نشریه علمی- پژوهشی مهندسی هوانوردی
سال هجدهم، شماره اول، بهار و تابستان ۹۵

طبقه‌بندی صلاحیت‌پروازی پهپادها براساس ملاحظات ارزیابی ریسک سناریوی عملیاتی آن‌ها

صادقیان دهکرد، امیر*[۱]، فرخ‌فال، حمید[۲]
۱- کارشناس ارشد صلاحیت‌پرواز و تضمین طراحی (سازه‌های هوایی)- مرکز طراحی هواگرد، شرکت صنایع هواپیماسازی ایران
۲- استادیار دانشکده مهندسی مکانیک و هوافضا- دانشگاه صنعتی مالک اشتر
(دریافت مقاله: ۹۵/۰۱/۱۷ تاریخ پذیرش ۹۵/۰۸/۰۱)

چکیده
مقاله پیش‌رو، بیانگر تکنیک جدیدی برای رده‌بندی گواهینامه‌های صلاحیت‌پرواز هواپیماهای بدون‌سرنشین است. رویکرد منطقی در این طبقه‌بندی، بر پایه تعیین ریسک مجاز برای یک پهپاد با در نظر گرفتن سناریوی عملیاتی مأموریتش می‌باشد که از همین پارامتر نیز به عنوان تنها معیار تفکیک مرز صلاحیت‌پرواز هواپیماهای با سرنشین و بدون سرنشین استفاده می‌شود. در این تحقیق، برای صدور گواهینامه صلاحیت‌پرواز در حوزه پهپادها، ماتریس قاعده‌مندی منطبق بر جدول ریسک Mil-STD-882 پیشنهاد گردیده که بر اساس آن، سطح نظارت و کنترل صلاحیت‌پروازی بر طراحی و ساخت انواع پهپادها با مأموریت‌های مختلف، مشخص شده‌است. نقطه عطف کار حاضر، صحه‌گذاری صورت گرفته بر ماتریس پیشنهادی از طریق کار آماری روی بیش از ۵۰۰ نوع پهپاد نظامی وغیرنظامی می‌باشد که در دو مرحله و با محاسبه دو معیار بیشترین انرژی جنبشی و منطقه خطرناک از مشخصه‌های فیزیکی، عملکردی و آیرودینامیکی هر پهپاد با هدف تعیین سطح ریسک آن انجام گرفته‌است. برای این منظور در گام نخست، با توجه به سطوح مختلف جراحت معرفی‌شده در مراجع، کرانه‌هایی برای انرژی جنبشی مشخص گردیده که با استناد به آن‌ها رده‌بندی پهپادهای موجود در بانک اطلاعاتی صورت پذیرفته و با رده‌های معرفی‌شده در ماتریس پیشنهادی تطبیق داده شده‌است. در گام بعد، با ایجاد یک الگوریتم آماری، کرانه‌هایی برای پارامتر منطقه خطرناک تعریف‌شده که در کنار کرانه‌های انرژی جنبشی، ضمن افزایش دقت در رده‌بندی پیشنهادشده برای پهپادها در ماتریس گواهینامه، این ماتریس مجددا صحه‌گذاری شده‌است. اینکه پس از تعیین رده گواهینامه از روی ماتریس پیشنهادی، این گواهینامه روی چه محدوده‌ای از الزامات و قوانین طراحی و ساخت صادر می‌شود، موضوعی است که در انتشار بعدی به آن پرداخته خواهد شد. نکته حائز اهمیت در رابطه با این تکنیک، هم‌پوشانی و عدم تعارض متدولوژی ارائه‌شده برای تعیین رده گواهینامه صلاحیت‌پرواز یک پهپاد با چهارچوب قوانین کتاب ۲۱ می‌باشد.
واژه‌های کلیدی: *پهپاد، صلاحیت‌پرواز، منطقه خطرناک، سناریوی عملیاتی، ارزیابی ریسک*

Airworthiness Classification of Unmanned Aircraft Systems Based on Risk Assessment of Operational Scenario

Abstract
This paper introduces a novel strategy for the specification of certification of airworthiness (CoA) categories for unmanned aircraft systems (UAS). Logical approach in this classification based on determination of allowable risk for an UAS supposing of operational scenario that using from this parameter as alone criteria for segregation of manned and unmanned airworthiness. In this research, for issuance of CoA in scope of UAS, is proposed regular matrix according to risk table of mil-std-882 that based on, level of airworthiness control on the design & construction of UAS's with various missions, is

* نویسنده پاسخگو، تلفن همراه: ۰۹۱۷۷۴۲۹۴۴۸ - پست الکترونیک: ENG_SADEGHIAN@YAHOO.COM

specified. Referral point of the present work, is validation on proposed matrix with statistical work upon greater than 500 kinds of military and civil UAS that has been accomplish in two stage and with computation of two criteria as maximum kinetic energy and hazard area from physical, performance and aerodynamic specification each UAS with aim of determination of risk. For this intent in first step, attention to introduce various level of injury in references is specified limits for kinetic energy that respect to their current UAS in archive is categorized and is conformed to introduced categories in proposed matrix. In next step, with creation of statistical algorithm are defined limits for hazard area parameter that in beside limits of kinetic energy, meanwhile increase the precision in proposed categorization for UAS in certification matrix, this matrix is validated again. Such after determination of certification category on the proposed matrix, this certification issue on what limitation of requirements and design & construction regulations, is subject that will implement in next issuance. Important point correspond to this technique, is degeneration and no confliction of introduced methodology for determination of CoA category of an UAV with regulations framework of part 21.

Keywords: *UAS, Airworthiness, Hazard area, Operational scenario, Risk assessment*

۱- مقدمه

با انعقاد پیمان شیکاگو در سال ۱۹۴۴ که با امضاء ۵۲ کشور از جمله کشور عزیز ما همراه بود، برای نخستین بار رعایت قوانین صلاحیت‌پروازی برای هواگردها مصوب و اجباری گردید. ماده ۳۱ از این پیمان، اخذ گواهینامه صلاحیت‌پرواز را برای هر نوع هواپیمایی الزامی نموده و در ماده ۸ نیز بر تعمیم این الزام برای هواپیماهای بدون سرنشین تأکید می‌کند[۱]. در انکس ۸ نیز با پرداختن به مفاد این پیمان، هدف از وضع این قانون مستقیم برای پهپادها مراقبت از سایر هواگردها، شخص ثالث و مایملک
عموم اعلام شده‌است[۲].

برای یک هواپیمای باسرنشین، صدور گواهینامه صلاحیت‌پرواز[۱] یا مجوز خاص[۲] بر مبنای کتاب ۲۱، نقشه راه تضمین صلاحیت هواپیما برای پروازی ایمن محسوب می‌شود. CoA اظهارنامه‌ای رسمی است که نشان می‌دهد هواپیما با مجموعه استانداردها و قوانین تعیین‌شده در پایه گواهینامه نوع[۳] متابعت دارد. نکته شایان توجه این است که اگرچه در بخش نظامی انتشار اسنادی از جمله STANAG 4761(USAR) با پوشش محدوده وزنی ۱۵۰ کیلوگرم تا ۲۰ تن، STANAG 4703 (USAR) برای محدوده وزنی زیر ۱۵۰ کیلوگرم و MOD 00-970 Part 9 با هدف تبیین الزامات طراحی و صلاحیت‌پرواز انواع پهپادها صورت گرفته و در بخش غیرنظامی نیز Doc 10019 آخرین موضع ایکائو را در قبال صدور گواهینامه نوع برای پهپادها بر روی کدهای صلاحیت پروازی موجود (14 Airworthiness Codes) روشن نموده است، اما هنوز در دنیا بر روی چارچوبی مشخص از قوانین صلاحیت پروازی برای پهپادهای غیرنظامی اتفاق نظری بین‌المللی انجام نگرفته‌است. به تعبیر دیگر، در حال حاضر هیچ استاندارد خاصی وجود ندارد که بتوان بر اساس آن برای یک پهپاد غیرنظامی گواهینامه نوع[۴] صادر نمود. با وجود این فقدان، در اغلب کشورها تضمین ایمنی این پهپادها برای آسمان و زمین عمومی با وضع محدودیت‌های عملیاتی متناسب با مأموریت پهپاد، جبران شده‌است. معمولا وضع این محدودیت‌ها در پهپادها بر اساس ابلاغیه ایکائو تحت کتاب ۱۰۱ انجام می‌شود[۳].

منطبق بر AC 21-43، پهپادها برای شرکت در یک پرواز آزمایشی ملزم به اخذ مجوز خاص هستند که حتی در این مسیر نیز محدودیت‌های عملیاتی با توجه به شرایط آزمایش وضع خواهد شد. لازم به توضیح است که در کتاب ۱۰۱ الزامات عملیاتی برای صدور گواهینامه صلاحیت‌پرواز تجویز شده که وضع این الزامات با توجه به نوع مأموریت و منطقه بهره‌برداری از پهپاد انجام می‌شود. لذا انتخاب محدودیت‌های عملیاتی از کتاب ۱۰۱ برای یک رده خاص از CoA بی‌معنی و فاقد اعتبار است[۴].

وضع الزامات سخت‌گیرانه صلاحیت‌پروازی حاکم بر هواگردهای باسرنشین روی پهپادهای نظامی بدون ملاحظات مربوط به سناریوی عملیاتی آن‌ها از یک سو و فقدان استاندارد تایپ و تحمیل محدودیت‌های عملیاتی از جانب مرجع صلاحیت‌دار[۵] برای پهپادهای غیرنظامی از سوی دیگر، عملا

چرخه بهره‌وری اقتصادی از پهپادها را با مشکل مواجه نموده‌است. تا آن‌جا که پیروی از این چرخه معیوب، سالانه ضررهای مخفی هنگفتی را به صنایع طراح و سازنده پهپاد (حتی در کشور ما) وارد می‌آورد. از این‌رو، ایجاد رویه‌ای قانونی به منظور تسهیل در صدور گواهینامه صلاحیت‌پروازی متناسب با نوع پهپاد و منطقه عملیاتی آن، بدون شک افق کاربری و استقبال از این محصولات چند منظوره را متحول خواهدکرد.

۲- تعریف چارچوب صلاحیت‌پروازی برای پهپادها

از پهپادها می‌توان برای ماموریت‌های متنوعی بهره‌برداری نمود. از این‌رو، منطقی است که برای هر یک از آن‌ها ریسک متفاوتی از دیگری قائل باشیم. در مقابل، برای هواپیماهای باسرنشین، با توجه به الزام رعایت ایمنی برای سرنشینان، از ملاحظات ریسک مربوط به محیط بهره‌برداری و مأموریت هواپیما تا حد امکان چشم‌پوشی می‌شود[۵].

با یک مثال واضح می‌توان تفاوت میان الگوی صلاحیت‌پروازی پهپادها و هواپیماهای باسرنشین را ملموس‌تر درک نمود. پرواز این دو نوع هواگرد بر روی اقیانوس در مقایسه با پرواز آن‌ها بر روی یک شهر، درک عمیقی از وجود تفاوت دیدگاه در تعیین چارچوب صلاحیت‌پروازی برای این دو نوع محصول با ماموریت متفاوت در اختیار ما قرار می‌دهد.

جدول۱ که از مرجع [۶] به نمایش درآمده، به جدول امتیازات ارزیابی ریسک[۶] مشهور است. در این جدول، به هر سلول با توجه به ترکیب شدت[۷] و احتمال وقوع[۸] خطر، امتیازی از ۱ تا ۲۰ تعلق یافته‌است. جدول۲ نیز که از همین مرجع استخراج گردیده با تقسیم‌بندی این امتیازات به چهار دسته کم، متوسط، زیاد و بسیارزیاد به معرفی رده‌بندی خطرات ناشی از حوادث ناگوار پرداخته‌است.

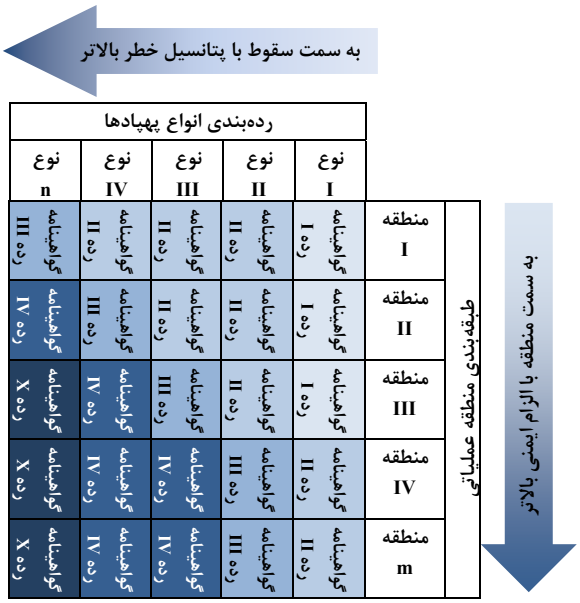
جدول ۱- امتیازات ارزیابی ریسک[۶]

شدت / احتمال	جزئی	مرزی	بحرانی	فاجعه‌بار
غیرممکن	۲۰	۱۷	۱۵	۱۲
بعید	۱۹	۱۴	۱۰	۸
اتفاقی	۱۸	۱۱	۶	۴
محتمل	۱۶	۹	۵	۲
تکراری	۱۳	۷	۳	۱

جدول ۲- رده‌بندی خطرات بر اساس امتیازات جدول۱ [۶]

بازه امتیاز	رده ریسک
۵-۱	بسیارزیاد
۹-۶	زیاد
۱۷-۱۰	متوسط
۲۰-۱۸	کم

اکنون اگر پیشنهاد کلوسیر(Clothier) در مرجع [۷] را برای طبقه‌بندی پهپادها و همچنین رده‌بندی مناطق عملیاتی بپذیریم، و مدل مطرح شده در جداول۱ و ۲ را به عنوان نقشه راه تعیین رده صلاحیت این نوع هواگردها قرار دهیم، چارچوب صلاحیت‌پروازی پهپادهای غیرنظامی را می‌توان با تعریف X نوع گواهینامه، به صورت ماتریس شکل۱ پیشنهاد نمود.



شکل ۱- ماتریس پیشنهادی برای گواهینامه صلاحیت‌پرواز پهپادها

شایان توجه است که هر چند ساختار اصلی این ماتریس پیشنهادی بر پایه جداول ریسک استخراج شده از Mil-STD-882 ایجاد شده اما از تناسب منطقی و روشنی با قوانین پارت ۲۱ برخوردار است. در بخش‌های ذیل، به طور مفصل به بررسی و صحه‌گذاری این نظریه و رده‌بندی‌های معرفی‌شده در این ماتریس خواهیم پرداخت.

۲-۱- طبقه‌بندی مناطق عملیاتی

مجموعه m سطر مشخص‌شده در شکل۱، معرف مناطق عملیاتی مختلف بوده که یک پهپاد می‌تواند بر فراز آن‌ها پرواز نماید. این طبقه‌بندی که توسط کلوسیر(Clothier) و در مرجع [۷] ارائه شده، مستقل از «وسعت ضربه ناشی از اصابت پهپاد به منطقه مأموریت» بوده و تنها براساس «پتانسیل منطقه برای در معرض خطر قرارگرفتن در شرایط سقوط احتمالی پهپاد» انجام گرفته‌است. خصوصیت دیگر این طبقه‌بندی، تفکیک شفاف میان مناطق عملیاتی در عین پوشش‌دهی کامل مناطقی است که پهپاد می‌تواند بر فراز آن‌ها پرواز نماید. جزئیات این طبقه‌بندی در جدول۳ تشریح شده‌است:

جدول ۳- طبقه‌بندی مناطق عملیاتی برای پرواز پهپادها[۷]

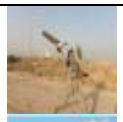
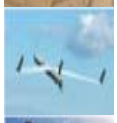
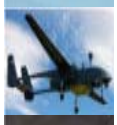
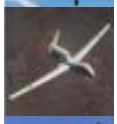
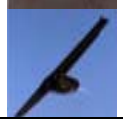
رده منطقه	شرح
منطقه I	مناطق غیرمسکونی (بیابان، اقیانوس/دریا، کویر و . . .)
منطقه II	مناطق کم تردد/ گاه‌به‌گاه(جاده‌های بیرون شهری، مسیرهای مواصلاتی کم رفت‌وآمد و . . .)
منطقه III	مناطق مسکونی کم‌جمعیت(روستاها، محل‌های اسکان موقت)
منطقه IV	مناطق مسکونی پرجمعیت(کلان‌شهرها، شهرستان‌ها، بخش‌ها و . . .)
منطقه m	محل تجمعات عمومی(ورزشگاه، استادیوم و سایر تجمعات انسانی)

۲-۲- رده‌بندی پهپادها

مجموع n ستون ماتریس شکل۱، پیشنهاد کلوسیر(Clothier) در مرجع [۷] برای معرفی رده‌های مختلف از پهپادهاست. بر این اساس، هر رده شامل گروهی از پهپادهاست که «شدت ضربه ناشی از سقوط و خرابی که به بار می‌آورد» صرف‌نظر از منطقه‌ای که بر فراز آن به انجام مأموریت می‌پردازد در بازه‌ی عددی مشخص‌شده‌ای قرار می‌گیرند. به بیان ساده‌تر، تقسیم‌بندی پهپادها را می‌توان بر مبنای پاسخ به این پرسش انجام داد که صرف‌نظر از نوع منطقه‌ای که یک پهپاد در آن سانحه می‌بیند، شدت وقوع خسارت در شرایط سقوط پهپاد و اصابت آن با بیشترین ضربه (انرژی جنبشی) چه میزان خواهد بود؟

در جدول۴، نمونه‌های متنوعی از پهپادها در قالب رده‌های پیشنهادشده توسط مرجع [۷] به نمایش درآمده که می‌تواند به مخاطبین در ایجاد یک بینش اولیه روی این نوع طبقه‌بندی کمک نماید.

جدول ۴- نمونه‌های از پهپادها براساس رده‌بندی کلوسیر[۷]

رده پهپاد	نمونه پهپاد
نوع I	
نوع II	
نوع III	
نوع IV	
نوع n	

۲-۳- سناریوی عملیاتی

هر سلول m×n از ماتریس شکل۱، معرف یک سناریوی عملیاتی است. در حقیقت هر سلول، ترکیبی از رده مشخصی از منطقه عملیاتی با توجه به جدول۳، و نوع معینی از پهپادها با توجه به جدول۴ می‌باشد. بر این اساس، این منطقی است که بپذیریم برای هر سناریویی ریسکی وجود دارد که می‌توان سطح آن را ارزیابی و تعیین نمود.

۲-۴- رده‌بندی گواهینامه

همان‌طور که در شکل۱ به نمایش درآمده، تعداد X رده گواهینامه در این ماتریس تعریف گردیده که سلول مربوط به هر سناریو با یکی از رنگ‌های تعریف شده در جدول۲، مشخص شده‌است. این سلول‌های رنگ‌بندی‌شده که عینا مطابق با جداول ارزیابی ریسک معرفی‌شده در Mil-STD-882 ایجاد شده‌اند، به صورت مجزا اما پیوسته، رده ریسک صلاحیت‌پروازی مرتبط با هر سناریو را بیان می‌کند. بر این اساس می‌توان با توجه به امتیاز ریسک تعیین‌شده برای هر سناریوی عملیاتی، رده‌ای مشخصی از گواهینامه صلاحیت‌پروازی را برای هر پهپاد تجویز نمود. با یک نگاه کلی به شکل۱، در می‌یابیم که

سناریوهای عملیاتی متمایل به گوشه فوقانی سمت راست نسبت به سناریوهای عملیاتی متمایل به گوشه تحتانی سمت چپ ماتریس از سطح ریسک پایین‌تری برخوردار هستند. از این رو، رده گواهینامه‌ای که برای این گروه سناریوها انتخاب می‌شود بهتر است بدون اصرار بر گستره جامعی از الزامات و قوانین صلاحیت‌پروازی در سطح پایین‌تری نسبت به گواهینامه نوع X لحاظ شود. اینکه هر یک از این گواهینامه‌ها روی چه گستره‌ای از الزامات و قوانین صلاحیت‌پروازی صادر می‌شوند، موضوعی است که در کار آینده به آن خواهیم پرداخت.

نکته مهمی که در این بین باید به آن توجه داشت، انتخاب رده گواهینامه مناسب از میان رده‌های صلاحیت‌پروازی تعریف‌شده در ماتریس پیشنهادی است. تعیین بهینه‌ترین رده گواهینامه برای یک پهپاد بر مبنای تئوری سعی و خطا انجام می‌شود. برای این منظور لازم است که:

۱- سطح ریسک مربوط به سناریوی عملیاتی یک پهپاد به گونه‌ای تعیین گردد که نسبت به رده‌ی گواهینامه منتخب برای آن سناریو، کمترین اختلاف را داشته باشد.

۲- اطمینان حاصل شود از اینکه رده‌ی گواهینامه انتخاب‌شده برای پهپاد، با توجه به سناریوی مأموریت آن، تنها رده‌ای است که می‌توان برای آن سناریو انتخاب نمود.

۳- از اجرای عملی صدور گواهینامه با توجه به موجودیت الزامات و قوانین متناسب با رده صلاحیت‌پروازی منتخب اطمینان حاصل شود.

۳- مشخصات رده‌های معرفی‌شده برای پهپادها

در مرجع [۸] به مرور جامعی از انواع رده‌های پهپاد موجود در دنیا پرداخته شده که از آن به عنوان یک بانک اطلاعاتی مناسب، در این تحقیق استفاده شده‌است.

آن‌جا که پای صدور گواهینامه برای پهپادها به میان می‌آید، بدون شک طبقه‌بندی متعارفی از آنها براساس مشخصات ابعادی/فیزیکی، عملکردی و مأموریت می‌تواند مبنایی مناسب برای ایجاد چارچوبی از الزامات و قوانین صلاحیت‌پروازی در طراحی و ساخت این محصولات محسوب شود. اما با توجه به وجود انواع مختلف پهپادها، که طراحی بسیاری از آن‌ها با هدف اخذ گواهینامه انجام نگرفته، اجماع بر روی طبقه‌بندی متداولی از پهپادها تقریبا غیرممکن است[۹]. از این رو، در این مقاله سعی شده که با استفاده از مراجع موجود، معتبرترین رویکرد برای طبقه‌بندی پهپادها انتخاب و تشریح گردد.

۳-۱- رده‌بندی پهپادها با رویکرد ارزیابی ریسک

هر رده از پهپادها، شامل گروهی از آن‌هاست که دارای برخی از ویژگی‌های مشابه هستند. براساس ماتریس پیشنهادشده در شکل۱، آن‌چه به عنوان معیار تشابه در بین پهپادهای موجود در یک رده قرار می‌گیرد، میزان خسارت فرضی است که در اثر سقوط یک پهپاد به محیط اطراف وارد می‌شود. اینکه خسارت به محیط، مایملک یا مردم وارد می‌شود، نیز نقش حائز اهمیتی در تعیین میزان خسارت ناشی از سقوط پهپاد خواهدداشت.

حتی در ارتباط با خسارت انسانی، ماهیت خسارت از قبیل جسمی، روحی یا مالی نیز در تعیین میزان کمی خسارت ناشی از سقوط پهپاد در نظر گرفته‌می‌شود[۱۰].

<table dir="rtl">
<tr><td rowspan="4">پتانسیل پهپاد برای ایجاد تلفات انسانی</td><td>بیش از ۲ نفر تلفات</td><td colspan="2">نوع IV</td><td colspan="2">نوع N</td></tr>
<tr><td>۲ نفر تلفات</td><td rowspan="2">نوع I</td><td colspan="2">نوع III</td></tr>
<tr><td>۱ نفر تلفات</td><td colspan="2">نوع II</td></tr>
<tr><td colspan="5">پتانسیل پهپاد برای تخریب محل برخورد</td></tr>
<tr><td></td><td>منجر به آسیب مردم در فضای باز</td><td>منجر به تلفات مردم در فضای باز</td><td>منجر به تلفات مردم مستقر در ابنیه سبک</td><td>منجر به تلفات مردم مستقر در ابنیه سنگین</td></tr>
</table>

شکل ۲- ماتریس پیشنهادی کلوسیر برای رده‌بندی پهپادها[۷]

خواستگاه وضع قوانین صلاحیت‌پروازی برای پهپادها، غالبا به جلوگیری از آسیب‌رسانی فیزیکی به شخص ثالث در محیط بهره‌برداری برمی‌گردد. اما خطرآفرینی(ریسک) فیزیکی یک پهپاد برای منطقه مأموریتش تنها با تعیین دو معیار "پتانسیل پهپاد برای تخریب محل برخورد" و "پتانسیل پهپاد برای ایجاد تلفات انسانی" قابل ارزیابی می‌باشد[۱۰]. ماتریس

شکل۲، پیشنهاد کلوسیر در مرجع [۶] برای رده‌بندی پهپادها است که براساس همین دو معیار ارزیابی، ایجادشده‌است.

برای روشن‌تر شدن نقش این نمودار در طبقه‌بندی انواع پهپادها، لازم است نظریه پیشنهادی در این ماتریس را با یک مثال مرور نماییم.

برای مثال، خصوصیات فیزیکی و آیرودینامیکی برخی پهپادها به گونه‌ای است که احتمال آسیب‌رسانی کشنده آن‌ها به افراد حاضر در فضای باز خیلی بعید به نظر می‌رسد. به عبارت دیگر، برخی از پهپادها از قدرت بالایی برای تخریب ابنیه برخوردار هستند، از این رو، حتی با وجود استقرار مردم درون ساختمان‌ها و فضاهای مسقف، سقوط این نوع هواگردها می‌تواند خطرات زیان‌بار و مهلکی به همراه داشته‌باشد.

خطرآفرینی پهپادها برای انسان‌ها، با توجه به قدرت برخورد و تخریبی که از خود به جای می‌گذارند، منجر به بروز خطرات در سطوح مختلفی می‌گردد. این خطرات به دو دسته کلی زیر تقسیم‌بندی می‌شوند[۱۰]:

۱- خطرات مستقیم: هر گونه برخورد مستقیم پهپاد که از طریق آن انرژی جنبشی به صورت مستقیم به انسان‌ها منتقل می‌شود. قرار گرفتن در معرض پرتاب سنگ یا آثار مخروبه، حرارت ناشی از انفجار یا امواج فشاری آن جزء این سطح محسوب می‌شود.

۲- خطرات غیرمستقیم: به وقایع خطرناکی که به دنبال فروپاشی ساختمان‌ها یا ابنیه رخ می‌دهد گفته می‌شود. خطر سرایت آتش به بوته‌ها و درختچه‌ها، انتشار آلاینده‌ها و مواد سمی برای انسان در این رده قرار دارند.

بر اساس این دسته بندی، خطرات مستقیم به آن دسته از خطرات اطلاق می‌شود که در اثر برخورد پهپاد به ابنیه یا وسایل نقلیه و انتقال مستقیم (و نه با واسطه) انرژی جنبشی آن به انسان‌ها به وقوع می‌پیوندد. استفاده از تئوری انرژی جنبشی پهپاد به عنوان معیار تعیین سطح ریسک آن با فرض محاسبه بیشترین انرژی ممکن، به صورت رابطه (۱) انجام می‌شود[۱۰]:

$$KE_{max}=1/2(MV_{max}^2) \qquad (۱)$$

که M بیشترین وزن برخاست پهپاد و V_{max} بیشترین سرعت آن می‌باشد.

اما پیش از ورود به موضوع متدولوژی تقسیم‌بندی پهپادها براساس انرژی جنبشی، نیازمند ارائه تعریف مشخصی از منطقه خطرناک[۹] هستیم.

منطقه خطرناک، ناحیه‌ای از زمین/ آسمان است که اثرات اصابت ناشی از سقوط پهپاد در آنجا قابل مشاهده می‌باشد. مدل‌سازی این ناحیه برای یک پهپاد بال ثابت، با فرض یک گلاید ساده در شرایط سقوط؛ از رابطه (۲) انجام می‌شود[۱۱]:

$$I_{area}=(W_{span}+2R_P)\times(L+D_{glide}+2R_P) \qquad (۲)$$

که W_{span} معرف دهانه بال پهپاد، R_P شعاع/عرض بدن یک انسان متوسط(منظور همان عرض بین شانه‌های یک انسان متوسط)، L طول پهپاد و D_{glide} فاصله‌ی زمینی‌ای است که پهپاد از ارتفاع یک انسان متوسط با قد H_p و با زاویه گلاید γ طی می‌نماید تا فرود آید. محاسبه این فاصله از رابطه (۳) انجام می‌شود[۱۱]:

$$D_{glide}=H_P/tan\gamma \qquad (۳)$$

۳-۱-۱- تشریح رویکرد مقاله برای رده‌بندی پهپادها

در شکل۲، پیشنهاد کلوسیر(Clothier) در مرجع [۷] برای رده‌بندی پهپادها برمبنای پتانسیل ریسک یا خطرآفرینی آن‌ها پس از سقوط، به صورت یک ماتریس به نمایش درآمده است. این ماتریس رده‌بندی می‌تواند حاصل رویکردهای مختلفی در ارزیابی ریسک پهپادها باشد. به طور مثال، اگر پارامترهای افقی و عمودی ماتریس شکل۲ را به عنوان دو معیار ارزیابی در این زمینه در نظر بگیریم؛ با استناد بر گزارشات ثبت‌شده در ارتباط با سقوط انواع پهپادها، می‌توان رده‌بندی پیشنهادی در ماتریس شکل۲ را مورد پردازش قرار داد. اما متدولوژی مورد استفاده که در این تحقیق برای تعیین ریسک پهپادها به‌کار گرفته‌شده تا براساس آن رده‌بندی پیشنهادی کلوسیر(Clothier) مورد ارزیابی و صحه‌گذاری قرار گیرد مبتنی بر تشکیل یک بانک اطلاعاتی از مشخصه‌های فیزیکی، عملکردی و آیرودینامیکی انواع پهپادهاست که از طریق آن‌ها می‌توان با تشکیل نسبت‌های نموداری در نرم‌افزار اکسل(Excel) به تخمین قابل قبولی از پتانسیل ریسک هر پهپاد دست یافت. با دستیابی به مقدار عددی ریسک هر پهپاد،

به راحتی می‌توان ایدئولوژی مطرح در ماتریس شکل۲ را ارزیابی و تصویب نمود.

اما برای اطمینان از انجام یک رده‌بندی شفاف و معتبر برای پهپادها بر مبنای این روش، باید مقدار عددی ریسک برای پهپادهای متعلق به هر رده، در رابطه (۴) صدق نماید[۱۲]:

$$P_{loss}(i) < P_{loss}(i+1), \qquad \text{for } 1 \le i < r \qquad (۴)$$

که $P_{loss}(i)$ معرف مقدار عددی پتانسیل ریسک i امین رده از پهپادهاست. همانگونه که پیش از این نیز گفته‌شد، در تهیه بانک اطلاعاتی از مشخصه‌های پهپادها، از مرجع [۸] بیشترین استفاده گرفته شده‌است.

۳-۱-۲-کرانه‌های انرژی جنبشی هر رده از پهپادها

نخستین گام برای تعریف طبقه‌بندی انواع پهپادها، تعیین کرانه‌هایی مشخص برای هر یک از پارامترهای افقی و عمودی ماتریس شکل۲ است که ترکیب آن‌ها معرف پتانسیل خسارتی است که سقوط یک پهپاد می‌تواند به بارآورد. در مرجع [۱۳] سطوح مختلف جراحت به همراه میزان انرژی که می‌تواند منجر به آن آسیب گردد، مشخص شده‌است. بر این اساس، نخستین سطح مربوط به جراحت‌های وارده به مردم(به یک نفر یا بیشتر) در فضای باز می‌باشد که احتمال کشنده بودن آن جراحات کمتر از ۵٪ است. رده دوم شامل جراحت‌های وارده به مردم(یک نفر یا بیشتر) در فضای باز است که احتمال کشنده بودن آن جراحات بیشتر از ۵٪ می‌باشد. رده سوم، آن‌دسته از جراحت‌های مهلک را شامل می‌شود که در وضعیت استقرار مردم(یک نفر یا بیشتر) درون ساختمان‌های اسکان موقت برای آن‌ها رخ می‌دهد. و سطح آخر، مشتمل بر جراحت‌های مهلکی است که با وجود استقرار مردم (یک نفر یا بیشتر) درون ساختمان‌های اسکان دائم (ساخته‌شده از بتن مسلح/ تقویت‌شده) برای آنها اتفاق می‌افتد. در جدول۵، توضیحات کامل مربوط به رده‌بندی پهپادها براساس کرانه‌های تعریف‌شده برای انرژی جنبشی و پی‌آمد سقوط آن‌ها ارائه شده‌است.

بانک اطلاعاتی که در این تحقیق برای طبقه‌بندی پهپادها تهیه نموده‌ایم شامل بیش از ۵۰۰ نوع پهپاد بال‌ثابت و بال‌گردان می‌شود. در این بانک، علاوه بر گردآوری مشخصات فیزیکی، عملکردی و آیرودینامیکی این پهپادها، محاسبات مربوط به دو پارامتر I_{area} و KE_{max} با توجه به معادلات (۱) و (۲) برای تمامی پهپاد انجام شده‌است.

جدول ۵- رده‌بندی پهپادها براساس کرانه‌های تعریف‌شده برای انرژی جنبشی و پیامد سقوط آن‌ها[۱۳]

رده پهپاد	کرانه انرژی جنبشی (ژول)	پی‌آمد سقوط
I	$KE_{max}<42$	شامل جراحت‌های وارده به مردم(یک نفر یا بیشتر) در فضای می‌باشد که احتمال کشنده بودن آن جراحات کمتر از ۵٪ است.
II	$42 \le KE_{max} < 1356$	شامل جراحت‌های وارده به مردم(یک نفر یا بیشتر) در فضای باز است که احتمال کشنده بودن آن جراحات بیشتر از ۵٪ می‌باشد.
III	$1356 \le KE_{max} < 13560$	آندسته از جراحت‌های مهلک را شامل می‌شود که در وضعیت استقرار مردم (یک نفر یا بیشتر) درون ابنیه اسکان موقت(مثل کانکس یا چادر) برای آنها رخ می‌دهد.
IV	$KE_{max} \ge 13560$	مشتمل بر جراحت‌های مهلکی است که با وجود استقرار مردم(یک نفر یا بیشتر) درون ساختمان‌های اسکان دائم (ساخته‌شده از بتن مسلح/تقویت‌شده) برای آنها اتفاق می‌افتد

در جدول ۶، اطلاعات جمع‌آوری‌شده از مراجع [۸،۱۴] برای تعدادی از پهپادهای معروف به منظور آشنایی مخاطبین با نحوه پردازش داده‌ها ارائه شده‌است. همچنین برای دو پارامتر R_p و H_p با استفاده از مرجع [۱۵] به ترتیب مقادیر ۴۵ و ۱۷۵ سانتی‌متر انتخاب و در محاسبه I و KE لحاظ شده‌اند.

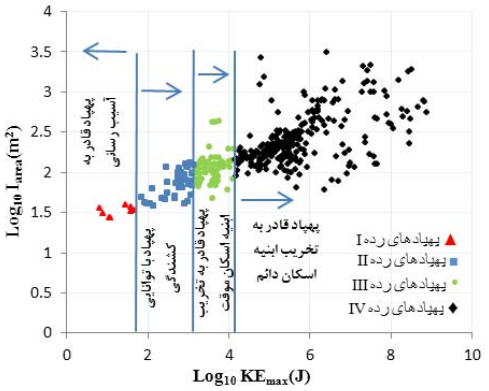
در شکل ۳، پارامتر منطقه خطرناک پس از محاسبه برای پهپادهای مختلف برحسب انرژی جنبشی آن‌ها نمودار شده‌است.

همچنین در همین شکل با توجه توضیحات جدول۵، مرز متعلق به هر یک از رده‌های چهارگانه از پهپادها، به روشنی از یکدیگر تفکیک شده‌اند.

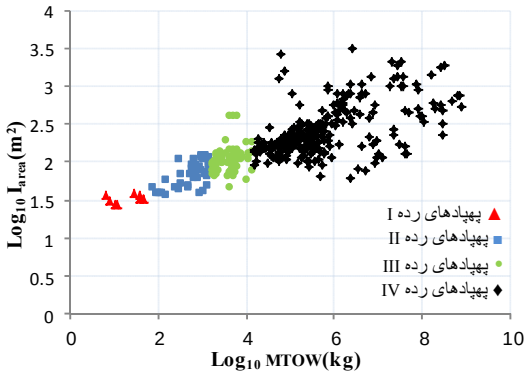
جدول ۶- اطلاعات جمع‌آوری‌شده برای برخی از پهپادها[۸،۱۴]

KE (j)	I (m^2)	γ (dg)	W (m)	L (m)	V_m ($\frac{m}{s}$)	مشخصه / نام پهپاد (سال ساخت)
12.5	27.2	4.3	0.2	0.15	22	Black widow (2001)
46.5	33.5	3.8	0.33	0.13	24	Wasp II (2007)
138	61	3.5	1.1	0.9	10	Dragon eye (2009)
608	64.3	3.4	1.2	0.91	22.2	Rq-14a (2007)
672	72	3.3	1.3	1.09	27	Raven (2011)
1050	125	3.4	2.8	3.7	10	Fqm-151a (2010)
7064	130	4	3.6	2.8	24	Aerosonde (2009)
11041	136	3.1	3	1.22	23.5	Scan eagle (2002)
29×10^3	94	3.3	2	0.92	54	Killer bee2 (2009)
57950	128	14.5	8.5	6	16.5	Brumby(2005)
22×10^4	172	5.1	6.2	3.6	47	Shadow 200 (2009)
23×10^5	59	19	5.6	3.1	142	Midge (2010)
393×10^5	159	3.3	3.35	6.2	270	Scarab (2012)
69×10^5	218	5	7.4	5.6	100	Eagle eye (2008)
251×10^5	276	3.2	5.9	7.8	186	Sky-x (2006)
3×10^5	251	3	5.2	4	55.5	Rq-2a/b (2007)
2×10^5	320	2	4	3	70	View 250 (2011)
43×10^4	301	3	7	4.8	57	Shadow 600 (2012)
23×10^5	764	2.9	16.6	8.5	63	Heron 1 (2012)
63×10^5	363	3	8.2	5.6	118	Mobius 4 (2013)
294×10^6	453	3.5	10	12.5	271	Taranis (2011)
37×10^6	955	3	20	11	125	Reaper (2012)
630×10^6	738	2	10.3	8	276	X-45c (2013)
21×10^5	750	2	9	7	69	Hunter (2004)
74×10^6	1000	2.6	21.3	4.6	195	Dark star (2006)
44×10^5	794	2.9	17	8	74	Sky warrior (2007)
288×10^6	1738	2	26	9.4	287	Rq-37a (2013)
63096	2512	2.8	61	3.6	12	Centunon (2014)
31×10^5	3162	2.3	75	5	78	Helios (2014)
33×10^6	2061	2.9	40	14.5	67	Global hawk (2012)

شکل ۴ نیز نشان‌دهنده پارامتر منطقه خطرناک پهپادهای موجود در همین بانک اطلاعاتی، برحسب بیشینه وزن برخاست آن‌ها می‌باشد.



شکل ۳- رده‌بندی پهپادها براساس کرانه‌های انرژی جنبشی



شکل ۴- رده‌بندی پهپادها براساس بیشینه وزن برخاست

نکته حائز اهمیتی که از این شکل می‌توان دریافت، عدم تصمیم‌گیری قطعی برای رده‌بندی پهپادها از روی نمودار آن است. به بیان دیگر، نقاط رنگی روی این نمودار که معرف بیشینه وزن برخاست[۱۰] و I_{area} برای هر پهپاد می‌باشند نمی‌توانند معیار معتبری برای ارزیابی ریسک(پتانسیل خسارت‌آفرینی) یک پهپاد محسوب شوند.

اما با بررسی دقیق شکل‌های ۳ و ۴ می‌توان به روشنی دریافت که بیشتر پهپادها با MTOW بزرگتر از ۲۰۰ کیلوگرم قادر به وارد آوردن صدمات مهلک به افراد واقع در فضای باز هستند. به علاوه اینکه تقریبا تمامی پهپادها با MTOW بزرگتر از ۲۰ کیلوگرم، از انرژی جنبشی کافی برای تخریب ساختمان‌های مسکونی(ساخته‌شده از بتن) نیز برخوردار

می‌باشند. از این رو، مجموعه پهپادهایی که در گروه چهارم از این رده‌بندی قرار می‌گیرند، تعداد زیادی از پهپادهای موجود در دنیا را شامل می‌شوند که گاها در محدوده وزنی بین ۲۰ تا ۲۰۰ کیلوگرم نیز قرار دارند. این بدین معنی است که استناد به رده‌بندی پهپادها براساس انرژی جنبشی در برخی موارد نمی‌تواند معیار مناسبی برای تعیین پتانسیل خسارت‌آفرینی یک پهپاد محسوب شود.

اکنون که پس از گردآوری مشخصه‌های پهپادها و انجام کار آماری روی آن‌ها، توانستیم با تشکیل نمودارهایی از نسبت میان پارامترهای تأثیرگذار بر ریسک یک پهپاد، رده‌بندی پیشنهاد شده توسط کلوسیر(Clothier) برای پهپادها و بالتبع آن ماتریس گواهینامه پیشنهادی در شکل۱ را صحه‌گذاری نمائیم، با مقایسه مجموعه نقاط رنگ‌بندی‌شده بر روی شکل‌های ۳ و ۴ نیز می‌توان دریافت که هر چه پارامتر I یک پهپاد بزرگتر باشد، پهپاد از پتانسیل بالاتری برای آسیب‌رسانی به محیط و مردم برخوردار است. لذا این معیار در مقایسه با KE، از اعتبار و قطعیت بیشتری برای تعیین ریسک و رده خسارت‌آفرینی یک پهپاد برخوردار است. از این رو، در بخش بعد با استفاده از داده‌های بانک اطلاعاتی و تمرکز بر پارامتر I محاسبه‌شده برای پهپادها، به تشریح رویه پیشنهادی در این تحقیق برای رده‌بندی پهپادها براساس پتانسیل خسارت‌آفرینی آن‌ها می‌پردازیم.

۳-۱-۳- رده‌بندی پهپادها براساس پتانسیل خسارت‌آفرینی

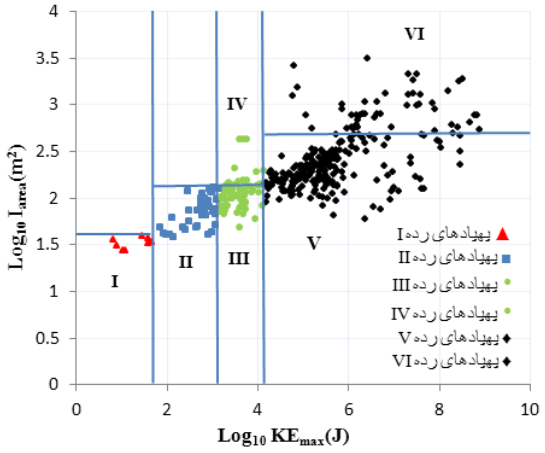
دسته‌بندی داده‌های فنی، فرآیندی آموزنده است که هدف از آن گردآوری موارد مشابه در گروه‌های محدود می‌باشد، به گونه‌ای که مطالعه بر روی آن‌ها منجر به کشف ویژگی خاصی از آن گروه می‌شود.

در این بخش، از پارامتر I محاسبه شده برای انواع پهپادهای موجود در بانک اطلاعاتی، به عنوان عامل تشابه برای رده‌بندی آن‌ها استفاده شده‌است. در این مرحله تعیین کرانه‌هایی معتبر برای پارامتر منطقه خطرناک هر رده از پهپادها بیشترین اهمیت را دارد. از این رو، مدل مطرح شده در جدول۵ را که پیش از این برای دسته‌بندی پارامتر KE پهپادهای موجود در بانک اطلاعاتی استفاده گردید؛ برای تعیین کرانه‌های پارامتر I نیز به کار می‌گیریم. در استفاده از این مدل دو هدف را دنبال می‌کنیم:

نخست، راستی‌آزمایی رده‌بندی پهپادها براساس KE به عنوان معیار معرف ریسک یک پهپاد. و سپس، اصلاح و افزایش دقت در رده‌بندی انجام شده برای پهپادها در بخش قبل با بهره‌گیری از معیار I در کنار KE. در جدول۷، با توجه به همان داده‌های موجود در بانک اطلاعاتی که برای بیش از ۵۰۰ نوع پهپاد گردآوری نمودیم، ضمن لحاظ کرانه‌های معین‌شده برای KE در جدول۵، کرانه‌هایی برای I به عنوان معیار دیگر خسارت‌آفرینی پیشنهاد شده که رده‌بندی ۴ گانه پهپادها براساس KE را دستخوش تغییر می‌نماید (شکل ۵).

جدول ۷- رده‌بندی پهپادها براساس دو معیار انرژی جنبشی و منطقه خطرناک

رده‌ی پهپاد	کرانه انرژی جنبشی (ژول)	کرانه منطقه خطرناک (متر مربع)
I	$KE_{max}<42$	$I_{area}<40$
II	$42\leq KE_{max}<1356$	$40\leq I_{area}<126$
III	$1356\leq KE_{max}<13560$	$I_{area}<126$
IV	$1356\leq KE_{max}<13560$	$I_{area}\geq126$
V	$KE_{max}\geq13560$	$I_{area}<447$
VI	$KE_{max}\geq13560$	$I_{area}\geq447$



شکل ۵- رده‌بندی پهپادها براساس کرانه‌های دو معیار KE و I

الگوریتمی که برای این رده‌بندی انتخاب شده با تعریف یک شمارنده برای هر یک از رده‌های ۴ گانه جدول۵، مجموعه I های متعلق به آن رده را خوانده و حلقه‌ای مقایسه‌ای نسبت

به مقادیر عددی منطقه خطرناک رده ماقبل تشکیل می‌دهد. اگر از میان این مقادیر با پیش‌فرض کرانه یکسان برای KE، تداخلی با مقادیر عددی منطقه خطرناک رده ماقبل ثبت شود، شمارنده الگوریتم ۲ رده پشت سرهم برای پارامتر I می‌شمارد، در غیر اینصورت شمارنده تنها یک رده را شمرده و به پردازش داده‌های متعلق به کرانه بعدی از KE می‌پردازد.

این رده‌بندی نشان‌دهنده تأثیر معیار I در تعیین دقیق‌تر پتانسیل خسارت‌آفرینی یک پهپاد می‌باشد. اعمال این رده‌بندی در ماتریس پیشنهادی شکل۱، نیز می‌تواند منجر به رده‌بندی صلاحیت‌پروازی صحیح‌تری از پهپادها بر مبنای پتانسیل ریسک آن‌ها گردد. موضوعی که تا حد امکان وضع الزامات سخت‌گیرانه صلاحیت‌پروازی برای صدور گواهینامه را منطبق بر سناریوی پروازی یک پهپاد واقعی‌تر می‌نماید.

۴- نتیجه‌گیری

این مقاله، بیان‌کننده رویکرد نوینی به موضوع رده‌بندی گواهینامه صلاحیت‌پرواز پهپادها است. ماتریس پیشنهادشده برای این منظور که در بخش ۲ تشریح گردیده، با تمرکز بر دو مشخصه‌ی نوع پهپاد و محیط مأموریت آن، ضمن معرفی سناریوی عملیاتی، ارزیابی واقعی از پتانسیل خسارت‌آفرینی پهپاد در اثر اصابت به محیط اطرافش در اختیار مخاطب قرار می‌دهد. در بخش ۳، با ایجاد یک بانک اطلاعاتی از حدود ۵۰۰ نوع پهپاد، ستون‌های تعریف‌شده در ماتریس بخش ۲ که براساس کرانه‌های تعیین‌شده برای انرژی جنبشی در مرجع [۱۳] ایجاد شده‌اند، مورد صحه‌گذاری قرار گرفته‌است. در گام آخر، برای افزایش دقت در ارزیابی پتانسیل خسارت‌آفرینی یک پهپاد، در کنار معیار انرژی جنبشی، از پارامتر منطقه خطرناک به عنوان مشخصه مکمل برای تعیین ریسک پهپاد بهره‌گیری شده که حاصل آن ارتقاء رده‌بندی پهپادها از ۴ گروه معرفی‌شده در مرجع [۱۳] به ۶ گروه می‌باشد. این تغییر در رده‌بندی، نشان‌دهنده تأثیر معیار I در تعیین دقیق‌تر پتانسیل خسارت‌آفرینی یک پهپاد بوده که منجر به رده‌بندی صلاحیت‌پروازی صحیح‌تری از پهپادها بر مبنای پتانسیل ریسک آن‌ها می‌گردد.

این ماتریس همچنین به مرجع صلاحیت‌دار اجازه می‌دهد که الزامات صلاحیت‌پروازی طراحی را منطبق با ریسک پهپاد گزینش نماید. برای مثال، یک پهپاد کوچک، که از سطح ریسک پائین‌تری برخوردار می‌باشد، بر این اساس در متابعت با الزامات صلاحیت‌پروازی کمتری قرار می‌گیرد و از این رو می‌تواند ضمن مواجه با گستره بالاتری از ریسک، گواهینامه اخذ نماید. اما یک پهپاد بزرگ که از ریسکی معادل با هواپیمای سرنشین‌دار برخوردار است، به طور حتم باید در متابعت با سطح مشابهی از قوانین صلاحیت‌پروازی این نوع هواپیماها قرار گیرد. خصوصیت دیگر این ماتریس به چارچوب سیستماتیک و قابل تنظیم آن با گستره وسیعی از پهپادها با مأموریت‌های متنوع برمی‌گردد. این ماتریس با انعطاف‌پذیری نسبت به وضع قوانین صلاحیت‌پروازی، به طراح و سازنده این امکان را می‌دهد که با توجه به سناریوی عملیاتی و همچنین چشم‌انداز اقتصادی محصولش، نسبت به اخذ یکی از رده‌های گواهینامه معرفی‌شده در ماتریس اقدام نماید. اینکه پس از تعیین رده گواهینامه از روی ماتریس پیشنهادی، این گواهینامه بر روی چه گستره‌ای از الزامات و قوانین صلاحیت‌پروازی طراحی و ساخت صادر می‌شود، موضوعی است که در کار آینده به آن خواهیم پرداخت.

پی‌نوشت‌ها

1- Certification of Airworthiness/CoA
2- Special Certificate
3- Certification Basis
4- Type Certificate
5- Authority
6- Risk Scoring
7- Severity
8- Probability
9- Hazard Area
10- Maximum Takeoff Weight (MTOW)

منابع و مراجع

[1] ICAO. *Convention on international civil aviation, ninth edition*. International Civil Aviation Organization (ICAO), 2006.
[2] ICAO. *Annex 8 to the convention on international civil aviation, airworthiness of aircraft (16th edition)*. International Civil Aviation Organization (ICAO), May, 2012.
[3] CASA. *Civil aviation safety regulations 1998 (CASR) part 101, unmanned aircraft and rocket operations*. Civil Aviation Safety Authority, Canberra, ACT, Australia, December, 2004.
[4] CASA. *AC 21-43(0), Experimental certificate for large unmanned aerial vehicle (UAV)*. Civil

Aviation Safety Authority (CASA), Canberra, ACT, Australia, Jul, 2015.

[5] R. Clothier and R. Walker. Determination and evaluation of UAV safety objectives. In *21st International Unmanned Air Vehicle Systems (UAVS) Conference*, Bristol, UK, 2006.

[6] DoD. *MIL-STD-882D, Standard practice for system safety*. United States of America Department of Defense, Washington, DC, USA, 11 May, 2012.

[7] R. A. Clothier, J. L. Palmer, R. A. Walker, and N. L. Fulton. *Definition of an airworthiness certification framework for civil unmanned aircraft systems*. Submitted to Safety Science, 2010.

[8] M. Nas. *Classifying unmanned aircraft systems: Development of an objective framework for evaluating uas classification schemes*. Murdoch University, Perth, WA, Australia, 2010.

[9] M. T. DeGarmo. *Issues concerning integration of unmanned aerial vehicles in civil airspace*. MITRE, Center for Advanced Aviation System Development, McLean, VA, USA, November, 2004.

[10] M. E. T. Horn, N. L. Fulton and M. Westcott. *Measures of societal risk, and their potential use in civil aviation*. Risk Analysis, Vol. 28, No. 6, pp. 1711 1726, 2008

[11] M. Lin, E. Larson and J. Collins. *Columbia accident investigation board report Volume ii, Appendix D.16, Determination of debris risk to the public due to the Columbia breakup during reentry*. Columbia Accident Investigation Board, Arlington, VA, USA, 2003.

[12] R. M. Montgomery and J. A. Ward. *Casualty areas from impacting inert debris for people in the open*. Research Triangle Institute, Cocoa Beach, FL, USA, 1995.

[13] AAAM. *Abbreviated injury scale (AIS) 2005 manual, update 2008*. 1st edition. Association for the Advancement of Automotive Medicine, Chicago, IL, USA, 2005.

[14] Jane□s, *Unmanned Aerial Vehicles and Targets,* edited by Mark Daly , Issue Thirty-nine- May 2014, juav.janes.com

[15] ADS-30, *Human Engineering Requirements for Measurement of Operator Workload*, US Army Aviation Systems Command, St. Louis, MO, 30 July 2013.