20.1001.1.28212606.1403.7.3.2.4

فصلنامهٔ آماد و فناوری دفاعی، سال هفتم، شماره ۳ (پیاپی ۲۳)، پاییز ۱۴۰۳

تبیین آمادگی عملیاتی بالگرد با استفاده از بهینه‌سازی مالی برنامه‌ریزی پرواز، نگهداری و تعمیرات فنی به روش الگوریتم ژنتیک (مطالعه در یک سازمان پروازی)

محمود تقی‌زاده[۱] حسن قدرتی[۲] علی‌اکبر فرزین‌فر*[۳] حسین جباری[۴] میثم عرب‌زاده[۵]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۱/۲۳ **پذیرش مقاله: ۱۴۰۳/۰۳/۲۲**

چکیده

پژوهش حاضر با هدف تبیین الگوی آمادگی عملیاتی در صنایع بالگردی با استفاده از بهینه‌سازی مالی به روش الگوریتم ژنتیک برای تعیین هزینه پرواز، جهت اجرای برنامه‌ریزی پروازی، نگهداری و تعمیرات فنی، بر اساس مؤلفه‌های اصلی: «در دسترس بودن»، «قابلیت سرویس‌دهی» و «پایدار بودن»، شناسایی و احصاء پارامترهای موثر در تعیین هزینه ساعت پرواز برابر مدل مفهوم F.M.P و تبدیل آن به زبان ریاضی با استفاده از روش تحقیق برنامه‌نویسی به‌صورت معادلات و ماتریس‌های معین و نامعین، به مقادیر زیادی تبدیل و در نرم‌افزار متلب با اصلاحات فرا ابتکاری احصاء شد، مدل‌سازی گردید و کمینه داده‌ها به‌دست آمده است. سپس نتایج اطلاعات حاصل شده، جهت بهینه‌سازی و اطمینان از مقدار به‌دست آمده با استفاده از شیوه الگوریتم ژنتیک شبیه‌سازی شد و در نهایت هزینه یک ساعت پرواز برابر واحد آن (ریال، دلار و...) معیین گردید. از طرفی با مطالعه موردی در یک سازمان پروازی و استفاده از نظرات خبرگان، اساتید و صاحب‌نظران و مقایسه عملکرد چند سایت پروازی مبتنی بر مبانی نظری، تجربیات گذشته به روش توصیفی-تحلیلی صورت گرفته است. در پایان با بررسی اطلاعات علمی، اجرای مدل ریاضی و همچنین اطلاعات میدانی و تجربی، نتایج مورد مقایسه و پالایش قرار گرفت و پارامترهای تاثیرگذار در هزینه پرواز تعیین گردید و مورد تحلیل حساسیت به‌صورت نمودار، همراه با تجزیه-تحلیل و ارائه پیشنهادات برای اقدامات اصلاحی جهت تبیین الگوی آمادگی عملیاتی پرواز بالگرد و تسهیل اجرای برنامه فنی برای کاهش هزینه پرواز مورد تحقیق قرار گرفته است.

واژگان کلیدی: آمادگی عملیاتی، برنامه‌ریزی، پرواز، هزینه، ژنتیک

۱. دانشجوی دکترای مدیریت صنعتی گروه حسابداری و مدیریت، واحد کاشان، دانشگاه آزاد اسلامی، کاشان، ایران،رایانامه: *m.taghizadeh01058@gmail.com* .

۲. استادیارگروه حسابداری و مدیریت، واحدکاشان، دانشگاه آزاد اسلامی، کاشان، ایران،(نویسنده مسئول)، رایانامه: *dr.ghodrati42@gmail.com*.

۳. استادیارگروه حسابداری و مدیریت، واحدکاشان، دانشگاه آزاد اسلامی، کاشان، ایران، رایانامه: *farzinfar_47@yahoo.com*.

۴. استادیارگروه حسابداری و مدیریت، واحدکاشان، دانشگاه آزاد اسلامی، کاشان، ایران، رایانامه: *hsnjabbary@yahoo.com*.

۵. دانشیارگروه حسابداری و مدیریت، واحدکاشان، دانشگاه آزاد اسلامی، کاشان، ایران، رایانامه: *arabzadeh62@yahoo.com*

۱. مقدمه

به منظور ایجاد امنیت پایدار پرواز در محدوده سرزمینی کشور و استفاده موثر از توان کامل و قابلیت‌های پرواز بالگرد در شرایط بحران یک یک سیستم فعال، پویا و چابک در صنعت هوانوردی نیاز می‌باشد که لازمه آن، به‌کارگیری نیروی انسانی متخصص، کارآمد و همچنین سیستم نگهداری و تعمیرات فنی تجهیرات پروازی ایمن و پایدار به‌ویژه بالگرد می‌باشد (کیو.دنگ و همکاران[1] ۲۰۲۱). با توجه به هزینه بالای پرواز، موضوع تعیین هزینه پرواز بالگرد حتی در مقایسه با پرواز هواپیما هم بیشتر می‌باشد که می‌بایستی به‌صورت دقیق و مشخص احصاء و مورد برآورد قرار گیرد. در گذشته تحقیقات بسیار زیادی انجام گردید، ولی تحقیق کاملی که مقدار هزینه ساعت پرواز را محاسبه نماید و یا تمامی شاخصه‌های موثر در هزینه و داده‌های فنی را به‌صورت حداقلی با استفاده از یک الگوریتم ژنتیک مقادیر احصاء کرده باشد نیز یافت نگردید. لذا به‌منظور خدمت‌رسانی به مردم، ایجاد امنیت پایدار و فعال فضای کشور، اقدام موثر جهت مقابله با شرایط اضطراری، مدیریت بحران و کاهش سطح آسیب‌پذیری‌ها در زیرساخت‌های حیاتی، حساس، مهم و افزایش تاب‌آوری تهیّه و تدوین گردیده است (چو[2] ۲۰۱۱). لذا در این تحقیق نیز توصیف نمونه آماری، توصیف یافته‌ها، شناسایی و پالایش داده‌ها و به تعبیری، تبیین الگوی توان عملیاتی پرواز و بهینه‌سازی هزینه پرواز بالگردی (MI-171) مورد بحث قرار گرفت؛ به‌طوری‌که به آسانی قابل اجرا بروی دیگر بالگردهای ترابری در دیگر شرکت‌های خدمات هوایی مانند: بالگردهای ۲۱۲، ۴۱۲ و یا ۲۱۴ است و می‌توان آن را تعمیم داد.

در این پژوهش به منظور داده‌پردازی و محاسبات مربوطه از نرم افزار متلب[3](یک محیط نرم‌افزاری برای انجام محاسبات عددی و یک زبان برنامه‌نویسی نسل چهارم است) جهت تعیین حداقلی هزینه به‌کارگیری و محاسبه بهینه‌سازی توان عملیاتی با استفاده از الگوریتم ژنتیک مبتنی بر محدودیت‌های واقعی بهره گرفته شده است. نتایج به‌دست آمده به همراه خلاصه

1. Q. Deng, F.; Santos, J.C.; & Verhagen, B.
2. Cho, P.Y.
3. MATLAB

یافته‌ها، نتیجه‌گیری و پیشنهادات تحقیق (در دو بخش توصیه‌های کاربردی برای قلمرو تحقیق مبتنی بر یافته‌ها و رهنمودها) عنوان شده است.

یکی از مباحث مهمی که در آمادگی عملیاتی و فناوری دفاعی کشور نقش بسیار مهمی را ایفا می‌کند، صنعت هوایی می‌باشد که باید مورد توجه مدیران، فرماندهان و مسئولین لشگری و کشوری قرار گیرد. با توجه به اینکه خدمات پرواز بالگردی مانند: امداد و نجات (دریا، خشکی و جنگل)، حمل‌ونقل بار و مسافر، مهار آتش‌سوزی، حمل مجروح، شناسائی و پایش هوایی، اجرای مأموریت‌های رزمی و پشتیبانی هوایی در دریا و خشکی به‌صورت پایدار، پشتیبانی خدمات هوایی در زمان بحران در کشور و کشورهای همسایه ج.ا.ا و... می‌باشد، لذا استفاده موثر از توان بالگردی مستلزم یک مدیریت قوی، فعال و روزآمد نسبت به تجهیزات بالگردی، نیروی انسانی کارآمد، پشتیبانی فنی و تجهیزاتی و... می‌باشد. برای تحقق این امر تعیین هزینه و محاسبه هزینه ساعت پرواز از اولویت‌های اساسی می‌باشد که در این رابطه، بررسی و تحقیقات دقیقی با مطالعات علمی و پژوهشی به‌صورت میدانی و کتابخانه‌ای صورت گرفته است.

۲. مبانی نظری و پیشینه‌شناسی تحقیق

۲-۱. اهمیت و ضرورت تحقیق

با توجه به اهمیت فعالیت پرواز بالگردی و محاسبه تعیین هزینه ساعت پرواز جهت فعالیت پروازی پایدار هر سازمان می‌بایستی مورد توجه جدی قرار بگیرد و مقوله‌ای ضروری می‌باشد. کم‌توجهی به این امر موجبات زیان‌دهی شرکت خدمات پروازی و غیرفعال بودن آن ناوگان را فراهم می‌آورد و در زمان مشخص، توانایی و یا کاربری موثری را به‌دنبال نخواهد داشت. لذا پژوهش حاضر خواستار محاسبه و تبیین الگوی توان عملیاتی بالگردی با استفاده از مولفه‌های اصلی «سرویس‌دهی»، «در دسترس بودن» و «پایداری» به‌صورت تعیین پارامترهای ریاضی و تبدیل آن به‌صورت تابع و متغیر در زبان برنامه‌نویسی متلب و بهینه‌سازی با استفاده از الگوریتم ژنتیک می‌باشد (کیو.دنگ و همکاران، ۲۰۲۱).

۲-۲. پیشینه تحقیق

با توجه به سوابق مطالعات بر روی تحقیقات انجام شده نسبت به تعیین هزینه‌های پرواز بالگرد و بهینه‌سازی آنها مشخص گردید پژوهش‌های مختلفی با رویکردها، اهداف و محدودیت‌های مشخصی با استفاده از پارامترهای معین: در دسترس بودن، پایداری، سرویس‌دهی و... صورت گرفته است که در جدول (۱) نشان داده شده است.

جدول شماره ۱. مروری بر مطالعات و پژوهش‌های انجام شده

سال	پژوهش گران	عنوان پژوهش	محوریت تحقیق	نتایج پژوهش
۱۹۸۶	استیر و همکاران	بهینه‌سازی توزیع پروازها	اولویت دادن فعالیت‌های تعمیراتی، استفاده از رویکرد دو مرحله‌ای: بازه بلند (سالیانه) و کوتاه مدت.	در نظر گرفتن جریمه در تظر نگرفتن ساعت باقیمانده پروازی همچنین ترتیب و توالی فعالیت به سرانجام نرسید.
۱۹۹۸	پیپین و همکاران	حداکثرسازی تعداد وسایل پروازی	در نظر گرفتن جریمه برای انحراف از اهداف و همچنین پاداش	در نظر نگرفتن ساعت ظرفیت تعمیراتی و انتخاب مدل نوع واکنشی و همچنین ترتیب و توالی به سرانجام نرسید.
۲۰۰۶	کوزانیدیس و همکاران	حداکثر نمودن سطح دسترسی وسایل پرنده	حداکثر سازی تعداد وسایل و ساعات در دسترس	در نظر نگرفتن ساعت باقیمانده پروازی و انتخاب مدل از نوع واکنشی پاسخگو نبود.
۲۰۱۱	چاو و همکاران	حداکثر نمودن تعداد پرنده‌ها	تلاش برای انجام کار تعمیراتی	انتخاب مدل واکنشی و پاسخگو نبودن تغییرات کوتاه مدت به سرانجام نرسید.
۲۰۱۵	ورهوفا و همکاران	بهینه‌سازی آمادگی عملیات پرواز	بررسی مولفه پایداری پرواز پرنده	در نظر نگرفتن ساعت محدودیت ظرفیت تعمیراتی به سرانجام نرسید.
۲۰۱۷	اکسائوچایی و همکاران	بهینه‌سازی مدیریت سوخت پرواز	افزایش توان پرواز و مدت پرواز	در نظر نگرفتن ساعت باقیمانده پرواز وسیله به سرانجام نرسید.
۲۰۱۹	چینگ چنگ چائو و همکاران	بهینه‌سازی توان موتور	تامین قطعات و تعمیرات فنی	انتخاب مدل واکنشی و پاسخگو نبودن تغییرات کوتاه مدت موفق نشد.
۲۰۱۹	ورهائفن و همکاران	برنامه‌ریزی انجام کار تعمیرات فنی	تهیه و تامین قطعات و پشتیبانی فنی	بدلیل در نظر نگرفتن هزینه ساعت پرواز و نیز انتخاب مدل از نوع واکنشی خیلی بازتاب پیدا نکرد.

۲۰۲۲	هائوسان و همکاران	بهینه‌سازی تعمیرات فنی جهت آمادگی عملیاتی	ارتقاء انگیزی کارکنان فنی و خلبان	رابطه انگیزه خدمتی و روحیه نفرات با کیفیت انجام کار
۲۰۲۳	بی الباسون و همکاران	بهینه‌سازی توان عملیاتی	انجام تعمیرات فنی و دردسترس بودن پرواز	فقط برای پرنده‌های بدون سرنسین بوده و زمان پرواز لحاظ نشده بود.
۲۰۲۳	چارلتون و همکاران	بهینه‌سازی توان آمادگی فنی	انجام دقیق کار فنی و داشتن برنامه جامع فنی	عدم رعایت ترتیب توالی زمان تعمیرات بخوبی حمایت صورت نگرفت.
۱۳۸۰	فریدون اوحدی و همکاران	محاسبه هزینه تمام شده پرواز	قیمت تمام شده پرواز هواپیما	فقط مربوطه به هواپیما بوده و در آن به‌صورت نسبی بررسی شد.
۱۳۹۲	حمید کردبچه و همکاران	محاسبه هزینه عملیاتی پرواز هواپیما	مطالعه در یک شرکت هواپیمایی و مدیریت مسیر پروازی و...	فقط مربوطه به هواپیمای کشوری بوده و در آن پارامتر تحریم و امنیت وجود ندارد.
۱۳۹۳	حجاریان و همکاران	قیمت‌گذاری عرضه و تقاضا	تعیین قیمت ساعت پرواز در هزینه‌های غیر مستقیم	پارامترهای فرعی مورد توجه است.
۱۴۰۰	لطفی جلال‌آبادی و همکاران	مدیریت هزینه نگهداری و تعمیرات هوایی	تلاش برای کاهش هزینه	تمامی پارامترهای موثر مورد توجه نیست و فقط بخش تعمیرات تاکید شده است.

۳-۲. تعریف پارامترها

مولفه‌های اصلی به‌صورت مدل‌های ریاضی تعریف و سپس کلیه متغیرهای تابع و نیز متغیرهای وابسته در این مدل مورد تحلیل و بررسی قرار می‌گیرند. در ادامه با تعریف هر یک از پارامترها با استفاده از روابط ریاضی و نسبت آن با هزینه هم در ارائه یک مدل بهینه انجام شده و هر مولفه به‌صورت جداگانه تعریف شده است.

۱-۳-۲. در دسترس بودن[1]

این پارامتر، مدت زمانی که بالگرد ماموریت پرواز انجام می‌دهد[2] و تحت کنترل عملیاتی یک ناوگان پروازی جهت انجام ماموریت است. به‌عبارتی، «در دسترس بودن» به‌معنای

1. Availability
2. Operation Ready (OR)

"یک ظرفیت کلی با درنظر داشتن برنامه‌ریزی کامل برای انجام پرواز در آینده نزدیک" است (ورهوفا و همکاران[1]، ۲۰۱۵).

$$scheduled\ total\ fleet\ avalibility = \sum_{i=1}^{n}\sum_{m1}^{M1} TBM_{m_i}\ , n = 1 \dots AC \quad (1)$$

در اینجا M تعداد برنامه‌های انجام نگهداری و تعمیرات است که برای یک وسیله پروازی و براساس ریل تعمیراتی انجام می‌شود. همچنین T.B.Ḿ m زمان بین چک‌های فنی نگهداری و تعمیرات در بازه M, M-1 می‌باشد.

۲-۳-۲. سرویس‌دهی[3]

سرویس‌دهی یعنی مدت زمانی‌که بالگرد تحت چک‌های فنی قرار گرفته و توانایی ارائه پرواز را ندارد. این مولفه بعد از انجام چک‌های فنی زمان‌دار و یا تقویمی برابر دستورالعمل فنی هر بالگرد مشخص نیز کلیه موارد تعویض قطعه، بازدید یا بازرسی تخصصی از تمامی تجهیزات یا لوازم آن را به‌عمل آورده و بعد از مدت معین، وسیله دوباره به چرخه عملیاتی بودن یعنی در دسترس بودن یا OR قرار می‌گیرد (ورهوفا و همکاران، ۲۰۱۵).

$$scheduled\ servicebility(t) = SoFu_{sched}(t) = SoFu(t) + SoFa(t) - SoFa_{sched}(t) \quad (2)$$

$SoFu(t)$ تعداد بالگردهایی را ارائه می‌کند که در آمادگی و قابلیت پرواز در بازه زمانی خاصی هستند.

$SoFa(t)$ تعداد بالگردهایی است که در حالت غیرپروازی قرار دارند؛ یعنی آماده جهت انجام ماموریت پروازی نمی‌باشد.

$SoFa_{sched}(t)$ تعداد پرنده‌هایی است که در حال انجام تعمیرات فنی می‌باشند.

1. Verhoeffa, M.; Verhagenb, W.J.C.; & Curranb, R.
2. Time Beetwen Maintenance
3. Serviceability

۳-۳-۲. پایداری[1]

مدت زمان پروازی که هر بالگرد قابلیت انجام پرواز با شرایط محدود را شامل شده و می‌توان برای هر نوع ماموریت پروازی برنامه‌ریزی کرد. به‌هرحال، پایداری تعیین می‌کند چه مدت یک وسیله پروازی قابلیت انجام یک ماموریت، در شرایط خاص R.F.T[2] ، وقتی که هیچ‌گونه منابع تعمیراتی در دسترس نیست را دارد (ورهوفا و همکاران، ۲۰۱۵).

$$scheduled\ sustainability(t) = \sum_{i=0}^{n} RFT_i\,(t).n = 1 \ldots . AC \qquad (3)$$

۴-۲. مدل مفهومی پژوهش

پژوهش حاضر با استفاده از مدل مفهومی براساس برنامه‌ریزی امورات فنی و پروازی (FMP)[3]که زمینه اولیه آن در حوزه فعالیت پروازی در صنایع هوایی متمرکز شده، انجام گرفته است (ورهوفا و همکاران، ۲۰۱۵). فرهنگ FMP[4]در سیستم حمل‌ونقل هوایی در اولویت اول تمرکز نسبت به نگهداری، تعمیرات و انجام چک بازرسی فنی گسترده دوره‌ای روی تجهیزات پروازی قرار دارد که پیچیده‌ترین و کامل‌ترین مراحل جهت پیشگیری از هرگونه رویدادها و مخاطرات پروازی و همچنین سوانح هوایی را برنامه‌ریزی نموده است. در نهایت مساله بررسی هزینه‌های آمادگی عملیاتی مورد نیاز سیستم‌های هوایی برای داشتن بیشینه توان آمادگی عملیاتی را فراهم خواهد کرد (ورهوفا و همکاران، ۲۰۱۵).

بررسی و احصاء کلیه پارامترهای مدل مفهومی فوق نیز با استفاده از مدل‌های ریاضی تعریف و سپس کلیه متغیرهای تابع و نیز متغیرهای وابسته در این مدل براساس داده‌های پرواز بالگرد MI-171 مورد تحلیل و بررسی قرار می‌گیرد که با تعریف هر یک از پارامترها با استفاده از روابط ریاضی و نسبت آن با هزینه، در ارائه یک مدل بهینه انجام

1. Sustainability
2. Residual flight time
3. flight maintenance planning
4. flight and maintenance planning

خواهد گرفت (کیو.دنگ، ۲۰۲۱). در نمودار (۱) مدل مفهومی بهینه‌سازی هزینه پرواز ارائه گردیده است.

نمودار شماره ۱. مدل مفهومی بهینه‌سازی هزینه پرواز

۵-۲. مدل استنتاج توصیفی

براساس نظرات اساتید صاحب‌نظر، اساتید خلبانان و دست‌اندرکاران به‌عنوان خبرگان و دومین جامعه آماری بهره گرفته شدند که جهت اولویت‌بندی یا تعیین سطح اهمیت هر یک

از نهاده‌ها و ستانده‌ها از آن‌ها نظرسنجی گردید. از این جامعه آماری به‌شیوه در دسترس، ۱۶ نفر گزینش شده که در پالایش نهاده‌ها و ستانده‌ها از نظر آن‌ها بهره گرفته شده است. در واقع بررسی کاملی نظرات خبرگان، با سه ویژگی اصلی صورت گرفته است:

(۱) ناشناس بودن پاسخ‌دهندگان و پاسخ بی‌طرفانه به سوالات (پرسشنامه‌ها)،

(۲) تکرار دفعات ارسال سوالات (پرسشنامه) و دریافت بازخورد از آنها،

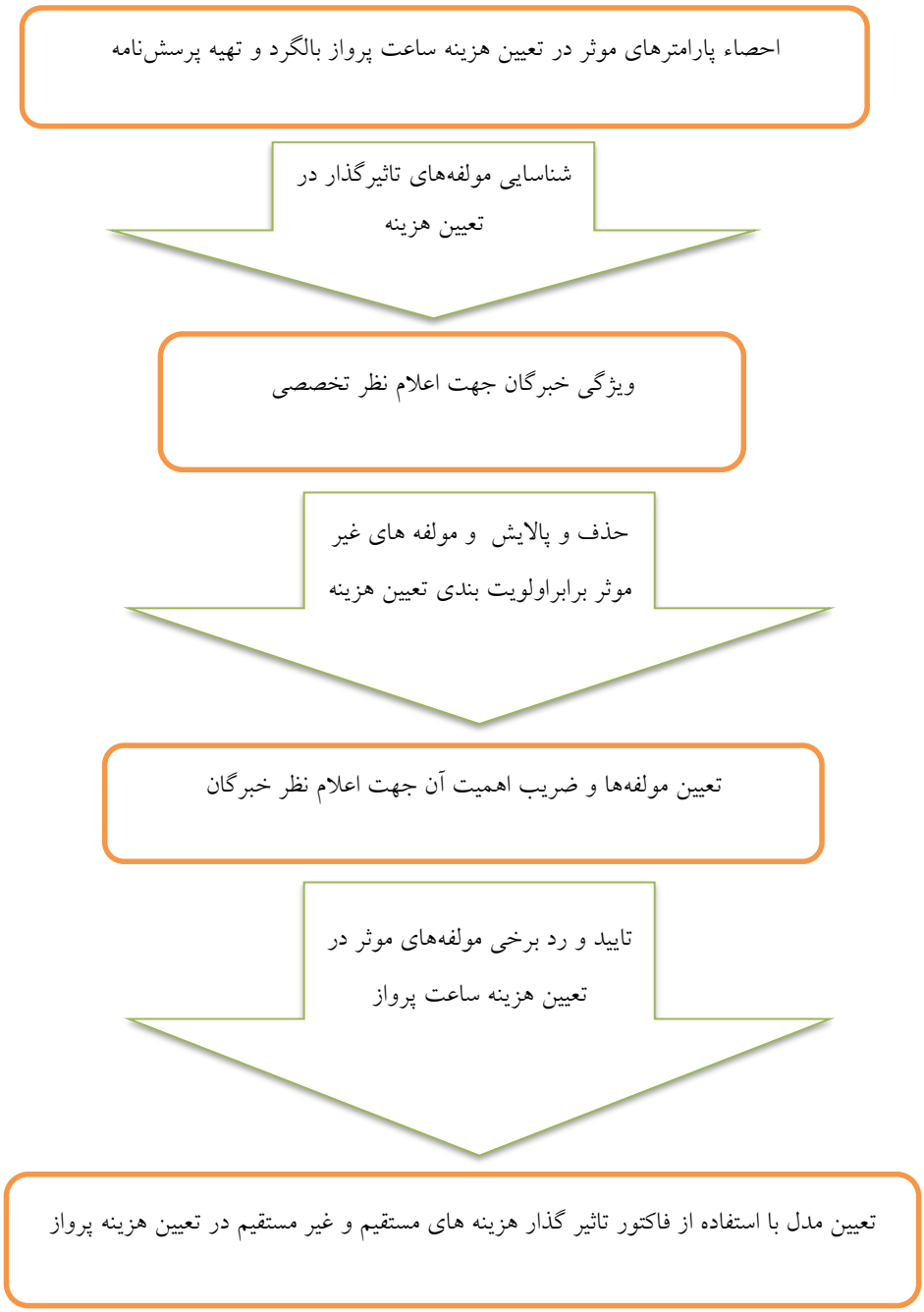
(۳) تجزیه‌وتحلیل آماری از پاسخ به سوالات به صورت گروهی.

ویژگی اصلی خبرگان منتخب در این پژوهش، داشتن دانش و تجربه تخصصی لازم در موضوع مربوطه بوده است. این خبرگان دارای حداقل مدرک تحصیلی کارشناسی ارشد و مشارکت فعال در حوزه پروازی و فنی می‌باشند. بر این اساس و با نمونه‌گیری غیراحتمالی و روش قضاوتی، ۱۶ نفر به عنوان خبرگان منتخب برگزیده شدند و آمادگی اولیه برای اجرای طرح برای آنان به‌وجود دارد.

اعضای گروه خبره ۱۶ نفر بودند که جهت انتخاب آن‌ها از روش نمونه‌گیری هدفمند قضاوتی استفاده شده است. لازم به ذکر است که نمونه پژوهش شامل گروه‌های زیر می‌باشند که انتخاب شدند:

- ۴ نفر دارای تحصیلات دکتری،
- ۳ نفر دانشجوی دکتری در رشته‌های مهندسی صنایع و مهندسی هوافضا که تجربه کاری بیش از ۲۰ سال کار تخصصی پرواز داشتند،
- ۵ نفر از مدیران شرکت‌های خدمات هوایی پروازی با سابقه بیش از ۲۵ سال،
- ۴ نفر استاد خلبان و خلبان تست پروازی به‌عنوان خبرگان در این پژوهش (چو، ۲۰۱۱).

در نمودار (۲) مدل استنتاج توصیفی جهت تعیین هزینه پرواز ارائه شده است.



نمودار شماره ۲. مدل استنتاج توصیفی جهت تعیین هزینه پرواز

۶-۲. مدل‌نویسی ریاضی

فرمول‌های ریاضی، یک پایه قوی و محکم برای رشد و توسعه بیشتر ترکیب مدل‌های برنامه‌ریزی فنی و پروازی در شرایط واقعی هستند و خود دارای محدودیت بوده و فرضیاتی نیز به‌همراه دارند (ورهوفا و همکاران، ۲۰۱۵). این مدل‌های نوشته شده می‌توانند مقادیر به‌دست آمده به‌عنوان داده‌های نرم‌افزاری فنی می‌تواند محاسبه نمایند. نتایج حاصله حوزه محاسبات فنی می‌تواند براساس یک برنامه‌ریزی ثابت تمامی نیازهای بخش فنی یعنی زمان بین کار فنی و زمان برنامه‌ریزی انجام کار به‌صورت ثابت و معین گردد. در نتیجه، این مدل می‌تواند به‌صورت یک کار فنی استاندارد، برنامه‌ریزی و اجرایی گردد (ورهوفا و همکاران، ۲۰۱۵).

این مدل، مدت زمانی‌که بالگرد از بخش پروازی جدا و زمین‌گیر است را معین کند. در نتیجه، سرویس‌های فنی در مدت زمان معین مشخص شده، انجام و توانایی عملیاتی بالگرد، ثابت و مشخص گردد.

ناوگان پروازی به‌صورت مشابه برای همه بالگردها در نظر گرفته شده است. ایجاد مدل، اگر به‌صورت الگوی تصادفی صریح و واضح نباشد نمی‌توان مورد برنامه‌ریزی و اجراء قرار گیرد (ورهوفا و همکاران، ۲۰۱۵). رابطه (۴) حداقل زمان پایداری برنامه‌ریزی شده را ماکزیمم می‌کند.

$$maximize: \quad SUSt_{min} \tag{4}$$

$$subject\ to: \quad SUSt_{min} \le \sum_{n} RFT_{n.l} \tag{5}$$

$$RFT_{n,l} + k.P_{n,l} \le k \quad .\forall n \in AC.t \in [1.T] \tag{6}$$

$$SVC_{n.l+1} \le (RFT_{n.l} - FT_{n.l}).K + K.P_{n.l} \quad .\forall n \in AC.t \in [1.T] \tag{7}$$

$$RMT_{n.l} + k.R_{n.t} \le k \quad .\forall n \in AC.t \in [1.T] \tag{8}$$

$$1 - SVC_{n.l+1} \le (RMT_{n.l} - MT_{n.l}).k + k.R_{n.l} \quad .\forall n \in AC.t \in [1.T] \tag{9}$$

محدودیت‌ها در معادلات (۶) تا (۹) قابل سرویس‌دهی بودن در شروع دوره بعدی را نتیجه می‌دهند. زمانی‌که بازه زمانی تلف شده بیشتر از صفر باشد، محدودیت معادله (۶) متغییر $P_{n.l}$ را صفر می‌کند. به همین ترتیب، محدودیت معادله (۷) اطمینان حاصل می‌کند

که قابلیت سرویس‌دهی در شروع دوره بعدی صفر است. تاز زمانی‌که $P_{n.l} = 0$ و زمان تلف شده برابر با زمان اختصاص داده شده است به پرواز در دوره کنونی به طریق مشابه معادلات (۸) و(۹) قابل سرویس‌دهی بودن در شروع دوره بعدی را یک می‌کنند.

وقتی که زمان تلف شده بزرگتر از صفر است و زمان اختصاص داده شده برای نگهداری و تعمیرات برابر زمان نگهداری و تعمیرات در دوره کنونی می‌باشد (ورهوفا و همکاران، ۲۰۱۵).

$$RFT_{n.l+1} = RFT_{n.l} - FT_{n.l} + MR_{n.l+1}.RFT_{max} \quad .\forall n \in AC.t \in [1.T] (10)$$
$$MR_{n.l+1} \geq SVC_{n.l} - SVC_{n.l+1} \quad .\forall n \in AC.t \in [1.T] (11)$$
$$0.1 \leq SVC_{n.l+1} - SVC_{n.l} + 1.1.(1 - MR_{l.n+1}) \quad .\forall n \in AC.t \in [1.T] (12)$$

مجموعه معادلات (۱۲) و (۱۰) زمان تلف شده شرایط اطمینان با شروع دوره بعدی بر پایه زمان تلف شده و زمان پروازی اختصاص داده شده در دوره کنونی تغییر می‌کند.

با یک رویکرد مشابه، معادلات (۱۵) و (۱۳) زمان تلف شده نگهداری و تعمیرات در شروع دوره بعدی بر مبنای زمان تلف شده نگهداری و تعمیرات در دوره کنونی بروزرسانی می‌شود.

$$RMT_{n.l+1} = RMT_{n.l} - MT_{n.l} + MS_{n.l+1}.RMT_{max} \quad .\forall n \in AC.t \in [1.T] (13)$$
$$MS_{n.l+1} \geq SVC_{n.l} - SVC_{n.l+1} \quad .\forall n \in AC.t \in [1.T] (14)$$
$$0.1 \leq SVC_{n.l} - SVC_{n.l+1} + 1.1.(1 - MS_{l.n+1}) \quad .\forall n \in AC.t \in [1.T] (15)$$

مجموعه معادلات (۲۰) و (۱۶) محدودیت‌هایی را برای متغیرهای مدل اصلی بیان می‌کنند؛ به‌گونه‌ایی که آنها را درون محدوده‌های دینامیکی مدل نگه دارد (ورهوفا و همکاران، ۲۰۱۵).

$$RFT_{n.l} \leq SVC_{n.l}.RFT_{max} \quad .\forall n \in AC.t \in [1.T] (16)$$
$$FT_{n.l} \leq RFT_{n.l} \quad .\forall n \in AC.t \in [1.T] (17)$$
$$RMT_{n.l} \leq (1 - SVC_{n.l}).RMT_{max} \quad .\forall n \in AC.t \in [1.T] (18)$$
$$MT_{n.l} \leq RMT_{n.l} \quad .\forall n \in AC.t \in [1.T] (19)$$
$$1 - SVC_{n.l} \leq MT_{n.l} \quad .\forall n \in AC.t \in [1.T] (20)$$

مجموعه معادلات (۲۸) و (۲۱) محدودیت‌های اضافی تعریف شده توسط استفاده کنندگان را وارد مساله می‌نماید که برای پویایی مدل بسیار مهم هستند.

محدودیت معادله (۲۱) زمان برنامه‌ریزی شده کلی را برابر با نیازمندی‌های پروازی در نظر می‌گیرند. همچنین معادله (۲۴) تضمین می‌کند تعداد وسیله‌های عملیاتی برابر با تعداد نیازمندی وسیله‌های پروازی می‌باشد (ورهوفا و همکاران، ۲۰۱۵).

$$\sum_{t=1}^{T}\sum_{n} FT_{n.l} \geq FHR_{tot} \quad .\forall n \in AC.t \in [1.T] \quad (21)$$

$$(1 - tol_{PHR}).FHR_t \leq \sum_{n} FT_{n.l} \leq (1 + tol_{PHR}).FHR_t \quad .\forall\, t \in [1.T] \quad (22)$$

$$0.1 \leq FT_{n.l} + k.(1 - OPR_{n.l}) \leq k \quad .\forall n \in AC.t \in [1.T] \quad (23)$$

$$\sum_{n} OPR_{n.l} \geq ACR_l \,.\forall\, t \in [1.T] \quad (24)$$

$$FT_{n.l} \leq OPR_{n.l}.\frac{FHR_l}{ACR_l} \quad .\forall n \in AC.t \in [1.T] \quad (25)$$

$$\sum_{n}(1 - SVC_{n.l}) \leq M_{max} \quad .\forall\, t \in [1.T] \quad (26)$$

$$MT_{n.l} \leq MT_{max} \quad .\forall n \in AC.t \in [1.T] \quad (27)$$

$$RFT_{n.l} \geq SVC_{n.l}.RFT_{min} \quad .\forall n \in AC.t \in [1.T]) \quad (28)$$

پارامترها و متغیرها به قرار زیر است:

- A/C: مجموعه بالگردها که با شاخص n مشخص می‌شود.
- T: طول برنامه‌ریزی پروازی که با شاخص t مشخص می‌شود.
- RFTmax: حداکثر زمان باقیمانده برای یک وسیله پروازی.
- RFTmin: حداقل زمان باقیمانده برای یک وسیله پروازی.
- FHRtot: ساعت پرواز مورد نیاز برای پرواز در کل زمان برنامه‌ریزی شده مثلاً یکسال.
- FHRt: ساعت پرواز مورد نیاز به منظور پوشش دوره برنامه‌ریزی شده t.

- ❖ TolFHR: بازه نوسانات ساعت پرواز مورد نیاز.
- ❖ ACRi: الزامات عملیاتی پرنده برای دوره T برنامه‌ریزی شده.
- ❖ Mmax: حداکثر تعداد وسیله‌هایی که می‌توانند همزمان مورد تعمیرات قرار گیرند.
- ❖ MTmax: حداکثر زمان قابل حذف بر روی تعمیرات تعداد وسیله پرنده.
- ❖ SVCn,l: پارامترهای باینری صفر و یک (۱ یعنی اگر وسیله Nام در ابتدای دوره اول عملیاتی باشد و ۰ در غیر این‌صورت).
- ❖ RFTn,l: زمان باقیمانده پروازی بالگرد Nام در ابتدای دوره اول یکم.
- ❖ RMTn,l: زمان باقیمانده چک بالگرد Nام در ابتدای دوره یکم.
- ❖ K: یک عدد دلخواه بسیار بزرگ.
- ❖ RFTn,l: زمان باقیمانده برای وسیله n در شروع دوره l.
- ❖ RMTn,l: زمان نگهداری و تعمیرات باقیمانده برای وسیله n در شروع دوره l.
- ❖ SVCn,l: پارامترهای باینری صفر و یک (۱ برای زمانی که وسیله در ابتدای بازه l در دسترس است و ۰ اگر در دسترس نباشد).
- ❖ OPRn,l: متغیر باینری صفر و یک (۱ برای زمانی که پرنده n در ابتدای شروع دوره l عملیاتی باشد و در غیر این‌صورت ۰).
- ❖ FTn,l: زمان اختصاص داده شده به وسیله n در دوره پروازی برنامه‌ریزی شده.
- ❖ MTn,l: زمان اختصاص داده شده به وسیله n در بازه پروازی برنامه‌ریزی شده.
- ❖ MSn,l: متغیر باینری (۱ برای زمانی که وسیله n شروع به دریافت خدمات نگهداری و تعمیرات در بازه l می‌کند، در غیر اینصورت ۰).
- ❖ MRn,l: متغیر باینری (۱ برای زمانی که وسیله n دریافت سرویس نگهداری و تعمیرات را به پایان می‌رساند).
- ❖ SuSt min: کمینه پایداری برای زمان برنامه‌ریزی شده.
- ❖ P n,l: عدد باینری صفر و یک اختصاص داده شده به وسیله n در دوره l.

- $R_{n,l}$: عدد باینری صفر و یک اختصاص داده شده به وسیله n در دوره l.

۳. روش‌شناسی تحقیق

۳-۱. سؤالات تحقیق

در ابتدای سؤالات اصلی، باید به این موضوع توجه داشت که بهینه‌سازی هزینه ساعت پرواز چه تاثیری می‌تواند بر آمادگی عملیاتی در صنعت هوانوردی داشته باشد. لذا این موضوع می‌تواند در قالب یکی از حالت‌های چهارگانه زیر باشند:

- حالت اول: کاهش هزینه‌ها باعث کاهش آمادگی عملیاتی پرواز می‌شود.
- حالت دوم: کاهش هزینه‌ها تاثیر بر آمادگی عملیاتی پرواز ندارد.
- حالت سوم: کاهش هزینه‌ها باعث افزایش آمادگی عملیاتی پرواز می‌شود.
- حالت چهارم: افزایش هزینه‌ها باعث افزایش آمادگی عملیاتی پرواز می‌شود.

نکته بعدی این‌که، «آیا بررسی هزینه‌ها در افزایش آمادگی عملیاتی در مقیاس اهمیت آمادگی عملیاتی موثر می‌باشد یا خیر؟» و نیز سوال بعدی این‌که، «آیا عامل هزینه تاثیری در آمادگی عملیاتی سیستم‌های هوایی می‌تواند داشته باشد؟». براین‌اساس، آنچه که در بیان مسئله تحقیق در نگارش فوق عنوان شده، در راستای پاسخ به پرسش اصلی ذیل به انجام خواهد رسید:

«تبیین الگوی آمادگی عملیاتی در صنایع بالگردی با استفاده از بهینه‌سازی مالی برنامه‌ریزی پرواز، نگهداری و تعمیرات فنی به روش الگوریتم ژنتیک چه نتایجی را در بر خواهد داشت؟».

۳-۲. فرضیه تحقیق

فرضیه به‌کار رفته در این بررسی، بر اساس ویژگی‌های مختلف مدل‌های تعیین‌کننده و برنامه‌های کاربردی جهت تبیین الگوی آمادگی عملیاتی و فناوری دفاعی با استفاده از بهینه‌سازی مالی برنامه‌ریزی پرواز، نگهداری و تعمیرات فنی با روش الگوریتم ژنتیک شکل گرفته است. این فرضیه به‌صورت طبقه‌بندی با توجه به معیارهای زیر صورت گرفته است:

(۱) مدل‌ها،

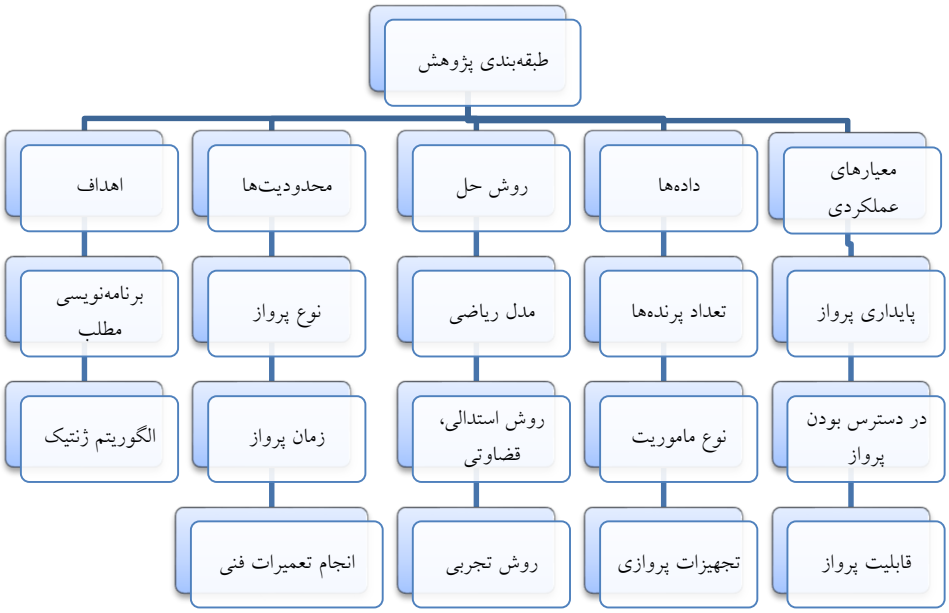
(۲) محدودیت‌ها،

(۳) کنترل محدودیت‌ها،

(۴) تکنیک‌های حل مدل‌های بهینه‌سازی هزینه ساعت پرواز،

(۵) سنجه‌های عملکرد و داده‌ها (کیو.دنگ، ۲۰۲۱).

دسته‌های اصلی مورد استفاده برای طبقه‌بندی پژوهش‌های انجام شده در زمینه بهینه‌سازی آمادگی عملیاتی در نمودار (۳) نشان داده شد و به شرح ذیل تبیین گردیده‌اند.



نمودار شماره ۳. طبقه‌بندی پژوهش بهینه‌سازی آمادگی

۳-۳. متغیرهای تابع و وابسته

کلیه پارامترهای پارامترهای موثر در تعیین هزینه یک ساعت پرواز به شرح زیر نسبت به بالگرد MI-171 در نظر گرفته شده و برابر جدول مربوطه تعریف گردیده است:

(۱) تعداد کروی پروازی،

(۲) تعمیرات فنی سبک و سنگین،
(۳) تعداد چک‌های فنی مورد نیاز،
(۴) آموزش‌های مورد نیاز،
(۵) توانمندی‌های بالگرد و... .

۴-۳. ابزار تجزیه‌وتحلیل داده‌ها

کلیه پارامترهای تاثیر گذار زیر به‌صورت یک مدل ریاضی ارائه می‌شود:

(۱) وضعیت حاضر بالگردها،
(۲) وضعیت کارکنان پروازی،
(۳) نوع ماموریت ابلاغی،
(۴) سوخت مورد نیاز،
(۵) مشخصات قطعات مصرفی با تعداد آن،
(۶) مشخصات قطعات زمان‌دار بالگرد مورد نظر،
(۷) انجام پرواز در شب یا روز،
(۸) مکان انجام پرواز،
(۹) نیروی پشتیبانی از ابتدای ابلاغ ماموریت و حین کار پرواز،
(۱۰) کارکنان خدمات فرودگاهی و... .

این اطلاعات با استفاده از ابزارهای شبیه‌ساز مثل Matlab، Simulink و... مورد بررسی قرار خواهند گرفت تا نتیجه پردازش این اطلاعات با استفاده از نمودارهای ارائه شده توسط ابزارهای منظور مورد بررسی قرار داده شوند.

مقادیر با استفاده از الگوریتم ژنتیک چه تاثیری در بهینه‌سازی ارتقاء آمادگی عملیاتی پروازی بر اساس محاسبه هزینه‌ها دارد.

اهمیت موضوع با توجه به این‌که هزینه یک پرواز بسیار گران‌قیمت می‌باشد، به‌صورت ضریب اهمیت نسبی ارجحیت‌بندی، مقایسه و محاسبه می‌شود.

در پایان کلیه یافته‌ها براساس یک الگوی مشخص به سازمان‌های مربوطه برای کنترل هزینه‌هایشان ارائه خواهد شد (کیو.دنگ، ۲۰۲۱).

۵-۳. جامعه آماری و روش اندازه‌گیری

از آن‌رو که جامعه آماری در این پژوهش به‌طوری که متعاقباً مورد بحث کارشناسی قرار گرفته است، بر نمونه آماری منطبق است و در اجرای الگوی پیشنهادی پژوهش جهت تعیین سطح بهینه آمادگی عملیاتی صنایع هوایی نظامی از روش‌های «بهینه‌سازی ریاضی» بهره گرفته شده است.

۱-۵-۳. حجم نمونه

در اجرای پژوهش در سطح آزمایشی بر روی نوع بالگرد MI-171 از سازمان‌های پروازی با استفاده از اسناد موجود آن سازمان به‌صورت یک جامعه آماری و حجم نمونه مشخص با استفاده از مدل ریاضی مورد تحلیل و بررسی قرار می‌گیرد و در ادامه می‌توان به سایر ناوگان بالگردی تعمیم داده شود.

این مدل با استفاده ار داده‌های موجود و براساس برنامه پروازی اطلاعات مورد نیاز برای عملیاتی کردن بالگرد MI-171 مورد استفاده قرار گرفته است. در بخشی دیگر هم از نظر کارشناسان خبره براساس فاکتورهای اصلی جدول پیوستی نیز از فرایند یک پرواز به‌صورت کامل برای تمامی سایت پلن‌های منظور مانند موارد زیر برای انجام پرواز به صورت هر متغیر، مورد بررسی، تحلیل و پژوهش قرار گرفته است:

(۱) درخواست ماموریت،

(۲) محاسبه اولیه هزینه صرف شده،

(۳) محاسبه ظرفیت انتقال بار و مسافر،

(۴) هزینه سوخت،

(۵) تعداد خدمه پروازی،

(۶) قابلیت دسترسی برای ارائه سرویس،

(۷) نگهداری و تعمیرات در مبداء و مقصد.

جدول شماره ۲. بررسی عملکرد فعالیت بالگرد MI-171 در چند سایت پروازی

رده های‌پروازی	هدف	رویکرد	محدودیت‌ها
فعالیت بالگرد MI-171 در سایت ۱	افزایش حداکثری انجام پروازها	آمادگی عملیاتی بالگردی، پایداری در انجام ماموریت پروازی	محدودیت انجام کار فنی، ریسک پرواز
فعالیت بالگرد MI-171 در سایت ۲	افزایش تعداد بالگرد موجود	آمادگی عملیاتی بالگردی، پایداری در انجام ماموریت پروازی	محدودیت آشیانه تعمیراتی، تعمیراتی فنی، ریسک پرواز
فعالیت بالگرد MI-171 در سایت ۳	کاهش انجام پرواز بالگردی	در دسترس بودن بالگرد، پایداری پرواز جهت اجرای ماموریت‌های هدفمند	ریسک پرواز، عدم مهارت پرواز، ضعف در کارایی بالگرد
فعالیت بالگرد MI-171 در سایت ٤	استقرار بالگرد در مکان های مختلف	در دسترس بودن بالگرد، پایداری پرواز جهت اجرای ماموریت‌های هدفمند	محدودیت پشتیبانی فنی، انجام پراز با ریسک بالا، ضعف مدیریت
فعالیت بالگرد MI-171 در سایت ۵	تمرکز پستیبانی فنی و تعمیراتی در یک مکان معین	سرویس‌دهی بالا، آمادگی توان عملیاتی بالگردی	حداقل اجرای ماموریت، موثر نبودن نوع پروازهای ترابری، انتقال زیاد بالگرد

۶-۳. شناسایی پارامترهای ورودی و خروجی هر سایت پروازی

بر پایه الگوی پیشنهادی تحقیق، تعیین ترکیب مطلوب سرمایه‌گذاری در دو مرحله متمایز: تصمیم‌سازی یا تعیین فضای موجه اولیه از مدل‌سازی ریاضی مبتنی بر الگوی تحلیل پوششی داده‌ها[1] بهره گرفته شده است. در این راستا بر پایه داده‌های عملکرد پروازی چند سایت پروازی مختلف پارامترهای ورودی و خروجی به‌عنوان متغیرهای مستقل و اندازه تعیین هزینه‌های عملیاتی و غیرعملیاتی و...به شیوه بهینه‌سازی ریاضی به‌عنوان متغیر وابسته مورد استفاده قرار گرفته است.

1. Date

اولین گام در تعیین هزینه ساعت پرواز، شناسایی عوامل موثر بر انجام پرواز به‌عنوان پارامترهای ورودی و خروجی واحدهای تصمیم‌گیری مدیریتی بوده است. در این راستا، بر پایه الگوی پیشنهادی تحقیق «مدیریت هزینه نگهداری و تعمیرات در شرکت‌های هواپیمایی» (۱۴۰۰) انتشارات دانشگاه شهید ستاری بهره گرفته شده است. در این الگو، شناسایی و دسته‌بندی عوامل موثر بر مدیریت هزینه و جمع‌بندی پیشینه تحقیقات مرتبط و مشابه، الگوی کیفی تحلیل محتوا و تحلیل حوزه دانش انجام گرفته است.

۷-۳. پارامترهای موثر برنامه‌نویسی نرم‌افزار متلب

در ابتدا کلیه مقادیر موثر در تعیین هزینه به زبان برنامه‌نویسی احصاء و تعریف شدند و سپس تاثیرات هر کدام در فرمول‌ها و توابع لگاریتمی روی همدیگر کد نویسی گردید، مانند: FT, MR, MS, MT, OPR, P, R, RFT, RMT, SVC. بعد محدودیت هر کدام از قیود در الگوریتم و حداقل مقادیر معین از طریق کدنویسی در نرم‌افزار متلب نسخه ۲۰۲۲ انجام شده است.

در گام اول پژوهش حاضر، برای شناسایی پارامترهای ورودی و خروجی از برنامه متلب و در مرحله دوم برای اولویت‌بندی شاخص‌ها و تعیین روابط درونی بین شاخص‌ها از روش الگوریتم ژنتیک استفاده شد. با استفاده از روش الگوریتم ژنتیک می‌توان آثار متقابل تعداد زیادی از عوامل مؤثر بر یک مسئله خاص مدیریتی و اجتماعی را دسته‌بندی و سازماندهی کرد.

الگوریتم ژنتیک نه تنها می‌تواند به‌عنوان ابزاری برای دسته‌بندی عوامل مؤثر بر یک مسئله خاص به‌کار رود، بلکه می‌تواند معیار مناسبی برای اندازه‌گیری میزان رابطه‌های داخلی بین عوامل باشد. با توجه به این‌که در استفاده از روش الگوریتم ژنتیک از نظر خبرگان استفاده می‌شود و این نظرات اغلب غیرشفاف، دارای ابهام در ارزشیابی‌های انسانی و به‌صورت توصیف‌های زبانی مطرح است، برای یک‌پارچه کردن و از حالت ابهام درآوردن آن، بهتر است که واژگان زبانی خبرگان را به اعداد فازی و نهایتاً کمیت‌های غیر قضاوتی تبدیل کرد.

برای فازی‌کردن گزینه‌های قضاوتی، «لین و وو» (۲۰۰۸) الگویی را پیشنهاد کردند که از الگوریتم ژنتیک در شرایط فازی استفاده می‌شود. روش الگوریتم ژنتیک با استفاده از متغیرهای زبانی فازی، تصمیم‌گیری را در شرایط نا اطمینانی محیطی آسان می‌کند.

این فن می‌تواند در زمینه‌های تولید، مدیریت سازمان، نظام اطلاعات فنی و تخصصی پروازی و علوم هوانوردی کاربرد داشته باشد. هم‌چنین، ادعا می‌شود این فن می‌تواند همه مشکلات پیش‌روی سازمان‌ها را با به‌کار گرفتن تصمیمات گروهی در شرایط فازی حل کند.

الگوریتم اجرای تکنیک ژنتیک پیاده‌سازی شده است. برای مثال ساعت پرواز تعداد وسیله‌های پروازی در لحظه شروع جهت انجام پرواز به‌صورت جدید یا new با فرض صفر کارکرد موتور و قطعات لحاظ گردیده و بعد از گذشت حدود ۲۵، ۵۰،۱۰۰،۲۰۰،۳۰۰،۵۰۰،۱۰۰۰ و ۱۵۰۰ ساعت پرواز می‌بایستی چک‌های فنی برابر چک لیست‌های مربوطه در فصول قبل انجام گردیده که دوباره به چرخه عملیاتی برگردد. الگوریتم‌های دیگری مانند: وضعیت کروی پروازی، تعداد و حداکثر نفرات در پرواز و مدت زمان پرواز بین بازه ۲ تا ۲۰ هفته کاری در حداکثر پنج سایت پروازی با رعایت تمامی شرایط مورد ارزیابی قرار گرفته است.

حال می‌بایستی برابر تمامی پارامترهای تعریف شده ثابت و متغیر در صورتی‌که به‌صورت کامل اصلاعات به برنامه نرم‌افزار داده شود، خود نرم‌افزار مقدار حداقل هزینه هر سایت پرواز برابر برنامه کدنویسی شده تعیین و بیان با استفاده از رسم نمودار اعلام می‌نماید. پس از کدنویسی در برنامه، تعداد قیدهای نامساوی حدود ۱۸۸۱ و تعداد قیدهای تساوی ۲۳۰ برای این مسأله خاص نوشته شده است که فقط با برنامه متلب امکان بازیابی نتایج خروجی ممکن می‌باشد.

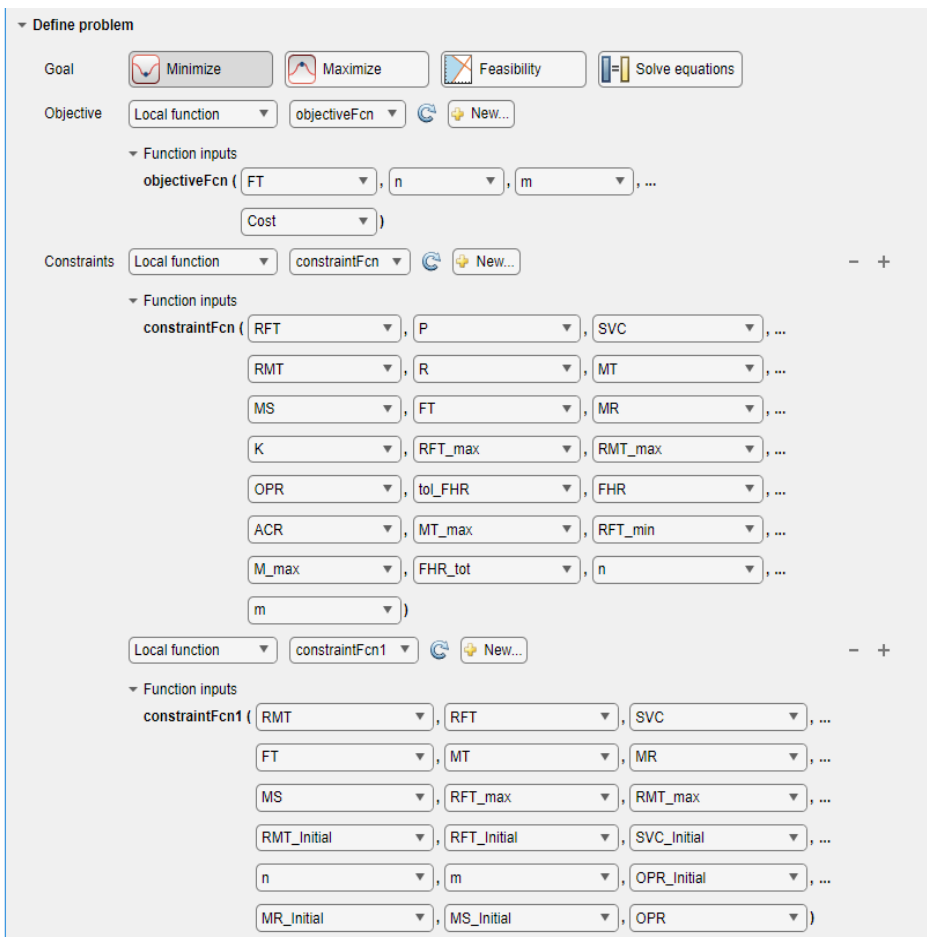
لذا این موارد در بخش‌های زیر به‌صورت الگوریتم کدنویسی، جدول‌های مربوطه و نموداری هر بخش نمایش داده شده است. جداول (۳) و (۴) و شکل‌های (۱)، (۲)، (۳) و (۴) نمونه‌هایی از این الگوریتم‌های کدنویسی هستند.

جدول شماره ۳. کد نویسی برنامه متلب جهت تعریف پارامترها

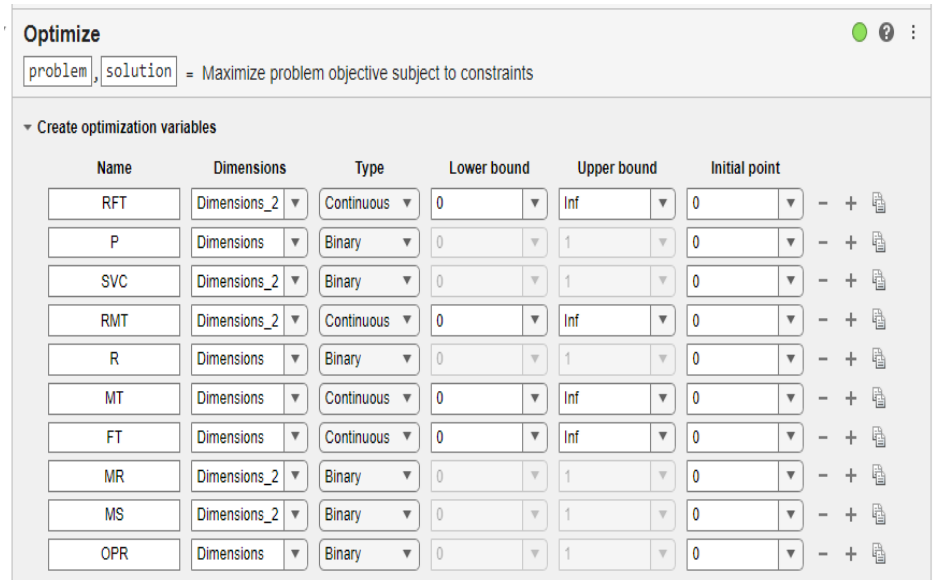
```
% Create optimization variables
RFT2 = optimvar("RFT",Dimensions_2,"LowerBound",0);
P2 = optimvar("P",Dimensions,"Type","integer","LowerBound",0,"UpperBound",1);
SVC2 = optimvar("SVC",Dimensions_2,"Type","integer","LowerBound",0,...
   "UpperBound",1);
RMT2 = optimvar("RMT",Dimensions_2,"LowerBound",0);
R2 = optimvar("R",Dimensions,"Type","integer","LowerBound",0,"UpperBound",1);
MT2 = optimvar("MT",Dimensions,"LowerBound",0);
FT2 = optimvar("FT",Dimensions,"LowerBound",0);
MR2 = optimvar("MR",Dimensions_2,"Type","integer","LowerBound",0,"UpperBound",... 1);
MS2 = optimvar("MS",Dimensions_2,"Type","integer","LowerBound",0,"UpperBound",... 1);
OPR2 = optimvar("OPR",Dimensions,"Type","integer","LowerBound",0,"UpperBound",... 1);
problem.Constraints.constraint1 =
constraintFcn(RFT2,P2,SVC2,RMT2,R2,MT2,MS2,FT2,MR2,...
   K,RFT_max,RMT_max,OPR2,tol_FHR,FHR,ACR,MT_max,RFT_min,M_max,FHR_tot,n,m);
problem.Constraints.constraint2 = constraintFcn1(RMT2,RFT2,SVC2,FT2,MT2,MR2,MS2,...
   RFT_max,RMT_max,RMT_Initial,RFT_Initial,SVC_Initial,n,m,OPR_Initial,...
   MR_Initial,MS_Initial,OPR2);
% Set nondefault solver options
options = optimoptions("ga","ConstraintTolerance",0.01,"EliteCount",2,...
   "FunctionTolerance",0.01,"MaxGenerations",150,"MaxStallGenerations",100,...
   "PopulationSize",10,"PlotFcn","gaplotbestf");
```

جدول شماره ۴. کدنویسی بهینه‌سازی آمادگی عملیاتی پرواز

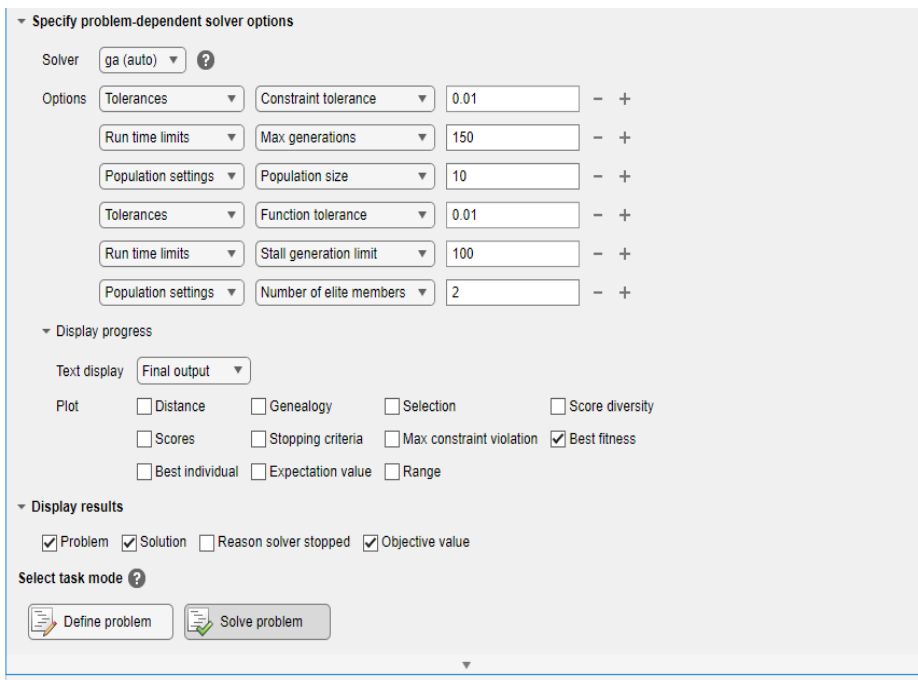
```
% Create optimization variables

RFT2 = optimvar("RFT",Dimensions_2,"LowerBound",0);

P2 = optimvar("P",Dimensions,"Type","integer","LowerBound",0,"UpperBound",1);

SVC2 =
optimvar("SVC",Dimensions_2,"Type","integer","LowerBound",0,..."UpperBound",1);

ance",0.01,"MaxGenerations",150,"MaxStallGenerations",100,...../////
```



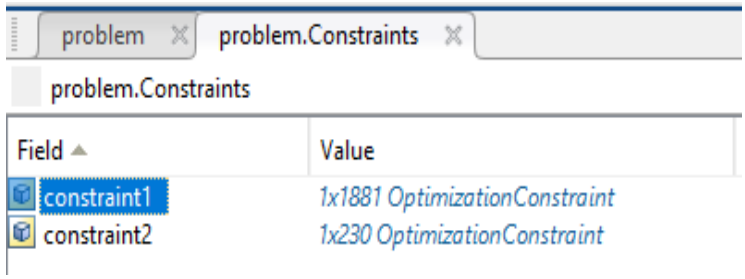
شکل شماره ۱. تعریف تابع هدف و قیدهای برنامه متلب جهت کمینه‌سازی مقادیر



شکل شماره ۲. تعریف متغیرها جهت بهینه‌سازی الگوریتم ژنتیک



شکل شماره ۳. تعریف توابع و متغیر ها برای حل مسأله براساس الگوریتم ژنتیک

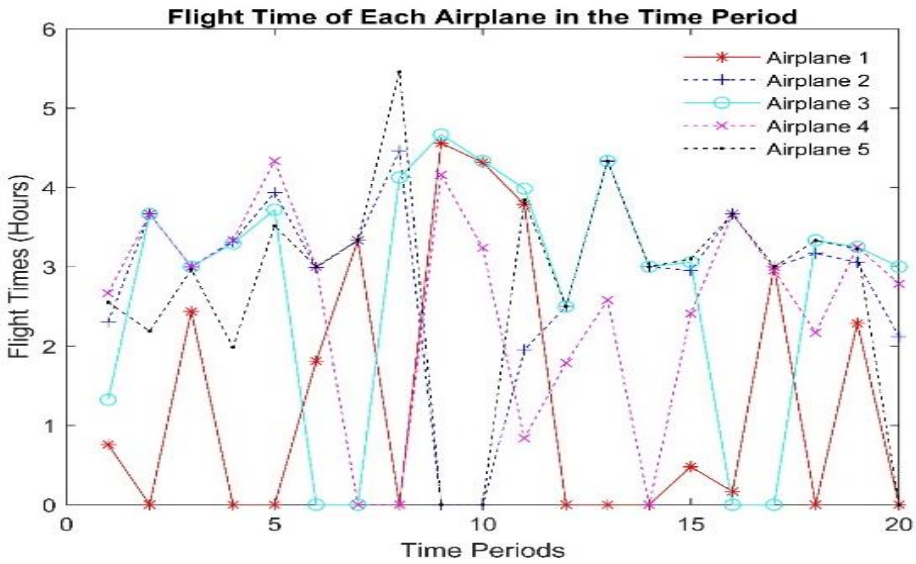


شکل شماره ۴. نتایج قیدهای نامساوی (۱۸۸۱)و تساوی (۲۳۰) در برنامه

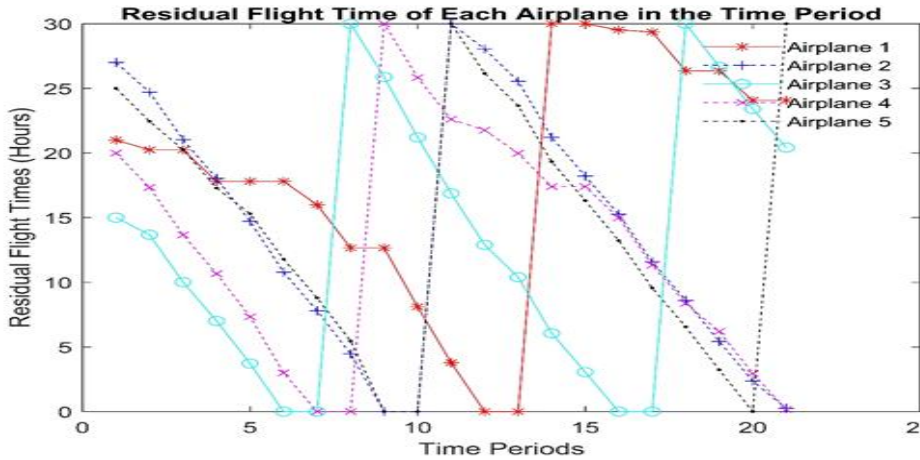
۴. یافته‌ها و تجزیه‌وتحلیل داده‌ها

۴-۱. انتخاب تعیین هزینه ساعت پرواز بهینه با عملگر ژنتیک

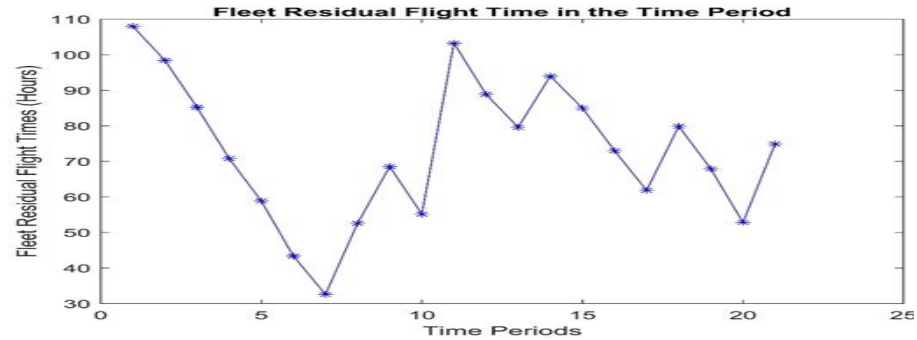
پس از طی‌کردن گام‌های تعیین شده، تعیین مفروضات و پارامترها که در فرآیند اجرای شبیه‌سازی الگوریتم ژنتیک، شبیه‌سازی الگوریتم توسط نرم‌افزار متلب قابل انجام می‌باشد. در این مرحله با استفاده از نرم‌افزار متلب الگوریتم فرا ابتکاری پیشنهادی مورد استفاده قرار گرفته و شبیه‌سازی برای تعیین ساعت پرواز بهینه انجام شد. نتایج خروجی از برنامه نرم‌افزار متلب و الگوریتم ژنتیگ جهت بهینه‌سازی هزینه ساعت پرواز در نمودارهای زیر نمایش داده شده است.



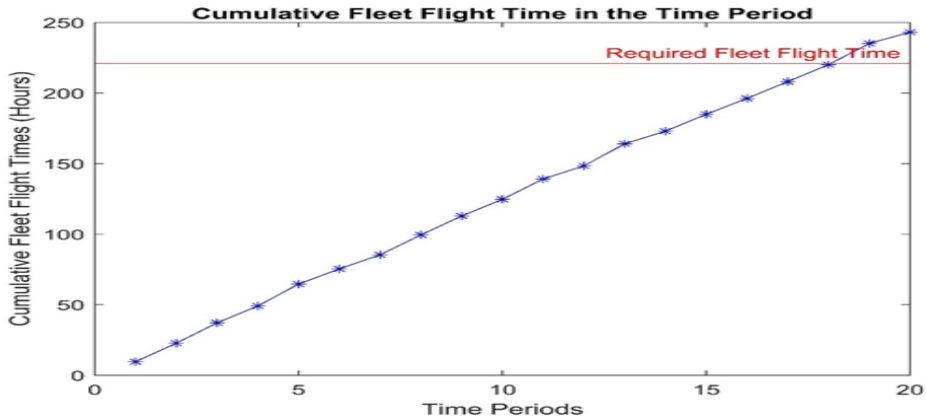
نمودار شماره ۴. محاسبه ساعات پرواز ۵ سایت در ۲۰ هفته



نمودار شماره ۵. محاسبه زمان تلف‌شده پرواز در ۵ سایت پروازی

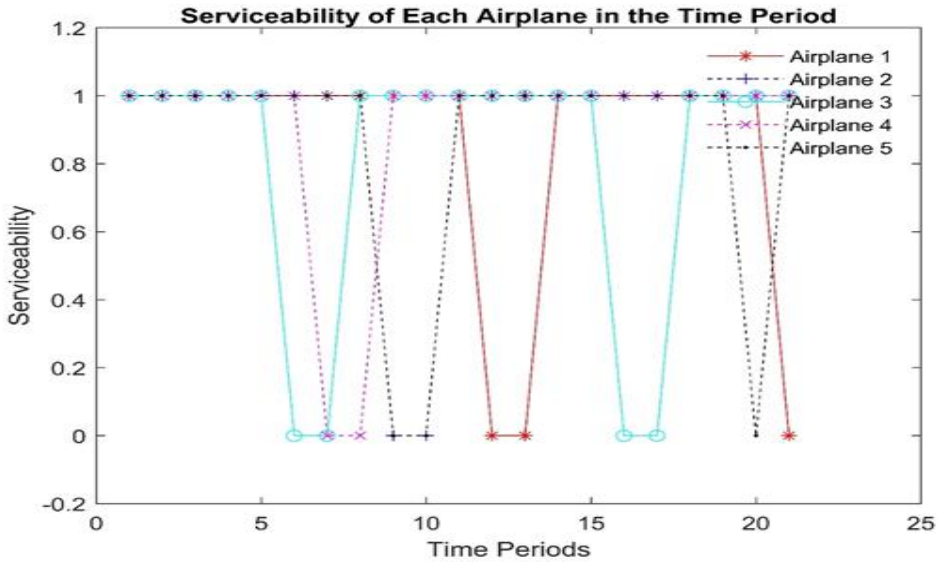


نمودار شماره ۶. کل زمان پرواز از ۵ سایت مولفه پایداری

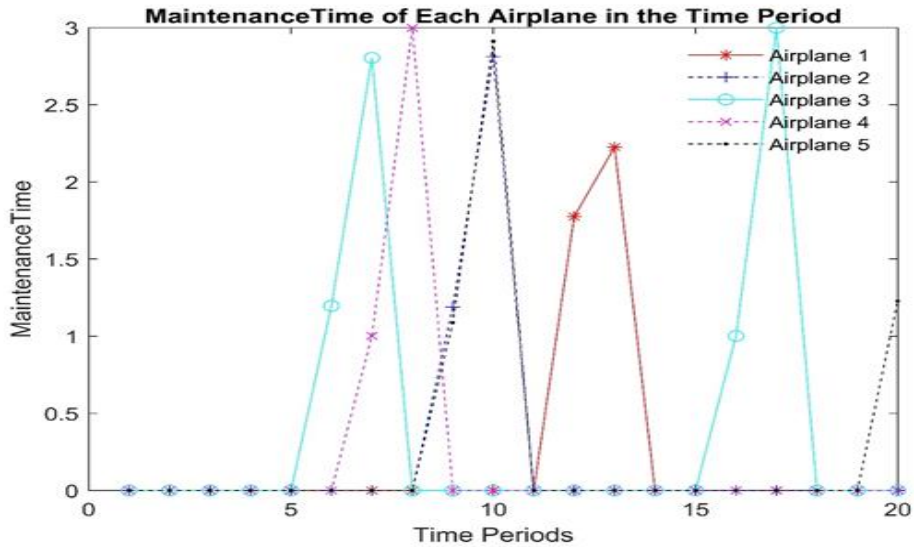


نمودار شماره ۷. کل زمان پرواز ناوگان در دوره زمانی معین

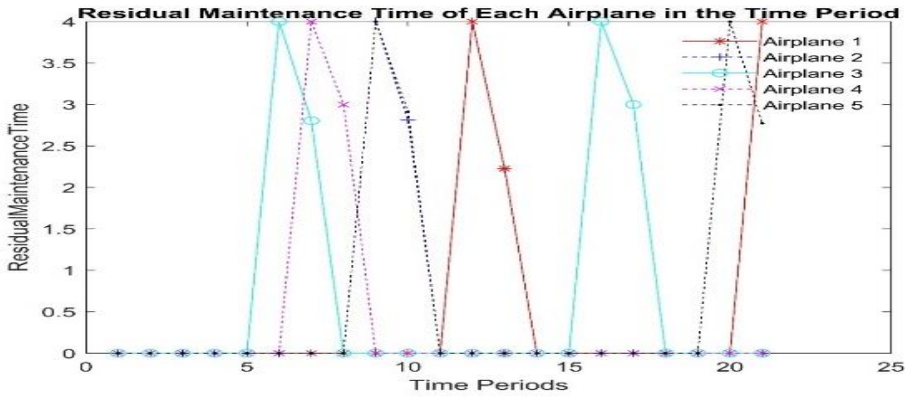
نتایج خروجی از برنامه نرم‌افزار متلب و الگوریتم ژنتیگ جهت بهینه‌سازی هزینه ساعت پرواز در نمودارهای ۸ الی ۱۳ نمایش داده شده است.



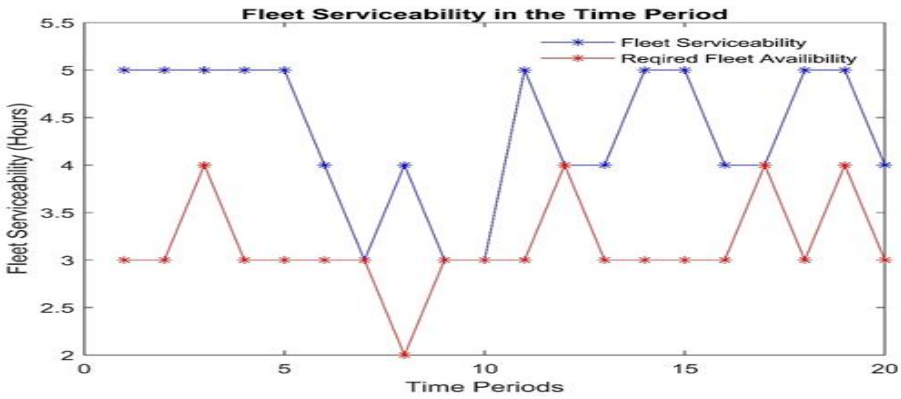
نمودار شماره ۸. مدت زمان سرویس‌دهی ناوگان در دوره زمانی معین



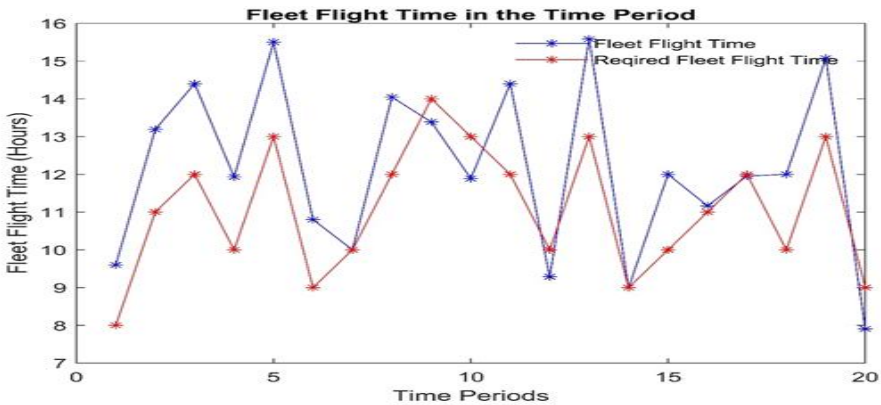
نمودار شماره ۹. مدت زمان تعمیرت فنی هر بالگرد در دوره زمانی معین



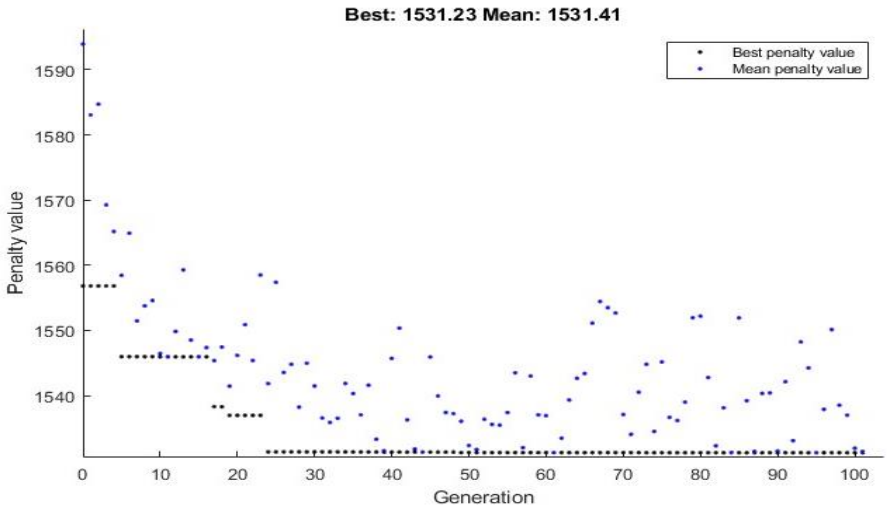
نمودار شماره ۱۰. مدت زمان مولفه پایداری تعمیرات فنی هر بالگرد در زمان معین



نمودار شماره ۱۱. مقایسه زمان سرویس‌دهی کل پرواز با زمان پرواز در دسترس



نمودار شماره ۱۲. مقایسه کل مدت زمان سرویس‌دهی پرواز



نمودار شماره ۱۳. بهینه‌سازی هزینه ساعت با الگوریتم ژنتیک

۲-۴. تجزیه‌وتحلیل نتایج حاصل از نمودارهای فوق

آنچه از نمودارهای فوق احصاء گردید، نتایج بررسی بهینه‌سازی هزینه ساعت پرواز با استفاده از مولفه پایداری از فعالیت بالگردی در پنج سایت پروازی فعال که داده‌های آن در بازه معین ثبت گردیده، با استفاده از نرم‌افزار متلب تمامی پارامترهای و توابع متغیر موثر در آمادگی عملیاتی پروازی شامل مکان پرواز، تعداد کروی پروازی، انجام کار فنی، مدت زمان انجام کار فنی، مدت پرواز و... مشخص گردید و براساس حدود ۱۸۸۱ قیود نامساوی و تعداد ۲۳۰ قیود مساوی مورد پردازش و به‌صورت نمودار در بازه زمانی حدود ۲۰ هفته مورد تحلیل و بررسی قرار گرفتند که نتایج داده‌های مختلفی مانند: مدت زمان انجام پرواز، زمان باقیمانده پرواز هر بالگرد معین و سپس کل مدت زمان ۵ سایت پروازی جهت ارائه خدمات پروازی به‌صورت نمودار جهت برنامه‌ریزی و مدیریت پرواز ترسیم گردید.

همچنین نتایج زمان‌های مولفه پایداری بدست آمده و کمینه‌سازی‌شده توسط الگوریتم ژنتیک در ابتدا با استفاده از مقادیر تعریف‌شده معین و بعد به‌صورت کنش و واکنش صورت و به‌مقدار بهینه حدود ۱۵۳۱,۲۳ رسده که بعد از چند بار (حدود ۱۰۰ بار مقایسه داده‌ها با همدیگر) بهترین نتیجه‌گیری در نمودار مشاهده شده است.

۱-۲-۴. جمع‌بندی یافته‌ها

پژوهش حاضر پس از مطالعه بر روی تحقیقات متعدد محققین از حدود ۵۰ مقالات مطالعه شده (طی حدود ۳۵ سال) مورد پژوهش قرار گرفت که در این پژوهش با هدف بهینه‌سازی هزینه ساعت پرواز با استفاده از شیوه الگوریتم‌های ژنتیک مبتنی بر محدودیت‌های واقعی به انجام رسیده است. به‌طوری‌که در ابتدا کلیه مقادیر موثر در تعیین هزینه به زبان برنامه‌نویسی احصاء و تعریف شد. سپس تاثیرات هر کدام در فرمول‌ها و توابع لگاریتمی روی همدیگر کدنویسی گردید، مانند: FT, MR, MS, MT, OPR, P, R, RFT, RMT, SVC. بعد محدودیت هر کدام از قیود در الگوریتم و حداقل مقادیر بیان و معین گردیدند. برای مثال ساعت پرواز تعداد وسیله‌های پروازی در لحظه شروع جهت انجام پرواز بصورت جدید یا new با فرض صفر کارکرد موتور و قطعات لحاظ گردیده و بعد از گذشت حدود ۲۵ ،۵۰،۱۰۰،۲۰۰،۳۰۰،۵۰۰،۱۰۰۰ و ۱۵۰۰ ساعت پرواز می‌بایستی چک‌های فنی برابر چک لیست‌های مربوطه انجام گردید که دوباره به چرخه عملیاتی برگردد. الگوریتم های دیگری مانند: وضعیت کروی پروازی و تعداد و حداکثر نفرات در پرواز و مدت زمان پرواز بین بازه ۲ تا ۲۰ هفته کاری در حداکثر ۵ سایت پروازی با رعایت تمامی شرایط مورد ارزیابی قرار گرفته است. پس از کد نویسی در برنامه تعداد قیدهای نامساوی حدود ۱۸۸۱و تعداد قید های تساوی ۲۳۰ برای این مسأله خاص نوشته شده که فقط با برنامه متلب امکان بازیابی نتایج خروجی ممکن می‌باشد. در پایان نتایج کلیه اطلاعات ورودی برای بهینه‌سازی توان عملیاتی و کمینه‌سازی هزینه ساعت پرواز با استفاده از الگوی ژنتیک به‌صورت نمودار مورد نمایش قرار گرفت.

در این تحقیق روش‌های مختلفی از بهینه‌سازی ریاضی، شبیه‌سازی ژنتیک مبتنی بر تحلیل داده‌های مقطعی جهت تصمیم‌گیری بهینه‌سازی هزینه‌ها مورد بهره گرفته شده است. با استفاده از الگوریتم اصلاح‌شده فرا ابتکاری و الگوریتم ژنتیک و نرم افزار متلب با عملگرهای دوگانه اقدام به بهینه‌سازی توان عملیاتی گردید، حال در پاسخ به پرسش که این مدل‌سازی تعیین هزینه جهت ارتقاء توان عملیاتی و بهینه‌سازی آن در فضای موجه

به‌دست آمد از الگوی ریاضی تحلیل پوششی داده‌ها، با استفاده از برنامه ریاضی متلب مبتنی بر الگوریتم شبیه‌سازی ژنتیک چه نتایجی در بردارد؟ پاسخ این است که با استفاده از پیشینه تحقیقات و منابع مطالعه شده برای پژوهش؛ مولفه پایداری در ارتقاء توان عملیاتی پرواز به عنوان یکی از مهم‌ترین شاخص‌های موثر بر تعیین هزینه انتخاب گردید که این مولفه می‌بایستی به‌صورت حداقل‌نمودن زمان آن باید پایداری انجام پروازهای در یک ناوگان به ماکزیمم خود برسد که برابر فرمول زیر محاسبه و به نتیجه رسیده است.

$$maximize: \quad SUSt_{min}$$
$$subject\ to: \quad SUSt_{min} \leq \sum_{n} RFT_{n.l}$$

پایداری در یک ناوگان برای هر وسیله پروازی قابلیت انجام پرواز با شرایط محدود را داشته و می‌توان برای هر نوع ماموریت پروازی برنامه‌ریزی شود و یا به‌عبارتی زمان باقیمانده پروازی هر وسیله پرنده در دوره زمانی می‌باشد. لذا با استفاده از احصاء و بکارگیری کلیه پارامترهای تاثیر گذار مانند: وضعیت حاضر بالگردها، وضعیت کارکنان پروازی، نوع ماموریت ابلاغی، سوخت مورد نیاز، مشخصات قطعات مصرفی با تعداد آن و نیز قطعات زمان‌دار بالگرد مورد نظر، انجام پرواز در شب یا روز، مکان انجام پرواز، نیروی پشتیبانی از ابتدای ابلاغ ماموریت، حین کار پرواز و نیز کارکنان خدمات فرودگاهی و... به‌صورت یک مدل ریاضی ارائه شده است.

۵. نتیجه‌گیری و پیشنهادات

برابر نتایج به‌دست آمده برای مدیریت موثر هزینه جهت ارتقاء توان آمادگی عملیاتی و فناوری دفاعی پرواز بالگردی MI-171 کشور بوده است؛ به‌طوری‌که به آسانی قابل اجراء می‌باشد و بروی دیگر بالگردهای ترابری که در دیگر شرکت‌های خدمات هوایی مانند بالگرد ۲۱۲، ۴۱۲ و یا ۲۱۴ به‌کارگیری شده‌اند، می‌توان تعمیم داد. با توجه به نتایج نهایی استفاده از الگوی چندمعیاره الگوریتم ژنتیک، پارامترهای ورودی و خروجی به‌عنوان موثرترین عوامل تاثیرگذار بر تعیین هزینه پرواز در شرکت‌های خدمات پروازی هوایی، با

مقایسه موجی و نموداری صورت گرفته به اتکای نظرسنجی از خبرگان، به ترتیب زیر عبارت هستند از:

(۱) نوع بالگرد،
(۲) تعداد بالگرد،
(۳) خرید تجهیزات تخصصی،
(۴) خرید تجهیزات ناوبری،
(۵) زمان انجام چک فنی،
(۶) تعداد چک‌های پیش‌رو،
(۷) وضعیت ابنیه و آشیانه‌ها،
(۸) هزینه عملیات پرواز،
(۹) هزینه آموزش کروی فنی و خلبان،
(۱۰) هزینه خدمات فرودگاهی،
(۱۱) هزینه سوخت،
(۱۲) حقوق و دستمزد، و...

همچنین بر پایه ادبیات تحقیق در اندازه‌گیری متغیرها و پالایش پارامترهای ورودی و خروجی‌ها با استفاده از روش چند معیاره تحلیل شبکه فازی، موارد نهایی جهت تعیین فضای موجه اولیه تعیین ترکیب بهینه‌سازی و به‌تعبیری، تصمیم‌سازی حداکثرسازی کردن مینیمم‌های احصاءشده جهت کاهش هزینه و مدیریت برابر اصول اولیه قابلیت پروازی، پایداری و کارایی با استفاده از احصاء تمامی مقادیر، و محاسبه و ضریب اهمیت آنها و یا استفاده در زمان و مکان مناسب روی وسیله‌های پرواز با محاسبه علمی مقادیر ریسک و همچنین مدیریت هوشمند، برابر محاسبات علمی و میدانی صورت گرفته برای محاسبه هزینه ساعت پرواز و با استفاده از حداقل‌نمودن آن برابر اقدامات انجام شده بهینه‌سازی نمودن و این هزینه را صرف آمادگی عملیاتی به‌صورت افزایش تعداد تجهیزات و یا افزایش توان عملیاتی سازمان به انجام رسیده است. در نهایت این‌که، با یک برنامه‌ریزی

مناسب با استفاده از احصاء دقیق پارامترهای موثر در هزینه‌ها و زمان مشخص از کلیه حوزه‌های خدماتی، فنی و نیز آمادگی عملیاتی و فناوری دفاعی برای یک پرواز در آینده این امکان به‌وجود آید کلیه هزینه‌های سازمان را با توجه به شرایط امنیتی و برآورد اعتباری محاسبه و مدیریت هزینه اقتصادی به‌منظور انجام پروازهای ایمن انجام گردد.

۱-۵. پیشنهادات تخصصی برای آینده

- مطالعه، پژوهش، انتخاب و طراحی مدل مناسب ریاضی جهت بهینه‌سازی آمادگی عملیاتی برابر الگوی پیشنهادی بیان شده،
- ارتقاء توان عملیاتی پرواز و تعیین هزینه در ابتدا و وضعیت فعلی هزینه سازمان پروازی،
- استفاده از مدل‌سازی تعیین هزینه با الگوی ریاضی تحلیل پوششی داده‌ها مانند: وضعیت حاضر بالگردها، وضعیت کارکنان پروازی، نوع ماموریت ابلاغی، سوخت مورد نیاز، مشخصات قطعات مصرفی با تعداد آن و نیز قطعات زماندار بالگرد مورد نظر، انجام پرواز در شب یا روز، مکان انجام پرواز، نیروی پشتیبانی از ابتدای ابلاغ ماموریت، حین کار پرواز و نیز کارکنان خدمات فرودگاهی و... مبتنی بر استفاده از برنامه ریاضی متلب مطابق بر الگوریتم شبیه‌سازی ژنتیک جهت ارتقاء توان عملیاتی و پایداری جهت بهینه‌سازی و کاهشی هزینه پرواز. شناسایی راهکارهای کاهش هزینه ساعت پرواز در سازمان و همچنین شناسایی محرکهای هزینه بودجه بندی بر مبنای فعالیت.
- توجه به مدیریت هزینه‌های دفاعی و تأثیر آن بر رشد و توسعه بخش اقتصاد ج.ا.ایران،
- توجه به تامین، تهیه، تولید قطعات هوایی، فنی و نگهداری در شرایط مناسب با حداقل انجام کار فنی و زمان تعمیرات قطعات جهت در دسترس بودن بالگردها و استفاده حداکثری بالگرد،

- ❖ برنامه‌ریزی منظم انجام تعمیرات فنی و استفاده از قطعات و تجهیزات فنی با کیفیت،
- ❖ آنالیز و تجزیه‌وتحلیل اطلاعات و داده‌ها فنی و پروازی،
- ❖ مدیریت انجام تعمیرات سبک و نیمه‌سنگین و سنگین یا اورهال،
- ❖ وجود برنامه‌ریزی تعمیرات پیشگیرانه و یا استفاده از ابزارهای پیش‌بینی کننده نگهداری و فرایند نگهداری پیشگویانه،
- ❖ توجه مالی و انگیزشی به منابع انسانی متخصص فنی و خلبان،
- ❖ استفاده از نرم‌افزارهای مدیریت تعمیرات فنی،
- ❖ استفاده از تکنولوژی‌های جدید و به‌روز دنیا در بخش‌های هوایی،
- ❖ برنامه‌ریزی و اجرایی‌کردن قطعات تعمیری، تعویضی، یا قطعات مصرفی و گلوگاهی برابر بودجه در اختیار و با ترتیب اولویت به‌صورت متمرکز،
- ❖ اشتراک‌گذاری قطعات بین بخش‌های استفاده کننده تابع تعمیراتی،
- ❖ استفاده از داده اطلاعاتی، تجزیه‌وتحلیل داده‌ها و بررسی دقیق اشکالات فنی و مدیریتی،
- ❖ به‌کارگیری مناسب از منابع و امکانات سازمان یعنی وسیله پروازی مناسب و مکان تعمیراتی،
- ❖ استفاده مفید و اثربخش با به‌کارگیری نیروی انسانی موثر و کارآمد در بخش‌های اجرایی، تخصصی و مدیریتی،
- ❖ توجه جدی به بخش آموزش عمومی و عرضی تخصصی با برگزاری کلاس‌های بازآموزی فنی، تخصصی خلبانی و شبیه‌ساز پرواز.

منابع

الف. انگلیسی

- Cho, P. Y. (2011). ***Optimal Scheduling of Fighter Aircraft Maintenance***. M.Sc. thesis, Mass schusses Institute of Technology.
- Verhoeffa, M.; Verhagenb, W.J.C.; & Curranb, R. (2015). "Maximizing operational readiness in military aviation by optimizing flight and maintenance planning", In: ***sciencedirect***, Available online at: http://www.sciencedirect.com.
- Q. Deng, F.; Santos, J.C.; & Verhagen, B. (2021). ***A novel decision support system for optimizing aircraft maintenance check schedule and task allocation***, Decision Support Systems.

COPYRIGHTS

© 2024 by the authors. Published by The National Defense University. This article is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0) https://creativecommons.org/licenses/by/4.0