نشریه علمی-تخصصی تبدیل انرژی (JEED)
دوره ۱۰، شماره ۱، بهار ۱۴۰۲، ص: ۱۰۳- ۱۱۸

J. Energy Conversion
Volume: 10, Issue: 1, 2023: 103−118

DOR: 20.1001.1.20089813.1402.10.1.4.2

ارزیابی تهویه ضمن تولید توان توسط یک توربین بادی محور عمودی متناسب با اقلیم شهر زاهدان

سام سهام ۱*

*۱- کارشناس ارشد، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

دریافت: ۱۴۰۱/۱۰/۰۴، بازنگری: ۱۴۰۱/۱۲/۰۸، پذیرش: ۱۴۰۱/۱۲/۱۰

چکیده

در این تحقیق ابتدا ظرفیت بادی شهر زاهدان مورد ارزیابی قرار گرفته و سپس به بررسی عملکرد یک توربین باد محور عمودی پرداخته شد است. با زاویه‌دار کردن پره توربین نسبت به محور آن، یک روتور وی-شکل حاصل شده است. بنابراین جریان باد گذرنده از توربین، با برخورد ب پره‌های زاویه‌دار دچار انحراف شده و بخشی از آن به صورت عمودی و در راستای محور توربین خارج می‌شود. این مسئله باعث می‌شود تا ب چرخش توربین، علاوه بر تولید توان، جریان ثانویه‌ای تحت عنوان جریان تهویه نیز حاصل شود. از این جریان تهویه می‌توان در مناطق گرم استفاد کرده تا علاوه بر تولید انرژی، موضوع تهویه محل مورد نظر نیز انجام شود. به منظور تحلیل پارامتریک توربین مورد نظر از روش نیمه تحلیلی د حالت سه‌بعدی استفاده شده است. نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که زاویه پره با مقدار جریان تهویه دارای ارتباط مستقیم بوده و در زاوی مخروطی ۱۰ درجه و در نقطه کاری توربین حدود m^3/h ۱۰۰۰۰ از جریان، تحت عنوان جریان تهویه از انتهای پایین توربین خارج می‌شود لذا این نقطه به عنوان محدود مناسب کارکرد توربین هم از نظر تولید توان و هم از نظر تهویه معرفی می‌شود.

* **عهده‌دار مکاتبات:** S_Saham@modares.ac.ir

کلمات کلیدی: ظرفیت انرژی بادی، توربین باد محور عمودی، توان، ضریب تهویه

۱- مقدمه

رشد علم و تکنولوژی و افزایش صنایع و شرکت‌ها و همچنین افزایش جمعیت و نیاز مبرم مردم به انرژی باعث شده است تا جهان از یک طرف با بحران انرژی و از طرف دیگر با مشکلات زیست محیطی مواجه شود. بنابراین نصب توربین‌های بادی یکی از روش‌های مناسب تامین انرژی است که نه تنها از نظر هزینه، بلکه از نظر آلودگی محیط زیست نیز دارای برتری است. بهره‌مندی از توربین‌های بادی توانسته است تا بیش از ۲۰ درصد تقاضای انرژی جهان را تامین کند [۱]. توربین‌های بادی در ابعاد و انواع مختلفی تولید می‌شوند که می‌توان از آن‌ها در یک مزرعه بادی در حاشیه شهرها، بام منازل و حتی در مناطق ساحلی استفاده کرد. توربین‌های بادی از نظر نحوه قرارگیری روتور به دو دسته محور افقی و محور عمودی تقسیم‌بندی می‌شود. توربین‌های محور افقی معمولا در ارتفاع بالاتری نصب شده و نسبت به نوع محور عمودی توان بیشتری تولید می‌کنند. از طرف دیگر توربین‌های محور عمودی در ارتفاع پایین‌تر نصب شده و نیازمند صرف هزینه کمتری هستند.

نحوه استناد به این مقاله: سام سهام. ارزیابی تهویه ضمن تولید توان توسط یک توربین بادی محور عمودی متناسب با اقلیم شهر زاهدان. مهندسی مکانیک تبدیل انرژی. ۱۴۰۲; ۱۰ (۱) :۱۰۳-۱۱۸.
DOR: 20.1001.1.20089813.1402.10.1.4.2

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08]
[DOR: 20.1001.1.20089813.1402.10.1.4.2]

در مورد این نوع توربین‌ها در سال ۲۰۰۹ پاراسچیویو و همکاران[1] به بررسی عملکرد یک توربین محور عمودی به همراه کنترل زاویه گام پرداختند. آن‌ها در این تحقیق از یک توربین اچ-شکل استفاده کردند و عملکرد توربین و نحوه کنترل زاویه گام را با کمک روش کوپل الگوریتم ژنتیک با مدل دی ام اس تی[2] انجام دادند نتایج آن‌ها نشان داد که کنترل زاویه گام پیوسته نسبت به کنترل سیسنوسی عملکرد نسبتا بهتری داشته و می‌تواند سالیانه در حدود ۳۰٪ باعث افزایش توان توربین شود [۲]. در سال ۲۰۱۳ لیتید و همکاران[3] به بررسی اثر نسبت برآ به پسا، صلبیت و زاویه مخروطی شکل برای توربین‌های اچ-روتور و وی-روتور پرداختند. آن‌ها دریافتند که افزایش نسبت برآ به پسا باعث افزایش محسوس ضریب توان برای اچ-روتور و وی-روتور می‌شود. همچنین دریافتند که افزایش صلبیت در اچ-روتور و افزایش زاویه مخروطی در وی-روتور باعث می‌شود تا نقطه بیشینه توان توربین در نسبت سرعت‌های بالاتر رخ دهد [۳]. در سال ۲۰۱۷ چنگ و همکاران[4] نتایج مطالعه دو بعدی و شبیه‌سازی سه بعدی توربین بادی محور عمودی با پره‌های مارپیچ با روش LES و RANS را مورد مقایسه قرار دادند. آن‌ها دریافتند که تغییرات زاویه حمله و دنباله ایجاد شده در جریان پشت پره تاثیر عمده را در تولید توان توربین دارد. همچنین با شبیه‌سازی سه بُعدی مشاهده کردند که گردابه‌های نوک پره نیز یکی از عوامل تاثیر گذار در تولید توان توربین است [۴]. مجتبی طاهانی و همکاران در سال ۲۰۱۷ به بررسی یک توربین محور عمودی از نوع ساوینیوس و با قابلیت انحراف جریان پرداختند. آن‌ها دو رویکرد ایجاد صفحه برش متغیر در راستای طول پره و جایگزینی محور مخروطی به جای محور ساده را مورد بررسی قرار داده و میزان زاویه پیچش را در بهبود عملکرد توربین مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها دریافتند که توربین با صفحه برش متغیر نسبت به توربین ساده موجب افزایش ۱۲٪ در ضریب توان و کاهش ۵٪ در انحراف جریان می‌شود در حالی که نسبت به توربینی با محور مخروطی دارای ضریب توان کمتر و انحراف جریان بیشتر است. همچنین مشاهده کردند که اگر ایجاد زاویه پیچش پره با محور مخروطی همراه شود، می‌تواند باعث افزایش ۱۸٪ در ضریب توان و افزایش ۳۱٪ در نرخ انحراف جریان نسبت به توربین معمولی شود [۵]. در سال ۲۰۱۸ زانفورلین و دلوکا[5] اثرات عدد رینولدز و افت نوک بال را بر عملکرد توربین‌های بادی عمودی با پره‌های مستقیم مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها دریافتند که هر دو عامل بر عملکرد توربین موثر است اما در توربین‌های متوسط و بزرگ اثر افت نوک پره نسبت به عدد رینولدز غالب است در حالیکه در توربین‌های کوچک تاثیر عدد رینولدز بیشتر است [۶]. راسخ و همکاران در سال ۲۰۱۸ به بررسی استال دینامیکی در پره توربین بادی پرداختند که در این راستا از دو مدل استال دینامیکی نیمه‌تحلیلی لیشمن-بدووس و روش عددی استفاده کرده و نتیجه آن‌ها را با یکدیگر مقایسه کردند. نتایجشان نشان داد که استال دینامیکی در هر دو روش به عواملی همچون زاویه حمله، فرکانس کاسته، و فاز حرکتی بستگی دارد. همچنین با مقایسه نتایج دو مدل مشاهده شد که روش لیشمن-بدووس می‌تواند با صرف هزینه محاسباتی کمتر نسبت به روش عددی نتایج قابل قبولی داشته باشد [۷]. در سال ۲۰۱۹ مقیمی و موتاوج[6] به بررسی عملکرد آیرودینامیکی توربین اچ-روتور و گورلوو[7] با روش دی ام اس تی پرداختند. آن‌ها در تحقیق خود تاثیر پارامترهای هندسی از قبیل نوع ایرفویل، وتر ایرفویل، تعداد پره، زاویه مارپیچ، سرعت باد، و نسبت منظری[8] را مورد مطالعه قرار دادند و درنهایت به این نتیجه رسیدند که ایرفویل‌های ضخیم و با وتر بلندتر و همچنین

[1] Paraschivoiu et al
[2] DMST
[3] Leithead et al
[4] Cheng Q, et al
[5] Stefania Zanforlin and Stefano Deluca
[6] Mahdi Moghimi, HadiMotawej
[7] Gorlov
[8] Aspect Ratio

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08]
[DOR: 20.1001.1.20089813.1402.10.1.4.2]

سرعت باد بیشتر جهت خودراه‌اندازی توربین مناسب‌ترند، از طرفی تعداد پره کمتر، وترهای کوتاه‌تر، و نسبت منظری کمتر طیف وسیع‌تری از نسبت سرعت‌ها را شامل می‌شود؛ همچنین مشاهده کردند که زاویه مارپیچ پره تاثیر چندانی بر ضریب توان نداشته اما باعث کاهش نوسانات گشتاور می‌شود [۸]. عبدلهی‌فر و کریمیان در سال ۲۰۱۹ از یک توربین محور عمودی از نوع داریوس به عنوان جایگزینی برای رم-ایرهای هواپیما استفاده کردند. آن‌ها مشاهده کردند که فاصله کم بین توربین و بدنه هواپیما موجب حفظ تعادل هواپیما می‌شود. از طرفی بهره‌برداری از این توربین پسای کمتری تولید کرده و قابلیت جایگزینی با رم-ایر را دارد [۹]. ندیمی و خلیلیان در سال ۲۰۱۹ به بررسی اثر تعداد پره در توربین محور عمودی پرداختند. در این تحقیق از دو توربین با دو و سه پره استفاده شد و نتایج عملکردی آن‌ها با یکدیگر مورد مقایسه قرار گرفت. نتایج آن‌ها نشان داد که توان تولید شده توسط توربین با دو پره به میزان ۵۴ درصد بیشتر از حالتی است که از سه پره استفاده شود [۱۰]. کاظمی و همکاران در سال ۲۰۲۰ به بررسی ایرفویل‌های تغییر شکل‌پذیر در یک توربین محور عمودی داریوس، به منظور دستیابی به سطح مقطع بهینه پرداختند. برای این منظور از شبیه‌سازی عددی، الگوریتم ژنتیک و شبکه عصبی بهره گرفتند. مقاطع بهینه بدست آمده بیانگر افزایش ۴۰ الی ۶۰ درصدی در عملکرد آیرودینامیکی توربین بودند [۱۱]. سهام و کریمیان در سال ۲۰۲۱ به بررسی پارامترهای هندسی در توربین بادی محور عمودی با پره‌های مستقیم پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد که افزایش ارتفاع پره و افزایش نسبی قطر روتور و کاهش طول وتر پره می‌توان متناسب با شرایط عملکردی، تولید توان بهتری داشت [۱۲]. کریمیان و راسخ در سال ۲۰۲۱ به رابطه بین عملکرد توان، آکوستیک، و هندسه پره‌های توربین‌های محور عمودی پرداختند. آن‌ها در این تحقیق دریافتند که اعمال تغییر اندک در زاویه گام پره میتواند تاثیر نسبتا خوبی در افزایش توان داشته باشد، ضمن آنکه بیشترین تاثیر این تغییر در نسبت سرعت‌های پایین رخ می‌دهد. از طرفی مشاهده کردند که تغییرات اندک زاویه گام باعث کاهش صدای نامطلوب خصوصا در نسبت سرعت‌های پایین توربین می‌شود [۱۳].

در مورد پتانسیل بادی در شهرهای مختلف نیز تحقیقاتی صورت گرفته است. علمدری و همکاران به بررسی پتانسیل انرژی بادی در ایران پرداختند؛ آن‌ها سرعت باد را در سال ۲۰۰۷ و در ارتفاع‌های مختلف مورد مقایسه قرار داده و سرعت میانگین باد، تابع توزیع سرعت باد، و میانگین تراکم باد را توسط ۶۸ مرکز اطلاعاتی آب و هوایی ایران تخمین زدند [۱۴]. مصطفی‌پور امکان‌سنجی بهره‌برداری از انرژی باد در منطقه یزد ایران را مورد بررسی قرار داد. او سرعت باد را به صورت ماهانه و سالیانه در ارتفاع‌های مختلف بین سال‌های ۱۹۹۲ تا ۲۰۰۵ در ۱۱ ایستگاه هواشناسی مورد ارزیابی قرار داد [۱۵]. همچنین به ارزیابی اقتصادی استفاده از توربین‌های بادی کوچک در شهر کرمان پرداخت. او در این تحقیق سه توربین کوچک را مورد بررسی قرار داد و نشان داد که این شهر از پتانسیل بادی خوبی برخوردار است [۱۶]. همچنین با توجه به اهمیت انرژی باد و مزایای آن، بسیاری از محققان به بررسی پتانسیل انرژی باد در مناطق مختلف ایران و جهان پرداختند که می‌توان به شهرهایی مانند تهران [۱۷]، سمنان[۱۸]، و منجیل [۱۹] در ایران، و کشورهای ترکیه [۲۰ و ۲۱]، یونان [۲۲ و ۲۳]، آلمان [۲۴]، اتیوپی [۲۵]، بحرین [۲۶]، عربستان [۲۷]، و پاکستان [۲۸] اشاره کرد.

در مورد بادگیرها نیز در سال ۲۰۱۷ چانگ و همکاران طرحی را تحت عنوان توربین بادی محور متقاطع معرفی کردند که در آن از سه پره محور عمودی و شش پره محور افقی به صورت عمود بر هم استفاده می‌شد. همچنین از راهنماهایی برای منحرف کردن جریان و وارد کردن آن به صفحه روتور پره‌های توربین محور افقی استفاده کردند تا در نهایت علاوه بر استفاده از پره‌های توربین محور عمودی، از گشتاور ایجاد شده توسط پره‌های توربین محور افقی نیز بهره ببرند و باعث بهبود عملکرد توربین شوند [۲۹].

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08]

[DOR: 20.1001.1.20089813.1402.10.1.4.2]

بنابراین در این تحقیق پس از ارزیابی پتانسیل انرژی باد در شهر زاهدان، از یک توربین بادی محور عمودی با ابعاد و هندسه مشخص استفاده شده و با ایجاد زاویه مخروطی در آن به یک توربین وی-شکل تبدیل می‌شود که قابلیت انحراف جریان در راستای محور توربین را داشته باشد. سپس مقدار جریان منحرف شده و همچنین تاثیر زاویه مخروطی بر ضریب توان و ضریب تهویه مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. این فرایند موجب می‌شود تا با استفاده از این نوع توربین و با بهره‌گیری از عمکرد بادگیرها، ضمن تولید توان بتوان تهویه محل مورد نظر را نیز انجام داد.

۲- معادلات و مدلسازی

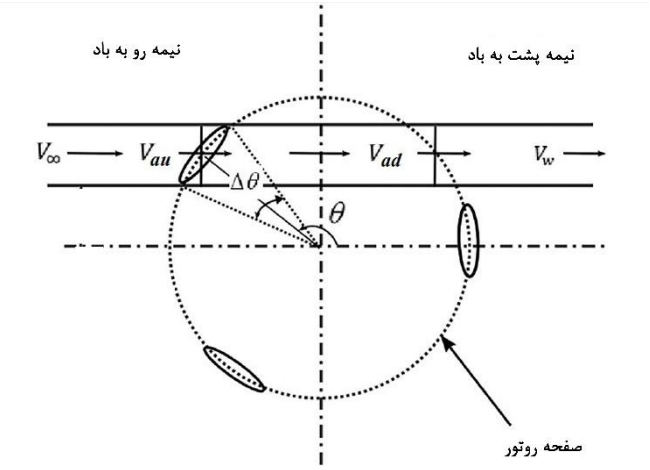
تحلیل توربین مورد نظر در این تحقیق براساس روش دی ام اس تی (DMST) و با کمک نرم افزار متلب (MATLAB) انجام می‌شود. این روش بر اساس روش مومنتوم بوده و درآن روتور توربین به دو قسمت رو به باد و پشت به باد تقسیم می‌شود و برای هر بخش روابط مومنتوم جریان به صورت جداگانه اعمال می‌شود. همانطور که از شکل ۱ مشخص است، روتور توربین در امتداد مسیر جریان به بخش‌هایی تقسیم می‌شود که این تقسیم‌بندی با تقسیم‌بندی زاویه آزیموت ($\Delta\theta$) متناسب است. جریان آزاد (V_∞) با برخورد به پره‌های روتور در نیمه رو به باد مقداری از انرژی خود را از دست داده و به V_e تقلیل پیدا می‌کند؛ به طور مشابه سرعت V_e نیز با عبور از پره‌های نیمه پشت به باد با کاهش انرژی مواجه شده و درنهایت سرعت خروج جریان از روتور (V_w) به کمترین مقدار خود می‌رسد. این موضوع در روابط ۱ الی ۴ نشان داده شده است.

$$V_\infty > V_u \quad (۱)$$

$$V_u > V_e \quad (۲)$$

$$V_e > V_d \quad (۳)$$

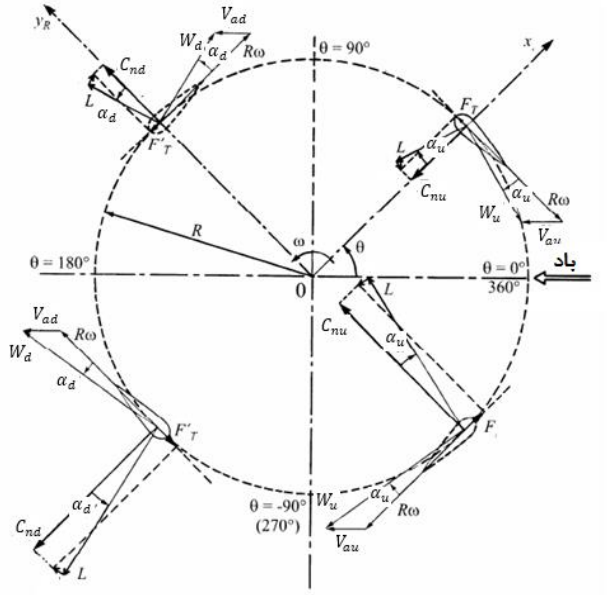
$$V_d > V_w \quad (۴)$$



شکل ۱- مسیر جریان در روش دی ام اس تی [۲۴]

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08]

[DOR: 20.1001.1.20089813.1402.10.1.4.2]



شکل ۲- عکس العمل نیروها در صفحه روتور [۲۵]

در این میان، سرعت جریان در محل عبور از بین پره‌های دو نیمه به ترتیب (V_u و V_d) بوده که که متاثر از ضرایب القایی نیمه رو به باد و نیمه پشت به باد یعنی a_u و a_d هستند. این ضرایب که نشان دهنده میزان تاثیر پره بر جریان عبوری از روتور است، توسط روش سعی و خطا و با کمک روابط مومنتوم در دو صفحه مجزا از هم (برای دو نیمه روتور) بدست می‌آیند. نهایتا سرعت جریان موثر در نیمه رو به باد و نیمه پشت به باد به ترتیب توسط روابط ۵ و ۷ مشخص می‌شود.

$$V_u = a_u V_\infty \quad (۵)$$

$$V_e = V_\infty(2a_u - 1) \quad (۶)$$

$$V_d = a_d V_e \quad (۷)$$

با فرض دلخواه ضریب القایی اولیه (a_u) می‌توان سرعت جریان را در مقطع مورد نظر محاسبه کرد و با کمک آن سرعت جریان عمود بر پره و سرعت جریان مماس بر پره در راستای وتر و همچنین سرعت جریان مماس بر پره در راستای طول پره مشابه روابط ۸، ۹، و ۱۰ بدست آورد. از آنجا که در محاسبات آیرودینامیک برای دستیابی به نیروهای برآ و پسا مبنای محاسبات بر اساس سرعت نسبی جریان است، لذا توسط رابطه ۱۱ سرعت نسبی جریان در لحظه برخورد به پره بدست آمده و با کمک آن می‌توان زاویه حمله ظاهری را مشابه رابطه ۱۲ بدست آورد. شکل ۲ نیز نشان دهنده وضعیت قرارگیری پره در چهار لحظه متفاوت است. همانطور که مشاهده می‌شود سرعت نسبی جریان و زاویه حمله در هر لحظه دارای جهت و مقدار متفاوتی بوده و پس از بدست آمدن نیروهای برآ و پسا می‌توان با تغییر دستگاه مختصات این نیروها را به نیروهای مماس بر پره و عمود بر پره تبدیل کرد.

از آنجا که پره‌های توربین دارای طول محدودی هستند، لذا مقداری از جریان در نوک پره از سطح پر فشار پره به سطح کم فشار پره منحرف می‌شود که این عمل باعث می‌شود تا گردابه‌هایی تحت عنوان گردابه‌های نوک پره ایجاد شده و باعث ایجاد جریان فرو وزش و تغییر زاویه سرعت نسبی جریان و نهایتا باعث کاهش زاویه حمله موثر در این نواحی شود که نتیجه آن کاهش

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08]
[DOR: 20.1001.1.20089813.1402.10.1.4.2]

عملکرد آیرودینامیکی در قسمت نوک پره می‌شود. بنابراین برای بهبود روش دی ام اس تی زاویه حمله موثر با توجه به رابطه ۱۳ بدست می‌آید که در این رابطه α_{eff} زاویه حمله موثر، α زاویه حمله ظاهری، و α_i زاویه حمله القایی ناشی از افت جریان از نوک پره بوده که از طریق روابط پرانتل بدست می‌آید [۲۶].

$$V_n = V_a \cos\theta \cos\delta \quad (۸)$$

$$V_t = r\omega - V_a \sin\theta \quad (۹)$$

$$V_s = V_a \cos\theta \sin\delta \quad (۱۰)$$

$$W = \sqrt{(V_n)^2 + (V_t)^2 + (V_s)^2} \quad (۱۱)$$

$$\alpha = \sin^{-1}(V_n/W) \quad (۱۲)$$

$$\alpha_{eff} = \alpha - \alpha_i \quad (۱۳)$$

در گام بعد می‌توان ضرایب نیروی برآ و پسا و به دنبال آن با تغییر دستگاه مختصات ضرایب نیروی عمودی و مماسی بر پره را مشابه روابط ۱۴ و ۱۵ بدست آورد. پس از بدست آمدن ضرایب نیرو می‌توان مقدار نیرو را در هر مقطع از پره طبق روابط ۱۶ و ۱۷ محاسبه کرد. در این روابط δ زاویه مخروطی پره، ρ چگالی هوا، c وتر پره، Δh طول المان پره، W سرعت نسبی جریان در لحظه برخورد به پره، و C_n و C_t به ترتیب ضرایب نیروی عمودی و مماسی بوده که متناسب با ضرایب برآ و پسای پره است.

$$C_n = C_L \cos\alpha + C_D \sin\alpha \quad (۱۴)$$

$$C_t = C_L \sin\alpha - C_D \cos\alpha \quad (۱۵)$$

$$F_N(\theta) = \left(\frac{1}{2} C_n . \rho . c . \Delta h . W^2\right) \quad (۱۶)$$

$$F_T(\theta) = \left(\frac{1}{2} C_t . \rho . c . \Delta h . W^2\right) \quad (۱۷)$$

با محاسبه ضرایب نیروی عمودی و مماسی و با کمک روابط ۱۸ و ۱۹ می‌توان مقدار ضریب القایی جدید را بدست آورد. با محاسبه ضریب القایی جدید مجددا سرعت نسبی جریان، زاویه حمله و ضرایب نیروهای مماسی و عمودی بدست آمده و این حلقه تا زمانی که به همگرایی مناسب برسد، برای هر المان از پره و هر زاویه آزیموت و برای هر دو نیمه روتور به صورت جداگانه تکرار می‌شود. در نهایت با بدست آمدن مقدار نیروهای مماس بر پره و عمود پره می‌توان نیروهای وارد شده بر کل توربین را محاسبه کرد که یکی از این نیروها، نیروی در راستای محور توربین (راستای z محور مختصات) است که این نیرو توسط رابطه ۲۰ بدست آمده و پس از آن با کمک روابط مومنتوم می‌توان سرعت جریان در این راستا و مقدار دبی خروجی از روتور را محاسبه کرد.

$$f = \frac{Bc}{8\pi r} \int_{-\pi/2}^{\pi/2} \left(C_n \frac{\cos\theta}{|\cos\theta|} - C_t \frac{\sin\theta}{|\cos\theta| \cos\delta}\right) \left(\frac{W}{V_a}\right)^2 d\theta \quad (۱۸)$$

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08]

[DOR: 20.1001.1.20089813.1402.10.1.4.2]

$$a_{new} = \pi/(f+\pi) \quad (۱۹)$$

$$F_z = \left(F_N \sin\delta\right)\cos\theta \quad (۲۰)$$

در گام بعد با کمک نیروی مماسی وارد بر پره، گشتاور ایجاد شده و نهایتا توان تولیدی توربین توسط روابط ۲۱ تا ۲۴ بدست می‌آید، که در این روابط Q گشتاور پره متناسب با هر زاویه آزیموت، $\bar{Q}$ گشتاور میانگین روتور، $C_{\bar{Q}}$ ضریب گشتاور میانگین، λ نسبت سرعت پره، و A مساحت جاروب شده توسط روتور توربین است.

$$Q(\theta) = r.F_T(\theta) \quad (۲۱)$$

$$\bar{Q} = \frac{N}{2\pi}\int Q\, d\theta \quad (۲۲)$$

$$C_{\bar{Q}} = \frac{\bar{Q}}{1/2\,.\rho.A.R.U_\infty^2} \quad (۲۳)$$

$$C_P = \lambda.C_{\bar{Q}} \quad (۲۴)$$

الگوریتم روش دی ام اس تی بر پایه نیمه رو به باد و پشت به باد است، که در ابتدای این فرایند متغیرهای ورودی همچون طول پره، قطر روتور، وتر پره، نوع ایرفویل، سرعت دورانی و سرعت جریان آزاد مورد نظر تعریف می‌شود. سپس المان‌بندی پره و تقسیم‌بندی زوایای آزیموت که تاثیر مستقیم بر دقت روش دارد انجام می‌شود. پس از محاسبه نسبت سرعت برای المان‌های پره می‌توان وارد گام بعدی یعنی محاسبات مربوط به قسمت رو به باد توربین شد؛ در این گام ابتدا سعی در یافتن ضریب القایی است؛ برای این منظور با استفاده از روش سعی و خطا و اعمال یک ضریب القایی پیش‌فرض و انجام حلقه تکرار، ضریب القایی مناسب بدست می‌آید. با بدست آمدن ضریب القایی می‌توان پارامترهای کلیدی حل آیرودینامیکی یعنی سرعت نسبی و زاویه حمله موثر را محاسبه کرد.

با محاسبه سرعت نسبی و زاویه حمله و همچنین داده‌های ضریب برآ و پسای ایرفویل مورد نظر، نیروی عمود بر پره و نیروی مماس بر پره محاسبه می‌شود. سپس با تصویرسازی‌های مناسب می‌توان نیروهای وارد شده بر پره که شامل سه نیرو در راستای سرعت باد (محور x)، عمود بر سرعت باد (محور y)، و در راستای محور توربین (محور z) است را بدست آورد. همچنین گشتاور وارد شده بر پره نیز بدست می‌آید. در گام بعد، مشابه فرایندی که برای نیمه رو به باد توربین انجام شد، برای نیمه پشت به باد تکرار می‌شود. تنها تفاوت آن تغییر سرعت جریان ورودی به نیمه پشت به باد است. این سرعت (V_e) با کمک روابطی که در ابتدای این بخش بیان شد بدست می‌آید. در نهایت با بدست آمدن نیروی در راستای محور z، سرعت در این راستا و دبی جریان آن محاسبه شده، و همچنین گشتاور و توان وارد شده در دو نیمه روتور نیز بدست می‌آید.

۳- معرفی توربین مبنا و اعتبارسنجی کد نیمه تحلیلی

توربین مورد استفاده در این تحقیق از نوع وی-شکل بوده که مشخصات کامل آن در جدول ۱ بیان شده است. به منظور اعتبارسنجی روش مورد نظر نیز از یک توربین اچ-شکل مطابق شکل ۳ استفاده شده و نتیجه حاصله از مقیاس ضریب توان با داده‌های تجربی مرجع [۳۳] در شکل ۴ مورد مقایسه قرار گرفته است. در این شکل محور افقی نشان دهنده نسبت سرعت پره و محور قائم نشان دهنده ضریب توان توربین است. با توجه به این شکل مشاهده می‌شود که روش دی ام اس تی مورد استفاده در این تحقیق توانسته است تا ضریب توان توربین را با مقدار خطای نسبی در حدود ۹ درصد تخمین بزند. اختلاف بین تحلیل

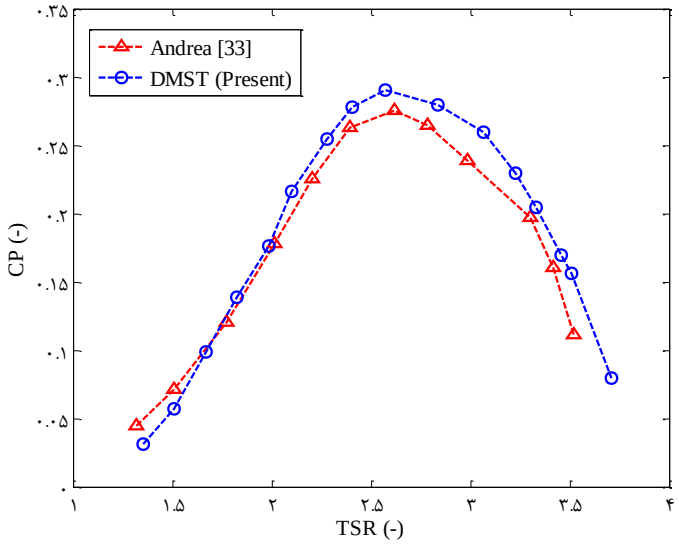
[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08]

[DOR: 20.1001.1.20089813.1402.10.1.4.2]

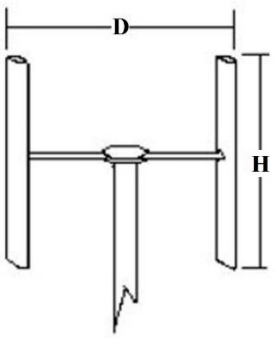
انجام شده و داده‌های تجربی را می‌توان ناشی از عواملی همچون دنباله جریان[1]، انبساط جریان[2] و همچنین استال دینامیکی[3] دانست.

جدول ۱- مشخصات اولیه توربین مبنا

نوع ایرفویل	ناکا ۰۰۱۵
تعداد پره	۲ عدد
وتر پره	۰,۶۱ m
ارتفاع پره	۱۶,۷ m
قطر روتور	۱۷ m
سرعت چرخش روتور	۴۲,۲



شکل ۴- اعتبارسنجی مدل دی ام اس تی با داده‌های تجربی [۳۳]



شکل ۳- شماتیک توربین داریوس (اچ-شکل)

۴- پتانسیل انرژی بادی در زاهدان

شهر زاهدان مرکز استان سیستان و بلوچستان در جنوب شرقی ایران و ارتفاع ۱۳۸۵ متری از سطح دریا واقع شده که دارای جمعیتی حدود ۶۰۰ هزار نفر در مساحتی به میزان ۷۸ کیلومتر مربع است. این شهر در ناحیه بادخیز واقع شده است که در طول سال در معرض بادهای قدرتمند فصلی در جهات مختلف قرار می‌گیرد که از معروف‌ترین آن‌ها می‌توان به بادهای ۱۲۰ روزه اشاره کرد. توزیع سرعت باد این شهر در طول سال با میانگین‌گیری از سرعت متوسط ماهانه در سه سال اخیر (از سال ۲۰۱۸ الی ۲۰۲۰) و در ارتفاع ۱۰ متری از سطح زمین به صورت شکل ۵ بدست آمده است. از این سرعت به عنوان پیشبینی سرعت باد در سال‌های آتی و مبنای طراحی و بومی‌سازی توربین بادی استفاده می‌شود. با توجه به این شکل مشاهده می‌شود که سرعت

[1] wake
[2] stream tube expansion
[3] Dynamic stall

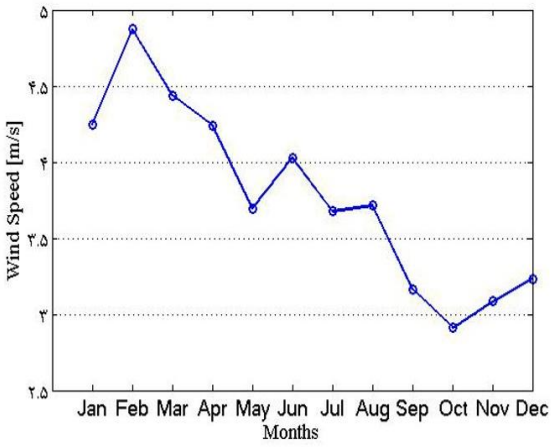
[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08]
[DOR: 20.1001.1.20089813.1402.10.1.4.2]

میانگین در طول سال برابر $3,77 m/s$ بوده و بیشینه و کمینه سرعت متوسط باد به ترتیب در حدود $4,87 m/s$ و $2,9 m/s$ و در ماه‌های فوریه و اکتبر رخ می‌دهد. از طرفی با توزیع احتمال سرعت باد مطابق شکل ۶ مشاهده می‌شود که احتمال رخداد سرعت باد بین $3 m/s$ الی $4 m/s$ بیشترین احتمال و به ترتیب در حدود ۳۸ درصد و ۲۱ درصد است.

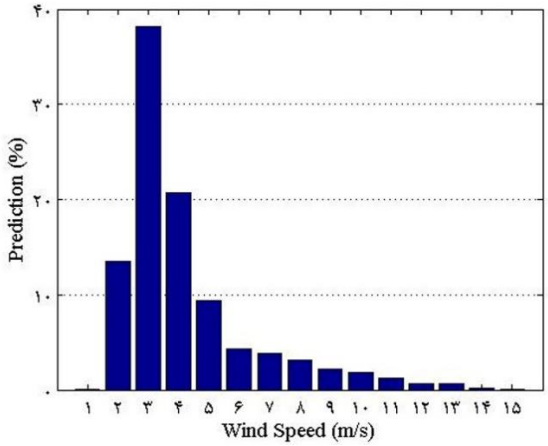
در ادامه با توجه به رابطه ۲۰ و ۲۱ می‌توان به ترتیب توان و چگالی انرژی باد در در این شهر را تخمین زد. در این روابط V_n معرف سرعت باد در توزیع احتمال مورد نظر، و p احتمال رخداد آن سرعت است. در رابطه ۲۱ پس از محاسبه توان باد، می‌توان با در نظر گرفتن یک سال معادل ۸۷۶۰ ساعت، بیشینه انرژی باد منطقه را محاسبه کرد. بنابراین با توجه به توزیع سرعت باد زاهدان و این روابط می‌توان توان و انرژی باد سالیانه این شهر را در حدود $98 W/m^2$، و $855 kWh/m^2$ تخمین زد.

$$P = \sum_{n=1}^{15} \frac{1}{2} \rho V_n^3 . p \qquad (20)$$

$$E = P . 8760 \qquad (21)$$



شکل ۵- میانگین سرعت متوسط باد در زاهدان (www.wunderground.com)



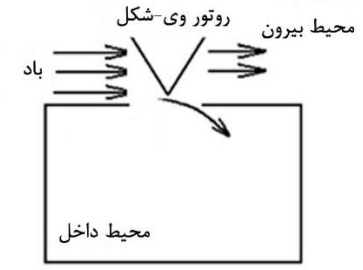
شکل ۶- احتمال رخداد سرعت‌های باد مختلف در طول سال (زاهدان)

۵- محاسبه ضریب توان و تهویه

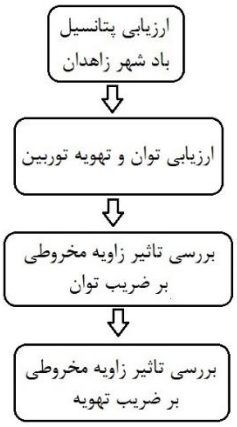
در بخش قبلی توان قابل دستیابی از طریق توربین مبنا مورد بررسی قرار گرفت. همانطور که در ابتدای این تحقیق ذکر شد، نوآوری توربین وی-روتور به منظور ایجاد تهویه در کنار تولید توان است. ایده اصلی این طرح ترکیب عملکرد بادگیرهای قدیمی مورد استفاده در مناطق کویری ایران با توربین‌های محور عمودی است. در این طرح مشابه شکل ۷ یک توربین محور عمودی وی-شکل بر روی یک کانال یا دریچه بازشو که به محل مورد نظر جهت تهویه مرتبط می‌شود، قرار می‌گیرد. هنگامی که جریان باد به توربین برخورد کرده و توربین دوران می‌کند، اولا به دلیل گشتاور ایجاد شده می‌توان انرژی الکتریکی را توسط ژنراتورهای متصل به محور توربین دریافت کرد؛ از طرف دیگر جریان منحرف شده توسط توربین و ورود آن به کانال مورد نظر مشابه عملکرد بادگیر بوده و می‌تواند عمل تهویه محل مورد نظر را انجام دهد.

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08]

[DOR: 20.1001.1.20089813.1402.10.1.4.2]



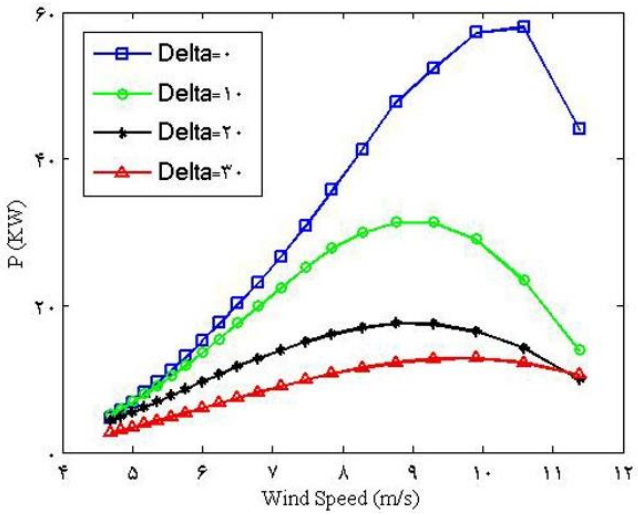
شکل ۷- تلفیق توربین وی-شکل و بادگیر [۳۴]



شکل ۸-مراحل طراحی ترکیبی یک توربین محور عمود

در شکل ۸ مراحل مطالعه پارامتری توربین محور عمودی ذکر شده است. مطالعات ارزیابی پتانسیل انرژی در بخش قبل ارایه شد. در ادامه به مطالعه تاثیر زاویه مخروطی (زاویه پره ها نسبت به خط قائم) در ایجاد یک جریان تهویه و البته تاثیر آن بر شاخص توان توربین مورد بررسی قرار گرفته، و بر اساس این مطالعه پارامتری می‌توان محدوده مناسب کارکرد توربین از نظر توان تولیدی و همچنین تهویه را مشخص کرد.

با اعمال زاویه مخروطی به توربین مبنا، علاوه بر بهره‌مندی از انحراف جریان و تهویه، توان خروجی توربین نیز تحت تاثیر قرار می‌گیرد. در شکل ۹ سه زاویه مخروطی ۱۰، ۲۰، و ۳۰ درجه اعمال شده است که موجب تغییر در توان خروجی توربین شده است. همانطور که مشاهده می‌شود با افزایش زاویه مخروطی شیب منحنی توان کاهش یافته و مقدار توان خروجی کاهش می‌یابد. این کاهش توان را می‌توان ناشی از کاهش ارتفاع موثر پره و نهایتا کاهش مساحت جاروب شده توسط توربین دانست. همچنین افت توان در سرعت‌های باد بالا با افزایش زاویه مخروطی کاهش یافته و به عبارتی حساسیت توان به تغییرات سرعت باد کاهش می‌یابد.



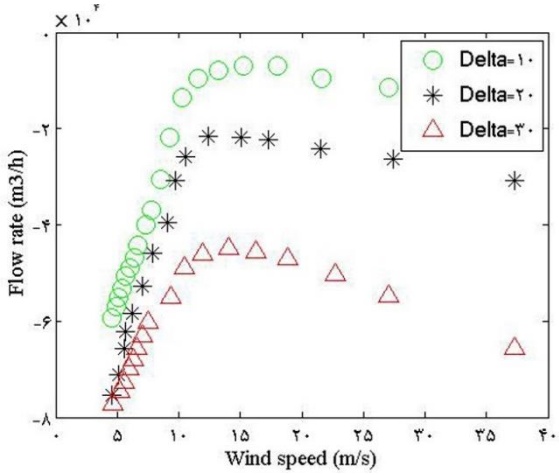
شکل ۹- تاثیر زاویه مخروطی بر منحنی توان توربین

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08]

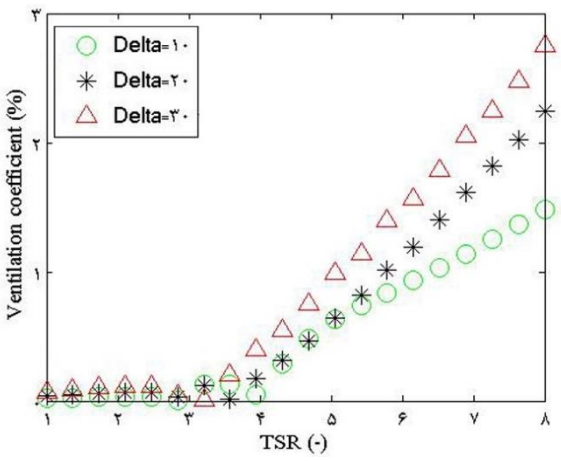
[DOR: 20.1001.1.20089813.1402.10.1.4.2]

با محاسبه سرعت جریان انحرافی برای نیمه رو به باد و نیمه پشت به باد توربین، مجموع دبی جریان منحرف شده از هر دو نیمه با یکدیگر جمع شده و تحت عنوان جریان انحرافی از کل روتور از آن خارج می‌شود. به عبارت دیگر این جریان نشان دهنده برایند جریانی بوده که از کل روتور به سمت محل مورد نظر منحرف می‌شود؛ لذا با کمک رابطه مومنتوم دبی جریانی که از کل روتور خارج می‌شود برای زوایای مخروطی صفر تا ۳۰ درجه مطابق شکل ۱۰ بدست می‌آید از آنجا که سرعت جریان در نیمه رو به باد بیشتر از نیمه پشت به باد است، پس نیمه رو به باد تعیین کننده جهت نهایی انحراف جریان است؛ لذا جهت نهایی آن در راستای محور z- بوده و به همین دلیل مقادیر دبی جریان در محدوده منفی قرار دارد. از طرفی با توجه به این شکل مشاهده می‌شود که در محدوده سرعت ۱۳ m/s مقدار انحراف جریان برای هر یک از زوایای مخروطی به حداقل خود می‌رسد که این نقطه محدوده شروع پدیده استال بوده و در سرعت‌های بیشتر از این مقدار، دبی جریان با شیب ملایم و نامنظمی افزایش می‌یابد (در مقادیر منفی). دلیل این رشد ناشی از افزایش ناگهانی ضریب پسا، و نامنظمی آن به دلیل نوسانات ضریب برآ در ناحیه پس از استال است. در سرعت‌های کمتر از ۱۳ m/s که پره توربین دچار استال نمی‌شود، طبیعتا روند نمودار منظم‌تر بوده و نوسان خاصی مشاهده نمی‌شود؛ اما از آنجا که مقدار دبی خروجی از کل روتور وابسته به اختلاف سرعت جریان انحرافی از نیمه رو به باد و نیمه پشت به باد روتور است، و این اختلاف در سرعت‌های باد کمتر ایجاد می‌شود، لذا مقدار دبی جریان انحرافی که از روتور خارج می‌شود، با سرعت باد، رابطه معکوس خواهد داشت.

با بی‌بُعد سازی جریان منحرف شده در راستای محور توربین نسبت به جریان آزاد وارد شده به روتور، می‌توان به نسبت انحراف جریان دست یافت. از آنجا که هدف از این انحراف جریان بحث تهویه است، پس می‌توان این کمیت را ضریب تهویه نام‌گذاری کرد. حال می‌توان تغییرات ضریب تهویه بر حسب نسبت سرعت را که هر دو کمیتی بی‌بُعد هستند، مشابه شکل ۱۱ و برای زوایای مخروطی مختلف رسم کرد.



شکل ۱۰ دبی جریان انحرافی (در راستای z) بر حسب سرعت باد



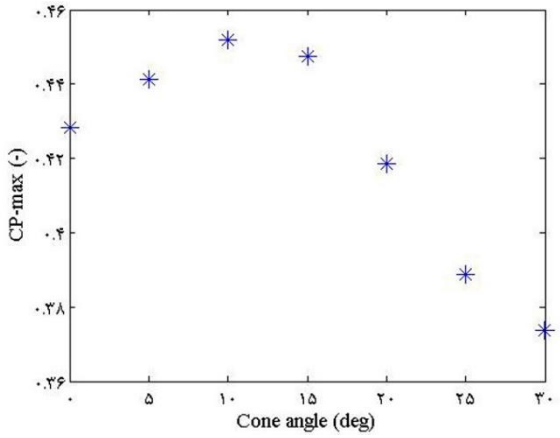
شکل ۱۱ نرخ انحراف جریان (ضریب تهویه) از کل روتو

با توجه به این شکل مشاهده می‌شود که ضریب تهویه با افزایش نسبت سرعت اکیدا صعودی است. به عنوان مثال در نسبت سرعتی معادل ۸، برای زوایای مخروطی ۱۰، ۲۰، و ۳۰ درجه، به ترتیب حدود ۱,۵، ۲,۵، و ۳,۵ درصد از جریان وارد شده به این توربین به صورت عمودی از انتهای توربین خارج می‌شود. به عبارت دیگر با توجه به تعریف نسبت سرعت، با ثابت در نظر گرفتن سرعت چرخش توربین و کاهش سرعت باد، میزان ضریب تهویه افزایش می‌یابد. این مسئله نشان می‌دهد که کاهش سرعت باد باعث می‌شود تا ضریب تهویه افزایش یابد. همچنین مقدار جریان تهویه نیز تا قبل از بروز استال (در سرعت باد ۱۳ m/s) عملکرد

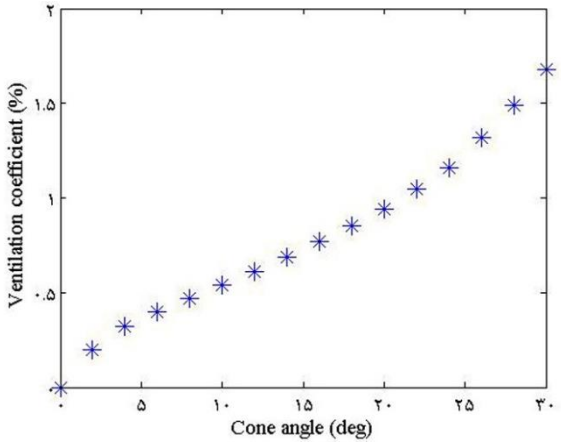
[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08]
[DOR: 20.1001.1.20089813.1402.10.1.4.2]

مشابهی دارد. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که مقدار دبی تهویه و ضریب تهویه به طور کلی تا قبل از بروز پدیده استال، با افزایش نسبت سرعت پره (کاهش سرعت باد)، افزایش می‌یابد.

در شکل ۱۲ بیشینه ضریب توان توربین در زوایای مخروطی مختلف مورد بررسی قرار گرفته است. با توجه به این شکل مشاهده می‌شود که بیشینه ضریب توان با افزایش زاویه مخروطی تا محدوده $\delta = 10^{\circ}$ افزایش یافته و پس از آن کاهش می‌یابد. این موضوع ناشی از تعریف رابطه ضریب توان و به عبارتی بی‌بُعد سازی توان مربوط می‌شود، چرا که با افزایش زاویه مخروطی، توان توربین (مطابق شکل ۱۰) کاهش یافته و در عین حال به دلیل تغییر زاویه مخروطی مساحت جاروب شده توسط توربین کاهش پیدا می‌کند؛ همچنین بیشینه توان در حالتی که $\delta = 10^{\circ}$ است، در سرعت باد کمتری رخ می‌دهد (با توجه به شکل ۹). مجموع این دو عامل باعث می‌شود تا ضریب توان رفتاری مشابه نمودار شکل ۱۴ داشته و در محدوده زاویه مخروطی $\delta = 10^{\circ}$ دارای بیشینه باشد.



شکل ۱۲- رابطه بیشینه ضریب توان نسبت به تغییرات زاویه مخروطی



شکل ۱۳- رابطه میانگین ضریب تهویه نسبت به زاویه مخروطی

به طور مشابه برای ضریب تهویه نسبت به تغییرات زاویه مخروطی می‌توان نموداری مشابه شکل ۱۳ رسم کرد. با توجه به این شکل مشاهده می‌شود که نمودار ضریب تهویه رفتار تقریبا خطی نسبت به تغییر زاویه مخروطی داشته و با افزایش زاویه مخروطی این مقدار افزایش می‌یابد. به عبارت دیگر افزایش زاویه مخروطی باعث افزایش بازده تهویه یا همان ضریب تهویه می‌شود. همچنین به عنوان جمع‌بندی و مقایسه عملکرد توربین مورد نظر در زوایای مخروطی متفاوت از نظر توان و تهویه می‌توان به جدول ۲ مراجعه کرد. با توجه به این جدول مشاهده می‌شود که با افزایش زاویه مخروطی، انرژی سالیانه تولید شده توسط توربین کاهش، و میانگین ضریب تهویه افزایش می‌یابد. این بدان معناست که زاویه مخروطی پره با توان تولیدی توربین و بازدهی آن دارای رابطه عکس است؛ از طرف دیگر این پارامتر با دبی جریان تهویه و ضریب تهویه دارای رابطه مستقیم است. همچنین بررسی منحنی ضریب توان (شکل ۱۲) نشان می‌دهد که این پارامتر تا زاویه مخروطی ۲۰ درجه کاهش محسوسی ندارد، اما با افزایش بیش از حد زاویه مخروطی، دچار کاهش می‌شود.

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08]

[DOR: 20.1001.1.20089813.1402.10.1.4.2]

جدول ۲-مقایسه شاخص‌های توان و تهویه توربین

زاویه مخروطی (درجه)	بیشینه توان (kW)	انرژی تولیدی سالیانه ($MW.h$)	بیشینه ضریب توان (درصد)	میانگین ضریب تهویه (درصد)
۰	۵۸	۶۰	۴۲	۰
۱۰	۳۵	۴۵	۴۵	۰,۵
۲۰	۲۱	۳۰	۴۲	۰,۹
۳۰	۱۵	۲۰	۳۷	۱,۷

۶- نتیجه گیری

در این مطالعه سرعت باد در شهر زاهدان مورد ارزیابی قرار گرفت و مشاهده شد که سرعت باد میانگین سالیانه $۳,۷۷m/s$ بوده و ظرفیت بادی این شهر در حدود $۹۸\ W/m^2$ است. این موضوع نشان می‌دهد که با نصب توربین بادی مناسب در این منطقه، می‌توان انرژی قابل قبولی را خصوصا در مقیاس شهری حاصل کرد. لذا بهره‌برداری از توربین محور عمودی در این تحقیق توانست انرژی سالیانه‌ای معادل $۶۰\ MW.h$، $۴۵\ MW.h$، و $۲۰\ MW.h$ در زوایای مخروطی به ترتیب ۰ درجه، ۱۰ درجه، و ۳۰ درجه تولید کند. این مقادیر به ترتیب معادل ۲۵ درصد، ۲۲ درصد، و ۱۸ درصد از کل انرژی موجود در باد این منطقه است. از طرف دیگر زاویه‌دار کردن پره‌ها موجب ایجاد جریانی تحت عنوان جریان تهویه می‌شود که با هدایت این جریان به سمت محل مورد نظر می‌توان همانند یک بادگیر از آن استفاده کرد. میزان دبی جریان تهویه، در زاویه مخروطی ۱۰ درجه و در محدوده کاری توربین که در حوالی سرعت $۸\ m/s$ است، به بیشینه مقدار خود می‌رسد. این مقدار به طور میانگین برابر $۱۰۰۰۰\ m^3/h$ و معادل ضریب تهویه‌ای کمتر از یک درصد برای این توربین است.

همچنین از سایر دستاوردهای این مطالعه می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- ضریب توان بیشینه توربین در محدوده زاویه مخروطی ۱۰ درجه است.
- دبی جریان منحرف شده و همچنین ضریب تهویه با افزایش زاویه مخروطی افزایش می‌یابد.
- مقدار دبی جریان تهویه تا قبل از استال پره‌ها دارای رابطه معکوس با سرعت باد است؛ در حالیکه بعد از ناحیه استال رابطه مستقیم خواهند داشت.

در نهایت می‌توان بیان کرد که بهره‌برداری از توربین‌های وی-شکل با زاویه مخروطی ۱۰ درجه می‌تواند علاوه بر تامین بخشی از انرژی برق مصرفی به شیوه‌ای تجدیدپذیر، باعث تهویه محل مورد نظر نیز شود. این موضوع در مناطقی که دارای اقلیم گرم و خشک هستند امری مهم و نوین تلقی می‌شود.

فهرست علائم

حروف لاتین

نماد	مشخصه	نماد	مشخصه
a	ضریب القایی	$\dot{m}$	دبی جرمی
V_∞	سرعت جریان آزاد	Q	گشتاور موضعی
V_e	سرعت خروجی از رو به باد	$\bar{Q}$	میانگین گشتاور موضعی
V_n	سرعت جریان عمود بر پره	$C_{\bar{Q}}$	ضریب میانگین گشتاور موضعی

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08]
[DOR: 20.1001.1.20089813.1402.10.1.4.2]

V_t	سرعت جریان مماس بر پره در راستای وتر پره	C_P	ضریب توان
V_s	سرعت جریان مماس بر پره در راستای طول پره	C_L	ضریب برآ
W	سرعت نسبی جریان	C_D	ضریب پسا
V_z	سرعت جریان در راستای محور توربین	L	برآ
V_a	مولفه سرعت در مقطع مورد نظر	D	پسا
C_n	ضریب نیروی عمود بر پره	r	شعاع موضعی پره
C_t	ضریب نیروی مماس بر پره	Δz	طول المان پره
f	تابع مشخصات پره	B	تعداد پره
N	نیروی عمود بر پره	c	وتر پره
T	نیروی مماس بر پره	A	مساحت جانبی روتور
D	نیروی پسای وارد بر پره(در راستای محور x)	AR	نسبت منظری
L	نیروی جانبی وارد بر پره(در راستای محور y)	K	ضریب بارگذاری
Z	نیروی عمودی وارد بر پره (در راستای محور z)	F	ضریب افت نوک پره

مراجع

[1] Kumar A, Prasad S. (2010). Examining wind quality and wind power prospectson Fiji Islands. *Renew Energy*. Vol 35. pp 536–40.

[2] Paraschivoiu I, et al. (2009). H-Darrieus wind turbine with blade pitch control. International Journal of Rotating Machinery.

[3] Leithead W, Jamaieson P. (2013). Influence of lift to drag ratio on optimal aerodynamic performance of straight blade vertical axis wind turbines.

[4] Cheng Q, et al.(2017). Aerodynamic analysis of a helical vertical axis wind turbine. Energies. vol, 10. pp, 575.

[5] Tahani M, et al. (2017). Desighn and numerical investigation of Savonius wind turbine with discharge flow directed capability. Energy. Vol 130. Pp 327-338

[6] Zanforlin S, Deluca S. (2018). Effects of the Reynolds number and the tip losses on the optimal aspect ratio of straight-bladed vertical axis wind turbines. Energy. Vol, 148. pp, 179-195

[7] Rasekh S, et al. (2018). Accuracy of dynamic stall response for wind turbine airfoils based on semi-empirical and numerical methods. Journal of Applied Fluid Mechanics. Vol 11. Pp 1287-1296

[8] Moghimi. M, Motawej. H. (2019). Develop DMST model for performance analysis and parametric evaluation of Gorlov vertical axis wind turbines. Sustainable Energy Technologies and Assessments. 37

[9] A. Abdollahifar, S. SM. Karimian. (2019). Aerodynamic performance of the vertical axis wind turbine as a replacement of aircraft RAT. *Amirkabir Journal of Mechanical Engineering*. Vol 52. pp 2985-3000. (In Persian)

[10] M. Nadimi, M. Khalilian. (2019). Modeling and Comparison of Aerodynamic Characteristics of Two-Bladed and Three-Bladed Vertical Axis Wind Turbines. *Journal of Mechanical Engineering University of Tabriz*. Vol 49. Pp 345-354. (In Persian)

[11] M. Kazemi et al. (2020). Improving the power coefficient of the Darrieus vertical axis wind turbine with the aid of morphing airfoils. *Amirkabir Journal of Mechanical Engineering.* Vol 53. Pp 8. (In Persian)

[12] S. Saham, S. Karimian. (2021). Investigation effective variables on aerodynamic performance of the vertical axis wind turbine. *7th Iran Wind Energy Conference.* https://civilica.com/doc/1227532. (In Persian)

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08]

[DOR: 20.1001.1.20089813.1402.10.1.4.2]

[13] Karimian S, Rasekh S. (2021). Power and noise performance assessment of a variable pitch vertical axis Darrius type wind turbine. Journal of Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering. Vol 43. Pp 1-22.
[14] Alamdari P, et al. (2012). Assessment of wind energy in Iran: a review. *Renew Sustain Energy*. vol 16(1). pp 836–60.
[15] Mostafaeipour A. (2010). Feasibility study of harnessing wind energy for turbine installation in province of Yazd in Iran. *Renew Sustain Energy*. Vol 14 (1). pp 93–111.
[16] Mostafaeipour A. (2013). Economic evaluation of small wind turbine utilization in Kerman. *Energy Convers Manag*. vol 73. pp 214–25.
[17] Keyhani A, et al. (2010). Anassessment of wind energy potential as a power generation source in the capital of Iran. *Energy*. vol 35. pp 188–201.
[18] Weigt H. Germany's wind energy: the potential for fossil capacity replacement and cost saving. Appl Energy. vol 86. pp 1857–63.
[19] Mostafaeipour A, A barghooei H. (2008). Harnessing wind energy at Manjil area located in north of Iran. *Renew Sustain Energy*. vol 12. pp 1758–66
[20] Akdag SA, Guler O. (2010). Evaluation of wind energy investment interest and electricity generation cost analysis for Turkey. *Appl Energy*. vol 87.pp 2574–80.
[21] Ucar A, Balo F. (2009). Evaluation of wind energy potential and electricity generation at six locations in Turkey. *Appl Energy*. vol 86. pp 1864–72.
[22] Fyrippis I, et al. (2010) Wind energy potential assessment in Naxos Island, Greece. *Appl Energy*. vol 87. pp 577–86.
[23] Xydis G, et al. (2009). Exergy analysis in a wind speed prognostic model as a wind farm sitting selection tool: a case study in Southern Greece. *Appl Energy*. vol 86. pp 2411–20.
[24] Weigt H. Germany's wind energy: the potential for fossil capacity replacement and cost saving. Appl Energy. vol 86. pp 1857–63.
[25] Bekele G, Palm B. (2009). Wind energy potential assessment at four typical locations in Ethiopia. *Appl Energy*. vol 86. pp 388–96.
[26] Jowder FAL. (2009). Wind power analysis and site matching of wind turbine generators in Kingdom of Bahrain. *Appl Energy*. vol 86. pp 538–45.
[27] Elhadidy MA, Shaahid SM. (1999). Feasibility of hybrid (Wind | Solar) power systems for Diiahran, Saudi Arabia. *Renew Energy*. vol 16. pp 970–6.
[28] DaniloFeretić, et al. (1999). Feasibility analysis of wind-energy utilization in Croatia. *Energy*. vol 24. pp 239–46.
[29] Chong WT, et al. (2017). Cross axis wind turbine: Pushing the limit of wind turbine technology with complementary design. *Appl Energy*. Vol, 207. pp, 78–95.
[30] Mohammed A, et al. (2019). Vertical axis wind turbine aerodynamics: Summary and review of momentum models. *Journal of Energy Resources Technology*. Vol 141
[31] Paraschivoiu I. (2002). Wind turbine design with emphasis on darrieus concept
[32] John D. Anderson Jr. (2001). Fundamentals of Aerodynamics. Aeronautical and Aerospace Engineering. 3rd.
[33] Sanvito, A. G., Dossena, V., & Persico, G. (2021). Formulation, validation, and application of a novel 3D BEM tool for vertical axis wind turbines of general shape and size. Applied Sciences, 11(13), 5874.
[34] Li L, Mak C.M. (2007). The assessment of the performance of a wind catcher system using computational fluid dynamics. Building and Environment. Vol 42. pp 1135-1141

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08]
[DOR: 20.1001.1.20089813.1402.10.1.4.2]

چکیده انگلیسی:

Evaluation of ventilation while producing power by a vertical axis wind turbine suitable for the climate of Zahedan city

Sam Saham[1 *]

Master of Science, Department of Mechanical Engineering, Tarbiat Modares University

Received: December 2022, Accepted: March 2022

Abstract

In this research, first, the wind capacity of Zahedan city was evaluated and then the performance of a V-shaped vertical axis wind turbine was investigated. Therefore, the free flow passing through the turbine is deflected by hitting its angular blades and a part of it exits vertically and along the axis of the turbine. This problem causes that with the rotation of the turbine, in addition to generating power, a flow known as ventilation flow is also obtained. This ventilation flow can be used in warm climate so that in addition to energy production, the issue of ventilation of the desired place is also done. In order to parametrically analyze the desired turbine, 3D semi-analytical method is used. The results of this study show that the blade angle has a direct relationship with the amount of ventilation flow. At angle of 10 degrees at the working point of the turbine, about 10,000 m^3/h of the flow leaves the lower end of the turbine under the name of ventilation flow. Therefore, this point is introduced as a suitable point for the operation of the turbine both in terms of power generation and ventilation.

Keywords: Potential of wind energy, Vertical axis wind turbine, Power, Ventilation coefficient

*corresponding author: S_Saham@modares.ac.ir

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08]

[DOR: 20.1001.1.20089813.1402.10.1.4.2]

Cite this article as: Sam Saham, Evaluation of ventilation while producing power by a vertical axis wind turbine suitable for the climate of Zahedan city. Journal of Energy Conversion, 2023, 10(1), 103-118. DOR**:** **20.1001.1.20089813.1402.10.1.4.2**