



University of Kurdistan

Dept. of Electrical and Computer Engineering

Smart/Micro Grid Research Center

smgrc.uok.ac.ir

Economic assessment of wind energy in different regions of Iran considering long-term climatic changes (in Persian)

Aryannejad M, Bevrani H, Bahramara S

Published (to be published) in: National Conf. of Technology, Energy, and Data on Electrical and Computer Eng., Kermanshah, Iran

(Expected) publication date: 2015

Citation format for published version:

Aryannejad M, Bevrani H, Bahramara S (2015) Economic assessment of wind energy in different regions of Iran considering long-term climatic changes (in Persian) National Conf. of Technology, Energy, and Data on Electrical and Computer Eng., Kermanshah, Iran.

Copyright policies:

- Download and print one copy of this material for the purpose of private study or research is permitted.
- Permission to further distributing the material for advertising or promotional purposes or use it for any profit-making activity or commercial gain, must be obtained from the main publisher.
- If you believe that this document breaches copyright please contact us at smgrc@uok.ac.ir providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

امکان سنجی استفاده اقتصادی از انرژی باد در مناطق مختلف کشور ایران با در نظر گرفتن تغییرات اقلیمی بلند مدت

محسن آریان نژاد^{۱*}، حسن بیورانی^۲، صلاح بهرام آرا^۳

^۱دانشگاه کردستان، ^۲دانشگاه کردستان، ^۳دانشگاه کردستان

^۱ mohsen.aryannezhad@gmail.com

^۲ h.bevrani@gmail.com

^۳ s_bahramara@yahoo.com

چکیده - انرژی باد یکی از منابع مهم تولید انرژی الکتریکی در جهان می باشد که سرمایه گذاری بر روی آن با سرعت بسیار بالایی نسبت به سایر منابع در حال رشد است. در این مقاله برای مشخص شدن میزان ریسک سرمایه گذاری های صورت گرفته روی انرژی باد، به بررسی اثر تغییرات سالانه سرعت باد ناشی از تغییرات اقلیمی بر میزان متوسط تولید سالانه انرژی الکتریکی توسط توربین بادی پرداخته شده است. و اثر این تغییرات بر هزینه تمام شده و قیمت متوسط انرژی یک ریز شبکه برای هشت نقطه بادخیز در سطح کشور ایران بدست آمده است. نتایج بدست آمده برای ریز شبکه مورد نظر نشان می دهد که، به ازای هر ۱٪ تغییر در توان تولیدی توربین بادی بعثت تغییرات سرعت باد فصلی میزان مصرف سالانه سوخت دیزل ژنراتورها بسته به شهر و شرایط اقلیمی آن حداقل 2500 L/yr و حداکثر تا 6200 L/yr تغییر خواهد کرد که بیشترین مقدار کاهش مصرف سوخت دیزل ژنراتور برای شهر زابل به مقدار $19,018 \text{ L/yr}$ و بیشترین مقدار افزایش مصرف سوخت دیزل ژنراتور برای شهر آبادان به مقدار $35,768 \text{ L/yr}$ می باشد.

کلید واژه- انرژی باد، تغییرات اقلیمی، ریز شبکه

۱- مقدمه

تامین انرژی برای مناطق دور دست و دور افتاده عمدتاً بر اساس انتخابی مناسب و اقتصادی از توربین های بادی، سلول های خورشیدی و دیزل ژنراتور در کنار ذخیره ساز های انرژی نظیر باتری می باشد [۲-۳]. اینگونه ریز شبکه ها قادر هستند یک تامین انرژی پایدار و مناسبی را برای مصرف کننده تامین نمایند [۱۸-۱۳].

استفاده از هر یک از منابع انرژی تجدیدپذیر به تنهایی به علت نایقینی های ذاتی آنها سبب افزایش هزینه ها و کاهش قابلیت اطمینان خواهد شد [۱۹-۲۲]. به همین خاطر استفاده همزمان از این منابع در قالب سیستم های هایبرید انرژی بسیار مورد توجه قرار گرفته است و استفاده از این سیستمها تا حد زیادی باعث کاهش نایقینی های منابع تجدیدپذیر می شود [۲۳-۲۴].

تغییر دراز مدت اقلیم جهانی یک پارامتر بسیار اثر گذار بر روی تولید انرژی منابع تجدیدپذیر از جمله منابع انرژی بادی می باشد [۱]. این مسئله معمولاً در مرحله طراحی یک ریز شبکه مبتنی بر انرژی های تجدیدپذیر کمتر مورد توجه قرار می گیرد که سبب می شود با گذشت زمان و تغییر شرایط آب و هوایی نتایج مد نظر

مشکلات ناشی از تغییرات اقلیمی، افزایش شدید آلاینده های زیست محیطی، مشکل گرمایش کره زمین، افزایش قیمت سوخت های فسیلی و نیاز به سرمایه گذاری های کلان در تولید انرژی به روش سنتی و همچنین هزینه های سنگین احداث خطوط انتقال نیرو سبب افزایش استفاده از منابع تجدید پذیر انرژی شده است [۱-۴]. رشد چشمگیر جمعیت جهان منجر به رشد تقاضا برای مصرف انرژی الکتریکی شده است و در صورتی جوامع تاکید بر تولید انرژی برون های سنتی مبتنی بر سوخت های فسیلی داشته باشند این مسئله علاوه بر تبعات مالی، تبعات زیست محیطی فراوانی نظیر آلودگی محیط زیست و گرمایش کره زمین خواهد داشت [۴-۸].

امروزه استفاده از منابع تجدید پذیر برای تامین انرژی مورد نیاز مکان های دور افتاده و روستایی بدلیل زیست محیطی و اقتصادی مورد توجه فراوانی قرار گرفته است [۹-۱۲]. این روش

در مرحله طراحی نیز تغییر یابد. بنابراین به منظور مشخص شدن تبعات اقتصادی تغییرات دراز مدت آب و هوا، لزوم بررسی دقیق تغییرات اقلیمی و اثرگذاری آن برای یک ریز شبکه اهمیت بالایی دارد.

کشور ایران بعلاوه جغرافیای وسیع و داشتن سرعت متوسط باد ماهانه تا بیش از ۸ متر بر ثانیه برای بسیاری از نقاط آن دارای پتانسیل بسیار بالایی در استفاده از منابع بادی می باشد [۲۵، ۱]. با این وجود، بعلاوه تغییرات اقلیمی کره زمین که اغلب بخاطر فرآیندهای درونی زمین، تغییرات در شدت تابش آفتاب و افزایش میزان گازهای گلخانه ای رخ میدهد سبب می شود که آب و هوای یک منطقه در طی زمان دستخوش تغییرات شده و این مسئله باعث می شود میزان انرژی متوسط سالانه تولید شده توسط توربین های بادی تغییرات وسیعی داشته داشته باشد.

در مرجع [۲] یک ترکیب اقتصادی و مناسبی از عناصر تجدید پذیر مانند سلول خورشیدی و توربین بادی در کنار دیزل ژنراتور برای تامین انرژی مورد نیاز یک ریز شبکه بصورت متصل و منفصل از شبکه اصلی توسط نرم افزار Homer بدست آمده است و همچنین حداکثر مسافت برای احداث شبکه جهت تامین اقتصادی انرژی مورد نیاز ریز شبکه از طریق شبکه اصلی بدست آمده است.

در مرجع [۳] نویسنده یک روش طراحی و بهینه سازی برای ریز شبکه ارائه نموده است که هدف آن تعیین سایز بهینه اجزای یک سیستم هایبرید می باشد که بر اساس حداقل سازی هزینه اولیه تجهیزات بدست می آید.

در مرجع [۴] با استفاده از روش Mixed Integer Programming (MIP) یک مدل طراحی بهینه برای Peninsular Malaysia بدست آمده است که هدف از آن کاهش آلودگی و رسیدن به یک میزان مشخصی از گاز CO2 می باشد.

Yazdani و Mizani در مرجع [۵] یک مدل ریاضی و الگوریتم بهینه سازی برای طراحی ریز شبکه ارائه نموده اند نتایج نشان می دهند که انتخاب منابع تجدید پذیر و ذخیره سازهای انرژی در حالت متصل به شبکه بصورت مستقیم بر کاهش هزینه ها و میزان آلودگی تاثیر دارد.

در مرجع [۷] بر اساس اطلاعات بدست آمده از NASA و همچنین مرکز هواشناسی Services Agency (NMSA) National Meteorological اطلاعات مربوط به سرعت متوسط باد برای ۴ شهر مختلف Addis Ababa ، Mekele ، Nazret و Debrezeit مشخص گردیده است و براین اساس هزینه های مختلف نظیر هزینه تمام شده حال حاضر ریز شبکه یا Total

NPC ، قیمت متوسط انرژی Levelized COE (\$/kWh) و هزینه عملکرد یا Operating Cost (\$/yr) با استفاده از نرم افزار HOMER بدست آمده است.

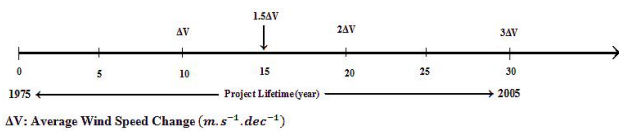
در مراجع [۷ و ۵-۲] و سایر مراجع ذکر شده در این مقاله سرعت باد در کل روند پروژه ثابت در نظر گرفته شده است و اگر هم تغییرات سرعت باد بصورت آنالیز حساسیت در نرم افزار تعریف شده است مبتنی بر واقعیات تغییرات اقلیمی کره زمین و تغییرات فصلی آن نبوده و تنها به منظور بررسی حوزه تغییرات هزینه ها و صرفا جهت انجام آنالیز حساسیت صورت گرفته است و مبتنی بر تغییرات دراز مدت اقلیمی نمی باشد. این در حالی است که بعلاوه تغییرات اقلیمی کره زمین میزان متوسط سرعت سالانه باد دارای تغییرات فصلی دراز مدت بصورت افزایشی و یا کاهش می باشد و با توجه به این تغییرات افزایشی و یا کاهش، هزینه های محاسبه شده ریز شبکه نیز بدنبال آن دستخوش تغییرات خواهد شد و با توجه به اینکه دیزل ژنراتور بر خلاف توربین بادی یا سلول خورشیدی ، بعلاوه داشتن هزینه اولیه برای سوخت مصرفی آن معمولا تامین کننده بخشی از قدرت مورد نیاز ریز شبکه می باشد که توربین بادی یا سلول خورشیدی قادر به تامین آن بخش نیست این افزایش یا کاهش تولید توربین بادی بعلاوه تغییرات اقلیمی تاثیر مستقیمی بر مصرف سوخت دیزل ژنراتور و تغییر هزینه های مالی برآورد شده در ابتدای پروژه خواهد گذاشت .

با توجه به اینکه تغییر دراز مدت آب و هوا و میزان تاثیر گذاری آن بر روی تولید انرژی بادی در یک سیستم هایبرید انرژی مبتنی بر انرژی های تجدیدپذیر معمولا مد نظر قرار نگرفته است در این مقاله به منظور هموار نمودن این خلا به بررسی تبعات مالی تغییرات اقلیمی و همچنین میزان تاثیر گذاری این تغییرات بر تولید توربین بادی و مقدار مصرف سوخت دیزل ژنراتور پرداخته شده است.

۲- بررسی روند تغییرات دراز مدت سرعت باد در کشور ایران

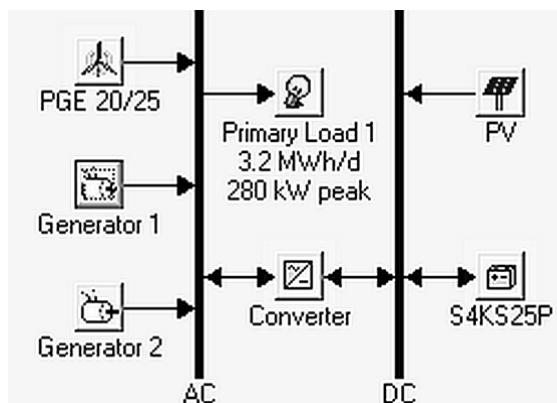
در اینجا برای مشخص شدن تاثیر مستقیم تغییرات شرایط اقلیمی روی سرمایه گذاری های صورت گرفته روی انرژی باد مطالعات جامع در مورد تغییرات اقلیمی و تحلیل داده های هواشناسی که توسط دانشکده آب و خاک دانشگاه تهران انجام شده است، مورد استفاده قرار خواهد گرفت [۱]. این مطالعات که روی ۴۰ ایستگاه هواشناسی طی سالهای ۱۹۷۵ تا ۲۰۰۵ در ۴

با توجه به اینکه بعلت تغییرات اقلیمی سرعت باد در طی پروژه بعلت تغییرات اقلیمی ثابت نمی باشد و مطابق جدول ۱ دارای تغییرات ۱۰ ساله در هر فصل می باشد [۱]. بنابراین اثر این تغییرات ۱۰ ساله سرعت باد بر میانگین سرعت باد فصلی مطابق شکل ۱ اعمال می شود. با توجه به اینکه در شرایط اقلیمی ثابت تنها اطلاعات جدول ۲ مد نظر قرار می گیرد و از تغییرات دراز مدت سرعت باد روی آن صرفنظر می گردد. بنابراین به منظور اعمال میانگین تغییرات ۱۰ ساله سرعت باد در طی ۳۰ سال زمان پروژه، مطابق شکل ۱ تغییرات سرعت باد فصلی در وسط زمان پروژه یعنی سال پانزدهم را ملاک میانگین تغییرات سرعت باد قرار می دهیم.



شکل ۱: روند تغییرات سرعت باد فصلی در هر دهه در طول پروژه و تعیین میانگین این تغییرات

در این حالت با توجه به آمار ارائه شده در جدول ۱ برای شهرهای مختلف مقدار تغییرات سرعت باد بر حسب درصد نسبت به حالت شرایط اقلیمی ثابت بصورت جدول ۳ بدست می آید. در جدول ۳ علامت + نشانگر درصد تغییرات مثبت سرعت باد و علامت - بیانگر درصد تغییرات منفی در سرعت باد می باشد. برای تامین انرژی مورد نیاز ریز شبکه ترکیبی از انرژی های تجدیدپذیر شامل سلول خورشیدی و توربین بادی و همچنین دیزل ژنراتور و باطری در نظر گرفته شده است. شکل ۲ مدل ریز شبکه مورد نظر را در نرم افزار Homer نمایش می دهد. این نرم افزار قادر است یک ترکیب اقتصادی از عناصر نام برده شده را بر اساس کمترین مقدار هزینه حال حاضر شبکه جهت تامین تقاضای بار ریز شبکه ارائه نماید [۲۶، ۶].



شکل ۲: مدل ریز شبکه مورد مطالعه در نرم افزار Homer

فصل متفاوت سال در کل کشور انجام شده، نشان می دهد که ۲۵ درصد از ایستگاه های هوا شناسی تغییرات سرعت باد کاهشی و ۷۵ درصد ایستگاه ها دارای تغییرات افزایشی می باشند و بیشترین تغییرات کاهشی در سرعت باد در شهر آبادان به میزان متوسط ۰/۵۲ متر بر ثانیه در هر دهه و بیشترین تغییرات افزایشی مربوط به شهر زابل با مقدار متوسط ۰/۸۱ متر بر ثانیه در هر دهه است. با توجه به مطالعات عنوان شده مشخص گردید که بیسترتین روند تغییرات کاهشی سرعت باد در اقلیم نیمه خشک معتدل می باشد که در این نوع اقلیم سرعت باد در دهه ۰/۴۵ متر بر ثانیه کاهش داشته است و همچنین اقلیم نیمه خشک سرد ایران بیشترین روند افزایشی سرعت باد در دهه را داشته است که در این اقلیم سرعت باد با نرخ ۰/۱۴۵ متر بر ثانیه در هر دهه افزایش یافته است [۱].

۳- بررسی اثر تغییرات فصلی سرعت باد در گستره اقلیمی ایران بر روی سرمایه گذاری های صورت گرفته روی انرژی باد

در این مقاله به منظور بررسی اثرات دراز مدت تغییرات اقلیمی روی پارامترهای اصلی یک ریز شبکه، مطابق اطلاعات ارائه شده در جداول ۲ و ۱، شبیه سازی یک ریز شبکه با پیک توان 280 Kw در هشت نقطه بادخیز در کشور ایران صورت گرفته است. برطبق اطلاعات هواشناسی NASA و همچنین ایستگاه های هواشناسی داخل کشور سرعت متوسط باد برای هر منطقه تحت مطالعه مطابق جدول ۲ می باشد، همچنین با وارد کردن طول و عرض جغرافیایی و ارتفاع از سطح دریای هر منطقه در نرم افزار Homer، میزان تابش خورشید در هر ساعت توسط نرم افزار از سایت هواشناسی NASA بطور مستقیم از طریق اینترنت دریافت می گردد [۲۶-۲۵، ۶، ۱].

جدول ۱: تغییرات سرعت باد برای شهرهای مد نظر بر حسب متر بر ثانیه در هر دهه

	زمستان	بهار	تابستان	پاییز
آبادان	-۰/۴۲	-۰/۰۴	-۰/۹۹	-۰/۶۱
تبریز	۰/۱۳	-۰/۱۸	۰/۲۲	۰/۱۱
زابل	۰/۴۲	۰/۸۶	۱/۲۸	۰/۴۵
مشهد	۰/۲۸	۰/۳۷	۰/۳۷	۰/۲۲
گرگان	۰/۰۸	۰/۱۱	۰/۱	۰/۱
تهران	-۰/۱	-۰/۱۴	-۰/۱	۰/۰۷
سندج	۰/۰۳	۰/۰۴	۰/۰۲	۰/۰۱
همدان	۰/۱۵	۰/۱۹	۰/۱۳	-۰/۱۲

جدول ۲: میانگین سرعت باد برای هشت شهر مورد مطالعه

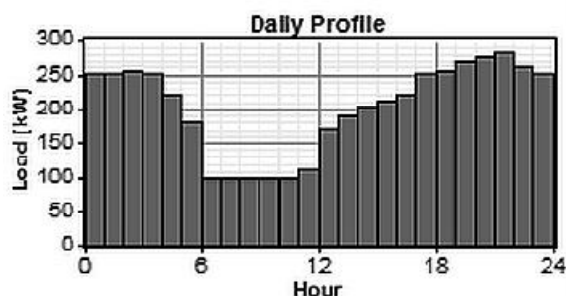
	Jan	Feb	Mar	Apr	May	June	July	Aug	Sept	Oct	Nov	Dec
Abadan	4.50	4.70	4.77	4.70	5.58	5.97	5.55	5.32	5.07	4.61	4.60	4.63
Tabriz	5.18	5.56	6.19	6.65	6.44	7.50	9.30	9.01	6.87	5.65	4.96	5.05
Zabol	5.35	5.76	5.87	5.69	6.70	7.99	8.55	8.14	7.68	6.52	5.28	5.45
Mashhad	5.24	5.21	5.11	4.87	5.11	5.89	6.40	6.23	5.79	5.28	5.20	5.25
Gorgan	4.62	4.66	4.53	4.29	4.64	5.03	5.24	5.12	4.83	4.45	4.48	4.58
Tehran	5.00	5.32	5.67	5.65	5.75	6.19	6.74	6.61	5.71	5.15	4.73	4.85
Sanandaj	4.68	5.35	6.48	7.02	6.74	7.22	8.11	7.80	6.15	5.28	4.39	4.52
Hamedan	4.88	5.84	7.35	7.94	7.60	8.02	8.73	8.30	6.48	5.54	4.56	4.64

جدول ۳: درصد تغییرات سرعت باد در سال پانزدهم نسبت به ابتدای پروژه در شرایط اقلیمی متغیر

	Jan	Feb	Mar	Apr	May	June	July	Aug	Sept	Oct	Nov	Dec
Abadan	-1.33	-1.27	-1.26	-31.6	-26.6	-24.9	-16.5	-17.2	-18.0	-13.7	-13.7	-13.6
Tabriz	-5.21	-4.86	-4.36	4.96	5.124	4.4	1.77	1.83	2.4	3.45	3.93	3.86
Zabol	24.11	22.4	21.97	33.74	28.65	24	7.9	8.3	8.8	9.66	11.93	11.56
Mashhad	10.6	10.65	10.86	11.4	10.86	9.42	5.15	5.3	5.7	7.95	8.08	8
Gorgan	3.57	3.54	3.64	3.5	3.23	3	2.86	2.93	3.1	2.7	2.7	2.62
Tehran	-4.2	-3.94	-3.7	-2.65	-2.6	-2.42	1.56	1.6	1.83	-2.91	-3.17	-3.1
Sanandaj	1.3	1.1	0.9	0.4	0.445	0.415	0.185	0.19	0.244	0.85	1	1
Hamedan	5.84	4.88	3.9	2.46	2.56	2.43	-2.06	-2.17	-2.77	4.06	4.93	4.85

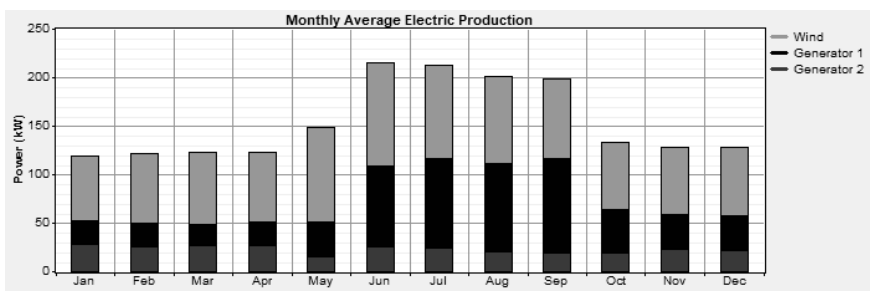
برای شهر زابل جهت تامین انرژی مورد نیاز در حالت شرایط اقلیمی ثابت برای کمترین مقدار هزینه حال حاضر شبکه نیاز به ۱۲ توربین بادی ۲۵ kW، یک دیزل ژنراتور ۵۰ kW و همچنین یک دیزل ژنراتور ۷۵ kW یک کانورتر ۷۵ kW به همراه ۶۰ باتری نیاز است در این حالت مطابق جدول ۴ از مقدار کل انرژی تولید شده ۱۶۰۵،۵۹۲ kWh/yr مقدار ۸۳٪ سهم توربین بادی و ۱۷٪ سهم دو دیزل ژنراتور است با توجه به اینکه سرعت باد در شهر زابل مطابق جدول ۱ در تمام فصول افزایشی بوده است این مقدار افزایش در سرعت باد سهم توربین بادی برای تامین انرژی مورد نیاز از ۸۳٪ به ۸۸٪ افزایش می یابد و با توجه به افزایش سهم ۱۲ توربین بادی در تامین انرژی مورد نیاز، مقدار مصرف سوخت دیزل ژنراتور بطور متوسط سالانه ۱۹،۰۱۸ L/yr کاهش می یابد. مطابق جدول ۵، این امر سبب می شود که مقدار هزینه حال حاضر شبکه به میزان \$ ۳۳۶،۸۴۴ کم شود در این حالت هزینه تولید انرژی یا COE از \$/kWh ۰/۲۳۳ به \$/kWh ۰/۲۰۹ کاهش می یابد. برای شهر آبادان با توجه به کاهشی بودن سرعت باد فصلی در هر دهه، مطابق شکل های ۴ و ۵ درصد مشارکت توربین های بادی بشدت کاهش می یابد در این حالت برای تامین همان میزان بار قبلی برای کمترین مقدار هزینه حال حاضر شبکه به ۹ عدد توربین ۲۵ کیلو وات AC و دو عدد دیزل ژنراتور ۲۰۰ kW و ۱۰۰ kW نیاز است.

قیمت تجهیزات ریز شبکه برای نصب هر کیلو وات دیزل ژنراتور و توربین بادی بترتیب ۵۰۰، ۴۵۰۰ دلار و همچنین قیمت هر کیلو وات سلول خورشیدی و هر عدد باتری S4KS25P به همراه هزینه کانورتر بترتیب ۶۰۰۰ و ۱۶۰۰۰ دلار در نظر گرفته می شود [۸]. با توجه به تغییرات اقلیمی، تنها متغیر این مدل سازی انرژی باد فرض شده است، بنابراین سایر پارامترها نظیر توان مصرفی بار در تمام شهر های تحت مطالعه بطور یکسان فرض می شود. بار مورد نظر با توجه به الگوی مصرف انرژی برق در ایران بصورت شکل ۳ مدل شده و ریز شبکه نیز متعلق به مناطق دور از شبکه اصلی بوده به گونه ای که احداث شبکه برق برای آن مناطق اقتصادی نباشد.

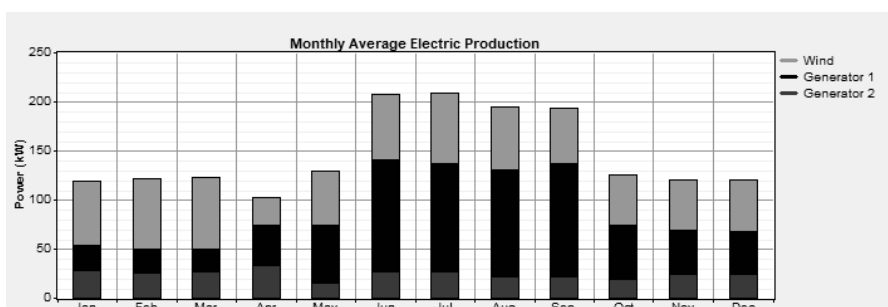


شکل ۳: نمودار مصرف انرژی برق

۴- نتایج شبیه سازی



شکل ۴: میزان تولید متوسط ماهانه توربین بادی، دیزل ژنراتور ۱ و ۲ در سال با شرایط اقلیمی ثابت برای شهر آبادان



شکل ۵: میزان تولید متوسط ماهانه توربین بادی، دیزل ژنراتور ۱ و ۲ در سال با شرایط اقلیمی متغیر برای شهر آبادان

گرفتن تغییرات سرعت باد مربوط به شهر مشهد به میزان ۶٪ + می باشد که این امر منجر به کاهش مصرف سالانه سوخت دیزل ژنراتور به میزان $17,330 \text{ L/yr}$ می شود که با ثابت در نظر گرفتن قیمت متوسط $1 \text{ $/L}$ برای سوخت دیزل ژنراتور در طی پروژه منجر به کاهش $519,900 \text{ $}$ در هزینه های سوخت مصرفی دیزل ژنراتورها می گردد. اقتصادی ترین نقطه برای تولید انرژی بادی در ایران بدلیل داشتن متوسط سرعت باد بالا و تغییرات افزایشی سرعت باد، شهر زابل می باشد در این حالت هزینه تولید انرژی بر حسب $\text{\$/kWh}$ نسبت به سایر شهرهای باد خیز کشور دارای کمترین مقدار است و از کل انرژی تولید شده در ریز شبکه، ۸۳٪ در شرایط اقلیمی ثابت و ۸۸٪ برای شرایط اقلیمی متغیر سهم توربین بادی است که افزایش ۵٪ در انرژی تولید شده توسط توربین بادی بعلت تغییرات افزایشی سرعت باد منجر به کاهش مصرف سوخت دیزل ژنراتور به میزان $19,018 \text{ L/yr}$ می شود که این مسئله منجر به کاهش هزینه های صورت گرفته روی سوخت مصرفی دیزل ژنراتورها به میزان $570,540 \text{ $}$ می گردد. بیشترین تغییرات کاهش انرژی تولید شده مربوط به شهر آبادان به مقدار ۱۲٪- است که این مسئله منجر به افزایش میزان مصرف سوخت سالانه دو دیزل ژنراتور به میزان $35,768 \text{ L/yr}$ می گردد که با در نظر گرفتن زمان ۳۰ ساله پروژه منجر به افزایش هزینه سوخت مصرفی دیزل ژنراتور بیش از $1,000,000 \text{ دلار}$ می شود.

در این حالت از کل انرژی تولید شده kWh/yr $1,291,060$ حدود ۵۲٪ سهم توربین بادی و ۴۸٪ نیز سهم دو عدد دیزل ژنراتور است چون سرعت باد در شهر آبادان در تمام فصول کاهش می باشد در صورت اعمال متوسط میزان این تغییرات و با در نظر گرفتن همان تعداد تجهیزات نصب شده قبلی یعنی ۹ عدد توربین بادی و دو دیزل ژنراتور ۲۰۰ و ۱۰۰ کیلو واتی سهم انرژی تولیدی توربین بادی از ۵۲٪ به ۴۰٪ کاهش خواهد یافت که این حالت منجر به افزایش میزان سالانه مصرف سوخت دو دیزل ژنراتور جهت تامین انرژی مورد نیاز بار به میزان $35,768 \text{ L/yr}$ خواهد شد. در این حالت هزینه تولید انرژی از $0.306 \text{ \$/kWh}$ به $0.345 \text{ \$/kWh}$ افزایش می یابد.

شکل ۴ متوسط تولید ماهانه ریز شبکه را برای شرایط اقلیمی ثابت و شکل ۵ متوسط تولید ماهانه ریز شبکه را جهت شرایط اقلیمی متغیر برای شهر آبادان نشان می دهد. همانگونه که از شکل ۵ پیداست مشارکت توربین های بادی تحت شرایط اقلیمی متغیر بدلیل کاهش سرعت باد فصلی بطور چشمگیری کاهش یافته است که این مسئله سبب افزایش مشارکت دیزل ژنراتور برای تامین انرژی مورد نیاز بار گردیده است. با در نظر گرفتن هر دو شرایط آب و هوایی ثابت و متغیر برای سایر شهرها مقادیر $\text{COE (\$/kWh)}$ ، $\text{Operating Cost (\$/yr)}$ و $\text{Total NPC (\$/yr)}$ سایر پارامترهای مهم ریز شبکه مطابق جداول ۴ و ۵ بدست می آید. همانگونه که از جداول ۴ و ۵ مشخص است بیشترین تغییرات افزایشی انرژی تولیدی توسط توربین بادی با در نظر

جدول ۴: پارامترهای اصلی ریز شبکه با در نظر گرفتن شرایط اقلیمی ثابت

	Hamedan	Sanandaj	Tehran	Gorgan	Mashhad	Zabol	Tabriz	Abadan
Total NPC (\$)	4,050,776	4,257,759	4,564,185	5,066,852	4,604,076	3,659,864	3,899,431	4,975,014
COE (\$/kWh)	0.249	0.262	0.281	0.312	0.283	0.233	0.24	0.306
Operating Cost (\$/yr)	176,884	193,737	192,969	260,799	215,918	136,134	164,726	265,533
Total Fuel Consumption (L/yr)	107,461	121,133	114,553	173,944	137,096	70,250	98,092	180,829
Wind Turbine Productions	71%	67%	70%	49%	62%	83%	74%	52%
Diesel Generator Productions	29%	33%	30%	51%	38%	17%	26%	48%

جدول ۵: پارامترهای اصلی ریز شبکه با در نظر گرفتن شرایط اقلیمی متغیر

	Hamedan	Sanandaj	Tehran	Gorgan	Mashhad	Zabol	Tabriz	Abadan
Total NPC (\$)	4,008,921	4,240,159	4,678,219	4,935,665	4,289,701	3,323,020	3,836,620	5,615,493
COE (\$/kWh)	0.247	0.261	0.288	0.304	0.264	0.209	0.236	0.345
Operating Cost (\$/yr)	173,843	192,458	201,253	251,268	193,079	111,663	160,163	312,063
Total Fuel Consumption (L/yr)	105,003	120,165	120,818	166,928	119,766	51,232	94,721	216,597
Wind Turbine Productions	72%	68%	69%	51%	68%	88%	75%	40%
Diesel Generator Productions	28%	32%	31%	49%	32%	12%	25%	60%

افزایش هزینه ها به مقدار \$ ۶۴۰,۴۷۹ در کل زمان پروژه میشود و در صورتی که این سرمایه گذاری در شهر زابل صورت گیرد تغییرات افزایش سرعت باد منجر به کاهش هزینه های کلی صورت گرفته روی شبکه به میزان \$ ۳۳۶,۸۴۴ خواهد شد. مطابق مطالعات فوق، استفاده از سلول های خورشیدی در شهرهای ذکر شده بعلاوه قیمت اولیه بالای آن و همچنین زمان عملکرد محدود آن که تنها حدود ۱۱ ساعت در طی روز می باشد نسبت به توربین های بادی دارای توجیه اقتصادی نمی باشد.

مراجع

- [1] N. Ghahreman and A. Gharekhani, "Trend analysis of mean wind speed in different climatic regions of Iran" *Iranian Journal of irrigation and drainage*. Vol. 4, No. 1, pp. 31-43, 2010.
- [2] O. Hafez and K. Bhattacharya "Optimal planning and design of a renewable energy based supply system for microgrids" *Elsevier Renewable Energy*. Vol. 45, pp. 7-15, 2012.
- [3] J. Kaldellis "Optimum hybrid photovoltaic-based solution for remote telecommunication Stations" *Renewable Energy*. Vol. 35, pp. 07-15, 2010.
- [4] Z. Muis, H. Hashim, Z. Manan, F. Taha and P. Douglas "Optimal planning of renewable energy-integrated electricity generation

برای شهر تهران نیز این تغییرات کاهش یافته است و کاهش سرعت باد منجر به کاهش ۱٪ در انرژی تولیدی توربین بادی و افزایش مصرف سوخت به میزان ۶,۲۶۵ L/yr شده است. سایر شهرهای مورد مطالعه نظیر تبریز، گرگان و همدان نیز بعلاوه تغییرات افزایشی سرعت باد سهم، مشارکت توربین بادی در تامین انرژی نیز افزایش یافته و این مسئله مطابق اطلاعات جدول ۵ منجر به کاهش هزینه های پیش بینی شده می گردد.

۵- نتیجه گیری

مطابق نتایج بدست آمده برای این ریز شبکه خاص نشان می دهد که به ازای هر ۱٪ تغییر در توان خروجی توربین بادی بعلاوه تغییرات سرعت باد میزان مصرف سالانه سوخت دو دیزل ژنراتور بسته به شرایط اقلیمی آن منطقه حداقل ۲۵۰۰ L/yr و حداکثر ۶۲۰۰ L/yr تغییر خواهد کرد و در صورتی که سرمایه گذاری صورت گرفته در شهری نظیر آبادان با تغییرات کاهش قدرت خروجی توربین بادی به اندازه ۱۲٪ باشد این میزان منجر به

- schemes with CO2 reduction target” *Renewable Energy*. Vol. 35, 2010.
- [5] S. Mizani and A. Yazdani “Optimal design and operation of a grid-connected Microgrid” *Proceedings of IEEE Electrical Power and Energy Conference*. 2009.
 - [6] “Homer Micropower Optimization Model Software” Version, 2.68 Beta.
 - [7] G. Bekele and B. Palm “Feasibility study for a standalone solar-wind-based hybrid energy system for application in Ethiopia” *Applied Energy*. Vol. 87, pp.487–495, 2010.
 - [8] K.Y. Lau, M.F.M. Yousof, S.N.M. Arshad, M. Anwari and A.H.M. Yatim “Performance analysis of hybrid photovoltaic/diesel energy system under Malaysian conditions” *Renewable Energy*. Vol. 35, pp. 3245-3256, 2010.
 - [9] P.N. Vosburgh “Commercial applications of wind power” New York: Van Nostrand Reinhold Company. 1983.
 - [10] N.H. Lipman “Overview of wind/diesel systems” *Renewable Energy*. Vol. 5, pp.595–617, 1994.
 - [11] A.D. Bagul, Z.M. Salameh and B. Borowy “Sizing of a stand-alone hybrid wind-photovoltaic system using a three-event probability density approximation” *Solar Energy*. Vol. 56, pp.323–35, 1996.
 - [12] H.G. Beyer and C. Langer “A method for the identification of configurations of PV/wind hybrid systems for the reliable supply of small loads” *Solar Energy*. Vol. 57, pp.381–91, 1996.
 - [13] T. Markvart “Sizing of hybrid photovoltaic-wind energy systems” *Solar Energy*. Vol. 57, pp.277–81, 1996.
 - [14] P. Lundsager and H. Bindner “A simple, robust and reliable wind diesel concept for remote power supply” *Renewable Energy*. Vol. 5, pp. 626–30, 1994.
 - [15] Z. Hongyi “The development and review of wind/diesel systems of the world” *New Energy*. Vol. 18, pp.1–8, 1996.
 - [16] S. Rehman, T.O. Halawani and T.H. Weibull “Parameters for wind speed distribution in Saudi Arabia” *Solar Energy*. Vol. 53, 1994.
 - [17] A. Prasai, A. Paquette, Y. Du, R. Harley and D. Divan “Minimizing emissions in microgrids while meeting reliability and power quality objectives” *Proceeding of International Power Electronics Conference*, 2010.
 - [18] D. Lee, J. Park, H. Shin, Y. Choi, H. Lee and J. Choi “Microgrid village design with renewable energy resources and its economic feasibility evaluation” *Proceeding of IEEE T&D Asia*. 2009.
 - [19] W. Gu, Z. Wu and X. Yuan “Microgrid economic optimal operation of the combined heat and power system with renewable energy” *Proceeding of Power and Energy Society General Meeting. IEE*. 2010.
 - [20] S. Chakraborty and M. Simoes “PV-Microgrid operational cost minimization by neural forecasting and heuristic optimization” *Proceeding of Proc. IEEE-IAS Annual Meeting*. 2008.
 - [21] A.K. Patil, R. Saini and M. Sharma “Integrated renewable energy systems for off grid rural electrification of remote area” *Renewable Energy*. Vol. 35, 2010
 - [22] B. Kroposki and G. Martin “Hybrid renewable energy and microgrid research work at NREL” *IEEE Proceeding of Power and Energy Society General Meeting*. pp. 25-29, 2010.
 - [23] P. Diaz, C.A. Arias, R. Peña and D. Sandoval “FAR from the grid: a rural electrification field study” *Renewable Energy*. Vol. 35. 2010.
 - [24] I. Mitra, T. Degner and M. Braun “Distributed generation and microgrids for small island electrification in developing countries” *SESI Journal Solar Energy Society of India*. Vol. 18, pp. 6-20, 2008.
 - [25] “<http://eosweb.larc.nasa.gov>” *NASA Surface meteorology and solar energy*.
 - [26] T. Lambert, P. Gilman and P. Lilienthal “Micropower system modeling with HOMER” *National Renewable Energy Laboratory*.