مجله علمی ترویجی انجمن مهندسان مکانیک ایران
ISSN: 1605-9719
سال ۲۶، شماره ۱۱۷، صفحات ۵۰–۵۹

نقش استند آزمون، استند خلبانی و شبیه ساز پرواز در صنعت هوایی

عباس طربی[۱ و *]، جاماسب پیرکندی[۲]

[۱] استادیار هوافضا، مجتمع دانشگاهی هوافضا، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، تهران
[۲] استادیار هوافضا، مجتمع دانشگاهی هوافضا، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، تهران
*مسئول مکاتبات: abbastarabi@mut.ac.ir

◄ چکیده

استند آزمون یا مرغ آهنین، ابزاری مهندسی است که بر روی زمین به منظور یکپارچه‌سازی، بهینه‌سازی و تایید عملکرد سیستم‌های حیاتی هواپیما از جمله سیستم‌های تولید برق، هیدرولیک و کنترل پرواز در مرحله طراحی مورد استفاده قرار می‌گیرد. ادغام فیزیکی سیستم‌ها، چیده مانی و محل قرارگیری اجزاء مختلف در مرغ آهنین، باید مشابه با هواپیما واقعی باشد. استند خلبانی جزء زیرساختارهای صنعت هوایی در مراحل طراحی و ساخت هواپیما می‌باشد. اطلاعات اولیه و ورودی جهت طراحی و ساخت استند خلبانی حاصل از نتایج محاسباتی (طراحی هواپیما) و داده‌های تجربی (تونل باد) می‌باشد. استند خلبانی وسیله‌ای است که در روی زمین جهت آماده سازی خلبان برای اولین پرواز و آزمایش‌های پروازی بکار می‌رود. شبیه‌ساز پرواز هواپیما وسیله ای است که در راستای آموزش اولیه و مجدد خلبانان، تمرینات دوره‌ای، پرواز در شرایط بد آب و هوائی و محدویت دید، پرواز در شرایط پیچیده مانند واماندگی و خود چرخشی و پرواز در شرایط خرابی سیستم‌های عملیاتی مورد استفاده قرارمی‌گیرد. اطلاعات اصلی جهت طراحی و ساخت شبیه‌ساز پرواز هواپیما حاصل از نتایج آزمایش‌های پروازی هواپیما در شرایط واقعی پرواز می‌باشد.

◄ واژگان کلیدی

استند آزمون
مرغ آهنین
استند خلبانی
شبیه‌ساز پرواز هواپیما
سیستم‌های عملیاتی هواپیما

◄ تاریخچه مقاله

تاریخ دریافت ۱۳۹۶/۰۲/۱۴
تاریخ پذیرش ۱۳۹۷/۰۳/۲۱

۱ مقدمه

توسعه هر صنعت وابسته به زیرساخت‌هائی است که بدون وجود و فعالیت آنها نمی‌توان ادعای وجود صنعت کرد.صنعت هوائی نیز از این قاعده مستثنی نیست. درواقع چنین میتوان گفت که تعریف صنعت وابسته به همین زیرساختارهای فعال است که بود و نبود آنها ، مساوی با بود و نبود صنعت است. حجم و تعداد این زیرساختارها در هر صنعتی وابسته به پیچیدگی، گستردگی و سطح دانش مورد استفاده در آن صنعت است. صنعت هوایی نیز بعنوان پیچیدهترین صنعت مطرح در زمان حاضر شامل یکی از گستردهترین صنایع امروزی جهان است. اگر بخواهیم صنعت هوائی را بگونهای درست تعریف کنیم لازمست که زیرساختهای آن را بشناسیم تا در صورتی که بنیانگذاری چنین صنعتی مورد نظر ما بود بدانیم که با چه مسألهای روبرو هستیم و ابعاد واقعی آن چیست. به طور کلی ساختمان صنعت هوائی از زیرساختارهای زیر تشکیل میشود:

۱. بازاریابی و مدیریت اطلاعاتی برای کشف و تعریف نیازهای حال و آینده،
۲. ساختار طراحی (طراحی مفهومی ـ مقدماتی و تفصیلی)،
۳. ساختار ساخت (ساختار قطعه سازی و نمونه سازی و کنترل کیفیت)،
۴. ساختار آزمایشگاهی تحقیقاتی ـ توسعهای (آزمایش‌های مدل در تونل باد، آزمایش‌های سازهای، آزمایش‌های استندی و آزمایش‌های پروازی)،
۵. ساختار بررسی اسناد و صدور گواهینامه،
۶. ساختار پشتیبانی و خدمات پس از فروش.

این صنعت بر اساس زیرساختارهای شش گانهای که در بالا تعریف شد و طی یک روال منطقی مدیریت میگردد. ایجاد چنین سیستم بزرگی به معنی ایجاد صنعت هوائی است و بدون ایجاد همه این زیرساختارها و تنظیم روابط بین آنها نمیتوان مدعی وجود صنعت هوائی شد. از زیرساختارهای مهم در این صنعت ساختار چهار این مجموعه است. در صنعت هوائی رسم بر این است که محصول پس از طراحی اولیه وارد بخش آزمایشگاهی تحقیقاتی ـ توسعهای میشود تا بعضی از شاخصهای آن در همان بخش طراحی مورد تجربه و اندازهگیری قرار گیرند تا در صورت مشکل در همان مراحل طراحی رفع شود [۱].

شایان ذکر است که استند آزمون[۱] (ویا مرغ آهنین[۲]) در مرحله طراحی و زیرساخت دوم از ساختار ذکر شده، ساخته میشود. ساخت استند خلبانی[۳] در زیرساخت چهارم از ساختار بالا انجام می‌گیرد. بعد از پایان آزمایش‌های پروازی و وارد شدن پرنده به مرحله تولید سری، به ازاء تولید شش فروند از هر هواپیما، نیاز به ساخت شبیه‌ساز پرواز[۴] همان هواپیما می‌باشد.

۲ تاریخچه توسعه شبیه‌سازهای پرواز

در شکل ۱، سیر تکاملی شبیه‌سازهای پرواز اولیه به شبیه‌سازهای پیشرفته امروزی نشان داده شده است. نخستین شبیه‌ساز پرواز هواپیما در سال ۱۹۱۰ جهت آموزش خلبانی مورد استفاده قرار گرفت. شکل این شبیه‌ساز پرواز به صورتی بود که می‌توان آن را به عنوان یک سازه در نظر گرفت (شکل ۱الف).

[1]Test Bench [2]Iron Bird [3]Piloted Stand [4]Flight Simulator

این شبیه‌ساز پرواز اساسا شامل دو نیمه یک بشکه بود، که یک طرف آن روی پایه و بخش دیگر آن به عنوان کابین خلبان ساخته شده بود. خلبان در نیمه بالایی بشکه نشسته و رژیم‌های مختلف پروازی را به صورت دستی کنترل می‌نمود (مثلا چرخش نسبت به افق زمین).

با شروع جنگ جهانی اول، ماشین آلات آموزش پرواز توسعه داده شدند به نحوی که در آنها خلبانان امکان تمرین در چرخش‌های فضایی را پیدا کردند. این شبیه‌سازهای پرواز به صورت الکتریکی کنترل شده و در آنها دو کابین یکی برای استاد و دیگری برای شاگرد تعبیه شد، هر دو کابین قابلیت چرخش در امتداد محور خود را داشتند.

به زودی، شبیه‌سازهای پرواز به طور فزاینده به تجهیزات پیچیده، که به صورت پنوماتیکی و یا مکانیکی کنترل می‌شدند، مجهز گردیدند. توسعه دیگر قابلیت ایجاد شده در ضبط مسیر پرواز شاگرد با استفاده از یک پلاتر بود: توسط یک قلم مسیری روی نقشه مشخص شده و به مربی امکان شبیه‌سازی دستی سیگنال‌های دریافتی از چراغ‌های رادیویی[1] (چراغ‌ها یا منبع الکترونیکی که برای تعیین محل، موقعیت، جهت و مسیر به کار می روند) داده می‌شد.

در طول جنگ جهانی دوم، پیشرفت های فنی قابل ملاحظه ای در بخش هوایی ایجاد گردید. برای نمونه می‌توان به دستیابی به پرنده هایی با سرعت بالا، قابلیت باز و بسته شدن ارابه فرود و انجام ماموریت های پروازی پیچیده اشاره نمود. دستیابی به شرایط گفته شده، نیاز به همکاری دقیق در میان خدمه پروازی را مهم تر و با اهمیت تر نشان داد. شبیه‌سازها بر اساس طرح کابین یک هواپیمای خاص با قابلیت انجام ماموریت های ویژه طراحی و ساخته شدند. در ماکت کابین، برای اولین بارخلبانان و پس از آن حتی کل خدمه هواپیماهای بمب افکن، چگونگی پرواز تیمی را آموزش می دیدند. پیشرفت های ایجاد شده در بخش الکترونیک امکان شبیه‌سازی واقعی در تجهیزات و سیستم های کنترل را فراهم نمود. با کامپیوتر های جدید، امکان محاسبه و شبیه‌سازی دقیق تر مشخصات آیرودینامیکی پرنده ایجاد شد. این اولین باری بود که ویژگی های آیرودینامیکی خاص یک هواپیما به معنای واقعی و نه با آزمون و خطا شبیه‌سازی شده بود. پس از پایان جنگ جهانی دوم، شبیه‌ساز پرواز مربوط به هواپیماهای غیر نظامی[2] نیز ساخته شدند. اولین شبیه‌ساز پرواز غیر نظامی توسط کرتیس– رایت[3] برای خطوط هوایی پان آمریکایی ساخته شد. شبیه‌ساز پرواز هواپیمای بوئینگ ۳۷۷ قابلیت حرکت نداشته و به سیستم دید نیز مجهز نبود، اما کابین خلبان با تمام جزئیات شبیه‌سازی شده بود. در این شبیه‌ساز از کامپیوتر آنالوگ استفاده شده بود، بنابراین خدمه قادر به انجام تمام پروازها شده و آموزش خلبانان جهت آماده سازی برای شرایط اضطراری مهیا گردید.

در سال ۱۹۶۰، با توسعه گسترده هواپیماهای تجاری، هیچ راهی به جز ایجاد سیستم حرکت در شبیه‌سازهای پرواز نبود. سه محور اصلی برای حرکت شامل غلتش[4] (دوران حول محور طولی)، پیچش[5] (دوران حول محور عرضی) و گردش[6] (دوران حول محور قائم) امکان ایجاد جابجایی به سمت بالا و پایین شبیه‌سازها را فراهم نمود. تجهیزات مربوط به شبیه‌سازها به صورت دقیق کنترل شده و در سیستم حرکت آنها بهبود فزاینده ای ایجاد شد. در اوایل دهه ۷۰، کامپیوترها با قابلیت ایجاد گرافیک به شبیه‌سازهای پرواز راه یافتند. در ابتدا، مناظر تنها به صورت نقاطی با نور سفید در یک زمینه سیاه نمایش داده می‌شد، این حالت برای پرواز در شب بسیار مناسب بود. با پیشرفت فناوری کامپیوترها در پایان دهه ۷۰ میلادی، مناظر سه بعدی توسعه داده شدند و این توسعه تا به امروز ادامه دارد. در حال حاضر، شبیه‌سازها قابلیت ایجاد مناظر به صورت دنیای واقعی را پیدا کرده اند [۲، ۳].

(الف) اولین شبیه‌ساز پرواز
(ب) شبیه‌سازهای پرواز به شکل لینک
(ج) شروع شبیه‌سازهای حرکتی
(د) شبیه‌ساز هواپیمای جگوار
(ه) شبیه‌ساز هواپیمای A380
(و) شبیه‌ساز پرواز با قابلیت پایداری متغیر

شکل ۱: پیشرفت تاریخی شبیه‌ساز پرواز از شروع صنعت هوایی [۲]

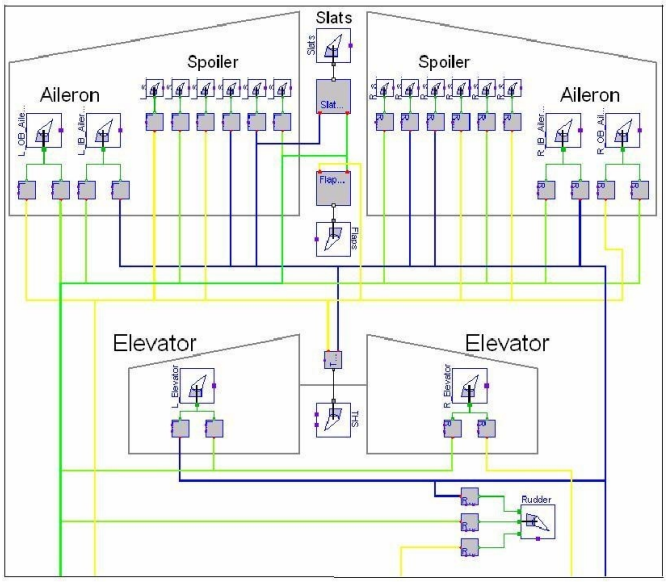
۳ استند آزمون (یا مرغ آهنین)

سیستم یکپارچه‌سازی استند آزمون، که به عنوان «مرغ آهنین» شناخته می‌شود، یک ابزار زمینی است که به منظور یکپارچه‌سازی، بهینه‌سازی و تایید عملکرد سیستم‌های حیاتی هواپیما از جمله سیستم‌های تولید برق، هیدرولیک و کنترل پرواز[7] در مراحل طراحی هواپیما استفاده می‌شود. ادغام فیزیکی سیستم‌ها، چیده مانی و محل قرارگیری اجزاء مختلف در مرغ آهنین، باید مشابه هواپیمای واقعی باشد. مرغ آهنین ابزار کاملی برای تایید ویژگی‌های عملکردی و تعیین ناسازگاری های موجود در سیستم‌های هواپیما است، که ممکن است در مراحل اولیه طراحی نیاز به تغییر یا توسعه داشته باشند. علاوه بر این، آثار و نحوه عملکرد سیستمها در خرابی را می‌توان با استفاده از مرغ آهنین در جزییات کامل مورد مطالعه قرار داده و اطلاعات مورد نیاز جهت تجزیه و تحلیل را ثبت نمود [۴، ۵]. شکل ۲، مرغ آهنینی را که جهت تایید ویژگی‌های اجزای سیستم هواپیمای ایرباس A350 XWB در طول توسعه آن مورد استفاده قرار گرفت، نشان می‌دهد.

[1]Radio Beacons [2]Civil Airplane [3]Curtiss Wright [4]Roll [5]Pitch [6]Yaw [7]Flight Control

شکل ۲: نمایی از مرغ آهنین هواپیمای A350 XWB [۶]

هواپیماهای تجاری به طور معمول در سرعت های بالا حدود ۸۰۰ـ۹۰۰ کیلومتر بر ساعت و در ارتفاع ۸ـ۱۲ کیلومتر پرواز می‌کنند. بازسازی این شرایط بر روی زمین توسط یک مرکز آزمون شناخته شده به عنوان «مرغ آهنین» صورت می‌گیرد. هر مرغ آهنین در چارچوب لوله های فولادی تقریبا به شکل یک هواپیما است، که عملا تمام اجزای سیستم مربوطه بر روی آن نصب شده است. موقعیت‌های مختلفی که امکان آن در پرواز واقعی وجود دارد، می‌تواند در مرغ آهنین بازسازی شود. به عنوان مثال، بارهای آیرودینامیکی را می‌توان با استفاده از سیلندرهای بارگذاری روی سطوح کنترل مرغ آهنین، شبیه‌سازی نمود. در شکل ۳. نمونه‌ای از عملکرد سیستم کنترل پرواز مرغ آهنین نشان داده شده است.



شکل ۳: نمونه‌ای از عملکرد سیستم کنترل پرواز مرغ آهنین [۷]

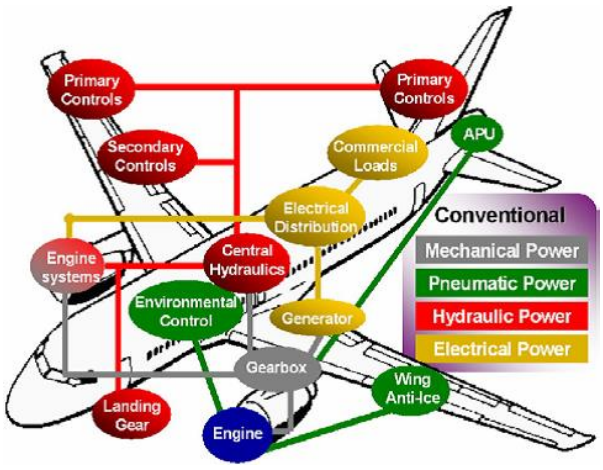
از آنجائیکه تمام سیستم‌های هواپیما از داخل کابین خلبان کنترل می‌شوند، مرغ آهنین نیاز به یک کابین خلبان (همچون شبیه‌ساز پرواز) دارد. این کابین در راستای کنترل مرغ آهنین، به سیستم شبیه‌ساز پرواز همراه با یک سیستم بصری متحرک، مجهز می‌باشد. از کابین خلبان، مرغ آهنین می‌تواند مانند یک هواپیمای استاندارد، با یک کامپیوتر تولید کننده مدل‌های آیرودینامیکی و شرایط محیطی (چگالی، درجه حرارت، سرعت و عدد ماخ پرواز) عملیاتی شود. در شکل ۴ نمونه‌ای از مرغ آهنین هواپیمای ایرباس همراه با اتاقک کنترل نشان داده شده است.

شکل ۴: نمایی از مرغ آهنین هواپیمای ایرباس با اتاقک کنترل [۸]

به صورت آماری، برای شما به مراتب احتمال بیشتری برای برنده شدن در یک قرعه‌کشی وجود دارد تا اینکه برای شما تجربه یک سقوط هواپیما به دلیل نارسایی سیستم‌های آن بوجود آید. این سطح بالایی از ایمنی برای هواپیماست که تا حدودی وابسته به آزمون‌های جامعی است که سیستم‌های پرواز، در حالی که هنوز بر روی زمین قرار دارند، قبل از آنکه نمونه اولیه هواپیما برای اولین بار به پرواز درآید، توسط مرغ آهنین می‌گذرانند. در شکل ۵ مرغ آهنین مرکز هوافضا آلمان (DLR) نشان داده شده است. در این مرکز شبیه‌سازی در طیف وسیعی از موقعیت‌های پروازی انجام می‌شود.

شکل ۵: مرغ آهنین مرکز هوافضای آلمان (DLR)

با توجه به تعدد سیستم های موجود در هواپیما (مانند سیستم تهویه مطبوع، سیستم تولید قدرت الکتریکی، سیستم کنترل پرواز، سیستم های هیدرولیک و پنوماتیک، ارابه فرود و غیره) برای شبیه‌سازی از روش مدل‌سازی چند رشته‌ای[1] استفاده می‌شود. با بهره گیری از مدل‌سازی چند رشته‌ای در پلتفرم شبیه‌سازی مرغ آهنین، قابلیت تجزیه و تحلیل و معماری کل سیستم های هواپیما ایجاد می‌شود. نمونه‌ای از این مدل‌سازی در شکل ۶ نشان داده شده است، که نشان دهنده نمودار تولید قدرت متعارف، توزیع و استفاده آن در هواپیمای غیرنظامی است [۸].



شکل ۶: شبکه توزیع قدرت در یک هواپیمای بزرگ غیرنظامی [۹]

[1] Multidisciplinary Modeling

۴ ویژگی‌های اصلی و کاربردی استند خلبانی

استند خلبانی جزء زیرساختارهای صنعت هوایی در مراحل طراحی و ساخت هواپیما می‌باشد. اطلاعات اولیه و ورودی جهت طراحی و ساخت استند خلبانی حاصل از نتایج محاسباتی (طراحی هواپیما) و داده های تجربی (تونل باد) می‌باشد. استند خلبانی وسیله‌ای است که در روی زمین برای کنترل و آزمایش هواپیما قبل از انجام اولین پرواز بکار می‌رود. کاربردهای اصلی استند خلبانی به شرح زیر است:

- سیستم بهبود مشخصات پایداری و قابلیت کنترل هواپیما به وسیله سیستم کنترل اتوماتیک،
- سیستم نزدیک شدن اتوماتیک جهت نشستن، بررسی عملکرد سیستم ناوبری، محدود کردن رژیم پایداری و خروج اتوماتیک از رژیم‌های بحرانی،
- سیستم انعکاس اطلاعات پروازی در کابین خلبان،
- بررسی عملیات متقابل خلبان و سیستم اتوماتیک،
- بررسی ارگونومیک داخل کابین،
- بررسی عملکرد هواپیما در مواقع خرابی سیستم‌های عملیاتی و تجهیزات داخلی،
- آماده سازی خلبان برای اولین پرواز و آزمایش‌های پروازی.

شماتیک ساختار پایه‌ای استند خلبانی در شکل ۷ نشان داده شده است.

در مجموعه استند خلبانی باید اجزاء و قسمت‌های زیر وجود داشته باشد:

- کابین هواپیما یا محل کار خدمه،
- سیستم هدایت و کنترل اتوماتیک بر مبنای کامپیوترهای شخصی،
- سیستم ارتباط تجهیزات داخل کابین با سیستم هدایت و کنترل اتوماتیک،
- سیستم تغذیه الکتریکی استند خلبانی،
- محل کار مربی و روش‌های ارزیابی عملیات خدمه،
- مجموعه دستگاه‌های اندازهگیری، مجموعهها و سیستم های رزرو،
- دستگاه‌های کنترلی، آزمایش و ابزار مخصوص،
- مجموعه اسناد بهرهبرداری.

در شکل ۸ ساختار کلی مجموعه کامپیوترهای مورد استفاده در استند خلبانی نشان داده شده است. ویژگی های اصلی و هدف از ساخت استند خلبانی به شرح زیر است:

۱. ساخت مدل دینامیکی هواپیما و تعیین تأثیرات سطوح آئرودینامیکی بر روی عملکرد دینامیکی هواپیما،
۲. ساخت مدل پیشرانه و یکپارچه کردن آن با مدل عمومی هواپیما، در مرحله اول با مدل دینامیک پرواز،
۳. ساخت مدل ریاضی و بررسی قابلیت سیستم های کنترل و پایداری هواپیما و بررسی عملکرد کنترل اتوماتیک،
۴. کنترل و تعیین ارگونومیک کابین خلبان در شرایط مختلف پروازی،
۵. آماده شدن جهت انجام اولین پرواز و آزمایش‌های پروازی هواپیما، که به صورت زیر انجام خواهد گرفت:

(الف) کسب تجارب اولیه توسط خلبان و نحوه انجام پرواز با هواپیمای مورد نظر،

(ب) کسب تجربه توسط خلبان در رژیم پرواز دستی و مستقیم بدون استفاده از سیستم کنترل اتوماتیک،

(ج) کسب تجربه توسط خلبان در رژیم پرواز دستی و استفاده از سیستم افزایش پایداری و قابلیت کنترل و دیگر وسایل اتوماتیک،

(د) کسب تجربه توسط خلبان در رژیم پرواز اتوماتیک،

(ه) کسب تجربه خلبان در تکنولوژی کار با سیستم های مختلف هواپیما،

(و) کسب تجارب اولیه توسط خلبان در مورد تصمیم‌گیری ها و عملیات در شرایط بحرانی پرواز (از روی زمین بلند شوند یا روی باند توقف نمایند، پرواز را ادامه دهند یا قطع کنند، فرود را انجام دهند یا دور دیگری بزنند و غیره)،

(ز) کسب تجارب پروازی توسط خلبان در خطرناکترین و خاص‌تر شرایط احتمالی پرواز (در شرایط واماندگی[1]، خودچرخشی[2]، از دست دادن ناگهانی دید، بادهای شدید آنی)،

(ح) کسب تجارب پروازی توسط خلبان در صورت ایجاد خرابی در سیستم های عملیاتی هواپیما (خرابی و آتش گرفتن موتور، خرابی و از کار افتادن سطوح کنترل، خرابی در مجموعه سیستم کنترل دستی یا اتوماتیک)،

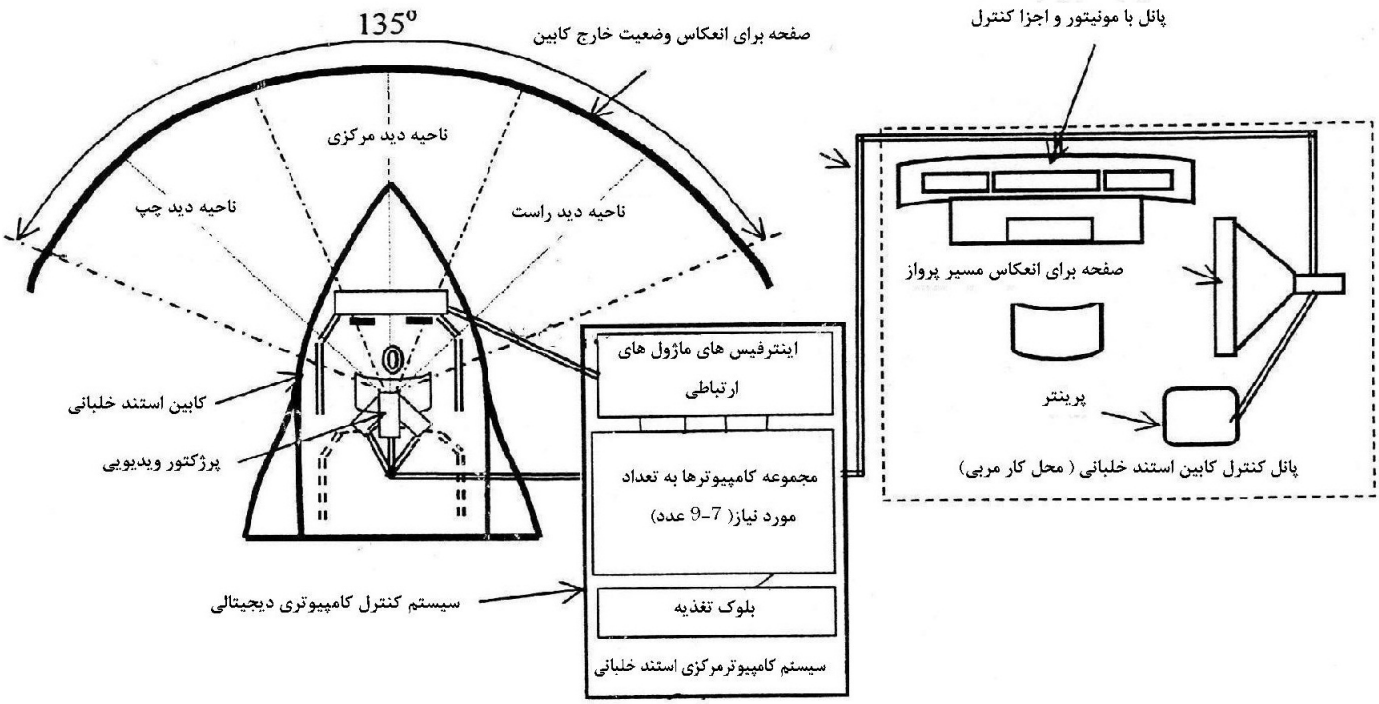
(ط) دریافت، کنترل و مشخص کردن اطلاعات اولیه برای تهیه و تدوین فرم ها و اسناد پروازی هواپیما (تهیه اسناد مربوط به دستورالعمل بهره‌برداری پرواز، برنامه آزمایش‌های پروازی، برنامه آماده سازی سیستم ها و غیره)،

۶. در نهایت، دریافت و مشخص کردن اطلاعات اولیه برای طراحی و ساخت شبیه‌ساز پرواز هواپیما.

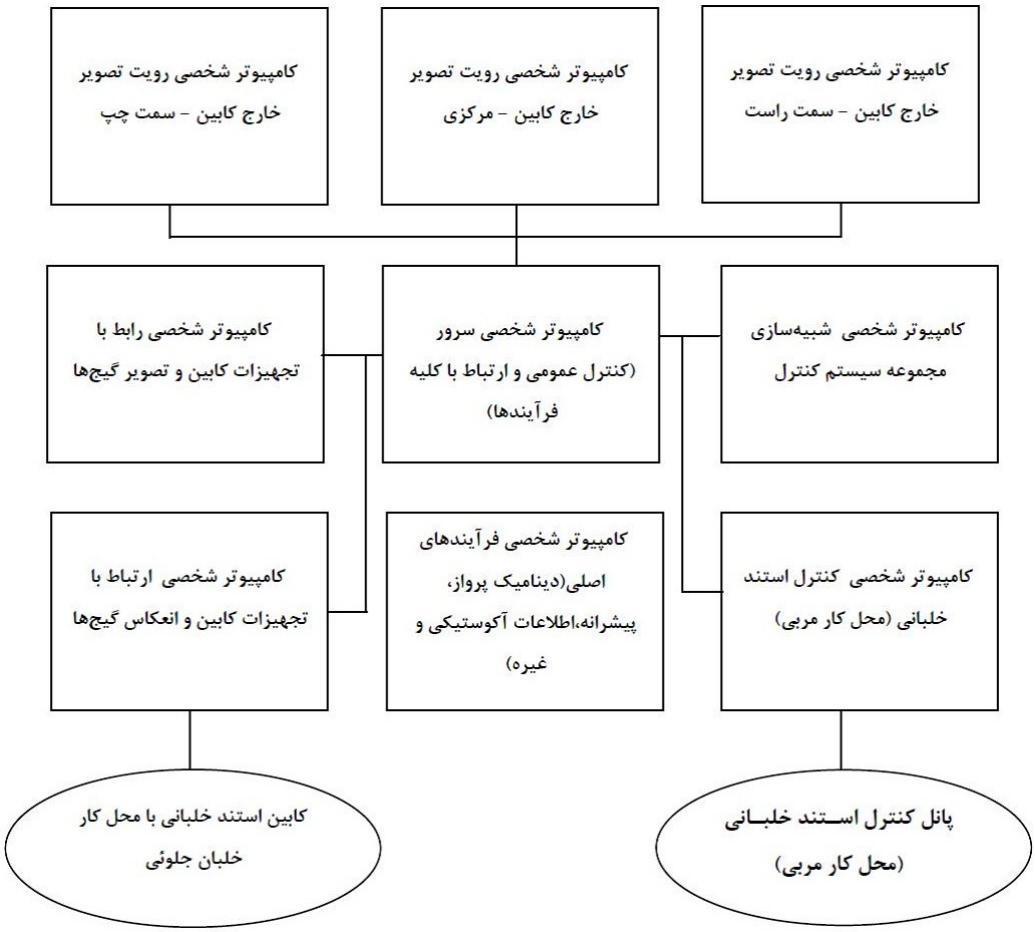
استند خلبانی را معمولاً به صورتی قابل انعطاف می‌سازند که کلیه سیستم‌های آن قابل تعویض بوده و امکان تغییر در کلیه پارامترهای هواپیما ایجاد شود به نحویکه استند خلبانی از نوع اولیه را به نوع پیشرفته تبدیل نمایند. برای انجام اینکار باید تغییرات فراوان در تعدادی از دستگاه‌های فنی، نرم افزارهای کاربردی، امکان تغییر و یا تعویض اطلاعات اولیه و پارامترها حاصل شود. نمونه توام کردن ساختار استند خلبانی جنرال (عمومی) در شکل ۹ نشان داده شده است.

با توجه به آنکه کاربرد اصلی استند خلبانی بررسی ویژگی‌های منحصر بفرد هواپیمای خاص ساخته شده می‌باشد، لذا در ساخت استند خلبانی نباید توجه زیادی به زیر سیستم‌هائی که در هواپیمای های مختلف کمتر تعویض می‌گردند، معطوف گردد (مثلاً ناوبری هوائی، وسایل اتوماتیک نزدیک شدن جهت فرود، دستگاه های اندازه‌گیری استاندارد، سیستم دید و غیره). بهتر است استند خلبانی را به وسایل ثبت کننده اطلاعات پرواز قویتری از وسایل پرواز تمرینی مجهز نمود، برای اینکه بتوان نتایج حاصله را به شکل بهتری را تجزیه و تحلیل نمود. در شکل ۱۰ نمونه‌ای از استند خلبانی نشان داده شده است.

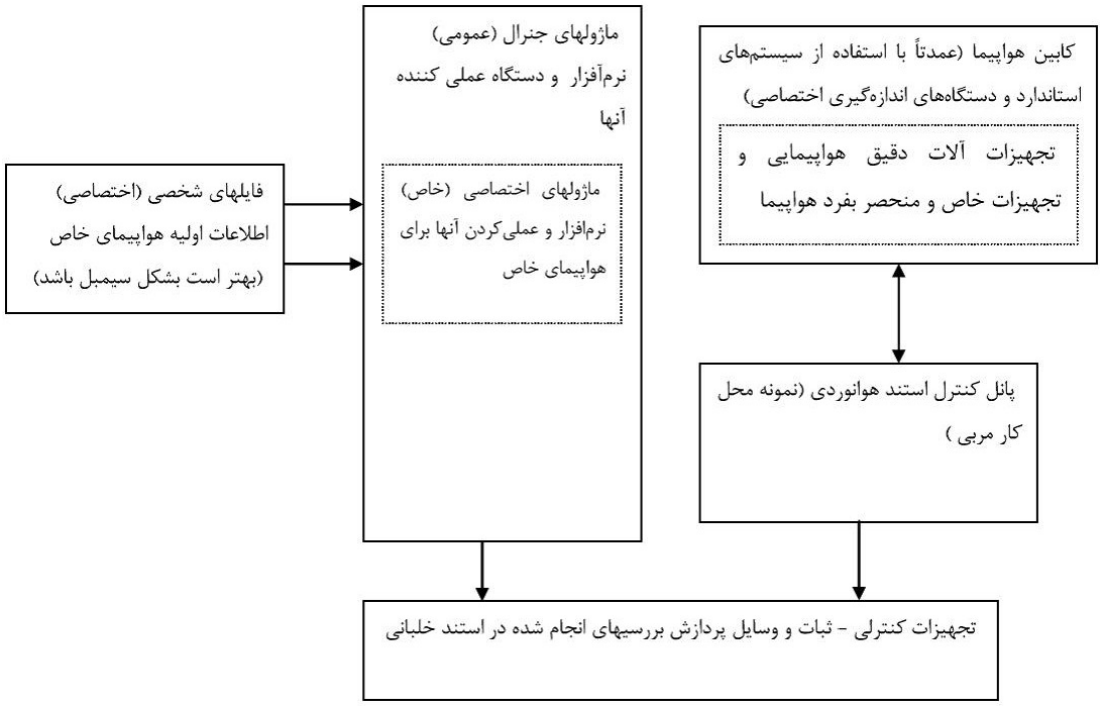
[1]Stall [2]Spin



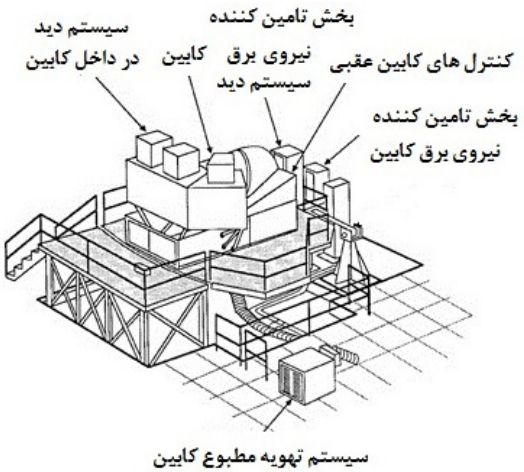
شکل ۷: شماتیک ساختار پایه‌ای استند خلبانی



شکل ۸: ساختار کلی مجموعه کامپیوترهای استند خلبانی



شکل ۹: ساختار توأم‌شده استند خلبانی جنرال (عمومی)



شکل ۱۰: نمونه‌ای از ساختار کلی استند خلبانی

۵ شناخت اولیه شبیه‌ساز پرواز هواپیما

شبیه‌سازی پرواز بازسازی عملکرد واقعی یک هواپیما در پرواز، روی زمین است. شبیه‌سازی پرواز ابزاری برای بررسی عملکرد و همچنین اثرات ناشی از شرایط غیرعادی در پرواز است، مسائلی از قبیل واماندگی، آشفتگی هوا و باد برشی با استفاده از شبیه‌سازها مورد بررسی قرار می‌گیرند.

شبیه‌سازی پرواز نه تنها به خاطر خودش مورد مطالعه قرار گرفته، بلکه منجر به فهم بهتر عملکرد انسان در پرواز و انگیزه نوآوری در زمینه های مختلفی از گرافیک کامپیوتری گرفته تا هیدرولیک و تحلیل مهارت های انسانی شده است. شبیه‌سازی تلاش برای ایجاد یک عملکرد بدلی از یک فعالیت واقعی است، چگونگی دستیابی به این هدف به طبیعت شبیه‌سازی بر می‌گردد.

شبیه‌سازی پرواز ترکیبی از علم، فن آوری و هنر در راستای ایجاد مدلی برای تحقیقات و آموزش می‌باشد. این وضعیت دو جریان اثر گذار بر شبیه‌سازی پرواز را مشخص می کند. اول آنکه شبیه‌سازی یک هنر است همانگونه که علم و فن‌آوری است. دوم اینکه هدفی که شبیه‌سازی برای آن صورت می گیرد می تواند باعث پیشرفت در طراحی و عملکرد پرواز هواپیما شود. این دو جریان اثرگذار را می توان در سیر تاریخی و وضعیت فعلی شبیه‌سازی پرواز مشاهده کرد. به عنوان مثالی از ترکیب هنر، علم و فن‌آوری برای یک شبیه‌سازی، به مشارکت گروهی از طراحان صحنه تئاتر در شروع جنگ دوم جهانی در طراحی شبیه‌سازهای آموزشی برای خلبان های حمله کننده به کشتی های دشمن می‌توان اشاره نمود.

در توسعه تکنیک های جدید، مخصوصاً آنهایی که در ارتباط با دنیای تصویری به کمک گرافیک کامپیوتری هستند، تاثیر هنرمند در ارایه بافت و طرح های دقیقی از نور و سایه بسیار مهم است. شبیه‌سازی پرواز یک رقابت چند جانبه از مهارت و قوه ابتکار است. شبیه‌سازی پرواز یک مجموعه از علوم، از الکترونیک تا آیرودینامیک، نمایش و اپتیک در حد ابتکارات وسیع در علوم مهندسی است.

شبیه‌سازی شامل سه بخش است. این بخش‌ها عبارتند از مدلی از سیستم که باید شبیه‌سازی شود، وسیله ای که به کمک آن مدل مورد استفاده قرار می گیرد و یک ساختار کاربردی برای ترکیب دو بخش اول همراه با تکنیک استفاده برای دستیابی به هدف مشخص می‌باشد.

مدل همان گونه که از اسم آن بر می‌آید، یک نمایش تئوری یا واقعی از ساختار یا دینامیک یک شیء یا پروسه است. مدل ممکن است به صورت فیزیکی، آنالوگ یا زبان شناختی[1] باشد.

مثال مدل فیزیکی، مدلی از هواپیما برای آزمایش آیرودینامیک در تونل

[1] Linguistic

باد است. مثال مدل آنالوگ سیگنال الکتریکی ثبت شده نشان دهنده آشفتگی است. این مدل برای تغییر میزان حرکت یک جک هیدرولیک حرکت دهنده یک مقطع بال مشخص هواپیما در آزمایش خستگی به کار می‌رود. معمول ترین فرم مدل زبان شناختی در شبیه‌سازی، نمایش ریاضی حرکت سیستم با استفاده از معادلات است. مدل ریاضی حرکت هواپیما و پاسخ دینامیکی آن مدل اساسی شبیه‌ساز پرواز را تشکیل می‌دهد. در این سه گروه دسته وسیعی از مدل ها قرار می گیرند. همچنین مرز بین این مدل ها کاملاً مشخص نیست و آنها طیف پیوسته ای، از یک ماکآپ[1] تا مدل های ریاضی را تشکیل می‌دهند[۱۰–۱۳]. در شکل ۱۱ نمایی از شبیه‌ساز پرواز هواپیمای ایرباس ۳۲۰ به همراه نماهایی از داخل کابین جهت آموزش در شرایط مختلف پروازی نشان داده شده است.

شکل ۱۱: نماهایی از شبیه‌ساز پرواز هواپیمای A320 [۱۴]

۶ هدف از ساخت شبیه‌ساز پرواز هواپیما

روش‌های امروزی شبیه‌سازی شامل مدل‌سازی و ایجاد تعداد زیادی المان‌های وابسته به یکدیگر برای بازآفرینی عملکرد هواپیما در پرواز واقعی و محیط پرواز آن می‌باشد. نرم‌افزارها و سخت‌افزارهای متعددی در طراحی شبیه‌ساز دخیل هستند، فاکتورهای زیادی در تصمیم‌گیری ها مؤثرند که از آن جمله می‌توان به قیمت، نیازمندی ها و پیچیدگی های مربوط به تجهیزات و نمایشگرها اشاره کرد. برای شبیه‌سازی تجهیزات معمولاً بخش های قابل دیدن نظیر چراغ‌ها، سوئیچ‌ها، اهرم‌های کنترل، پانل‌ها و بسته‌های کنترل باید توسط سازنده هواپیما تأمین شود. آنگاه سازنده شبیه‌ساز، ارتباط نحوه ارتباط این تجهیزات با کامپیوتر را ایجاد می‌کند.

شبیه‌ساز پرواز هواپیما وسیله ای است که در راستای آموزش اولیه و مجدد خلبانان، تمرینات دوره‌ای، پرواز در شرایط بد آب و هوائی و محدویت دید، پرواز در شرایط پیچیده مانند واماندگی و خود چرخشی، پرواز در شرایط خرابی سیستم‌های عملیاتی مورد استفاده قرار می‌گیرد. اطلاعات اصلی جهت طراحی و ساخت شبیه‌ساز پرواز هواپیما حاصل از نتایج ازمایش های پروازی هواپیما در شرایط واقعی پرواز می‌باشد. هدف از ساخت و استفاده از شبیه‌ساز پرواز عبارت است از:

۱. آموزش اولیه و آموزش های مجدد خلبانان:
   (الف) آموزش اولیه عبارت است از آموزش افرادی که کلاً تجربه پروازی ندارند و یا تجربه قبلی آنها برای این نوع هواپیماهای خاص قابل استفاده نیست.
   (ب) آموزش مجدد برای هواپیماهای جدید، تجربیات پروازی قبلی در بسیاری موارد برای این نوع هواپیما هم کاربرد دارد.
   (ج) آموزش مجدد برای افزایش کلاس خلبانان.
   (د) احیاء تجربیات پروازی پس از کناره‌گیری طولانی مدت از کارهای پروازی (به علت بیماری، مرخصی و غیره).
۲. تمرینات منظم (دوره‌ای) خلبانان مطابق برنامه آماده‌سازی برای هواپیمای مورد نظر،
۳. تمرینات اختصاصی به ابتکار خلبانان برای کارکرد اجزاء پرواز که خلبان در آن حالت عدم اعتماد به خود را حس می‌کند،
۴. تمرینات مداوم مربوط به حفظ تجربیات پروازی،
۵. پرواز در شرایط آب و هوائی بسیار مشکل و پیچیده (دید محدود، توربولانس شدید، جابه‌جائی باد وغیره).
۶. پرواز در شرایط خرابی سیستم های عملیاتی مختلف (تشخیص خرابی ها و برطرف کردن عواقب آن).
۷. انجام پرواز های آموزشی جهت آماده سازی خلبان برای پرواز با هواپیماهای ورزشی و جنگی و پرواز در رژیم‌های فوق بحرانی.
۸. آموزش خلبانان جهت آماده سازی مربوط به پروازهای طولانی مدت (عمدتاً برای هواپیماهای مسافربری).
۹. چنانچه شبیه‌ساز امکان بدهد آموزش پروازهای گروهی و مأموریت‌های جنگی (برای هواپیمای جنگی).

انواع تمرینات مذکور اجباری می‌باشند و موقعیت در آنها باید ارزیابی گردد. ارزیابی پروازهای کنترلی را خلبان ـ مربی بر اساس اطلاعات سیستمهای کنترل موضوعی و ارزیابی سیستمهای کنترل موضوعی (چنانچه چنین سیستمی داشته باشد)، انجام می‌گردد و بر اساس ارزیابی مشخصی پروازهای تمرینی و کنترلی انجام گرفته می‌باشد. در جریان تمرین، هر تمرینی بوسیله مربی ارزیابی می‌گردد.

تمرینات مشخصی که به ابتکار خلبانان انجام می‌شود می‌تواند فقط شامل اجزاء مختلف پروازی بوده و ترکیب خاصی از موارد پروازی باشد و می‌تواند توسط مربی و سیستمهای کنترل موضوعی و ارزیابی سیستمهای کنترل موضوعی فقط بنا به خواهش خلبانان و فقط بمنظور کمک به خلبانان ارزیابی می‌شود و ضمناض بمنظور کمک به خلبان جهت ارزیابی خود و تجارب خود این ارزیابی انجام می‌شود [۱۵]. نمایی از شبیه‌ساز پرواز هواپیمای ایرباس

[1] Mock up

A350 در شکل ۱۲ نشان داده شده است.

شکل ۱۲: نمایی از شبیه‌ساز پرواز هواپیمای ایرباس ۳۵۰ [۱۶]

با مقایسه اهداف ساخت و بکارگیری استند خلبانی و شبیه‌ساز پرواز هواپیما می‌توان نتیجه گرفت که از نقطه نظر کلی این اهداف کلاً مسائل مختلفی را حل می‌نماید و بنابراین عملی کردن فیزیکی آنها و امکانات عملی (عملیاتی) آنها در تعدادی از مشخصات ممکن است بشدت متفاوت باشند.

۷ انواع شبیه‌سازهای هواپیما

انواع شبیه‌سازهای پرواز هواپیما به شرح ذیل می‌باشند:

۱. فقط تجهیزات[1] داخل کابین بدون حرکت نصب می‌شوند، که به آن لینک[2] می‌گویند.

۲. دارای حرکات غلت، پیچش و گردش بوده ولی بدون حرکت[3] و بدون دید[4] می‌باشد. یعنی پرواز کور بدون حرکت، در این حالت شبیه‌ساز پرواز روی زمین قرار می‌گیرد(بدون پایه).

۳. حالتی که دارای حرکت نبوده و دارای دید[5] می‌باشد. این حالت مانند کارکردن پشت کامپیوتر می‌باشد. در این حالت شبیه‌ساز بدون پایه روی زمین قرار می‌گیرد.

۴. حالتی که دارای حرکت بوده[6] و دارای دید نمی‌باشد.

۵. حالتی که دارای حرکت بوده و دارای دید نیز می‌باشد.

شبیه‌سازها از بالا به پایین گرانتر می‌شوند. تغییرات پارامترها داخل کابین مانند هواپیما واقعی است، یعنی با تغییر یک پارامتر تأثیرش بر روی پارامترهای دیگر نیز ایجاد می‌شود. شبیه‌سازهای که دارای دید نمی باشند، برای ایجاد احساس خلبانی برای پرواز کور هستند. در حالتی که شبیه‌ساز دارای حرکت بوده، علاوه بر حرکت دستگاه، خود خلبان نیز دارای حرکت روی صندلی خود می‌باشد. در زیر صندلی خلبان پمپ های الکترو هیدرولیکی نصب شده که حرکات در جهات مختلف را به صندلی می‌دهد. صندلی ها بر روی چنین پایه قرار گرفته‌اند که برای شرایط خاص و پیچیده پرواز مانند شرایط با باد، ابر روی شبیه‌ساز قابل تنظیم می‌باشند. نماهایی از شبیه‌ساز پرواز هواپیما از لینک تا شبیه‌ساز پرواز دارای حرکت و دید در شکل ۱۳ نشان داده شده است.

در ساخت شبیه‌ساز باید به شرایط ذیل توجه نمود:

۱. ساخت کابین واقعی،

۲. تأثیرات شرایط مختلف پروازی مانند افزایش گاز موتور بر روی پارامترهای دیگر، که باید به صورت برنامه در کامپیوتر شبیه‌ساز قرارگیرد. کامپیوترهای شبیه‌ساز حتی در زمستان نیز باید خنک کار شوند،

۳. آیا در ساخت شبیه‌ساز به دید نیاز می‌باشد یا نه؟ در شبیه‌ساز دو حالت دید مصنوعی و واقعی وجود دارد:

(الف) دید مصنوعی: فقط یک باند برای نشست و برخاست وجود دارد و بقیه جاها دیده نمی‌شود،

(ب) دید واقعی: با استفاده از نقشه‌های هوانوردی که از طریق ماهواره گرفته شده و روی نرم افزارکامپیوتر نصب شده، استفاده می‌شود.

۴. آیا در ساخت شبیه‌ساز به ایجاد حرکت نیاز است یا نه؟ ایجاد حرکت در شبیه‌ساز می‌تواند به صورت جزئی یا حرکت با حساسیت بیشتر صورت گیرد:

(الف) شبیه‌ساز پرواز با حرکت جزئی: در این حالت یک حرکت جزئی برای محورهای غلت و گردش وجود داشته و از ۸ تا ۱۱ پمپ هیدرولیکی استفاده می‌شود. این پمپ های هیدرولیکی سیگنال‌هایشان را از کامپیوتر و خود کامپیوترها دستوراتشان را از دستورات کامپیوتر فرامین کنترل دریافت می‌کنند.

(ب) شبیه‌ساز پرواز دارای حرکت با حساسیت بیشتر: این شبیه‌سازها حرکات و پروازهای غیر معمول تر مانند نشست و برخاست در شرایط بد آب و هوایی یا پرواز در محیط آشفته را برای خلبان شبیه‌سازی می‌کنند. در این حالت تمام نیروها و بارهای آیرودینامیکی به خلبان وارده شده و اگر به صندلی بسته نباشد، سرش به سقف کابین برخورد می‌کند.

شکل ۱۳: نماهایی از شبیه‌ساز پرواز از لینک تا نمونه پیشرفته [۱۷]

شبیه‌سازها به صورت تک کابین و کنار هم[7] می باشند. عموماً شبیه‌ساز را برای شرایط خاص پروازی (که در حالت واقعی روی هواپیما قابل اجرا نیست) مورد استفاده قرار داده تا خلبان با شرایط پیچیده پروازی ونحوه بازیابی[8] از آن آشنا شود. تمام شبیه‌سازها قیمت شان از خود هواپیما بیشتر می‌باشد (حداقل دو برابر قیمت هواپیما). یکی از گرانترین شبیه‌سازها در ایران، مربوط به هواپیمای F-14 بوده که بعد از آموزش خلبان بر روی آن احتیاج به پرواز با هواپیمای واقعی نمی‌باشد. برای هر ۸ ساعت آموزش روی شبیه‌ساز پرواز، یک ساعت پروازی با هواپیمای واقعی در نظر گرفته می‌شود. خیلی از شرایط پیچیده و خطرناک پروازی بر روی هواپیما در شرایط واقعی قابل اجرا نیست

[1]Instrument [2]Link [3]Without Motion [4]Without Vision [5]With Vision [6]With Motion [7]Side-by-side [8]Recovery

ولی روی شبیه‌ساز می‌توان اجرا نمود مانند آتش‌گرفتن موتور و یا افتادن در شرایط خودچرخشی. عموماً تمام خلبانان چه دانشجو و چه استاد، ماهانه باید ۲ ساعت روی شبیه‌ساز آموزش ببینند. اگر دانشجو ضعیف باشد ممکن است استاد ساعت فوق را به ۱۰ ساعت نیز افزایش دهد. ممکن است برای اینکه خلبانان حساسیت و مهارت پروازی خود را از دست ندهند ساعات آموزش روی شبیه‌ساز پرواز از ۲ ساعت نیز بیشتر بشود. در شکل ۱۴ نمای داخلی کابین شبیه‌ساز پرواز هواپیمای ایرباس A380 نشان داده شده است.

شکل ۱۴: نمای داخل کابین شبیه‌ساز پرواز هواپیمای A380 با دید و حرکت کامل [۱۸]

در شکل ۱۵ نماهایی از داخل کابین شبیه‌ساز پرواز هواپیمای F-5 نشان داده شده است.

شکل ۱۵: نماهایی از داخل کابین شبیه‌ساز پرواز F-5 [۱۹]

۸ جزئیات تفاوت های اصلی کاربرد و اجرای فیزیکی استند خلبانی و شبیه‌ساز پرواز

در جدول ۱ جزئیات اختلافات اساسی کاربرد و عملی‌کردن فیزیکی استند خلبانی و شبیه‌ساز پروازآورده شده است [۲۰، ۲۱]. در شکل ۱۶، مرغ آهنین و شبیه ساز پرواز هواپیمای مسافربری کنکورد نشان داده شده است.

شکل ۱۶: مرغ آهنین و شبیه‌ساز پرواز هواپیمای کنکورد

۹ نتیجه‌گیری

در این تحقیق، بررسی جامعی روی سه زیرساختار اصلی صنعت هوایی یعنی استند ازمون (یا مرغ آهنین)، استند خلبانی و شبیه‌ساز پرواز صورت گرفته است. استند آزمون در مرحله طراحی هواپیما ساخته شده و هدف آن ارزیابی و اندازه گیری بعضی از شاخص ها در همان بخش طراحی است تا در صورت مشکل در همان مراحل اولیه رفع شود. ساخت استند خلبانی در مرحله طراحی و ساخت هواپیما انجام گرفته و هدف اصلی آن آماده سازی خلبان برای انجام اولین پرواز و آزمایش‌های پروازی هواپیمای تجربی است. بعد از پایان آزمایش‌های پروازی و وارد شدن پرنده به مرحله تولید سری، ساخت شبیه‌ساز پرواز هواپیما صورت می‌گیرد. شبیه‌ساز پرواز هواپیما وسیله ای است که در راستای آموزش اولیه و مجدد خلبانان، تمرینات دوره‌ای، پرواز در شرایط بد آب و هوائی و محدویت دید، پرواز در شرایط پیچیده مانند واماندگی و چرخش و پرواز در شرایط خرابی سیستم‌های عملیاتی مورد استفاده قرار می‌گیرد.

مراجع

[۱] طربی، عباس. اهمیت و مراحل انجام آزمایش‌های پروازی. *نشریه علمی ترویجی پژوهشیار دانشگاه صنعتی مالک اشتر، ویژه‌نامه هوافضا*، ۳۹:۴۳–۴۵، ۱۳۸۷.

[2] Variable stability flight simulator. *University of Sydney*.

[3] The history of flight simulator, 2016.

[4] Kuntz, William H. Iron bird model for agile program. tech. rep., ANAMET LABS INC SAN CARLOS CA, 1983.

[5] International, SAE. Descriptions of systems integration test rigs (iron birds) for aerospace applications. tech. rep., A-6a3 Flight Control and Vehicle Management Systems, 2015.

[6] A350 xwb iron bird. *AIRBUS A350*, 2015.

[7] Bals, Johann, Hofer, Gerhard, Pfeiffer, Andreas, and Schallert, Christian. Virtual iron bird-a multidisciplinary modelling and simulation platform for new aircraft system architectures. 2005.

[8] Powell, D. Iron bird test system in lab. Tech. Rep. 21, January 2011.

[9] Faleiro, LF. Power optimised aircraft–the future of aircraft systems. in *AIAA/ICAS International Air and Space Symposium and Exposition*, 2003.

[10] Rolfe, John M and Staples, Ken J. *Flight simulation*. no. 1. Cambridge University Press, 1988.

[11] Shannon, Robert E. Systems simulation; the art and science. tech. rep., 1975.

[12] Klehr, J. T. The simulation of hazardous flight conditions. tech. rep., 1984.

[13] Thomas, HHBM. Some thoughts on mathematical models for flight dynamics. *The Aeronautical Journal*, 88(875):169–178, 1984.

[14] Inside a frontier airlines airbus a320 simulator. tech. rep., October 2015.

[15] Qi, Pan Guo, Cong, DC, Jiang, HJ, and Han, Jun Wei. Systems analysis for commercial aircraft flight simulator. in *Applied Mechanics and Materials*, vol. 10, pp. 522–527. Trans Tech Publ, 2008.

[16] Pigeyre, P. The first a350 xwb full-flight simulator is readied for airline flight crews, July 2014.

[17] Flight simulator. *Wikipedia*.

[18] Real movement: Full flight simulator. *Lufthansa Aviation Training*, 2016.

[19] F-5 full mission simulator. *SIMULTEC*.

[20] Simulation and analysis of the pilot-vehicle system. *National Academy of Sciences*, 2017.

[21] Rogalski, Tomasz, Tomczyk, Andrzej, and Kopecki, Grzegorz. Flight simulator as a tool for flight control system synthesis and handling qualities research. in *Solid State Phenomena*, vol. 147, pp. 231–236. Trans Tech Publ, 2009.

جدول ۱ : اختلافات بین استند خلبانی و شبیه ساز پرواز هواپیما

مشخصات	استند خلبانی	شبیه ساز پرواز هواپیما
کاربرد اصلی	مشخصه تحقیقاتی، کنترل امکانات هواپیما و سسیستم های آن قبل از تست هواپیما، آماده‌سازی جهت پرواز اول و آزمایش‌های پروازی	مشخصه تولید، اماده‌سازی اولیه، آموزش مجدد و تمرینات مداوم اجزائ پروازی و توام کردن با آماده سازی در هواپیما
مدلها (نرم‌افزار و دستگاه‌ها)	حداکثر قابلیت انعطاف یا ویژگی تغییر دادن بعضی از مشخصات، به طوریکه امکان استفاده از محصولات و نرم افزارهای زیادی در جهت مدل کردن نوع جدیدتری از هواپیما وجود داشته باشد	محدودیت قابلیت انعطاف که تأمین کننده امکان انجام کارهای تکمیلی مشابه و کارهای تکمیلی انجام شده بر روی هواپیما می‌باشد.
تجهیزات آلات دقیق و اتوماتیک‌ها	نوع آلات دقیق مختلف (به خصوص رزروها) ممکن است دقیقاً مطابق واقعیت نباشد. در موارد خاص می‌توان از نمونه های تجربی آلات دقیق واقعی به منظور کنترل آنها استفاده نمود. تعدادی از سیستم ها در کابین را می‌توان نصب کرد یا آنها را با مشابه‌های ساختگی عوض نمود.	نوع و رفتار دستگاه ها و آلات دقیق دقیقاً با هواپیما مطابقت داشته باشد. هم آلات دقیق واقعی با ارسال سیگنال‌های لازم به آنها به کار برده می‌شود و هم از شبیه‌سازی‌های آنها به صورت کامل اجرا می‌شود.
قابلیت دید وضعیت خارج از کابین	ممکن است محدود باشد، فقط تأمین کننده اهداف آزمایش و آماده‌سازی جهت پرواز اول باشد	در حد امکان اجرا کننده تجسم واقعی از کلیه رژیم‌ها و شرایط خارجی پرواز می‌باشد.
مدل‌کردن خرابی ها	مجموعه محدود شده ای از خرابی‌ها و رژیم‌های پرواز ی اجرا می‌گردد	مجموعه کامل کلیه خرابی‌های واقعی مورد انتظار و موارد خاص پروازی که احتمال دارد اتفاق بیافتد، انجام گیرد.
کابین	ممکن است محل‌های اعضای خدمه را شامل نگردد و نسبتاً تغییرات انعطاف پذیر شکل خارجی را تأمین بنماید.	تا حد ممکن دقیقا با هواپیمای واقعی مطابقت می‌کند.
سیستم آکوستیکی و سیگنالینگ صوتی	شبیه‌سازی صدای آئرودینامیکی و صدای پیشرانه ممکن است با صداهای واقعی مطابقت ننماید و یا به طور کلی وجود نداشته باشد. از سیگنالینگ صوتی فقط ضروری‌ترین آن می‌تواند بکار رفته باشد.	کلیه اطلاعات صوتی در حد حداکثر با مقادیر واقعی مطابقت دارد.
سیستم متحرک کابین	لازم نیست (در استند خلبانی بندرت استفاده می‌شود)	کاملاً دلخواه است.
محل کار مربی	در واقع این پانل کنترل استند خلبانی است که از آن می‌توان شرایط خارجی و لیست مهمترین خرابی ها و موارد خاص پرواز را صادر نمود.	از پانل مربی، تمام آموزش شاگرد خلبان کنترل می شود.
قیمت	قیمت اولیه بالاست اما هزینه بهینه سازی استند خلبانی موجود برای هواپیمای نوع جدید کمتر از قیمت ساخت شبیه ساز پرواز است.	بالاست
اولویت ساخت	همزمان با طراحی و ساخت اولین هواپیما قبل از اتمام آن جهت بررسی و برای آماده‌سازی جهت پرواز اول ساخته می‌شود.	پس از مرحله اول آزمایش‌های پروازی و وارد شدن هواپیما به مرحله تولید سری، ساخته می‌شود.
شرکت سازنده	معمولاً شرکت طراح هواپیما می‌باشد.	معمولاً شرکت تخصصی در مورد طراحی و تولید شبیه ساز پرواز می‌باشد.