فصلنامه تحقیقات مکانیک کاربردی
جلد ۴، شماره ۴، ص‌ص ۲۷ الی ۳۴، بهار ۱۳۹۲
تاریخ دریافت: ۹۱/۱۱/۲۲ تاریخ پذیرش: ۹۲/۰۲/۲۲

بررسی آئرودینامیک توربین‌های بادی کوچک دارای دیفیوزر

حمیدرضا منتظرحجت – گروه مهندسی هوافضا (آئرودینامیک) دانشگاه صنعتی مالک اشتر
مریم فریدنی- دانشجوی مهندسی کامپیوتر نرم افزار ، دانشگاه صنعتی مالک اشتر

E-mail: hmontazerhodjat@yahoo.de

چکیده: منظور ما از عبارت توربین باد در این مقاله ماشین یا وسیله ای است که انرژی جنبشی جریان هوا را به توان مفید قابل استفاده تبدیل می کند. همچنین منظور از دیفیوزر پوسته ای است که به عنوان منبسط کننده ی جریان دور پره ها مورد استفاده قرار می گیرد. در این مقاله در ابتدا به بررسی انواع مدل های توربین باد بر اساس ظاهر و نحوه ی کارکرد و سپس به بررسی مدل های آیرودینامیکی طراحی توربین های باد کوچک می پردازیم. و سپس به چگونگی تبیین برنامه ای کامپیوتری به منظور استخراج توان و برآی وارده بر روی پره ها بر اساس تئوری گلاورت می پردازیم. در نهایت به بررسی نتایج حاصل از تحلیل جریان حول دیفیوزر یک توربین باد کوچک در نرم افزار سیالاتی CFX می پردازیم.

.

واژه های کلیدی: آئرودینامیک، برنامه کامپیوتری، توربین باد، دیفیوزر.

Analysis of Aero dynamical Performance of the small wind Turbines with Diffuser

H. R. Montazer Hojat, Dept. of Aerospace (Aero dynamical), Malek-e-Ashtar University of Technology
M. Faridani, B.S. Student, Dept. of Software Eng., Malek-e-Ashtar University of Technology

Abstract: Photovoltaic cells are exchanging energy of polarization into electrical energy directly and without intermediate process, that mathematical investigation and analysis of this process is main the goal. In this research, by using of matrix model the light absorption phenomena in semiconductor-composite-polymer photovoltaic cells has been simulated. And electrical field and energy of absorption are expressed by mathematical relations. This simulation has been analyzed using MATLAB software. The result of analysis shows that, the optical absorption process completely depends on the optical parameters of layers and the thickness of layers and incident wavelength, and this result is very important to optimization of optical absorption process and energy of absorption in a photovoltaic cell.

Keywords: Aerodynamic, Computer code, Wind turbine and Diffuser.

۱- مقدمه

استفاده از انرژی باد تاریخی کهن در زندگی بشر دارد.که به عنوان مثال می توان به استفاده از انـرژی بـاد در قـایق هـای بـادی و یـا آسیاب های بادی اشاره کرد که از ابتدای دهه ی ۱۹ میلادی استفاده از توربین های بادی سرعت بالا برای ایجاد انرژی و توان الکتریکـی پیشرفت داشته است. ولی مشکلی که در ابتدای کار طراحان و سازندگان توربین باد با آن روبه رو بودند این بود که می بایستی از آزمـون و خطا استفاده می کردند حال آنکه امروزه طراحی این توربین ها با استفاده از مقالات ، کتاب ها و بر پایه ی استفاده از رایانه و یـا حتـی استفاده از مدل هایی با مقیاس کوچک تر، هزینه ها و ریسک کار را کاهش داده است.

پس از سال ۲۰۰۰ میلادی نیاز به انرژی و اهمیت این مطلب روز به روز بیشتر حس می شود. اما مدت هاست کـه ایـده ای در دنیـا مطرح گردیده و آن این است که هر منزل یا کارخانه،اداره و یا شرکت تولیدی خود به شخصه بخشی از انرژی مورد نیـاز خـود را تـامین کند تا آنجا که دولت ها حاضر به پرداخت یارانه ی فراوان جهت تجهیز منازل به این لوازم شده اند. از جمله ی این لوازم مـی تـوان بـه سلول های خورشیدی و یا توربین های بادی کوچک قابل نصب بر روی بام منازل اشاره کرد.

۲- تئوری ورتکس مومنتوم گلآورت [۱]

این تئوری بر این فرض تکیه دارد که مقاطع شعاعی کوچک تیغه ها می توانند مستقلاً مورد بررسی قرار گیرند.تصحیحات برای ایـن ساده سازی را می توان توسط یکی از چندین راه حل تخمینی برای جریان (با تعداد محدود تیغه) که توسط پرندتل یا گلداسـتین ارائـه شده است به دست آورد.با این فرضیات، با در نظر گرفتن یک مقطع دایروی از روتور و آزمایش یک مقطع کوچک از یک تیغه بـه طـول Δr شروع کنیم. اجازه دهید که تعداد تیغه ها را B بگیریم.

سرعت نسبی باد به روتور $W(r)$ با شعاع r تیغه تغییر مـی کنـد و شـامل یـک مؤلفـه ی شـعاعی $u(r)$ و یـک مؤلفـه ی چرخشـی $r\Omega+w(r)$. مؤلفه $r\Omega$ بیانگر سرعتی است که به وسیله ی چرخش تیغه به وجود می آید، در جایی که $w(r)$ سـرعت چـرخش هـوا را نشان می دهد.با در نظر گرفتن عوامل تداخل، می توان u و W را به صورت $u = V_0(1 - a)$ و$w=r\Omega\acute{a}$بیان کرد. زاویه ی کُرد تیغـه نسبت به صفحه چرخش با Ω نشان داده می شود. زاویه ی حمله ی ایرفویل نیز نسبت به باد نسـبی (W)، بـا φ نشـان داده مـی شـود. نیروی درگ (D) نیز در امتداد سرعت نسبی باد (W) و نیروی لیفت (L) نیز عمود بر W مـی باشـد. مؤلفـه نیـرو $F_Q = Lsin\phi -$ $Dcos\phi$درجهت چرخش تیغه باعث ایجاد گشتاوری مفید می شود در جایی که: $F_T = Lcos\phi + Dsin\phi$ نیز سبب ایجـاد نیـروی تراست روی روتور می شود. بر حسب ضرایب بی بعد نیز (Cl,Cd)، نیروی خالص، توان و گشتاوری که توسط B عدد تیغـه و بـرای هر کُرد (C) ایجاد می شوند به صورت زیر خواهد بود:

برای گشتاور:

$$\Delta Q = \tfrac{1}{2}\rho W^2 r[c_l sin\phi - c_d \cos\phi]\, Bc\Delta r \qquad (۱)$$

برای توان:

$$\Delta P = \Omega\Delta Q = \tfrac{1}{2}\rho W^2 \Omega r[c_l \sin\phi - c_d \cos\phi]Bc\Delta r \qquad (۲)$$

برای تراست:

$$\Delta T = \tfrac{1}{2}\rho W^2[c_l cos\phi + c_d sin\phi]Bc\Delta r \qquad (۳)$$

در جایی که :

$$W = \frac{u}{sin\phi} = (r\Omega + w)/cos\phi \qquad (۴)$$

در تئوری اولیه دیسک محرک، نشان داده شد که سرعت القایی دو برابر سرعت دنباله در پایین دست جریان بود که همین رفتار برای هر لوله ی جریان دیگری (در این تحلیل دقیق وبا جزئیات بیشتر) نیز فرض می شود. همچنین فرض می شود هوا هنگامی که به روتور می رسد سرعت نسبی اش نصف سرعت چرخش نهایی است، با این فرضیات و تخمین ها، کاهش خطی مومنتوم، افزایش نیروی تراست (ΔT) روی روتور را نتیجه می دهد.

$$\Delta T = \rho u(2\pi r dr)2(V_0 - u) \qquad (۵)$$

که در نتیجه افزایش گشتاور (ΔQ) را بر حسب نرخ تغییر مومنتوم چرخش حاصل می سازد.

$$\Delta Q = \rho u(2\pi r dr)2wr \qquad (۶)$$

با محاسبه ی عبارت تراست و گشتاور از تئوری مومنتوم و از نیروی آیرودینامیکی وارد بر یک المان تیغه نتیجه می گیریم:

$$\frac{V_0 - u}{u} = \left(\frac{Bc}{8\pi r}\right)\left(\frac{c_l \sin\phi - c_d \cos\phi}{\sin^2\phi}\right) \qquad (۷)$$

$$\frac{w}{w+\Omega r} = \left(\frac{Bc}{8\pi r}\right)\left(\frac{c_l \cos\phi - c_d \sin\phi}{\sin\phi\cos\phi}\right) \qquad (۸)$$

با استفاده از فاکتورهای بی بعد محوری و شعاعی ($a = \frac{V_0 - u}{V_0}$ و $\acute{a} = \frac{w}{\Omega r}$)وهمچنین صلبیت تیغه $\sigma = Bc/\pi R$ دو معادله ی قبل به صورت زیر در می آیند:

$$\frac{a}{(1-a)} = \left(\frac{\sigma R}{8r}\right)\left(\frac{c_l \cos\phi + c_d \sin\phi}{\sin^2\phi}\right) \qquad (۹)$$

$$\frac{\acute{a}}{(1+\acute{a})} = \left(\frac{\sigma R}{8r}\right)\left(\frac{c_l \sin\phi - c_d \cos\phi}{\sin\phi\cos\phi}\right) \qquad (۱۰)$$

همچنین داریم:

$$tan\phi = \frac{u}{\Omega r + w} = \frac{V_0(1-a)}{\Omega r(1+\acute{a})} = \frac{(1-a)}{x(1+\acute{a})} \qquad (۱۱)$$

که $x = \Omega r/V_0$ نسبت سرعت موضعی است.در انتهای تیغه r می شود R و نهایتاً مهمترین پارامتر برای روتور توربین های باد(نسبت سرعت نوک (TSR)) به دست می آید یا :

$$X = R\Omega/V_0 \qquad (۱۲)$$

بنابراین X نسبت سرعت نوک به سرعت باد جریان آزاد می باشد درحالی که x نسبت سرعت موضعی مماس (بر تیغه) به سرعت جریان باد آزاد می باشد. با استفاده از X می توان نوشت:

$$tan\phi = \left(\frac{R}{rX}\right)\left[\frac{(1+a)}{(1+\acute{a})}\right] \qquad (۱۳)$$

ضرایب دو بعدی لیفت و درگ هر دو تابعی از زاویه ی حمله (α) می باشند که $\alpha = \phi - \theta$ اکنون با تعدادی از معادلات سر و کار داریم که به صورت واحد قابل حل نمی باشند و ممکن است بتوان بصورت گام به گام و با تکرار a و $\acute{a}$ را برای هر زاویه ی پیچ به دست آورد(با فرض اینکه همگرایی قابل حصول است).

معادلات جایگزین بسیاری برای معادلات گلآورت وجود دارند و معادلاتی که در ذیل آمده (معادلات استووارت) شاید مستقیم ترین تفسیر فیزیکی را داشته باشند و به جای استفاده از صلبیت میانگین، به مانند ذیل، پارامتری را تعریف می کنیم که ضریب بارگذاری تیغه نامیده می شود و با λ نمایش داده می شود که $\lambda = Bccl/8\pi r$ همچنین پارامتر λ، یک چهارم فشار متوسطی است که تیغه روی هوای عبوری از میان لوله ی جریان اعمال می کند که فشار دینامیک نسبی روی المان تیغه ($\frac{1}{2}\rho W^2$) تقسیم شده است. این مسأله در زیر نشان داده خواهد شد:

$$\Delta T = \frac{1}{2}\rho W^2[c_l\cos\phi + c_d\sin\phi]Bc\Delta r = \frac{1}{2}\rho W^2 c_l\left[\cos\phi + \left(\frac{c_d}{c_l}\right)\sin\phi\right]Bc\Delta r \qquad (۱۴)$$

واگر $\epsilon = c_d/c_l$

$$\Delta T = \frac{1}{2}\rho W^2(Bcc_l)[\cos\phi + \epsilon\sin\phi]\Delta r \qquad (۱۵)$$

حال اگر ΔT بر مساحت حلقوی $(2\pi r\Delta r)$ و بر $\frac{1}{2}\rho W^2$ تقسیم شود، فشار میانگینی که توسط تیغه ها روی حلقه اعمال می شود به دست می آید:

$$\frac{\Delta T}{(2\pi r\Delta r)(\frac{1}{2}\rho W^2)} = \frac{Bcc_l}{2\pi r} = 4\lambda \qquad (۱۶)$$

و فشار موضعی میانگین روی المان تیغه برابر خواهد بود با:

$$\frac{4\lambda(2\pi r\Delta r)}{Bc\Delta r} = \frac{4\lambda}{\sigma_l} = c_l \qquad (۱۷)$$

بنابراین، افزایش λ، باعث کاهش بیشتر سرعت هوا و فشار روی تیغه ها می شود و چنانچه λ به صفر میل کند، تیغه ها دیگر سرعت باد را کاهش نخواهند داد. با استفاده از λ و ϵ داریم:

$$\frac{a}{1-a} = \frac{\lambda(cot\phi+\epsilon)}{sin\phi} \qquad (۱۸)$$

$$\frac{\acute{a}}{1+\acute{a}} = \lambda(tan\phi - \epsilon)/sin\phi \qquad (۱۹)$$

این معادلات، تقریباً ساده ترین صورت ممکن برای هر تحلیلی می باشند.این معادلات کاملاً به مقدار ϵ برای ایرفویل های با کیفیت آیرودینامیکی بالا حساس می باشند.به عنوان مثال، با استفاده از این معادلات و با در نظر گرفتن $\epsilon=0$ مقدار a برای $0<\phi<40$ خطایی کمتر از یک درصد دارد (استفاده از این معادله و با در نظر گرفتن $\epsilon=0.01$ خطای بیشتری خواهد داشت).

امّا این روش به اندازه ی کافی برای تحلیل دقیق روتور مناسب نمی باشد. لذا برای تحلیل دقیق، استفاده از یک برنامه ی کامپیوتری برای تحلیل روتور مناسب تر خواهد بود.

مراحل حل گام به گام به صورت زیر است:

۱)حدس زدن مقادیر a و $\acute{a}$

۲)محاسبه ی ϕ از رابطه ی

$$tan\phi = \left(\frac{R}{rX}\right)\left[\frac{(1+a)}{(1+\acute{a})}\right] \qquad (۲۰)$$

۳)محاسبه ی $\alpha = \phi -$ و نتیجتاً c_lوc_d

۴)محاسبه ی مجدد a و $\acute{a}$

۳- برنامه ی کامپیوتری به منظور محاسبه ی توان و لیفت وارده بر پره های توربین [۲و ۳]

پس در این گام محاسبه ی لیفت وارد بر پره های توربین و توان تولیدی میسر خواهد بود.بنابر روش ارائه شده برای توربینی با مشخصات زیر توان تولیدی برابر ۲.۵۷۴۱۷۲۴۲۱اسب بخار می باشد. همچنین لیفت تولید شده روی پره های این توربین در شکل ۱ نشان داده شده است.

شرایط داده شده به برنامه کامپیوتری برای محاسبه ی لیفت و توان حاصله از یک توربین بادی کوچک به شرح زیر است:

سرعت باد :۵ متر بر ثانیه

تعداد پره ها: ۳ پره

شعاع پره : ۱ متر

شعاع هاب: ۲۰ سانتی متر

کرد ریشه: ۲۰ سانتی متر

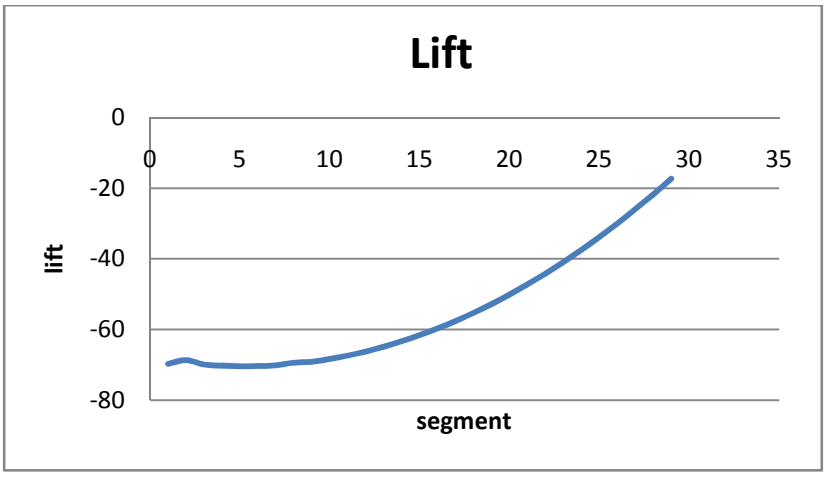
کرد نوک: ۲۰ سانتی متر

ارتفاع: سطح دریا

سرعت دورانی :۱۸ دور بر دقیقه

زاویه ی پیچ: ۱۰ درجه

توئیست : صفر درجه



شکل ۱- توزیع برآ روی پره

۴- دیفیوزر (پوسته) [۴]

همانطور که پیش تر گفته شد توربین ها باعث منبسط شدن جریان در پشت توربین می شوند. و به عبارت دیگر یکی از وظایف توربین منبسط کردن جریان در پشت توربین و جذب انرژی جنبشی هواست. امروزه برای انبساط بیشتر جریان پشت توربین و جذب بیشتر انرژی از دیفیوزر(پوسته)استفاده می شود.(شکل ۲)

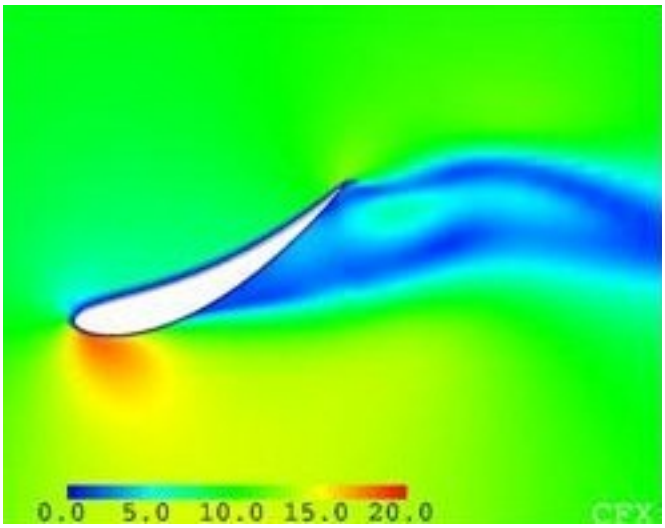
در این قسمت به بررسی دیفیوزر در نرم افزار CFXمی پردازیم: همانگونه که در شکل شماره ی ۳ دیده می شود جریان هوا با سرعت ۱۲.۵ متر بر ثانیه به دیفیوزر وزیده شده است. (این سرعت برای جلوگیری از اثرات کاهش عدد رینولدز انتخاب گردید).همانگونه که در شکل دیده می شود وجود دیفیوزر باعث کاهش سرعت و انبساط جریان شده است. همچنین در قسمت قرار گیری روتور (مطابق شکل ۳) سرعت در این ناحیه تا دو برابر افزایش یافته که باعث افزایش توان خروجی از توربین می شود.

۵- نتیجه گیری

هدف از ارائه این مقاله معرفی هر چه بیشتر توربین های بادی کوچک و تحلیل آیرودینامیک جریان حول پره هاو پوسته ی این توربین ها بود. این توربین ها با توجه به هزینه ی کم راه اندازی و مراقبت و با توجه به شرایط کشورمان می تواند مورد توجه بیشتری قرار گیرد. در ضمن سعی کردیم با ارائه روش و چگونگی ایجاد برنامه ای کامپیوتری به منظور ارائه توان تولیدی این توربین ها و ارائه

نتایج حاصل از راندن این برنامه برای حالتی خاص بپردازیم. در انتها با بررسی آیرودینامیک دیفیوزر به تحلیل آیرودینامیک دیفیوزرها پرداختیم. امید است که نتایج ارائه شده در این مقاله در جهت پیشبرد استفاده از انرژی های نو و دوست دار محیط زیست مفید فایده قرار گیرد.

شکل ۲ – پوسته ی برش خورده ی یک توربین باد کوچک



شکل ۳ – جریان حول ایرفویل یک پوسته ی توربین باد کوچک

۶- مراجع

1- Wind Turbine Engineering Design by Van Nostrand and Reinhold

2- Aerodynamik der Wind Turbine By Schafferczyk _ Kiel fachhochschule

3- Wind Turbine Blade Design, Kidwind Project

4- Evaluation of parameters affecting wind turbine power generation by Omar Badran.