

آیا می‌دانستید با عضویت در سایت جزوه بان می‌توانید به صورت رایگان جزوات و نمونه

سوالات دانشگاهی را دانلود کنید؟؟

فقط کافیست روی لینک زیر ضربه بزنید



[ورود به سایت جزوه بان](#)

[Jozveban.ir](http://Jozveban.ir)

[telegram.me/jozveban](https://telegram.me/jozveban)

[sapp.ir/sopnuu](https://sapp.ir/sopnuu)

جزوات و نمونه سوالات پیام نور



@sopnuu

jozveban.ir

## طراحی قایق خورشیدی در مقیاس مدل

محمد جمشیدی<sup>1</sup>

1 – کارشناسی مهندسی دریا؛ m.jamshidi\_bsc@yahoo.com

### مقدمه :

امروزه با بالا رفتن هزینه های سوخت و همچنین تمام شدنی بودن چنین منابعی و بالاخص اثرات زیست محیطی که خواهند داشت، بهره گیری از منابع طبیعی به منظور کاهش اثرات سوء و افزایش کارائی، امری ضروری و اجتناب ناپذیر است. چرا که توجه به چنین منابعی در حوزه های زیادی از قبیل صنایع کشتی سازی، خودرو سازی و ... کاملاً مشهود می باشد. اما باید توجه داشت که استفاده ی گسترده از منابعی مانند خورشید، نیازمند تحقیقات و پژوهش های متعدد است تا استفاده از این مهم، به صورت چشمگیر در سالهای کنونی ملموس گردد.

این پروژه، در واقع طراحی مدل یک قایق توریستی خورشیدی در مقیاس آزمایشگاهی می باشد و در جهت ساخت این قایق کاتاماران<sup>1</sup> در ابعاد واقعی تلاش می نماید. هدف از ارائه ی این پروژه ساخت یک قایق 15 متری است که سیستم رانش<sup>2</sup> آن مبتنی بر انرژی خورشیدی و باتری های هیدروژنی خواهد بود. انتظار می رود که این پروژه راه جدیدی در جهت ساخت شناورهای خورشیدی حاصل نماید.

### 1-1) چارچوب کلی موضوع

تفاوت اصلی بین سیستم های خورشیدی – الکتریکی و سیستم هایی که با موتورهای احتراق داخلی<sup>3</sup> کار می کنند، در مکانیزم و نحوه ی ذخیره انرژی و موتور می باشد. برای مثال برای جلوگیری از زیانهای زیست محیطی بهره بردن از باتری که تلفات کمتری نسبت به سوخت های مایع دارند، ارجحیت خواهند داشت. اگرچه موتورهای احتراق داخلی آلودگی زیادی تولید خواهند کرد، اما انرژی در آنها می تواند به راحتی ذخیره شود. از طرف دیگر باتری ها به طور ذاتی در هر دو مورد دامنه ی پردازش و نرخ بازشارژی با محدودیت مواجه هستند.

### 1-2) هدف

این پروژه شامل مدلسازی و معرفی یک قایق خورشیدی در مقیاس  $\frac{1}{6}$  است و هدف این پروژه طراحی یک سیستم رانش مناسب با قابلیت دست یابی به سرعت بالا، دامنه ی مناسب و در نهایت بازده بالا می باشد. در واقع هدف کلی این پروژه توسعه و اجرای یک رویه جدید جهت پشتیبانی از طراحی و ارزیابی سیستم های رانش الکتریکی که بر اساس پانل های فتوولتائیک<sup>4</sup> و سلولهای هیدروژنی کار می کنند، است.

### 1-3) انتخاب سیستم فتوولتایی مناسب قایق خورشیدی:

در یک سیستم فتوولتاییک انرژی خورشیدی جذب شده در دستگاهی بنام مدول فتوولتایی مستقیماً به برق با جریان DC تبدیل میگردد. این مدولها از تعدادی سلول فتوولتایی تشکیل شده است که بصورت سری و موازی برای دستیابی به جریانها و ولتاژهای مختلف در کنار هم چیده شده و در یک قاب بسته‌بندی گردیده‌اند. برق تولیدی توسط مدولهای خورشیدی ممکن است مستقیماً به مصرف برسد و یا اینکه در مجموعه‌ای از باتریهای ذخیره‌کننده برق بنام بانک باتری ذخیره شده و در هنگام نیاز استفاده گردد. یک سیستم فتوولتایی علاوه بر مدولهای خورشیدی دارای اجزای دیگری بنام کنترل‌کننده شارژ (Charge Controller) ، بانک باتری (Battery Bank) ، تبدیل‌کننده جریان Dc به Ac (Inverter) و ... می باشد.

سیستم فتوولتایی مورد استفاده در قایق خورشیدی با توجه به شرایط کاری باید از نوع مستقل باشد . بسته به اینکه موتور الکتریکی مورد استفاده از نوع DC یا AC باشد می‌توان از یکی از سیستمهای مستقل AC ، مستقل DC و یا مستقل DC-AC بهره گرفت. با توجه به اینکه قایق خورشیدی تفریحی نیاز به توان بالایی ندارد سیستم مستقل DC مناسبتر به نظر میرسد .

### 1-2) طراحی مدل در مقیاس $\frac{1}{6}$

طراحی این مدل در مقیاس  $\frac{1}{6}$  می باشد که در واقع می بایست آزمایشات مربوطه بر روی آن صورت گیرد. طول واقعی این قایق 15 متر می باشد.

جنس بالای مدل از فایبرگلاس و کامپوزیت رزین پلی استر، جنس بدنه پلی استر گلوگات و جنس عرشه ی آن از آلومینیوم تقویت شده<sup>1</sup> می باشد.

طول بین دو عمود : 2500 میلی متر

عرض هر بدنه : 164 میلی متر

عرض کل : 1013 تا 1333 میلی متر

وزن در حالت Full Load : 37036.67 گرم

آبخور : 1333 میلی متر

جدول 1: آبخورها و مختصات مراکز بویانسی تحت Full Load

	Portside [mm]	Starboard Side [mm]
Draft Fore	161.33	165.33
Draft Amid	150.60	153.33
Draft Aft	141.33	141.33
LCB (From APP)	1276.66	1280.00
VCBC (From Baseline)	98.66	100.00

جدول 2: مولفه های وزن برای محاسبه LCG و TCG

بخش ها	وزن (گرم)	فاصله تا APP (میلیمتر)	فاصله تا Centerline (میلیمتر)	اولین گشتاور طولی (gr*mm)	اولین گشتاور عرضی (gr*mm)
بدنه+محور+تکیه گاه موتور SS	4914.66	1241.33	-580	6100492.98	-2850502.80
بدنه+محور+تکیه گاه موتور PS	4653.33	1241.33	580	5776318.10	2698931.40
دریچه ها+پیچ های SS	445.33	898.66	-580	400200.25	-258291.40
دریچه ها+پیچ های PS	445.33	898.66	580	400200.25	258291.40
سکوی مرکزی+پانلهای خورشیدی	16000.00	1273.33	0	20373.28	0
محفظه ی هیدرید فلز SS	888.00	1266.66	-580	1124794.08	-515040.00
محفظه ی هیدرید فلز PS	888.00	1266.66	580	1124794.08	515040.00
سلول سوخت+رگلاتور+لوله کشی+سیم ها+شیرها	1692.00	1466.66	0	2481588.72	0
تنظیم کننده شارژ باتری	214.66	1000.00	0	214000	0
قطر پروانه 65 میلیمتری SS	6.66	13.33	-580	88.77	-3862.80
قطر پروانه 65 میلیمتری PS	6.66	13.33	580	88.77	3862.80
موتور+سیم ها و متصل کننده ها SS	88	746.66	-580	6506.08	-51040.00
موتور+سیم ها و متصل کننده ها PS	88	746.66	580	6506.08	51040.00
کوپل محور SS	62.66	742.66	-580	46535.07	-36342.80
کوپل محور PS	62.66	742.66	580	46535.07	36342.80
بورد استخراج اطلاعات+سیم کشی	406.66	1800.00	93.33	731988.00	37953.57
دریافت کننده رادیو – کنترلی	33.33	373.33	-53.33	12443.08	-1777.48
بسته باتری 4.8 ولتی	146.66	346.66	-180	50841.15	-26398.80
کمک فرمان SS	42.66	26.66	-580	1137.31	-24742.80
کمک فرمان PS	42.66	26.66	580	1137.31	24742.80
سکان و تثبیت کننده SS	96.00	-40.00	-580	-3840	-5568.00
سکان و تثبیت کننده PS	96.00	-40.00	580	-3840	5568.00
باتری 6 ولتی SS Ah 4.8	1333.33	1600.00	-580	2133328.00	-773331.40
باتری 6 ولتی PS Ah 4.8	1333.33	1600.00	580	2133328.00	773331.40
سیم کشی، لوله کشی، پیچ ها و...	1600.00	1273.33	0	2037328.00	0
لپ تاپ کوچک 10 اینچی	1450	1550	0	2247500.00	0
<b>مجموع</b>	<b>37036.67</b>			<b>278282372.43</b>	<b>-141794</b>

## 2-2) طراحی Superstructure قایق :

بعد از طراحی و ساخت دو بدنه ی کشتی به منظور اجرا و پیاده سازی تجهیزات سیستم رانش و تست ماندگاری بر روی آب، برای اتصال دو بدنه به یکدیگر، می بایست عرشه و سکو<sup>1</sup> طراحی و ساخته شوند و پانل های خورشیدی، سلولهای سوخت، تجهیزات کنترل و ماینورینگ قایق، بر روی آن نصب گردند.

صفحه ای که در وسط این سکو می باشد، بین ردیف هایی از پانل خوشیدی تقویت شده با فایبرگلاس قرار گرفته است. دلیل استفاده از این پانل مقاومت بالا و وزن پائین آن است. دریچه های عرشه نیز می بایست تا حد امکان عریض باشد تا بتوان به راحتی درون بدنه فعالیت هایی از قبیل استفاده از مواد کامپوزیت برای نصب محورها<sup>1</sup>، دیواره های عرضی<sup>2</sup>، جانمایی موتور و سوار کردن تجهیزات رانش مانند جعبه فرمان<sup>3</sup>، انجام داد.

در واقع ورق آلومینیوم در این قایق نقش نگهدارنده ی پوشش دریچه ها - که از جنس ورقهای پلاستیک پلی کربنات می باشد- را ایفا می کند.

از توضیحات فوق می توان نتیجه گرفت که مقاطعی که برای ساختن سکو از آن استفاده می شود به صورت مربعی و از جنس آلومینیوم استاندارد غیر آلیاژی است که دلایل استفاده از آن مقاومت بالا، وزن مناسب، دسترسی مطلوب و قیمت مناسب است.

### 3-1) طراحی پروانه شناور

همانطور که می دانید مهمترین پارامترها در طراحی پروانه عبارتند از : تعداد پره ها، قطر پروانه و گام پروانه<sup>4</sup>

#### تعداد پره ها :

هر چه تعداد پره ها کمتر باشد، راندمان تئوری افزایش می یابد. علی رغم آنکه تعداد پره های بیشتر برای کنترل ، مناسب تر خواهد بود، اما انتخاب تعداد پره ها ممکن است به عوامل دیگری نیز تعیین گردد. دلیل اصلی برای استفاده از تعداد پره های مختلف، کنترل صدا و ارتعاشات پروانه است. اثر متقابل حرکت پره ها و قسمتی از پاشنه ی شناور و یا ملحقات آن می تواند عامل به وجود آمدن ارتعاشات رزونانسی و همچنین تحریک کاویتاسیون شود. در بسیاری از این موارد تنها راه مقابله با آن، تغییر در تعداد پره های پروانه می باشد. . به طور کلی، همانطور که گفته شد پره های کمتر راندمان را افزایش می دهند، اما این افزایش ناچیز است. عملکرد اصلی پره ها توزیع بار برای محدود کردن کاویتاسیون است. بنابراین بهتر است تا آنجا که می توان سطح پره ها کوچکتر باشد.

#### قطر پروانه :

در روابط تئوری، هر چه قطر پروانه بیشتر باشد، راندمان نیز بیشتر خواهد بود. قطر پروانه نقش بسیار مهمی در کاویتاسیون نوک کشتی<sup>5</sup> ایفا می کند. از آنجا که سرعت چرخش شناور (rpm)، اغلب قابل تغییر نیستند، قطر ممکن است تنها راه موجود برای کنترل کاویتاسیون نوک کشتی باشد.

#### گام اسمی<sup>6</sup> :

از آنجا که بسیاری از پروانه ها گام های متغییری دارند، گام اسمی از 0.7 تا 0.75 شعاع اندازه گیری می شود. باید توجه داشت که کاویتاسیون Face، زمانی که شناور با گام بسیار پائین حرکت می کند، می تواند باعث بروز مشکلاتی شود.

### 3-2) محاسبه مقاومت هیدرودینامیکی کاتاماران با نرم افزار NavCad:

به منظور طراحی پروانه بهینه برای این قایق در مقیاس کامل، استفاده از نرم افزار NavCad برای محاسبه ی توان و مقاومت ضروری است. مقاومت یک کاتاماران دو برابر مقاومت هر کدام از بدنه های جداگانه ی خود می باشد. این نرم افزار مقاومت کل سیستم را از طریق یکی از این دو راه پیش بینی می کند: حل کل سیستم کاتاماران یا حل هر کدام از بدنه ها.

حل کل سیستم کاتاماران در نرم افزار NavCad، به طور مستقیم مقاومت کل سیستم را پیش بینی می کند. الگوریتم پیش بینی این نرم افزار، ترکیبی از مقاومت های بدنه و مقاومت در برابر تداخل امواج است. این الگوریتم مجموعه ای از منحنی های مقاومت باقی مانده<sup>1</sup> را به کار می گیرد. همچنین یک مجموعه تصادفی از مقیاس کامل و آزمایشات مدل در سرعت بالا با نیم بدنه ی متقارن آن، مبنا و اساس کار این الگوریتم می باشد.

### 3-3) طراحی پروانه بهینه در مقیاس کامل

#### 3-3-1) تعریف مقاومت بدنه با نرم افزار NavCad

پارامترهای زیر را باید در نرم افزار NavCad وارد کرد. در واقع این پارامترها از ویژگی های منحصر به فرد این قایق است که عبارتند از:

طول بین دو عمود: 15 متر

طول Waterline: 15 متر

عرض ماکزیمم Waterline: 0.91 متر

آبخور مازیمم: 0.66 متر

جابجایی: 4.5 تن

سطح خیس شده: 20.19 متر مربع

ماکزیمم مساحت عرضی: 0.43 متر مربع

سطح Waterline: 10.58 متر مربع

همچنین ملحقاتی در این مورد توجه قرار گرفته اند که می توان به دو سکانی اشاره کرد که مشخصات آنها از مشاهدات کاتاماران های قبلی تخمین زده شده است.

سطح سکان: 0.4 متر مربع      ضریب درگ سکان: 1.5 (پشت پاشنه ی شناور)

مساحت محور: 0.15 متر مربع      ضریب درگ محور: 2 (10 درجه)

البته باید توجه داشت که مشخصان فوق با فرض آنکه هیچ مولفه ی محیطی مانند باد، موج و ... وجود نداشته باشد، صادق است و این قایق بیشتر برای آبهای کنترل شده و جزایر کوچک مورد استفاده قرار خواهد گرفت.

سپس نمودار مقاومت بر حسب سرعت را در نرم افزار Excel رسم می کنیم. این نمودار شامل دو منحنی مقادیر اولیه ارائه شده از سوی Fonesca et al. (2009) و مقادیر نرم افزار NavCad خواهد بود. مشاهده می شود که دو منحنی تقریباً با یکدیگر سازگار هستند و فقط یک اختلاف 9 درصدی در سرعت 12 Knots وجود دارد. همچنین منحنی مقادیر NavCad اندکی از منحنی مقادیر اولیه بالاتر می باشد که ممکن است به دلیل در نظر گرفتن ملحقات و ناهمواریهای بدنه قایق باشد. با توجه به این نمودار می توان نتیجه گرفت که نتایج به دست آمده از نرم افزار معتبر بوده و می توان در طراحی پروانه بهینه از آنها بهره برد.

ضریب Wake به دست آمده از NavCad حدود 0.14 و فاکتور تراست حدود 0.1159 می باشد که اندکی اختلاف با مقادیر Fonesca دارد.

### 3-3-2) مشخصات موتور قایق

در فرآیند طراحی پروانه ی قایق، فرض می شود که موتور پیش از این انتخاب شده و مشخصات آن نیز تغییر نکرده است. در این مرحله از پروژه دو موتور الکتریکی Solomon ST74 از نوع BLDC<sup>1</sup> را در نرم افزار وارد خواهیم کرد.



شکل 1: موتور الکتریکی Solomon ST74

### 3-3-3 محدودیت های اولیه

محدودیت اصلی که در طراحی پروانه وجود دارد، قطر پروانه و تابعی از پارامترهای متغیر که در طراحی کاتاماران تعریف شده اند، می باشد. بنابراین برای استخراج مشخصات زیر می بایست طراحی این فایق در 3 بعد صورت بگیرد.

زاویه محور : 9.2 درجه

فاصله بین نوک پروانه و کف کشتی : 86 میلی متر

طول محور : 900 میلی متر

قطر پروانه : 514 میلی متر

چون سیستم رانش هنوز به خوبی میزان نشده، تغییر در فاکتورهای فوق پیرامون مجموعه ای از مقادیر جاری امری طبیعی است. در این قسمت از طراحی، فرض می شود که طول محور ممکن است مقدار اندکی بلندتر از قسمتی از پروانه که در قسمت پاشنه باقی مانده، باشد.

محدودیت های جدید با فرض محور بلندتر :

زاویه محور : ثابت (9.2 درجه)

فاصله بین نوک پروانه و کف کشتی : 100 میلی متر

ماکزیمم طول محور در زاویه 9.2 درجه : 1148 میلی متر

ماکزیمم قطر پروانه : 646 میلی متر

### 3-3-4 مشخصات اولیه پروانه

با توجه به موارد فوق، مجموعه ای مشخصات اولیه می بایست به عنوان ورودی نرم افزار NavCad جهت طراحی پروانه بهینه مطرح شوند. مشخصات ابتدایی پروانه عبارتند از :

نسبت  $\frac{t}{c}$  پره : 0.02

نوع سری پروانه : B-Series

گام و نوع آن : 0.8 متر – CPP<sup>2</sup>

تعداد پره ها : 3 پره

سختی<sup>3</sup> : 30 $\mu$ m

ضریب کاهش مساحت<sup>1</sup> : 1.1

حذف اثر کاویتاسیون : بلی

قطر 0.64 متر



\* در حالت کلی مساحت سطح پره ها هر چه کمتر باشد، راندمان افزایش می باید. اما این افزایش خیلی زیاد نیست. دلیل استفاده از مساحت سطح پره کمتر، کنترل کاویتاسیون است. پس بهتر است تا آنجا که ممکن است این مساحت را کاهش داد. اما باید توجه داشت که اگر مساحت پره خیلی زیاد پائین باشد، می بایست ساختمان پروانه ضخیم تر شده که خود باعث کاهش راندمان آن است.

$$DAR = \frac{PAR}{(1.067 - 0.229) * \left(\frac{Pitch}{Diameter}\right)} \quad (1)$$

$$EAR = 0.34 * DAR * \left[2.75 * \frac{DAR}{Blades No.}\right] \quad (2)$$

\* گام مطرح شده در واقع گام اسمی پروانه می باشد. در پروانه های سری B نسبت گام به قطر پروانه بین 0.5 و 1.4 می باشد.

\* نسبت ضخامت به Chord پروانه در 0.75 شعاع آن از طریق فرمول زیر با توجه به  $EAR = 1.1$  بدست آمده است :

$$t/c = (0.0185 - 0.00125 * blades No.) * blades No. / (2.073 * EAR) \quad (3)$$

\* سختی ذکر شده مطابق با استاندارد ITTC می باشد.

در مرحله بعد، می توان 3 سیستم پروانه با ویژگی های مختلف را انتخاب نمود. در این حالت 3 پروانه با قطرهای گوناگون، برای مثال قطرهای 0.60 متر، 0.62 متر و 0.64 متر انتخاب می شود. گام نیز یک پارامتر متغیر می باشد. ابتدا EAR نیز به منظور بهینه سازی پروانه متغیر در نظر گرفته می شود. بعد از یک سری از محاسبات که نرم افزار NavCad انجام می دهد، خروجی این پارامتر برای هر 3 سیستم عدد 0.3 خواهد بود. این مقدار به طور کلی کمترین مقدار قابل قبول است، اما مقدار کاویتاسیون حاصل از آن قابل قبول نخواهد بود و می بایست آن را طوری تغییر داد تا بازه ی قابل قبولی از کاویتاسیون به دست آید.

### 3-3-5 پروانه بهینه

پروانه بهینه برای این قایق، بر اساس ویژگی های بدنه و موتورهای آن عبارتند از :

تعداد پره ها : 3 پره	نوع سری : B Series
قطر پروانه : 0.64 متر	EAR : 0.37
نسبت $\frac{t}{c}$ پره : 0.02	گام : 0.76 متر

باید توجه داشت که در سیستم بهینه که در واقع همان سیستم پروانه 3 پره است، نسبت دنده ی<sup>1</sup> آن برابر با 2.2 می باشد.

### 3-4) طراحی پروانه در مقیاس مدل

بر اساس تحقیقات صورت گرفته طراحی و ساخت پروانه در مقیاس مدل بر اساس رادیو - کنترل هزینه بر و وقت گیر می باشد. اگر بر اساس مقیاس  $\frac{1}{6}$  قطر پروانه را محاسبه کرد، قطر پروانه مدل حدود 106.6 میلی متر خواهد شد. اما بهترین پروانه در مقیاس مدل حدود 65 میلی متر معرفی شده است که همراستایی مناسبی با پروانه در مقیاس کامل دارد. این پروانه ها دارای گام مخالف هستند، به طوری که یکی از پروانه ها به صورت ساعتگرد و دیگری به صورت پادساعتگرد می باشند.

در نرم افزار شبیه ساز، تمامی مشخصات پروانه بر اساس پروانه ی بهینه خواهد بود. ضریب تراست<sup>1</sup> و ضریب گشتاور<sup>2</sup> به صورت بی بعد بیان می شوند. تنها پارامتری که تغییر می کند ضریب پیشروی<sup>3</sup> است که به سرعت پیشروی<sup>4</sup>، تعداد دور بر دقیقه و قطر پروانه در مقیاس مدل بستگی دارد.

$$J = V_a / (n.D) \quad (4)$$

برای به دست آوردن سرعت پیشروی ( $V_a$ )، ضریب Wake مدل ( $w_m$ ) مورد نیاز می باشد. ضریب تراست و ضریب گشتاور نیز همانند عدد رینولدز در هر دو مقیاس کامل و مدل قایق تقریباً برابر خواهند بود. اگر جریان اطراف شناور مغشوش و اطراف مدل آرام باشد، دیگر امکان استفاده از فرمول آماری ITTC برای تعریف  $w_m$  وجود ندارد و نرم افزار NavCad این داده را ارائه نکرده و طبیعتاً محاسبات دقیقی در محاسبه  $w_m$  صورت نخواهد گرفت. در نتیجه بهتر است ضریب wake در مقیاس مدل و مقیاس کامل برابر در نظر گرفته شود.

$$w_m = w_s = 0.2$$

### 4-1) تشریح سیستم رانش

اولین قدم قبل از بی بعد سازی مولفه های متغیر سیستم رانش در مقیاس مدل قایق، تعریف مقاومت بدنه ی آن است. مهمترین نیرویی که بر مقاومت بدنه علبه می کند، توان موتور می باشد. سپس مطابق با فرآیند طراحی مدل، ظرفیت باتری، سلولهای سوخت و توان پانل های فتورولتائیک قابل محاسبه خواهد بود.

### 4-2) محاسبه مقاومت بدنه در مقیاس مدل

مقاومت بدنه در مقیاس کامل توسط Pr. Fonesca از طریق به کارگیری شیوه ی خاص در محاسبه مقاومت کاتاماران، محاسبه شده بود. اختلاف بین مقاومت هیدرودینامیکی و مقاومت کل وجود مقاومت هوا می باشد.

در جدول زیر اختلاف بین این دو مقاومت در سرعت های 1 تا 12 Knots با توجه به محاسبات Fonesca آورده شده است :

جدول 3 : مقاومت بدنه در مقیاس کامل

سرعت (Knots)	مقاومت هیدرودینامیکی (نیوتن)	مقاومت کل (نیوتن)
1	19.49	21.02
2	81.13	87.24
3	168.91	182.67
4	295.61	320.08
5	479.16	517.40
6	655.85	710.91
7	1076.15	1151.09
8	1181.41	1279.30
9	1868.36	1987.25
10	2568.69	2721.64
11	3281.08	3466.15
12	3710.48	3930.73

حال برای بدست آوردن مقاومت بدنه در مقیاس مدل، سرعت کشتی می بایست بر یک مقدار تقسیم شده تا سرعت مدل به دست آید. این تشابه بر حسب تشابه اعداد فرود در مقیاس کامل و مقیاس مدل، حاصل می گردد :

$$V_m = V_s \cdot \frac{1}{\sqrt{\lambda}} \quad (6)$$

در رابطه فوق عبارت  $\lambda$  برابر است با :

$$\lambda = \frac{L_s}{L_m} \quad (7)$$

ضریب مقاومت کل کشتی  $C_{Ts}$  برابر است با :

$$C_{Ts} = \frac{R_{Ts}}{0.5 \times \rho_{SW} \times V^2 \times A_W} \quad (8)$$

ضریب مقاومت اصطکاکی کشتی ، مطابق ITTC57 از طریق رابطه زیر محاسبه می شود :

$$C_{Ts} = \frac{0.075}{[\text{Log}(Re_s \times 10^8) - 2]^2} \quad (9)$$

ضریب مقاومت موج سازی  $C_{Ws}$  ( در جایی که مقاومت موج سازی وجود داشته باشد) عبارتست از :

$$C_{Ws} = \frac{R_{Ws}}{0.5 \times \rho_{FW} \times V^2 \times A_W} \quad (10)$$

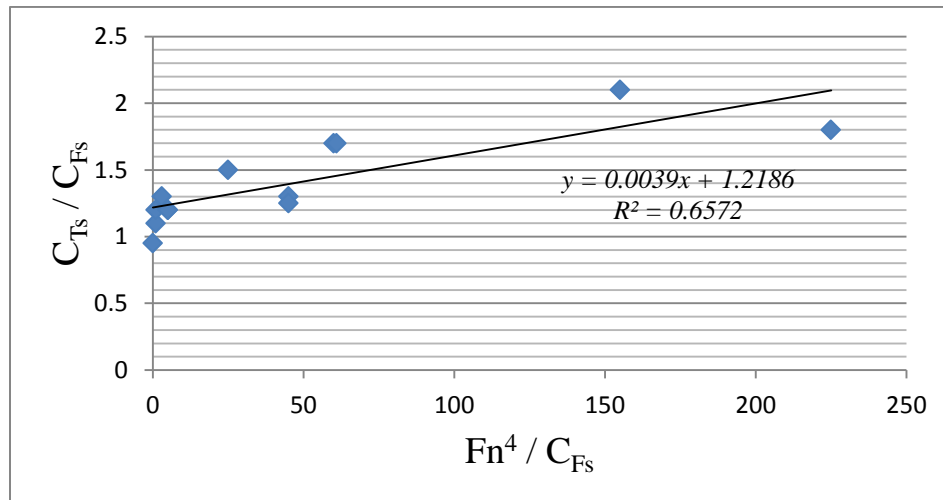
ضریب همبستگی  $Ca$ ، با توجه به رابطه ی  $Haltrop$  :

$$Ca = 0.006 \times (LWL + 100)^{-0.16} - 0.00205 \quad (11)$$

فاکتور فرم  $(1+k)$  از رسم نمودار  $C_{Ts} / C_{Fs}$  بر حسب  $Fn^4 / C_{Fs}$  حاصل می شود :

$$\frac{C_{Ts}}{C_{Fs}} = f \left( \frac{Fn^4}{C_{Fs}} \right)$$

از نقاطی که در نمودار به دست خواهد آمد می بایست رگرسیون صورت گرفته و در محور عمود نقطه ای که قطع شد، در واقع فاکتور فرم بدنه خواهد بود. با توجه به نمودار زیر، مقدار فاکتور فرم تقریباً برابر است با 1.2.



شکل 2: نمودار  $C_{Ts} / C_{Fs}$  بر حسب  $Fn^4 / C_{Fs}$  جهت به دست آوردن فاکتور فرم

عدد رینولدز مدل  $Re_m$  برابر است با :

$$Re_m = \frac{V_m \times LWL_m}{\nu_{FW}} \quad (12)$$

ضریب مقاومت اصطکاکی مدل  $C_{Fm}$  :

$$C_{Tm} = \frac{0.075}{[\text{Log}(Re_m \times 10^8) - 2]^2} \quad (13)$$

ضریب مقاومت کل مدل  $C_{Tm}$  (زمانی که مقاومت موج سازی مدل و کشتی واقعی برابر باشد) :

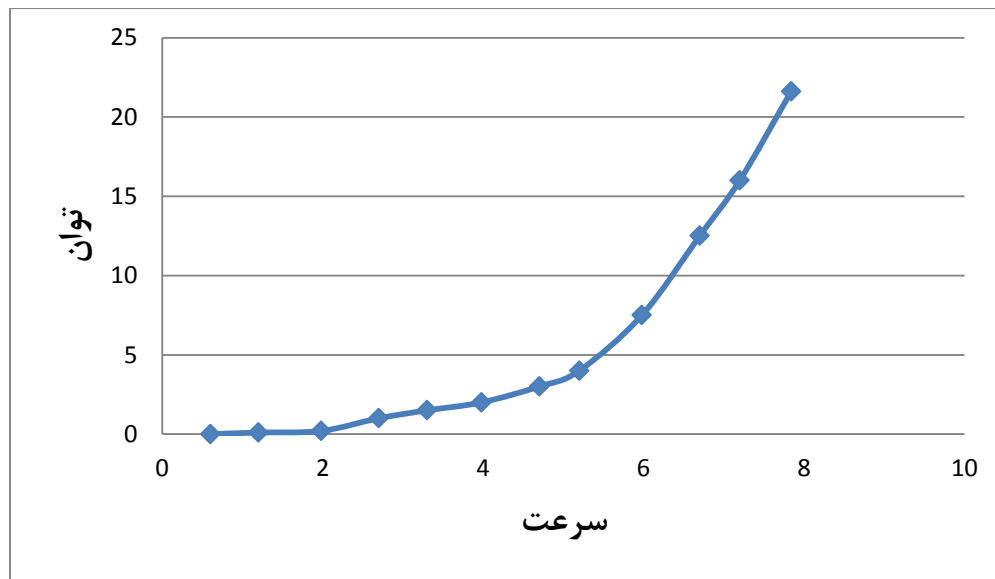
$$C_{Tm} = (1 + k) \times C_{Fm} \times C_{Wm} + Ca \quad (14)$$

مقاومت کل مدل  $R_{Tm}$  برابر است با :

$$R_{Tm} = C_{Tm} \times (0.5 \times \rho_{FW} \times V^2 \times A_W) \quad (15)$$

توان موثر مدل  $P_{Em}$  برابر است با :

$$P_{Em} = R_{Tm} \times V_m \quad (16)$$



شکل 3: نمودار توان موثر مدل بر حسب سرعت آن

### 3-4 موتورهای الکتریکی

#### 1-3-4 توان

برای آنکه مدل به بالاترین سرعت خود، مثلاً در حدود 2.18 متر بر ثانیه برسد، توان موثر 21.6 وات مورد نیاز خواهد بود. این مقدار برای راندمان های مختلف حساب نمی شود. بنابراین مهم است که توان موثر را با عوامل زیر تحت تأثیر قرار داد :

$$\eta_{motor} = 70\%$$

$$\eta_{Propeller} = 40\%$$

$$draft\ Margin = 30\%$$

از یک طرف این توان می بایست تضمین کند که قایق می تواند به ماکزیمم سرعت خود دست یابد و از طرف دیگر باید به اندازه کافی وجود داشته باشد که جریان انرژی به راحتی مورد کنترل قرار گیرد.

#### 4-3-2) تکنولوژی موتورها

دو تکنولوژی زیر در موتورها وجود دارد :

\* Conventional DC brushed motors

\* Brush-less DC motors (BLDC)

موتورهای BLDC نسبت به موتورهای DC brushed مزیت هایی دارد. مزیت های آن هم از لحاظ نسبت وزن و توان و هم از لحاظ راندمان می باشد. این موتور یک انتخاب ایده آل برای کاربردهایی است که نیازمند قابلیت اطمینان بالا<sup>1</sup>، راندمان بالا، نسبت توان به حجم بالا می باشد. همچنین موتور BLDC یک موتور با کارایی بالاست که توانایی تولید مقدار قابل توجهی گشتاور در سرعت های بالا را دارا است. پس به نظر می رسد استفاده از موتور BLDC مناسب تر می باشد.

مهمترین تفاوت بین موتورهای BLDC و DC brushed، کاربرد برس های آن است و همان طور که از نام BLDC معلوم است این نوع موتور فاقد برس بوده و می بایست به صورت الکتریکی برای ایجاد جریان مداوم هدایت شود. همین عدم وجود برس در این نوع موتور حذف خطر سایش و نگرانی در جایگزینی برس ها را به دنبال دارد.

بهترین موتوری که می تواند در ولتاژ 12 ولت به خوبی کار کند موتور AXI 2212/34 Gold Line می باشد که مشخصات آن به شرح زیر است :

جدول 4: مشخصات موتور AXI 2212/34 Gold Line

16 ولت	ماکزیمم ولتاژ
710	RPM / V
78 %	ماکزیمم راندمان
4 تا 8 آمپر	ماکزیمم راندمان جریان
96 وات	ماکزیمم توان در 12 ولت
10 آمپر	ظرفیت جریان
30×27.7	ابعاد (قطر× طول)
57 گرم	وزن با سیم های موتور

جدول زیر چگالی انرژی 4 نوع از باتری های متداول را بر اساس تکنولوژی های مختلف نشان می دهد :

جدول 5: چگالی انرژی 4 نوع باتری متداول

نوع باتری	Wh/Kg	Wh/dm <sup>3</sup>
اسیدی	41	100
NiMH	95	300
NiCad	39	140
لیتیوم	150-250	230

### باتری لیتیومی

امروزه باتری های لیتیومی به دلیل داشتن چگالی انرژی مخصوص بالایی که دارند مورد توجه قرار گرفته اند. این تکنولوژی نیز قابلیت شارژ مجدد باتری را تا حدود 80٪ ظرفیت آن در مدت زمان کوتاه دارا می باشد. استفاده از این باتری ها در انواع موبایلها و وسایل پرکاربرد مانند وسایل الکتریکی یا هیبریدی و ... معمول است. عمده ترین مشکل این نوع باتری ها، هزینه ی بالا و فرآیند نحوه شارژ آنها است.

### باتری های Nickel – metal hybrid

این نوع باتری ها اغلب در وسایل قابل حمل و همه ی وسایل نقلیه الکتریکی مورد استفاده قرار می گیرند. همچنین باتری های NiMH قیمتی پائین تر از باتری های لیتیومی دارند. چگالی انرژی آنها نیز حدود 1 تا 2.5 برابر کمتر از باتری های لیتیومی می باشد. اما فرآیند شارژ این نوع باتری ها همانند باتری های لیتیومی فرآیندی پیچیده است که نیازمند کنترل دما و ولتاژ می باشد.

### باتری های اسیدی

باتری های اسیدی متداولترین نوع باتری ها است که قابلیت دریافت جریان برق در دامنه ی 5 تا 24 ولت را دارد. قیمت پائین، دسترسی مطلوب و سهولت در تولید این نوع باتری ها، استفاده از آنها را گسترده تر نموده است. باتری های اسیدی چگالی انرژی پائین و نسبت انرژی به حجم پائینی دارند.

## 4-4-2) ظرفیت باتری

باتری ها دو وظیفه ی اساسی در حوزه ی الکتریسیته دارند :

\* کمترین وابستگی به عوامل مورد نیاز آزمایش

\* نقش یک میانگر<sup>1</sup> جهت فراهم کردن توان مورد نیاز را ایفا نماید.

معیارهای دیگری نیز وجود دارند که می بایست به آنها توجه کرد :

\* نرخ شارژ مجدد باتری (C – Rate)

\* مدت زمان اوج جریان

\* عمق شارژ مجدد

بر اساس نوع باتری، نرخ شارژ مجدد ممکن است متغیر باشد. بیشتر باتری های اسیدی قابل حمل، دارای نرخ شارژ مجدد C 1 هستند. به معنای آنکه اگر ظرفیت باتری 1000 (mAh) باشد، با نرخ C 1، باتری 1000 (mAh) در طول 1 ساعت تولید می کند. طبیعتاً در C 0.5، 500 (mAh) در مدت 2 ساعت و در C 2، 2000 (mAh) در مدت 30 دقیقه تولید می نماید.

برای تعیین ظرفیت مورد نیاز، می باست باتری را در کمترین میزان وابستگی به عوامل آزمایش قرار داد و آزمایشات را بروی آن انجام داده و داده ها را در مقایس مدل بدون در نظر گرفتن منبع توان خارجی استخراج نمود. برای حدود 1 ساعت به کارگیری باتری در توان حدود 55 وات با شارژ کامل، کمترین ظرفیت باتری از رابطه زیر به دست می آید :

$$\text{Minimal Battery Capacity} = \frac{\text{Power}}{\text{Coltage}} = 4.5 \text{ Ah} \quad (17)$$

البته باید توجه داشت که این رابطه مستلزم آن است که باتری دارای نرخ شارژ مجدد C 1 باشد که مناسب برای باتری های اسیدی است.

باتری به تنهایی تولید کننده ی توان نخواهد بود. اگر نقشه ی سیستم رانش را مشاهده نمائیم، متوجه خواهیم شد که سلول های سوخت، پانل های فتوولتائیک به صورت موازی در پایانه باتری به یکدیگر متصل شده اند. همانطور که اشاره شده باتری به عنوان که یک میانگر عمل می نماید.

## 4-4-3) شارژ باتری

3 مرحله در شارژ باتری های اسیدی وجود دارد :

\* مرحله انباشتن شارژ، جریان را ثابت نگه داشته و زمانی که ولتاژ رو به افزایش (رسیدن به حدود 14.4 ولت) است، رخ می دهد. در این ولتاژ الکترولیت<sup>2</sup> به هیدروژن و اکسیژن تقسیم می شود.



\* مرحله جذب شارژ، ولتاژ را تقریباً نزدیک نقطه ی گازی شدن نگه داشته و جریان شارژ افت می کند، تا زمانی که باتری به طور کامل شارژ شود.

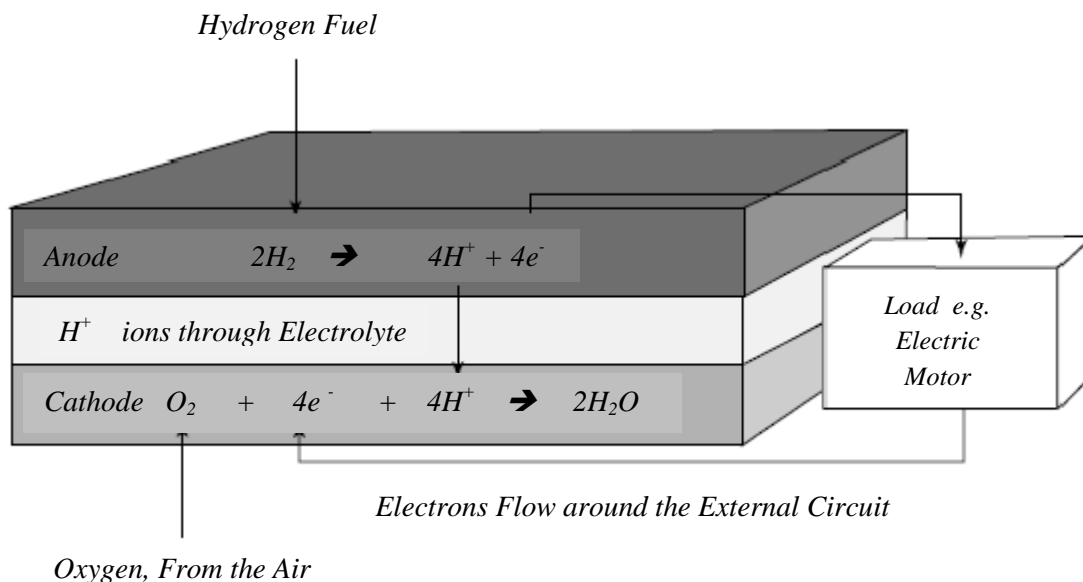
\* مرحله شارژ شناور، باتری را ولتاژ حدود 13.5 برای جبران شارژ مجدد باتری نگه می دارد.

#### 4-5) سلول سوخت

#### 4-5-1) تعریف سلول سوخت

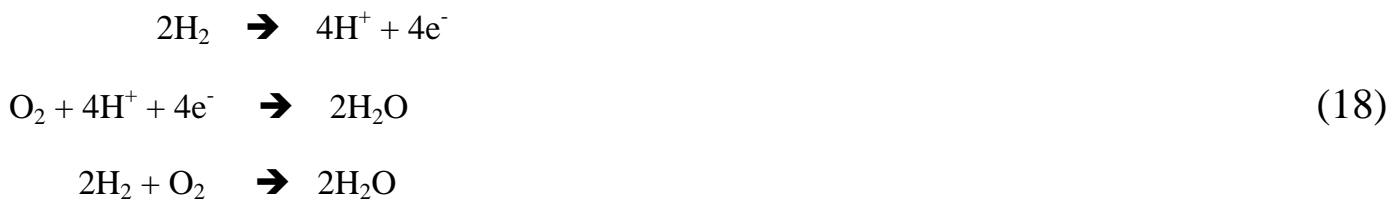
سلول سوخت در واقع یک سلول الکترونیکی است که منبع سوخت را به جریان الکتریکی تبدیل می کند. الکتروسیته درون یک سلول از طریق واکنش بین سوخت و اکسیژن تولید شده و در حضور الکترولیت جریان می باید.

سلول های سوخت با باتری های سلولی الکتروشیمیایی متداول تفاوت دارد و تفاوت آنها در استفاده از واکنش دهنده از منبع خارجی است که می بایست مجدداً ذخیره شود.



شکل 6 : طرح واکنش الکتروشیمیایی یک سلول سوخت هیدروژنی

در حالت خاص نحوه عملکرد یک سلول سوخت هیدروژنی به صورت بسیار ساده بود و با فرایند اکسیداسیون هیدروژن آغاز می گردد. در این حالت گاز هیدروژن به صورت آند وارد شده و اکسیژن از طریق کاتد، در جایی که آب تولید می گردد وارد می شود. معادله زیر این فرایند را نشان می دهد :



$$I_{STACK} = \frac{\dot{m}_{H_2} 2F}{N_{Cell} M_{H_2}} \quad (19)$$

#### 4-5-2) انتخاب سلول سوخت

معیارهای اصلی در انتخاب سلول ها عبارتند از :

\* عدم فشردگی<sup>1</sup> سلول

\* وزن پائین

\* راندمان بالا

\* توان خروجی نزدیک به ماکزیمم توان موتور

برای رسیدن به معیارهای بالا، یک سلول سوخت هیدروژنی می بایست مطابق با تکنولوژی ای انتخاب شود که امروزه بیشتر مورد توجه می باشد.

یک نوع سلول سوخت هیدروژنی به نام H100 PEM<sup>2</sup> تقریباً با تمام معیارهای بالا سازگار بوده و بهتر است از این نوع بهره برد.



شکل 7: سلول سوخت هیدروژنی H100 PEM

مشخصات اصلی این نوع سلول در جدول 6، در صفحه ی بعد آورده شده است.

مشخصات	پارامترها
PEM	نوع سلول سوخت
21	تعداد سلول ها
100 وات	توان مجاز
14 ولت – 7.2 آمپر	کارایی مجاز
13 تا 23 ولت	محدوده ولتاژ خروجی
950 گرم	وزن (با فن و پوشش محافظ)
143 × 109 × 94	ابعاد
هیدروژن و هوا	واکنش دهنده ها
1.4 l/min	میزان H <sub>2</sub> مجاز
0.4 تا 0.45 bar	فشار هیدروژن
400 گرم	کنترل کننده وزن
12 ولت	ولتاژ دریچه جهت رساندن هیدروژن
12 ولت	ولتاژ دریچه ی پاکسازی
12 ولت	ولتاژ دمنده
35 – 5 درجه سانتیگراد	دمای محصور
65 درجه سانتیگراد	دمای انباشته ی ماکزیمم
99.999% هیدروژن خشک	خلوص هیدروژن
هوا و فن	خنک سازی
با سرعت بالا	مدت شروع
40% در ولتاژ 14 ولت	راندمان سیستم

#### 4-5-3) ظرفیت ذخیره ی سوخت

مقدار هیدروژنی که در کشتی ذخیره شده، تعیین کننده عدم وابستگی مدل می باشد. در زیر راه های گوناگون ذخیره سازی هیدروژن خالص بیان شده اند :

\* متراکم سازی هیدروژن (اغلب در بازه ی 200 تا 700 bars)

\* فرآیند تبدیل هیدروژن به مایع

\* جذب شیمیایی در هیدروکسید فلز<sup>1</sup>

اگر چه نسبت انرژی به وزن سول سوخت هیدروژنی بالا است (حدود 120 MJ/Kg)، موضوع مهم در مورد ذخیره سازی هیدروژن نسبت پائین انرژی به حجم آن است (حدود 0.01005 MJ/l). در جدول زیر چگالی انرژی هیدروژن بر اساس دو پارامتر وزن و حجم با توجه به حالات مختلف آورده شده است :

جدول 7: چگالی انرژی هیدروژن بر اساس نوع ذخیره سازی

حالت ذخیره سازی هیدروژن	چگالی انرژی بر اساس وزن (kWh/kg)	چگالی انرژی بر اساس حجم (kWh/l)
گاز (20 MPa)	33.3	0.53
گاز (24.8 MPa)	33.3	0.64
گاز (30 MPa)	33.3	0.75
مایع (-253 درجه سانتیگراد)	33.3	2.36
هیدروکسید فلز	0.58	3.18

با توجه به جدول فوق واضح است که برای پروژه های با مقیاس پائین تنها راه ذخیره ی هیدروژن استفاده از هیدروکسید فلز می باشد. یک نوع مدل محفظه ی هیدروکسید فلز جهت ذخیره سازی هیدروژن به نام HB-SC-0050-Q با مشخصات زیر وجود دارد:

جدول 8 : مشخصات محفظه ی هیدروکسید فلز HB-SC-0050-Q

مشخصات	پارامترها
50±5 % (dm <sup>3</sup> )	ظرفیت ذخیره سازی هیدروژن
25 – 35 (at 25 °C) (bar)	فشار شارژ هیدروژن
>1 to ≤10 (at 25 °C) (bar)	فشار تخلیه هیدروژن
≥ 99.9999	خلوص تخلیه هیدروژن
≤ 0.2 (25°C)	نرخ جریان تخلیه هیدروژن
50 - 60	دمای محیط
Air Convection / Water Bath	نوع انتقال حرارت
32(diameter) × 200 (length)	ابعاد
< 600 (g)	وزن کل

با تلفیق دو سیستم محفظه ی<sup>1</sup> هیدروکسید فلز تقریباً می توان 100 لیتر هیدروژن را ذخیره سازی کرد. همچنین در حالت ایده ال یک سلول سوخت هیدروژنی توانایی شارژ مجدد باتری به طور کامل در دو نوبت به 100 لیتر هیدروژن که در محافظ ذخیره شده است را دارد.

#### 4-6) پانل های فتوولتائیک

با توجه به اینکه انرژی خورشیدی هزینه ای در بر ندارد و کاملاً رایگان است، بهتر است در ساخت از موادی استفاده کرد که بتوانند به طور بهینه از این انرژی بهره برده و کمترین نیاز به دیگر منابع انرژی داشته باشند. در این مرحله، نصب پانل های خورشیدی این اجازه را می دهند که مصرف انرژی از محفظه ی هیدروژن قطع شده و باتری پیش شارژ شود. فضایی که این پانل ها روی مدل اشغال می کنند کاملاً شبیه به فضایی است که روی قایق با مقیاس کامل وجود دارد. نوع پانل های خورشیدی که برای این پروژه مورد استفاده قرار می گیرند، آرایه های فتوولتائیکی<sup>1</sup> هستند که یک طرف آن به وسیله ی شیشه حفاظت شده و طرف دیگر آن به وسیله ی یک لایه ی ضخیم از نوع سیلیکن پشتیبانی می شود. جدول زیر مشخصات پانل فتوولتائیک Solarex SX10M را نشان می دهد:

جدول 9: مشخصات پانل فتوولتائیک Solarex SX10M

پارامترها	مقادیر (در 25 درجه سانتیگراد)
$P_{Max}$	10 وات
$V_{OC}$	21 ولت
$I_{SC}$	0.65 آمپر
$V_{PMax}$	16.8 ولت
$I_{PMax}$	0.59 آمپر
	مقادیر (در 47 درجه سانتیگراد)
$P_{Max}$	7.1 وات
$I_{PMax}$	0.48 آمپر

پانل های خورشیدی به منظور ثابت نگه داشتن ولتاژ و افزایش جریان، به صورت موازی به یکدیگر متصل می شوند.

#### 4-7) کنترل کننده شارژ باتری

کنترل کننده شارژ باتری نقش مهمی در سیستم رانش ایفا می کند. این وسیله انرژی به دست آمده از پانل های فتوولتائیک را تنظیم می نماید.

جهت مدیریت بهینه ی انرژی، بهترین راه حل استفاده از سیستم ساخته شده توسط Tailor است. این سیستم شامل 2 کنترل کننده ی شارژ باتری است که یکی از آنها برای پانل های فتوولتائیک و دیگری برای سلولهای سوخت بهینه شده اند. برای این پروژه، این سیستم کنترل کننده ی شارژ باتری مورد توجه خواهد بود. یکی از انواع مناسب کنترلرهای شارژ باتری مدلی به نام Solara<sup>®</sup> SR170CX می باشد. مشخصات این سیستم در جدول صفحه بعد نشان داده شده است.

جدول 10 : مشخصات سیستم کنترل کننده ی شارژ باتری Solara® SR170CX

پارامترها	مقادیر
ولتاژ اسمی	12 ولت
ولتاژ جذبی	14.4 ولت
ولتاژ ماکزیمم	14.8 ولت
ولتاژ شناور	13.7 ولت
قطع ولتاژ ورودی	11 تا 12.2 ولت
ولتاژ اتصال مجدد	12.8 ولت
جریان ماکزیمم پانل های PV	10 آمپر (در دمای اتاق)
دمای محیط	-25 تا 50 درجه C
جریان مصرفی	6 میلی آمپر
ابعاد	38 × 93 × 92
وزن کل	175



شکل 8: کنترل کننده ی شارژ باتری Solara® SR170CX

#### 8-4) تجهیزات رادیو – کنترل

تجهیزات رادیو کنترل یک دنده ی R / C می باشد که یک کانال به هر کدام از موتورها و یک کانال دیگر به دنده ی فرمان می فرستد. هر کدام از موتورها به وسیله ی کنترل کننده های مستقل سرعت جهت چرخاندن موتور در جهت مخالف کنترل می شوند.

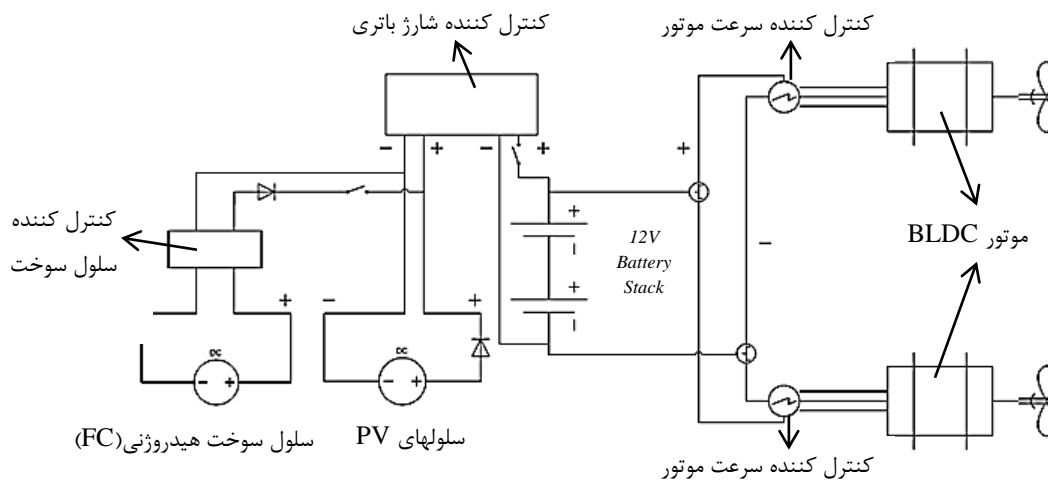
دستگاه R/C، ساطع کننده – جذب کننده : Futaba FF 2.4 GHz ، دارای 6 کانال

دستگاه کنترل کننده سرعت موتور BLDC : Graupner 7221 24 A/h

Servos : مدل HS81 ، جرم 3 کیلوگرم

باید توجه داشت که دریافت کننده و Servo توسط یک باتری مستقل از نوع NiMH با ولتاژ 4.8 ولت و 2000 mAh تغذیه می شوند.

#### 9-4 سیستم رانش



شکل 9: نقشه سیستم رانش

گردش الکتریکی به طور عمده در ولتاژ 12 ولت صورت می گیرد. قطعاتی که این ولتاژ را تولید می کنند به وفور در بازار یافت می شوند.

در سمت چپ نقشه ی سیستم رانش (شکل 9)، سلولهای PV و FC (سوختی) وجود دارند. پایانه های سلول سوخت هیدروژنی به کنترل کننده و سپس به کنترل کننده شارژ باتری متصل می شوند. همان طور که در شکل واضح است، کنترل کننده شارژ باتری موازی با پایانه های سلول PV می باشد. جهت جلوگیری از جریان برعکس از سلول PV به FC، دیودهایی (با جریان بالای 6 آمپر) در قطب مثبت هر دو سلول تعبیه می شوند. توصیه می شود که FC نبایست در روشن و خاموش کردن دستگاه تحت بارهای الکتریکی قرار بگیرد، بنابراین از یک سوئیچ جهت قطع FC در حین این دو فاز، استفاده می شود. کنترل کننده شارژ باتری به پایانه ی باتری متصل شده است. بسته باتری<sup>1</sup> متشکل از دو باتری 6 ولتی است که به صورت سری متصل شده اند. در اینصورت ولتاژ باتری به دو بخش تقسیم می شود و ولتاژهای کنترل شده بیشتر از 7 ولت نخواهند بود. یک سوئیچ بین بسته باتری و کنترل کننده شارژ، توانایی قطع باتری، زمانی که مورد استفاده نیست را دارد تا مانع از شارژ با سرعت و در نهایت آسیب به باتری شود. کنترل کننده ی سرعت موتور نیز به طور سری به بسته باتری و موتور BLDC متصل شده است.

#### 10-4 برآورد تعادل انرژی

جدول زیر ارائه ای از عدم وابستگی سیستم رانش در شرایط گوناگون می باشد :

جدول 11 : عدم وابستگی سیستم رانش در شرایط موثر گوناگون

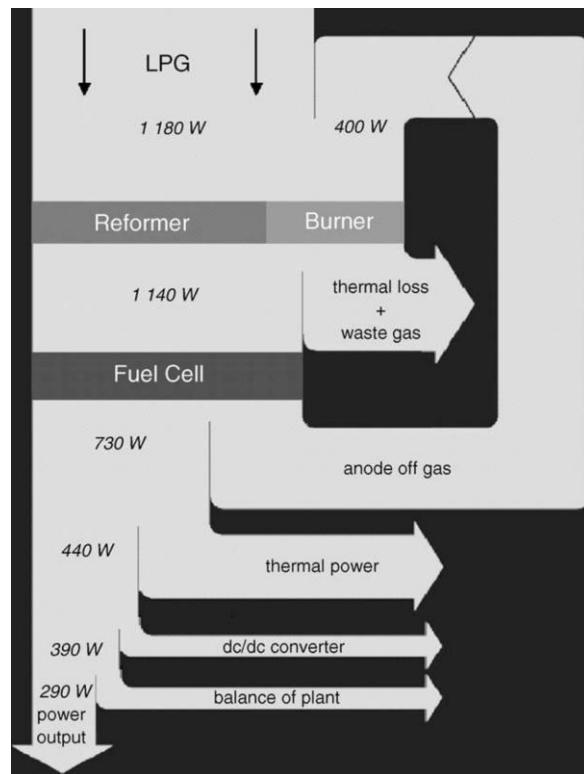
موتور ها	موقعیت شارژ اولیه باتری	PV	FC	Autonomy at 100 %	
<i>100%=110Wh</i>	<i>100%=54Wh</i>	100%=60Wh	100%=111.6Wh	3 hour 19 min	
			0%=0Wh	1 hour 05 min	
		50%=30Wh	100%=111.6Wh	2h 04 min	
			0%=0Wh	40 min	
		0%=0Wh	100%=111.6Wh	1h 30 min	
			0%=0Wh	29 min	
	<i>50% = 27 Wh</i>	100% = 60 Wh	100% = 111.6 Wh	2h 46min	
			0% = 0 Wh	32 min	
		50% = 30 Wh	100% = 111.6 Wh	1h 44min	
			0% = 0 Wh	20 min	
		0% = 0 Wh	100% = 111.6 Wh	1h 16min	
			0% = 0 Wh	15min	
	<i>0% = 0 Wh</i>	100% = 60 Wh	100% = 111.6 Wh	2h 14min	
			0% = 0 Wh	-	
		50% = 30 Wh	100% = 111.6 Wh	1h 24min	
			0% = 0 Wh	-	
		0% = 0 Wh	100% = 111.6 Wh	1h 01min	
			0% = 0 Wh	-	
	موتور ها	موقعیت شارژ اولیه باتری	PV	FC	Autonomy at 50 %
	<i>50%=55Wh</i>	<i>100% = 54 Wh</i>	100% = 60 Wh	100%=111.6Wh	∞
				0%=0Wh	∞
			50% = 30 Wh	100%=111.6Wh	6h 37min
				0%=0Wh	2h 10min
			0% = 0 Wh	100%=111.6Wh	3h 01min
0%=0Wh				59 min	
<i>50% = 27 Wh</i>		100% = 60 Wh	100% = 111.6 Wh	∞	
			0% = 0 Wh	∞	
		50% = 30 Wh	100% = 111.6 Wh	5h 33min	
			0% = 0 Wh	1h 05min	
		0% = 0 Wh	100% = 111.6 Wh	2h 31min	
			0% = 0 Wh	29 min	
<i>0% = 0 Wh</i>		100% = 60 Wh	100% = 111.6 Wh	∞	
			0% = 0 Wh	∞	
		50% = 30 Wh	100% = 111.6 Wh	4h 28min	
			0% = 0 Wh	-	
		0% = 0 Wh	100% = 111.6 Wh	2h 02min	
			0% = 0 Wh	-	



#### 11-4) نمودار Sankey سیستم رانش

نمودار Sankey یک نمودار گرافیکی برای نشان دادن جریان، مانند جریان انرژی و ... می باشد. در این نمودار اغلب، جریان به صورت یک پیکان نشان داده می شود. عرض هر کدام از این پیکان ها متناسب با اندازه جریان بیان شده است. نمودار Sankey همچنین برای نشان دادن راندمان یک سیستم مناسب است.

آقای Beckhause و همکارانش برای سلول سوخت LPG<sup>1</sup> که برای یک قایق بادی<sup>2</sup> به کار گرفتند، از نمودار Sankey بهره بردند. شکل زیر مشخصات نمودار Sankey برای سیستم رانش این قایق می باشد :



شکل 9: نمودار Sankey مورد استفاده در قایق بادی توسط Beckhause

حال نمودار Sankey برای پروژه ی در دست طراحی را می بایست طوری رسم کنیم که تمامی مشخصات مربوط به جریان های انرژی، سوخت، حرارتی و ... کاملاً واضح مشخص باشند. برای رسم این نمودار بهتر است پارامترهای ورودی در سمت چپ، پارامترهای خروجی (مفید) در سمت راست و در نهایت پارامترهای خروجی غیر قابل استفاده (بیهوده) به طور عمودی به سمت پائین قرار گیرند. البته باید توجه داشت که می بایست موازنه رعایت شده و پارامترهای ورودی و خروجی با یکدیگر کاملاً برابر باشند. جدولی از مشخصات مورد استفاده برای رسم این نمودار در صفحه بعد آورده شده است.

موقعیت	لیسبون پرتغال (38 درجه شمالی)
ماه	جولای
زمان	13:00
دما	30 درجه سانتیگراد
رطوبت نسبی	50 درصد
وضعیت هوا	صاف
تابش نور خورشید	$900 \text{ W.m}^{-2}$
مساحت سطح فتوولتائیک (PV)	0.6 متر مربع
راندمان PV	10 درصد
ولتاژ سلول سوخت (FC)	14.8 ولت
راندمان FC	38 درصد
راندمان موتور با جریان مستقیم	70 درصد
راندمان PV پروانه	40 درصد
راندمان انتقال PV	98 درصد

### 5-1) آزمایش اجزای سیستم رانش در آزمایشگاه

کل سیستم رانش و اجزای مربوط به آن در قسمت های گذشته معرفی شدند. برای آنکه بتوان سیستم رانش را به درستی مدل کرد و مصرف و تولید انرژی را پیش بینی نمود، می بایست آزمایشات بسیار دقیقی بر روی اجزای سیستم رانش انجام داد. در واقع در این قسمت روند آزمایش و تست سلولهای سوخت هیدروژن، پانل های فتوولتائیک و کنترل کننده های شارژ باتری مورد بحث قرار خواهد گرفت.

### 5-2) سلول سوخت هیدروژن

#### 5-2-1) تشریح کامل روند آزمایش سلول سوخت هیدروژن

سلول سوخت هیدروژن را باید در شرایط جوی گوناگون مورد آزمایش قرار داد (به عنوان مثال در دماهای گوناگون 25 درجه، 30 درجه و ...) و به وسیله ی افزایش بار الکتریکی نمودار جریان - ولتاژ را رسم خواهیم کرد.

بر اساس پیشنهاد Teixeira J. استفاده از لامپهای روشنایی به عنوان بار الکتریکی، به صورت موازی مناسب تر خواهد بود. استفاده از این لامپها در مقابل مقاومت هایی الکتریکی مزایایی مانند توانایی پراکندگی توان الکتریکی و کنترل چشمی آن می باشد. همچنین بار الکتریکی تشکیل شده از جفت لامپهای 12 ولتی به صورت سری، تحمل ولتاژ تا حدود 24 تا 26 ولت، زمانی که ماکزیمم ولتاژ خروجی داده شده ی دستگاه 23 ولت باشد را دارد.

## 5-2-2) ابزارهای آزمایش

تعدادی از مهمترین و پرکاربردترین ابزاری که جهت آزمایش و تست سلول سوخت هیدروژن از آنها می توان استفاده کرد عبارتند از :

\* ولت متر : ولتاژ سلول سوخت در پایانه های بار الکتریکی به وسیله ی مولتی متر اندازه گیری می شود.

\* آمپرسنج : جریان رسیده شده به بار الکتریکی به وسیله ی یک آمپر سنج اندازه گیری خواهد شد.

\* جریان سنج هیدروژن : جریان ورودی هیدروژن به وسیله ی یک جریان سنج کششی<sup>1</sup> اندازه گیری و کنترل می شود. بازه ی آن حدود 0.1 تا 1.2 l/min و خطای نسبی حدود 4٪ مورد قبول می باشد.

\* کوره<sup>2</sup> : جهت دستیابی به دمای خواسته شده و درجه رطوبت، از یک کوره برای مجزا کردن محیط آزمایش از فضای بیرون آن، استفاده می شود.

\* رطوبت سنج<sup>3</sup> : رطوبت سنجی از طریق عبور جریان هوا از طریق آب و انتشار قطرات کوچک آب در محیط مشخص می شود. اما هنگامی که با دمای بالا ترکیب می شود دیگر این راه کفایت نخواهد کرد.

\* گرما سنج - نم سنج<sup>4</sup> : دما و RH به طور ثابت با گرماسنج و نم سنج متصل شده به فرستنده ی آب و هوا درون کوره کنترل می شوند.

\* شناساگر گاز<sup>5</sup> : نفوذ هیدروژن از طریق شناساگر گاز با یک ppm مشخص کنترل می گردد.

## 5-2-3) محاسبه ی راندمان

برای محاسبه راندمان سلول سوخت، از مقایسه انرژی جذب شده، انرژی ورودی، انرژی الکتریکی تولید شده و انرژی خروجی استفاده می شود. این انرژی شامل هیدروژن مصرفی توسط سلول سوخت است که به طور آبی اتفاق می افتد.

$$\text{Overall Efficiency}_{FC} = \frac{\text{Electrical Output [W]}}{\frac{\text{Energy}}{s} [Js^{-1}]} \quad (20)$$

$$\frac{\text{Energy}}{s} [Js^{-1}] = \frac{H_2 \text{ Flow [mole.min}^{-1}]}{60} \times H_2 \text{ LHV [kJ.mole}^{-1}] \times 10^3 \quad (21)$$

فرض می شود که بخار آب در حالت 241.8 kJ/mole قرار دارد :

$$H_2 \text{ Flow [mole.min}^{-1}] = H_2 \text{ Flow [l.min}^{-1}] \times n[\text{mole.l}^{-1}] \quad (22)$$

برای یافتن مقدار عددی  $n$  از معادله ی گاز ایده آل (معادله ی حالت) استفاده می شود :

$$PV = nRT \quad (23)$$

با توجه به مقادیر زیر و جایگذاری در معادله ی (23) خواهیم داشت :

$$* P = 101325 \text{ Pa} + 45000 \text{ (H}_2 \text{ inlet Pressure)} = 146325 \text{ Pa}$$

$$* V = 1 \text{ dm}^3$$

$$* R = 8.31 \text{ J.K}^{-1}.\text{mol}^{-1}$$

$$* T = 293.15 \text{ K (25}^\circ\text{C)}$$

$$\rightarrow n = 0.0600 \text{ moles}$$

### 5-2-4 نتایج آزمایش

در این مرحله باید بر اساس بارها، ولتاژها، جریان ها، توان ها، جریان های هیدروژن، پالایشات هیدروژن، انرژی بر ثانیه و راندمان های مختلف، جدولی تهیه نمود و همچنین نمودارهای ولتاژ - جریان سلول سوخت، توان - جریان سلول سوخت هیدروژن و جریان - ولتاژ سلول سوخت هیدروژن را بر اساس مقادیر جدول رسم کرد.

### 5-2-5 بحث

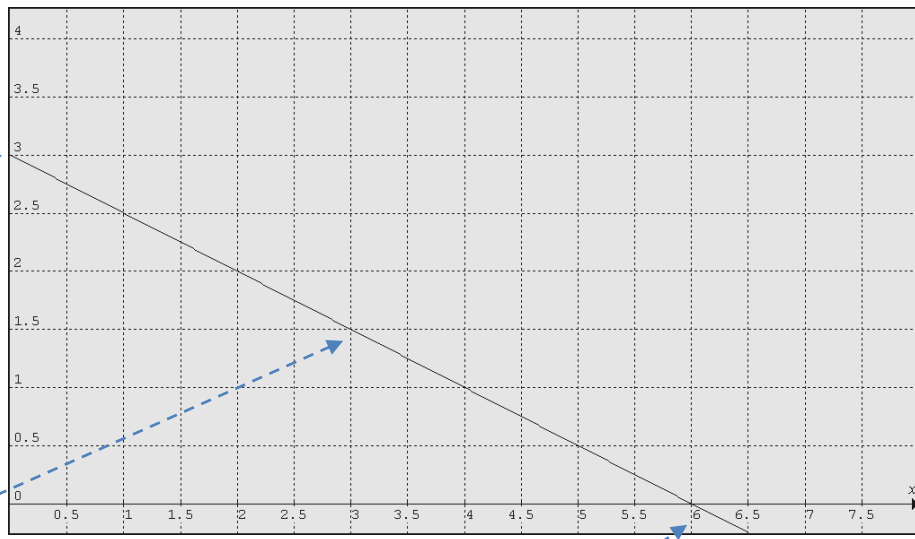
آزمایش سلول سوخت هیدروژن، رسم نمودارهای جریان - ولتاژ در 9 وضعیت جوی مختلف را فراهم می سازد. این نمودارها می بایست در شبیه ساز سیستم رانش، جهت مدل کردن سلول سوخت در شرایط گوناگون، مورد استفاده قرار گیرند.

### 5-3 پانل های فتوولتائیک (PV) :

در تشریح سیستم رانش در مورد پانل های PV صحبت شد. این پانل ها در بارهای الکتریکی مختلف مورد آزمایش قرار گرفتند تا بتوان نمودارهای ولتاژ - جریان را بر اساس آن رسم نمود.

توان خروجی یک پانل خورشیدی در واقع به میزان مقاومت بار الکتریکی که به آن متصل است، بستگی دارد. در وضعیت مدار باز<sup>1</sup> ولتاژ پانل خورشیدی بالا خواهد بود، اما هیچ جریانی وجود داشته و طبیعتاً توانی نیز تولید نخواهد شد. در وضعیت مدار کوتاه<sup>2</sup> (عدم وجود مقاومت)، جریان گردش می کند، اما ولتاژ صفر و مجدداً توانی تولید نمی شود. این نتایج همگی از قانون اهم<sup>3</sup> پیروی می کنند.

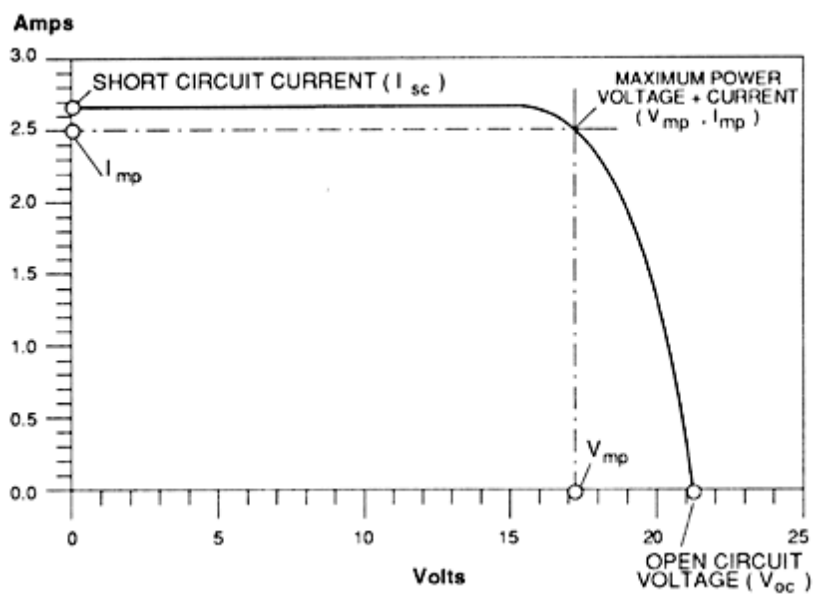
جریان مدار کوتاه (مقاومت صفر)



نقطه ی وسط نمودار نشانگر توان ماکزیمم ایده آل است. نقطه ای که بار خارجی برابر با مقاومت داخلی باتری می باشد.

ولتاژ مدار باز (جریان)

شکل 10 : نمودار ولتاژ - جریان در حالت مقاومت ورودی ثابت



شکل 11 : منحنی پائل های فتوولتائیک در حالت عدم وجود مقاومت

در مورد شکل 11 باید توجه داشت که اگر توان توسط ضرب دو مقدار ولتاژ و آمپر معین شود، مساحت مستطیل بزرگترین مقدار را خواهد داشت.

### 5-3-1 شرح آزمایش

باید حداقل دو آزمایش در دو روز مختلف و با شرایط جوی گوناگون انجام داد و بار الکتریکی را نیز محاسبه کرد. آزمایش با مدار باز، جهت مشخص شدن نقطه ی ولتاژ ماکزیمم آغاز می گردد. در ادامه، جفت لامپ های موجود تا زمانی که شدت نور کاهش می یابد، روشن می شوند. در این نقطه و در زمانی سریع، یک مدار کوتاه بین دو پایانه ی پانل خورشیدی جهت مشخص کردن اوج جریان، ایجاد می گردد. دو پانل مختلف هر کدام 3 بار، در دو شرایط مختلف آزمایش می بایست آزمایش شوند: شیب بهینه ی پانل و پانل عمودی. متغیرها در این نتایج از طریق هر کدام از پانل ها مشخص می گردند. در واقع می توان اطمینان حاصل کرد که نتایج به دست آمده از 3 آزمایش صورت گرفته مورد قبول خواهند بود و می توان در سیستم انرژی خورشیدی مدل از آن ها بهره برد.

### 5-3-2 ابزارهای آزمایش

ولتاژ و جریان کنترل شده و به طور مداوم از طریق استخراج داده ها از ابزارهای موجود به دست می آیند.

### 5-3-3 نتیجه

نتایج به دست آمده از 6 آزمایشی که صورت گرفت، می بایست به صورت میانگین در دو نمودار جریان – ولتاژ استفاده شوند. در واقع یک نمودار در شیب حدود 50 درجه و دیگری در شیب صفر (عمودی) رسم می شوند.

### 5-4-1 کنترلر شارژ باتری

هدف از آزمایش کنترلر باتری، معین نمودن این است که داده های تولید کننده قطعه برای ولتاژ مورد نظر مناسب باشد و همچنین شدت جریان در موقعیت شارژ باتری (SOC) را تعیین می کند. این آزمایش ها در شرایط مختلفی صورت می گیرد تا مشخصات مدل بر اساس این آزمایش ها مشخص شوند. در واقع در شرایط گوناگون آزمایشات مختلفی صورت گرفته و رفتار مدل بررسی می گردد. برای شبیه سازی منبع توان، پانل های فتوولتائیک و سلولهای سوخت، می بایست یک منبع 5 آمپری با بیشینه ی قدرت خود به پایانه های ورودی کنترلر باتری متصل گردد. پایانه های خروجی نیز باید به یک باتری اسیدی 12 ولتی متصل شود.

آزمایشها در موقعیت های مختلف شارژ باتری انجام می شود. بعد از هر تغییری که در وضعیت شارژ رخ می دهد، باتری قطع شده و حدود 10 دقیقه برای تثبیت وضعیت شارژ باتری در حالت Stand by قرار می گیرد.

### 5-4-1 نتایج آزمایش

اکنون باید وضعیت های مختلف شارژ که برای کنترلر باتری Solara® SR170CX در جدولی قرار داده و برای هر کدام حد ولتاژ و جریان را به دست آوریم. بدیهی است که ولتاژ خروجی بستگی به ولتاژ ورودی خواهد داشت. ولتاژ ورودی می بایست حداقل برابر با ولتاژ خروجی که در جدول ذکر خواهد شد، باشد.

## 5-5) تجهیزات استخراج اطلاعات

### 5-5-1) برد استخراج اطلاعات<sup>1</sup>

برای ذخیره اطلاعات مربوط به سیستم رانش با کنترل از راه دور، می بایست از برد استخراج اطلاعات مانند NI USB 6211 که به نرم افزار LabVIEW 8.5 متصل است استفاده شود. این ابزار یک محدوده ی ولتاژ ماکزیمم در حدود 10 ولت دارد. همچنین 8 کانال آنالوگ با وضوح 16 bits و با نرخ 250 kS/s دارا می باشد.

### 5-5-2) رفع محدودیت های موجود

این برد استخراج اطلاعات که در بالا ذکر شد، برای اندازه گیری مستقیم جریان و ولتاژهایی که محدود به +10 یا -10 هستند، طراحی شده است. بنابراین باید اندازه گیری ها با این محدودیت ها سازگار باشند.

\* جریان : به وسیله ی کابل های مدرج شده<sup>2</sup> و با استفاده از قانون اهم، به دست می آید.

\* ولتاژ سلول سوخت : ولتاژ کل به 3 ولتاژ جزئی تقسیم شده که به وسیله ی 7 سلول اندازه گیری می شوند.

\* ولتاژ پانل های فتوولتائیک : ولتاژ کل به 4 ولتاژ جزئی که در هر کدام از خطوط سلول فتوولتائیک اندازه گیری می شوند، تقسیم می گردد.

\* ولتاژ باتری : به جای استفاده از یک باتری 12 ولتی، یک جفت باتری 6 ولتی که به طور سری به هم متصل شده باشند، مورد استفاده قرار گرفته و ولتاژ بر روی یکی از آنها نمونه برداری شده و سپس 2 برابر می گردد.

### 5-5-3) نمونه هایی از استخراج اطلاعات توسط نرم افزار LabVIEW 8.5

برای یک سیستم رانش، باتری، پانل های فتوولتائیک، ولتاژها و جریان های سلول سوخت و موتور (از طریق کابل های مدرج شده)، را می توان در زمان واقعی روی پانل استخراج اطلاعات توسط نرم افزار LabVIEW 8.5 کنترل نمود. این پانل یک اندازه، یک شاخص عددی و یک نمودار برای هر اندازه گیری نشان می دهد. اطلاعات نیز در یک فایل Excel ذخیره خواهد شد.

برای پانل های فتوولتائیک، ولتاژ 4 خط سلول آن و همچنین جریان کل نیز کنترل خواهد شد.

## 6-1) مدل سازی سیستم رانش

فرایند مدل سازی سیستم رانش در نرم افزار  $\text{Matlab}^{\text{®}}$   $\text{Simulink}^{\text{®}}$  صورت خواهد گرفت. هدف از طراحی این مدل، شبیه سازی سیستم رانش واقعی به طور واضح است تا نحوه عملکرد این سیستم و جریان انرژی های آن مشخص گردد.

این مدل مجازی نیز یک محیط انعطاف پذیر برای تنظیم دقیق، بهینه سازی و صحت سنجی سیستم رانش خواهد بود.

بر خلاف مدل های دینامیکی موتورهای BLDC، باتری های اسیدی، سلولهای سوخت PEM یا پانل های فتوولتائیک که بسیار کلی و نیازمند تنظیمات دقیق توسط تنظیم پارامترهای گوناگون هستند، این مدل بر اساس تست های آزمایشگاهی اجزای گوناگون سیستم رانش طراحی می گردد. به همین دلیل انتظار می رود که تطابق خوبی با سیستم رانش در مقیاس واقعی داشته باشد.

نتایج فوق در قسمتی از  $\text{Simulink}^{\text{®}}$  با نام "look-up tables" اجراء شده و به سیستم این امکان را می دهد که از اطلاعات آزمایشگاهی درونیابی و برونیابی صورت بگیرد. طراحی این مدل نیز به نحوی است که در مقیاس واقعی سیستم رانش قابل اجرا می باشد.

به هر قسمت مدل شده در نرم افزار یک بلوک<sup>1</sup> گفته می شود و از طریق درگاه های "in" و "out" به دیگر قسمت های مدل متصل خواهند شد. بعضی از بلوک ها دارای پارامترهای خاصی هستند که می توانند به وسیله ی دو بار کلیک کردن روی آنها، مانند تابش خورشیدی فتوولتائیک و یا رطوبت نسبی و دمای سلول سوخت تنظیم گردند.

ورودی اصلی این سیستم، دریچه کنترل بخار یا بنزین<sup>2</sup> قایق می باشد که یا یک درجه ولتاژ ثابت و یا یک پروفیل ولتاژ قابل تنظیم خواهند بود. خروجی ها نیز شامل مقادیر دیگر مانند جریان مصرف شده، توان تولید شده، موقعیت شارژ باتری (SOC)، دور موتور بر هر دقیقه و سرعت قایق هستند. برخی از موارد خروجی برای کل سیستم جهت استفاده به عنوان ورودی بلوک دیگر حائز اهمیت می باشند و بقیه ی خروجی ها فقط جهت آگاهی هستند. سیگنال آنها نوسان نما<sup>3</sup> یا نمودار نشان داده خواهند شد.

موارد زیر هر یک از بلوک ها را به طور جداگانه معرفی می کند :

## 6-2) موتور

\* ورودی

"in1" ولتاژ موتور : ولتاژ ورودی از 0 تا 7 ولت متغیر می باشد. این ولتاژ دور موتور را از طریق نسبت خطی  $V/\text{rpm}$  که تولیدکننده معین کرده تعیین می کند.

"in2" گشتاور مورد نیاز : این ورودی به صورت غیر مستقیم به وسیله ی ولتاژ ورودی موتور که به RPM تفسیر می گردد، تولید شده و سپس به بلوک های سیستم رانش که گشتاور را محاسبه می کند، فرستاده می شود. گشتاور لازم است به سرعت چرخشی که به مشخصات هیدرودینامیکی و رانشی بستگی دارد، دست یابد.



گشتاور مورد نیاز موتور از رابطه زیر به دست می آید :

$$\text{Motor Torque} = \frac{\text{Power [W]} \times 60}{\text{RPM [min}^{-1}] \times 2 \times \pi} \quad (24)$$

\*خروجی

“out1” جریان موتور : جریان واقعی توسط یک موتور مصرف می شود. این جریان، جریان نظری است که توسط راندمان موتور افزایش می یابد. این جریان توسط باتری ها به وجود می آیند.

“out2” توان مکانیکی : توان واقعی شفت برای یک موتور می باشد. از گشتاوری که به وسیله ی چرخش در هر ثانیه تقسیم شده، محاسبه می شود.

“out3” توان الکتریکی : توان الکتریکی که توسط یک موتور مصرف می شود.

“out4” راندمان موتور : متغیر می باشد و از جریان نظری موتور با توجه به اطلاعات تولید کننده به دست می آید.

“out5” RPM موتور : سرعت چرخشی خروجی شفت که جهت تعیین گشتاور مورد نیاز در بلوک های سیستم رانش استفاده می شود.

با توجه به رابطه ی (24) توان مکانیکی محاسبه می گردد. توان الکتریکی نیز از تولید ولتاژ موتور و جریان واقعی آن به دست می آید. نسبت بین توان مکانیکی و توان الکتریکی، همان راندمان است.

### 3-6 باتری

M.Durr و همکارانش یک مدل ریاضی طراحی نمودند که به طور دقیق رفتار باتری اسیدی، تحت شرایط دشارژ را مشخص می کند. این مدل برای شارژ باتری های اسیدی نیز قابل استفاده است. به علاوه این مدل فقط برای باتری های خاصی که مورد آزمایش قرار گرفته اند، درست می باشد. به دلایل فوق، بهره گیری از رابطه ی Th.Latour ترجیح داده شد.

\*ورودی

“in1” جریان دریافت شده از باتری : جریان توسط موتور و کنترلرهای آن، کنترلر شارژ باتری، کنترلر سلول سوخت و فن خنک کننده ی سلول سوخت، مصرف می شود.

\*خروجی

“out1” موقعیت شارژ باتری : SOC به صورت درصد تعریف می شود.

“out2” ولتاژ باتری : متغیر بین 11.5 ولت تا 13 ولت می باش و متناسب با موقعیت شارژ باتری است.

\* پارامترهای قابل تنظیم

موقعیت اولیه شارژ باتری : موقعیت شارژ باتری در آغاز شبیه سازی، از 0 تا 100 %.

راه معمول جهت تخمین موقعیت شارژ، استفاده از رابطه ی زیر است :

$$SOC(t) = SOC_0 + \frac{1}{Q_{battery}} \int_{t_0}^t i_{battery}(t) dt \quad (25)$$

در رابطه ی فوق Q، ظرفیت باتری می باشد.

## 6-4 سلول سوخت

\* ورودی

“in1” ولتاژ سلول سوخت : ولتاژ از کنترلر شارژ باتری وارد می شود. این ولتاژ، جریان را تعریف کرده و سلول سوخت می تواند آن را تولید نماید. این تولید جریان بستگی به شرایط جوی خواهد داشت.

\* خروجی

“out1” جریان سلول سوخت : جریان تولید شده توسط سلول سوخت.

“out2” توان سلول سوخت : توان مفید تولید شده توسط سلول سوخت.

“out3” کنترلر جریان سلول سوخت : جریان مصرف شده توسط کنترلر سلول سوخت و فن خنک کننده.

\* پارامترهای قابل تنظیم

دما : خروجی سلول سوخت برای نمونه در دماهای 25، 30 و 35 درجه سانتیگراد می باشد.

رطوبت نسبی<sup>1</sup> : خروجی سلول سوخت به طور نمونه در رطوبت 25، 50 و 85 % قرار دارند.

## 5-6) پانل های فتوولتائیک

\*ورودی

”in1“ ولتاژ پانل فتوولتائیک : ولتاژ از کنترلر شارژ باتری وارد می شود. این ولتاژ جریان تعریف کرده و این پانل ها می توانند آن را تولید نمایند این تولید به میزان تابش خورشیدی بستگی خواهد داشت.

\*خروجی

”out1“ جریان پانل فتوولتائیک : جریان تولید شده توسط پانل فتوولتائیک.

”out2“ توان پانل فتوولتائیک : توان تولید شده توسط پانل فتوولتائیک.

\*پارامترهای قابل تنظیم

تابش خورشیدی : بین 0 تا  $1000 \text{ W.m}^{-2}$  می باشد. خروجی پانل فتوولتائیک می بایست برای تابش  $900 \text{ W.m}^{-2}$  مورد آزمایش قرار گیرد. همچنین باید توجه داشت که یک رابطه خطی بین تابش خورشیدی و جریان تولید شده تحت یک ضریب که بر مقدار جریان موثر است، برقرار می باشد.

## 6-6) کنترلر شارژ باتری

\*ورودی

”in1“ جریان سلول سوخت: برابر است با سلول سوخت ”out1“.

”in2“ جریان فتوولتائیک: برابر است با پانل فتوولتائیک ”out1“.

”in3“ موقعیت شارژ باتری: برابر است با باتری ”out1“.

\*خروجی

”out1“ ولتاژ سلول سوخت: کمترین ولتاژ سلول سوخت می بایست در طول جریان وبه جود آمده باشد. این ولتاژ جریان ماکزیمم سلول سوخت را تولید می کند.

”out2“ ولتاژ فتوولتائیک: کمترین ولتاژ فتوولتائیک می بایست در طول جریان وبه جود آمده باشد. این ولتاژ جریان ماکزیمم فتوولتائیک را تولید می کند.

”out3“ جریان باتری : جریان تولید شده توسط سلول سوخت و فتوولتائیک برای شارژ باتری . تأمین توان موتور مناسب می باشد.

این بلوک در واقع رفتار Solara® SR170CX را تشریح می نماید.

اگر سلول سوخت و فتوولتائیک در کنترلر شارژ باتری به یکدیگر متصل شده باشند، این منطقی است که مجموع جریان ها بیشتر شود. یک بخش اشباع تضمین می کند که جریان همیشه بیشتر از صفر باقی می ماند.

همانطور که در قسمت های گذشته کنترلر شارژ باتری مورد بحث قرار گرفت، این سیستم ولتاژ خروجی خود را با توجه به موقعیت شارژ باتری تنظیم می کند. ولتاژ ورودی می بایست همان ولتاژ خروجی باشد. در واقع 3 خروجی فوق حد ولتاژ خروجی هستند و با ولتاژ مینیمم ورودی برابر می باشند.

## 6-7 پارامترهای رانش

\*ورودی

”in1“ دور موتور: برابر است موتور ”out5“ ، سرعت چرخش محور موتور.

\*خروجی

”out1“ گشتاور: این گشتاور مقاومت توسط چرخش پروانه تحریک می شود.

”out2“ نیروی تراست: این نیرو لازم است به سرعت خاصی دست یابد.

”out3“ سرعت: سرعت مدل قایق

\*پارامترهای قابل تنظیم

چگالی آب و قطر پروانه از مواردی هستند که می توان آنها را تغییر داد.

این بلوک در واقع تشریح فرمول های ریاضی در مورد ضریب پیشروی پروانه (J)، ضریب تراست ( $K_T$ ) و ضریب گشتاور ( $K_Q$ ) به صورت ترسیمی می باشد.

$$J = \frac{V_a}{n \cdot D} \quad (26)$$

$$T = K_T \cdot \rho \cdot n^2 \cdot D^4 \quad (27)$$

$$Q = K_Q \cdot \rho \cdot n^2 \cdot D^5 \quad (28)$$

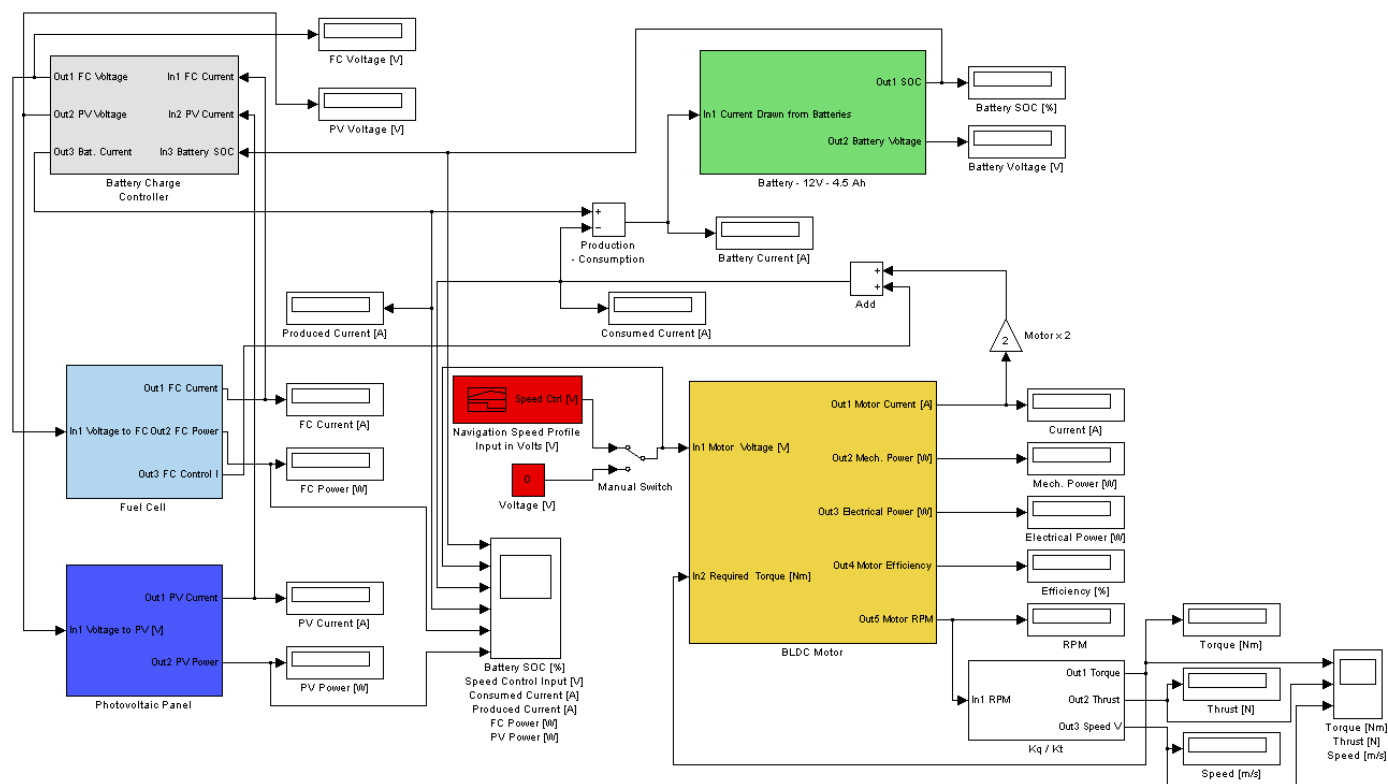
در رابطه ی (26)،  $V_a$  سرعت پیشروی است که با سرعت قایق و ضریب Wake مدل که حدود 0.2 در نظر گرفته شده، در ارتباط است. رابطه ی بین این 3 پارامتر عبارتست از :

$$V_a = V \times (1 - w_m) \quad (29)$$

جهت تصحیح تطابق بین نتایج آزمایشگاهی و شبیه سازی نرم افزاری مدل، تنظیم ضریب پیشروی ( $J$ ) می بایست قبل از استفاده به عنوان ورودی نرم افزار، انجام شود. این عمل ممکن است به دلیل عدم دقت کافی در رابطه ی بین سرعت و دور موتور و همچنین به حساب نیاوردن پدیده ی کاویتاسیون است و این مسأله بسیار حائز اهمیت می باشد. پس این تصحیح تطابق می بایست حتما صورت بگیرد.

### 8-6 مدل سیستم رانش

ارتباط بین بلوک های معرفی شده در شکل زیر آورده شده است. ورودی این سیستم کنترلر سرعت، یک دریچه کنترل الکتریکی که سرعت موتور را به وسیله ی تصحیح ولتاژ ورودی کنترل می کند، می باشد. جهت صحت سنجی مدل شبیه سازی شده، آزمایش هایی می بایست بر روی موتور انجام شود .



شکل 12: بلوک های متصل شده ی سیستم رانش در مقیاس مدل

## 7-1) تشریح

یک مدل جامع از سیستم رانش می بایست شبیه سازی شود تا بتوان بر طبق محاسبات کامپیوتری در شرایط مختلف جوی و موقعیت های گوناگون آن را مورد آزمایش قرار داد. جهت صحت سنجی مدل، 2 آزمایش با 2 موقعیت اولیه شارژ باتری مختلف (100٪ و 75٪) باید انجام شود. نتایج به دست آمده را باید مورد بحث قرار داد، با یکدیگر مقایسه نمود و آنها ارزیابی کرد. در واقع یک جدول در زمانهای مختلف باید رسم کرد و توان و ولتاژ مربوط به هر زمان را در آن قرار داد.

## 7-2) شرایط مختلف آزمایش

### \* محیط آزمایش

مکان، تاریخ، زمان، دما، رطوبت نسبی و تابش خورشید پارامترهایی هستند که می بایست در این بخش مشخص نمود. باید توجه داشت که هر کدام از اطلاعات فوق باید با توجه به مکان و زمان مورد نظر باشند.

\* تجهیزات مورد استفاده در استخراج اطلاعات

به عنوان مثال از بورد NI USB 6211 و نرم افزار LabVIEW 8.5 استفاده می گردد.

باید دقت نمود که مکانی که معرفی می گردد باید شرایط محیطی مناسبی برای انجام آزمایش های مربوطه داشته باشد. به عنوان مثال حوضچه ی آزمایش که مورد استفاده قرار می گیرد باید بتواند تابش خورشیدی کافی جذب کند تا بتوان مدل را به درستی آزمایش کرد.

## 7-3) آزمایش SOC باتری (100 درصد کامل)

ولتاژ تثبیت شده ی باتری می بایست قبل از انجام آزمایش های مربوط به سیستم رانش، اندازه گیری شود. باید دقت کرد که اندازه گیری دقیق موقعیت شارژ باتری بسیار مشکل است. با وجود این موقعیت شارژ باتری نزدیک به 100 درصد مورد آزمایش قرار می گیرد.

باید نتایج آزمایش را به صورت نموداری رسم نمود. این نمودارها شامل نمودارهای زیر است :

1 - نمودار ولتاژ - زمان در 3 حالت ولتاژ باتری مدل، ولتاژ باتری واقعی و ولتاژ کنترلر موتور

2 - نمودار ولتاژ - زمان پانل های فتوولتائیک و سلول سوخت در دو حالت مدل و واقعی

3 - نمودار جریان - زمان پانل های فتوولتائیک و سلول سوخت در دو حالت مدل و واقعی و جریان موتور

#### 4-7) آزمایش SOC باتری (75 درصد)

قبل از آغاز آزمایش دوم، ولتاژ تثبیت شده ی باتری می بایست مشخص گردد. این ولتاژ مربوط به 75٪ شارژ باتری می باشد. در این بخش نیز می بایست نمودارهایی مانند نمودارهای بالا رسم کرد.

#### 5-7) خطای آزمایشگاهی

1 - شرایط کشش Bollard : در آزمایش واقعی، پروانه در یک جعبه ی کوچک که از آب پر شده می چرخد و سرعت قایق صفر است. این آب به صورت مغشوش می باشد. نمودارهای  $K_T/J$  و  $K_Q/J$  مورد استفاده در مدل، واقعیت آزمایش را نمی تواند به خوبی رسم کند.

2 - اندازه گیری جریان به صورت دستی : به دلیل مشاهده ی موارد نامعلومی که در اندازه گیری جریان به وسیله ی کابهای مدرج و برد استخراج اطلاعات وجود داشت، استفاده از آمپرسنج مناسب به نظر رسید. اما به وسیله ی آمپرسنج نیز امکان یک خطای جزئی وجود دارد که باید به آن اشاره کرد.

3 - اندازه گیری آبی ولتاژ باتری بسیار پیچیده و دشوار می باشد. این ولتاژ به ولتاژ شناور کنترلر شارژی باتری و بار الکتریکی بستگی دارد.

4 - کنترلر شارژی باتری، ولتاژ شناور آن با آزمایش اولیه اختلاف دارد. همچنین شدت جریان مورد استفاده در شارژ باتری را کنترل می کند.

#### 8 - نتایج و پیشنهادات

به نظر می رسد به دلیل حساسیت اجرای این پروژه و سودمندی استفاده از قایق خورشیدی بهتر است از ابزار و وسایلی بهره برد که بتوانند از این انرژی به نحو احسن استفاده کرده و بتوانند این انرژی مفید را به خوبی جذب کنند. به عنوان مثال از موادی استفاده شود که توانایی جذب تابش خورشیدی را داشته و همچنین آزمایش ها را در مکانی انجام داد که تابش خورشیدی مناسب بوده و شرایط آزمایشگاهی اختلاف زیادی بین مدل و مقیاس واقعی به وجود نیارد.

#### انتخاب و طراحی پروانه

انتخاب پروانه نیز یکی از پارامترهای مهم طراحی این قایق می باشد. همانطور که قبلاً بیان شد استفاده از نرم افزار NavCad برای طراحی پروانه بسیار مفید است. استفاده از یک پروانه از نوع سری B، با 3 پره و با قطر 64 سانتی متر بهینه می باشد.

طراحی سیستم رانش نیازمند محاسبات اولیه مقاومت بدنه در مقیاس مدل می باشد. با در نظر گرفتن راندمان های مربوط به مقاومت بدنه، یک نیروی محرکه ی مینیمم تعریف می گردد و موتور را بر اساس آن می توان انتخاب نمود. همچنین با انجام آزمایش ظرفیت باتری تعیین شده و با توجه به آن کنترلر شارژ باتری با توجه به دسترسی و قابلیت خرید آن انتخاب می گردد.

## آزمایش قسمت ها و اجزای سیستم

برای آزمایش قسمت ها و اجزای سیستم، یک تست کامل از اول تا آخر جهت تحلیل رفتار عناصر اصلی سیستم صورت می پذیرد. به عنوان مثال آزمایش سلول های سوخت، پانل های فتوولتائیک و کنترلر شارژ باتری. همچنین رسم نمودارهای مشخصات مربوط به اجزای مختلف سیستم در شرایط گوناگون آب جوی (دما و رطوبت نسبی های مختلف) می بایست صورت گیرد.

## پیاده سازی و اجرای سیستم رانش

جهت پیاده سازی و اجرای سیستم رانش، بعد از طراحی حوزه ی الکتریکی، کنترل سیستم رانش و اجزای آزمایش شده ی سیستم، اجرای سیستم رانش بر روی صفحه در مقیاس مدل صورت می گیرد. اولین قدم ساختمان آلومینیومی به دو بدنه ی طراحی شده متصل می گردد و با ورق های تقویت شده جهت اطمینان از استحکام مکانیکی بدنه مقاوم می شوند. یک پانل با آرایش شش گوشه در مرکز این سکو نصب شده تا بیشترین جذب الکتریکی صورت گیرد. بدنه نیز شکافته می شود تا لوله های جریان از داخل آن عبور نماید. همچنین جهت متصل کردن مقاوم و مقید کردن موتور، از کامپوزیت ساخته شده از Carbon Epoxy استفاده می شود. بعد از نصب خطوط انتقال، دنده فرمان، تجهیزات رادیو – کنترلی و باتری ها در یک حوضچه مورد آزمایش قرار گرفته و سپس نصب می شوند. بعد از حصول اطمینان از نصب درست و مناسب تجهیزات، حوزه ی الکتریکی و کنترل تجهیزات آغاز می گردد.

## فرآیند شبیه سازی مدل در نرم افزار <sup>®</sup> Simulink

جهت مشخص نمودن رفتار مدل می بایست آن را در نرم افزار شبیه سازی نمود تا بتوان جریان های انرژی و توان مصرفی هر کدام از سیستم ها در شرایط جوی مختلف را مدل سازی کرد. همانطور که در قسمت مربوط به شبیه سازی مدل بیان شد، تعدادی مجموعه با عنوان بلوک موتور BLDC طراحی شده و سپس هر کدام از آنها با نحوه ی اتصالشان معرفی می گردند که به تفصیل بیان شدند.

## آزمایش های موثر

5 آزمایش صورت گرفته برای تنظیم دقیق حوزه ی الکتریکی و سیستم استخراج اطلاعات می باشند. 2 آزمایش مربوط به موقعیت شارژ باتری در 100٪ شارژ و 75٪ شارژ می باشد که نمودارهای نیز در آن قسمت می بایست رسم شده و جریان ها و ولتاژ ها در شرایط مختلف باتری به دست آورده شود.



رفتار سیستم رانش شامل 2 منبع انرژی تجدید پذیر مانند سلول سوخت هیدروژن و پانلهای فتوولتائیک می باشد. در نتیجه با توجه به طراحی و نحوه عملکرد این سیستم رانش، می توان آن را در مقیاس کامل قایق از آن استفاده کرد.

### مقایسه بین داده های آزمایشگاهی و مدل شبیه سازی شده

ولتاژ و جریان های به دست آمده حین آزمایشات و اطلاعات مشابه به دست آمده از شبیه سازی مدل در نرم افزار را می بایست در یک جدول گردآوری نمود و نمودارهای آن را ترسیم کرد. با توجه به این مقایسه می بایست اختلاف هایی که بین این دو داده ها وجود دارد ارزیابی و سپس بهینه سازی شوند.

### پیشنهادات

- 1 - با توجه به حساس بودن شرایط مکانی و زمانی آزمایش، می بایست به طور دقیق مکانی را انتخاب کرد که بتوان تمامی شرایط آزمایش را ارضاء کند.
- 2 - بهتر است در طراحی پروانه از نوع و مدلی استفاده کرد که تطابق خوبی با پروانه در مقیاس واقعی داشته باشد.
- 3 - نرم افزار NavCad نرم افزاری است که می توان به نتایج و اطلاعات خروجی آن اعتماد کرد و با توجه به آنها مدل را طراحی کرد.
- 4 - تا آنجا که می توان باید از ابزارهای آزمایشی بهره برد که کمترین خطا را داشته باشد تا بتوان نسبت به اعدادی که مثلاً برای جریان و ولتاژ می دهند، اعتماد کرد.
- 5 - تا حد امکان نرم افزار Update باشند تا توانایی مدل کردن و رسم نمودارهای مربوطه را بهتر از ورژن های قبل داشته باشد.