Archive of SID

سیزدهمین کنفرانس انجمن هوافضای ایران
تهران، دانشگاه تهران، دانشکده علوم و فنون نوین، ۱۳ تا ۱۵ اسفند ۱۳۹۲

Aero2014P1122T606

تحلیل تست‌های پروازی عملکردی یک پهپاد و تطابق نتایج آن با الزامات و استانداردهای بین المللی

زینب محمدی[۱]، سعید احمدیان[۲]، جمشید اعتمادی [۳] ، علی بخشعلی پور کلخوران [۴]

۱- دانشگاه صنعتی شریف
۲- دانشگاه آزاد اسلامی- واحد علوم و تحقیقات تهران
۳- دانشگاه صنعتی امیرکبیر(پلی تکنیک تهران)
۴- سازمان هواپیمایی کشوری

چکیده

با توجه به افزایش رو به رشد استفاده از هواپیماهای بدون سرنشین در کاربردهای نظامی و غیر نظامی در دنیا، مراکز تایید کننده صلاحیت پروازی برآن شدند تا الزامات مربوط به این دسته از پرنده‌ها را شناسایی و در قالب یک استاندارد به مراکز طراحی کننده ارائه نمایند تا پس از اجابت الزامات آن مرکز طراحی کننده بتواند گواهینامه نوع محصول خود را اخذ نماید.

برای این منظور، در حال حاضر مراکز طراحی کننده موظف به اجابت الزامات استاندارد IDS778 می‌باشند که برای پهپادهایی با رده وزنی ۱۵۰ تا ۲۰۰۰۰ کیلوگرم قابل استفاده می باشد.

بخشی از الزامات این استاندارد مربوط به پرواز و عملکرد پهپاد می‌باشد نظیر الزامات مربوط به برخاست، صعود، فرود، گلاید، سرعت واماندگی، سرعت تقرب و فرود مرجع، کمینه سرعت اثباتی، مسافت فرود و فرود ناکامل. در این مقاله ابتدا الزامات مربوط به این موضوعات و در ادامه نتایج تست‌های پروازی انجام گرفته جهت اجابت الزامات آورده شده است. در پایان نیز برخی نتایج مربوط به انجام آزمایشات ، آورده شده است.

واژه های کلیدی : *گواهینامه نوع- تحلیل تست پرواز- پهپاد- مرجع صلاحیت دار*

مقدمه

یکی از روش‌های اجابت الزامات استاندارد استفاده از تست‌های پروازی می‌باشد. برای اثبات عملکرد یک وسیله پرنده به جز مستندات طراحی نحوه پرواز و عملکرد واقعی آن در شرایط پروازی واقعی نیز لازم و ضروری است. بنابراین در این مقاله نتایج تست‌های پروازی و تحلیل آن‌ها جهت اجابت الزامات استاندارد در مبحث عملکرد وسیله پرنده آورده شده است. از آنجایی که شرایط پروازی واقعی به دلیل محدودیت‌های پروازی کاملا منطبق با شرایط خواسته شده در الزامات استاندارد نمی‌باشد، اصلاح داده-ها نیز انجام شده است. در بررسی عملکرد نتایج آزمایشات پروازی در اینجا پهپادی را در نظر می‌گیریم که برخاست آن به وسیله پرتاب‌گر (راکت) انجام شده است. همچنین پرنده مزبور تنها دارای یک موتور بوده و تنها ملزم به اجابت بندهای مربوط به پهپاهای تک موتوره می‌باشد.خلاصه‌ای از الزامات استاندارد IDS778و تحلیل داده‌های تست‌های پروازی صعود، گلاید و فرود به عنوان مثال برای چنین پهپادی با بیشینه وزن برخاست ۲۵۰ کیلوگرم در ادامه آورده شده است. شکل-۱ نمونه ای از جدول ثبت داده (تست گلاید) است که در کلیه مراحل انجام تستهای پروازی داده ها در آن ثبت می گردند .

صعود

الزامات استاندارد:

موارد الزام به شرح ذیل می باشد:

بدور از اثرات زمین، در سرعتی بیشتر از سرعت مورد نیاز خنک کاری، بعد از ترک منطقه ایمن پروازی، در بیشینه وزن برخاست و جو استاندارد، در محدوده ارتفاع و دمای محل پرتاب ثبت شده و در سطح دریا دارای نرخ صعود ثابت حداقل ۵٪ با توانی کمتر از حداکثر توان پیوسته موتور و سرعت صعودی کمتر از ۳/۱ برابر سرعت واماندگی.

نحوه اجابت:

این پرنده بدلیل پرتاب بوسیله راکت زمانی شروع به صعود می‌کند که راکت پرنده را به ارتفاعی خارج از محدوده ایمن پرنده یا محدوده اثرات زمین (که برابر با نصف طول بال پرنده است) رسانده است. برای این پرنده با توجه به محاسبات، سرعت واماندگی در سطح دریا ۸۸ کیلومتر در ساعت بوده و ۳/۱ برابر آن ۵/۱۱۴ کیلومتر در ساعت خواهد بود. در جدول -۱ تحلیل دو تست پروازی در محدوده ارتفاع ۶۰۰ تا ۸۰۰ متری از سطح پرتاب و اصلاح شرایط واقعی پرواز ازجمله دما، وجود باد روبرو و بیشینه وزن برخاست انجام گرفته است. فرض شده که ارتفاع سطح پرتاب محل انجام تست حدود ۱۰۰۰ متر از سطح دریا می‌باشد.

سناریوی انجام تست صعود :

به دور از اثرات زمین، درسرعتی که کمتر ازسرعت مورد نیاز سیستم خنک کاری موتور باشد، در بیشینه وزن برخاست یا فرود، دریک جو استاندارد و مطلوب و نیز سرعتی که نباید کمتر از بیشترین مقدار($1.1\ V_{MC}$ و $1.2V_{S1}$)برای پهپاد چند موتوره و همچنین نباید کمتر از مقدار $1.2V_{S1}$ برای پهپاد تک موتوره باشد.

سناریوی این آزمون به شرح زیر می‌باشد:

- مسیر رفت پرواز در ضلع بغل به باد
- صعود از ارتفاع ۵۰۰ تا ۸۰۰ متری و با حفظ سرعت ۱۳۵ کیلومتر بر ساعت (ثبت زاویه پیچ و درصد تراتل)
- پرواز دوره ترافیک با استفاده از ۶۵٪ توان موتور و با حفظ همان ارتفاع به مدت ۱ دقیقه
- نزول به ارتفاع ۵۰۰ متری و با همان سرعت
- صعود از ارتفاع ۵۰۰ تا ۸۰۰ متری و با حفظ سرعت ۱۲۵ کیلومتر بر ساعت (ثبت زاویه پیچ و درصد تراتل)
- پرواز دوره ترافیک با استفاده از ۶۵٪ توان موتور و با حفظ همان ارتفاع به مدت ۱ دقیقه

۲و۱- کارشناس ارشد مهندسی هوافضا - آیرودینامیک
۳- کارشناس ارشد مهندسی هوافضا –دینامیک پرواز وکنترل jam_etemadi@aut.ac.ir
۴- دکترای مهندسی هوافضا- آیرودینامیک

www.SID.ir

Archive of SID

- نزول به ارتفاع ۵۰۰ متری و با همان سرعت
- صعود از ارتفاع ۵۰۰ تا ۸۰۰ متری و با حفظ سرعت ۱۱۵ کیلومتر بر ساعت (ثبت زاویه پیچ و درصد تراتل)
- پرواز دوره ترافیک با استفاده از ۶۵٪ توان موتور و با حفظ همان ارتفاع به مدت ۱ دقیقه
- نزول به ارتفاع ۵۰۰ متری
- تکرار مراحل فوق در مسیر برگشت در ضلع بغل به باد

همانطور که مشاهده می‌شود بعد از اعمال کلیه اصلاحات شامل اصلاح وزن بیشینه در حین صعود، اصلاح اثرات باد و شرایط استاندارد جوی گرادیان صعود از الزام استاندارد که حداقل ۵٪ باشد، بیشتر است و این تطابق در خصوص هواپیمای مورد نظر انجام گرفته است.

لازم به ذکر است که اصلاحات اثر باد با فرض ثابت بودن سرعت صعود و زمان صعود و افقی بودن باد انجام گرفته است. در این شرایط باد روبرو باعث افزایش زاویه صعود و باد از پشت باعث کاهش زاویه صعود می‌شود درحالیکه نرخ صعود ثابت می‌ماند. اگر باد دارای مولفه جانبی یا عمودی باشد، دیگر نرخ صعود ثابت باقی نمی‌ماند. در اینجا اثر باد تنها بر زاویه صعود و سرعت صعود از دید ناظر زمینی تاثیر گذار است که در نتیجه مسافت افقی طی شده در حین صعود و گرادیان صعود را تحت تاثیر قرار می‌دهد.

از کنار هم قرار دادن نرخ صعودهای بدست آمده از نتایج تست‌های پروازی مختلف در شرایط متفاوت و اصلاح آن‌ها برای شرایط استاندارد سطح دریا و عدم وجود باد با بیشینه وزن برخاست نمودار نشان داده شده در شکل-۲ بدست می‌آید. همانطور که در این شکل دیده می‌شود پراکندگی داده‌ها به دلیل نامعین بودن جهت واقعی وزش باد است که در همه جا ما باد را افقی در نظر گرفته‌ایم. این خود می‌تواند باعث ایجاد خطا در داده‌ها شود ولی با این حال، روند مورد انتظار ROC-V بخوبی قابل مشاهده است.

همچنین شکل-۳ نمایانگر تغییرات نرخ صعود ماکزیمم با ارتفاع می باشد که این منحنی بصورت تجربی و نیمه تجربی استخراج شده است. [۱] تا [۵]

جدول-۱ داده‌های تست پروازی صعود

پارامتر	تست ۱	تست ۲	پارامتر	تست ۱	تست ۲
وزن برخاست	۲۴۰	۲۴۰	درصد تراتل	٪۸۷	٪۸۷
ارتفاع اولیه	۱۶۰۰	۱۶۰۳	سرعت نشانگر	۱۱۵	۱۲۵
ارتفاع ثانویه	۱۸۰۰	۱۸۳۴	سرعت هوایی نسبی	۱۲۵	۱۳۶
زمان اولیه	۵۵.۳	۶۲	سرعت باد	۳۰.۳	۲۶.۲
زمان ثانویه	۵۶.۹	۶۴.۲	سرعت زمینی	۱۵۵	۱۶۲
وزن حین صعود	۲۱۹	۲۱۷	نرخ صعود	۱۳۶.۶	۱۱۷.۵
دمای محیط	۳۱	۳۱	زاویه مسیر صعود	۲.۹۱	۳.۱۲
اصلاح بیشینه وزن					
سرعت نشانگر	۱۲۲.۲	۱۳۹	سرعت هوایی نسبی	۱۲۹.۶	۱۴۱.۴
زاویه صعود	۳.۶۳	۲.۵۲	نرخ صعود	۱۱۷.۸	۹۹.۳۴
گرادیان صعود	۴.۶۷	۳.۱۴	زاویه صعود در سطح دریا	۴.۹۳	۳.۸۳
نرخ صعود در سطح دریا	۱۸۴.۴	۱۵۵.۷	گرادیان صعود در سطح دریا	۷.۱۲	۶.۱۲
اصلاح اثر باد					
سرعت زمینی	۱۰۰.۱۲	.۱۲۰.۲	سرعت زمینی در	۹۴	۱۱۰

پارامتر	تست ۱	تست ۲	پارامتر	تست ۱	تست ۲
			سطح دریا		
نرخ صعود	۱۲۱.۹	۱۰۰.۲۹	زاویه صعود	۴.۹	۳.۱۲
نرخ صعود در سطح دریا	۱۷۹	۱۵۱	زاویه صعود در سطح دریا	۷.۲	۶.۸
گرادیان صعود	۸.۱۲	۶.۲	گرادیان صعود در سطح دریا	۱۰.۴۷	۹.۱۲
اصلاح شرایط استاندارد					
نرخ صعود	۱۳۳	۱۱۰	نرخ صعود در سطح دریا	۱۹۹	۱۶۲
زاویه صعود	۳.۷	۳.۱	زاویه صعود در سطح دریا	۶.۲	۴.۹
گرادیان صعود	۶.۱۲	۵.۳	گرادیان صعود در سطح دریا	۱۰.۲	۸.۲

گلاید:

الزامات استاندارد:

موارد الزام به شرح ذیل می باشد:

بیشینه مسافت افقی لازم به ازای ۱۰۰۰ پا افت ارتفاع در شرایطی که موتور خاموش بوده باشد.

نحوه اجابت:

تست گلاید و محاسبه مسافت افقی لازم به ازای ۱۰۰۰ پا افت ارتفاع (معادل ۳۰۰ متر) انجام گرفته و نتایج آن در جدول-۲ آورده شده است. در این شرایط موتور خاموش بوده و پرنده از ارتفاع ۲۰۳۰ متری تا ارتفاع ۱۷۲۰ متری (افت ارتفاع ۱۰۰۰ پا) با زاویه و سرعت ثابت گلاید کرده است. در این سرعت مسافت افقی طی شده در شرایط بدون وجود باد و با حداکثر وزن ۲۵۰ کیلوگرم حدود ۲۲۰۰ متر و افت ارتفاع ۳۰۰ متر بوده است.

سناریوی انجام تست گلاید:

با توجه به الزامات استاندارد، لازم است بیشینه مسافت افقی طی شده در هوای ساکن بازای هر ۱۰۰۰ پا افت ارتفاع و سرعت لازم برای دستیابی به آن در شرایطی که موتور خاموش بوده، ملخ آن در حالت کمینه پسای ممکن و ارابه فرود و فلپ‌های بال در بهترین حالت در دسترس باشند، تعیین گردند. سناریوی این آزمون به شرح زیر می‌باشد:

- پرواز در مد دستی داخل ایستگاه و در ارتفاع ۱۳۰۰ متری از باند در ضلع بغل به باد
- موتور در حالت آیدل
- پرواز بصورت گلاید و کاهش ارتفاع تا ۱۰۰۰ متری باند با حفظ سرعت ۱۳۵ کیلومتر در ساعت(ثبت فاصله طی شده و ثبت زاویه گلاید)
- توان حداکثر پیوسته موتور
- اوج گیری تا ارتفاع ۱۳۰۰ متری باند
- تکرار سه مرحله اول با سرعت ۱۲۵ و در نهایت ۱۱۵ کیلومتر در ساعت و در مسیر برگشت بغل به باد

همچنین شکل-۴ نمایانگر تغییرات سرعت در زوایای گلاید مختلف می باشد که این منحنی بصورت تجربی و نیمه تجربی استخراج شده است. [۱] تا [۵]

جدول -۲ داده‌های تست پروازی گلاید و اصلاح داده ها

www.SID.ir

Archive of SID

پارامتر	تست	پارامتر	تست
وزن برخاست	۲۴۰	وزن هنگام تست	۱۸۵.۳۹
ارتفاع اولیه	۲۰۴۵	ارتفاع ثانویه	۱۷۲۲
کاهش ارتفاع	۳۲۳	مدت زمان گلاید	۱.۱۷
دمای محیط	۳۳	دمای سطح دریا	۲۷
سرعت نشانگر	۱۱۰	سرعت نسبی هوایی	۱۰۹.۶۷
سرعت زمینی	۱۳۰	سرعت باد	۲۲
مسافت افقی گلاید	۲۴۷۶.۵	زاویه گلاید	۶.۷
درصد تراتل	٪۰	نرخ نزول	۲۸۹
اصلاح وزن بیشینه			
نرخ نزول	۲۲۹	نرخ نزول در سطح دریا	۳۰۰.۳
سرعت هوایی نشانگر	۱۲۰	سرعت هوایی نسبی	۱۲۹
زاویه گلاید	۵.۴	زاویه گلاید در سطح دریا	۹.۷
کاهش ارتفاع	۲۵۴.۸۱	کاهش ارتفاع در سطح دریا	۳۸۷.۹۶
مسافت افقی گلاید	۲۵۵۰.۵	مسافت افقی گلاید در سطح دریا	۲۲۱۷.۱
اصلاح اثر باد			
سرعت هوایی نشانگر	۱۲۱	سرعت هوایی نسبی	۱۳۴
سرعت زمینی	۱۱۰	سرعت زمینی در سطح دریا	۱۰۰
نرخ نزول	۲۰۳	نرخ نزول در سطح دریا	۳۲۰
زاویه گلاید	۶.۴	زاویه گلاید در سطح دریا	۱۰.۸
کاهش ارتفاع	۲۵۴.۸۱	کاهش ارتفاع در سطح دریا	۳۸۷.۹۶
مسافت افقی گلاید	۲۰۳۸.۱	مسافت افقی گلاید در سطح دریا	۱۸۳۶.۱۶
اصلاح شرایط استاندارد			
نرخ نزول	۴۱۱	نرخ نزول در سطح دریا	۲۲۰
زاویه گلاید	۵.۵	زاویه گلاید در سطح دریا	۱۰.۴
کاهش ارتفاع	۲۷۶.۲۱	کاهش ارتفاع در سطح دریا	۴۲۰.۵۵
مسافت افقی گلاید	۲۳۹۱.۹	مسافت افقی گلاید در سطح دریا	۲۱۵۴.۸

سرعت تقرب و فرود مرجع:

الزامات استاندارد:

موارد الزام به شرح ذیل می باشد:

نباید کمتر از ۳/۱ برابر سرعت واماندگی باشد، تقرب یکنواخت با شیب منفی ثابت از ارتفاع بالاتر تا ارتفاع ۱۵ متری باند فرود

نحوه اجابت:

با توجه به نتایج تحلیل داده‌های پروازی سرعت تقرب فرود از ارتفاعی بالاتر تا رسیدن به ارتفاع ۱۵ متری سطح باند ثابت مانده و تقرب با شیب یکنواخت انجام شده است. مقدار سرعت و فاصله افقی طی شده در این قسمت از پرواز در جدول-۳ آورده شده است. از آنجایی‌که در این تست فرود پس از چند ساعت پرواز انجام شده و وزن پرنده بسیار کمتر از بیشینه وزن می‌باشد لازم است سرعت برای وزن ۲۵۰ کیلوگرم (بیشینه وزن) نیز اصلاح گردد.

در این تست ارتفاع باند فرود حدود ۱۰۰۰ متر از سطح دریا بوده است.

سناریوی انجام تست سرعت تقرب فرود مرجع:

با توجه به الزامات استاندارد لازم است سرعت تقرب فرود مرجع V_{REF} کمتر از بیشترین مقادیر زیر نباشد: V_{MC} و $1.3\ V_{SO}$

سناریوی این آزمون به شرح زیر می‌باشد:

- سرعت نمایشگر ثابت۱۳۵ کیلومتر بر ساعت.
- ارتفاع فشاری ۱۵۰ متر(از سطح زمین) و فاصله افقی ۱۵۰۰ متر
- مسیر پرواز رو به باد و شیب نزول ثابت
- نزول تا ارتفاع فشاری ۱۵ متر(ثبت فاصله در ارتفاع ۱۵ متری)
- تکرار تست با سرعت های ۱۲۵ و ۱۱۵ کیلومتر بر ساعت

در این تست بعد از ۴ ساعت پرواز و قبل از فرود، تقرب با سرعت ثابت ۱۰۵ کیلومتر بر ساعت انجام شده است و از آنجاییکه وزن پرنده در هنگام تقرب ۱۸۵ کیلوگرم بوده است، می‌بایست وزن اصلاح شده و سرعت معادل با آن محاسبه می‌شد که این سرعت در شرایط مشابه با بیشینه وزن برابر با ۱۱۸ کیلومتر بر ساعت بوده است که از $1.3\ V_S=114.5\ km/hr$ بیشتر می‌باشد. بدین ترتیب الزام سرعت تقرب فرود نیز اجابت می‌شود. همچنین شکل-۳ نمایانگر تغییرات نرخ صعود ماکزیمم با ارتفاع می باشد که این منحنی بصورت تجربی و نیمه تجربی استخراج شده است.[۱] تا [۵]

جدول -۳ نتایج تحلیل داده‌های تست پروازی تقرب فرود مرجع

پارامتر	تست	پارامتر	تست
وزن برخاست	۲۴۰	وزن هنگام تست	۱۹۰
ارتفاع اولیه	۶۵۰	ارتفاع ثانویه	۱۵
افت ارتفاع	۶۳۵	مدت زمان کاهش ارتفاع	۲.۳۲
دمای محیط	۳۳	دمای سطح دریا	۲۷
سرعت نشانگر	۱۱۰	سرعت نسبی هوایی	۱۱۰.۵
سرعت زمینی	۱۲۵	سرعت باد	۹.۵
زاویه مسیر	۶.۹	مسافت افقی طی شده	۴۶۴۰
درصد تراتل	٪۰	نرخ نزول	۲۷۴.۱۴
اصلاح وزن بیشینه			
سرعت هوایی نشانگر	۱۲۲	سرعت هوایی نسبی	۱۳۵
نرخ نزول	۲۲۳	زاویه مسیر	۴.۹
کاهش ارتفاع	۵۰۰.۷	مسافت افقی طی شده	۵۲۰۲.۷۸
اصلاح اثر باد			
سرعت زمینی	۱۲۲	نرخ نزول	۲۳۲
زاویه مسیر	۵.۴	مسافت افقی طی شده	۴۴۶۹.۴
اصلاح شرایط استاندارد			
نرخ نزول	۲۲۱	زاویه مسیر	۵.۶
کاهش ارتفاع	۵۲۴.۷۹	مسافت افقی طی شده	۴۸۳۱.۵۳

مسافت فرود:

الزامات استاندارد:

موارد الزام به شرح ذیل می باشد:

مسافت افقی لازم جهت فرود و رسیدن به توقف کامل پهپاد از ارتفاع ۱۵متری (۵۰ پا) بالاتر از سطح باند بر اساس دماهای استاندارد در هر وزن و ارتفاع درمحدوده‌های عملکردی مقرر شده برای فرود در شرایط تقرب فرود مرجع فوق الذکر، با پیکر بندی ثابت و بدون ازدیاد (بارهای حدی ترمزها، سازه، ارابه فرود، خستگی سازه)شتاب عمودی اضافی، یا تمایل به برخورد با زمین و جداشدن مجدد،واژگونی ویا دور زدن بر روی باند.

نحوه اجابت: تقرب فرود با سرعت بیشتر ازسرعت مرجع(V_{REF}) و مسافت افقی لازم جهت فرود از ارتفاع ۱۵ متری بالای سطح باند تا توقف

www.SID.ir

Archive of SID

کامل از روی داده‌های پروازی تست‌های انجام گرفته شده محاسبه و نتایج آن در جدول- ۴ آورده شده است. در این تست‌ها فرود بعد از مدت زمان پروازی و با وزنی کمتر از بیشینه وزن فرود که همان ۲۵۰ کیلوگرم است انجام شده است. بنابراین با استفاده از معادلات رایج در محاسبات فرود، وزن و همچنین باد موجود در منطقه اصلاح شده است و در نهایت نیز برای ارتفاع سطح دریا اصلاح گردیده است.

سرعت تقرب فرود مرجع دارای محدودیت حداقل۳/۱ برابر سرعت واماندگی است که با توجه به محاسبات بخش قبل همان ۵/۱۱۴ کیلومتر بر ساعت می‌باشد. بنابراین همانگونه که در جدول -۴ قابل مشاهده است سرعت در ارتفاع ۱۵ متری بیش از این مقدار است.

همچنین تغییر در پیکربندی ناشی از تغییر در وضعیت ارابه فرود، فلپ‌ها و ملخ می‌باشد که در پهپاد مورد نظر این تغییرات وجود ندارد و پیکربندی همواره ثابت می‌باشد.

در نتایج حاصله از این تست‌ها هیچ گونه واژگونی، تمایل به برخورد با زمین یا دور زدن بر روی باند وجود نداشته و با توجه به داده‌های پروازی موجود از تست‌ها دیده می‌شود که فرود به آرامی و بدون ایجاد خستگی در سازه یا خرابی ارابه فرود و غیره انجام شده است.

سناریوی انجام تست مسافت فرود :

با توجه به الزامات استاندارد مسافت افقی لازم جهت فرود و رسیدن به توقف کامل پهپاد از ارتفاع ۱۵متری (۵۰ پا) بالاتر از سطح باند بر اساس دماهای استاندارد در هر وزن و ارتفاع درمحدوده‌های عملکردی مقرر شده برای فرود، لازم است تست انجام گردد. سناریوی این آزمون به شرح زیر می‌باشد:

- سرعت نمایشگر ثابت ۱۳۵ کیلومتر بر ساعت.
- ارتفاع فشاری حداکثر ۱۵متر(از سطح زمین) و فاصله افقی حداکثر ۳۰۰ متر و حداقل ۲۰۰ متر
- مسیر رو به باد و شیب نزول ثابت
- کاهش موتور و تماس اسکید یا ارابه فرود با زمین در فاصله حداقل ۵۰ متر قبل از ایستگاه زمینی(ثبت مسافت فرود از ارتفاع ۱۵ متری زمین تا توقف کامل)
- تکرار مراحل فوق با سرعت های ۱۲۵ و ۱۱۵ کیلومتر در ساعت

همچنین شکل-۵ نمایانگر تغییرات مسافت فرود با ارتفاع در باند آسفالت می باشد که این منحنی بصورت تجربی و نیمه تجربی استخراج شده است. [۱] تا [۵]

جدول -۴ محاسبه مسافت فرود

پارامتر	تست ۱	تست ۲	پارامتر	تست ۱	تست ۲
وزن برخاست	۲۲۰	۲۲۵	وزن حین فرود	۱۷۶	۲۰۰
ارتفاع اولیه	۱۶	۱۵	ارتفاع ثانویه	۰	۰
زمان تا برخودر با زمین	۰.۱۵	۰.۲	زمان تا توقف کامل	۰.۱۷	۰.۲۳
درصد تراتل	٪۱۳	٪۲۹	سرعت نشانگر در ۱۵ متری	۱۲۹	۱۱۰
سرعت نسبی در ۱۵ متری	۱۲۸	۱۱۰	سرعت زمینی در ارتفاع ۱۵ متری	۱۰۰	۱۱۱
سرعت نشانگر	۷۱	۶۳	سرعت نسبی در	۶۹	۶۸
در نقطه تماس با زمین			در نقطه تماس با زمین		
سرعت زمینی در در نقطه تماس با زمین	۶۵	۸۰	نرخ نزول	۹۸	۶۷
سرعت باد در فاز هوایی	۲۱-	۷.۲	سرعت باد در فاز زمینی	۱۸.۴	۳۳
مسافت افقی فرود فاز هوایی	۲۲۰	۳۱۰	مسافت افقی فرود فاز زمینی	۱۰۵	۱۸۰
مسافت فرود	۳۳.۸۳	۵۶	نسبت چگالی محل فرود	۰.۹۱۹	۰.۹۱۷
دمای محیط			دمای سطح دریا		
اصلاح اثر باد					
مسافت افقی فرود فاز هوایی	۲۸۲.۸۷	۳۱۸.۰۵	مسافت افقی فرود فاز زمینی	۱۰۳	۱۸۱
مسافت فرود	۳۸۱.۲۸	۵۰۳.۱۱			
اصلاح شرایط استاندارد					
مسافت افقی فرود فاز هوایی	۲۸۲.۸۷	۳۱۸.۰۵	مسافت افقی فرود فاز زمینی	۸۷	۱۶۱
مسافت فرود	۳۷۳.۲۹	۴۸۷.۷۹			
اصلاح وزن بیشینه					
مسافت افقی فرود فاز هوایی	۴۷۰.۶۱	۴۱۵.۵۱	مسافت افقی فرود فاز زمینی	۱۵۵	۲۱۲
مسافت فرود	۶۲۱.۰۴	۶۳۷.۲۶			

اخذ گواهینامه نوع:

مطابق شکل-۶ با پیکربندی اولیه ، تست های پروازی توسعه ای انجام می گردد . درصورت عدم ارضای الزامات طراحی، پیکربندی تغییر طرح خواهد داد و درصورت ارضای الزامات طراحی، پیکربندی نهایی شده و تست های پروازی گواهینامه آغاز می گردد. با توجه به به الزاماتی که در این شرایط در آیین نامه استاندارد آورده شده است در صورت عدم ارضای آن الزامات یا باید در طرح پیکره تغییراتی اعمال شود و یا در محدودیت های اعمال شده تجدید نظر گردد و درصورت ارضای الزامات گواهینامه، محدودیت ها، دستورالعمل و کتابچه پروازی به تایید می رسد و گواهینامه نوع صادر خواهد شد. تمامی مراحل انجام تست های پروازی مطابق با دستورالعمل ها و رویه های اجرایی استاندارد انجام شده است. نمایش تطابق محصول با سند و الزامات بین المللی طبق رویه ارائه شده در شکل-۷ در خصوص مقاله پیش رو مدنظر بوده است.[۴] و [۵]

نتیجه گیری

یکی از روش‌های اجابت الزامات استانداردهای مربوط به تایید طراحی محصولات هوایی که منجر به اخذ گواهینامه نوع برای این محصولات می-شود، انجام تست‌های پروازی می‌باشد.

جهت اثبات قابلیت پرواز یک وسیله پرنده و بررسی عملکرد آن لازم است در کنار مستندات طراحی محصول با استفاده از روابط تئوری، تست‌های پروازی نیز انجام شود. می‌توان از تحلیل داده‌های تست پروازی، پارامترهای عملکردی پرنده را استخراج نمود. برای این کار لازم است ابتدا طرح تست پروازی نگاشته شده و به تایید مراجع صلاحیت دار برسد، سپس تست‌های پروازی انجام شده و داده‌های مورد نیاز آن ثبت شود. در نهایت با تحلیل داده‌ها و استخراج پارامترهای عملکردی قابلیت پرنده در این حوزه مشخص خواهد شد. در این سند تست‌های پروازی عملکردی برای یک نمونه پهپاد در راستای اجابت الزامات استاندارد IDS778 انجام

www.SID.ir

Archive of SID

و داده‌های آن تحلیل شد. همانطور که قابل مشاهده است در تست‌های پروازی مواردی از نامعینی وجود دارد که باعث انحراف داده‌ها از روند تئوری می‌گردد ولی با این حال می‌توان با استفاده از این داده‌ها و جداول به نتایج مطلوب مورد نیاز استاندارد دست یافت.

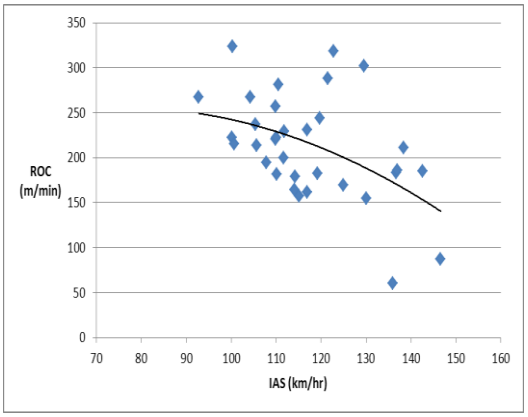
واحد ها

همهٔ واحدهای استفاده شده برای متغیرها و اعداد در متن، جدول‌ها و شکل‌ها در این مقاله ، در سیستم متریک (SI) است . وزن بر حسب کیلوگرم، ارتفاع بر حسب متر ، زمان بر حسب دقیقه، سرعت بر حسب کیلومتر بر ساعت، نرخ صعود بر حسب متر بر دقیقه و زوایا بر حسب درجه داده شده است.

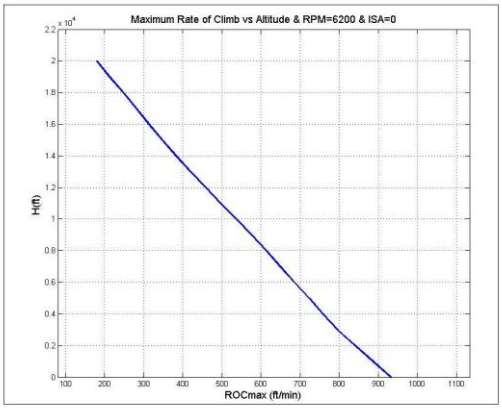
شکل ها و نمودارها

Flight path	H(m)	Pitch	Distance(m)	Throttle	V(km/h)
Go	1300-1000	---------	-------	Idle	135
Back		---------	-------		
Go	1300-1000	---------	-------	Idle	125
Back		---------	-------		
Go	1300-1000	---------	-------	Idle	115
Back		---------	-------		

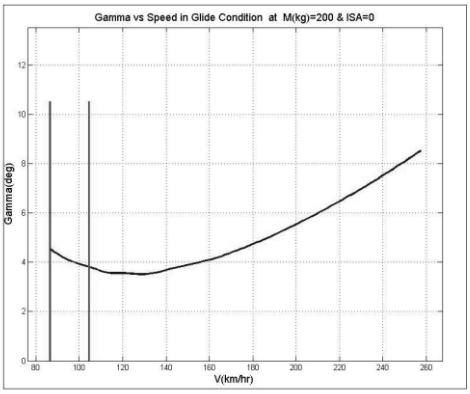
شکل-۱ ثبت داده های پروازی در تست گلاید(به عنوان نمونه)



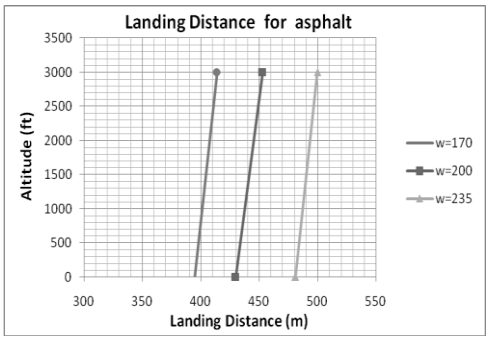
شکل-۲ تغییرات نرخ صعود بر حسب سرعت



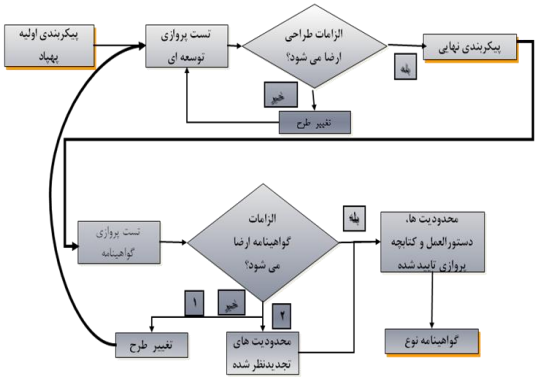
شکل -۳ تغییرات نرخ صعود ماکزیمم با ارتفاع



شکل -۴ تغییرات سرعت در زوایای گلاید مختلف



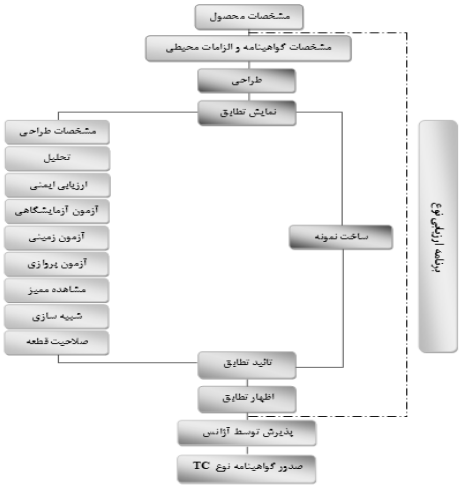
شکل -۵ تغییرات مسافت فرود با ارتفاع در باند آسفالت



شکل-۶ مراحل انجام تست پروازی برای کسب گواهینامه نوع

www.SID.ir

Archive of SID



شکل-۷ برنامه ارزیابی برای صدور گواهینامه نوع

مراجع

1. Federal Aviation Administration, *Advisory Circular-AC23-8C* , 2011

2. Jeppesen Sanderson Inc.,*Introduction to Aircraft Flight Test Engineering*, ,1981

۳. Ralph D. Kimberlin., *Flight testing of Fixed-Wing Aircraft*, AIAA education Series, Virginia Polytechnic Institute and State University Blacksburg, American Institute of Aeronautics and Astronautics, Inc., Reston, Virginia, 2003.

۴. NATO Standardization Agency, *Unmanned Aerial Vehicles Systems Airworthiness Requirements (USAR)*,2007

۵. Military, UAV System Airworthiness Requirements/ Specification And Test Method. *IDS778*, 2011

www.SID.ir