فصلنامه علمی-پژوهشی
جغرافیا (برنامه‌ریزی منطقه‌ای)
سال نهم، شماره ۱، زمستان ۱۳۹۷
صص: ۳۱۸-۳۰۷

مدیریت هواپیماهای مستعمل در ایران با رویکرد حفظ منابع و کاهش ردپای کربن

علی دریابیگی زند[۱]

استادیار، دانشکده محیط‌زیست، پردیس دانشکده‌های فنی، دانشگاه تهران، تهران، ایران

مریم ربیعی ابیانه

دانش آموخته کارشناسی ارشد، دانشکده محیط‌زیست، پردیس دانشکده‌های فنی، دانشگاه تهران، تهران، ایران

حسن هویدی

استادیار، دانشکده محیط‌زیست، پردیس دانشکده‌های فنی، دانشگاه تهران، تهران، ایران

تاریخ دریافت:۱۳۹۶/۱۰/۲۳ تاریخ پذیرش:۱۳۹۷/۰۶/۲۵

چکیده

در هر سال نزدیک به ۴۰۰ فروند هواپیما در سراسر جهان از رده خارج می شوند. بدلیل توسعه صنعت حمل و نقل هوایی این تعداد بطور مداوم در حال افزایش است و انتظار می رود که تعداد هواپیماهای خارج از رده طی ۲۰ سال آینده به ۱۲۰۰۰ تا ۱۴۰۰۰ برسد. یکی از بزرگترین مشکلات برای هواپیماهای مستعمل چگونگی از رده خارج کردن آنها است. هدف از انجام این تحقیق بررسی گزینه های مناسب مدیریت هواپیماها در مرحله پایان حیات با تمرکز بر گزینه بازیافت فلزات (آلومینیوم) به لحاظ اثرات محیط‌زیستی و اقتصادی آن بوده است. لذا در این مطالعه ابتدا به تجزیه و تحلیل وضعیت فعلی ناوگان هوایی کشور پرداخته شده. سپس مقدار آلومینیوم قابل بازیافت از هواپیماهای خارج از رده، میزان ذخیره انرژی و کاهش انتشارات CO_2 در نتیجه بازیافت آلومینیوم و همچنین ارزش اقتصادی آلومینیوم قابل بازیافت محاسبه گردیده است. یافته‌ها حاکی از آن بود که با بازیابی آلومینیوم از هواپیماهای خارج از رده در ناوگان هوایی کشور، صرفه‌جویی در انرژی به میزان ۱۵۷۳۵۸۵۶۵,۶۱۶ MJ، کاهش انتشارات CO_2 به میزان ۱۲۵۳۹۹۷۱,۳۹۲ kg و سود مالی به میزان ۱۹۴۸۳۰۰۶۴۰۰۰ ریال حاصل می‌گردد. با توجه به فراهم آوردن مزایای قابل توجه محیط‌زیستی و اقتصادی، بازیافت مواد و قطعات هواپیما گزینه مناسب برای مدیریت هواپیماها در مرحله پایان حیات به نظر می‌رسد.

واژگان کلیدی: پسماند، صنایع هوایی، هواپیمای مستعمل، بازیابی، ردپای کربن

۱- (نویسنده مسئول) adzand@ut.ac.ir

مقدمه

صنعت حمل و نقل هوایی در سراسر جهان بطور مداوم رو به رشد است. پیش‌بینی‌های جاری حاکی از آن است که تا سال ۲۰۳۰ ترافیک مسافربری و حمل محموله به ترتیب ۵,۱٪ و ۵,۶٪ در سال رشد خواهند داشت. به منظور رفع افزایش تقاضا، ناوگان هوایی در طول ۲۰ سال آینده تقریباً دو برابر خواهد شد و حدود ۳۳۵۰۰ فروند هواپیما در سراسر جهان وجود خواهد داشت (Ribeiro & Gomes, 2015: 311). رشد قابل ملاحظه بخش حمل و نقل هوایی اگرچه مزایای اقتصادی قابل توجهی بهمراه خواهد داشت اما منجر به تاثیرات اجتماعی و محیط‌زیستی نیز خواهد شد (Keivanpour et al, 2017: 357; Muniz-Lerma et al, 2017: 1024). بخصوص نگرانی‌های فزآینده‌ای در رابطه با مرحله پایان حیات هواپیماها وجود دارد (Asmatulu et al, 2013: 36; Sabaghi et al, 2015: 165; Keivanpour et al, 2013: 76; Keivanpour et al, 2015: 1).

چرخه زندگی هواپیما شامل شش مرحله طراحی، زنجیره تامین، ساخت، حمل و نقل، عملیات و پایان حیات است. معمولاً یک هواپیما پس از طراحی و توسعه، تولید می‌گردد تا در حدود ۳۰ تا ۴۰ سال در عملیات باشد. در پایان این مدت زمان و پس از میلیون‌ها کیلومتر پرواز، هواپیما دیگر برای ایرلاین‌ها ارزشمند نیست و می‌بایست از رده خارج شود (Ribeiro & Gomes, 2015: 311). زیرا با توجه به تعمیر و نگهداری بالا و هزینه‌های مصرف سوخت راه‌اندازی مجدد آن غیرممکن خواهد بود (Dayi et al, 2016; 54; Keivanpour & Ait Kadi, 2016: 1892; Mascle et al, 2014: 153; Mascle, 2013: 70). مرحله پایان حیات در چرخه زندگی هواپیما طی سالیان طولانی نادیده گرفته می شد. بطوریکه عملیات معمول برای دفع نهایی هواپیمای خارج از رده بصورت ذخیره کردن آن در کنار فرودگاه‌ها یا در بیابان‌های اطراف بود. به این ترتیب هزاران هواپیمای مستعمل طی سال‌های اخیر در گورستان‌های هواپیما ذخیره شدند (Dayi et al, 2016: 54; Keivanpour & Ait Kadi, 2016: 1892; Zahedi et al, 2015: 767).

با افزایش تعداد هواپیماهای مستعمل و همچنین افزایش آگاهی محیط‌زیستی، جوامع و مقامات متوجه شدند که این روش دفع نمی تواند یک راه حل مناسب در دراز مدت در برخورد با هواپیماهایی که در مرحله پایان حیات خود به سر می‌برند، باشد (Keivanpour & Ait Kadi, 2016: 1892; Mascle, 2013: 70; Feldhusen et al, 2011: 459; Zahedi et al, 2016: 3736). در آغاز سال ۲۰۰۰ بزرگ‌ترین سازندگان هواپیما، ایرباس و بوئینگ، شروع به توسعه روش های جایگزین برای چگونگی برخورد با هواپیماها در مرحله پایان حیات کردند. ایرباس پروژه فرآیند مدیریت پیشرفته هواپیما در مرحله پایان حیات (PAMELA[1]) را آغاز و بوئینگ انجمن بازیافت ناوگان هوایی (AFRA[2]) را تاسیس کرد. هدف اصلی پروژه PAMELA که پس از ۳۲ ماه در سال ۲۰۰۷ تکمیل شد، انجام آزمایش‌هایی به منظور بازیافت، استفاده مجدد یا بازیابی ۸۵ ٪ از وزن یک هواپیمای ایرباس A300 بود. همچنین هدف دیگر PAMELA تدوین یک استاندارد جدید برای مدیریت ایمن و سازگار با محیط‌زیست برای هواپیماها در مرحله پایان حیات بود (Muniz-Lerma et al, 2017: 1024; Sabaghi et al, 2015: 165; Keivanpour et al, 2013: 77;

[1] Process for Advanced Management of End-of-Life Aircraft
[2] Aircraft Fleet Recycling Association

(Sabaghia et al, 2016: 156; Wong et al, 2017: 1292). هدف از تاسیس انجمن AFRA نیز ایجاد روش‌های ایمن و سازگار با محیط‌زیست در زمینه جداسازی و بازیافت قطعات و مواد هواپیما بود. علاوه بر تلاش‌های ایرباس و بوئینگ، در سال‌های اخیر پیشرفت فزآینده‌ای در رابطه با تحقیقاتی که نشان داده‌اند استفاده از تکنیک‌های بازیافت برای دفع هواپیماها در مرحله پایان حیات منافع محیط‌زیستی و اقتصادی بهمراه دارد، وجود داشته است (Asmatulu et al, 2013: 37; Dayi et al, 2016: 54, Zahedi, et al, 2016: 3737; Ribeiro & Gomes, 2014: 510; Asmatulu et al, 2013: 2). ردپای کربن میزان انتشار کل دی اکسید کربن و متان از یک جمعیت، سیستم و یا فعالیتی معین، با در نظر گرفتن تمامی منابع مرتبط و ذخیره‌های موجود در محدوده آنی و مکانی آن جمعیت، سیستم و یا فعالیت مورد نظر است (Pertsova, 2008: 2). با توجه به اینکه بازیافت موجب کاهش استفاده از مواد خام موجود در طبیعت، ذخیره انرژی و کاهش انتشار آلایندگی (هوا، آب و خاک) می‌گردد، می‌توان آن را راهکاری موثر در کاهش ردپای کربن دانست (Asmatulu et al, 2013: 2; Muniz-Lerma et al, 2016: 1976; Sabaghia et al, 2016: 157; Ribeiro & Gomes, 2014: 510). با توجه به مسایل مطرح، مطالعه حاضر با هدف بررسی وضعیت فعلی هواپیماهای مستعمل در کشور و ارایه راهکارهای مناسب جهت مدیریت هواپیماهای خارج از رده، با تمرکز بر بازیابی فلزات (آلومینیوم) و حفظ منابع و کاهش ردپای کربن، صورت گرفته است.

روش کار

پس از اینکه هواپیماها آخرین پروازشان را انجام می‌دهند باید بررسی شود که دلیل زمین‌گیری آنها چیست و آیا قابلیت عملیاتی شدن مجدد بصورت توجیه‌پذیر با صرف هزینه معقول و یا امکان تغییر کاربری را دارند یا خیر. اگر پاسخ منفی باشد هواپیما متوقف می‌شود و باید برای بهره‌وری آن در چنین وضعیتی چاره‌ای اندیشید. در این حالت چگونگی برخورد با هواپیمای مستعمل به مشخصات هواپیما شامل نوع، ساختار، مواد و ترکیب اجزاء آن بستگی دارد. لذا در این مطالعه ابتدا به شناسایی وضعیت ناوگان هوایی کشور و بررسی مشخصات هواپیماهای مستعمل پرداخته شده است. این اطلاعات از دفتر مهندسی و قابلیت پرواز، گروه تدوین مقررات و اسناد و مدارک فنی هواپیما، استخراج گردیده‌اند. سپس با مد نظر قرار دادن گزینه بازیافت در برخورد با هواپیماهای خارج از رده، میزان آلومینیوم قابل بازیابی از هواپیماهای مستعمل در ناوگان هوایی کشور برآورد و مقدار ذخیره انرژی، کاهش انتشارات CO_2 و ارزش اقتصادی در نتیجه بازیابی آلومینیوم محاسبه گردید.

نتایج و بحث

وضعیت ناوگان هوایی کشور

وضعیت کلی ناوگان هوایی کشور در جدول ۱ نشان داده شده است. مطابق جدول ۱ تعداد ۲۱۳ فروند هواپیما در ناوگان هوایی کشور وجود دارد. از این تعداد ۱۲۶ فروند هواپیما فعال و ۸۷ فروند هواپیما زمین گیر هستند. لازم به ذکر است که از مجموع ۸۷ فروند هواپیمای غیرفعال تعداد ۴۴ فروند هواپیما تحت انجام چک ادواری قرار دارند و هواپیماهایی که چک ادواری آنها کمتر از یک ماه می‌باشد، به صورت فعال منظور شده‌اند.

جدول ۱: وضعیت ناوگان هوایی کشور

ردیف	ایرلاین	تعداد کل ناوگان	تعداد کل صندلی	وضعیت ناوگان فعال	وضعیت ناوگان غیرفعال	صندلی فعال	متوسط عمر ناوگان
۱	ایران ایر	۵۳	۱۰۷۰۰	۳۲	۲۱	۶۱۳۷	۲۱
۲	ماهان	۴۰	۹۶۲۱	۲۳	۱۸	۴۸۱۹	۲۳,۰۷
۳	آسمان	۳۳	۳۴۵۵	۲۳	۱۰	۲۵۴۱	۲۱,۱۵
۴	ایران ایرتور	۱۱	۱۶۳۰	۴	۷	۶۱۷	۲۰,۸۲
۵	کیش ایر	۱۳	۱۵۴۷	۷	۳	۱۰۶۱	۲۱,۳۰
۶	تابان	۶	۹۷۲	۴	۲	۶۴۲	۱۵,۵۰
۷	کاسپین	۵	۷۹۸	۲	۳	۳۰۸	۱۸,۸۰
۸	ساها	۴	۷۲۰	۲	۲	۳۶۰	۳۶
۹	فارس قشم	۲	۲۳۴	۱	۱	۱۱۴	۹
۱۰	نفت	۹	۵۹۳	۸	۱	۵۴۵	۲۰,۶۷
۱۱	زاگرس	۱۰	۱۶۷۰	۸	۲	۱۳۳۵	۲۳,۱۰
۱۲	آریا	۲	۱۰۰	۰	۲	۰	۲۱
۱۳	یاس	۲	۰	۰	۲	۰	۱۵
۱۴	معراج	۶	۹۷۰	۳	۳	۵۵۶	۲۲,۳۳
۱۵	آتا	۹	۱۴۶۷	۶	۳	۹۶۱	۱۸,۵۶
۱۶	سهند آسیا	۲	۳۱۰	۰	۲	۰	۱۹,۵۰
۱۷	فراز قشم	۴	۲۰۸	۱	۳	۵۲	۱۹,۵۰
۱۸	هسا	۴	۱۳۸	۲	۲	۷۴	۳,۲۵
جمع کل		۲۱۳	۳۵۱۳۳	۱۲۶	۸۷	۲۰۱۲۲	۲۲,۰۵

منبع: دفتر مهندسی و قابلیت پرواز، گروه تدوین مقررات و اسناد و مدارک فنی هواپیما

مشخصات هواپیماهای مستعمل کشور

اجرای راهکار مناسب در برخورد با هواپیماهای مستعمل نیازمند آگاهی از مشخصات هواپیما می‌باشد. بدین منظور مشخصات هواپیماهای غیرفعال در ناوگان هوایی کشور در جدول ۲ آورده شده است.

جدول ۲: مشخصات هواپیماهای غیرفعال در ناوگان هوایی کشور

ایرلاین	شرکت سازنده	مدل هواپیما	سال ساخت	تعداد	ایرلاین	شرکت سازنده	مدل هواپیما	سال ساخت	تعداد
ایران ایر	BOEING	B747 SP-86	۱۹۷۶	۱	آسمان	FOKKER	F28 MK100	۱۹۹۴	۱
ایران ایر	BOEING	B747 SP-87	۱۹۷۷	۱	آسمان	FOKKER	F28 MK 100	۱۹۹۲	۱
ایران ایر	BOEING	B747-186B	۱۹۷۹	۱	آسمان	ATR	۲۱۲–۷۲	۱۹۹۳	۱
ایران ایر	BOEING	B747-230B	۱۹۸۲	۱	آسمان	ATR	۲۱۲–۷۲	۱۹۹۳	۱
ایران ایر	AIRBUS	A310-304	۱۹۸۷	۱	آسمان	ATR	۲۱۲–۷۲	۱۹۹۳	۱
ایران ایر	AIRBUS	A310-203	۱۹۸۶	۱	ایران ایرتور	McDonnell Douglas	MD 82	۱۹۹۲	۱
ایران ایر	AIRBUS	A300-600R	۱۹۹۵	۱	ایران ایرتور	McDonnell Douglas	MD 82	۱۹۹۲	۱
ایران ایر	AIRBUS	A300B4-2C	۱۹۸۷	۱	ایران ایرتور	McDonnell Douglas	MD 82	۱۹۹۳	۱
ایران ایر	AIRBUS	A300 B2-203	۱۹۸۰	۱	ایران ایرتور	McDonnell Douglas	MD 83	۱۹۹۲	۱
ایران ایر	AIRBUS	A300 B4-203	۱۹۸۴	۱	ایران ایرتور	McDonnell Douglas	MD 83	۱۹۸۷	۱
ایران ایر	AIRBUS	A300B4-203	۱۹۸۱	۱	ایران ایرتور	McDonnell Douglas	MD 83	۱۹۸۹	۱
ایران ایر	BOEING	B727-286	۱۹۷۴	۱	ایران ایرتور	McDonnell Douglas	MD 82	۱۹۹۳	۱
ایران ایر	BOEING	B727-286	۱۹۷۵	۱	کیش ایر	McDonnell Douglas	MD 82	۱۹۸۷	۱
ایران ایر	FOKKER	F28 MK100	۱۹۹۳	۱	کیش ایر	McDonnell Douglas	MD 82	۱۹۸۸	۱
ایران ایر	FOKKER	F28 MK100	۱۹۹۶	۱	کیش ایر	McDonnell Douglas	MD 83	۱۹۸۷	۱
ایران ایر	FOKKER	F28 MK100	۱۹۹۶	۱	تابان	McDonnell Douglas	MD-88	۱۹۹۷	۱
ایران ایر	FOKKER	F28 MK100	۱۹۹۶	۱	تابان	McDonnell Douglas	MD-88	۱۹۹۷	۱
ایران ایر	AIRBUS	A320-203	۱۹۹۶	۱	کاسپین	McDonnell Douglas	MD 83	۱۹۹۰	۱
ایران ایر	AIRBUS	A320-232	۱۹۹۸	۱	کاسپین	McDonnell Douglas	MD 83	۱۹۹۴	۱

ایران ایر	A320-232	EP-IED	۱۹۹۲	۱	کاسپین	McDonnell Douglas	MD 83	۱۹۹۴	۱
ایران ایر	AIRBUS	A310-200	۱۹۸۵	۱	ساها	BOEING	B707-3J9C	۱۹۷۶	۱
ماهان	BOEING	B747-3B3	۱۹۸۶	۱	ساها	BOEING	B707-3J9C	۱۹۷۴	۱
ماهان	AIRBUS	A300B4-603	۱۹۹۰	۱	فارس قشم	YAK	D۴۲	۲۰۰۳	۱
ماهان	AIRBUS	A300B4-605	۱۹۹۶	۱	نفت	FOKKER	F27 MK50	۱۹۹۱	۱
ماهان	AIRBUS	A300B4-603	۱۹۹۳	۱	زاگرس	McDonnell Douglas	MD 82	۱۹۸۷	۱
ماهان	AIRBUS	A300B4-603	۱۹۹۱	۱	زاگرس	McDonnell Douglas	MD 83	۱۹۸۹	۱
ماهان	AIRBUS	A300B4-603	۱۹۷۸	۱	آریا	FOKKER	F27 MK50	۱۹۹۱	۱
ماهان	AIRBUS	A300B4-603	۱۹۸۷	۱	آریا	FOKKER	F27 MK50	۱۹۹۱	۱
ماهان	AIRBUS	A300B4-603	۱۹۸۷	۱	یاس	IL76TD	IL76TD	۱۹۹۷	۱
ماهان	AIRBUS	A300 B4-103	۱۹۷۸	۱	یاس	IL76TD	IL76TD	۱۹۹۷	۱
ماهان	AIRBUS	A300 B4-203	۱۹۸۲	۱	معراج	BOEING	B707-300	۱۹۷۶	۱
ماهان	AIRBUS	A300 B4-203	۱۹۸۲	۱	معراج	AIRBUS	A320-232	۱۹۹۵	۱
ماهان	AIRBUS	A300B2K-3C	۱۹۸۱	۱	معراج	AIRBUS	A320-233	۲۰۰۰	۱
ماهان	BAE 146-300	BAE 146-300	۱۹۹۰	۱	آتا	McDonnell Douglas	MD-83	۱۹۹۶	۱
ماهان	BAE 146-300	BAE 146-300	۱۹۹۲	۱	آتا	McDonnell Douglas	MD-83	۱۹۹۱	۱
ماهان	BAE 146-300	BAE 146-300	۱۹۸۹	۱	آتا	AIRBUS	A320-231	۱۹۹۲	۱
ماهان	BOEING	B747-422	۱۹۸۹	۱	سهند آسیا	McDonnell Douglas	MD-83	۱۹۹۰	۱
ماهان	BOEING	B747-422	۱۹۹۳	۱	سهند آسیا	McDonnell Douglas	MD-82	۱۹۹۵	۱
ماهان	BOEING	B747-422	۱۹۹۰	۱	فراز قشم	FOKKER	F27 MK50	۱۹۹۳	۱
آسمان	BOEING	B727-228ADV	۱۹۸۱	۱	فراز قشم	FOKKER	F27 MK50	۱۹۹۳	۱
آسمان	BOEING	B727-200F	۱۹۸۰	۱	فراز قشم	FOKKER	F27 MK50	۱۹۹۲	۱
آسمان	FOKKER	F28 MK100	۱۹۹۳	۱	هسا	ANTONOV	AN-140-100	۲۰۰۸	۱
آسمان	FOKKER	F28 MK100	۱۹۹۲	۱	هسا	ANTONOV	AN-140-100	۲۰۱۰	۱
آسمان	FOKKER	F28 MK100	۱۹۹۳	۱	مجموع				۸۷

منبع: دفتر مهندسی و قابلیت پرواز، گروه تدوین مقررات و اسناد و مدارک فنی هواپیما

چگونگی برخورد با هواپیماهای مستعمل در کشور

در ایران برخلاف بسیاری از کشورهای دنیا محل مشخصی برای نگهداری و اسقاط هواپیماهای خارج از رده وجود ندارد. بنابراین ایرلاین‌های مالک این هواپیماها مجبورند هواپیماهای مستعمل خود را در فضای فرودگاه‌ها نگهداری کنند. مطابق جدول ۱ در حال حاضر از تعداد کل ۲۱۳ فروند هواپیما در ناوگان هوایی کشور، ۸۷ فروند هواپیما زمین‌گیر هستند و بخش عمده‌ای از فضای فرودگاه‌های کشور بویژه فرودگاه‌های بین المللی امام خمینی (ره) و مهرآباد را اشغال کرده‌اند. علاوه بر بالا بودن هزینه تعمیر و نگهداری هواپیماهای مستعمل، برخی از هواپیماها به مرحله‌ای می‌رسند که به دلایل مختلف مانند نبود قطعه، تعمیرشان غیرممکن می‌شود اما بدلیل اینکه ایرلاین مالک آن فضایی را برای پارک و ذخیره هواپیما ندارد، مجبور می‌شود تا همچنان از این هواپیما در پروازهای خود استفاده کند که امری بسیار خطرناک است. در صورتیکه فضای کافی مورد نیاز ایرلاین ها برای نگهداری هواپیماهای مستعمل در اختیار آنها قرار داده شود این ایرلاین‌ها می‌توانند با اسقاط کردن هواپیماهای قدیمی و خارج از رده نه تنها از قطعات قابل استفاده برای تعمیر سایر هواپیماهای ناوگان خود استفاده کنند بلکه می توانند با فروش این قطعات به ایرلاین‌های دیگر برای تعمیر هواپیماهایشان درآمدزایی نیز داشته باشند (Asmatulu et al, 2013: 36; Wijk et al, 2017: 106).

راهکارهای مدیریت هواپیماهای مستعمل

مدیریت هواپیماهای مستعمل یک موضوع تحقیق نسبتاً جدید است و در حال حاضر دانش کمی در مورد روند پایان حیات هواپیماها در دسترس می‌باشد (Ribeiro & Gomes, 2014:510). انتخاب هر گزینه برای برخورد با هواپیما در مرحله پایان حیات عواقب خاص خود را بر پایه معیارهای پایداری، از جمله معیارهای اقتصادی، محیط‌زیستی و اجتماعی خواهد داشت. یک گزینه با توجه به یک معیار خاص می‌تواند بهتر از گزینه دیگر باشد. هرچند که ممکن است با توجه به معیار خاص دیگر، بدتر از آن گزینه باشد (Bouzarour-Amokrane et al, 2015: 718; Mascle et al, 2015: 300; Camelot et al, 3013: 1). پیش از انتخاب گزینه مناسب برای مدیریت هواپیمای خارج از رده می‌بایست روند تخلیه هواپیما شامل مراحل رفع آلودگی، بیرون کشیدن قطعات، انتقال هواپیما به سکوی پیاده‌سازی، جداسازی چرخ دنده‌های فرود، آماده‌سازی مرحله استخراج مواد، خالی کردن فضای داخلی، جداسازی قطعاتی که باید به فروش برسند، استخراج مواد ویژه، اوراق کردن و خرد کردن و مرتب‌سازی مواد استخراج شده طی شود (Mascle et al, 2014: 153; Zahedi et al, 2016: 3737; Asmatulu et al, 2013: 1; Bouzarour-Amokrane et al, 2015: 717). پس از انجام روند تخلیه هواپیمای خارج از رده، گزینه‌های معمول برای مدیریت آن، شامل استفاده مجدد، بازیافت و دفع، به شرح جدول ۳ می‌باشد.

جدول ۳: مدیریت هواپیمای خارج از رده

گزینه‌های معمول در مدیریت هواپیمای خارج از رده	ترکیب قطعات و مواد هواپیما
استفاده مجدد	موتورها، چرخ دنده‌های فرود، تجهیزات اویونیک تجهیزات سیستم، قطعات متحرک و ساختاری
بازیافت	مایعات (سوخت، روغن، مایع هیدرولیک) تجهیزات امنیتی و ایمنی تایرها، تجهیزات اویونیک، آلیاژهای آلومینیوم، آلیاژهای تیتانیوم آلیاژهای فولادی، سیم‌کشی، ترموپلاستیک
دفع	پوشش بدنه، اورانیوم غنی نشده

منبع: (Ribeiro & Gomes, 2015: 314; Asmatulu et al, 2013: 36; Ribeiro & Gomes, 2014: 511; Asmatulu et al, 2013: 3)

قطعات قابل استفاده مجدد معمولاً شامل موتورها، چرخ دنده‌های فرود، تجهیزات اویونیک، واحد قدرت کمکی، توربین هوای سرد و بخش‌هایی از تجهیزات کابین هستند که می‌توانند مستقیماً به فروش برسند (Keivanpour et al, 2013: 77; Wong et al, 2017: 1291). برخی از مایعات عملیاتی نیز، مانند سوخت، می‌توانند به فروش برسند. اما اگر مایعات عملیاتی دیگر قابل استفاده مجدد نباشند، باید براساس قوانین موجود مورد بازیابی قرار گیرند. انواع مواد شامل آلیاژهای آلومینیوم، تیتانیوم، سوپر آلیاژهای آستنیتی بر پایه نیکل، فولاد ضدزنگ، سیم‌کشی‌ها، لاستیک‌ها و ترموپلاستیک‌ها پس از گروه‌بندی و مرتب‌سازی می‌توانند برای اوراق کردن به صنایع بازیافت ارسال شوند (Ribeiro & Gomes, 2015: 313). همچنین بسیاری دیگر از مواد موجود در هواپیما مانند فرش‌ها، منسوجات، کاغذ و غیره نیز می‌توانند بطور کارآمد بازیافت شوند (Asmatulu et al, 2013: 36). به این ترتیب بخش‌های زیادی از پیکر هواپیما را می توان مورد بازیافت قرار داد. بخش های باقی‌مانده که قابلیت بازیابی را ندارند باید حذف و دفع گردند. این مواد بطور عمده مواد عایق و روکش بدنه هواپیما هستند (Ribeiro & Gomes, 2015: 313; Asmatulu et al, 2013: 3). سازه هواپیماها حاوی الیاف کربن پوشش داده شده با آستر کروم شش ظرفیتی است.

کامپوزیت‌هایی که پوشش کروم شش دارند در رده زایدات خطرناک طبقه‌بندی می‌شوند و بعلت امکان نشت کروم به خاک، نباید در زمین دفن شوند. آژانس حفاظت از محیط‌زیست ایالات متحده آمریکا عبارت زایدات خطرناک را برای زایداتی بکار می‌برد که می‌توانند برای سلامتی انسان و محیط‌زیست خطرناک باشند (EPA, 2005). چنانچه زایداتی در رده خطرناک طبقه‌بندی شوند باید اقدامات ویژه‌ای پیش‌بینی شود تا این اطمینان را ایجاد کند که اگر این زایدات در زمین دفع شوند تهدیدی برای سلامتی انسان ها و محیط زیست نخواهند داشت. طبق مقررات دفع زمینی آژانس حفاظت از محیط زیست ایالات متحده آمریکا، زایدات خطرناک قبل از دفن در زمین باید شرایط استانداردهای عملیات حفاظتی را کسب کنند (EPA, 2017). سوزاندان گزینه دیگری برای دفع کامپوزیت‌ها است. ولی اگر کامپوزیت از جنس الیاف کربن باشد نمی توان بدون رعایت استانداردهای لازم آن را سوزاند، چون امکان رهایش از الیاف کوچک رسانای الکترونیکی به محیط‌زیست وجود دارد. این ذرات اگر جمع‌آوری نشوند می‌توانند باعث مداخله الکتریکی شوند. بازیافت نیز گزینه دیگری در برخورد با کامپوزیت‌ها است. الیاف کربن موجود در کامپوزیت‌ها قابل بازیافت هستند و می‌توان از آنها در فرآیندهای تولید برای ساخت کامپوزیت‌های جدید بهره گرفت. الیاف‌های کربن بازیافتی نزدیک به ۱۰۰٪ از خصوصیات الیاف‌های کربن خام را دارند و می‌توانند برای کاربردهای ساختاری، عایقی (حرارتی و صوتی) و فیلتراسیون (هوا و مایع) مورد استفاده قرار گیرند (Asmatulu et al, 2013: 36; Perry et al, 2010: 2).

بازیافت

به نظر می‌رسد بهره‌برداری مجدد از اقلام و اجزای قابل بازیافت روشی کارآمد در برخورد با هواپیما در مرحله پایان حیات باشد (Asmatulu et al, 2013: 37; Keivanpour et al, 2013: 76; Blockley & Shyy, 2010: 3715). بازیافت فرآیندی است که طی آن مواد، جمع‌آوری و جدا شده و به منزله مواد خام برای تولید محصولات جدید بکار گرفته می‌شوند (Sabaghi et al, 2015: 163; Sabaghia et al, 2016: 156; Ribeiro & Gomes, 2014: 510; Asmatulu et al, 2013:1). بازیافت می‌تواند به دو روش مسیر بسته یا مسیر باز انجام گیرد. در روش مسیر بسته، مواد بازیافتی دوباره به شکل اصلی برگردانده می شوند و دقیقاً همان خواص و کاربردهای اولیه را پیدا می کنند. بعنوان مثال، آلیاژهای آلومینیوم موجود در هواپیمای خارج از رده می توانند بازیافت شوند و برای تولید سازه‌های جدید هواپیما از جنس همان آلیاژهای آلومینیوم مورد استفاده قرار گیرند. در روش مسیر باز مواد بازیافتی بعنوان نقطه شروع و یا مواد خام در فرآیند تولید دیگری مورد استفاده قرار می گیرند. برای مثال، نیکل در تولید توربین‌های هواپیما استفاده می‌شود. بعد از اینکه هواپیما به مرحله پایان حیات رسید توربین‌های ضایعاتی می‌توانند برای تولید فولاد ضد زنگ، مورد بازیافت قرار بگیرند (Ribeiro & Gomes, 2015: 314).

فلزات و آلیاژهای صنعت هوافضا مانند فولادها، آلیاژهای آلومینیوم، آلیاژهای تیتانیوم، آلیاژهای نیکل، منیزیم، کبالت، برلیم، نیوبیم، تانتالیم، مولیبدم، تنگستن، وانادیم، زیرکنیوم و سوپر آلیاژها، در ساخت و تولید هواپیما مورد استفاده قرار می گیرند. این مواد پس از پایان حیات هواپیما تبدیل به زایدات می گردند. بنابراین پتانسیل بالقوه ورود به صنعت بازیافت یا استفاده مجدد را دارند (Asmatulu et al, 2013: 36; Asmatulu et al, 2013: 1). آلومینیوم جزء اصلی پیکر هواپیما و ماده ای است که بالاترین میزان دسترسی را در هواپیمای مستعمل برای بازیافت دارد

(Asmatulu et al, 2013: 37; Keivanpour et al, 2013: 77). میزان آلومینیوم قابل بازیافت موجود در هواپیماهای خارج از رده در ناوگان هوایی کشور به تفکیک ایرلاین‌ها محاسبه و در جدول ۴ نشان داده شده است.

جدول ۴: میزان آلومینیوم قابل بازیافت از هواپیماهای مستعمل در ناوگان هوایی کشور

ایرلاین	تعداد هواپیمای مستعمل	میزان آلومینیوم قابل بازیافت (kg)
ایران ایر	۲۱	۱۱۸۹۲۷۸,۶
ماهان	۱۸	۱۳۱۲۸۶۰,۶
آسمان	۱۰	۱۴۱۲۲۸,۲
ایران ایرتور	۷	۱۵۰۱۲۰
کیش ایر	۳	۶۴۲۰۰
تابان	۲	۴۳۴۴۰
کاسپین	۳	۶۵۱۶۰
ساها	۲	۸۰۷۲۰,۴
فارس قشم	۱	۲۰۷۰۹
نفت	۱	۱۱۱۶۰
زاگرس	۲	۴۲۹۶۰
آریا	۲	۲۲۳۲۰
یاس	۲	۱۱۱۰۰۰
معراج	۳	۱۱۵۶۱۱
آتا	۳	۸۰۹۹۷
سهند آسیا	۲	۴۲۹۶۰
فراز قشم	۳	۳۳۴۸۰
هسا	۲	۱۴۱۶۰
مجموع	۸۷	۳۵۴۲۳۶۴,۸

منبع: یافته‌های پژوهش

با توجه به جدول ۴ مجموعاً ۳۵۴۲۳۶۴,۸ کیلوگرم آلومینیوم از تعداد ۸۷ فروند هواپیمای خارج از رده در ناوگان هوایی کشور قابل بازیافت می باشد. انرژی مورد نیاز برای تولید آلومینیوم اولیه شامل فرآیندهای استخراج بوکسیت، تولید آلومینا (فرآیندهای بایر)، فرآیند هال–هرولت، الکترولیز و ریخته‌گری برابر با MJ/kg ۴۷ است. انرژی مورد نیاز برای تولید آلومینیوم بازیافتی تنها MJ/kg ۲,۴ است. این به معنی ذخیره انرژی به میزان MJ/kg ۴۴,۶ از آلومینیوم بازیافتی است (Ribeiro & Gomes, 2014: 510; Asmatulu et al, 2013: 4). از طرف دیگر رد پای کربن برای تولید آلومینیوم اولیه kg CO2/kg Al ۳,۸۳ است و این درحالیست که رد پای کربن برای تولید آلومینیوم بازیافتی تنها kg CO2/kg Al ۰,۲۹ است. بنابراین استفاده از آلومینیوم بازیافتی موجب ذخیره ۹۲٪ از انتشارات CO_2 می‌گردد (Asmatulu et al, 2013: 38; Muniz-Lerma et al, 2016:1976). با توجه به موارد مذکور، پتانسیل ذخیره انرژی و کاهش انتشارات CO_2 در نتیجه بازیافت آلومینیوم موجود در هواپیماهای خارج از رده در ناوگان هوایی کشور، محاسبه و در جدول ۵ آورده شده‌اند. همچنین با مد نظر قرار دادن ارزش اقتصادی آلومینیوم در بازار خرید و فروش ضایعات فلزی، سود مالی حاصل از فروش آلومینیوم قابل بازیافت محاسبه و در جدول مذکور نشان داده شده است.

جدول ۵: میزان ذخیره انرژی، کاهش انتشارات CO2 و ارزش اقتصادی در نتیجه بازیافت آلومینیوم موجود در هواپیماهای خارج از رده در ناوگان هوایی کشور

ایرلاین	میزان ذخیره انرژی (MJ)	میزان ذخیره انتشارات CO_2 (kg)	ارزش اقتصادی آلومینیوم قابل بازیافت (ریال)
ایران ایر	۵۳۰۴۱۸۲۵,۵۶	۴۲۱۰۰۴۶,۲۴۴	۶۵۴۱۰۳۲۳۰۰۰
ماهان	۵۸۵۵۳۵۸۲,۷۶	۴۶۴۷۵۲۶,۵۲۴	۷۲۲۰۷۳۳۳۰۰۰
آسمان	۶۲۹۸۷۷۷,۷۲	۴۹۹۹۴۷,۸۲۸	۷۷۶۷۵۵۱۰۰۰
ایران ایرتور	۶۶۹۵۳۵۲	۵۳۱۴۲۴,۸	۸۲۵۶۶۰۰۰۰۰
کیش ایر	۲۸۶۳۳۲۰	۲۲۷۲۶۸	۳۵۳۱۰۰۰۰۰۰
تابان	۱۹۳۷۴۲۴	۱۵۳۷۷۷,۶	۲۳۸۹۲۰۰۰۰۰

ادامه جدول ۵: میزان ذخیره انرژی، کاهش انتشارات CO2 و ارزش اقتصادی در نتیجه بازیافت آلومینیوم موجود در هواپیماهای خارج از رده در ناوگان هوایی کشور

ایرلاین	میزان ذخیره انرژی (MJ)	میزان ذخیره انتشارات CO_2 (kg)	ارزش اقتصادی آلومینیوم قابل بازیافت (ریال)
کاسپین	۲۹۰۶۱۳۶	۲۳۰۶۶۶,۴	۳۵۸۳۸۰۰۰۰۰
ساها	۳۶۰۰۱۲۹,۸۴	۲۸۵۷۵۰,۲۱۶	۴۴۳۹۶۲۲۰۰۰
فارس قشم	۹۲۳۶۲۱,۴	۷۳۳۰۹,۸۶	۱۱۳۸۹۹۵۰۰۰
نفت	۴۹۷۷۳۶	۳۹۵۰۶,۴	۶۱۳۸۰۰۰۰۰
زاگرس	۱۹۱۶۰۱۶	۱۵۲۰۷۸,۴	۲۳۶۲۸۰۰۰۰۰
آریا	۹۹۵۴۷۲	۷۹۰۱۲,۸	۱۲۲۷۶۰۰۰۰۰
یاس	۴۹۵۰۶۰۰	۳۹۲۹۴۰	۶۱۰۵۰۰۰۰۰۰
معراج	۵۱۵۶۲۵۰,۶	۴۰۹۲۶۲,۹۴	۶۳۵۸۶۰۵۰۰۰
آتا	۳۶۱۲۴۶۶,۲	۲۸۶۷۲۹,۳۸	۴۴۵۴۸۳۵۰۰۰
سهندآسیا	۱۹۱۶۰۱۶	۱۵۲۰۷۸,۴	۲۳۶۲۸۰۰۰۰۰
فراز قشم	۱۴۹۳۲۰۸	۱۱۸۵۱۹,۲	۱۸۴۱۴۰۰۰۰۰
هسا	۶۳۱,۵۳۶	۵۰۱۲۶,۴	۷۷۸۸۰۰۰۰۰
مجموع	۱۵۷۳۵۸۵۶۵,۶۱۶	۱۲۵۳۹۹۷۱,۳۹۲	۱۹۴۸۳۰۰۶۴۰۰۰

منبع: یافته‌های پژوهش

در سال‌های اخیر بازیافت قطعات هواپیما بعلت افزایش تعداد هواپیماهایی که از رده خارج می‌شوند، تمرکز بیشتری یافته است. هواپیما در مرحله پایان حیات شامل بسیاری از مواد و قطعاتی است که می‌توانند بازیافت شوند (Sabaghi et al, 2015: 163; Keivanpour & Ait Kadi, 2016: 1893; Asmatulu et al, 2013: 1; Bouzarour-Amokrane et al, 2015: 715). تولید قطعات جدید هواپیما نیازمند مواد خام، سرمایه، انرژی و نیروی کار است. از طریق بازیافت و یا استفاده مجدد، مقدار زیادی از مواد و قطعات می توانند بازیابی شوند. در نتیجه می توان منابع اولیه و طبیعی را ذخیره کرد (Sabaghia et al, 2016: 157; Ribeiro & Gomes, 2014: 510). این اولین انگیزه برای بازیافت است. تولید از مواد خام ثانویه به انرژی قابل توجه کمتری در مقایسه با تولید از مواد خام اولیه نیاز دارد. بنابراین بازیافت منجر به کاهش انتشار آلایندگی (هوا، آب و خاک) می‌گردد که انگیزه دوم برای بازیافت را ایجاد می‌کند. انگیزه‌های سوم و چهارم کاهش زایدات در اثر بازیافت و در نتیجه کاهش استفاده از زمین در محل‌های دفن هستند (Ribeiro & Gomes, 2015: 315; Asmatulu et al, 2013: 37; Sabaghi et al, 2015: 163; Asmatulu et al, 2013: 2). نتایج مطالعه حاضر با موارد فوق الذکر همخوانی دارد. همانطور که در جدول ۵ نشان داده شده است با بازیافت آلومینیوم موجود در هواپیماهای خارج از رده کشور صرفه‌جویی در انرژی به میزان MJ ۱۵۷۳۵۸۵۶۵,۶۱۶ بدست می‌آید. کاهش انتشارات CO2 در نتیجه بازیافت آلومینیوم نیز، معادل kg ۱۲۵۳۹۹۷۱,۳۹۲

است. بازیافت آلومینیوم علاوه بـر مزایـای محـیط‌زیسـتی، مزایـای اقتصـادی نیـز بهمـراه دارد. بطوریکـه مجموعـاً ۱۹۴۸۳۰۰۶۴۰۰۰ ریال از فروش ضایعات آلومینیوم موجود در هواپیماهای خارج از رده بدست می‌آید.

نتیجه‌گیری

تعداد هواپیماهای تولید شده در سراسر جهان، بدلیل تقاضای بالا برای صـنعت حمـل و نقـل هـوایی، بطـور مـداوم افزایش می‌یابد. در طول تولید، بسیاری از مواد برای ساخت انواع بخش‌های هواپیما در اندازه و شکل‌های گونـاگون مورد استفاده قرار می گیرند. بسیاری از این مواد نیاز به انرژی و نیـروی بـالا بـرای تولیـد دارنـد. اسـتفاده مجـدد و بازیافت این مواد در مرحله پایان حیات هواپیما، می‌تواند مزایای محیط‌زیستی و اقتصادی قابل توجهی را بـه همـراه داشته باشد. کاهش استفاده از منابع طبیعی، کاهش تخصیص محل دفن و اثرات محـیط‌زیسـتی (هـوا، آب و خـاک)، افزایش فرصت‌های شغلی، بهبود بهره‌وری انرژی و ترغیب بازار محصولات بازیافتی از آن جمله‌اند. هدف از انجـام این تحقیق بررسی گزینه‌های مدیریت هواپیماهای مستعمل کشور، با تمرکز بر گزینه بازیافت فلزات (آلومینیـوم) بـه لحاظ اثرات محیط زیستی و اقتصادی آن بوده است. لذا در این مطالعه ابتدا به شناسایی وضعیت ناوگان هوایی کشور و مشخصات هواپیماهای مستعمل پرداخته شد. سپس میزان آلومینیوم قابل بازیافت از هواپیماهـای خـارج از رده در ناوگان هوایی کشور، میزان ذخیره انرژی و کاهش انتشـارات CO_2 در نتیجـه بازیافـت آلومینیـوم و ارزش اقتصـادی آلومینیوم قابل بازیافت محاسبه گردید. یافته‌ها حاکی از آن بود که با بازیافـت ۳۵۴۲۳۶۴٫۸ kg آلومینیـوم از مجمـوع ۸۷ فروند هواپیمای خارج از رده در ناوگان هوایی کشور، صرفه‌جویی در انـرژی بـه میـزان ۱۵۷۳۵۸۵۶۵٫۶۱۶ MJ، کاهش انتشارات CO_2 به میزان ۱۲۵۳۹۹۷۱٫۳۹۲ kg و سود مالی به میزان ۱۹۴۸۳۰۰۶۴۰۰۰ ریال، حاصل می‌گردد. با توجه به نتایج فوق، بازیافت می‌تواند مزایای محیط‌زیستی و اقتصادی قابل توجهی را فراهم آورد که این مزایا قطعـاً با بازیافت مواد و قطعات بیشتری از هواپیما، افزایش نیز می‌یابند.

از آنجاییکه وزارت راه و شهرسازی و سازمان هواپیمایی کشوری ایران محل مشخصی برای نگهـداری هواپیماهـای تعیین نکرده است، ایرلاین‌ها هواپیماهای خارج از رده خود را در فضای فرودگاه‌ها نگهـداری مـی‌کننـد. اسـتفاده از فضای فرودگاهی و اشغال آن توسط هواپیماهای از رده خارج شرکت‌های هواپیمایی هزینه‌بر است و ایرلاین‌ها بایـد بابت استفاده از فضای فرودگاهی مبالغی را پرداخت کنند. تعرفه پارکینگ برای هـر هواپیمـا متفـاوت اسـت و طبـق فرمول براساس وزن هواپیما محاسبه می‌شود. بنابراین پیشنهاد می‌شود که اقدام به شناسایی منطقه‌های امن در حاشیه فرودگاه‌های کشور گردد و تا قبل از پایان حیات نهایی هواپیماها، ناوگان با رعایت حدود محیط‌زیستی به آنجا منتقل و نگهداری شوند. همچنین با در نظر گرفتن این نکته که بازیافت روشی کارآمد در برخـورد بـا هواپیمـا در مرحلـه پایان حیات می‌باشد، احداث شرکت بازیافت هواپیماهای مستعمل به منظور بازیافت فلزات و آلیاژهای پیکر هواپیما قابل توصیه خواهد بود. از سوی دیگر بدنه این هواپیماها می‌تواند برای کاربری‌های آموزشی، توریستی، گردشگری، یا سایر موارد استفاده شود.

منابع

Asmatulu, E., Overcash, M., Twomey, J. (2013). Recycling of Aircraft: State of the Art in 2011, Journal of Industrial Engineering, Vol. 2013, Article ID 960581, 8 pages.

Asmatulu, E., Twomey, J., Overcash, M. (2013). Evaluation of recycling efforts of aircraft companies in Wichita, Resources, Conservation and Recycling, Vol. 80, pp: 36– 45.

Blockley, B., Shyy, W. (2010). Encyclopedia of Aerospace Engineering, Volume 6: Environmental Impact, Manufacturing and Operations, Chapter 306, Value Extraction from End-of-Life Aircraft, Chichester, West Sussex, U.K.: Wiley.

Bouzarour-Amokrane, Y., Tchangani, A., Peres, F. (2015). Decision evaluation process in end-of-life systems management, Journal of Manufacturing Systems, Vol. 37, pp: 715–728.

Camelot, A., Baptiste, P., Mascle, C. (2013). Decision support tool for the disassembly of reusable parts on an end-of-life aircraft, International Conference on Industrial Engineering and Systems Mnagement (IESM' 2013), October 28-30 2013, Rabat, Morocco.

Dayi, O., Afasharzadeh, A., Mascle, C. (2016). A Lean based process planning for aircraft disassembly, IFAC-PapersOnLine, Vol. 49(2), pp: 54-59.

EPA (2005). Introduction to Hazardous Waste Identification (40 CFR Parts 261).

EPA (2017). Hazardous Waste Treatment, Storage, and Disposal Facilities (TSDF) Regulations, A User-Friendly Reference Document for RCRA Subtitle C Permit Writers and Permittees, EPA 530-R-11-006, Version 6.

Feldhusen, J., Pollmanns, J., Heller, JE. (2011). End of Life Strategies in the Aviation Industry, Proceedings of the 18th CIRP International Conference on Life Cycle Engineering, Technische Universität Braunschweig, Braunschweig, Germany, May 2nd - 4th, 2011.

Keivanpour, S., Ait Kadi, D. (2016). An integrated approach to analysis and modeling of End of Life phase of the complex products, IFAC-PapersOnLine, Vol. 49(12), pp: 1892–1897.

Keivanpour, S., Ait-Kadi, D., Mascle., C. (2013). Toward a Strategic Approach to End-of-Life Aircraft Recycling Projects, Journal of Management and Sustainability, Vol. 3(3), pp: 76-94.

Keivanpour, S., Ait-Kadi, D., Mascle., C. (2015). Toward a projection model for estimation of end of life aircrafts, 2015 International Conference on Industrial Engineering and Operations Management (IEOM), 3-5 March 2015, Dubai, United Arab Emirates.

Keivanpour, S., Ait-Kadi, D., Mascle, C. (2017). End-of-life aircraft treatment in the context of sustainable development, lean management, and global business, International Journal of Sustainable Transportation, Vol. 11(5), pp: 357-380.

Mascle, C. (2013). Product Design for Rebirth: Application to Aircraft Life Cycle Modeling, Supply Chain Forum: An International Journal, Vol.14(2), pp: 70-83.

Mascle, C., Baptiste, P., Sainte Beuve, D., Camelot, A. (2015). Process for Advanced Management and Technologies of Aircraft EOL, Procedia CIRP, Vol. 26, pp: 299 – 304.

Mascle, C, Yong liang, C., Aurore, C. (2014). Information Technology for Processing and Treating Aircraft End of Life, Applied Mechanics & Materials, Vol. 686, pp: 153-159.

Muniz-Lerma, JA., Jung, IH., Brochu, M. (2016). Thermal Decoating of Aerospace Aluminum Alloys for Aircraft Recycling, Metallurgical and Materials Transactions B, Vol. 47B, pp: 1976-1985.

Muniz-Lerma, JA.,Paliwal, M., Jung, IH., Brochu, M. (2017). Fractional Crystallization Model of Multicomponent Aluminum Alloys: A Case Study of Aircraft Recycling, Metallurgical and Materials Transactions B, Vol. 48, Issue 2, pp: 1024–1034.

Perry, N., Mantaux, O., Leray, D., Lorriot, T. (2010). Composite recycling: design for environment approach requirements, proceeding of IDMME – Virtual Concept 2010, Bordeaux, FranceOctober 20-22.

Pertsova, C. (2008). Ecological Economics Research Trends, chapter 1, Nova Science Publishers, Inc. New York.

Ribeiro, JS., Gomes, JO. (2014). A Framework to Integrate the End-of-Life Aircraft in Preliminary Design, Procedia CIRP, Vol. 15, pp: 508 – 513.

Ribeiro, JS., Gomes, JO. (2015). Proposed framework for End-Of-Life aircraft recycling, Procedia CIRP, pp: 311-316.

Sabaghi, M., Cai, Y., Mascle, C., Baptiste, P. (2015). Sustainability assessment of dismantling strategies for end-of-life aircraft recycling, Resources, Conservation and Recycling, Vol. 102, pp: 163–169.

Sabaghia, M., Cai,Y., Mascle, C., Baptiste, P. (2016). Towards a sustainable disassembly/dismantling in aerospace industry, Procedia CIRP, Vol. 40, pp: 156-161.

Wijk, O., Andersson, P., Block, J., Righard, T. (2017). Phase-out maintenance optimization for an aircraft fleet, International Journal of Production Economics, Vol. 188, pp: 105–115.

Wong, K., Rudd, C., Pickering, S., liu, X. (2017). Composites recycling solutions for the aviation industry, Science China Technological Sciences, Vol. 60(9), pp: 1291-1300.

Zahedi, H., Mascle, C., Baptiste, P. (2015). A CONCEPTUAL FRAMEWORK TOWARD ADVANCED AIRCRAFT END-OF-LIFE TREATMENT USING PRODUCT AND PROCESS FEATURES, IFAC-PapersOnLine, Vol.48(3), pp: 767-772.

Zahedi, H., Mascle, C., Baptiste, P. (2016). A quantitative evaluation model to measure the disassembly difficulty; application of the semi-destructive methods in aviation End-of-Life, International Journal of Production Research, Vol. 54(12), pp: 3736–3748,

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی