طراحی نیروگاه ۱۰ مگا واتی بادی در محل دانشگاه آزاد اسلامی واحد نائین با رویکرد بهینه‌سازی چند هدفه

امید پیریایی*[۱]، مهدی مهدویان[۲]

*۱- دانشجوی کارشناسی ارشدگروه برق، واحد نایین، دانشگاه آزاد اسلامی، نایین، ایران، pi_om90@yahoo.com

۲- عضو هیات علمی گروه برق، واحد نایین ،دانشگاه آزاد اسلامی، نایین، ایران، meh_mahdavian@yahoo.com

چکیده :در این مقاله به امکان‌سنجی و طراحی نصب یک واحد ۱۰ مگاواتی در منطقه‌ی نائین اصفهان می‌پردازیم. این طراحی شامل سه تابع هدف می باشد . اهداف مورد نظر در این مقاله شامل کمترین هزینه نصب ، راه اندازی ، هزینه های خرید توربین ، و اتصال به شبکه هستند و همچنین شامل بیشترین تولید سالیانه به همراه بهترین قابلیت اطمینان برای توربین ها می باشند. مدل پیشنهادی در قالب یک مسئله ی بهینه سازی چند هدفه ارائه و جهت دستیابی به دسته جواب های قابل قبول از الگوریتم NSGA-II استفاده شده است . در بخش نهایی بهترین مجموعه توربین ها را با استفاده از الگوریتم مورد استفاده مکان یابی بهینه میکنیم .این مکان یابی در محدوده ی دانشگاه آزاد اسلامی واحد نایین انجام میپذیرد.

واژه‌های کلیدی: قابلیت اطمینان، توربین بادی، نیروگاه بادی، بهینه‌سازی چند هدفه، NSGA-II

۱- مقدمه

با توجه به اینکه جهان امروز رو به پیشرفت است و این پیشرفت نیازمند انرژی می‌باشد. و اینکه انرژی‌های فسیلی نیز رو به اتمام هستند، در نتیجه تمدن بشری نیز در خطر اتمام انرژی می‌باشد. به همین دلیل بسیاری از کشورهای پیشرفته جهان به دنبال راه‌های استفاده از انرژی‌های تجدید پذیر هستند. این انرژی‌ها شامل باد، انرژی خورشید، گرمای درون زمین و جزر و مد دریاها می‌باشند انرژی باد با توجه به در دسترس بودن و نداشتن هیچ‌گونه آلودگی زیست محیطی و بصرفه بودن از لحاظ اقتصادی در زمان‌های طولانی بهترین گزینه نسبت به سایر انرژی‌ها می‌باشد. از اصلی‌ترین نکات نیروگاه‌های بادی نحوه کنترل توان ورودی یا محرک گرداننده توربین می‌باشد که این نیروگاه‌ها را از سایر نیروگاه‌ها متمایز کرده است. این در حالی است که در نیروگاه‌هایی با سوخت فسیلی خروجی نیروگاه را می‌توان با اتوماتیک ولتاژ (AVR)، کنترل سوخت وگاورنر تنظیم کرد.اما در نیروگاه‌های بادی با توجه به متغیر بودن باد، توان ورودی و خروجی مانند نیروگاه‌های سوخت فسیلی کاملاً در اختیار ما نمی‌باشد، که این تفاوت باعث شده تجهیزات کنترلی و ژنراتورهای توربین‌های بادی نسبت به نیروگاه‌های فسیلی متفاوت باشند. حال که با اهمیت انرژی باد بیشتر آشنا شدیم لازم به ذکر است که برای پیشبرد هدف اصلی در این مقاله لازم است که مطالعات باد منطقه انجام شود تا در راستای مکان یابی بهینه برای نصب توربین های انتخابی ابزاری قدرتمند در دست داشته باشیم .با توجه به اهمیت مطالعات بادی منطقه نایین با همکاری ایستگاه هواشناسی این منطقه اطلاعات لازم که از قابلیت اطمینان بالایی برخوردار است دریافت شده است که شامل گلباد ها ، سرعت ، ارتفاع و سایر اطلاعات مورد نیاز برای این مقاله میباشد. در این مقاله تلاش شده تا با بررسی دقیق و مطالعه‌ی توربین های شرکت های مختلف بهترین و کم هزینه ترین توربین ها انتخاب شوند .با توجه به کارهای انجام شده نمونه در جهان امکان سنجی و طراحی توربین‌ها

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-12]

Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 4 -No. 1- spring & summer 2015

[DOR: 20.1001.1.23222468.1394.4.1.6.9]

برای منطقه نایین از پیچیدگی خاصی برخوردار بود. برای نمونه در [۱۰] با توجه به اینکه میانگین سرعت باد قابل ملاحظه بود ، جانمایی توربین ها با توجه به وسعت منطقه و نداشتن موانع از جمله درختان و ساختمان ها کار پیچیده ای نبود. با توجه به [۱۲] در این مقاله امکان استفاده از چند توربین از شرکت های متفاوت را برای ما فراهم می آورد. در [۵] ما با مناطق باد خیز ایران آشنا میشویم .با توجه به اینکه در سایر نقاط امکان سنجی ها با توجه به مطالعات ایستگاه هواشناسی و سازمان محیط زیست انجام میپذیرد با توجه به آشنایی به منطقه نایین و مطالعات بادی منطقه اقدام به انجام پروژه شده است. در سایر منابع استفاده شده در مقاله سعی کرده ایم تا کارهای جدید و موفق در این زمینه به عنوان پیش زمینه کار انتخاب شود تا بتوان نتیجه ی نهایی را قابل اطمینان ارزیابی کرد.در این مقاله سعی شده است تا از انتخاب توربین ها تا جانمایی آن ها در منطقه طبق مطالعات دقیق انجام پذیرد. با توجه به باد خیز بودن منطقه و قابل استحصال بودن انرزی در این مقاله سعی شده که همه ی انرزی ت.لیدی به شبکه اصلی تزریق و از این طریق برای دانشگاه درآمد زایی شود .با توجه به اینکه در منطقه نایین هیچگونه اقدامی برای نصب توربین انجام نشده است در نتیجه مطالعات خاصی لازم بود تا امکان سنجی و طراحی برای این کار مهم انجام پذیرد. در نتیجه برای این کار به اطلاعات ثبت شده در ایستگاه هواشناسی نایین نیاز داشتیم.با در دست داشتن اطلاعات بادی نایین توربین های مورد نظر توسط الگوریتم زنتیک ژ محوطه ی دانشگاه جانمایی شد. این جانمایی با توجه به موانع ساختمانی که به عنوان قیود در برنامه در نظر گرفته شده بود انجام شده است.

۲ - تابع توزیع احتمالاتی سرعت باد

قبل از به دست آوردن تابع احتمالاتی سرعت باد باید اطلاعات را دسته‌بندی کنیم. بدین منظور اطلاعاتی از ایستگاه هواشناسی جمع‌آوری شده است. مطابق با این اطلاعات، سرعت باد برای همه‌ی روزهای سال و به مدت ۵ سال مشخص می‌باشد. لازم به ذکر است که این اطلاعات مربوط به سال‌های ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۴ میلادی می‌باشد و از قابلیت اطمینان بالایی برخوردار است. به منظور مرتب کردن داده‌ها ابتدا سرعت باد برای ماه‌های یکسان را در کنار هم قرار داده و سپس میانگین سرعت باد در هر روز را محاسبه می‌کنیم. با داشتن میانگین سرعت باد در روزهای مختلف سال، می‌توان نسبت به محاسبه و به دست آوردن تابع توزیع احتمالاتی سرعت باد در ناحیه‌ی موردنظر اقدام کرد. برای مدل‌سازی تابع توزیع احتمالاتی سرعت باد از تابع چگالی احتمالاتی ویبول استفاده می‌کنند. اگر v را به عنوان یک متغیر تصادفی درنظر بگیریم، تابع توزیع احتمالاتی ویبول مطابق با معادله‌ی زیر است:

$$f(v) = (k/c) \times (v/c)^{k-1} \times exp\left(-(v/c)\right)^{k} \qquad (۱)$$

در این معادله، c را فاکتور مقیاس و k را فاکتور شکل می‌نامند. $f(v)$ نیز احتمال سرعت باد برای سرعت v را نشان می‌دهد. می‌توان گفت که پارامتر c نشان‌دهنده‌ی این است که به طور کلی یک منطقه چقدر باد خیز است. درحالی که پارامتر k نشان‌دهنده‌ی این است که تابع توزیع سرعت باد تا چه اندازه‌ای دارای قله می‌باشد. استفاده از تابع توزیع ویبول مستلزم آن است که در ابتدا مقادیر k و c معلوم شود. توربین‌های بادی با یک سرعت cut-in شروع به تولید توان می‌کنند و هنگامی که سرعت آن‌ها به سرعت cut-out برسد، از حرکت می‌ایستند تا به آن‌ها آسیبی نرسد. اکثر توربین‌های بادی موجود در بازار در بازه‌ی ۳ تا ۲۵ متر بر ثانیه توانایی تولید توان دارند. توان بادی که با سرعت v بر سطح جاروب شده‌ی A توسط پره می‌وزد، با مکعب سرعت باد و مطابق با رابطه‌ی زیر متناسب است.

$$P(V) = 0.5\,\rho\,A\,V^{3} \qquad (۲)$$

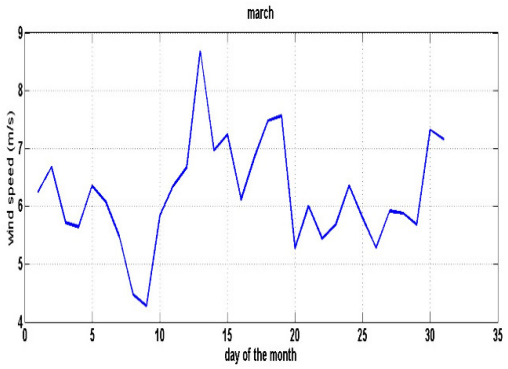
در این رابطه، ρ چگالی هوا در سطح دریا با میانگین دمای ۱۵ درجه‌ی سلسیوس و فشار یک اتمسفر می‌باشد. V نیز در این رابطه معرف سرعت متوسط باد می‌باشد.

$$\rho = \frac{\bar{P}}{R_d \bar{T}} \qquad (۳)$$

در این رابطه R_d ثابت گاز برای هوای خشک می‌باشد. مقدار آن برابر با ۲۸۷ J/Kg.K می‌باشد.

۲-۱- تجزیه و تحلیل سرعت باد منطقه نایین

میانگین سرعت وزش باد در ایستگاه نائین در ماه‌های مختلف سال:



شکل (۱) منحنی سرعت وزش باد بصورت میانگین در یک سال

جدول (۱)میانگین سرعت وزش باد در ایستگاه نائین در ماه‌های مختلف سال بر حسب m/s

ماه	ژانویه	فوریه	مارس	آوریل	می	ژوئن
اصلی	۲/۹۳۲۰۸	۳/۹۶۰۸۸	۴/۰۱۲۳۲	۴/۲۱۸۰۸	۳/۹۶۰۸۸	۴/۰۱۲۳۲
ماه	ژولای	آگوست	سپتامبر	اکتبر	نوامبر	دسامبر
اصلی	۴/۰۱۲۳۲	۳/۷۰۳۶۸	۳/۴۹۷۹۲	۳/۰۸۶۴	۳/۰۸۶۴	۲/۸۲۹۲

همان‌طور که مشاهده می‌کنید، میانگین سرعت باد در منطقه نائین در ماه‌های مختلف سال متفاوت است و در بازه‌ای بین ۲/۸۲ تا ۴/۲۱ تغییر می‌کند. این میانگین سرعت برای همه‌ی لحظات است. حال

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-12]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 4 -No. 1- spring & summer 2015
[DOR: 20.1001.1.23222468.1394.4.1.6.9]

اینکه حداقل سرعت باد برای شروع تولید واحدهای بادی در حدود ۵ m/s می‌باشد. اما با توجه به اینکه داده‌های فوق برای میانگین سرعت باد است، باید داده‌های دیگری هم باشند که نشان‌دهنده‌ی سرعت دقیق باد در ساعت‌های مختلف از شبانه‌روز باشند. اما در همین جا می‌توان دریافت که منطقه‌ی نائین از سرعت باد مناسبی در طول سال برخوردار است و می‌تواند به عنوان یک منطقه‌ی مناسب جهت تولید بادی مورد تجزیه و تحلیل بیشتر قرار گیرد.

در ایستگاه‌های هواشناسی، بادسنج‌ها را در ارتفاع ۱۰ متری از سطح ایستگاه نصب می‌کنند. اما برج توربین‌های بادی ارتفاعی بیش از ۸۰ متر را دارا می‌باشند. بدین منظور با استفاده از رابطه‌ی زیر می‌توان سرعت باد را در ارتفاع‌های بالاتر محاسبه کرد.

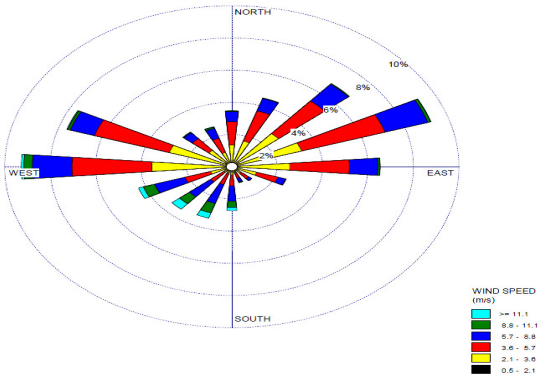
$$V_2 = V_1 \ln(Z_2/Z_0)/\ln(Z_1/Z_0) \quad (۴)$$

جدول (۲) میانگین سرعت باد در ارتفاع‌های بالاتر

میانگین سرعت باد(m/s)	ارتفاع (m)
۵/۳۵۳۵	۱۰
۶/۵۰۶۳	۲۰
۷/۱۸۰۷	۳۰
۷/۶۵۹۲	۴۰
۸/۰۳۰۳	۵۰
۸/۳۳۳۵	۶۰
۸/۵۸۹۹	۷۰
۸/۸۱۲۰	۸۰
۹/۰۰۷۹	۹۰
۹/۱۸۳۱	۱۰۰
۹/۳۴۱۶	۱۱۰
۹/۴۸۶۳	۱۲۰
۹/۵۵۴۲	۱۲۵

همانطور که مشاهده می‌کنید، با افزایش ارتفاع، میانگین سرعت باد نیز بالاتر می‌رود و این یعنی افزایش میزان انرژی باد در ارتفاع‌های بالا.

با همکاری سازمان هواشناسی و استفاده از اطلاعات ثبت شده در ایستگاه، نمودار گلباد ایستگاه نائین رسم شده است:



شکل (۲) نمودار گلباد بلند مدت ایستگاه نائین

لازم به تذکر است که این نمودار با استفاده از اطلاعات سرعت باد در بلندمدت رسم شده است. جهت درک بهتر این موضوع، لازم است که گفته شود این نمودار با استفاده از اطلاعات ثبت شده در طی سال‌های ۱۹۹۲ تا ۲۰۰۸ میلادی رسم شده است. با توجه به گلباد ، باد غالب نایین غربی میباشد .

۲-۲- معرفی و بررسی توربین ها

از اینجا به بعد به بررسی میزان انرژی استحصال شده از چندین نوع مختلف توربین بادی می‌پردازیم. این توربین‌ها از شرکت وستاس، گمسا و جی ای انرژی انتخاب شده اند. با توجه به اینکه این توربین‌ها هر یک دارای یک منحنی تولید می‌باشند، ما در این بخش با توجه به سرعت باد منطقه در ارتفاع‌های مختلف و از طریق تابعی که نرم‌افزار MATLAB برای هر کدام از توربین‌ها به ما می‌دهد، می‌توانیم تولید سالیانه آنها را محاسبه کنیم. درنتیجه در ادامه برای به‌دست آوردن نقاط بهینه، از نظر یکی از توابع هدف که بیشترین تولید سالیانه می‌باشد، می توان با دقت عمل بهتر و قوی‌تری این کار را انجام داد.

توربین‌های انتخاب شده با توجه به بروشوری که شرکت سازنده در اختیار مشتری قرار داده است دارای مشخصاتی از قبیل سرعت cut_{in} و cut_{out}، کلاس بادی، توان مورد استحصال از توربین، ارتفاع هاب، ارتفاع ژنراتور و بسیاری از ویژگی‌ها و مشخصات فنی مورد نیاز را در اختیار ما قرار می دهد. در جدول زیر ۱۴ نوع توربین با ظرفیت‌ها ، ارتفاع نصب و مدل توربین نمایش داده شده‌اند:

جدول(۳) توربین های مورد بررسی

شرکت سازنده	ارتفاع برج (m)	ظرفیت(MW)
وستاس	۸۰	۲
وستاس	۹۵	۲
وستاس	۱۰۵	۲
وستاس	۸۰	۲
وستاس	۹۵	۲
وستاس	۸۰	۲
وستاس	۹۵	۲
وستاس	۱۱۰	۲
وستاس	۱۲۰	۲
وستاس	۱۲۵	۲
وستاس	۹۴	۳
وستاس	۱۱۹	۳
جی ای انرژی	۹۸	۱/۵
گمسا	۸۰	۵

در قسمت قبل نیز گفته شد که برای اینکه تولید سالیانه هر کدام از توربین‌ها را بدست آوریم نیاز به منحنی توربین‌هایی داریم که در بروشور شرکت‌ها به ما داده شده است تا توان قابل‌دریافت در طول سال به‌دست آید. برای این کار، ما به اطلاعاتی از قبیل چگالی هوای تصحیح شده در ماه‌های مختلف سال در منطقه‌ی نائین و میانگین

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-12]

Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 4 -No. 1- spring & summer 2015

[DOR: 20.1001.1.23222468.1394.4.1.6.9]

سرعت باد در ارتفاع مورد نظر از سطح زمین در ماه‌های مختلف سال در منطقه‌ی نائین نیازمندیم که با توجه به رابطه ی (۲) و (۳) با وارد کردن اطلاعات ثبت شده در ایستگاه هواشناسی در نرم‌افزار MATLAB، به محاسبه‌ی آن‌ها پرداخته می‌شود. نتایج به دست آمده به صورت جدول زیر است که نتایج به‌دست آمده را در ارتفاع ۸۰ متری از سطح دریا برای توربین نوع وستاس با ظرفیت ۲ مگا وات نشان میدهد :

جدول (۴)میانگین سرعت باد در ارتفاع ۸۰ متری در ماه های مختلف سال

ماه	چگالی هوای تصحیح شده (کیلوگرم بر متر مکعب)	میانگین سرعت در ارتفاع ۸۰ متری (m/s)
ژانویه	۰/۴۶۷۱	۷/۵۸۲۳
فوریه	۰/۳۹۵۸	۸/۳۹۹۴
مارس	۰/۲۲۱۳	۱۰/۲۲۱۸
آوریل	۰/۱۵۶۵	۹/۵۸۶۴
می	۰/۱۲۰۰	۹/۳۳۱۳
ژوئن	۰/۰۹۸۲	۹/۱۷۰۵
ژولای	۰/۰۹۱۲	۹/۴۱۳۱
آگوست	۰/۰۹۸۸	۸/۹۷۹۸
سپتامبر	۰/۱۱۱۰	۹/۳۳۱۸
اکتبر	۰/۱۴۶۷	۸/۵۷۸۴
نوامبر	۰/۲۶۷۲	۷/۳۸۲۹
دسامبر	۰/۴۲۰۰	۷/۷۶۶۰

همان‌طور که مشاهده می‌شود، میانگین سرعت در هر ماه، بیشتر از سرعت cut-in می‌باشد. با توجه به اینکه همه‌ی موارد مورد نیاز برای استفاده از رابطه‌ی (۳) در دسترس است، به محاسبه‌ی توان قابل استحصال در هر ماه می‌پردازیم. با استفاده از رابطه‌ی (۳) نتایج زیر حاصل می‌شود. این اعداد نشان دهنده‌ی میزان انرژی باد در هر متر مربع در سال می‌باشد.

جدول (۵) میزان توان قابل استحصال در هر ماه

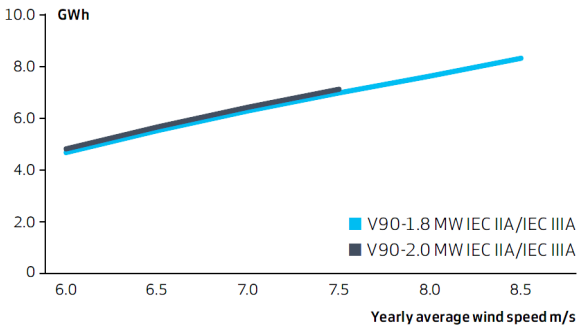
ماه	میزان توان قابل استحصال در هر ماه (MW)
ژانویه	۱۰۱/۸۱۰۵
فوریه	۱۱۷/۲۸۲۷
مارس	۱۱۸/۱۹۳۰
آوریل	۶۸/۹۳۹۷
می	۴۸/۷۴۱۱
ژوئن	۳۷/۸۵۸۵
ژولای	۳۸/۰۵۰۴
آگوست	۳۵/۷۷۲۰
سپتامبر	۴۵/۰۸۷۱
اکتبر	۴۶/۳۰۲۰
نوامبر	۵۳/۷۶۵۵
دسامبر	۹۸/۳۶۱۹

همان‌طور که مشاهده می‌کنید میزان توان قابل استحصال از انرژی باد در ماه‌های مختلف، با هم تفاوت دارد. این تفاوت در توان وابسته به شرایط جوی منطقه، از جمله سرعت باد می‌باشد. مطابق جدول فوق، بیشترین توان قابل تولید در ماه مارس میلادی می‌باشد. اگر کل اعداد را با هم جمع کنیم، کل توان باد در طی یک سال برابر با ۸۱۰/۱۶۴۴ می‌باشد. با ضرب این عدد در تعداد ساعات یک سال، انرژی کل باد در طی یک سال به دست می‌آید. :

$$810.1644 \times 8760 = 7079\ \text{J} \qquad (۵)$$

البته این انرژی مربوط به یک متر مربع در ارتفاع ۸۰ متری از سطح زمین می‌باشد. همچنین سهم بسیاری از این انرژی در سرعت‌های پایین اتفاق می‌افتد و امکان استفاده و تبدیل آن به انرژی الکتریکی نمی‌باشد. میزان انرژی قابل استحصال توسط توربین‌های بادی، علاوه بر سرعت و تداوم باد به عواملی همچون راندمان توربین، ارتفاع دکل، دایره چرخش پره‌ها(سطح جاروب شده) و... وابسته است. برای توربین‌های شرکت وستاس، یک نمودار تولید انرژی سالیانه رسم شده است. با استفاده از این نمودار می‌توان میزان انرژی تولیدی در یک سال را به صورت تقریبی به دست آورد. نمودار مربوط به توربین نوع اول که مورد بررسی قرار گرفته است به صورت شکل زیر می‌باشد:

ANNUAL ENERGY PRODUCTION



شکل (۳) تولید سالیانه‌ی توربین وستاس ۲ مگاواتی در ارتفاع ۸۰ متری بر حسب میانگین سرعت سالیانه‌ی باد

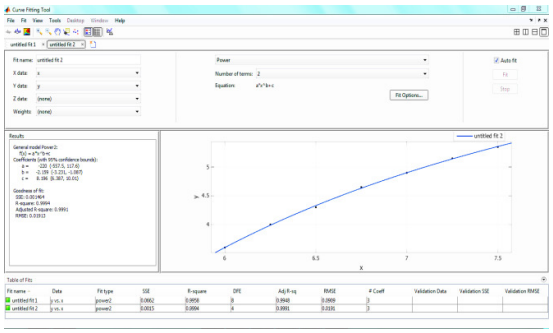
اما آن‌چه در این نمودار به‌عنوان فرض اولیه در نظر گرفته شده است، این است که سرعت میانگین مورد استفاده در این نمودار در ارتفاع پره‌ها باشد و همواره وزش باد را در محدوده‌ی مورد نظر داشته باشیم. پس برای استفاده از این نمودار کافیست سرعت متوسط باد در ارتفاع ۸۰ متری از سطح زمین را در نظر بگیریم و از روی نمودار میزان تولید آن را به دست آوریم. البته پس از آن باید ببینیم که آیا همواره در این ارتفاع سرعت باد از سرعت cut-in بیشتر است یا نه؟ اگر مواقعی سرعت باد در محدوده‌ی مورد نظر نبود، احتمال آن‌ها را در انرژی تولیدی ضرب کنیم و مقدار به دست آمده را از کل توان تولیدی کم کنیم.

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-12]

Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 4 -No. 1- spring & summer 2015

[DOR: 20.1001.1.23222468.1394.4.1.6.9]

اما مطابق با یافته‌های قبلی، سرعت متوسط باد در ارتفاع ۸۰ متری برابر با ۸/۸۱۲۰ متر بر ثانیه است. این عدد بر روی نمودار در نظر گرفته نشده است. بنابراین با استفاده از نرم‌افزار MATLAB مجبور به برون‌گرایی از این نمودار هستیم. نتایج بدست آمده تابع (۶) است که نرم افزار MATLAB به ما می‌دهد و در آن x سرعت متوسط سالانه باد در ارتفاع مورد نظر توربین است:



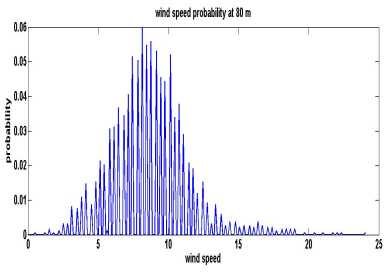
شکل (۴) استفاده از جعبه ابزار Cure Fitting جهت به دست آوردن تابعی برای نمودار تولید سالیانه‌ی توربین وستاس ۲ مگاواتی در ارتفاع ۸۰ متری بر حسب میانگین سرعت سالیانه‌ی باد

بهترین پاسخی که برای نقاط مورد نظر به دست آمد، تابعی است به صورت معادله‌ی زیر که می‌توان عدد ۸/۸۱۲۰ را در آن گذاشت و مقدار تقریبی تولید توان را از آن به دست آورد.

$$f(x) = -200x^{-2.159} + 8.196 \quad (۶)$$

$$f(x) = 6.3737 \quad (۷)$$

با توجه به یافته‌ها می‌توان مقدار تقریبی توان تولیدی را برای هر توربین در سال ۶/۳۷۳۷ GWh برآورد کرد. با توجه به اینکه در این امکان‌سنجی، از ۵ توربین استفاده می‌شود، انرژی سالیانه‌ی تولیدی برابر با ۳۱/۸۶۸۶ GWh می‌باشد. این عدد به شرطی است که میزان سرعت باد همواره در محدوده‌ی بین سرعت cut-in و cut-out باشد. پس باید به بررسی احتمال خداد سرعت در این محدوده بپردازیم. این کار نیز با استفاده از نرم‌افزار MATLAB قابل انجام است. نمودار احتمال رخداد سرعت در ارتفاع ۸۰ متری از سطح زمین به صورت زیر است:



شکل(۵) احتمال رخداد سرعت باد در ارتفاع ۸۰ متری از سطح زمین در منطقه‌ی نائین

همان‌طور که مشاهده می‌کنید، بیشترین احتمال رخداد سرعت در بازه‌ی بین ۷ تا ۱۲ متر بر ثانیه است. با محاسبه‌ی احتمال رخداد سرعت در بازه‌ی ۴ تا ۲۵ متر بر ثانیه، می‌توان توان واقعی که در عمل قابل تولید است را محاسبه کرد. نتایج محاسبات در نرم‌افزار MATLAB به صورت شکل زیر می‌باشد:

probability of wind speed between 0 and 4 is 0/0378 and
the probability of wind speed between 4 to 25 is 0/9622

همان‌طور که مشاهده می‌شود، احتمال رخداد سرعت در بازه‌ی ۴ تا ۲۵ متر بر ثانیه برابر ۰/۹۶۲۲ است. پس جهت به دست آوردن مقدار واقعی تولید انرژی سالیانه، باید این عدد را در GWh سالیانه ضرب کنیم.

$$0.9622 \times 31.8686 = 30.6640 \quad (۸)$$

همان‌طور که مشاهده می‌کنید، میزان تولید سالیانه برای این توربین چیزی در حدود ۳۰ GWh می‌باشد.

همه ی این محاسبات لازم است برای تک تک توربین ها انجام شود . نتیجه ی این محاسبات در جدول زیر برای چهارده نوع توربین در ارتفاع‌های مختلف آمده است :

جدول (۶) جمع‌بندی توربین‌های بررسی شده

نام توربین	ارتفاع برج (m)	تولید سالیانه (GWh)
وستاس	۸۰	۳۰/۶۶۴۰
وستاس	۹۵	۳۱/۲۴۷۸
وستاس	۱۰۵	۳۱/۹۰۲۷
وستاس	۸۰	۴۹/۷۸۱۴
وستاس	۹۵	۵۰/۹۸۳۵
وستاس	۸۰	۵۷/۶۴۸۱
وستاس	۹۵	۵۹/۷۹۳۶
وستاس	۱۱۰	۶۲/۱۴۶۲
وستاس	۱۲۰	۶۳/۳۸۲۴
وستاس	۱۲۵	۶۴/۰۱۰۷
وستاس	۹۴	۴۵/۳۰۴۶
وستاس	۱۱۹	۴۸/۳۳۹۲
جی ای	۹۸	۳۰/۹۷۱۶
گمسا	۸۰	۳۷/۱۷۷۰

اگر بنا به انتخاب یکی از توربین‌های جدول فوق را داشته باشیم، به‌نظر می‌آید که بهترین انتخاب توربین نوع شماره ۱۰ می‌باشد. این توربین دارای میزان تولید سالیانه‌ی بسیار بالاتری از سایر مدل‌ها می باشد .

۲-۳- محاسبه هزینه ها

هزینه‌های در نظر گرفته در این مقاله به سه دست تقسیم می‌شوند.

- هزینه خرید که به هزینه لازم جهت خریداری و دریافت هرکدام از توربین‌های پیشنهادی بستگی دارد. این هزینه

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-12]

Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 4 -No. 1- spring & summer 2015

[DOR: 20.1001.1.23222468.1394.4.1.6.9]

می‌تواند بسته به نمایندگی و نوع توربین و ظرفیت و ارتفاع و همچنین شرکت سازنده مختلف باشد.

- هزینه نصب و راه اندازی نیز شامل هزینه سخت پایه و فوندانسیون نصب هر توربین است که به نوع و ارتفاع توربین و وزن خالص و دیگر پارامترهای مکانیکی بستگی دارد.
- هزینه دیگر که در کاهش آن باید بیشتر کوشا باشیم و مکان یابی بهینه بخاطر آن صورت می‌گیرد هزینه سیم‌کشی می‌باشد. هزینه سیم‌کشی علاوه بر فاصله و مقدار کابل مورد نیاز به میزان قدرت و توان توربین نیز بستگی دارد زیرا که باعث می‌شود در توان‌های بالا مجبور شویم از کابل با ظرفیت بالاتر استفاده کنیم که این باعث می‌شود هزینه هر متر کابل افزایش یابد.

$$P = V\, I \cos\varphi \qquad (۹)$$

$$I = \frac{P}{V\ \cos\varphi} \qquad (۱۰)$$

$$A = \frac{I.\ L.\ \cos\varphi\sqrt{3}}{K.\Delta U\ \%.Un} \qquad (۱۱)$$

این فرمول که برای سیستم سه فاز است در آن P توان خروجی توربین، V ولتاژ، I جریان بر حسب آمپر، $\cos\varphi$ ضریب توان، $\Delta U\ \%$ درصد مجاز افت ولتاژ و K هدایت مخصوص (بسته به جنس کابل) در این پروژه به ازای هر یک سانتی‌متر کابل برای توربین ۵ مگا واتی، ۵ دلار در نظر گرفته شده و برای توربین‌های ۲، ۳ و ۱/۵ مگاواتی ۳ دلار می‌باشد.

$$C_R = \sum C_{i,j} - C_T \qquad (۱۲)$$

که در آن C_R هزینه کابل، $C_{i,j}$ مجموع هزینه‌های خرید توربین‌ها، احداث خرید زمین و سایر هزینه‌ها و C_T هزینه نهایی که بوسیله‌ی برنامه‌ی MATLAB به‌دست آمده، شامل کابل کشی از نقطه بهینه تا توربین می‌باشد.

جدول (۷) مشخصات توربین‌ها و هزینه‌ها

شماره توربین	اسامی شرکت سازنده	ظرفیت توربین‌ها (MW)	ارتفاع برج (m)	تولید سالیانه (GWh)	هزینه‌ها (دلار)
۱	وستاس	۲	۸۰	۳۰/۶۶۴۰	۲۷۶۸۰۰۰
۲	وستاس	۲	۹۵	۳۱/۲۴۷۸	۲۷۷۲۰۰۰
۳	وستاس	۲	۱۰۵	۳۱/۹۰۲۷	۲۷۷۵۰۰۰
۴	وستاس	۲	۸۰	۴۹/۷۸۱۴	۲۷۶۸۰۰۰
۵	وستاس	۲	۹۰	۵۰/۹۸۳۵	۲۷۷۰۰۰۰
۶	وستاس	۲	۸۰	۵۷/۶۴۸۱	۲۷۶۸۰۰۰
۷	وستاس	۲	۹۵	۵۹/۷۹۳۶	۲۷۷۲۰۰۰
۸	وستاس	۲	۱۱۰	۶۲/۱۴۶۲	۲۷۷۸۰۰۰
۹	وستاس	۲	۱۲۰	۶۳/۳۸۲۴	۲۷۸۵۰۰۰
۱۰	وستاس	۲	۱۲۵	۶۴/۰۱۰۷	۲۷۹۰۰۰۰
۱۱	وستاس	۳	۹۴	۴۵/۳۰۴۶	۳۶۰۵۰۰۰
۱۲	وستاس	۳	۱۱۹	۴۸/۳۳۹۲	۳۶۰۵۰۰۰
۱۳	جی ای	۱/۵	۹۵	۳۰/۹۷۱۶	۳۶۲۰۰۰۰
۱۴	گمسا	۵	۸۰	۲۶/۱۶۵	۱۸۶۵۰۰۰

جدول (۷) مربوط به مشخصات و هزینه‌های ۱۴ توربین مورد نظر که شامل هزینه‌های تولید ، هزینه های ثابت سرمایه گذاری و سایر هزینه‌های مد نظر در این پروژه ی طراحی می باشد.

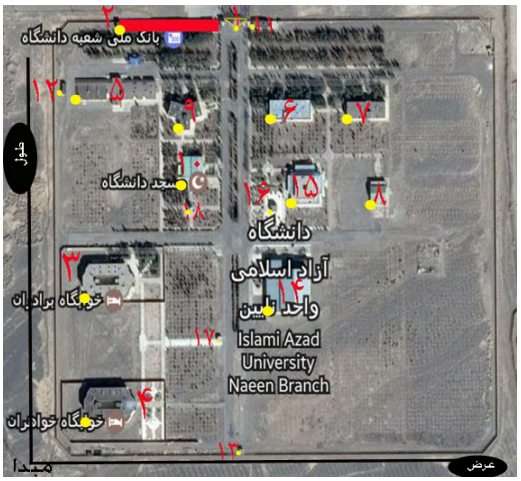
با توجه به اینکه در ادامه روند کار باید کم‌ترین هزینه ها ملاک انتخاب مجموعه توربین‌ها باشد، لذا با در دست داشتن این هزینه اقدام به انتخاب بهینه‌ترین توربین خواهیم کرد.

۲-۴- مکان یابی بهینه

مکان احداث مزرعه بادی باید دارای ویژگی‌های زیر باشد:

- در منطقه مسکونی نباشد؛ زیرا آلودگی صوتی ناشی از توربین‌ها می‌تواند منجر به نارضایتی و آزار ساکنان منطقه شود.
- زمین منطقه به گونه‌ای باشد که توانایی تحمل وزن توربین و فشار ناشی از گشتاور باد را داشته باشد.
- در مجاورت درختان و حیوانات نباشد.

با توجه به اینکه توربین‌ها باید در محوطه‌ی ۳۰ هکتاری دانشگاه نصب شوند و مکان‌یابی در این محوطه می‌باشد، می‌بایست مختصات ساختمان‌ها و مشخصات آن‌ها به عنوان قیود در دسترس باشند. زیرا نقاط نصب بهینه نباید روی ساختمان‌ها قرار بگیرند. از قیود دیگر نقاط بهینه نزدیک بودن به پست برق است که در برنامه‌نویسی لحاظ شده است .



شکل (۶) نقشه‌ی هوایی دانشگاه

۲-۵- توابع هدف مسئله

۱- حداقل بودن هزینه

۲- بیشترین میزان تولید

۳- کمترین میزان خرابی و یا به عبارتی بیشترین میزان در دسترس بودن

حال فرض کنیم تعداد کّل توربین‌های مورد نیاز i باشد و ما توانایی خرید از j نوع توربین را داشته باشیم در این صورت هزینه هر توربین به صورت نمایش داده می‌شود $C_{i,j}$. و هر توربین دارای نرخ خرابی

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-12]

Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 4 -No. 1- spring & summer 2015

[DOR: 20.1001.1.23222468.1394.4.1.6.9]

$l_{i,j}$ باشد. فرض کنیم هر توربین دارای ظرفیتی طبق تعریف $p_{i,j}$ باشد. و هر توربین براساس میزان صورت باد سالانه مقدار انرژی $E_{i,j}$ به ما تحویل دهد در این صورت فرمول‌بندی مسئله ما به این صورت می‌شود:

$$min\ cost = \sum C_{i,j} \quad (۱۳)$$
$$max \sum E_{i,j}$$
$$min \sum l_{i,j}$$

در این بخش مقدار سالانه انرژی $E_{i,j}$ را به‌صورت زیر مینیمم می‌کنیم که به‌همین اساس توابع هدف ما به‌صورت کلی کمینه شوند:

$$max \sum E_{i,j} = min \sum 64.01 - E_{i,j} \quad (۱۴)$$

بدین صورت توربین انتخاب شده از ترکیبی که بیشترین GWh انرژی را دارد کم شده تا مینیمم شود. همان‌طور که می‌بینیم مساله‌ی بالا دارای بیش از یک بهینه سازی است و تمامی بهینه سازی‌ها به مکان و نوع توربین بستگی دارند. برای حل مساله بالا ناچاریم از الگوریتم بهینه سازی ژنتیک چند هدف استفاده کنیم.

با توجه به اینکه در قبل هم در مورد میزان هزینه‌ها و تولید صحبت شد حال میزان قابلیت اطمینان توربین‌ها نیز مطرح است که در قالب نرخ خرابی توربین‌ها به آن می‌پردازیم .

عوامل اصلی در خرابی و یا به عبارتی عدم کارایی یک توربین بادی موارد زیر می‌توانند باشد:

- نبود باد با قدرت کافی
- خرابی تجهیزات داخلی توربین

تابع هدف سومی که ما در شبیه‌سازی و مساله خود نیاز به بهینه کردن آن داریم میزان نرخ خرابی توربین بادی می‌باشد. هرچه میزان نرخ خرابی توربین کمتر باشد این نوید را به ما می‌دهد که در طول یک سال ما مدت زمان بیشتری از توربین بهره‌مند می‌شویم، به عبارتی نرخ خرابی بالا نشان دهند خاموشی بوده که خود باعث خاموشی مجتمع و دیگر مسائل فنی می‌شود. در این تابع هدف ما سعی می‌کنیم مجموعه نرخ خرابی‌های ترکیبات پیشنهادی حداقل شوند. لازم به ذکر است همانطور که گفته شد نرخ خرابی و خاموشی به دو عامل بستگی دارد. عمل دوم از روی کاتالوگ‌های ارسالی از شرکت سازنده به دست می‌آید. عمل اول از میزان داده‌ای ایستگاه باد به دست می‌آید. به طوری که با داشتن اینکه در سال چند روز یا چند ساعت میزان سرعت باد از حداقل میزان جهت راه‌اندازی هر توربین کمتر است به دست می‌آید. انتظار می‌رود در این تابع هدف توربین‌هایی کاندید شوند که در سرعت‌های پایین توانایی کارکرد داشته باشند. در نتیجه ما با روزهایی سر و کار داریم که باد نمی‌وزد پس تولید نداریم:

$$\begin{cases} V_{cut\ in} \\ V_n \\ V_{cut\ out} \end{cases} \rightarrow \quad v < v_{cut\ in} \quad (۱۵)$$

در این قسمت V سرعت‌هایی است که پره‌ها را نمی‌چرخاند و عملاً تولید در این سرعت ها صفر است.

$$\begin{cases} 0 & V < V_{cut\ in} \\ aV + b & V_{cut\ in} < V < V_{in} \end{cases} \quad (۱۶)$$

پس نرخ خرابی برای روزهای بدون باد و تغییرات توربین در طول سال بصورت روزانه محاسبه می‌شود:

$$L = \frac{\sum V_i < V_{cut\ in} + D_T}{365} \quad (۱۷)$$

که در آن V_i سرعت بادهای کمتر از حداقل و D_T تعداد کل روزهای مد نظر برای تغییرات در طول ۳۶۵ روز سال می‌باشد

۳- روند انجام کار

به‌طور کلی الگوریتم ژنتیک چند هدفه توسعه یافته‌ی الگوریتم ژنتیک است. به صورتی که در مرحله اول جمعیت اولی در محدوده مورد نظر انتخاب می‌شود و میزان تابع هدف‌های مختلف برای هر یک از جمعیت‌های موجود به دست می‌آید. در مراحل مختلف این جواب‌ها طبق الگوریتم ژنتیک با یکدیگر زاد و ولد کرده و نتایج جدید به دست می‌آید. در هر مرحله جهش ژنتیکی نیز انجام می‌شود. در آخر هر تکرار نتایج با یکدیگر مقایسه می‌شوند و جبهه به نام جبهه پرتو تولید می‌شود خاصیت عضوهای این جبهه این است نسبت به بقیه اعضا که در این جبهه نیستند مقادیر تابع هدف‌های بهتری دارند، و از جهتی نسبت به یکدیگر برتری کامل ندارند. در هر تکرار اعضا این جبهه از نظر تعداد و مقدار امکان دارد تغییر کنند و در نهایت به سوی بهترین جواب‌های ممکن همگرا می‌شوند. در این پروژه همانطور که گفته شد ۳ تابع هدف وجود دارد که هیچ‌کدام نسبت به دیگری اولویت ندارد و به جواب‌هایی نیاز داریم که بهترین باشند. ترتیب اولویت بندی برای شروع برنامه بصورت زیر است.

(1 tool, 2 arz, 3 type torbin)

مکان و میزان طول و عرض برای توربین‌ها را بدین صورت مشخص می‌کنیم. ستون اول را عدد صفر، ستون دوم را عدد ۵۴۷۰۰۰ متر مربع و ستون سوم را ۱۴ به دلیل اینکه ۱۴ نوع توربین داریم. با توجه به اینکه جمعیت اولیه را ۱۰۰ با تعداد تکرار ۱۰۰۰۰ در نظر گرفته‌ایم، درصد جهش ژنتیکی را نیز ۳۰ ٪ می‌گیریم که در نتیجه آن درصد زاد و ولد معمولی و تغییر ژن‌ها بین پدر و مادر نیز ۷۰ ٪ در نظر گرفته می‌شود. در نتیجه ما دارای ۱۰۰ جمعیت اولیه که هر کدام دارای فاصله، هزینه، رنک و موقعیت قرارگیری خاص هستند. ماکزیمم و مینیم‌های تعریف شده برای این پروژه که شامل هزینه، تولید و نرخ خرابی‌های مورد نظر است، متغییرهایی تولید می‌کنند که با توجه به تابع هدف‌های تعریف شده برای آن‌ها است و با توجه به حدهای بالا و پایین که برای آن‌ها تعریف کرده‌ایم چک می‌شوند و توسط تابع Mond Ominated Sorting جمعیت‌ها مرتب می‌شوند که شامل رنک‌های ۱ تا ۱۰۰ است و ترتیب اولویت آن‌ها همان تابع هدف‌های تعریف شده هستند. که به ترتیب بهترین جواب Rank 1 و بدترین جواب Rank 100 است. رنک‌بندی انجام شده فاصله بین تک تک جمعیت‌ها را انجام می‌دهد تا بسیاری از جمعیت‌ها را کنار زده و جا را برای نسل‌های بعدی که بهینه‌تر می‌باشند باز کند. همچنین فاصله زیاد بین جواب‌ها نیز مد نظر است. حداکثر تکرار برای جمعیت اولیه

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-12]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 4 -No. 1- spring & summer 2015
[DOR: 20.1001.1.23222468.1394.4.1.6.9]

۱۰۰ را ۱۰۰۰۰ با درصد جهش ژنتیکی ۳۰ ٪ در number of crosse انجام می‌دهیم. بعد از زاد و ولد انجام شده داریم:

به‌دست آمدن جمعیت جدید←نوزادها+جمعیت جهشی+جمعیت قبلی

سپس با استفاده از تابع Sortin کار مرتب سازی و رنک بندی انجام می‌شود. زیرا ممکن است یک فرزند جدید بوجود آمده باشد که پدر و مادر آن در رنک ششم باشد اما در حال حاضر فرزند آن‌ها در رنک اول قرار بگیرد به همین دلیل بررسی کردن رنک‌ها در هر مرحله الزامی است. سپس دوباره فاصله بین جواب‌ها بررسی می‌شود تا جواب-های به هم چسبیده حذف و جواب‌های حاضر در رنک‌های پایین‌تر بالا بیایند. حال با تشکیل یک ماتریس به نام C که میزان توابع هدف را در آن قرار داده‌ایم به آن این دستور را می‌دهیم که دائم رنک ۱ را به ما نشان بدهد زیرا که جبهه پرتو در رنک ۱ می‌باشد. نقاط بدست آمده برای این پروژه ۵ نقطه یا ۵ توربین در۵ نقطه مختلف و بهینه است. با فرض مقدار دهی اولیه صفر در هر دوره جواب برای ما هزینه جدید با نرخ خرابی جدید حساب می شود :

$$\begin{cases} cost = 0 \\ power = 0 \\ energy = 0 \\ failure - rata = 0 \end{cases} \quad (۱۸)$$

$$C_{i,j} = (C_1 + K \times D) \quad (۱۹)$$

با توجه به شرایط اعمال شده فاصله توربین با پست برق باید کم‌ترین فاصله باشد تا متراژ کابل کشیده شده پایین باشد. با توجه به این فرمول برای هر تکرار هزینه جدید حساب می‌شود. در این قسمت $C_{i,j}$ هزینه نهایی، C_1 هزینه قبلی، K قطر کابل و D متراژ کابل است.در بحث حداکثر انرژی ترکیبی گرفته شده از توربین‌ها با توجه به اینکه تابع ما یک تابع کمینه است بیشترین ترکیب ممکن را از میزان هر ترکیب دلخواه کم می‌کنیم.

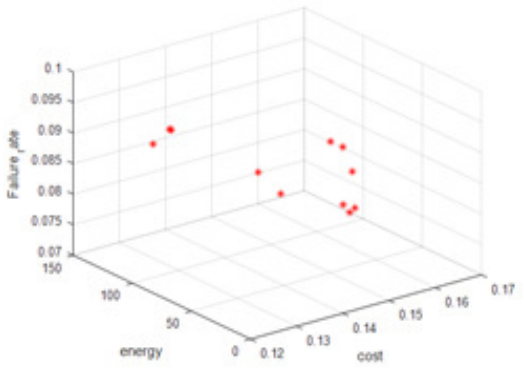
$$max \sum E_{i,j} = min \sum (64.01 - E_{i,j}) \quad (۲۰)$$

قسمت chek location نیز مکان توربین با توجه به ذکر قیود و اندازه‌هایی که برای آن معرفی شده است کرده‌ایم را انتخاب می‌کند. فاصله بین توربین‌ها ۱۶۰ متر و نباید روی ساختمان‌ها باشند. در فرمول زیر برای اینکه فاصله با ساختمان حفظ شود در صورتی که نقطه انتخاب شده روی ساختمان بود تابع هدف آن را مقداری زیاد می‌کند تا رنک آن پایین بیاید.

$$H = H + 100000 \quad (۲۱)$$

که در آن H نقطه فعلی و تعداد تکرار۱۰۰۰۰ می‌باشد. گفتنی است که بعد از اینکه رنک‌های نهایی مشخص شد و بهینه‌ترین نقطه بدست آمد این نقاط از لحاظ هزینه‌هایی از قبیل هزینه خرید توربین، هزینه-های راه اندازی، هزینه‌ی خرید کابل و سایر هزینه‌ها کمینه است. همچنین این تعداد توربین‌ها ترکیبی از بیشترین تولید سالیانه را دارند و در آخر بهترین قابلیت اطمینان را برای ما به ارمغان می‌آورند.

نتایج شبیه سازی با در نظر گرفتن همه ی توابع هدف یک جبهه ی پارتو با مجموع ۱۱ جواب بصورت سه بعدی میباشد که به شکل زیر است :



شکل (۷) منحنی جعبه پرتوها

مجموعه جواب‌های بدست آمده شامل ۱۱ جواب است که ترکیبی از ۵ توربین بهینه مطابق با توابع هدف مورد نظر در فواصل متفاوت است. مجموعه جواب های بدست آمده به همراه مختصات‌های آن بصورت زیر است (مختصات ها همگی به متر هستند) :

جواب یک : (طول و عرض)

توربین ۹ به مختصات (۴۰۵ و ۱۰۵) و توربین ۳ به مختصات (۴۰۵ و ۱۷) و توربین ۱۴ به مختصات (۴۳۲و۲۳۳) و توربین ۱۰ به مختصات (۴۳۳و۲۵۵) و توربین ۱۴ به مختصات (۳۸۱و۴۳۷)

جواب دو :

توربین ۹ به مختصات (۳۱۶و۲۰۶) و توربین ۷ به مختصات (۴۰۵و۴۶) و توربین ۱۰ به مختصات(۴۳۲و۲۶۸) و توربین ۱۰ به مختصات (۲۸۱و۳۷۸) و توربین ۹ به مختصات(۲۸۱و۴۸۶)

جواب سه :

توربین ۸ به مختصات (۴۰۵و۱۱۸) و توربین ۴ به مختصات(۴۰۵و۱۸) توربین ۱۳(۴۳۲و۲۳۶) و توربین ۹ به مختصات(۴۳۴و۲۵۵) و توربین ۱۳به مختصات (۳۸۱و۴۳۲)

جواب چهار :

توربین ۸ به مختصات(۴۰۵و۱۴۰) و توربین ۷ به مختصات (۴۰۵و۴۰) و توربین ۸ به مختصات(۴۲۹و۲۶۷) و توربین ۹ به مختصات(۴۴۵ و ۲۶۱) و توربین۱۰ به مختصات (۴۲۸و۳۸۹)

جواب پنج :

توربین ۹ به مختصات(۴۰۵و۱۲۰) و توربین ۳ به مختصات(۴۰۵و ۴۲) و توربین ۱۱ به مختصات (۴۳۳و۲۵۸) و توربین ۱۰ به مختصات (۱۵۳ و ۳۰۶) و توربین ۱۱ به مختصات (۲۸و۴۷۲)

جواب شش :

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-12]

Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 4 -No. 1- spring & summer 2015

[DOR: 20.1001.1.23222468.1394.4.1.6.9]

توربین ۹ به مختصات (۴۰۴و ۱۵۹) و توربین ۵ به مختصات (۴۰۵و ۳۲) و توربین ۱۱ به مختصات (۴۳۵و۲۶۱) و توربین ۱۰ به مختصات (۴۱۹و۲۶۹) و توربین۱۰ به مختصات (۲۸۰و۴۷۲)

جواب هفت :

توربین ۹ به مختصات (۳۱۶و۱۶۷) و توربین ۴ بـه مختصـات (۴۰۵ و ۲۱) و توربین ۱۰ به مختصات (۴۳۷و۲۵۵) و توربین ۱۰ به مختصات (۱۵۳و۳۰۰) و توربین ۱۳ به مختصات (۳۸۰و۴۶۳)

جواب هشت :

توربین ۸ به مختصات (۴۰۵و ۱۵۸) وتوربین ۱۱ به مختصـات (۴۰۵و ۸۵) و توربین ۱۰ به مخنصات (۴۲۳ و ۲۵۴) و توربین ۷ به مختصات (۴۴۰و۲۵۵) و توربین ۱۳ به مختصات (۴۳۱ و ۳۸۹)

جواب نه :

توربین ۹ به مختصات (۴۰۵و۱۵۸) و توربین ۳ به مختصـات (۴۰۵ و ۲۹) و تـوربین ۱۳ بـه مختصـات (۴۴۴و ۲۶۷) و تـوربین ۱۰ بـه مختصات (۴۲۳و۲۶۸) و توربین ۱۳ به مختصات (۳۸۰ و ۴۵۲)

جواب ده :

تـوربین ۸ بـه مختصـات (۴۰۵و۱۲۱) و تـوربین ۴ بـه مختصـات (۴۰۵و۲۲) و تـوربین ۸ بـه مختصـات (۴۴۲و۲۵۹) و تـوربین ۹ بـه مختصات (۴۲۶و۲۵۶) و توربین ۱۰ به مختصات (۲۸۰و ۴۰۸)

جواب یازده :

توربین ۸ به مختصات (۴۰۵و۱۲۳) و توربیت ۵ به مختصات (۴۰۵ و ۳۴) و توربین ۱۳ به مختصات (۴۳۱و۲۶) و تـوربین ۹ بـه مختصـات (۴۳۱و۲۵۹) و توربین ۱۳ (۳۸۱ و ۴۱۷)

جدول (۸) نتایج بدست آمده یازده جواب

شماره جواب	هزینه (دلار)	حداکثر تولید سالیانه (GWH)	نرخ خرابی
۱	۱۶۷۸۲۳۰۰	۱۶۹/۶۳۹۸	۰/۰۷۲
۲	۱۴۳۴۵۸۰۰	۲۵۰/۵۶۹۸	۰/۰۹۲
۳	۱۲۳۶۹۳۰۰	۱۷۳/۲۴۳۲	۰/۰۹۶
۴	۱۴۲۲۰۲۰۰	۲۴۷/۴۶۹۱	۰/۰۹۶
۵	۱۵۹۴۴۴۰۰	۱۸۵/۸۹۵۰	۰/۰۷۶
۶	۱۵۰۹۳۰۰۰	۲۲۳/۶۸۱۹	۰/۰۸۲
۷	۱۳۳۹۲۴۰۰	۲۰۸/۱۴۶۸	۰/۰۹
۸	۱۴۱۳۶۴۰۰	۱۹۸/۲۱۶۷	۰/۰۸۴
۹	۱۲۴۱۸۴۰۰	۱۵۷/۲۲۹۰	۰/۰۹۲
۱۰	۱۴۲۱۰۷۰۰	۲۳۷/۴۵۶۹	۰/۰۹۶
۱۱	۱۲۳۷۲۶۰۰	۱۷۴/۴۴۳۵	۰/۰۹۶

۴- نتیجه‌گیری

حال به بررسی و تحلیل نتایج به دست آمده می‌پردازیم. نتایج به دست آماده برای یک تابع هدف به‌راحتی قابل تحلیل است. وقتی می‌خواهیم هزینه را کاهش دهیم به‌راحتی می‌توان گفت جواب به‌دست آمده بهترین جواب است و کمترین هزینه را دارد، اما در توابع چند هدف هیچ وقت نمی‌توان گفت کدام جواب بهتر از بقیه جواب‌ها است. یک معیار برای سنجش نتایج به دست آمده استفاده از نرخ بازگشت سرمایه است.

در جدول زیر نرخ بازگشت سرمایه جواب‌های مختلف را به دست می‌آوریم.(گیگا وات ساعتی$ ۳۰۰۰۰)

جدول (۹) نتایج بازگشت سرمایه پروژه

شماره جواب	مدت زمان بازگشت سرمایه(سال)
۱	۳/۲۹۴۸۶۶
۲	۱/۹۰۸۴۲۳
۳	۲/۳۷۹۹۳۹
۴	۱/۹۱۵۴۱۷
۵	۲/۸۵۹۰۳۳
۶	۲/۲۴۹۱۷۶
۷	۲/۱۴۴۷۰۴
۸	۲/۳۷۷۲۶۳
۹	۲/۶۳۲۷۶۲
۱۰	۱/۹۹۴۸۴۶
۱۱	۲/۳۶۴۲۰۳

همانطور که از جدول بالا استخراج می‌شود طرح ۲ در کمترین زمان سرمایه صرف شده را باز می‌گرداند و در رتبه دوم طرح شماره ۴ قرار دارد. تصمیم در رابطه با انتخاب طرح نمونه جهت احداث به شرایط زیر بستگی دارد:

- میزان بودجه موجود برای احداث طرح
- میزان انرژی مورد نیاز
- زمان بازگشت سرمایه
- میزان سود و تولید انرژی

بهترین جواب‌ها برای هر کدام از معیارهای بالا به صورت زیر است:

- میزان بودجه موجود برای احداث طرح(طرح ۳)
- میزان انرژی مورد نیاز(به مصرف بستگی دارد)
- زمان بازگشت سرمایه(طرح ۲)
- میزان سود و تولید انرژی(طرح ۳)

کلیه جواب های بدست آمده را می توان با توجه به مختصات آن ها در نقشه دانشگاه جای گذاری کرد. این نقاط دارای قابلیت اطمینان بالایی هستند . در بهترین شرایط نیز جواب های متفاوت دیگری توسط الگوریتم ژنتیک بدست می آید .با توجه به داده ها و اهداف مسأله جواب های بدست آنده در یک فورمت استاندارد بدست آمده است.

مراجع :

[۱]ثقفی م.۱۳۷۲. انرژی باد و کاربرد آن در کشاورزی، دانشگاه تهران.

[۲] ثقفی م. ۱۳۸۴. انرژی‌های تجدیدپذیر نوین، انجمن انرژی ایران و مرکز مطالعات انرژی ایران، دانشگاه تهران.

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-12]

Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 4 -No. 1- spring & summer 2015

[DOR: 20.1001.1.23222468.1394.4.1.6.9]

[۳] حبیبی سراسکانرود ک، قهرمانی زرج آباد ا. ۱۳۹۴. پتانسیل‌سنجی و بررسی امان احداث نیروگاه بادی ۵۰ مگاواتی در منطقه‌ی کوهین استان قزوین. دومین کنفرانس ملی انجمن انرژی ایران

[۴] روحی ج، برفان م. ماهنامه صنعت برق.

[۵]روشن غ، قانقرمه ع، شاهکوئی ا. ۱۳۹۲. ارزیابی پتانسیل تولید انرژی بادی در ایستگاه‌های منتخب ایران. فصلنامه‌ی برنامه‌ریزی مطقه‌ای، سال چهارم، شماره ۱۴، صفحات ۱۳-۳۳

[۶]زرین‌گل س، احمری نژاد ا، بریمانی ن. ۱۳۹۵. اندازه‌یابی بهینه نیروگاه بادی-خورشیدی و موتور ژنراتورهای گازی در حالت مستقل از شبکه با الگوریتم ازدحام ذرات. اولین کنفرانس بین‌المللی دستاوردهای نوین پژوهشی در مهندسی برق و کامپیوتر.

[۷]سعادت ا، هوشمند ر. ۱۳۹۵. جایابی بهینه منابع تولید پراکنده و تعیین ظرفیت بهینه آن‌ها با استفاده از اندیس پایداری ولتاژ در شبکه‌های توزیع شعاعی. اولین کنفرانس بین‌المللی دستاوردهای نوین پژوهشی در مهندسی برق و کامپیوتر.

[۸]شبکه‌ی اطلاع رسانی شانا

[۹] صادق فام ا، توحیدی س، خیراللهی ص. ۱۳۹۵. ارزیابی پایداری گذرای سیستم‌های قدرت در حضور توربین‌های بادی سرعت متغیر متصل به شبکه. اولین کنفرانس بین‌المللی دستاوردهای نوین پژوهشی در مهندسی برق و کامپیوتر.

[۱۰] عبدی ح، حسین‌زاده خنکداری ت، ذاکری‌فر ر، عباسه کهن س، هاشمی پنبه چوله س. ۱۳۹۰. امکان‌سنجی احداث نیروگاه بادی ۱۰ مگاواتی مراوه تپه. نشریه انرژی ایران، دوره ۱۴، شماره ۱

[۱۱] عظیمی ن، رسولی ح. پتانسیل‌سنجی برق تولیدی از انرژی باد جهت احداث نیروگاه برق بادی در منطقه‌ی آزاد ارس. پنجمین کنفرانس بین‌المللی رویکردهای نوین در نگهداشت انرژی

[۱۲] کردیان همدانی م، محمدی ی، والی زادی ا، جهانگیری ع. ۱۳۹۵. مطالعه امکان‌سنجی نصب و بهره‌برداری از نیروگاه‌های بادی در شهرستان بهار استان همدان. اولین کنفرانس بین‌المللی دستاوردهای نوین پژوهشی در مهندسی برق و کامپیوتر.

[۱۳] ماهنامه‌ی پیک برق

[14] Aslani. A. 2011 "*A Study on Power System's Transient Stability in Determination of the Appropriate Generator Type for Wind Turbines."* Environment and Electrical Engineering Conference, pp 8-11.

[15] Perdana, A. Carlson. O, Persson J. 2004,“ *Dynamic Response of Grid connected Wind turbine with Doubly Fed Induction Generator during Disturbances*,” presented at the Nordic Workshop on Power and Industrial Electronics, NTNU, Trondheim, Norway.

[16] Ackermann, T. 2005, “*Wind Power in Power Systems*,” Wiley publisher.

[17] Mattos. C, Paulo Abreu Vieira. J. 2015 “*Long-Term Voltage Stability Analysis of Variable Speed Wind Generators*.", IEEE Transaction on power systems, pp 439 – 447.

[18] Clemens Jauch. 2012,“ *Technical Aspects of Integrating Wind Turbines into a Power System*,” Aalborg, Institut for Energiteknik.

[19] García, C. A., Fernández, L. M., & Jurado, F. 2013, “Modelling and Control of Wind Parks”, Springer-Verlag Berlin Heidelberg.

[20] General electric research. 2010. "*How loud is a wind turbine*". Available from: www.ge.com accessed 2016/05/08

[21] Ghosh. A and Ledwich. G. 2010, *“Compensation of distribution system voltage using DVR*,” IEEE Transactions on Power Delivery, 17 (4), pp 1030-1036.

[22] Global Wind Energy Council. 2014. *"Global wind statistics*". Available from: www.ewec.net accessed 2016/05/08

[23] Huang, P, Member, S, Shawky, M., Moursi, E., Xiao, W. 2013, “*Novel Fault RideThrough Configuration and Transient Management Scheme for Doubly*,” IEEE Transactions on Power Systems, 28 (1), pp 86-94

[24] Slootweg J.G, de Haan. S.W. H, Polinder. H, and Kling. W. L. 2012 "*Modeling Wind Turbines in Power System Dynamics Simulations*." IEEE Power Engineering Society Summer Meeting, pp 22 – 26.

[25] Kundur. (2001). "*power system stability and control*." 1407p

[26] Leon, A. E., Farias, M. F., Battaiotto, P. E., Solsona, J. a, & Valla, M. I. 2011,“ *Control strategy of a DVR to improve stability in wind farms using squirrel-cage induction generators*,” IEEE Transactions on Power Systems, 26 (3), pp 1609-1617.

[27] Mohseni, M., Member, S., Islam, S. M., & Member, S. 2011,“ *Impacts of Symmetrical and Asymmetrical Voltage Sags on DFIG-Based Wind Turbines Considering*,” IEEE Transaction on Power Electronics, 26 (5), 1587 – 1598.

[28] Ramirez, D., Martinez, S., Platero, C. a., Blazquez, F., & De Castro, R. M. 2011,“ *Low-voltage ride-through capability for wind generators based on dynamic voltage restorers*,” IEEE Transactions on Energy Conversion, 26 (1), pp 195–203.

[29] Thiringer. T. 2011 "*Effect of operational modes of a wind farm on the transient stability of nearby generators and on power oscillations: A Nordic grid study*." Wind Energy, pp 63–73.

[30]U.S. department of energy. 2014. *"Renewable energy data book*". Available from: www.eere.energy.gov accessed 2016/05/08

[31]W. Qiao, G. Harley. 2008. "*Effect of Grid-Connected DFIG Wind Turbines on Power System Transient Stability*." IEEE, Power and Energy Society General Meeting -Conversion and Delivery of Electrical Energy in the 21st Century, pp 1-8.

[32]Wessels, C, Gebhardt, F, & Fuchs, F. W. 2011,“ *Fault ride-through of a DFIG wind turbine using a dynamic voltage restorer during symmetrical and asymmetrical grid faults*,” IEEE Transactions on Power Electronics, 26 (1), pp 807–815.



امید پیریایی درخرم آباد متولد شده است (۱۳۶۹). تحصیلات دانشگاهی خود را در مقطع کارشناسی مهندسی برق- قدرت از دانشگاه دزفول(۱۳۹۲)، کارشناسی‌ارشد مهندسی برق- قدرت از دانشگاه نایین(۱۳۹۶) سپری کرده است.فعالیت‌های پژوهشی و علاقه‌مندی ایشان در زمینه توربین های بادی و ساخت نمونه آزمایشی

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-12]

Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 4 -No. 1- spring & summer 2015

[DOR: 20.1001.1.23222468.1394.4.1.6.9]

توربین ترکیبی آبی بادی در دانشگاه آزاد دزفول به عنوان پروژه پایانی کارشناسی می باشد.



مهدی مهدویان دراصفهان متولد شده است (۱۳۵۷). تحصیلات دانشگاهی خود را در مقطع کارشناسی مهندسی برق از دانشگاه دولتی کاشان و کارشناسی ارشد مهندسی برق را از دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف آباد سپری کرده است.فعالیت‌های پژوهشی و علاقه مندی ایشان در زمینه ادوات فکس، بهینه سازی سیستمهای قدرت، انرژی های نو می باشد.

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-12]

Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 4 -No. 1- spring & summer 2015

[DOR: 20.1001.1.23222468.1394.4.1.6.9]

[DOR: 20.1001.1.23222468.1394.4.1.6.9] [Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-12]

Abstract: In this paper, we will study the feasibility and design of a 10-megawatt unit in Isfahan's Nain region. This design consists of three objective functions. The objectives in this paper include the lowest cost of installation, commissioning, turbine purchase costs, and network connectivity, as well as the largest annual production plus the best reliability for turbines. The proposed model is presented in the form of a multi-objective optimization problem and the NSGA-II algorithm is used to achieve the acceptable category of responses. In the final section, we optimize the best turbine set using the algorithm used to locate. This location is located within the limits of the Islamic Azad University of Naying Branch.

Key words: reliability, wind turbine, wind power plant, multi-objective optimization, NSGA-II

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-12]

[DOR: 20.1001.1.23222468.1394.4.1.6.9]

Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 4 -No. 1- spring & summer 2015