DOR: 20.1001.1.24234931.1398.6.2.13.5

سال ششم، شماره دوم، زمستان ۱۳۹۸، ص ص ۱۰۵ - ۱۱۳

فصل‌نامه علمی – ترویجی انرژی‌های تجدیدپذیر و نو

jrenew.ir

مقاله

تاریخ دریافت: ۹۷/۱۰/۱۸

تاریخ پذیرش: ۹۸/۰۲/۲۳

پتانسیل سنجی و استفاده از توربین باد محور افقی کوچک جهت تامین برق بخشی از نیاز گلخانه در منطقه فیروز کوه

رضا شهبازی[۱]*، دکتر شهریار کوراوند[۲]، دکتر سید رضا حسن بیگی[۳]

۱-دانشجوی کارشناسی ارشد ،مهندسی بیوسیستم، پردیس ابوریحان،دانشگاه تهران، تهران

۲-استادیار،پردیس ابوریحان،گروه فنی،دانشگاه تهران،تهران

۳-استاد،پردیس ابوریحان،گروه فنی،دانشگاه تهران،تهران

تهران،۱۸۵۱۸۶۵۱۱۸،shahbazi.reza36@ut.ac.ir

چکیده :

امروزه مصرف انرژی در کشورهای در حال توسعه رو به افزایش است.اکثر کشورها انرژی الکتریسیته را ازسوخت های فسیلی بدست می آورند.نیروگاه های سیکل ترکیبی برای تولید ۱ کیلوات برق ۶۶۰ گرم گاز دی اکسید کربن تولید می‌کنند. در این پژوهش در منطقه فیروزکوه استان تهران جهت استفاده از توربین کوچک برای تامین برق گلخانه‌ها مطالعه شده است.با توجه به مطالعه انجام شده ،فیروز کوه دارای چگالی باد **(w/m2)** ۱۴۲ در ارتفاع ۱۰ متری از سطح زمین است.در این منطقه سرعت باد ۵,۶ متر بر ثانیه بدست آمده است. با توجه به سرعت باد و چگالی باد در منطقه فیروز کوه از توربین های باد ۱۰ و ۵ کیلووات هامر جهت بررسی بیشتر استفاده گردیده است. توربین ۱۰ و ۵ کیلوات هامر توان تولیدی به ترتیب ۲۳۹۴ و۱۵۳۲ وات را با توجه به چگالی باد منطقه تولید می‌کند. برای کاهش هزینه های گلخانه می توان با سرمایه گزاری درانرژی باد، ضمن بهره گیری از مزایای محیط زیستی نسبت به تولید پراکنده مورد نیاز اقدام نمود و هزینه محصولات گلخانه ای را در طولانی مدت کاهش داد.بررسی های این مقاله نشان می دهد که توربین های ۱۰ و۵ کیلواتی هامردر منطقه فیروزکوه و در ارتفاع ۱۰ متری جهت نصب و استفاده مناسب است

کلیدواژگان: انرژی تجدید پذیر،توربین بادی،تولید پراکنده،گلخانه

Potentiometric analysis and wind turbine application of a small horizontal axis to supply power to a part of the greenhouse needs in Firoozkouh

Reza Shahbazi [1] *, Dr.Shahriar Kooravand [2], Dr. Seyyed Reza Hasan Beigi [3]

1-Master of Science (MSc), Biosistem Engineering, Campus Abourihan, University of Tehran, Tehran
2. Assistant Professor, Pardis Abourihan, Technical Department, University of Tehran, Tehran
3. Professor, Pardis Abourihan, Technical Department, University of Tehran, Tehran
* P.O.B. 1851865118, Tehran, shahbazi.reza36@ut.ac.ir

Received: 8 January 2019 Accepted: 13 May 2019

Abstract

Today's energy consumption is increasing in developing countries. Most countries generate electricity from fossil fuels. Combined cycle plants produce 1 kg of 660 g of carbon dioxide gas. In study Firouzkouh province of Tehran province has been studied to use a small turbine to supply electricity to greenhouses. According to the study, Firuz Mountain has a wind density142 (w / m^2) at a height of 10 meters from the ground. In this The wind speed is 5.6 m/s. Due to the wind speed and wind density in the Firoozkouh region, wind turbines of 10 and 5 kW have been used for further investigation. The 10 and 5 kW Hummer turbines produce 2394 and 1532 watts, respectively, with respect to the region's wind velocity, respectively. To reduce greenhouse costs, it is possible to invest in wind energy, while taking advantage of the environmental benefits of dispersed production and reducing the cost of greenhouse products in the long run. The reviews of this paper show that turbines 10 and 5 kilowatts of hammer in the Firoozkooh area and 10 meters high for installation and use.

Keywords: Distributed generation, Renewable energy, Wind turbine, Greenhouse

مقدمه

امروزه منابع انرژی تجدید پذیر به دلیل آلودگی های زیست محیطی بسیار اندکی که دارند، مورد توجه قرار گرفته است،انرژی باد یکی از منابع جایگزین برای سوختهای آلوده کننده همانند سوختهای فسیلی در سطح جهان است، انرژی باد می تواند به صورت ارزان قیمت در اختیار انسان ها برای بدست آوردن انرژی برق مورد نیاز قرارگیرد. با استفاده از انرژی باد می تواند میزان انتشار گازهای گلخانه ای که با سوزاندن سوختهای فسیلی تولید می شود کاهش داد [۱].

توربین بادی به دلیل قابلیت نصب در بیشتر نقاط جغرافیایی کشور که چگالی انرژی بادی مناسب را دارند توانایی برق دهی به روستا ها و مزارع کشاورزی که از شبکه توزیع برق دور هستند را دارد. تکنولوژی ساخت و بهره برداری این توربین‌ها را می توان به هر کشوری و هر نقطه جغرافیایی انتقال داد و مثل انرژی هسته‌ای محدودیت انتقال را ندارد. مصرف انرژی به دلیل افزایش جمعیت رو به افزایش است. افزایش جمعیت نیاز به تولید بیشتر محصولات کشاورزی را دارد. بایستی به سمتی حرکت کرد که با هزینه کمتر محصول کشاورزی و گلخانه‌ای راتولید کرد،افزایش قیمت انرژی باعث قیمت تمام شده بالای محصولات کشاورزی و گلخانه‌ای می‌شود و این رقابت را بین تولید کنندگان کشاورزی سخت می‌کند و یا دولت را در افزایش یارانه های پرداختی به صنعت برق وادار می‌کند تا برق ارزانتری برای کشاورزان تامین شود. افزایش هزینه محصولات کشاورزی و گلخانه ای و پرداخت یارانه برق از لحاظ اقتصادی برای کشور در طولانی مدت زیان آور است . عدم پرداخت یارانه به برق منجر می شود محصولات گلخانه‌ای با قیمت بالا به دست مصرف کننده برسد که این عامل باعث می‌شود که از محصولات گلخانه‌ای کمتر استقبال شود یکی از راه های کاهش هزینه تمام شده برق استفاده از انرژی های تجدید پذیر مانند انرژی باد است. همچنین به دلیل عدم قرار گرفتن برخی از مناطق مستعد احداث گلخانه در مسیر شبکه برق نیازمند تولید پراکنده انرژی می‌باشد تا بتوان در مناطق مستعد تاسیس گلخانه که از شبکه توزیع برق دور هستند اقدام به تاسیس گلخانه کرد. برای کاهش هزینه های گلخانه می‌توان با سرمایه گزاری درانرژی باد ضمن بهره گیری از مزایای محیط زیستی نسبت به تولید پراکنده در مناطق مختلف کشور اقدام نمود و هزینه محصولات گلخانه ای را در طولانی مدت کاهش داد. طبق آمار منتشر شده در ایران تا سال ۱۳۹۳ معادل ۹هزار و۶۰۶ هکتار گلخانه بوده است و طبق برنامه ریزی‌های انجام شده بایستی تا سال۱۴۰۴ سطح گلخانه های درکشور به ۴۸ هزار و۳۰۰ هکتار برسد تا کشور بتواند در زمینه تولید محصولات کشاورزی و صرفه جویی در بخش انرژی موفق شود.. عمده مصرف کننده های برق در یک گلخانه در فصل تابستان، سیستم های خنک کننده ها گلخانه هستند، به طور میانگین هر هکتار از گلخانه ۱۱ الی۱۳ کیلوات برق مصرف می‌کند[۲]. توربین‌های بادی کوچک بیشتر در مصارف فردی مورد استفاده قرار می‌گیرند. آزمایشگاه ملی انرژی‌های تجدیدپذیر وزارت انرژی آمریکا، توربین‌های بادی با توان کمتر از ۱۰۰ کیلووات را توربین بادی کوچک طبقه بندی می‌کند. در این توربین‌ها، معمولاً ژنراتور به صورت مستقیم (بدون جعبه دنده) به روتور متصل شده و خروجی جریان مستقیم ایجاد می‌کند. همچنین برای تعیین جهت باد، معمولاً از یک بادنما استفاده می‌کنند. و برای ذخیره انرژی تولید شده نیاز به باطری برای ذخیره جریان الکتریسیته دارد.

پیشینه تحقیق

برخی از محققین در دنیا بر روی استفاده از انرژی باد و یا به صورت ترکیبی با انرژی خورشیدی مطالعه کرده اند برای مثال دانیل ناگتو بنجامین کی سوواکول[۱]ودر سال ۲۰۱۳ترکیب انرژی باد و خورشید استفاده کرده اند جهت تولید جریان الکتریسیته، همچنین در سال ۲۰۱۴نیز دابلیو تی چانگ و دبلیو پی هو[۲]نیز به وسیله ۲ توربین عمودی برق یک موتور ۷,۵ کیلووات یک گلخانه را تامین کردند به مدت ۱۶ ساعت در یک شبانه روز، تام منینگ[۳]و ای چی بوس در سال ۲۰۰۸ برروی انرژی های تجدید پذیر مطالعه کردند تا یک انرژی ارزان قیمتی در اختیار کشاورزان قرار دهند. در سال۲۰۱۴دسانتو لیو[۴]و همکاران بر روی یک توربین بادی کوچک محور عمودی ۳,۷ کیلو وات کار کرده اند ،جهت استفاده در مناطق کم باد که توربین آ ام ۳۰۰ نامیدند.در سال ۲۰۱۵در منطقه دانشگاه آتیلیم اطراف آنکارا در کشور ترکیه پتانسیل باد را در ارتفاع ۲۰و۳۰ متری آنالیز و بررسی شد توسط لونت بیلیر[۵]و همکاران به این نتیجه رسیدند در این منطقه نمی‌توان از توربین سایز بزرگ استفاده کردو ۳ توربین سایز کوچک را بررسی کردند و توانستند برق یک خانواده با جمعیت متوسط را با توربین باد سایز کوچک تامین کنند.، در سال ۲۰۱۷دو مکان در شیلی مورد مطالعه قرار گرفته شده توسط میگوئل بسرا[۶]و همکاران این محققین قصد داشتند که برق ۳۰۰خانوار را تامین کنند که موفق به این امر شدند.ساند ی[۷]و همکارانش درسال ۲۰۱۲ ودر کشور نیجریه سرعت باد ۳ منطقه را آنالیز کردند . چگالی باد مناطق مورد مطالعه به ترتیب ۹۶,۹۷ ،۲۸,۳۴و۲۳,۲۳ با واحد (W/m^2) بدست آوردند و طبق چگالی های بدست آمده از توربین بادی جهت تامین برق پمپ آب استفاده کرده اند.از این تحقیق بررسی و امکان سنجی استفاده از انرژی باد جهت تامین انرژی گلخانه در منطقه فیروزکوه در شهر تهران باشد.

۳-مواد وروش ها

۱Duniel Nugent,Benqamin K.sovacoo
۲W.t.chong, W.p.hew
۳Tom maning , A.j.Both
۴Live desantoli
۵□□□□□□ □□□□□
۶Miquel Becerra
۷Sunday o oyedepo

۳-۱ در این پژوهش ابتدا به بررسی مصرف کننده های برق در یک گلخانه پرداخته می شود .جدول شماره ۱ مصرف کننده های برق در گلخانه ها را نشان می دهد[۲]

جدول ۱:عمده مصرف کننده های برق در گلخانه

مصرف کننده ها	برق مصرفی(w)
فن سیرکوله	۴۴۰-۲۵۰
فن(پد و فن)	۸۷۰-۵۰۰
فن (تهویه زمستانی و تابستانی)	۷۰۰-۵۰۰
الکترو گیربکس سقف	۵۵۰-۱۸۰
الکترو پمپ سیستم فوگر(مه پاش)	۲۵۰-۲۲۰

۳-۲ امکان سنجی تولید برق در منطقه فیروزکوه

برای مشخص کردن یک منطقه که آیا قابلیت نصب توربین بادی را دارد یا نه بایستی ابتدا چگالی بادی آن منطقه را بدست آورد. با توجه به اطلاعات بدست‌آمده ۵ ساله از وضعیت وزش باد از سازمان هواشناسی ایران وآنالیز اطلاعات باد منطقه با نرم افزار های اکسل انرژی چگالی منطقه را بدست آمد.تابع توزیع ویبول مناسبترین تابع برای نمایش چگالی احتمال متغیر تصادفی سرعت باد است . در این پژوهش در منطقه مورد مطالعه داده‌های سرعت باد منطقه از سال ۱۳۹۰تا۱۳۹۵بررسی شده وآنالیز انجام گردیده است.آنالیز انجام شده برای منطقه فیروزکوه در جدول ۲ نوشته شده است. با استفاده ازتابع توزیع ویبول پتانسیل باد مربوط به فیروزکوه بدست می‌آید. تابع توزیع ویبول یکی از روشهای آماری است به دلیل اینکه سرعت باد در هر لحظه تغییر می‌کند استفاده می‌شود. ازتابع توزیع ویبول برای بدست آوردن پارمترهایی که می‌توان چگالی انرژی باد یک منطقه را تخمین زد بدست آورد. توربین باد یک ماشین تبدیل انرژی است که انرژی جنبشی موجود در باد رابه انرژی مکانیکی تبدیل می‌کند. انرژی مکانیکی به وسیله یک ژنراتور به طور مستقیم به الکتریسیته تبدیل می شود. میزان توان (P)توربین بادی از رابطه (۱)بدست می آید [۳].

$$p = \frac{۱}{۲}\rho A C_P V^{۳} \qquad (۱)$$

در اینجا ρچگالی هوا (که ۱,۲۲۵ کیلوگرم در متر مکعب) و A سطح جاروب شده توربین و C_P بازده آیرودینامیکی (که ضریب توان نامیده می شود) و V سرعت باد می باشد. برای محاسبه پارامتر های مورد نیاز از تابع توزیع احتمال ویبول استفاده شده است سپس صحت برازش منحنی تابع احتمال ویبول بر داده های احتمال واقعی باد توسط آزمون کی دو مورد بررسی قرار گرفته است . تابع ویبول به صورت زیر تعریف می شود[۴]

$$P(V) = \frac{K}{C} \times \left[\frac{V}{C}\right]^{K-۱} \times \exp\left(\left[\frac{V}{C}\right]^{k}\right) \qquad (۲)$$

در این رابطه V سرعت باد وپارامترهای ویبول K و C که برای بد ست آوردن چگالی باد منطقه مورد استفاده قرار گیرد به ترتیب یک فراسنج بی بعد " فاکتور شکل " و فراسنجی موسوم به فاکتور مقیاس نامیده که با واحد متر بر ثانیه محاسبه می شود. روش " برازش حداقل مربعات " به کمک تابع احتمال تجمعی بدست می آید، بدین منظور لازم است با استفاده از معادله رگرسیون، رابطه ی خطی بین مقادیر سرعت باد و احتمال وقوع آن را بدست آورد. به همین دلیل لازم است ابتدا فراوانی داده های اخذ شده از هواشناسی کل کشور را بدست آورد شود. سپس Viرا که میانه طبقات سرعت باد و P(V) که احتمال فراوانی تجمعی هر طبقه سرعت است بدست آورده و در انتها با استفاده از این مقادیر و روابط زیر مقادیر X و Y محاسبه می شود [۵].

$$X = lnV_i \qquad (۳)$$

$$Y = Ln(-\ln(۱ - (p(V)) \qquad (۴)$$

با استفاده از مقادیر بدست آمده ، رابطه ی خطی بین مقادیر سرعت باد و احتمال وقوع آن ها با رابطه(۵)مشخص شود.

$$Y = AX + B \qquad (۵)$$

مقادیر A و B با استفاده از رسم نمودار بالا در اکسل قابل محاسبه است که در آن A ضریب زاویه و B عرض نقطه ی تقاطع خط با محور Y خواهد بود. رابطه A و B در این معادله با فراسنج های C و K تابع ویبول به صورت رابطه (۶) است .

$$C = \exp\left(\frac{-B}{A}\right), K = A \qquad (۶)$$

صحت این جایگزینی را می‌توان با آزمون های مختلفی ارزیابی کرد . آزمون خی دو که مجذور خی نیز نامیده می شود ، یکی از آزمون های نیکویی برازش است که با آن می توان صحت جایگزینی احتمال تجربی داده ها با توزیع داده شده را سنجید.

آماره آزمون در تست خی دو به صورت زیر تعریف می شود :

$$x^2 = \sum \frac{(O_i - E_i)}{E_i} \qquad (۷)$$

که در آن ، O_i فراوانی مشاهده شده ، و E_i تعداد داده های مورد انتظار در کلاس iام با استفاده از تابع توزیع تجمعی ویبول است.

۴-نتایج

در جدول شماره ۲ اطلاعات تحلیل شده منطقه فیروز کوه جهت محا سبه Xو Y نوشته شده است.پس از محاسبه ی مقادیر Xi و Yi ، می توان خط Y=AX+B را که در واقع خطی است با نزدیک ترین فاصله نسبت به نقاط Xi و Yi، به منظور تعیین مقادیر A و B مرتبط با فرا سنج های شکل و مقیاس تابع ویبول با استفاده از برنامه اکسل ترسیم کرد در شکل زیر این خط ترسیم گردیده شده است. در معادله خط Y=AX+B، A به عنوان ضریب زاویه خط وB عرض تقاطع با محور Y است. رابطه خطی بین Xi وYi برای بدست آوردن مقادیرA وB از رابطه (۳)و (۴) بدست می آید و در جداول ۳نوشته شده است.پس از محاسبه ی این مقادیر K و C محاسبه شده از رابطه (۶) و با جایگذاری در معادله مربوط مقدار PW در جدول نگاشته شده است .این مقادیر در جداول۳ آورده شده است.

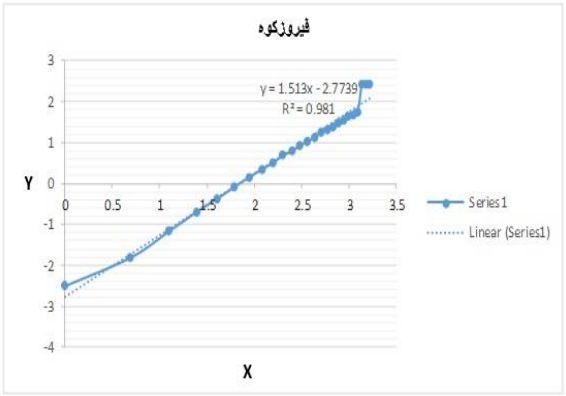
جدول ۲: جداول اندازه گیری های آماری سرعت باد در ایستگاه منطقه فیروزکوه –تهران در دوره آماری۱۳۹۰-۱۳۹۵

دسته های سرعت V[M/S]	فراوانی Fi	احتمال (بر مبنای ۱) P(VI)	احتمال تجمعی (بر مبنای ۱) P(V)	احتمال بر حسب مدل ویبول (بر مبنای ۱) Pw
۱/۰-۵/۵	۱۰۶۴	۰,۰۷۵۹۷۸۶۶	۰,۰۷۸۹۷۸۶۲۲	۰,۰۸۸۷۲۴
۲/۱-۵/۵	۹۸۶	۰,۰۷۳۱۸۸۸۳۶	۰,۱۵۲۱۶۷۴۵۸	۰,۱۱۲۷۷۵
۳/۲-۵/۵	۱۵۸۱	۰,۱۱۷۳۵۴۵۱۳	۰,۲۶۹۵۲۱۹۷۱	۰,۱۱۹۴۰۷
۴/۳-۵/۵	۱۶۶۱	۰,۱۲۳۲۹۲۷۵۵	۰,۳۹۲۸۱۴۷۲۷	۰,۱۱۵۶۶۴
۵/۴-۵/۵	۱۴۵۲	۰,۱۰۷۷۹۰۹۷	۰,۵۰۰۵۹۳۸۲۴	۰,۱۰۵۷۴
۶/۵-۵/۵	۱۴۰۸	۰,۱۰۴۵۱۳۰۶۴	۰,۶۰۵۱۰۶۸۸۸	۰,۰۹۲۵۸۷
۷/۶-۵/۵	۱۱۱۸	۰,۰۸۲۹۸۶۹۳۶	۰,۶۸۸۰۹۳۸۲۴	۰,۰۷۸۳۰۳
۸/۷-۵/۵	۹۳۵	۰,۶۹۴۰۳۲۰۷	۰,۷۵۷۴۹۷۰۳۱	۰,۰۶۴۳۰۵
۹/۸-۵/۵	۷۱۸	۰,۰۵۳۲۹۵۷۲۴	۰,۸۱۰۷۹۲۷۵۵	۰,۰۵۱۴۷
۱۰/۹-۵/۵	۷۱۹	۰,۰۵۳۳۶۹۹۵۲	۰,۸۶۴۱۶۲۷۰۸	۰,۰۴۰۲۶
۱۱/۱۰-۵/۵	۳۴۱	۰,۰۲۵۳۱۱۷۵۸	۰,۸۸۹۴۷۴۴۶۶	۰,۰۳۰۸۳۹
۱۲/۱۱-۵/۵	۴۵۳	۰,۰۳۳۶۲۵۲۹۷	۰,۹۲۳۰۹۹۷۶۲	۰,۰۲۳۱۷
۱۳/۱۲-۵/۵	۲۲۲	۰,۰۱۶۴۷۸۶۲۲	۰,۹۳۹۵۷۸۳۸۵	۰,۰۱۷۰۹۷
۱۴/۱۳-۵/۵	۲۱۸	۰,۰۱۶۱۸۱۷۱	۰,۹۵۵۷۶۰۰۹۵	۰,۰۱۲۴۰۴
۱۵/۱۴-۵/۵	۱۷۵	۰,۰۱۲۹۸۹۹۰۵	۰,۹۶۸۷۵	۰,۰۰۸۸۵۶
۱۶/۱۵-۵/۵	۱۱۴	۰,۰۰۸۴۶۱۹۹۵	۰,۹۷۷۲۱۱۹۹۵	۰,۰۰۶۲۲۷
۱۷/۱۶-۵/۵	۷۱	۰,۰۰۵۲۷۰۱۹	۰,۹۸۲۴۸۲۱۸۵	۰,۰۰۴۳۱۵
۱۸/۱۷-۵/۵	۷۹	۰,۰۰۵۸۶۴۰۱۴	۰,۹۸۸۳۴۶۲	۰,۰۰۲۹۴۹
۱۹/۱۸-۵/۵	۲۷	۰,۰۰۲۰۰۴۱۵۷	۰,۹۹۰۳۵۰۳۵۶	۰,۰۰۱۹۸۸
۲۰/۱۹-۵/۵	۵۳	۰,۰۰۳۹۳۴۰۶۸	۰,۹۹۴۲۸۴۴۴۲	۰,۰۰۱۳۲۳
۲۱/۲۰-۵/۵	۱۴	۰,۰۰۱۰۳۹۱۹۲	۰,۹۹۵۳۲۳۶۳۴	۰,۰۰۰۸۷
۲۲/۲۱-۵/۵	۲۰	۰,۰۰۱۴۸۴۵۶۱	۰,۹۹۶۸۰۸۱۹۵	۰,۰۰۰۵۶۵
۲۳/۲۲-۵/۵	۵	۰,۰۰۰۳۷۱۱۴	۰,۹۹۷۱۷۹۳۳۵	۰,۰۰۰۳۶۲
۲۴/۲۳-۵/۵	۲۲	۰,۰۰۱۶۳۳۰۱۷	۰,۹۹۸۸۱۲۳۵۲	۰,۰۰۰۲۳
۲۵/۲۴-۵/۵	۱۶	۰,۰۰۱۱۸۷۶۴۸	۱	۰,۰۰۰۱۴۴

جدول ۳: مقادیر محاسبه شده X و Y در منطقه فیروزکوه –تهران

I	$Y = Ln(-\ln(1-(p(V))$	$X = \ln V_i$
۱	-۲,۴۹۷۷۲۴۰۶۹	۰
۲	-۱,۸۰۱۳۷۲۷۰۵	۰,۶۹۳۱۴۷۱۸۱
۳	-۱,۱۵۸۱۸۳۵۶۵	۱,۰۹۸۶۱۲۲۸۹
۴	-۰,۶۹۵۳۰۶۸۹۷	۱,۳۸۶۲۹۴۳۶۱
۵	-۰,۳۶۴۷۹۹۹۵۶	۱,۶۰۹۴۳۷۹۱۲
۶	-۰,۰۷۳۴۹۵۶۸۶	۱,۷۹۱۷۵۹۴۶۹
۷	۰,۱۵۲۷۶۶۴۵۵	۱,۹۴۵۹۱۰۱۴۹
۸	۰,۳۴۸۳۵۹۳۹۳	۲,۰۷۹۴۴۱۵۴۲
۹	۰,۵۰۹۸۸۲۴۶۹	۲,۱۹۷۲۲۴۵۷۷
۱۰	۰,۶۹۱۲۹۴۲۱	۲,۳۰۲۵۸۵۰۹۳
۱۱	۰,۷۸۹۵۹۷۰۳۱	۲,۳۹۷۸۹۵۲۷۳
۱۲	۰,۹۴۲۰۵۴۵۰۳	۲,۴۸۴۹۰۶۶۵
۱۳	۱,۰۳۱۹۰۵۵۰۶	۲,۵۶۴۹۴۹۳۵۷
۱۴	۱,۱۳۷۲۳۲۸۴۴	۲,۶۳۹۰۵۷۳۳
۱۵	۱,۲۴۲۹۲۴۹۹۲	۲,۷۰۸۰۵۰۲۰
۱۶	۱,۳۳۰۱۲۶۳۰۷	۲,۷۷۲۵۸۸۷۲۲

۲,۸۳۳۲۱۳۳	۱,۳۹۷۳۶۷۰۶۵	۱۷
۲,۸۹۰۳۷۱۷۵۸	۱,۴۹۳۳۸۱۰۴۶	۱۸
۲,۹۴۴۴۳۸۹۷۹	۱,۵۳۴۸۹۴۱۵۳	۱۹
۲,۹۹۵۷۳۲۲۷۴	۱,۶۴۱۸۲۰۵۵	۲۰
۳,۰۴۴۵۲۲۴۳۸	۱,۶۷۹۹۳۹۹۹۳	۲۱
۳,۰۹۱۰۴۲۴۵۳	۱,۷۴۸۷۰۷۳۲	۲۲
۳,۱۳۵۴۹۴۲۱۶	۲,۴۴۳۴۷۰۳۵۸	۲۳
۳,۱۷۸۰۵۳۸۳	۲,۴۴۳۴۷۰۳۵۸	۲۴
۳,۲۱۸۸۷۵۸۲۵	۲,۴۴۳۴۷۰۳۵۸	۲۵



شکل ۱: نمودار تابع Y=AX+B برای محاسبه فراسنج های ایستگاه های فیروزکوه -تهران

شکل شماره ۱ نمودارمنطقه فیروزکوه را نشان می‌دهد که با توجه به سرعت باد بدست آمده است و مقدارY=AX+B نشان می‌دهد و مقادیر A وB در نمودار بدست آمده است.با توجه به مشاهدات و نتایج تست خی دو می توان نتیجه گرفت که داده ها از تابع چگالی احتمال ویبول تبعیت می‌کنند. از تابع چگالی احتمال ویبول داده های زیادی را به صورتی که بیان می شود می‌توان تخمین زد. سرعت نامی باد یعنی سرعت بادی که حداکثر انرژی الکتریکی را در خروجی ایجاد می کند با رابطه (۸) بدست می‌آید[۶]

$$V_{Max} = C(1 + \frac{2}{K}) \quad (8)$$

محتمل ترین سرعت باد نیز با رابطه ۹ تعیین می گردد.

$$V_{MP} C(1 + \frac{K-1}{K})^{1/K} \quad (9)$$

میانگین سرعت باد نیز از رابطه ۱۰ تعیین می‌گردد:

$$V = C\Gamma(\frac{K+1}{K}) \quad (10)$$

تابع گاما از رابطه ۱۱ بدست می‌آید.

$$\Gamma(t) = \int_0^\infty x^{t-1} e^{-x} dx \quad (11)$$

بر اساس تابع چگالی احتمال ویبول میانگین چگالی انرژی باد در یک مکان با رابطه(۱۲) تعیین می‌گردد. [۷].

$$\frac{P}{A} = \frac{1}{2}\rho C^3 \Gamma(\frac{K+3}{K}) \quad (12)$$

در اینجا تابع معروف گاما با Γ نشان داده شده است.

جدول ۴: مولفه های باد در ایستگاه منطقه فیروزکوه- تهران در ارتفاع ۱۰ متری از سطح زمین در دوره آماری ۱۳۹۰-۱۳۹۵

نام منطقه	فیروزکوه
$(W/m^2)\frac{P}{A}$	۱۴۲
$(m/s)V_{mp}$	۳/۶
$(m/s)V_{max}$	۱۰/۹
$(m/s)V_m$	۵/۶
C	۶/۲۵
K	۱/۵
Γ	۰/۹

جدول شماره ۴چگالی بدست آمده و سرعت ماکسیمم،سرعت مینیمم ،سرعت نامی و پارامترهای ویبول را نشان می‌دهد که از روابطهای تعریف شده بدست می‌آید. منطقه فیروزکوه در ارتفاع ۱۰ متری از سطح زمین چگالی برابر با ۱۴۲ w/m^2 را دارا است. ومی‌توان از توربین محورافقی کوچک جهت بهره مندی از انرژی باد استفاده کرد. یکی از بهترین توربین‌های سایز کوچک موجود در بازار توربین هامر است. این توربین ها سایز ۱۰ و ۵ کیلوات برای این منطقه مناسب است. اطلاعات توربین های بادی محور افقی ۱۰ و ۵ کیلوات هامر در جدول ۵ نوشته شده است.

جدول ۵: مشخصات توربین های سایز کوچک مورد مطالعه هامر

نوع توربین	H6.4 ۵۰۰۰	H8.0 ۱۰۰۰۰
Rated power	۵۰۰۰w	۱۰۰۰۰w
Maximum output power	۷۵۰w	۱۵۰۰۰w
Cut-in wind speed	۲/۵ m/s	۳ m/s
Rated wind speed	۱۰ m/s	۱۰ m/s
Working wind	۳ m/s- ۲۵m/s	۳ m/s- ۲۵m/s
Generator efficiency	۰/۸	۰/۸
Wind energy utilizing ratio	۰/۴	۰/۴
Blade diameter(m)	۶/۴	۸

با توجه به جدول شماره ۵ مشاهده می‌شود که توربین‌های هامر در سرعت باد حداقل ۳ متر بر ثانیه شروع به دوران می‌کنند ، بررسی توربین‌ها بر اساس توان تولیدی ،ماکزیمم توان تولیدی ،قطر پهنا،بازدهی ژنراتور و کار کردن در حداقل و حداکثر سرعت باد و حداقل سرعت مورد نیاز باد برای شروع حرکت مورد مطالعه قرار گرفته ا ست. میزان توان یک توربین را با ا ستفاده از سرعت معنی دار بدست آمده هر منطقه محاسبه شده ودر جدول ۶ آورده شده است.برای بدست آوردن مقدار برق خروجی از یک توربین بادی بایستی بازدهی ژنراتوررا به توان حا صل از توربین تاثیر داد،که با ا ستفاده از رابطه(۱) و ضرب در (بازده ژنراتور)نتایج در جدول شماره ۷ نوشته شده است.

جدول۶:توان بدست آمده با سرعت منطقه فیروزکوه طبق رابطه۱

نام منطقه	H8.0 ۱۰۰۰۰	H6.4 ۵۰۰۰
فیروزکوه	۲۹۹۱	۱۹۱۵

جدول۷:مقدار برق خروجی از ژنراتور توربین ها با توجه به جدول ۶ و بازدهی توربین در جدول۵

نام منطقه	H8.0 ۱۰۰۰۰	H6.4 ۵۰۰۰
فیروزکوه	۲۳۹۴	۱۵۳۲

با توجه به جدول شماره ۷ و در حالت تئوری می‌توان به این نتیجه رسید با چگالی باد منطقه فیروزکوه که برابر با(W/m^2) ۱۴۲/۵ و سرعت باد ۵/۶ متر بر ثانیه توربین H8.0-10000 برق خروجی ۲۳۹۴ وات راجهت مصرف تولید می‌کند.با این توان می‌توان ۱۰پمپ مه پاش را تامین کرد و مساحت ۱۰۰۰۰متراز گلخانه را را پوشش داد. توربین بادیH6.4-5000 خروجی برق ۱۹۱۵وات را داراست که می‌توان برق ۷ پمپ مه پاش را تامین کرد و مساحت۸۰۰۰ متر مربع یک گلخانه را با مه پاش پوشش داد.

مباحث اقتصادی

مقدار برق تولید شده و هزینه سرمایه گزاری در توربین بادی از جمله خرید توربین،فنداسیون ونصب و راه اندازی توربین عامل مهم در انتخاب نوع توربین و حتی سرمایه گزاری در این زمینه ا ست.ارتباط م ستقیم بین هزینه برق با هزینه تولید شده محصول گلخانه ای دارد.برای بدست آوردن میزان هزینه واحد برق ،ارزش فعلی هزینه های سی ستم تبدیل انرژی و مقدار برق بد ست آمده از توربین بادی بایستی مشخص شود.هزینه واحد برق طبق معادله (۱۳) مشخص می شود.[۱۰]

$$CPU = \frac{PVC}{E_{out}} \qquad (۱۳)$$

pvc ارزش هزینه های سیستم تبدیل انرژی باد و E_{out} میزان انرژی الکتریکی بدست آمده از توربین بادی را نشان می‌دهد.

انرژی خروجی توربین از رابطه (۱۴) محاسبه می‌شود[۸]

$$E_{out} = E \times C_F \qquad (۱۴)$$

E میزان انرژی قابل تولید و C_F ظرفیت توربین باد است.به طور متوسط عمر توربین بادی را ۲۰ سال مد نظر می‌گیرند. میزان برق تولید شده در طول عمر مفید توربین بادی از رابطه (۱۵) بدست می‌آید.

$$\bar{E} = \text{سال} \times ۳۶۵ \times \text{ساعت} \times P \qquad (۱۵)$$

دررابطه فوق $\bar{E}$ میزان انرژی متوسط تولید شده به توان تولید شده ، تعداد روزهای و ساعت کارکرد توربین و تعداد سالهای مورد استفاده بستگی دارد.

C_F ظرفیت توربین بادی ا ست که به مشخصات و شرایط جغرافیای منطقه از نظر آب و هوایی و در حقیقت میزان وزش باد بستگی دارد. مقدار C_F از رابطه۱۶ بدست می‌آید[۹].

$$C_F = \frac{\exp\left(-\left(\frac{Vmin^k}{c}\right)\right) - \exp\left(-\left(\frac{Vm^k}{c}\right)\right)}{\left(-\left(\frac{Vm^k}{c}\right)\right) - \left(-\left(\frac{Vmin^k}{c}\right)\right) - \left(-\left(\frac{Vmin}{c}\right)\right)^k} \qquad (۱۶)$$

در رابطه(۱۶)،C وK پارامترهای هستند که از روش ویبول بدست آمده است.V_{min} کمینه سرعت باد V سرعت نامی باد و V_{Max} سرعت بیشینه باد در منطقه را نشان می‌دهد.

روش ارزش فعلی اساسی‌ترین روش ارزیابی اقتصاد پروژه ها است.هزینه سیستم باد را می‌توان شامل هزینه خرید توربین، تجهیزات و لوازم مورد نیاز بعلاوه هزینه نصب و راه اندازی می‌شود.هزینه عملیاتی کردن توربین، نگهداری و تعمیرات توربین نیز جزءهزینه بایستی حساب کرد که از رابطه (۱۷) می‌توان بدست آورد.

$$PVC = I + C_{act}\left[\frac{(1+I)^n}{i(1+I)^n}\right] - S\left[\frac{1}{(1+I)^n}\right] \quad (17)$$

در رابطه بالا I هزینه سرمایه گذاری شامل خرید توربین، باتری ،فندا سیون، دکل، مونتاژتوربین، هزینه کابل ، سیستم ارتباطی و جعبه تقسیم می‌با شد. nتعداد سالهای مورد استفاده توربین باد است. هزینه های عمرانی شامل فندا سیون دکل ،کابل و... را حدود ۳۰در صد هزینه توربین محا سبه می شود. خرید باتری به نوع طراحی سیستم برق گرفته شده از توربین بستگی دارد. اگر سیستم برق توربین به شبکه برق شهری وصل باشد نیازی به خرید باتری نیست ولی اگرسیستم انرژی باد به صورت مستقل طراحی شده باشد بایستی از باتری جهت ذخیره انرژی الکتریکی تولید شده تو سط توربین باد ا ستفاده شود تا در صورت نبود باد از انرژی باتری جهت راه اندازی وسایل داخل گلخانه ا ستفاده شود. C_{act} هزینه عملیاتی کردن توربین،نگهداری و تعمیرات توربین در طول دوره استفاده است که در معادله PVC قرار داده می‌شود و ارزش هزینه‌های سیستم تبدیل انرژی باد بدست می‌آید.هزینه نگهداری توربین باد را می‌توان به صورت هزینه سالیانه که از تقسیم هزینه خرید توربین بر مقدار طول عمر توربین بدست آورد.

S نشان دهنده هزینه اسقاط کردن توربین در پایان طول عمر خود است. ارزش اسقاط توربین وهزینه عمرانی نصب و برپایی آن به صورت ثابت (۱۰درصد)تعیین می‌شود.

لازم به توضیح است که C بستگی به ارتفاع نصب توربین دارد به دلیل اینکه سرعت باد در ارتفاعات مختلف تغییر می‌کند.می‌توان Cثانویه را طبق معادله (۱۸) بدست آورد[۱۱].

$$C_2 = C_1\left(\frac{h_2}{h_1}\right)^{\frac{1}{7}} \quad (18)$$

با افزایش ارتفاع سرعت باد افزایش می یابددر نتیجه C_2 تغیر می‌کند و طبق معادله ۱۴ میزان خروجی برق افزایش می‌یابد و می‌توان به این نتیجه رسید که هزینه هر واحد برق به به عوامل قطر توربین وارتفاع نصب شده بستگی دارد.در جدول شماره ۸ سرعت باد هر ماه طی سال های ۲۰۱۲ تا۲۰۱۴برای منطقه رباط کریم آورده شده است. با توجه به مقدار سرعت در هر ماه که حداقل ۳ متر بر ثانیه نیاز است تا تولید توان با توجه به توربین مورد مطالعه انجام گیرد.با توجه به سرعت باد در هر ماه منطقه فیروزکوه در سال ۲۰۱۴ می توان زمان برگشت سرمایه جهت خرید و راه اندازی توربین بادی بد ست آورد.

جدول۸- سرعت میانگین ماهانه فیروزکوه بین سال ۲۰۱۴

Firoozkouh	۲۰۱۴
Jan	۳.۹
Feb	۴.۱
mar	۴.۷
Apri	۴.۸
May	۴.۷
jan	۵.۸
Jul	۵.۸
aug	۴.۳
Sep	۴.۲
oct	۴.۸
nov	۴
dec	۳.۶

باتوجه به جدول شماره ۸ در سال ۲۰۱۴ بااثر دادن CF منطقه و روز و ساعت و عمر مفید توربین مقدار برق خروجی در حالت تئوری(جدول۷) به صورت واقعی را می‌توان در جدول شماره ۹ برای مدت یکسال و بیست سال نوشت. جدول ۹ ظرفیت تولید برق توربین های هامر با توجه به ظرفیت باد منطقه مورد مطالعه نشان می دهد.

جدول۹- میزان انرژی الکتریکی خروجی توربین ها در یکسال و بیست سال با توجه به سرعت ماهانه با CFمنطقه(CF×kw×days×24×P)

نام منطقه	H8.0	H6.4	CF×kw×days×24 ×P
	۱۰۰۰۰	۵۰۰۰	
فیروزکوه	۹۵۱۵ kW	۴۷۶۵ kW	یکساله
	۱۹۰۳۱۳kW	۹۵۳۱۱kW	بیست ساله

با توجه به قیمت خرید ۱کیلووات ساعت برق بادی برابر ۵۹۳۰ریال در سال ۱۳۹۵ که وزارت نیرو از سرمایه گزاران در بخش انرژی پاک خریداری

می‌کند.در منطقه فیروزکوه که نسبت به سایر مناطق تعداد روزهای بادی بیشتری (حداقل ۳ متر بر ثانیه) دارد برزمان بازگشت سرمایه مطالعه انجام داده شده است.در جدول شماره ۱۰ ارزش برق تولیدی توسط توربین‌ها در یکسال و بیست سال که عمر مفید توربین های مورد مطالعه است نوشته شده

نصب توربین	H8.0	H6.4
	۱۰۰۰۰	۵۰۰۰
بیست سالPVC	۴۵۶۴۸۲۰۰۰ریال	۲۶۴۸۶۶۵۰۰ ریال
یک سالPVC	۲۲۸۴۱۰۰ ریال	۱۳۲۴۳۳۲۵ریال

است. این مقادیر با توجه به جدول شماره ۹ که مقدار توان تولیدی هر توربین با توجه به منطقه آورده شده است که با ضرب ۵۹۳۰ ریال هزینه خرید برق از طرف دولت ارایه شده به ازای هر کیلوات ارزش ریالی برق تولیدشده توسط هر توربین را می‌توان بدست آورد. البته بایستی توجه کرد که مقدار برق تولید شده را درزمان عمر توربین وارد کرد تا مقدار برق کل و مقدار ارزش ریالی را در طول عمر یک توربین که بیست سال فرض شده است بدست می‌آید.

جدول۱۰- ارزش برق تولید شده توسط توربین‌ها در دوره یک و بیستسال

نام منطقه		H8.0	H6.4
		۱۰۰۰۰	۵۰۰۰
فیروزکوه	یکساله	۵۶۱۴۲۶۳۰ ریال	۲۸۱۱۷۰۴۰ریال
	بیست ساله	۱۱۲۲۸۵۲۶۰۰ ریال	۵۶۲۳۰۸۰۰ ریال

یکی از انگیزه های سرمایه گذاری در هر پروژای برای سرمایه گزارها زمان بازگشت سرمایه است. ارزش فعلی هزینه‌ها را می‌توان در این قسمت از پژوهش مطالعه کرد.البته لازم به توضیح است که به دلیل اینکه انرژی برق در ایران ارزانتر است مانع توسعه انرژی های تجدید پذیر از طرف بخش خصوصی می شود.

ارزش فعلی هزینه ها

جدول ۱۱- تخمین هزینه نصب توربین در گلخانه-مزرعه

اجزا	H8.0	H6.4
	۱۰۰۰۰	۵۰۰۰
هزینه توربین (ریال)	۱۸۰۰۰۰۰۰۰ ریال	۸۵۰۰۰۰۰۰ ریال
کابل –فنداسیون باطری و مبدل(۳۰درصد توربین)	۶۰۰۰۰۰۰۰ ریال	۲۲۵۰۰۰۰۰ ریال
هزینه تعمیربرای ۲۰ سال)	۱۸۰۰۰۰۰۰ ریال	۸۵۰۰۰۰۰۰ ریال
باطری برای ۲۰سال عمر باطری ۵ سال است	۹۵۰۰۰۰۰۰ ریال	۹۵۰۰۰۰۰۰ ریال
هزینه کل	۳۵۳۰۰۰۰۰۰ریال	۲۱۶۰۰۰۰۰۰ریال

طبق رابطه (۱۷) می‌توان هزینه‌های ارزش فعلیPVC برای هر توربین را برای کارکرد۲۰ سال بدست آورد.

جدول ۱۲:ارزش فعلی توربین بادی برای ۲۰ سال

جدول شماره ۱۲ ارزش فعلی هزینه توربین های بادی مختلف را برای مدت یکسال و بیست سال نمایش می‌دهد. با توجه به مقدار هزینه ریالی برق تولید شده هر توربین در جدول ۱۰ اشاره شده است و ارزش فعلی توربین‌های بادی می‌توان زمان بازگشت سرمایه را بد ست آورد.البته قابل ذکر ا ست که انرژی های تجدید پذیر نیاز سرمایه اولیه بالایی دارد و نبایستی به این صنعت به عنوان صنعت سودآور در ایران نگاه کرد.

نتیجه گیری و بحث

در مناطق فیروزکوه، با توجه به چگالی ۱۴۲(w/m^2) در ارتفاع ۱۰ متری با استفاده از توربین های باد ۱۰ و ۵ کیلوواتی، به دلیل ارزش برق تولیدی بیشتر و ارزش فعلی هزینه‌های توربین ها زمان برگشت سرمایه کمتر از عمر مفید توربین طول می‌کشد که می‌توان از توربین بادی سایز کوچک در این منطقه ا ستفاده کرد.در این مناطق می‌توان از توربین هایی با سایز کوچکتر از جمله توربین‌ای سری ماکس نیز جهت بهره مندی با هزینه کمتر نیز ا ستفاده کرد.با مطاله بیشتر در ارتفاعات بالاتر از ۱۰ متر در منطقه فیروزکوه به نظر می‌ر سد می‌توان از توربین‌های سایز بزرگتر از ۱۰ کیلوات نیز ا ستفاده کرد.با توجه به هزینه نگهداری و انتقال برق از نیروگاههای فسیلی دولت در سالهای آینده افزایش قیمت برق را خواهد داد. همچنین با توجه به توافق نامه محیط زیست پاریس[1]در سال ۲۰۱۵مبنی بر کنترل انتشار گازهای گلخانه‌ای و افزایش روز افزون مصرف برق در کشور،دولت مجبور است درآینده به این فناوری توجه کند و استفاده از این فناوری در سالهای دور به صرفه خواهد بود.البته توربین های مطالعه شده در این پژوهش بایستی به دلیل داشتن قطر روتور زیاد در ارتفاع بیش از ۱۰ متری نصب شود تا ایمنی این توربین ها حفظ شود. لازم به توضیح است که اگر استفاده از توربین های بادی در کشور ترویج پیدا کند هزینه خرید و نصب نیز کاهش پیدا خواهد کرد. همچنین به دلیل اینکه اکثر توربین‌ها در خارج از کشور تولید می‌شود بایستی شرکت های دانش بنیادی که در این زمینه فعالیت می‌کنند تقویت شده و فناوری این گونه توربین‌ها را بومی سازی کرد تا با قیمت مناسب‌تری به دست مصرف کننده برسد.با حمایت از پژوهشگران بایستی تکنولوژی توربین‌های سایز

[1] Paris environmental agreement

کوچک را بالا برده تا برق خروجی از توربین‌ها با چگالی باد منطقه همخوانی داشته باشد.

منابع

[3]عباس رضائی عسلی، فرزام پاشایی، پیام پاشایی، محمدحسمه رحمتی، آیت. محمدزدی، "تعیین میزان مصرف انرژی برای تولید گوجه فرنگی گلخانه ای در مناطق گلخانه ای استان کرمانشاه"، مجله تولید گیاهان، جلد. ۱۹: ۲،۲۰۱۲.

[4] علیرضا انزاری ابوالقاسم، امیر. احمدی، عاطفه عرفانی، اکرم برزویی، "ارزیابی توان بالقوه انرژی باد و امکان ساخت این نیروگاه بادی در سبزوار"جغرافیایی مطالعات مناطق خشک،جلد۹ صفحه ۳۳-۴۶

[8]پریسا شهین روخسر، اصل خنک کننده گلخانه. موسسه تحقیقات مهندسی کشاورزی و فنی،انتشارات علوم دانشگاه، ۱۳۹۰.

[9]حسندخت،مدیریت گلخانه،انتشارات دانشگاهی ،جلد۱، ۱۳۸۵

[1] Daniel.Nugenta, Benjamin .K.Sovacool,"Assessing the lifcycle house gas emissions frome solar PV and wind energy A critical metal-surve," energy police,vol.65.pp.229-244,2013

[2] Levent. Bilir, Mehmet.Imir, Yılser.Devrim, Ayhan.Albostan, "An investigation on wind energy potential and small scale wind turbine," performance at _Incek region – Ankara. Turke, Energy Conversion and Management,vol.103 ,pp.910–923, 2015

[5] Hüseyin.Benil, "A performance comparison between a horizontal source and a vertical source heat pump systems for a greenhouse heating in the mild climate Elazığ," Turkey. Applied Thermal Engineering,vol.50,pp.197-206, 2013.

[6] L. de. Santoli, A. Albo, D.A. Garcia, D. Bruschi, F. Cumo"A preliminary energy and environmental assessment of a micro wind turbine prototype in natural protected areas, " Sustainable Energy Technologies and Assessments, vol. 8, pp. 42-56, 2014.

[7] Miguel.Becerra, José.Morán,Alejan.droJerez,Miguel.Valenzuela, "Wind energy potential in Chile: Assessment of a small scale wind farm for residential clients," Energy Conversion and Management,vol.140 ,pp.71–90, 2017.

[10] H .Polinder, S. Member, J. Abraham,F. Fellow,J. Member,A. B. A.brahamsen, K. Atallah, R. A. McMaho"Trends in Wind Turbine GeneratorSystemsn," IEEE ., 2013.

[11] Ronit. K.Singh,M. Rafiuddin.Ahmed, " Blade design and performance testing of a small wind turbine rotor for low wind speed applications," Renewable Energy,vol.50,pp.812-819, 2016