

## خوردگی در هواپیماهای نظامی و ارائه راه کارهای پیش گیرانه نوین

مسعود مطاعی<sup>۱\*</sup>

مجید رجب پور<sup>۲</sup>

حسین پوراسکندر<sup>۳</sup>

### چکیده

به دلیل استفاده از فلزات در بدنه هواپیماها و اهمیت سازه بدنه در نگهداری و استفاده هرچه بیشتر از سامانه‌های پروازی، بایستی آن را از اثرات مخرب محیط محافظت نمود. تعیین مکانیزم خوردگی در یک سازه هوایی بسیار سخت و پیچیده است، زیرا شرایط محیطی یک هواپیما در حین پرواز و پس از پرواز به شدت متغیر می‌باشد. این گستردگی تغییرات زمینه‌ساز بسیاری از مشکلات می‌باشد. به همین منظور پژوهش‌گر با هدف تبیین راه کارهای نوین جهت جلوگیری از انواع خوردگی فیزیکی، شیمیایی و الکتروشیمیایی در هواپیماها به ارائه راه کارهای پیشگیرانه و نوین، پرداخته است. این پژوهش از نوع کاربردی و روش انجام آن توصیفی بوده و تجزیه و تحلیل داده‌ها به صورت توصیفی و استنباطی (آمیخته) انجام شده است. جامعه آماری تحقیق کل کارکنان و جامعه نمونه شامل کارکنان فنی فرودگاه مهرآباد که همگی از تجربیات ارزنده‌ای پیرامون موضوع پژوهش برخوردار هستند، می‌باشند. جمع‌آوری اطلاعات به دو روش میدانی و کتابخانه‌ای و با استفاده از ابزارهای مطالعه اسناد و مدارک، مصاحبه با صاحب‌نظران و پرسش‌نامه صورت گرفته است. در پایان محقق به این نتیجه می‌رسد که اکسیداسیون الکترولیتیکی پلاسمایی، فرآیند آندایزینگ، پوشش‌های تبدیلی کرومات، تولید نانو رنگ‌های پلیمری جهت عایق کاری حرارتی و ضد خوردگی، پوشش‌های سرامیکی با فناوری نانو می‌تواند از خوردگی جلوگیری یا پیش‌گیری کرد.

### واژه‌های کلیدی:

خوردگی هواپیما، مکانیزم خوردگی، پیش‌گیرانه نوین.

<sup>۱</sup>. کارشناس ارشد مدیریت دفاعی دانشگاه فرماندهی و ستاد آجا (نویسنده مسئول)

<sup>۲</sup>. عضو هیئت علمی دانشگاه فرماندهی و ستاد آجا

<sup>۳</sup>. کارشناس ارشد مدیریت دفاعی دانشگاه فرماندهی و ستاد آجا

## مقدمه

خوردگی پدیده بسیار مخربی است و مشابه سایر بلاهای طبیعی نظیر زمین‌لرزه، سیل، طوفان خسارت‌های سنگینی به تجهیزات نفتی، دریایی، کشتی‌ها، هواپیماها، تجهیزات نظامی، ساختمان‌ها و سیستم‌های آبرسانی وارد می‌سازد. هواپیماها که در محیط‌های دریایی و یا محیط‌های حاوی دود و گازهای خورنده صنعتی پرواز می‌کنند، بیشتر در معرض خوردگی هستند؛ بنابراین بروز خوردگی منجر به ازکارافتادگی زودهنگام آن‌ها می‌شود. همچنین در قسمت‌های بسیار حساس هواپیما که در دماهای بالا قرار دارند، خزش و خوردگی داغ سبب ازکارافتادگی سازه می‌شود. حتی در بخش‌های سطحی هواپیما از جمله بست‌ها و پرچ‌ها که به منظور اتصال پوسته هواپیما به بدنه آن استفاده می‌شوند و جنس آن‌ها غالباً از آلیاژهای فولاد، آلومینیوم (۷۰۷۵ و ۲۰۲۴)، تیتانیوم و فولادهای زنگ نزن است. این اتصالات دائماً تحت کشش، برش، خستگی و خوردگی قرار دارند. اعمال تحریم‌های ظالمانه کشورهای استکباری و عدم ارتباط با کشورهای صاحب فناوری سبب گردیده که از دستیابی به دانش و روش‌های نوین محروم باشد. به همین دلیل محقق بر آن شده تا راه‌کارهای پیشگیرانه نوین جهت جلوگیری از خوردگی در هواپیماها را تحقیق و بررسی و در اختیار قرار دهد. هدف کلی این تحقیق، تبیین راه‌کارهای پیشگیرانه نوین جهت جلوگیری از خوردگی در هواپیماها که شامل هدف جزئی، تبیین راه‌کارهای پیشگیرانه نوین فیزیکی، شیمیایی و الکتروشیمیایی جهت جلوگیری از خوردگی در هواپیماها می‌باشد. لذا با توجه به دغدغه محقق این سوال کلی مطرح است که راه‌کارهای پیشگیرانه نوین جهت جلوگیری از خوردگی در هواپیماها چگونه باید باشد؟ و در سوالات جزء به سه متغیر فیزیکی، شیمیایی، الکتروشیمیایی، اشاره می‌شود و همچنین محقق به بررسی فرضیه‌های زیر پرداخته است:

- ۱- به نظر می‌رسد با مدنظر قرار دادن عواملی نظیر رطوبت هوا، تغییرات دمایی و تنش‌های شدید؛ می‌توان از به وجود آمدن خوردگی فیزیکی در هواپیماها جلوگیری به عمل آورد.
- ۲- به نظر می‌رسد با مدنظر قرار دادن عواملی نظیر اسید باتری یا بخارهای ناشی از آن، رسوبات و فلاکس باقی‌مانده در اتصالات جو و لحیم‌کاری و محلول‌های پاک‌کننده؛ می‌توان از به وجود آمدن خوردگی شیمیایی در هواپیماها جلوگیری به عمل آورد.
- ۳- به نظر می‌رسد با مدنظر قرار دادن عواملی نظیر آند<sup>۱</sup>، کاتد<sup>۱</sup> و الکترولیت<sup>۲</sup>؛ می‌توان از به وجود آمدن خوردگی الکتروشیمیایی در هواپیماها جلوگیری به عمل آورد.

<sup>۱</sup>. قسمتی که الکترون تولید می‌نماید و یا به عبارت دیگر اکسید می‌گردد.

لازم به ذکر است جامعه آماری تحقیق به علت در دسترس نبودن کارکنان کل، کارکنان فنی و مسئولین در ستاد و پایگاه ترابری مهرآباد هستند که حداقل دارای ۲۰ سال سابقه خدمت بوده که با احتساب ضریبی ۱۵۰ نفر می‌باشند و جامعه نمونه نیز ۵۷ نفر به شیوه تصادفی طبقاتی محاسبه گردیدند. ابزار جمع‌آوری اطلاعات و داده‌ها در این تحقیق، با پرداختن به مطالعات کتابخانه‌ای و میدانی با اسناد و مدارک و مستندات موجود و استفاده از شبکه جهانی اینترنت، مراجعه به صاحب‌نظران تعیین گردیده است.

در صورت عدم توجه به کنترل خوردگی (فیزیکی، شیمیایی، الکتروشیمیایی) می‌تواند پیامدهایی مانند، افزایش سرسام‌آور هزینه‌های تعمیر و نگهداری، افت شدید روحیه کارکنان و لطمات جسمی در اثر بروز سوانح حاصل از خرابی و از کار افتادن قطعات به علت خوردگی، کاهش بازدهی، آلودگی، افزایش هزینه‌ها، از بین رفتن تجهیزات علی‌الخصوص هواپیماها، از بین رفتن کارکنان پروازی در اثر سوانح حاصل از خوردگی، پایین آمدن سطح توان رزمی در اثر از بین رفتن تجهیزات، هواپیماها و سامانه‌ها را با خود به همراه داشته باشد.

## مبانی نظری پژوهش

### بدنه هواپیما

بدنه هواپیما قسمت عمده هواپیما را تشکیل می‌دهد و سایر قسمت‌ها و قطعات به‌طور مستقیم یا غیرمستقیم به آن متصل می‌شوند. وظیفه اصلی بدنه در هواپیماها تأمین فضای کافی برای نفرات به همراه بار مفید هست. علاوه بر وظیفه اصلی بدنه باید دارای فضای کافی برای نصب متعلقات لازم از قبیل مخازن سوخت، ارابه فرود، موتور، رادار، قابلیت نصب بال و مجموعه دم، تحمل اختلاف فشار داخل و خارج کابین در صورت پرواز هواپیما در ارتفاع بیش از ۱۰۰۰۰ پایی و دید کافی برای خلبان را داشته باشد (اخوان، ۱۳۷۹: ۳۶). به‌طور کلی سازه هواپیما وظایف زیر را بر عهده دارد:

۱- انتقال و تحمل بارهای وارده بر هواپیما

۲- شکل‌دهی آئرودینامیکی

۳- محافظت از پایلوت<sup>۲</sup> و سیستم‌ها در برابر شرایط محیطی

<sup>۱</sup>. قسمتی از فلز که الکترون می‌گیرد و یا واکنش احیا در آن صورت می‌گیرد.

<sup>۲</sup>. مکانی برای برقراری اتصال یونی بین آند و کاتد.

می‌توان سازه هواپیما را مجموعه‌ای از ۶ نوع قطعه که به صورت‌های مختلفی به یکدیگر متصل شده‌اند محسوب کرد این قطعات عبارت‌اند از:

- ۱- سپر<sup>۱</sup>: که جزء اصلی بال و دم‌ها است.
- ۲: فرامی<sup>۲</sup>: که جزء اصلی بدنه محسوب می‌شود.
- ۳- آر ای بی<sup>۳</sup>: که دومین قطعه اصلی بال است.
- ۴- لانگرون<sup>۴</sup>: که دومین قطعه اصلی بدنه است.
- ۵- استرین جر<sup>۵</sup>: در بال و دم‌ها و بدنه بکار می‌روند.
- ۶- اسکین<sup>۶</sup>: که سطح خارجی کلیه اجزاء هواپیما را می‌پوشاند. (اخوان، ۱۳۷۹: ۴۳-۳۸)

#### انواع خوردگی در بدنه هواپیما

بررسی و تشخیص انواع خوردگی در یک سازه هوایی بسیار سخت و پیچیده است؛ زیرا شرایط محیطی یک هواپیما در حین پرواز و پس از پرواز به شدت متغیر است. از این رو بایستی خوردگی حین پرواز و خوردگی پس از پرواز را به‌طور جداگانه مورد بررسی قرار داد. خوردگی بدنه، بال‌ها یا سایر قسمت‌ها در اثر از بین رفتن رنگ و پوشش، می‌تواند در حین پرواز یا حتی پس از پرواز نیز مطرح باشد. خوردگی داغ یا اکسایش در موتور و توربین‌ها مطرح است. خوردگی سایشی به دلیل وجود گرد و غبار، در هوا در بدنه، دریچه‌های ورود هوا، پره‌ها و داخل توربین‌ها قابل بررسی است. خوردگی میکروبی در باک و سیستم سوخت‌رسانی قریب‌الوقوع بوده و خوردگی تنشی و خوردگی خستگی در بال‌ها، ارابه فرود و سایر اجزای بدنه بسیار شایع است. حتی اجزای جانبی هواپیما از جمله تجهیزات الکترونیکی و سیستم تهویه نیز دچار خوردگی خواهند شد؛ بنابراین مکانیزم‌های مختلف خوردگی در یک سازه هوایی قابل طرح و بررسی می‌باشد. به‌طور کلی خوردگی به سه دسته اصلی تقسیم‌بندی می‌شود که کلیه حالت‌های خاص را در برمی‌گیرد: خوردگی فیزیکی، خوردگی شیمیایی و خوردگی الکتروشیمیایی (فونتانو، ترجمه ساعتچی، ۱۳۷۸: ۲۸).

1. SPAR

2. FRAME

3. RIB

4. LONGERON

5. STIFFENER or STRINGER

6. Skin

جدول (۱) ویژگی های خوردگی فیزیکی هواپیماها

خوردگی فیزیکی	
عامل اثرگذار	۱. رطوبت هوا (بخار آب، در اثر برخورد شدید هوا به لبه بال ها، دماغه و تیغه انتهای هواپیما، تحت فشار زیاد میعان شده و به سرعت یخ می زند. یخ زدگی لبه بال ها سبب می شود که تنش زیادی به این قسمت ها وارد شود). ۲. تغییرات دمایی (اولاً انبساط و انقباضی حرارتی در اجزای بدنه هواپیما در نقاط مختلف از جمله اتصالات و پرچ ها سبب می شود که اتصالات تحت تنش های زیادی قرار بگیرند. ثانیاً، افت دما سبب تردی مواد بکار رفته می شود). ۳. تنش های شدید (تمام نقاط بدنه هواپیما پیوسته تحت تنش های کششی، فشاری و نوسانی قرار دارد. نقاطی که تحت تنش کششی قرار دارند، شرایط برای خوردگی تنشی <sup>۱</sup> مهیا می شود).
نوع هواپیما	اکثر هواپیماها بخصوص هواپیماهای سری فانتوم و سوخو
روش پیشگیری	حفاظت آلیاژهای آلومینیوم در برابر خوردگی
ملاحظات امنیتی	آلیاژ مناسب و طراحی سیستم، کنترل محیط و استفاده از ممانعت کننده ها و پوشش های محافظ

جدول (۲) ویژگی های خوردگی شیمیایی هواپیماها

خوردگی شیمیایی	
عامل اثرگذار	مواد شیمیایی، تماس مستقیم سطح فلز با مایع خورنده یا عامل گازی، ریختن اسید باتری یا بخارهای ناشی از آن رسوبات و فلاکس باقی مانده در اتصالات جو و لحیم کاری شده؛ باقی ماندن محلول های خورنده، همچنین برخی از محلول های پاک کننده
نوع هواپیما	اکثر هواپیماها بخصوص هواپیماهای سری فانتوم، سوخو، میگ
روش پیشگیری	فرآیند اکسیداسیون الکترولیکی پلاسمایی
ملاحظات امنیتی	ایجاد پوشش های ضخیم و سخت بر روی آلیاژ آلومینیومی

جدول (۳) ویژگی های خوردگی الکتروشیمیایی هواپیماها

خوردگی الکتروشیمیایی	
عامل اثرگذار	تغییرات آندی و کاتدی
نوع هواپیما	اکثر هواپیماها بخصوص هواپیماهای سری فانتوم، سوخو، میگ
روش پیشگیری	فرآیند اکسیداسیون الکترولیکی پلاسمایی - حفاظت در برابر خوردگی پوشش های آندی
ملاحظات امنیتی	ایجاد پوشش های ضخیم و سخت بر روی آلیاژ آلومینیومی، پوشش های اکسید آندی

<sup>۱</sup>. SCC

## روش‌های پیش‌گیری از انواع خوردگی

### ۱) روش‌های پیش‌گیری از خوردگی یکنواخت

به‌منظور پیش‌گیری یا کاهش میزان خوردگی یکنواخت از روش‌های زیر می‌توان استفاده نمود:

استفاده از انواع پوشش‌ها (فلزی، آلی، معدنی و مرکب)<sup>۱</sup>

کاربرد مواد شیمیایی کندکننده<sup>۲</sup>

محافظت کاتدی

محافظت آندی

تغییر نوع آلیاژ.

### ۲) روش‌های پیش‌گیری از خوردگی گالوانیک

به‌منظور کاهش یا به حداقل رساندن میزان خوردگی گالوانیک از روش‌های تجربی گوناگون استفاده می‌شود. گاهی یک روش و در مواردی نیز ادغامی از چند روش به کار گرفته می‌شود.

روش‌های معمول در این مورد به قرار زیر است:

✓ انتخاب انواعی از فلزات که تا حد امکان در جدول سری گالوانیک به هم نزدیک‌تر باشند.

✓ اجتناب از تأثیر نامطلوب مساحت‌ها (آند کوچک و کاتد بسیار بزرگ).

✓ عایق نمودن فلزات غیر هم‌جنس تا حدی که امکان اجرای عملی آن وجود داشته باشد.

✓ اجرای پوشش مناسب مخصوصاً در منطقه آندی.

✓ اجتناب از اتصالات پیچی به در مورد فلزات دور از یکدیگر در سری گالوانیکی.

✓ طراحی قطعات طوری صورت گیرد که مخصوصاً قسمت‌های آندی را بتوان به راحتی

تعویض نمود و با این قسمت‌ها به‌منظور دوام و عمر بیشتر ضخیم‌تر ساخته شود.

✓ تعبیه یک فلز ثالث در تماس با آن‌ها به طوری که نسبت به هر دو فلز قبلی آندتر باشد.

### ۳) روش‌های پیش‌گیری از خوردگی شکافی

روش‌های معمول جهت کاهش و مبارزه با حملات این نوع خوردگی به قرار زیر است:

- استفاده از اتصالات جوشی لب‌به‌لب به‌جای پرچ، پیچ و یا (رول)<sup>۱</sup>

<sup>۱</sup>. Composite

<sup>۲</sup>. Inhibitors

- جو صحیح و دقیق (بدون ایجاد خلل و فرج و درز) در سطوح داخلی.
- پر کردن درزها و شکافها در اتصالات روی هم توسط جوش کاری ممتد و یکنواخت، (درزگیری)<sup>۲</sup> و یا (لحیم کاری)<sup>۳</sup>
- ایجاد امکان تخلیه کامل ظروف و دستگاهها در طراحی آنها و حذف گوشه های تیز و تند و نیز نقاطی که امکان تجمع و سکون مواد در آن باشد.
- استفاده از واشرهایی که خاصیت جذب آب و رطوبت نداشته باشد.

#### ۴) روش های پیش گیری از خوردگی حفره ای<sup>۴</sup>

روش های معمول جهت مبارزه با این خوردگی تقریباً همان روش هایی است که در مورد خوردگی شکافی به کار می رود. اقدام مناسب آن است که از کاربرد فلزاتی که حساسیت به این نوع خوردگی دارد، اجتناب شود. در برخی موارد از مواد شیمیایی کند کننده استفاده می شود، در این مورد باید توجه کافی نمود که حملات به طور کامل قطع شود و الا نتایج خطرناک تری خواهد داشت.

#### ۵) روش های پیش گیری از خوردگی جدایشی انتخابی

به منظور کاهش و کنترل خوردگی جدایشی می توان به روش های زیر عمل نمود:

- حذف و یا تعدیل عوامل خورنده محیطی (مثلاً اکسیژن موجود)
- اعمال سیستم حفاظت کاتدی: افزودن برخی عناصر به آلیاژها که موجب افزایش مقاومت آن ها در برابر این نوع خوردگی می گردد.

#### ۶) روش های پیش گیری از خوردگی سایشی<sup>۵</sup>

جهت پیش گیری یا به حداقل رساندن خطرات ناشی از خوردگی سایشی به روش های زیر عمل می شود که عبارتند از استفاده از مواد مناسب که مقاومت و نتایج خوبی در برابر خوردگی سایشی داشته باشد. طراحی که به وسیله آن زمان مصرف یا کاربرد اجناس ارزان قیمت را می توان به طور قابل ملاحظه ای توسعه داد. در این روش تغییر شکل قطعات و وسایل مورد نظر قرار

<sup>۱</sup>. Roll

<sup>۲</sup>. Caulking

<sup>۳</sup>. Soldering

<sup>۴</sup>. Pitting corrosion

<sup>۵</sup>. Erosion corrosion

می‌گیرد، نه انتخاب جنس و مواد مصرفی، امکان دخالت در محیط با جذب و خارج‌سازی هوا و تزریق مواد شیمیایی کند کننده روش‌های مؤثری است. استفاده از پوشش‌های مختلف که مانع از تماس سطوح فلزی با محیط خورنده می‌گردد.

#### ۷) روش‌های پیش‌گیری از خوردگی خراشیدگی

برای پیش‌گیری از خوردگی خراشیدگی یا تقابل خسارات آن به روش‌های مختلف عمل می‌شود که در زیر به چند مورد اشاره می‌شود:

روغن کاری قطعات، این عمل اصطکاک بین سطوح لغزنده را کاهش داده و نیز به خارج شدن اکسیژن کمک می‌نماید. افزایش سختی ازدیاد اصطکاک، بین قطعات جفت شده به وسیله ناهموار کردن سطوح تماس استفاده از واشر افزایش بار، جهت کاهش لغزش<sup>۱</sup>، بین سطوح جفت شده.

افزایش حرکت نسبی، بین قطعات متحرک.

#### ۸) روش‌های پیش‌گیری از خوردگی توأم با تنش

برای پیش‌گیری یا کاهش حملات خوردگی تنشی می‌توان با اعمال یک یا چند روش از روش‌های زیر اقدام نمود:

کاهش تنش‌های موجود به وسیله عمل بازپخت (در صورت وجود تنش‌های باقی‌مانده)، یا ضخیم‌تر ساختن قطعه، یا کاهش فشار انجام داد. حذف یا خارج ساختن عوامل مؤثر در محیط که در این مورد می‌توان به روش‌های گوناگون از جمله: (حذف گازها)<sup>۲</sup>، (حذف مواد معدنی)<sup>۳</sup> و یا (تقطیر)<sup>۴</sup> عمل نمود.

تغییر جنس آلیاژ اجرای حفاظت کاتدی که تین کار با استفاده از آندهای فدا شونده و یا به کمک نیروی الکتریکی خارجی انجام می‌گیرد (زمانیان، ۱۳۸۸: ۱۲۱-۹۹).

1. Slip

2. Degasification

3. Demineralization

4. Distillation



## روش های نوین جلوگیری یا کاهش خوردگی

### فرآیند اکسیداسیون الکترولیکی پلاسمایی<sup>۱</sup>

اکسیداسیون الکترولیکی پلاسمایی فرآیندی کاملاً سازگار با محیط زیست می باشد که جهت ایجاد پوشش های ضخیم و سخت بر روی آلیاژ آلومینیومی مورد استفاده قرار گرفته است. در این پژوهش، پوشش های فوق بر روی آلیاژ آلومینیومی سری ۳۷ و با استفاده از حالت جریان مستقیم پالسی تک قطب درون الکترولیت قلیایی رقیق ایجاد شده است. تأثیر متغیرهای فرآیند همچون زمان انجام فرآیند، فرکانس پالس های اعمالی و چرخه کاری آن ها بر روی تشکیل، ساختار و خواص خوردگی پوشش های فوق مورد تحقیق و بررسی قرار گرفته است. مورفولوژی سطحی و ضخامت پوشش ها با استفاده از اس ای ام<sup>۲</sup> تعیین گردید. نتایج به دست آمده حاکی از افزایش ضخامت پوشش با زمان تا در یک محدوده مشخص می باشد. پالس هایی با فرکانس بالا و چرخه کاری پایین، منجر به تراکم پوشش و افزایش مقاومت خوردگی آن می گردد. آلیاژهای آلومینیوم شیوه های مختلفی نظیر توسعه سیستم های آلیاژی جدید، استفاده از ممانعت کننده ها، استفاده از اصلاح کننده های سطحی به منظور تغییر شیمی سطح، ترکیب و خواص سطح آلیاژ صورت پذیرفته است. برای تأمین این هدف، تکنیک های مختلف اصلاح سطح و پوشش دهی ایجاد گشته اند. این تکنیک ها شامل تکنیک کاشت یونی، پوشش های (سل - ژل)، پوشش های تبدیلی، رسوب بخار شیمیایی، (سی دی وی)<sup>۳</sup> رسوب بخار فیزیکی، (پی وی دی)<sup>۴</sup> و اسپری حرارتی می باشند. در این میان و طی چند دهه اخیر، فرآیندهای آندایز بسیار مورد توجه قرار گرفته اند، به موازات تلاش های بسیار در جهت فرآیندهای آندایز پیشرفته، در دهه ی ۷۰ و ۸۰ میلادی در کشور شوروی، امکان ایجاد رسوب اکسیدی بر سطح فلزات مختلف با استفاده از تخلیه الکتریکی سطحی مورد تحقیق و بررسی قرار گرفت. این روش در آن زمان به اکسیداسیون میکرو آرک، (ام آ او)<sup>۵</sup> نام گذاری گردید. پس از فروپاشی شوروی، مبانی علمی و عملی این فرآیند به خارج درز پیدا کرد و اولین بار در آلمان کاربردهای صنعتی آن آغاز گردید. امروزه تکنولوژی انحصاری این فرآیند در اختیار شرکتی انگلیسی با نام (کرونایت)<sup>۶</sup> می باشد. با استفاده از این تکنیک، خواص بسیار مطلوب و

1. PEO

2. SEM

3. CVD

4. PVD

5. MAO

6. Coronite

دست نیافتنی بر روی آلیاژهای آلومینیوم ایجاد کرده‌اند. برخی از خواص گزارش شده توسط این شرکت حاکی از آن است که توانسته‌اند سختی تا  $2000\text{HV}$  بر روی آلیاژ آلومینیومی به دست آورند. با توجه به فرآیند جدید، پی ای او<sup>۱</sup> و قابلیت بالای آن در جهت ایجاد پوشش‌هایی با کیفیت بالا و خواص بسیار مطلوب، لزوم انجام پژوهشی در زمینه‌ی آن به شدت احساس می‌شد.

### حفاظت آلیاژهای آلومینیوم در برابر خوردگی

خوردگی آلیاژهای آلومینیوم با روش‌های مختلفی همچون انتخاب آلیاژ مناسب و طراحی سیستم، کنترل محیط و استفاده از ممانعت کننده‌ها و پوشش‌های محافظ، قابل پیشگیری می‌باشد. پوشش‌های محافظ منجر به گسترش روش‌های متفاوت اصلاح سطح جهت بالا بردن مقاومت خوردگی آلیاژهای آلومینیوم شده است که از آن جمله می‌توان روش‌های کاشت یونی، پوشش‌های سل - ژل، پوشش‌های تبدیلی سی وی دی و پی وی دی و اسپری حرارتی را نام برد. اگرچه هر کدام از این روش‌ها دارای مزایای مربوط به خود می‌باشند، معایب و محدودیت‌های آن‌ها کاملاً واضح است. اکثر این روش‌ها نیازمند دمای بالا در حین فرآیند ((سی دی وی))، (پی وی دی) و اسپری حرارتی) یا عملیات اولیه (سل - ژل) می‌باشند که ممکن است منجر به ضعیف شدن پوشش یا زیر لایه گردند. البته امروزه با استفاده از تکنیک‌های مختلف سعی در کاهش دما در روش‌های (سی دی وی) و (پی وی دی) شده است. در مجموع، کاربرد فرآیند (سل - ژل) به علت چسبندگی ضعیف در فصل مشترک، انقباض و اکسید شدن زیر لایه، محدود می‌باشند. کاشت یونی موفقیت کمی در افزایش پتانسیل الکتریکی حفره‌دار شدن دارا می‌باشند. بخش‌هایی که در ادامه توضیح داده می‌شوند بر روش‌های متداول اصلاح سطحی آلومینیوم، یعنی اکسیداسیون آندی (آندایز)<sup>۲</sup> و تکنیک نسبتاً جدید اکسیداسیون الکترولیتی پلاسمایی تمرکز دارند.

### حفاظت در برابر خوردگی پوشش‌های آندی

پوشش‌های اکسید آندی می‌توانند تا حدودی منجر به حفاظت آلومینیوم در برابر خوردگی گردند، اما در مورد آلیاژهای مستعد به خوردگی قابل اعتماد نیستند. (لی)<sup>۳</sup> و همکارانش خواص

<sup>۱</sup>. PEO

<sup>۲</sup>. Andeza

<sup>۳</sup>. Li

خوردگی پوشش‌های آندی ایجاد شده در الکترولیت اسید سولفوریک را بر روی آلیاژهای پریوتکتیک-Si Al بررسی کردند و متوجه شدند که با وجود حضور ترک‌های کوچک و حفرات نزدیک ذرات فلز ثانویه، کارایی حفاظت خوردگی پوشش‌های آندی در محلول (ان آ سی ال)  $3/5$  درصد وزنی با افزایش پتانسیل خوردگی و کاهش چگالی جریان خوردگی، آشکار می‌گردد.

### روش‌شناسی پژوهش

با توجه به اینکه این تحقیق درصدد تبیین راه کارهای پیش‌گیرانه‌ی نوین جهت جلوگیری از خوردگی در هواپیماها می‌باشد، این موضوع می‌تواند دانش خلبانان و کارکنان فنی مربوط را نسبت به موضوع تحقیق افزایش دهد و از طرفی از آنجا که هدف این تحقیق یافتن پاسخی برای سؤالات مطرح شده می‌باشد تا نتایج آن در تصمیم‌گیری‌های فرماندهان و کارکنان فنی در استفاده از هواپیماها به کار گرفته شود، بنابراین از نظر نوع تحقیق، کاربردی - توسعه‌ای می‌باشد. همچنین روش اجرای تحقیق توصیفی است، چون محقق به دنبال تبیین موضوع بوده و می‌خواهد بداند راه کارهای پیش‌گیرانه‌ی نوین جهت جلوگیری از خوردگی در هواپیماها کدامند؛ به عبارت دیگر این تحقیق وضع موجود را بررسی کرده تا راهکارهای مناسب برای افزایش بهره‌برداری از وسایل پرنده خصوصاً، هواپیماها حاصل گردد.

از طرفی رویکرد تحقیق آمیخته می‌باشد زیرا رویکرد کیفی به‌تنهایی محقق را آن‌طور که انتظار می‌رود نسبت به تبیین راه کارهای پیش‌گیرانه نوین جهت خوردگی در هواپیماها رهنمون نمی‌سازد لذا برای درک بهتر، شواهد بیشتری نیاز بود. به همین جهت از رویکرد آمیخته برای تجزیه و تحلیل داده‌ها استفاده شد.

### یافته‌های حاصله از تجزیه و تحلیل کیفی فرضیه‌های تحقیق

#### فرضیه یکم

انجام بازرسی‌های نوین و به‌موقع با توجه به پیشرفت علوم مختلف از جمله در شیمی، مواد و متالورژی استفاده از تجربیات دانشگاه‌های مختلف که در این خصوص دارای تحقیقات راهگشایی هستند، ضروری به نظر می‌رسد. روش‌های ارائه شده جهت کنترل خوردگی فیزیکی قابل اجرا و کم‌هزینه باشد و آموزش لازم به کارکنان متخصص نگهداری و تعمیراتی داده و با تأکید بر اهمیت نگهداری صحیح هواپیما در کنترل خوردگی به کارکنان فنی شناخت خوردگی و در

<sup>1</sup>. NaCl

صورت شروع، توقف آن در زمان مناسب و قبل از آنکه خوردگی به حدی برسد که قابل رفع نباشد. اهمیت دادن به خوردگی در صورتی که غفلت از آن می‌تواند خسارت جبران‌ناپذیری به سازمان وارد نماید و در این راستا با استفاده از مواد جاذب رطوبت مناسب، استفاده از پوشش‌های مناسب، استفاده از رنگ‌های نانو و بسیاری از راه‌های دیگر می‌توان کمک گرفت. از متداول‌ترین خوردگی فیزیکی می‌توان دما، رطوبت و ... نام برد که با استفاده از فلزات مقاوم در برابر رطوبت، تغییرات دمایی، جلوگیری از نفوذ گردوغبار با به‌کارگیری از رنگ‌های نانو و دیگر امکانات پیشرفته استفاده از مواد و رنگ‌های مختلف که هم در مقابل کروژن مقاوم بوده و هم موجب کاهش سطح مقطع راداری (R.C.S) می‌گردد.

ایده و روش جدید حتماً بایستی دارای زیرساخت لازم باشد. جهت آموزش، تدوین نشریات، تهیه و تأمین تجهیزات و مواد مصرفی مجوزهای لازم اخذ و دارای پشتیبانی کاملی داشته باشد. خوردگی یک فرایند طبیعی است و به‌هیچ‌عنوان نمی‌توان به‌صورت صد در صد از آن جلوگیری کرد، اما می‌توان با روش‌های مختلف تا حدودی آن را کاهش داد. خوردگی فیزیکی را می‌توان در بازدهی‌های دوره‌ای که از مهم‌ترین عوامل جلوگیری از خوردگی می‌باشد، گنجانید. دقت در انجام بازدهی‌های دوره‌ای و اهمیت دادن کارکنان فنی به این روش‌ها مهم است. ایجاد پوشش و قرار دادن ماده‌ای بین محیط و فلز (استفاده از روکش فلزی و آلی) استفاده از ترکیبات مقاوم به خوردگی (فولاد ضدزنگ، نیکل و ترکیبات تیتانیوم)

#### فرضیه دوم

پوشش‌ها و Coating قطعات و آلیاژها خیلی مهم و مؤثر است. بعد از تعمیرات یا ساخت قطعات می‌بایست ابتدا پرایمر و پوشش مناسب آلیاژ (All یا Steel و ...) را ایجاد و سپس رنگ‌آمیزی لازم صورت بگیرد. خوردگی شیمیایی، ناشی از تماس مستقیم سطح فلز با مایع خورنده یا عامل گازی است. عوامل خورنده متداول هجوم مواد شیمیایی در هواپیما عبارت‌اند از: ریختن اسید باتری یا بخارهای ناشی از آن رسوبات و فلاکس باقی‌مانده در اتصالات جوشکاری و لحیم‌کاری شده؛ باقی ماندن محلول‌های خورنده دقت در استفاده از مواد شیمیایی در هواپیماها توسط کارکنان. جلوگیری از برخورد بخارات مواد شیمیایی با فلزات استفاده‌شده در سازه‌های هوایی که علم روز بر این باور است که قبل از شروع کروژن از آن جلوگیری کنیم. ایجاد زیرساخت قوی برای جلوگیری از خوردگی شیمیایی شناخت پدیده خوردگی در نقاط حساس هواپیما و پیدا کردن روش درست شیمیایی جلوگیری از خوردگی باید در دستور کار نهاجا قرار گیرد. فلزات وقتی که سطح آن‌ها در مجاورت هوا اکسید می‌گردد، اکسید آن‌ها متخلخل است

که فلز به تدریج فاسد شده و از بین می‌رود. می‌توان با روش‌های شیمیایی زیر از خوردگی محافظت کرد:

۱- رنگ زدن ۲- زدن ضدزنگ (ماده آلوداین) ۳- چرب کردن سطح فلز به وسیله یک ماده روغنی (گریس) ۴- لعاب دادن ۵- آب کاری فلزات.

به صورت تنگاتنگ با متخصصین صاحب نظر در این علوم همکاری نموده و از علم و تجربه آنان نهایت استفاده را بنماییم. با انعقاد قراردادهایی علوم مدنظر وارد نهاجا (دانشگاه هوایی) شود. این علوم و تخصص‌ها به دانشجویان آموزش داده شده و در سطح نهاجا گسترش یابد.

#### فرضیه سوم

وجود عناصر مختلف در یک پرنده و سطوح و قطعات که روی هم سوار شده‌اند تشکیل پیل گالوانیک داده و سبب خوردگی می‌شود. به طور جدی مراقبت نمود که تماس دو فلز غیر همسان را با روش‌های مختلف از جمله سیل کاری و Coating قطع کرد. بازدیدها و چک‌های کروژن به طور دوره‌ای و مرتب انجام شود.

برای انجام واکنش خوردگی الکتروشیمیایی سه عامل آند، کاتد و در نهایت الکترولیت لازم است. استفاده از دانش و علوم مرتبط و به روز و تجربیات سایر کشورهای پیشرفته استفاده از مواد و رنگ‌های نانو که مانع نفوذ آب، بخار رطوبت که عمده عوامل ایجاد خوردگی الکتروشیمیایی هستند.

بدترین نوع خوردگی در هواپیماها و همچنین مخفی‌ترین نوع خوردگی‌ها، الکتروشیمیایی می‌باشد. خوردگی الکتروشیمیایی به صورت خزنده و نامرئی فلز و اتصالات را از بین می‌برد. برای جلوگیری از خوردگی الکتروشیمیایی باید تا حد امکان از انحلال و برخورد آند و کاتد ممانعت به عمل آورد. به همین منظور بهترین راه از بین بردن الکترولیت است.

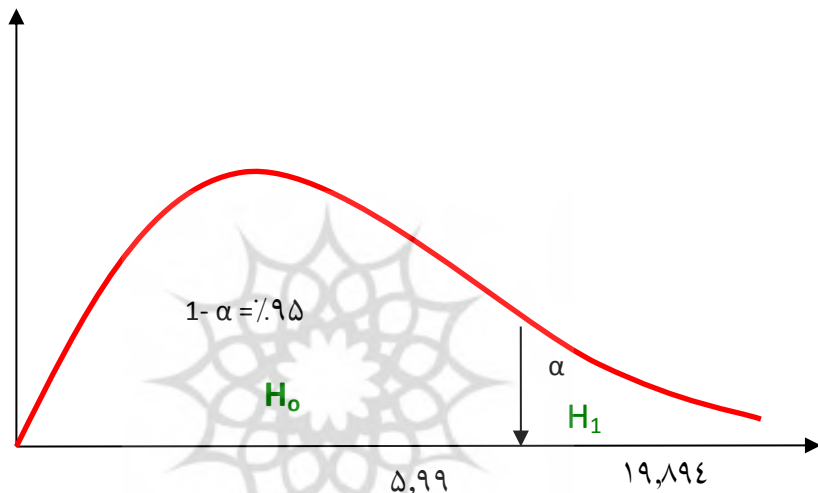
بهترین راه پیشگیری بازرسی‌های به موقع و دقیق و استفاده از تجارب و دانش و علوم روز دانشگاهی در این عرصه است. در محیط‌هایی که شرایط آب و هوایی مرطوب می‌باشد؛ برای جلوگیری از خوردگی باید از رنگ‌های کشتی استفاده کرد. حتی المقدور از جنس‌های فلزی مشابه و یکسان در هواپیما استفاده نمود که مسئله الکترون دهی بین دو فلز حذف گردد. با توجه به مقاومت کامپوزیت‌ها، مواد کامپوزیتی جایگزین شود.

**یافته‌های حاصل از تجزیه و تحلیل فرضیه‌های تحقیق (پرسشنامه)**

پس از تجزیه و تحلیل اطلاعات جمع‌آوری شده از طریق مصاحبه با صاحب‌نظران، پرسش‌نامه و مطالعه منابع و اسناد و مدارک در رابطه با موضوع پژوهش یافته‌های ذیل به نظر می‌رسد:

### یافته‌های حاصله از تجزیه و تحلیل کمی فرضیه‌های تحقیق

الف) فرضیه یکم به نظر می‌رسد با مدنظر قرار دادن عواملی نظیر رطوبت هوا، تغییرات دمایی و تنش‌های شدید می‌توان از به وجود آمدن خوردگی فیزیکی در هواپیماها جلوگیری به عمل آورد.



نمودار (۱) آزمون استقلال فرضیه اول پژوهش

برابر نمودار بالا؛ چون مقدار آماره آزمون (۱۹/۸۹۴) از مقدار آماره بحرانی (۵/۹۹) بزرگ‌تر است؛ بنابراین آماره آزمون در ناحیه  $H_1$  قرار می‌گیرد؛ در نتیجه فرضیه  $H_1$  پذیرفته می‌شود و فرضیه  $H_0$  رد می‌شود.

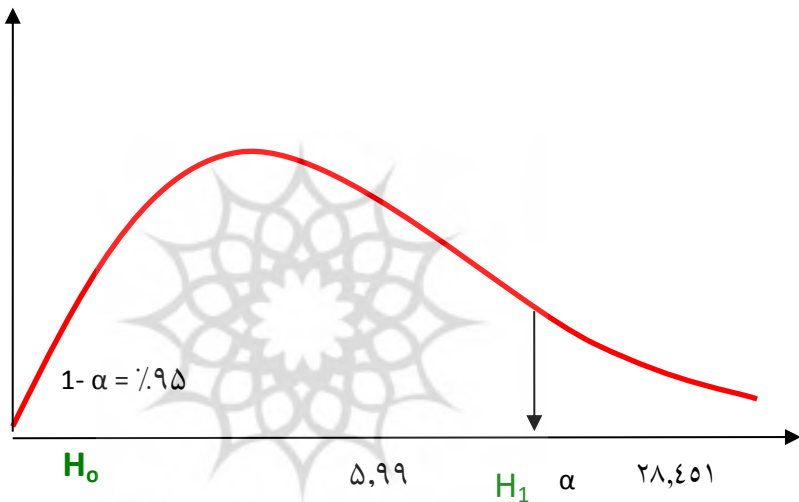
به عبارت دیگر: با سطح اطمینان ۹۵ درصد می‌توان اذعان داشت که " با مدنظر قرار دادن عواملی نظیر رطوبت هوا، تغییرات دمایی و تنش‌های شدید؛ می‌توان از به وجود آمدن خوردگی فیزیکی در هواپیماها جلوگیری به عمل آورد "

### محاسبه ضریب شدت توافقی

$$C = \sqrt{\frac{\chi^2}{\chi^2 + n}} = \sqrt{\frac{19.894}{19.894 + 57}} = 0.51$$

شدت ضریب توافقی محاسبه شده از طریق فرمول بالا مبین آن است که میزان تأثیر متغیر رطوبت هوا، تغییرات دمایی و تنش های شدید؛ می توان از به وجود آمدن خوردگی فیزیکی در هواپیماها جلوگیری به عمل آورد، برابر با ۵۱ درصد می باشد.

ب) فرضیه دوم به نظر می رسد با مدنظر قرار دادن عواملی نظیر اسید باتری یا بخارهای ناشی از آن، رسوبات و فلاکس باقی مانده در اتصالات جوشکاری و لحیم کاری و محلول های پاک کننده؛ می توان از به وجود آمدن خوردگی شیمیایی در هواپیماها جلوگیری به عمل آورد.



نمودار (۲) آزمون استقلال فرضیه دوم پژوهش

برابر نمودار بالا؛ چون مقدار آماره آزمون (۲۸,۴۵۱) از مقدار آماره بحرانی (۵,۹۹) بزرگتر است؛ بنابراین آماره آزمون در ناحیه  $H_1$  قرار می گیرد؛ در نتیجه فرضیه  $H_1$  پذیرفته می شود و فرضیه  $H_0$  رد می شود.

به عبارت دیگر: با سطح اطمینان ۹۵ درصد می توان اذعان داشت که " با مدنظر قرار دادن عواملی نظیر اسید باتری یا بخارهای ناشی از آن، رسوبات و فلاکس باقی مانده در اتصالات جوشکاری و لحیم کاری و محلول های پاک کننده؛ می توان از به وجود آمدن خوردگی شیمیایی در هواپیماها جلوگیری به عمل آورد".

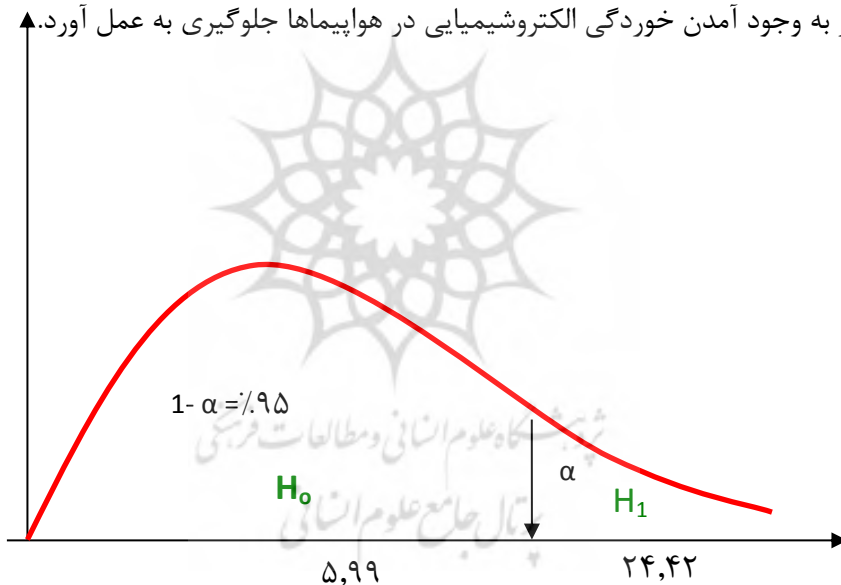
## محاسبه ضریب شدت توافقی:

$$C = \sqrt{\frac{\chi^2}{\chi^2 + n}} = \sqrt{\frac{28.451}{28.451 + 57}} = 0.58$$

شدت ضریب توافقی محاسبه شده از طریق فرمول بالا مبین آن است که میزان تأثیر متغیر عواملی نظیر اسید باتری یا بخارهای ناشی از آن، رسوبات و فلاکس باقی مانده در اتصالات جوشکاری و لحیم کاری و محلول های پاک کننده؛ می توان از به وجود آمدن خوردگی شیمیایی در هواپیماها جلوگیری به عمل آورد، برابر با ۵۸ درصد می باشد.

پ) فرضیه سوم به نظر می رسد با مدنظر قرار دادن عواملی نظیر آند، کاتد و الکترولیت؛ می-

توان از به وجود آمدن خوردگی الکتروشیمیایی در هواپیماها جلوگیری به عمل آورد.



نمودار (۳) آزمون استقلال فرضیه سوم پژوهش

برابر نمودار بالا؛ چون مقدار آماره آزمون (۲۴,۴۲) از مقدار آماره بحرانی (۵,۹۹) بزرگ تر است؛ بنابراین آماره آزمون در ناحیه  $H_1$  قرار می گیرد؛ در نتیجه فرضیه  $H_1$  پذیرفته می شود و فرضیه  $H_0$  رد می شود.



به عبارت دیگر: با سطح اطمینان ۹۵ درصد می توان اذعان داشت که " با مدنظر قرار دادن عواملی نظیر آند، کاتد و الکترولیت؛ می توان از به وجود آمدن خوردگی الکتروشیمیایی در هواپیماها جلوگیری به عمل آورد."

#### محاسبه ضریب شدت توافقی

$$C = \sqrt{\frac{\chi^2}{\chi^2 + n}} = \sqrt{\frac{24.42}{24.42 + 57}} = 0.55$$

شدت ضریب توافقی محاسبه شده از طریق فرمول بالا مبین آن است که میزان تأثیر متغیر عواملی نظیر آند، کاتد و الکترولیت؛ می توان از به وجود آمدن خوردگی الکتروشیمیایی در هواپیماها جلوگیری به عمل آورد، برابر با ۵۵ درصد می باشد.

#### نتیجه گیری

الف) هدف اجرایی یکم: تبیین راه کارهای پیشگیرانه نوین فیزیکی جهت جلوگیری از خوردگی در هواپیماها

پوشش های موقت سطحی، استفاده از ممانعت کننده های خوردگی فاز بخار، استفاده از مواد جاذب رطوبت، استفاده از سیستم ذخیره ساز هوای خشک، استفاده از سیستم ذخیره سازی پوشش قابل انعطاف، کانراس<sup>۱</sup>، استفاده از سیستم ذخیره سازی خشک کنترل شده- متناسب با شکل تجهیزات، استفاده از فلزات مقاوم در برابر تغییرات دمایی، ایجاد شرایط نگهداری مناسب، افزایش سختی فلزات، ازدیاد اصطکاک (بین قطعات جفت شده به وسیله ناهموار کردن سطوح تماس)، استفاده از واشر، افزایش بار (جهت کاهش لغزش، بین سطوح جفت شده)، افزایش حرکت نسبی (بین قطعات متحرک)، کاهش تنش های موجود به وسیله عمل بازپخت (در صورت وجود تنش های باقی مانده)، یا ضخیم تر ساختن قطعه، یا کاهش فشار، استفاده از رنگ- های نانو.

ب) هدف اجرایی دوم: تبیین راه کارهای پیشگیرانه نوین شیمیایی جهت جلوگیری از خوردگی در هواپیماها

استفاده از انواع پوشش ها (فلزی، آلی، معدنی و مرکب)، کاربرد مواد شیمیایی کندکننده، تغییر نوع آلیاژ، عایق نمودن فلزات غیر همجنس تا حدی که امکان اجرای عملی آن وجود داشته

<sup>۱</sup>. CONRASS

باشد، اجرای پوشش مناسب مخصوصاً در منطقه آندی، اجتناب از اتصالات پیچی، تعبیه یک فلز ثالث در تماس با آن‌ها به طوری که نسبت به هر دو فلز قبلی آندتر باشد، استفاده از اتصالات جوشی لب‌به‌لب به جای پرچ، پیچ و یا (رول)، جو صحیح و دقیق (بدون ایجاد خلل و فرج و درز) در سطوح داخلی، پر کردن درزها و شکاف‌ها در اتصالات روی هم توسط جو ممتد و یکنواخت، (درزگیری) و یا (لحیم‌کاری)، استفاده از واشرهایی که خاصیت جذب آب و رطوبت نداشته باشد، حذف و یا تعدیل عوامل خورنده محیطی (مثلاً اکسیژن موجود)، اعمال سیستم حفاظت کاتدی، افزودن برخی عناصر به آلیاژها که موجب افزایش مقاومت آن‌ها در برابر این نوع خوردگی می‌گردد، طرح‌هایی که به وسیله آن زمان مصرف یا کاربرد اجناس ارزان قیمت را می‌توان به طور قابل ملاحظه‌ای توسعه داد. در این روش تغییر شکل قطعات و وسایل موردنظر قرار می‌گیرد، نه انتخاب جنس و مواد مصرفی، امکان دخالت در محیط با جذب و خارج‌سازی هوا و تزریق مواد شیمیایی کند کننده، استفاده از پوشش‌های مختلف که مانع از تماس سطوح فلزی با محیط خورنده می‌گردد، روغن‌کاری قطعات، این عمل اصطکاک بین سطوح لغزنده را کاهش داده و نیز به خارج شدن اکسیژن کمک می‌نماید، حذف یا خارج ساختن عوامل مؤثر در محیط که در این مورد می‌توان به روش‌های گوناگون از جمله: (حذف گازها)، (حذف مواد معدنی) و یا (تقطیر) عمل نمود، تغییر جنس آلیاژ، اجرای حفاظت کاتدی که این کار با استفاده از آندهای فدا شونده و یا به کمک نیروی الکتریکی خارجی انجام می‌گیرد.

پ) هدف اجرایی سوم: تبیین راه‌کارهای پیشگیرانه نوین الکتروشیمیایی جهت جلوگیری از خوردگی در هواپیماها

فرآیند اکسیداسیون الکترولیکی پلاسمایی<sup>۱</sup>، فرآیند آندایزینگ، حفاظت در برابر خوردگی پوشش‌های آندی، پوشش‌های تبدیلی کروماته، استفاده از نانو رنگ‌های پلیمری جهت عایق‌کاری حرارتی و ضد خوردگی، استفاده از پوشش‌های سرامیکی با فناوری نانو، انتخاب انواعی از فلزات که تا حد امکان در جدول سری گالوانیک به هم نزدیک‌تر باشند، اجتناب از تأثیر نامطلوب مساحت‌ها (آند کوچک و کاتد بسیار بزرگ)، عایق نمودن فلزات غیر هم‌جنس تا حدی که امکان اجرای عملی آن وجود داشته باشد، اجرای پوشش مناسب مخصوصاً در منطقه آندی. در مورد فلزات دور از یکدیگر در سری گالوانیکی طراحی قطعات طوری صورت گیرد که مخصوصاً قسمت‌های آندی را بتوان به راحتی تعویض نمود و با این قسمت‌ها به منظور دوام و

<sup>۱</sup>. PEO

عمر بیشتر ضخیم تر ساخته شود، تعبیه یک فلز ثالث در تماس با آن‌ها به طوری که نسبت به هر دو فلز قبلی آند تر باشد، حذف و یا تعدیل عوامل خورنده محیطی (مثلاً اکسیژن موجود)، اعمال سیستم حفاظت کاتدی، افزودن برخی عناصر به آلیاژها که موجب افزایش مقاومت آن‌ها در برابر این نوع خوردگی می‌گردد.

## منابع

- اخوان، امیر ناصر. (۱۳۷۹). *ساختمان هواپیما*، تهران: انتشارات خوش آوا، چاپ اول.
- انوری، حسن. (۱۳۸۳). *فرهنگ فشرده سخن*، تهران: انتشارات سخن، جلد اول.
- زمانیان، رحیم. (۱۳۸۸). *خوردگی و روش‌های کنترل آن*، انتشارات دانشگاه تهران، چاپ پنجم.
- فرزاد، منصور. (۱۳۹۰). *مهندسی خوردگی و روش‌های کنترل آن*، موسسه انتشارات یادواره کتاب، چاپ دوم.
- فرهنگ آکسفورد المنتری. (۱۳۸۶). انتشارات رامین، چاپ دهم.
- فونتانا، جورج. (۱۳۷۸). *مهندسی خوردگی*، ترجمه دکتر احمد ساعتچی، انتشارات جهاد دانشگاهی، واحد صنعتی اصفهان.
- Azbar, N. Yonar, T. & Kestioglu, k. (2012). *Ccomparison of various advanced oxidation processes and chemical treatment methods for COD colour removal from a polvester and acetate fiber dyeing effluent chemosphere*, 55, PP: 35-43.
- Guttenplan, J.D. (2008). Corrosion in the electronics indutstre page 1107-1112.
- <http://www.aja.ir/portal/Home/ShowPage.aspx?Object=News&CategoryID>.
- Kim, S.Y. An, J. Y. & Kim, B.W. (2013). The effects of reductant and carbon source on the microbial decolorization of azo dyes in anaerobic sludge process Dyes pigm, pp:1-8.
- Malayoglu, K. C. Tekin, U. Malayoglu, U. & Shrestha, S. (2011). An investigation into the mechanical and tribological properties of plasma electrolytic oxidation and hard-anodized coatings on 6082 aluminum alloy, *Materials Science and Engineering*: 528, PP: 7451-7460.
- Nilsson, I. Moller, A. Mattiasson, B. Rubindamayagi, M.S.T. & Welander, U. (2006). *Decolorization of Synthetic and real textile wastewater by the use of white-rot fungi enzyme microb technol*, 38, PP: 94-100.
- White, E. Shnski, G. Dobh, s.B. (2005). *Metals handbook vol 15* page 1113-1126.
- Zille, A. (2014). *Laccase reations for textile applications universidade do min ho ph. D thesis*, PP: 5-20.