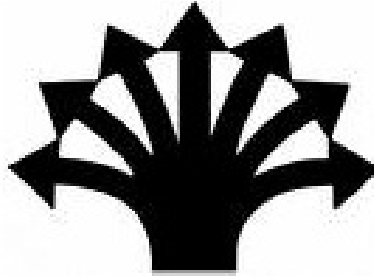


بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



پژوهشگاه مواد و انرژی

پایان نامه کارشناسی ارشد رشته

مهندسی انرژی های تجدید پذیر

موضوع:

تحلیل تجربی عملکرد و شبیه سازی عددی توربین بادی محور قائم ترکیبی H-روتور سه پره و

ساوئیوس

استاد راهنما :

دکتر مجید جمیل

استاد مشاور :

دکتر محمد لایقی

نگارنده:

سید معین رسولی نژاد موسوی

سال تحصیلی ۱۳۹۲-۱۳۹۱

تأییدیه هیأت داوران

(برای پایان نامه)

اعضای هیأت داوران، نسخه نهایی پایان نامه آقای: سید معین رسولی نژاد موسوی

را با عنوان:

تحلیل تجربی عملکرد و شبیه سازی عددی توربین بادی محور قائم ترکیبی H-روتور سه پره و

ساوونیوس

از نظر فرم و محتوی بررسی نموده و پذیرش آن را برای تکمیل درجه کارشناسی ارشد تأیید می کند.

امضاء	رتبه علمی	نام و نام خانوادگی	اعضای هیأت داوران
	استادیار	دکتر مجید جمیل	۱- استاد راهنما
	استادیار	دکتر محمد لایقی	۲- استاد مشاور
	استادیار	دکتر محمدعلی اردکانی	۳- استاد ممتحن
	استادیار	دکتر ابوذر مسعودی	۴- استاد ممتحن
	استادیار	دکتر اصغر کاظم زاده	۵- نماینده تحصیلات تکمیلی

تقدیم

تقدیم به پدر فکورم که صبورانه در پستی بلندی های زندگی مرا یاور و راهنما بود و همیشه همچون دوستی مهربان حمایت پرمهر خود را از من دریغ نداشت،

تقدیم به مادر عزیز، دلسوز و مهربانم که لحظه ای مرا از حمایت دستان پر مهرش و دعای خیرش محروم نکرد و همواره مشوق من در امر تحصیل از ابتدای راه بود ،

تقدیم به برادر و خواهر دلسوزم که همیشه پشتیبان و راهنمای من بوده و تشویق هایشان دلگرمی ام را فراهم می کند،

تقدیم به همسر مهربانم که با صبر، بردباری، و آرامشش مرا در انجام هر چه بهتر این تحقیق یاری داد و تشویق هایش در زندگی انگیزه ام را دو چندان می نماید،

و

تقدیم به تمام کسانی که خالصانه و بی ریا دوستشان دارم.

نهایت قدردانی و تشکر را دارم از:

استاد عزیزم جناب آقای دکتر جمیل که برایم معلم بود و نه مدرس، هم علمش و هم خلق و خوی انسانیش همواره الگوی هر انسانی باید باشد. سپاس فراوان از جناب آقای دکتر لایقی که همواره از ابتدای دوران تحصیلم در مقطع کارشناسی علاوه بر استاد، همچون دوستی مهربان مرا در امر زیبای پژوهش الگو و راهنما بود و با منش پاک و دلسوزیش نسبت به این حقیر، تجربیات زیادی از زندگی را در کنار علم به من آموخت. همچنین کمال تشکر را از جناب آقای دکتر محمدعلی اردکانی دارم که با راهنمایی هایشان در حین انجام این پروژه تجارب بسیار ارزشمندی در اختیار اینجانب قرار دادند. لازم می دانم از تمامی دوستان و عزیزانی که مرا در انجام امور مربوط به این پایان نامه یاری نمودند، کمال تشکر را داشته باشم.

حق تألیف/گردآوری و تحقیق

این پروژه تحقیقاتی، به شماره شناسه ۵۷۱۳۹۱۰۶۹ در پژوهشگاه مواد و انرژی به ثبت رسیده است و کلیه دستاوردهای تحقیقاتی شامل نتایج نظری، نتایج علمی و عملی، دانش فنی و سایر موارد مربوط به این پروژه، متعلق به پژوهشگاه مواد و انرژی می‌باشد. بهره‌برداری از نتایج پروژه برای مؤسسات دولتی و غیر دولتی با مجوز پژوهشگاه مواد و انرژی و درج نام پژوهشگاه مواد و انرژی امکان پذیر است.

چکیده

در این پایان نامه تحلیلی تجربی به همراه شبیه سازی عددی جهت بررسی عملکرد توربین بادی محور قائم ترکیبی H-روتور سه پره و ساونیوس در دو حالت متفاوت ترکیب به انجام رسیده است. جهت انجام آزمایشات توربین ساخته شده در تونل باد مادون صوت تحت آزمایش قرار گرفته است. جهت بررسی صحت و دقت نتایج آزمایشگاهی حاصل شده از اصول دینامیک سیالات محاسباتی (CFD) استفاده شده است. شبیه سازی مذکور به کمک نرم افزار **Fluent 6.3** با استفاده از مدل **k- ω SST** و با استفاده از روش محورهای مختصات مرجع چندگانه (MRF) انجام شده است. گشتاور، ضریب توان، توزیع تنش و فشار بروی پره های توربین مورد مطالعه قرار گرفته اند. نتایج حاکی از آن است که توربین ترکیبی عملکرد بسیار خوبی داشته و ترکیب دو توربین موجب افزایش بازده نسبت به وضعیتی که توربین H-روتور به تنهایی می چرخد را دارد. از سوی دیگر نقص عدم شروع به کار خودکار توربین H-روتور هنگام ترکیب با توربین ساونیوس برطرف شد.

واژگان کلیدی: انرژی بادی، توربین بادی محور قائم ترکیبی، دینامیک سیالات محاسباتی ، گشتاور، ضریب توان.

Abstract

In this thesis an experimental study and numerical simulation are conducted to study performance of a combined three bucket h-rotor with savonius wind turbine. The turbine has been tested in a subsonic wind tunnel. For validating the experimental data a numerical study is done based on computational fluid dynamics (CFD). The simulation is performed using the software Fluent 6.3 using k- ω SST model and based on moving reference frame (MRF) method. Moment, power coefficient, shear stress and static pressure are considered. Results show that the combined turbine has better efficiency in compare with H-rotor. On the other hand, combining the H-rotor with savonius rotor leads to eliminating the problem of self starting in these kinds of wind turbines.

Keywords: Wind Energy, Combined Vertical Axis Wind Turbines, Computational Fluid Dynamics, Moment, Power Coefficient.



Materials and Energy Research Center

**Experimental Study and Numerical Simulation of a Combined Three
Bucket H-Rotor with Savonius Wind Turbine**

Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the
Requirements for the Degree of Master of Science (M.Sc.)
In Renewable Energy Engineering

Supervisor:

Dr. Majid Jamil

Advisor:

Dr. Mohammad Layeghi

By:

Seyed Moein Rassoulinejad-Mousavi

2012-2013

فهرست مطالب

۱	فصل اول.....	۱
۲	۱-۱ مقدمه.....	۲
۲	۲-۱ انواع توربین های بادی.....	۲
۳	۱-۲-۱ توربین های محور افقی.....	۳
۳	۲-۲-۱ توربین های محور قائم.....	۳
۱۱	فصل دوم.....	۱۱
۱۲	۱-۲ مقدمه.....	۱۲
۱۲	۲-۲ آیرودینامیک توربین بادی و کمیت های تاثیرگذار در عملکرد آن.....	۱۲
۱۲	۱-۲-۲ نیروی برا.....	۱۲
۱۳	۲-۲-۲ نیروی پسا.....	۱۳
۱۵	۳-۲-۲ عدد رینولدز.....	۱۵
۱۶	۴-۲-۲ صلبیت توربین.....	۱۶
۱۶	۵-۲-۲ ضریب سرعت نوک پره.....	۱۶
۱۶	۶-۲-۲ بازدهی و توان توربینهای بادی.....	۱۶
۱۹	فصل سوم.....	۱۹
۲۰	۱-۳ مقدمه.....	۲۰
۲۰	۲-۳ ساخت توربین.....	۲۰
۲۰	۱-۲-۳ ساخت توربین ساونیوس.....	۲۰
۲۳	۱-۲-۳ ساخت توربین H-روتور.....	۲۳
۲۶	۳-۳ آزمایش توربین در تونل باد.....	۲۶
۳۰	۴-۳ نحوه ی قرار گیری توربین ها در تونل جهت آزمایش.....	۳۰
۳۲	۵-۳ نتایج حاصل از آزمایش.....	۳۲
۳۲	۱-۵-۳ بررسی دقت آزمایش.....	۳۲
۳۴	۲-۵-۳ سرعت شروع به کار.....	۳۴
۳۴	۳-۵-۳ توان الکتریکی خروجی و ضریب توان.....	۳۴
۳۷	فصل چهارم.....	۳۷
۳۸	۱-۴ مقدمه.....	۳۸
۳۹	۲-۴ پیش پردازنده.....	۳۹
۳۹	۳-۴ مدل ریاضیاتی.....	۳۹
۴۱	۴-۴ تولید سلول های محاسباتی.....	۴۱
۴۳	۵-۴ وضوح مش.....	۴۳
۴۴	۶-۴ کیفیت مش.....	۴۴
۴۵	۷-۴ صافی یا همواری سلول ها.....	۴۵
۴۶	فصل پنجم.....	۴۶

۴۷	۱-۵ مقدمه
۴۷	۲-۵ شرایط مرزی در نرم افزار فلوئنت
۴۸	۱-۲-۵ جریان خروجی و ورودی
۴۹	۲-۲-۵ شرط مرزی دیوار
۴۹	۳-۲-۵ شرط سیال
۴۹	۴-۲-۵ شرایط مرزی به کار گرفته شده
۴۹	۳-۵ معادلات حرکت
۵۱	۵-۵ مدلسازی جریان های آشفته
۵۱	۶-۵ معادلات ناویراستوکس متوسطگیری شده رینولدز (RANS)
۵۵	۷-۵ مدل $k-\epsilon$ استاندارد
۵۶	۸-۵ مدل $k-\omega$ SST
۵۷	۹-۵ ناحیه ی محاسباتی و شرایط مرزی
۵۸	۱۰-۵ همگرایی حل
۵۹	۱۰-۵ انتخاب روشهای حل
۵۹	۱۱-۵ محاسبه توان
۶۰	۱۲-۵ نتایج عددی بدست آمده
۶۰	۱-۱۲-۵ استقلال از شبکه
۶۱	۲-۱۲-۵ مقایسه نتایج عددی با آزمایشگاهی
۶۲	۳-۱۲-۵ گشتاور تولیدی و ضریب توان توربین های
۶۸	۴-۱۲-۵ توزیع فشار
۶۹	۵-۱۲-۵ توزیع تنش برشی
۷۴	فصل ششم
۷۵	۱-۶ نتیجه گیری
۷۶	۲-۶ پیشنهادات
۷۷	مراجع

فهرست اشکال

- شکل ۱-۱- نمونه ای از توربین بادی محور قائم و افقی..... ۲
- شکل ۲-۱- شماتیک یک توربین بادی ساونیوس و مکانیزم عملکرد..... ۶
- شکل ۳-۱- مشخصه های عملکردی یک توربین بادی ساونیوس..... ۷
- شکل ۴-۱- توربین کلاسیک داریوس از نوع تخم مرغی شکل..... ۸
- شکل ۵-۱- انواع روتورهای داریوس..... ۹
- شکل ۶-۱- شماتیک و مکانیزم عملکرد توربین H-روتور..... ۱۰
- شکل ۱-۲- نیروهای وارد بر پره توربین بادی..... ۱۴
- شکل ۲-۲- نمونه ای از توربین بادی محور قائم و افقی برا..... ۱۶
- شکل ۳-۱- شماتیک ساختمان روتور ساونیوس و عمل آن در مقابل باد..... ۲۳
- شکل ۳-۲- بلبرینگ استفاده شده در توربین..... ۲۳
- شکل ۳-۳- سازه نگه‌دارنده و توربین ساونیوس ساخته شده..... ۲۴
- شکل ۴-۳- مقطع پره ساخته شده با ایرفویل DUW200..... ۲۶
- شکل ۵-۳- نمایی از بازوهای اتصال توربین..... ۲۷
- شکل ۶-۳- ابعاد و بخش های اصلی تونل باد مادون صوت استفاده شده..... ۲۸
- شکل ۷-۳- تصویراز اینورتر تونل باد مادون صوت..... ۲۸
- شکل ۸-۳- فن تونل باد مادون صوت استفاده شده..... ۲۹
- شکل ۹-۳- نمودار تغییرات فشار دینامیک در عرض مقطع تست و در مقطع میانی آن..... ۲۹
- شکل ۱۰-۳- نمودار تغییرات پروفیل سرعت باد در عرض مقطع تست و در مقطع میانی آن..... ۳۰
- شکل ۱۱-۳- به ترتیب از راست به چپ، وات متر، بادسنج و دورسنج استفاده شده در آزمایش..... ۳۱
- شکل ۱۲-۳- توربین H-روتور مورد آزمایش در تونل باد..... ۳۲
- شکل ۱۳-۳- توربین ترکیبی H-روتور و ساونیوس (حالت ۱) مورد آزمایش در تونل باد..... ۳۲
- شکل ۱۴-۳- توربین ترکیبی H-روتور و ساونیوس (حالت ۲) مورد آزمایش در تونل باد..... ۳۳
- شکل ۱۵-۳- تکرار نتایج آزمایش تونل باد برای توربین H-روتور..... ۳۴

- شکل ۳-۱۶- تکرار نتایج آزمایش تونل باد برای توربین ترکیبی (حالت ۱)..... ۳۴
- شکل ۳-۱۷- تکرار نتایج آزمایش تونل باد برای توربین ترکیبی (حالت ۲۱)..... ۳۴
- شکل ۳-۱۸- نتایج توان التریکی در آزمایش تونل باد برای توربین های مختلف..... ۳۶
- شکل ۳-۱۹- نتایج ضریب توان در آزمایش تونل باد برای توربین های مختلف..... ۳۶
- شکل ۴-۱- دامنه محاسباتی به همراه قسمتهای مختلف آن حالت ۱..... ۴۲
- شکل ۴-۲- دامنه محاسباتی به همراه قسمتهای مختلف آن حالت ۲..... ۴۲
- شکل ۴-۳- نمای کل مش زنی در هندسه سنتی حالت ۱..... ۴۴
- شکل ۴-۴- نمای کل مش زنی در هندسه سنتی حالت ۲..... ۴۴
- شکل ۴-۵- نمای نزدیک پره ها و مش زنی در دو حالت ترکیبی..... ۴۵
- شکل ۴-۶- سلول نمونه..... ۴۷
- شکل ۵-۱- روند هم گرایی یکی از مدل ها در نرم افزار فلوئنت..... ۶۱
- شکل ۵-۲- گشتاور توربین ترکیبی در حالت ساونیوس پایین..... ۶۷
- شکل ۵-۳- گشتاور توربین ترکیبی در حالت ساونیوس وسط..... ۶۷
- شکل ۵-۴- مقایسه گشتاور توربین ترکیبی در حالت های مختلف در سرعت ۵/۵ متر بر ثانیه..... ۶۹
- شکل ۵-۵- مقایسه گشتاور توربین ترکیبی در حالت های مختلف در سرعت ۷/۵ متر بر ثانیه..... ۶۹
- شکل ۵-۶- مقایسه ضریب توان توربین ترکیبی ساونیوس پایین در سرعت های مختلف..... ۷۱
- شکل ۵-۷- مقایسه ضریب توان توربین ترکیبی ساونیوس وسط در سرعت های مختلف..... ۷۲
- شکل ۵-۸- مقایسه ضریب توان توربین ترکیبی با وضعیت های قرارگیری متفاوت در سرعت ۵/۵ متر بر ثانیه..... ۷۲
- شکل ۵-۹- مقایسه ضریب توان توربین ترکیبی با وضعیت های قرارگیری متفاوت در سرعت ۷/۵ متر بر ثانیه..... ۳۷
- شکل ۵-۱۰- تغییرات فشار استاتیک روی پره های روتور توربین ترکیبی در حالت ساونیوس پایین..... ۷۵
- شکل ۵-۱۱- تغییرات فشار استاتیک روی پره های روتور توربین ترکیبی در حالت ساونیوس وسط..... ۷۶
- شکل ۵-۱۲- توزیع تنش برشی روی پره های روتور توربین ترکیبی در حالت ساونیوس پایین..... ۷۷
- شکل ۵-۱۳- توزیع تنش برشی روی پره های روتور توربین ترکیبی در حالت ساونیوس وسط..... ۷۸

فهرست جداول

- جدول ۱-۳- مشخصات و ابعاد اجزای تشکیل دهنده توربین ساونیوس ۲۲
- جدول ۲-۳- مشخصات و ابعاد اجزای تشکیل دهنده توربین H-روتور ۲۵
- جدول ۳-۳- مقایسه ی سرعت شروع به کار توربین های ترکیبی و H-روتور ۳۵
- جدول ۱-۵- مقدار ثوابت معادلات لزجت گردابه ای ۵۸
- جدول ۲-۵- گشتاور تولیدی در مش های مختلف $\omega = 12.6 \frac{rad}{s}$, $V = 5.5 \frac{m}{s}$ در حالت ساونیوس پایین ۶۴
- جدول ۳-۵- گشتاور تولیدی در مش های مختلف $\omega = 14.89 \frac{rad}{s}$, $V = 5.5 \frac{m}{s}$ در حالت ساونیوس وسط ۶۵
- جدول ۴-۵- مقایسه نتایج عددی و آزمایشگاهی ضریب توان در سرعت باد 5.5 M/S , $\omega = 14.89 \frac{rad}{s}$ ۶۶
- جدول ۵-۵- مقایسه نتایج عددی و آزمایشگاهی ضریب توان در سرعت باد 7.5 M/S , $\omega = 20.31 \frac{rad}{s}$ ۶۶

فهرست علائم و نشانه‌ها

عنوان	علامت اختصاری
چگالی هوا	ρ
سرعت زاویه‌ای چرخش روتور	ω
ویسکوزیته (لزجت)	μ
لزجت گردابه‌ای	μ_t
نرخ پراکندگی انرژی جنبشی اغتشاش	ε
توان خروجی	P
سرعت باد	V
ضریب توان	C_p
نیروی لیفت (برای)	L
وتر ایرفویل	C
ضریب فشار	K_p
تعداد پره‌های توربین	N_b
نسبت سرعت نوک پره	λ
ضریب توان توربین	C_p
دبی جرمی هوا (m/s)	\dot{m}
قطر توربین (m)	D, d
تنش لزجی (N/m^2)	$\bar{\tau}_r$
ارتفاع توربین (m)	H
ضریب گشتاور	C_m
سرعت نسبی باد	U_{rel}
جزء نیروی لیفت (برای)	dF_L
جزء نیروی درگ (پسا)	dF_D
جزء نیروی عمود بر صفحه چرخش روتور	dF_N

dF_T	جزء نیروی موازی صفحه چرخش روتور
C_L	ضریب لیفت (برا)
C_D	ضریب درگ (پسا)
τ	تنش
σ	کرنش
A_p	سطح جاروب شده توربین [m^2]
T_p	ضخامت
u	جابجایی (تغییر طول)
f	نیرو
P	فشار استاتیک
F	نیروهای خارجی وارد بر جسم
CFD	دینامیک سیالات محاسباتی
NS	معادلات ناویر-استوکس
RANS	معادلات ناویر-استوکس متوسط‌گیری شده‌ی رینولدز
k	انرژی جنبشی اغتشاش
MRF	فریم مرجع متحرک

فصل اول

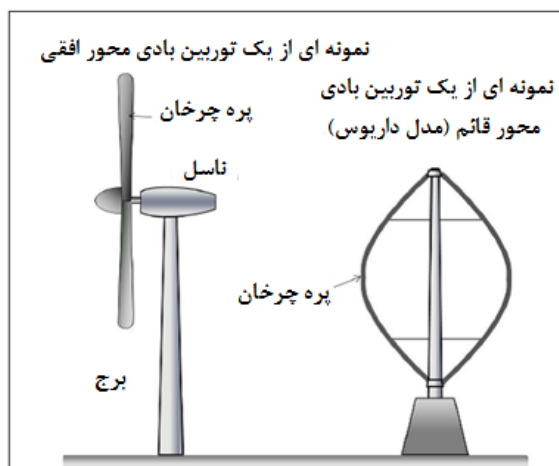
مقدمه

۱-۱ مقدمه

با توجه به تمایل جهانی برای کاهش گازهای گلخانه‌ای و تامین انرژی پایدار که پاسخگوی نیاز روزافزون بشر به انواع انرژی باشد، تلاش‌های بسیاری در جهت توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر در دست انجام است. انرژی بادی به عنوان یکی از قابل اعتمادترین انواع انرژی دارای پیشینه‌ای کهن بوده که در چند دهه اخیر به منظور ساخت نیروگاه‌های عظیم استفاده از آن رونق چشمگیری داشته است. این امر موجب شده تا مطالعات زیادی بروی انواع توربین‌های بادی انجام شود.

۱-۲ انواع توربین‌های بادی

اگرچه طراحی‌های مختلفی برای توربین بادی موجود می‌باشد ولی به طور عمده به دو دسته کلی بر اساس جهت محور چرخش تقسیم بندی می‌شوند: محور افقی^۱ و محور عمودی^۲ (شکل ۱-۱).



شکل ۱-۱ نمونه ای از توربین بادی محور قائم و افقی

^۱ Horizontal Axis Wind Turbines (HAWTS)
^۲ Vertical Axis Wind Turbines (VAWTS)

جریان هوا بر روی هر سطحی دو نوع نیروی ایرودینامیکی با نام های درگ و لیفت به وجود می آورد که نیروی درگ در جهت جریان باد است و نیروی لیفت عمود بر جریان باد می باشد. یکی از این نیروها یا هر دو می توانند نیروی مورد نیاز برای چرخش پره های توربین های بادی را تامین نمایند.

۱-۲-۱ توربین های محور افقی

ویژگی روتورهای توربین های محور افقی جدید بسیار شبیه ملخ هواپیما می باشد. جریان هوا روی مقطع ایرودینامیکی شکل پره ها حرکت می کند و نیروی لیفت را به وجود آورده که باعث چرخش روتور می گردد. ناسل توربین های محور افقی محلی برای گیربکس و ژنراتور می باشد. توربین های محور افقی باید سیستمی برای تنظیم قرار گرفتن در مقابل باد داشته باشند که به آن مکانیزم یا^۳ می گویند. به طوری که کل ناسل می تواند به سمت باد بچرخد. در توربین های کوچک دنباله باد نما این کنترل را بر عهده دارد. ولی در سیستمهای متصل به شبکه سیستم کنترل یا فعال می باشد که به وسیله سنسورهای تعیین کننده جهت باد و موتورها، ناسل به سمت باد می چرخد.

۱-۲-۲ توربین های محور قائم

توربین های بادی با محور عمودی یا قائم نظیر ساونیسوس ، داریوس ، صفحه ای ، کاسه ای از دو بخش اصلی تشکیل شده اند. یک میله اصلی که رو به باد قرار می گیرد و پره های عمودی دیگری که عمود بر جهت باد کار گذاشته می شوند. این توربین شامل قطعاتی با اشکال گوناگون بوده که باد را در خود جمع کرده و باعث چرخش محور اصلی می گردد. ساخت این نوع توربین ها بسیار ساده است ولی بازده بسیار پایینی دارد. در این نوع توربین ها یک طرف توربین باد را بیشتر از طرف دیگر جذب می کند و باعث می شود که سیستم لنگر پیدا کند و بچرخد. از مزایای این نوع توربین ها این است که ژنراتور و یا جعبه دنده می توانند در پایین نزدیک زمین جاسازی شوند. همچنین برج یا دکل نیاز به پشتیبانی آن ندارد و اینکه توربین نیاز ندارد که رو به باد گذاشته شود یعنی به جهت وزش باد وابسته نیست. مدل های مختلفی از نوع توربین ها بادی با محور عمودی که بر حسب نیروی رانش کار میکنند وجود دارد. این مدل ها عبارتند از مدل ساونیسوس (یک پره یا

^۳ yawing

چند پره)، مدل صفحه ای، مدل کاسه ای، مدل‌های نوع نیروی بالابر یا لیفت مانند داریوس، مدل بال هواپیمایی، مدل با حرکت مار پیچی باد، مدل توربینی، مدل استوانه ای یا ماداراس، مدل خورشیدی، مدل وانتوری و مدل زانویی و بسیاری مدل‌های دیگر که برخی از این‌ها مربوط به انواع تاریخی بوده و دیگر کاربردی ندارند.

مزیت اصلی توربین‌های عمودی نسبت به توربین‌های بادی محور افقی، عدم حساسیت به جهت باد و آشفستگی آن است. همچنین یک توربین بادی محور عمودی می‌تواند در فاصله ای نزدیکتر به زمین نصب گردد که سبب امنیت و ارزانی بیشتر در ساخت و نگهداری آن می‌شود. از آنجا که نوک پره‌ها در این نوع توربین‌ها به محور دوران نزدیکتر است، سر و صدای کمتری نسبت به توربین محور افقی تولید می‌شود. از دیگر عواملی که موجب محبوبیت بیشتر توربین‌های محور قائم شده است استفاده از آن‌ها در محیط‌های شهری و مصارف خانگی است.

جریان باد در محیط‌های شهری به دلیل وجود موانعی مانند درختان و ساختمان‌ها همواره آشفته بوده و تفاوت‌های بسیاری با جریان در مناطق غیر شهری دارد. در پژوهش‌های انجام شده میزان افزایش آشفستگی ۵۰ تا ۲۰۰٪ گزارش شده است [۱]. توربین‌های محور افقی عملکرد مناسبی در جریان‌های بادی مغشوش ندارند [۲]. این جریان مغشوش و تغییرات مداوم جهت باد باعث افزایش ۷۵٪ خستگی در توربین‌های محور افقی می‌شود [۳]. هم‌چنین میزان بار وارد بر توربین‌های کوچک ۲۵٪ بیش از توربین‌های معمول است [۴]. از این رو استفاده از توربین‌های محور قائم که مقاومت بیشتری در مقابل پدیده خستگی داشته مناسب‌تر به نظر می‌رسد. به خصوص که این توربین‌ها سرعت چرخش کمتر و در نتیجه صدای کمتری تولید می‌کنند و آشفستگی جریان تاثیر چندانی در عملکرد مدل‌های مختلف آنها به ویژه توربین‌های درگ ندارد.

سرعت شروع به کار توربین^۴ یکی دیگر از پارامترهایی است که در توربین‌های بادی کوچک مورد توجه قرار می‌گیرد، چرا که سرعت میانگین باد در مناطق شهری کمتر از مناطق غیر مسکونی بوده و توربین‌های

^۴ Cut-in wind speed