیر کنترل باید بر روی آن تنظیم شود، به عنوان تابعی از زمان و همه متغیرهای حالت مشخص می‌کند. در این حالت، با توجه به مدت زمانی که برنامه ادامه داشته است، حالت عملیاتی دوره گذ-شته، و شرایط فعلی بازار (مقدار مورد تقاضا)، قانون تصمیم‌گیری مشخص می‌کند که حالت عملیاتی برای دوره بعدی چگونه باشد. توجه به این نکته مهم است که ارزش غعلی خالص مورد انتظار بازگشتی توسط ماژول ارزش گذاری هرگز کمتر از صفر نخواهد بود، زیرا صفر [E-ارزش فعلی خالص] را می توان با انتخاب همیشه منتظر ماندن در مواجهه با شرایط طراحی نامطلوب به دست آورد. بنابراین راه حل برنامه ریزی پویا استراتژی ای را به همراه نخواهد داشت که به طور متوسط [E-ارزش فعلی خالص] منفی تولید کند. این تکنیک ارزیابی بهبودیافته نسبت به معیارهای مالی سنتی اندازه گیری ارزش مناسب تری را ارائه می‌دهد، زیرا عدم قطعیت به صراحت از طریق اپراتور انتظار گرفته می‌شود و انعطاف پذیری برنامه پویا از طریق تصمیمات کنترلی مدل می‌شود.

۵- مدل سازی چند موضوعی

مشکل برنامه ریزی پویا توضیح داده شده در بالا مستلزم برآورد هزینه و درآمد سالانه برای برنامه هواپیما است. این مقادیر از مدل هایی مشتق شده اند که پارامترهای طراحی هواپیما را به عنوان ورودی می گیرند. مدل شبیه سازی ابتدا از بردار طراحی برای تولید تخمین اندازه و عملکرد برای یک مفهوم هواپیما استفاده می‌کند. سپس، مقادیر طراحی مربوطه توسط ماژول های مالی برای محاسبه هزینه، قیمت و تقاضای پایه برای برنامه هواپیمای منتج به شرح بعدی استفاده می‌شود.

۵-۱- مدل سازی عملکرد

مدل عملکرد چند رشته ای WingMOD برای محاسبه اندازه، وزن و ویژگی های پرواز در مفهوم هواپیما استفاده می‌شود. این مدل دارای یک مدل شبکه گردابی برای تجزیه و تحلیل آیرودینامیکی است و از آنالیز پرتو ساده برای اندازه‌بندی ساختاری برای ارزیابی عملکرد در پنج پیکربندی ماموریت و ۲۶ شرایط پرواز استفاده می‌کند. مطابق با رابطه زیر با کمک گیری از پارامترهای مجهول د الگوریتم بهینه‌سازی به پیدا کردن ضرایب بهینه برای وزن سوخت پرداخته شده و به طریق کم کردن وزن سوخت و تأثیر مستقیم بر کاهش وزن و بهینه‌سازی چند موضوعی بر روی طراحی بال هواپیما با کاهش مساحت بال که تأثیر مستقیم بر درگ هواپیما دارد، واضح میباشد کاهش این دو پارامتر پرفومنسی تأثیر مستقیم بر برد هواپیما خواهد داشت. رابطه ۳، ارتباط بین مصرف سوخت هواپیما در فاز های پروازی را ارایه میکند، معادله ۴ رابطه ستخراج شده برای برد هواپیما از معادله برگویت میباشد ه از پارامتر های بهینه‌سازی میباشد. هر کدام از پارامترهای روابط زیر دارای ثابت هاییکسان برای انواع هواپیماها میباشند، با در نظر گرفتن متغیرهای اساسی در این روابط و ارتباط چند موضوعی با الگوریتم بهینه‌ساز نتایجی که منجر به تغییر در ابعاد،هزینه و برد میشود استخراج شده است.

$$\mathbf{M_{ff}} = \frac{w_1}{w_{To}} \cdot \frac{w_2}{w_1} \cdot \frac{w_3}{w_2} \cdot \frac{w_4}{w_3} \cdot \frac{w_5}{w_4} \cdot \frac{w_6}{w_5} \cdot \frac{w_7}{w_6} \cdot \frac{w_8}{w_7} \cdot \frac{w_9}{w_8} \quad (۳)$$

$$\mathrm{R_{(Propeller)}} = 375\left(\frac{\eta p}{C_p}\right)cr \cdot \left(\frac{L}{D}\right)cr \cdot Ln\frac{w_4}{w_5} \quad (۴)$$

۵-۲- مدل سازی بازاریابی

مدل مالی بر اساس مدل های تجربی توسعه یافته توسط مارکیش[1] و ویل کوگس[2] است. روندهای درآمد، تقاضا و هزینه با داده های هواپیماهای تاریخی مطابقت داشتند و معادلات حاصل قیمت، تقاضای پایه و برآورد هزینه را با استفاده از خروجی های مدل عملکرد ارائه می کنند. محدوده و تعداد صندلی‌ها[3] با مقادیر مرجع (Range ref, Nseats ref) نرمال می‌شوند تا کل مقدار را بتوان با قیمت مرجع، قیمت مرجع، مقیاس‌بندی کرد. این پارامترهای مرجع، و همچنین k1، k2، و α، از طریق تجزیه و تحلیل رگرسیون بر اساس داده‌های فروش هواپیما در حوزه عمومی تعیین شدند. ۲۲،۲۳ مقادیر حاصل در جدول ۱ خلاصه شده‌اند. پارامتر LC یک تنظیم هزینه چرخه عمر است. بر اساس سوخت سوخت به عنوان درصدی از هزینه عملیاتی مرتبط با هواپیما[4]. ارزش آن تفاوت در کارایی طراحی‌های هواپیماهای رقیب را نشان می‌دهد و این ایده را منعکس می‌کند که هرچه یک هواپیمای مسافربری کارآمدتر (کمتر) کار کند، قیمت بالاتر (کمتر) یک شرکت هواپیمایی حاضر است برای مالکیت آن بپردازد. رویکردهای مدل‌سازی تقاضا مانند تحلیل انتخاب گسسته در صنعت خودرو استفاده می‌شود. این روش ها بر واکنش مصرف کننده به تغییرات در ویژگی های محصول تمرکز می کنند. در مورد هواپیماهای تجاری بزرگ که در اینجا در نظر گرفته می شوند، مدل های تقاضا معمولاً با استفاده از پیش بینی های بازار ساخته می شوند. برای تعیین تقاضا، طرح به عنوان پهن پیکر یا باریک بدن طبقه بندی می‌شود. سپس یک مقدار تقاضای پایه با استفاده از پیش‌بینی‌های بازار بر اساس تعداد مسافران تعیین می‌شود، با فرض سهم بازار ۵۰ درصدی برای هر یک از دو سازنده اصلی بدنه هواپیما. در واقع، عملکرد هواپیما بر تقاضای آن تأثیر می‌گذارد و این فرض سهم بازار، علاوه بر پیش‌بینی‌های بازار، عدم قطعیت بیشتری را ایجاد می‌کند. عدم قطعیت در تقاضا با استفاده از یک رویکرد احتمالی محاسبه می‌شود: فرض می‌شود تقاضای واقعی هواپیما به صورت تصادفی از خط پایه تغییر می‌کند. مجموعه ای از حالت های تقاضا با استفاده از یک مدل حرکت هندسی براونی[5] ایجاد می‌شود. این رویکرد معمولاً در برنامه های کاربردی گزینه های واقعی برای مدل سازی فرآیندهای در حال تحول تصادفی استفاده می‌شود. اگرچه پویایی واقعی بازار هواپیماهای تجاری دقیقاً از حرکت هندسی براونی پیروی نمی‌کند و سایر رویکردها، مانند استفاده از فرآیند بازگشت میانگین، امکان پذیر است، این مدل نشان داده شده است که تقریب رضایت بخشی را ارائه می‌دهد. با توجه به مدل هندسی براونی ، عدم قطعیت تقاضا برای استفاده از فرآیند aWeiner با نرخ بازگشت μ=r f و نوسان σ، همانطور که از داده‌های تجربی هواپیماهای تجاری اندازه‌گیری شد، محاسبه می‌شود. با احتمال p یا x0d با احتمال p − ۱ مطابق معادلات ۲۴،۲۵ زیر:

$$p = (e^{r_{f_t}} - d)/(u - d) \qquad (3)$$

$$u = e^{\sigma\sqrt{\Delta t}} \qquad (4)$$

$$d = 1/u \qquad (5)$$

یک مزیت کلیدی در گرفتن عدم قطعیت بازار به طور صریح در معادله (۵) توانایی تنزیل با نرخ شناخته شده بدون ریسک در معادله است. (۴). احتمالات در معادله (۴) برای محاسبه انتظار در معادله استفاده می‌شود. (۲). مقادیر پارامترهای rf، σ و t از داده‌های تاریخی ۱۵ تعیین شد و در جدول ۲ خلاصه شده است. یک مدل هزینه ساده مبتنی بر وزن. به این دلیل استفاده می‌شود که می توان انتظار داشت رفتار هزینه‌های مکرر و غیر تکراری را در سطحی مناسب برای وضوح نمایش هواپیما در چارچوب بهینه‌سازی ثبت کند. این رویکرد مدل‌سازی تعدادی محدودیت دارد، از جمله این فرض اساسی مبنی بر اینکه مقیاس‌های هزینه ساخت با وزن هواپیما، که به وضوح لزوماً چنین نیست. این مدل با جزئیات بیشتر در منابع توضیح داده شده است. ۱۵ و ۱۸. وزن کلی هواپیما بر اساس دسته بندی قطعات (به عنوان مثال، بال، بدنه، و غیره) تقسیم می‌شود، که هزینه‌ها به ازای هر پوند از داده های تجربی بر اساس هر دو قطعه و فرآیند (به عنوان مثال، نیروی کار، مواد، و غیره) نوع. سپس مجموع هزینه‌ها با ضرب هر وزن در هزینه‌های مربوط به هر پوند و جمع تمام قطعات و فرآیندها محاسبه می‌شود. برآوردها برای هزینه‌های غیرمکرر و تکراری ارائه شده است. هزینه‌های غیر تکراری به‌عنوان یک توزیع تقریبی β بر اساس داده‌های تجربی مدل‌سازی می‌شوند که در بازه زمانی توسعه متحمل می‌شوند. هزینه‌های مکرر یک اثر منحنی یادگیری را در نظر می گیرند، به طوری که هزینه‌های ساخت هواپیمای اضافی در طول زمان کاهش می یابد.

1 Markish
2 Willcox
3 Nseats
4 CAROC
5 Geometric Brownian Motion

جدول ۱. پارامتر های مدل سازی تصادفی.

طول بدنه	عرض بدنه	پارامتر
٪۴۷	٪۴۴,۲	σ
yr ۳۰	yr ۲۸	طول بدنه
yr ۱	yr ۱	Δt
٪ ۵,۵	٪ ۵,۷	rf
٪ ۱,۱۲	٪ ۱,۴	نرخ تورم

۶- بهینه‌سازی طراحی مبتنی بر قیمت و بازاریابی

بهینه‌سازی طراحی مبتنی بر ارزش برای برنامه طراحی مفهومی بال بهینه‌سازی شده فرضی نشان داده شده است. طراحی پایه یک مفهوم بال بهینه‌سازی شده با برد ۱۵۰۰ ناتیکال مایل و ظرفیت مسافر ۱۲+۳ است که برای حداقل وزن ناخالص برخاست بهینه شده است. تقاضای اولیه برای این طرح ۱۳,۵ هواپیما در سال است. بهینه‌سازی مبتنی بر ارزش با جایگزینی تابع هدف وزن خالص برخاست با [E-ارزش فعلی خالص] به‌عنوان گام نهایی در دنباله بهینه‌سازی، پس از اینکه طراحی به اندازه کافی برای اطمینان از همگرایی الگوریتم بهینه‌سازی و رضایت از محدودیت‌های طراحی تعریف شد، انجام می‌شود. طرح حاصل به عنوان "-[Eارزش فعلی خالص] بهینه" نامیده می‌شود. بهینه‌سازی از چند صد متغیر طراحی استفاده می‌کند که طرح‌بندی هواپیما را توصیف می‌کند، از جمله هندسه بار محموله، انحرافات سطح کنترل، و توزیع‌های عرضی پیچش بال، طول وتر، و زاویه برخورد. متغیرهای طراحی، محدودیت‌ها و راه‌اندازی مسئله بهینه‌سازی به تفصیل در منابع شرح داده شده‌اند.

۶-۱- توابع هدف مختلف که منجر به طرح های متفاوت می شوند

جدول ۲ تفاوت های کلیدی بین طرح های بهینه خط پایه و ارزش فعلی خالص را خلاصه می‌کند، که در آن تغییرات نسبت به طرح پایه ارائه شده است. جالب است بدانید که افزایش قابل توجهی در ارزش فعلی خالص را می توان با تغییر کمی در وزن خالص برخاست به دست آورد. علاوه بر این، به نظر می‌رسد که وزن خالص برخاست در واقع با یک حاشیه بسیار کوچک (۰,۰۱٪) کاهش می‌یابد، که نشان می‌دهد طراحی پایه ممکن است به طور کامل روی یک راه حل حداقل وزن خالص برخاست همگرا نشده باشد. بازرسی دقیق‌تر طرح ارزش فعلی خالص –بهینه این یافته‌ها را توضیح می‌دهد و نشان می‌دهد که طرح در واقع به مکانی نزدیک، اما متفاوت در فضای طراحی منتقل شده است. تفکیک دقیق چیدمان و وزن در جدول ۲ نشان می‌دهد که طراحی بهینه ارزش فعلی خالص عملکرد آیرودینامیکی و راندمان سوخت را با وزن خالی ساختاری کمتر و در نتیجه وزن خالص برخاست کمتر و کاهش هزینه‌های ساخت مبادله می‌کند. درصد تغییر نسبتا زیادی برای طول وتر در نوک بال، اگرچه تغییر طول واقعی اندک است. این کاهش به دلیل هزینه بالای تولید و غیر تکراری به ازای هر پوند مرتبط با بال است. همانطور که از طریق مدل‌های مالی منتشر شد، این به دلیل اصلاح هزینه چرخه عمر برای افزایش مصرف سوخت در معادله، منجر به قیمت پایین‌تری شد. اما همچنین هزینه کمتر، بنابراین ارزش مورد انتظار بیشتر است. علیرغم ظاهر تغییر اندک در وزن خالص برخاست ، نسبت نسبی وزن ساختاری و سوخت تغییر کرد و در نهایت وزن خالص برخاست کلی را اندکی کاهش داد و باعث بهبود ارزش مورد انتظار این ایده را در بر می‌گیرد که تغییر تابع هدف، طراحی را تغییر می‌دهد، در این مورد زیرا حساسیت ارزش فعلی خالص بیشتر از وزن خالص برخاست در این قسمت از فضای طراحی است. تغییرات نشان داده شده

جدول۲. درصد تغییرات در طراحیی بهینه [E-ارزش فعلی خالص] نسبت به طراحی پایه سنتی

تغییرات (درصد)	پارامتر	تغییرات (درصد)	پارامتر
+0.30	Root	−0.01	GTOW
−23	Tip	−0.45	OEW
−0.95	Cruise L/D	−1.1	Structural wt.
+1.2	Cruise CL	+0.51	Fuel wt.
+2.3	E[NPV]	+2.2	Gross area
−0.14	Unit price	−2.2	Aspect ratio
−0.59	Unit cost	−0.85	Leading edge sweep
		بی بعد	Chord

در جدول ۳، به ویژه زمانی که در زمینه وفاداری نسبتا پایین مدل های اساسی در نظر گرفته شود، کوچک هستند. بنابراین، نتایج عددی خاص شاید نسبت به روندهای مشاهده شده عمومی در مبادله بین عملکرد آیرودینامیکی، بازده سوخت و هزینه‌های ساخت کمتر مرتبط باشند. علاوه بر این، افزایش محاسبه شده در ارزش برنامه ۲,۳٪ اندک است، اما، در صنعتی که حاشیه سود بسیار کم است، حتی یک تفاوت کوچک می تواند تأثیر قابل توجهی در تصمیم‌گیری برای ادامه برنامه داشته باشد.

جدول۳. مقایسه طرح‌های با استفاده از [E-ارزش فعلی خالص]در مقابل ارزش فعلی خالص سنتی به‌عنوان اهداف بهینه‌سازی، که به صورت درصد افزایش یا کاهش نسبت به طراحی بهینه [E-ارزش فعلی خالص] بیان می‌شود.

پارامتر	تغییرات rd=20%	تغییرات rd=12٪
GTOW	+0.26	+0.04
OEW	−0.63	−0.36
Structural wt.	−1.5	−0.85
Fuel wt.	+1.4	+0.53
Cruise L/D	−1.2	−0.46
Cruise CL	−1.0	−1.2
NPV	−195	−154
E[NPV]	−3.7	−0.58
Unit price	−3.9	−0.42
Unit cost	−0.78	−0.46
Computation time	−90	−90
GTOW	+0.26	+0.04

تابع طراحی را تغییر خواهد داد، در این مورد زیرا حساسیت [E- ارزش فعلی خالص] بیشتر از وزن خالص برخاست در این قسمت از فضای طراحی است. تغییرات نشان داده شده در جدول ۲، به ویژه زمانی که در زمینه وفاداری نسبتا پایین مدل های اساسی در نظر گرفته شود، کوچک هستند. بنابراین، نتایج عددی خاص شاید نسبت به روندهای مشاهده شده عمومی در مبادله بین عملکرد آیرودینامیکی، بازده سوخت و هزینه‌های ساخت کمتر مرتبط باشند. علاوه بر این، افزایش محاسبه شده در ارزش برنامه ۲,۷٪ اندک است، اما، در صنعتی که حاشیه سود بسیار کم است، حتی یک تفاوت کوچک می تواند تأثیر قابل توجهی در تصمیم‌گیری برای ادامه برنامه داشته باشد.

۷- نتایج [E-ارزش فعلی خالص] تصادفی در مقابل نتایج ارزش فعلی خالص قطعی

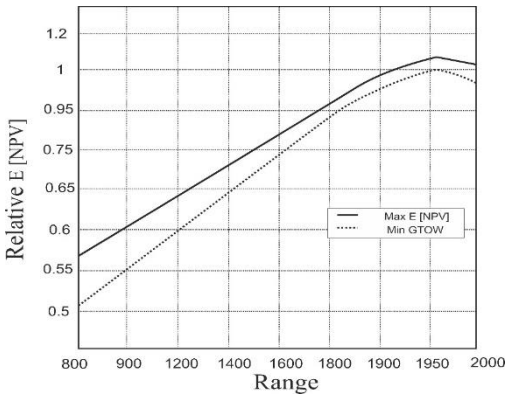
سوال مهمی که باید به آن پرداخته شود این است که آیا می توان با استفاده از یک متریک ارزش قطعی سنتی به عنوان تابع هدف، به بهبودهای مشابه در ارزش برنامه دست یافت. بهینه‌سازی مبتنی بر ارزش طراهی بهینه بال هواپیما با استفاده از ارزش فعلی خالص قطعی، تعریف شده در معادله تکرار شد. (۱)، به عنوان تابع هدف. برای معیار ارزش فعلی خالص ، لازم است یک نرخ تنزیل تعدیل شده با ریسک انتخاب شود. دو مورد در نظر گرفته شد: rd = 12٪ و rd = 20٪. مقایسه بین طرح‌های بهینه ارزش فعلی خالص حاصل و طرح بهینه [E-ارزش فعلی خالص] که قبلاً یافت شد در جدول ۳ خلاصه شده است. مقایسه این سه طرح دو موضوع مهم را در محاسبه مقدار قطعی نشان می‌دهد. اول، ارزش فعلی خالص قطعی یک معیار مناسب برای ارزیابی سودآوری یک برنامه هواپیما نیست، که دارای یک بازه زمانی طولانی و مقدار قابل توجهی از عدم قطعیت مرتبط با شرایط بازار است. مقادیر ارزش فعلی خالص مربوط به طرح‌های جدول ۳ بدبینانه هستند – هم به این دلیل که ارزش انعطاف‌پذیری در نظر گرفته نشده است و هم زیرا استفاده از نرخ تنزیل بالا برای گرفتن ریسک باعث می‌شود که سود در سال های برنامه بعدی وزن بسیار کمی داشته باشد. علاوه بر این، نتیجه ارزش فعلی خالص بسیار به مقدار فرضی وابسته است. دومین مسئله جداگانه ویژه استفاده از یک تابع مبتنی بر ارزش برای بهینه‌سازی این است که ارزش فعلی خالص قطعی معیار مناسبی برای استفاده به عنوان یک تابع هدف نیست. در زمینه بهینه‌سازی، ارزش فعلی خالص یک شاخص خوب برای جهت‌های مطلوب برای حرکت در فضای طراحی هواپیما نیست. اگرچه برآوردهای قطعی ارزش فعلی خالص که قبلاً یافت شده بود، نمایش ضعیفی از ارزش برنامه بود، هزینه محاسباتی بهینه‌سازی طراحی با استفاده از ارزش فعلی خالص به جای [E-ارزش فعلی خالص] 90 ٪ کاهش یافت. این کاهش در زمان نشان‌دهنده تغییر قابل‌توجهی از نیاز به ترتیب روز برای اجرای بهینه‌سازی با [E-ارزش فعلی خالص] تا نیاز به تنها ۲ تا ۳ ساعت با ارزش فعلی خالص به عنوان تابع هدف است. بنابراین می‌توان استفاده از محاسبه کارآمد و قطعی را به عنوان یک تابع هدف در فرآیند بهینه‌سازی و سپس ارزیابی طرح‌های بهینه ارزش فعلی خالص حاصل با استفاده از روش تصادفی گران‌تر تصور کرد. با این حال، نتایج در جدول ۴ به وضوح نشان می‌دهد که این یک رویکرد قابل دوام نیست، زیرا طراحی های بهینه ارزش فعلی خالص به طور قابل ملاحظه ای کاهش یافته است. این تفاوت ها مستقیماً با انتخاب هدف و تأثیر آن بر پیشرفت بهینه‌سازی مرتبط است. در هر دو نرخ تخفیف، طرح‌های حاصل از بازده آیرودینامیکی و مصرف سوخت پایین‌تر برای کاهش وزن ساختاری خودداری کردند. اگرچه هزینه نهایی هر واحد برای طرح‌های به‌دست‌آمده کمتر از طرح بهینه [E-ارزش فعلی خالص] بود، قیمت‌ها به‌طور مشابه پایین‌تر بودند به دلیل تعدیل هزینه چرخه عمر در معادله. (۳). در نرخ تنزیل بالاتر (۲۰٪)، هزینه‌های اولیه متحمل شده تأثیر بیشتری بر ارزش کلی برنامه دارد، زیرا سودهای بعدی به دلیل تنزیل تأثیر ناچیزی دارد. این پدیده در شکل ۲ نشان داده شده است

که جریانهای نقدی تنزیل شده نسبی سالانه را برای هر طرح بهینه ارزش فعلی خالص نشان می‌دهد. در نتیجه، بهینه‌سازی به دنبال کاهش تأثیر هزینه‌های توسعه با کاهش وزن سازه است. برای نرخ تنزیل بالاتر، این اثر بزرگ‌تر می‌شود و در نتیجه ارزش‌گذاری کمتر مطلوبی حاصل می‌شود. این تفاوت قابل توجه نشان می‌دهد که [E-ارزش فعلی خالص] با توجه به دشواری ذاتی در انتخاب نرخ تنزیل مناسب، انتخاب بهتری برای هدف طراحی است. علاوه بر این، این نتیجه خطر تصمیم‌گیری در طراحی را با استفاده از یک متریک ارزش فعلی خالص معمولی نشان می‌دهد، که تمایل دارد بیش از حد بر کوتاه‌مدت تمرکز کند.

۸- مرتب سازی الزامات طراحی

ویژگی اصلی روش‌شناسی طراحی مبتنی بر ارزش، در نظر گرفتن یکپارچه تصمیم‌های فنی و برنامه‌ای است. این روش را قادر می سازد تا در تعیین چگونگی تنظیم بهترین الزامات برنامه و مشخصات عملکرد استفاده شود.

اینها می‌توانند شامل تصمیمات مدیریتی، از جمله اینکه چگونه می توان به بهترین نحو با یک برنامه با توجه به شرایط خاص بازار پیش رفت، یا تصمیمات فنی برای تنظیم الزامات عملکرد طراحی. نمونه هایی از مبادلات طراحی ذاتی در تنظیم محدوده و سرعت مورد نیاز برای هواپیما با استفاده از رویکرد مبتنی بر ارزش ارائه شده است. برد در مقابل [E-ارزش فعلی خالص] تنظیم برد عملکرد یک هواپیمای جدید ممکن است یک مرحله ضروری در فرآیندهای طراحی یا بازاریابی باشد. نمونه ای از چنین موردی در برنامه طراحی E7v است که در آن بوئینگ یک نسخه اصلاح شده با برد کوتاه تر همراه با طرح اولیه برنامه ریزی شده دوربرد ارائه کرد تا نیازهای مشتری پرتاب را برآورده کند.



شکل ۳ مقایسه روندهای [E-ارزش فعلی خالص] برای بهینه‌سازی‌های مبتنی بر عملکرد و ارزش به عنوان تابعی از محدوده، نرمال‌سازی شده توسط [E-ارزش فعلی خالص] - ارزش طراحی بهینه.

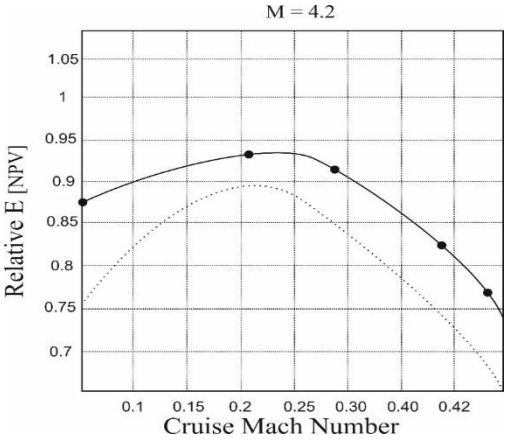
چنین تصمیمی به وضوح بر هر دو جنبه فنی و مالی تأثیر دارد. ویژگی های طراحی مفهوم هواپیما که دارای محدوده پایه ۹۰۰ ناتیکال مایل بود، برای تنظیمات برد از ۷۰۰ ناتیکال مایل تا ۱۹۹۰ ناتیکال مایل مجدداً بهینه شد. روند حاصل برای [E-ارزش فعلی خالص] در شکل ۳ نشان داده شده است. با افزایش برد، وزن خالص برخاست به دلیل نیاز به سوخت بیشتر و رشد ساختاری مربوطه افزایش می یابد. شکل نشان می‌دهد که [E-ارزش فعلی خالص] تقریباً به صورت خطی بین ۷۰۰ و ۱۹۰۰ ناتیکال مایل رشد می‌کند. برای محدوده های بالاتر، شیب شروع به کاهش می‌کند. در نهایت، روند معکوس می‌شود و طراحی ۲۰۰۰ ناتیکال مایل در واقع سود کمتری نسبت به طراحی ۱۹۹۰ ناتیکامایل دارد. این رفتار تابعی از مدل های مالی است، به ویژه معادله. (۳) برای قیمت، که به صورت خطی با محدوده متفاوت است. با این حال، در یک محدوده به اندازه کافی بزرگ، تنظیم هزینه چرخه عمر برای افزایش لازم در مصرف سوخت بیشتر از مزیت برد طولانی تر است. برای این تحلیل فرض شد که تقاضای پایه، که به عنوان تابعی از ظرفیت مسافر مدل‌سازی می‌شود، ثابت می‌ماند. مقایسه با طرح‌هایی که برای عملکرد در محدوده‌های یکسانی بهینه شده‌اند، همانطور که در مشاهده می‌شود شکل ۳، مزایای استفاده از ارزش را به عنوان هدف طراحی، علاوه بر ارزیابی ساده طرح بر اساس ترکیبی از عملکرد و تحلیل مالی، نشان می‌دهد. در بازه‌های طولانی‌تر، تفاوت کمتری بین طرح‌های بهینه مالی و عملکردی وجود دارد، اما در محدوده‌های پایین‌تر اختلافات به طور فزاینده‌ای گسترده‌تر می‌شوند. به طور خاص، طراحی [E-ارزش فعلی خالص] -بهینه (۱۹۰۰ ناتیکال مایل) نشان دهنده بهبود ۲,۳ درصدی در [E-ارزش فعلی خالص] نسبت به خط پایه است. در محدوده ۹۰۰ ناتیکال مایل پایین تر، طراحی بهینه شده برای ارزش دارای [E-ارزش فعلی خالص] ۱۹درصد بیشتر از طراحی عملکرد بهینه مربوطه است.

سرعت در مقابل [E-ارزش فعلی خالص]

یک مطالعه مشابه را می توان با توجه به سرعت کروز انجام داد تا مشخص شود چگونه می توان یک عدد ماخ را به بهترین نحو تنظیم کرد تا ارزش برنامه را به حداکثر برساند. بار دیگر، اهمیت چنین تحلیلی با مثال طراحی E7v و نیاز به سنجیدن روشن می‌شود. ارزش سرعت در مقابل سایر نگرانی های عملکرد در انتخاب توسعه پروژه E7v به جای پرواز با ماخ بالا را در شکل۴ و تحقیق ویل-کوگس نشان می‌دهد.

روند حاصل برای جارو تنظیمات ماخ از ۰,۱ تا ۰,۴۲ برای شرایط مربوط به بخش کروز مشخصات ماموریت، همانطور که در تحقیقی که توسط واکایانا توضیح داده شده است. M، با تنها ۰,۱۶٪ اختلاف در [E-ارزش فعلی خالص]. بهینه‌سازی طراحی مفهومی هواپیما برای تنظیمات ماخ با سرعت بالاتر و پایین تر سود کمتری دارد. در انتهای پایین‌تر سرعت‌های ارزیابی‌شده، تنظیم نیاز کروز روی ۰,۴ M منجر به [E-ارزش فعلی خالص] 12% بدتر از راه‌حل بهینه [E-ارزش فعلی خالص] می‌شود. برای سرعت‌های بالاتر، این روند حتی مضرتر خواهد بود، به طوری که طراحی M=۰,۴۲ دارای ارزش برنامه ۲۴٪ بدتر از حد مطلوب است.

این مدل تغییرات مصرف سوخت خاص[1] را به دلیل سرعت‌های طراحی متفاوت در نظر نگرفت. این روند در شکل ۴ را تحت تأثیر قرار می‌دهد، زیرا SFC در تنظیمات ماخ پایین تر و در حالت مخالف بالاتر خواهد بود، به این معنی وزن بخالص برخاست کمتر در حدود M=۰,۴ و حتی ماخ های بالاتر وزن خالص برخاست .



شکل ٤ مقایسه روندهای -E]ارزش فعلی خالص[بر اساس عملکرد و ارزش بهینه‌سازی ها به عنوان تابعی از عدد ماخ کروز، نرمال شده است توسط ارزش طراحی بهینه -E]ارزش فعلی خالص[.

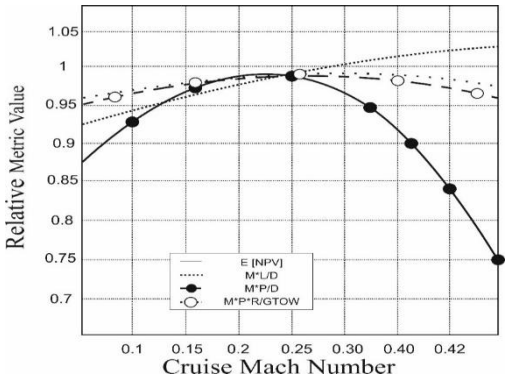
محدودیت اضافی این مطالعه این است که تنظیم هزینه چرخه عمر LC در معادله (۳) اثرات هزینه عملیاتی ناشی از افزایش مصرف سوخت را به حساب می‌آورد اما مزایای استفاده از سرعت‌های سریع‌تر را ندارد. زمان‌های سفر کوتاه‌تر ناشی از سرعت‌های بیشتر کروز به اپراتور خطوط هوایی اجازه می‌دهد بیشتر از هواپیما استفاده کنند، که جذابیت آن را می‌توان با افزایش قیمت مشابه اثر سوختن سوخت به حساب آورد. مشخص نیست که چنین تنظیمی تا چه حد می تواند اثرات تغییر SFC را جبران کند، بنابراین روندهای نشان داده شده در شکل ۴ می توانند مشابه باشند. چنین تعدیلی برای در نظر گرفتن استفاده در قیمت، بسط مفید مدل های مالی خواهد بود. این محدودیت‌های مدل‌ها اعتبار نتیجه‌گیری‌های کمی خاص را که می‌توان از نتایج شکل ۴ گرفت، محدود می‌کند. با این حال، همانطور که در پاراگراف های بعدی بحث شد، تجزیه و تحلیل دقیق تر این نتایج بینش مفیدی را در مورد ارزش سرعت و معاملات طراحی مربوطه ارائه می‌دهد. همانند مطالعه محدوده، طرح‌های بهینه‌سازی شده برای حداکثر [E-ارزش فعلی خالص] نسبت به طرح‌های صرفاً عملکردی برای حداقل وزن خالص برخاست در تمام سرعت‌های در نظر گرفته شده سودآورتر هستند. این نتیجه در شکل ۴ نشان داده شده است در سرعت های پایین تر، شکاف بین این دو بزرگتر می‌شود و -[Eارزش فعلی خالص] برای طرح حداقل- وزن خالص برخاست 12% بدتر از راه حل حداکثر-[E-ارزش فعلی خالص] مربوطه است. برای سرعت‌های بالاتر، اختلاف کمتر است، با کاهش ۵,۳ درصدی [E-ارزش فعلی خالص] از طراحی ارزش بهینه ۰,۴۲- M به معادل عملکرد بهینه. همانطور که در محدوده های کوتاه تر در بخش قبل اتفاق افتاد، به نظر می رسد توانایی هدف جدید برای تأثیرگذاری بر طراحی در سرعت های پایین تر مهم تر است. تفکیک بهینه فقط عملکرد و مالی در ۰,۴۲ M نشان می‌دهد که چرا تفاوت در [E-ارزش فعلی خالص] بیشتر قابل توجه است. طراحی ارزش بهینه کاهش نسبتاً کمی را در وزن سازه نشان می‌دهد. بیشتر تفاوت در [E-ارزش فعلی خالص] توسط قیمت بالاتر محلول حداکثر-[E-ارزش فعلی خالص] به دلیل بهبود بهره وری سوخت جبران می‌شود. این نتیجه از این جهت جالب است که بهینه‌سازی رانده شده است.

طراحی برای کاهش مصرف سوخت در مقابل کاهش وزن ساختاری، همانطور که در مقایسه های قبلی بین بهینه‌سازی به حداقل رساندن وزن خالص برخاست در مقابل به حداکثر رساندن [E-ارزش فعلی خالص] مشاهده شد. شکل ۴ نشان می‌دهد که ۰,۴۲ ماخ سرعت کروز بهینه برای استفاده از [E-ارزش فعلی خالص] به عنوان رقم شایستگی است. چندین معیار سنتی دیگر که عملکرد طراحی را به بازارپذیری آن مرتبط می‌کنند، می‌توانند در عوض برای تخمین سرعت بهینه کروز ارزیابی شوند. شکل ۵ نتایج مربوط به [E-ارزش فعلی خالص] و سه معیار دیگر از این قبیل را برای محدوده اعداد ماخ که قبلا در نظر گرفته شده بود، نشان می‌دهد که با مقدار آنها در ماخ (۰,۴۲) نرمال شده است. ارقام اضافی شایستگی به شرح زیر است: M × L/D – عدد ماخ ضرب در نسبت بالابر به درگ. (M × P)/D – عدد ماخ ضرب در وزن محموله، تقسیم بر درگ. و (M × P × R)/GTOW– عدد ماخ ضرب در بار و برد، تقسیم بر وزن خالص برخاست. اولین متریک از معادله برد Breguet برای مصرف سوخت ویژه و وزن ثابت مشتق شده است، در حالی که دو مورد دوم بر مزیت طراحی سنتی افزایش بار و برد تمرکز دارند که در مقابل کاهش وزن خالص برخاست معامله می‌شوند. تنها با تاکید بر سرعت و L/D، ۰,۴۵ ماخ بهینه جدید است که عملکرد آیرودینامیکی بهتر را

1 Specific Fuel Consuption (SFC)

در سرعت کروز کمی بالاتر منعکس می‌کند. با در نظر گرفتن ظرفیت بار به جای بالابر کلی، این مقدار کمی کاهش می یابد، تا M ۰,۴۷، با توجه به اینکه سرعت اضافی ظرفیت را افزایش نمی‌دهد، زیرا کشش را انجام می‌دهد.

در نهایت، با معرفی محدوده و متریک طراحی سنتی، وزن خالص برخاست ، علاوه بر ظرفیت، روند را به‌طور چشمگیری تغییر می‌دهد و ارزش بسیار بیشتری برای سرعت قائل است، با بهینه ماخ ۰,۴۱ یا احتمالاً اگر روند برون‌یابی شود. در این مورد، ارزش سرعت اضافه شده به طور کامل با افزایش های متعاقب وزن خالص برخاست جبران نمی‌شود، و به این متریک اجازه می‌دهد تا با اعداد ماخ بالاتر برای وزن محموله و محدوده ثابت رشد کند. با این حال، هیچ یک از این معیارهای طراحی به طور صریح سودآوری یک برنامه را تخمین نمی زند، و [E-ارزش فعلی خالص] کامل ترین رقم شایستگی برای ارزیابی سهم پارامترهای فردی است که قبلاً نشان داده شده بود. علی‌رغم محدودیت‌های بالقوه مدل‌های مالی در توانایی آن‌ها برای نشان دادن مقدار عدد ماخ، این مطالعه موردی سودمندی عملکرد همراه و رویکرد مالی برای طراحی را بیشتر نشان می‌دهد. این یک چارچوب جدید برای تنظیم الزامات برنامه و به طور خاص برای درک تأثیر سرعت کروز بر سودآوری ارائه می‌دهد.



شکل ۵ روند برای عملکرد طراحی و معیارهای ارزش به عنوان یک تابع از عدد ماخ کروز، نرمال شده با خط پایه مربوطه آنها (M۰,۴۲) ارزش های.

۹- بررسی و ارزیابی مقدار ریسک کسب و کار

در نمونه‌های طراحی های چند منظوره ای که قبلاً نشان داده شد، برخی از طراحی‌ها عدم قطعیت، به ویژه نوسانات تقاضا در نظر گرفته شد. در عمل، بسیاری از اشکال اضافی از عدم قطعیت، از جمله عدم قطعیت فنی مربوط به عملکرد طراحی و سایر اشکال عدم اطمینان مالی یا بازار، به وجود می آیند. درک تأثیر تغییرپذیری بالقوه، و همچنین ریسک مرتبط با برنامه، با کمی کردن تأثیر بر ارزش برنامه، مطلوب است.

جدول ۵ حساسیت طراحی E[NPV]-بهینه به عدم قطعیت در پارامترهای فنی و مالی

Parameter varied	Related parameter	E[NPV] change, % (per 1% parameter increase)
Nonrecurring cost	OEW	−0.71
SFC	Price	−10
Fuel price	——	−6.6
Demand		
Volatility	——	−2.8
Initial	——	+1.4
Recurring cost (LRMC)	——	−3.8

روش تصادفی ارائه شده در اینجا اجازه می‌دهد تا این ارزیابی به شیوه ای سیستماتیک انجام شود. جدول ۵ ارزیابی ریسک نسبی برنامه یک نمای کلی از تحلیل های حساسیت طرح پایه را با توجه به عدم قطعیت های مالی و فنی ارائه می‌دهد. تغییرات در مصرف سوخت ویژه، تقاضا، قیمت سوخت و هزینه‌های تکرارشونده مستقیماً ارزیابی شدند، در حالی که تغییرات در وزن عملیاتی خالی مربوط به افزایش هزینه غیر تکراری همانطور که در بخش بعدی توضیح داده شد، بود. از جدول می توان دریافت که طراحی بیشترین حساسیت را نسبت به بهره وری سوخت و در نتیجه قیمت دارد. بزرگترین اثر بعدی بر روی [E-ارزش فعلی خالص] به دلیل عدم قطعیت در قیمت سوخت و به دنبال آن هزینه‌های تکرارشونده و سپس پارامترهای تقاضا است. این نتایج نشان می‌دهد که تغییرات

در جریان‌های نقدی برنامه بلندمدت منبع اصلی ریسک تجاری است. حساسیت به قیمت سوخت در جدول ۵ به طور قابل ملاحظه ای بیشتر از سایر پارامترهای مالی است، اما اهمیت کمتری نسبت به حساسیت به تغییرات مصرف سوخت ویژه دارد. به طور شهودی، این نتیجه منطقی است، زیرا افزایش مصرف سوخت ویژه بر راندمان عملیاتی هواپیما و وزن کلی طراحی تأثیر می گذارد. با افزایش قیمت سوخت تقریباً ۲۵٪، طراحی پایه بی‌سود می‌شود. اگر هواپیما تحت مفروضات قیمت سوخت کمتر مطلوب

طراحی شود، انتظار می‌رود که نتایج متفاوتی در تعادل بهینه بین بازده آیرودینامیکی و وزن ساختاری ببینیم. نتیجه حساسیت به قیمت سوخت اهمیت مفروضات بازار را در طراحی هواپیمای مفهومی نشان می‌دهد و دوباره بر ارزش یک فرآیند طراحی فنی/مالی یکپارچه تأکید می‌کند.

حساسیت نسبتاً پایین [E-ارزش فعلی خالص] به هزینه غیر تکراری در مقایسه با هزینه نهایی بلندمدت[1] و قیمت نشان می‌دهد که با اصلاح مشکلات طراحی در مرحله توسعه، می‌توان مقدار بیشتری از مقدار پایه را حفظ کرد. برای طرحی که عملکرد مورد نظر خود را برآورده نمی‌کند. اگر چه این ایده که صرف پول بیشتر برای صرفه جویی در هزینه برای طراحی بهتر بعداً، استراتژی پیشنهادی برای کاهش ریسک تجاری برای مثال طراحی در نظر گرفته شده است، مهم است که توجه داشته باشیم که یک ارزیابی قطعی چنین استراتژی را رد می‌کند. نتایج بهینه‌سازی مبتنی بر ارزش، یک ارزش‌گذاری قطعی باعث کاهش هزینه‌های اولیه می‌شود، زیرا جریان‌های نقدی بعدی به دلیل تنزیل‌های سنگین، تأثیر کمتری بر سودآوری کلی دارند.

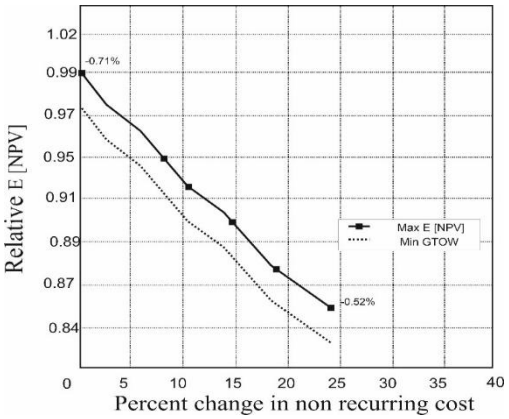
عدم قطعیت فنی

عدم قطعیت فنی می تواند به اشکال مختلفی وجود داشته باشد، که بسیاری از آنها منجر به افزایش وزن هواپیما می‌شود – از این رو اساس هدف طراحی سنتی حداقل وزن خالص برخاست است. اساساً سه سناریو وجود دارد که ممکن است با پیشروی برنامه با طراحی تکامل یابد.

۱) هواپیما با وزن بالاتر فروخته می‌شود تا در کمتر از حداکثر برد (در نظر گرفته شده) خود استفاده شود یا در صورت امکان با حجم سوخت اضافه شده برای رسیدن به برد مورد نظر خود استفاده شود. این هواپیما ممکن است نیازهای اپراتورها را برآورده کند، اما برای عملیات گران تر خواهد بود. این سناریو منجر به هزینه‌های تولید بالاتر، قیمت پایین تر یا هر دو می‌شود.

۲) هواپیما برای برآورده کردن مشخصات اولیه مجدداً طراحی شده یا وزن آن حذف می‌شود و در نتیجه هزینه‌های توسعه غیر تکراری بالاتری به همراه دارد.

۳) هواپیما به دلیل منابع خارجی یا طراحی مجدد ناموفق، قادر به برآورده کردن ضمانت‌های عملکرد خود نیست. اضافی غیر هزینه‌های مکرر ممکن است از تلاش برای رفع مشکل متحمل شوند، و هزینه‌های تکرار شونده علیرغم قیمت پایین تر به دلیل از دست دادن اهداف عملکرد بیشتر خواهد بود. در سناریوی ۲، عدم قطعیت فنی منجر به افزایش وزن خالی عملیاتی[2] را می توان به افزایش هزینه غیر تکراری برنامه ترجمه کرد. افزایش در هزینه غیرتکراری تا حدود ۲۰ درصد از طرح پایه برای یافتن اثر مرتبط بر [E-ارزش فعلی خالص] مورد بررسی قرار گرفت. هیچ کاهشی در هزینه‌های توسعه در نظر گرفته نشد، زیرا وزن عملیاتی خالی کمتر از حد انتظار لزوماً به صرفه جویی در هزینه تبدیل نمی‌شود. تغییر در هزینه غیر تکراری در دوره زمانی نهایی مراحل توسعه اضافه شد تا نشان دهنده مهندسی مجدد باشد پس از اینکه مقدار قابل توجهی از قبل در هزینه‌های طراحی و سرمایه سرمایه‌گذاری شده بود. شکل ۶ نتایج این تحلیل حساسیت را برای طرح های حداکثر–[E-ارزش فعلی خالص] و حداقل–وزن خالص برخاست نشان می‌دهد که با مقدار بهینه مقدار پایه نرمال شده است.



شکل ٦ [E-ارزش فعلی خالص]نسبی برای طراحی‌های حداکثر مقدار و حداقل وزن خالص برخاست در مقابل درصد تغییر در هزینه غیر تکراری، که با حداکثر مقدار - [Eارزش فعلی خالص] نرمال شده است.

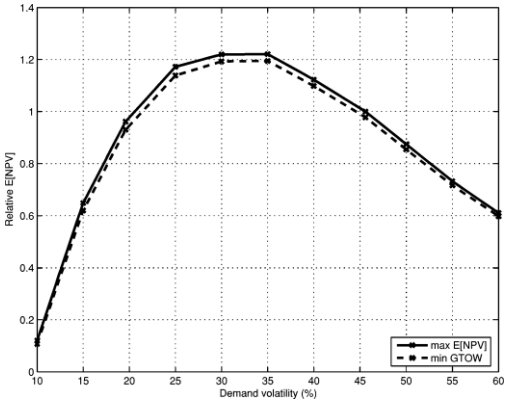
طراحی ارزش بهینه شده منجر به [E-ارزش فعلی خالص] بالاتر برای تمام تغییرات در هزینه غیر تکراری نسبت به طراحی فقط عملکرد شد. هزینه‌های متحمل‌شده بیشتر منجر به [E-ارزش فعلی خالص] برنامه کمتر می‌شود، و کاهش هزینه‌ها باعث افزایش ارزش می‌شود، که قابل توجه نیست به جز اینکه حساسیت [E-ارزش فعلی خالص] نسبت به هزینه‌های غیرمعمول نسبتاً کم است. افزایش ۵ درصدی هزینه‌های توسعه منجر به کاهش کمتر از ۵ درصدی در ارزش برنامه می‌شود. به طور خاص، در اطراف طرح پایه، تغییر در [E-ارزش فعلی خالص] 0.71 ٪ از مقدار پایه برای هر درصد تغییر در هزینه غیر تکراری است، همانطور که در نمودار مشاهده می‌شود. همانطور که طراحی نامطلوب تر می‌شود، رویکرد گزینه های واقعی حکم می‌کند که ادامه با برنامه کمتر می‌شود و ارزش آن کاهش می یابد، اما مقدار مورد انتظار آن هرگز منفی نخواهد شد. عدم قطعیت مالی علاوه بر عدم قطعیت فنی ذاتی در یک برنامه طراحی، بازار هواپیما و شرایط عمومی اقتصادی می‌تواند عدم قطعیت های مالی جداگانه ای

1 Long-run marginal cost

2 Operation Empty Weight (OEW)

را ایجاد کند. اینها می توانند به هزینه‌ها، قیمت یا تقاضای غیر تکراری یا تکرار شونده مربوط باشند. نوسانات تقاضا مدل تقاضای تصادفی برای عدم قطعیت تقاضا از نظر نوسانات بازار هواپیما توضیح می‌دهد. با این حال، این نوسانات مبتنی بر داده های تجربی است و خود مشمول عدم قطعیت است. واریانس در نوسانات نشان دهنده یک ریسک بازار است که می تواند بر ارزش برنامه تأثیر بگذارد. تجزیه و تحلیل حساسیت انجام شده بر روی طراحی با تغییر نوسان تقاضا σ می تواند به ارزیابی سطح ریسک مواجهه در نتیجه تغییر تقاضا در طول عمر برنامه که از طریق مدل تقاضای تصادفی منتشر می‌شود، کمک کند. نوسانات ۱۵±٪ از مقدار پایه آن ۴۵٫۶٪ متفاوت بود که نشان دهنده میانگین نوسانات برای یک هواپیمای پهن پیکر مقادیر σ در محدوده ± ۱۰٪ از نوسانات کل برای همه هواپیماهای پهن پیکر ۱۵ نیز مورد بررسی قرار گرفت.

برای هر σ، نتایج [E-ارزش فعلی خالص] برای هر دو طرح حداکثر-[E-ارزش فعلی خالص] و حداقل-وزن خالص برخاست پیدا شد. شکل ۷ روند دو طرح را در نوسانات مختلف با [E-ارزش فعلی خالص] با مقدار بهینه در خط مبنا نرمال شده مقایسه می‌کند، $\sigma = 45.6\%$. در همه موارد، راه حل بهینه [E-ارزش فعلی خالص] ارزش بهبود یافته را نسبت به راه حل فقط عملکرد نشان می‌دهد. به دلیل بهبود سودآوری، راه‌حل حداکثر ارزش هم در مورد تقاضای نسبتاً ثابت (نوسان‌پذیری کم) و هم در موارد شدید تقاضا در مورد نوسانات بالاتر، ارزش ارائه می‌کند. رابطه بین [E-ارزش فعلی خالص] و نوسانات تقاضا برای هر دو راه حل طراحی از یک الگوی مورد انتظار پیروی می‌کند. در نوسانات کمتر، نزدیک به مقدار کل پهن پیکر، ارزش کلی برنامه کاهش می یابد زیرا امکان رشد تقاضا فراتر از مقدار اولیه کاهش می یابد. برعکس، در نوسانات بالاتر فراتر از میانگین مقدار گسترده بدنه پایه، -[Eارزش فعلی خالص] نیز با افزایش احتمال تقاضای پایین در آینده کاهش می‌یابد.



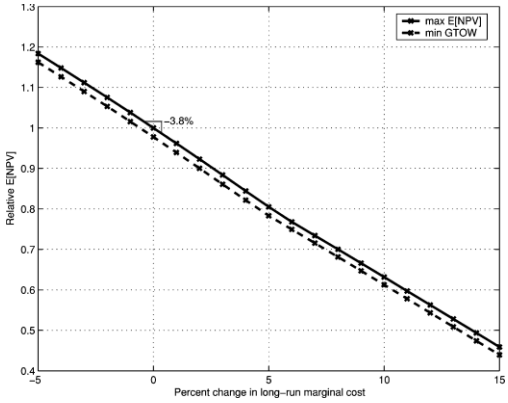
شکل ۷ [E-ارزش فعلی خالص] نسبی برای طراحی‌های max-value و min-GTOW در مقابل نوسانات تقاضا، نرمال شده توسط [E- max-value ارزش فعلی خالص].

نوسانات بین نقاط داده کل و میانگین منجر به ارزش گذاری بهتری نسبت به طرح اولیه حداکثر [E-ارزش فعلی خالص] می‌شود، با این حال، تعادلی بین رشد تقاضای قابل توجه و پتانسیل کاهش قابل توجه تقاضا ایجاد می‌کند. به یک معنا، این مقادیر برای σ ایده طراحی پر ریسک و با پاداش بالا را در بر می‌گیرد که در آن افزایش عدم قطعیت تقاضا به گونه ای است که تلاقی رویدادهای سودمند می تواند منجر به یک برنامه بسیار موفق شود و احتمال کاهش بازار وجود ندارد. به اندازه کافی بالاست که مقدار مورد انتظار را به شدت کاهش دهد. هیچ تحلیل مشابهی را نمی توان برای راه حل های بهینه‌سازی شده برای ارزش فعلی خالص قطعی انجام داد، زیرا افزایش نوسانات به سادگی در معادله محاسبه می‌شود. (۱) با افزایش نرخ تنزیل. روند به دست آمده قادر به دریافت هیچ یک از ارزش افزایش ریسک نیست، زیرا کاهش مداوم ارزش فعلی خالص با افزایش جایگزین منحنی مشاهده شده در شکل ۷ می‌شود. در [E-ارزش فعلی خالص] به دلیل درصدی از نوسانات به دست آمده یا از دست رفته. مهم ترین اثرات در نوسانات کمتر دیده می‌شود، جایی که یک تغییر ۱٪ با افزایش σ منجر به افزایش ۹٫۲٪ در [E-ارزش فعلی خالص] نسبت به مقدار پایه می‌شود. از طرف دیگر، افزایش مداوم نوسانات پس از خط پایه ۴۵٫۶٪ منجر به کاهش تقریباً ۲٫۷٪ در ارزش برنامه می‌شود. حساسیت ها در منطقه اطراف تخمین های پیک برای [E-ارزش فعلی خالص] در کمترین حد خود هستند، جایی که درصد افزایش در σ از ۳۰٪ باعث افزایش کمتر از درصدی در ارزش برنامه یا ۰٫۴۸٪ می‌شود. هزینه‌های تکراری تغییر در هزینه‌های بلندمدت تولید هواپیما می تواند به دلیل تغییرات در مواد، نیروی کار یا سایر هزینه‌ها باشد. تجزیه و تحلیل حساسیت -[Eارزش فعلی خالص] با توجه به تغییر در هزینه نهایی بلندمدت با اعمال یک ضریب برای هزینه پایه انجام شد. مقادیر از -۵٪ تا +۱۵٪ از هزینه نهایی بلندمدت پایه برای بررسی مورد کاهش هزینه‌های جزئی و سناریوی محتمل تر بیش از حد هزینه قابل توجه متغیر بود.

روندهای حاصل برای تغییرپذیری هزینه تولید برای طرح‌های بهینه [E-ارزش فعلی خالص] – و وزن خالص برخاست در شکل ۸ ارائه شده است که با راه‌حل حداکثر-[E-ارزش فعلی خالص] خط پایه (صفر تغییر در هزینه نهایی بلندمدت) نرمال شده است. اگرچه طراحی حاصل از بهینه‌سازی [E-ارزش فعلی خالص] ارزش خود را با توجه به شرایط برنامه کمتر مساعدتر به دلیل عدم قطعیت هزینه نسبت به بهینه فقط عملکرد حفظ می‌کند، هنوز باید توجه داشت که هر دو طرح تقریباً ۲۰٪ از ارزش خود را تنها با استفاده از آن از دست می دهند. افزایش ۵ درصدی هزینه نهایی بلندمدت. این حساسیت‌ها بسیار مهم‌تر از آن‌هایی هستند که اثر عدم قطعیت هزینه غیر تکراری را به [E-ارزش فعلی خالص] مربوط می‌کنند، که نشان می‌دهد حذف عدم قطعیت طراحی

زودتر از تولید یک طرح غیربهینه سودمندتر است – به رغم تأثیر بیشتر متحمل شدن هزینه تغییرات طراحی زودتر – به دلیل به تنزیل شدیدتر جریان های نقدی بعدی.

نتایج این بخش یک ارزیابی کمی از ریسک تجاری را با استفاده از تحلیل‌های حساسیت پارامترهای فنی و مالی کلیدی نشان می‌دهد. در حالت ایده آل، چارچوب تصمیم‌گیری باید این عدم قطعیت ها را مستقیماً در بهینه‌سازی بگنجاند. یکی از رویکردها، گنجاندن مدل‌های تصادفی برای این پارامترها در فرمول برنامه ریزی پویا ، با استفاده از فرآیندی مشابه آنچه در اینجا برای تقاضای هواپیما توضیح داده شده است، است. این رویکرد متأسفانه توسط "نفرین ابعاد" محدود شده است، زیرا هر پارامتر تصادفی این کار را انجام می‌دهد نیاز به یک متغیر حالت اضافی در معادله. (۲). روش‌های دیگری که برای بهینه‌سازی طراحی در شرایط عدم قطعیت مورد بررسی قرار می‌گیرند، که همچنان یک حوزه تحقیقاتی چالش برانگیز و باز است، شامل نظریه بازی و طراحی مبتنی بر تصمیم است.



شکل ۸ [E-ارزش فعلی خالص] نسبی برای طراحی‌های max-value و min-GTOW در مقابل درصد تغییر در LRMC، با حداکثر مقدار [E-ارزش فعلی خالص] نرمال شده است.

۱۰- نتیجه گیری

یک روش مبتنی بر ارزش تصادفی برای طراحی هواپیمای مفهومی ارائه شده است. این روش بر اساس تحقیقات قبلی در ارزیابی هواپیما با ترکیب طراحی فنی و ارزش در یک چارچوب بهینه‌سازی طراحی مفهومی هواپیما است. این چارچوب به پر کردن شکاف بین طراحی فنی و تجزیه و تحلیل مالی کمک می‌کند، به ویژه با کمک به مهندسان و مدیران برای درک بهتر پیامدهای مالی تصمیمات طراحی، از جمله در نظر گرفتن ریسک های برنامه. اگرچه ممکن است روش‌های ارزش‌یابی پیشرفته در شرکت‌های هواپیما توسط تحلیلگران مالی برای ارزش‌گذاری برنامه‌های هواپیما در آینده استفاده شود، چنین روش‌هایی مستقیماً با فرآیند طراحی فنی ادغام نمی‌شوند. نتایج یک مطالعه موردی انجام شده با استفاده از طراحی مفهومی نشان می‌دهد که بهبود در ارزش فعلی خالص مورد انتظار یک برنامه را می‌توان با ترکیب مدل‌های مالی در چارچوب بهینه‌سازی طراحی به دست آورد. تغییرات در طراحی ارزش بهینه در مقایسه با پیکربندی حداقل وزن خالص برخاست خط پایه نشان می‌دهد که تغییر هدف در بهینه‌سازی منجر به طراحی متفاوتی می‌شود و بهینه‌ساز انتخاب می‌کند تا عملکرد آیرودینامیکی را معامله کند و بنابراین قیمت هواپیما برای کاهش وزن سازه و در نتیجه هزینه هواپیما. برای این مورد، تغییرات طراحی مشاهده شده کوچک هستند، به ویژه پیپلز و ویل–کوگس با توجه به وفاداری نسبتا پایین مدل های زیرین. با این حال، روندهای کلی نشان داده شده توسط نتایج، بینش مفیدی را برای مبادله بین عملکرد و هزینه ارائه می‌دهد. نشان داده شد که ارزش فعلی خالص قطعی یک تابع هدف نامناسب برای بهینه‌سازی مبتنی بر ارزش است. ارزیابی نادرستی از ارزش یک طرح ارائه می‌شود و مهمتر از آن، بهینه‌ساز به مکان های نامطلوب در فضای طراحی هدایت می‌شود. به طور خاص، اثر انتخاب خودسرانه نرخ تنزیل تعدیل شده بر اساس ریسک، با ایجاد تصمیمات طراحی، تأثیر زیادی بر طرح حاصل دارد. تمرکز بیش از حد بر کاهش هزینه‌های توسعه کوتاه‌مدت. نمونه هایی از کاربرد طراحی بهینه چند منظوره مبتنی بر ارزش، ارزش را در طراحی گنجانده است فرآیند تنظیم محدوده و سرعت مورد نیاز تجزیه و تحلیل حساسیت بعدی یک طرح ارزش بهینه امکان تعیین کمی ریسک های تجاری مرتبط با عدم قطعیت در پارامترهای فنی و مالی فردی با اینکه نتایج کمی خاص به شدت وابسته است مورد در دست، مدل های اساسی، و مفروضات، روندهای زیر برجسته می شوند: اول، یک رویکرد مبتنی بر ارزش به طراحی بهینه چند منظوره اجازه می‌دهد تا اطلاعات کامل تری داشته باشید تصمیمات برنامه در مورد مشخصات طراحی، همانطور که مشهود است با یافته‌هایی که برد طولانی تر و سرعت های بالاتر ارائه می‌دهد کاهش بازده در ارزش – نتایج بلافاصله از آن مشخص نیست تجزیه و تحلیل فقط عملکرد دوم، تجزیه و تحلیل حساسیت نشان می‌دهد که اثرات هزینه سوخت، هزینه‌های مکرر و قیمت هواپیما بر سودآوری بلند مدت طراحی بیشترین خطر را دارد. عدم قطعیت بازار نیز منبع ریسک قابل توجهی است. با این حال، ارزش‌گذاری تصادفی بهتر می‌تواند امکان استفاده از موقعیت‌های به اصطلاح پرخطر و با پاداش بالا را در نظر بگیرد. سوم، [E-ارزش فعلی خالص] نشان می‌دهد که متحمل شدن هزینه‌ها در اوایل یک برنامه برای اطمینان از طراحی موفق، نشان‌دهنده یک استراتژی مطمئن‌تر از رفتن به بازار با طرحی است که اهداف عملکردی را از دست داده است. در مقابل، ارزش فعلی خالص قطعی به طور مداوم بر اهمیت سودآوری بلندمدت تأکید می‌کند. در نهایت، [E-ارزش فعلی خالص] تصادفی دوباره به عنوان یک معیار ارزیابی بهبود یافته نسبت به ارزش فعلی خالص قطعی نشان داده شد. هم توانایی استفاده از تنوع مطلوب برنامه و هم برای کاهش اثر بر ارزش برنامه با توجه به طراحی نامطلوب را مدل می‌کند. تاریخچه طراحی بهینه چند منظوره هواپیما در بهینه‌سازی ساختاری هوا سرچشمه گرفته است و بسیاری از جنبه های مهم

دیگر طراحی سیستم های هواپیما را در بر می‌گیرد. با این حال، سوبیشچانسکی-سوبیسکی[1] و هفتکا۲۸ [2]خاطرنشان می کنند، "هنوز موارد بسیار کمی وجود دارد که در آن سیستم های وسایل نقلیه هوافضا برای عملکرد کلی خود، از جمله هزینه به عنوان یکی از معیارهای مهم چنین عملکردی، بهینه شده باشند." معرفی ارزش تصادفی برای اندازه‌گیری هزینه، تلاش می‌کند تا این جایگاه را پر کند و کارهای مشابه انجام شده توسط دیگران را در همین راستا تکمیل کند، و می‌تواند به‌عنوان گامی جدید و ضروری به سوی هواپیمای واقعاً بهینه‌شده در نظر گرفته شود.

منابع

1. Kulatilaka, N., "Valuing the Flexibility of Flexible Manufacturing Systems," IEEE Transactions on Engineering Management, Vol. 35, No. 4, 1988, pp. 250–257.
2. Trigeorgis, L., Real Options: Managerial Flexibility and Strategy in
3. Resource Allocation, MIT Press, Cambridge, MA, 2000.
4. Markish, J., Valuation Techniques for Commercial Aircraft Program Design,Master's Thesis, Dept. of Aeronautics and Astronautics, Massachussetts Inst. of Technology, June 2002.
5. Markish, J., and Willcox, K., "Value-Based Multidisciplinary Techniques for Commercial Aircraft Design," AIAA Journal, Vol. 41, No. 10, 2003, pp. 2004–2012.
6. Wakayama, S. R., "Blended-Wing-Body Optimization Problem Setup," AIAA Paper 2000-4740, Sept. 2000.
7. Peoples, R., Value-Based Multidisciplinary Optimization for Commercial Aircraft Program Design, Master's Thesis, Dept. of Aeronautics and Astronautics, Massachussetts Inst. of Technology, June 2004.
8. Brealey, R. A., and Myers, S. C., Principles of Corporate Finance, McGraw-Hill, Irwin, NY, 1996.
9. de Neufville, R., Applied Systems Analysis, McGraw–Hill, New York, 1990.
10. Willcox, K., and Wakayama, S., "Simultaneous Optimization of a Multiple-Aircraft Family," Journal of Aircraft, Vol. 40, No. 4, 2003, pp. 616–622.
11. "Semi-Annual Jet Aircraft Value Listing," Aircraft Value News [online journal], URL: http://www.aviationtoday.com/ [cited Oct. 2001].
12. The Airline Monitor, ESG Aviation Services, Ponte Vedra Beach, FL, May 2001.
13. Cox, J. C., Ross, S. A., and Rubenstein, M., "Option Pricing: A Simplified Approach," Journal of Financial Economics, Vol. 3, No. 7, 1979, pp. 229–263.
14. Hull, J. C., Options, Futures, and Derivatives, Prentice-Hall, Upper Saddle River, NJ, 2000.

1 Sobieszczanski-Sobieski
2 Haftka28