شبیه‌سازی قابلیت اطمینان سیستم هیدرولیک بوئینگ ۷۴۷

علی‌اصغر تنها
کارشناس ارشد مدیریت صنعتی‌از دانشگاه علامه طباطبائی

چکیده

از جمله موارد مهمی که ارزیابی و پیش‌بینی آن می‌تواند با شبیه‌سازی انجام پذیرد، قابلیت اطمینان است. مقاله‌ای که در پیش‌رو دارید نتیجه انجام پژوهشی در مورد "شبیه‌سازی قابلیت اطمینان قطعات و قابلیت اطمینان سیستم هیدرولیک بوئینگ ۷۴۷" است. در این پژوهش، مدلی در دو قسمت به همراه نرم‌افزار، ارایه شده است: قسمت اول، جهت محاسبه قابلیت اطمینان قطعات و سیستم دربرگیرندهٔ آنها طراحی گردیده است که می‌تواند در اغلب سیستم‌های صنعتی استفاده شود. قسمت دوم، جهت محاسبهٔ قابلیت اطمینان سیستم هیدرولیک بوئینگ ۷۴۷ طراحی شده است.

اجراهای متفاوت و نتایج بدست آمده از نرم‌افزار و همچنین تأیید کارشناسان سیستم در شرکت هواپیمایی جمهوری اسلامی ایران حاکی از صحت و اعتبار مدل و نرم‌افزار می‌باشد. این مقاله نگاهی گذرا به تحقیقات گذشته، ضرورت و اهداف تحقیق در بخش مقدمه دارد و سپس روش انجام تحقیق مشتمل بر معرفی سیستم هیدرولیک، اجرا و

تجزیه و تحلیل آماری و... را مورد بررسی قرار می‌دهد. در انتها یافته‌ها و پیشنهادهایی جهت ادامه کار ارائه خواهند شد.

مقدمه

قابلیت اطمینان در عین اینکه در دستگاههای پیشرفته و پیچیده امروز اهمیت پیدا می‌کند، امّا یک مفهوم قدیمی است و آن را به حدود ۴۰۰ سال قبل از میلاد نسبت می‌دهند. در ابتدا تأکید بر توسعه تکنیک‌هایی بود که قابلیت اطمینان را به صورت کمّی تعریف کرده بودند. پیدایش این حرکت در اوایل سالهای دهه ۱۹۵۰ بود.

در سال ۱۹۵۹ یک روش سازماندهی شده تحقیق در جهت حفظ قابلیت نگهداری، به وسیله نیروی هوایی ایالات متحده و در قالب یک برنامه مشخص مدون و رسمی به نام MIL-M-26512 ارائه گردید که شامل میزان قابلیت اطمینان سیستم‌های مکانیکی و الکتریکی تجهیزات نظامی بود.

در دهه ۱۹۷۰ تلاشهایی در جهت پیش‌بینی قابلیت اطمینان به عنوان بخشی از فرایند طراحی صورت گرفت و سازندگان "طراحی براساس توزیع نرخ شکست قطعات" و "پیش بینی قابلیت اطمینان" را پذیرفتند.

از نظر تاریخچه پیدایش، شیوه‌های ارزیابی قابلیت اطمینان در ابتدا در ارتباط با صنایع هوا فضا و کاربردهای نظامی شکل گرفتند ولی به سرعت توسط سایر صنایع مانند صنایع هسته‌ای که تحت فشار شدیدی جهت تضمین ایمنی و قابلیت اطمینان راکتورهای هسته‌ای در تأمین انرژی الکتریکی می‌باشند و یا صنایع دارای فرایندهای پیوسته مانند فولاد و صنایع شیمیایی که هر ساعت توقف آنها بعلت وقوع معایب می‌تواند موجب تحمیل خسارتهای بزرگ مالی و جانی و آلودگی محیط زیست شود، مورد توجه و کاربرد قرار گرفت.

در داخل کشور نیز در این زمینه مقالات و پژوهشهایی انجام گردیده که می‌توان به بعضی از موارد آنها اشاره نمود:

در سالهای ۱۳۶۶ و ۶۷ در "کنفرانس شبکه سراسری برق" دو مقاله توسط دکتر نظام‌الدین فقیه در خصوص "حد بهینه تعویض و بازرسیهای نگهداری به منظور افزایش قابلیت اطمینان در نیروگاهها" ارائه گردید. در این مقالات با استفاده از مدلهای آمار ریاضی راه‌هایی برای تعیین تناوب زمانی که منجر به حداقل هزینه و حداکثر قابلیت اطمینان می‌گردد ارایه شده است.

هم‌چنین در بهار ۱۳۶۸ نیز در "بیستمین کنفرانس ریاضی کشور" توسط دکتر نظام‌الدین فقیه مقاله‌ای در باب "ارتقاء قابلیت اطمینان در سیستم‌های صنعتی" ارائه گردیده است که در این مقاله تکنیک‌های آماری جهت افزایش قابلیت اطمینان (مثل بکارگیری سیستم‌های مازاد) مورد بحث قرار گرفته است.

تنها پژوهش خاصی که از لحاظ عنوان تا اندازه‌ای مرتبط با این موضوع است توسط آقای علیرضا ایرج‌پور در دانشگاه شیراز به راهنمایی دکتر نظام‌الدین فقیه تحت عنوان "تخمین بهینه تناوب زمانی تعویض و قابلیت اطمینان سیستمهای الکتریک و موتور بوئینگ ۷۴۷" (البته قطعات و نه کل سیستم) انجام شده است. البته این تحقیق با تکیه بر مدلها و روشهای آماری، قابلیت اطمینان را بدست می‌آورد و در آن از شبیه‌سازی استفاده نشده است.

هواپیما در این قرن و قرن گذشته، نقش مهم و اساسی را در روابط کشورهای مختلف جهان و تبادل نیروهای متخصص و در نتیجه انتقال تکنولوژی و نمایاندن قدرتهای اقتصادی آنان داشته است. مهمترین عامل حفظ استاندارد، در این سیستم بسیار پیچیده وکلاً در صنعت هواپیمایی، ایمنی پرواز یا همان قابلیت اطمینان است. همچنین هدف از تمامی تکنیک‌های مهندسی و برنامه‌ریزی‌های تعمیرات و نگهداری، افزایش ضریب ایمنی (قابلیت اطمینان) می‌باشد.

در چنین سیستمی، اختلال در تداوم عملیات‌ها و مأموریت‌ها حتی برای یک لحظه نیز جایز و موجه نمی‌باشد و در صورت وقوع اختلالهای جدی (شامل خرابیهای مهم) علاوه بر زیانهای مادی، جان دهها یا صدها انسان بخطر می‌افتد، لذا قابلیت اطمینان

دراین صنعت از اهمیت بالایی برخوردار است.

سیستم هیدرولیک یکی از مهمترین زیر سیستم‌های هواپیما می‌باشد و به همین دلیل قابلیت اطمینان آن، تأثیر بسیار زیادی در قابلیت اطمینان هواپیما دارد.

باتوجه به اینکه صنعت هواپیمایی به عنوان یکی از صنایع ارزبر کشور مطرح می‌باشد و هواپیماهای موجود سرمایه‌های ملی به شمار می‌آیند و همچنین باتوجه به دوران بازسازی اقتصادی و دستیابی به خودکفایی، ضروری است که از سیستم‌های موجود به نحو احسن نگهداری کرده و تدابیری را اندیشه کنیم تا تداوم بهره‌برداری از این سیستمها را برای سالهای بیشتر فراهم نمائیم.

این تداوم، زمانی حاصل می‌شود که از سیستم‌ها در شرایطی که قابلیت اطمینان بالایی دارند، استفاده کنیم؛ چرا که در چنین شرایطی احتمال آسیب و شکست در قطعات و اجزاء سیستم‌ها کمتر می‌باشد و در نتیجه بقاء و عمر سیستم بیشتر خواهد بود و در غیر اینصورت (در شرایط استفاده از سیستمها در قابلیت اطمینان پایین) شاهد انهدام سیستم‌ها و در نتیجه اتلاف سرمایه‌های ملی و بیشتر شدن وابستگی خواهیم بود.

دستیابی به قابلیت اطمینان بالا جز در سایه وجود یک سیستم مکانیزه که توان تحلیل داده‌های شکست (زمان خرابیها) را داشته باشد و بتواند پارامترهای مهم و موردنیاز برای تصمیم‌گیری در بخش مهندسی تعمیرات و نگهداری را محاسبه نماید، امکان‌پذیر نمی‌باشد. یکی از این پارامترهای مهم، همانطور که قبلاً بیان شد، قابلیت اطمینان است و همیشه باید مقدار این پارامتر برای قطعات و زیر سیستم‌های هواپیما محاسبه شود و تحت کنترل باشد.

هدف این پژوهش ارائه یک برنامه کامپیوتری جهت انجام محاسبات مربوط به قابلیت اطمینان سیستم هیدرولیک می‌باشد. محاسبات مربوط به قابلیت اطمینان با شبیه‌سازی سیستم هیدرولیک انجام می‌گیرد. از خروجی‌های این برنامه «قابلیت اطمینان قطعات مختلف این سیستم» و همچنین «قابلیت اطمینان یک سیستم هیدرولیک» و «قابلیت اطمینان سیستم هیدرولیک هواپیما» می‌باشد.

روش

قابلیت اطمینان به دو روش «تحلیلی» و «شبیه‌سازی» قابل ارزیابی است. سیستم مورد مطالعه، سیستم پیچیده‌ای است و استفاده از روش تحلیلی منجر به ساده‌سازی آن خواهد شد و در صورت عدم ساده‌سازی نیز به مدل ریاضی پیچیده‌ای برخواهیم خورد که تحلیل آن ساده نخواهد بود(در صورتیکه در روش شبیه‌سازی می‌توان اکثر قطعات را مورد بررسی و تجزیه و تحلیل قرار داده و قابلیت اطمینان قطعات مهم و کم‌اهمیت و قابلیت اطمینان سیستم هیدرولیک هواپیما را بدست آورد لذا بنظر می‌رسد که شبیه‌سازی اطلاعات بیشتری از رفتار واقعی و ذاتی سیستم از جمله قابلیت اطمینان قطعات و کل سیستم بدست می‌دهد). بنابراین برای انجام تحقیق از روش شبیه‌سازی استفاده کرده‌ایم.

این روش شامل مراحل و گامهای متعددی است که اهم آنها عبارتند از: [۱]

۱ـ تعریف سیستم
۲ـ طراحی مدل
۳ـ جمع‌آوری و آنالیز داده‌ها
۴ـ برنامه کامپیوتری
۵ـ صحت مدل
۶ـ اعتبار مدل
۷ـ اجرا و تجزیه و تحلیل آماری

۱ـ تعریف سیستم

برای طراحی مدل، ابتدا سیستم هیدرولیک ۷۴۷ مورد بررسی قرار گرفت تا اطلاعات موردنیاز برای توصیف سیستم شامل اجزا و روابط آن بدست آید. در این مرحله از طرحها، نقشه‌ها، گزارش‌ها و کتب راهنمای ۷۴۷ استفاده گردید [۵].

در مواردی که اطلاعات مدون در دسترس نبود سایر اطلاعات از طریق مصاحبه با متخصصین و کارشناسان بدست آمد.

هیدرولیک بوئینگ ۷۴۷ شامل چهار سیستم اصلی و یک سیستم کمکی می‌باشد. چهار سیستم اصلی به طور مجزا و مستقل از هم عمل می‌کنند و هر کدام در قسمت انتهایی یک موتور هواپیما (در مجموع ۴ موتور) قرار گرفته‌اند.

شماره این سیستم‌ها (۱ تا ۴) مشابه شماره موتورها می‌باشد و خطوط هیدرولیکی هر کدام از سیستم‌ها با باندهای رنگی مشخص گردیده است: سیستم شماره ۱ با رنگ قرمز، سیستم شماره ۲با رنگ آبی، سیستم شماره ۳ با رنگ نارنجی، و سیستم شماره ۴ با رنگ سبز.

تنها سیستم کمکی، در سیستم اصلی شماره ۴ تعبیه شده است تا بعضی از عملکردهای موردنیاز هواپیما را بر روی زمین انجام دهد (البته در بعضی از هواپیماها یک سیستم کمکی دیگر (stand by) نیز قرار داده شده است که در بوئینگ ۷۴۷ موجود نمی‌باشد).

هر کدام از سیستمهای اصلی دارای اجزاء و ماژولهایی هستند که عبارتند:

ازماژول فشار، ماژول برگشت، ماژول کیس درین، مخزن، شیر آتش، دو پمپ EDP، ADP و پمپ AC در سیستم کمکی، مبدل حرارتی، شیر یک طرفه و نشانگرها.

عملکرد هر کدام از سیستم‌های اصلی تقریباً مشابه دیگری است که به اجمال آن را بررسی می‌کنیم:

مخزن، جریان مثبت مایع هیدرولیکی را به سمت EDP و ADP (در سیستم شماره ۴ به EDP و ADP مخزن و پمپ سیستم کمکی) هدایت می‌کند. مایع از طریق شیر shut off (fire) که در حالت عادی باز است به EDP و بطور مستقیم به ADP و پمپ سیستم کمکی در سیستم شماره ۴ می‌رسد. خروجی پمپ‌ها به سمت ماژول فشار که کار فیلتر کردن مایع را قبل از ورود به سیستم‌های عمل کننده به عهده دارد، هدایت می‌شود.

شیرهای یکطرفه این ماژول جهت جریان را کنترل کرده و نشانگرهای اختلاف فشار، فشار دوطرف فیلتر را نشان می‌دهند. مایع برگشتی از سیستم‌های عمل کننده، از طریق ماژول برگشت، فیلتر شده و به مخزن باز می‌گردد. خنک کردن و روغنکاری پمپ توسط مایع هیدرولیکی که از بدنه هر پمپ عبور می‌کند انجام می‌شود. مایع عبور داده شده از بدنه پمپ‌ها به ماژول کیس درین و سپس به مبدل حرارتی هدایت می‌شود و از طریق ماژول برگشت به مخزن باز می‌گردد.

بنابر آنچه بیان شد در هر سیستم هیدرولیک دو نوع مسیر جریان مایع هیدرولیکی وجود دارد:

۱ـ مسیر یا خط تولید فشار بالا که از آن برای تغذیه سیستم‌های عمل کننده مثل ارابه فرود و سطوح پروازی استفاده می‌گردد.

۲ـ مسیر یا خط فشار پایین که از آن جهت روغنکاری و خنک کردن پمپ‌ها استفاده می‌شود. بعد از استفاده شدن مایع در هر دو مسیر، مایع برگشتی فیلتر شده و به مخزن باز می‌گردد.

سیستم‌های اصلی هیدرولیک وظیفه دارند تا با تأمین و ایجاد نیروی هیدرولیک چهار سیستم زیر را فعال نمایند:

۱ـ سیستم کنترل‌های پرواز (یا سطوح پرواز) (Flight Controls)

۲ـ سیسم ارابه فرود (Landing gear)

۳ـ سستم ترمز (Brake)

۴ـ سیستم راندن (Steering)

۱ـ کنترل پرواز: این سیستم از قطعات و اجزائی از قبیل: الران (aileron)، الویتور (elevator) رادر (rudder)، استبلایزر (stabilizer)، اسپویلر (spoiler)، کنترل مرکزی (C.C.A) و فلپ (flap) تشکیل شده است که همگی کنترل و هدایت پرواز هواپیما را جهت چرخش، گردش به اطراف، بالا و پایین رفتن و... بعهده دارند. تمام چهار سیستم هیدرولیک در فعال کردن سیستم کنترل پرواز نقش دارند.

کنترل پرواز به دو سطح اولیه و ثانویه تقسیم می‌شود که سطح اولیه شامل الران الویتور و رادر می‌باشد و بقیه اجزاء در سطح ثانویه قرار می‌گیرد. کنترل پرواز در سطح اولیه از چهار سیستم تغذیه می‌شود و حتی اگر سه سیستم از چهار سیستم هیدرولیک از کار بیفتند، باز هم کنترل پرواز اولیه ممکن می‌شود و هواپیما تا حدود زیادی می‌تواند هدایت شود. کنترل پرواز ثانویه نیز از چهار سیستم تغذیه می‌شود و حداقل با دو سیستم هیدرولیک کارایی خود را خواهد داشت ضمن اینکه دارای سیستم‌های پشتیبان (Back up) هوایی یا الکتریکی نیز می‌باشد.

۲ـ ارابه فرود: سیستمی است که وظیفه فرود هواپیما را بر عهده دارد و شامل چرخهای هواپیما است. چرخها در قسمت‌های دو بال، بدنه و دماغه هواپیما قرار دارند. ارابه فرود از سیستم شماره ۱ برای چرخهای بدنه و دماغه و از سیستم ۴ برای چرخهای بال تغذیه می‌کند.

سیستم ارابه فرود دارای دو سیستم پشتیبان (Back up) الکتریکی و مکانیکی می‌باشد که در صورت عمل نکردن سیستم‌های هیدرولیک از آنها به ترتیب استفاده خواهد شد.

۳ـ ترمز: ترمز هواپیما هم توسط اسپویلرها و هم توسط سیستم ترمز انجام می‌شود (اسپویلر جزئی از سیستم کنترل پرواز است). سیستم ترمز شامل دو بخش نرمال و رزرو است که نرمال آن از دو طرف، تحت عناوین اولیه و ثانویه، تغذیه می‌کند. سیستم ترمز نرمال از دو سیستم شماره ۱ و ۴ تغذیه می‌شود و سیستم ترمز رزرو از سیستم شماره ۲ تغذیه می‌گردد. لازم به ذکر است که این سیستم بر روی زمین فعال می‌شود.

۴ـ راندن: این سیستم جهت راندن هواپیما بر روی زمین فعال می‌گردد و از سیستم شماره ۱ تغذیه می‌شود. باتوجه به توضیحات فوق دربارهٔ سیستم‌های عمل کننده (استفاده‌کننده‌های نیروی هیدرولیک)، نحوه فعالیت و سیستم‌های پشتیبان آنها واضح است که چهار سیستم فوق دارای اهمیتی به ترتیب زیر می‌باشند؛ به عبارت دیگر، اهمیت وظایف هیدرولیک (functions) به ترتیب زیر است:

ـ کنترل پرواز با درجه اهمیت اوّل
ـ ارابه فرود با درجه اهمیت دوّم
ـ ترمز با درجه اهمیت سوّم
ـ راندن با درجه اهمیت چهارم

قطعات سیستم به چند دسته کلّی تقسیم می‌شوند:

۱ـ OC (On Condition)

۲ـ CM (Condition Monitoring)

۳ـ hard time (یا timex)

۴ـ Nome

۱ـ OC: به قطعاتی گفته می‌شود که باید تا زمان خرابی روی هواپیما باشد و در هنگام کار، یا بازدیدهای کلی در طول پرواز یا توسط نشانگرها، کنترل شود.

۲ـ CM: به قطعاتی گفته می‌شود که باید تا زمان خرابی روی هواپیما باشد و تا زمانیکه سالم می‌باشد، چک نمی‌شود ولی تعداد و شرایط خرابی آنها مورد تجزیه و تحلیل (مونیتور) قرار می‌گیرد.

۳ـ hard time: قطعاتی هستند که دارای زمان مصرفی مشخصی می‌باشند و اگر تا آن زمان خراب نشوند برای تعمیر، باز نخواهند شد. امّا هنگام رسیدن به آن زمان حتی اگر خراب هم نباشند باز شده و تعمیر اساسی خواهند شد (Overhaul).

۴ـ None: به قطعاتی گفته می‌شود که در حال بررسی و مطالعه است و وضعیت خاصی برای آن هنوز در نظر گرفته نشده است (البته تعداد این قطعات بسیار کم می‌باشد).

اکثر قطعات این سیستم از نوع OC و CM می‌باشند و فقط دو قطعه از نوع hard time می‌باشند.

۲ـ طراحی مدل

الف ـ فرضیات مدل: طراحی مدل باتوجه به فرضیات زیر انجام گرفته است:

۱ـ تعداد قطعات انتخاب شده سیستم هیدرولیک ۲۳ قطعه است و تعداد رویدادهای خاص ۳ رویداد می‌باشد که عبارتند از: نشتی سنگین مایع هیدرولیک بر اثر ضربه یا شکستگی، خاموشی موتور، خاموشی هم زمان ۴ موتور.

تذکّر این مطلب ضروری است که کل قطعات غیرمشابه در لیست TBO، ۴۴ قطعه می‌باشند که ۲۳ قطعه آن تحت کنترل می‌باشند و بقیه بدلیل عدم‌اهمیت و حساسیت و عدم تأثیر در ایمنی سیستم دارای گزارش ثبت شده نمی‌باشند لذا تعداد ۲۳ قطعه را برای بررسی انتخاب کرده‌ایم.

۲ـ قطعات مصرفی سیستم مثل فیلترها و واشرها بدلیل داشتن زمان بازدید و تعویض مشخص در مدل درنظر گرفته نشده‌اند. ضمناً فیلترها در سیستم دارای مسیربای پس (bypass) بوده و در کارکرد سیستم خطر جدی ایجاد نمی‌کنند (در صورت خراب شدن).

۳ـ هر قطعه که دچار خرابی شود با قطعه سالم تعویض می‌شود این فرض بدلیل این است که غیر از قطعات مصرفی تعویض پیشگیرانه در سیستم واقعی وجود ندارد.

۴ـ تمام قطعات در ابتدای اجرای مدل نو و سالم می‌باشند.

۵ـ رویدادهای تصادفی را باتوجه به درجه اهمیت آنها به سه درجه زیر تقسیم کرده‌اند:

الف ـ درجه یک (خیلی مهم): رویدادهایی که وقوع آنها سبب از کار افتادن سیستم می‌شود.

ب ـ درجهٔ دو (مهم): رویدادهایی که وقوع آنها به تنهایی سیستم را از کار نمی‌اندازد. البته اگر تعداد آنها بطور همزمان دو یا بیشتر شود، سیستم از کار می‌افتد.

ج ـ درجهٔ سه (کم اهمیت): رویدادهایی که وقوع آنها حتی بطور همزمان سیستم را از کار نمی‌اندازد.

رویدادهای موجود در مدل دارای درجات اهمیت زیر هستند:

الف ـ درجه یک: ۱) نشتی سنگین مایع هیدرولیک ۲) خاموشی همزمان چهار موتور (EDP و ADP چهار سیستم از کار می‌افتد).

ب ـ درجه دو: ۱) خرابی EDP ۲) خرابی ADP ۳) خاموشی یک موتور (که منجر به خاموشی EDP می‌شود ولی ADP روشن می‌باشد).

ج ـ درجه سه: خرابی سایر قطعات

۶ـ پروازها را به سه دسته تقسیم کرده‌ایم:

الف ـ کاملاً سالم: پروازهایی که هیچگونه خرابی یا رویداد خاصی در آن واقع نشده است و سیستم فعال است.

ب ـ تا حدی سالم: پروازهایی که امکان خرابی در آنها می‌باشد و سیستم فعال است.

ج ـ خطرناک: پروازهایی که بدلیل خرابی، سیستم در آنها غیرفعال است.

ب ـ شرح مدل: همانطور که بیان شد مدل در دو بخش کلی طراحی گردیده است که در ذیل به شرح آن می‌پردازیم:

ب ـ ۱) محاسبه قابلیت اطمینان قطعات و سیستم:

در این بخش از مدل ابتدا باتوجه به توزیع خرابی قطعات و وقوع رویدادهای خاص برای هر مورد یک مقدار تصادفی [۲] و [۸] به عنوان زمان خرابی یا زمان وقوع (age) تولید می‌شود و سپس می‌نیمم آنها یعنی اولین واقعه انتخاب می‌شود. بعد از آن شماره پروازی (fc) که این واقعه در آن رخ داده است بدست می‌آید.

سپس با بررسی زمانهای خرابی و وقوع رویدادها، وضعیت آنها در این پرواز از لحاظ سالم بودن یا خراب بودن (cf) مشخص می‌شود. اگر قطعه‌ای خراب و یا رویدادهای خاص واقع شده باشد $cf=0$ و در غیر این صورت $cf=1$ می‌شود. ضمن این بررسی به تعداد خرابی قطعات یا وقوع رویدادها یک واحد اضافه می‌شود (cr). بعد از تشخیص وضعیت در پرواز خراب باتوجه به درجه اهمیت وقایع، نوع پرواز مشخص می‌گردد و تعداد آن شمرده می‌شود. در صورت وقوع رویداد با درجه یک یا وقوع رویدادهایی با

تعداد دو یا بیشتر با درجه دو، پرواز خطرناک بوده و (daf) شمرده می‌شود و در صورت وقوع یک رویداد با درجه دو پرواز تا حدی سالم می‌باشد و (rsf) شمرده می‌شود.

علاوه بر این موارد، کل پروازهای خراب نیز شمرده خواهد شد تا در نهایت پروازهای سالم بدست آید. بعد از شمارش تعداد خرابی یا وقوع رویدادها و همچنین شمارش انواع پروازها، برای قطعات یا رویدادهایی که در این پرواز خراب بوده یا واقع شده‌اند، مقدار جدید تصادفی تولید شده و به مقدار قبلی اضافه می‌گردد و به عنوان زمان وقوع بعدی آنها درنظر گرفته می‌شود (Lst).

سپس می‌نیمم آنها را بدست آورده و اگر این پرواز همان پرواز قبلی باشد، دوباره مقادیر تصادفی برای رویدادها و قطعات قبلی تولید شده و اضافه می‌گردد و زمان وقوع بعدی مشخص می‌گردد و سپس مشابه قبل تحت بررسی قرار می‌گیرند.

عملیات فوق در یک حلقه آنقدر تکرار می‌شود تا شماره پرواز خراب از تعداد کل پروازهای شبیه‌سازی (v) بیشتر شود که در این صورت قابلیت اطمینان هر قطعه و رویداد باتوجه به تعداد خرابیها یا وقوع آنها و کل پروازها محاسبه می‌گردد.

علاوه بر قابلیت اطمینان قطعات و رویدادها، قابلیت اطمینان سیستم نیز در دو وضعیت کاملاً سالم و تا حدّی سالم باتوجه به شمارش این نوع پروازها و در نظر گرفتن کل پروازها محاسبه می‌شود. احتمال وقوع پروازهای خطرناک که در آن سیستم از کار افتاده است نیز در این قسمت محاسبه می‌گردد.

ب ـ۲) محاسبه قابلیت اطمینان هیدرولیک هواپیما:

باتوجه به اینکه هیدرولیک هواپیما دارای چهار سیستم تقریباً مشابه است (وظایف هیدرولیک بین چهار سیستم تقسیم شده است) مدل طراحی شده در این بخش دارای دو قسمت است:

۱ـ قسمت اوّل (که تقریباً مشابه بخش الف است)

۲ـ قسمت دوّم

در این بخش ابتدا مدل قسمت اوّل با تغییرات مختصری چهار بار به عنوان چهار سیستم اجرا می‌شود و در هر بار اجرا فقط تعداد و شماره پروازهای خطرناک (که سیستم هیدرولیک در آنها از فعالیت باز می‌ایستد) در آرایه count ذخیره می‌شود.

نکته قابل توجه در این قسمت این است که رویداد خاموشی هم زمان ۴ موتور فقط یکبار (همزمان با اجرای اوّل) شبیه‌سازی می‌شود و در صورت وقوع چنین رویدادی شماره آن پرواز در چهار سیستم ثبت خواهد شد و به تعداد پروازهای خطرناک آن سیستم یک واحد اضافه می‌شود.

بعد از اتمام قسمت اوّل، در قسمت دوّم مدل با مقایسه شماره پروازها (ذخیره شده در قسمت اوّل) در چهار سیستم، موارد زیر شمارش می‌شود:

۱ـ تعداد پروازهای خطرناک مشترک در چهار سیستم

۲ـ تعداد پروازهای خطرناک مشترک در سه سیستم

۳ـ تعداد پروازهای خطرناک مشترک در دو سیستم

۴ـ تعداد پروازهای خطرناک انحصاری در یک سیستم

بعد از شمارش فوق با تقسیم تعداد پروازهای فوق به کل پروازها، قابلیت اطمینان هیدرولیک در هشت حالت محاسبه می‌شود:

۱) چهار سیستم فعال (باتوجه به تعداد پروازهای موارد ۱ تا ۴ فوق)

۲) حداقل سه سیستم فعال (باتوجه به تعداد پروازهای موارد ۱ تا ۳ فوق)

۳) حداقل دو سیستم فعال (باتوجه به تعداد پروازهای موارد ۱ و ۲ فوق)

۴) حداقل یک سیستم فعال (باتوجه به تعداد پروازهای مورد ۱ فوق)

۵) حداقل سیستم شماره یک فعال (باتوجه به تعداد پروازهای خطرناک سیستم یک)

۶) حداقل سیستم شماره دو فعال (باتوجه به تعداد پروازهای خطرناک سیستم دو)

۷) حداقل سیستم شماره سه فعال (باتوجه به تعداد پروازهای خطرناک سیستم سه)

۸) حداقل سیستم شماره چهار فعال (باتوجه به تعداد پروازهای خطرناک سیستم چهار)

ضمناً در هر حالت وظایف در دسترس سیستم هیدرولیک نیز در خروجی نشان داده

می‌شود.

۳- جمع‌آوری و آنالیز داده‌ها

بعد از جمع‌آوری داده‌ها شامل زمانهای وقوع خرابی و وقوع رویدادهای خاص سیستم از بخش PC ایران ایر، از نرم‌افزار Statistica برای تعیین نوع توزیع و برازش منحنی استفاده نمودیم. ابتدا داده‌ها را به یکی از فایلهای این نرم‌افزار وارد کرده (همراه با نام متغیرها شامل قطعات و رویدادها)، سپس با استفاده از بخش‌های مختلف برنامه، توزیع متناسب با توزیع داده‌های تجربی را انتخاب نمودیم.

برای آزمون نیکویی برازش منحنی از آزمون کولموگروف اسمیرنف [۶] و [۷] با فرضیات زیر استفاده کردیم:

H_0 : تفاوت قابل ملاحظه‌ای بین توزیع تجربی و توزیع فرضی وجود ندارد.

H_1 : تفاوت قابل ملاحظه‌ای بین توزیع تجربی و توزیع فرضی وجود دارد.

این آزمون برای تمامی قطعات و رویدادها انجام شد. باتوجه به جدول شاخص این آزمون در هر سطح اطمینانی، مقدار شاخص تفاوت بین دو توزیع (d) از حد مجاز جدول کمتر بود و لذا تمام توزیع‌های انتخاب شده، قابل برازش تشخیص داده شده و به عنوان ورودیهای مدل با نام توزیعهای خرابی قطعات و وقوع رویدادهای خاص انتخاب گردیدند. در مورد رویداد اوّل (نشتی سنگین مایع هیدرولیک بر اثر ضربه یا شکستگی) و رویداد سوّم (خاموشی هم زمان ۴ موتور) بدلیل عدم و وجود گزارش ثبت شده، باتوجه به نظر کارشناسان سیستم، میانگین زمان وقوع و نوع توزیع انتخاب گردیده است.

۴- برنامه کامپیوتری

برنامه کامپیوتری به زبان Q.Basic نوشته شده است که دارای یک برنامه اصلی و نه زیر برنامه می‌باشد. برنامه بنحوی نوشته شده است که ورودیها را به دو طریق می‌پذیرد:

۱ ـ از داده‌های خود برنامه استفاده می‌کند و متغیرهای ورودی مقادیر را کسب می‌کنند.
۲ ـ از کاربر سئوال می‌کند و بدین‌ترتیب اطلاعات شامل توزیع قطعات و رویدادها، تعدادقطعات، درجه اهمیت و سایر مشخصات را به متغیرهای ورودی منتقل می‌نماید.

این نرم‌افزار، توانایی محاسبه قابلیت اطمینان قطعات، سیستم، قطعات و سیستم و قابلیت اطمینان هیدرولیک هواپیمای بوئینگ ۷۴۷ را دارد. همانطور که در مرحله طراحی مدل بیان گردید قسمتهای اوّل و دوّم و سوّم فوق را می‌توان در ارزیابی قابلیت اطمینان هر سیستم (شامل قابلیت اطمینان قطعات و سیستم) بکار برد.

در این برنامه کاربر می‌تواند بعد از وارد کردن اطلاعات ورودی، یکی از چهار حالت (قابلیت اطمینان ۱) قطعات ۲) سیستم ۳) قطعات و سیستم ۴) هیدرولیک هواپیما) را انتخاب کرده و با وارد کردن طول پرواز و مدت زمان شبیه‌سازی، قابلیت اطمینان موردنظر را محاسبه نماید.

بعد از انجام شبیه‌سازی که پیشرفت آن در صفحه نمایش قابل رؤیت است، کنترل برنامه به زیربرنامه نتایج منتقل می‌شود و در آن قسمت، کاربر با انتخاب نوع گزارش موردنظر می‌تواند نتیجه شبیه‌سازی را دیده و در صورت لزوم چاپ نماید.

اگر بعد از چاپ نتایج، کاربر بخواهد مجدداً از برنامه استفاده نماید این امکان وجود دارد و می‌تواند با طول پرواز و مدت زمان شبیه‌سازی جدید یکی از چهار حالت فوق را انتخاب نماید. الگوریتم و منطق استفاده شده در طراحی برنامه، همان مسیر بیان شده در مرحله طراحی مدل است و نکته‌ای که یادآوری آن ضروری است این است که تغییر زمان در افزایش ساعت شبیه‌سازی، متغیر (با مقدار متغیر) می‌باشد.

۵ ـ صحت مدل

برای اطمینان از صحت مدل علاوه بر غلط‌گیریهای انجام شده در هنگام برنامه

نویسی، مقادیر مختلفی را به عنوان ورودی به مدت زمان پرواز (flt) دادیم تا عملکرد مدل و صحت نتایج را بررسی نمائیم. نهایتاً با تغییرات صورت گرفته و تکرار فرآیند فوق نتایج بدست آمده، معقول و منطقی به نظر رسید.

۶ - اعتبار مدل

تعیین اعتبار را براساس روش نیلوروفینگر (۱۹۶۷) به شرح زیر انجام داده‌ایم: [۱]

الف) اعتبار صوری و ظاهری مدل: در این گام از روش تحلیل حساسیت استفاده نمودیم. به این نحو که مدت زمان پرواز را که ورودی مدل است تغییر دادیم و مشاهده گردید که نتایج بدست آمده از مدل، معقول و منطقی رسید.

ب) اعتبار فرضیات مدل: اعتبار فرضیات اطلاعاتی که بیشتر با توزیع‌های آماری و تخمین پارامترهای داده‌های ورودی مرحلهٔ چهارم مرتبط است با روش آزمون نیکویی برازش محرز گردید. نکته دیگری که یادآوری آن ضروری است، این است که داده‌های اولیه جهت تعیین توزیع‌های آماری، داده‌های واقعی می‌باشند که از شرکت هواپیمایی جمهوری اسلامی ایران گرفته شده‌اند و این نکته بیانگر این است که اطلاعات اوّلیه از اعتبار بالایی در مقایسه با سیستم واقعی برخوردار می‌باشند.

فرضیات ساختاری نیز همگی با نظر کارشناسان و متخصصین بخش مهندسی سیستم هواپیما در هواپیمایی جمهوری اسلامی ایران شکل گرفته‌اند، لذا اعتبار این دسته از مفروضات نیز محرز می‌باشد چرا که نظر کارشناسان سیستم واقعی نیز عیناً در طراحی مدل لحاظ گردیده است.

ج) اعتبار تبدیل ورودیها به خروجیهای مدل: باتوجه به این که سیستم اطلاعاتی بخش قابلیت اطمینان هواپیمایی جمهوری اسلامی ایران، خروجی‌های مدل طراحی شده در این تحقیق (قابلیت اطمینان قطعات و کل سیستم هیدرولیک) را محاسبه نمی‌کند لذا مقادیر واقعی برای قابلیت اطمینان سیستم و قطعات موجود نمی‌باشد تا برای تعیین اعتبار، آن مقادیر را با نتایج بدست آمده از مدل مورد مقایسه قرار دهیم. همچنین به دلایل فوق،

روش تعیین اعتبار با اطلاعات گذشته سیستم واقعی و آزمایش تورینگ نیز ممکن نمی‌باشد.

برای احراز اعتبار در این قسمت به این نکته اشاره می‌کنیم که خروجیهای مدل، اثر پردازش مدل بر روی ورودیها یا داده‌ها می‌باشد. هنگامیکه ورودیهای مدل از اعتبار بالایی برخوردار باشند و الگوریتم مدل بر یک سری از اصول منطقی و ریاضی و فرضیات ساختاری بنا شده باشد که در مقایسه با سیستم واقعی تطابق بالایی دارد (چرا که اصول ریاضی مدل از تعاریف قابلیت اطمینان [۳] گرفته شده است و فرضیات ساختاری انعکاس عملکرد سیستم واقعی توسط کارشناسان سیستم می‌باشد)، خروجیها یا نتایج مدل در مقایسه با نتایج واقعی سیستم از اعتبار و دقت مناسبی برخوردار می‌شوند.

علاوه بر توضیحات فوق، برای اطمینان بیشتر نسبت به معتبر بودن نتایج، کارهای زیر نیز انجام گرفته است:

۱ـ اظهارنظر کارشناسان سیستم نسبت به نتایج بدست آمده از شبیه‌سازی

۲ـ مقایسه دو آلترناتیو مختلف سیستم [۱]

در مورد اوّل نتایج بدست آمده از مدل را به رؤیت کارشناسان سیستم که در بخش مهندسی سیستم و آموزش هواپیمایی جمهوری اسلامی ایران مشغول به کار هستند، رسانیده و مورد تأیید قرار گرفت. در مورد دوّم از روشهای آماری استفاده شده است که در ادامه توضیح داده خواهد شد.

۷ـ اجرا و تجزیه و تحلیل آماری

دو بخش کلی نرم‌افزار، شامل «محاسبه قابلیت اطمینان قطعات و سیستم» و «محاسبه قابلیت اطمینان هیدرولیک هواپیما (شامل چهار سیستم)» در دو سیکل پروازی ۳ ساعتی و ۹ ساعتی و به مدت یک میلیون ساعت در ده نوبت شبیه‌سازی گردید.

لازم به ذکر است که قابلیت اطمینان سیستم در دو حالت کاملاً سالم و تا حدی سالم

(یعنی خرابیهای کم‌اهمیت در سیستم رخ داده ولی سیسم فعال است) محاسبه گردیده است و قابلیت اطمینان هیدرولیک هواپیما در چهار حالت زیر محاسبه شده است:

۱) تمام سیستمها فعال
۲) حداقل سه سیستم فعال
۳) حداقل دو سیستم فعال
۴) حداقل یک سیستم فعال [۴].

بعد از اجراهای فوق، برای هر قسمت (در دو سیکل پروازی ۳ و ۹ ساعت) تخمین فاصله‌ای در سطح اطمینان ۹۹ درصد تعیین گردید. این تخمین بیانگر این است که با احتمال ۹۹ درصد، قابلیت اطمینان محاسبه شده برای قطعات، سیستم دربرگیرنده قطعات و هیدرولیک هواپیما در این فاصله قرار دارد.

در مرحله بعد، باتوجه به محاسبات قابلیت اطمینان، ابتدا عددی به عنوان قابلیت اطمینان برای هر قسمت درنظر گرفته شده است (فرض شده است) و سپس در سطح اطمینان ۹۹ درصد مورد آزمون قرار گرفته است. در تمام موارد (قطعات، سیستم و هیدرولیک) مقدار t جدول (با خطای نوع اوّل یک درصد و درجه آزادی ۹) از t محاسبه شده بیشتر شد. در نهایت این نتیجه بدست آمد که با اطمینان ۹۹ درصد، قابلیت اطمینان در هر مورد از مقدار قابلیت اطمینان مفروض بیشتر است [۲].

در انتهای این مرحله، برای مقایسه دو آلترناتیو مختلف هیدرولیک هواپیما، قابلیت اطمینان هیدرولیک هواپیما در دو سیکل پروازی ۳ و ۹ ساعت به مدت یک میلیون ساعت در ۳۰ نوبت اجرا و شبیه‌سازی گردید.

سپس در سطح اطمینان ۹۹ درصد، تساوی واریانسهای دو آلترناتیو در هر چهار حالت (چهار سیستم فعال، حداقل سه سیستم فعال، حداقل دو سیستم فعال، حداقل یک سیستم فعال) مورد آزمون قرار گرفت. باتوجه به اینکه F محاسبه شده در هر چهار حالت از F جدول بیشتر شد لذا مشخص گردید که واریانس دو آلترناتیو با هم برابر

نیست [۴].

برای محاسبه فاصله اطمینان، اختلاف میانگین‌های دو آلترناتیو باتوجّه به عدم تساوی واریانسها، انحراف معیار و درجه آزادی در چهار حالت با استفاده از فرمولهای زیر محاسبه گردید:

$$S_{\hat{(R_1-R_2)}} = \sqrt{\frac{S_1^2+S_2^2}{30}}$$

$$v = \frac{31(s_1^2+s_2^2)}{s_1^4+s_2^4} - 2$$

فرمول‌های فوق ساده شده فرمولهای تجزیه و تحلیل آماری می‌باشد که با $n_1=n_2=30$ بدست آمده‌اند [۱].

در آخرین قسمت مقدار t با خطای نوع اوّل یک درصد و درجه آزادی بدست آمده، انتخاب و فاصله اطمینان اختلاف میانگین‌های دو آلترناتیو محاسبه گردید [۴].

باتوجه به نتایج بدست آمده در این قسمت، به دلیل قرار گرفتن فاصله اطمینان‌های چهار حالت در سمت راست عدد صفر، نتیجه می‌گیریم که قابلیت اطمینان هیدرولیک در سیکل پروازی ۳ ساعت بیشتر از قابلیت اطمینان هیدرولیک در سیکل پروازی ۹ ساعت می‌باشد:

$$R_1 - R_2 > 0 \Rightarrow R_1 > R_2$$

این نتیجه بیانگر این است که اختلاف مقادیر قابلیت اطمینان، ناشی از تغییر ورودی‌های مدل (سیکل پروازی) است و نتایج بدست آمده از نرم‌افزار، صحیح و معتبر

یافته‌ها

یافته‌های تحقیق به شرح زیر می‌باشند:

۱- تهیه یک نرم‌افزار برای ارزیابی و پیش‌بینی قابلیت اطمینان قطعات و سیستمها در کلیه بخشهای صنعت.

۲- ارائه و معرفی سیستم هیدرولیک بوئینگ ۷۴۷ بعنوان یک الگو جهت دست‌یابی به قابلیت اطمینان بالا. نحوه و روش طراحی هیدرولیک ۷۴۷ می‌تواند الگوی بسیار خوبی در مرحله طراحی سایر سیستمها باشد.

۳- قطعات hard time موجود در سیستم هیدرولیک که دو قطعه مخزن و ماژول فشار مخزن می‌باشند می‌توانند در زمانهای بیشتر از ۱۸۰۰۰ ساعت با حداقل قابلیت اطمینان ۹۹/۹ درصد مورد استفاده قرار گیرند.

۴- هیدرولیک بوئینگ ۷۴۷ برای رعایت حداقل ایمنی پرواز، بسیار مطمئن طراحی شده است.

پیشنهادها

باتوجه به مسیرهای انجام شده در این پژوهش، چشم‌اندازهای ذیل جهت پژوهش و تحقیق بیشتر پیشنهاد می‌شود:

۱- بررسی تأثیر افزایش یا کاهش زمان قطعات hard time در کل هواپیما بر روی قابلیت اطمینان کل هواپیما و قابلیت اطمینان سیستمهای دربردارنده این قطعات و مقایسه هزینه‌های خرید و تعمیر در دو حالت با مدت زمان استفاده فعلی و مدت زمان افزایش یافته این قطعات.

۲- بررسی تأثیر تعویضهای پیشگیرانه قطعات سیستم هیدرولیک در قابلیت اطمینان کل سیستم و هزینه‌های تعمیر و نگهداری هواپیما.

۳- بررسی صحت و اعتبار مدل طراحی شده دراین تحقیق برای سایر سیستمهای هواپیمای بوئینگ ۷۴۷ و سایر هواپیماها.

فهرست منابع

۱ـ جری بنکس و جان کارسن، ***شبیه‌سازی سیستم گسسته ـ پیشامد***، ترجمه هاشم محلوجی، چاپ اول، انتشارات علمی دانشگاه صنعتی شریف، ۱۳۷۶.

۲ـ رابرت شانون، ***علم و هنر شبیه‌سازی سیستم‌ها***، ترجمه علی‌اکبر عرب مازار، چاپ اول، مرکز نشر دانشگاهی تهران، ۱۳۷۱.

۳ـ روی بیلینتون و رونالد آلن، ***ارزیابی قابلیت اطمینان سیستم‌های مهندسی مفاهیم و روشها***، ترجمه محسن رضائیان، چاپ اول، مرکز نشر دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی‌کلینیک تهران)، ۱۳۷۹.

۴ـ تنها علی‌اصغر، ***شبیه‌سازی قابلیت اطمینان سیستم هیدرولیک بوئینگ ۷۴۷***، پایان‌نامه کارشناسی ارشد مدیریت صنعتی، دانشگاه علامه طباطبایی دانشکده مدیریت و حسابداری، بهار ۱۳۸۰.

5- Boeing 747 Maintenance Manual, Iran Air Publication (2000).

6- Lilliefors H.W. [1967], ***On the Kolmogorov-Smirnov Test for Normality with Mean and Variance Unknown***, Journal of the American Statistical Association, vol. 62, pp. 339-402.

7- Lilliefors H.W. [1967], ***On the Kolmogorov-Smirnov Test for Exponential Distribution with Mean Unknown***, Journal of the American Statistical Association, vol. 64, pp. 387-89.

8- Pidd M., ***Computer Simulation in management Science***, 4th ed, John Wiley & Sons (1998).