

## ارزیابی پتانسیل انرژی باد و امکان سنجی استفاده از توربین یک کیلووات مارپیچ بادی در

### دانشگاه کاشان

دکتر سعید گلابی<sup>۱</sup>، سید ابوالفضل حسینی<sup>۲</sup>، مریم السادات اخوان حجازی<sup>۳</sup>، حمید ضامنی<sup>۴</sup>

<sup>۱</sup> دانشیار، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه کاشان، golabi-s@kashanu.ac.ir

<sup>۲</sup> دانشجوی کارشناسی ارشد، پژوهشکده انرژی، دانشگاه کاشان، abrاند69@gmail.com

<sup>۳</sup> استادیار، دانشکده مهندسی برق، دانشگاه کاشان، mhejazi@kashanu.ac.ir

<sup>۴</sup> دانشجوی کارشناسی ارشد، پژوهشکده انرژی، دانشگاه کاشان، zamenihamid71@gmail.com

### چکیده

موقعیت جغرافیایی خاص ایران، امکان استفاده از این انرژی پاک را فراهم و آن را از نظر اقتصادی مقرون به صرفه می‌نماید. در این پژوهش به منظور ارزیابی انرژی باد در دانشگاه کاشان، از داده‌های روزانه و ساعتی سمت و سرعت باد در طی سال ۲۰۱۶ استفاده شد. پس از کنترل کمی و کیفی داده‌ها، متوسط ماهانه، روزانه و ساعتی سمت و سرعت و همچنین تغییرپذیری آن محاسبه گردید. با استفاده از روش‌های آماری و روابط ریاضی، مقدار انرژی پتانسیل باد در ارتفاع ۲۰ متری محاسبه و برآورد گردید و در نهایت امکان سنجی استفاده از یک توربین یک کیلووات مارپیچ بادی در کاشان با استفاده از داده‌ها و اطلاعات موجود و براساس بادهای با سرعت بیش از ۲ متر بر ثانیه مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان می‌دهد که سرعت متوسط سالانه باد در این ایستگاه در ارتفاع ۲۰ متری ۲/۲ متر بر ثانیه بوده است. انرژی پتانسیل باد در طی سال حدود ۴۶۷۷/۹۵ ژول بر متر مربع برآورد می‌گردد. بیشترین انرژی پتانسیل در ماه ژانویه ۱۲۳۵/۴۷ ژول بر متر مربع و کمترین انرژی ۳۴/۲ ژول بر متر مربع مربوط به ماه دسامبر است. انرژی قابل استحصال به ازای نصب یک دستگاه توربین بادی مارپیچ یک کیلوواتی در طی سال حدود ۲۵۳۶۴۲/۲ وات ساعت برآورد می‌گردد که ارزش اقتصادی آن با توجه به نرخ تضمینی خرید انرژی‌های پاک در سال ۱۳۹۵ معادل ۳۷۴۵۰۰۰ ریال خواهد بود.

**واژه‌های کلیدی:** ارزیابی اقتصادی، روش‌های آماری، توربین باد، ساونوس، ایستگاه سینوپتیک کاشان

### ۱. مقدمه

در قرن حاضر افزایش جمعیت، نیاز بیشتر به مواد غذایی، افزایش آلودگی‌های زیست محیطی، استفاده از انرژی‌های نو و تجدیدپذیر، از جمله باد را بیش از پیش مورد توجه انسان قرار داده است. رشد روزافزون تقاضای انرژی، افزایش استانداردهای زندگی، گرم شدن بیش از حد کره‌ی زمین و در نهایت مشکلات زیست محیطی و اکولوژیکی ناشی از احتراق سوخت‌های فسیلی به ویژه نفت و مشتقات آن، نگرانی‌هایی را برای کشورهای مختلف ایجاد کرده است. در این راستا انرژی‌های نو از جمله پتانسیل‌های آبی، انرژی‌های خورشیدی و بادی به دلیل عدم آلودگی محیط زیست از اهمیت ویژه‌ای برخوردارند. استفاده از سوخت‌های فسیلی جهت کسب انرژی الکتریسته، علاوه بر تمام شدن سریع آن باعث آلودگی محیط زیست می‌گردد. طبق برآوردهای انجام شده میزان آلودگی محیط به ازای هر مگاوات ساعت تولید انرژی با سوخت گازوئیل ۳/۲۱ کیلوگرم انواع اکسیدها، کربن و منواکسید کربن و ۶۵۷ کیلوگرم دی اکسید کربن است [۱].

پژوهش‌های متعددی در رابطه با امکان استفاده از پتانسیل انرژی باد در مناطق مختلف جغرافیایی براساس آمار و اطلاعات ایستگاه‌های هواشناسی انجام و نتایج ارزشمندی بدست آمده است. سیدکی (۱۹۹۸) مشخصات و ویژگی‌های سرعت باد در ۷ ایستگاه هواشناسی ترکیه را در ارتفاع ۱۰ متری بررسی نموده و سرعت‌های متوسط سالانه این ایستگاه‌ها را ۴ الی ۶/۵ متر بر ثانیه برآورد و سپس توان انرژی باد این مناطق را مورد تجزیه و تحلیل قرار داده است [۲].

کالدلیس و گاوراس (۲۰۰۰) به بررسی و تحلیل اقتصادی احداث نیروگاه بادی در یونان پرداخته و به این نتیجه رسیدند که در صورت افزایش ۲۵٪ هزینه‌ها، سرمایه‌گذاری در این زمینه سودآور نخواهد بود [۳].

حاصل و براساس آن متوسط سرعت باد با فواصل زمانی ۳ ساعت استخراج گردیدند.

### ۱-۲. بر آورد سرعت باد در ارتفاع بالاتر

باد با توجه به تفاوت فشار در اتمسفر و حرارت نامنظم خورشید و سطح زمین که موجب چرخش هوا می شود ایجاد می شود. الگوهای باد تحت تاثیر ارتفاع زمین، پستی و بلندی زمین، آب و هوا و چرخش زمین است. الگوهای نزدیکتر به سطح زمین تحت تاثیر بیشتر مقاومت و پستی و بلندی‌های زمین، درخت، تپه، خانه‌ها است و حرکت آن را غیر قابل پیش بینی می کند. در نتیجه در منطقه بالای صد متر از هوا سرعت باد و جهت باد تقریباً شبیه مناطق بزرگی است که سرعت باد در سطح زمین برابر صفر است.

در قسمت‌های زیرین تروپوسفر با افزایش ارتفاع به دلیل کاهش نیروی اصطکاک سرعت باد افزایش می یابد. طبق استاندارد سازمان هواشناسی جهانی، اندازه گیری سرعت باد در ایستگاه‌های هواشناسی در ارتفاع ۱۰ متری صورت می پذیرد. اما جهت نصب توربین‌های بادی، میزان سرعت باد در ارتفاعات بالاتر مورد نیاز است. به همین دلیل تحقیقات مختلفی براساس تئوری‌های سیالاتی و روش‌های آماری برای محاسبه‌ی سرعت باد صورت گرفته است. این مطلب

همچنین با نمودار لگاریتمی نشان داده می شود. هنگامی که سرعت باد با ارتفاع زیاد می شود لایه مرزی در الگوی لگاریتمی تأثیر می گذارد بنابراین در ارتفاع  $Z_R$  سرعت باد از رابطه‌ی (۲-۱) به دست می آید [۸].

$$V(Z_R) = V(Z_0) \frac{\ln(Z_R/Z_0)}{\ln(Z/Z_0)} \quad (2-1)$$

که در آن  $V(Z)$  و  $V(Z_R)$  سرعت باد در ارتفاع  $Z_0$  و  $Z_R$  می باشد. این معادله را نیز به صورت معادله (۲-۲) می توان توضیح داد [۹].

$$\frac{V_1}{V_2} = \left(\frac{Z_1}{Z_2}\right)^\alpha \quad (2-2)$$

که  $V_1$  سرعت در ارتفاع  $Z_1$  و  $V_2$  سرعت در ارتفاع  $Z_2$  است. همچنین  $\alpha$  ضریبی است به نوع و خصوصیات عوارض سطح زمین و مقاومت آنها در برابر جریان باد بستگی دارد و نشان دهنده این است که علاوه بر تغییرات سرعت باد با ارتفاع، با توجه به نوع موانع نیز متفاوت خواهد بود که مقدار آن در مناطق شهری تقریباً ۰/۴ درحومه

مانوتل (۲۰۰۲) روند روزانه، ماهانه و سالانه‌ی سرعت‌های باد یک ناحیه را برای کسب انرژی مطالعه کرده و بادهای با سرعت ۴ الی ۲۵ متر بر ثانیه را جهت کسب انرژی مناسب می داند [۴].

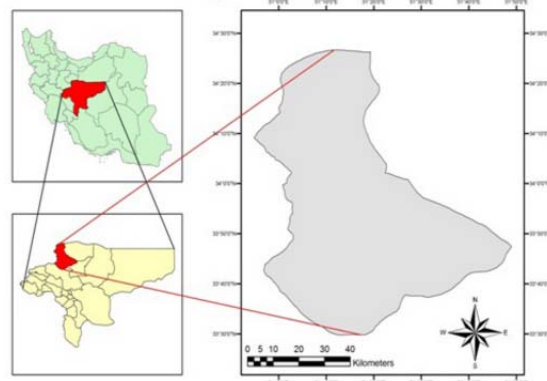
حمودا (۲۰۱۳) امکان‌سنجی احداث نیروگاه بادی در قاهره را مورد بررسی قرار داده و تاکید نموده که علی رغم ضعف شهر قاهره به لحاظ برخورداری از انرژی باد، احداث چنین واحدی به ویژه برای سرمایه‌گذاری که برای تامین برق خارج از شبکه سراسری برق مصر تاکید دارند، مفید خواهد بود [۵].

حاتمی و گنجوی (۱۳۸۸) به بررسی فنی و اقتصادی تولید انرژی الکتریکی به وسیله توربین‌های کوچک در بخش خانگی در ایران به همراه تحلیل فاکتورهای تاثیرگذار بر روی هزینه واحد برق تولیدی پرداخته‌اند [۶].

انتظاری و همکاران (۱۳۹۱) ارزیابی پتانسیل انرژی باد و امکان‌سنجی احداث نیروگاه بادی در سبزوهر را مورد مطالعه قرار داده‌اند و به این نتیجه رسیده‌اند که انرژی قابل استحصال به ازای نصب یک دستگاه توربین بادی ۶۶۰ کیلوواتی در طی سال ۴۹۴۰۰۰ کیلووات ساعت برآورد می‌گردد که ارزش اقتصادی آن با توجه به نرخ خرید انرژی‌های پاک در سال ۱۳۹۱ معادل ۶۱۷۵۰۰۰۰۰ ریال خواهد بود [۷].

### ۲. روش تحقیق

در این تحقیق با استفاده از روش‌های آماری و روابط ریاضی و محاسباتی، مقدار انرژی و سرعت باد در ماه‌های مختلف مشخص و برآورد شده است به این منظور از آمار روزانه و ساعتی هشتبار اندازه‌گیری با فواصل زمانی سه ساعته به وقت گرینویچ ایستگاه هواشناسی سینوپتیک کاشان واقع در عرض جغرافیایی ۵۱ درجه و ۲۷ دقیقه طول شرقی و ۳۳ درجه و ۵۹ دقیقه عرض شمالی استفاده گردید. شکل (۲-۱) موقعیت منطقه‌ی مورد مطالعه را نشان می‌دهد.



شکل (۲-۱) مشخصات منطقه مورد بررسی

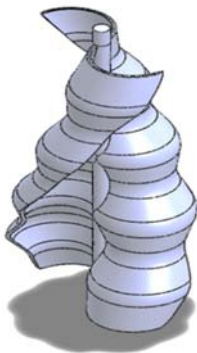
پس از کنترل کمی و کیفی داده‌ها، ماتریسی به ابعاد ۳۶۵ (تعداد روزهای سال) در ۴۰ (تعداد اندازه‌گیری ساعتی در طی ۵ سال)

شده است مزایای توربین محور قائم ساونبوس طراحی شده عبارتند از:

- مرکز ثقل پایینتر که به معنای پایداری بیشتر و خستگی کمتر در مقابل بارهای ثقلی است..
  - سازه در فاصله نزدیکتری نسبت به زمین قرار می‌گیرد که این امر مراحل تعمیرات و نگهداری را بسیار ساده تر می‌کند.
  - سرعت شروع به کار و در نتیجه تولید انرژی در این توربین‌ها کمتر از توربین‌های محور افقی بوده و معمولاً در ۲ متر بر ثانیه شروع به تولید برق می‌کنند.
  - آلودگی صوتی کمتری نسبت به توربین‌های محور افقی ایجاد می‌کنند.
  - قابلیت ساخت در مقیاس‌های متفاوت برای کاربردهای گوناگون
  - سادگی مکانیزم توربین و استفاده از قطعات کمتر که عمر ماشین را بیشتر کرده و نیاز به تعمیرات را کاهش می‌دهد.
- شکل (۱-۳) توربین بادی ماریپچ ساونبوس اصلاح شده و شکل (۳-۱) هندسه طراحی شده با نرم افزار سالیدورک را نشان می‌دهد.



شکل (۱-۳) توربین بادی ماریپچ ساونبوس اصلاح شده



شکل (۲-۳) هندسه طراحی شده با نرم افزار solidwork

شهرها ۰/۲۸، مناطق هموار و دشت‌ها ۰/۲ و نزدیکی دریا ۰/۱۵ می‌باشد [۹].

## 2-2. محاسبه پتانسیل انرژی باد

جهت برآورد میزان انرژی باد از رابطه ی (۲-۳) استفاده می‌شود [۱۰].

$$w = \frac{1}{2} \rho v^3 A t \quad (2-3)$$

که در این رابطه  $\rho$  چگالی هوا (برای شرایط استاندارد ۱/۲۲۵ کیلوگرم درمتر مکعب)،  $V$  سرعت باد ( برحسب متر برثانیه) ،  $A$  مساحت (متر مربع)،  $t$  زمان (ثانیه) و  $W$  مقدار انرژی برحسب ژول است.

## ۲-۳. برآورد انرژی قابل برداشت

برای بدست آوردن انرژی قابل استحصال با توجه به آستانه‌ی ۲ متر بر ثانیه توربین بادی طراحی شده در این تحقیق پس از اندازه‌گیری سرعت باد در ارتفاع ۱۰ متری و بدست آوردن سرعت باد در ارتفاع ۲۰ متری با استفاده از رابطه ی (۲-۲) و حذف بادهای با سرعت کمتر از حد آستانه، میزان انرژی قابل استحصال از رابطه ی (۲-۲) بدست می‌آید. باتوجه به اهمیت تداوم و پایداری باد در تولید الکتریسیته، میزان تغییر پذیری بادها با استفاده از رابطه ی (۲-۴) محاسبه می‌شود [۱۱].

$$CV = \frac{\sigma}{\bar{x}} \times 100 \quad (2-4)$$

که در آن  $CV$ ، درصد تغییر پذیری،  $\bar{x}$  میانگین و  $\sigma$  انحراف معیار از داده‌ها است که از رابطه ی (۲-۵) بدست می‌آید.

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \sum (x_i - \bar{x})^2} \quad (2-5)$$

## ۳. مشخصات توربین بادی

این توربین از نوع محور عمودی و دارای گیربکس عمودی، خود القا و خود تحریک است و سازوکار آن به این شکل است که با وزیدن باد، پره‌های آن شروع به حرکت نموده و میله‌ی انتقال را به گیربکس متصل می‌کند. نیروی ایجاد شده در گیربکس به ژنراتور انتقال می‌یابد و نیروی مکانیکی به الکتریکی تبدیل می‌شود. همچنین طراحی زاویه دار کردن پره ی توربین دارای نوع آوری از نوع ساونبوس اصلاح

#### ۴. مباحث و نتایج

باتوجه به جدول فوق، میانگین سالانه سرعت باد اندازه‌گیری شده در ایستگاه هواشناسی کاشان در سال ۲۰۱۶ برابر ۱/۶۷ متر برثانیه است. در طی روز بیشترین سرعت باد در ساعت ۱۲ (۱۵:۳۰) به وقت ایران) و کمترین سرعت باد مربوط به ساعت ۳ (۶:۳۰) به وقت ایران) است. همچنین تغییر پذیری سرعت باد در این ایستگاه برابر ۴۱/۷ درصد است که بالا بودن این عدد نشانگر عدم تداوم مناسب سرعت باد است.

انرژی باد همچون سایر منابع تجدیدپذیر، به طور گسترده ولی پراکنده در دسترس است. تابش نامساوی خورشید به دلیل کرویت زمین، مایل بودن محور چرخش آن به دور خود و تفاوت در جذب انرژی تابشی خورشید در سطح زمین به دلایل فیزیکی و جغرافیایی، باعث اختلاف انرژی در سطح زمین و در نهایت حرکت هوا و وزش باد می‌گردد. بنابراین ویژگی‌های جغرافیایی و اقلیمی هر منطقه نقش عمده‌ای در ثبات و تداوم انرژی حاصل از باد خواهند داشت. جدول (۴-۱) نشان دهنده سرعت ماهانه و ساعتی متوسط سرعت باد طی یک دوره پنج ساله (۲۰۱۱-۲۰۱۶) است.

جدول (۴-۱) متوسط سرعت ماهانه و ساعتی باد و درصد تغییرپذیری آن طی دوره ۵ ساله (۲۰۱۱-۲۰۱۶) ایستگاه هواشناسی کاشان [۱۱]

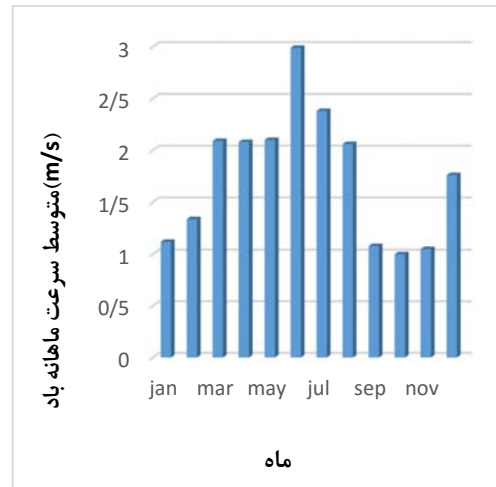
ساعت	۰:۰۰	۳:۰۰	۶:۰۰	۹:۰۰	۱۲:۰۰	۱۵:۰۰	۱۸:۰۰	۲۱:۰۰	Avg
Jan	۰/۴۱۹	۰/۵۱۶	۰/۹۶۸	۲/۲۵۸	۲/۴۵۱	۱/۰۳۲	۰/۹۶۸	۰/۳۶۷	۱/۱۲
Feb	۰/۴۱۴	۰/۵۱۷	۱/۵۱۷	۳/۰۳۴	۲/۷۵۹	۱/۴۴۸	۰/۳۷۹	۰/۶۲	۱/۳۴
Mar	۰/۹۰۳	۱/۲۲۶	۲/۶۴۵	۳/۰۶۴	۳/۷۴۲	۱/۸۳۹	۲/۱۹۴	۱/۱۲۹	۲/۰۹
Apr	۱/۴	۱/۰۳۴	۱/۴۳۳	۱/۵۳۳	۲/۹۶۷	۲/۹۳۳	۱/۶۳۳	۰/۷	۲/۰۸
May	۰/۱۶۱	۰/۱۹۳	۲/۳۲۳	۲/۸۷۰	۴/۰۳۲	۴/۳۵۵	۱/۸۰۶	۱/۰۹۷	۲/۱۰
Jun	۱/۷۳۳	۱/۴۳۳	۳/۱۳۳	۴/۳	۴/۱۶۱	۳/۹۳۳	۳/۳۳۳	۱/۶۳۳	۲/۹۹
Jul	۱/۴۱۹	۰/۸۳۹	۲/۱۶۳	۳/۰۶۴	۲/۷۴۱	۳/۲۵۸	۲/۶۴۵	۲/۳۸۷	۲/۳۸
Aug	۱/۲۹۰	۰/۵۱۶	۳/۱۶۱	۲/۵۴۸	۲/۱۲۹	۴	۱/۱۵۶	۱/۳۵۴	۲/۰۶
Sep	۰/۵	۰/۴۳۳	۱/۹۳۳	۲/۳۳۳	۲	۰/۵۳۳	۰/۳	۰/۶۶۷	۱/۰۸
Oct	۰/۴۵۱	۰/۵۸۰	۱/۵۱۶	۲/۱۲۹	۱/۵۸۰	۰/۹۳۵	۰/۴۱۹	۰/۵۱۶	۱
Nov	۰/۴۳۳	۰/۴۳۳	۰/۳۶۶	۱/۵	۱/۸۳۳	۰/۵۴۸	۱/۵۱۶	۰/۷۳۳	۱/۰۵
Dec	۰/۵۴۵	۰/۳۸۷	۱/۱۹۳	۱/۶۴۵	۱/۰۶۴	۰/۳۴۵	۰/۴۱۹	۰/۷۴۱	۰/۷۶
$\bar{V}$	۰/۸۰۵	۰/۶۷۶	۱/۹۴۶	۲/۳۲۹	۲/۶۲۱	۲/۰۹۶	۱/۳۹۶	۰/۹۹۵	۱/۶۷
$\sigma$	۰/۵۲	۰/۳۸	۰/۹۵	۰/۸	۰/۹۷	۱/۵	۰/۹۸	۰/۵۷	۰/۷
Cv	۶۴/۵	۵۵/۵	۴۸/۹	۳۴/۷	۳۷/۳	۷۱/۹	۷۰	۵۷/۴	۴۱/۷

جدول (۴-۲) متوسط سرعت ماهانه و ساعتی باد و درصد تغییرپذیری آن  
در ارتفاع ۲۰ متری

ساعت	۰:۰۰	۳:۰۰	۶:۰۰	۹:۰۰	۱۲:۰۰	۱۵:۰۰	۱۸:۰۰	۲۱:۰۰	Avg <sup>1</sup>
Jan	۰/۵۵	۰/۶۸	۱/۲۷	۲/۹۸	۳/۲۳	۱/۳۶	۱/۲۷	۰/۴۸	۱/۴۸
Feb	۰/۵۴	۰/۶۸	۲	۴	۳/۶۴	۱/۹۱	۰/۵	۰/۸۱	۱/۷۷
Mar	۱/۱۹	۱/۶۱	۳/۴۹	۴/۰۴	۴/۹۳	۲/۴۲	۲/۸۹	۱/۴۹	۲/۷۶
Apr	۱/۸۴	۱/۳۶	۱/۸۹	۲/۰۲	۳/۹۱	۳/۸۷	۲/۱۵	۰/۹۲	۲/۷۵
May	۰/۲۱	۰/۲۵	۴/۳۸	۳/۷۸	۵/۳۲	۵/۷۴	۲/۳۸	۱/۴۴	۲/۷۷
Jun	۲/۲۸	۱/۸۹	۴/۱۳	۵/۶۷	۵/۴۹	۵/۱۹	۴/۳۸	۲/۱۵	۳/۹۴
Jul	۱/۸۷	۱/۱۰	۲/۸۵	۴/۰۴	۳/۶۱	۴/۳	۳/۴۹	۳/۱۵	۳/۱۴
Aug	۱/۷۰	۰/۶۸	۴/۱۷	۳/۳۶	۲/۸۱	۵/۲۸	۱/۵۲	۱/۷۸	۲/۷۱
Sep	۰/۶۶	۰/۵۷	۲/۵۵	۳/۰۷	۲/۶۴	۰/۷۰	۰/۳۹	۰/۸۸	۱/۴۲
Oct	۰/۵۹	۰/۷۶	۲	۲/۸۱	۲/۰۸	۱/۲۳	۰/۵۵	۰/۶۸	۱/۳۲
Nov	۰/۵۷	۰/۵۷	۰/۴۸	۱/۹۸	۲/۴۲	۰/۷۲	۲	۰/۹۶	۱/۳۹
Dec	۰/۷۱	۰/۵۱	۱/۵۷	۲/۱۷	۱/۴۰	۰/۴۵	۰/۵۵	۰/۹۷	۱
$\bar{V}$	۱/۰۶	۰/۸۹	۲/۵۶	۳/۰۷	۳/۴۶	۲/۷۶	۱/۸۴	۱/۳۱	۲/۲
$\sigma$	۰/۶۸	۰/۴۹	۱/۲۵	۱/۰۶	۱/۲۹	۱/۹۹	۱/۲۹	۰/۷۵	۰/۹۲
Cv	۶۴/۵	۵۵/۵	۴۸/۹	۳۴/۷	۳۷/۳	۷۱/۹	۷۰	۵۴/۷	۴۱/۷

برای بدست آوردن پتانسیل انرژی باد در ارتفاع ۲۰ متری از فرمول  
(۲-۳) و اطلاعات جدول (۴-۲) استفاده می‌گردد.

شکل (۴-۱) نشان دهنده تغییرات متوسط سرعت ماهانه باد در  
ایستگاه کاشان است با توجه به این شکل بیشترین و کمترین سرعت  
باد به ترتیب مربوط به ماه‌های ژوئن و دسامبر است.



شکل (۴-۱) متوسط سرعت ماهانه باد در سال ۲۰۱۶

با استفاده از رابطه (۲-۲) سرعت باد در ارتفاع ۲۰ متری  
بدست می‌آید. مقدار  $\alpha$  در مناطق شهری برابر ۰/۴ در نظر  
گرفته می‌شود. جدول (۴-۲) نشان دهنده مقادیر متوسط  
سرعت ماهانه و ساعتی تبدیل شده در ارتفاع ۲۰ متری است.

جدول (۳-۴) انرژی پتانسیل باد در ارتفاع ۲۰ متری بر حسب ژول بر متر

مربع

ساعت	۳-۰	۶-۳	۹-۶	۱۲-۹	۱۵-۱۲	۱۸-۱۵	۲۱-۱۸	۲۴-۲۱	مجموع
Jan	۰/۳۱	۰/۵۸	۳/۸۳	۴۸/۶۵	۶۲/۲۲	۴/۶۴	۳/۸۳	۰/۲	۱۲۴/۲۹
Feb	۰/۳	۰/۵۸	۱۴/۷۵	۱۱۸	۸۸/۷۵	۱۲/۸۳	۰/۲۳	۱	۲۳۶/۴۹
Mar	۳/۱۱	۷۱/۷۹	۷۸/۲	۱۲۱/۵۷	۲۲۱/۴۴	۲۶/۲۸	۴۴/۶۳	۶/۰۸	۵۰۹/۱۱
Apr	۱۱/۶	۴/۶۷	۱۲/۴۳	۱۵/۲۳	۱۱۰/۳۸	۱۰۶/۶۳	۱۸/۴	۱/۴۵	۲۸۰/۸
May	۰/۰۱	۰/۰۳	۱۵۵/۰۷	۹۹/۹	۲۷۷/۰۱	۳۴۹/۰۷	۲۴/۸۹	۵/۵۸	۹۱۱/۵۹
Jun	۲۲	۱۲/۴۳	۱۲۹/۹۷	۳۳۶	۳۰۴/۴۷	۲۵۷/۱۱	۱۵۵/۰۷	۱۸/۴	۱۲۳۵/۴۷
Jul	۱/۰۷	۲/۵	۴۲/۷۷	۱۲۱/۵۷	۸۷/۰۳	۱۴۶/۱۵	۷۸/۲	۵۷/۴۸	۵۴۷/۷۷
Aug	۹/۰۷	۰/۵۸	۱۳۳/۴۸	۶۹/۹۱	۴۰/۷۸	۲۷۰/۴۸	۶/۵۳	۱۰/۴۹	۵۴۱/۳۲
Sep	۰/۵۳	۰/۳۴	۳۰/۵۲	۵۳/۶۷	۳۳/۸	۰/۶۴	۰/۱۱	۱/۲۵	۱۲۰/۸۷
Oct	۰/۳۹	۰/۸۲	۱۴/۷۲	۴۰/۷۸	۱۶/۶۷	۳/۴۵	۰/۳۱	۰/۵۸	۷۷/۷۴
Nov	۰/۳۴	۰/۳۴	۰/۲	۱۴/۲۶	۲۶/۰۲	۰/۶۹	۱۴/۷۲	۱/۶۶	۵۸/۲۷
Dec	۰/۶۸	۰/۲۴	۷/۱۸	۱۸/۸۱	۵/۰۹	۰/۱۷	۰/۳۱	۱/۷۲	۳۴/۲۱۱
مجموع	۶/۴۲	۳۰/۹۲	۶۲۳/۱۵	۱۰۵۸/۴	۱۲۷۳/۷	۱۱۷۸/۱۶	۳۴۷/۲۶	۱۰/۹۲	۴۶۷۷/۹۵

#### ۵. نتیجه گیری

با توجه به قیمت نمونه‌های مشابه قیمت یک سامانه بادی به ازای هر کیلووات ساعت تولید برق ۱۰۰۰ دلار است [12]، که با توجه به نرخ دلار امروز راه اندازی و نصب یک سامانه یک کیلوواتی ۳۷۴۵۰۰۰ ریال هزینه خواهد داشت. اگر قیمت هر کیلووات ساعت برق بادی به ازای سامانه‌های کمتر از ۱ مگاوات برابر ۵۷۰۰ ریال است و باتوجه به انرژی قابل استحصال از توربین بادی مذکور که برابر ۲۵۳/۶۴۲۲ کیلووات ساعت است بنابراین دوره بازگشت سرمایه استفاده از این توربین برابر ۱۹ سال خواهد بود.

همانطور که در جدول مزبور مشاهده می‌گردد میزان انرژی پتانسیل باد در ارتفاع ۲۰ متری در سال حدود ۴۶۷۷/۹۵ ژول بر متر مربع است. اما نکته قابل ملاحظه محدودیت توربین‌های بادی موجود است که امکان تولید الکتریسته را در سرعت‌های پایین باد ندارند. به همین منظور با استفاده از اطلاعات توربین‌های بادی مورد نظر طراحی شده و سرعت و تداوم بادها در ایستگاه سینوپتیک کاشان، سعی گردید میزان انرژی قابل استحصال مورد ارزیابی قرار گیرد. بنابراین تعداد ماه‌هایی که به طور متوسط سرعت باد در ارتفاع ۲۰ متری بالاتر از ۲ متر بر ثانیه است در نظر گرفته شد و با توجه به جدول (۴-۴) ماه‌های مارس، آوریل، می، ژانویه، جولای و آگوست دارای این ویژگی هستند بنابراین با این تقریب میزان انرژی قابل استحصال از توربین طراحی شده برابر ۲۵۳۶۴۲/۲ وات ساعت در سال است.

جدول (۴-۴) مشخصات توربین طراحی شده

توان	۱۰۰ کیلووات
مساحت سطح جاروب شده	۶۳ متر مربع
ارتفاع	۲۰ متر
طراح و سازنده	حسینی
محدوده سرعتی	۲ تا ۲۵ متر بر ثانیه

[12] مجید. جمیل "طرح توجیهی و تحلیل فنی اقتصادی تولید صنعتی توربین‌های بادی کوچک تا ظرفیت ۵ کیلووات در ایران"، پژوهشکده انرژی ایران، ۱۳۹۰

## منابع

[۱] انتظاری. علیرضا، میراحمدی. ابوالقاسم، عرفانی. عاطفه، برزویی اکرم " ارزیابی پتانسیل انرژی باد و امکان سنجی احداث نیروگاه بادی در سبزوار"، ۱۳۹۱، مطالعات مناطق جغرافیایی خشک، سال سوم، شماره نهم ودهم، صفحه ۳۳-۳۶

[2] U.Sidki, T.Molly, " wind energy in turkey", 1998, DEWI magazine in NR, pp:59-60

[3] J.K.Kaldellis, J.Gavras, " The economic viability of commercial wind plant in Greece", 2000, Energy Policy 28, pp: 509-517

[4] M. Uance, "Analysis of time series data wind turbine blads", 2002, National Science Foundation, Equal Opportunity in Engineering

[5] Y.A.Hamouda, "Wind energy in Egypt: Economic feasibility for Cario renewable and sustainable energy reviews", vol16, Issue5, pp:312-319

[۶] آر.ش. حاتمی، حامد. شکوری، بررسی فنی - اقتصادی تولید انرژی الکتریکی بوسیله توربین‌های بادی کوچکدر بخش خانگی در ایران، ۱۳۸۸، اولین کنفرانس صنعت نیروگاه‌های حرارتی، پردیس دانشکده تهران

[۷] انتظاری. علیرضا، میراحمدی. ابوالقاسم، عرفانی. عاطفه، برزویی اکرم " ارزیابی پتانسیل انرژی باد و امکان سنجی احداث نیروگاه بادی در سبزوار"، ۱۳۹۱، مطالعات مناطق جغرافیایی خشک، سال سوم، شماره نهم ودهم، صفحه ۳۳-۳۶

[۸] P.Broa, L. Sarnot, S.H.Shah, M.Saha, S.Redesni, "Analysis of wind speed data and wind energy potential along selected locational in Chandwad", 2015, International Journal of Modern Trends in Engineering and Research

[۹] L. Liama, C. Filho, " wind energy assessment and wind farm simulation in Triunfo – Pernambuco", 2009, Brazil

[۱۰] انتظاری. علیرضا، میراحمدی. ابوالقاسم، عرفانی. عاطفه، برزویی اکرم " ارزیابی پتانسیل انرژی باد و امکان سنجی احداث نیروگاه بادی در سبزوار"، ۱۳۹۱، مطالعات مناطق جغرافیایی خشک، سال سوم، شماره نهم ودهم، صفحه ۳۳-۳۶

[۱۱] آمار و اطلاعات باد ایستگاه سینوپتیک کاشان طی دوره ۵ ساله (۲۰۱۱-۲۰۱۶)