



# اولین کنفرانس انرژی های تجدید پذیر و تولید پراکنده ایران

The First Iranian Conference on Renewable Energies and Distributed Generation

ICREDG 2010



## بررسی وضعیت سیستم های هیبریدی مبدل توان الکتریکی با محوریت ساختار بادی

### خورشیدی

محمد رضا آقا ابراهیمی، مهدی تورانی

خود به همراه آورده است. اولین مبحثی که در این زمینه مطرح می شود امکان سنجی نصب هیبرید در یک منطقه می باشد که رفتار آب و هوایی محل را در بر می گیرد، برای مطالعه ی این رفتار ضمن استفاده از داده های جوی می توان از مدل های تخمینی وضعیت آب و هوایی نیز سود برد.

برای بررسی عملکرد سیستم های هیبریدی، در ابتدا، باید مدل هر یک از اجزای سیستم استخراج و سپس سهم مشارکتی آن در تولید توان مورد نیاز، مشخص گردد. این میزان می تواند متناسب با پارامتر های تکنیکی - اقتصادی و شاخص های قابلیت اطمینان تغییر کند. همچنین الگوریتم های آب و هوایی به کار رفته در مدلسازی بر این بهینه سازی تاثیر گذار خواهند بود.

عدم قطعیت وجود انرژی و همچنین نوسانات آن، از چالش های اساسی انرژی های تجدید پذیر است که خود را در قالب نوسانات توان و خاموشی های اجباری نشان می دهد. از طرفی دیگر بهره نگرستن از تمامی انرژی، به علت کم بودن نیاز مصرف کننده، در یک بازه ی زمانی که بیشترین فراوانی انرژی بادی و خورشیدی وجود دارد، از بازدهی سیستم می کاهد.

در ادامه می خواهیم با معرفی اجزای یک سیستم هیبریدی بادی خورشیدی به مرور مطالعات انجام شده بر روی آن ها و ارائه ی راه کارهایی برای رفع موانع و استفاده ی حداکثری از این تکنولوژی پردازیم.

### 2- بررسی اجزای هیبرید بادی خورشیدی

#### 1-2 سیستم خورشیدی

##### 1-1-2 انرژی فتوولتاییک

انرژی ورودی به یک آرایه خورشیدی، پرتوهای خورشید بوده و مجموع این تابندگی را می توان با رابطه ی (1) بدست آورد [1]:

$$I_T = I_b R_b + I_d R_d + (I_b + I_d) R_r \quad (1)$$

چکیده - مصرف رو به رشد انرژی و در صدر آن انرژی حاصل از سوخت های فسیلی، مسئله ی بحران انرژی را از یک سو و گرمایش زمین و آلودگی زیست محیطی را از سویی دیگر در پی داشته است. در این بین با کم شدن منابع و افزایش روز افزون قیمت حامل های انرژی، بشر به سمت جایگزینی این سوخت ها با منابعی پاک، ارزان و در دسترس پیش می رود. سیستم های هیبریدی از فناوری هایی است که امروزه جایگاه ویژه ای در سبد انرژی جهان پیدا کرده است. در محیط های کم استعداد انرژی، ترکیب منابع انرژی موجود می تواند راهگشایی برای تامین انرژی مورد نیاز منطقه باشد. در این مقاله سعی بر آن است تا به معرفی سیستم های هیبریدی با محوریت ساختار بادی خورشیدی و مطالعات صورت گرفته مرتبط پرداخته شود. امکان سنجی، بهینه سازی و وضعیت سیستم، دیدگاه های متفاوتی است که محققان در آن، به پژوهش و بررسی پرداخته اند. با نگاهی به این مطالعات در خواهیم یافت که فضای بسیار مناسبی جهت بررسی و کنکاش برای توسعه ی فناوری و رفع چالش های پیش رو وجود دارد.

واژه های کلیدی - ارزیابی اقتصادی، امکان سنجی، اندازه ی بهینه، قابلیت اطمینان، عملکرد، هیبرید بادی خورشیدی

### 1- مقدمه

سیستم های هیبریدی از فناوری های کارآمد انرژی های تجدید پذیر برای تامین توان مورد نیاز مناطق دور افتاده، که هزینه ی برق رسانی بالایی دارند، به شمار می رود. کمبود انرژی موجود در این مناطق می تواند توسط ترکیب چندین منبع انرژی - بسته به میزان حضورشان در طبیعت - جبران شود.

یکی از موثر ترین این سیستم ها، ساختار بادی خورشیدی است که با توجه به وجود این انرژی در سطح گسترده و به میزان بالا، امکان تولید توان را فراهم آورده است.

نفوذ بالای این تکنولوژی در شبکه ی تولید توان، مسائلی را با

محمد رضا آقا ابراهیمی، عضو هیئت علمی گروه مهندسی قدرت، دانشگاه بیرجند  
[Aghaebrahimi@birjand.ac.ir](mailto:Aghaebrahimi@birjand.ac.ir)  
مهدی تورانی، دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی قدرت، دانشگاه بیرجند،  
[tourani\\_mahdi@yahoo.com](mailto:tourani_mahdi@yahoo.com)

$$h_m = h_r (1 - b(T_c - T_r)) \quad (6)$$

$h_m$  بازدهی ماژول،  $h_{pc}$  بازدهی مطلوب توان،  $h_r$  بازدهی مینا،  $p_f$  ضریب تراکم،  $b$  ضریب تاثیر دمایی بازدهی،  $T_r$  دمای مینا و  $T_c$  دمای کار سلول است

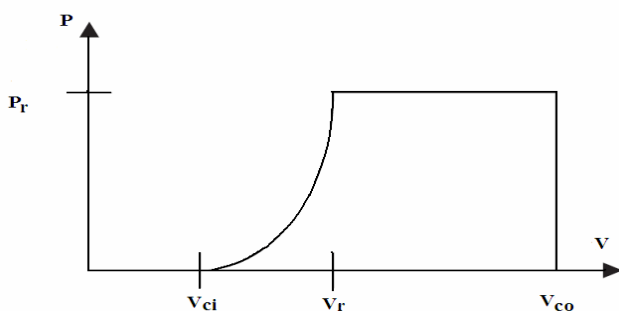
### 2-1-2 انرژی حرارتی

این سیستم ها پرتوهای خورشید را جذب کرده و با استفاده از حرارت آن، تولید بخار می نمایند. همانند نیروگاه های حرارتی، این بخار تولید شده توسط توربین و ژنراتور به الکتریسیته تبدیل می شود. در مبدل های انرژی حرارتی به دلیل تغییرات طبیعی انرژی خورشید، امکان تولید برق مستمر و بدون وقفه برای مصرف کننده وجود ندارد. معمولا کلکتورها نقش مهمی در گرد آوری انرژی سیستم های حرارتی خورشیدی بر عهده دارند.

### 2-2 سیستم بادی

توان خروجی ژنراتور در سیستم های بادی به سرعت باد در ارتفاع توپی و مشخصه ی سرعت توربین بستگی دارد. با افزایش ارتفاع، سرعت باد نیز تغییر می کند. در نتیجه می توان با تنظیم ارتفاع توپی و پره ها به خروجی مطلوب دست یافت. برای محاسبه ی توان باد باید از مشخصه ی توربین کمک گرفت. در صورتی که این مشخصه به صورت شکل 2 باشد توان بدست آمده برابر خواهد بود با [3]:

$$P_w = a V^3 - b P_r \quad V_{ci} P^V P V_r \quad (7)$$



شکل 2، مشخصه ی توان - سرعت توربین بادی

که در آن،  $I_b$  پرتو مستقیم خورشید،  $I_d$  پرتوهای پراکنده و  $R_d$ ،  $R_b$  و  $R_r$  ضریب انحراف پرتو هستند.

مدار معادل یک سلول خورشیدی که در معرض نور خورشید قرار دارد و بار به آن متصل است به صورت ترکیبی از یک منبع جریان، موازی با یک دیود نشان داده می شود. جریان این منبع متناسب با شدت تشعشع نور بوده و می توان تلفات سلول را نیز با یک مقاومت سری و یک مقاومت موازی مدل کرد.

جریان PV طبق معادله ی (2) برابر است با [28]:

$$I_{PV} = I_{ph} - I_o \left( e^{\frac{qV_{PV}}{KT}} - 1 \right) \quad (2)$$

$I_{PV}$  جریان سلول،  $I_{ph}$  جریان حاصل از تشعشع نور خورشید،  $I_o$  جریان اشباع معکوس دیود،  $V_{PV}$  ولتاژ سلول،  $q$  بار الکترون و  $k$  ثابت بولتزمن می باشد

با توجه به این جریان، توان خروجی یک سلول هنگامی که به یک بار متصل است به صورت

$$P = I_{PV} V_{PV} \quad (3)$$

خواهد بود.

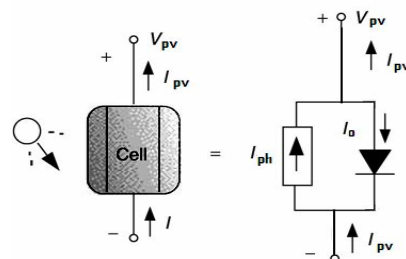
میزان تابندگی خورشید بستگی به موقعیت آن در آسمان دارد که در ماه های مختلف سال متفاوت است. بنابراین توان خروجی بسته به زمان تغییر خواهد کرد [2]

$$p_{sj} = I_{SJ} h A_{PV} \quad (4)$$

$p_{sj}$  توان خروجی در میانگین روز های ماه ز ام،  $I_{SJ}$  میزان تابندگی در میانگین روزهای ماه ز ام،  $A_{PV}$  سطح مقطع آرایه و  $h$  بازدهی سیستم می باشد

برای محاسبه ی  $h$  داریم:

$$h = h_m h_{pc} p_f \quad (5)$$



شکل 1، مدار معادل یک آرایه خورشیدی

بیان می کند.

مرجع [6]، تلاشی را برای بهبود چشم انداز بکارگیری انرژی های بادی خورشیدی در ترکیب با سایر انرژی های سیستم برای تامین گرما و توان انجام داده است.

در مرجع [7]، تولید، توسعه و کاربرد های سیستم های دوگانه بادی خورشیدی در کشور چین معرفی شده است. در این کشور انرژی اصلی وابسته به سوخت های فسیلی بوده که یک منبع بزرگ انرژی به شمار می آید. در ادامه این مقاله به بررسی وضعیت انرژی های تجدید پذیر پرداخته شده و مدعی است که استفاده از باد در این کشور مربوط به هزاران سال قبل می شود. سپس با مرور وضعیت انرژی خورشیدی بادی در جهان، آنرا در چین نیز بررسی کرده است. سیستم روشنایی معابر، تولیدات پراکنده و پمپ کردن آب برای آبیاری از کاربرد های سیستم بادی خورشیدی آن کشور است.

در مرجع [8]، با سنجش اطلاعات آب و هوایی نظیر سرعت باد و میزان تابندگی خورشید، امکان استفاده از سیستم بادی خورشیدی در کشور عمان بررسی شده است. این سیستم تولیدی برای تامین توان مورد نیاز گرمخانه های نمک زدایی از آب دریا استفاده می شود. بررسی نشان داد که توان بدست آمده از هیبرید بادی خورشیدی، بدون نیاز به سوخت فسیلی پشتیبان می تواند جواب گوی توان گرمخانه باشد.

در مرجع [9]، مطالعات اقتصادی - تکنیکی طراحی هیبرید بادی خورشیدی دیزلی با باتری پشتیبان در سه ناحیه آب و هوایی متفاوت در کشور الجزایر بررسی شده است. ژنراتور دیزلی در این طرح برای تامین بار باقی مانده به سیستم اضافه شده است. هدف اصلی این مطالعه تخمین ابعاد مناسب سیستم چندگانه، مستقل از شبکه، با باتری پشتیبان است که نیاز مشترکین دور افتاده را با کمترین هزینه برطرف می کند. هدف دیگر مقاله نشان دادن تاثیر کیفیت پتانسیل انرژی تجدید پذیر بر روی اندازه ی اجزای سیستم است.

در مرجع [10]، بار اصلی مطالعه به کاوش در امکان سنجی تامین بار منطقه ای دور افتاده در اتیوپی، با سیستم هیبریدی بادی خورشیدی متمرکز شده است. پتانسیل انرژی بادی و انرژی خورشیدی در کشور اتیوپی بررسی و مدل بار برای جامعه ی 200 خانواری که هر خانواده شامل 5 نفر می باشند و یک مدرسه و ایستگاه سلامت فرض شده است. در این مرجع آمده است که با احتمال فراوان، اجرای این مطالعات هیبرید بادی خورشیدی، سود های بسیاری را برای کشور در پی خواهد داشت.

$$a = \frac{p_r}{V_r^3 - V_{co}^3} \quad b = \frac{V_{co}^3}{V_r^3 - V_{co}^3} \quad (8)$$

$$p_w = p_r \quad V_r p^v p V_{co} \quad (9)$$

$$p_w = 0 \quad v \quad f \quad V_{co} \quad (10)$$

$p_w$  توان باد،  $p_r$  توان نامی توربین،  $V_r$  سرعت نامی،  $v$  سرعت باد،  $V_{ci}$  سرعت قطع پایین و  $V_{co}$  سرعت قطع بالا می باشد.

توان خروجی ژنراتور با استفاده از روابط بالا و معادله ی 11 بدست می آید:

$$p = p_w A_w h \quad (11)$$

$h$  بازدهی ژنراتور و یکسو کننده ها و  $A_w$  فضای جاروب پره ها است

### 3- بررسی مطالعات انجام شده در زمینه ی هیبرید های بادی خورشیدی

#### 3-1 وضعیت آب و هوایی، امکان سنجی و توسعه ی سیستم های هیبریدی

در مرجع [3]، مدل تصمیمی بر پایه مسائل تکنیکی، اقتصادی، اجتماعی و سیاسی برای طراحی سیستم بادی فتوولتائیک بیان و با استفاده از روش های تجربه ای؛ نظریه های واگرا، شیوه ها و رویدادهایی که سبب خطا و اشتباه در طراحی هیبرید های بادی خورشیدی می شوند، تعیین شده است. سپس الگوریتم ارزیابی احتمال خطر برای تولید طرح های مختلف ارائه و با توجه تعداد رخ دادن این طرح ها در مجموعه ی تصمیم های هدف، ایده ی خوب و نامرغوب جدا خواهند شد.

در مرجع [4]، تکنیکی برای محاسبه عملکرد هیبرید بادی خورشیدی با استفاده از اطلاعات آب و هوایی ارائه شده است. این بررسی های تکنیکی اقتصادی بر پایه ماه های سودآور برای هیبرید بوده و در آن عنوان شده است که ترکیب بهینه ی بادی خورشیدی از نظر اقتصادی، عملکرد بالاتری نسبت به دو سیستم مجزای بادی و یا خورشیدی دارد که در آن ها از باتری ذخیره کننده انرژی استفاده شده است. همچنین مشاهده شده است که بزرگی ظرفیت باتری تاثیر مهمی بر روی عملکرد سیستم فتوولتائیک و یا بادی منفرد دارد.

نویسنده ی مرجع [5]، روش هایی را برای محاسبه ی امکان نصب هیبرید بادی خورشیدی از روی اطلاعات آب و هوایی ترکیبی

تولید انرژی با منابع اضطراری به عنوان پارامتری جدید معرفی شد که این منابع برای ایجاد قابلیت اطمینان برای مصرف کننده وارد مدار می شوند. در ادامه اندازه هیبرید با باتری ذخیره کننده در حضور بارهای مختلف و پارامتر جدید بهینه سازی گردید.

در مرجع [17]، الگوریتم شبیه سازی تبرید<sup>7</sup> برای بهینه سازی سیستم بادی خورشیدی مجهز به باتری ذخیره کننده استفاده شده است. روش ارائه شده از جستجوی متحرک احتمالی برای پیدا کردن نقطه ی کار بهینه سیستم بهره می گیرد. این روش برای زمانی که متغیرهای تصمیم مختلفی در سیستم وجود داشته و فضای جستجو بزرگ باشد کارایی بسزایی خواهد داشت. سطح جاروب رتور بادی، اندازه سیستم فتوولتاییک و ظرفیت باتری توسط این الگوریتم برای سیستم بادی خورشیدی بدست آمد که در مقایسه با روش پاسخگویی سطحی<sup>8</sup>، نتایج بهتری را نشان می دهد.

در مرجع [18]، یک بررسی موضوعی بر روی وضعیت موجود شبیه سازی، بهینه سازی و فناوری های کنترلی هیبرید های بادی خورشیدی با باتری پشتیبان، شده است. این تحقیق تلاش های انجام گرفته در زمینه ی مدل کردن سیستم انرژی بادی و نیز مدل های ارائه شده برای عملکرد سیستم فتوولتاییک را مرور نموده و مدعی شده است که کارهای انجام شده در زمینه ی ارزشیابی عملکرد انرژی بادی محدود است. مطالعات انجام شده بر روی باتری های ذخیره کننده انرژی، روش های بهینه سازی اندازه هیبرید بادی خورشیدی و معیار های آن در این بررسی بازبینی شده است.

### 3-3 عملکرد و قابلیت اطمینان سیستم

#### 3-3-1 عملکرد

مرجع [19]، مدلی کامپیوتری برای محاسبه ی عملکرد عمومی هیبرید بادی خورشیدی ارائه می کند. در مرجع [20]، تکنیک های ارزشیابی اقتصادی بر روی هیبرید بادی خورشیدی با دو منبع ذخیره سازی متفاوت اجرا و با هم مقایسه گردید. یکی از این منابع سیستم فیول سلی و دیگری باتری پشتیبان است. برای بهینه سازی اندازه ی اجزای هیبریدها از برنامه ای کامپیوتری استفاده شده است. شاخص های این مقایسه هزینه ی برق، هزینه ی کلی سیستم و آنالیز مسافت سر به سر

### 2-3 وضعیت آب و هوایی و بهینه سازی اجزای سیستم

نویسندگان مرجع [11]، ترکیب بهینه ای از سیستم دوگانه بادی خورشیدی با نیروگاه های متعارف بر اساس هزینه طول عمر<sup>1</sup> بدست آورده اند.

در مرجع [12]، روش دیگری برای بهینه کردن اندازه هیبرید بادی خورشیدی ارائه شده است. احتمال عدم تامین توان سالیانه، با ثابت نگه داشتن ظرفیت ژنراتور های بادی و تغییر ظرفیت آرایه های خورشیدی فتوولتاییک و بانک باتری محاسبه می گردد. منحنی ارزیابی بین بانک باتری و آرایه های فتوولتاییک ترکیب بهینه ی سیستم با کمترین هزینه را مشخص می کند.

در مرجع [13]، روشی بر پایه احتمال عدم تامین توان<sup>2</sup>، توان اضافی تولید شده<sup>3</sup>، احتمال انرژی بی حاصل<sup>4</sup>، هزینه طول عمر، دسته بندی هزینه ی انرژی<sup>5</sup>، و هزینه به ازای یک واحد<sup>6</sup> تولید توان با باتری، برای بهینه سازی هیبرید بادی فتوولتاییک معرفی و از روش های تکرار شونده برای حل آن استفاده شده است.

مرجع [14]، روشی را برای بهینه کردن اندازه ی اجزای هیبرید بادی خورشیدی منفرد با توجه به احتمال عدم تامین توان و سطح بندی هزینه ی انرژی ارائه داده است.

در مرجع [15]، به این نکته اهمیت داده شده است که مدل های توصیف کننده وضعیت جوی نظیر تابندگی خورشید و سرعت باد تاثیر مهمی بر اندازه ی اجزای هیبرید بادی خورشیدی دارند. در این مقاله اشاره ای بر مدل های توصیف کننده ی میزان تابندگی خورشید و سرعت باد شده است. سپس برای اینکه اهمیت بحث استفاده از مدل ها بیشتر شود پروسه ی بهینه سازی اندازه ی سیستم بادی خورشیدی اجرا و در آن دو نوع شبیه سازی صورت می گیرد. در شبیه سازی اول، اندازه بهینه با استفاده از اطلاعات خام مربوط به سال گذشته منطقه ی نصب، بدست آمد و در شبیه سازی دوم، همین اندازه با استفاده از مدل محاسبه ی میزان تابندگی خورشید حاصل گشت. نتایج نشان داد که در حالت دوم اندازه بهینه ی سیستم دقیق تر بوده است.

در مرجع [16]، تاثیر پارامتر دیگری بر اندازه هیبرید بادی خورشیدی بررسی شده است. در این مقاله تاثیر هزینه هر واحد

1 Life cycle cost (LCC)

2 loss of power supply probability (LOLP)

3 relative excess power generated (REPG)

4 unutilized energy probability (UEP)

5 levelized energy cost (LEC)

6 life cycle unit cost (LUC)

7 simulated annealing (SA)

8 Response Surface Methodology (RSM)

داده شده است.

مرجع [25] ، با استفاده از شبیه سازی مونت کارلو<sup>11</sup> ، تابع هزینه - قابلیت اطمینان سیستم هیبریدی بادی خورشیدی منفرد را محاسبه می کند.

در مرجع [26] ، نیز مدلی از هیبریدهای بادی خورشیدی فیول سلی آورده شده است که انرژی فیول سل نقش پشتیبانی بار را داشته و قابلیت اطمینان سیستم را افزایش می دهد. یک روش کنترلی ساده و اقتصادی نیز برای بدست آوردن ماکزیمم توان از منابع بادی خورشیدی بکار گرفته شده است.

در مرجع [27] ، یک سیستم بادی فتوولتاییک فیول سلی برای تامین بار طراحی شده است. در این مقاله ابتدا اجزای سیستم مانند آرایه های خورشیدی ، ژنراتور های بادی ، قابلیت اطمینان و سایر قسمت ها مدل شده اند. بهینه سازی مساله در ارتباط با قابلیت اطمینان برای پاسخ گویی به بار بوده و از روش تجمع پرندگان<sup>12</sup> استفاده شده است. هدف کلی این طراحی ، مینیمم کردن هزینه سالانه بعد از 20 سال از بهره برداری سیستم است.

#### 4- نتیجه گیری

میزان وفور انرژی حاصل از باد و خورشید باعث شده است هیبرید های بادی خورشیدی نفوذ بالایی در شبکه ی تامین توان الکتریکی داشته باشند که این مستلزم مطالعه و توسعه ی سیستم است. بررسی ها نشان داد که بهره بردن از چنین هیبرید هایی ، ضمن برطرف کردن مطلوب نیاز ها ، صرفه ی اقتصادی بالایی در مناطق دور افتاده خواهد داشت.

با توجه به پژوهش های مختلف در حوزه ی کنترل و عملکرد سیستم ، هنوز نقاط عملی بسیاری وجود دارد تا بتوان این فناوری را بهبود و گسترش داد. چگونگی استفاده از منابع تجدید پذیر دیگر در کنار این هیبرید برای تامین نیاز مستقل از شبکه از جمله مواردی است که بایستی بر روی آن تلاش های بیشتری صورت گیرد.

#### 5- منابع

- [1] Duffie JA, Beckman WA. Solar engineering of thermal processes, 2nd ed. USA: Wiley; 1991
- [2] Markvart T. Solar electricity, 2nd ed. USA: Wiley; 2000.
- [3] Chedid R, Akiki H, Rahman S. A decision support technique for the design of hybrid solar-wind power systems. IEEE Trans Energy Convers 1998;13(1):76-83.
- [4] Celik AN. Optimization and techno-economic analysis of autonomous photovoltaic-wind hybrid energy systems in

می باشد. مسافت سر به سر مقدار طولی از شبکه است که باید توسعه یابد تا به ازای آن هزینه ی هیبرید و هزینه ی گسترش شبکه برابر شود. با انجام این مقایسه مشخص شد که استفاده از باتری با توجه به شاخص های ارائه شده ، سود اقتصادی بیشتری خواهد داشت.

در مرجع [21]، یک سیستم هیبریدی بادی خورشیدی فیول سلی معرفی و منابع آن طوری طراحی شده اند که بیشترین بازدهی را داشته باشند. کنترل کننده ای فازی نیز به نحوی تنظیم شده است که بیشترین توان خروجی سیستم بادی خورشیدی را به باس ولتاژ ثابت DC برساند. این باس علاوه بر تامین بار درخواستی ، توان اضافی را به سیستم الکترولیز آب برای تامین هیدروژن منبع فیول سل می دهد. یک سیستم اندازه گیری نیز برای اداره کردن توان جاری شده از اجزای هیبرید برای برطرف کردن احتیاجات بار در طول روز در نظر گرفته شده است.

در مرجع [22] ، عملکرد نیروگاهی بادی خورشیدی ، در جنوب غربی مینسوتا<sup>9</sup> طی دوره زمانی دو ساله با استفاده از اطلاعات آب و هوایی نظیر میزان تابندگی نور خورشید و سرعت باد مدل شده است. در این مقاله اطلاعات مربوط به سایت های بادی خورشیدی و اندازه ی اجزای هیبرید بررسی شده است. این نیروگاه دو گانه شامل 4 مزرعه ی بادی می باشد که درون شعاع 90 کیلومتری قرار دارند. قسمت خورشیدی نیروگاه نیز از نوع سیستم گرمایی خورشیدی است. با مقایسه این نیروگاه با نیروگاه بادی این نتیجه بدست آمد که در ظرفیت برابر ، نیروگاه های هیبریدی صرفه ی اقتصادی بیشتری خواهند داشت.

در مرجع [23]، هیبریدی سه گانه شامل باد ، خورشید و فیول سل برای تامین بار مسکونی ارائه شده است. نوسانات توانی ناشی از هیبرید بادی خورشیدی با استفاده از منبع فیول سل برطرف می شود که این منبع به جای باتری های معمول جایگزین شده و هزینه کمتری را خواهد داشت. در این مقاله از یکسو کننده ی افزایشنده<sup>10</sup> برای کنترل توان جاری شده در بار استفاده شده است.

#### 3-2-3 قابلیت اطمینان

در مرجع [24] ، یک مدل تجربه ای برای پیش بینی عملکرد بلند مدت هیبرید بادی خورشیدی همراه با مخزن انرژی هیدروژنی آورده شده است. این مخزن برای تامین بار در حالت هایی که انرژی بادی و خورشیدی نمی توانند جوابگوی مصرف باشند، قرار

- comparison to single photovoltaic and wind systems. *Energy Convers Manage* 2002; 43(18):2453–68.
- [5] Celik AN. The system performance of autonomous photovoltaic–wind hybrid energy systems using synthetically generated weather data. *Renewable Energy* 2002;27:107–21.
- [6] Sontag R, Lange A. Cost effectiveness of decentralized energy supply systems taking solar and wind utilization plants into account. *Renew Energy* 2003;28(12):1865–80.
- [7] Li-qun Liu, Zhi-xin Wang, The development and application practice of wind–solar energy hybrid generation systems in China. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 2009 :1504–1512
- [8] H. Mahmoudi, S.A. Abdul-Wahab, M.F.A. Goosen, S.S. Sablanid, J. Perret, A. Ouagued, N. Spahis. Weather data and analysis of hybrid photovoltaic–wind power generation systems adapted to a seawater greenhouse desalination unit designed for arid coastal countries. *Desalination* 2008 :119–127
- [9] D. Saheb-Koussa, M. Haddadi M. Belhamel. Economic and technical study of a hybrid system (wind–photovoltaic–diesel) for rural electrification in Algeria. *Applied Energy* 2009: 1024–1030
- [10] Getachew Bekele, Björn Palm. Feasibility study for a standalone solar–wind-based hybrid energy system for application in Ethiopia. *Applied Energy* 2010: 487–495
- [11] Hennet JC, Samarakou MT. Optimization of a combined wind and solar power plant. *Energy Res* 1986;10:181–8.
- [12] Ai B, Yang H, Shen H, Liao X. Computer-aided design of PV/wind hybrid system. *Renew Energy* 2003;28(10):1491–512.
- [13] A. Rajendra Prasad, E. Natarajan. Optimization of integrated photovoltaic–wind power generation systems with battery storage. *Energy* 2006: 1943–1954.
- [14] S. Diaf, D. Diaf, M. Belhamel, M. Haddadi, A. Louche. A methodology for optimal sizing of autonomous hybrid PV/wind system. *Energy Policy* 2007: 5708–5718
- [15] Fatih Onur Hocaoglu , Omer Nezih Gerek, Mehmet Kurban. The effect of model generated solar radiation data usage in hybrid (wind–PV) sizing studies. *Energy Conversion and Management* 2009: 2956–2963
- [16] Banu Y. Ekren , Orhan Ekren. Simulation based size optimization of a PV/wind hybrid energy conversion system with battery storage under various load and auxiliary energy conditions. *Applied Energy* 2009 :1387–1394
- [17] Orhan Ekren , Banu Y. Ekren. Size optimization of a PV/wind hybrid energy conversion system with battery storage using simulated annealing. *Applied Energy* 2010: 592–598
- [18] Wei Zhou, Chengzhi Lou, Zhongshi Li, Lin Lu, Hongxing Yang. Current status of research on optimum sizing of stand-alone hybrid solar–wind power generation systems. *Applied Energy* 2010: 380–389
- [19] Nehrir MH, LaMeres BJ, Venkataramanan G, Gerez V, Alvarado LA. An approach to evaluate the general performance of stand-alone wind/photovoltaic generating systems. *IEEE Trans Energy Convers* 2000;15(4): 433–9.
- [20] D.B. Nelson, M.H. Nehrir, C. Wang. Unit sizing and cost analysis of stand-alone hybrid wind/PV/fuel cell power generation systems. *Renewable Energy* 2006: 1641–1656
- [21] El-Shatter TF, Eskander MN, El-Hagry MT. Energy flow and management of a hybrid wind/PV/fuel cell generation system. *Energy Conversion and Management* 2006;47:1264–80.
- [22] J.P. Reichling, F.A. Kulacki. Utility scale hybrid wind–solar thermal electrical generation: A case study for Minnesota. *Energy* 2008: 626–638
- [23] Nabil A. Ahmed , Masafumi Miyatake, A.K. Al-Othman. Power fluctuations suppression of stand-alone hybrid generation combining solar photovoltaic/wind turbine and fuel cell systems. *Energy Conversion and Management* 2008: 2711–27
- [24] Kolhe M, Agbossou K, Hamelin J, Bose TK. Analytical model for predicting the performance of photovoltaic array coupled with a wind turbine in a stand-alone renewable energy system based on hydrogen. *Renew Energy* 2003;28(5):727–42.
- [25] Karki R, Billinton R. Cost-effective wind energy utilization for reliable power supply. *IEEE Trans Energy Convers* 2004;19(2):435–40.
- [26] Das D, Esmaili R, Dave Nichols LX. An optimal design of a grid connected hybrid wind/photovoltaic/fuel cell system for distributed energy production. *IEEE* 2005;23(5):2499–505.
- [27] A. Kashefi Kaviani, G.H. Riahy, S.H.M. Kouhsari. Optimal design of a reliable hydrogen-based stand-alone wind/PV generating system, considering component outages. *Renewable Energy* 2009: 2380–2390