

تأثیر کنترل وزن و تعادل بر ایمنی پرواز بالگرد

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۳/۱۶

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۴/۲۰

کد مقاله: ۷۵۶۸۷

محمد خلیل نژاد*

چکیده

شرایط وزن و تعادل بالگرد در مقایسه با هواپیما، بحرانی تر و محدوده مجاز مرکز ثقل آن محدودتر است. هدف از ارائه این مقاله، بررسی چگونگی کنترل وزن و تعادل بالگرد و تأثیر آن بر ایمنی پرواز با این وسیله پرنده است. وزن بالگرد بوسیله نیروی کششی رو به پایین جاذبه ایجاد می‌شود و بوسیله فاکتورهای مختلفی از قبیل سوخت، بار و مسافران، تغییر می‌یابد. در محاسبات وزن و تعادل باید مجموع وزن‌های یادشده، کمتر از حداکثر وزن بلند شدن بالگرد باشد. نتایج نشان می‌دهد که اگر مرکز ثقل عرضی محاسبه شده در خارج از محدوده مجاز مرکز ثقل عرضی قرار گیرد، حرکت اهرم Cyclic را به چپ و راست محدود می‌نماید. همچنین اگر مرکز ثقل طولی محاسبه شده در خارج از محدوده مجاز مرکز ثقل طولی قرار گیرد، حرکت اهرم Cyclic را به جلو و عقب محدود می‌نماید و از این طریق بر کنترل بالگرد و ایمنی پرواز با این وسیله تأثیر گذار است.

واژگان کلیدی: وزن و تعادل، مرکز ثقل طولی، مرکز ثقل عرضی، ایمنی پرواز، بالگرد

۱- عضو هیئت علمی دانشگاه علوم انتظامی امین، تهران، ایران و خلبان بالگرد

۱- مقدمه

یکی از مهم‌ترین و اساسی‌ترین مباحث در ساخت وسایل پرنده که همواره مد نظر طراحان قرار می‌گیرد؛ همانا وزن آنها است. زمانی که طرح یک وسیله پرنده با مشخصاتی که بوسیله مهندسين و طراحان کارخانه سازنده ارائه گردید و پیش بینی های لازم برای سیستم های مختلفی نظیر سوخت، الکتریک، کنترل و غیره انجام پذیرفت؛ با وجود آنکه طراحان سعی می نمایند از موادی برای ساخت وسیله پرنده استفاده نمایند که دارای وزن کمتری باشد. اما به هر حال در خاتمه ساخت وسیله پرنده؛ وزنی بدست می آید. این وزن، وزن خالی وسیله پرنده است که وقتی در عملیات پروازی قرار می گیرد؛ وزن های دیگری نظیر وزن مسافرین، بار، سوخت و غیره به آن اضافه می شود و این سوال پیش خواهد آمد که تعادل وسیله پرنده به چه صورتی خواهد شد (حنیفه نژاد، ۱۳۶۴)؟

یکی از مهم ترین اصولی که باید در هنگام سوار شدن مسافر و بارگیری، در نظر گرفته شود، حفظ تعادل وسایل پرنده است. باید توجه داشت که یک وسیله پرنده بدون بار و مسافر در حالت تعادل است. زیرا کارخانه سازنده، بدنه و بال های آن را طوری طرح ریزی کرده است که در هر وضعیتی در حالت تعادل باشد. وقتی که وسیله پرنده، بار و یا مسافر حمل می نماید، در صورتی که بار یا مسافر طوری در وسیله پرنده قرار گرفته باشد که مرکز ثقل آنها بر مرکز ثقل وسیله پرنده منطبق نباشد، مشکلات جدی در کنترل وسیله پرنده ایجاد شده و خطر سقوط وجود خواهد داشت (Aerospacetalink.ir, 2010).

بر این اساس در مقاله حاضر به نحوه محاسبه و کنترل وزن و تعادل بالگرد و تاثیر آن بر ایمنی پرواز بالگرد پرداخته شده است.

۲- ایمنی پرواز

سوانح و رویدادهای هوایی همیشه با اتلاف منابع مادی و نیروی انسانی همراه است. به طوری که سالانه میلیون ها دلار از ذخایر مالی کشورها در این سوانح از بین می رود و عده کثیری از نیروهای متخصص و کارآمد جامعه در اثر آنها جان خود را از دست داده و یا معلول می شوند. شاید بتوان سرمایه های مادی از دست رفته را به نحوی جبران و یا جایگزین نمود، ولی هیچ چیز جانشین سرمایه های معنوی از دست رفته نخواهد شد. بنابراین ایمنی در تمام سازمان های هوانوردی، باید در اولویت قرار گیرد و تمام کارکنان هوانوردی از دانش و آگاهی کافی در این زمینه برخوردار باشند (مروی نام، ۱۳۹۵: ۱۳۰).

باید توجه داشت که تعاریف متعددی از ایمنی وجود دارد که برخی از آنها برای بیان شدن در اینجا بسیار طولانی و مبهم است. ساده ترین تعریف این است که ایمنی، عاری از پیشامد و خطر است. تعریف دیگر این که ایمنی، حفاظت از منابع است از جمله مردم، مواد، پول و زمان (اچ. وود، ۱۳۸۸: ۴۷). به عبارت دیگر، ایمنی عبارت از فرآیند تجزیه و تحلیل خطرات و کنترل آنها است که از فاز ایده شروع و در کل فازهای طراحی، ساخت، آزمایش، استفاده، کنار گذاشتن و دفع آن ادامه می یابد (حبیبی و علیزاده، ۱۳۹۰: ۹). یک تعریف کاربردی بر پایه قابلیت پذیرش خطر است. اگر یک موقعیت خطرناک ویژه، قابل قبول باشد در این صورت کار یا عملیات مربوطه را ایمن در نظر می گیریم. برعکس وقتی می گوئیم چیزی ایمن نیست، در حقیقت می گوئیم که خطراتش قابل قبول نیستند. این تعریف با این نظر همسان است که چیزی به صورت ایمنی مطلق وجود ندارد. زیرا چیزی به صورت خطر صفر وجود ندارد (اچ. وود، ۱۳۸۸: ۴۸). بر این اساس می توان ایمنی را یک فرآیند چارچوب دار برای شناسایی و کاهش خطر دانست که هدف کلی آن، حذف خطراتی است که می تواند موجب مرگ، آسیب های جسمانی، خسارت های مالی و آسیب های محیط زیستی شود. هرگاه حذف خطر ممکن نباشد، هدف بعدی کاهش خطر به وسیله به اجرا درآوردن اقدامات کنترلی است. کاهش خطر می تواند به شکل کاهش احتمال وقوع سانحه و یا کاهش وخامت شدت پیامد آن باشد (اریکسون، ۱۳۹۲: ۱۳ و ۱۴). از نظر سازمان ایکائو، ایمنی حالتی است که در آن ریسک های مرتبط با فعالیت های هوانوردی یا وابسته به آن و یا در پشتیبانی از عملیات هواپیماها، کاهش می یابد و در سطح قابل قبولی کنترل می شود (ICAO, Annex 19, 2013).

۳- تشریح مساله

شرایط وزن و تعادل بالگرد در مقایسه با هواپیما، بحرانی تر و محدوده مجاز مرکز ثقل (CG) Range آن محدودتر است. به طوری که در برخی از بالگردها این محدوده، کمتر از ۳ اینچ است. در محاسبات مربوط به وزن و تعادل هواپیما، مرکز ثقل محاسبه شده مربوط به محور طولی^۱ است. در حالی که سازندگان بالگردها محدوده مجاز مرکز ثقل را در دو محور طولی و عرضی^۲ معین می نمایند. باید توجه داشت که بالگردها در زمان عملیات Hoist به مرکز ثقل عرضی^۳ حساس بوده و حتما لازم است

1. Center of Gravity
 2. Longitudinal Axis
 3. Lateral Axis
 4. Lateral CG

قبل از استفاده از این تجهیزات، مرکز ثقل عرضی کنترل شود تا در محدوده قابل قبول قرار داشته باشد (Habibi, 2015). شکل شماره ۱، بالگرد Bell 212 را در حین عملیات Hoist نشان می دهد.



شکل ۱ - بالگرد Bell 212 در حین عملیات Hoist (Verticalmag.com, 2012).

از طرفی در منابع اصلی آموزش زمینی خلبانان بالگرد از قبیل Schweizer، Private Pilot Manual و Instrument/Commercial Manual که از سری کتاب های معتبر شرکت Jeppesen می باشند؛ یک فصل به وزن و تعادل اختصاص داده شده است. حال آن که در این منابع، فقط به محاسبه و کنترل مرکز ثقل طولی^۱ هواپیما پرداخته شده است. بر این اساس در این مقاله به روش کنترل وزن و تعادل بالگرد (مرکز ثقل طولی و عرضی) که شبیه روش های مورد استفاده برای هواپیما است و البته تفاوت های جزئی در این زمینه وجود دارد؛ پرداخته شده است.

۴- یافته ها و بحث

۴-۱- محاسبه وزن و تعادل بالگرد

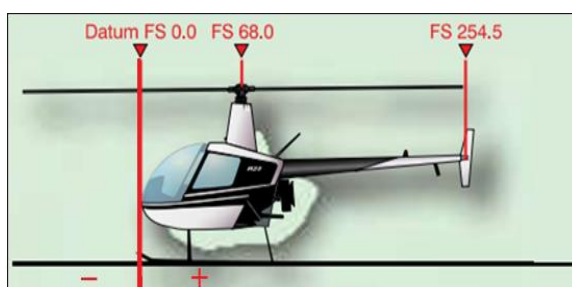
در منابع یاد شده در بند قبلی، برای محاسبه مرکز ثقل طولی از سه روش استفاده می شود که شامل روش های محاسباتی^۲، گراف^۳ و جدول^۴ است. برای جلوگیری از اطاله مطلب در این مقاله فقط به روش محاسباتی اشاره می شود. در محاسبات وزن و تعادل بالگرد در محور طولی، پنج اصطلاح کاربرد دارد که ابتدا به این اصطلاحات پرداخته می شود.

۴-۱-۱- اصطلاحات وزن و تعادل

۴-۱-۱-۱- وزن

وزن بالگرد بوسیله نیروی کششی رو به پایین جاذبه ایجاد می شود و بوسیله فاکتورهای مختلفی تغییر می یابد. این فاکتورها شامل تجهیزات اختیاری نصب شده^۵، خدمه پرواز، مسافری، بار و سوخت است. در محاسبات وزن و تعادل، مجموع وزن های مزبور باید کمتر از حداکثر وزن بلند شدن^۶ بالگرد باشد (Private Pilot Manual, 1992). باید توجه داشت که از طرف سازنده هر مدل بالگرد، حداکثر وزن بلند شدن آن بالگرد تعیین شده و در AFM/POH^۷ بالگرد مربوطه ثبت می شود. البته عملیات بلندشدن با حداکثر وزن در ترکیبی از شرایط ارتفاع بالا، دمای بالا و رطوبت بالا، ایمن نیست. فاکتورهای دیگری نیز از قبیل باد، موانع، نوع سطح و فضای در دسترس برای عملیات بلند شدن نیز در این خصوص موثر است و باعث کاهش حداکثر وزن بلند شدن بالگرد می شود (Habibi, 2015).

۴-۱-۱-۲- خط مبدا فرضی (Datum Line)



شکل ۲ - خط مبدا فرضی Datum که به آن Flight Station (FS0)

یک خط عمودی فرضی است که به طور قراردادی جایی در محور طولی بالگرد است و تمام فواصل افقی برای محاسبه وزن و تعادل از آن اندازه گیری می شود. قانون ثابتی برای موقعیت این خط وجود ندارد. موقعیت این خط، همیشه از طرف کارخانه سازنده بالگرد تعریف شده و در AFM/POH یا در صفحات مربوط به وزن و تعادل بالگرد شرح داده می شود. به

1. Longitudinal CG
2. Computational Method
3. Graph Method
4. Table Method
5. Optional Equipment

۶. Maximum take off weight : عبارت است از حداکثر وزنی که برای شروع takeoff مجاز است.

7. Airplane Flight Manual or Pilot's Operating Handbook

طور نمونه در شکل شماره ۲، خط Datum یک بالگرد نشان داده شده است.

zero هم گفته می شود (FAA, 2016).

۴-۱-۱-۳- بازو یا فاصله (Arm or Flight station)

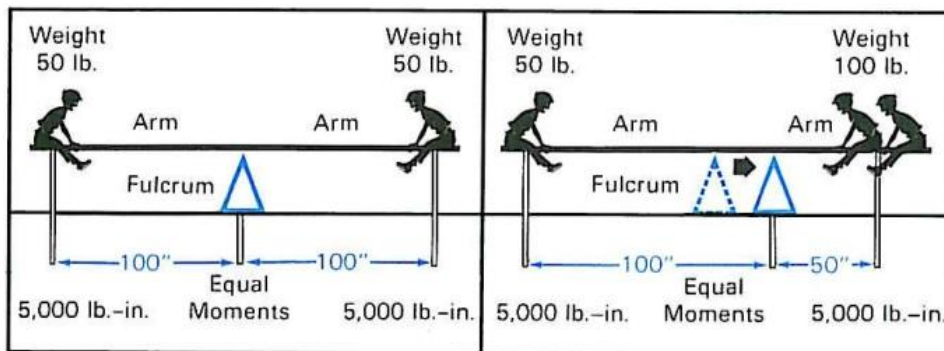
به فاصله افقی هر جسم یا قسمت از بالگرد تا خط Datum را Flight station یا Arm (فاصله) گویند. توجه شود که خط Datum در برخی از بالگردهای قدیمی منطبق بر مرکز Mast^۱ ملخ اصلی است. در این صورت فاصله های جلوتر از Mast، منفی و فاصله هایی که عقب تر از آن قرار دارند، مثبت در نظر گرفته می شود. البته همان طور که در شکل شماره ۲ نشان داده شده است، در بالگرد های جدید مانند اغلب هواپیماها، خط Datum در جلوی بالگرد، قرار دارد که در این صورت همه فاصله ها مثبت در نظر گرفته می شود (Habibi, 2015).

۴-۱-۱-۴- گشتاور (Moment)

حاصل ضرب وزن یک جسم در فاصله آن از خط Datum را گشتاور می نامند. بنابراین:

$$\text{Moment} = \text{Weight} \times \text{Arm} \quad (۱)$$

در رابطه فوق؛ واحد وزن، پوند (lb.)؛ واحد فاصله، اینچ (in.) و واحد گشتاور پوند در اینچ (lb.-in.) است. اگر وزن یک جسم بوسیله بازویش (Arm) چند برابر شود، به عنوان گشتاور شناخته می شود. هر چه فاصله جسم از نقطه اتکا بیشتر باشد، نیروی آن بیشتر خواهد شد. مفهوم وزن، فاصله و گشتاور در شکل شماره ۳، با یک الکلنگ نشان داده شده است.



شکل ۳ - الکلنگ سمت چپ نشان می دهد که هر کودک گشتاوری به اندازه ۵۰۰۰ پوند در اینچ ایجاد می کند (۵۰ پوند × ۱۰۰ اینچ). تا زمانی که فاصله هر دو کودک از نقطه اتکا برابر باشد، گشتاور آنها متعادل خواهد بود. الکلنگ سمت راست، وزن نابرابری را نشان می دهد که با تنظیم فاصله های نامساوی از نقطه اتکا، این وزن نامساوی تعادل می یابد. در این مورد، وزن ۱۰۰ پوند در ۵۰ اینچ همان گشتاوری را خواهد داشت که وزن ۵۰ پوندی در فاصله ۱۰۰ اینچی دارد (Private Pilot Manual, 1992).

۴-۱-۱-۵- مرکز ثقل

هنگام محاسبه وزن و تعادل یک بالگرد، در واقع موقعیت مرکز ثقل آن محاسبه می گردد. مرکز ثقل بالگرد نقطه ای است که اگر بالگرد را از آن نقطه آویزان کنیم، به موازات سطح زمین به حالت تعادل در خواهد آمد. از نظر تئوری مرکز ثقل بالگرد، جایی است که تمام وزن بالگرد در آنجا متمرکز شده است (Habibi, 2015). همان طور که شکل شماره ۴ نشان می دهد، مرکز ثقل یک بالگرد، محل تلاقی سه محور طولی، عرضی و عمودی آن است (رودباری و سبزی، ۱۳۹۴). از طرفی برای هر بالگرد، مرکز ثقل طولی و عرضی می بایست در یک بازه مشخصی قرار گیرد. این بازه مشخص را کارخانه سازنده تعیین می کند و در AFM/POH آن بالگرد قید می نماید. به این بازه مشخص اصطلاحاً محدوده مجاز مرکز ثقل^۲ گفته می شود. به طور مثال، محدوده مجاز مرکز ثقل بالگرد Bell 205 به صورت طولی و عرضی به شرح زیر است (Flight Manual AB 205 Helicopter, 1983):

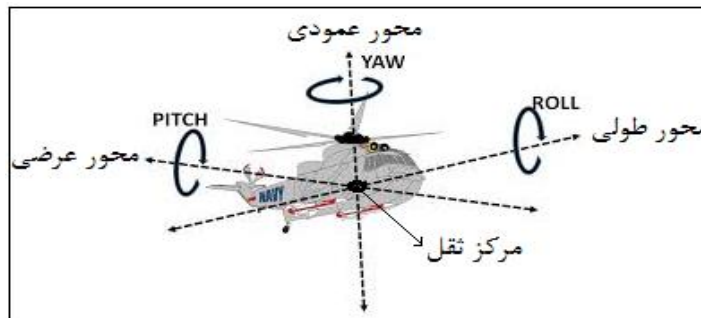
Longitudinal CG Rang:
Station 130 to 144 for normal internal load

۱. محور گرداننده ملخ اصلی بالگرد

2. CG Range

Station 130 to 142 for external load
 Station 140 to 144 minimum 5 foot hover

Lateral CG Rang : ± 7.5 inches



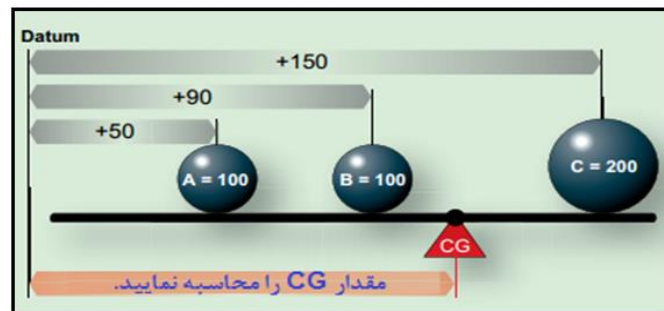
شکل ۴ - موقعیت سه محور طولی، عرضی و عمودی بالگرد.

مرکز ثقل یک بالگرد، محل تلاقی این سه محور است. در این شکل نام حرکات بالگرد، حول چرخش این سه محور نیز درج شده است.

برای محاسبه مرکز ثقل، مجموع گشتاور را بر مجموع وزن تقسیم می نمایند. بنابراین :

$$CG = (\text{Total Moment}) / (\text{Total Weight}) \quad (۲)$$

در رابطه فوق واحد مرکز ثقل، اینچ است و مقدار بدست آمده برای مرکز ثقل، در واقع فاصله از خط Datum را نشان می دهد. برای آشنایی با نحوه محاسبه موقعیت مرکز ثقل به مثال زیر اشاره می شود.



شکل ۵ - با توجه به شکل فوق، مرکز ثقل محاسبه می گردد (FAA, 2016).

پاسخ :

آیتم	وزن (پوند)	بازو (اینچ)	گشتاور (پوند در اینچ)
A وزنه	۱۰۰	۵۰	۵۰۰۰
B وزنه	۱۰۰	۹۰	۹۰۰۰
C وزنه	۲۰۰	۱۵۰	۳۰۰۰۰
مجموع	۴۰۰	---	۴۴۰۰۰

$$CG = 44000 / 400 = 110 \text{ inches}$$

۴-۱-۲- محاسبه مرکز ثقل طولی

برای محاسبه مرکز ثقل طولی بالگرد به روش محاسباتی و با استفاده از فرم وزن و تعادل که نمونه آن در شکل شماره ۶ ارائه شده است، مراحل زیر انجام می شود :

- (۱) EW^1 و $EWCG^2$ را از کتاب AFM/POH بالگرد مربوطه، استخراج و در فرم وزن و تعادل مربوطه وارد می کنند.
 (۲) وزن خلبان، مسافری، بار و سوخت را بدست آورده و فاصله آنها را از خط Datum ثبت می نمایند تا گشتاور (وزن \times فاصله) آنها بدست آید.
 (۳) با تقسیم مجموع گشتاور به مجموع وزن، موقعیت مرکز ثقل طولی بالگرد بدست می آید.

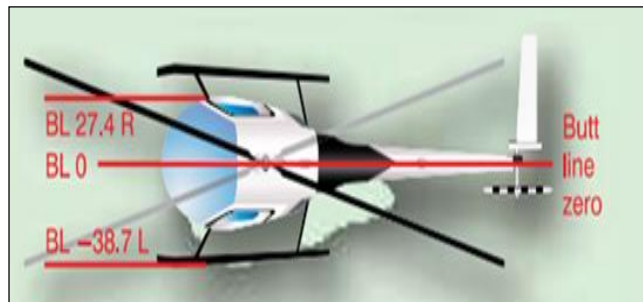
Empty weight	1545 lb.
EWCG	101.4 inches aft of the datum
Lateral balance	arm 0.2 inches right of BL 0
MAX allowable weight	2250 lb.
Pilot	200 lb. @ 64 inches aft of datum and 13.5 inches right of BL 0
Passenger	170 lb. @ 64 inches aft of datum and -13.5 inches left of BL 0
Fuel (48 gal*)	288 lb. @ 96 inches aft of datum and -8.4 inches left of BL 0

Longitudinal CG Rang	+92 to +98 inches aft of the datum
Lateral CG Rang	+ 2.5 inches right of BL 0 and -1.2 inches left of BL 0
* One gallon of Fuel weights 6 pounds.	

شکل ۶ - نمونه فرم وزن و تعادل یک بالگرد (FAA, 2016).

۴-۱-۳- محاسبه مرکز ثقل عرضی

روش محاسبه مرکز ثقل عرضی بالگرد مشابه با روش محاسبه مرکز ثقل طولی آن است. با این تفاوت که فاصله ها بجای خط Datum از خط Butt Line Zero که به اختصار به آن خط BL 0 گفته می شود، اندازه گیری می گردد. موقعیت خط BL 0 در شکل شماره ۷، نشان داده شده است.
 به طور کلی، خط BL 0 عبارت از خطی است فرضی که بالگرد را به صورت طولی به دو قسمت قرینه و مساوی تقسیم می نماید. اگر در عقب بالگرد بایستیم، فاصله هایی که در سمت راست خط BL 0 قرار می گیرند، مثبت و فاصله هایی که در سمت چپ آن قرار می گیرند، منفی در نظر گرفته می شود.



شکل ۷ - خط مبدا فرضی (Butt Line Zero (BL 0) که به آن Buttock هم گفته می شود (FAA, 2016).

۴-۲- کنترل وزن و تعادل بالگرد

برای محاسبه و کنترل وزن و تعادل بالگرد، بایستی کلیه وزن های مربوط به سوخت، بار، مسافری و خدمه پرواز، دقیق اندازه گیری شده و به واحد پوند ثبت شود؛ بویژه در بالگردهایی که چندین ردیف صندلی و یا چندین محل قرارگیری بار دارند. باید توجه شود که مجموع وزن های محاسبه شده در فرم وزن و تعادل بایستی از وزن مجاز حداکثر،

Empty Weight : شامل وزن استاندارد بالگرد (Standard Weight or Dry Weight)، تجهیزات اختیاری، سوخت غیرقابل استفاده و روغن موتور است. به عبارت دیگر این اصطلاح شامل وزن بالگرد قبل از سوخت گیری و بارگیری و سوار شدن مسافر و خدمه پرواز، است (Private Pilot Manual, 1992).

2. Empty Weight Center of Gravity
3. Maximum allowable weight

کتر باشد (Private Pilot Manual, 1992). همچنین اگر مرکز ثقل عرضی محاسبه شده در خارج از محدوده مجاز مرکز ثقل عرضی قرار گیرد، حرکت اهرم Cyclic را به چپ و راست محدود می‌نماید. از طرفی اگر مرکز ثقل طولی محاسبه شده در خارج از محدوده مجاز مرکز ثقل طولی قرار گیرد، حرکت اهرم Cyclic را به جلو و عقب محدود می‌نماید و از این طریق بر کنترل بالگرد و ایمنی پرواز با این وسیله تاثیر گذار است (FAA, 2016). به طور کلی می‌توان گفت که اگر مرکز ثقل بالگرد، خارج از محدوده مجاز مرکز ثقل واقع شود، در این صورت کنترل بالگرد به مخاطره خواهد افتاد. در این حالت خلبان قادر به عکس العمل بهینه به این شرایط را نخواهد داشت. این شرایط ممکن است در مراحل برخاستن و یا نشستن و یا در تمامی طول پرواز به وجود آید. با توجه به این که در طول پرواز، بالگرد سوخت خود را مصرف می‌نماید؛ ممکن است قبل از پرواز، مرکز ثقل در محدوده مجاز باشد. اما در طول پرواز و به ویژه در انتهای پرواز با کم شدن وزن سوخت، مرکز ثقل جابجا شده و خارج از محدوده مجاز قرار گیرد. برای همین قبل از پرواز باید این حالت نیز محاسبه شده و اطمینان حاصل شود که به فرض مصرف تمامی سوخت موجود در بالگرد نیز مرکز ثقل از محدوده مجاز خود خارج نخواهد شد (رودباری و سبزی، ۱۳۹۴). برای آشنایی با نحوه محاسبه و کنترل مرکز ثقل بالگرد به مثال زیر اشاره می‌شود.

مثال: با توجه به اطلاعات ارائه شده در شکل شماره ۶ که مربوط به فرم وزن و تعادل یک بالگرد است، مرکز ثقل طولی و عرضی این بالگرد را محاسبه نموده و سپس بررسی نمایید که مرکز ثقل طولی و عرضی بدست آمده در محدوده قابل قبول قرار دارد یا نه؟

پاسخ- ابتدا با استفاده از اطلاعات مندرج در فرم وزن و تعادل (شکل ۶)، به صورت زیر مرکز ثقل طولی و عرضی این بالگرد محاسبه می‌شود:

Item	Weight (lb.)	Longitudinal Arm (in.)	Longitudinal Moment (lb.- in.)	Longitudinal CG (in.)
Helicopter empty weight	۱۵۴۵	۱۰۱/۴	۱۵۶۶۳	
Pilot	۲۰۰	۶۴	۱۲۸۰۰	
Passenger	۱۷۰	۶۴	۱۰۸۸۰	
Fuel (48 gallons)	۲۸۸	۹۶	۲۷۶۴۸	
	۲۲۰۳		۲۰۷۹۹۱	۹۴/۴

Item	Weight (lb.)	Lateral Arm (in.)	Lateral Offset Moment (lb.- in.)	Lateral CG (in.)
Helicopter empty weight	۱۵۴۵	+۰/۲	+۳۰۹	
Pilot	۲۰۰	+۱۳/۵	+۲۷۰۰	
Passenger	۱۷۰	-۱۳/۵	-۲۲۹۵	
Fuel (48 gallons)	۲۸۸	-۸/۴	-۲۴۱۹	
	۲۲۰۳		-۱۷۰۵	-۰/۸

بررسی‌ها نشان می‌دهد که مرکز ثقل طولی (۹۴/۴) و عرضی (-۰/۸) محاسبه شده این بالگرد در محدوده قابل قبول قرار دارد و به عبارتی این بالگرد در حالت تعادل بوده و می‌تواند به طور ایمن پرواز نماید.

۵- نتیجه‌گیری

برای کنترل وزن و تعادل بالگرد از نظر ایمنی پرواز باید توجه شود که مجموع وزن بالگرد به همراه وزن تجهیزات اختیاری نصب شده در بالگرد، وزن خدمه پرواز، وزن مسافری، وزن بار و وزن سوخت؛ کمتر از حداکثر وزن بلند شدن بالگرد باشد. در غیر این صورت می‌توان بخشی از سوخت را تخلیه کرده و برای سوخت‌گیری اضافی در مسیر پرواز، برنامه ریزی نمود و یا این که با کاهش مقدار بار و یا تعداد مسافری، مجموع وزن را به میزان حداکثر وزن مجاز، رساند.

همچنین بعد از محاسبه مرکز ثقل طولی و عرضی بالگرد، بایستی کنترل شود که موقعیت مرکز ثقل بدست آمده؛ در محدوده مجاز مرکز ثقل آن بالگرد قرار داشته باشد. به طوری که اگر مرکز ثقل محاسبه شده در محدوده مجاز مرکز ثقل واقع شود در این صورت آن بالگرد در حالت تعادل (بالانس) بوده و می‌تواند به طور ایمن پرواز نماید. از طرفی اگر مرکز ثقل محاسبه شده در خارج

از این محدوده قرار گیرد، آن بالگرد مجاز به پرواز نیست و لازم است بار یا مسافرین را جابجا نموده و دوباره محاسبه نمود تا مرکز ثقل در محدوده قابل قبول واقع شود.

منابع

۱. اچ. وود، ریچارد، (۱۳۸۸)، «برنامه های ایمنی هواپیمایی؛ راهنمای مدیریت»، ترجمه جاوید بهرام زاد، تهران، دفتر تحقیقات کاربردی هواپیمایی فراجا.
۲. اریکسون، کلیفتون، (۱۳۹۲)، «روش های واکاوی خطر در ایمنی سیستم»، ترجمه ارقامی شیرازه، خسروی یحیی، حسن بیگی محمدرضا و میرداود سیدی، تهران، قرارگاه سازندگی خاتم الانبیاء.
۳. حبیبی احسان ... و علیزاده مجید، (۱۳۹۰)، «ایمنی کاربردی و شاخص های عملکرد در صنعت»، چاپ سوم، تهران، فن آوران.
۴. حنیفه نژاد طاقی عباس، (۱۳۶۴)، «وزن و بالانس کردن هواپیما»، پایان نامه کارشناسی در رشته مهندسی هواپیما، دانشکده هواپیمایی کشوری، تهران.
۵. رودباری علیرضا و سبزی مهرداد، (۱۳۹۴)، «مقدمه ای بر اصول پرواز»، تهران، دانشگاه هوایی شهید ستاری.
۶. مروی نام محمدرضا، (۱۳۹۵)، «اصول ایمنی و عوامل انسانی در پرواز»، تهران، دانشگاه علوم و فنون هوایی شهید ستاری، معاونت طرح و پژوهش.
7. Aerospacetalink.ir. (2010). [Online]. Available: <http://www.aerospacetalink.ir/vb/showthread.php?t=38987> [Accessed: 02-May-2022].
8. Agusta. (1983). Flight Manual AB 205 Helicopter.
9. Federal Aviation Administration . (FAA). (2016). Weight and Balance Handbook, U.S. Department of Transportation, Flight Standards Service. [Online]. Available: https://www.faa.gov/regulations_policies/handbooks_manuals/aviation/media/FAA-H-8083-1.pdf [Accessed: 02-May-2022].
10. Habibi, N. (2015). Principles of weight and balance in aircraft, Tehran, Air Force, Strategic Publishing Center.
11. International Civil Aviation Organization ,(ICAO). (July 2013) .Annex 19: Safety Management, First Edition.
12. Jeppesen Sanderson. (1992). Private Pilot Manual, International Standard Book Number 0-88487-150-9, Eighth Edition.
13. Verticalmag.com. (2012). [Online]. Available: <https://www.verticalmag.com/features/21715-super-sized-air-rescue-html> [Accessed: 22-Jan-2021].