استفاده ازانرژی بادی برای آبیاری مزارع کشاورزی
مورد مطالعه: فضای سبز منطقه ۲۰ تهران(کد مقاله ۲۲۸)

عبدالرحیم رحیمی [۱]

چکیده

امروزه مصرف الکتریسیته برای پمپ های برقی آبکش جهت آبیاری فضاهای سبز، باغات و مزارع کشاورزی یکی از عمده ترین مصارف الکتریسیته بخش کشاورزی می باشد که علاوه بر هزینه های تعمیر و نگهداری، هزینه بالای مصرف برق را به کشاورزان تحمیل می نماید. استفاده از توربین های بادی آبکش در مناطق باد خیز کشور به منظور جایگزینی با پمپ های برقی علاوه بر اینکه هزینه تعمیر و نگهداری ناچیزی دارد، هیچ گونه هزینه اجتماعی- زیست محیطی نیز به جامعه تحمیل نمی نماید. در این مقاله یکی از فضا های سبز منطقه ۲۰ شهرداری تهران که از پتانسیل باد مناسب جهت نصب توربین بادی آبکش برخوردار می باشد، به عنوان مطالعه موردی انتخاب شده است. نگارنده این مقاله بر اساس پردازش و تحلیل داده های هواشناسی فرودگاه های مهر آباد و امام خمینی و با استفاده از نرم افرار پتانسیل سنجی انرژی باد ضمن شبیه سازی وزش باد در منطقه ۲۰، اقدام به ارزیابی فنی و اقتصادی احداث توربین بادی آبکش (گزینه۱) در مقایسه با پمپ برقی (گزینه۲) نموده است. براساس یافته های این مقاله با توجه به عمرمفد و خدمات و فواید تقریبا یکسان این دو گزینه، ارزش حال هزینه تمام شده احداث و بهره برداری از توربین بادی آبکش بسیار کمتر از پمپ برقی برآورد شده است. لذا به منظور بهره گیری از انرژی های نوین و کاهش مصرف انرژی در بخش کشاورزی پروژه توربین بادی آبکش نشان از برتری نسبی دارد و اجرای آن در مزارع و باغات کشاورزی که دارای پتانسیل باد مناسب هستند، توصیه می گردد.

کلیدواژه: انرژی، توربین بادی آبکش، پمپ برقی، ارزیابی فنی و اقتصدی

۱- دارای مرتبه علمی مربی، عضو هیئت علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب، پست الکترونیک: arahimi_k@yahoo.com

مقدمه

امروزه یکی ازاستفاده های فراوان از انرژی باد، بهره گیری مستقیم از انرژی باد وتبدیل آن به انرژی مکانیکی جهت آبکشی از چاههای آب وتامین آبیاری مزارع کشاورزی ، باغات، جنگلکاری و فضای سبز می باشد ، بطوریکه هم اکنون توربین های بادی آبکش سهم قابل توجهی در تامین آبیاری مزارع کشاورزی مناطق باد خیز اروپا و آمریکا دارند. از اینرو توربین های بادی آبکش بدلیل سادگی تکنولوژی طراحی وساخت ، بازدهی مناسب ،قیمت تمام شده نسبتاکمتر و همچنین نیاز کمتر این توربینها به تعمیر و نگ اری ، استفاده از این وسیله برای تامین آب مورد نیاز دربخش کشاورزی مناطق باد خیز مورد توجه قرار گرفته است.

گسترش استفاده از انرژی باد در کشورهای توسعه یافته شتاب بیشتری داشته است. در سال ۱۹۹۷ میلادی کمیسیون انرژی اتحادیه اروپا اعلام کردکه طبق برنامه ریزی بعمل آمده تا سال۲۰۱۰ میلادی ۱۲ درصد انرژی برق اتحادیه اروپا از منابع تجدید پذیر تامین خواهد شد[۱۵]. بر اساس همین برنامه ، تا پایان سال ۲۰۰۲ ،ظرفیت نصب شده توربین های برق بادی در اروپا ۲۶۷۰۶ مگا وات معادل ۲/۴ درصد از کل مصرف برق اروپا بوده که در این ارتباط نیاز برق بیش از ۱۴ میلیون مصرف کننده خانگی اروپا را تامین نموده است. هم اکنون در کشور دانمارک بیش از ۲۰ درصد از برق مصرفی آن از نیروگاههای برق بادی تامین می شود[۱۶]. ازطرف دیگر با توجه به توسعه روز افزون استفاده از انرژی باد و تکنولوژی مربوطه ، قیمت تمام شده برق تولیدی از این نوع انرژی روز به روز کاهش می یابد به نحوی که قیمت تولید الکتریسیته توسط نیروگاههای بادی از سال۱۹۸۰ تا امروز بیش از ۸۰ درصد کاهش یافته است. قیمت جهانی برق بادی درسال ۱۹۸۰ به ازای هر کیلو وات ساعت ، ۳۸ سنت بود که در سال ۲۰۰۵ این رقم به ۲/۵ تا ۳/۵ سنت کاهش یافته ست. این بها شامل هزینه های احداث ، طراحی، ساخت و همچنین نگهداری توربین در بازه زمانی عمر مفید آن می باشد[۱۴].

سابقه ایران در خصوص استفاده از انرژی باد در قالب آسیاب های بادی به حدود۲۰۰ سال قبل از میلاد مسیح بر می گردد، بطوریکه ایرانیان اولین ملت جهان بودند که از نیروی باد بهره بردند [۱۱]. طی دهه گذشته نیز اولین مزرعه توربین های بادی کشور به منظور تولید وتامین بخشی از الکتریسته موردنیاز در منطقه منجیل در سال ۱۳۷۳ احداث گردید. همچنین طی سالهای اخیر توسط برخی از محققین کشور مطالعات علمی در خصوص بررسی پتانسیل باد برای احداث توربین های برق بادی در مناطق دشت کهک قزوین [۱۲] وناحیه سیاهپوش قزوین[۴] صورت گرفته است که حکایت ازبهره گیری و امکان راه اندازی نیروگاههای برق بادی درمناطق مذکور دارد. درسال ۱۳۸۵ نیز مطالعاتی توسط مولف این مقاله درمنطقه بروجرد تحت عنوان**"ارزیابی فنی و اقتصادی احداث توربین های کوچک برق بادی در بروجرد"** انجام شد[۱۳] و این مطالعات نیز نشان داد که احداث چنین توربین هایی در آن منطقه و سایرمناطقی که دارای شرایط مشابه هستند، کاملا مناسب و دارای توجیه فنی واقتصادی می باشند. با توجه به مطالعات وبررسی های بعمل آمده توسط مولف تاکنون هیچگونه مطالعات مشابه دراین زمینه در منطقه مورد مطالعه توسط سایر محققین صورت نگرفته است، لذا طرح این تحقیق برای اولین در منطقه مطرح شده است.

بدیهی است با توجه به الگوی مصرف انرژی در کشور، با ادامه این روند درآینده نه چندان دور ایران نه تنها قادربه صادرات انرژی (بصورت نفت خام) نخواهد بود بلکه در زمره کشورهای واردکننده عمده انرژی قرار خواهد گرفت . به هرحال تکیه اصلی سیستم عرضه انرژی کشور بر منابع فسیلی بوده و با توجه به روند تقاضای رو به تزاید آن، در آینده مشکلات عدیده ای در مسیر توسعه بخش‌های اقتصادی و اجتماعی ایجاد خواهد شد از اینرو ضرورت ایجاد تنوع در سیستم عرضه انرژی کشور از سالها قبل مورد نظر مسئولین جمهوری اسلامی ایران بوده به طوری که این مهم در سیاست‌های اعلان شده و خط مشی‌های برنامه های توسعه پنج ساله کشور بویژه دربرنامه بلند مدت ۱۴۰۴ نیزمورد تأکید قرار گرفته است.به هرحال طی این مدت تنها ۳ درصد از کل انرژی مصرفی در کشور از منابع انرژی های تجدیدپذیر تأمین شده است[۱۰]. یکی از انواع انرژی های تجدیدپذیر که طی دهه اخیر در کشور مورداستقبال وتوسعه قرار گرفته است، استفاده ازانرژی باد برای تولید برق می باشد. علیرغم اینکه از سال ۱۳۷۶ تا ۱۳۸۴ قیمت برق در بخش های مختلف مصرفی کشور به طور متوسط ۳ برابر شده است[۱] ، به دلیل عدم توجه به منابع انرژی جایگزین برای برق ، رشد مصرف الکتریسیته هر سال افزوده می شود، این درحالی است که شناسایی و استفاده از منابع جایگزین برق، مزیت نسبی را برای مصرف کنندگان فراهم ساخته و امکان انتخاب بهینه را ممکن می سازد. رویکرد برنامه چهارم توسعه نیز به منظور توسعه وبهره گیری هرچه بیشترازانرژیهای نو حاکی از پرداخت تسهیلات مالی بلندمدت با حداقل نرخ سود بانکی به سرمایه گذاران این صنعت در سال های آتی می باشد. لذا با توجه به پتانسیل قابل توجه انرژی باد در مناطق مختلف کشور ازجمله نواحی کشاورزی

خیز بهره گیری از این نوع انرژی را امکانپذیرمی نماید. از طرف دیگر استفاده از توربین های بادی به منظور تولید برق یا آبکشی برای مزارع وباغات در مناطق بادخیز و مستعد کشور ضمن اینکه هیچگونه آلودگی برای محیط زیست ایجاد نمی نماید ، می تواند بخشی از الکتریسته مورد نیاز مصارف بخش های خانگی،تجاری ،صنعتی وبویژه کشاورزی ر ا فراهم آورد و دربلند نقش بسزایی در کاهش هزینه های انرژی داشته باشد.ازاینرو انجام یک مطالعه علمی به منظور اثبات توجیه اقتصادی و فنی احداث یک نمونه از توربین های بادی (نوع آبکش) در منطقه ای مانند تهران که حتی دارای حداقل پتانسیل باد می باشد، ضروری می باشد.

مواد و روش ها

الف- بررسی وضعیت منطقه مورد مطالعه

در حال حاضر ورودیهای عمده به سفره آب زیر زمینی شهر تهران از ۳ منبع اصلی تامین می شودکه شامل تغذیه طبیعی از رودخانه‌های شمالی وارد شده به حوزه تهران ، تغذیه از چاه‌های فاضلاب خانگی و صنعتی و نفوذ آب‌های توزیع شده از چاه‌ها و قنوات شهر تهران می باشد. در گذشته عمق سطح آب زیرزمینی تهران در نواحی شمالی در مخروطه افکنه‌های رودخانه‌های کن و کرج بیش از ۱۰۰ متر و در نواحی مرکزی منطقه بین ۳۰ تا ۵۰ متر و بتدریج به طرف جنوب منطقه با افزایش فاصله از مناطق کوهستانی کم عمق‌تر گردیده، بطوریکه در حوالی جنوب شرقی حوزه آب زیرزمینی تهران، آب در سطح زمین ظاهر می گردید ودر این خصوص مناطق باتلاقی و جریان‌های زهکشی سطحی نیز ایجاد می نمود[۲]. بر اساس پیشنهاد شهرداری از میان چند مکان پیشنهادی طبق بررسیهای بعمل آمده ، کانون آموزشی گل و گیاه منطقه ۲۰ شهرداری تهران که در زمینی به مساحت ۶۴ در ۶۴ متر ودر منطقه ۱۳ آبان واقع شده است حائز بهترین شرایط در این خصوص بود. در ضلع غربی کانون آموزشی گل و گیاه چاه آب به مختصات ۵۳۷۴۷۰ شمالی و ۳۹۴۰۰۲۱ شرقی قرار دارد. در محل چاه آب ، یک پمپ به توان ۱۱ کیلو وات (۱۵ اسب بخار) نصب شده است. لوله مکنده پمپ در عمق ۲۸ متری چاه نصب شده است. این پمپ ، آب مورد نیاز برای آبیاری فضای سبز و گلخانه های کانون آموزش گل و گیاه را تامین می نماید. در فصول گرم سال، روزانه حداکثر ۷ تا ۸ هزارلیتر و در فصول خنک سال روزانه ۳ تا۴ هزار لیتر آب برای آبیاری مورد نیاز می باشد[۸]. خوشبختانه در کنار محل چاه آب مخزن بزرگی برای ذخیره آب با ظرفیت ۸ تا ۹ هزار لیتر قرار دارد که با توجه به سیستم لوله کشی کانون گل گیاه ، بسادگی امکان اتصال پمپ یاتوربین بادی آبکش به این سیستم وجود رد و می توان آب مورد نیاز کانون گل وگیاه را ذخیره سازی نمود.

ب- تئوری و روش محاسبه باد

با توجه به ماهیت تصادفی بودن وزش باد، با اندازه گیریهای طولانی در بازه های زمانی مختلف و برای مشخص نمودن فرکانس سرعتهای مختلف باد و رسم نمودار فرکانس سرعت باد[1]از توابع ویبل[2] وریلیف[3] استفاده می شود. لذا طبق آزمایشات صورت گرفته و با توجه به اینکه خطای منحنی ویبل نسبت به مقادیر حقیقی فرکانس سرعت باد کمتر از منحنی ریلیف است[۱۷] ، به اصول بکار رفته جهت رسم منحنی فرکانس سرعت باد ومحاسبه تابع چگالی احتمال سرعت باد ویبل[4] می پردازیم. شکل عمومی تابع احتمال ویبل بصورت زیر می باشد[۱۸].

$$f(V) = \frac{k}{c}\left(\frac{V}{c}\right)^{k-1} e^{-\left(\frac{V}{c}\right)^{k}} \qquad (\mathbf{k}>0,\ \mathbf{v}>0,\ \mathbf{c}>1)$$

رابطه ۱

در رابطه فوق V سرعت باد، c و k به ترتیب پارامترهای مقیاس[5] و شکل[6] هستند. با توجه به تعریف تابع چگالی احتمال سرعت باد، سرعت متوسط باد عبارت است از :

رابطه ۲

$$\bar{V} = \int_0^{\infty} v f(v)\, dv$$

با توجه به رابطه ۱ و ۲ ، سرعت متوسط باد عبارت است از :

---

1 Wind Speed Frequency Curve
2 Weibull
3 Rayleiph
4 Weibull Density Function
5 Scale Parameter
6 Shape Parameter

رابطه۳

$$\bar{V} = \int_0^{\infty} \frac{vk}{c}\left(\frac{v}{c}\right)^{k-1} e^{-\left(\frac{v}{c}\right)^k} dv$$

که رابطه ۳ دقیقا مانند تابع گاما [1] می باشد . تابع عمومی گاما به شکل زیر تعریف می شود[۱۹]:

رابطه ۴

$$\Gamma(y) = \int_0^{\infty} e^{-x} x^{y-1} dx$$

با توجه به روابط فوق سرعت متوسط باد به شکل زیر به دست می آید :

$$\bar{V} = C\Gamma\left(1+\frac{1}{k}\right)$$

رابطه۵

مزیت رابطه ۵ این است که با دانستن سرعت متوسط و یکی از پارامتر های k و c می توان دیگری را بـ ست آورد. در اکثر سایت های مناسب برای نصب توربین های بادی اندازه عددی k بین ۱/۵ تا ۳ است[۱۹].

محاسبه c با توجه به محاسبه k و تابع گاما امکانپذیر می باشد. در صورتی که k در فاصله ۱ تا ۱۰ تغییر کند، مقدار داخل پرانتز از رابطه ۵ تقریبا بین ۱ و ۲ تغییر می کند. مقدار عددی تابع گاما در حد فاصل ۱ و ۲ نیز در کتابهای مرجع ریاضیات موجود می باشد. از طرفی توان تولید شده توسط انرژی باد با توان سوم سرعت باد ،سطح جاروب شده پره توربین (A) و همچنین چگالی هوای منطقه(ρ) به معادله زیر ارتباط دارد. لذا هر چه قطر پره های توربین بیشتر باشد،مساحت جاروب شده توسط توربین نیز بیشتر و توان تولیدی توربین افزایش می یابد.

رابطه ۶

$$P(V) = \frac{1}{2}\rho A V^3$$

البته در صورتی که معادله ۶ برای محاسبه توان تولیدی یک توربین بکار رود ، باید حاصل در ضریب کارائی[2] توربین نیز ضرب شود. چگالی توان[3] باد یک سایت بر اساس توزیع ویبل به صورت زیر محاسبه می شود:

رابطه ۷

$$\frac{P}{A} = \frac{1}{2}\rho \int_0^{\infty} u^3 f(V) dV$$

در یک توربین ایده آل رتور در سرعت V_i آغاز (Cut-in) شروع به چرخش نموده و انرژی تولیدی تا سرعت نامی V_R افزایش پیدا کرده و پس از آن انرژی تولیدی تا سرعت V_O توقف (Cut-off) ثابت می ماند. در سرعتهای بالاتر از V_O برای جلوگیری ازصدمات وارده واحتمال خرابی، توربین متوقف می شود. نهایتا انرژی تولیدی توربین در بازه زمانی T عبارت است از:

رابطه ۸

$$E_{TW} = T\int_{V_I}^{V_R} P(V) f(V) dV + T\int_{V_R}^{V_O} P_R f(V) dV$$

P_R توان نامی ثابت در سرعت نامی V_R است. P را در رابطه بالا با معادله ۶ و $f(V)$ را با معادله۱ جایگزین می کنیم:

رابطه ۹

$$E_{TW} = \frac{\rho}{2} TA \left(\int_{V_R}^{V_o} V^3 \frac{k}{c}\left(\frac{V}{c}\right)^{k-1} e^{-\left(\frac{V}{c}\right)^k} dV + V_R^3 \int_{V_R}^{V_o} \frac{k}{c}\left(\frac{V}{c}\right)^{k-1} e^{-\left(\frac{V}{c}\right)^k} dV \right)$$

انتگرال رابطه ۹را به روش تحلیلی نمی توان حل نمود و باید از روشهای عددی استفاده نمود[۴] و برای محاسبه انرژی واقعی تولیدی توربین ، باید راندمان آنرا در رابطه بالا لحاظ کرد. برای حل معادلات فوق و محاسبه انرژی قابل حصول در منطقه مورد

1 Gamma Function
2 Efficiency
3 Wind Power Density

نظر با استفاده از داده های هواشناسی در دسترس از نرم افزار WindPro از کمپانی EMD [1] که دارای بالاترین اعتبار بین المللی جهت پتانسیل سنجی انرژی باد و جانمایی توربین های بادی می باشد، استفاده شده است.
در این تحقیق روش و مراحل کار برای ارزیابی احداث توربین بادی آبکش جهت آبیاری مزارع وباغات کشاورزی بترتیب زیر می باشد:

۱- تعیین عمق آب زیرزمینی در محل مورد مط عه ۲- انتخاب نقطه مناسب با استفاده از GPS [2] و نرم افزار MapSource

۳ - بررسی و رسم گلباد۳ و متوسط سرعت باد در محدوده شهر تهران (منطقه مورد مطالعه) ۴-انتخاب نوع توربین بادی آبکش مناسب

۵-محاسبه دانسیته توان باد۴وانرژی تولیدی توسط توربین بادی انتخابی با شبیه سازی رایانه ای واستفاده از نرم افزار Windpro

۶-انجام ارزیابی اقتصادی توربین بادی آبکش(گزینه۱)درمقایسه با پمپ برقی (گزینه۲)در منطقه مورد نظر به کمک تکنیک اقتصاد مهندسی، روش حداقل کردن هزینه[5]یا قیمت تمام شده[6] با توجه به محاسبه ارزش حال هزینه[7] (PVC) های دوگزینه مذکور.

باتوجه به اینکه فواید دو گزینه فوق یکسان فرض شده است لذا فقط هزینه های تمام شده هر یک ازگزینه ها درطول عمر مفیدآنها(پس از برابر نمودن عمرآنها) محاسبه و با یکدیگر مقایسه می شوند [۵]. در این خصوص بمنظورمحاسبات آماری و برآورد ارزش حال هزینه های دو گزینه موردنظر برمبنای قیمت های سال پایه ۱۳۸۶ از فرمول ها وروابط زیر استفاده می نمایم [۵]:

$$PVC = C_i(1+r)^n$$

رابطه ۱۰

$$PVC = \sum_{i=1}^{n} C_i \left[\frac{(1+r)^n - 1}{r(1+r)^n} \right]$$

رابطه ۱۱

در روابط فوق PVC: مجموع ارزش حال هزینه ها ، C_iهزینه سالیانه پرداختی، r: نرخ تنزیل و n : طول عمر پروژ می باشد. ازرابطه۱۰ برای محاسبه ارزش حال یک مبلغ (هزینه) تک (انفرادی) پرداختی درگذشته ، واز رابطه ۱۱ نیز برای محاسبه وتبدیل ارزش حال مبالغ هزینه های یکنواخت پرداختی طی دوره آینده(از ابتدا تا پایان عمر طرح) باتوجه به نرخ تنزیل معین استفاده می شود.

نتایج و بحث

الف- تعیین عمق آب زیرزمینی در محل مورد مطالعه

با مطالعه نقشه های هم عمق[8] شهر تهران[۳] توسط مولف، به منظورشناسایی مناطق مستعد برای احداث توربین بادی آبکش نتایج زیرحاصل گردید : ۱- هر چه به سمت شرق شهر تهران حرکت می کنیم سطح آب زیر زمینی بالاتر می آید.

۲ - در مناطق جنوبی شهر تهران سطح آب بالاتر از مناطق مرکزی و شمالی می باشد .

همچنین پس از خروج از محدوده شهر تهران و ورود به مناطق جنوبی تر ، مجددا سطح آب پایین می رود به نحوی که عمق آب در منطقه رباط کریم ، مشابه مناطق مرکزی شهر تهران می باشد[۳]. با توجه به موارد دو گانه فوق ، بالاترین سطح آب تهران در مناطق جنوب شرقی تهران می باشد، به نحوی که اگر در روی نقشه تواما به سمت مناطق جنوبی و شرقی حرکت

1 www.emd.dk
2 Global Position System
3 Windrose
4 Wind Power Density
5 Cost minimization
6 Cost Price Methode
7 Present value Cost
8 equipotential

کنم ، سطح آب مرتبا بالا می آید . و در محدوده نقاط ۵۵۰۰۰۰ شمالی و ۳۹۳۰۰۰۰ شرقی (مختصات UTM[1]) واقع در جنوب شرق استان تهران و جنوب منطقه قاسم آباد، آب به نزدیک سطح زمین می رسد،بطوریکه طبق نقشه سازمان آب منطقه ای تهران سطح آب زیرزمینی در جنوب اتوبان بعثت و محدوده خیابان جوانمرد قصاب حدود ۲۰ متر می باشد[۳]. محاسبات و اندازه گیریهای انجام شده نشان می دهد که عمق آب در محدوده منطقه۲۰ تهران با نقشه های سازمان آب مطابقت داردو سطح آب چاه مورد نظر(که توربین بادی آبکش باید برروی آن نصب می شد) در عمق ۱۹ متری به آب رسیده است[۱۱].

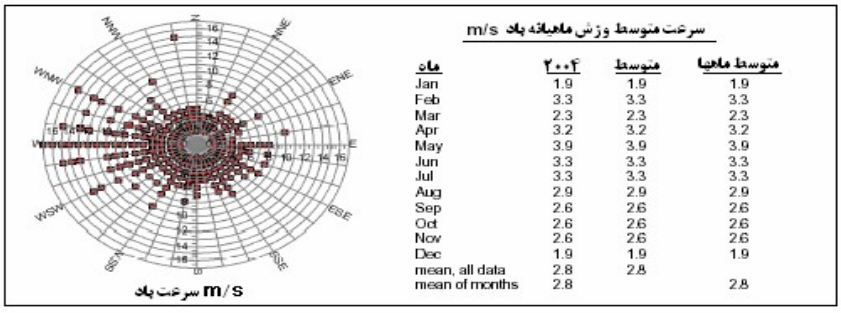
ب- انتخاب نقطه مناسب با استفاده از GPS [2] و نرم افزار MapSource

به منظور انتخاب محل موردنظر، اطلاعات تمامی نقاط با استفاده ازGPS گارمین[3] توسط مولف ثبت و بر روی نرم افزار Map source پیاده سازی شد. اولویت بسیار مهم در انتخاب یک سایت بادی ، نداشتن مانع در جهت وزش باد می باشد. بهمین جهت اولویت اصلی در این مرحله پیدا کردن نقطه ای بود که در سمت غرب و شمال غرب مانع مهم شهری نداشته باشد. البته بر اساس نمودارهای گلباد استخراج شده توسط مولف (نمودارهای ۱و۲) ، سمت شمال فاقد باد های غالب و قدرتمند می باشد. نکته مهم، بررسی وضعیت بخش غربی و شمال غربی چاه آب می باشد، زیرا در بخش غربی و به فاصله ۱۲ متری از چاه آب، فضای انبوه درختکاری شده وجود دارد و عمق این فضای درختکاری شده حدود ۵۰ متر می باشد. پس از عبور از این فضای سبز ، تا ۱ کیلومتر بعد از آن به سمت غرب و شمال غرب ، فضای باز و آزاد وجود دارد که مزیت مهم و قابل توجهی می باشد. با توجه به ارتفاع در ختان منطقه ارتفاع برج توربین باید به اندازه کافی بلند باشد تا اثرات اغتشاش ناشی از درختان را جبران نماید.

ج- استخراج گلباد و متوسط سرعت باد در منطقه مورد مطالعه

برای انتخاب یک توربین بادی دانستن رژیم باد منطقه لازم و ضروری است.. برای این منظور اطلاعات یک ساله فرودگاه ای مهر آباد و امام خمینی از سازمان هواشناسی کشور در یافت گردید. درمورد فرودگاههای مهر آباد و امام خمینی مجموعا ۵۳۷۶ مورد اطلاعات مربوط به سرعت و جهت باد متعلق به سال ۲۰۰۴ میلادی که در بازه های زمانی هر ۳ ساعت یکبار ثبت شده بود از سازمان هواشناسی دریافت و امکان آنالیز همزمان اطلاعات دریافتی میسر گردید. با پردازش اطلاعات دریافتی از ایستگاههای هواشناسی فرودگاههای مهر آباد و امام خمینی درقالب نرم افزار Windpro نمودارهای ۱،۲و۳ درخصوص سرعت های باد استخراج گردید.

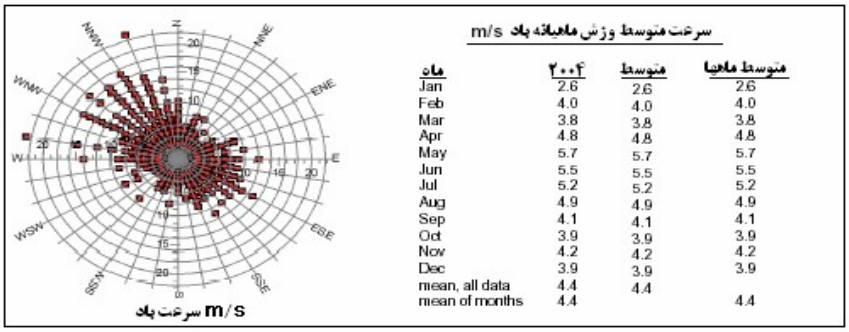
نمودار ۱ پراکندگی سرعت و جهت باد (گلباد) و سرعت متوسط در سال ۲۰۰۴ را نشان می دهد. همانگونه که از این نم دار مشخص است وزش بادهای مناسب از سمت غرب و ناچیز بودن جریانات موثر از دیگر سمت ها بیانگرشدت بادهای غربی– شرقی تهران می باشد. بادهای مناسب غربی– شرقی پس از عبوراز مناطق شهری تهران و به دلیل زبری بالای زمین ، کاهش می یابد. به همین دلیل توربین های بادی در سمت غرب تهران کارائی مناسب تری دارند.سرعت متوسط سالیانه ایستگاه فرودگاه مهر آباد تهران ۲/۸ متر بر ثانیه است..



نمودار ۱- فرکانس سرعت و سرعت متوسط ماهیانه باد فرودگاه مهرآباد تهران – سال ۲۰۰۴ میلادی ماخذ: یافته های تحقیق

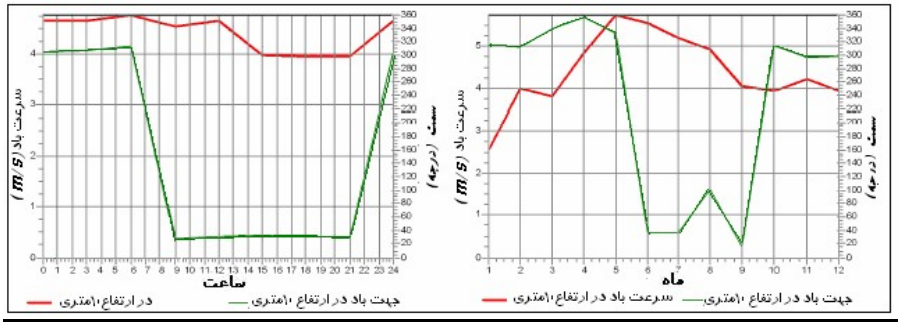
1 Universal Transverse Mercator.
2 Global Position System
3 Garmin

نمودار ۲ گلبد و سرعت متوسط باد در جنوب شهر تهران و در منطقه فرودگاه امام خمینی را نشان می دهد. نزدیکترین فاصله هوایی فرودگاه امام به منطقه جنوب غرب تهران حدود ۲۸ کیلومتر می باشد. رژیم باد منطقه جنوب غرب تهران تقریبا مشابه رژیم باد فرودگاه امام می باشد. نمودار۲ غالب بودن وزش بادهای شمال غرب و جنوب شرقی در این منطقه را نشان می دهد. سرعت متوسط سالیانه وزش باد در این منطقه و در سال ۲۰۰۴ میزان ۴/۴ متر بر ثانیه بوده که ۵۷ درصد بیش از متوسط وزش باد سالیانه در فرودگاه مهر آباد ست.



نمودار۲ - فرکانس سرعت و سرعت متوسط ماهیانه باد فرودگاه امام خم نی–سال ۲۰۰۴ میلادی ماخذ: یافته های تحقیق

با توجه به نتایج حاصله، وزش متوسط باد ۴/۴ متر بر ثانیه در منطقه جنوب تهران ، نشان دهنده پتانسیل مناسب باد این منطقه می باشد. نمودار ۳ وزش باد در ساعتهای مختلف روز و ماههای مختلف سال را در فرودگاه امام خمینی نشان می دهد. همان گونه که از این نمودار مشخص است ، سرعت متوسط باد در ماههای بهار و تابستان شدت بیشتری دارد . همچنین در گرم ترین ساعات روز که نیاز فضای سبز به آب نیز افزایش می یابد، بیشترین وزش باد وجود دارد.



نمودار۳ - وزش باد در ساعات مختلف روز و ماههای مختلف سال در فرودگاه امام خمینی تهران، سال ۲۰۰۴ میلادی
ماخذ: یافته های تحقیق

د-انتخاب توربین بادی آبکش مناسب برای کانون گل و گیاه

مبنای انتخاب توربین بادی آبکش، تامین حداقل ۸۰۰۰ لیتر آب در روز برای رفع نیاز گلخانه ها و فضای سبز کانون گل و گیاه در حادترین شرایط می باشد و بعنوان یکی از اولویت های اصلی این تحقیق مورد توجه قرار گرفته است. بر اساس اطلاعات فوق و با توجه به اطلاعات باد منطقه ، انتخاب توربین بادی مناسب که توان آبکشی از عمق چاه انتخابی را داشته باشد بر اساس مفروضات زیر صورت پذیرفته است :

- ✓ متوسط سرعت باد منطقه در محدوده تولید توان توربین باشد.
- ✓ توان آبکشی حداقل ۸۰۰۰ لیتر آب در روز را از عمق ۲۳ تا ۲۸ متری را داشته باشد.
- ✓ امکان نصب آسان و سریع در محل را داشته باشدونیاز به تعمیر و نگهداری نداشته یا هزینه آن بسیار ناچیز باشد.

با توجه به مفروضات فوق و از میان چندین استعلام صورت گرفته از شرکتهای مختلف توربین سازی با کیفیت بالا، نهایتا توربین پنج پره Airlift که

دارای شرایط مناسب منطقه بود انتخاب گردید. این توربین از محصولات شرکت Airlift Technologie [1] [۲۰] و ساخت کشور امریکا است. یک کمپرسور خاص ۴ سیلندر که متصل به پره توربین است ، امکان فعالیت مفید در چرخش های ناچیز پره های توربین مهیا ساخته و آبکشی توسط آن در بادهای حدود ۲ متر بر ثانیه را نیز فراهم می نماید. برخی از مشخصات ظاهری و فنی مهم این نوع توربین عبارت است از

۱- وزن کل ۱۵۱ کیلو گرم ۲ - قطر پره حدود ۳ متر۳- خروجی پمپ ۳/۳ اینچ می باشد۴-حداکثر ارتفاع آبکشی از عمق ۹۰ متری

۵- سرعت شروع حرکت توربین ۱/۷ تا ۲/۳ متر برثانیه۶- پره ها ساخته شده از آلومینیم با عملیات حرارتی ۷-کمپرسور از جنس چدن و از نوع با سرعت پائین ۸- شیب مناسب وسبکی پره ها امکان حرکت در سرعتهای پائین را می دهد ۹-سکان انتهای توربین امکان چرخش به سمت باد حداکثر را فراهم می نماید ۱۰-شامل یک کمپرسور۴ سیلندر با قدرت ۱۰ یا ۱۵ **(cubic feet per minute) C.F.M**

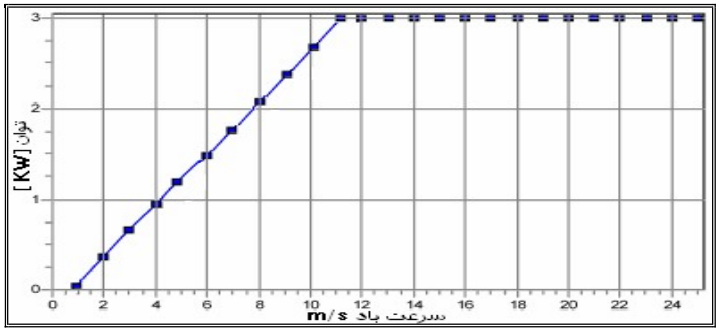
ه- منحنی و دانسیته توان باد و انرژی سالانه تولیدی از توربین انتخابی در منطقه

یکی از مهمترین شاخص های ارزیابی یک توربین بادی منحنی توان آن در بادهای مختلف می باشد. همانطور که در مبحث پیشتر رابطه ۶ برای محاسبه توان توربین حاصل گردید،علاوه براین رابطه می توان از رابطه زیر نیز که بیشتر برای محاسبه توان توربین های بادی آبکش کارائی دارد استفاده نمود[۲۱].

$$P = 0.0109 D^2 V^3 \eta$$ رابطه۱۲

دراین رابطه D قطر پره توربین برحسب متر ، V سرعت باد برحسب کیلومتر بر ساعت و η بازده توربین می باشد.

با توجه به داده های آماری مربوط به توان آبکشی این توربین و منتقل کردن این داده ها به نرم افزار ، منحنی توان توربین بادی آبکش انتخابی در سرعت های مختلف باد بشرح نمودار ۴رسم گردیده ست.



نمودار۴- منحنی توان توربین بادی آبکش انتخابی ماخذ: یافته های تحقیق

در نمودار ۴ ملاحظه می شودکه این توربین از سرعتهای باد کمتر از ۲ متر شروع به تولید انرژی نموده و در سرعتهای۴ تا ۶ متر بر ثانیه توانی حدود ۱ کیلو وات را تولید می نماید. همچنین حداکثر توان تولیدی توربین ۳ کیلو وات می باشد. با توجه به اطلاعات مبحث قبل در خصوص داده های سرعت و جهت باد در ایستگاههای هواشناسی فرودگاههای مهر آباد و امام خمینی و با توجه به مشخصات نقطه انتخابی، اقدام به شبیه سازی رایانه ای جریان باد در منطقه مورد نظرشد. این شبیه سازی با وارد نمودن تمامی اطلاعات سمت و سرعت باد در ایستگاههای مهر آباد و امام خمینی ، لحاظ نمودن زبری زمین و فواصل آنها با نقطه انتخابی و نقشه رقومی محل در مقیاس مناسب و استفاده از نرم افزار امکانپذیر گردید. در ابتدا با استفاده از نقشه های ماهواره ای سایت GoogleEearth [2] اقدام به رقومی کردن[3] تصویر برداشته شده در نرم افزار Windpro شد. به دلیل نیاز نرم افزار شبیه ساز به نقشه رقومی شده ، این کار توسط مولف با بالاترین کیفیت و صرف زمان طولانی انجام پذیرفت. با توجه به فاصله ایستگاههای هواشناسی مهر آباد و امام خمینی از منطقه مورد نظر ، اقدام به جابجایی مجازی ایستگاهها به نزدیکی منطقه مورد نظرشد.. برای واقعی تر شدن پتانسیل باد ، زبری زمین در اطراف نقطه

1 http://www.airliftech.com/
2 www.googleearth.com
3 Digitize

انتخابی با توجه به استاندارد شرکت RISO [1] [۲] و با تقسیم کردن منطقه به ۱۶ قسمت[2] انجام پذیرفت.لذا طبق داده های هواشناسی فرودگاه مهر آباد تهران ، چگالی توان باد در منطقه با استفاده از نرم افزار، ۱۴۷ وات بر متر مربع و متوسط باد سالیانه آن در بالای دکل توربین، ۳/۷ متر بر ثانیه محاسبه شده است .(جدول ۱)

تحلیل سمت وزش باد Sector		0 N	1 NNE	2 ENE	3 E	4 ESE	5 SSE	6 S	7 SSW	8 WSW	9 W	10 WNW	11 NNW	Total
Roughness based energy	[MWh]	0.2	0.1	0.2	0.2	0.5	0.5	0.4	0.3	0.7	2.1	0.6	0.2	5.9
Resulting energy	**[MWh]**	**0.2**	**0.1**	**0.2**	**0.2**	**0.5**	**0.5**	**0.4**	**0.3**	**0.7**	**2.1**	**0.6**	**0.2**	**5.9**
Specific energy	[kWh/m2]													834
Specific energy	[kWh/kW]													1,966
Directional Distribution	[%]	2.6	1.6	2.8	3.7	8.6	8.8	5.9	5.5	11.6	35.1	9.7	4.2	100.0
Utilization	[%]	87.0	128.2	143.4	109.9	118.9	116.5	133.3	120.0	76.1	40.9	56.0	110.8	64.3
Full Load Equivalent	[Hours/year]	50	31	55	72	168	173	117	109	227	691	190	83	1,966
Mean wind speed	[m/s]	0.5	4.1	4.3	4.4	4.9	5.1	4.6	4.7	5.8	7.6	5.8	4.4	3.7
Power density	[W/m2]													147

جدول ۱ - محاسبه چگالی توان باد غرب تهران با توجه به اطلاعات هواشناسی فرودگاه مهر آباد ماخذ: یافته های تحقیق

همچنین مقدار انرژی تولیدی سالانه حاصل از توربین بادی انتخابی با داده های ایستگاه مهر آباد ، ۵/۹ مگا وات ساعت محاسبه شد. این مقدار انرژی با شبیه سازی باد ۱ ساله فرودگاه مهرآباد و با لحاظ نمودن زبری منطقه انتخابی حاصل گردید. با توجه به جدول ۱ که یکی از خروجی های نرم افرار می باشد و به دلیل اینکه چگالی توان ۱۴۷ وات بر متر مربع به دست آمده است ، پتانسیل باد فرودگاه مهر آباد در کلاس ۱ قرار می گیرد. بر اساس استاندارد دپارتمان انرژی آمریکا [3]مناطقی که در کلاس۱ قرار می گیرند، توربین های بادی برای تولید برق کارایی لازم را ندارند. در این کلاس می توان از توربین های بادی آبکش سبک که در سرعت های پائین شروع به حرکت می نمایند، استفاده نمود.

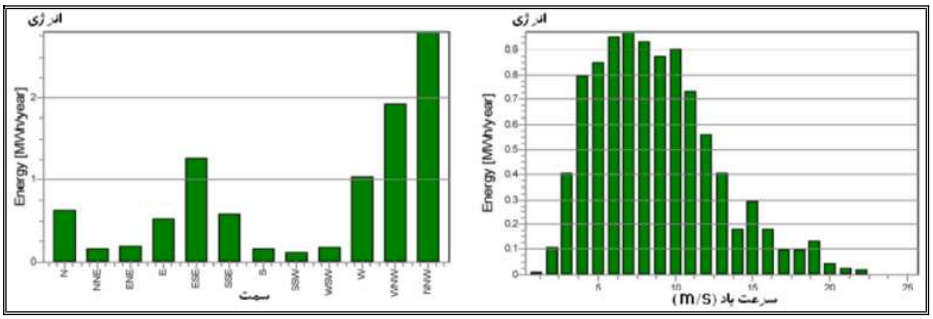
همچنین به منظور بدست آوردن توان باد فرودگاه امام خمینی ، داده های هواشناسی این فرودگاه را در نرم افزار وارد نموده و زبری منطقه را بااستفاده از استاندارد شرکت RISO لحاظ نمودیم. خروجی های نرم افزار ناشی از شبیه سازی رایانه ای اطلاعات هواشناسی فرودگاه امام خمینی نشان دهنده توان بالاتر آن نسبت به فرودگاه مهرآباد تهران است(جدول۲).

تحلیل سمت وزش باد Sector		0 N	1 NNE	2 ENE	3 E	4 ESE	5 SSE	6 S	7 SSW	8 WSW	9 W	10 WNW	11 NNW	Total
Roughness based energy	[MWh]	0.6	0.2	0.2	0.5	1.3	0.6	0.2	0.1	0.2	1.0	1.9	2.8	9.5
Resulting energy	**[MWh]**	**0.6**	**0.2**	**0.2**	**0.5**	**1.3**	**0.6**	**0.2**	**0.1**	**0.2**	**1.0**	**1.9**	**2.8**	**9.5**
Specific energy	[kWh/m2]													1,350
Specific energy	[kWh/kW]													3,182
Directional Distribution	[%]	6.6	1.7	1.9	5.4	13.2	6.1	1.7	1.2	1.7	10.8	20.3	29.4	100.0
Utilization	[%]	52.2	133.0	94.0	78.9	76.4	86.8	117.0	108.8	87.6	58.3	45.2	34.4	49.9
Full Load Equivalent	[Hours/year]	210	53	60	173	420	194	54	38	54	344	645	936	3,182
Mean wind speed	[m/s]	2.6	4.1	4.5	5.3	5.7	5.3	4.0	4.1	4.7	5.3	6.8	8.3	5.6
Power density	[W/m2]													298

جدول۲- محاسبه چگالی توان باد غرب تهران با توجه به اطلاعات هواشناسی فرودگاه امام خم نی ماخذ: یافته های تحقیق

جدول۲چگالی توان باد حاصل از اطلاعات هواشناسی ایستگاه فرودگاه امام را نشان می دهد. انرژی سالانه تولیدی ۹/۵ مگاوات ساعت می باشد که این رقم۶۰ درصد بیش از انرژی تولیدی حاصل از باد غرب تهران می باشد.این مطلب به خوبی روشن می سازد که هر چه به مناطق جنوبی تهران نزدیک شویم پتانسیل انرژی باد افزایش یافته و اگر این حرکت تواما به سمت جنوب و غرب باشد، بیشترین انرژی حاصل از باد بدست می آید. نمودار۵ انرژی تولیدی سالانه توربین بادی آبکش در شبیه سازی وزش باد فرودگاه امام را نشان می دهد. بیشترین انرژی تولیدی از سمت شمال غرب حاصل می شود. همچنین انرژی تولیدی بیشتر بر اثر وزش بادهای ۴ تا ۱۱ متر بر ثانیه حاصل می شود که نشان دهنده پتانسیل مناسب باد در منطقه مورد نظر است. نکته قابل توجه این است که کانون آموزش گل و گیاه شهرداری تهران با قرار گرفتن در دشت جنوبی تهران و عدم وجود موانع طبیعی و مصنوعی بزرگ ، رژیم بادی آن بیشترشبیه رژیم باد فرودگاه امام خمینی است.

1 www.Emd.dk
2 Sector
3 US Depatment of Enery



نمودار۵ – انرژی سالانه توربین بادی آبکش حاصل از اطلاعات ایستگاه فرودگاه امام خمینی ماخذ: یافته های تحقیق

ز- ضریب ظرفیت[1] توربین بادی آبکش و میزان آبکشی از چاه آب کانون گل و گیاه

وجود ضریب ظرفیت بالا برای توربین های بادی یکی از فاکتورهای اصلی اقتصادی بودن آنهاست. در یک نیروگاه بادی ضریب ظرفیت می تواند تابع عوامل مختلفی باشد که یکی از مهمترین آنها ، متفاوت بودن منحنی توان توربین با سرعت های باد منطقه است. یک نیروگاه بادی در شرایط مطلوب و عالی دارای ضریب ظرفیت حدود ۴۰ درصد می باشد. هر چه ارتفاع افزایش یابد ، اثرات منفی مربوط به زبری زمین کاهش می یابد. از طرفی در ارتفاع بالاتر سرعت باد افزایش می یابد. شرکتهای سازنده توربین ، اغلب دکل های توربین را در ارتفاع های مختلف عرضه می نمایند. ارزانی و سادگی نصب این دکل ها موجب تمایل روز افزون به استفاده از دکل های با ارتفاع بالاتر شده است.با توجه به زبری زمین حاصل از فضای سبز درختکاری شده در سمت غرب و شمال غرب توربین ، مشخصات دکل به ارتفاع ۵۰ متر را در نرم افزار قرار دادیم . فاکتور ظرفیت توربین بادی آبکش در نقطه انتخابی ۲۲/۴ درصد برای فرودگاه مهرآباد و ۳۶/۳ درصد برای فرودگاه امام خمینی بدست آمده است.

محاسبه فاکتور ظرفیت و انرژی سالیانه تولیدی

WTG type Valid	Manufact.	Type	Power [kW]	Diam. [m]	Height [m]	Creator	Name	Result [MWh]	Result-10% [MWh]	Mean wind speed [m/s]	Capacity factor [%]
No	Azad University	WTG1	3	3.0	50.0	USER	AZAD	5.9	5	3.7	22.4

جدول ۳ ضریب ظرفیت و انرژی سالیانه تولیدی توربین بادی بر اساس اطلاعات ایستگاه فرودگاه مهر آباد ماخذ: یافته های تحقیق

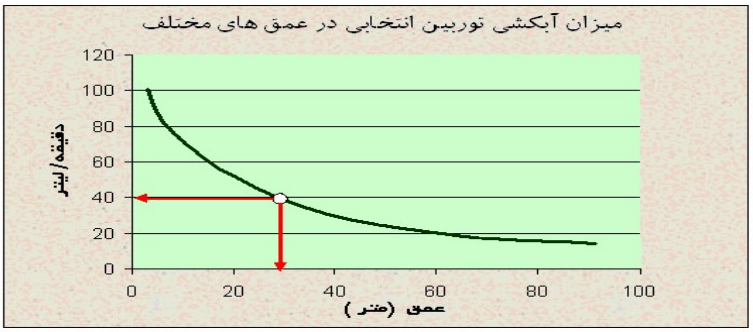
محاسبه فاکتور ظرفیت و انرژی سالیانه تولیدی

WTG type Valid	Manufact.	Type	Power [kW]	Diam. [m]	Height [m]	Creator	Name	Result [MWh]	Result-10% [MWh]	Mean wind speed [m/s]	Capacity factor [%]
No	Azad University	WTG1	3	3.0	50.0	USER	AZAD	9.5	9	5.6	36.3

جدول ۴ ضریب ظرفیت و انرژی سالیانه تولیدی توربین بادی بر اساس اطلاعات ایستگاه فرودگاه امام خمینی ماخذ: یافته های تحقیق

بسیار واضح است که انرژی تولیدی و فاکتور ظرفیت توربین بادی آبکش در منطقه بین اعداد مندرج در جداول فوق است و به دلیل شباهت جغرافیایی منطقه موردمطالعه ، نزدیکی بیشتری با اطلاعات ایستگاه فرودگاه امام دارد. برای اینکه محاسبات در بدترین شرایط صورت پذیرد ، عدد مربوط به توربین را میانگین دوعدد فوق در نظر می گیریم. در این صورت ضریب ظرفیت ۲۹/۳۵ درصد ، انرژی سالانه تولیدی ۷/۷ مگاوات ساعت و همچنین متوسط وزش سالیانه باد ۴/۶۵ متر بر ثانیه برای توربین انتخابی تعیین شد. همانگونه که پیشتر گفته شد، چاه آب منطقه درعمق ۱۹ متری سطح زمین به آب می رسد. از آنجایی که آب باید در مخزن ذخیره شود ، آب تا ارتفاع ۳ متری از سطح زمین بالا آمده و از آنجا به مخزن منتقل می شود. با توجه به نکات فوق، آب باید تا ارتفاع ۲۸ متریپمپاژ شود. نمودار۶ مشخصات فنی توربین بادی انتخابی است که توسط شرکت سازنده ارائه شده و میزان آبکشی توربین در عمق های مختلف را نشان می دهد. این نمودار بصورت تجربی و بر اساس اطلاعات شرکت سازنده در بادهای ۴ تا ۵ متر بر ثانیه بدست آمده است.

1 Capacity Factor



نمودار ۶- میزان آب دهی توربین انتخابی در باد ۴ تا ۵ متر بر ثانیه ماخذ : www.airlift.com

با توجه به اینکه متوسط سرعت باد در کانون گل و گیاه ۴/۶۵ متر بر ثانیه در ارتفاع چرخش پره ها بدست آمده است ، بنابراین نمودار فوق مرجع مناسبی برای محاسبات نهایی پروژه می باشد. دایره سفید در حد فاصله وسط منحنی، نقطه اصلی کار توربین در باد منطقه می باشد. همانگونه که مشخص است در عمق ۳۰ متری به طور تقریبی در هر دقیقه ۳۸ لیتر آب به مخزن منتقل می شود. میزان آبدهی روزانه با توجه به ضریب ظرفیت ۲۹/۳۵ درصد عبارت است از:

رابطه۱۳

$$V = \frac{40}{\text{minute}} * 60 \text{minute}/\text{hour} * 24 hour/Day * \frac{29/35}{100} \Rightarrow V = 16905 \frac{liter}{Day}$$

باتوجه به محاسبات انجام شده فوق توربین بادی آبکش انتخابی قادر است که روزانه حداقل ۱۶۹۰۵ لیتر آب تا ارتفاع ۳۰ متری استخراج نماید که این میزان آب ، نزدیک به ۲ برابر نیاز فضای سبز منطقه و کانون پرورش گل و گیاه شهر داری منطقه ۲۰ تهران می باشد.

ح- انجام ارزیابی اقتصادی توربین بادی آبکش(گزینه۱) درمقایسه با پمپ برقی آبکش (گزینه۲)

طبق بررسی های بعمل آمده توسط مولف همانطور که در مباحث قبل نیز اشاره شد منافع حاصل از دو گزینه مذکوریکسان فرض شده[۸] ، علاوه برآن ارزش اسقاط دستگاهها وقطعات هردو تکنولوژی پس ازسپری شدن عمر مفید (۲۰سال) بدلیل مستهلک شدن از رده خارج شدن و عدم کارایی از نظرثبت در دفاتر، بویژه در موسسات دولتی بسیار ناچیز و در حد صفرمنظور می شود. در اینگونه موارد فقط هزینه های تمام شده هر یک ازگزینه ها درطول عمر مفیدآنها(پس از برابر نمودن عمرآنها) محاسبه و با یکدیگر مقایسه می شوند[۶].

ردیف	شرح هزینه های توربین بادی آبکش انتخابی (گزینه ۱)	مبالغ(دلار آمریکا)	معادل ریالی* (هزار ریال)
۱	هزینه‌های پره ،کمپرسور ، تجهیزات متعلقه و یک کمپرسور اضافی بعنوان یدک	۵۰۹۵	۴۷۱۲۹
۲	هزینه‌های ساخت (خرید) برج توربین	۲۰۰۰	۱۸۵۰۰
۳	هزینه لوله های آب و ملزومات متصل به توربین بادی	۷۹۵	۷۳۵۴
۴	هزینه حمل ونقل ونصب توربین(تقریبا معادل ۱۷درصد جمع هزینه های ردیف ۱تا۳)	۱۳۵۰	۱۲۴۸۷
۵	هزینه تعویض روغن وسرویس سالیانه توربین	۵۰	۴۶۲

جدول ۵ - شرح هزینه های توربین بادی آبکش انتخابی ماخذ: شرکت Airlift، سال۲۰۰۷ *هر دلار معادل ۹۲۵۰ ریال فرض شده است

یکی از مزایای عمده توربین های بادی ، هزینه های تعمیر و نگهداری ناچیز آن می باشد. هم اکنون توربین های بادی آبکش فراوانی در دنیا حتی با عمری بیش از ۳۰ سال و بدون نیاز به تعمیر و نگهداری مشغول به کار می باشند[۷]. بر اساس مستندات شرکت مربوطه ، این توربین دارای عمر مفید حداقل ۲۰ سال می باشد. ، بنابراین در هنگام خرید توربین، یک کمپرسور اضافی بعنوان یدک خریداری و بهای آن در هزینه های اولیه لحاظ شده است که در پایان ۱۰ سال می توان آنرا تعویض نمود. (جدول ۵) همچنین اطلاعات مربوط به هزینه خرید ، تعمیر و نگهداری و همچنین هزینه الکتریسیته مصرفی پمپ برقی آبکش موجود در کانون گل و گیاه شهرداری منطقه ۲۰ بشرح جدول زیر می باشد.

ردیف	شرح هزینه های پمپ برقی آبکش (گزینه ۲)	مبالغ(هزار ریال)
۱	هزینه‌های خرید اولیه پمپ ونصب آن (هزینه های سرمایه گذاری اولیه)در سال ۱۳۷۷	۷۲۰۰
۲	هزینه‌های تعمیر ونگهداری سالیانه پمپ (طبق قرار داد شهرداری)	۹۰۰۰
۳	هزینه برق مصرفی سالیانه (براساس تعرفه سال ۱۳۸۴)	۳۶۰۰
۴	هزینه‌خرید وراه اندازی پمپ مشابه برای جایگزینی پمپ اول در پایان عمر مفید (طبق قیمت سال ۱۳۸۶)	۱۵۵۰۰

جدول ۶- شرح هزینه های پمپ برقی آبکش ماخذ: اداره فضای سبز شهرداری منطقه ۲۰ تهران و برق منطقه شهر ری ، سال۱۳۸۶

عمر مفید پمپ برقی با توجه به اطلاعات شرکتهای سازنده حدود ۱۰ سال بر آورد می شود. به همین منظوردر پایان۱۰ سال باید پمپ جدید خریداری و نصب گردد که هزینه های مربوطه ب ورد و درجدول۶ ارایه شده است.از انجایی که عمر مفید توربین بادی ۲۰ سال و عمر مفید پمپ برقی ۱۰ سال می باشد لذا برای یکسان سازی عمر دو گزینه و با استفاده از تکنیکهای ارزیابی طرحها، بایستی هزینه های پمپ برقی در پایان سال دهم مجددا برای ده سال آتی محاسبه وپس از تبدیل به ارزش حال به هزینه تمام شده آن اضافه گردد .

با توجه به جدول ۵ هزینه های سرمایه گذاری اولیه احداث توربین بادی آبکش ، جمع ردیف های ۱ تا ۴ (براساس قیمت های پایه۱۳۸۶) به مبلغ ۸۵/۴۷۰/۰۰۰ ریال می باشد. همچنین هزینه های تعویض روغن و سرویس سالیانه توربین بادی، طی ۲۰ سال آینده برآورد وبه ارزش حال تبدیل گردیده در این خصوص از رابطه ۱۱ که در مبحث مواد وروش ها فرمول مربوطه بهمراه توضیحات کامل ارایه شد،استفاده می نمائیم:

$$PVC = \sum_{i=1}^{n=20} 462500 \left[\frac{(1+0.14)^{20}-1}{0.14(1+0.14)^{20}}\right] = ۳/۰۶۳/۱۸۳ \text{ ریال}$$

در رابطه۱۱ بجای C_i هزینه سالیانه پرداختی معادل۴۶۲۵۰۰ ریال، بجای r نرخ تنزیل معادل ۱۴ درصد وبجای n عمر مفید پروژ معادل ۲۰ سال را قرار داده و نرخ تنزیل با توجه به استعلام مولف از بانک مرکزی که بطورمستند۱۴درصداعلام شده است، ملاک عمل قرار گرفته است[۹]. ارزش حال کل هزینه های تمام شده توربین آبکش بادی طی ۲۰ سال آینده برابر با ۸۸/۵۳۳/۱۸۳ = ۱PVC ریال می باشد.

حال با توجه به هزینه های ارائه شده در جدول ۶ مربوط به پمپ برقی که طی ۱۰سال گذشته پرداخت شده و بر آورد هزینه های سرمایه گذاری۱۰ سال آینده به کمک روابط ۱۰ و ۱۱ محاسبه و به ارزش حال تبدیل شد که نتایج این محاسبات بشرح زیر ارایه شده است:

۱- ارزش حال هزینه سرمایه گذاری اولیه(**خرید نصب و راه اندازی پمپ برقی اولیه در۱۰ سال گذشته**) ۲۶/۶۹۱/۸۴۰ ریال

۲- هزینه خرید،نصب وراه اندازی پمپ جدید در سال پایه (۱۳۸۶) ۱۵/۵۰۰/۰۰۰ ریال

۳- ارزش حال هزینه های برق مصرفی در ۱۰ سال گذشته و طی ۱۰ سال آینده ۵۴/۷۶۱/۷۶۰ ریال

۴- ارزش حال هزینه های تعمیر و نگهداری سالیانه پمپ طی ۱۰ سال گذشته و طی ۱۰ سال آینده ۱۳۶/۹۰۴/۴۰۰ ریال

با توجه به جمع جبری ردیف های ۱ تا ۴ ارزش حال هزینه تمام شده پمپ برقی آبکش معادل ۲۳۳/۸۵۸/۰۰۰=۲PVC ریال می باشد

ارزش حال هزینه های برق مصرفی پمپ ، طبق قبوض برق پرداختی شهرداری طی ده سال گذشته و طی ده سال آینده محاسبه شد وقیمت برق مصرفی به ازای هر کیلو وات ساعت ۱۹۸ ریال طبق تعرفه اعلام شده در ترازنامه انرژی سال ۱۳۸۴لحاظ گردید.

. گزینه۳: محاسبه هزینه تمام شده پمپ برقی آبکش موجود در کانون گل و گیاه با احتساب هزینه های اجتماعی[1]

در حال حاضر در بسیاری از کشور های جهان هزینه اجتماعی و زیست محیطی ناشی از تولید هر کیلو وات ساعت انرژی الکتریکی که از طریق نیروگاههای فسیلی حاصل می شود ، محاسبه گردیده و بعنوان یکی از هزینه ها درمحاسبه قیمت تمام شده تولید انرژی الکتریکی لحاظ می گردد. در همین راستا در ایالات متحده آمریکا بابت تولید هرکیلو وات ساعت برق که توسط نیروگاههای فسیلی تولید می شود ۱/۵ سنت بعنوان هزینه آلودگی محیط زیست تحت عنوان PTC [2] دریافت می گردد[۷].

1 Social Cost
2 Production Tax Credit

درکشورمانیز طبق مطالعات انجام شده توسط بانک جهانی و سازمان حفاظت محیط زیست ایران و همچنین بر اساس ظرائب [1] EPA آمریکا ، رقم آلودگی هزینه های زیست محیطی ناشی از تولید هر کیلو وات ساعت انرژی الکتریکی از منابع فسیلی که توسط نیروگاههای کشورصورت می گیرد، محاسبه و اعلام شده ست [۱] . بر همین اساس ،هزینه های اجتماعی انتشار گازهای گلخانه ای در بخش نیروگاهی کشور با توجه به میزان برق تولیدی در سال۱۳۸۴ به ازای تولید هر کیلو وات ساعت برق بترتیب برای انتشار آلاینده های(اکسیدهای نیتروژن)NOx ، (دی اکسیدگوگرد) SO2 و (دی اکسیدکربن) CO2 معادل ۴۹/۱۵ ، ۶/۳۷ و ۸۹/۵۸ ریال،مجموعا معادل ۱۴۵/۱ریال محاسبه شده است [۱]. بنا به تعریفی دیگر یعنی مصرف کنندگان برق کشور به ازای هرکیلووات ساعت برق مصرفی معادل ۱۴۵ریال به محیط زیست جامعه زیان وارد می کنند که برای رفع آلودگی اثرات آلاینده های مذکوربایستی این مبلغ پرداخت گردد. اگر چه نیروگاههای تولید برق وبخش های مصرف کننده الکتریسته هیچ توجهی به چنین هزینه های تحمیلی به اجتماع را ندارند ولی در ارزیابی های اقتصادی می توان با توجه به ملاحظات زیست محیطی این نوع هزینه ها را لحاظ نمود. هزینه زیست محیطی ناشی ازتولید برق گرچه توسط نیروگاههای فسیلی به اجتماع تحمیل می گردد ولی مصرف کنندگان برق درآن سهیم هستند، لذا دراین مطالعه، به ازای هرکیلو وات ساعت برق مصرفی توسط پمپ برقی مرکز گل و گیاه علاوه بر بهای برق، مبلغ ۱۴۵ ریال دیگر بابت ملاحظات زیست محیطی در هزینه های پمپ منظور شده و بعنوان گزینه ۳ مورد ارزیابی اقتصادی قرار گرفته است.

پمپ برقی مورد مطالعه جهت پمپاژآب طبق مشخصات فنی بطور متوسط ماهیانه معادل۱۵۰۰کیلو وات ساعت ودر سال حدو د ۱۸۰۰۰ کیلووات ساعت برق مصرف می نماید. اگر هزینه رفع آلودگی ناشی از تولید هر کیلووات ساعت برق را طبق استانداردمورد نظر در ترازنامه انرژی سال ۱۳۸۴معادل ۱۴۵ریال درمحاسبات اعمال نمائیم، هزینه رفع آلودگی (زیست محیطی) سالیانه آن بصورت زیرمحاسبه می شود:

هزینه رفع آلودگی (زیست محیطی) سالیانه پمپ برقی آبکش بخاطرمصرف برق ریال ۲۶۱۰۰۰۰= ۱۴۵ X۱۸۰۰۰

بنابراین ارزش حال هزینه های اجتماعی (زیست محیطی) حاصل از مصرف الکتریسیته طی ۱۰سال گذشته و ۱۰ سال آینده پمپ برقی آبکش معادل ۳۹/۷۰۲/۲۷۶ ریال بر آورد می گردد. لذا با افزودن این رقم به هزینه های پمپ، ارزش حال هزینه تمام شده پمپ برقی آبکش با احتساب هزینه های اجتماعی معادل ۲۷۳/۵۷۱/۹۱۰= ۳ PVC ریال تعیین می شود.

مقایسه نهایی گزینه ها

با توجه به انجام محاسبات آماری مربوط به ارزیابی اقتصادی گزینه های مورد نظر به منظور بر آورد و تبدیل هزینه های تمام شده آنها به ارزش حال، آماروارقام نهایی مربوط به هر یک از گزینه ها در جدول زیرارائه شده است.

گزینه ها	هزینه سرمایه گذاری اولیه در سال پایه	هزینه تعم ر و نگهداری سالیانه	هزینه مصرف برق سالیانه	هزینه های اجتماعی سالیانه	ارزش حال کل هزینه ها در طی ۲۰ سال(PVC)
توربین بادی آبکش- گزینه ۱	۸۵/۴۷۰/۰۰۰	۴۶۲/۰۰۰	-	-	۸۸/۵۳۳/۱۸۳
پمپ برقی آبکش – گزینه ۲	۲۶/۶۹۲/۰۰۰	۹/۰۰۰/۰۰۰	۳/۶۰۰/۰۰۰	-	۲۳۳/۸۵۸/۰۰۰
پمپ برقی آبکش با احتساب هزینه های اجتماعی - زیست محیطی- گزینه۳	۲۶/۶۹۲/۰۰۰	۹/۰۰۰/۰۰۰	۳/۶۰۰/۰۰۰	۲/۶۱۰/۰۰۰	۲۷۳/۵۶۰/۲۷۶

جدول ۷ - مقایسه نهایی هزینه های تمام شده گ ینه ها **ماخذ: یافته های تحقیق**

بر اساس یافته های جدول ۷ ، توربین بادی آبکش (گزینه ۱) هزینه سرمایه گذاری اولیه بیشتری نسبت به پمپ برقی آبکش (گزینه۲) دارد ، ولی به دلیل هزینه تعمیر و نگهداری بسیار پایین و ناچیز و عدم مصرف الکتریسیته در طی ۲۰ سال آینده به نسبت از هزینه های کمتری برخوردار می باشد. در حال حاضر درسراسر دنیا نیز، هزینه های تعمیرو نگ داری و نیروی انسانی سالیانه توربین های بادی مولد برق ، بسیار کمتر است، به طوری که هزینه های تعمیر و نگهداری این تکنولوژی بطور متوسط ۱/۵ درصد هزینه سرمایه گذاری اولیه می باشد [۷]. حال به دلیل اینکه توربین بادی انتخابی در این مطالعه کاملا مکانیکی می باشد ، بر اساس مستندات کارخانه سازنده ، هزینه های تعمیر و نگهداری آن تقریبا معادل ۰/۵درصد هزینه های سرمایه گذاری ولیه آن محاسبه شده است. همچنین طبق یافته های تحقیق در جدول ۷ ، پمپ برقی آبکش(گزینه۲) با وجود هزینه های سرمایه گذاری

1 Environmental Protection Agency

اولیه کمتر، دارای هزینه تعمیر و نگ اری و مصرف برق سالیانه نسبتا بالایی است. به همین لیل ارزش حال هزینه تمام شده آن در مدت ۲۰ سال نیز افزایش قابل توجهی نشان می دهد.لذا در مجموع مشاهده می گردد که ارزش حال هزینه تمام شده مربوط به گزینه ۱ در مقایسه با هزینه تمام شده گزینه ۲، کمتر بوده و حدود ۳۸ درصد آن برآوردشده است. در صورت لحاظ نمودن هزینه های اجتماعی، هزینه تمام شده پمپ برقی از ۳ برابر هزینه توربین بادی آبکش نیز فراتر می رود. این مطلب نشان دهنده برتری نسبی گزینه ۱درمقایسه با گزینه ۲ بوده و از اینرو جایگزینی توربین بادی با پمپ برقی آبکش در کانون گل و گیاه از لحاظ اقتصادی با درنظر گرفتن ملاحظات مربوط به آثار زیست محیطی آن کاملا مقرون به صرفه است.

نتیجه گیری

امروزه استفاده از توربین های بادی آبکش به دلیل طراحی ، نصب و تعم ر و نگهداری بسیار ساده ، گزینه های مطمئنی برای آبکشی از چاههای آب وآبیاری مزارع وباغات کشاورزی بشمار می روند. با این وجود برای موفقیت در احداث یک توربین بادی آبکش ، وجود سطح آب زیر زمینی با عمق مناسب و نزدیک به سطح زمین و همینطور برخورداری از پتانسیل انرژی باد مناسب در منطقه مورد نظر ، لازم و ضروری می باشد. در بررسی های اولیه بعمل آمده د ر این مقاله تحقیقی هر دو شرط مورد اشاره برای احداث، نصب و راه اندازی توربین بادی آبکش مورد مطالعه قرار گرفت و علاوه برآن به بررسی و ارزیابی اقتصادی (برآورد هزینه تمام شده) آن نیز پرداخته شد.

با توجه به مطالعات فنی و مهندسی صورت گرفته توسط مولف، منطقه ۲۰ شهرداری تهران به دلیل داشتن سطح آب زیر زمینی بسیار مناسب و نزدیک به سطح زمین (عمق ۲۰متری زمین) و همچنین وجود پتانسیل باد مناسب در این منطقه (نمودارهای گلباد استخراج شده در مبحث نتایج وبحث) ، از نظر فنی ، احداث،نصب و راه اندازی توربین بادی با توان ۳ کیلو وات را برای آبکشی از چاه آب موجود در کانون گل و گیاه جهت آبیاری فضای سبز این منطقه توجیه می نماید. در این ارتباط با ا ستفاده از اطلاعات و داده های هواشناسی یک ساله ایستگاههای هواشناسی فرودگاههای امام خمینی و مهرآباد تهران و پردازش و شبیه سازی رایانه ای وزش باد در توربین انتخابی ، انرژی تولیدی سالیانه توسط توربین بادی آبکش طبق یافته های این تحقیق در منطقه مورد مطالعه ۷/۷ مگا وات ساعت و ضریب ظرفیت توربین انتخابی ۲۹/۳۵ درصد بر آورد شده است. براین اساس این توربین توانایی آبکشی روزانه بیش از ۱۶۰۰۰ لیتر آب ، به منظور تامین نیاز آبیاری فضای سبز منطقه و همچنین ذخیره سازی آن در منبع موجود برای استفاده در زمانهای مورد نیاز را دارد.

از سوی دیگر در بررسی و ارزیابی اقتصادی مشخص گردید که با توجه به افزایش روز افزون بهای انرژی الکتریسیته وجود هزینه های مستمرتعم ر و نگهداری پمپ های برقی آبکش ، استفاده از این وسیله رابرای آبیاری باغات و مزارع کشاورزی در حال حاضر ودر آینده بسیار پر هزینه نموده است. درحالیکه توربین بادی آبکش به دلیل وجود هزینه سالیانه تعمیر و نگهداری بسیار اندک و عدم نیاز به الکتریسیته ، هزینه تمام شده آن نسبت به هزینه تمام شده پمپ برقی به میزان قابل ملاحظه ای کاهش نشان می دهد. به طوری که در سال انجام این تحقیق ، هزینه تمام شده توربین بادی آبکش حدود ۳۸ درصد هزینه تمام شده پمپ برقی آبکش بر آورد شده است. چنانچه درارزیابی اقتصادی، هزینه های اجتماعی– زیست محیطی مربوط به مصرف الکتریسیته توسط پمپ برقی نیزلحاظ گردد، هزینه تمام شده آن نسبت به حالت قبل ۱۷درصد افزایش می یابد.براساس یافته های این تحقیق، نتایج نهایی ارزیابی اقتصادی گزینه های مورد مطالعه بصورت رابطه زیر حاصل شده است:

$$PVC۱ < PVC۲ < PVC ۳$$ رابطه ۱۴

طبق رابطه ۱۴ مشاهده می شود که با توجه به ارزیابی اقتصادی صورت گرفته، ارزش حال هزینه تمام شده توربین بادی آبکش($PVC۱$) در مقایسه با ارزش حال هزینه تمام شده پمپ برقی آبکش بدون احتساب هزینه های اجتماعی ($PVC۲$) و با احتساب هزینه های اجتماعی ($PVC۳$) کمترین مقدار می باشد. لذا با توجه به ملاحظات زیست محیطی و حتی بدون لحاظ کردن هزینه های اجتماعی– زیست محیطی ، توربین بادی آبکش نسبت به پمپ برقی دارای برتری نسبی بوده و احداث آن در منطقه موردمطالعه به منظورآبیاری فضای سبزتوصیه می گ دد.

منابع مورد استفاده

۱- تراز نامه انرژی سال۱۳۸۵،۱۳۸۴. وزارت نیرو ، معاونت امور برق و انرژی، دفتربرنامه ریزی برق و انرژی،تهران ،۶۳۲ صفحه.

۲- گزارش سالانه سازمان آب منطقه‌ای تهران، ۱۳۷۸. وزارت نیرو، تهران.

۳- نقشه های هم عمق متوسط سطح آب تهران، ۱۳۸۰. وزارت نیرو، سازمان آب منطقه ای تهران.

۴- ثقفی، مجید ، شریفی، م وخلجی اسدی، ۱۳۸۴. بررسی پتانسیل باد سیاهپوش در استان قزوین برای احداث نیروگاه برق بادی ، پنجمین همایش ملی انرژی، تهران.

۵- اسکونژاد، م، م، ۱۳۸۵، اقتصاد مهندسی. انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر، چاپ بیست وپنجم،تهران ، ۴۱۷صفحه.

۶- طاهری،ش،۱۳۷۴. ارزیابی طرحهای اقتصادی. انتشارات کویر،چاپ اول ، تهران، ۱۸۳ صفحه.

۷- قرشی، امیر حسین و مجید ثقفی. ۱۳۸۵. چشم انداز توسعه نیروگاههای برق بادی در ایران و جهان،پژوهش های راهبردی در توسعه اقتصادی ایران،مجمع تشخیص مصلحت نظام، مرکز تحقیقات استراتژیک،جلد دوم، ص۱۰۶۹- ۱۰۴۳.

۸- مصاحبه با قاسمی پور،داوود،۱۳۸۶. بخش نظارت بر امور آب ، اداره فضای سبز منطقه ۲۰ شهرداری تهران.

۹- ترازنامه بانک مرکزی جمهوری اسلامی ایران، ۱۳۸۵. اداره کل روابط عمومی، ص۲۳.

۱۰- مصاحبه معاون برنامه ریزی وزارت نفت،روزنامه همشهری،مورخ۱۳۸۲/۷/۱۹.

۱۱- رحیمی،عبدالرحیم، ثقفی ، م و زهرا سروقدی، ۱۳۸۶. بررسی فنی و اقتصادی پتانسیل باد غرب تهران بهت بکارگیری توربین بادی آبکش کوچک به منظورآبیاری فضای سبز، طرح پژوهشی دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب.

۱۲-شریفی،م، ثقفی، م و طالقانی،گ، ۱۳۸۴. برآوردانرژی قابل حصول از پتانسیل باد منطقه کهک قزوین به منظوراحداث نیروگاه برق بادی، کنفرانس بین المللی مهندسی مکانیک، اصفهان .

۱۳- رحیمی، عبد الرحیم و مجید ثقفی. ۱۳۸۵. ارزیابی فنی و اقتصادی توربین های برق بادی کوچک در بروجرد، فصلنامه علمی– پژوهشی علوم وتکنولوژی محیط زیست،دوره هشتم، شماره ۳: ص۹۱-۷۹.

14- Winpower outlook ., 2006,www.awea.org **سایت انجمن انرژی باد ایالات متحده آمریکا**

15- An overview of wind energy-status., 2002,www.awea.org

16- Mongha, Nikhil., 2006, An Analysis of the Economic impact on box eElder county, Utah, from the development of wind power plants. Renewable energy for rural economic development, College of Business Utah State University.

17- Johnson, Gary L., November 2001, Wind energy system.

18- Lunderg, Stefan., 2006, Wind farm configuration and energy efficiency studies. Department of energy and environment, Chalmers University of Technology, Gutenberg, Sweden.

19- Spiegel, Murrar R., 1968, Mathematical handbook, McGraw-Hill Book Company.

20- http://www.airliftech.com/ **سایت یکی از بزرگترین شرکت های تولید کننده توربین بادی آبکش در آمریکا**

21- Wind powered water pumping systems for livestock watering, agriculture and agric-food Canada.

۲۲- www.emd.dkسایت EMD که دارای بالاترین اعتبار بین المللی برای پتانسیل سنجی انرژی باد وجانمایی توربین های بادی می باشد شرکت