

تحلیل و بررسی جریان باد توربین بادی محور متقاطع در نرم افزار انسیس فلونت و

مقایسه آن با توربین بادی محور عمودی

جواد طریقی^{۱*}، دانیال نوروزی^۲، اسماعیل محمودی^۳

*- استادیار، گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی

۲- دانش آموخته کارشناسی ارشد، گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی

۳- استادیار، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی شاهرود

* ایمیل نویسنده مسئول: tarighi@uma.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۲/۲۸ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۳/۲۳

چکیده

در این پژوهش توربین بادی مورد نظر را در نرم افزار سالیدورک ۲۰۱۶ طراحی کرده و سپس در نرم افزار انسیس فلونت ۲،۱۸ تحلیل انجام شد. برای این کار ابتدا طراحی ایرفویل NACA0018 و NACA4412 در نرم افزار سالیدورک صورت می گیرد. برای تحلیل جریان باد نیاز به تونل باد می باشد که به این منظور تونل باد در نرم افزار سالیدورک طراحی شد. در نرم افزار انسیس فلونت برای حل، نیاز به شرایط مرزی است که تمامی صفحه ها از تونل باد، سیلندرها و توربین نام گذاری شد و بعد از نام گذاری شبکه بندی قطعه های طراحی انجام گردید. سپس در قسمت شبیه سازی فلونت مدل جریان، شرایط مرزی، روش حل و روش گسسته سازی معادلات انتخاب شد. در این پژوهش نتایج حاصل به این صورت بود که نیروی تولیدی توربین ۲۰۸۹ نیوتن، گشتاور آن ۵۹۲/۹ ژول بر رادیان بوده که با توجه به سرعت دورانی روتور توان تولیدی ۱۲/۴۱۵ کیلووات بر ساعت بدست آمد. در نهایت نتیجه می شود که قدرت تولیدی توربین حدود ۲/۵ برابر بیشتر از توربین محور عمودی می باشد.

کلمات کلیدی

"توربین بادی محور عمودی"، "توان تولیدی"، "گشتاور"، "توربین بادی محور متقاطع"

۱- مقدمه

در سال های اخیر انرژی باد مورد توجه بسیاری قرار گرفته است و پیشرفت های زیادی در زمینه تغییر انرژی باد به انرژی الکتریکی و انرژی مکانیکی شکل گرفت. انرژی باد، یک انرژی پایدار است که نقش مهمی در افزایش تولید انرژی کشورها و سیاست های بین المللی در برابر تغییرات آب و هوایی ایفا می کند (Yao, Ji et al, 2012). در حال حاضر بیشتر کشورهای جهان با مشکلات زیست محیطی ناشی از مصرف سوخت های فسیلی مواجهه شدند از این رو به انرژی پاک رو آوردند. به همین دلیل یکی از بهترین و اقتصادی ترین روش های در دسترس استفاده از توان باد و توربین بادی می باشد. توسعه و پیشرفت این صنعت موقعی امکان پذیر می باشد که در مقایسه با دیگر منابع انرژی اقتصادی باشد و با توجه به تولید بدون هزینه این انرژی، بالطبع اقتصادی می باشد. اقتصادی بودن به معنای تعادل میان هزینه های سرمایه گذاری و تأمین انرژی از این طریق می باشد. مهم ترین پارامتر تأثیر گذار بر ساخت یک توربین بادی انتخاب بهترین ایرفویل می باشد. توربین بادی دستگاهی است که انرژی حاصل از باد را به انرژی الکتریکی بر می گرداند. دو نوع توربین بادی موجود می باشد که شامل توربین بادی محور افقی (HAWT) و توربین بادی محور عمودی (VAWT) است.

HAWT در تولید برق خیلی مفید بوده ولی دارای مشکلاتی

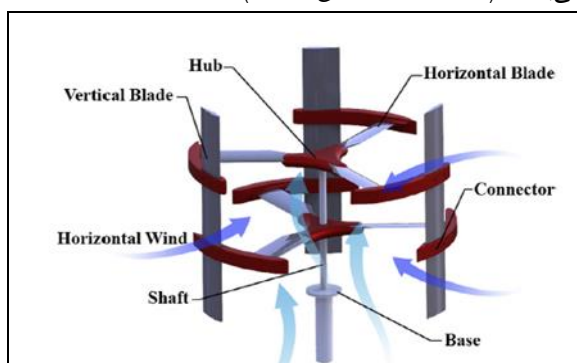
نیز می باشد، مثلاً: نیاز به مکانیزم YAW دارد، تعمیر و نگه داری منظم، هزینه اضافی در تقویت سازه برج، به حداکثر رساندن قطر روتور، تعداد تیغه های روتور، صدای زیاد، جهت باد باید مناسب باشد و خطرناک برای پرندگان مهاجر می باشد (Ahmad, N.A and Cameron, M, 2014).

VAWT به دلایل زیر مناسب تر بوده و در مناطق شهری به کار می رود:

انرژی باد را به راحتی دریافت می کند، اندازه روتور آن متناسب با ارتفاع آن به صورت افقی یا عمودی کاهش یا افزایش می یابد، از مکانیزم YAW استفاده نمی کند و نیازی نیست انرژی باد را از همه جهات دریافت کند (Chon, W.T, 2013). VAWT انرژی باد کمتری در برابر HAWT در باد پایدار دارد ولی در ضبط سریع تغییر باد کارآمدتر است، سرو صدا کمی تولید می کند، به علت سرعت چرخش پایین خطری برای پرندگان ایجاد نمی کند، اما دو ایراد دارد که شامل:

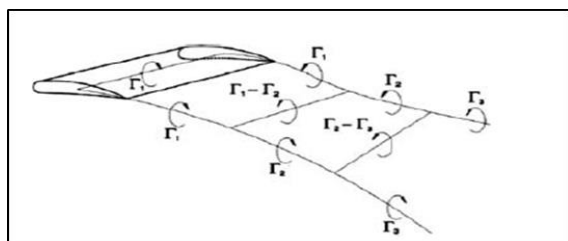
راندمان پایین و عدم توانایی شروع خودبخودی می باشد (Barker, J.R, 1983).

مناطق شهری می‌تواند انرژی باد را در جهات افقی و عمودی دریافت کند، از کارایی بالاتری برخوردار می‌باشد. CAWT توانایی این را دارد که بر مضرات هر نوع توربین بادی غلبه کند و به دلیل توانایی‌های CAWT در دریافت انرژی باد صرف نظر از جهت وزش باد جایگزین خوبی برای توربین‌های بادی VAWT معمولی در مناطق شهری می‌باشد، در نتیجه باعث افزایش عملکرد توربین بادی می‌شود. راز طراحی CAWT استفاده از انرژی جنبشی بالقوه، در جزء عمودی جریان باد چرخان از طریق تعامل با تیغه‌های افقی، فوقانی و تحتانی است. این باعث می‌شود یک منطقه مجازی بزرگتر از توربین بادی VAWT معمولی تشکیل شود. در نتیجه توان خروجی روتور افزایش و توان شروع خودبه‌خودی توربین بادی را بهبود می‌بخشد (Chong, W.T, 2019).



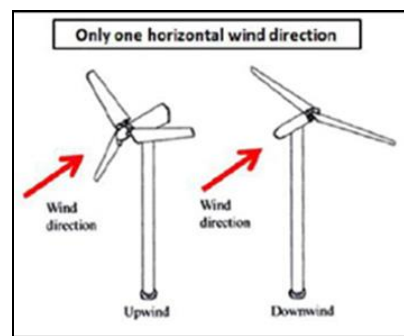
شکل ۳- توربین بادی محور متقاطع CAWT

وانگ و همکاران (۲۰۰۷) با استفاده از روش صفحات گردابه و همچنین مدل جریان گردابه اطراف تیغه توربین بادی (شکل ۴) را بررسی کرده و نشان دادند که در مقایسه با مدل کلاسیک جریان گردابه‌های آزاد کوپل شده با روش اجزا محدود، روش صفحات گردابه نتایج به‌مراتب دقیق‌تری را نشان می‌دهد.

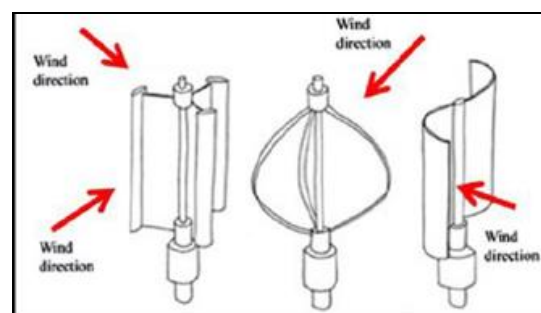


شکل ۴- ساختار گرداب برای عنصر تک تیغه مدل

حسین سیفی و همکاران (۱۳۹۹) به بررسی شبیه‌سازی جریان دوبعدی در اطراف ایرفویل NACA0012 (شکل ۵) با استفاده از روش صفحات گردابه و روش حجم محدود پرداختند که نتایج به‌دست‌آمده از کد فرترن را با نتایج نرم‌افزار فلوئنت و Q-blade که با استفاده از مدل‌های مومنتم و الگوریتم صحیح، شبیه‌سازی را انجام می‌دهد، مقایسه شد.



شکل ۱- توربین بادی محور افقی HAWT



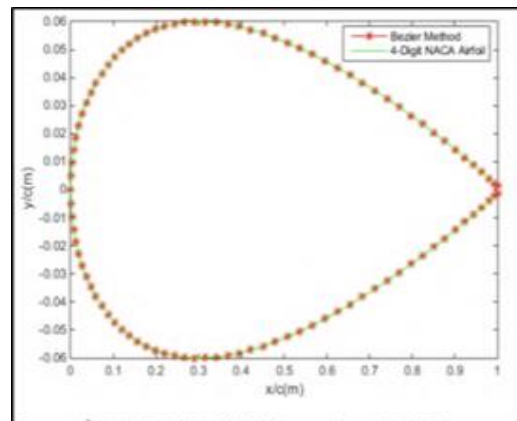
شکل ۲- توربین بادی محور عمودی VAWT

وزش بادهای شهری دارای پیچیدگی‌هایی می‌باشد که دلیل آن موانع زیاد در برابر جریان باد ناآرام است. ویژگی‌های بادهای شهری به توربین‌هایی نیاز دارد که در این شرایط کار کند. به همین علت VAWT برای این منظور مناسب می‌باشد (Islam, M, 2008). توانایی کنترل جریان باد به منظور شکل‌گیری تغییر دلخواه، دارای اهمیت تکنولوژی و کاربردی فراوان است. در حال حاضر این مطلب بیشتر از هر عنوان دیگری در علم مکانیک سیالات، توسط محققان و مهندسان دنبال می‌شود تا برای کارایی بهتر و هزینه‌های کمتر جهت کنترل جریان به روش‌هایی دست یابند (Shu Lin, C. Y, 2013). با توجه به تصورات موجود برای اینکه VAWT در مقایسه با HAWT کاربرد کمتری دارد، تلاش‌های بسیاری برای بهتر کردن رقابت و عملکرد روتور عمودی انجام شد. بهبود کارایی VAWT مطالعات مرتبط به موضوعات پیچیده‌ای از قبیل رفتار پویا جریان سیال در اطراف روتور عمودی، فعل و انفعالات تیغه در مناطق بالا دست و پایین دست روتور و بهره‌برداری از اجزا نیرومماسی ناپایدار در امتداد روتور توسط بسیاری از محققان انجام شده است. ویژگی باد در مناطق شهری به طور قابل توجهی تحت تأثیر ناهمواری‌های مناطق شهری می‌باشد. این ویژگی‌های پیچیده‌تری برای باد ایجاد می‌کند که جدا سازی جریان باد تحت تأثیر ساختمان‌ها در پاسخ به باد چند وجهی قوی در محیط‌های شهری است. بخاطر معایب توربین‌های بادی HAWT و VAWT و ویژگی باد در مناطق شهری محققان رو به ساخت توربین بادی محور متقاطع آوردند. توربین بادی CAWT از نظر عملکرد توربین در بادها از جهات گوناگون

کرد. ساختار مجرای ورودی دارای یک ورودی واحد است که رو به باد نزدیک کننده می‌رود تا با بهینه‌سازی فضای داخلی مجرای هوایی تا ۶۰ درصد از هوا را افزایش دهد. نتایج حاصل از آزمایش‌های میدانی نشان داده است که سیستم پیشنهادی راندمان استخراج روتور را ۸۰ درصد افزایش می‌دهد، بالاتر از استاندارد یک توربین بادی معمولی بر اساس حد بتز می‌رساند.

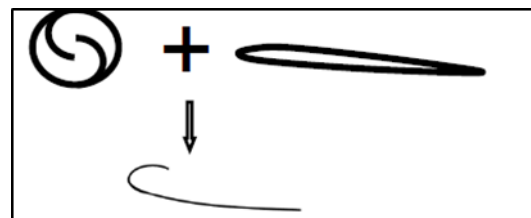


شکل ۷- توربین بادی به شکل جام



شکل ۵- مقایسه مدل بیزیر NACA 0012 با مدل اصلی آن

ادواردز (۲۰۰۸)، بررسی عددی و تجربی روی توربین‌های عمود محور ابعاد کوچک را مطالعه و اثر زبری سطح پره را روی عملکرد این توربین‌ها مورد بررسی قرار داد. نتایج عملکرد تونل باد برای موارد مختلف سرعت باد، نسبت نوک سرعت و استحکام و همچنین پایان سطح تیغه روتور ارائه شده است. به‌طور تجربی نشان داده شده است که زبری سطح روی پره‌های روتور توربین تأثیر قابل توجهی بر عملکرد دارد. کوراوند و همکاران (۲۰۱۶)، طراحی و تحلیل توربین بادی کوچک بادی را مطالعه کردند. هدفشان بر این بود که با تلفیق ایرفویل روتورهای دارای گشتاور تولیدی بالا (ساوینیوس) با ایرفویل روتورهای دارای راندمان بالاتر (داریوس)، تولید انرژی در سرعت‌های کمتر را افزایش دهند.

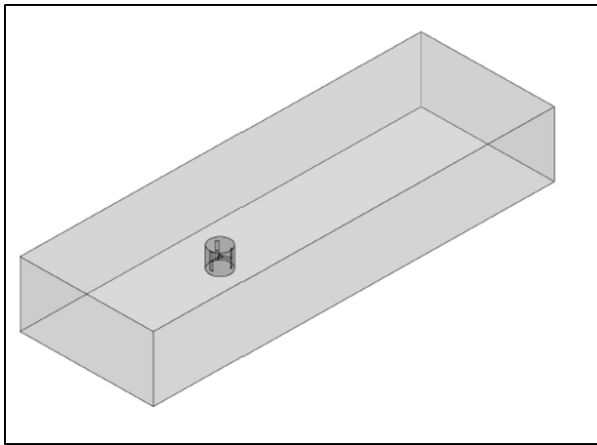


شکل ۶- شماتیک یک ایرفویل هیبریدی [۱]

یاگینی و همکاران (۲۰۱۷)، بر روی ارزیابی تولید برق و رفتار ساختاری توربین بادی محور عمودی داریوس مطالعه کردند و به این نتیجه رسیدند که این دو مسئله چگونه باهم مرتبط هستند و نتایج به‌دست‌آمده می‌تواند نشانه‌های مناسبی برای بهبود عملکرد توربین‌های بادی محور عمودی باشد. محققان از ترکیب گشتاور دو توربین بادی محور افقی و عمودی سیستم توانایی عملیاتی توربین را افزایش داد و گشتاور اضافی از توربین بادی محور افقی با استفاده از گیربکس به‌طور مداوم متغیر، به توربین بادی محور عمودی منتقل می‌شود و به این نتیجه رسید که انرژی حاصل از این طراحی بیش از خروجی انرژی از هر دو زیرسیستم مستقل در شرایط بادی متفاوت است (Govind, 2017). Hu و Cheng (۲۰۰۸)، توربین بادی به شکل جام (شکل ۷) را پیشنهاد کرد که در آن می‌توان «اثر مکیدن» در مجرای تولید

۲- روش انجام تحقیق

طرح اولیه توربین بادی CAWT از ۳ تیغه عمودی و ۶ تیغه افقی مستقیم مطابق شکل ۳ تشکیل شده است. توربین بادی CAWT از یک قاب پشتیبانی، یک مونتاژ روتور توربین تشکیل شده است که بر روی یک قاب پشتیبانی نصب شده است و در محور عمودی آن می‌چرخد. برای تغییر ماهیت انرژی جنبشی از حرکت روتور توربین به انرژی الکتریکی و انرژی مکانیکی، یک ژنراتور برقی به مونتاژ توربین وصل می‌گردد. در این پژوهش توربین بادی CAWT دارای ۳ تیغه محور عمودی NACA 0018 و ۳ تیغه محور افقی NACA 4412 که از طریق اتصالات مخصوص به همدیگر متصل شده‌اند مورد ارزیابی قرار گرفت. مزیت CAWT این است که می‌توان با جریان هوا طرفین از طریق ایرفویل محور عمودی و از پایین و بالا توربین هم از طریق ایرفویل محور افقی کار کند. تیغه‌های محور افقی به عنوان بازوهای شعاعی CAWT عمل می‌کند و توپی‌ها را به تیغه‌های عمودی متصل می‌کند. اتصالات برای جفت کردن تیغه‌های افقی و تیغه‌های عمودی ایرفویل مورد استفاده قرار می‌گیرد. وزش باد افقی از همه جهات توسط تیغه‌های عمودی قابل برداشت است. جریان باد عمودی از پایین توربین را می‌توان با تیغه‌های افقی دریافت کرد که باعث بهبودی توانایی خودبخودی در شروع توربین شده و نیروی هوایی را ایجاد کند. این نیرو باعث کاهش اصطکاک تحمل در ژنراتور



شکل ۹- طرح تونل باد و توربین در محیط Assembly

شده و در نتیجه طول عمر توربین بادی افزایش می‌یابد. در مناطق شهری جریان باد بخاطر ناهمواری‌ها و ساختمان‌های بلند دارای پیچیدگی می‌باشد که باعث مشکل شدن جداسازی جریان باد از یکدیگر می‌شود. CAWT در این شرایط دارای برتری نسبت به دیگر توربین‌های بادی می‌باشد و جریان‌های باد را از هر دو طرف دریافت می‌کند. این شرایط باد که قابل پیش بینی نمی‌باشند، مخصوصاً در مناطق شهری نیاز به توربین بادی ویژه‌ای دارد که از پتانسیل قدرت باد استفاده می‌کند. در این پژوهش نرم‌افزار سالیدورک و انسیس فلونت استفاده شد. ابتدا توربین مورد نظر در نرم‌افزار سالیدورک طراحی و برای تحلیل جریان باد از نرم‌افزار انسیس فلونت استفاده شد.

• طراحی توربین در محیط سالیدورک

سالیدورک یک نرم‌افزار مهندسی طراحی به کمک رایانه است. سالیدورکس یک مدل‌ساز برای مدل‌سازی جامدات است که مبتنی بر پاراسلاید بوده و از رویکرد پارامتری مبتنی بر ویژگی برای ساخت مدل‌ها و مونتاژها استفاده می‌شود. یکی از ویژگی‌های خاص سالیدورک ارتباط با تمامی نرم‌افزارهای ماشین‌کاری از جمله انسیس فلونت است. برای طراحی توربین تیغه‌های ایرفویل Naca0018 و Naca4412 در محیط Part طراحی شده و با یکدیگر مونتاژ می‌شود.



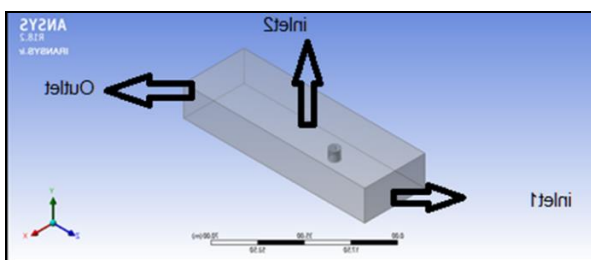
شکل ۸- روتور نهایی توربین محور متقاطع

برای طراحی تونل باد یک مکعب به ابعاد ۹۶۰۰۰ میلی‌متر طول، ۳۲۰۰۰ میلی‌متر عرض و ۱۶۰۰۰ میلی‌متر ارتفاع طراحی شد. در می‌د مختصات که به فاصله ۳۲۰۰۰ میلی‌متر از ابتدا تونل باد، استوانه به ابعاد استوانه شامل توربین بادی طراحی شد. این کار به دو منظور صورت گرفت (مونتاژ استوانه روتور و تونل باد و تطبیق شبکه‌بندی استوانه و تونل باد در نرم‌افزار انسیس فلونت). در مرحله آخر طراحی نرم‌افزار سالیدورکس استوانه روتور و تونل باد با یکدیگر مونتاژ می‌شود (شکل ۹).

• نرم‌افزار انسیس فلونت

نرم‌افزار انسیس فلونت یک نرم‌افزار مهندسی به کمک رایانه در زمینه دینامیک سیالات محاسباتی (CFD) برای مدل کردن جریان سیال و انتقال حرارت در هندسه‌های پیچیده است. این نرم‌افزار امکان تغییر شبکه، به صورت کامل و تحلیل جریان با شبکه‌های غیر ساخت‌یافته برای هندسه‌های پیچیده را فراهم می‌سازد. نوع شبکه‌بندی‌های قابل تولید و دریافت توسط این گروه نرم‌افزاری شامل شبکه‌هایی با المان مثلثی و چهارضلعی و چهاروجهی، شش‌وجهی، هرمی یا گوه‌ای می‌باشد. همچنین فلونت به کاربر اجازه بهبود شبکه (مثلاً ریز کردن یا درشت کردن شبکه در مرزها و مکان‌های لازم در هندسه) را می‌دهد. این بهینه‌سازی برای حل شبکه، قابلیت در اختیار کاربر قرار می‌دهد که نتایج را در ناحیه‌هایی که دارای گردابه‌های بزرگ (مانند لایه مرزی و ...) باشند، دقیق‌تر سازد. پایه و اساس نرم‌افزار انسیس فلونت بر اساس روش حجم محدود می‌باشد.

در این شبیه‌سازی عملکرد توربین بادی محور متقاطع با ایرفویل عمودی NACA0018 و ایرفویل افقی NACA4412 بررسی شده است. همان‌طور که در بخش قبل گفته شد توربین در نرم‌افزار سالیدورکس طراحی شد. در محیط Design Modeler Ansys برای نام‌گذاری هر یک از قطعه‌های طراحی و Subtract کردن قطعه‌هایی که باید Subtract شود مورد استفاده قرار گرفت.



شکل ۱۰- مشخصات ورودی و خروجی تونل باد

می‌شود. ورودی جریان که علاوه بر مرز ورودی، خطوط بالا و پایین دامنه محاسباتی را نیز شامل می‌شود، با توجه به این که جریان هوای اطراف توربین بادی تراکم ناپذیر است، شرط مرزی ورودی سرعت **Inlet Velocity** به کار می‌رود. در خروجی جریان، شرط مرزی فشار خروجی **Pressure Outlet** مورد استفاده قرار گرفته است. در این شرط مرزی فشار استاتیک به صورت نسبی در مرز خروجی وارد می‌شود. بقیه دیواره‌ها را به صورت **Wall** در نظر گرفته شد. در قسمت **Reference values** یک نکته‌ای که باید حتماً مورد توجه قرار بگیرد به‌طور کلی وقتی از فلونت در زمینه کارهای آیرودینامیکی یا شبیه‌سازی‌های مربوط به مباحث آیرودینامیکی کار انجام شد، با بحث ضرایب درگ، لیفت، مقادیر گشتاور، مومنتوم و این‌جور مسائل سروکار داریم باید حتماً به **Reference Value** توجه کرد. چون این مقادیری که در **Reference Value** تعریف می‌شود می‌تواند مقدار نهایی از ضریب درگ و لیفت و مومنتوم به ما ارائه می‌دهد تأثیرگذار باشد. در قسمت **methods** باید روش‌های حل و روش گسسته سازی معادلات را تعریف شود. برای کوپلینگ و فشار و سرعت از روش **Simple** استفاده شد که رایج‌ترین روش می‌باشد. در بحث روش‌های گسسته سازی برای مومنتوم از **Secend order upwind** استفاده شد.

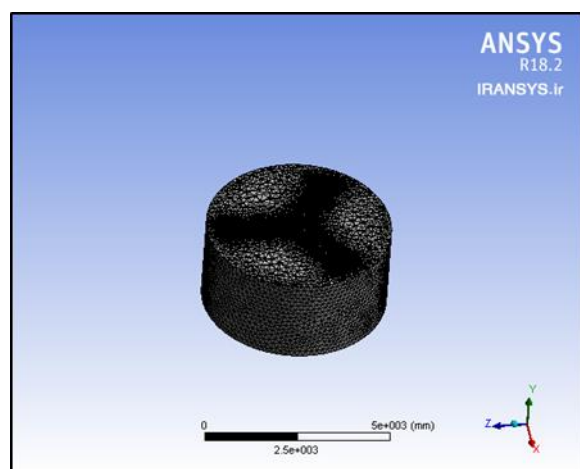
• مدل شبیه‌سازی شده

اولین قدم برای طراحی یا شبیه‌سازی یک توربین بادی انتخاب شرایط بادی از قبیل سرعت، سمت و ضخامت باد است که بدین منظور از اطلاعات هواشناسی استان مازندران استفاده شد. در این پژوهش قصد داریم روی مدل فول روتورینگ کار کرده و تأثیرات سرعت باد را بر روی آن به دست آورده، توان تولیدی و گشتاور تولیدی هر یک از مناطق را به دست خواهیم آورد. با توجه به دو فرمول توان تولیدی و گشتاور تولیدی توان و گشتاور توربین را در چهار ایستگاه بادی شامل ایستگاه‌ها ساری، دشت ناز، بندر امیرآباد و گلوگاه که میانگین سرعت باد یک سال گذشته آن را برای ورودی نرم‌افزار تعیین شد، در نظر گرفته شد.

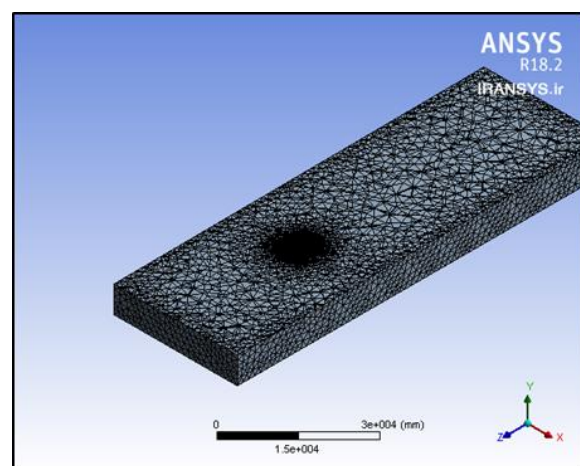
۳- نتایج

در این پژوهش یک توربین بادی ۵ کیلوواتی با دو نوع ایرفویل مطابق با شرایط اقلیمی استان مازندران به کمک نرم‌افزار انسیس فلونت شبیه سازی شد. مراحل انجام کار به این صورت بود که ابتدا با توجه به داده‌های هواشناسی چهار ایستگاه ساری، دشت ناز، امیرآباد و گلوگاه سرعت میانگین سالیانه وزش باد در این منطقه‌ها تعیین شد. توربین مد نظر با توجه به ابعاد تعیین شده در محیط نرم افزار سالیدورکس طراحی شد. خروجی نرم‌افزار سالیدورکس، وارد نرم‌افزار انسیس فلونت شده تا معادلات پیوستگی و مومنتوم برای حجم کنترل مد نظر با اعمال شرایط مرزی مد نظر حل گردید. شبیه سازی و حل مسئله با توجه به

با ایجاد یک شبکه‌بندی مناسب می‌توان حل یک سیستم معادلات دیفرانسیل را تا حد زیادی تسریع نموده و بالعکس انتخاب نامناسب محل نقاط شبکه می‌تواند باعث ناپایداری یا عدم همگرایی در محاسبات گردد. روش متداول این است که در نزدیکی و اطراف توربین و سیلندرها برای افزایش دقت محاسبات از شبکه ریزتری در این نواحی استفاده شود. به علت پیچیدگی هندسه ایرفویل‌ها، جهت بهبود کیفیت شبکه بندی، دامنه محاسباتی را به چند ناحیه تقسیم شد و هر ناحیه به صورت جداگانه شبکه بندی گردید. این امر کیفیت شبکه بندی را به خصوص در نواحی نزدیک سطح ایرفویل‌ها افزایش داده است که این گونه مش زنی سبب بهبود خاصیت تعامدپذیری خطوط شبکه بر سطح ایرفویل در لبه حمله گردید.



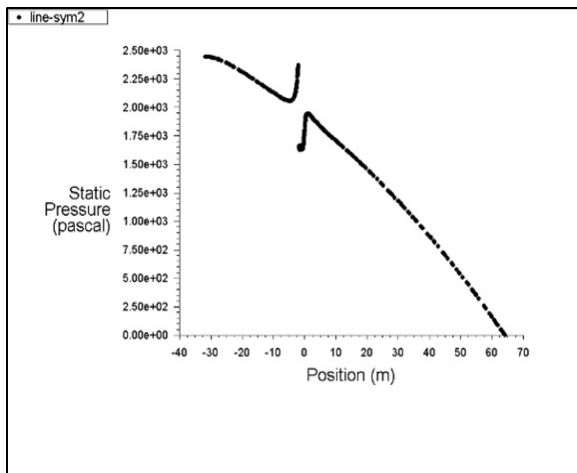
شکل ۱۱- ساختار مش بندی روتور و سیلندره‌های اطراف آن



شکل ۱۲- شبکه بندی تونل باد

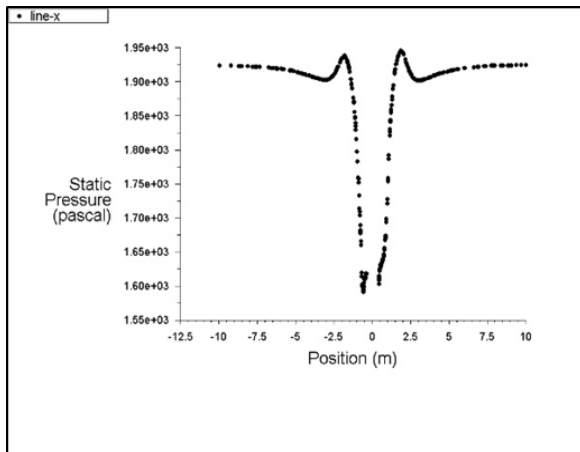
• شرایط مرزی مسئله

به صورت کلی این بخش برای تعیین شرایط مرزی و ساختارهای کلی نرم‌افزار پرداخته می‌شود. برای بررسی جریان سیال حول پره توربین صورت می‌گیرد، مدل ما اساساً مدل آیرودینامیکی می‌باشد. برای تعیین نوع جریان توربولانسی مدل **Laminar** را انتخاب شد چون جریان موازی را وارد روتور



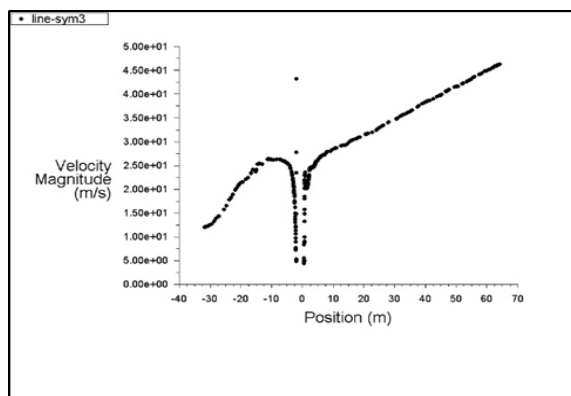
شکل ۱۶- نمودار تغییرات فشار در Line Sym2

مطابق شکل‌های ۱۵ و ۱۶ از روی نمودار چنین نتیجه‌گیری می‌شود که فشار در تونل باد کاهشی است. تنها زمان افزایش فشار برای برخورد به توربین است که نیرو لازم برای چرخش توربین را فراهم کند.



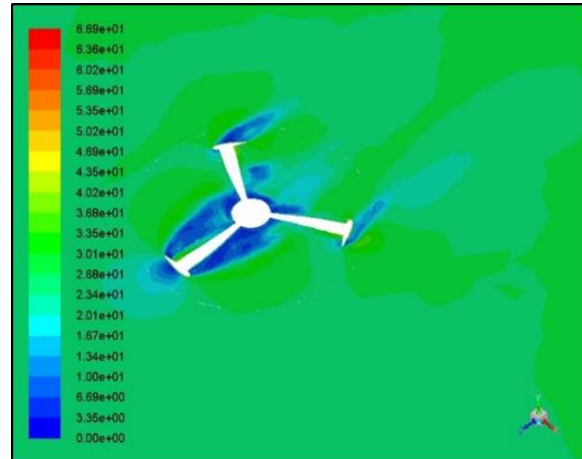
شکل ۱۷- نمودار تغییرات فشار در Line X

در نمودار شکل ۱۷ به بررسی فشار در محور X پرداخته شد. از روی نمودار چنین نتیجه‌گیری می‌شود که فشار در محور Xها در دو طرف توربین ثابت می‌باشد. در محیط توربین فشار ابتدا افزایش و سپس کاهش می‌یابد. دلیل افزایش فشار همان نیروی لازم برای چرخش روتور می‌باشد.

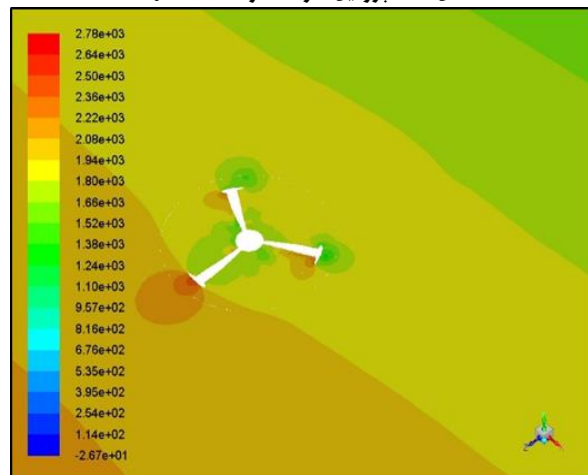


شکل ۱۸- نمودار تغییرات سرعت در Line Sym3

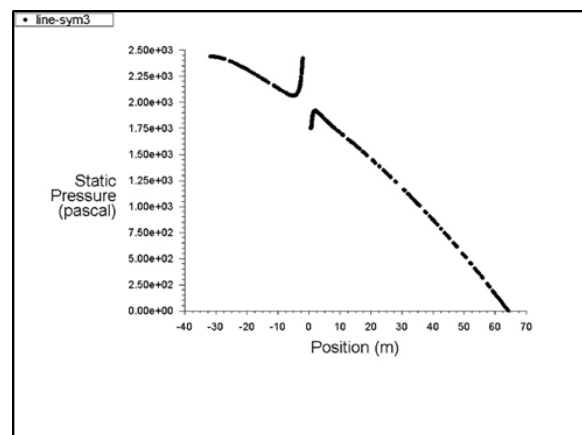
شرایط ذکر شده به صورت مطالب زیر مشاهده شد. در شکل زیر (شکل ۱۳) پروفیل سرعت در روی توربین مشاهده می‌شود، که مطابق آن سرعت باد با برخورد به ایرفویل‌ها به صفر می‌رسد، این جریان درون توربین هم دارای سرعت صفر است و پس از خروج از توربین افزایش می‌یابد.



شکل ۱۳- پروفیل سرعت در صفحه Sym



شکل ۱۴- پروفیل فشار در صفحه Sym

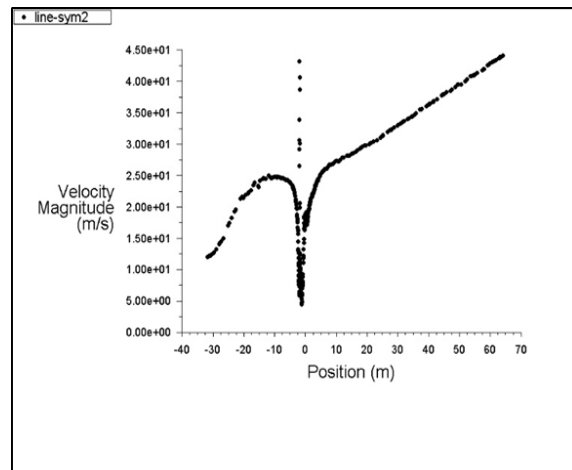


شکل ۱۵- نمودار تغییرات فشار در Line Sym3

مطابق شکل ۲۰ از روی نمودار چنین نتیجه‌گیری می‌شود که سرعت در دو طرف توربین یکسان می‌باشد. سرعت باد در توربین کاهش می‌یابد. مطابق نمودار شکل‌های بالا نتایج حاصل نشان می‌دهد نیرو برابر با ۲۰۸۹ (نیوتن) و گشتاور برابر با ۵۹۲/۹ (ژول بر رادیان) به دست می‌آید. در نتیجه قدرت توربین معادل ۱۲۴۱۵ (وات) یا ۱۲/۴۱۵ (کیلو وات) می‌باشد.

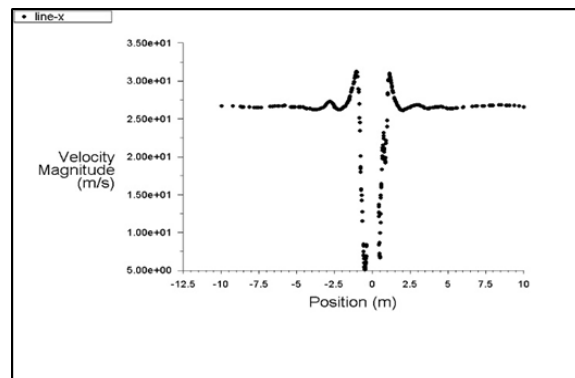
۴- نتیجه‌گیری

در این پژوهش یک توربین بادی ۵ کیلوواتی با دو نوع ایرفویل مطابق با شرایط اقلیمی استان مازندران به کمک نرم‌افزار انسیس فلونت شبیه‌سازی شد. مراحل انجام کار به این صورت بود که ابتدا با توجه به داده‌های هواشناسی چهار ایستگاه ساری، دشت ناز، امیرآباد و گلگاه سرعت میانگین سالیانه وزش باد در این منطقه‌ها تعیین شد. توربین مدنظر با توجه به ابعاد تعیین شده در محیط نرم‌افزار سالیدورک طراحی شد. خروجی نرم‌افزار سالیدورکس، وارد نرم‌افزار انسیس فلونت شده تا معادلات پیوستگی و مومنتم برای حجم کنترل مدنظر با اعمال شرایط مرزی مدنظر حل گردید. نتایج حاصل در نرم‌افزار انسیس فلونت نشان می‌دهد نیرو برابر با ۲۰۸۹ (نیوتن) و گشتاور برابر با ۵۹۲/۹ (ژول بر رادیان) به دست می‌آید. در نتیجه قدرت توربین معادل ۱۲۴۱۵ (کیلو وات) می‌باشد. در این قسمت نتیجه که حاصل می‌شود قدرت تولیدی توربین این پژوهش حدود ۲/۵ برابر بیشتر از توربین محور عمودی که مشخصات آن با توربین بادی این پژوهش برابر است، می‌باشد.



شکل ۱۹- نمودار تغییرات سرعت در Line Sym2

مطابق شکل‌های ۱۸ و ۱۹ از روی نمودار چنین نتیجه‌گیری می‌شود که سرعت قبل و بعد از توربین افزایشی است. جریان باد با برخورد به توربین به کمترین سرعت خود می‌رسد.



شکل ۲۰- نمودار تغییرات سرعت در Line X

منابع

- ع. مرادی ، م. بابادی سلطان زاده، طراحی میکرو توربین بادی محور عمودی داریوس، دانش سپهر نوین ارین، تحقیقاتی اصفهان.
- ح. سیفی داوری، (۱۳۹۹)، “تحلیل آیرودینامیکی و شبیه‌سازی عددی ایرفویل ناکا ۰۰۱۲ توربین بادی با استفاده از روش صفحات گردابه”، دو فصلنامه انرژی های تجدیدپذیر و نو، (۱)۷، ۲۷-۲۰.
- Yao, Ji, Weibin, Yuan. Jianbin, Xie. Haipeng, Zhou. Mingjun, Peng. and Yong, sun. (2012), “Numerical simulation of aerodynamic performance for two dimensional wind turbine airfoils”, Procedia Engineering, 31, pp 80-86.
- Ahmad, N.A. and Cameron, M.(2014), “The challenges and possible solutions of horizontal axis wind turbines as a clean energy solution for the future”, Renew Sustain Energy Rev, 38, pp 439-460.
- Chon, W.T. Pan, K.C. Poh, S.C. Fazlizan, A. Oon, C.S. Badarudin, A. et al. (2013), “Performance investigation of a power augmented vertical axis wind turbine for urban highrise application”, Renew Energy ,51, pp 388-97.
- Barker, J.R. (1983), “Features to aid or enable self-starting of fixed pitch low solidity vertical axis wind turbines”, J wind Eng Ind Aerod, 15, pp 369-380.
- Islam, M. Ting, D.S.k. and Fartaj, A. (2008), “Aerodynamic models for Darrieus-type straight-bladed vertical axis wind turbines”, Renew Sustain Energy Rev, 12, pp 1087-109.

- Shu Lin, C. Y. (2013). "Active surge control for Variable speed axial compressors", ISI Transactions, pp 1-7.
- Li, C. Zhu, S. XU, Y.L. and Xiao, Y. (2013), "2.5d large eddy simulation of vertical axis wind turbine in consideration of high angle of attack flow", Renewable Energy, 51, pp 317-330.
- McLaren, K. Tullis, S. and Ziada, S. (2012), "Computational fluid dynamics simulation of the aerodynamics of a high solidity, small-scale vertical axis wind turbine", Wind Energy, 15(3), pp 112-121.
- Peng, H.Y. and Ham, H.F. (2016), "Turbulence effects on the Wake characteristics and aerodynamic performance of a straight bladed vertical axis wind turbine by wind tunnel tests and large eddy simulations", Energy, 109, pp 557-568.
- Muzammil, W.K. Wong, K.H. Chong, W.T. Gwani, M. Wong, C.T. poh, S.C. and Wang, X.H. (2017), "Design and Early Development of a Novel Cross Axis Wind Turbine", The 8th International Conference on Applied Energy _ ICAE2016 Energy procedia, 105, pp 668-674.
- Chong, W.T. Muzammil, W.K. Ong, H.C. Sopian, k. Gwani, M. Fazlizan, A. and Poh, S.C. (2019), "performance Analysis of the Deflector Integrated Cross Axis Wind Turbine", Renewable Energy.
- Wang, L.B. Zhang, L. and Zeng, N.D. (2007), "A potential flow 2-D vortex panel model: Applications to vertical axis straight blade tidal turbine", Energy Conversion and Management, 48(2), pp 454-461.
- Edwards, J. Durrani, N. Howell, R. and Qin, N. (2008), "Wind tunnel and numerical study of a small vertical axis wind turbine", In 46th AIAA Aerospace Sciences Meeting and Exhibit (p. 1316).
- Kouravand, S. Moetakef Imani, B. and Kermani, A.M. (2016), "Design and analysis of a small wind turbine with combined airfoil", Journal of Renewable and New Energy, 3(2), pp 65-73.
- Pagnini, L. Piccardo, G. and Repetto, M.P. (2018), "Full scale behavior of a small size vertical axis wind turbine", Renewable Energy, 127, pp 41-55.
- Govind, B. (2017), "Increasing the operational capability of a horizontal axis wind turbine by its integration with a vertical axis wind turbine", Applied Energy, 199, pp 479-494.
- Hu, S.Y. and Cheng, J.H. (2008), "Innovatory designs for ducted wind turbines", Renewable energy, 33(7), pp 1491-1498.
- Chong, W.T. Wong, K.H. Wang, C.T. Gwani, M. Chu, Y.J. Chia, W.C. and Poh, S.C. ,(2017), "Cross Axis Wind Turbine: A Complementary Design to push the limit of Wind Turbine Technology", The 8th International Conference on Applied Energy _ ICAE2016. Energy procedia, 105, pp 973-979.
- Islam, M. Fartaj, A. and Cariveau, R. (2008) "Analysis of the design Parameters related to a fixed-pitch straight-bladed vertical axis wind turbine", Wind Eng, 32, 491-507.
- Chong, W.T. Muzammil, W.K. Wong, K.H. Wong, C.T. Gwani, M. Chu, Y.J. and Poh, S.C. (2017), "Cross Axis Wind Turbine: Pushing the limit of wind turbine technology with complementary design", Applied Energy, xxxxxx-xxx.

Analysis of wind flow of cross-axis wind turbine in Ansys Fluent software and its comparison with vertical axis wind turbine

Javad Tarighi^{1*}; Danial Noroozi²; Esmail Mahmoudi³

*1- Department of Biosystem Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, IRAN

2- Assistant professors. Faculty of agriculture engineering. Shahrood University of Technology

3- Assistant Professor, Faculty of Agriculture, Shahrood University of Technology

*Email Address: tarighi@uma.ac.ir

Abstract

Introduction

In recent years, wind energy has received a lot of attention and many advances have been made in changing wind energy to electrical energy and mechanical energy. Wind energy is sustainable energy that plays an important role in increasing the energy production of countries and international policies against climate change. Most countries around the world are now facing environmental problems due to the consumption of fossil fuels, so they have turned to clean energy. For this reason, one of the best and most economical methods available is to use wind power and wind turbines. The development of this industry is possible when it is compared to other sources of economic energy, and considering the cost-free production of this energy, it is of course economical. Being economical means balancing the costs of investing and getting energy through it. The most important parameter influencing the construction of a wind turbine is the selection of the best airfoil. A wind turbine is a device that converts wind energy into electrical energy. There are two types of wind turbines available: horizontal axis wind turbine (HAWT) and vertical axis wind turbine (VAWT). HAWT is very useful in generating electricity but it also has problems, for example it needs YAW mechanism, regular maintenance, additional cost in strengthening the tower structure, maximizing the rotor diameter, number of rotor blades, loud noise, wind direction it is suitable and dangerous for migratory birds. The ability to control wind flow in order to form the desired change is of great technological and practical importance. More than any other topic in fluid mechanics, it is now pursued by researchers and engineers to come up with methods for better efficiency and lower flow control. Wind characteristics in urban areas are significantly affected by the roughness of urban areas. It creates more complex properties for wind that the separation of wind flow is influenced by buildings in response to strong multidimensional winds in urban environments. Due to the disadvantages of HAWT and VAWT wind turbines and wind characteristics in urban areas, researchers have started to build cross-axis wind turbines. The CAWT wind turbine is more efficient in terms of wind turbine performance in different directions of urban areas. It can receive wind energy in horizontal and vertical directions. CAWT has the ability to overcome the disadvantages of any type of wind turbine and because of CAWT's ability to receive wind energy regardless of wind direction, it is a good alternative to conventional VAWT wind turbines in urban areas, thus increasing the performance of wind turbines.

Methodology

The initial design of the CAWT wind turbine consists of 3 vertical blades and 6 straight horizontal blades as shown in Figure 3. The CAWT wind turbine consists of a support frame, a turbine rotor assembly mounted on a support frame and rotating on its vertical axis. To change the nature of kinetic energy from the movement of the turbine rotor to electrical energy and mechanical energy, an electric generator is connected to the turbine assembly. In this study, the CAWT wind turbine with 3 vertical shaft blades NACA 0018 and 3 horizontal shaft blades NACA 4412 which are connected to each other through special connections were evaluated. The advantage of CAWT is that it can work with the airflow on both sides through the vertical axis airfoil and from below and above the turbine through the horizontal axis

airfoil. The horizontal axis blades act as the CAWT radial arms and attach the hinges to the vertical blades. Joints are used to pair horizontal blades and vertical airfoil blades. Horizontal wind can be picked up from all directions by vertical blades. The vertical wind flow from the bottom of the turbine can be received with horizontal blades, which improves the spontaneous ability to start the turbine and create aerobic force. This force reduces the bearing friction in the generator and thus increases the life of the wind turbine. In urban areas, wind currents are complex due to roughness and tall buildings, which makes it difficult to separate wind currents from each other. CAWT is superior to other wind turbines in this situation and receives wind currents from both sides. These wind conditions that are not predictable, especially in urban areas, require a special wind turbine that uses the potential of wind power. In this study, SolidWorks and Ansys Fluent software were used. First, the turbine was designed in SolidWorks software and Ansys Fluent software was used to analyze the wind flow. The first step to design or simulate a wind turbine is to choose wind conditions such as wind speed, direction and thickness, for which meteorological information of Mazandaran province was used. In this research, we intend to work on the full router model and obtain the effects of wind speed on it, we will obtain the production power and production torque of each region. According to the two formulas of output power and torque, the output power and torque of the turbine was considered in four wind stations, including Sari, Dasht-e Naz, Bandar Amirabad and Gulogah, where the average wind speed of the previous year was set for software input.

Conclusion

In this study, a 5 kW wind turbine with two types of airfoils in accordance with the climatic conditions of Mazandaran province was simulated using Ansys Fluent software. The steps were done in such a way that according to the meteorological data of four stations in Sari, Dasht-e Naz, Amirabad and Gulogah, the average annual wind speed in these areas was determined. The turbine was designed according to the dimensions specified in the SolidWorks software environment. The output of SolidWorks software is entered into Ansys Fluent software to solve the continuity and momentum equations for the control volume by applying the considered boundary conditions. The results in Ansys Fluent software show the force equal to 2089 (Newton) and the torque equal to 592.9 (radian joule). As a result, the power of the turbine is equal to 12.415 (kW). In this part, the result is the turbine production capacity of this research is about 2.5 times more than the vertical axis turbine, which has the same characteristics as the wind turbine of this research.

Keywords

Vertical axis wind turbine; Production capacity; Torque; Cross-axis wind turbine