

طراحی توربین باد محور عمودی H-روتور برای استان یزد

مطالعه موردی: ایستگاه حلوان

محسن رشیدی نژاد^۱، احمد صداقت^۲، امین قلعه‌نوئی^۳

^۱ دانشجوی دکتری، مهندسی مکانیک، دانشگاه کاشان، کاشان، rashidinejadmohsen@gmail.com

^۲ استادیار، مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، sedaghat@cc.iut.ac.ir

^۳ دانشجوی دکتری، مهندسی مکانیک، دانشگاه کاشان، کاشان، aqlanda@yahoo.com

چکیده

پتانسیل باد، برای تولید انرژی پاک، در بسیاری از نقاط ایران قابل توجه است. در این مقاله، یک تحلیل آماری روی داده‌های بادی ایستگاه حلوان به عنوان بهترین ایستگاه در استان یزد انجام شده و یک توربین محور عمودی برای این ایستگاه طراحی گشته است. با توجه به نوع داده‌ها، محاسبات در یک بازه یک ساله و برای ارتفاعات ۱۰، ۳۰ و ۴۰ متری انجام گرفته است. این ایستگاه دارای میانگین سرعت به ترتیب ۴/۷، ۴/۵۱ و ۳/۹۱ متر بر ثانیه در ارتفاع‌های یاد شده است. با توجه به انتخاب یک ایرفویل از نوع SH3055 و با محاسبه نمودار ضریب درگ و لیفت برای این ایرفویل بر حسب زاویه حمله، می‌توان با نوشتن یک برنامه نمودار C_p بر حسب سرعت نوک پره را ترسیم نمود. با توجه به نمودارها می‌توان نسبت طول به قطر و هم چنین صلبیت بهینه پره را به دست آورد و بر اساس آن یک توربین بادی مناسب برای ایستگاه ذکر شده طراحی کرد. در نهایت با توجه به روابط و هزینه‌های پیش‌بینی شده می‌توان مدت زمان بازگشت سرمایه این توربین را تخمین زد و بر اساس آن بر روی مقرون به صرفه بودن یا نبودن آن بحث نمود.

واژه‌های کلیدی

انرژی باد، ایستگاه حلوان، توربین بادی محور عمودی، توزیع ویبول، چگالی توان.

مقدمه

رشد روزافزون تقاضای انرژی، افزایش استانداردهای زندگی، گرم شدن بیش از حد کره زمین و در نهایت مشکلات زیست محیطی موجب شده تا هر روز شاهد پیشرفت‌هایی در زمینه فن‌آوری استفاده از منابع انرژی تجدیدپذیر باشیم [۱].

در حالت کلی انرژی باد نیز مانند سایر منابع انرژی تجدیدپذیر از ویژگی‌ها و مزایای بالاتری نسبت به سایر منابع انرژی برخوردار است. مهم این مزایا عبارت است از: عدم نیاز توربین‌های بادی به سوخت، رایگان بودن انرژی باد، توانایی تأمین بخشی از انرژی برق، کمتر بودن نسبی قیمت انرژی حاصل از باد نسبت به سایر منابع انرژی فسیلی، کمتر بودن هزینه‌های سرمایه‌گذاری انرژی باد در بلندمدت، تنوع بخشیدن به منابع انرژی و ایجاد سیستم پایدار انرژی، قدرت مانور زیاد جهت بهره‌برداری در هر ظرفیت و اندازه از چند وات تا چندین مگاوات، عدم نیاز به آب و زمین زیاد برای نصب و نداشتن آلودگی محیط زیست نسبت به سوخت‌های فسیلی [۲].

توربین‌های بادی به دو دسته کلی محور افقی و محور عمودی تقسیم می‌شوند. در توربین‌ها یا روتورهای محور عمودی، محور دوران بر راستای افق و جریان باد عمود و در توربین‌های بادی محور افقی محور گردش هم‌راستا با زمین است. توربین‌های محور عمودی دارای ساختمان و نصب بسیار ساده‌ای بوده و در سرعت‌ها و جهت‌های مختلف باد قابل استفاده می‌باشند. این توربین‌ها، برخلاف توربین‌های محور افقی، دارای سرعت دورانی کم و گشتاور زیاد بوده و مستقل از جهت باد هستند. به دلیل سرعت کم و گشتاور زیاد، بعضی اشکال انتقال قدرت از جمله هوای فشرده و هیدرولیک

برتری بیشتری نسبت به تولید مستقیم الکتریسیته در این روتورها دارند [۳-۴].

مزیت اصلی توربین های محور عمودی این است که تنها یک قسمت متحرک دارند (روتور). تیغه های توربین محور عمودی با پره های مستقیم ممکن است دارای مقطع یکنواخت و بدون پیچ باشد که این امر تولید و مونتاژ آنها را نسبتاً ساده می سازد. بر عکس پره های توربین های محور افقی، می بایست دارای پیچ و فرم مخروطی مانند به منظور کارایی بهینه باشند. علاوه بر این تمام اجزای توربین محور عمودی که نیاز به تعمیرات و نگهداری دارند در سطح زمین قرار دارند و کار نگهداری آنها نسبتاً ساده و آسان است [۵].

اس. جی. ساوینوس توربین های محور عمودی ساوینوس را در اواخر دهه ۱۹۲۰ توسعه داد. بین دهه ۱۹۶۰ تا ۱۹۷۰ محققان بسیاری کارهای تجربی را بر روی روتور ساوینوس انجام دادند. بیشترین راندمان اندازه گیری شده در تست نمونه بر اساس گزارش ارائه شده توسط مکفرسون تقریباً ۳۳٪ بود [۵].

در ایران نیز اخیراً تلاش هایی در راستای امکان-سنجی فنی و اقتصادی استفاده از توربین های بادی در مناطق مختلف کشور به منظور تولید برق صورت گرفته است. کرمان [۶]، الیگودرز [۷] و زرینه [۸] از جمله مناطقی هستند که مورد مطالعه قرار گرفته اند. امکان تولید برق در مناطق دور از ساحل نیز مورد بررسی واقع شده است [۹].

در این مقاله، یک تحلیل آماری روی داده های بادی ایستگاه حلوان در استان یزد انجام شده و همچنین یک توربین محور عمودی برای این ایستگاه طراحی شده است. به منظور برآورد اولیه انرژی باد در این ایستگاه محاسبات لازم بر روی اطلاعات آماری اندازه گیری شده توسط سازمان انرژی های نو ایران انجام شده است. از اطلاعات سرعت و جهت باد در طول یک بازه یک ساله و در فواصل زمانی ۱۰ دقیقه برای هر داده برداری، استفاده شده است [۳].

روش کلی طراحی روتور

روش طراحی روتور با انتخاب پارامترهای مختلف روتور آغاز و با انتخاب نوع ایرفویل مناسب ادامه می یابد.

شکل مناسب و اولیه ای از پره با در نظر گرفتن گردابه چرخشی مشخص می شود. شکل نهایی و عملکرد پره را می توان به روش تکراری با در نظر گرفتن پسا، اتلافات لبه، پارامترهای ساخت، بهینه کرد. نهایتاً می-توان مراحل زیر را برای طراحی پره در نظر گرفت.

تعیین پارامترهای پایه روتور [۵]

با توجه به توان مورد نظر (P) و سرعت متوسط باد در محل (U)، با انتخاب C_p و η می توان شعاع پره را طبق رابطه زیر به دست آورد.

$$P = C_p \eta \times \frac{1}{2} \times \rho \pi R^2 U^3 \quad (1)$$

تعداد مناسب تیغه ها را با توجه به جدول ۱ می توان انتخاب کرد. اگر تعداد تیغه ها از عدد ۳ کمتر باشد، مشکلات دینامیکی سازه را نیز باید در طراحی ها مورد بررسی قرار داد.

جدول ۱: تعداد مناسب پره با توجه به سرعت لبه

B	λ
۸-۲۴	۱
۶-۱۲	۲
۳-۶	۳
۳-۴	۴
۱-۳	≥ 5

ایرفویل مناسب را با توجه به مقدار (λ) انتخاب می-کنیم. اگر $\lambda < 3$ باشد، ایرفویل صفحه ای و اگر $\lambda > 3$ باشد، ایرفویل با اشکال آیرودینامیکی مورد احتیاج است.

با توجه به نوع ایرفویل انتخاب شده در مرحله قبل ضرایب لیفت و درگ را بر حسب زاویه حمله رسم و زاویه حمله بهینه α_{Design} (زاویه ای که در آن $\frac{C_d}{C_l}$ مینیمم شود) را به دست آورده و از روی نمودار $C_{l,Design}$ و $C_{d,Design}$ را مشخص می-کنیم.

تیغه را به N قسمت (معمولاً ۱۰-۲۰) تقسیم می-کنیم. با استفاده از تئوری روتور بهینه، شکل (i) امین قسمت تیغه به شعاع r_i را تخمین می-زنیم.

$$\varphi_{i,1} = \left(\frac{2}{3}\right) \tan^{-1} \left(\frac{1}{\lambda_{r,i}}\right) \quad (8)$$

مقدار ضریب افت در نوک تیغه و صلبیت پره را از فرمول‌های زیر به دست می‌آوریم.

$$\sigma_i = \frac{Bc}{2\pi r_i} \quad (9)$$

(10)

$$F_i = \left(\frac{2}{\pi}\right) \cos^{-1} \left[\exp \left[- \left(\frac{\left(\frac{B}{2}\right) \left(1 - \frac{r_i}{R}\right)}{\left(\frac{r_i}{R}\right) \sin \varphi_i} \right) \right] \right]$$

با داشتن این دو فاکتور، مقدار ضریب لیفت با توجه به رابطه زیر به دست می‌آید.

$$C_{l,i} = 4F_i \sin \varphi_i \frac{(\cos \varphi_i - \lambda_{r,i} \sin \varphi_i)}{(\sin \varphi_i + \lambda_{r,i} \cos \varphi_i)} \quad (11)$$

با تغییر زاویه حمله α ، مقدار زاویه سرعت نسبی ϕ_i تغییر کرده و محاسبات ادامه می‌یابد تا مقدار C_l به دست آمده از رابطه (۲۲) با مقدار C_l به دست آمده از مرحله اولیه (نتایج تجربی ایرفویل) یکسان شود.

(12)

$$\varphi_{i,j+1} = \theta_{p,i} + \alpha_{i,j}$$

نمودار $C_p - \lambda$

بامشخص شدن طرح بهینه پره در λ_{design} ، باید عملکرد تیغه در سایر مقادیر λ نیز مشخص شود. این کار را می‌توان با روش توضیح داده شده در قسمت قبل انجام داد. نمودار $C_p - \lambda$ ما را قادر می‌سازد تا رفتار پره را در ترکیب‌های مختلف سرعت باد و روتور پیش بینی کنیم. این نمودار همچنین اطلاعات جالبی در مورد ماکزیمم ضریب توان C_p و $\lambda_{optimum}$ به دست می‌دهد. در شکل ۱ نمونه‌ای از نمودار $C_p - \lambda$ ترسیم شده است.

با ترکیب نتایج تجربی مراحل قبل و روابط زیر می‌توان زوایای گام θ_p و پیچش θ_T را برای هر قسمت از ایرفویل به روش تکراری به دست آورد.

$$\lambda_{r,i} = \lambda(r_i / R) \quad (2)$$

$$\varphi_i = \left(\frac{2}{3}\right) \tan^{-1} \left(\frac{1}{\lambda_{r,i}}\right) \quad (3)$$

سپس باتوجه به رابطه‌های زیر زوایای θ_p و θ_T به دست می‌آیند.

$$C_i = \frac{8\pi r_i}{BC_{l,Design}} (1 - \cos \varphi_i) \quad (4)$$

(5)

$$\varphi_i = \theta_{p,i} + \alpha_{Design}$$

$$\theta_{T,i} = \theta_{p,i} - \theta_{p,o} \quad (6)$$

برای راحتی در ساخت تیغه تغییرات خطی طول وتر، ضخامت و پیچش را در نظر می‌گیریم. برای ریل به این هدف اگر تابع تغییرات طول وتر و توزیع پیچش را به کمک توابع زیر بیان کنیم.

(7)

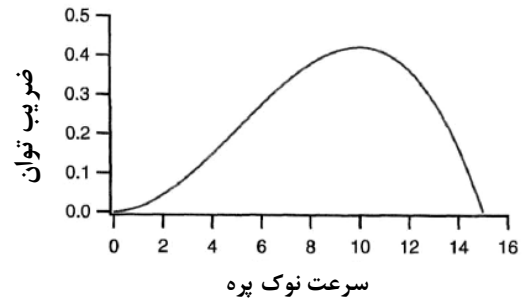
$$C_i = a_i r_i + b_i$$

ضرایب a_1 ، b_1 و a_2 را می‌توان با استفاده از برازش منحنی به دست آورد.

برای بهینه کردن ابعاد اولیه تیغه از یک روش تکراری برای به دست آوردن α و C_l استفاده می‌کنیم. با تقسیم تیغه به N قسمت با طول یکسان، N ایرفول با زوایای حمله متفاوت و در نتیجه ضرایب لیفت و درگ مختلف به دست می‌آید. روش فوق بر این حقیقت استوار است که با توجه به تغییرات زاویه پیچش در طول ایرفویل (از هاب تا نوک) زاویه حمله در هر قسمت از ایرفویل تغییر خواهد کرد.

با ترکیب نتایج تجربی مراحل قبل و روابط زیر می‌توان زاویه حمله و ضریب لیفت را به روش تکراری برای هر قسمت از ایرفویل به دست آورد. برای شروع، زاویه سرعت نسبی را طبق رابطه‌های زیر به دست می‌آوریم.

خوب	۳	۱	۰
عالی	۰	۰	۰



شکل ۱: نمودار ضریب توان بر حسب سرعت لبه

گلباد نموداری است که توزیع جهت باد را نشان می‌دهد. در شکل ۴ گلباد بر اساس زمان (فرکانس) وزش در ارتفاع ۳۷/۵ متری و ۳۰ متری نشان داده شده است. با توجه به شکل تقریباً می‌توان ادعا کرد که تمام وزش باد در جهت شمال تا شمال غرب اتفاق افتاده است.

نتایج

در این پژوهش، تحلیل بر روی داده‌های سرعت باد که در طول یک سال و با فاصله زمانی ۱۰ دقیقه ثبت شده‌اند، صورت گرفته است. اندازه‌گیری‌ها در ارتفاع‌های ۴۰، ۳۰ و ۱۰ متری انجام شده است. در جدول ۲ پارامترهای مربوط به سرعت و توان باد که از تحلیل آماری در سه ارتفاع یاد شده به دست آمده آورده شده است.

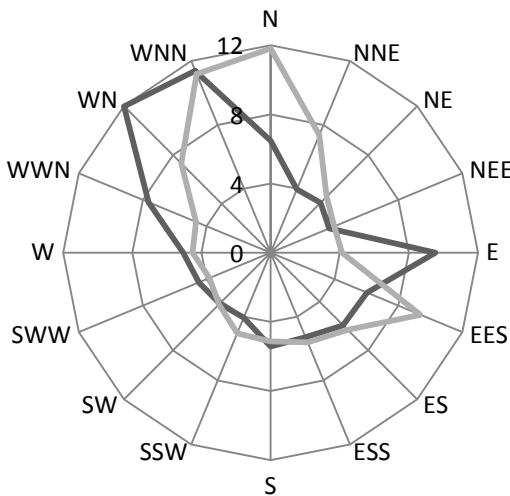
جدول ۲: محاسبه پارامترهای مربوط به سرعت و توان باد

سرعت متوسط (m/s)	توان باد (W/m^2)	چگالی انرژی (Kwh/m^2)
۴/۷	۱۶۷/۴۲	۱۲۱/۳۹
۴/۵۱	۱۹۹ ۱۴۳	۱۳۹ ۱۰۴
۳/۹۱	۹۳/۶۱	۶۷/۸۷

همان‌طور که مشاهده می‌شود ایستگاه حلوان با داشتن سرعت متوسط سالیانه $\bar{V} = 4/7$ (m/s) توانایی تولید حداکثر توان $P = 167/42$ (W/m^2) را دارد. بنابراین در قسمت بعدی در منطقه فوق، پره آیرودینامیکی طراحی خواهد شد. منطقه حلوان را در ارزیابی بادخیزی به صورت جدول ۳ می‌توان طبقه‌بندی کرد.

جدول ۳: ارزیابی بادخیزی ایستگاه حلوان

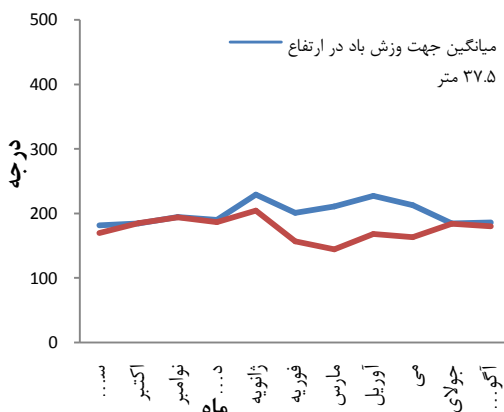
نوع ارزیابی	تعداد ماه (ارتفاع ۴۰ متر)	تعداد ماه (ارتفاع ۳۰ متر)	تعداد ماه (ارتفاع ۱۰ متر)
ضعیف	۵	۶	۹
مرزی	۳	۴	۲



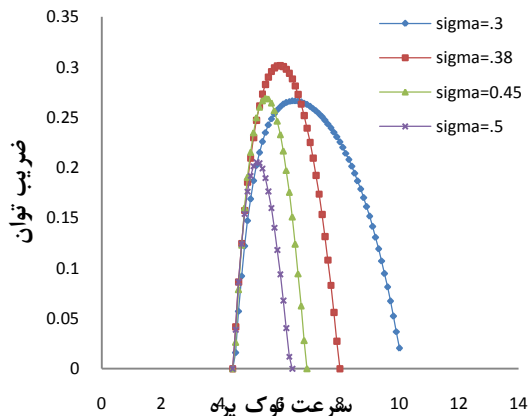
— ارتفاع ۳۷.۵ متر — ارتفاع ۳۰ متر

شکل ۴: گلباد بر اساس فرکانس وزش باد در ۳۰ و ۳۷/۵ متری

در شکل ۵ جهت غالب باد در طول سال برای منطقه حلوان نشان داده شده است. تقریباً در طول سال جهت باد ثابت و از سمت جنوب تا جنوب شرق است. این موضوع در امر چیدمان توربین‌ها مهم است و ثابت بودن جهت باد مزیت عمده ای برای نیروگاه محسوب می‌شود.

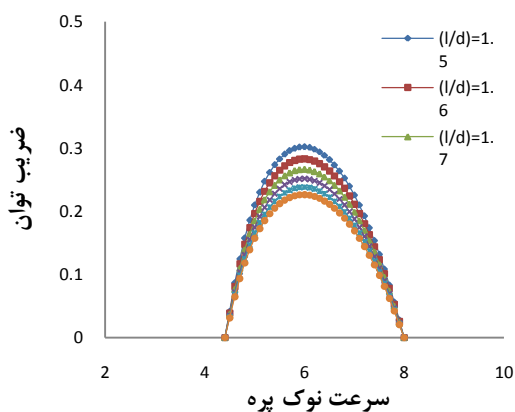


شکل ۵: توزیع جهت غالب باد در طول سال



شکل ۷: رسم نمودار C_p بر حسب λ با افزایش مقدار صلبیت (۵)

از دیگر مواردی که بر روی مقدار C_p تأثیر قابل توجهی دارد نسبت (l/d) است. از آنجا که بر اساس محدودیت‌های موجود به خاطر ایجاد پدیده کمانش، محدوده (l/d) می‌تواند از $1/5$ تا 2 تغییر نماید، در برنامه نوشته شده این تغییرات مورد بررسی قرار گرفته است و نتایج آن در قالب شکل ۸ بدین صورت قابل مشاهده است.



شکل ۸: نمودار C_p بر حسب λ با تغییر مقدار (l/d) از $1/5$ تا 2 با افزایش مقدار $1/1$

اکنون با استفاده از سایر روابط موجود می‌توان دیگر پارامترهای مورد نظر طراحی را محاسبه نمود. در جدول ۴ پارامترهای مورد نظر در طراحی توربین محاسبه و بیان شده است.

جدول ۴: مجموعه پارامترهای محاسبه شده جهت طراحی توربین محور عمودی با ایرفویل SH3055 در ایستگاه حلوان

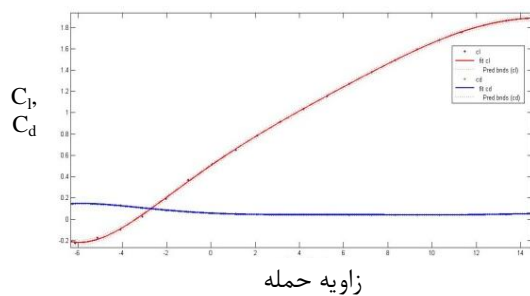
پارامتر طراحی	نماد	مقدار محاسبه شده
---------------	------	------------------

برای تعیین پتانسیل انرژی باد در سایت مورد نظر و تخمین انرژی خروجی از این سایت از تابع توزیع ویبول استفاده می‌شود. محاسبه تابع توزیع ویبول توسط نرم افزار متهل انجام گرفته است.

انتخاب λ مناسب اولین پارامتری است که باید در پروسه طراحی پره مورد نظر قرار داد. ضریب λ در بسیاری از توربین‌های مدرن در محدوده $6 \leq \lambda \leq 8$ قرار می‌گیرد. ولی انتخاب مناسب ضریب λ بسته به توان مورد نیاز، از یک ایرفویل به ایرفویل دیگر تغییر می‌کند. در پروژه حاضر از ایرفویل SH3055 استفاده شده است. باتوجه به نوع ایرفویل انتخاب شده در مرحله قبل نمودارهای ضرایب لیفت و درگ را بر حسب زاویه حمله در برنامه متهل رسم نموده و با فیت نمودن نمودار رسم شده بهوسیله یک معادله درجه ۶، معادلات حاکم بر این نمودارها را به دست می‌آوریم. این کار برای ۴ عدد رینولدز مختلف انجام شده که به عنوان نمونه در شکل ۶ نمودار ضرایب لیفت و درگ بر حسب زاویه حمله برای $Re=100003$ ترسیم گردیده است.

حال نوبت به محاسبه صلبیت و هم چنین نسبت طول به قطر بهینه پره جهت یافتن بیشتر ضریب توان جهت بالاترین بازده می‌رسد.

جهت نیل به این هدف ابتدا در یک نسبت ثابت مقدار $l/d=1/5$ را برای چند مقدار مختلف صلبیت به دست آورده که با توجه به مقادیر به دست آمده از کد نوشته شده در برنامه متهل مشاهده می‌شود که ماکزیمم مقدار C_p (البته در یک نسبت (l/d) ثابت و برابر با $1/5$) برابر با 0.3016 بوده و در $\lambda=6$ و $\sigma=0.38$ روی می‌دهد (شکل ۷).



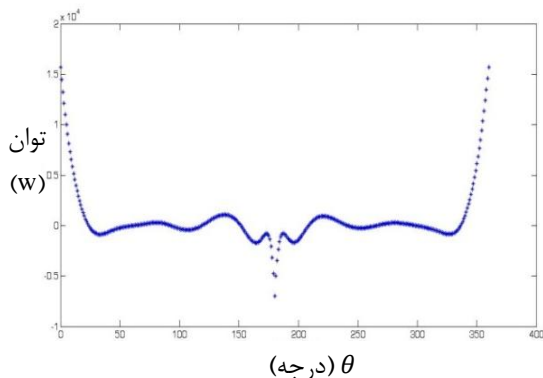
شکل ۶: نمودار C_l و C_d بر حسب α برای $Re=100003$

برای سایر اعداد رینولدز نتایج مطابق نتایج جدول ۵ است.

جدول ۵: محاسبه زاویه حمله بهینه در رینولدزهای مختلف برای ایرفویل SH3055

		Re	
۱۲.۳۵	۴۲.۳۴	۱۰۰۰۰	۳
۱۰/۰۶	۶۶.۲۶	۲۰۰۰۲	۲
۷/۷۳۱	۸۴/۳۹	۳۴۹.۸۱	۱
۶/۷۹	۹۵/۰۴	۴۹۹۵۶۴	

از دیگر نمودارهای مفید در طراحی توربین های بادی، نمودار توان بر حسب زاویه قرارگیری پره است که برای ایرفویل طراحی شده در این پژوهش ، مطابق با شکل ۱۱ می باشد.



شکل ۱۱: نمودار توان بر حسب زاویه قرارگیری پره

با توجه به نمودار توان بر حسب زاویه قرارگیری پره، مطابق با انتظار مشاهده می شود که بیشترین توان در زوایای پره کوچکتر ایجاد می شود و در سایر زوایای قرارگیری پره، نوسان کمتری را مشاهده می نماییم. از دیگر نتایج نمودار توان بر حسب سرعت نوک پره است که برای ارتفاع ۱۰ متر و سرعت م توسط m/s ۳/۹۱ مطابق با شکل ۱۲ است.

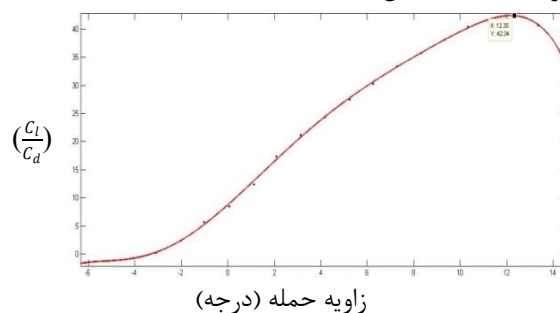
۵	B	تعداد پره
۶	d	قطر روتور (متر)
۹	l	ارتفاع (متر)
۰/۴۵۶	C	طول کورد (متر)
۰/۳۸	σ	صلبیت
۰/۳۰۱۶	C_p	ضریب توان
۶	λ	نسبت سرعت نوک پره

با توجه به مشخصات آمده در جدول ۴، توربین باد به مدل EA-L-k10 انتخاب گردید (شکل ۹). خصوصیات این توربین را می توان در مرجع [۱۵] به صورت کامل مشاهده نمود.



شکل ۹: توربین باد مدل EA-L-k10

در ادامه روند طراحی ، نمودار $(\frac{C_l}{C_d})$ بر حسب α را برای رینولدزهای مختلف رسم می شود تا مشاهده گردد که بیشینه مقدار $(\frac{C_l}{C_d})$ در چه مقداری از α روی می دهد. این مقدار از α معرف زاویه حمله بهینه است که بهترین زاویه حمله برای نصب ایرفویل محسوب می گردد. به عنوان نمونه این نمودار برای $Re=100003$ ترسیم گردیده است (شکل ۱۰).



شکل ۱۰: نمودار $(\frac{C_l}{C_d})$ بر حسب α برای $Re=100003$

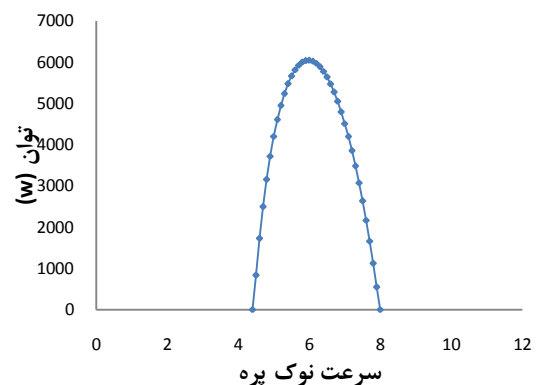
از دیگر موارد بسیار مهم در طراحی توربین های بادی برآورد زمان بازگشت سرمایه آن است. اگر فرض بگیریم هزینه فروش هر کیلو وات ساعت برق ۳/۷۶ سنت باشد، از طرفی سرمایه مورد نیاز جهت ساخت نیروگاه بادی به ازای هر کیلو وات ساعت تولید برق (با توجه به اینکه سرعت نامی توربین طراحی شده برابر با ۷/۸۲ متر بر ثانیه است) ۱۱۵۰ دلار در نظر گرفته می شود [۳]، آنگاه برای توربین طراحی شده در این پژوهش، زمان برگشت سرمایه مطابق با روابط موجود، ۵ سال و ۹ ماه و ۲۴ روز تخمین زده می شود.

جمع بندی و نتیجه گیری

در این مقاله، یک تحلیل آماری روی داده های بادی ایستگاه حلوان به عنوان بهترین ایستگاه در استان یزد انجام گشت و یک ت و ربین محور عمودی برای این ایستگاه طراحی شده است. مشاهده می شود بیشینه مقدار ضریب توان برابر با ۰/۳۰۱۶ است که در نسبت سرعت نوک پره ۶ و ضریب ۰/۳۸ اتفاق می افتد. این مقدار با توجه به سرعت پایین باد در ایستگاه بررسی شده عددی قابل قبول به نظر می رسد. همچنین زمان بازگشت سرمایه نصب توربین برآورد گردیده است که حدود ۵ سال و ۱۰ ماه طول می کشد تا درآمد حاصل از فروش برق تولیدی توربین، هزینه های نصب آن را جبران نماید و پس از آن توربین شروع به سوددهی کند.

مراجع

- [1] International Energy Agency (IEA), www.iea.org/
- [2] Global Wind Energy Council (GWEC), <http://www.gwec.net/>
- [3] سازمان انرژی های نو <http://www.suna.org.ir/>
- [4] M. Ameri, M. Ghadiri, M. Hosseini, "Recent Advances in the Implementation of Wind Energy in Iran", *The 2nd Joint International Conference on Sustainable Energy and Environment (SEE 2006), Bangkok, Thailand, November 2006.*

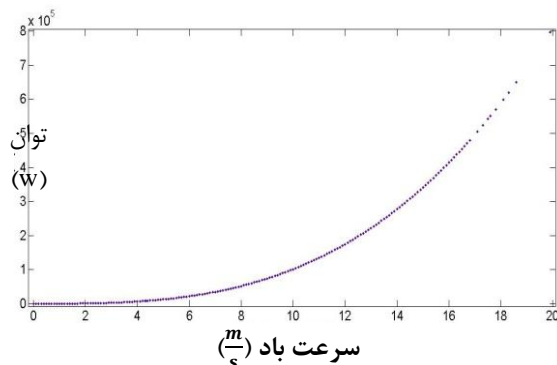


شکل ۱۲: نمودار توان بر حسب نسبت سرعت نوک پره در سرعت باد متوسط ۳/۹۱ متر بر ثانیه

با توجه به نمودار رسم شده مشاهده می شود که بیشینه توان تولیدی در حدود ۶۰۰۰ وات است که با محاسبات نیز سازگار دارد.

همچنین می توان نمودار توان بر حسب سرعت باد در ضریب توان ثابت ۰/۳۰۱۶ را نیز ترسیم نمود (شکل ۱۳).

با توجه به نمودار توان بر حسب سرعت باد مشاهده می شود که در بعضی از مواقع که سرعت باد به بالای ۱۸ متر بر ثانیه می رسد، توان تولیدی توربین طراحی شده حتی به مقدار بیش از ۶۰ کیلووات نیز می رسد. البته با توجه به کم بودن زمان هایی که سرعت باد زیاد است نمی توان این توان های تولیدی بالا را زیاد مد نظر قرار داد و ایستگاه حلوان را یک ایستگاه مناسب در نظر گرفت، بلکه بایستی به متوسط توان تولیدی سالانه توجه نمود و پیرامون خوب یا بد بودن یک ایستگاه و انتخاب ژنراتور مناسب آن ایستگاه بحث نمود.



شکل ۱۳: نمودار توان بر حسب سرعت باد در ضریب توان ثابت ۰/۳۰۱۶

- [5] T. Burton, D. Sharpe, N. Jenkins , E Bossanyi, *WIND ENERGY HANDBOOK*, John Wiley & Sons, 2001.
- [6] Mostafaeipour A, 2013. "Economic evaluation of small wind turbine utilization in Kerman, Iran". *Energy Conversion and Management*, 73, pp. 214–225
- [7] Mohammadi K, Mostafaeipour A, 2013. "Economic feasibility of developing wind turbines in Aligoodarz, Iran". *Energy Conversion and Management*, 76, pp. 645–653
- [8] Mohammadi K, Mostafaeipour A, 2013. "Using different methods for comprehensive study of wind turbine utilization in Zarrineh, Iran". *Energy Conversion and Management*, 65, pp. 463–470
- [9] Mostafaeipour A, 2013. "Feasibility study of offshore wind turbine installation in Iran compared with the world". *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14, pp. 1722–43
- [10] A. Balouktsis, D. Chassapis ,T. Karapantsios, "A nomogram method for estimating the energy produced by wind turbine generators", *Solar Energy*, Vol. 72, No.3, pp. 251-259, 2002.
- [11] N. Çertin, M. Yurdusev, R. Ata, A. Özdemir, "Assessment of optimum tip speed ratio of wind turbines", *Mathematical and Computational Applications*, vol. 10, no. 1, pp. 147-154, 2005.
- [12] M. Yurdusev, R. Ata, N. Çertin, "Assessment of optimum tip speed ratio in wind turbines using artificial neural networks", *Energy no. 31*, pp. 2153-2161, 2006
- [13] J. Tangler , J. David Kocuerk, "Wind turbine post-stall airfoil performance characteristics guidelines for blade-element momentum Methods", *NREL/CP-500-36900*, 2004.
- [14] *World Wind Energy Association (WWEA)*, www.wwindea.org/
- [15] *Alibaba.Com: Manufacturers, Suppliers, Exporters & Importers from the World's largest online B2B Marketplace* <http://www.alibaba.com/>

گواهینامه

بیست و دومین کنفرانس سالانه بین المللی

مهندسی مکانیک

دانشگاه شهید چمران اهواز گروه مهندسی مکانیک ۱۳۹۴



بدینوسیله گواهی می شود که مقاله با عنوان:

طراحی توربین باد محور عمودی H روتور برای استان یزد_ مطالعه موردی: ایستگاه حلوان

نویسندگان:

محسن رشیدی نژاد، احمد صداقت، امین قلعه نویی

دریست و دومین کنفرانس سالانه بین المللی مهندسی مکانیک در دانشکده مهندسی دانشگاه شهید چمران اهواز ارائه شده است.

دکتر محمد شمس‌شاد

دکتر ابراهیم حاجی دلو

دکتر کورش حیدری شیرازی

نایب رئیس کنفرانس
محمد شمس‌شاد

دبیر کنفرانس
تندیسپا

دبیر علمی کنفرانس
دکتر علی کفران



CERTIFICATE

The 22nd Annual
International Conference
on Mechanical Engineering

Shahid Chamran University of Ahwaz
Department of Mechanical
Engineering, 22-24 April 2014



دانشگاه شهید چمران اهواز



گروه علمی صنایع فولاد اهواز



شرکت ملی صنایع پتروشیمی جنوب



سازمان آب و برق خوزستان



انجمن مهندسان مکانیک ایران