علوم زیست محیطی و دانش جغرافیا

بررسی و تحلیل اثرات پیامدهای توربین‌های بادی بر محیط‌زیست

فرید منوچهری سربسی*،[1] سید مجید کشاورز[2]

چکیده

کاهش منابع سوخت فسیلی که بخش عظیمی از منابع تولید انرژی به‌حساب می‌آیند و همچنین تأثیرات مصرف این‌گونه منابع انرژی باعث بروز مسائل مربوط به آلودگی محیط‌زیست مانند پدیده گرم شدن جهانی دمای زمین، کاهش ضخامت لایه ازون و از بین بردن منابع طبیعی مانند جنگل‌ها، مراتع و دریاها شده است. در این راستا استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر مانند انرژی باد در حال رونق فراوانی است؛ که با بررسی شرایط آب و هوایی هر منطقه می‌توان قابلیت استحصال انرژی باد از آن محیط را استخراج کرد. رشد روزافزون صنایع توربین‌های بادی در جهان باعث شده که این صنعت یکی از صنایع پیشتاز درزمینه‌ی انرژی‌های نو باشد و انتظار می‌رود که در سال‌های آینده این رشد به شکل چشمگیری افزایش یابد. هرچند که نیروگاه‌های بادی در مقایسه با نیروگاه‌های سنتی اثرات مخرب کمتری بر روی محیط‌زیست دارند، ولی تأثیر زیست‌محیطی پره‌های توربین بادی به چالشی بزرگ تبدیل خواهد شد. دفع و بازیافت پره‌ها، صدای ایجادشده توسط پره‌ها، اثرات بصری، کشته شدن پرندگان و حشرات توسط پره‌ها، اختلالات جوی و آلایندگی‌های هنگام ساخت و انتقال و نصب پره‌ها ازجمله‌ی این مشکلات هستند. بسیاری از این مشکلات با پیشرفت فناوری یا با نصب صحیح نیروگاه رو به کاهش‌یافته است. هدف از این تحقیق **بررسی و ارزیابی اثرات توربین‌های بادی بر انسان و محیط‌زیست** می‌باشد.

واژگان کلیدی: توربین بادی، زاویه باد، محیط‌زیست، تحلیل انرژی.

[1] نویسنده مسئول، کارشناسی، رشته مهندسی برق قدرت، دانشگاه فنی حرفه ای پسران یاسوج، farid.manouchehri.78@gmail.com

[2] دپارتمان مهندسی برق و کامپیوتر، دانشگاه فنی و حرفه ای استان یاسوج، ایران، Skeshavarz.tvu@ac.i

1 -مقدمه

تاریخ استفاده از انرژی باد به دوران باستان برمی‌گردد، هنگامی‌که از آن برای حرکت کشتی‌های بادی در دریا استفاده می‌شد. کاربرد انرژی باد، از ایران سرچشمه گرفته است. از آسیاب‌های بادی نوع محور عمودی برای اولین بار جهت استحصال انرژی باد و برای آسیاب گندم در ایران و در استان سیستان و بلوچستان استفاده شد. بعد از فتح ایران توسط اعراب، این فناوری در اختیار اعراب و به مناطقی از چین منتقل شد. در اروپا، توربین‌های بادی در قرن یازدهم میلادی ساخته شد و بعد از دو قرن به یک وسیله بسیار مهم تبدیل شد. آسیاب‌های بادی از سال ۱۸۸۸ تاکنون مورداستفاده قرارگرفته‌اند. در اواخر قرن ۱۹ میلادی اولین آسیاب بادی برای تولید برق طراحی گردید. این آسیاب بادی در سال ۱۸۸۸ میلادی در کلیولند[3] اوهایو[4] توسط چارلز برآش[5] ساخته شد. روتورهای این آسیاب بادی به قطر ۱۷ متر بوده که یک اهرم جانبی برای چرخاندن آن به سمت باد داشته است؛ و اولین آسیاب بادی بود که جعبه‌دنده‌ای با نسبت ۵۰: ۱ و ژنراتور جریان مستقیم دور ۵۰۰ دور بر دقیقه داشت. باوجود موفقیت نسبی این آسیاب بادی در مدت ۲۰ سال ولی محدودیت‌هایی در سرعت کم و استحکام بالای روتور برای تولید برق وجود داشت. میزان برق تولیدی این آسیاب بادی ۱۲ کیلوواتی با روتور ۱۷ متری در مقابل توربین‌های بادی مدرن با قطر روتور ۱۷ متر و ظرفیت ۷۰ تا 100 کیلوواتی بسیار ناچیز است. از این زمان بود که نام توربین‌های بادی جایگزین آسیاب‌های بادی شدند [1]

توربین‌های بادی با ظرفیت بیشتر برای اولین بار در سال ۱۹۳۱ در روسیه توسعه یافتند.

به‌طوری‌که توربینی ۱۰۰ کیلوواتی در سواحل دریای خزر در طول ۲ سال در حدود ۲۰۰ هزار کیلووات ساعت برق تولید نمود. پس‌ازآن نیروگاه‌های بادی در آمریکا، دانمارک، فرانسه، آلمان و انگلستان در طول سال‌های ۱۹۳۵ تا ۱۹۷۰ با توربین‌های بادی در مقیاس بزرگ‌راه اندازی شدند [2] بعد از جنگ جهانی دوم، به خاطر ارزان شدن قیمت نفت، تحقیقات زیادی روی انرژی‌های جایگزین که انرژی باد نیز شامل آن بود، صورت نگرفت. تا اینکه در سال ۱۹۷۳ به خاطر بحران نفتی، علاقه زیادی در استفاده از انرژی‌های جایگزین به‌خصوص انرژی باد ایجاد شد و بودجه‌های سرمایه‌گذاری‌های زیادی را به خود اختصاص داد که منجر به تأسیس مزارع بادی شد [1]. ماشین‌های اولیه به‌کاررفته در این مزارع، ازلحاظ عملکرد مأیوس‌کننده بود و قیمت نگهداری از آن‌ها هم زیاد بود. به‌طور مثال در اوایل دهه ۸۰ میلادی، هزینه هر 1kW/h انرژی الکتریکی بادی ۲۵ سنت بود، ولی امروزه هزینه هر 1kW/h انرژی الکتریکی بادی به کمتر از ۵ سنت رسیده است[3] بررسی پیامدهای منفی زیست‌محیطی انرژی باد مداخله انسان در هر طبیعتی پیامدهای زیست‌محیطی به همراه خواهد داشت. انرژی باد نیز در این زمینه‌ی استثنا نیست. هرچند که انرژی باد یکی از پاک‌ترین منابع تولید انرژی به شمار می‌آید، اما درگیر چندین مسئله زیست‌محیطی می‌باشد. این پیامدها شامل کشتار پرندگان در اثر برخورد با توربین‌های بادی، انتشار سروصدا و اثرات نامطلوب دیداری در محیط می‌باشد.

[3] Cleveland
[4] Ohio
[5] Charles Brush

2 -ادبیات و مبانی تحقیق

2-1- صنعت انرژی بادی در جهان

با به‌کارگیری تجاری نیروگاه‌های بادی در دنیا، رشد ظرفیت واحد نیروگاهی توربین‌ها افزایش‌یافته و راندمان‌های آن‌ها نیز بهبودیافته تا بدین ترتیب ضریب ظرفیت و کاهش هزینه‌های توربین‌ها نیز، به‌خوبی تعمیر و نگهداری آن‌ها بهبود یابد.

جدول ۱- سهم کشورهای جهان در تولید توربین‌های بادی [4]

سهم کشورهای جهان در تولید توربین بادی در ابتدای سال 2013	درصد٪
تولیدکنندگان آلمانی	17/7
تولیدکنندگان چینی	16/6
تولیدکنندگان آمریکایی	15/5
تولیدکنندگان دانمارکی	14
تولیدکنندگان هندی	4/7
تولیدکنندگان اسپانیایی	1/6
دیگر کشورها	6/22

از سال‌های ابتدایی دهه ۱۹۸۰ تا سال ۲۰۰۵ میلادی به دلیل گسترش کاربرد و رشد روزافزون فناورانه نیروگاه‌های بادی قیمت سرمایه‌گذاری احداث و درنتیجه هزینه تمام‌شده برق تولیدی آن به‌شدت کاهش یافت. در طول سال‌های ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۱ قیمت توربین‌های بادی در پاسخ به تقاضای رو به رشد جهانی و به دلیل افزایش هزینه‌های مواد اولیه (فولاد و مس و بحران‌های مالی جهانی افزایش بافت. بااین‌حال مجدداً با حل مشکلات مذکور شاهد روند کاهش قیمت‌ها به‌ویژه در سال‌های اخیر باعرضه چشمگیر توربین بادی به بازار جهانی بوده‌ایم به‌طوری‌که تنها در سال ۲۰۱۲ قیمت توربین‌های بادی در بازار جهانی ۲۰ تا ۳۵ درصد کاهش یافت.

2-2- بازار انرژی‌های تجدیدپذیر

با بررسی تحول انرژی‌های تجدید پذیر در سال‌های (۲۰۱۴-۲۰۰۴) به این نتیجه می‌رسیم که این حوزه ظرفیت نصب‌شده جهانی و تولید فن‌آوری‌های تجدیدپذیر افزایش فراوان یافته است. هزینه‌های بسیاری از فن‌آوری‌ها به‌طور قابل‌توجهی کاهش‌یافته و انتشار سیاست‌های حمایتی در سرتاسر جهان ادامه یافته است.

عوامل متعددی در این رشد سریع دخالت داشته‌اند که از آن جمله می‌توان به بحران انرژی و رکود اقتصادی اشاره نمود. در همین زمان کشورهای انگشت‌شماری ازجمله پیشگامانی چون آلمان، دانمارک، اسپانیا و ایالات‌متحده آمریکا بازارهای مهمی

برای این صنعت به شمار می‌رفتند که پیشرفت‌های فن‌آوری به‌موقع و معیارهای اقتصادی آن‌ها کمک شایانی به گسترش بازار نمود. سهم انرژی‌های تجدید پذیر در بخش‌های گرمایش، برق و حمل‌ونقل به‌طور پیوسته افزایش‌یافته است. البته در این راستا جمعیت و تقاضا نیز افزایش داشته است. رشد سهم بخش برق از انرژی‌های نو نسبت به بخش‌های دیگر سرعت بیشتری داشته است [۴]. کل ظرفیت نصب‌شده انرژی‌های تجدیدپذیر در بخش برق بدون احتساب برق‌آبی از ۸۵ گیگاوات در سال ۲۰۰۴ به ۵۶۰ گیگاوات در سال ۲۰۱۳ رسیده است. انرژی بادی از ۴۸ گیگاوات در سال ۲۰۰۴ به ۳۱۸ گیگاوات در سال ۲۰۱۴ رسیده است ظرفیت دستگاه‌های فتوولتائیک از 2/6 گیگاوات در سال ۲۰۰۴ به ۱۳۹ گیگاوات در سال ۲۰۱۴ رسیده است. درک جهانی از انرژی‌های تجدیدپذیر به‌طور قابل‌توجهی طی ده سال گذشته تغییر کرده است[5].

2-3- چشم‌انداز انرژی بادی در ایران

در وزارت نیرو، نصب پنج هزار مگاوات نیروگاه تجدید پذیر در قانون برنامه پنجم توسعه هدف‌گذاری شده است که از این میزان ۴۵۰۰ مگاوات آن برای توسعه باد در نظر گرفته‌شده است، می‌توان گفت در پنج سال آینده قریب به چهار هزار مگاوات بازار برای توسعه بخش خصوصی وجود خواهد داشت. سیاست کلان کشور ما در چشم‌انداز برنامه‌های آتی در افزایش نقش بخش‌های غیردولتی استوارشده است که ازجمله فواید و مزایای آن کاستن از حجم و فعالیت‌های تصدی‌گری دولت است.[3] با فعال شدن بخش خصوصی در عرصه احداث نیروگاه‌های بادی که جذابیت‌های فراوانی برای بخش خصوصی دارد، توان مالی، فنی و مدیریتی کشور افزایش می‌یابد و با شروع پروژه‌ها و فعالیت‌های جدید عمل بخش خصوصی به کمک بخش دولتی آمده و کل کشور از این مشارکت سود خواهد برد. همچنین باید توجه داشت که نیروگاه‌های بادی به سرمایه اولیه بالایی نیاز دارند بنابراین تأمین سرمایه اولیه در این طرح‌ها از مشکلات اجرایی آن‌هاست.

2-4- انواع توربین‌های بادی

اگرچه طراحی‌های مختلفی برای توربین بادی موجود است ولی به‌طور عمده به دودسته کلی بر اساس جهت محور چرخش تقسیم‌بندی می‌شوند:

1 -**محور افقی**[۶] که نوع رایج آن است.

۲ -**محور عمودی**[۷]

جریان هوا بر روی هر سطحی دو نوع نیروی آئرودینامیکی بانام‌های نیروی برا[۸] و پسا[۹] به وجود می‌آورد که نیروی پسا در جهت جریان باد است و نیروی برا عمود بر جریان باد است. یکی از این نیروها یا هر دو بسته به مدل توربین بادی می‌توانند نیروی موردنیاز برای چرخش پره‌های توربین‌های بادی را تأمین نمایند.

[6] Horizontal Axis Wind Turbines
[7] Vertical Axis Wind Turbines
[8] Lift force
[9] Drag force

2-4-1- توربین‌های محور افقی

ویژگی رو تورهای توربین‌های محور افقی جدید بسیار شبیه ملخ هواپیما است. جریان هوا روی مقطع آئرودینامیکی شکل پره‌ها حرکت می‌کند و نیروی برآ را به وجود آورده که باعث چرخش روتور می‌گردد. در توربین‌های محور افقی ژنراتور، جعبه‌دنده و سایر تجهیزات در محفظه‌ای به نام ناسل[10] نگهداری می‌شوند.

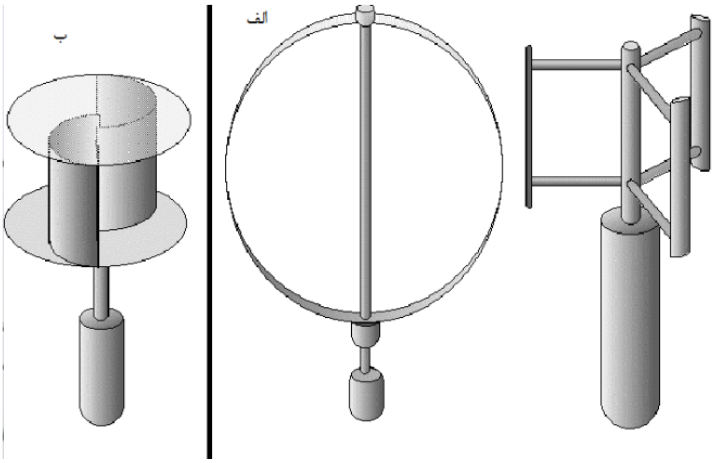
توربین‌های محور افقی باید سامانه‌ای برای تنظیم جهت قرار گرفتن در مقابل باد داشته باشند که به آن مکانیسم یاوینگ[11] می‌گویند، به‌طوری‌که کل ناسل می‌تواند به سمت باد بچرخد. در توربین‌های کوچک دنپره بادنما[12] این کنترل را بر عهده دارد. ولی در سامانه‌های متصل به شبکه سیستم کنترل یاو فعال است که به‌وسیله حسگرهای تعیین‌کننده جهت باد و موتورها، ناسل به سمت باد می‌چرخد. شکل ۱-

شکل ۱- توربین بادی محور افقی

2-4-2- توربین‌های محور عمودی

این توربین‌ها به دو نوع اصلی ساونیوس[13] و داریوس[14] تقسیم‌بندی می‌شوند. با توجه به شکل 2 ساونیوس مانند یک چرخ آب با نیروی پسا کار می‌کند درحالی‌که داریوس از تیغه‌هایی مشابه توربین‌های محور افقی استفاده می‌کند. توربین‌های محور عمودی بسیار نزدیک به زمین قرار می‌گیرند که از مزیت‌های آن قرار دادن تجهیزات سنگین آن ازجمله گیربکس و ژنراتور نزدیک به سطح زمین است، هرچند که شدت باد در سطح زمین کمتر است و درنتیجه برق کمتری تولید خواهد نمود. از دیگر مزایای این نوع توربین‌ها می‌توان به نیاز نداشتن سیستم یاو اشاره کرد چراکه این نوع توربین‌ها، باد را ازهرجهت مهار می‌کنند و این مزیت برتری بسیاری نسبت به کمبودهای آن دارد. از کمبودهای آن می‌توان به این مورداشاره نمود که این نوع توربین‌ها به‌طور خودکار مانند توربین‌های محور افقی شروع به کار نمی‌کنند[6].

[10] nacelle
[11] yawing
[12] vane
[13] Savnoius
[14] Darrieus



شکل 2 توربین‌های عمودی محور الف) توربین بادی داریوس ب) توربین بادی ساونیوس

2-5- تاریخچه تحقیق

در مسائل مهندسی توربین بادی، اهمیت بررسی بازده انرژی و انرژی توربین‌های بادی مهم است و می‌تواند در طراحی یک سایت بادی و سیاست‌گذاری کلان انرژی به‌عنوان یک شاخص مهم موردنظر قرار بگیرد. برای اولین بار در سال ۲۰۰۳ کرونوس[15] تحلیل انرژی و انرژی را برای یک سیستم انرژی بادی انجام داد [۷]. باسکوت[16] و همکاران اختلاف بین راندمان انرژی و انرژی را برای سه توربین در سایت بادی جسمه[17] و ایزمیر[18] در ترکیه انجام دادند و دریافتند که در دوره‌های مختلف سال، بازده انرژی این توربین‌ها بین ۰-٪ 68/2 تغییر کرد [۸]. در تحقیق اخیر به اهمیت بررسی بازده انرژی و انرژی پی برده شد؛ اما به این موضوع پرداخته نشد که پارامترهای مهم و تأثیرگذار در بررسی بازده انرژی و انرژی به ترتیب کدام پارامترها است.

همان محققان در مطالعه‌ی دیگری دریافتند که پارامترهای هواشناسی نظیر دما و فشار و رطوبت هرکدام به چه میزان راندمان انرژی و انرژی را تغییر می‌دهد[9]

پارامترهایی نظیر دما، سرعت، فشار و رطوبت جریان باد ازجمله متغیرهایی می‌باشند که متأثر از شرایط آب و هوایی و فصول مختلف سال تغییر می‌کنند، علاوه بر پارامترهای یادشده، عواملی دیگر نیز مانند گردوغبار و یخ‌زدگی بروی سطح پره، برخورد اجساد حشرات با سطح پره و واکنش‌های شیمیایی بر روی سطح پره توربین بادی، بسته به موقعیت مکانی و زمانی قرارگیری توربین‌های بادی می‌توانند تأثیر چشمگیری بر عملکرد توان خروجی آن داشته باشند. عوامل یادشده با ایجاد زبری بر روی سطوح پره‌های توربین بادی و تغییر الگوی جریان باد عملکرد توربین بادی را از حالت ایدئال آن خارج می‌نماید.

ساگل[19] و همکاران مروری بر تحقیقات صورت گرفته درزمینه بررسی اثر زبری سطح پره‌های توربین‌های بادی بر عملکرد آئرودینامیکی پره، اثر زبری بر الگوی جریان باد و تولید توان توربین‌های بادی انجام دادند. در این تحقیق به بررسی اثر زبری

[15] Koroneos
[16] Baskut
[17] Cesme
[18] Izmir
[19] Sagol

های مختلف نظیر یخ‌زدگی، گردوغبار، اجساد حشرات و انواع آلودگی‌ها پرداختند و دریافتند که زبری بسته به‌اندازه موقعیت آن بر روی پره می‌تواند تأثیرات مختلفی بر عملکرد توربین بادی داشته باشد [10]

خلف الله[20] و کولیوب[21] به بررسی اثرات زیری گردوغبار بر روی تولید توان توربین بادی در یک سایت صحرایی پرداختند. در مدت‌زمانی که پره‌ها تمیز نمی‌شدند، اندازه ذرات گردوغبار و مساحت زبری پره‌ها اندازه‌گیری شدند و نشان دادند که اندازه و مساحت اشغال‌شده توسط ذرات چگونه باعث تغییرات توان تولیدی می‌شود؛ و آن‌ها این تحقیق را برای دو نوع توربین بادی انجام دادند و باهم مقایسه کردند [11]

پاپ[22] و همکاران به تحلیل جریان انرژی چهار مدل از توربین‌های بادی (دو نوع محور عمودی و دو نوع محور افقی) در یک زبری ثابت و مشخص پرداختند. در این تحقیق به بررسی پارامترهای مختلف نظیر تغییر سرعت جریان باد، تغییرات دما و فشار باد بر روی بازده انرژی و انرژی توربین بادی پرداختند [12].

یکی از روش‌های متداول برای شبیه‌سازی توربین بادی استفاده از نظریه تکانه اجزاء پره است.

محمودی و همکاران در یک تحقیق با تصحیح ۳ بعدی ضرایب برا و پسا ایرفویل های توربین بادی آزمون مکسنت[23] بر اساس نظریه تکانه اجزاء توانستند نتایج رضایت‌بخش و نزدیکی به نتایج تجربی به‌دست‌آمده از توربین بادی یادشده به دست آورند [13]. همچنین در شبیه‌سازی توربین بادی در شرایط پاو پر اساس نظریه تکانه اجزاء پره، بواتم[24] و مرس[25] توانستند رفتاری نزدیک و شبیه به نتایج یک توربین بادی مورد آزمایش در تونل باد ناسا به دست بیاورند [14].

2-6- تأثیر زاویه باد بر بازده انرژی و انرژی

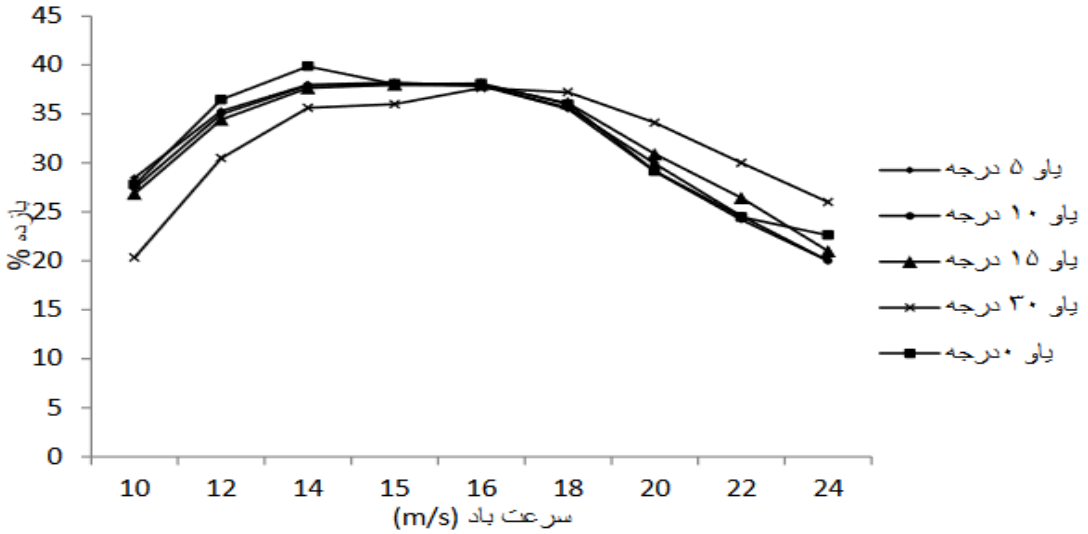
بیشترین تحقیقاتی که به بررسی عملکرد توربین بادی از دیدگاه انرژی پرداخته‌شده، اکثراً متغیرهای جریان باد نظیر دما، فشار، سرعت و رطوبت مخصوص را به‌عنوان پارامترهای تأثیر گزار بر بازده انرژی و انرژی توربین بادی معرفی کرده‌اند. در این تحقیق برای اولین بار تأثیر تغییرات زاویه یاو بر بازده انرژی و انرژی یک توربین بادی بررسی می‌شود، با افزایش زاویه یاو، میزان توان تولیدی توربین بادی نیز کاهش می‌یابد. حال باید این موضوع نمایان شود، با توجه به اینکه توان استحصالی کاهش‌یافته، عملکرد توربین از دیدگاه بازده انرژی و انرژی چگونه تغییر خواهد کرد.

بازده انرژی و انرژی توربین بادی آزمون مکزیکو در چهار زاویه مختلف یاو و تحت سرعت‌های مختلف جریان باد موردبررسی قرار گرفت. هر دو نمودار با رفتاری شبیه به هم، اثر تغییر زاویه یاو را بر عملکرد توربین بادی نشان دادند شکل 3 نشان داد که افزایش زاویه یاو تا زاویه ۱۵ درجه نتوانست تأثیر قابل‌توجهی بر بازده انرژی در سرعت‌های مختلف جریان باد بگذارد؛ اما بازده انرژی توربین بادی در زاویه یاو ۳۰ و ۱۵ درجه رفتار متفاوتی با زاویه یاو ۵ و ۱۰ درجه داشت. در سرعت‌های کمتر از m/s 16 میزان بازده انرژی در زاویه یاو ۳۰ درجه، کمتر از بازده انرژی توربین بادی در شرایط بدون زاویه یار است. همچنین با افزایش سرعت باد از 10m/s تا سرعت 15m/s به‌تدریج بازده انرژی در زاویه یاو ۳۰ درجه، به بازده انرژی در شرایط بدون

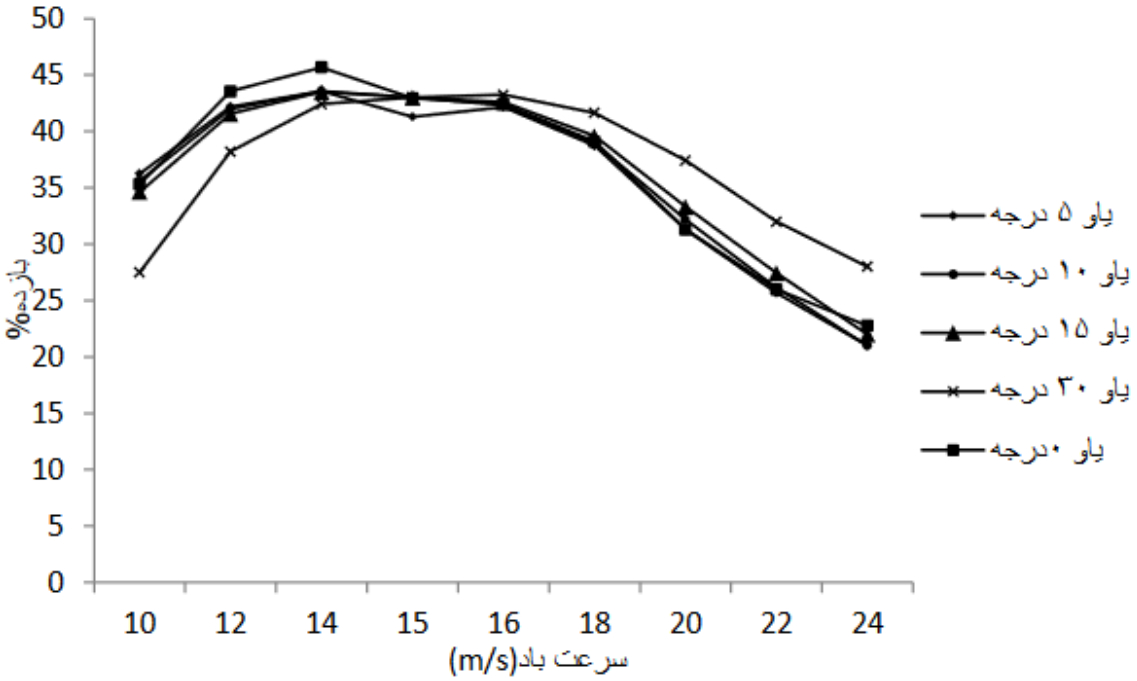
[20] Khalfallah
[21] Koliub
[22] Pope
[23] MexNext
[24] Bouatem
[25] Yaw ngle

زاویه یاو نزدیک شد، و در سرعت 16m/s بازده انرژی مستقل از زاویه یاو شد و برای تمامی زاویه‌های پاو یک مقدار ثابت را نشان داد. با افزایش سرعت باد از 16m/s تا سرعت باد 24m/s به‌تدریج بازده انرژی توربین بادی در زاویه یاو ۳۰ درجه از بازده انرژی در شرایط بدون زاویه یاو بیشتر شد. علیرغم اینکه با افزایش زاویه یاو توان استحصالی از توربین بادی کاهش یافت، اما در سرعت‌های بیشتر از 16 m/s این امر موجب افزایش بازده انرژی توربین بادی شد. به‌گونه‌ای که در سرعت m/s 24 در زاویه یاو ۳۰ درجه بازده انرژی نسبت به شرایط بدون زاویه یاو ٪14/89 افزایش نسبی داشت. همین رفتار مشابه اما با شدت کمتر در زاویه یاو ۱۵ درجه نیز مشاهده می‌شود.[15]

ازجمله عواملی که باعث افزایش بازده انرژی و انرژی توربین بادی در بازه سرعت باد از 16 m/s تا سرعت باد 24 m/s در زاویه یاو ۱۵ و ۳۰ درجه می‌شود، می‌توان به این نکته اشاره کرد که با افزایش زاویه یاو، میزان نیروی محوری وارد بر روتور توربین بادی کاهش می‌یابد. این نیرو که اغلب در جهت عکس تولید توان عمل می‌کند، بیشترین فشار را بر یاتاقآن‌ها و تکیه‌گاه‌های روتور توربین بادی وارد می‌کند. پس می‌توان گفت که با کاهش نیروی محوری به‌واسطه افزایش زاویه یاو در سرعت‌های بالای باد، می‌توان از استهلاک توربین بادی در بازه‌های زمانی معین کاست؛ و هزینه‌های نگهداری و تعمیرات را کاهش داد[16].



شکل3- تغییرات بازده انرژی نسبت به تغییرات زاویه یاو در سرعت‌های مختلف



شکل4 - تغییرات بازده انرژی نسبت به تغییرات زاویه یاو در سرعت‌های مختلف

2-7- اثرات زیست‌محیطی توربین بادی

2-7-1- محیط‌زیست

فعالیت‌های ساخت‌وساز برای تأسیسات انرژی باد معمولاً شامل پاک‌سازی زمین برای آماده‌سازی سایت و راه‌های دسترسی می‌باشد .فعالیت‌های اصلی مرحله ساخت عبارت‌اند از :حفاری و بتن‌ریزی؛ فعالیت جرثقیل برای تخلیه و نصب تجهیزات؛ ساخت و نصب زیرساخت‌های مرتبط؛ نصب و راه‌اندازی هادی‌های سربار یا مسیرهای کابل) روی زمین و زیرزمین (و راه‌اندازی تجهیزات جدید .همچنین عملیات جمع‌آوری سایت ممکن است شامل حذف زیرساخت‌های پروژه و بازسازی محل باشد. اثرات زیست‌محیطی مربوط به ساخت‌وساز، بهره‌برداری و جمع‌آوری تأسیسات انرژی باد می‌تواند شامل اثرات فیزیکی روی محیط) مانند سروصدا یا تأثیر بصری (و تنوع زیستی) مؤثر بر پرندگان و خفاش‌ها (باشد .با توجه به این‌که معمولاً سایت‌های نیروگاه‌های بادی در مکانه‌ای دور از دسترس واقع‌شده‌اند، در طول ساخت‌وساز سایت، پیمانکاران و مجریان پروژه با چالش‌های تدارکاتی نظیر حمل‌ونقل سازه‌های بلند، سخت و سنگین مانند پره‌ها و ناسل توربین مواجه هستند .ساخت جاده‌های دسترسی در مناطق بکر و نسبتاً دست‌نخورده برای حمل‌ونقل تجهیزات باد به نقاط دورافتاده ممکن است منجر به بروز اثرات نامطلوب زیست‌محیطی و اثرات منفی بر تنوع زیستی گردد.[3]

مسائل محیط‌زیستی مربوط به مرحله ساخت، بهره‌برداری و جمع‌آوری تأسیسات و امکانات پروژه نیروگاه ه ای بادی عبارت‌اند از:

–آلودگی منظر و اثرات بصری

–سروصدا

–تنوع زیستی

–چشمک زدن سایه /سوسوزدن سایه

–کیفیت آب

با توجه به ماهیت تأسیسات انرژی باد، بخش محیط‌زیست ممکن است با سایر بخش‌های محیطی و اجتماعی دارای اثرات تجمعی باشد .ارزیابی اثرات تجمعی تأسیسات انرژی باد در نزدیکی مناطق حساس مانند مناطقی که از ارزش تنوع زیستی بالایی برخوردار هستند، بسیار مهم است.

2-7-1-1- منظر و تأثیرات بصری

محل تأسیسات انرژی باد، به‌ویژه اگر در نزدیکی مناطق مسکونی باشد و یا از مکان‌های گردشگری و تفریحی قابل‌مشاهده باشد، ممکن است بر روی چشم‌انداز این مناطق تأثیر بگذارد .تأثیرات بصری مربوط به نیروگاه‌های بادی عموماً مربوط به توربین‌های نصب‌شده و خصوصیات آن‌ها از قبیل رنگ، ارتفاع و تعداد توربین‌ها است.

برخی از این تأثیرات ممکن است از اثر متقابل تأسیسات نیروگاه‌های بادی با چشم‌انداز طبیعی اطراف آن و یا چشم‌انداز دریایی به وجود آید. اثرات توربین‌های بادی بر روی مناطق حفاظت‌شده و شناخته‌شده ملی و بین‌المللی که دارای تنوع زیستی و ویژگی‌های منحصربه‌فرد میراث فرهنگی می‌باشند باید موردتوجه ویژه قرار گیرد و پیشنهاد می‌گردد در مرحله ارزیابی و مشاوره نقشه‌های بصری این مناطق تهیه‌شده و از مناظر مهم آن عکس‌برداری گردد. به‌منظور کاهش تبعات منفی

نیروگاه‌های بادی بر چشم‌انداز و آلودگی بصری مناطق اطراف، بهترین کار قرار دادن و طراحی زیرساخت‌های مربوط به انتقال برق و اطلاعات در مسیرهای دسترسی زیرزمینی است .توجه به طرح، اندازه و مقیاس توربین در ارتباط با چشم‌انداز اطراف و طبیعت دریایی و گیرنده ه ای بصری اطراف) مانند ساکنان مناطق مسکونی /مناطق تفریحی الزامی است. همچنین باید به توربین‌های نزدیک به شهرک‌ها، مناطق مسکونی و دیگر گیرنده‌های بصری توجه شود تا در صورت امکان اثرات بصری و تأثیرات آن بر مناطق مسکونی به حداقل برسد.[2]

سایر عواملی که می‌توان برای به حداقل رساندن اثرات بصری در نظر گرفت، عبارت‌اند از:

- توجه به جامعه ورودی (کارکنان غیربومی و خانواده‌های آن‌ها) به طرح و تأسیسات انرژی باد.
- حفظ اندازه و طراحی یکنواخت توربین (به‌عنوان‌مثال نوع توربین و برج و همچنین ارتفاع)
- مطابقت با استانداردهای خاص موجود در کشور سازنده توربین، برای حمل‌ونقل هوایی / دریایی و الزامات
- زیست‌محیطی (به بخش بهداشت و ایمنی جامعه مراجعه شود)
- با کاهش زیرساخت‌های سایت، ازجمله تعداد جاده‌ها، دفن خطوط و پست‌های برق، اجتناب از انباشت مواد حفاری یا بقایای ساخت‌وساز، حذف یا انتقال توربین‌های غیرقابل استفاده، ساختارهای جانبی را در سایت کاهش داد.
- برای مقابله با فرسایش خاک ناشی از عملیات پاک‌تراشی زمین‌ها باید بلافاصله بذر گونه‌های محلی روی زمین پاشیده شوند.

2-7-1- 2- صدا

برای محافظت از ساکنان محلی باید سروصدای مرحله ساخت محدود و کنترل شود .فعالیت‌هایی که سبب تولید سروصدا می‌شوند عبارت‌اند از :عملیات انفجار، حفاری، ساخت جاده‌ها و حمل و نصب توربین‌ها.

در محیط‌های دریایی سروصدا و ارتعاش ناشی از ساخت‌وسازهای دریایی، مانند عملیات **اجرای** فونداسیون، می‌توانند بر زندگی جانوران دریایی تأثیر بگذارد .تأثیرات زیست‌محیطی حاصل از انتشار صدا در زیردریا بسته به ویژگی ساحل و حساسیت گونه‌های دریایی می‌توانند متفاوت باشند .بنابراین باید با ارزیابی مشخص شود کجا و چه زمانی سروصدای زیرآب بر زندگی جانوران دریایی تأثیر می‌گذارد و اقدامات مناسب برای مقابله با آن تعیین و اجرا گردد.[4]

2-7-1- 3- تنوع زیستی

نیروگاه‌های بادی، در مراحل ساخت‌وساز، بهره‌برداری، تعمیر و نگهداری و جمع‌آوری تأسیسات، توانایی ایجاد اثرات مستقیم و غیرمستقیم بر روی تنوع زیستی مناطق خشکی و دریایی رادارند .نمونه‌هایی از اثرات شامل مرگ‌ومیر ناشی از برخورد پرندگان و خفاش‌ها با پره‌های توربین است .جابجایی حیات‌وحش؛ تبدیل/تخریب زیستگاه؛ حساسیت پستانداران دریایی نسبت به سروصدای تأسیسات نیروگاه‌های بادی دریایی از دیگر اثرات این تأسیسات می‌باشد .در محیط‌های دریایی، کف زیان جذب ساختارهای جدید می‌شوند که می‌تواند روی زیستگاه ه ای موجود تأثیرگذار باشد و گونه‌های جدید، مانند حلزون‌ها، صدف‌ها، مرجان‌ها و پوشش‌های گیاهی زیرآب را جذب زیستگاه کنند .محل فعالیت توربین‌ها ممکن است مسیر

حرکت روزانه خفاش‌ها و پرندگان را تغییر دهد .مکان‌یابی سایت مناسب از اثرات نامطلوب بر تنوع زیستی جلوگیری نموده و اثرات را به حداقل می‌رساند .انتخاب سایت باید شامل موارد زیر باشد:

- توجه به عدم مجاورت تأسیسات انرژی بادی پیشنهادی به مناطق دارای ارزش تنوع زیستی بالا .غربالگری
- اولیه انتخاب محل پروژه در سطح کلان و محدوده اولویت‌ها می‌تواند ارزیابی را بهبود بخشیده، درنتیجه سبب
- کاهش تأثیرات و تحمیل هزینه‌های غیرضروری بر روی تنوع زیستی در آینده شود.
- با توجه به محل تأسیسات دریایی، کنترل و بازنگری زیستگاه‌های مهم جانوران دریایی، به‌ویژه ماهی‌ها، پستانداران دریایی و لاک‌پشت‌های دریایی) مانند مناطق تغذیه، پرورش و زادوولد (و سایر زیستگاه‌ها به‌عنوان محل زندگی بچه‌ها /نوزادها، صدف‌های کف زی الزامی است.[17]

مشاوره با سازمان حفاظت محیط‌زیست و یا سایر سازمان‌ها زیست‌محیطی بین‌المللی به انتخاب سایت مناسب برای تأسیسات بادی در خشکی و دریا کمک خواهد نمود.

2-7-1- 4- اثر سایه‌روشن / سوسوزدن سایه

سوسوزدن سایه هنگامی رخ می‌دهد که آفتاب از پشت توربین بادی عبور می‌کند و ایجاد سایه می‌نماید .در هنگام چرخش روتر و تیغه‌ها، سایه‌های ایجادشده از همان نقطه گذر می‌کند و باعث می‌شود تا جلوه‌ای به نام سایه چشمک‌زن (سوسوزن) ایجاد شود .سوسوزدن سایه ممکن است مناطق با جمعیت‌های بالقوه حساس (مثلاً مناطق مسکونی، محل کار، محل آموزش و یا فضاهای بهداشتی و تأسیسات) که در نزدیکی محل تأسیسات نیروگاه‌های بادی قرار دارند را تحت تأثیر قرار دهد.

با توجه به فاصله بین توربین‌های بادی و جمعیت‌های بالقوه در خشکی، سوسوزدن سایه معمولاً به‌عنوان یک مسئله مهم برای تأسیسات انرژی باد در مناطق دریایی محسوب نمی‌شود .پتانسیل سوسوزدن سایه احتمالاً در عرضه‌ای جغرافیایی بالاتر از اهمیت بیش‌تری برخوردار است زیرا که خورشید در آسمان پایین‌تر بوده و بنابراین سایه‌های طولانی‌تری دارد .افزایش طول سایه باعث می‌شود که اثرات سوسوزدن منطقه وسیعی را تحت تأثیر قرار دهد.[18]

2-7-1- 5-کیفیت آب

نصب پایه‌های توربین، کابل‌های زیرزمینی، جاده‌های دسترسی و زیرساخت‌های اضافی دیگر می‌تواند موجب افزایش فرسایش، تراکم خاک، افزایش فاضلاب و رسوب‌گذاری آب‌های سطحی شود.

نصب پایه‌های توربین و کابل‌های زیرزمینی ممکن است بستر دریا را تخریب کرده و موقت رسوب‌های معلق در آب را افزایش دهد، بنابراین کیفیت آب کاهش می‌یابد و به‌طور بالقوه بر گونه‌های دریایی و ماهیگیری (تجاری و تفریحی) تأثیر می‌گذارد .علاوه بر این، نصب سازه‌های دریایی به دلیل تغییرات در حرکات آب ممکن است باعث فرسایش موضعی بستر دریا شود.

سایر اقدامات پیشگیرانه و کنترلی برای کاهش و کنترل تأثیرات نامطلوب بر کیفیت آب عبارت‌اند از:

- اجرای یک فرایند انتخاب سایت مناسب که امکان دخالت اجزای سازنده پروژه را با ماهیگیری (تجاری یا تفریحی) و زیستگاه گونه‌های دریایی در نظر می‌گیرد.

- برنامه‌ریزی برای زمان ساخت، نصب و جمع‌آوری اجزای سازنده توربین بادی، به‌طوری‌که با دوره ه ای حساس زندگی جانوران تداخل نداشته باشد.
- شناسایی فاصله‌های که ممکن است اثرات سوسوزدن سایه وجود داشته باشد مورداستفاده قرار گیرد .همان نرم‌افزار نیز می‌تواند به‌طورمعمول برای پیش‌بینی زمان و طول مدت وقوع سوسوزدن سایه‌ها در شرایط واقعی آب و هوایی در جمعیت‌های خاص واقع در منطقه برای اثرات احتمالی بالقوه سوسوزدن سایه مورداستفاده قرار گیرد.
- استفاده از فوران، پرده حباب و تله رسوب؛ انجام چنین فعالیت‌هایی در آب‌های کم‌عمق (یا در مناطق جزر و مد می‌تواند مواد و گل‌ولای ناشی از عملیات اجرایی را از زیستگاه‌های حساس دورنگه دارد)[11]

2-7-1-6-پرتاب پره و یخ

پره روتور یا بخشی از آن منجر شود، که ممکن است بر ایمنی عمومی تأثیر «پرتاب «شکست پره روتور می‌تواند به بگذارد . احتمال خطر پرتاب پره بسیار کم است .اگر تجمع یخ در پره‌ها در شرایط آب و هوایی خاص در مناطق سردسیر رخ بدهد، قطعات یخ ممکن است در زمان کارکرد از روتور جداشده و پرتاب گردند و یا اگر توربین در حالت خاموش باشد، به زیر پره سقوط نمایند .برای حفاظت از پرتاب یخ یا شکست پره، توربین‌ها باید در یک‌فاصله قابل‌قبول از یکدیگر و مناطق حساس مجاور قرار بگیرند تا ایمنی عمومی تأمین گردد.

استراتژی‌های مدیریت ریسک پرتاب پره عبارت‌اند از:

رعایت فاصله قابل‌قبول بین توربین‌ها و مکان‌های پرجمعیت حداقل فاصله قابل‌قبول 1/5 برابر ارتفاع توربین (برج + شعاع روتور) است، البته مدل‌سازی نشان می‌دهد که فاصله تئوری پرتاب پره می‌تواند با اندازه، شکل، وزن و سرعت پره‌ها و ارتفاع توربین متفاوت باشد .توصیه می‌شود که حداقل فاصله قابل‌قبول برای رعایت محدودیت‌های سروصدا و سوسوزدن، برای حفاظت بیش‌تر از مناطق حساس مسکونی حفظ شود.[11]

2-7-1-7- تداخل الکترومغناطیسی

توربین‌های بادی به‌طور بالقوه می‌توانند تداخل الکترومغناطیسی را با سیستم‌های مخابراتی ایجاد کنند (به‌عنوان‌مثال، ایستگاه‌های مایکروویو، تلویزیون و رادیو) این تداخل می‌تواند ناشی از انسداد مسیر، ایجاد سایه، انعکاس، پراکندگی یا بازتابش باشد .طبیعت تأثیرات بالقوه به موقعیت قرارگیری توربین بادی نسبت به فرستنده و گیرنده، ویژگی‌های تیغه روتور، سیگنال ویژگی‌های گیرنده فرکانس و ویژگی‌های انتشار موج رادیویی در فضای محلی بستگی دارد.[10]

2-7-1-8- حمل بار غیرعادی (حمل و انتقال تجهیزات)

مسائل مربوط به حمل‌ونقل بار ترافیکی در جاده‌ها دستورالعمل و شرایط ویژه‌ای دارد، حمل‌ونقل تجهیزات مربوط به احداث نیروگاه‌های بادی نیز می‌بایست از این موارد تبعیت کند .با توجه به تجهیزات نیروگاه‌های بادی، چالش اصلی، حمل‌ونقل قطعات توربین بادی (تیغه، برج توربین، نایسل و ترانسفورماتور) و جرثقیل به محل احداث نیروگاه است. مطالعات لجستیک، ترافیکی و حمل‌ونقل باید موارد مربوطه را در جاده ه ای دسترسی (عبوری) پل‌ها، محورها، گذرگاه‌ها / زیرگذرها، پیچ‌های

تند و خدمات عمومی، ایستگاه‌های تخلیه و بارگیری مجدد (در صورت نیاز) یا اسکان مجدد، ارزیابی کند .برای کاهش اثرات جانبی ازجمله ترافیک و یا تأخیر برای دیگر کاربران جاده و احتمال تأثیرات دیگر بر جوامع محلی در مجاورت مسیر پیشنهادی، می‌بایست برنامه‌ریزی‌های لازم و مدیریت ترافیک جهت حمل و تحویل بار خارج از ساعات پیک و استفاده از مسیرهای مناسب تائید شده، انجام شود .گاهی جهت حمل‌ونقل تجهیزات نیاز است مجوز عبور کسب شود و یا با همراهی اسکورت تائید شده (نیروی پلیس) انجام شود.[3]

2-7-1-9- مرگ‌ومیر پرندگان در اثر برخورد با توربین‌های بادی

گزارش مرگ‌ومیر پرندگان در برخورد با توربین‌ها در یک مزرعه بادی در ۹۰ کیلومتری سانفرانسیسکو ایالت کالیفرنیا در سال ۱۹۸۰ باعث توجه ویژه به این موضوع شد [4]. عمومی‌ترین روش بررسی در چنینی وضعیت‌هایی بررسی وضعیت مرگ‌ومیر پرندگان پیش و پس از نصب توربین‌های بادی می‌باشد [5]. برخی از مهم‌ترین مواردی را که می‌توان برای کاهش خطر برخورد پرندگان با توربین‌ها در نظر داشت عبارت‌اند از:

الف - پهنای پره کمتر از ۶۰ سانتیمتر

ب- فاصله توربین‌ها ۱۰۰۰ متر

ج- رنگ گردن پره‌ها در صورت امکان این موضوع به‌ویژه در مسیر مهاجرت پرندگان مفید می‌باشد.

د- استفاده از صدا برای دور کردن پرندگان از توربین‌ها

به‌طورکلی خطر مرگ پرندگان در اثر برخورد با توربین‌های بادی آن‌قدر شدید نیست که موضوع ده‌ها پروژه قرار گیرد. برای نمونه ۱۲۵۰۰۰۰ قطعه پرنده در سراسر دنیا براثر برخورد با ساختمان‌های بلند، برج‌ها و دکل‌های مخابراتی جان خود را از دست می‌دهند. به‌طور مشابه هرساله نزدیک به ۹۸ میلیون پرنده در اثر برخورد با شیشه می‌میرند. همچنین ۵۷ میلیون پرنده در اثر برخورد با اتومبیل‌ها کشته می‌شوند. دریکی مطالعه انجام‌شده به‌وسیله در مدت چهار سال مشخص شد که ۵۴ مرگ‌ومیر پرندگان به دلیل برخورد با سمانه‌های تولید نیرو و خطوط انتقال می‌باشد درحالی‌که سهم توربین‌های بادی ۳۸٪ بود[5].

همچنین منطقی که در مورد مرگ‌ومیر پرندگان براثر برخورد با توربین‌های بادی بحث می‌کنیم، اثر دیگر فناوری‌های تولید انرژی بر محیط را نیز لحاظ کنیم. برای نمونه می‌توان به انتشار گازهای گلخانه‌ای، بارآن‌های اسیدی که اثرات مخرب‌تری بر اکوسیستم محیط دارند، اشاره نمود. هرچند تعداد پرندگان کشته در اثر برخورد با توربین‌های بادی نسبتاً کوچک است، اما نهادهای ذی‌ربط در سراسر دنیا باید تلاش نمایند تا آن را به حداقل برسانند. به این منظور فعالیت‌هایی در کشورهای امریکا و انگلیس در حال انجام است[6]

2-7-1-10- انتشار سروصدا در محیط

هرگونه صدای ناخواسته به‌عنوان سروصدا تعریف می‌شود. درگذشته با توجه به تعداد اندک توربین‌ها مسئله آلودگی ناشی از آن‌ها مسئله مهمی به شمار نمی‌آمد، اما در حال حاضر با توجه به توسعه روزافزون این سامانه‌ها در کشورهای صنعتی و درحال‌توسعه مسئله مهمی به شمار می‌آید. ازاین‌رو پژوهشگران در پی ساخت و طراحی توربین‌هایی با کمترین صدا می‌باشند. آسان‌ترین روش برای تعیین سطح آلودگی صوتی حضور در محل نصب توربین‌ها می‌باشد. برای اندازه‌گیری دقیق‌تر می‌توان از صداسنج‌های موجود در بازار استفاده نمود. برای به حداقل رساندن خطا در اندازه‌گیری صدا توسط دستگاه‌های صداسنج

استانداردهایی توسط انجمن آمریکایی انرژی باد تعریف‌شده است [7]. بر اساس این استاندارد شدت صدا یک توربین بادی با سرعت ۸ متر بر ثانیه در ارتفاع ۸ متری سنجیده می‌شود. دو نوع صدا ایجادشده به‌وسیله توربین بادی صدای مکانیکی و صدای آئرودینامیکی می‌باشند. صدای مکانیکی از حرکت نسبی اجزایی مانند جعبه‌دنده، ژنراتور، موتورهای حرکت راست به چپ، فن‌های خنک‌کننده، پمپ‌های هیدرولیک و دیگر ملحقات ایجاد می‌شوند. برای نمونه شدت انتشار صدا ناشی از جعبه‌دنده 97/2 دسی‌بل، ژنراتور 87/2 دسی‌بل و دیگر ملحقات 76/2 دسیبل می‌باشد [2]؛ بنابراین تغییر در طراحی این سه عضو می‌تواند موجب کاهش انتشار سروصدا شود[8].

جریان هوا در پیرامون پره‌های توربین موجب انتشار صدای آیرودینامیکی می‌شود. انتشار صدای آیرودینامیکی از یک توربین ۲ مگاواتی نزدیک به 99/2 دسیبل برآورد می‌شود [9]. برخی از مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار بر روی سر و صدای آیرودینامیکی شامل شکل لبه پره، ضخامت پره، پرداخت‌کاری سطح پره و ... می‌باشند. بررسی این نوع سروصدا با جزییات بیشتر در مرجع [9] آمده است. با افزایش سرعت باد شدت سروصدا افزایش می‌یابد، هرچند صدای زمینه نیز مانند صدای درختان و بوته‌ها نیز افزایش می‌یابد. همچنین صداهای دیگر مانند ترفیک و ماشین‌آلات کشاورزی نیز اثر پوششی بر سروصدای توربین دارند. جزییات بیشتر از عوامل فوق و تأثیر آن‌ها بر سروصدا در محیط در مرجع [9] موردبررسی و تحلیل قرارگرفته است.

3-نتیجه‌گیری

ازجمله عواملی که باعث شد این متغیرها بر بازده انرژی بی‌تأثیر باشند، این است که این متغیرها به‌صورت مستقیم در بازده انرژی دیده نشده‌اند. با تأثیر دادن این متغیرها در بازده انرژی توربین بادی، می‌توان دریافت که با افزایش دما عملکرد توربین بادی نیز افزایش می‌یابد .همچنین اثر افزایش فشار جریان هوا و هم رطوبت نسبی باعث کاهش عملکرد توربین بادی شدند. تأثیر تغییرات دما، فشار و رطوبت مخصوص جریان باد در مقایسه با سرعت جریان باد، میزان گردوغبار و تغییر زاویه باد بر بازده انرژی کمتر بود. در این بررسی پیامدهای زیست‌محیطی و اقتصادی استفاده از انرژی باد با استفاده از منابع موجود موردبررسی و تجزیه‌وتحلیل قرار گرفت. مهم‌ترین نتایج به‌دست‌آمده عبارت‌اند از:

1- مرگ‌ومیر پرندگان عامل ناخوشایندی در استفاده از توربین‌های بادی به شمار می‌رود که با اجتناب از نصب توربین‌ها در مسیر مهاجرت پرندگان و اتخاذ تدابیری مانند رنگ‌آمیزی و انتشار امواج تا حد زیادی آن را کاهش داد. هرچند این میزان در مقایسه دیگر عوامل کشتار پرندگان ناچیز می‌باشد.

۲. انتشار سروصدا در مناطق مسکونی که در فاصله ۳۰۰ متری از توربین بادی قرار دارد، در حد یک یخچال خانگی می‌باشد. هرچند در مجاورت این دستگاه‌ها و بسته به شرایط آب و هوایی شدت صوت ممکن است از حد استاندارد تجاوز نماید.

۳. بهترین مکان نصب توربین‌ها در محدوده دره‌ها می‌باشد، تا بدین‌وسیله چشم‌انداز طبیعی منطقه از فاصله نسبت دور که از جلوه‌های گردشگری می‌باشد، کمترین آسیب را ببیند.

۴. هزینه تمام‌شده تولید انرژی به‌وسیله توربین‌ها بادی به‌شدت به قیمت زمین، سرعت باد، بازار انرژی و سیاست‌های انرژی کشورها بستگی دارد؛ بنابراین دولت‌ها باید تلاش نمایند تا بسته‌های حمایتی را برای این منبع پاک انرژی تدوین نماید. در غیر این صورت باید هزینه‌های هنگفتی را برای حفظ محیط‌زیست و حفظ بهداشت جامعه صرف نمایند.

4-مراجع

1 - فضلی، م، مدل‌سازی و شبیه‌سازی توربین بادی مجهز با DIFG و STATCOM جهت بررسی عملکرد سیستم در طی خطای شبکه، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران جنوب.

http://www.suna.org.ir/fa.

2- Rosa, A. V. da, 2009, Fundamental of renewable energy processes, 2nd edition.
3- http://www.suna.org.ir/suna_content/media/image/2015/11/4180_orig.pdf. [Accessed :26-Jan-2016].
4- Koroneos, C. Spachos, T. and Moussiopoulos, N. 2003, "Exergy analysis of renewable energy sources," Renew. energy, pp. 295–310.
5- Baskut, O. Ozgener, O. and Ozgener, L. 2011, "Second law analysis of wind turbine power plants: Cesme, Izmir example," Energy, 36(5), pp. 2535–2542.
6- Baskut, O. Ozgener, O. and Ozgener, L. 2010, "Effects of meteorological variables on exergetic efficiency of wind turbine power plants," Renew. Sustain. Energy Rev. 14(9), pp. 3237–3241.
7- Sagol, E. Reggio, M. and Ilinca, A. 2013, "Issues concerning roughness on wind turbine blades," Renew. Sustain. Energy Rev. pp. 514–525.
8- Khalfallah, M. G. and Koliub, A. M. 2007, "Effect of dust on the performance of wind turbines," Desalination, 209(3-3), pp. 209–220.
9- Pope, K. Dincer, I. and Naterer, G. F. 2010, "Energy and exergy efficiency comparison of horizontal and vertical axis wind turbines," Renew. Energy, 35(9), pp. 2102–2113.
10- Mahmoodi, E. Jafari, A. Peter Schaffarczyk, A. Keyhani, A. and Mahmoudi, J. 2013, "A new correlation on the MEXICO experiment using a 3D enhanced blade element momentum technique," Int. J. Sustain. Energy, (October), pp. 1–13.
11- Bouatem, A. and Mers, A. Al, 2013, "Validation of Chaviaro Poulos and Hansen Stall Delay Model in the Case of Horizontal Axis Wind Turbine Operating in Yaw
12- Howell JA (1997) Avian mortality at rotor swept area equivalents, Altamont Pass and Montezuma Hills, California. Trans. Western Sector Wildlife Society, 33:24-29.
13- Green RH (1979) Sampling designs and statistical methods for environmental biologists. Wiley, New York, NY.
14- Lowther SM, Tyler S (1996) A review of impacts of wind turbines on birds in the UK. Report No. W/13/00426/REP3, Energy Technology Support Unit (ETSU).
15- AWEA (1989) Procedure for measurement of acoustic emissions from wind turbine generator systems. TeirI – standard 2.1, American Wind Energy Association.
16- Rogers AL, Manwell JF (2002) Wind turbine noise issues – A white paper. Renewable Energy Research Laboratory, Centre for Energy Efficiency and Renewable Energy, Department of Mechanical and Industrial Engineering, University of Massachusetts at Amherst, Amherst.
17- Wnager S, Bareib R, Guidati G (1996) Wind turbine noise. Springer Verlag, Berlin.
18- IEA (1994) Expert group study on recommended practices for wind turbine testing and evaluation, 4. acoustic noise emission from wind turbines. International Energy Agency.

Investigating and analyzing the effects of the consequences of wind turbines on the environment

The reduction of fossil fuel resources, which are considered a huge part of energy production resources, as well as the effects of the consumption of such energy resources, cause environmental pollution issues such as the phenomenon of global warming of the earth's temperature, the reduction of the thickness of the ozone layer, and the destruction of natural resources such as forests, pastures and The seas have been In this regard, the use of renewable energy such as wind energy is booming; By examining the weather conditions of each region, the ability to extract wind energy from that environment can be extracted. The increasing growth of the wind turbine industry in the world has made this industry one of the leading industries in the field of new energy, and it is expected that this growth will increase significantly in the coming years. Although wind power plants have less destructive effects on the environment compared to traditional power plants, the environmental impact of wind turbine blades will become a big challenge. Disposal and recycling of vanes, noise created by vanes, visual effects, killing of birds and insects by vanes, atmospheric disturbances and pollution during construction, transportation and installation of vanes are among these problems. Many of these problems have been reduced with the advancement of technology or with the correct installation of the power plant. The purpose of this research is to investigate and evaluate the effects of wind turbines on humans and the environment.

Key words: wind turbine, wind angle, environment, energy analysis.