گواهینامه

شماره: ۴۳۹۳
تاریخ: ۱۳۹۲/۵/۲۹

گواهی می‌شود آقای/خانم : **مسعود قاضی پور شیروان**

در پنجمین کنفرانس مهندسی برق و الکترونیک ایران (ICEEE2013)

که ۲۹، ۳۰ و ۳۱ مرداد ماه ۱۳۹۲ در دانشگاه آزاد اسلامی گناباد

برگزار گردید شرکت کرده و مقاله‌ای با عنوان :

تعیین ظرفیت منابع تولید پراکنده ترکیبی در یک شبکه توزیع مستقل با در نظر گرفتن رفتار تصادفی بار و منابع انرژی

را به صورت سخنرانی ارائه نموده است.

سایر نویسندگان : علی اصغر قدیمی

جواد روحانی
دبیر پنجمین کنفرانس مهندسی برق و الکترونیک ایران

پنجمین کنفرانس مهندسی برق و الکترونیک ایران
5th Iranian Conference on Electrical & Electronics Engineering
دانشگاه آزاد اسلامی گناباد

Web Site:www.iceee.ir Mail: iceee.iaug@gmail.com
University web site: www.iau-gonabad.ac.ir
Tel: +985337258462

پنجمین کنفرانس ملی مهندسی برق و الکترونیک ایران
دانشگاه آزاد اسلامی گناباد – ۲۹، ۳۰ و ۳۱ مرداد ماه ۱۳۹۲
IEEE IRAN SECTION

تعیین ظرفیت منابع تولید پراکنده ترکیبی در یک شبکه توزیع مستقل با در نظر گرفتن رفتار تصادفی بار و منابع انرژی

[۱] مسعود قاضی پور شیروان، [۲] علی اصغر قدیمی

[۱] دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی برق، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم تحقیقات اراک، ghazipour50@gmail.com
[۲] استادیار دانشکده مهندسی برق، دانشگاه اراک، aa.ghadimi@gmail.com

چکیده

یکی از موارد مهم در جهان ، تأمین انرژی برق مورد نیاز می‌باشد. امروزه بیشتر انرژی برق مورد نیاز کشورها با استفاده از سوختهای فسیلی تامین می‌گردد. معمولاً بدلیل نوساناتی که در انرژی‌های تجدیدپذیر وجود دارد، امروزه از ترکیب واحدهای انرژی تولید پراکنده برای تامین انرژی برق مورد نیاز استفاده می‌شود تا خللی در تامین انرژی مورد نیاز بوجود نیاید. در این مقاله مسئله تعیین ظرفیت واحدهای انرژی تولیدپراکنده مورد بررسی قرار میگیرد. در واقع مسئله تعیین ظرفیت بصورت یک مسئله بهینه‌سازی غیرخطی بیان شده است. در این مقاله به منظور یافتن ظرفیت بهینه انرژی‌های تجدیدپذیر از الگوریتم بهینه سازی گروه ذرات استفاده شده است و رفتار تصادفی بار به وسیله روش مونت کارلو ترتیبی مدل شده است. در انتها این روش با روش تعیین ظرفیت بدون در نظر گرفتن رفتار تصادفی انرژی‌های تجدیدپذیر و بار مصرفی مقایسه شده است.

واژه های کلیدی: انرژی باد ،انرژی خورشید، باتری ،مونت کارلو،الگوریتم بهینه سازی انبوه ذرات

۱- مقدمه

امروزه پس از گذشت نزدیک به یک قرن از بهره‌برداری انسان از انرژی الکتریکی برای تأمین رفاه و آسایش بیشتر، طراحان و برنامه‌ریزان صنعت برق در سراسر دنیا به ایدهٔ تولید پراکنده روی آورده و در جهت کوچک‌سازی حجم مراکز تولید و سطح تحت پوشش آنها تلاش می‌کنند. تولید پراکنده می تواند از دو گونه منبع انرژی معمول و تجدیدپذیر انجام شود که البته لزوم توجه به مسائل زیست محیطی و تلاش برای کاهش تولید گازهای گلخانه‌ای، انرژی‌های تجدیدپذیر را در مرتبه بالاتری از اهمیت و توجه قرار داده است. در بین منابع تجدیدپذیر انرژی، انرژی باد و خورشید مورد توجه ویژه قرار دارند.از ویژگی‌های منابع تجدیدپذیر، پراکندگی وگستردگی آنها در تمام جهان است .انرژی‌های تجدیدپذیر، روز به روز سهم بیشتری در سیستم تامین انرژی جهان را به عهده می‌گیرند که از جمله این انرژی‌ها می‌توان به انرژی بادی، خورشیدی، زمین گرمایی (ژئو ترمال)، زیست توده (بیوماس)، دریایی (جز و مد)، پیل سوختی و هسته‌ای اشاره کرد. این انرژی‌ها به دو صورت استفاده می شوند[۱].

۱- متصل به شبکه سراسری
۲- مستقل از شبکه سراسری برق

در حالت متصل به شبکه سراسری، به منظور تقویت شبکه سراسری برق، جبران کاهش ولتاژ خط و کاهش تلفات از این واحدها استفاده می‌نمایند.اما واحدهای تجدیدپذیر دارای مشکلاتی نیز هستند که از آن جمله می‌توان به وابستگی آنها به شرایط آب و هوایی اشاره کرد. به همین دلیل در خروجی آنها نوساناتی وجود دارد. برای رفع این مشکل معمولا سعی می‌شود ترکیبی از واحدها در کنار هم استفاده شوند. این ترکیب باعث ایجاد انرژی با کیفیت بالاتر، قابلیت اطمینان بیشتر و نوسانات کمتر می‌باشد. ترکیب واحدهای تجدیدپذیر باعث شده در مواقعی که یکی از انرژی‌ها کم است بتوان از واحد دیگر جهت تامین بار استفاده کرد[۲].برای نمونه واحد بادی و خورشیدی، در فصل زمستان و پاییز که انرژی خورشیدی کم، انرژی بادی به میزان مورد نیاز موجود و در بهار و تابستان که انرژی خورشیدی بیشتر است، انرژی بادی کمتر است و در واقع این دو انرژی مکمل یکدیگرند.تاکنون مباحثی در زمینه منابع تجدید پذیر ترکیبی مطرح شده است در[۳] مسئله تعیین ظرفیت ترکیب واحدهای بادی، خورشیدی و ذخیره‌ساز باتری را با ، مینیمم کردن هزینه، شاخص آلودگی و تامین قابلیت اطمینان مطلوب بوده است. در[۴] مسئله تعیین ظرفیت ترکیب واحدهای تجدیدپذیر را بصورت یک مسئله بهینه‌سازی چند هدفه بیان کردند. در این مقاله، توان الکتریکی مصرفی بوسیله ترکیب مستقل از شبکه واحدهای بادی، خورشیدی و باتری تامین می‌شود. تابع هدف در این مسئله هزینه

سالانه بوده و شاخص قابلیت اطمینان استفاده شده، احتمال از دست رفتن منبع می‌باشد. در [۵] واحدهای بادی و خورشیدی به عنوان منابع اولیه و باتری به عنوان واحد ذخیره‌ساز، وظیفه تامین توان مصرفی را به صورت مستقل از شبکه دارا هستند. تابع هدف مسئله یعنی هزینه با استفاده از مدل هزینه تراز شده هر واحد الکتریکی[1] بیان شده و توان تولیدی واحدها با استفاده از داده‌های ساعتی سرعت باد و تابش خورشید و روابط مربوط به توان واحد بادی و خورشیدی محاسبه می‌شوند.در[۶] ترکیب واحدهای بادی، الکترولیزور و باتری بصورت مستقل از شبکه به منظور تامین هیدروژن مورد نیاز وسایل حمل و نقل در منطقه‌ای از کشور نروژ استفاده شده‌اند و مسئله تعیین ظرفیت با توجه به عدم‌قطعیت انرژی‌های تجدیدپذیر بررسی شده است. در این مقاله تعیین ظرفیت منابع تولید پراکنده ترکیبی بصورت مستقل با در نظر گرفتن رفتار تصادفی بار و منابع انرژی مورد بررسی قرار گرفته است. بدین منظور دو روش برای تعیین ظرفیت یکی با استفاده از داده-های قطعی و بدون در نظر گرفتن رفتار تصادفی انرژی‌های تجدیدپذیر و بار مصرفی و دیگری تعیین ظرفیت با در نظر گرفتن رفتار تصادفی انرژی‌های تجدیدپذیر و بار مصرفی مورد بررسی قرار گرفته است. در مسئله تعیین ظرفیت تابع هدف مینیمم کردن هزینه و از قیود مسئله شرط قابلیت اطمینان می‌باشد. در واقع مسئله تعیین ظرفیت بصورت یک مسئله بهینه‌سازی غیرخطی بیان شده است. ترکیب واحدهای تولید پراکنده در نظر گرفته شده بادی، خورشیدی و باتری بوده که بصورت مستقل از شبکه بار مورد نظر را تامین می‌کنند. در روشی که تعیین ظرفیت با در نظر گرفتن رفتار تصادفی انرژی‌های تجدیدپذیر و بار مصرفی صورت می‌پذیرد از تابع چگالی احتمال انرژی‌های تجدیدپذیر و بار مصرفی و مونت‌کارلو ترتیبی استفاده شده و در انتها با روش تعیین ظرفیت بدون در نظر گرفتن رفتار تصادفی انرژی‌های تجدیدپذیر و بار مصرفی مقایسه شده است. در این مقاله به منظور یافتن ظرفیت بهینه انرژی‌های تجدیدپذیر از الگوریتم‌های هوشمند استفاده شده است. الگوریتم هوشمند استفاده شده الگوریتم بهینه سازی می‌باشد. تمام شبیه‌سازی‌های این پایان‌نامه در نرم‌افزار مطلب صورت گرفته است.

۲- روش حل مسئله

متغیرهای بهینه‌سازی که در مقاله در نظر گرفته شده‌اند، عبارتند از تعداد واحد بادی، تعداد واحد خورشیدی و تعداد باتری. تابع هدف مسئله بهینه‌سازی تعیین ظرفیت، تابع هزینه می‌باشد، تامین قابلیت اطمینان مطلوب به عنوان قید مسئله بهینه‌سازی در نظر گرفته شده است. هدف الگوریتم بهینه‌سازی تعیین ظرفیت واحدهای تجدیدپذیر و ذخیره‌ساز بگونه‌ای است که قابلیت اطمینان مورد نظر سیستم با حداقل هزینه تامین شود. قید قابلیت اطمینانی که در این پایان‌نامه در نظر گرفته شده، کوچکتر و یا مساوی بودن شاخص قابلیت اطمینان از یک مقدار معین می‌باشد.

۲- ۱- مدلسازی بار بوسیله روش مونت کارلو

مونت کارلو یکی از روش‌های شبیه‌سازی پرکاربرد می‌باشد، که بر مبنای تولید اعداد تصادفی و استفاده از روابط احتمالی جهت مدلسازی رفتار سیستم می‌باشد الگوریتم ارائه شده برای روش مونت کارلو بدین صورت است که پس از تولید تابع چگالی احتمال سرعت باد، تابش خورشید و بار مصرفی، جمعیت اولیه تعیین می‌شود. جمعیت اولیه باید بگونه‌ای تعیین شود که همه ذرات در فضای شدنی پاسخ مسئله تعیین ظرفیت باشند.

۲-۲- توزیع انرژی تجدید پذیر

برای بررسی عدم قطعیت انرژی‌های تجدیدپذیر و بار مصرفی با استفاده از روش پیشنهادی به توزیع احتمالی سرعت باد، تابش خورشید و بار مصرفی نیاز می‌باشد. به منظور در نظر گرفتن عدم قطعیت توان تولیدی واحدهای تجدیدپذیر بادی و خورشیدی در ابتدا توزیع احتمالی سرعت باد و تابش خورشید بررسی می‌شود. به منظور بررسی احتمالی تغییرات مقادیر کمیت‌هایی سرعت باد و تابش خورشید از تابع چگالی احتمال[2] این متغیرها استفاده می‌شود. در این بخش مدل مناسب تابع چگالی احتمال برای داده‌های ساعتی سرعت باد و تابش خورشید تعیین شده و پارامترهای مدل تابع چگالی احتمال در نظر گرفته شده برای هر ساعت، تعیین می‌شود.در ابتدا الگوریتم تعیین مدل تابع چگالی برای سرعت باد توضیح داده می‌شود، سپس مدل تابع چگالی تابش خورشید بررسی خواهد شد. برای تعیین مدل تابع چگالی از روش‌های مانند روش توزیع گوسی[3] و یا روش‌های دیگر [۷] استفاده می شود.

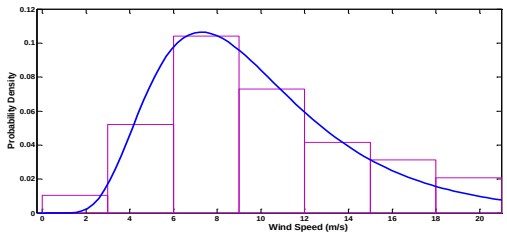
۲-۲-۱ مدل توزیع انرژی باد

در این مقاله، روش مذکور برای داده‌های سرعت باد، انجام شد و توزیع لوگ- نرمال با توجه به شکل ۱ به عنوان مدلی مناسب برای تابع چگالی ساعتی سرعت باد انتخاب شد. این مدل دارای حداقل خطا نسبت به توزیع‌های دیگر و بیشترین برآورد مناسب در هر ساعت می-باشد.

[1] Levelised Unit Electricity Cost

[2] Probability Density Function

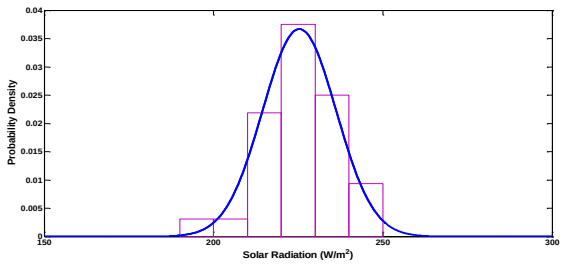
[3] Gaussion Distribution Method



شکل۱- توزیع لوگ- نرمال برآورد شده برای دادهای یک ساعت سرعت باد

۲-۲-۲ مدل توزیع انرژی خورشید

مراحل تعیین تابع چگالی احتمالی تابش خورشید مشابه نحوه تعیین تابع چگالی احتمالی سرعت باد می‌باشد. با این تفاوت که میزان تابش خورشید در برخی از ساعات شبانه‌روز صفر است و برای این ساعات نیازی به محاسبه تابع چگالی احتمال نمی‌باشد. شکل ۲ این توزیع را نشان می دهد.



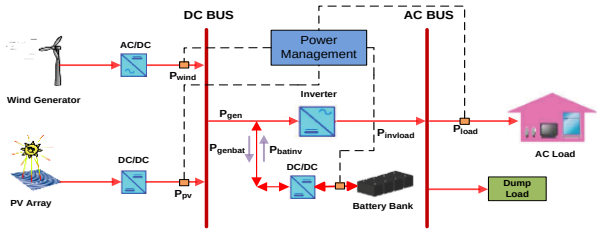
شکل۲- توزیع نرمال برآورد شده برای دادهای یک ساعت تابش خورشید

۲-۲-۳ مدل توزیع بار

معمولاً در مراجع برای بیان مدل احتمالی توان مصرفی (بار الکتریکی) از توزیع نرمال استفاده می‌شود[۸]. پس به منظور در نظر گرفتن عدم قطعیت بار مصرفی در این مقاله نیز توزیع نرمال برای تغییرات هر ساعت بار برای مدت یک سال در نظر گرفته می‌شود.

۲-۳ ترکیب باد-فتوولتائیک و باتری

یکی از ترکیبات مفید و کاربردی مربوط به واحدهای تجدیدپذیر و تجدیدناپذیر، ترکیب واحدهای بادی، خورشیدی و باتری بوده که در این مقاله به منظور بیان روش پیشنهادی این ترکیب در نظر گرفته شده است. شکل ۳ این ترکیب را نشان می دهد.



شکل۳- منابع تجدید پذیر ترکیبی

در این مطالعه مدل توربین بادی استفاده شده، از نوع BWC Excel-R/48 می‌باشد. تغییرات لازم در منحنی توان برحسب سرعت واحد بادی با توجه به شرایط محیطی مکان نصب توربین مطابق شکل۴ وروابط زیر مطرح می شود.داده‌های سرعت باد در ارتفاع ۲۵ متری از سطح زمین، میانگین دمای ۳۰۰ درجه کلوین، چگالی هوا۱/۲۲۵کیلوگرم بر متر مکعب و میانگین فشار هوای ۱۰۰/۸۱۴ کیلوپاسکال اندازه‌گیری شده‌اند.توان خروجی واحد بادی مطابق رابطه زیر بدست می‌آید.

$$P_w(v)=\begin{cases} P_R\cdot\dfrac{v-v_c}{v_R-v_c} & v_c\le v\le v_R \\ P_R & v_R\le v\le v_F \\ 0 & v\le v_c \ and\ v\ge v_F \end{cases} \qquad (۱)$$

که در این رابطه v_c ، سرعت cut-in ، v_f سرعت cut-off و v_R سرعت نامی است.پس در ابتدا نحوه محاسبه توان خروجی واحد بادی را بیان کرده و بعد تاثیراتی که متغیرهای مستقل مربوط به رابطه توان در وضعیت توان خروجی می‌توانند داشته باشند، بیان می‌شود. زیرا این فاکتورها در بدست آوردن ماکزیمم توان از واحد بادی تاثیر بسزایی دارند.توان خروجی **انرژی** باد مطابق معادله(۲) محاسبه می شود.

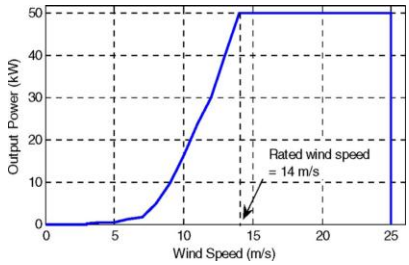
$$P_{wind}=0.5.\rho.AV^3.C_p(\lambda,\beta) \qquad (۲)$$

در این معادله ρ چگالی هوا است که واحدش $\frac{kg}{m^3}$ می‌باشد. A مقدار سطحی است که با پره‌ها جابجا می‌شود و واحد آن m^2 است. V سرعت باد که واحدش $\frac{m}{s}$ می‌باشد. C_p بازده روتور نامیده می‌شود.

جدول (۱) پارامترهای توربین و هزینه‌های واحد بادی را نشان می دهد.

جدول۱- پارامترها و هزینه‌های مربوط به واحد بادی

حد مجاز پایین سرعت(m/s)	حد مجاز بالای سرعت(m/s)	سرعت نامی (m/s)	ماکزیمم توان خروجی(kW)	توان در حد مجاز بالای سرعت (kW)
V_{cutin}	V_{cutout}	V_{rated}	P_{max}	P_{furl}
۳	۲۵	۱۵	۸/۱	۵/۷۹
ارتفاع واحد بادی (m)	هزینه اولیه ($/Unit)	هزینه جایگزینی ($/Unit)	هزینه بهره‌برداری، تعمیر و نگهداری ($/Unit-year)	طول عمر واحد بادی (Year)
H	CC_W	RC_W	$O\&MC_W$	Y_W
۱۹/۹۵۲۶	۱۶۴۰۰	۱۳۰۰۰	۷۵	۲۰



شکل۴- منحنی مشخصه توان- سرعت توربین بادی

برای محاسبه توان تولیدی واحد خورشیدی روابط مختلفی وجود دارد. از روابط رایج در محاسبه توان تولیدی آرایه خورشیدی به صورت زیر می‌باشد[۹]:

$$P_{solar} = \frac{G}{G_{ref}} P_{solar.ref} . \eta_{solar} \qquad (۳)$$

در این رابطه پارامترهای G_{ref} و $P_{solaref}$ مشابه رابطه قبل و η_{solar}، بازده مبدل DC/DC نصب شده بین هر آرایه و باسبار DC می‌باشد. در روابط بالا، منظور از میزان تابش، میزان کل تابشی است که به آرایه برخورد کرده است. در صورتی که مولفه‌های عمودی و افقی تابشی بر آرایه در هر لحظه موجود باشد، می‌توان با استفاده از رابطه زیر میزان تابش کلی که به آرایه برخورد می‌نماید را بدست آورد[۱۰]:

$$G = G_v \cos(\theta_{pv}) + G_H \sin(\theta_{pv}) \qquad (۴)$$

که در این رابطه، G_V و G_H به ترتیب میزان تابش عمودی و افقی بصورت ساعتی و θ_{PV}، زاویه پنل خورشیدی نسبت به سطح افق می‌باشد که در بازه۰ تا ۹۰ تغییر می‌کند. ماکزیمم توان تولیدی واحد خورشیدی در شرایط استاندارد و یا به عبارتی توان نامی آرایه خورشیدی استفاده شده در این شبیه‌سازی یک کیلووات می‌باشد. جدول(۲) پارامترها و هزینه‌های واحد خورشیدی را نشان می دهد.

جدول۲- پارامترها و هزینه‌های مربوط به واحد خورشیدی

میزان تابش در شرایط استاندارد (W/m²)	G_{ref}	۱۰۰۰
بازده مبدل DC/DC	η_{solar}	٪۹۰
توان نامی(kW)	$P_{solarref}$	۱
هزینه اولیه($/Unit)	CC_S	۷۰۰۰
هزینه جایگزینی($/Unit)	RC_S	۶۰۰۰
هزینه بهره‌برداری، تعمیر و نگهداری ($/Unit-year)	$O\&MC_S$	۲۰
طول عمر واحد خورشیدی(Year)	Y_S	۲۰

مدل باتری استفاده شده در این شبیه‌سازی از نوع Surrette-6CS25P می‌باشد[۱۱]،[۱۲]. پارامترها و هزینه‌های مربوط به این باتری در جدول (۳) آورده شده است.

جدول۳- پارامترها و هزینه‌های مربوط به واحد باتری

ولتاژ نامی (Volt)	V	۶
انرژی نامی(kWh)	$E_{Batrated}$	۶/۹۴
عمق تخلیه	DOD	٪۸۰
هزینه اولیه($/Unit)	CC_B	۱۲۵۰
هزینه جایگزینی($/Unit)	RC_B	۱۱۰۰
هزینه بهره‌برداری، تعمیر و نگهداری ($/Unit-year)	$O\&MC_B$	۲۰
طول عمر باتری (Year)	Y_B	۴

۳- فرمول بندی مسئله

در این مقاله کمینه کردن هزینه سیستم ترکیبی وبهبود قابلیت اطمینان به عنوان توابع هدف در نظر گرفته شده اند.

۳-۱ آنالیز هزینه سیستم ترکیبی

در این مقاله، از هزینه خالص فعلی[۴] برای مدل کردن تمام هزینه‌هایی استفاده شده است[۱۳]. هزینه خالص فعلی با استفاده از رابطه (۵) محاسبه می‌شود[۱۴].

$$NPC = \sum_{i=1}^{L} N_i \left(CC_i + RC_i * K_i + O\&MC_i * PWA(ir.R) \right) \qquad (۵)$$

L برابر تعداد انواع واحدهای استفاده شده، در ترکیب واحدها می‌باشد. برای نمونه در ترکیب واحدهای بادی، خورشیدی و باتری، L برابر ۳ در نظر گرفته می‌شود. N_i تعداد واحدهای تجدیدپذیر ویا ذخیره‌ساز i ام می‌باشد، که این پارامتر بوسیله الگوریتم بهینه‌سازی تعیین می‌شود. CC_i هزینه سرمایه‌گذاری واحد i ام برحسب ($/unit)، RC_i هزینه

[4] Net Present Cost

جایگزینی واحد i ام برحسب (\$/unit) و $O\&MC_i$ هزینه بهره-برداری و نگهداری واحد i ام برحسب (\$/unit-year) می‌باشد. در مدل هزینه خالص فعلی تمام هزینه‌ها می‌بایست به سال ابتدای پروژه برگردانده شود. به منظور برگرداندن هزینه جایگزینی به سال ابتدایی پروژه از ضریب K_i استفاده شده است.در واقع K_i ضریبی است مربوط به واحد i ام که هزینه جایگزینی این واحد در آینده را به معادل ارزش فعلی‌اش باز می‌گرداند. K_i با استفاده از رابطه زیر توصیف می-شود[۱۴].

$$K_i = \sum_{n=1}^{L_1} \frac{1}{(1+ir)^{n.L_2}} \qquad (۶)$$

در این رابطه ir نرخ بهره[5] می‌باشد، که در این مقاله در طول عمر پروژه مقدار آن ثابت در نظر گرفته شده است. L_2 طول عمر واحد i ام برحسب سال می‌باشد و L_1 تعداد مرتبه‌ای است که در طول عمر پروژه واحد جایگزین می‌شود. در صورتی که طول عمر پروژه(R)برحسب سال بر طول عمر واحد (L_2) تقسیم‌پذیر باشد، L_1 مطابق رابطه (۷) و اگر این دو مقدار بر هم تقسیم‌پذیر نباشند، L_1 مطابق رابطه (۸)محاسبه می‌شود. در صورتی که طول عمر واحد بزرگتر یا مساوی طول عمر پروژه باشد، مقدار k_i برابر صفر در نظر گرفته می‌شود. یعنی هزینه جایگزینی برای واحد در نظر گرفته نمی‌شود.

$$L_1 = \left[\frac{R}{L_2}\right] - 1 \qquad (۷)$$

$$L_1 = \left[\frac{R}{L_2}\right] \qquad (۸)$$

هزینه بهره‌برداری، تعمیر و نگهداری به صورت سالانه بیان می‌شوند. برای برگرداندن این هزینه به معادل آن در سال ابتدایی پروژه به منظور استفاده در مدل هزینه از ضریب PWA استفاده شده است. در واقع این ضریب هزینه سالانه بهره‌برداری، تعمیر و نگهداری در طول عمر پروژه را به معادل آن هزینه در ابتدای شروع به کار پروژه تبدیل می-کند. PWA مطابق رابطه زیر تعریف می‌شود. این ضریب به نرخ بهره (ir) و طول عمر پروژه (R) وابسته است[۱۴].

$$\mathrm{PWA}(\mathrm{ir},\mathrm{R}) = \frac{(1+\mathrm{ir})^{\mathrm{R}} - 1}{\mathrm{ir}(1+\mathrm{ir})^{\mathrm{R}}} \qquad (۹)$$

مطابق رابطه (۵) برای هر یک از واحدها هزینه سرمایه‌گذاری، جایگزینی، بهره‌برداری، تعمیر و نگهداری با توجه به روابط فوق و تعداد واحدی که از الگوریتم بهینه‌سازی پیشنهاد می‌شود، محاسبه شده، مجموع این هزینه‌ها برای تمام واحدها ارزش خالص فعلی را ایجاد می-نماید.

۳-۲ شاخص قابلیت اطمینان

در این مقاله از شاخص‌های قابلیت اطمینان ضریب قطع معادل استفاده می‌شود[۱۴]،[۱۵]. رابطه (۱۰) این شاخص را بیان می‌کند:

$$ELF = \frac{1}{N}\sum_{t=1}^{N}\frac{Q(t)}{D(t)} \qquad (۱۰)$$

در این رابطه، $D(t)$ میزان تقاضای بار در گام زمانی t ام، $Q(t)$ مقدار بار تامین نشده در گام زمانی t ام و N تعداد کل گام‌های زمانی می‌باشد. این شاخص در برگیرنده اطلاعاتی مانند تعداد قطعی‌ها و میزان انرژی تامین نشده در هر پله زمانی می‌باشد. امکان استفاده از این شاخص در الگوریتم‌هایی که تعیین ظرفیت را با در نظر گرفتن عدم قطعیت و یا بدون در نظر گرفتن عدم قطعیت تعیین می‌کنند، وجود دارد. به همین دلیل ضریب قطع معادل شاخص نسبتاً مناسبی برای اینگونه مسائل می‌باشد. حداکثر مقدار مجاز برای ضریب قطع معادل برای سیستم‌های متصل به شبکه در کشورهای پیشرفته برابر با ۰/۰۰۰۱ و این شاخص برای سیستم‌های مستقل از شبکه معمولاً برابر ۰/۱ در نظر گرفته می‌شود[۱۵].

۳-۳ مدیریت توان

برای بررسی وضعیت تامین بار و تغییرات وضعیت شارژ و دشارژ ذخیره‌ساز، نیاز به یک استراتژی مدیریت انرژی می‌باشد. در ترکیب واحدهای تجدیدپذیر با عناصر ذخیره‌ساز و واحدهای غیرتجدیدپذیر، معمولاً مدیریت انرژی در نظر گرفته شده به صورتی است که اولویت تامین بار، استفاده از توان الکتریکی تولیدی واحدهای تجدیدپذیر می-باشد. در صورتی که توان الکتریکی تولیدی واحدهای تجدیدپذیر بیشتر از توان مصرفی باشد، مازاد توان الکتریکی تولیدی با در نظر گرفتن محدودیت‌های ذخیره‌ساز مانند باتری در آن ذخیره می‌شود. در صورتی که توان الکتریکی تولیدی واحدهای تجدیدپذیر از توان مصرفی کمتر باشد، کمبود توان الکتریکی مصرفی با در نظر گرفتن محدودیت‌های

[5] Interest Rate

عنصر ذخیره‌ساز بوسیله این عنصر و در صورت استفاده از واحدهای غیرتجدیدپذیر بوسیله این واحدها تامین می‌شود و در صورتی که این عناصر قادر به تامین کمبود توان الکتریکی مصرفی نباشد، بخشی از بار قطع می‌شود.

۴- روش پیشنهادی

در این بخش الگوریتم پیشنهادی تعیین ظرفیت واحدهای تجدیدپذیر، پس از تشریح مدل‌ها و شاخص‌های مورد نیاز برای بررسی این الگوریتم، تشریح می‌شود. در الگوریتم ارائه شده از داده‌های ساعتی توان الکتریکی مصرفی استفاده شده و بررسی‌های صورت گرفته نیز بر مبنای داده‌های ساعتی برای مدت یک سال می‌باشد. در بررسی صورت گرفته محدودیت‌های وضعیت شارژ باتری حداقل و حداکثر شارژ باتری نیز در نظر گرفته شده است. همچنین قید برابری وضعیت شارژ باتری در ساعت ابتدایی و انتهایی تحلیل نیز در نظر گرفته شده است.در این مقاله از روش مونت کارلو ترتیبی به منظور تعیین ظرفیت ترکیب واحدهای بادی، خورشیدی و ذخیره‌ساز باتری با در نظر گرفتن عدم قطعیت توان تولیدی واحدهای بادی و خورشیدی استفاده شده است.

الگوریتم ارائه شده برای روش مونت کارلو بدین صورت است که پس از تولید تابع چگالی احتمال سرعت باد، تابش خورشید و بار مصرفی، جمعیت اولیه تعیین می‌شود. جمعیت اولیه باید بگونه‌ای تعیین شود که همه ذرات در فضای شدنی پاسخ مسئله تعیین ظرفیت باشند. به همین دلیل پس از تولید هر ذره ابتدا شاخص قابلیت اطمینان با در نظر گرفتن عدم قطعیت توان تولیدی واحدهای تجدیدپذیر برای آن ذره محاسبه می‌شود. در صورتی که شاخص قابلیت اطمینان تعیین شده در فضای شدنی مسئله قرار داشته باشد، این ذره در جمعیت اولیه قرار می‌گیرد و این روند تا زمان تعیین جمعیت اولیه مورد نظر ادامه می‌یابد. برای تعیین شاخص قابلیت اطمینان، شروع به کار الگوریتم از ساعت یک روز اول سال می‌باشد. فرض شارژ کامل باتری در آغاز به کار الگوریتم نیز در نظر گرفته شده است. در این روش برای بدست آوردن نسبت بار تامین نشده به کل بار تامین شده در سال از میانگین نسبت بار تامین نشده به کل بار تامین شده و میانگین وضعیت جدید شارژ باتری در هر ساعت استفاده شده است.

برای ساعت ابتدایی داده سرعت باد و تابش خورشید با استفاده از تابع چگالی احتمالی سرعت باد، تابش خورشید و بار مصرفی و روش تبدیل معکوس تولید می‌شود. با استفاده از روابط مربوط به توان تولیدی واحدهای بادی و خورشیدی و تعداد هر کدام از واحدها که از الگوریتم بهینه‌سازی ایجاد شده‌اند، مجموع توان تولیدی هر کدام از واحدها محاسبه می‌شود. نسبت بار تامین نشده به کل بار تامین شده و وضعیت جدید شارژ باتری با استفاده از مدیریت انرژی توضیح داده شده و داده-های توان تولیدی محاسبه می‌شود. این روند برای هر ساعت چندین مرتبه تکرار می‌شود. در هر مرتبه میانگین نسبت بار تامین نشده به کل بار تامین شده و وضعیت جدید شارژ باتری محاسبه گردیده است، اختلاف میانگین هر کدام از این فاکتورها در دو تکرار متوالی محاسبه شده، اگر این اختلاف کمتر از ۰/۰۰۰۱ باشد، میانگین نهایی این دو فاکتور به عنوان مقادیر تعیین شده نسبت بار تامین نشده به کل بار تامین شده و وضعیت جدید شارژ باتری برای این ساعت در نظر گرفته می‌شوند. این روند برای ساعات بعدی نیز تکرار شده و در هر ساعت فاکتورهای نسبت بار تامین نشده به کل بار تامین شده و وضعیت جدید شارژ باتری تعیین می‌شوند. در انتها شاخص قابلیت اطمینان مطابق رابطه (۱۱) توصیف می‌شود.

$$ELF = \frac{1}{N}\sum_{t=1}^{N} E\frac{Q(t)}{D(t)} \qquad (۱۱)$$

در این رابطه $E\frac{Q(t)}{D(t)}$ میانگین نسبت بار تامین نشده به کل بار تامین شده در لحظه t می‌باشد. پس از تعیین شاخص قابلیت اطمینان و هزینه برای هر ذره، بهترین تجربه هر ذره و بهترین تجربه گروه تعیین می‌شود. سپس با توجه به روابطی که برای تعیین موقعیت جدید ذره بیان شد، وضعیت جدید ذره تعیین می‌گردد. شاخص قابلیت اطمینان برای ذره جدید محاسبه شده، در صورتی که ذره در فضای شدنی پاسخ مسئله قرار نداشت، دوباره بروز می‌شود تا در این فضا قرار بگیرد. این مراحل برای تمام ذرات در هر تکرار انجام می‌شود و در تکرار پایانی تعداد بهینه واحد بادی، خورشیدی و باتری تعیین می‌شوند.

۴-۱ – الگوریتم PSO

در الگوریتم PSO بعد از یافتن بهترین موقعیت که ذره تجربه می‌کند (P_{best}) و بهترین تجربه گروه (G_{best}) سرعت جدید (V_n^{i+1}) و موقعیت جدید (X_n^{i+1}) ذره مطابق روابط زیر تعیین می‌شوند[۱]،[۳].

$$V_n^{i+1} = \omega V_n^i + C_1 rand\left(P_{best_n} - X_n^i\right) + C_2 rand\left(G_{best_n} - X_n^i\right) \qquad (۱۲)$$

$$X_n^{i+1} = X_n^i + V_n^{i+1} \qquad (۱۳)$$

در این رابطه X_n^i موقعیت n امین ذره در تکرار i ام، V_n^i سرعت n امین ذره در تکرار i ام، $rand$ یک عدد تصادفی بین صفر و یک، C_1 و C_2 ضرایب شتاب و ω ضریب اینرسی می‌باشد. ω نشان دهنده اینرسی ذره است، مقدار اینرسی زیاد باعث آسان شدن اکتشاف

(جستجوی در نواحی جدید در جهت افزایش قابلیت اطمینان) و مقدار کوچک آن در جهت افزایش دقت (جستجوی دقیق در یک ناحیه مشخص) می‌باشد. در الگوریتم PSO استفاده شده در این مقاله، مقدار ضریب اینرسی از رابطه زیر محاسبه می‌شود.

$$\omega = \omega_{\max} - \left(\frac{\omega_{\max} - \omega_{\min}}{iter_{\max}} \right) * iter \qquad (۱۴)$$

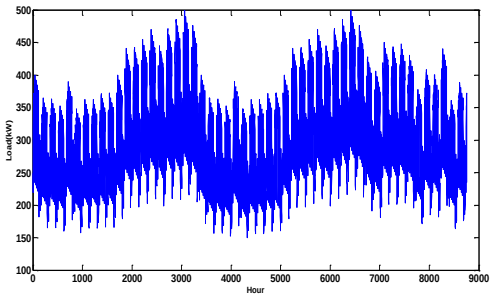
در رابطه بالا $\omega_{\min}$ و $\omega_{\max}$، حداقل و حداکثر ضریب در نظر گرفته برای ω است و $iter$ نشان دهنده شماره تکرار و $iter_{\max}$ نشان دهنده حداکثر تکرار در نظر گرفته شده برای الگوریتم می‌باشد. ضرایب C_1, C_2 نرخ یادگیری ذره یا افزایش سرعت، که ذره را به سمت G_{best_n} و P_{best_n} سوق‌می‌دهد. جدول (۴) پارامترهای الگوریتم بهینه‌سازیPSO را نشان می دهد.

جدول۴- پارامترهای الگوریتم بهینه‌سازی PSO

k	ω_{min}	ω_{max}	C_2	C_1	تعداد تکرار	جمعیت
۰/۵	۰/۱	۱	۱/۵	۱/۵	۱۰۰	۵۰

۵- نتایج شبیه سازی

در این مقاله ترکیب باد وخورشید وباتری در نظر گرفته شده است.حداکثر توان الکتریکی مصرفی ۵۰۰ کیلووات و مدت طول عمر پروژه ۲۰ سال فرض شده است. در بررسی مسئله تعیین ظرفیت با روش مونت کارلو، ترکیب بهینه حاصل دارای شاخص قطع معادل ۰/۱ می‌باشد.. داده‌های ۳۲ سال سرعت باد و تابش خورشید با فاصله‌های زمانی دو ساعتی مربوط به ناحیه نزدیک ساحل ایالت Oregon کشور امریکا استفاده شده است



شکل۳- توان الکتریکی مصرفی ساعتی برای مدت یک سال

جدول (۵) هزینه و مقادیر بهینه بدست آمده برای تعداد واحد بادی، خورشیدی و ذخیره‌ساز باتری را نشان می‌دهد. در بررسی مسئله تعیین ظرفیت با روش مونت کارلو، ترکیب بهینه حاصل دارای شاخص قطع معادل ۰/۱ می‌باشد. جدول (۶) به ترتیب همگرایی الگوریتم بهینه‌سازی و مقادیر بهینه واحدهای بادی، خورشیدی و ذخیره‌ساز باتری را در حالتی که در مسئله تعیین ظرفیت عدم قطعیت انرژی‌های تجدیدپذیر در نظر گرفته نشده نشان می‌دهد. الگوریتم بهینه‌سازی در این با شاخص قابلیت اطمینان ۰/۱، همگرا می‌شود.

جدول۵- هزینه و مقادیر بهینه واحدهای بادی ، خورشیدی وذخیره ساز باتری بوسیله روش مونت کارلو

کل هزینه (10^6\$)	تعداد باتری	تعداد واحد خورشیدی	تعداد واحد بادی
Total Cost	N_B	N_S	N_W
۱۱/۸۸۴	۹۱۲	۳۰۱	۳۵۰

جدول۶- هزینه و مقادیر بهینه واحدهای بادی، خورشیدی و ذخیره‌ساز باتری تعیین شده بدون در نظر گرفتن عدم قطعیت انرژی‌های تجدیدپذیر

کل هزینه (10^6\$)	تعداد باتری	تعداد واحد خورشیدی	تعداد واحد بادی
Total Cost	N_B	N_S	N_W
۱۵/۳۲۱	۷۲۱	۸۲۳	۳۷۵

۶- نتیجه گیری

در روش پیشنهاد شده از مونت کارلو ترتیبی به منظور در نظر گرفتن عدم قطعیت انرژی‌های تجدیدپذیر استفاده شده است. به منظور مقایسه روش‌های ارائه شده، از دو فاکتور هزینه و شاخص قابلیت اطمینان استفاده شده است. هزینه‌ای که در مسئله تعیین ظرفیت ترکیب واحدها با استفاده از داده‌های ساعتی سرعت باد و تابش خورشید و بوسیله روش احتمالی محاسبه شده، به عنوان پایه‌ای برای مقایسه استفاده شده است. روش محاسبه شاخص قابلیت اطمینانی که با استفاده از روش مونت‌کارلو پیشنهاد شده به عنوان شاخص قابلیت اطمینان مطلوب در نظر گرفته شده و برای ترکیب بهینه‌ای که از روش‌های مختلف نتیجه شده، این شاخص با استفاده از روش مونت-کارلو تعیین می‌شود.

مسئله تعیین ظرفیت با استفاده از میانگین داده‌های سرعت باد و تابش خورشیدی بدون در نظر گرفتن عدم قطعیت انرژی‌های تجدیدپذیر نیز مورد بررسی قرار گرفته است. در این شبیه‌سازی با شرایط محیطی و آب و هوایی مشخص، هزینه به میزان ۲۹ درصد بیشتر از هزینه‌ای است که از تعیین ظرفیت با در نظر گرفتن عدم قطعیت انرژی‌های تجدیدپذیر با استفاده از روش مونت‌کارلو حاصل شده و شاخص قابلیت اطمینان محاسبه شده برای این ترکیب با استفاده از روش مونت‌کارلو ، سیستم را به میزان ۵۱/۷۷ درصد بیشتر از شاخص قابلیت اطمینان مطلوب تامین می‌کند. در واقع در این شرایط استفاده از میانگین داده-های سرعت باد، تابش خورشید و بار مصرفی باعث صرف هزینه اضافی می‌گردد. در نظر گرفتن عدم قطعیت انرژی‌های تجدیدپذیر در واقع بررسی مسئله تعیین ظرفیت با یک دید واقع‌گرایانه است. در این مقاله، تحلیل‌هایی بر مسئله تعیین ظرفیت ترکیب واحدهای بادی، خورشیدی و ذخیره‌ساز باتری صورت گرفته و نتایجی به شرح زیر حاصل گردیده است.میزان تغییرات هزینه بهینه نتیجه شده از حل مسئله تعیین ظرفیت ترکیب واحدهای بادی، خورشیدی و ذخیره‌ساز باتری با توجه به شاخص قابلیت اطمینان، ضریب قطع معادل مختلف نشان می‌دهد که در برخی موارد می‌توان با صرف هزینه اندکی نسبت به کل هزینه مصرف شده، افزایش محسوسی در قابلیت اطمینان سیستم صورت داد. برای نمونه با افزایش هزینه به میزان ۷/۶۴ درصد هزینه پایه، شاخص قابلیت اطمینان ضریب قطع معادل به میزان ۲۰ درصد کاهش می‌یابد.

۷- مراجع

[1] H. Yang, L. Lu and W. Zhou, "A Novel Optimization Sizing Model for Hybrid Solar-Wind Power Generation System", Solar Energy, Vol. 81, No. 1, pp. 76-84, Jan. 2007

[2] C. Wang and M.H. Nehrir, "Power Management of a Stand-Alone Wind/Photovoltaic/ Fuel Cell Energy System", IEEE Trans. on Energy Conversion, Vol. 23, No. 3, pp. 957-967, Sept. 2008

[3] L. Wang and C. Singh, "Multicriteria Design of Hybrid Power Generation Systems Based on a Modified Particle Swarm Optimization Algorithm", IEEE Trans. on Energy Conversion, Vol. 24, No. 1, pp. 163-172, Mar. 2009

[4] B.O. Bilal, V. Sambou, P.A. Ndiaye, C.M.F. Kébé and M. Ndongo, "Optimal Design of a Hybrid Solar-Wind-Battery System Using the Minimization of the Annualized Cost System and the Minimization of The Loss of Power Supply Probability (LPSP)", Renewable Energy, Vol. 35, No. 10, pp. 2388-2390, Oct. 2010

[5] A. Kaabeche, M. Belhamel and R. Ibtiouen, "Sizing Optimization of Grid-Independent Hybrid Photovoltaic/Wind Power Generation System", Energy, Vol. 36, No. 2, pp. 1214-1222, Feb. 2011..

[6] L. Grimsmo, M. Korpås, T. Gjengedal and S. M. Holst, "A Probabilistic Method for Sizing of Isolated Wind-Electrolyzer Systems", 4th Nordic Workshop on Power and Industrial Electronics Trondheim, June 2004

[7] H. Sasaki, M. Nakashima and Y. Tamaru, "A Bad Data Detection Algorithm in Power System State Estimation", Electrical Engineering in Japan, Vol. 98, No. 5, pp. 108–115, 1978.

[8] R.Y. Rubinstein, D.P. Kroese, "Simulation and the Monte Carlo Method", Wiley Interscience, 2nd Edition, Dec. 2007

[9] J.A. Duffie and W.A. Beckman, "Solar Engineering of Thermal Processes", Solar Energy Laboratory University of Wasconsin-madison, 3rd Edition, 2005.

[10] A.K. Kaviani, H.R. Baghaee and G.H. Riahy, "Design and Optimal Sizing of a Photovoltaic/Wind Generator System Using Particle Swarm Optimization", 22nd Power System Conference (PSC), Tehran, Iran, pp. 19-21, Dec. 2007.

[11] A. Navaeefard, S.M.M. Tafreshi, M. Barzegari and A.J. Shahrood, "Optimal Sizing of Distributed Energy Resources in Microgrid Considering Wind Energy Uncertainty with Respect to Reliability", IEEE International Energy Conference and Exhibition, pp. 820-825, 18-22, Dec. 2010.

[12] Online: "http://www.rollsbattery.com/content/battery-user-manual/", by Surrette Battery Company Limited.

[13] H.V. Haghi, S.M. Hakimi and S.M.M. Tafreshi, "Optimal Sizing of a Hybrid Power System Considering Wind Power Uncertainty Using Particle Swarm Optimization -Embedded Stochastic Simulation", Probabilistic Methods Applied to Power Systems (PMAPS), pp. 722-727, 14-17 June 2010.

[14] F. Jahanbani Ardakani, G. Riahy and M. Abedi, "Design of an Optimum Hybrid Renewable Energy System Considering Reliability Indices", International Conference on Electrical Engineering (ICEE), pp. 842-847, May 2010.

[15] R. Karki and R. Bilinnton, "Reliability/Cost Implication of PV and Wind Energy Utilization in Small Isolated Power System", IEEE Trans. on Energy Conversion, Vol. 16, No. 4, pp. 368-373, Dec. 2001.