طراحی مدل تصمیم‌گیری چند شاخصه با رویکرد AHP به منظور انتخاب بهینه سیستم ارابه فرود هواپیمای فجر-۳

عادل آذر ■
استادیار دانشگاه تربیت مدرس □□
مهدی عبدیان ■
کارشناس ارشد مدیریت صنعتی صنعت هوایی و مواد ترکیبی فجر □□

چکیده

در این مقاله سعی بر این است تا با استفاده از روشهای تصمیم‌گیری یک مدل ریاضی به منظور انتخاب بهینه ارابه فرود طراحی گردد و به علاوه، معیارهای کمی و کیفی دخیل در انتخاب ارابه فرود در مدل آورده شده، ضمن حل مدل، میزان اهمیت تک تک معیارها در انتخاب ارابه فرود برای یک هواپیمای چهار نفره به دست آید. روشی که برای حل مدل استفاده شده، تحلیل سلسله مراتبی است که در تصمیم‌گیریهای چند معیاره به کار گرفته می‌شود. حل مدل تحلیل سلسله مراتبی نشان می‌دهد که ارابه فرود ثابت فنری، بهترین گزینه از میان این گزینه‌ها است: ارابه فرود ثابت فنری، ارابه فرود ثابت تلسکوپی، ارابه فرود ثابت اهرمی، ارابه فرود جمع شونده تلسکوپی، ارابه فرود جمع شونده اهرمی.

کلید واژه‌ها: تصمیم‌گیری، تحلیل سلسله مراتبی، ارابه فرود

۱. مقدمه

هواپیما به عنوان یکی از بدیعترین اختراعات آدمی، دارای ابعاد و پیچیدگیهای گوناگون است و با توجه به اینکه ارابه فرود یکی از قسمتهای مهم آن به منظور نشست و برخاست و حرکت بر روی زمین محسوب می‌شود، انتخاب یک ارابه فرود مناسب از میان چندین نوع مختلف در کارایی و عملکرد هواپیما تأثیر بسزایی خواهد داشت و همین امر حساسیت تصمیم‌گیری در این خصوص را نشان می‌دهد.

به طور معمول در مراحل اولیه طراحی، طراح از اطلاعات آماری و تجارب گذشته سود جسته، به مرور به اطلاعات عددی و دقیق می‌رسد و سرانجام به طراحی اجزا می‌پردازد. با توجه به اینکه وسعت طراحی و پیچیدگیهای آن بسیار است و عوامل کمی و کیفی فراوانی

در آن دخیلند، ما بر آنیم که در این مقاله با تلفیق مدلهای تصمیم‌گیری به یک مدل بهینه به منظور انتخاب ارابه فرود هواپیمای فجر ۳ که توسط متخصصان ایرانی طراحی و نمونه سازی شده، دست یابیم[۱].

تصمیم‌گیری یکی از وظایف اصلی مدیریت است و دانشمندان سالیان متمادی سعی در علمی کردن فرایند تصمیم‌گیری دارند. از طرفی، طراحی به عنوان آمیزه‌ای از علم و هنر دارای مراحل سه گانه طراحی عمومی، مفهومی و اجزا است که طراح در طول این سه مرحله، تصمیمات متفاوتی را اخذ کرده، از میان چندین گزینه به ناچار یکی را انتخاب می‌کند. روش تحلیل سلسله مراتبی[1] به عنوان یک روش واجد کارایی بالا در زمینه‌های مختلف، در حل مدل ریاضی انتخاب بهینه ارابه فرود هواپیمای فجر ۳ به کار گرفته شده و امید است شروعی برای استفاده از روشهای مختلف تصمیم‌گیری در طراحی باشد.

۲. تحلیل سلسله مراتبی

ما در تصمیم‌گیری غالباً در موقعیتهای پیچیده‌ای قرار می‌گیریم و با تعداد زیادی معیار متضاد، گزینه متعدد و مشخصه نامعین روبه رو می‌شویم. ما از این گونه تصمیمات صرف نظر کرده، آنها را کنار می‌گذاریم. در بیشتر موارد، مجبوریم درعین اینکه پیچیدگی شرایط باعث عدم اطمینان زیاد در ذهن ما می‌گردد، تصمیم بگیریم. علاوه بر این، سختی ارزیابی این شرایط پیچیده با تکنیکهای تحلیلی مناسب، به معنای دسترسی به نتایجی با کیفیت پایینتر از مقدار توقع است. پیچیدگی مسائل دو منشأ دارد.

اول آنکه به ناتوانی ما در تفسیر و ایجاد ساختار برای اجزای متعدد مسأله درون چارچوبی که امکان فهم و تحلیل را آسان کند برمی‌گردد و دوم اینکه به ماهیت اجزای مسأله مربوط است که فقط تعدادی از آنها کمّی هستند و بعضی از اجزا کمی نیستند. مشکل ما به عنوان تحلیل‌گر، کشف راههایی برای ترکیب این عواملِ به ظاهر غیرقابل اندازه‌گیری، در درون یک چارچوب متعارف است. تحلیل سلسله مراتبی یکی از روشهایی است که می‌تواند هم قالب تو ساختار لازم را به مسائل بدهد و هم مشخصه‌های کمی و کیفی را ترکیب کند.

این تحلیل توسط توماس. ال. ساعتی ارائه شده و یک تئوری عمومی اندازه‌گیری برای بیان عوامل محسوس و غیرمحسوس است. در طول سالهای متمادی، این روش به عنوان یک ابزار بسیار منعطف برای تصمیم‌گیری، رشد کرده است. در زیر به مواردی از کاربرد تحلیل سلسله مراتبی اشاره می‌شود:

1. analytical hierarchy process

- ارزیابی مسیرهای منتخب برای بزرگراهها،
- استراتژیهای توسعه اقتصادی و اجتماعی،
- ارزیابی ریسک سرمایه گذاری بین المللی،
- ارزیابی مسئولان نظامی و سیاسی،
- تعیین معاهدات زیست محیطی در مورد آلاینده‌های سمی،
- تخمین نیاز نقل و انتقالات درون شهری،
- تقسیم کار میان ایستگاههای نگهبانی ریل راه آهن،
- طراحی ابزار برش فلز،
- درجه بندی برگ چای با معیارهای حسی،
- ارزیابی پروژه‌های هیدروالکتریک شرکت کرده در مناقصه،
- تصمیمات در مورد زمینهای شهری [۲].

۳. فرایند تحلیل سلسله مراتبی

الف) ایجاد درخت تصمیم‌گیری

اولین مرحله از روش تحلیل سلسله مراتبی ایجاد درخت تصمیم‌گیری است که سه مرحله با سطح و گره دارد. سطح اول در واقع، هدف کلی از تصمیم‌گیری است که فقط یک بار و در سطح بالا قرار می‌گیرد. سطح دوم یا سطح میانی شامل اهداف فرعی و معیارها است که پس از سطح اول قرار می‌گیرد. باید توجه داشت که معیارها می‌توانند به زیر معیارهای فرعی دیگری تقسیم شوند و هیچ محدودیتی برای تقسیم معیارها به زیرمعیارهای کوچکتر وجود ندارد. سطح سوم مربوط به گزینه‌هایی است که در پایینترین سطح درخت تصمیم‌گیری قرار می‌گیرد. در ترسیم درخت تصمیم‌گیری باید توجه داشت که هر سطح بالا به کلیه گروه‌های سطح پایینتر خود که مربوط به آن است، متصل باشد [۳].

اول) مقایسات زوجی [۴]

پس از از ترسیم درخت تصمیم‌گیری باید اولویتها در هر سطح مشخص شود و معیارها و گزینه‌ها با هم مقایسه زوجی شوند. برای انجام این مقایسات و تکمیل ماتریس مقایسات از مقادیر جدول ارجحیت استفاده می‌شود. از این جدول که در آن از عدد ۱ تا ۹ استفاده شده، برای تبدیل مقادیر کیفی به کمی استفاده می‌شود و مبنایی برای محاسبات اولویتها است. مقایسات زوجی براساس درخت سلسله مراتبی به بالا تهیه می‌شوند. به عبارت دیگر، گزینه‌های رقیب در سطح ۳ باید به واسطه هر یک از معیارها در سطح ۲ مورد مقایسه دو به دو قرار گیرند.

دوم) تعیین اولویتها و محاسبات [۴]

برای تعیین اولویت، از مفهوم نرمال سازی و میانگین موزون استفاده می‌شود. برای نرمال سازی، روشهای متعددی وجود دارد. در تحلیل سلسله مراتبی برای نرمال سازی اعداد جدولهای مقایسه‌ای از رابطه ۱ استفاده می‌گردد:

$$\omega_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sum_{k=1}^{n} a_{kj}} \qquad i=1,2,...,n \qquad (۱$$

که در آن ω_{ij} مؤلفه نرمال شده است. پس از نرمال سازی، از مقادیر هر سطر، میانگین موزون گرفته می‌شود. مقادیر حاصل از میانگین موزون نشان دهنده اولویت (درجه اهمیت) هر گزینه رقیب است.

جدول ۱ مقایسه زوجی تحلیل سلسله مراتبی

مقدارعددی	درجه‌اهمیت در مقایسه زوجی
۱	ترجیح یکسان
۲	ترجیح یکسان تا نسبتاً یکسان
۳	نسبتاً مرجح
۴	نسبتاً تا قویاً مرجح
۵	قویاً مرجح
۶	قویاً تا بسیار قوی مرجح
۷	ترجیح بسیار قوی
۸	بسیار تا بی‌اندازه مرجح
۹۰	بی‌اندازه مرجح

سوم) انتخاب بهترین گزینه [۴]

برای انتخاب بهترین گزینه، لازم است که مقادیر هر ردیف در جدول مقایسات زوجی، در مقادیر متناظر معیارها، ضرب شود. این محاسبه ریاضی چیزی جز میانگین موزون برای هر سیستم نیست.

چهارم) محاسبه نرخ سازگاری [۴]

λ_{max} مقیاسی برای اندازه‌گیری نرخ سازگاری بوده، اختلافش با n تعیین کننده آن است که با نرمال سازی این اختلاف به ضریب C.I. می‌رسیم؛ یعنی:

۲) جهت مقایسات فردی $\quad C.I. = \frac{\lambda_{max-n}}{n-1}$

۳) جهت مقایسات گروهی $\quad C.I. = \frac{\lambda_{max-n}}{n}$

برای این کار، ماتریس تصادفی برای nهای مختلف محاسبه، و میانگین C.I آن‌ها را «شاخص تصادفی» می‌نامند. سرانجام برای اندازه‌گیری سازگاری ماتریس مقایسات زوجی، شاخص C.R به ترتیب زیر استخراج می‌شود:

$$C.R. = \frac{C.I.}{R.I.} \qquad (۴$$

در صورتی که C.R.< O.1 باشد، سازگاری مقایسات پذیرفته می‌شود.

R.I یک شاخص تصادفی است که از جدول ۲ به دست می‌آید:

جدول ۲ شاخص سازگاری تصادفی (R.I)

N	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸
RI	۰	۰	۰	۰/۵۸	۰/۹	۱/۲۴	۱/۳۲	۱/۴۱
N	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵	-
RI	۱/۴۵	۱/۴۹	۱/۵۱	۱/۴۸	۱/۵۶	۱/۵۷	۱/۵۹	-

ب) تصمیم‌گیری گروهی به کمک تحلیل سلسله مراتب

یکی از کاربردهای مهم تحلیل سلسله مراتبی استفاده از تصمیم‌گیری گروهی است. در این روش، هر کدام از اعضای گروه تصمیم‌گیری، امتیازات خود را جداگانهً و از طریق پرسشنامه مطرح می‌کند و امتیاز نهایی گروه از میانگین هندسی این امتیازات به دست می‌آید. این روش در مواقعی که عدم توافق زیاد باشد، مناسب است. فرض کنید تصمیم گیرندگان از ۱ تا n مشخص شده و هر یک از آنان در مورد خاص به ترتیب پاسخهای $a_{ij}^{(1)}$ $a_{ij}^{(2)}$,..., $a_{ij}^{(n)}$ داده باشند و افراد گروه دارای ضریب اهمیت یکسان برای تصمیم‌گیری باشند. در این صورت، امتیاز نهایی، از طریق میانگین هندسی به دست می‌آید:

$$\bar{a}_{ij} = (a_{ij}^{(1)} \times a_{ij}^{(2)} \times ... \times a_{ij}^{(n)})^{\frac{1}{n}} \qquad (۵$$

حال در صورتی که افراد گروه دارای ضریب اهمیت یکسان نباشند و مدیریت، نظرهای افراد را با ضرایب اهمیت متفاوت در نظر داشته باشد، از فرمول زیر استفاده می‌شود [۴]:

$$\bar{a}_{ij} = (\pi^{1}_{k=1}\, a_{ij}^{\omega_k})^{\frac{1}{N}} \qquad (۶$$

ج) مطالعه موردی

در این قسمت چند مطالعه موردی از کاربرد تحلیل سلسله مراتبی ارائه می‌گردد. در یک تحقیق کاربردی به منظور انتخاب ترکیب تولید در یک واحد تولید فولاد آلیاژی از این روش استفاده شده است. با توجه به اینکه هر نوع فولاد تولیدی از جنبه‌های فنی ـ تکنولوژیک،

مالی، و بازرگانی، مزایای نسبی خود را دارد و با توجه به محدودیتهای تولیدی، مالی و بازرگانی یا اولویت مربوط به هر مقطع زمانی، ترکیب تولید را باید به گونه‌ای انتخاب کرد که علاوه بر به حداکثر رساندن سود شرکت، به سایر عوامل مرتبط و خواسته‌های مدیریت ارشد شرکت نیز توجه داشته باشد تا بدین ترتیب، بهینه‌ترین ترکیب نسبت به عوامل مورد نظر حاصل گردد. برای انجام این تحقیق، ابتدا عوامل مؤثر بر تعیین نوع فولاد در ترکیب تولید، شناسایی و سپس نقش هریک از عوامل در مورد هر یک از فولادی‌های مورد درخواست بازار، توسط تحلیل سلسله مراتبی با یکدیگر مقایسه و اولویت آنها نیز مشخص شده است. در ادامه با استفاده از روش سیمپلکس و اعمال نتایج حاصل از مرحله قبلی، مقادیر هر یک از فولادها برای تولید در برهه زمانی مورد نظر تعیین گردیده است [۵].

در مطالعه‌ای دیگر، از این روش در چیدمان یک کارخانه تولیدی استفاده شده است و با در نظر گرفتن معیارهایی چون ایمنی، صوت، سهولت نظارت، انعطاف پذیری، میزان جابه‌جایی مواد، و نیروی انسانی، یک طرح بهینه از چیدمان کارگاههای تولید به دست آمده است [۶].

مطالعه موردی دیگر، مربوط به ارزیابی شرکتهای سرمایه گذاری مادر است. شرکتهای سرمایه گذاری مادر در زمره نهادهای مالی اند که فعالیتشان سرمایه گذاری و واسطه‌گری مالی در سایر مؤسسات انتفاعی است. ارزیابی عملکرد بر اساس معیارهای متنوعی انجام می‌پذیرد که هر یک نسبت به دیگری از جنبه‌ای رجحان دارد. در این تحقیق براساس ۱۳ معیار که اغلب آنها عملکرد مدیریت را نشان می‌دهند، مسأله، مدل سازی و حل شده است [۷].

اخیراً از ترکیب روش تحلیل سلسله مراتبی و روشهای دیگر، همانند برنامه ریزی آرمانی، به نحوی مطلوب در حل مسائل استفاده می‌شود که از آن جمله می‌توان به انتخاب یک سیستم اطلاعاتی مدیریت اشاره کرد که در آن، سعی بر این است که یک سیستم اطلاعاتی مناسب از میان شش گزینه انتخاب شود. در این مطالعه با استفاده از تحلیل سلسله مراتبی و با توجه به معیارهای کمی و کیفی موجود، به اولویت بندی پروژه‌ها پرداخته، سپس با توجه به محدودیتهای منابع و اهداف چند گانه، با استفاده از برنامه ریزی آرمانی اولویتی، بهترین گزینه انتخاب شده است.

۳. تعریف مسأله و تعیین معیارهای تصمیم‌گیری

هواپیمای فجر ۳ یک هواپیمای چهار نفره با مأموریت آموزشی است که بدنه آن از جنس کامپوزیت ساخته شده است. نیروی محرکه این هواپیما توسط یک موتور پیستونی شش سیلندر که به یک ملخ سه پره متصل است. تأمین می‌گردد. برد این هواپیما ۷۰۰ کیلومتر

است و از آن می‌توان در گشت زنی هوایی در مرزهای کشور سود جست. همچنین به علت وجود شهرهای صنعتی در اطراف پایتخت می‌توان از آن برای حمل و نقل هوایی بین مراکز صنعتی نیز بهره برد.

جدول ۳ مشخصات فنی هواپیمای فجر

هواپیمای چهار نفره از نوع چند منظوره	
موتور	شش سیلندر با توان ۲۷۰ اسب بخار
ملخ	سه پره به قطر ۲ متر
عرض بال	۱۰/۵۰ متر
طول هواپیما	۸/۰۷ متر
ارتفاع	۳/۰۵ متر
فاصله چرخهای اصلی	۲/۰۸ متر
فاصله چرخ جلو از چرخهای اصلی	۱/۷۸ متر
وزن نشست و برخاست	۱۵۸۰ کیلوگرم
سرعت گشت زنی	۱۶۰ نات
سرعت فرود	۷۶ نات
حداکثر سقف پرواز عملیاتی	۱۵۰۰۰ پا
جلوترین موقعیت مرکز ثقل	%25 MAC
عقب‌ترین موقعیت مرکز ثقل	%36 MAC

هواپیمای مزبور توسط متخصصان ایرانی طراحی و نمونه سازی گردیده و هم اکنون گواهینامه صلاحیت پروازی از سازمان هواپیمای کشوری دریافت کرده است. در فاز دوم برنامه ریزی آتی شرکت، مدیریت در نظر دارد که قیمت تمام شده هواپیما را تقلیل دهد تا قابل رقابت با انواع خارجی باشد و همچنین مجموعه هایی همانند ارابه فرود را که از خارج تأمین شده طراحی و نمونه سازی کند. با توجه به اینکه ساخت ارابه فرود نیاز به فناوری بالا دارد و نیازمند آزمایشهای فراوان به منظور دریافت تأییدیه است، تصمیم‌گیری در مورد انواع ارابه فرود که ساخت آنها با توجه به امکانات و بودجه موجود، در ایران عملی باشد و در کمترین زمان ممکن بتوان به آن دست یافت واجد اهمیت است. سعی بر این است که با حداقل سرمایه گذاری بتوان به نمونه سازی پرداخت تا قیمت تمام شده، رقم معقولی باشد.

چیدمانی که برای ارابه‌های فرود – با توجه به کلاس هواپیما – در نظر گرفته شده نوع سه چرخه است و با توجه به اینکه طراحی و ساخت ارابه فرود یکی از وظایف گروه سیستم

محسوب می‌شود، انتخاب و طراحی آن به این گروه واگذار شده است. انتخاب نوع ارابه فرود در مرحله طراحی عمومی صورت می‌پذیرد و پس از معلوم شدن نوع آن و موقعیت چرخها در روی هواپیما، طراحی اجزای آن شروع خواهد شد. این مسأله دارای پنج گزینه است که به ترتیب عبارتند از [۸،۹،۱۰]:

۱. ارابه فرود ثابت فنری،
۲. ارابه فرود ثابت تلسکوپی،
۳. ارابه فرود ثابت اهرمی،
۴. ارابه فرود جمع شونده تلسکوپی،
۵. ارابه فرود جمع شوند اهرمی.

هر کدام از این گزینه‌ها دارای مزایا و معایبی است و برتریهای نسبت به یکدیگر دارد و باید از میان این پنج گزینه یک نوع را انتخاب کرد. معیارهایی که برای مقایسه این گزینه‌ها وجود دارند به سه گروه اصلی معیارهای طراحی، بهره برداری و ساخت تقسیم می‌شوند که هر کدام دارای زیر معیارهایی است که در ادامه مطالب به آنها اشاره می‌شود.

الف) معیارهای طراحی

این گروه معیارها شامل مواردی می‌شود که به طور مستقیم در ترکیب و کارایی ارابه فرود و پیرو آن، هواپیما، تأثیر دارند. پارامترهای طراحی، نقطه مقابل هزینه‌اند و هر قدر به نقاط بالاتری از درجه مطلوبیت دست پیدا کنیم، هزینه بیشتری باید بپردازیم. می‌دانیم که بعضی از پارامترها کمی اند که می‌توان برای آنها یک عدد دقیق به دست آورد، ولی تعیین این مقدار مربوط به مراحل بعدی میسر است و در این مرحله از طراحی که ما به دنبال انتخاب یک نوع از ارابه فرود هستیم. با کلیات مسأله سرو کار خواهیم داشت.

می‌دانیم که هزینه ساخت ارابه فرود ثابت، به علت تعداد کمتر قطعات، کمتر از ارابه فرود جمع شونده است، ولی مقدار این پارامتر کمّی، در حال حاضر قابل محاسبه نیست و برای همین آن را به صورت کیفی بررسی می‌کنیم؛ زیرا معیارهایی که در بخش طراحی مطرح هستند، عبارتند از [۱۱،۱۲،۱۳،۱۴]:

۱. ضریب پسا،
۲. وزن ارابه فرود،
۳. تأثیر بر مرکز نقل،
۴. پایداری زمینی،
۵. قابلیت هدایت زمینی،

۶. ضریب امیدواری ارابه فرود،
۷. واکنش در مقابل نوسانات زمینی،
۸. نیاز به سیستم جمع کننده.

ب) معیارهای بهره برداری

معیارهای بهره برداری شامل مواردی می‌شوند که با شرایط کارکردی هواپیما در ارتباطند و نقش تعیین کننده‌ای در انتخاب ارابه فرود دارند. این معیارها به میزان سرمایه‌گذاری در زمینه طراحی و ساخت فرود باز می‌گردد و در این خصوص عبارتند از:

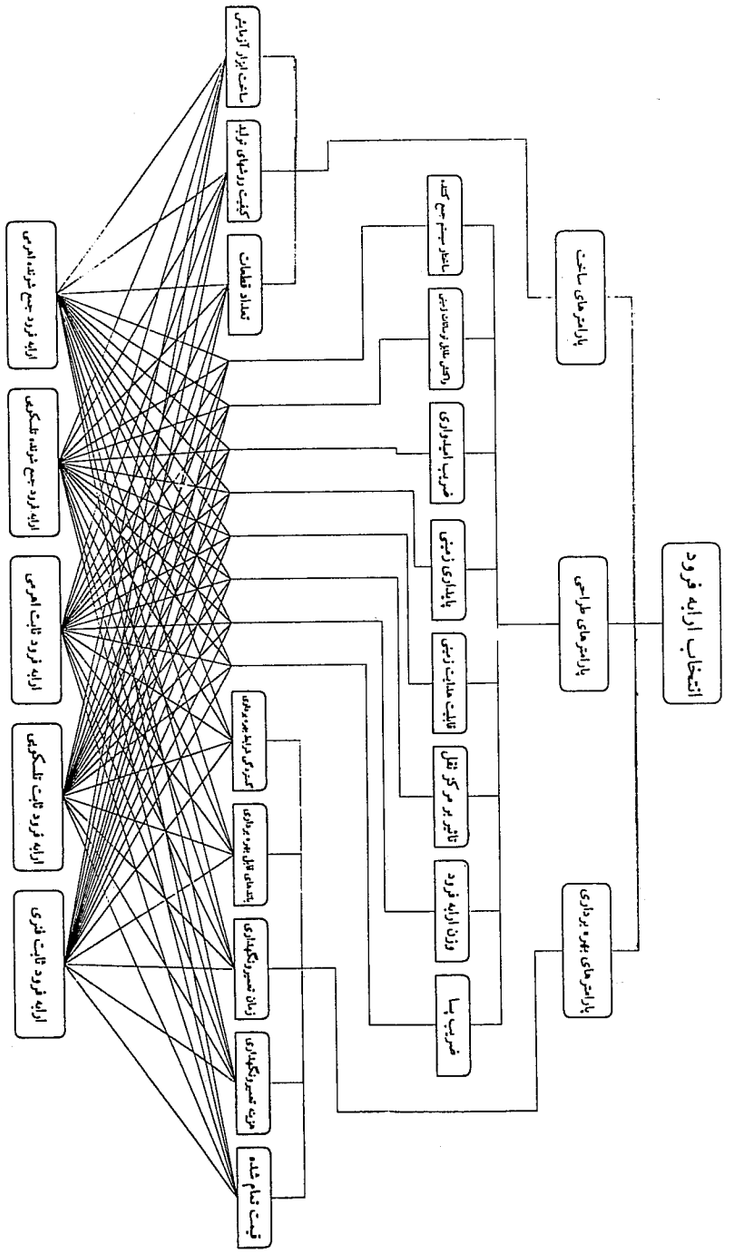
۱. قیمت تمام شده،
۲. هزینه تعمیر و نگهداری،
۳. زمان تعمیر و نگهداری،
۴. باندهای قابل بهره برداری،
۵. گستردگی شرایط بهره برداری.

همان طور که از نام این معیارها بر می‌آید، هزینه‌ای که استفاده از هر گزینه دارد و میزان تخصصی که برای به کارگیری آنها لازم است، در این قسمت مورد بررسی قرار می‌گیرد. سادگی تعمیرات و نگهداری و تأثیراتی که هر کدام بر باند فرودگاهها می‌گذارد از جمله مواردی است که در بهره برداری از آنها باید مورد توجه قرار گیرند [۱۵، ۱۶،۱۷].

ج) معیارهای ساخت

این معیارها شامل آن دسته از عوامل تکنولوژیک می‌شوند که در ساخت و آزمون ارابه فرود مطرحند. این عوامل شاید برای کشوری که در آن ارابه فرود ساخته می‌شود و صنعت هوایی رونق دارد، از اهمیت چندانی برخوردار نباشند، ولی با توجه به اینکه در حال حاضر در کشور ما صنعت هوایی و سرمایه گذاری در این باره زیاد نیست، اهمیت دارد و درگیر محدودیتهایی است که ما از لحاظ تکنولوژیک با آنها رو به رو هستیم. برای مثال استفاده از روش ریخته گری دقیق آلومینیوم و یا فورجینگ نیاز به سرمایه گذاری بالا دارد و شاید به علت زمان بری زیاد، مدیریت را از سرمایه گذاری منصرف سازد و یا استفاده از مواردی چون تیتانیوم که به راحتی نمی‌توان آن را تهیه کرد، پروژه را تحت الشعاع قرار دهد. معیارهایی که در این بخش مطرح هستند، عبارتند از:

۱. تعداد قطعات،
۲. کیفیت روشهای تولید،
۳. ساخت ابزار آزمایش [۱۸، ۱۹].



شکل ۱ درخت تصمیم انتخاب ارابه فرود هواپیمای فجر ۳

۴. حل مدل و تجزیه و تحلیل داده‌ها

الف) تهیه پرسشنامه

به منظور حل مسأله، ابتدا با توجه به مشخص شدن معیارها در گام اول، درخت تصمیم‌گیری ترسیم می‌شود که مطابق شکل ۱ است. هدف که همان انتخاب ارابه فرود است، در سطح اول درخت تصمیم‌گیری قرار می‌گیرد. سپس در سطح دوم، معیارهای انتخاب قرار دارند که در دو سطح معیارهای اصلی و زیر معیارها تعریف شده‌اند و سرانجام سطح آخر مربوط به گزینه‌های رقیب است. گام بعدی برای حل مدل، تهیه پرسشنامه و گردآوری اطلاعات است که برای این منظور از پنج کارشناس متخصص - که کمیته فنی پروژه را تشکیل می‌دهند - نظرخواهی شده است که عبارتند از: سرطراح، کارشناس طراحی عمومی هواپیما، دو کارشناس طراحی سیستم و یک کارشناس تعمیر و نگهداری هواپیما. پرسشنامه از هفت بخش تشکیل شده که در بخش اول آن و براساس دستور العمل تحلیل سلسله مراتبی از پایین درخت تصمیم‌گیری شروع کرده، به مقایسه زوجی گزینه‌های رقیب بر اساس سطح بالایی که همان پارامترهای مربوط به زیرمعیارهای طراحی است، می‌پردازیم. در بخش دوم، گزینه‌های رقیب براساس زیرمعیارهای بهره‌برداری مورد مقایسه قرار می‌گیرند. در بخش سوم، همین مقایسه‌ها با توجه به زیر معیارهای ساخت صورت می‌گیرد. در بخش چهارم، میزان اهمیت و تأثیر زیر معیارهای طراحی در شاخه طراحی به صورت دو به دو مورد مقایسه قرار می‌گیرد. در بخش پنجم، اهمیت زیر معیارهای بهره‌برداری در شاخه بهره‌برداری معین می‌شود. در بخش ششم، پارامترهای ساخت را مورد ارزیابی قرار می‌دهیم و سرانجام در بخش هفتم، همان‌طور که در درخت تصمیم‌گیری مشخص است، میزان اهمیت و تأثیر معیارهای اصلی در انتخاب ارابه فرود مشخص می‌شود.

حسب توضیحات ارائه شده ۲۰ جدول مقایسات زوجی خواهیم داشت که به‌شکل زیرند:

جدول ۴ اولویت گزینه‌های رقیب براساس هزینه تعمیر و نگهداری

هزینه تعمیر و نگهداری	ثابت‌فنری	ثابت‌تلسکوپی	ثابت‌اهرمی	جمع‌شونده تلسکوپی	جمع‌شونده اهرمی
ارابه‌فرودثابت‌فنری					
ارابه‌فرودثابت‌تلسکوپی					
ارابه‌فرودثابت‌اهرمی					
ارابه‌فرودجمع‌شونده‌تلسکوپی					
ارابه فرود جمع‌شونده اهرمی					

ماتریس بالا مربوط به مقایسه گزینه‌های رقیب بر اساس معیار هزینه تعمیر و نگهداری است. ماتریس مقایسات زوجی همواره مثبت و معکوس است، بدین توضیح که اگر ترجیح گزینه ۱ نسبت به گزینه ۲ برابر ۵ باشد، ترجیح گزینه ۲ نسبت به ۱ برابر ۱/۵ خواهد بود که این، امر باعث می‌شود ماتریس مقایسات زوجی همواره مثبت و معکوس به دست آید و قطر ماتریس همواره ۱ باشد؛ چرا که میزان ترجیح یک گزینه نسبت به خودش همواره برابر ۱ است.

ب) ترکیب جداول مقایسات زوجی

پس از جمع آوری پرسشنامه‌ها، ابتدا ضریب اهمیت آرای اعضا از طریق تحلیل سلسله مراتبی و با نظر مدیریت به دست می‌آید که پس از نرمال کردن، میزان اهمیت آرای اعضا به صورت زیر تعیین می‌گردد:

جدول ۵ ضریب اهمیت آرای اعضا

سرطراح	کارشناس‌طراحی‌عمومی	کارشناس‌اول‌سیستم	کارشناس‌دوم‌سیستم	کارشناس‌تعمیر‌ونگهداری
۰/۳۸۸۸	۰/۱۰۸۲	۰/۲۶۹۲	۰/۱۶۶۳	۰/۰۶۷۵

حال با توجه به مشخص شدن ضریب اهمیت آرای اعضا، به ترکیب جدولهای مقایسه‌ای اعضای گروه می‌پردازیم که برای این امر از فرمول ۶ استفاده می‌شود. برای مثال خانه X_{12} از ماتریس مقایسات زوجی مربوط به پرسشنامه میزان اولویت گزینه‌های رقیب براساس هزینه تعمیر و نگهداری به صورت زیر خواهد بود:

$$X_{12}=(5)^{0.3888}*(3)^{0.1082}*(4)^{0.2692}*(5)^{0.1663}*(8)^{0.0675}=4.5989$$

این عدد نشان دهنده آن است که طبق جدول ۴ میزان اولویت ارابه فرود ثابت فنری نسبت به ارابه ثابت تلسکوپی ـ با توجه به معیار هزینه تعمیر و نگهداری ـ برابر ۴/۵۹۸۹ است و بدین ترتیب، جدول ترکیبی مربوط به هزینه تعمیر و نگهداری به صورت زیر به دست می‌آید و سرانجام با ترکیب این جداول ۲۰ جدول ترکیبی از نظریات اعضای کمیته فنی خواهیم داشت که این یکی از مزیتهای رویکرد تحلیل سلسله مراتبی است که به کمک آن نظر تک تک اعضا با در نظر گرفتن میزان اهمیت رأی آنها در مدل اعمال می‌شود.

ج) استخراج اولویتها از جداول مقایسه گروهی

برای تعیین اولویتها از فرمول ۱ استفاده می‌شود برای مثال، مقادیر نرمال شده جدول ۶ به

صورت زیر تبدیل خواهند شد:

جدول ۶ جدول مقایسه زوجی ترکیبی

هزینه‌تعمیرونگهداری	ثابت‌فنری	ثابت‌تلسکوپی	ثابت‌اهرمی	جمع‌شونده‌تلسکوپی	جمع‌شونده‌اهرمی
ارابه‌فرودثابت‌فنری	۱/۰۰۰	۴/۵۹۸۹	۵/۱۶۴۴	۷/۷۲۳۰	۷/۷۱۷۵
ارابه‌فرودثابت‌تلسکوپی	۰/۲۱۷۴	۱/۰۰۰	۱/۶۴۰۰	۳/۹۲۳۱	۴/۵۲۵۵
ارابه‌فرودثابت‌اهرمی	۰/۱۹۳۶	۰/۶۰۹۸	۱/۰۰۰	۳/۲۰۸۷	۳/۷۳۹۸
ارابه‌فرودجمع‌شوندتلسکوپی	۰/۱۲۹۵	۰/۲۵۴۹	۰/۳۱۱۷	۱/۰۰۰	۱/۶۴۰۰
ارابه‌فرودجمع‌شوندهاهرمی	۰/۱۲۹۶	۰/۲۲۱۰	۰/۲۶۷۴	۰/۶۰۹۸	۱/۰۰۰

جدول ۷ مقادیر نرمال شده جدول ترکیبی مقایسات زوجی

هزینه‌تعمیرونگهداری	ثابت‌فنری	ثابت‌تلسکوپی	ثابت‌اهرمی	جمع‌شونده تلسکوپی	جمع‌شونده اهرمی	اولویت
ارابه‌فرودثابت‌فنری	۰/۵۹۸۸	۰/۶۸۸۰	۰/۶۱۶۰	۰/۴۶۹۱	۰/۴۱۴۴	۰/۵۵۷۲
ارابه‌فرودثابت‌تلسکوپی	۰/۱۳۰۲	۰/۱۴۹۶	۰/۱۹۵۶	۰/۲۳۸۳	۰/۲۴۳۰	۰/۱۹۱۳
ارابه‌فرودثابت‌اهرمی	۰/۱۱۵۹	۰/۰۹۱۲	۰/۱۱۹۳	۰/۱۹۴۹	۰/۲۰۰۸	۰/۱۴۴۴
ارابه‌فرودجمع‌شونده‌تلسکوپی	۰/۰۷۷۵	۰/۰۳۸۱	۰/۰۳۷۲	۰/۰۶۰۷	۰/۰۸۸۱	۰/۰۶۰۳
ارابه‌فرودجمع‌شونده‌اهرمی	۰/۰۷۷۶	۰/۳۳۱	۰/۰۳۱۹	۰/۰۳۷۰	۰/۰۵۳۷	۰/۰۴۶۷
						۱/۰۰۰۰

پس از نرمال کردن، از مقادیر هر سطر، میانگین موزون گرفته می‌شود که این مقادیر، نشان دهنده اولویت هر گزینه رقیب بر اساس معیار مورد سنجش است که در این جدول همان هزینه و تعمیر و نگهداری است، که مقادیر آن در ستون آخر جدول ۷ تحت عنوان «اولویت» مشخص شده است.

د) انتخاب بهترین گزینه

برای مشخص شدن اولویت نهایی هر گزینه، کافی است مقادیر هر ردیف از جدول مقایسات زوجی ـ که همان اولویتهایند ـ در ضرایب اولویت سطح بالایی ضرب شوند. این بدان معنا است که سرانجام ماتریسی به دست می‌آید که سطرهای آن شامل گزینه‌های‌رقیب بوده، ستونهایش به ۱۶ زیر معیار سطح بالایی گزینه‌های رقیب در درخت تصمیم‌گیری مربوط است و هر خانه از این ماتریس از حاصلضرب مقادیر زیر به دست می‌آید:

X_{mn}=(میزان‌اهمیت‌معیار اصلی در انتخاب ارابه فرود) x (میزان اهمیت زیر معیار n در شاخه معیار اصلی)x(میزان اهمیت گزینه m نسبت به معیار n)

حال برای مشخص کردن میزان اولویت نهایی، کافی است که مقادیر به دست آمده در هر سطر با هم جمع شده، بدین طریق اولویت مربوط به گزینه آن سطر معین گردد. نتایج حل

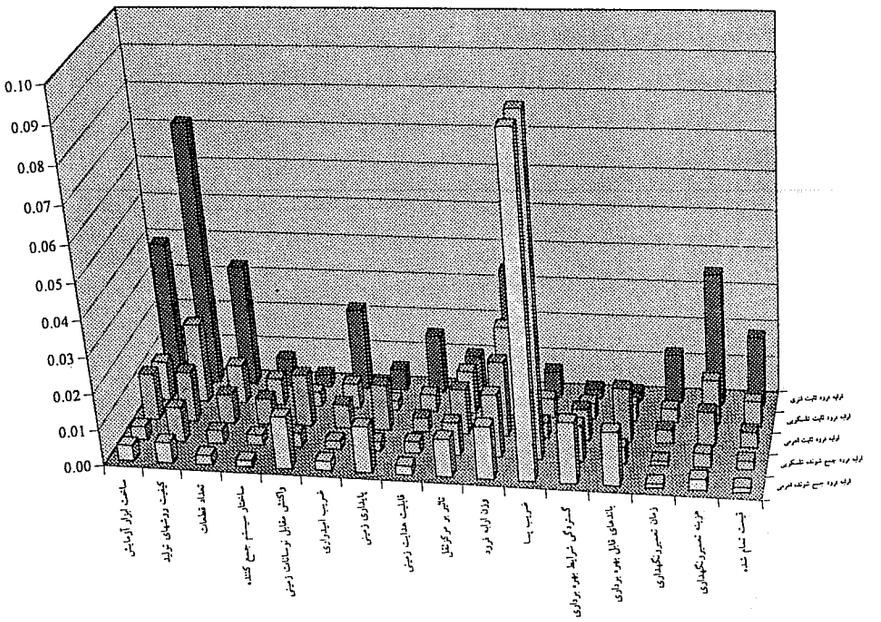
مدل و میزان تأثیر معیارها در انتخاب مدل در جدول ۸ آورده شده و نمودار ۱ نشان دهنده این مقادیر است.

جدول ۸ میزان تأثیر تک تک عوامل در مدل و انتخاب بهترین گزینه

ارابه‌فرود	ارابه‌فرود ثابت‌فنری	ارابه‌فرود ثابت‌تلسکوپی	ارابه‌فرود ثابت‌اهرمی	ارابه‌فرود جمع‌شونده‌تلسکوپی	ارابه‌فرود جمع‌شونده‌اهرمی
قیمت تمام شده	۰/۰۱۸۹	۰/۰۰۶۸	۰/۰۰۴۲	۰/۰۰۲۳	۰/۰۰۱۴
هزینه تعمیرونگهداری	۰/۰۳۵۵	۰/۰۱۲۲	۰/۰۰۹۲	۰/۰۰۳۸	۰/۰۰۳۰
زمان‌تعمیر و نگهداری	۰/۰۱۳۲	۰/۰۰۳۸	۰/۰۰۳۸	۰/۰۰۱۲	۰/۰۰۱۱
باندهای‌قابل‌بهره‌برداری	۰/۰۰۲۲	۰/۰۰۴۵	۰/۰۱۴۷	۰/۰۰۴۴	۰/۰۱۴۵
گستردگی‌شرایط‌بهره‌برداری	۰/۰۰۲۶	۰/۰۰۴۵	۰/۰۰۸۵	۰/۰۰۹۹	۰/۰۱۶۶
ضریب پسا	۰/۰۰۷۲	۰/۰۰۵۲	۰/۰۰۴۲	۰/۰۹۰۶	۰/۰۹۰۶
وزن ارابه فرود	۰/۰۳۴۹	۰/۰۲۴۶	۰/۰۲۰۵	۰/۰۱۷۲	۰/۰۱۴۴
تأثیر بر مرکز ثقل	۰/۰۱۰۶	۰/۰۱۱۸	۰/۰۱۲۴	۰/۰۰۸۹	۰/۰۱۰۴
قابلیت هدایت زمینی	۰/۰۱۵۹	۰/۰۰۴۸	۰/۰۰۴۰	۰/۰۰۳۱	۰/۰۰۲۴
پایداری زمینی	۰/۰۰۶۰	۰/۰۰۲۶	۰/۰۱۲۷	۰/۰۰۲۶	۰/۰۱۲۷
ضریب امیدواری	۰/۰۲۲۳	۰/۰۰۶۹	۰/۰۰۶۷	۰/۰۰۲۳	۰/۰۰۲۷
واکنش‌مقابل‌نوسانات‌زمینی	۰/۰۰۳۴	۰/۰۰۴۰	۰/۰۱۴۵	۰/۰۰۴۰	۰/۰۱۴۴
ساختارسیستم‌جمع‌کننده	۰/۰۰۷۵	۰/۰۰۷۵	۰/۰۰۷۴	۰/۰۰۲۹	۰/۰۰۱۸
تعداد قطعات	۰/۰۳۳۵	۰/۰۱۰۷	۰/۰۰۸۱	۰/۰۰۳۶	۰/۰۰۲۶
کیفیت روشهای تولید	۰/۰۷۲۲	۰/۰۲۲۰	۰/۰۱۴۰	۰/۰۰۹۷	۰/۰۰۵۷
ساخت ابزار آزمایش	۰/۰۲۹۱	۰/۰۱۰۹	۰/۰۱۲۹	۰/۰۰۳۷	۰/۰۰۴۴
اولویت گزینه‌های رقیب	۰/۳۲۴۹۰	۰/۱۴۲۷۰	۰/۱۵۷۷	۰/۱۷۰۳	۰/۱۹۸۴

گام نهایی، به دست آوردن نرخ سازگاری است که برای به دست آوردن آن از نرم‌افزار کری تریوم[1] استفاده شده و مقادیر مربوط به ماتریس مقایسات زوجی همگی باشرط C.R. <0.1 مطابقت دارند.

1. Criterium



نمودار ۱ میزان تأثیر معیارهای انتخاب در تعیین اولویت گزینه‌های رقیب

تمامی مراحل حل مدل به کمک نرم افزارهای کری تریوم و اکسل[1] قابل انجام است و به کمک آنها می‌توان نمودارهای لازم برای بررسی بیشتر نتایج به دست آمده از حل مدل و بررسی اهمیت معیارها را تهیه کرد.

۵. نتیجه‌گیری

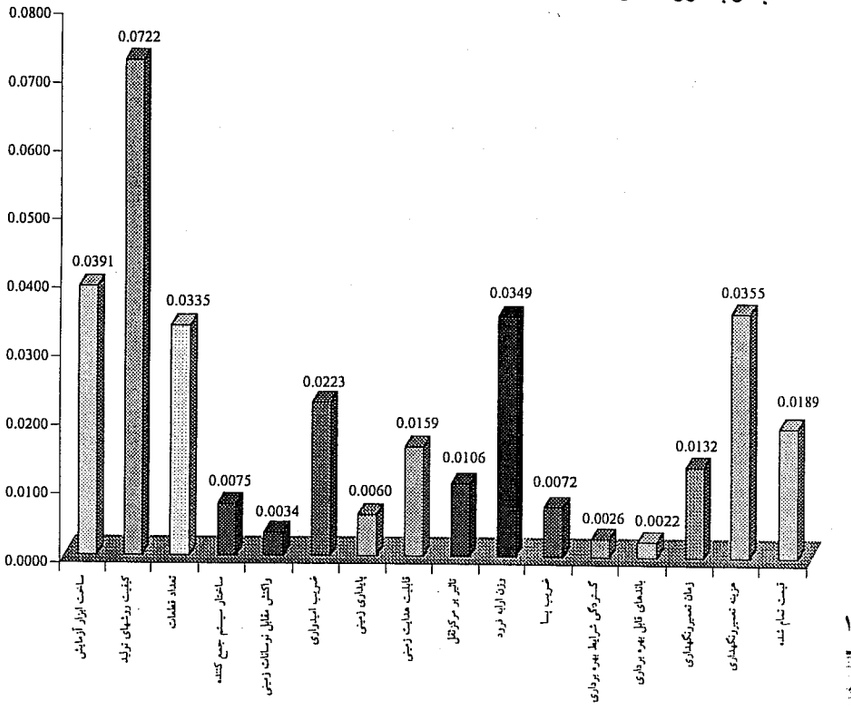
۱. ارابه فرود ثابت فنری با ضریب اولویت ۰/۳۲۴۹ انتخاب می‌شود و سایر گزینه‌ها به ترتیب اولویت، طبق جدول ۸ مشخص می‌شوند.

۲. ضریب اهمیتِ تک تک عوامل دخیل در طراحی ارابه فرود به دست آمده و نتایج مبین آن است که پارامترهای طراحی نسبت به سایر عوامل از اهمیت بیشتری برخوردارند و با ضریب اهمیت ۰/۵۳۸۳ نسبت به دو گروه دیگر از عوامل تعیین کننده برتری دارند.

۳. کیفیت روشهای تولید با ضریب اهمیت ۰/۰۷۲۲ دارای ۲۲ درصد تأثیر در انتخاب ارابه فرود بوده، به عنوان مهمترین پارامتر انتخاب شده که حاکی از اهمیت روشهای

1. Excel

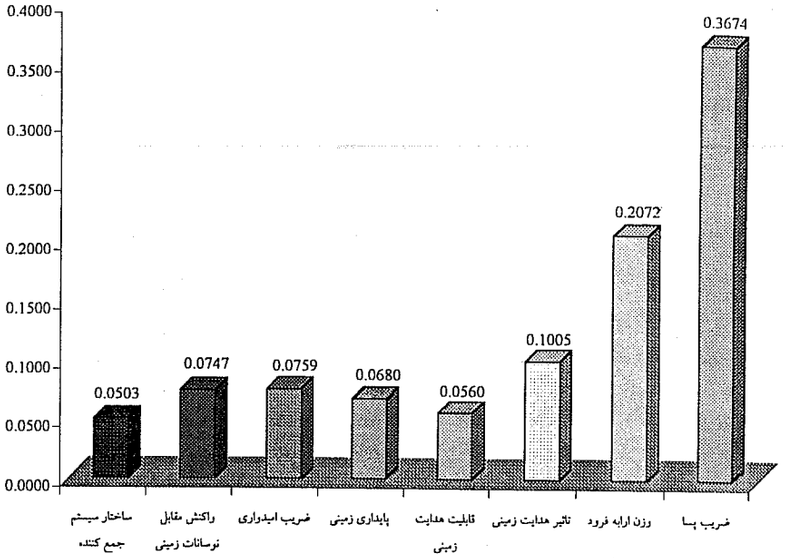
انتخابی در ساخت ارابه فرود است و این به علت امکانات کم تکنولوژیک در ساخت ارابه فرود است. معیار باندهای قابل بهره برداری با ضریب اولویت ۰/۰۰۲۲ و ۱ درصد تأثیر در انتها قرار داشته، کمترین اهمیت را دارد و این بدان علت است که معمولاً هواپیماها در ایران در فرودگاه‌های استاندارد، نشست و برخاست می‌کنند و به علت عدم استفاده از فرودگاههای غیر استاندارد ـ همانند باندهای چمنی یا خاکی ـ این عامل تأثیر چندانی بر انتخاب ارابه فرود ندارند.



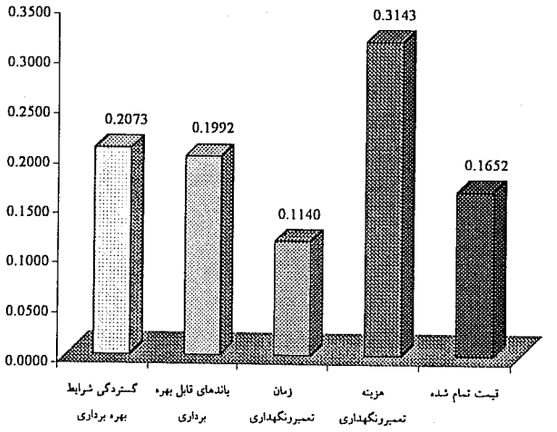
نمودار ۲ میزان تأثیر معیارهای انتخاب در تعیین اولویت ارابه فرود ثابت فنری

۴. بیشترین وزن ـ همان طور که از نمودار ۱ مشخص است ـ به ساخت تعلق دارد که این به سرمایه گذاری اولیه مورد نیاز در مورد ساخت ارابه فرود بازمی‌گردد و با توجه به اینکه شرکت صنعت هوایی و مواد ترکیبی فجر یک شرکت تحقیقاتی محسوب می‌شود، اولویت پارامترهای نیازمند به سرمایه گذاری اولیه بیشتر می‌شود.

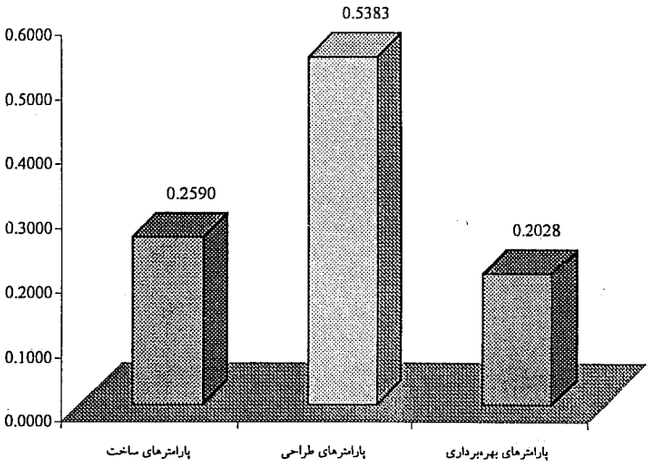
۵. در زیر گروه پارامترهای طراحی، ضریب پسا با اولویت ۳۶ درصد دارای بیشترین



نمودار ۳ میزان اهمیت زیرمعیارهای طراحی در شاخه طراحی



نمودار ۴ میزان اهمیت زیرمعیارهای بهره‌برداری در شاخه بهره‌برداری



نمودار ۵ میزان اهمیت زیرمعیارهای بهره‌برداری در شاخه بهره‌برداری

اهمیت است که نشان می‌دهد این ضریب تأثیر بسزایی در عملکرد و کارایی هواپیما دارد و ساختار سیستم جمع کننده با اولویت ۵ درصد کمترین اهمیت را پیدا می‌کند.

۶. در بخش پارامترهای بهره برداری، هزینه تعمیر و نگهداری با اهمیت ۳۱ درصد نسبت به سایر عوامل برتری دارد و زمان تعمیر و نگهداری با ۱۱ درصد ضریب اهمیت در پایین‌ترین نقطه است.

۷. در میان پارامترهای ساخت، کیفیت روشهای تولید دارای بالاترین ضریب اهمیت (۴۸٪) است و دو معیار دیگر از توزیع یکسان برخوردارند (۲۵٪ و ۲۷٪)

۸. از میان سه معیار اصلی در طراحی ارابه فرود، پارامترهای طراحی با اهمیت ۵۴ درصد و پارامترهای ساخت با اهمیت ۲۰ درصد دارای بیشترین و کمترین اولویتند.

۶. پیشنهادها

استفاده از مدلهای تصمیم‌گیری در بخش طراحی، مکمل خوبی برای انتخاب انواع سیستمها است و این امکان را به وجود می‌آورد که با استفاده از آنها به اشاعه فرهنگ مدیریت علمی بپردازیم. در بخشهای مختلفی می‌توان از این مدلها سود جست که از آن جمله می‌توان به انتخاب موتور برای هواپیما با توجه به پارامترهایی چون سوخت مصرفی، میزان قدرت، هزینه تعمیر و نگهداری، زمان تعمیران اساسی، و مراکز تعمیرات

اساسی اشاره کرد.

انتخاب ملخ، انتخاب سیستم آلات دقیق و نشان دهنده‌ها، انتخاب یک هواپیمای مناسب برای ناوگان ترابری هوایی کشور و در یک حالت آرمانی، انتخاب بهترین ترکیب برای هواپیما ـ با توجه به خواسته‌های مشتری ـ از موارد دیگری هستند که می‌توان در مورد آنها از مدلهای تصمیم‌گیری استفاده کرد.

با توجه به اینکه انتخاب پارامترهای مؤثر بر مدل بسیار مهم است، در طراحی مدل سعی گردد که دقت زیادی صرف این امر شود و همه عوامل به حساب آیند. درک صحیح کارشناسان از ساختار مدل و روش تصمیم‌گیری، در جواب تأثیر بسزایی دارد و همین امر موجب می‌شود که قبل از هر چیز، کاملاً آنها را با مدلهای تصمیم‌گیری آشنا و از نظر هایشان در مورد ساختار مدل استفاده ببریم تا بر دقت و کارایی بیشتر مدل افزوده شود.

۷. منابع

[۱] صدرایی، محمد هاشم، مکانیک پرواز، تهران، دانشگاه امام حسین، ۱۳۷۷.

[2] Wedley, William, «Combining Qualitative and Quantitative Factors and Analytic Hierarchy Approach», *Socio – Econ. Plann Sciences*, Vol. 24, No. 1, PP. 57–64.

[۳] آذر، عادل، و منصور مؤمنی، آمار و کاربرد آن در مدیریت، ج ۱، چ ۲، تهران، ۱۳۷۷.

[۴] آذر، عادل، و عزیزا... معماریانی، «AHP تکنیکی نوین برای تصمیم‌گیری گروهی»، دانش مدیریت، ش ۲۷ و ۲۸، ص ۳۲ ـ ۲۲.

[۵] نشاطی، محمدحسین، «بهینه کردن ترکیب تولید در یک واحد فولاد آلیاژی با استفاده از روش AHP»، صنایع، ش ۲،ص ۶۶ـ۵۹.

[۶] پرتویی، فریبرز و فرنوش باقری، «کاربرد AHP در جانمایی تجهیزات»، صنایع، ش ۱ و ۲، ص۶۲ـ۵۸.

[۷] دارابی، هوشنگ، «تصمیم‌گیری به کمک AHP»، صنایع، ش ۳،ص ۲۴ـ۱۵.

[8] Currey, Norman, *Aircraft Landing Gear Design: Principles and practices*, 2nd edition, USA, AIAA, 1988.

[9] _____ , *Landing Gear Design Handbook*, USA, Lockgeed Co., 1982.

[10] Pazmany, Ladislao, *Landing Gear Design for Light Aircraft*, Vol. 1, USA, Pazmany Aircrafft Corporation, 1986.

[11] *Engineering Sciences Data Unit*, No. 96015.

[12] Roskam, Jan, *Airpane Design*, Vol. 4, USA, Roslam Aviation and Engineering Co., 1986.

[13] Roskam, Jan, *Airplane Design*, Vol. 5, USA, Roskam Aviation and Engineering Co., 1986.

[14] Torenbeek, Egbert, *Synthesis of subsonic airplane design*, USA, Delft University Press, 1976.

[15] Delp, Frank, *Aircraft Maintenance and Repair*, 5th ed., USA, McGrawhill, 1991.

[16] Saderson, *A & P, Technician Airframe Textbook*, Colorado, Jeppesen Sanderson, 1995.

[17] _____ , *Private Pilot's Manual*, Canada, Jeppesen Sanderson, 1998.

[18] Young, D, *Aircraft Landing Gears - The Past, Present and Future,* USA, SAE, 1986.

[19] Tanner, John, *Aircraft Landing Gear systems*, USA, Society of Automotive Engineers, 1990.