امکان سنجی احداث نیروگاه بادی ۱۰ مگاواتی مراوه تپه

حمدی عبدی[۱و*]، تقی حسین زاده خنکداری[۲]،رزم‌آرا ذاکری فر[۳]،سید حسن عباسیه کهن[۴]،سید ابراهیم هاشمی پنبه چوله[۵]

تاریخ دریافت مقاله:
۱۳۸۹/۱۱/۵
تاریخ پذیرش مقاله:
۱۳۹۰/۳/۱

کلمات کلیدی:
امکان سنجی، انرژی باد، توربین بادی، مزرعه بادی

چکیده:
استفاده از انرژیهای تجدیدپذیر بخصوص انرژی باد به عنوان یکی از منابع تجدید پذیر تولید انرژی الکتریکی، در سالهای اخیر مورد توجه فراوانی قرار گرفته است. اولین گام در احداث مزارع بادی، انجام مطالعات امکان سنجی است که هدف آن ارزیابی امکان پذیر بودن تأسیس یک نیروگاه بادی از لحاظ فنی، اقتصادی و زیر ساختهای مورد نیاز در یک سایت مشخص با استفاده از توربین‌های بادی معین می‌باشد. برآورد انرژی تولیدی سالیانه نیروگاه، نوع، ظرفیت و تعداد توربین های استفاده شده در چیدمان نیروگاه، نحوه اتصال به شبکه سراسری یا محلی و پارامترهای شبکه مواردی هستند که باید در یک مطالعه امکان سنجی مشخص گردند. در این مقاله با توجه به پتانسیل بادی منطقه نمونه (مراوه تپه)، بر اساس اطلاعات هواشناسی و روشهای آماری مناسب و با استفاده از نرم افزار**comfar**، امکان‌سنجی فنی و اقتصادی احداث یک نیروگاه بادی ده مگاواتی بررسی شده است.

پرتال جامع علوم انسانی

۱) استادیار گروه برق، دانشگاه رازی کرمانشاه، hamdiabdi@razi.ac.ir
۲) دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد واحد علوم و تحقیقات کرمانشاه، برق منطقه‌ای مازندران، Taghi.bargh@yahoo.com
۳) کارشناس ارشد، برق منطقه‌ای مازندران، rzakerifar@gmail.com
۴) مدیر امور انتقال مرکز، برق منطقه‌ای مازندران، abbasiehkohan@mazrec.co.ir
۵) کارشناس حفاظت و کنترل، برق منطقه‌ای مازندران، seyedhp@yahoo.com
* نویسنده مسئول

مقدمه

نگاهی گذرا به آمارهای تولید و مصرف انرژی الکتریکی در ایران، بیانگر نیازمندی به افزایش سالانه ظرفیت ۵۰۰۰ مگاوات در بخش تولید جهت تأمین تقاضای بار می باشد. براساس برنامه‌ریزی‌های انجام شده، انتظار می‌رود ظرفیت نصب شده نیروگاه‌های کشور تا پایان سال ۱۳۹۲ به رقمی معادل ۷۲۵۵۰ مگاوات بالغ گردد. بر این اساس و با توجه به ظرفیت نصب شده تا پایان سال ۱۳۸۵، باید طی یک دوره ۷ ساله، در حدود ۲۷۴۴۰ مگاوات به ظرفیت نیروگاهی کشور افزوده شود.

از نگاه دیگر، ایران از لحاظ وضعیت جغرافیایی در شمار کشورهایی است که بهره‌برداری از منابع انرژی‌های نو و تجدیدپذیر در آن ممکن می‌باشد. یکی از اهداف بلندمدت صنعت برق کشور، بکارگیری بیش از پیش انرژی‌های نو و منابع تجدیدپذیر انرژی برای کاهش انتشار آلاینده های زیست محیطی و کاهش مصرف سوخت‌های فسیلی می‌باشد. انرژی باد مانند سایر منابع انرژی در اثر تبدیل انرژی خورشیدی بوجود می آید. تابش خورشید، توپوگرافی و نوع پوشش سطح زمین سبب می شود که جو زمین به صورتی غیر یکنواخت گرم شده و فشار جو در نواحی مختلف متفاوت گردد. در اثر این اختلاف فشار، توده های هوا از نقطه‌ای به نقطه دیگر حرکت نموده و باد ایجاد می‌شود. استفاده از باد بعنوان منبع پاک و رایگان تولید انرژی الکتریکی در حال گسترش روز افزون بوده و بر طبق پیش بینی ها تا سال ۲۰۲۰ میلادی ۱۰ درصد کل برق جهان از انرژی باد استحصال خواهد شد. همچنین رشد سالانه تولید انرژی الکتریکی از انرژی باد تا سال ۲۰۴۰، بین ۱۰ تا۴۰ درصد پیش بینی شده است [۷].

در این مقاله با توجه به پتانسیل بادی منطقه نمونه مراوه تپه (واقع در شمال ایران) و بر اساس اطلاعات هواشناسی و روشهای آماری مناسب، مطالعات امکان‌سنجی فنی و اقتصادی احداث یک نیروگاه بادی ده مگاواتی بررسی شده است.

مطالعات امکان سنجی نیروگاه مراوه تپه

مطالعات امکان سنجی باید بررسی های فنی واقتصادی شامل برآورد انرژی تولیدی سالیانه نیروگاه، بررسی های اقتصادی و مطالعات امکان سنجی به شرح تفصیلی زیر باشند [۲] .

برآورد انرژی تولیدی سالیانه نیروگاه

به دلیل تاثیر عوامل متعدد بر میزان وزش باد، برآورد انرژی تولیدی سالیانه نیروگاه که تابعی از سرعت و جهت وزش باد است، نیازمند محاسبات پیچیده ای می باشد. جهت برآورد انرژی تولیدی، از نرم افزارهای متداول نظیر WASP، Windpro استفاده می شود. البته در نیروگاه های بادی کوچک، به دلیل دقت کافی اندازه گیری مشخصات باد توسط ایستگاه های باد سنجی در محل احداث توربین، محاسبات مذکور را می توان بدون استفاده از نرم افزار نیز انجام داد. مهمترین عوامل مؤثر بر جریان و اطلاعات مورد نیاز جهت برآورد انرژی تولیدی سالیانه عبارتند از: داده های

پتانسیل سنجی، داده ها و نقشه های توپوگرافی و کاربری اراضی منطقه، مطالعه منطقه از نظر منع قانونی، زیست محیطی، فرهنگی و مطالعه منطقه از نظر زلزله خیزی و خاک شناسی.

بررسی های اقتصادی

مهمترین عوامل مؤثر عبارتند از: مطالعه هزینه های احداث مشتمل بر هزینه های سازه، تجهیزات برقی، توربین و حمل و نقل به سایت؛ هزینه های خدمات مهندسی؛ هزینه های متفرقه احداث؛ هزینه های بهره برداری ، تعمیر و نگهداری (متغیر وثابت)؛ هزینه های خارجی ناشی از عوامل پیش بینی نشده شامل: خاموشی خارج از برنامه و حوادث طبیعی؛ نرخ تنزیل و نرخ تورم؛ درآمد حاصل از فروش برق و برآورد قیمت فروش؛ محاسبات تامین بودجه از طریق اخذ وام شامل: برآورد میزان سود و بهره؛ محاسبات میزان و مدت زمان برگشت سرمایه و محاسبات عدم قطعیت هزینه ها.

مطالعات امکان سنجی مزارع بادی

مطالعات امکان سنجی فنی مزارع بادی بطور کلی شامل چهار موضوع اصلی انتخاب سایت مناسب برای مزرعه بادی، انتخاب مدل مناسب توربین بادی ، وضعیت موضعی باد وارزیابی سایت ومشخصات فنی وکاربرد آن می باشد.

الف) انتخاب سایت مناسب برای مزرعه بادی

برای اطمینان از مناسب بودن یک سایت جهت احداث مزرعه بادی، لازم است موارد زیر بررسی شوند:

١- مناسب بودن وضعیت باد:

لازم است باد از قدرت کافی برخوردار بوده و جریان هوا به میزان کافی یکنواخت و همگن باشد.

٢- کافی بودن توان خروجی توربین بادی:

برآورد اولیه توان خروجی نیروگاه معمولا با نرم افزار انجام می شود.

٣- کفایت زیر ساختار های موجود در سایت:

شامل جاده ها و پل ها، و تند نبودن بیش از حد شیب زمین.

٤- شبکه فشار متوسط:

دسترسی به آن، کفایت توان اتصال کوتاه، مناسب بودن کیفیت خطوط انتقال

٥- زمین و شرایط زیست محیطی:

دسترسی، مناسب بودن اوروگرافی، عدم محدودیت اساسی در موانع موجود در مسیر باد.

٦- موارد دیگر شامل:

زلزله خیزی پائین، قابل قبول بودن میزان ذرات معلق نظیر نمک و ماسه در هوا و ....

ب) انتخاب مدل مناسب توربین بادی

- مناسب بودن توان توربین های بادی انتخاب شده؛
- مناسب بودن ارتفاع هاب مدل انتخابی در شرایط سایت؛
- قابل قبول بودن اثرات توربین روی شبکه؛
- مجاز بودن پارامترهای الکتریکی مانند ضریب توان، توان حداکثر، هارمونیک ها، جریان گذرا، ضریب فلیکر و ...؛
- قابل قبول بودن صدای توربین؛
- کافی بودن ضریب دسترسی فنی-Availability؛
- مناسب بودن قیمت مدل انتخابی؛
- مجاز بودن خرید توربین از لحاظ قانونی؛

ج) وضعیت موضعی باد وارزیابی سایت

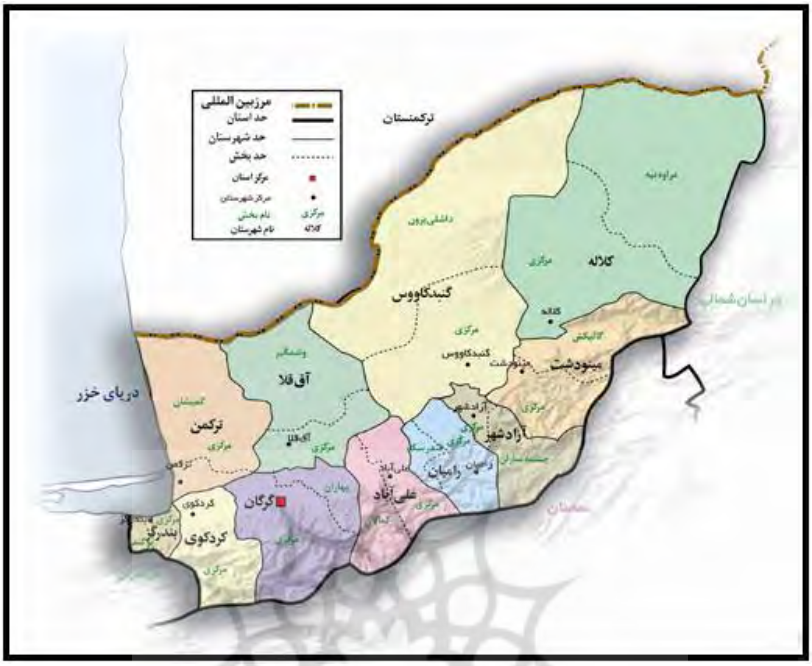
به طور کلی شرایط محیطی در سه مورد بر باد مؤثر است: موانع، زبری سطح و اروگرافی (وضعیت پستی و بلندی)

د) مشخصات فنی و موارد کاربرد آن

انرژی الکتریکی خروجی نیروگاه بادی، در فرکانس ۵۰ هرتز و ولتاژهای ۲۲۰، ۴۰۰، ۶۰۰۰ و یا ۲۰۰۰۰ ولت تولید شده و بعد از تحویل به سیستم قدرت و انتقال آن، توسط سیستم توزیع به مصرف‌کننده می‌رسد.

د-۱) محل اجرای طرح

استان گلستان درشمال کشور ایران و درکرانه دریاچه خزر در امتداد رشته کوه البرز قرار دارد. نیروگاه مورد مطالعه در شهرستان مَراوه‌تَپه در محدوده این استان و واقع در شمال خاوری ایران در نزدیکی مرز ترکمنستان احداث خواهد گردید [۳و۵]. مرکز مزرعه بادی در سه کیلومتری روستای مراوه تپه واقع شده است. تغییر ارتفاع، ۱۵۰۰ تا ۱۷۰۰ متر از سطح دریا می باشد. ظرفیت نیروگاه ۱۰ مگاوات و زمین مورد نیاز ۱۰۰ هکتار زراعی به صورت دیم و در برخی نواحی فاقد پوشش گیاهی در نظر گرفته شده است.



شکل ١: محل اجرای طرح(استان گلستان – مراوه تپه) [٤]

د-٢) مسیرهای دسترسی به سایت

وجود جاده‌های دسترسی و امکان اتصال به شبکه برق سراسری و مصرف کنندگان برق، نکات مهمی در محل سایت می باشند. شکل(٢) مسیر دسترسی به سایت وشکل (٣)موقعیت توپوگرافی منطقه را نمایش می دهد.

شکل٢: نقشه راه دسترسی به سایت [١]

شکل۳: عکس ماهواره ای از موقعیت توپوگرافی منطقه[۸]

د-۳) ایستگاه بادسنجی مراوه تپه

جهت تعیین رژیم باد مناطق مستعد و بادخیز، لازم است مطابق با استاندارد، ایستگاه های ثبت آمار باد به ارتفاع حداقل ۴۰ متر و مجهز به سنسورهای دقیق در محل های مورد نظر احداث و به مدت حداقل یک سال مورد بهره برداری قرار گیرند تا رژیم باد منطقه جهت محاسبه انرژی قابل استحصال از باد منطقه در طول سال مشخص گردد. ایستگاهی که توسط سازمان انرژی های نو ایران نصب گردیده، آمار باد را از ۹ شهریور ۱۳۸۵ (۳۱ آگوست ۲۰۰۶) تا ۴ خرداد ۱۳۸۷ (۲۴ می ۲۰۰۸) برداشت نموده است. ایستگاه مجهز به سنسورهای بادسنجی در ارتفاعات ۱۰، ۳۰ و ۴۰ متری و سنسور جهت باد در ارتفاعات ۳۰ و ۳۷.۵ متری می باشد.

د-٤) طراحی نیروگاه بادی مراوه تپه

با توجه به شرایط باد منطقه و محاسبات، طرح پارک بادی با توربین های ۲ مگاواتی ارائه شده است. ایستگاه بادسنجی مورد استفاده در این طراحی در سمت غرب سایت و در ارتفاع ۱۵۴۰ متری واقع شده است. نتایج نشان می دهد که میانگین سرعت باد ۶ متر در ثانیه در ارتفاع ۴۰ متر از سطح زمین می باشد.

د-۵) عوامل محیطی موثر در طراحی

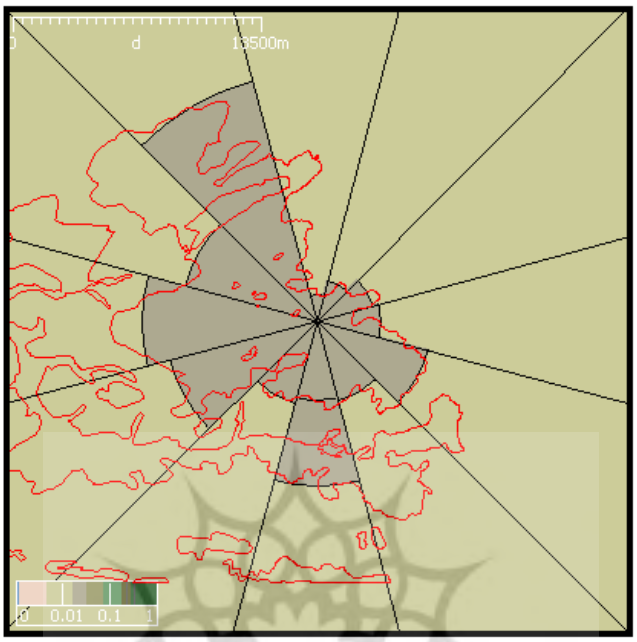
زبری زمین: رفتار توده های هوا در هنگام حرکت، وابسته به زبری سطح و ساختار توپوگرافی زمین است. زبری سطح بیانگر اصطکاک سطح بوده و باعث کاهش سرعت جریان هوا در مجاورت سطح می شود. سطح آب و سطوح فاقد پوشش گیاهی، زبری کمتری دارند، بنابراین تأثیر کمتری بر سرعت جریان هوا داشته، اما جنگل‌ها و شهرها زبری

بیشتری دارند. در بالای تپه ها جریان هوا متراکم شده و بنابراین چگالی انرژی بیشتری نسبت به جریان هوای مشابه بر فراز سطوح هموار دارد. کلاس بندی زبری منطقه در جدول(١) و شکل (۴) ارائه شده است.

جدول ١: کلاس بندی زبری منطقه

Sector		Roughness			Orography [%]	
No.	Angle [°]	Changes	Ref.[m]	speed-up [%]	RIX	dRIX
١	٠	١	٠/٠١٣	٠	٥/٨	٢/٨
٢	٣٠	١	٠/٠١٢	٠	١/٨	١/٣
٣	٦٠	١	٠/٠١٣	-٠/٤٤	٠/٢	-٠/٩
٤	٩٠	١	٠/٠١٣	-٠/٤٨	١/٨	١/٨
٥	١٢٠	١	٠/٠١٧	-١/١٤	١	٠/٢
٦	١٥٠	١	٠/٠١٧	-٠/٧٩	١/٨	٠
٧	١٨٠	٢	٠/٠١٧	-١/٠١	٢/٤	٢/٤
٨	٢١٠	١	٠/٠١٥	-٠/٦٤	٠/٩	٠/٦
٩	٢٤٠	١	٠/٠٢	-٠/٨	٠	-٠/٥
١٠	٢٧٠	١	٠/٠٢٢	-٠/٨٤	٠	-٠/٣
١١	٣٠٠	١	٠/٠٢١	-٠/٩٣	٠	-٠/٤
١٢	٣٣٠	١	٠/٠١٩	-٠/٦٦	١/٣	٠/٤
All					١/٤	٠/٦

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی



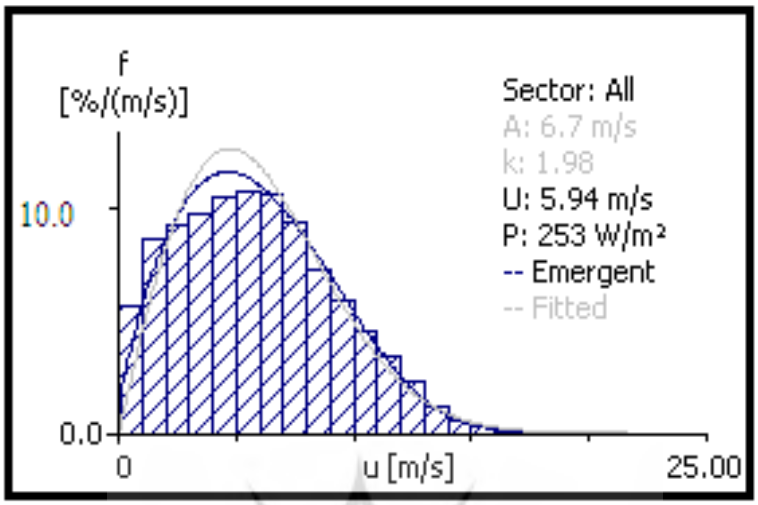
شکل ٤: قطاع بندی (١٢ قطاع) و کلاس بندی زبری منطقه برحسب رنگ

د-٦) مطالعات آماریاد وتجزیه و تحلیل داده ها

داده های حاصل از ایستگاه بادسنجی به صورت ذیل خلاصه شده است. همانطور که مشاهده می‌شود جهت باد غالب شرق و شمال شرقی می باشد.

جدول٢: داده های ایستگاه بادسنجی

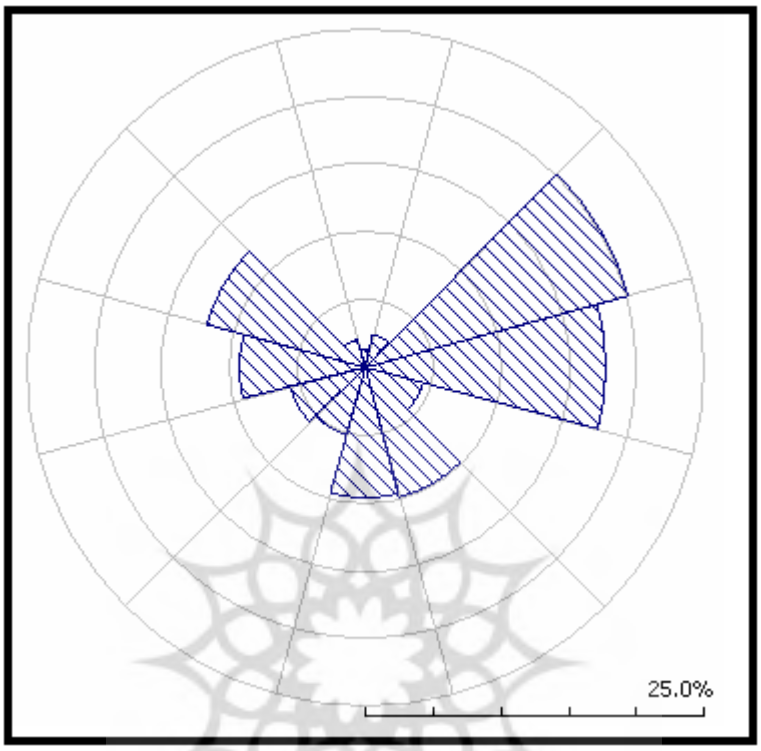
متوسط سرعت اندازه گیری شده(m/s)	ارتفاع اندازه گیری(m)
۵/۴	۱۰
۴/۸	۳۰
۶	۴۰



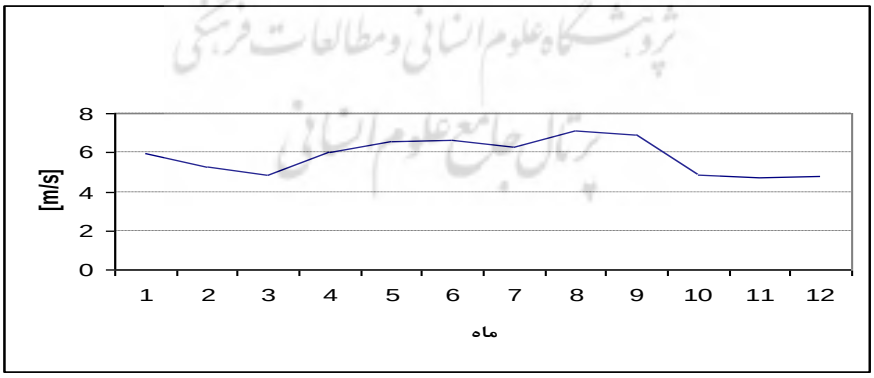
شکل ۵: منحنی وایبول ایستگاه

جدول ۳: اطلاعات پایه در ارتفاع ۴۰ متری

Sector		Wind Climate				Power Quality	
No.	angle [°]	f [%]	Weibull-A [m/s]	Weibull-k	Speed [m/s]	Power [W/m²]	ΔU [%]
۱	۰	۱/۳	۱/۷	۰/۹۹	۱/۷۲	۱۹	-۷/۱۷
۲	۳۰	۲/۵	۵	۱/۹۵	٤/٤۳	۱۰٤	٦/۵۷
۳	٦۰	۲۰/۱	۹	۳/۲۳	۸/۰۳	٤۲۸	۲/۱۵
٤	۹۰	۱۷/۷	۸/٦	۲/۷۲	۷/٦۲	٤۰٤	۲/۰۰
۵	۱۲۰	٤/۵	٤	۱/۷٦	۳/۵۵	٦۰	۱/٦۵
٦	۱۵۰	۹/۸	۵/٤	۲/۳۵	٤/۸۳	۱۱٤	۳/٤۳
۷	۱۸۰	۹/٦	٦/٦	۱/۹۱	۵/۸۷	۲٤۹	۱/۹۹
۸	۲۱۰	۵/۲	٦/۱	۱/۹۲	۵/٤۱	۱۹۳	۳/۳۰
۹	۲٤۰	۵/۷	٦/٤	۱/۷۸	۵/٦٦	۲٤۰	۳/۰۱
۱۰	۲۷۰	۹/۳	۵/۸	۱/٦۳	۵/۱۵	۲۰۲	-۱/۱۷
۱۱	۳۰۰	۱۲	٤/۹	۲	٤/۳۲	۹٤	۱/۲۲
۱۲	۳۳۰	۲/۳	۲/۱	۱/۵	۱/۸۹	۱۱	-۱/۱۱
All (emergent)					۵/۹٤	۲۵۳	
Source data					۵/۸۲	۲۵۲	



شکل ٦: نمودار گلباد ایستگاه بادسنجی مراوه تپه

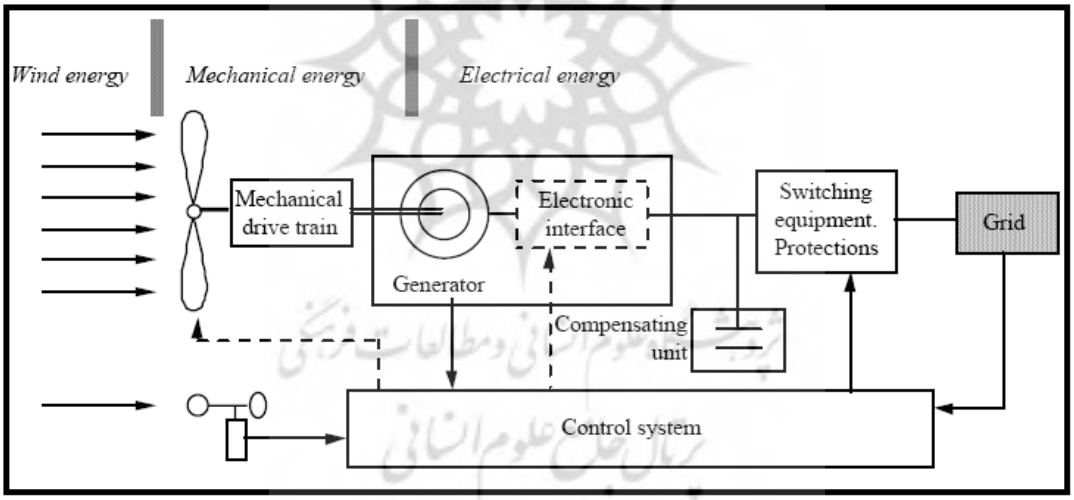


شکل ۷: تغییرات ماهانه سرعت باد

د-۷) توربین های بادی

د-۷-۱) سیستم های مبدل انرژی باد

سیستم های مبدل باد (Wind Energy Conversion System- WECS) انرژی باد را به انرژی الکتریکی تبدیل می کنند. لازم است این سیستم ها بر اساس تغییرات باد عمل کنند. طرح کلی WECS در شکل (۸) نشان داده شده است. گیربکس، سرعت پایین باد را با سرعت بالای ژنراتور هماهنگ می کند. در توربین های بادی جدید به منظور حذف گیربکس از ژنراتورهای سرعت پایین چند قطبی استفاده می شود که برای سنکرون شدن، دارای سیم پیچ میدان یا تحریک مغناطیس دائم هستند. بعضی توربین ها مجهز به کنترل زاویه نوک پره هستند که به منظور کنترل مقدار توان تولیدی به کار می روند. سرعت باد توسط بادسنج ها اندازه گیری می شود. ژنراتورها می توانند از نوع سنکرون یا آسنکرون باشند که در نوع اول از سیستم تحریک یا مغناطیس دائم استفاده می شود. در سیستم های سرعت متغیر برای سازگاری با شرایط مختلف از مدارات الکترونیک قدرت استفاده می شود. لازم است تجهیزات کلید زنی به گونه ای طراحی شوند که اتصال با شبکه، یکنواخت و استاندارد باشد. همچنین باید استانداردهای حفاظتی در بخش تولید لحاظ شود.



شکل۸ : طرح کلی سیستم مبدل انرژی

د-۷-۲) نحوه تعیین مشخصات توربین های بادی

در انتخاب توربین های بادی باید بادهای معمولی و تند بادها در نظر گرفته شوند. بر اساس میزان تحمل و توانایی توربین های بادی در برابر باد، استاندارد IEC 61400 کلاس های مختلفی از آنها را ارائه داده است.

جدول ٤: کلاس توربین‌ها بر اساس استاندارد IEC

کلاس توربین	I	II	III	IV
$V_{ref.}$ [m/s]	۵۰	۴۲.۵	۳۷.۵	۳۰
$V_{ave.}$ [m/s]	۱۰	۸.۵	۷.۵	۶

با توجه به سرعت متوسط باد در منطقه مورد مطالعه، که حدود ۶ متر برثانیه است، و با توجه به ارتفاع هاب؛ توربین های کلاس III انتخاب میشوند(طبق جدول۴).

د-۷-۳)مشخصات فنی توربین

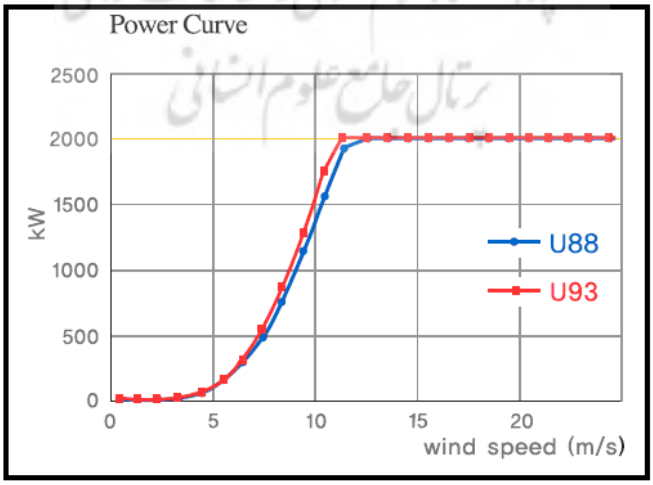
ظرفیت پیش بینی شده برای این پروژه حدود ۱۰ مگاوات است. با توجه به رژیم باد منطقه توربین ۲ مگاواتی برای طراحی نیروگاه بادی انتخاب شده است. مشخصات فنی توربین بادی مورد نظر به شرح زیر است.

جدول ٥: مشخصات فنی توربین

نام توربین	توان نامی	قطر پره	سیستم کنترل	سرعت وصل و قطع باد	ارتفاع هاب
	[kW]	[m]		[m/s]	[m]
Unison۸۸	۲۰۰۰	۸۸	Pitch	۳-۲۵	۸۰

توربین ساخت شرکت Unison کره جنوبی باکلاس های II و III می‌باشدکه اطلاعات آن در جدول (۶) ارائه شده است.

حداکثرتولید توربین درسرعت ۱۲ متربرثانیه می باشد. ژنراتور از نوع ژنراتور سنکرون با تحریک آهنربای دائم می باشد که از طریق گیربکس سه پله ای به پره ها وصل می شود. منحنی توان این توربین در شکل (۹) نشان داده شده است.



شکل ۹: منحنی توان توربین U88

جدول ٦: مشخصات توربین U88

General		
Type	Horizontal Axis, Upwind	
Rated Power	2,000 kW	
Model	U88	U93
Design Class	IEC IIA	IEC IIIA
Hub height	80 m	80 m
Cut-in	3 m/s	3 m/s
Rated	12 m/s	11.5 m/s
Cut-out	25 m/s	25 m/s

Pitch System	
Type	Independent blade pitch
Drive	DC electric servo-drive
Failsafe brake	Battery back up

Generator	
Type	Permanent Magnet, Synchronous
Rated Power (electrical output)	2,180 kW
Rotational Speed	430-1,250 rpm
Rated Voltage	600 V
Rated Current	2,098 A

Power Converter	
Type	G.B.T. PWM Control
Voltage	AC 600 V
Frequency	50/60 Hz

Rotor	
Type	Variable Speed
Diameter	88 m
Swept Area	6,079 m2
Tilt Angle	5 deg.
Primary Brake	Blade Pitch (aerodynamic)

Blade	
Type	Pre-bended (U88)
Material	Glass/Epoxy
Connection	T-bolt

Controller	
Type	PLC
Remote Control	By Modem and Ethernet
SCADA	WPPIS (via Internet)

Gear box	
Type	3 stage gear box
Rated Power	2,256 kW

Transformer	
Type	Cast Resin
Capacity	2,100 kVA
Rated Voltage (Primary/Secondary)	22,900V/600 V 3 phase/60Hz/50Hz

د-۷-٤)توان پتانسیل توربین

توان قابل تبدیل انرژی باد از رابطه زیر به دست می آید:

$$P = \frac{1}{2}\alpha\rho\pi r^2 v^3$$

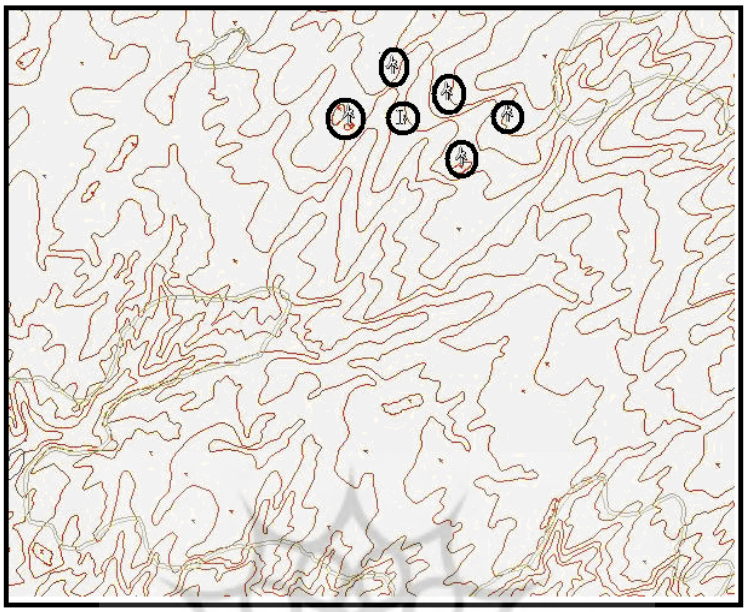
P توان تبدیلی به وات، α ضریب بهره‌وری (که به طراحی توربین وابسته‌است)، ρ تراکم باد برحسب کیلوگرم بر مترمکعب،r شعاع پره‌های توربین برحسب متر و v سرعت باد برحسب متر برثانیه است. حداکثر مقدار α براساس یافته های آلبرت بتز (Albert Betz) آلمانی، ۰/۵۹ می باشد [۶].

د-۷-۵) نتایج محاسبه انرژی تولیدی

محاسبات انرژی نیروگاه بادی با در نظر گرفتن ارتفاع متوسط ۱۶۰۰ متر از سطح دریا و میانگین دمای ۱۱.۲ درجه سانتیگراد، با چگالی $\rho = 1.03\,kg/m^3$ انجام شده است. با توجه به چگالی هوا انرژی خالص تولیدی ۸۴٪ مقدار محاسبه شده در نرم افزار WASP خواهد بود.

د-۸) چیدمان مزرعه بادی

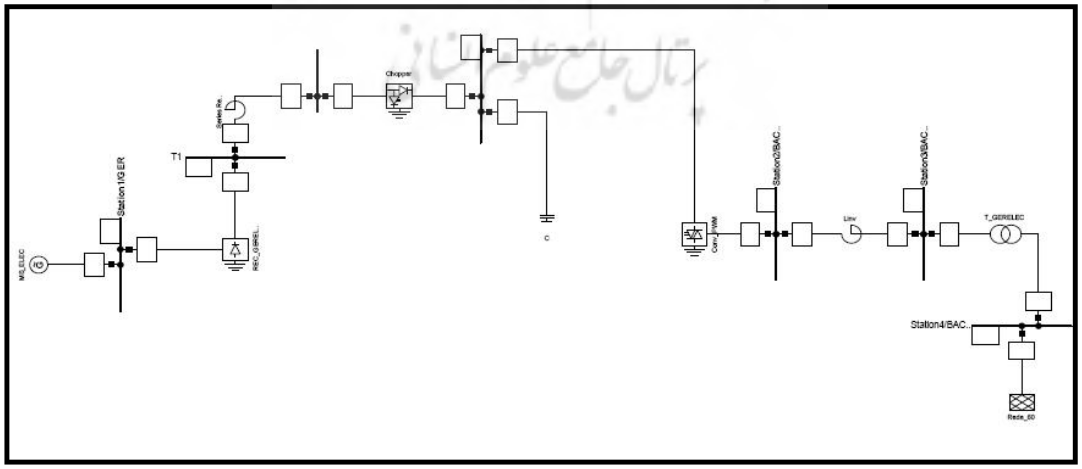
یکی ازمسائل مهم دراحداث نیروگاه های بادی، فاصله بهینه بین توربین های نصب شده و نحوه آرایش آنها می باشد تا از زمین و باد موجود منطقه حداکثر استفاده شده و آلودگی صوتی ایجاد نشود. توربین‌های بادی باید ده برابر قطرشان در راستای باد غالب و پنج برابرقطرشان در راستای عمودی از هم فاصله داشته باشند تا کمترین تلفات حاصل شود. در نتیجه توربین‌های بادی تقریباً به ۰/۱ کیلومترمربع مکان خالی به ازای هر مگاوات توان نامی تولیدی نیازمند هستند. در شکل(۱۰) چیدمان توربین ها در سایت مراوه تپه به منظور کسب بیشترین راندمان ارائه شده است. چیدمان توربین ها به نحوی است که با توجه به جهت غالب وزش باد، اثر سایه به حداقل برسد. فاصله توربین های مجاور حدود ۵۰۰ متر است.



شکل۱۰: چیدمان توربین های بادی 2MW

د-۹) مدلسازی توربین ها

برای طراحی شبکه الکتریکی نیروگاه بادی مراوه تپه و انجام پخش بار، توربین بادی مورد نظر از نرم‌افزار Power Factory DIgSILENT استفاده شده است. در شکل (۱۱) مدل توربین در نرم افزار DIgSILENT نشان داده شده است. ژنراتور سنکرون با توان MW ۲ دارای ولتاژ ۶۰۰ ولت می باشد. ترانس هر توربین ولتاژ ۶۰۰ ولت را به ۲۰ کیلو ولت تبدیل می‌کند.



شکل۱۱- مدل توربین بادی UNISON88

ارزیابی وتحلیل مالی نیروگاه بادی مراوه تپه

مشخصات مالی طرح

مشخصات مالی طرح به شرح زیر می‌باشد.

الف) زمان ساخت این طرح یک و نیم سال و طول عمر آن ۲۰ سال پیش بینی شده است. ارزیابی های مالی در ۶ حالت انجام شده که در ۴ حالت اول دوره بهره‌برداری ۱۰ ساله لحاظ شده است:

- استهلاک ۱۰ ساله و تثبیت قیمت ها بر اساس سال ۱۳۸۸.
- استهلاک ۱۰ ساله و افزایش هزینه های سالیانه فروش برابر با ۷ ٪ .
- استهلاک ۲۰ ساله و تثبیت قیمت ها بر اساس سال ۱۳۸۸.
- استهلاک ۲۰ ساله و افزایش فروش و هزینه های سالیانه برابر با ۷ ٪ .
- بهره برداری ۲۰ ساله و افزایش فروش و هزینه های سالیانه برابر با ۷ ٪ .
- بهره برداری ۲۰ ساله و افزایش فروش و هزینه های سالیانه برابر با ۷ ٪ بر اساس سال ۱۳۸۹.

ب) انرژی الکتریکی تولیدی سالیانه kWh ۲۹،۳۳۹،۰۰۰ می باشد. که از ابتدای سال بهره برداری این مقدار تا پایان عمر طرح ادامه ارائه خواهد شد.

پ) واحد پول ریال می باشد و مبادله خارجی بر اساس یورو است و نرخ برابری آن ۱۵۰۰۰ ریال در نظر گرفته شده است. (به استثناء حالت ۶، که نرخ یورو ۱۳۵۰۰ ریال می باشد.)

ت) نرخ تنزیل در ۵ حالت اول برای کل سرمایه گذاری و همچنین آورده سهامداران ۲۰ ٪ و در حالت ششم ۱۸ ٪ می باشد. سهامداران مایل هستند تا ارزش طرح را در دوره ۱۰ و ۲۰ ساله مورد بررسی قرار دهند.

ه) هزینه های سرمایه گذاری

- **هزینه‌های سرمایه گذاری ثابت:** شامل محوطه سازی و بهبود زمین، خرید زمین، کارهای عمرانی، بنا و ساختمان‌ها، ماشین آلات و تجهیزات، تجهیزات جانبی، مطالعات پیش از سرمایه گذاری و هزینه های احتمالی
- **هزینه های تولید:** شامل هزینه های تعمیرات، نگهداری و بهره برداری سالیانه به صورت یک درصد از هزینه های سرمایه گذاری توربین ها در نظر گرفته می شوند.

جدول ۷: هزینه های ثابت سرمایه گذاری

شرح	هزینه	میزان استهلاک (سال)	ارزش اسقاطی	هزینه (میلیون)
خرید زمین	ریالی	۱۰ و ۲۰	٪۱۰۰	۱۰۰
محوطه سازی	ریالی	۱۰ و ۲۰	–	۷,۰۰۰
عمرانی و ساختمان‌ها	ریالی	۱۰ و ۲۰	٪۵	۱۰,۰۰۰
ماشین آلات	یورو	۱۰ و ۲۰	٪۵	۱۶
خدماتی و جانبی	ریالی	۱۰ و ۲۰	–	۱۰,۰۰۰
هزینه های احتمالی	یورو	۱۰ و ۲۰	–	٪۱ ماشین آلات
مخارج پیش از تولید	ریالی	۱۰ و ۲۰	–	۱,۰۰۰

- **هزینه های تولید:** هزینه های تولید در سال اول بهره برداری به شرح زیر می باشد:

جدول ۸: هزینه های تولید

ردیف	شرح		هزینه های سالیانه		درصد متغیر
			میلیون ریال	یورو	
۱	تعمیرات و نگهداری		–	۱۶۰,۰۰۰	۲۰
۲	نیروی کار (ماهر)		۱۶۸	–	۳۰
۳	نیروی کار (غیر ماهر)		۱۶۸	–	۳۰
۴	هزینه های اداری	مدیرعامل (۱)	۵۶۰	–	۰
		هیئت مدیره (۲)	۷۰۰	–	۰
		کارمند اداری–مالی (۲)	۴۸۰	–	۰
		راننده (۱)	۲۰۰	–	۰
		کارشناس (۲)	۵۶۰	–	۰
		سایر	۵۰۰	–	۰

- **پیش بینی فروش**

جدول ۹: پیش بینی فروش محصول

سال	۱	۲	۳	٤	٥	٦	۷	۸	۹	۱۰
مقدار فروش [MWh]	۱۴۶۷۰	۲۹۳۳۹	۲۹۳۳۹	۲۹۳۳۹	۲۹۳۳۹	۲۹۳۳۹	۲۹۳۳۹	۲۹۳۳۹	۲۹۳۳۹	۲۹۳۳۹

سرمایه در گردش مورد نیاز: طبق جدول شماره(۱۰)

جدول ۱۰

شرح	روزهای تحت پوشش
حساب های پرداختنی	۰
تعمیر و نگهداری	۰
دستمزد کارگران ماهر	۰
دستمزد کارگران غیرماهر	۰
اداری	۰
حسابهای دریافتنی	
داخلی	۳۰
خارجی	۳۰

- آورده سهامداران جهت تأمین مالی: آورده نقدی سهامداران شرکت و وام بلند مدت که به واحد پول خارجی است، به شرح زیر می باشد:

۷۵٪ از کل سرمایه گذاری طرح از طریق وام بلند مدت از بانک با نرخ بهره ۷٪ و به شرح زیر دریافت می‌شود:

بازپرداخت وام پس از ۶ ماه از شروع بهره برداری آغاز می‌شود که در ۲۰ قسط به صورت ۶ ماهه خواهد بود. مبلغ وام در یک قسط و به تاریخ ماه ششم سال اول پرداخت خواهد شد. (طرح در منطقه کمتر توسعه یافته قرار گرفته است)

تقسیم سود: کلیه سود حاصل از سرمایه گذاری در طرح باقی می ماند و توزیع نخواهد شد.

جدول ۱۱:

تأمین مالی: الف) حالت ۱ تا ۵

منبع تأمین مالی	مقدار
آورده سهامداران	۷۲.۰۰۰.۰۰۰.۰۰۰ (ریال)
کل وام بلند مدت	۱۴۶۰۰.۰۰۰ (یورو)
مجموع	۲۹۱.۰۰۰.۰۰۰.۰۰۰ (ریال)
آورده سهامداران در سال اول بهره برداری	۷.۰۰۰.۰۰۰.۰۰۰ (ریال)

ب) حالت٦

منبع تأمین مالی	مقدار
آورده سهامداران	۶۵.۵۰۰.۰۰۰.۰۰۰ (ریال)
کل وام بلند مدت	۱۴۶۰۰.۰۰۰ (یورو)
مجموع	۲۶۲.۶۰۰.۰۰۰.۰۰۰ (ریال)
آورده سهامداران در سال اول بهره برداری	۱۶۵۰.۰۰۰.۰۰۰ (ریال)

ث) مالیات

به علت اجرای طرح در منطقه محروم (کمتر توسعه یافته)، این طرح به مدت ۱۰ سال از معافیت مالیاتی برخوردار است.

ج) وضعیت تأمین نیروی انسانی

جدول ۱۲: نیروی انسانی

بخش	سمت	تعداد
اداری	مدیرعامل	۱
	هیئت مدیره	۳
	کارمند اداری- مالی	۲
	راننده	۱
	کارشناس	۲
تولید	کارگر ماهر	۲
	کارگر غیرماهر	۳

ارزیابی مالی طرح

بـه منظـور ارزیـابی اقتصـادی نیروگـاه مـورد نظـر، تحلیـل هـای اقتصـادی بـر اسـاس بهـای فـروش محصـول (انـرژی الکتریکـی) در سـال ۱۳۸۸ بـه صـورت یـک کیلـووات سـاعت از بـرق تولیـدی ایـن واحـدها معـادل ۱۳۰۰ریـال در مـدت ۲۰ سـاعت از روز و ۹۰۰ ریـال در ۴ سـاعت بـاقی انجـام شـده اسـت. بـا توجـه بـه اینکـه ضـریب تعـدیل نـرخهـای منـدرج در قراردادهای بلند مدت عبارت است از :

ضریب تعدیل نرخ ها = $(CPI1/CPI2)^{a}$*

(متوسط نرخ تسعیر ارز در یـک ماهـه قبـل از موعـد پرداخـت/ متوسـط نـرخ تسـعیر ارز در یکسـاله قبـل از زمـان عقـد قـرارداد)$^{-a}$ $(1.02)^{b}$

CPI_1 شاخص قیمت خرده فروشی در ابتدای سال پرداخت (۱۳۸۸): ۱۹۴

CPI_2 شاخص قیمت خرده فروشی در ابتدای سال عقد قرارداد (۱۳۸۷): ۱۶۸

ضریب a : ۰.۵

ضریب b برابر با سال پرداخت منهای سال عقد قرارداد: ۱

ضریب تعدیل نرخ با در نظر گرفتن موارد فوق ۰.۰۷ خواهد بود.

برآورد اقتصادی

برای نیروگاه بادی با ظرفیت ۱۰ مگاوات، ۵ عدد توربین ۲ مگاوات لحاظ شده است. با کسر ۱۶ ٪ از انرژی اولیه (با در نظر گرفتن چگالی هوا در منطقه) و ضریب ظرفیت برابر ۳۳.۵ ٪ ، تولید خالص انرژی برابر با [MWh/y] ۲۹۳۳۹= (۱۰*۰.۳۳۵*۸۷۶۰) خواهد شد.

مشخصات نیروگاه بادی:

- تعداد توربین: ۵ عدد
- قدرت هر توربین: ۲ مگاوات
- ظرفیت نامی نیروگاه:۱۰ مگاوات
- ضریب ظرفیت: ۳۳/۵ درصد
- طول عمر سیستم: ۲۰ سال
- دوره ساخت: ۱۸ ماه
- هزینه تعمیر و نگهداری سالانه: ۱ ٪ از هزینه سرمایه گذاری توربین ها
- مقدار انرژی الکتریکی تولیدی خالص در یک سال: ۲۹۳۳۹ مگاوات ساعت

دوره بازگشت سرمایه

دوره بازگشت سرمایه نشان دهنده زمانی است که جریان نقدی خالص و یا به تعبیر دیگر سود خالص طرح، هزینه سرمایه گذاری اولیه طرح را جبران نموده و به سرمایه گذار باز می گرداند. با توجه به برآورد اقتصادی این شاخص در ۶ حالت به صورت زیر می باشد:

۱- ۹/۷۷ سال
۲- ۸ سال
۳- ۹/۷۷ سال
۴- ۸ سال
۵- ۸ سال
۶- ۷/۱۳ سال

نرخ بازده داخلی سرمایه گذاری

نرخ بازده داخلی سرمایه گذاری نرخی است که در بکارگیری آن ارزش فعلی درآمدهای یک سرمایه گذاری با عنوان سرمایه اولیه آن برابر گردد. به بیانی دیگر این نرخ ارزش خالص فعلی طرح را برابر صفر خواهد کرد. IRR این طرح در ۶ حالت به شرح زیر می باشد:

جدول ۱۳: نرخ بازده داخلی سرمایه گذاری

ردیف	سناریو	IRR
۱	استهلاک ۱۰ ساله تثبیت قیمت ها بر اساس سال ۱۳۸۸	۵/۳
۲	استهلاک ۱۰ ساله و افزایش فروش و هزینه های سالیانه برابر با ۷ ٪	۱۱/۲
۳	استهلاک ۲۰ ساله تثبیت قیمت ها بر اساس سال ۱۳۸۸	۸/۸۶
۴	استهلاک ۲۰ ساله و افزایش فروش و هزینه های سالیانه برابر با ۷ ٪	۱۳/۲۴
۵	بهره برداری ۲۰ ساله و افزایش فروش و هزینه های سالیانه برابر با ۷ ٪	۱۵/۸۹
۶	بهره برداری ۲۰ ساله و افزایش فروش و هزینه های سالیانه برابر با ۷ ٪ ، نرخ یورو ۱۳۵۰۰ ریال	۱۸/۵۴

نتیجه گیری

در این مقاله نشان داده شده است در صورتیکه روند مطالعات امکان سنجی قبل ازاحداث نیروگاه بادی از طریق میکروسایتینگ به طور صحیح انجام پذیرد و بخصوص در رابطه با بررسی وشناخت توربین های متناسب با رژیم باد وشرایط محیطی محل احداث نیروگاه بادی بصورت اصولی واستاندارد عمل شود بسیاری ازمشکلات کنونی در رابطه با احداث نیروگاه بادی مرتفع می گردد وبسیاری از هزینه هایی که از بابت عدم انجام مطالعات امکان سنجی قبل از احداث برصنعت برق کشور تحمیل می گردد از قبیل تخریب توربین ها بر اثر عوامل محیطی، اشکالات فنی و یا کاهش تولید و غیره از بین می رود.

مطالعات نشان داده است نرخ بازده داخلی سرمایه گذاری درحالت ششم از بهترین وضعیت برخوردار است و در صورتی که وزارت نیرو چنین شرایطی را برای سرمایه گذار فراهم سازد، بخش خصوصی برای مشارکت در این طرح که دوره بازگشت سرمایه ای قریب به ۷ سال به دنبال دارد، ترغیب خواهد شد.

منابع

[۱] سیستم اطلاعات جغرافیایی، (Ghoghraphic Information System-GIS)

[۲] صادقیان، ارسطو. شیرزاد، ابوالفضل، بررسی روش های انتخاب مکان جهت نصب توربین های بادی.

[۳] مستندات منتشره از معاونت برنامه ریزی استانداری استان گلستان.

[۴] میبد نیوز (اولین پایگاه اطلاع رسانی دانشجویان و دانش‌آموختگان ترکمن ایران (برداشت آزاد).

[۵] هسته تخصصی جغرافیای استان گلستان.

[6] http://www.reuk.co.uk/Worlds-Largest-Wind-Turbine-Generator.htm.

[7] The European Wind Energy Association (EWEA), Greenpeace and wind industry unveil global energy blueprint. http://www.- ewea.org/src/press.htm.

[8] WWW.Google Earth.com.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی