ارائه روشي كاربردي در پيش‌بيني قابليت اطمينان هواپیماهاي كوچك براي برنامه­ریزی نگهداری

مهدی سالخورده حقیقی1، سید فرهاد فاطمی2، حلما قاسم زاده3

1دانشكده مهندسي كامپيوتر و فناوري اطلاعات ، دانشگاه صنعتي سجاد ، مشهد

haghighi@ieee.org

2 دانشکده مهندسی کامپیوتر ،دانشگاه آزاد اسلامی ، فردوس

Fatemi.farhad@gmail.com

3دانشكده مهندسي كامپيوتر و فناوري اطلاعات ، دانشگاه صنعتي سجاد ، مشهد

Helmaghasemzade1@gmail.com

چكيده

برنامه ریزی تعمیر و نگهداری در صنايع گوناگوني همواره مورد توجه بوده است از جمله در نگهداري نيروگاه ، صنايع نظامي ، صنايع هوايي و بسياري از حوزه‌هاي ديگر. يكي از چالش برانگيز‌ترين بخشهاي شركت‌هاي هوايي برنامه‌ريزي تعمير و نگهداري هواپيماها است. در همين رابطه، تشخیص احتمال بروز خرابی در بخشهای مختلف هواپیما و پيش‌بيني قابليت اطمينان هر يك از سيستمهاي آن نقش بسيار مهمي ايفا مي‌نمايد در حدي كه مي‌توان از آن به منظور پيش‌بيني قابليت اطمينان كل سيستم نيز استفاده نمود. حتي از قابليت اطمينان مي‌توان به عنوان يكي از پارامترهاي برنامه‌ريزي نگهداري نيز بهره‌گيري نمود. در اين مقاله روشي بر مبناي سيستمي با چند طبقه‌بند ارائه شده است كه با توجه به پارامترهاي زيرسيستمهاي هواپيما قابليت اطمينان هر زيرسيستم و سپس قابليت اطمينان پرواز را پيش‌بيني مي‌نمايد. با توجه به وسعت صنايع هوايي و پيچيدگي بسيار سيستمها، اين تحقيق بر روي هواپيماهاي كوچك آموزشي سسنا صورت گرفته است. اهميت اين تحقيق در اين نكته است كه شرايط بكارگيري هواپيماهاي كوچك معمولا مانع انجام برنامه‌ريزي‌هاي منظم براي نگهداري است. لذا بكارگيري اين روش مي‌تواند به ايمن تر شدن پرواز چنين هواپيماهايي كمك بسياري بنمايد.

كلمات كليدي : تعمير و نگهداري ، قابليت اطمينان ، هوانوردی ، سيستمهاي چند طبقه‌بند

# مقدمه

همواره با پیشرفت علم و ظهور تکنولوژی در صنایع مختلف ، بشر با مشکلات زیادی رو به رو شده است که می بایست درصدد جبران آنها برآید.یکی از مشکلات به وجود آمده در صنایع و به خصوص در صنعت هوانوردی چالشهاي موجود در تعمیر و نگهداری قطعات هواپیما است که در حال حاضر به یکی از مهمترین مسائل مهم برای کارشناسان هوا فضا و کارشناسان پرواز تبدیل شده است. تاکنون پژوهش‌های زیادی در زمینه‌های مختلف تعمیر و نگهداری انجام شده است مانند تعمیر و نگهداری جامع، تعمیر و نگهداری مبتنی بر شکست، تعمیر و نگهداری اصلاحی و تعمیر و نگهداری پیشگیرانه . در این مقاله تمرکز به صورت اختصاصی بر روی تعمیر و نگهداری پیشگیرانه از قطعات می باشد که در ادامه به تعريف آن مي‌پردازيم.

به مجموعه اقداماتی که شامل بازديد, کنترل, سرويس, تنظيم, تعويض و در برخی از موارد تعميرات جزيی که توسط کاربران تجهيزات يا تعميرکاران واحد اجرايي انجام می شود تعمير و نگهداري پيشگيرانه يا به اختصار PM گفته می شود. اين فعاليتها که بطور تناوبی و بر حسب دوره های تعريف شده انجام می گيرد, سبب تاخير و کم شدن تعميرات و شکستهای ناگهانی و بدون برنامه می‌شوند.

اهم اهداف فعاليتهای PM شامل موارد زير است:
پيش بينی عيوب، خرابی‌ها، شکست تجهيزات،
تعيين عيوب و شکست قبل از تاثيرگذاری بر تجهيزات،
تعمير يا تعويض قطعه پيش از وقوع شکست.

علاوه بر این، مطالعات فراوانی نیز در رابطه با تعریف کلی از قابلیت اطمینان، فاکتورهای موثر در افزایش آن و موارد ديگر انجام شده است كه به برخي از آنها در ادامه اشاره مي‌گردد.

1-تحقیقاتی که توسط tiass [1] انجام شده است بیان می کند دستیابی به قابلیت اطمینان بالا در صنایع مختلف و به خصوص در صنعت هوانوردی به چندین فاکتورحیاتی وابسته است :

Mission profile- بررسی رفتار سیستم - بررسی نیازمندی‌ها – بررسی انواع نگهداری‌ها از تجهیزات.

هم چنین مطالعات jiang [2] پیرامون بحث بهينه سازی در قابلیت اطمینان نیز جزو مسائل روز در این حوزه تلقی میشود که به طور خاص میتواند نوسط 2 فاکتور RUL(Remaining useful life) ,MPN(Maintenance Priority Number) بررسی شود. علاوه بر این میتوان گفت در بررسی قابلیت اطمینان دو پارامتر داخلی و خارجی برای هر سیستم تعریف میشود : پارامتر داخلی شامل متغیرهای درون سیستمی هستند که قرار است مورد مطالعه قرار گیرند و پارامتر خارجی شامل کلیه متغیرهای محیطی است که به طور مستقیم بر نحوه عملکرد سیستم تاثیر میگذارند.

در مطالعات دیگری پیرامون بحث قابلیت اطمینان [3]Hendra بیان نمود برای رسیدن به قابلیت اطمینانی که بتوان بر مبنای آن تصمیمات آتی را برای سیستم گرفت می‌بایست رفتار سیستم را در گذشته به طور دقیق مورد بررسی قرار داد. برای رسیدن به این مهم روش‌های قابلیت اطمینان فازی پیشنهاد شده است که از آنها میتوان برای تخمین عملکرد فاکتورهای اساسی در سیستم استفاده کرد.

4- هم‌چنین تکنولوژی SVR(Support Vector Regression) یکی دیگر از تکنیک‌های رایجی می‌باشد که z.wei و همکارانش [4]در مقاله خود به آن پرداخته‌اند که در بدست آوردن قابلیت اطمینان بكار گرفته می‌شود که شامل فاکتورها و پارامترهای متعددی می‌باشد. نحوه کار در SVR بدین صورت است که در ابتدا مجموعه داده‌ها به دو بخش تقسیم میشود و سیستم برای هرکدام از این بخش ها به طور جداگانه قابلیت اطمینان را محاسبه کرده و در نهایت با ترکیب این دو قابلیت اطمینان و دخالت دادن پارامترهای ضروری ، قابلیت اطمینان کلی را بیان می کند.در این مقاله هدف آن است که با طراحی آزمايشهاي مناسب که در بازه‌های زمانی منظم بر روی قطعات هواپیما انجام می شود و هم چنین تخصیص قابلیت اطمینان به هر قطعه ، کارایی قطعات مرتب بررسی و چک شود تا اگر بر اثر فرسودگی و یا افزایش طول عمر درصدی از کارایی قطعات افت پیدا کرد ، تصمیمات کامل و جامعی برای تعمیر و نگهداری قطعات در حداقل زمان با حداکتر دقت گرفته شود .

اهمیت این روش کار زمانی به خوبی نمایان میشود که آمارها نشان میدهند درصد قابل توجهی از سقوط‌های هواپیماها در سالیان اخیر ناشی از خرابی و توقف ناگهانی قطعات در زمانی است که هواپیما در حال پرواز بوده است. لذا امید است با پیاده سازی نهایی این عملیات بتوان باعت کاهش نرخ زیادی از سقوط های ناشی از خرابی قطعات شد .

# سیستمهای چند تخمين‌گر

براي حل مسائل پيچيده همواره نياز به مدل سازي آنها وجود دارد. پيچيدگي مدل بدست آمده مي‌بايست با پيچيدگي سيستم مطابقت داشته باشد. سپس با توجه به ساختار و معماري اين مدل، فرايند آموزش آن انجام شده و پس از آن قابل بهره‌برداري مي‌باشد. اين مدل مي‌تواند نوعي طبقه‌بند يا تخمين‌گر باشد كه بر مبناي وي‍ژگي‌هاي داده‌هاي ورودي مي‌تواند طبقه‌بندي يا تخمين را انجام دهد. در نوعي معماري، مي‌توان از چند طبقه‌بند يا تخمين‌گر براي ساخت مدل استفاده نمود كه نتايج يا خروجي آنها با يكديگر تلفيق شده و خروجي نهايي مدل محاسبه مي‌گردد. مدل‌هاي متعددي تا كنون براي چنين سيستمهايي ارائه شده است [5]. با توجه به پارامترهای چنین سیستمهایی که عبارتند از ساختار تخمین‌گرها و طبقه‌بندهای پایه و نوع ترکیب نتایج آنها، در شرایط متعددی می‌توان از آنها استفاده نمود. برخی از روشهای ساخت چنین سیستمهایی عبارتند از الگوی تصمیم، Dempster Shafer، Naïve Bayes، Ordered Weighted Average (OWA).

در این تحقیق ضرورت بکارگیری از سیستمهای چند تخمين‌گر از این واقعیت ناشی می‌شود که مدل قابلیت اطمینان سیستم بر مبنای مدل قابلیت اطمینان هر یک از اجزای آن ایجاد می‌گردد و قابلیت اطمینان کل سیستم با تلفیق نتایج آنها بدست می‌آید. در ادامه جزئیات این روش تشریح می‌گردد.

# طراحی سیستم برنامه ریزی نگهداری

جهت طراحی یک سیستم به منظور برنامه ریزی نگهداری در هواپیماها در قدم اول می بایست شناخت جامع از قطعات هواپیما حاصل شود و سپس قطعات در گروه‌هایی که هرکدام ویژگی‌های خاص دارند قرار داده شده و دسته بندی ‌شوند. حال می بایست با در نظر گرفتن اینکه قطعات در کدام زیر سیستم از هواپیما قرار دارند ، قابلیت اطمینان آنها تعیین ‌گردد. علاوه بر این برای هر قطعه حد آستانه‌ای تعریف می‌شود و در نهایت بر اساس زیرسیستم‌های طراحی شده و بررسی قابلیت اطمینان و حدآستانه، تصمیمات مناسب جهت نگهداری بهتر از قطعات و جلوگیری از خرابی یا توقف ناگهانی سیستم گرفته می‌شود. در این تحقیق مطالعه موردی بر روی هواپیما سسنا مدل TB172 میباشد [6]. [7]

## تشریح ویژگی­های سیستم

تصمیم‌گیری در رابطه با نگهداری قطعات همواره پیرو فاکتورهای متعددی است. در واقع در سیستم‌های نگهداری هواپیما 2 فاکتور کلیدی در رابطه با تعمیر و نگهداری قطعات وجود دارد: اول کارایی قطعات دوم حساسیت تعویض قطعات.این مورد اخیر ارتباط مستقیم با جایگاه قطعات در زیرسیستم دارد. [8] علاوه بر این دو عامل ،در زیر به تعداد بیشتری از فاکتورها که کلی تر هستند و تاثیر بیشتری در تصمیم دارنداشاره می‌شود: [9]

ارتفاع از سطح دریا : این فاکتور جزو عوامل اقلیمی محسوب میشود که بیان میکند مکان جغرافیایی که فرودگاه و هواپیما در آن قرار گرفته است می تواند در بررسی برای تعمیر یا تعویض قطعات تاثیر گذار باشد.

دما:این فاکتور را معمولا برای قطعاتی مثل ترموستات یا دمای روغن در نظر می‌گیرند. به عنوان مثال در مستندات مربوط به هواپیمای سسنا برای این نوع از قطعات رنج خاصی در نظر گرفته شده است که برای یک ماموریت پروازی مناسب باید دمای روغن حداکثر 10 درجه فارنهایت باشد.

دور موتور : از این فاکتور برای بررسی قابلیت قطعات داخل موتور استفاده می شود. به عنوان مثال در مستندات هواپیما سسنا آمده است که برای یک ماموریت پروازی مناسب دور موتور باید در بازه RPM2230 -2330 باشد.

Radio navigation check :این عامل هم در زمان برخاستن و هم در زمان نشستن بررسی می شود که در هر دو حالت 5 نوع چک برروی امواج VHF1-NAV1-ADF-ATC1-UHF انجام می شود. [10]

**4 - ساختار و عملکرد سیستم**

در این بخش به تشریح ساختار سیستم و عملکرد آن می‌پردازیم. ساختار کلی سیستم در شکل 1 نشان داده شده است.



شکل 1. ساختار سیستم پیشنهادی

همانگونه که در شکل 1 مشاهده می‌شود، ساختار این سیستم از چند تخمین‌گر تشکیل شده است. هر تخمین‌گر پارامترهای هریک از زیرسیستمها را دریافت نموده که این پارامترها همان کارایی و حساسیت تعویض قطعات است که هرکدام از این 2 فاکتور خود نیز تحت تاثیر عوامل دیگری هستند . همانطور که در شکل نشان داده شده است فاکتور کارایی قطعات خود تحت تاثیر چندین عامل دیگر است مانند شناسه قطعات و نوع قطعات از این نظر که در کدام زیر سیستم هستند و نام قطعات و... . به همین ترتیب حساسیت تعویض نیز خود متاثر از فاکتورهایی مانند حدآستانه تعمیر و یا تعویض قطعات می باشد به این ترتیب در هر زیرسیستم فاکتورهای کارایی و حساسیت تعویض با یکدیگر ترکیب شده و تخمینی از قابلیت اطمینان آن را تولید می‌نماید. سپس نتایج حاصل از این تخمین‌گرها توسط ترکیب کننده ترکیب شده و تخمین قابلیت اطمینان کلی سیستم در خروجی تولید می‌گردد. ساختار هریک از تخمین‌گرهای پایه یک سیستم فازی است. در ادامه روابط استفاده شده در این سیستم تشریح می‌شود. [11] پارامترهاي تخمين‌گرهاي پايه‌ي فازي و تركيب كننده كه از نوع ANFIS مي‌باشد د بخش آزمايشها تشريح مي‌گردد.

**5-آزمایشها و تحلیل نتایج**

در این بخش جهت آزمایش سیستم پیشنهاد شده،کلیه آزمایشات بر روی یک نوع خاص از هواپیما سسنا مدل TB172 انجام شده است.

در ابتدا فاکتورهای تاثیرگذار بر قابلیت اطمینان که بر مبنای آنها شرایط تعمیر یا تعویض قطعه تشخیص داده میشود در قالب نمودار ارائه می‌گردد. همانطور که در شکل 2 مشاهده می‌شود ، نمودارهایی برای کارایی قطعات آورده شده است. از این نمودارها براساس کارکرد خاصی که دارند در جایگاه‌های مختلف استفاده می شود. در این مقاله به عنوان مثال برای یک گروه از قطعات داخل موتور هواپیما که آنها را با نام قطعات 100 ساعتی می‌شناسیم استفاده کرده ایم که قطعاتی با اهمیت بسیار زیاد هستند. نمودارهای کارایی و حساسیت تعویض بر مبنای تکنیک ANFIS رسم شده است .کلیه نمودار ها بر اساس اصول فازی و با استفاده از متد ممدانی رسم شده و ترکیب شده اند . در بحث ایجاد نمودار کارایی برای قطعات 100 ساعتی ما به طور ویژه می بایست از ترکیب نمودارهای کارایی high به این معنی که در این نمودار بعد از حد آستانه مشخص شده ، کارایی با شیب زیادی به سمت صفر می آید و از نمودار کارایی very high به این معنی که بعد از گذشتن از حد آستانه تعریف شده ، کارایی با شیب بسیار زیادی به سمت صفر می آید . که این افت شیب با سرعت زیاد دلیلی بر اهمیت این قطعات است .

در شکل 2 نمودار کارایی high اورده شده است.

در شکل 3 نمودار کارایی very high آورده شده است و در نهایت در شکل 4 نمودار کارایی کل که از ترکیب نمودارهای کارایی high و very high است آورده شده است .



Performance(%)

Time(h)

200 100

شكل 2: نمودار کارایی very high قطعات 100 ساعتی

Performance(%)

Performance(%)



Time(h)

Time(h)

 200 100 0

شکل 3: نمودار کارایی high قطعات 100 ساعتی



200 100 0

شکل 4: نمودار کارایی حاصل از ترکیب نمودارهای کارایی high و veryhigh

همانطور که در شکل 4 مشاهده می شود ، کارایی قطعات 100 ساعتی را میتوان به صورت نیمی از نمودار گوسی در نظر گرفت. در این منحنی کارایی قطعات 100 ساعتی در 100 ساعت اولی که از عمرشان می گذرد برابر با 1 می باشد و بعد از آن با افزایش عمر کارایی آن ها کاهش می‌یابد و این سیر نزولی تا زمانی که عمر قطعه به 200 ساعت برسد ادامه دارد و بعد از آن عملا کارایی برابر با صفر می شود مگر آن که قبل از صفر شدن ، تصمیم درستی جهت تعمیر و نگهداری قطعات گرفته شود.

بحث مهم دیگر در رابطه با تعمیر و نگهداری قطعات ، حساسیت تعویض آنها می باشد. قطعات 100 ساعتی به دلیل شرایط خاصی که از نظر جایگاهشان در هواپیما دارند(اکثر قطعات 100 ساعتی در زیر سیستم موتور هواپیما قرار دارند که مهمترین زیر سیستم به حساب می آید) هم به دلیل هزینه بالایی که جهت تعویض دارند ، در 75٪ موارد با تعمیر می‌توانند به کارایی اولیه خود برسند .



شكل 3: نمودار حساسیت تعویض قطعات 100 ساعتی

در ادامه نتیجه آزمایش‌ها با دو ورودی کارایی و حساسیت تعویض برای قطعات 100 ساعتی را مورد بررسی قرار می‌دهیم.

همانطور که در جدول (1) مشاهده می شود 7 قطعه از گروه قطعات 50 ساعتی با ساعت کارکردهای متفاوت به عنوان ورودی به سیستم داده شده است.

برای هر قطعه در این لیست یک ID تعیین شده است و ساعت کارکرد آن به عنوان ورودی به سیستم طراحی شده داده می‌شود. [12]

جدول 1:شناسه هر قطعه به همراه ساعت کارکرد آن

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Id | Name | Subsystem | Hours |
| 10010 | Oil cooler | Engine | 70 |
| 10011 | Temperature | Engine | 45 |
| 10012 | Control | Engine | 49 |
| 10013 | Handle | Engine | 80 |
| 10014 | Exhaust | Engine | 65 |
| 10015 | Engine handle | Engine | 73 |
| 10016 | Lubricant | Engine | 30 |

حال در جدول 2 که جدولی برای نشان دادن خروجی متد ارائه شده در این مقاله است، نتایج حاصل از ترکیب ورودی های کارایی و حساسیت تعویض را در قالب جدولی بیان کرده ایم و سپس با استخراج ویژگی از جدول ، قوانین فازی را تعریف کرده ایم که در نهایت منجربه تعیین قابلیت اطمینان می شود . [14] [15]

جدول2- استخراج قوانین



4-1 استخراج قوانین

در این قسمت دو قانون اول مربوط به قوانین قطعات 100 ساعتی آورده شده است. همانطور که در بخش های قبلی اشاره شد این قطعات به دلیل حساسیت بالایی که دارند حساسیت تعویض آنها 75% درنظر گرفته شده است . که برای رسیدن به نمودار کارایی قطعات 100 ساعتی از دونمودار کارایی

high و very high استفاده کرده ایم . حال زیر قوانین آنها را مشاهده می کنید ., در ادامه نیز قوانین مختلف برای دیگر قطعات نیز آورده شده است .0

1-If sensitive is 100% and performance is high so reliability range is in the high .

2-If sensitive is 100% and performance is very high so reliability range is in the high

3-If sensitive is75% and performance is high so reliability range is in the Mean.

4-If sensitive is 75% and performance is average so reliability range is in the Mean

5-If sensitive is 50% and performance is average so reliability range is in the Mean.

6-If sensitive is 50% and performance is low so reliability range is in the Mean.

7-If sensitive is 25% and performance is very low so reliability range is in the low.

8-If sensitive is 25% and performance is low so reliability range is in the low.

همانگونه كه دراين قوانين مشاهده مي‌شود، تصميم گيري براي برآورد قابليت اطمينان در هر زيرسيستم به پارامترها و متغيرهاي فازي ورودي بستگي دارد كه توسط تخمين‌گرهاي پايه بكارگرفته مي‌شوند. پس از بكارگيري اين قوانين توسط اين تخمين‌گرها، نتايج حاصله مي‌بايست با يكديگر تلفيق شده تا قابليت اطمينان سيستم بدست آيد. بديهي است كه اهميت زيرسيستمها و ميزان تاثير آنها در قابليت اطمينان كلي سيستم بايد بر مبناي قوانين فازي و وزنهاي تركيب كننده درنظر گرفته شوند. نتايج حاصل از اين سيستم مي‌تواند به منظور حمايت از تصميمات تيم نگهداري مورد استفاده قرار گيرد.

نتیجه گیری :

در این مقاله روشی بر مبناي پارامترهاي قطعات در زيرسيستمهاي هواپيما درنظر گرفته شده است كه بتواند به منظور كمك به تصميم‌گيري جهت انجام تعميرات و نگهداري در هواپيماهاي كوچك مورد استفاده قرار گيرد. از جمله پارامترهاي كليدي در اين راستا مي‌توان به کارایی و حساسیت تعویض اشاره نمود. بديهي است پارامترهاي متعدد ديگري نيز بر حسب ضرورت با اين روش قابل بكارگيري خواهد بود. در روش ارائه شده، تخمين‌گرهاي پايه برآوردي از قابليت اطمينان زيرسيستمهاي هواپیما را محاسبه نموده و از تلفيق آنها قابليت اطمينان كل سيستم تخمين زده مي‌شود. اين سيستم مي‌تواند به عنوان حامي تصميم توسط تيم نگهداري مورد استفاده قرار گيرد بخصوص در شرايطي كه امكانات وداده‌ها بسيار محدود هستند. اين فرضيات در بكارگيري هواپيماهاي كوچك در مناطقي با امكانات محدود و دورافتاده و در شرايط بحران مي‌تواند بسيار كليدي و تعيين كننده باشد.

# مراجع

|  |  |
| --- | --- |
| [1]  | K. Tiassou, K. Kanoun, M. Kaaniche, C. Seguin and C. Papadopoulos, "Aircraft operational reliability- A model-based approach and a case study," 2013.  |
| [2]  | X. Jiang, F. Duan, H. Tian and Wei, "Optimazation of reliability centered predctive maintenance scheme for inertial navigation system," *RELIABILITY ENGINEERING & SYSTEM SAFETY,* 2015.  |
| [3]  | J. Hendra Purba, J. Lu, G. Zhang and W. Perdrycz, "A fuzzy reliability assesment of basic events of fault trees through qualitative data processing," *Elsevier,* 2007.  |
| [4]  | Z. Wei, T. Tao, D. ZhuoSho and E. Zio, "A dynamic particle filter-support vector regression method for reliability prediction," *RELIABILITY ENGINEERING & SYSTEM SAFETY,* 2013.  |
| [5]  | L. I. Kuncheva, "Combining Pattern Classifiers Methods and Algorithms," New Jersey, 2004.  |
| [6]  | A. D. J., "Data Processing and Analysis Software Package," *arth Science Informatics,* 2011.  |
| [7]  | A. Ahmadi, P. Soderholm and U. Kumar, "An overview of trends in aircraft maintenance program development," in *European safety and relianility conference*, Norway, 2007.  |
| [8]  | M. Ben-Daya, S. Duffuaa and A. Raouf, "Maintenance, Modeling and Optimization," Boston, 2000.  |
| [9]  | L. Dacheng and G. Jinji, "Study and application of Reliability-centered Maintenance considering Radical Maintenance," *ELSEVIER,* pp. 1-4, 2010.  |
| [10]  | D. Chattopadhyay, "Life-cycle maintenance management of generating units in a competitive enviroment," *IEEE transactions on Power Systems,* pp. 1181-1189, 2004.  |
| [11]  | D. Teal, "Condition based maintenance [aircraft wiring]," *IEEE,* pp. 3B2/1 - 3B2/7, 2001.  |
| [12]  | "www.lufthansagroup.com," [Online]. Available: http://www.lufthansagroup.com. |
| [13]  | S. L. Qiang Feng, "An Optimization Method for Condition Based Maintenance of Aircraft Fleet Considering Prognostics Uncertainty," *The Scientific World Journal,* p. 8, 2014.  |
| [14]  | "www.airliners.net," 2000. [Online]. Available: http://www.airliners.net. |
| [15]  | Y. Li, Q. Gong and D. Su, "Model-based System Safety Assessment of Aircraft Power Plant," *ELSEVIER,* pp. 85-92, 2013.  |