کاربرد پیل‌های سوختی در سیستم پیشرانش هواپیماهای بدون سرنشین سبک

جاماسب پیرکندی، استادیار مجتمع دانشگاهی هوافضا، دانشگاه صنعتی مالک اشتر
jamasb_p@yahoo.com
مهناز ذاکری، استادیار مهندسی هوافضا، قطب علمی طراحی و شبیه‌سازی سامانه‌های فضایی، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی
m.zakeri@kntu.ac.ir

چکیده
امروزه، با توجه به روند روبه رشد استفاده از هواپیماهای بدون سرنشین در صنایع نظامی، استفاده از سیستم‌های نوین تولید قدرت، که علاوه بر بازدهی بالا قدرت مناسبی جهت افزایش مداومت پروازی داشته باشند، در اولویت قرار گرفته است. هدف این مقاله، بررسی امکان به‌کارگیری پیل سوختی پلیمری به‌عنوان یک سیستم پیشرانش نوین در تأمین توان لازم برای هواپیماهای بدون سرنشین سبک است. برای این منظور، ابتدا کاربرد پیل‌های سوختی در هواپیماهای بدون سرنشین مرور و، پس از آن، یک سیستم پیشرانش با حضور پیل سوختی پلیمری جهت تأمین توان الکتریکی هواپیمای بدون سرنشین سبک معرفی می‌شود. در ادامه، اجزای این سیستم از قبیل پیل سوختی، مخازن هیدروژن، موتور و ملخ بررسی و در نهایت پارامترهای مهم و اثرگذار در انتخاب و طراحی این دسته از سیستم‌های پیشرانش معرفی می‌شود.

واژگان کلیدی: پیل سوختی پلیمری، سیستم پیشرانش، هواپیمای بدون سرنشین سبک، پهپاد

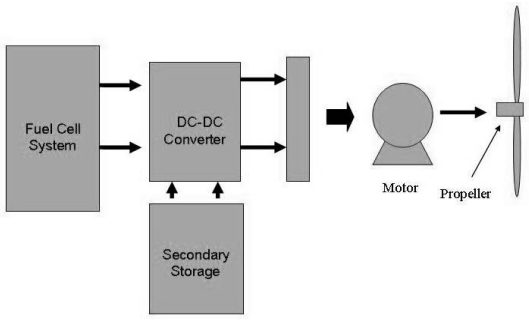
مقدمه

در سال‌های اخیر، هواپیماهای بدون سرنشین سبک[1] به‌طور فزاینده‌ای در کشورهای گوناگون مورد استفاده و بهره‌برداری قرار گرفته‌اند. امروزه عمدهٔ مأموریت‌های هوایی نظامی و بسیاری از مأموریت‌های هوایی غیرنظامی توسط این دسته از هواپیماها انجام می‌شود. استفادهٔ عملیاتی از هواپیماهای بدون سرنشین برای نخستین‌بار همزمان با جنگ جهانی دوم شروع شد و در طی سالیان اخیر رشد چشمگیری پیدا کرد. جنگ‌ها و کشمکش‌های جهانی، خصوصاً جنگ خلیج فارس، افغانستان و عراق و گسترش استفاده از هواپیماهای بدون سرنشین سبب شده است تا بسیاری از کشورها همچون امریکا، روسیه، ایتالیا،

ترکیه و جز این‌ها از این هواپیماها در صنایع نظامی و غیرنظامی خود استفاده کنند. از جمله دلائلی که سبب گرایش این کشورها به‌سمت این دسته از هواپیماها شده است، هزینه‌های نسبتاً پایین مربوط به طراحی و ساخت آنها در مقایسه با نمونه‌های سرنشین‌دار (با مأموریت‌های مشابه)، همچنین خطر کم برای نیروهای انسانی است. با توجه به مزایای این نوع هواپیماها در مقایسه با نوع سرنشین‌دار، و براساس مطالعات انجام‌شده، به‌نظر می‌رسد طی سالیان آینده بیشتر مأموریت‌های نظامی و غیرنظامی توسط این دسته از هواپیماها انجام شود [۱].

پیل سوختی[۲] از جمله فناوری‌های نوین تولید انرژی است که سازگاری خوبی با محیط زیست دارد و جانشین مناسبی برای فرایندهای احتراقی سوخت‌های فسیلی در سیستم‌های تولید توان محسوب می‌شود. قابلیت شارژپذیری و چگالی انرژی بالای پیل‌های سوختی دو عامل اساسی جهت استفاده از آنها در هواپیماهای بدون سرنشین است. باطری‌های پیشرفتهٔ امروزی با قابلیت شارژپذیری می‌توانند حداکثر چگالی انرژی ۱۵۰ وات ساعت بر کیلوگرم را تولید کنند؛ این در حالی است که پیل‌های سوختی می‌توانند در مرحلهٔ سیستمی، چگالی انرژی بزرگ‌تر از ۸۰۰ وات ساعت بر کیلوگرم را تولید نمایند [۲]. در سال‌های اخیر، تلاش‌های قابل توجهی جهت به‌کارگیری مؤثر این فناوری در ساخت هواپیماهای بدون سرنشین انجام شده است؛ زیرا هواپیماهای بدون سرنشین کوچک جهت رسیدن به بیشترین مدت زمان پرواز، به‌دلیل نیاز به وزن و ابعاد کم و حالت آئرودینامیکی، نیازمند طراحی منبع تأمین انرژی با بیشترین چگالی توان می‌باشند.

هدف اصلی این مقاله بررسی کاربرد پیل سوختی پلیمری به‌عنوان سیستمی مهم جهت تأمین توان لازم برای هواپیماهای بدون سرنشین سبک است. همان‌طور که در شکل ۱ مشاهده می‌شود، پیل سوختی، موتور الکتریکی، ملخ و مخزن ثانویهٔ هیدروژن از جمله اجزای اصلی تولید نیروی پیشران در این دسته از هواپیماها محسوب می‌شوند. بررسی نکات مهم در انتخاب اجزای سیستم پیشرانش و نحوهٔ چیدمان آنها در هواپیما از دیگر موارد مطرح‌شده در این مقاله است.



شکل ۱. نمایی شماتیک از سیستم پیشران با پیل سوختی

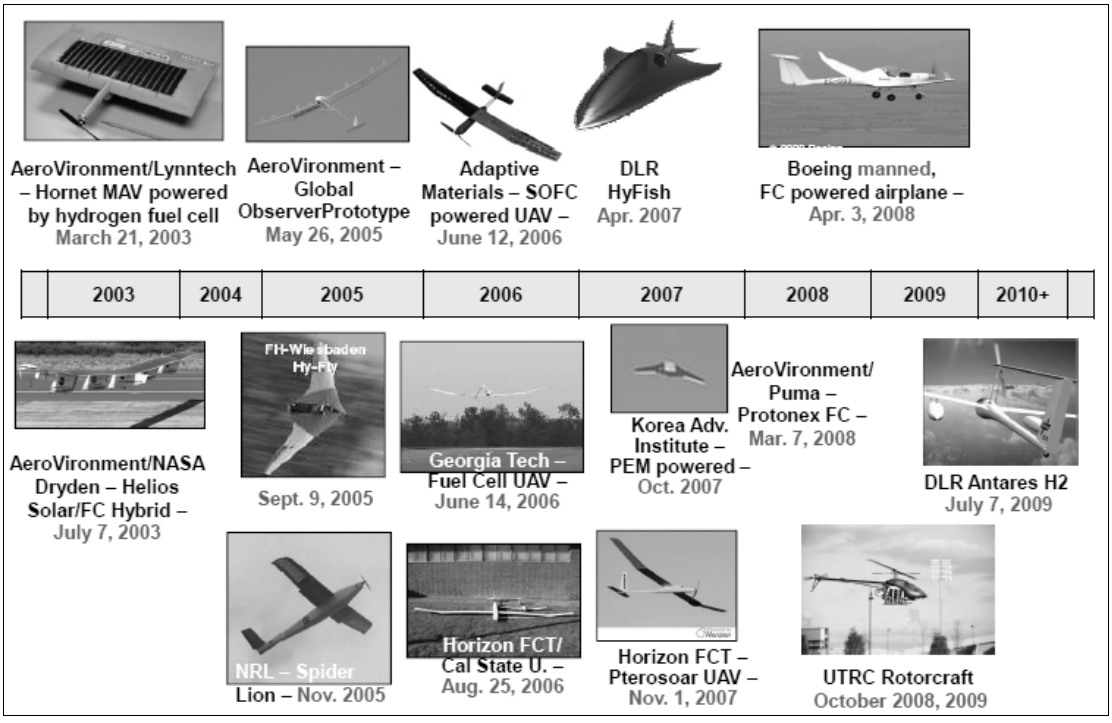
پهپاد با نیروی پیشران پیل سوختی

در اواخر دههٔ ۹۰، استفاده از پیل‌های سوختی به‌عنوان منبع تولید توان در هواپیماهای بدون سرنشین، مورد توجه پژوهشگران قرار گرفت. در شکل ۲ بخشی از تاریخچهٔ پیشرفت استفاده از پیل‌های سوختی در هواپیماهای‌های بدون سرنشین نمایش داده شده است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود، استفاده از پیل سوختی در سیستم‌های پیشران هوایی، به‌خصوص در هواپیماهای بدون سرنشین، گسترش چشمگیری داشته است.

مثلاً در سال ۲۰۰۳، هواپیمای بدون سرنشین کوچکی به‌نام هورنت[۳]، با وزن تقریبی ۱۷۰ گرم و طول بال ۳۸/۱ سانتی‌متر و با مداومت پروازی ۱۵ دقیقه، توسط شرکت ارو وارومنت[۴] ساخته شد. در این هواپیما از فناوری پیل سوختی پلیمری استفاده شد که منبع تأمین هیدروژن ترکیب سدیم بورهیدرید بود [۳]. در سال ۲۰۰۵، هواپیمای بدون سرنشین گلوبال آبزرور[۵] توسط همین شرکت، با قابلیت پرواز ۲۴ ساعت ساخته شد. این هواپیما، با طول بال ۱۵/۲۴ متر، در آزمایش‌های اولیه با استفاده از پیل سوختی ۱/۵ کیلوواتی (با سوخت هیدروژن مایع) برای یک ساعت پرواز کرد. نوع پیشرفتهٔ این هواپیما در سال ۲۰۱۰ توانست برای ۵ الی ۷ روز در ارتفاع ۵۵۰۰۰ تا ۶۵۰۰۰ پا پرواز کند. وزن محمولهٔ

این هواپیما در حدود ۱۰۰۰ پوند و طول بال‌های آن ۸۰ متر بود. در سال ۲۰۰۵، هواپیمای بدون سرنشینی به‌نام اسپایدر لایِن[۶] با وزن تقریبی ۲/۵۴ الی ۳/۱ کیلوگرم و طول بال ۲/۲ متر، توسط شرکت پروتنکس[۷] ساخته شد (شکل ۳).

سیستم پیشرانش این هواپیما با استفاده از تودهٔ پیل سوختی منحصر به‌فرد پلیمری با غشاء چندلایه و با سوخت هیدروژن فشرده و با توان بیشینهٔ ۱۰۰ الی ۱۱۵ وات بود و آزمایش آن در سال ۲۰۰۵ با سوخت هیدروژن فشرده به‌مدت سه ساعت و نوزده دقیقه انجام شد. در سال ۲۰۰۶، هواپیمای بدون سرنشین دیگری با نیروی پیشرانش پیل سوختی، توسط مؤسسهٔ فناوری جورجیا[۸] و با همکاری سازمان ملی هوانوردی و فضایی امریکا (ناسا)[۹] طراحی شد (شکل ۴).

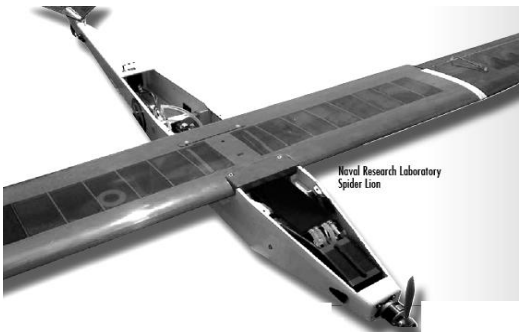


شکل ۲. گاه‌شماری استفاده از پیل سوختی در صنعت هوافضا [۳]

این هواپیما با وزن ۱۶/۴ کیلوگرم، دهانهٔ بال ۶/۵۸ متر و قابلیت پرواز ۴۵ دقیقه طراحی و ساخته شد. پیل سوختی به‌کار رفته در آن نیز از نوع پلیمری، توان تولیدی آن ۵۰۰ وات و سوخت استفاده‌شده در آن هیدروژن فشرده در نظر گرفته شده بود. توزیع جرمی اجزای گوناگون این هواپیما نشان می‌دهد که وزن سیستم پیشرانش، تقریباً ۵۷ درصد وزن کل آن است که ۳۰ درصد از آن متعلق به پیل سوختی می‌باشد. در سال ۲۰۰۶، هواپیمای بدون سرنشین دیگری با نیروی پیشران پیل سوختی، با وزن ۱۲/۹ کیلوگرم و طول بال ۵/۴۹ متر، توسط دانشگاه ایالتی کلیفورنیا[۱۰] و با همکاری سازمان ملی هوانوردی و فضایی امریکا و نیروی هوایی این کشور، ساخته شد. سیستم پیشران این هواپیما یک پیل سوختی پلیمری با توان بیشینهٔ ۶۵۰ وات بود. در سال ۲۰۰۷ نیز هواپیمای بدون سرنشین و دست‌پرتاب پوما[۱۱] با طول بال ۲/۶ متر، وزن ۶/۴۴ کیلوگرم، توسط شرکت ارو وارومنت با قابلیت پرواز ۷ ساعت طراحی و ساخته شد. پیل سوختی به‌کار رفته در این هواپیما از نوع پلیمری و با توان یک کیلووات بود. نوع سوخت به‌کار رفته در این پیل نیز از نوع متال هیدرید بود. در پروازی دیگر، این هواپیما با طول بال ۲/۶ متر و وزن

۵/۶ کیلوگرم به‌مدت ۹ ساعت پرواز کرد. پیل سوختی به‌کار رفته در این هواپیما ۲۵۰ وات بود که می‌توانست برای ۱۰ دقیقه توانی معادل ۵۰۰ وات تولـید کند (شکل ۵).

در سال ۲۰۰۷، ساخت هواپیمای بدون سرنشین های‌فیش[۱۲] با مشارکت شرکت اسمارت‌فیش[۱۳] سوئیس و مؤسسهٔ هوافضای آلمان انجام شد. این هواپیما، با پیشران پیل سوختی هیدروژنی، قادر بود بدون استفاده از موتور احتراق داخلی[۱۴] با سرعتی معادل ۲۰۰ کیلومتر بر ساعت، به‌مدت ۱۵ دقیقه، پرواز کند. این هواپیما با وزن ۶/۱ کیلوگرم و با طول بال ۱/۵ متر از پیل سوختی ۱ کیلوواتی ساخت شرکت سنگاپوری هورایزن[۱۵] و با سوخت هیدروژن فشرده، جهت تأمین انرژی استفاده می‌کرد.

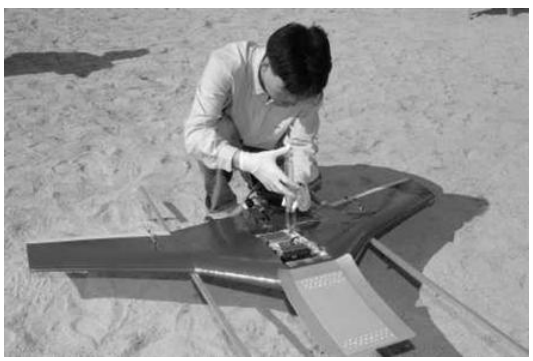


شکل ۳. نمایی از هواپیمای اسپایدر لایـن [۳]

شکل ۴. نمایی از هواپیمای جورجیا [۴]

در همین سال، هواپیمای بدون سرنشین دیگری در مؤسسهٔ پیشرو در علوم و فناوری کره[۱۶] با سیستم پیشرانش پیل سوختی ساخته شد (شکل ۶). ظرفیت پیل سوختی به‌کار رفته در حدود ۷۵ وات بود و در آن از هیدروژن مایع به‌عنوان سوخت استفاده می‌شد. این هواپیما قادر بود با ۵۰۰ گرم هیدروژن مایع به‌مدت ۵ ساعت پرواز کند. پهنای این هواپیما ۱/۲ متر و طول آن ۰/۷ متر و وزن آن نیز دو کیلوگرم بود که ۷۵۰ گرم آن مربوط به پیل سوختی می‌شد.

شکل ۵. نمایی از هواپیمای پوما [۵]


شکل ۶. نمایی از هواپیمای ساخت کره [۳]

در سال ۲۰۰۸، دکتر مازیار ارجمندی، استاد دانشکدهٔ مهندسی مکانیک دانشگاه آدلاید[۱۷]، هواپیمای سبک های‌فایو[۱۸] با وزن تقریبی ۱۰ کیلوگرم را با استفاده از نیروی پیشران پیل سوختی طراحی کرد (شکل ۷). بیشینهٔ توان مورد نیاز این هواپیما در حالت کروز ۲۲۰ وات است. پیل سوختی استفاده‌شده برای این هواپیما، با توان ۳۰۰ وات، ساخت شرکت هورایزن بود. در سال ۲۰۰۹، آزمایشگاه تحقیقاتی نیروی دریایی ایالات متحدهٔ امریکا[۱۹] با همکاری دانشگاه هاوایی[۲۰] هواپیمای بدون سرنشین یان‌تایـگر[۲۱] را با استفاده از نیروی پیشران پیل‌سوختی به پرواز درآورد.

وزن این هواپیما ۱۷ کیلوگرم و توان پیل سوختی به‌کار رفته در آن ۵۵۰ وات بود. آخرین آزمایش این هواپیما با وزن محمولهٔ ۱/۸ الی ۲/۳ کیلوگرم در حدود ۲۶ ساعت و یک دقیقه بود. پیل سوختی به‌کار رفته در آن، بازده‌ای در حدود چهار برابر بازدهٔ موتورهای احتراق داخلی داشت. در سال ۲۰۰۹، هواپیمایی با وزن خالی ۹ کیلوگرم و طول بال ۵ متر با نیروی پیشران پیل سوختی در مالزی به پرواز درآمد. پیل سوختی به‌کار رفته در این هواپیما از نوع پلیمری و ساخت شرکت هورایزن و با توان ۵۰۰ وات بود (شکل ۸).

شکل ۷. نمایی از هواپیمای های‌فایو [۳]

شکل ۸ نمایی از هواپیمای ساخت مالزی [۷]

در سال ۲۰۱۰، مؤسسهٔ تحقیقاتی هوافضای کره توانست هواپیمایی به‌نام کاری با نیروی پیشران پیل سوختی و باطری را به‌مدت ۵ ساعت به پرواز درآورد. پیل سوختی به‌کار رفته در این هواپیما ۶۰۰ وات و ساخت شرکت هورایزن بود. در همین سال یک شرکت روسی[۲۲] نیز با همکاری شرکت هورایزن توانست هواپیمایی با وزن حدود ۱۰ کیلوگرم را با استفاده از یک پیل سوختی با توان ۶۰۰ وات، به‌مدت ۵ ساعت به پرواز درآورد. سوخت به‌کار رفته در این هواپیما هیدروژن فشرده بود [۷].

مطالعات آماری نشان می‌دهد که پیل سوختی به‌کار رفته در بیشتر هواپیماهای بدون سرنشین سبک از نوع پلیمری است و توان آنها بسته به وزن هواپیما در محدودهٔ ۳۰۰ الی ۱۰۰۰ وات قرار دارد (جدول ۱).

جدول ۱. مقایسه پیل‌های سوختی به‌کار رفته در تعدادی از هواپیماهای بدون سرنشین سبک

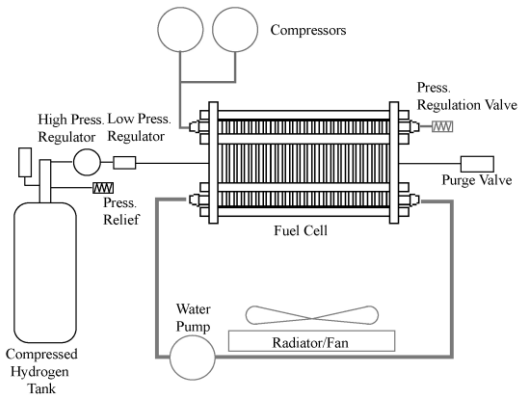
هواپیما	سال تولید	وزن کیلوگرم	توان وات
Georgia Tech	۲۰۰۶	۱۶/۴	۵۰۰
Cal-state LA	۲۰۰۶	۱۲/۹	۶۵۰
Hy-Five	۲۰۰۸	۱۰	۳۰۰
Ion Tiger UAV	۲۰۰۹	۱۷	۵۵۰
UAV Malaysia	۲۰۰۹	۱۳	۵۰۰
Grey Faced Buzzard	۲۰۱۰	۳۰	۱۰۰۰
CIAM-80 mini	۲۰۱۰	۱۰	۶۰۰
EAV-1 (KARI)	۲۰۱۰	۱۰	۶۰۰

سیستم پیشنهادی

در شکل ۹ نمایی کلی از اجزای پیل سوختی مورد استفاده در هواپیماها نمایش داده شده است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود، این سیستم از اجزای زیر تشکیل شده است:

۱. استک پیل سوختی
۲. سیستم کنترل دما
۳. سیستم کنترل و تغذیهٔ هوا
۴. سیستم ذخیره‌سازی و تغذیهٔ هیدروژن
۵. موتور الکتریکی
۶. ملخ

در ادامه تمام اجزای تشکیل‌دهنده به تفکیک مورد بررسی قرار خواهند گرفت. قابل ذکر است که در هواپیماهای بدون سرنشین معمولاً از پیل سوختی در حالت کروز استفاده می‌شود؛ برای سایر حالت‌های پروازی از قبیل برخاست و اوج‌گیری از باطری به‌عنوان منبع تولید توان استفاده می‌شود. دلیل عمدهٔ این مسئله نیز وزن و هزینه‌های بالای پیل‌های سوختی با ظرفیت‌های بالاست.



شکل ۹. نمایی شماتیک از اجزای سیستم پیشرانش با پیل سوختی

پیل سوختی

اگرچه به‌تازگی پیل سوختی به‌عنوان یکی از راه‌کارهای تولید انرژی الکتریکی مطرح شده است، اما تاریخچهٔ آن به قرن نوزدهم و تلاش‌های سر ویلیام رابرت گروو[۲۳]، فیزیک‌دان شهیر انگلیسی، بازمی‌گردد. گروو نخستین پیل سوختی را در سال ۱۸۳۹ با الهام‌گرفتن از واکنش الکترولیز آب، طی واکنش معکوس و در حضور کاتالیست پلاتین ساخت. واژهٔ پیل سوختی در سال ۱۸۸۹ توسط لودویک ماند[۲۴] و چارلز لنجر[۲۵] به‌کار گرفته شد [۲]. در اوائل قرن بیستم، در جهت توسعهٔ پیل سوختی تلاش‌های بسیاری شد که به‌دلیل درک علمی غیرصحیح از موضوع هیچ‌یک موفقیت‌آمیز نبود. در دههٔ ۸۰ م، استفاده از پیل سوختی در برنامهٔ شاتل مدنظر قرار گرفت؛ در دههٔ ۹۰ نیز بررسی و استفاده از این سیستم برای بالون‌های ارتفاع بالا و پایگاه‌های فضایی مورد توجه قرار گرفت. در اواخر دههٔ ۹۰ استفاده از پیل‌های سوختی به‌عنوان منبع تولید توان در هواپیماهای بدون سرنشین مورد توجه پژوهشگران قرار گرفت. با توجه به خصوصیات پیل‌های سوختی، پیل سوختی پلیمری (هیدروژنی) جهت کاربرد در هواپیماهای بدون سرنشین مناسب است [۳]. در این نوع از پیل‌های سوختی، از الکترولیت‌های پلیمری استفاده می‌شود که از جمله پلیمرهای قادر به عبوردهندگی پروتون هستند. طراحی ساده، دانسیتهٔ انرژی بالا، وزن کم، بازده بالا، دمای کارکرد پایین (حدود ۸۰ درجهٔ سانتی‌گراد که ردیابی سیگنال‌های حرارتی آن بسیار دشوار است)، زمان راه‌اندازی بسیار کوتاه و جامدبودن الکترولیت (که مشکل الکترولیت‌های مایع و خورندگی در آن وجود ندارد) از مزایای عمدهٔ این پیل‌هاست. اساس کار پیل سوختی پلیمری در روابط ۱ تا ۳ آمده است. به‌طور کلی تمامی واکنش‌های الکتروشیمیایی از دو نیمه‌واکنش تشکیل شده‌اند که در الکترودهای آند و کاتد انجام می‌شوند. در پیل سوختی پلیمری یون‌های هیدروژن تولیدشده در آند از غشای رسانای یون عبور کرده و به کاتد می‌رسند. الکترون آزادشده در آند نیز از طریق جریان خارجی به کاتد منتقل می‌شود. در کاتد اکسیژن با یون‌های هیدروژن و الکترون ترکیب شده، آب و گرما تولید می‌شود [۲].

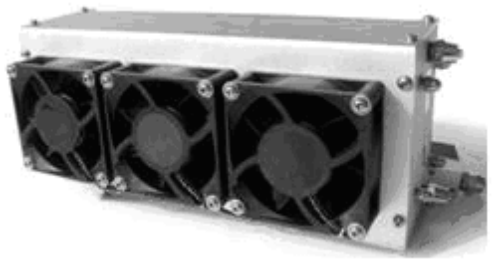
$$\text{anode}: \ H_2 \rightarrow 2H^+ + 2e^- \qquad (۱)$$

$$\text{cathode}: \ \frac{1}{2}O_2 + 2e^- + 2H^+ \rightarrow H_2O \qquad (۲)$$

$$\text{total}: \ H_2 + \frac{1}{2}O_2 \rightarrow H_2O \qquad (۳)$$

نیمه‌واکنش‌های ۱ و ۲، معمولاً بسیار آهسته و در دمای کم انجام می‌شود. افزایش دما و فشار کاری پیل سبب بهبود عملکرد آن می‌شود. در شکل ۱۰ نمایی شماتیک از استک یک پیل سوختی به‌کار رفته در این نوع از سیستم‌های تولید توان نمایش داده شده است. استک پیل سوختی، انرژی شیمیایی هیدروژن ذخیره‌شده و اکسیژن محیط را به الکتریسیته تبدیل می‌کند. طراحی مجرای ورودی و انتقال گازهای واکنش‌دهنده به داخل استک پیل سوختی و کانال

جریان از اهمیت بالایی برخوردار است. پیل سوختی پیشنهادی برای هواپیماهای بدون سرنشین از نوع پلیمری H_2/Air است که سمت آند آن بسته و سمت کاتد آن باز است و دارای شیر کنترل فشار می‌باشد. به‌تازگی، شرکت هورایزن یک پیل سوختی به‌نام اروپک[۲۶] را برای کاربرد در هواپیماهای بدون سرنشین ساخته است [۹].



شکل ۱۰. نمونه‌ای از یک پیل سوختی پلیمری [۸]

همان‌طور که در شکل ۱۱ مشاهده می‌شود، این سیستم شامل دو بخش پیل سوختی و کارتریج سوخت می‌باشد.

شکل ۱۱. نمونه‌ای از اروپک
ساخته‌شده توسط شرکت هورایزن [۹]

با استفاده از اروپک می‌توان یک هواپیمای بدون سرنشین سبک را، که با استفاده از باطری لیتیومی قادر است برای ۲ ساعت پرواز کند، به‌مدت ۸ ساعت به پرواز درآورد. با استفاده از سه کارتریج می‌توان به مداومت پروازی ۲۴ ساعت دست یافت. این در حالی است که برای دستیابی به چنین مداومتی باید حداقل از ۱۶ باطری لیتیومی استفاده کرد [۹].

مخزن ذخیرهٔ هیدروژن

با توجه به نیاز پیل‌های سوختی به هیدروژن، به‌عنوان واکنش‌گر اصلی، لازم است روش‌های تولید و ذخیره‌سازی این واکنش‌گرها مورد توجه قرار گیرد. معمولاً برای ذخیرهٔ هیدروژن مورد نیاز پیل سوختی از روش‌های زیر استفاده می‌شود:

۱. ذخیره‌سازی در سیلندر به‌صورت گاز تحت فشار
۲. ذخیره‌سازی به‌صورت مایع در دمای بسیار پایین
۳. ذخیره‌سازی در هیدریدهای فلزی
۴. ذخیره‌سازی به‌صورت هیدریدهای شیمیایی
۵. ذخیره‌سازی در مخزن کربن نانوتیوب یا کربن فعال

در جدول ۲ مقایسه‌ای کلی از روش‌های ذخیرهٔ هیدروژن و در شکل‌های ۱۲ و ۱۳ نیز نمونه‌ای از مخازن ذخیره‌سازی هیدروژن و نحوهٔ جانمایی آن نمایش داده شده است.

جدول ۲. مقایسهٔ روش‌های گوناگون ذخیره‌سازی هیدروژن [۱۰]

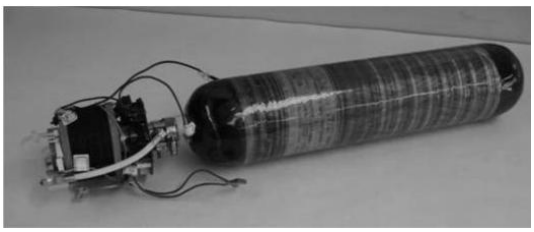
روش ذخیره‌سازی	بازده ذخیره‌سازی وزنی (درصد)	وزن هیدروژن ذخیره‌شده (کیلوگرم بر لیتر)
گاز فشرده	۳–۷	۰/۰۱۵
هیدرید فلز	۰/۶۵	۰/۰۲۸
هیدرید فلزات شیمیایی و آب	۲/۲۲	۰/۰۲۰
هیدروژن مایع	۱۴/۲	۰/۰۴۰

با توجه به موارد فوق، در طراحی مخازن هیدروژن برخی پارامترها از اهمیت ویژه‌ای برخوردارند که از این میان می‌توان به جنس و شکل و حجم مخزن، ضریب اطمینان طراحی و فشار و دمای ذخیره‌سازی اشاره کرد. بحث مداومت پروازی هواپیما نیز می‌تواند از موارد مهم در انتخاب مخزن باشد. جهت دستیابی به مداومت پروازی بالا به ذخیره‌سازی هیدروژن در فشارهای بالا نیاز است. هیدروژن در مخازن کامپوزیتی (فیبر کربن، رزین اپوکسی،

آلومینیوم) با وزن تقریبی ۰/۸ کیلوگرم، حداقل حجم ۱ لیتر و فشار ۳۱۰ بار ذخیره می‌گردد. هیدروژن ذخیره‌شده با عبور از دو رگلاتور در فشار ۰/۳ بار وارد آند می‌شود. جهت تخلیهٔ آب و گازهای آلوده باید یک شیر تخلیهٔ برقی در خروجی آند قرار داد. یکی از گلوگاه‌های عمده جهت تأمین مداومت پروازی بالا، تأمین مخازن کامپوزیتی جهت ذخیره‌سازی هیدروژن در فشارهای بالاست. پیشنهاد می‌شود که در صورت عدم استفاده از مخزن هیدروژن، سیستم تولید هیدروژن آنی نیز مورد توجه قرار گیرد. با توجه به اینکه اکسیژن از جمله عناصر تشکیل‌دهندهٔ هواست، در هواپیماهای بدون سرنشین می‌توان با حذف مخزن اکسیژن از هوای اتمسفر استفاده کرد.

موتور الکتریکی

برخی از هواپیماهای بدون سرنشین توسط یک موتور الکتریکی (مانند شکل ۱۴) به‌حرکت درمی‌آیند. بازده این موتور با افزایش قطر ملخ افزایش می‌یابد. موتور الکتریکی به‌عنوان مولد نیروی پیشران برای حرکت ملخ باید مورد توجه قرار گیرد. لازم است تا یک موتور الکتریکی مناسب برای کاربردهای هوایی حداقل نیاز ممکن به تعمیر و نگه‌داری را داشته باشد. موتور، قدرت الکتریکی حاصل از پیل سوختی و باتری را به‌حرکت چرخشی تبدیل و آن را برای تأمین تراست هواپیما به ملخ منتقل می‌کند. در انتخاب موتور باید دقت کرد تا دارای وزن و قیمت کم، تعمیر و نگه‌داری آسان، مشخصه‌های عملکردی بالا و پارامترهای طراحی مطلوب باشد. مثلاً وزن موتور براش[۲۷] (موتور جریان مستقیم) در قدرت یکسان کمتر از وزن موتور بی‌زغال[۲۸] (موتور براش‌لس دی سی) است، اما بازده آن کمتر می‌باشد. همچنین ثابت موتور بسیار زیاد نیز از معایب این سیستم می‌باشد که در انتخاب سیستم انتقال قدرت و ملخ تأثیرگذار است. در کاربردهای هوایی، به‌خصوص جایی‌که پیل سوختی به‌کار می‌رود، اجباراً می‌بایست از موتور بی‌زغال استفاده کرد. موتور می‌بایست در برابر ولتاژ بالا مقاومت کند و امکان حصول سرعت زاویه‌ای قابل قبول برای سطوح ولتاژ مورد انتظار را فراهم نماید [۱۱].



شکل ۱۲. نمونه‌ای از مخزن ذخیرهٔ هیدروژن کامپوزیتی [۶]

شکل ۱۳. جانمایی تانک هیدروژن [۶]

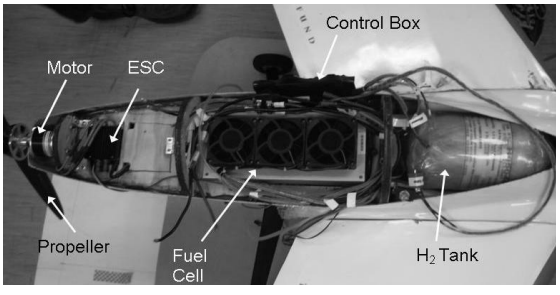
شکل ۱۴. نمایی از یک موتور الکتریکی [۱۱]

سیستم کنترل و تغذیهٔ هوا

سیستم کنترل هوا باید قادر به تأمین هوای فیلترشده، با فشار مناسب و دبی متغیر و قابل کنترل در سمت کاتد باشد. در هواپیماهای بدون سرنشین معمولاً از پیل‌های سوختی خودمرطوب‌کننده استفاده می‌شود؛ چون نیازی به مرطوب‌کردن گازهای واکنش‌دهنده نیست و هوا تحت شرایط محیط تغذیه می‌شود. فشار در حدود ۰/۳ بار بوده و باید توسط یک شیر کنترل فشار تأمین گردد.

سیستم کنترل دما

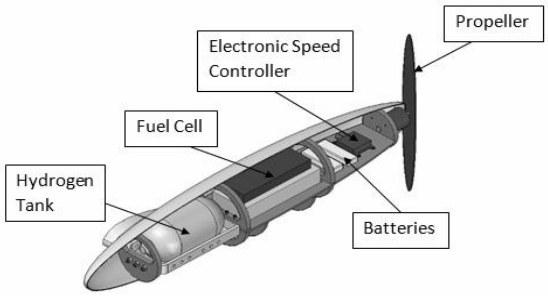
جهت کنترل درجه حرارت پیل سوختی به‌هنگام کار، از سیستم کنترل دما استفاده می‌شود. کاهش بیش از حد دمای پیل سبب افزایش انتقال جرم و افت ولتاژ و افزایش بیش از حد دما سبب اختلال در فرایند مرطوب‌سازی خواهد شد. با توجه به این موضوع، لزوم در نظر گرفتن یک سیستم خنک‌کننده در پیل ضروری است. استفاده از هوا یا آب یونیزه‌شده برای خنک‌کاری و تنظیم دمای پیل پیشنهاد می‌شود. با توجه به اینکه جهت رسیدن به مداومت پروازی بالا کاهش وزن هواپیما از اهداف اصلی است، سیستم هواخنک نسبت به نوع آب‌خنک در اولویت قرار دارد. با توجه به معرفی قسمت‌های گوناگون سیستم پیشرانش با پیل سوختی، در شکل ۱۵ نمونه‌ای واقعی از تجهیزات نصب‌شدهٔ این سیستم در یک هواپیمای بدون سرنشین نشان داده شده است. همان‌طور که در این شکل مشاهده می‌شود، نزدیک‌بودن پیل سوختی به موتور الکتریکی یکی از موارد مهم در جانمایی تجهیزات سیستم پیشرانش است. مسئلهٔ تأمین هوای لازم برای کاتد و هوای لازم برای خنک‌کاری پیل از دیگر موارد مهم در طراحی یک هواپیماست. جانمایی مخزن هیدروژن نیز موضوع مهم دیگری است که باید در طراحی هواپیما مدنظر قرار گیرد.



شکل ۱۵. نمونه‌ای از چیدمان تجهیزات سیستم پیشرانش با پیل سوختی در یک هواپیمای بدون سرنشین سبک [۳]

جمع‌بندی

با توجه به بررسی‌های انجام‌شده جهت تأمین توان الکتریکی لازم برای پرواز هواپیمای بدون سرنشین سبک، پیل سوختی نوع پلیمری هواخنک پیشنهاد می‌شود. نکتهٔ مهم در انتخاب پیل برای این نوع از سیستم‌های پیشرانش، توان لازم در حالت کروز است. نتایج تحقیقات نشان می‌دهد که در حالت برخاست و اوج‌گیری استفاده از پیل سوختی مناسب نیست و بهتر است از باطری استفاده شود. در انتخاب حجم و نوع مخزن ذخیرهٔ هیدروژن نیز بحث مداومت پروازی و توان تولیدی پیل پارامتر تأثیرگذاری است. در خصوص محل نصب پیل سوختی و سایر متعلقات مربوط به آن، نمونه‌ای در شکل ۱۶ آورده شده است. نکتهٔ قابل توجه، نزدیک‌بودن پیل سوختی به موتور الکتریکی است، که این موضوع سبب کاهش تلفات در سیستم خواهد شد.



شکل ۱۶. نمایی شماتیک از چیدمان پیل سوختی در یک هواپیمای بدون سرنشین (طرح پوشر[۲۹]) [۳]

مآخذ

[۱] پیرکندی، ج، قاسمی، م، حامدی، م .ح، "تحلیل عملکرد الکتروشیمیایی یک پیل سوختی اکسید جامد لوله‌ای جهت کاربرد در سیستم پیشرانش هواپیماهای بدون سرنشین"، *مجموعه مقالات دهمین کنفرانس هوافضای ایران*، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، اسفند ۱۳۸۹.

[2] Williams, M. C, *Fuel Cell Handbook*, U.S Department of Energy, Virginia, 2002.

[3] Arjomandi, Maziar, *Design, Development and Manufacture of a Fuel Cell powered UAV*, School of Mechanical Engineering, University of Adelaide, Australia, 2010.
[4] Moffitt, Blake A., *Design and Hardware Validation of a 24 Hour Endurance Fuel Cell UAV*, Georgia Institute of Technology, 2008.
[5] *Unmanned Vehicles Handbook*, 2008.
[6] Osenar, Paul, "Optimizing PEM Fuel Cell Systems for High Power Density: Enhanced performance for UAVs and UGVs", *Fuel Cell Seminar & Exposition 2008*.
[7] Furrutter, Marco Klaus, Johan Meyer, "Small Fuel Cell Powering an Unmanned Aerial Vehicle", *IEEE AFRICON 2009*.
[8] Critical Design Review, PT2020 High Endurance Aircraft, *Hand-Launched Electric Fuel Cell UAV*, University of Minnesota, 2010.
[9] Horizon Fuel Cell Technologies, http://www.horizonfuelcell.com (accessed April 12, 2013)
[۱۰] مطالعات امکان‌سنجی، جذابیت پیل سوختی و تدوین استراتژی توسعه فناوری آن در کشور، دفتر انرژی‌های نو، وزارت نیرو.
[11] Dual Sky, Advanced Power Systems, http://www.dualsky.com (accessed April 11, 2013)

پی‌نوشت

۱. پهپاد، یا همان پرندهٔ هدایت‌پذیر از دور، برابرنهادهٔ عبارت انگلیسی Unmanned Aerial Vehicle است. پهپاد به هواپیماهای بدون سرنشین و اشیاء پرندهٔ هدایت‌پذیر از راه دور گفته می‌شود [ویراستار].

2. fuel cell
3. Horent MAV
4. AeroVironment, http://www.avinc.com (accessed April 14, 2013)
5. Global Observer
6. Spider-Lion
7. Protonex
8. Georgia Institute of Technology, http://www.gatech.edu (accessed April 13, 2013)
9. National Aeronautics and Space Administration (NASA), http://www.nasa.gov (accessed April 13, 2013)
10. California State University, http://www.calstate.edu (accessed April 13, 2013)
11. Puma SUAV
12. HyFish
13. SmartFish
14. internal combustion engine
15. Horizon Fuel Cell Technologies, http://www.horizonfuelcell.com (accessed April 10, 2013)
16. Korea Advanced Institute of Science and Technology
17. The University of Adelaide, http://www.adelaide.edu.au (accessed May 2, 2013)
18. Hy-Five
19. U.S. Naval Research Laboratory, http://www.nrl.navy.mil (accessed April 10, 2013)
20. University of Hawaii, http://www.hawaii.edu (accessed April 12, 2013)
21. Ion Tiger
22. Central Institute of Aviation Motors
23. Sir William Robert Grove (1811 – 1896)
24. Ludwig Mond
25. Charles Langer
26. Aeropak
27. Brush
28. Brushless motor
29. Pusher