

# SID



سرویس های ویژه



سرویس ترجمه تخصصی



کارگاه های آموزشی



بلاگ مرکز اطلاعات علمی



سامانه ویراستاری STES



فیلم های آموزشی

## کارگاه های آموزشی مرکز اطلاعات علمی



مقاله نویسی علوم انسانی



اصول تنظیم قراردادها



آموزش مهارت های کاربردی در تدوین و چاپ مقاله

## برآورد و امکان سنجی سیستم مولد توان بادی با استفاده توربین های معلق

### در ارتفاعات بالا

علی طلوعی<sup>۱</sup>، محمدباقر زارعی<sup>۱</sup>، مهدی یعقوبی<sup>۲</sup>

خراسان رضوی-مشهد-هاشمیه ۳۱

Email: e.ali.toloui@gmail.com

#### چکیده

در حالی که برنامه های تحقیقی زیادی برای تولید برق از باد وجود دارند ، همه آنها زمین محور یا برج محور هستند. صنعت انرژی بادی نیاز به ایده های انقلابی برای ارتقای قابلیت سیستم های بادی دارد. در این مقاله ، یک طرح نوآورانه پیشنهاد می شود که می تواند یک رشد قابل توجه در میزان توان بر هر واحد را با هزینه پائین تر انرژی استخراج یافته فراهم آورد. در این طرح ، سیستم ها نیاز به ثبات و تداوم همیشگی اوضاع جوی هم ندارند. ایده اصلی شامل روتور های بزرگ با قابلیت چرخش کامل در هوا می باشد که در ارتفاع بالا از سطح دریا قرار می گیرند تا توان مورد نیاز و جریان هوای پایدار را تامین نمایند. سیستم روتور بادی تا ارتفاع ۱۰ کیلومتر بالای سطح دریا عمل می کند. و در ادامه ۲ پروژه را که دارای خروجی توان بالا هستند را مورد تحلیل قرار می دهد.

واژه های کلیدی: انرژی بادی، توربین های بادی، سیستم بادی معلق در هوا ، سیستم انتقال انرژی

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد دانشگاه آزاد اسلامی - واحد مشهد

۲- عضو هیئت علمی دانشگاه آزاد اسلامی - واحد مشهد

## ۱- مقدمه

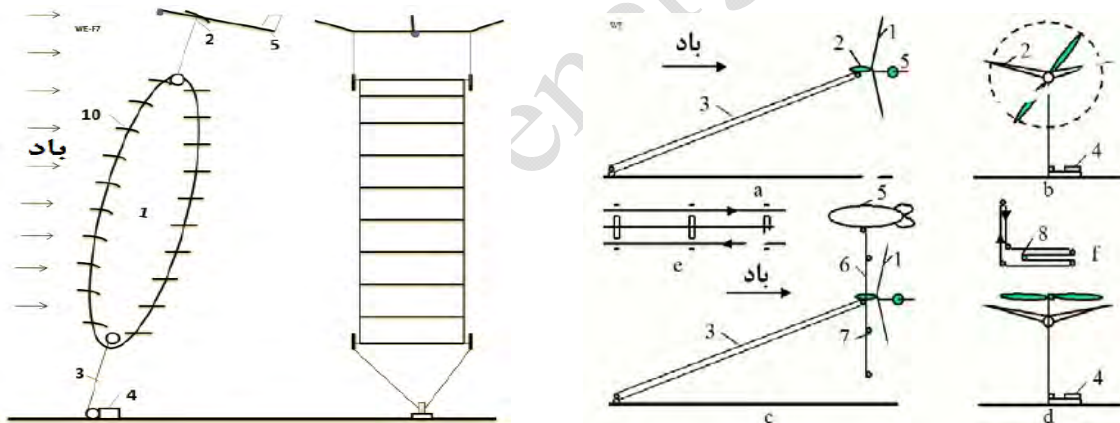
به منظور کاهش اثرات مخرب گازهای گلخانه‌ای و عدم وابستگی به واردات گاز و نفت، در حال حاضر بیشتر کشورها سعی می‌کنند تا بتوانند سهم انرژی‌های تجدیدپذیر را در شبکه برق افزایش دهند. بیشتر مصرف‌کننده‌گان انرژی الکتریکی در نیمکره شمالی قرار دارند. به طور کلی در این نواحی تابش خورشید نسبت به نیمکره جنوبی کمتر می‌باشد و این موضوع باعث می‌شود که تکنولوژی انرژی خورشیدی صرفه اقتصادی نداشته باشد. با این حال نواحی با منابع بادی بیشتر به مناطق پر مصرف انرژی الکتریکی نزدیک تر هستند. منابع موجود در جهان برای برآورده کردن نیاز انرژی در کل دنیا، به اندازه بزرگ می‌باشند. شورای مشاوره آلمان در زمینه تغییرات جهانی (WBGU) تخمین می‌زند که می‌توان با روشهای مناسب، ۳۹۰۰۰ تراوات ساعت انرژی بادی در سال تولید کرد (GEWC2009) که این مقدار انرژی تقریباً ۲ برابر انرژی مورد تقاضای جهان یعنی ۲۰۰۰۰ تراوات ساعت، می‌باشد. متأسفانه سیستم‌های انرژی بادی کنونی، نواقصی دارند که کاربردهای تجاری آنها را محدود می‌سازد: انرژی بادی به صورت غیر یکنواخت توزیع شده است. توربین‌های مرتفع نمی‌توانند بر روی زمین نصب شوند و به جای آن، تعداد زیادی توربین کوچک باید مورد استفاده قرار گیرند. هزینه فعلی انرژی بادی بیشتر از انرژی نیروگاه‌های حرارتی می‌باشد. نیروی باد، تابعی از مربع سرعت باد است. در ارتفاعات پایین، باد با سرعت پائین وجود دارد و غیر پایدار است. بهره‌وری یک سیستم بادی، به میزان زیادی وابسته به آب و هوای غالب در آن منطقه می‌باشد. توربین‌های بادی سر و صدای زیادی ایجاد می‌کنند و از نظر وجهه نظری، منظره طبیعی را به هم می‌زنند. با این حال به نظر می‌رسد لازم است تا به طور کامل (حداقل در برخی قسمت‌های توربین بادی) از روشهای جدیدتر استفاده کنیم نه اینکه دائماً تکنولوژی‌های فعلی را بهینه‌تر کنیم. سیستمی که در این مقاله پیشنهاد شده است در ارتفاع بالا از سطح دریا (حداکثر تا ارتفاع استراتوسفر) قرار می‌گیرد در جایی که جریان‌های قدرتمند پایدار و مستمر وجود دارند.

سیستم پیشنهادی برای بکارگیری نیروی باد، دارای خصوصیات منحصربفرد در مقایسه با روشها و نصب‌های مرسوم کنونی هستند: الف) سیستم پیشنهادی به جمع‌آوری انرژی از یک سطح بزرگ کمک می‌کند که نیرویی ده‌ها و حتی صدها برابر بیشتر از توربین‌های بادی مرسوم می‌باشد. ب) این سیستم‌ها می‌توانند در ارتفاع‌های ۱۰۰۰ متر تا ۱۰ کیلومتر بالاتر از سطح دریا قرار گیرند. در ارتفاع‌های بالا، سرعت‌های باد ۲ تا ۴ برابر سریع‌تر و پایدارتر نسبت به بادهای نزدیک سطح زمین هستند. قدرت باد با مکعب سرعت باد افزایش می‌یابد. ج) ژنراتور الکتریکی سنتی ۲۰ مگاواتی به همراه ترانسفورمر و کابل‌های آن، به وزن حدودی صد تن هستند. ممکن نیست که این وزن را بتوان بوسیلهٔ بال در ارتفاع بالا برای دست‌یابی به فرکانس مورد نظر حفظ نمود و نیاز به مبدل فرکانسی خاص می‌باشد. د) یکی از نوآوری‌های اصلی، انتقال کابلی انرژی از روتور بادی است که در ارتفاع بالا، به ژنراتور الکتریکی مستقر بر روی زمین متصل شده است. در سیستم پیشنهادی، یک سیستم انتقال کابلی جدید از فیبرهای مصنوعی مورد استفاده قرار گرفته است. این سیستم انتقال، وزن کمتری را نسبت به سیم‌های برق مسی دارد و وجود آنکه توان یکسانی را تولید می‌کند. سیم با قطر بیش از ۴ میلی‌متر، ۱ تا ۲ آمپر بر متر مربع از خود عبور می‌دهد. اگر ژنراتور الکتریکی ۲۰ مگاوات را با ولتاژ ۱۰۰۰ ولت تولید کند، مساحت سطح مقطع سیم باید ۲۰ هزار میلی‌متر مربع باشد (یعنی قطر سیم باید ۱۶۰ میلی‌متر باشد). مساحت سطح مقطع برابر برای انتقال همین میزان توان، تنها ۲۰۰ میلی‌متر مربع باید باشد و وزن مخصوص مس و فیبرهای مصنوعی به ترتیب ۸۹۳۰ و ۱۸۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب است. اگر طول کابل برای ارتفاع ۱۰ کیلومتر بالای سطح دریا، ۲۵ کیلومتر باشد، وزن سیم مسی دوتایی ۸۹۳۰ تن خواهد بود، در حالی که وزن کابل انتقال فیبری فقط ۸،۹۳ تن است. این موضوع، بدین معناست که انرژی پیشنهاد شده برای انتقال از طریق کابل در طول برابر، ۱۰۰ مرتبه آسان‌تر از سیم مسی منتقل می‌شود. سیم‌های مسی گران‌قیمت هستند در حالیکه فیبرهای مصنوعی ارزان‌تر می‌باشند فیبرهای مصنوعی قابلیت کشش ۳ تا ۵ برابر بیش از فولاد و چگالی ۴ تا ۵ برابر کمتر از فولاد را دارا هستند. همچنین، فیبرهای whiskers وجود دارند که ۳۰ تا ۱۰۰ برابر قابلیت کشش بالاتری دارند و ۲ تا ۵ برابر چگالی آن‌ها از فولاد کمتر است [۷]-[۱۰]. این مقاله، یک ژنراتور و ترانسفورمر الکتریکی با فرکانس بالای جدید و سیم

های الکتریکی جدیدی را پیشنهاد می دهد که وزن سیستم الکتریکی را تا ۱۰ ها مرتبه کاهش می دهد و نمونه ای قابل قبول برای سیستم های بادی معلق در هوا ارائه می دهد. همچنین ، در این سیستم پیشنهادی ، یک ژنراتور الکترواستاتیک پیشنهاد می شود که وزن مخصوص آن ۱۰ برابر کمتر و با این وجود ، ولتاژ بالاتری تولید می کند.

## ۲- توصیفی از سیستم پیشنهادی

سیستم بادی پیشنهادی مستقر در ارتفاع بالا ، در شکل ۱ نمایش داده شده است. سیستم شامل روتور ، بال نگهدارنده ، سیستم انتقال مکانیکی کابل و سیستم نگهدارنده ، ژنراتور الکتریکی ، تثبیت کننده می باشد. سیستم انتقال دارای ۳ کابل می باشد (شکل 1e) : کابل اصلی (مرکزی) که روتور را در یک ارتفاع مشخص نگه می دارد و دو کابل انتقال متحرک که انرژی را از روتور به ژنراتور الکتریکی زمینی منتقل می سازد. دستگاه (شکل 1f) اجازه تغییر طول کابل و تغییر ارتفاع روتور را می دهد در آب و هوای آرام ، روتور می تواند در ارتفاع توسط بالون (dirigible) نگه داشته شود (شکل 1c) یا اینکه به حالت عمودی در آید و از طریق چرخش از ژنراتور الکتریکی پشتیبانی شود (شکل 1e). اگر میزان باد از حداقل سرعت برای نگهداشتن روتور کمتر باشد ، روتور توسط حالت هواپیمای بدون بال (Autogiro) در حالت (شکل 1d) نگهداشته می شود. احتمال آرامش کامل باد در ارتفاع بالا ، کم است و به مکان نصب بستگی دارد. شکل ۲ ، طراحی دیگری را از سیستم پیشنهادی در ارتفاع بالا از سطح دریا به نمایش می گذارد. این روتور ۱۰ پره دارد ، که به کابل های حلقه بسته متصل می شود. پره های جلویی یک زاویه مثبت و نیرو کشنده دارد. وقتی آنها در حالت پشتی هستند ، نیروی بالا برنده صفر خواهد بود. روتور در ارتفاعات بالا توسط پره ها و بال (۲) و تثبیت کننده نگه داشته می شود. به علاوه ، این طراحی ، یک سیستم انتقال انرژی (۳) دارد که به ژنراتور الکتریکی زمینی (۴) متصل است.



شکل ۱ - سیستم بادی ملخی در ارتفاع بالا و سیستم انتقال انرژی

شکل ۲ - تاسیسات در ارتفاع بالا با توربین کابلی

توضیح شکل ۱ : (a) دید جانبی : ۱- روتور بادی ۲- بال به همراه قسمت های متحرک آن ۳- سیستم انتقال انرژی از طریق کابل ۴- ژنراتور الکتریکی ۵- تثبیت کننده (b) دید روبرو (c) دید جانبی با یک بالون نگهدارنده (۹) ، ۶- کابل عمودی ، ۷- سنسورهای سرعت باد (d) نگهداری تاسیسات در ارتفاع بالا توسط ملخ چرخشی (e) سه خط سیستم انتقال و نگهدارنده که شامل کابل اصلی (مرکزی) و دو کابل انتقال همراه می باشد (f) سیستم انتقال انرژی یا ارتفاع متغیر ۸- غلتک های متحرک ، توضیح شکل ۲ : ۱۰- تیغه ها

پرتاب کردن سیستمهایی را که بال نگهدارنده یا پره داشته باشند کار مشکلی نیست. اگر سرعت باد بیش از حداقل سرعت مورد نیاز (بیش از ۲ تا ۳ متر بر ثانیه) باشد ، سیستم را برای رسیدن به ارتفاع مطلوب مورد نظر بالا می برند. کلیه روتورهای سرعت پائین به طور خودکار شروع به کار می کنند. همه روتورهای با سرعت بالا ، نیاز به چرخش ابتدایی برای شروع به کار توسط ژنراتور-موتور زمینی دارند. کنترل توان ، چرخش در دقیقه ، گشتاور لحظه ای از طریق چرخاندن پره ها به دور محور طولی پره ها انجام می پذیرد. کنترل ارتفاع ممکن است خودکار یا دستی انجام شود ، در زمانی که سرعت باد طبیعی یا بیش از حداقل مجاز است. کنترل تحت تاثیر عوامل مختلف از جمله فلپ های بال ، تثبیت کننده (بالابرنده) ، تیغه ها (fin) ، و قسمت های متحرک بال (ailerons) می باشند. ثابت بودن ارتفاع نسبت به سطح دریا ، به وسیله طول کابل تنظیم می شود.

ثبات در حول محور طولی پره توسط تثبیت کننده ایجاد می شود. ثبات جهتی ملخ هم راستا با جریان متوسط تیغه ها ایجاد می گردد. وقتی که تاسیسات دارای بال نگهدارنده ای باشد که به روتور وصل شده است ، ثبات دهنده بواسطه مکان صحیح مرکز گرانشی تاسیسات (بال روتور سیستم) و نقطه اتصال کابل اصلی و عناصر تنش بدست می آید. گشتار لحظه ای بواسطه سیستم انتقال و اجزای متحرک بال ها متعادل می شود. نیروی بالابرنده بال ، و نیروی فشاری کابل اصلی همگی به طور خودکار بوسیله فلپ بال یا تثبیت کننده تیغه تنظیم می شوند. حداقل سرعت مورد نیاز برای اکثر طراحی های پیشنهادی برای سیستم ها، در حدود ۲ تا ۳ متر بر ثانیه می باشد. احتمال این سرعت باد پائین در ارتفاع بالا ، بسیار کم (کمتر از ۰,۰۰۱) می باشد. این مقدار حداقلی می تواند حتی بیشتر از این هم به استفاده از ملخ چرخان در حالت هواپیمای بدون بال کاهش یابد. اگر سرعت باد تقریباً صفر باشد ، روتور می تواند با یک بالون نگه داشته شود که در شکل 1c نشان داده شده است، یا یک ملخ که توسط نیروگاه برق زمینی می چرخد که در شکل 1d نمایش داده شده است. سیستم روتور می تواند بر روی زمین باشد، یا وقتی که سرعت باد به میزان حداقلی برای پرواز برسد ، مجدداً شروع بکار نماید.

### ۳- برآورد سیستم بادی معلق در هوا

می توانیم میزان حداقل و حداکثر میزان باد مورد قبول را برای عملیات یک سیستم بادی معلق در هوا (ABWI) محاسبه کنیم. هدف ما تخمین زمان هایی (بر حسب درصد یا تعداد روزها و ساعت ها در سال) است که در آنها سیستم کار نمی کند.

#### ۳-۱- متوسط سالانه سرعت باد :

داده های متوسط سالانه باد در ایالات متحده از یک نقشه در اطلس منابع انرژی بادی ایالات متحده گرفته شده است. نقشه ها ، سرعت باد متوسط را در ارتفاع ۱۰ تا ۵۰ متر از سطح دریا نشان می دهد. این سرعت ۴ تا ۸ متر بر ثانیه می باشد. سرعت می تواند توسط معادله زیر محاسبه شود:

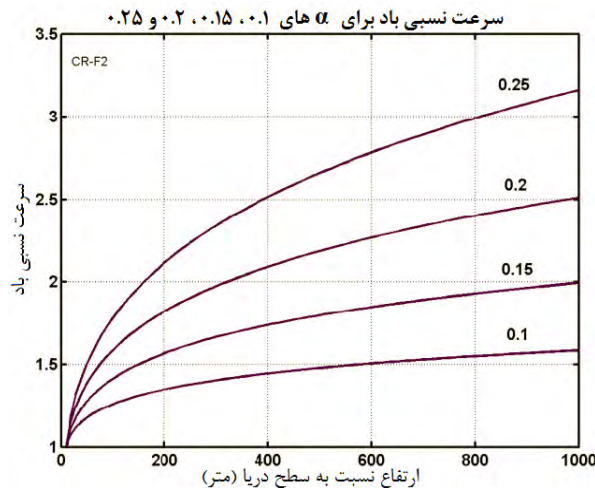
$$\frac{V}{V_0} = \left(\frac{H}{H_0}\right)^{\alpha} \quad (1)$$

که  $V_0$  سرعت باد در ارتفاع اولیه ،  $V$  سرعت در ارتفاع جدید ،  $H_0$  ارتفاع اولیه ،  $H$  ارتفاع جدید ، و  $\alpha$  آرایه زبری سطح می باشد که در جدول (۲) ارائه شده است (کتاب انرژی بادی نوشته P. Gipe) [۵]. نتیجه حاصل از محاسبه معادله ۱ برای  $\alpha$  های مختلف ، در شکل ۳ نشان داده شده است. سرعت باد در ارتفاع ۱۰۰۰ متری ۲۰ تا ۵۰ درصد افزایش می یابد.

جدول ۱ - آرایه زبری سطح برای روش قانون توان

نوع زمین	آرایه زبری سطح $\alpha$
آبی یا یخی	0.10
چمن کوتاه یا جلگه ای	0.14
روستایی با موانع	0.20
شهری یا جنگلی	0.25

شکل ۳ - سرعت نسبی باد با توجه به ارتفاع از سطح دریا و سطح زمین



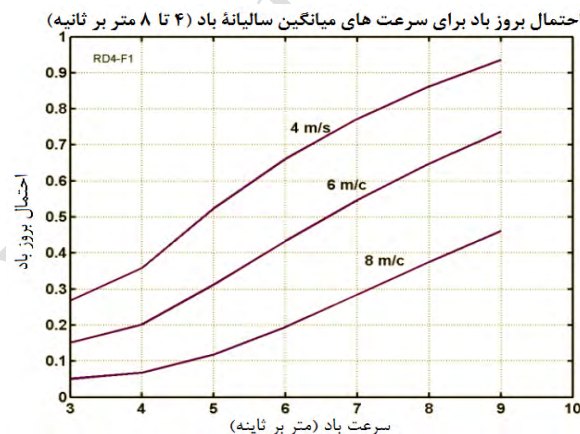
### ۳-۲- توزیع سالانه سرعت متوسط باد

توزیع های سرعت سالانه به میزان زیادی در میان سایت ها متفاوت است که به واسطه شرایط آب و هوایی - جغرافیایی می باشد. متخصصان هواشناسی دریافتند که تابع احتمال Weibull توزیع سرعت های باد در طول زمان را به بهترین شکل تقریب می زند که در سایت های مختلفی در سراسر دنیا بکار گرفته می شوند که توزیع های واقعی سرعت باد موجود نیستند. توزیع Rayleigh یک مورد خاص از تابع Weibull بوده که تنها به سرعت متوسط برای تعریف شکل توزیع نیاز دارد. معادله توزیع Rayleigh در زیر آمده است.

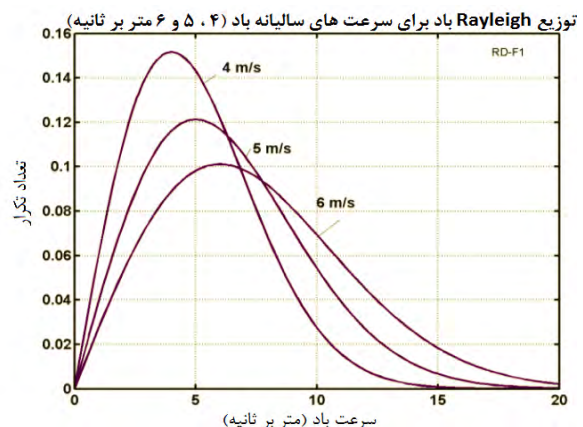
$$f_x(x) = \frac{x}{a^2} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{x}{a}\right)^2\right], x \geq 0 \quad (2)$$

$$E(x) = \sqrt{\frac{\pi}{2}} a, \text{Var}(x) = \left(2 - \frac{\pi}{2}\right) a^2$$

در رابطه قبل  $\alpha$  پارامتر است. شکل ۴، توزیع سالانه باد در سرعت های متوسط ۴، ۵ و ۶ متر بر ثانیه را نشان می دهد. این داده ها امکان محاسبه ساده تعداد (درصد) روزهایی را به نمایش می گذارد که سیستم بادی معلق در هوا ABWI می تواند در طول سال در آن مواقع کار کند (شکل ۵). این مقدار برای تخمین میزان بازدهی سیستم های پیشنهادی بسیار مهم می باشد.



شکل ۵ - احتمال بروز باد برای سرعت های میانگین سالیانه



شکل ۴ - توزیع سرعت باد

در این قسمت ، ۲ نمونه محاسبه می شود : فرض کنید روباتگر دارای حداقل سرعت باد ۳ متر بر ثانیه باشد ، حداکثر سرعت ایمنی ۲۵ متر بر ثانیه ، ارتفاع از سطح دریا ۱۰۰ متر ، و سرعت میانگین سالانه در منطقه مشخص ۶ متر بر ثانیه بادش. بر اساس شکل های ۵ ، ۶ و ۷ ، و معادله ۱ ، می توان سرعت باد در ارتفاع ۱۰۰ متر را ۸٫۴ بدست آورد. احتمال اینکه سرعت باد کمتر از ۲ متر بر ثانیه باشد ، ۸ درصد است و احتمال اینکه کمتر از ۳ متر بر ثانیه باشد ، ۱۵ درصد است و احتمال آنکه سرعت باد بیش از ۲۵ متر بر ثانیه باشد ، نزدیک صفر است..

### ۳-۳- محاسبات روتور

توان انرژی بادی بر حسب  $N$  [Watt, Joule/sec] با رابطه زیر بیان می شود:

$$N = 0.5 \eta \rho A V^3 \quad [W] \quad (3)$$

ضریب بازدهی  $\eta = 0.15 / 0.35$  برای روتورهای ملخی با سرعت پائین می باشد (نسبت سرعت نوک تیغه به سرعت باد ،  $\lambda \approx 0.5 / 0.45$  و  $\eta = 0.5 / 0.45$  برای روتورهای ملخی با سرعت بالا می باشد  $(\lambda = 5-7)$ ). میزان بیشینه تئوریک  $\eta = 0.67$  است. سطح جلویی روتور ، بالون هوا یا چتر نجات  $A$  می باشد.  $\rho$  چگالی هواست. جدول (۳) چگالی نسبی  $\rho/\rho_0$  و دمای اتمسفر استاندارد با توجه به ارتفاع از سطح دریا را نشان می دهد [۵].

جدول ۳: چگالی نسبی  $\rho/\rho_0$  و دمای اتمسفر استاندارد با توجه به ارتفاع از سطح دریا

$H, \text{ km}$	0	0.4	1	2	3	6	8	10	12
$\rho/\rho_0$	1	0.954	0.887	0.784	0.692	0.466	0.352	0.261	0.191
$T, \text{ K}$	288	287	282	276	269	250	237	223	217

سرعت باد در جریان هوای ثابت در ارتفاع  $H = 5 - 7 \text{ km}$ ، سرعت  $V = 30 - 40 \text{ m/s}$  خواهد بود. برای مقایسه سیستم های مختلف روتورهای بادی ، مهندسان باید محاسبات را برای سرعت سالانه متوسط  $V_0 = 6 \text{ m/s}$  و ارتفاع  $H_0 = 10 \text{ m}$  انجام دهند. برای سرعت باد و ارتفاع استاندارد ، توان برابر با ۶۶ وات خواهد بود. توربین های بادی ملخی پیشرفته دارای قطر ۱۳۲ تا ۱۵۴ متر خواهند بود. برای مقایسه آنها ، مهندسان استاندارد میانگین را در نظر می گیرند که در آن ،  $H_0 = 50 \text{ m}$  و  $V_0 = 10 \text{ m/s}$  خواهد بود. توان توربین ملخی با قطر روتور ۱۵۴ متری ، به ۵٫۶ مگاوات در شرایط استاندارد می رسد. انرژی (E) ، در طول یک سال برابر است با :

$$E = 3600 \times 24 \times 350 \approx 30 \times 10^6 \quad [J] \quad (4)$$

نیروی کشش روتور و بالون هوا به ترتیب با روابط ۵ و ۶ توصیف می شوند .

$$D_r = N/V \quad [N] \quad (5)$$

$$D_d = 0.5 C_{D,d} \rho V^2 A_d \quad [N] \quad (6)$$

$C_{D,d} \approx 0.01 / 0.03$  ضریب مقاومت در برابر هواست ،  $A_d$  سطح مقطع بالون هواست  $\text{m}^2$  ،  $A_d = \pi d^2/4$  . نیروی بالابرنده بال عبارت است از

$$L_w = 0.5 C_L \rho V^2 A_w \quad [N] \quad (7)$$

که  $C_L$  ( $C_L \text{ maximum} \approx 2 - 2.5$ ) ضریب بالا برندگی است، و  $A_w$  مساحت بال است ( $m^2$ ). نیروی کشش بال به این شکل می باشد.

$$D_w = 0.5 C_D \rho V^2 A_w \quad [N] \quad (8)$$

که  $C_D$ ، ضریب کشش است ( $C_D \approx 0.02 / 0.2$ ).

$$D_c = 0.5 C_{d,c} \rho V^2 H d_c \quad [N] \quad (9)$$

$$D_{tr} = 0.5 C_{d,tr} V^2 H d_{tr} \quad [N] \quad (10)$$

مقاومت در برابر هوا،  $D_c$  برای کابل اصلی،  $C_{d,c} \approx 0.05 / 0.15$  می باشد،  $H$  ارتفاع روتور بر حسب متر از سطح دریا،  $d_c$  قطر کابل اصلی به متر است.  $C_{d,tr} \approx 0.05 / 0.15$  ضریب کشش کابل انتقال است،  $d_{tr}$  قطر کابل انتقال است (به متر). تنها نیمی از نیروی کشش باید به مجموع نیروی کشش تاسیسات بادی افزوده شود.

$$D \approx D_r + D_w + D_d + 0.5D_c + 0.5D_{tr} \quad (11)$$

اگر تاسیسات بادی توسط بالون هوا نگه داشته شود، نیروی بالا برنده و مقاومت در برابر هوای بالون هوا باید به نیروی بالا برنده بال و مجموع سیستم افزوده شود. نیروی بالا برنده مفید بالون هوا در حدود  $5 \text{ N/m}^3$  ( $0.5 \text{ kg/m}^3$ ) در ارتفاع  $H = 0$  می باشد و در ارتفاع  $H = 6 \text{ km}$ ، صفر است. مجموع نیروی بالا برنده عبارت است از

$$L = L_w + L_n + Mg - 0.5g(m_n + m_{tr}) \quad (12)$$

در اینجا  $M$  وزن تاسیسات (شامل ملخ، کاهش دهنده، ژنراتور، ترانسفورمر) به کیلوگرم می باشد،  $g$  شتاب زمین است. نیروی بالا برنده بالون هوا  $L_d \approx 5U_d$  است به نحوی که  $U_d$  حجم بالون هوا بر حسب متر مکعب است. وزن کابل اصلی و انتقال عبارتند از:

$$m_c = \gamma_c S_c L, \quad m_{tr} = 2\gamma_{tr} S_{tr} L \quad (13)$$

که  $\gamma_c$  وزن مخصوص / چگالی کابل هاست ( $\text{kg/m}^3$ )، و  $S_c \approx 1500 / 1800 \text{ kg/m}^3$  مساحت سطح مقطع کابل ها به متر مربع است و  $L$  طول کابل به متر می باشد. مقدار قطر مورد نیاز برای توان  $P = 100 \text{ kW}$  و سرعت  $V = 10 \text{ m/s}$ ،  $22.5$  متر است و برای سرعت  $15$  متر بر ثانیه،  $12.3$  متر می باشد. سرعت بهینه روتور چتر نجات برابر با  $1.3$  ولت و حداکثر توربیک ضریب بازدهی،  $\eta = 0.5$  و مقدار واقعی آن  $0.2$  می باشد. زاویه متوسط  $\alpha$  بین خط ارتباط و افق به صورت زیر است:

$$\sin \alpha \approx L/D \quad (14)$$

انرژی سالانه بدست آمده از طریق استخراج انرژی باد توسط تاسیسات برابر است با

$$E = 8.33 N \quad [KWh] \quad (15)$$

مساحت سطح مقطع و نیروی کابل انتقال مکانیکی به ترتیب عبارتند از

$$S_c = N/v\sigma \quad (16)$$

$$F_c = N/v \quad (17)$$

به نحوی که  $N$  انرژی انتقال می باشد،  $v$  سرعت انتقال مکانیکی،  $\sigma$  کشش ایمنی کابل انتقال مکانیکی بر حسب  $\text{N/m}^2$  می باشد، برای فیبرهای مصنوعی خوب،  $\sigma \approx (50 / 100) \times 106 \text{ N/m}^2$  ( $\sigma \approx 50 / 100 \text{ N/mm}^2$ )، برای سیستم انتقال مکانیکی دراز،  $v \approx 50 / 150 \text{ m/s}$  است. نیروی مقاومت در برابر هوای کابل انتقال  $Dt$ ، در مقابل نیروی محرک به شکل زیر است.



$$D_c = 0.5 C_D \rho v^2 S_t \quad (18)$$

به این نحو که  $C_D \approx 0.008 / 0.012$  ضریب مقاومت در برابر هواست و  $\rho$  چگالی هوا بر حسب کیلوگرم بر متر مکعب و  $S_t$  ، مساحت سطح کابل بر حسب متر کعب خواهد بود. مساحت سطح کابل انتقال دوتایی به شکل زیر است

$$S_t = \pi d^2 L_c / 4 \quad (19)$$

به طوری که  $d$  قطر کابل بر حسب متر است و  $L_c$  طول کابل بر حسب متر است. ضریب بازدهی انتقال عبارت است از

$$\eta = 1 - D_c / E_c \quad (20)$$

برای کابل ما  $L_c = 1 \text{ km}$  و  $S_t = 10 \text{ m}^2$  ،  $N = 100 \text{ kW}$  ،  $F_t = 2000 \text{ N}$  و نیروی مقاومت در برابر هوا  $D_c = 150 \text{ N (Newton)/km}$  و ضریب بازدهی  $\eta = 0.9625 \text{ km}^{-1}$  می باشد. مساحت سطح مقطع کابل اصلی ،  $S_m$  به صورت زیر است

$$S_m = \frac{\sqrt{D^2 + L^2}}{\sigma} \quad [\text{m}^2] \quad (21)$$

به نحوی که  $\sigma$  کشش ایمنی برای کابل اصلی بر حسب نیوتن بر متر مربع است. هزینه تولید ،  $C$  بر حسب کیلووات ساعت به شکل زیر است :

$$c = \frac{M_0 + I_0 / K_1}{E} \quad (22)$$

که  $M_0$  ، هزینه نگهداری سالانه به دلار است ،  $I_0$  هزینه نصب به دلار ،  $K_1$  طول عمر (تعداد سال) ،  $E$  انرژی سالیانه تولید با نصب جریان بر حسب ژول. سود سالانه به شکل زیر است:

$$F_0 = (C - c) E \quad (23)$$

که  $F_0$  سود سالانه به دلار است و  $C$  قیمت خرده فروشی برای یک کیلووات ساعت به دلار است. در برآورد اولیه از میزان مساحت مورد نیاز برای بال نگهدارنده ، داریم:

$$A_W = \eta A \sin \alpha / C_L \quad (24)$$

در حالی که  $\alpha$  زاویه میان کابل نگهدارنده و سطح افقی است. مساحت بال توسط قطعات متحرک گرفته می شود که برای متعادل سازی گشتاور لحظه ای روتور (ملخ) بکار می روند.

$$A_a = \frac{\eta AR}{\lambda_i \Delta C_{L,a}} \quad (25)$$

$R$  فاصله از مرکز بالا تا مرکز قطعات متحرک به متر است ،  $R$  شعاع روتور (توربین) به متر است ، و  $\Delta C_{L,a}$  تفاوت میان ضریب بالاروندگی قطعات متحرک چپ و راست است. حداقل سرعت باد برای نگهداشتن تاسیسات توسط تنها بال ها ، از رابطه زیر بدست می آید.

$$V_{min} = \sqrt{\frac{2W}{C_{L,max} \rho A_W}} \quad (26)$$

به این شکل که  $W = L$  ، نیروی وزن کل سیستم معلق در هوا از جمله نیروی انتقال می باشد (بر حسب نیوتن). اگر یک روتور ملخی در یک هواپیمای بدون بال بکار گرفته شود ، سرعت کمینه ۲ تا ۲٫۵ برابر کاهش خواهد یافت. اگر سرعت باد برابر با صفر باشد ، توان مورد نیاز برای حرکت دادن ملخ در حالت پیش رانی (هلی کوپتری) به صورت زیر خواهد بود:

$$N_s = W/K_2 \quad [KW] \quad (27)$$

به این شکل که  $W$  وزن تاسیسات (روتور ، ژنراتور ، ترانسفورمر ، و کابل ها) به کیلوگرم خواهد بود و  $K_2$  ضریب بالاروندگی روتور است (۵ تا ۱۲ کیلوگرم بر کیلووات). وزن مخصوص منبع انرژی (چرخ طیار) می تواند به صورت زیر برآورد گردد:

$$E_s = \sigma/2\gamma \quad [J/Kg] \quad (28)$$

### ۳-۴ - انتقال الکتریکی انرژی

خصوصیات ماده مورد نیاز برای محاسبات مربوط به خصوصیات خط الکتریکی از روتور معلق در هوا به تاسیسات زمینی ، در زیر آمده است. یک طراحی برای سیم الکتریکی بکار می رود که اجازه می دهد که جریان الکتریکی به طور ایمن و دائمی در حدود  $10 \text{ A/mm}^2$  حفظ شود. این عدد مقداری است که ما در محاسبات خود از آن استفاده می نمائیم.

جدول ۴ : جریان های مجاز الکتریکی مواد مختلف و سطوح مقطع سیم ها

جدول ۵ : شکاف جرقه ای بین سیم های لخت در اتمسفر

فاصله	ولتاژ	فاصله	ولتاژ	فاصله	ولتاژ
mm	kV	mm	kV	mm	kV
600	300	200	100	16	20
		410	200	46	40

وزن مخصوص $\gamma, \text{kg/m}^3$	مقاومت $\rho, 10^{-8} \text{ Ohm.m}$	25	10	4	2.5	1.5	1	سطح مقطع سیم $\text{mm}^2/\text{matter}$
2700	2.8	80	34	20	16	11	8	آلومینیوم
8930	1.75	100	43	25	20	14	11	مس
7900	9.8	-	17	10	6	-	-	آهن

وزن  $m_e$  ، بر حسب  $\text{kg/kW.km}$  برای یک کیلومتر از سیم در زیر آمده است:

$$s = \frac{P}{pU} , m_e = 2k_2\gamma sL \quad (29)$$

به نحوی که  $s$  سطح مقطع سیم الکتریکی بر حسب متر مربع می باشد.  $p \approx 5 / 10 \text{ A/mm}^2$  جریان الکتریکی ایمنی بر حسب  $\text{A/m}^2$  است و  $U$  ولتاژ بر حسب ولت می باشد.  $k_2 \approx 2 / 3$  ضریب عایق است.  $\gamma$  وزن مخصوص سیم بر حسب کیلوگرم بر متر مکعب می باشد و  $L$  طول سیم است (متر).  $P$  توان الکتریکی بر حسب وات است. مقاومت الکتریکی و ضریب بازدهی الکتریک به صورت زیر می باشند:

$$R = \frac{\rho_e L}{S} , \eta = 1 - \frac{\Delta U}{U} = 1 - 2I\rho_e L/sU \quad (30)$$

به این نحو که  $R$  مقاومت الکتریک بر حسب اهم است.  $\rho_e$  ضریب مقاومت الکتریک بر حسب اهم متر می باشد.  $\eta$  ضریب بازدهی الکتریک است.  $I$  جریان الکتریک بر حسب آمپر است.  $\Delta U$  میزان افت ولتاژ در سیم انتقال بر حسب ولت است.  $S$  سطح مقطع سیم بر حسب متر مربع است. نیروی مقاومت در برابر هوا برای کابل اصلی و سیم های الکتریک، که به یک کابل متصل شده اند.

$$D_{c+w} = 0.5C_p\rho_w V^2 A_{c+w} , A_{c+w} = S_{c+w} H \quad (31)$$

جدول ۶: توان دی الکتریک عایق ها

نوع ماده	MV/m
لگزان (Lexan)	320 - 640
کاپتان اچ (Kaptan H)	120 - 320
میلار (Mylar)	160 - 640
پاریلین	240 - 400
پلی اتیلن	500- 700*
خلأ	100
هوا	1 - 3

برای دمای اتاق \*

که  $C_D$  ، ضریب کشش است.  $C_D = 0.015 / 0.15$  و  $\rho_a$  چگالی هواست  $\rho_a \approx 1 \text{ kg/m}^3$  مساحت سطح مقطع کابل مشترک می باشد و  $H$  ارتفاع از سطح دریا بر حسب متر است.

### ۳-۵- ژنراتور الکتریکی ، ترانسفورمر و ژنراتور الکترواستاتیک

جرم مخصوص ژنراتور الکتریکی مرسوم در حدود ۴ تا ۵ کیلوگرم بر کیلووات می باشد. این جرم به صورت معکوس با فرکانس متناسب است. فرکانس الکتریکی استاندارد ۵۰ هرتز است. ژنراتور حمل و نقل هوایی که دارای فرکانس ۴۰۰ هرتز می باشد ، جرم مخصوص در حدود ۰.۵ کیلوگرم بر کیلووات دارد. برای مثال ، ژنراتور حمل و نقل هوایی ، مدل GT120 II46A (ساخت روسیه) دارای توان  $120 \text{ kW}$  ،  $U = 120/208 \text{ V}$  ، فرکانس  $\nu = 400 \text{ Hertz}$  می باشد ، جرم ۶۷ کیلوگرم است که با هوا خنک می شود. این امر بدین معناست که ما می توانیم برای برآوردمان وزن مخصوص را در حدود ۰.۵ کیلوگرم بر کیلووات در نظر بگیریم.

برای منتقل کردن جریان الکتریکی از توربین معلق در هوا به زمین ، ما نیاز به یک ترانسفورمر الکتریکی داریم که جریان الکتریکی را به ولتاژ بالا تبدیل نماید. این امر باعث کاهش وزن سیم الکتریکی می شود. اگر ما از فرکانس ۴۰۰ هرتز استفاده کنیم ، وزن ترانسفورمر  $400/50 = 8$  مرتبه کاهش خواهد یافت و برابر با تقریباً ۰.۵ کیلوگرم بر کیلووات خواهد بود. این مقدار قابل قبول است. ولی محتمل است که یک مشکل سرمایه‌ی در ژنراتور و ترانسفورمر بوجود آید. سیستم الکتریکی پیشنهادی نیاز به مبدل فرکانس از ۴۰۰ به ۵۰ هرتز یا یکسو کننده دارد. ولی سیستمی که بر روی سطح زمین قرار گرفته است و برای همه توربین های معلق در هوا که ارسال الکتریکی مورد نیاز می باشد ، دارای سیستم انتقال الکتریکی می باشد. مجموع جرم ارسال الکتریکی (ژنراتور الکتریکی ، ترانسفورمر ، و سیم ها) در حدود  $1.2/1.5 \text{ kg/kW}$  بیش از سیستم مکانیکی می باشد که دارای  $0.3/0.5 \text{ kg/kW}$  است.

ژنراتور الکترو استاتیک یک ولتاژ خیلی بالا را تولید می کند که نه تنها آهن و سیم های سنگینی ندارد ، بلکه مشکل خنک سازی نیز ندارد. جرم نسبی ممکن است کمتر از جرم ژنراتور مغناطیسی و ترانسفورمر باشد. برآورد جرم می تواند از طریق معادله زیر بدست آید:

$$m_g = \frac{M_g}{P}, P = VI, I = qv, q = cU, c = \epsilon_0 S/a \quad (32)$$

که  $m_g$  جرم نسبی ژنراتور الکترواستاتیک بر حسب کیلوگرم بر کیلووات ، و  $M_g$  جرم ژنراتور بر حسب کیلوگرم  $P$  توان بر حسب کیلووات و  $I$  جریان الکتریکی بر حسب آمپر  $a$  و  $V$  ولتاژ تولیدی توسط ژنراتور بر حسب ولت ،  $q$  شارژ الکتریکی بر حسب  $C$  ،  $v$  سرعت نسبی صفحات ژنراتور بر حسب متر بر ثانیه و  $c$  ظرفیت الکتریکی صفحات بر حسب فاراد ، و  $U$  ولتاژ

میان صفحات بر حسب ولت و  $\epsilon_0$  ثابت الکتریک بر حسب فاراد بر متر،  $S$  مساحت صفحات بر حسب متر مربع و  $a$  فاصله میان صفحات به متر می باشد.

### ۳-۶- نتایج برآورد سیستم انتقال الکتریک

جرم کل تاسیسات بادی معلق در هوا ( $P = 100 \text{ KW}$ ,  $L = 1 \text{ km}$ ) با انتقال الکتریک در زیر آمده است:

ژنراتور الکتریکی و ترانسفورمر،  $1.2 \text{ kg/kW}$  /  $1$  : ژنراتور الکتریکی و ترانسفورمر،  $3 \text{ kg/kW}$  /  $1.5$  یا  $2 \text{ kg/m}^2$  /  $1$  : بال،  $1 \text{ kg/kW}$  : روتور (ملخ)

$0.1 / 0.15 \text{ kg/kW.km}$  : انتقال مکانیکی،  $0.1 / 0.15 \text{ kg/kW.km}$  : سیم های الکتریکی،  $0.4 / 0.6 \text{ kg/kW.km}$  : کابل اصلی

$200 / 250 \text{ kg}$  : جرم بال،  $400 / 500 \text{ kg}$ ،  $4 / 5 \text{ kg/kW}$ ، or  $400 / 500 \text{ kg}$  : جرم کل در حدود

### ۴- نتایج عددی : چند پروژه با ۲ نوع سیستم انتقال مکانیکی

#### ۴-۱- پروژه ۱: روتور ملخی با سرعت بالای هوا ( شکل ۱ )

مشخصات زیر را در نظر بگیریم. قطر ۱۰۰ متر ( $A = 7850 \text{ m}^2$ )، ارتفاع از سطح دریا  $H = 10 \text{ km}$  ( $\sigma = 0.4135 \text{ kg/m}^3$ )، سرعت باد  $V = 30 \text{ m/s}$ ، ضریب بازدهی  $\eta = 0.5$  و تنش کششی  $\sigma = 200 \text{ kg/mm}^2$ . توان تولیدی  $N = 22 \text{ MW}$  می باشد که برای شهری با جمعیت ۲۵۰ هزار نفر کافی است. کشش روتور  $D_r = 73 \text{ tons}$  می باشد، مساحت سطح مقطع کابل اصلی  $S = 1.4 D_r / \sigma \approx 500 \text{ mm}^2$  می باشد. قطر کابل  $d = 25 \text{ mm}$  و وزن کابل  $W = 22.5 \text{ tons}$  (برای  $L = 25 \text{ km}$ ) می باشند. سطح مقطع کابل انتقالی  $36.5 \text{ mm}^2$ ،  $d = 6.8 \text{ mm}$ ، وزن دو کابل انتقالی،  $3,33$  تن و سرعت کابل  $v = 300 \text{ m/s}$  است. اندازه بال مورد نیاز  $20 * 100 \text{ m}$  ( $C_L = 0.8$ )، مساحت بال با قطعات متحرک آن  $820 \text{ sq.m}$  است. اگر  $C_L = 2$ ، سرعت کمینه ۳ متر بر ثانیه می شود. تاسیسات انرژی سالیانه  $E = 190 \text{ GWh}$  را تولید می کنند. اگر هزینه نصب ۲۰۰ هزار دلار امریکا باشد، یک امر مفید ۱۰ ساله دارد و نیاز به هزینه نگهداری ۵۰ هزار دلار در هر سال دارد، و هزینه تولید  $c = 0.37$  سنت در هر کیلووات ساعت می باشد. اگر قیمت خرده فروشی ۰,۱۵ دلار در هر کیلووات ساعت باشد، سود ۰,۱ دلار در هر کیلووات ساعت و سود کل سالانه ۱۹ میلیون دلار خواهد بود.

#### ۴-۲- پروژه ۲: موتور بادی با سرعت پائین هوا با روتور قابل انعطاف کابلی با قابلیت پرواز آزاد ( شکل ۲ )

اندازه های زیر را برای روتور کابلی در نظر بگیریم. عرض ۵۰ متر، قطر ۱۰۰۰ متر، و مساحت  $A = 50,000 \text{ sq.m}$ . زاویه طناب با افق ۷۰ درجه است. زاویه نسبت نیروی بالا برنده به کششی در حدود ۲,۵ درجه است. سرعت باد متوسط معمول در ارتفاع  $H = 10 \text{ m}$ ،  $V = 6 \text{ m/s}$  است. به این معناست که سرعت در ارتفاع ۱۰۰۰ متری از سطح دریا،  $11.4 - 15 \text{ m/s}$  می باشد. بگذارید تا متوسط سرعت باد را  $V = 13 \text{ m/s}$  در ارتفاع  $H = 1 \text{ km}$  در نظر بگیریم. توان جریان  $N = 63 \text{ MW}$ . اگر ضریب بازدهی  $\eta = 0.2$  باشد، انرژی  $12.5 \text{ MW}$  برای شهری با جمعیت ۱۵۰ هزار نفر کافیست. اگر ما تاسیسات خود را تا ارتفاع  $100 * 2000 \text{ m}$  پائین بیاوریم، توان تقریباً به میزان یک ششم کاهش می یابد (چون مساحت یک چهارم می شود و سرعت باد در این ارتفاع به بیش از ۱۵ متر بر ثانیه می رسد. توان  $75 \text{ MW}$  خواهد بود. این میزان برای شهری با جمعیت یک میلیون نفر کافیست. اگر متوسط سرعت باد برای مکان مورد نظر متفاوت باشد، توان برای تاسیسات پایه ای به صورت زیر خواهد بود:

$V = 5 \text{ m/s}$ ,  $N = 7.25 \text{ MW}$ ;  $V = 6 \text{ m/s}$ ,  $N = 12.5 \text{ MW}$ ;

$V = 7 \text{ m/s}$ ,  $N = 19.9 \text{ MW}$ ;  $V = 8 \text{ m/s}$ ,  $N = 29.6 \text{ MW}$ ;

$V = 9 \text{ m/s}$ ,  $N = 42.2 \text{ MW}$ ;  $V = 10 \text{ m/s}$ ,  $N = 57.9 \text{ MW}$

## ۴-۲-۱- بازدهی اقتصادی

هزینه تاسیسات خود را یک میلیون دلار فرض کنیم. بر اساس کتاب "نیروی باد" نوشته P. Gipe، تاسیسات بادی مرسوم با قطر روتور ۷ متری، ۲۰ هزار دلار هزینه در بر خواهند داشت، که برای متوسط سرعت باد ۶ متر بر ثانیه، توان 2.28 kW دارند و 20000 kWh در سال تولید می کنند. برای تولید میزان توان برابر با سیستم پیشنهادی توسط روشهای مرسوم، ما باید (12500/2.28) ۵۴۸۲ روتور داشته باشیم که ۱۱۰ میلیون دلار هزینه خواهد داشت یا 28M برای هزینه نصب هر کدام ۵ هزار. بیائید فرض کنیم که تاسیسات ما عمر مفید ۱۰ ساله دارند و هزینه نگهداری شان، ۵۰ هزار دلار در سال است. تاسیسات ما 109,500,000 kWh انرژی در سال تولید می کنند. هزینه های تولید انرژی تقریباً  $150,000 / 109,500,000 = 0.14 \text{ cent} / \text{kWh}$  خواهد بود. اگر سود از یک کیلووات ساعت ۰٫۱ دلار باشد، سود کل باید بیش از ۱۰ میلیون دلار در سال باشد.

## ۴-۲-۲- برآورد برخی از پارامترهای فنی

سطح مقطع کابل اصلی با توجه به  $\sigma = 200 \text{ kg/sq.mm}$ ،  $S = 2000 / 0.2 = 10,000 \text{ mm}^2$  می باشد. دو کابل با قطر  $d = 80 \text{ mm}$  می باشد. وزن کابل با چگالی ۱۸۰۰ کیلوگرم بر متر مربع،  $W = SL\gamma = 0.01 * 2000 * 1800 = 36 \text{ tons}$  است. فرض کنیم که وزن ۱ متر مربع از تیغه، ۰٫۲ کیلوگرم بر متر مربع است و وزن ۱ متر از توده، ۲ کیلوگرم است. وزن یک توده  $0.2 \times 500 = 100 \text{ kg}$  است و ۲۰۰ تیغه، ۲۰ تن خواهند بود. اگر وزن یک توده، ۰٫۱ تن باشد، وزن ۲۰۰ توده، ۲۰ تن خواهد بود. مجموع وزن بخش های اصلی تاسیسات ۹۴ تن خواهد بود. ما برای محاسبات خودمان، این عدد را ۱۰۰ فرض می کنیم. حداقل سرعت باد برای وقتی که بتوان روتور را در هوا نگه داشت ( $C_y = 2$ )، به صورت زیر خواهد بود

$$V = (2Wg/CLS)^{0.5} = (2 \times 100 \times 104 / 2 \times 1.225 \times 200 \times 500)^{0.5} = 2.86 \text{ m/s}$$

احتمال سقوط سرعت باد به زیر ۳ متر بر ثانیه وقتی که متوسط سرعت ۱۲ متر بر ثانیه است، صفر است، و با ۱۰ متر بر ثانیه، ۰٫۰۰۰۳ می باشد. این مقدار برابر با ۲٫۵ ساعت در سال است یا کمتر از یک مرتبه در سال. باد در ارتفاعات بالا، سرعت و پایداری بالاتری نسبت به سطح زمین دارد. یک باد قوی در ارتفاع بالا وجود دارد حتی در زمانی که باد در نزدیکی سطح زمین وجود نداشته باشد. این مورد می تواند وقتی که ابرها در یک روز آرام در آسمان حرکت می کنند، به خوبی مشاهده شود.

## ۵- نتیجه گیری

تقریباً هیچ پیشرفتی در فناوری آسیاب بادی در سال های گذشته رخ نداده است. در حالیکه انرژی حاصله از باد، رایگان است، تولید آن گران تر از تولید در نیروگاه های برق مرسوم می باشد. آسیاب های بادی مرسوم، به حداکثر توان بالقوه استخراج انرژی خود نزدیک می شوند که به عمده هزینه ها مربوط به هزینه نصب آنها است. تاسیسات بادی کنونی قادر نیستند که لزوماً هزینه خود در هر کیلو وات را کاهش دهند و در عین حال، پایداری تولید انرژی را نیز حفظ نمایند. آنها نمی توانند به طور مداوم توان یک واحد انرژی را افزایش دهند. صنعت انرژی های تجدیدپذیر نیاز به ایده های انقلابی برای بهبود پارامترهای عملکردی (هزینه نصب و توان بر واحد) دارد که به میزان زیادی هزینه تولید انرژی را (۵ تا ۱۰ برابر) کاهش می دهد. تاسیسات بادی معلق در هوا که در این مقاله توصیف می گردند، می توانند صنعت انرژی بادی را از رکود به یک حالت بالقوه انقلابی برسانند.

- [1]. [www.kitegen.com](http://www.kitegen.com)
- [2]. Bolonkin, A.A., 2006 "New Concepts, Ideas, Innovations in Aerospace, Technology and the Human Sciences", NOVA, , 510 pgs. <http://www.scribd.com/doc/24057071> , <http://www.archive.org/details/NewConceptsIfeasAndInnovationsInAerospaceTechnologyAndHumanSciences>;
- [3]. Bolonkin, A.A., "New Technologies and Revolutionary Projects", Lulu, 2008, 324 pgs, <http://www.scribd.com/doc/32744477> , <http://www.archive.org/details/NewTechnologiesAndRevolutionaryProjects>
- [4]. Bolonkin, A.A., Cathcart R.B., "Macro-Projects: Environments and Technologies", NOVA, 2007, 536 pgs. <http://www.scribd.com/doc/24057930> . <http://www.archive.org/details/Macro-projectsEnvironmentsAndTechnologies>
- [5]. Gipe P., Wind Power, Chelsea Green Publishing Co., Vermont, 1998.
- [6] Thresher R.W. and etc, Wind Technology Development: Large and Small Turbines, NRFL, 1999.
- [7]. Galasso F.S., Advanced Fibers and Composite, Gordon and Branch Scientific Publisher, 1989.
- [8]. Carbon and High Performance Fibers Directory and Data Book, London-New York: Chapman & Hall, 1995, 6th ed., 385 p.
- [9]. Concise Encyclopedia of Polymer Science and Engineering, Ed. J.I.Kroschwitz, N.Y., Wiley, 1990, 1341p.
- [10]. Dresselhaus, M.S., Carbon Nanotubes, by, Springer, 2000.
- [11]. Joby turbines. <http://www.jobyenergy.com/tech>.
- [12] Makani turbine : <http://theenergycollective.com/energynow/69484/airborne-wind-turbine-could-revolutionize-wind-power> , <http://www.treehugger.com/wind-technology/future-wind-power-9-cool-innovations.html> .
- [13] Cost of renewable energy. [http://www.irena.org/DocumentDownloads/Publications/RE\\_Technologies\\_Cost\\_Analysis-WIND\\_POWER.pdf](http://www.irena.org/DocumentDownloads/Publications/RE_Technologies_Cost_Analysis-WIND_POWER.pdf)

# SID



سرویس های ویژه



سرویس ترجمه تخصصی



کارگاه های آموزشی



بلاگ مرکز اطلاعات علمی



سامانه ویراستاری STES



فیلم های آموزشی

## کارگاه های آموزشی مرکز اطلاعات علمی



مقاله نویسی علوم انسانی  
تربیه آموزشی

مقاله نویسی علوم انسانی



اصول تنظیم قراردادها  
تربیه آموزشی

اصول تنظیم قراردادها



آموزش مهارت های کاربردی در تدوین و چاپ مقاله  
تربیه آموزشی

آموزش مهارت های کاربردی در تدوین و چاپ مقاله