



Numerical and Experimental study of the effect of increasing aspect ratio of self-starting force to vertical axis wind turbine

Hossein Seifi^{1*}, Shahriar Kouravand², Mohsen Seifi Davary³, Soghra Mohammadzadeh⁴

1- Master of Mechanical Engineering, Department Marine of Engineering, Chabahar Maritime University, Chabahar, Iran

2- Associate Professor, Mechanical Engineering, College of Abouraihan, University of Tehran, Tehran, Iran

3- Master Civil Engineering Student, Islamic Azad University- Germe Branch, Germe, Iran

4- Master Economics Student Economics Department, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran

* P.O.B. 9971756499 Chabahar, Iran, hseifdavary@gmail.com

Received: 1 June 2020 Revised: 16 July 2020 Accepted: 18 August 2020

Abstract

Three airfoils NACA0015, NACA0018 and NACA0021 were selected and in the Q-Blade software, the coefficients of shear, post and the maximum ratio of the exponential coefficients were determined and, finally, the Airfoil Nakata 0015 at a speed of 5 and 10 meters per second, was selected and best. Fluent software was used to solve it, based on the finite volume method. For numerical analysis, the turbulence method K- ω SST was validated with experimental results. The wind turbine schematics was designed in Catia software and the height of the blades was 35 and 75 centimeters, the radius of the blade was 18.5 cm and the length of the airfoil 6.4 Cm is. The results show that in order to operate the turbine of porous blade windings at 35 cm height at speeds of 1, 2, 3, 4, 5, 7, 7.45, 8.25, 8.5 m / s 50% 50%, 33%, 50%, 50%, 60%, 57%, 55%, 50%, and for setting up a porous blade wind turbine at a height of 75 cm at a speed of one, two, three, four, Five, seven, 7.45, 8.25, 8.5, 9, 9.5 m / s 66.6%, 75%, 80%, 71.4%, 66.6%, 76.9%, 80%, 82%, 89%, 100% of the launching force Smooth wind turbine is required at the same height.

Keywords: Aspect Ratio, Self-Starting, Blade, Wind Turbine, Darriues

1. Introduction

The choice of energy for electricity generation depends on the policies of each country. France generates 75% of its energy needs from nuclear power plants, while China and the United States depend on coal and oil for 65.2% and 37%, respectively, to produce most of their energy needs. [1] and make the United States and China the largest producers of greenhouse gases in the world, and with the enactment of strict environmental laws and the energy crisis, industrialized countries take renewable energy seriously [2].

The wind turbine uses kinetic energy and converts it into mechanical power and then electrical power. Rotor design and aerodynamic performance of turbine blades are very important and it is impossible to expect maximum efficiency without optimization operations [3]. One of the reasons for the low progress of vertical turbines compared to horizontal axis turbines is their inability to start up [4].

In a 2010 study, Howell et al. Concluded that increasing the number of blades reduces turbine efficiency, and that three blades have a higher coefficient of performance than other blades [5]. Leicher et al. (2010) showed that the combination of Darius and Savinius wind turbines could help to better launch the Darius vertical axis wind turbine [6]. In 2017, Duak et al. Concluded that the three-blade Darius

wind turbine was capable of high initial start-up at lower wind speeds [7].

The wind turbine blade plays a very important role in the efficiency and output power of the wind turbine and several researches have been done in the field of wind turbine blade optimization that Fogelsang and Thomson, Benini, Tufalo, Hu and Rao optimize the wind turbine feature. Such as chord, ball, number of blades and rotor speed [8, 9, 10].

In this study, the effect of increasing the visibility ratio in porous and direct blades on the driving force of Darius vertical axis wind turbine is investigated. To porous the blade space, rhombus-shaped embossed sheet was used and for straight blade, a simple aluminum sheet with a thickness of 0.3 mm with a thickness equal to embossed sheet was used.

2. Choose airfoil

To select Darius vertical axis wind turbine blade airfoil, three airfoils NACA0015, NACA0018 and NACA0021 were selected and in Q-Blade software, the coefficients of lift, drag and maximum ratio of lift to drag coefficient were obtained, and finally, the airfoil at speeds of 5 and 10 M/s is selected to have the maximum ratio of the coefficient of elevation to the coefficient of high drag.

3. Solution theory and governing equations

The equations governing airflow in a Darius vertical axis wind turbine are the same as the equations of mass survival or continuity and the magnitude of motion, or the equations of momentum.

4. Numerical simulation

Due to the complexity of the airfoil geometry, in order to improve the quality of the networking, the computational range was divided into four areas and each area was networked separately. This has increased the quality of the grid, especially near the airfoil surface, which has improved the orthogonal nature of the grid lines on the airfoil surface at the attack edge. The geometry of the blade cross section and the airfoil meshing are done in Ansys and the created network is structured and a C-shaped computational amplitude is used around the airfoil.

5. Conclusion

The aim of this study was to investigate the effect of aspect ratio in a porous and straight blade on the driving force of a vertical axis Darius wind turbine. To implement this design, Darius vertical axis wind turbine with straight and porous blades has been designed, built and tested. Experimental experiments have been performed on a four-fan blower at speeds of one to 10 meters per second. Numerical results are also obtained in Fluent and Q-Blade software for analysis of airfoil and turbine blades and the results show the improvement of aerodynamic properties of porous blades compared to straight blades.

6. References

- [1] R. Firdaus, T. Kiwata, T. kano and K. Nagao, Numerical and experimental studies of a small vertical axis wind turbine with variable – pitch straight blades, *Journal of Fluid Science and Technology*, Vol.10, No.1, pp.220-228, 2015.
 - [2] M. Bahrami and P. Abbaszadeh, An overview of renewable energies in Iran. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 24, pp.198–208, 2013.
 - [3] D. Nagarkar and D. Khan, Characteristics of ice accretions on blade of the straight-bladed vertical axis wind turbine rotating at low tip speed ratio, *Cold Regions Science and Technology*, Vol. 145, pp. 1-13, 2018.
 - [4] A. Sengupta, A. Biswas and R. Gupta, R, Determination of vertical axis wind turbines optimal configuration through CFD simulations, *International Conference on Future Environment and Energy*, Vol. 28, pp. 13 -19, 2012.
 - [5] K. Gharali and D. Johnson, Numerical modeling of an S809 airfoil under dynamic stall, erosion and high reduced frequencies, *Applied Energy*, Vol. 93, pp. 45 -52, 2012.
 - [6] Y. Lee and H. Lim, Numerical study of the aerodynamic performance of a 500 W Darrieus-type vertical-axis wind turbine, *Renewable Energy*, Vol. 83, pp.407 - 415, 2015.
 - [7] M. Douak, Z. Aouachira, R. Rabehi and N. Allam, Wind energy systems: Analysis of the self-starting physics of vertical axis wind turbine, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 81, No. 1, pp. 1602-1610, 2018.
- [8] P. Fuglsang and K. Thomsen, Cost Optimization of Wind Turbines for Large Scale Offshore Wind Farms, Risoe National Lab., Roskilde (Denmark). *Wind Energy and Atmospheric Physics Dept*, 1998.
- [9] T. Benini and A. Toffolo, Optimal design of horizontal-axis wind turbines using blade element theory and evolutionary computation, *Journal of Solar Energy Engineering*, Vol. 124, No. 4, pp. 357–363, 2002.
- [10] Y. Hu and S. Rao, Robust design of horizontal axis wind turbines using taguchi method, *Journal of Mechanical Design*, Vol.133, No. 11, pp:1-15, 2011.
- Journal of Renewable and New Energy*, 2023, Vol. 10, No. 1



مطالعه نظری و آزمایشگاهی تاثیر افزایش نسبت منظری روتور بر نیروی لحظه‌ای راه‌اندازی توربین باد عمود محور داریوس

حسین سیفی^{۱*}، شهریار کوراوند^۲، محسن سیفی داوری^۳، صغری محمدزاده^۴

۱- کارشناس ارشد، مهندسی مکانیک، دانشگاه دریانوردی و علوم دریایی چابهار، چابهار، ایران

۲- دانشیار، مهندسی مکانیک، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران، تهران، ایران

۳- دانشجوی کارشناسی ارشد، مهندسی عمران، دانشگاه آزاد اسلامی واحد گرمی، گرمی، ایران

۴- دانشجوی کارشناسی ارشد، اقتصاد، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

* چابهار، صندوق پستی ۹۹۷۱۷۵۶۴۹۹، hsefidavary@gmail.com

چکیده

سه ایرفویل NACA0015، NACA0018 و NACA0021 انتخاب و در نرم‌افزار Q-Blade ضرایب برآ، پسا و نسبت بیشینه ضرایب برآ به پسا مشخص و در نهایت ایرفویل ناکا ۰۰۱۵ در سرعت ۵ و ۱۰ متر بر ثانیه بهترین عملکرد را داشته و انتخاب شد. برای حل از نرم‌افزار فلوئنت که پایه اساس آن بر اساس روش حجم محدود است، استفاده شد. برای تحلیل عددی از روش توربولانسی K- ω SST و با نتایج آزمایشگاهی مورد اعتبارسنجی قرار گرفت. طرح‌واره توربین بادی در نرم‌افزار کتیا طراحی و ارتفاع پره‌های طراحی و ساخته شده برابر ۳۵ و ۷۵ سانتی‌متر، شعاع پره ۱۸/۵ سانتی‌متر و طول ایرفویل ۶/۴ سانتی‌متر است. نتایج بدست آمده نشان داد که برای راه‌اندازی توربین بادی پره متخلخل در ارتفاع ۳۵ سانتی‌متری در سرعت‌های یک، دو، سه، چهار، پنج، هفت، ۷/۴۵، ۸/۲۵، ۸/۵ متر بر ثانیه ۵۰٪، ۵۰٪، ۳۳٪، ۵۰٪، ۵۰٪، ۶۰٪، ۵۷٪، ۵۵٪، ۵۰٪ و برای راه‌اندازی توربین بادی پره متخلخل در ارتفاع ۷۵ سانتی‌متری در سرعت یک، دو، سه، چهار، پنج، هفت، ۷/۴۵، ۸/۲۵، ۸/۵، ۹ و ۹/۵ متر بر ثانیه ۶۶/۶٪، ۷۵٪، ۸۰٪، ۷۱/۴٪، ۶۶/۶٪، ۷۶/۹٪، ۸۰٪، ۸۲٪، ۸۹٪ و ۱۰۰٪ نیروی راه‌اندازی توربین بادی پره صاف در همان ارتفاع لازم است.

کلیدواژگان: نسبت منظری، راه‌اندازی، پره، توربین بادی، داریوس

Numerical and Experimental study of the effect of increasing aspect ratio of self-starting force to vertical axis wind turbine

Hossein Seifi^{1*}, Shahriar Kouravand², Mohsen Seifi Davary³, Soghra Mohammadzadeh⁴

1- Master of Mechanical Engineering, Department Marine of Engineering, Chabahar Maritime University, Chabahar, Iran

2- Associate Professor, Mechanical Engineering, College of Abouraihan, University of Tehran, Tehran, Iran

3- Master Civil Engineering Student, Islamic Azad University- Germei Branch, Germei, Iran

4- Master Economics Student Economics Department, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran

* P.O.B. 9971756499 Chabahar, Iran, hsefidavary@gmail.com

Abstract

Three airfoils NACA0015, NACA0018 and NACA0021 were selected and in the Q-Blade software, the coefficients of shear, post and the maximum ratio of the exponential coefficients were determined and, finally, the Airfoil Nakata 0015 at a speed of 5 and 10 meters per second, was selected and best. Fluent software was used to solve it, based on the finite volume method. For numerical analysis, the turbulence method K- ω SST was validated with experimental results. The wind turbine schematics was designed in Catia software and the height of the blades was 35 and 75 centimeters, the radius of the blade was 18.5 cm and the length of the airfoil 6.4 Cm is. The results show that in order to operate the turbine of porous blade windings at 35 cm height at speeds of 1, 2, 3, 4, 5, 7, 7.45, 8.25, 8.5 m / s 50% 50%, 33%, 50%, 50%, 60%, 57%, 55%, 50%, and for setting up a porous blade wind turbine at a height of 75 cm at a speed of one, two, three, four, Five, seven, 7.45, 8.25, 8.5, 9, 9.5 m / s 66.6%, 75%, 80%, 71.4%, 66.6%, 76.9%, 80%, 82%, 89%, 100% of the launching force Smooth wind turbine is required at the same height.

Keywords: Aspect Ratio, Self-Starting, Blade, Wind Turbine, Darriues

۱- مقدمه

انتخاب نوع انرژی برای تولید برق به سیاست‌های هر کشور وابسته است. فرانسه ۷۵ درصد انرژی مورد نیاز خود را از نیروگاه‌های هسته‌ای تولید می‌کند، در حالی که کشورهای چین و آمریکا برای تولید اکثر انرژی مورد نیاز خود به ترتیب ۶۵/۲ و ۳۷ درصد به زغال سنگ و نفت وابسته‌اند [۱] و ایالت متحده آمریکا و چین را به بزرگ‌ترین تولیدکنندگان گازهای گلخانه‌ای در جهان تبدیل و با تصویب قوانین سختگیرانه زیست محیطی و بحران انرژی کشورهای توسعه یافته صنعتی انرژی‌های تجدیدپذیر را جدی می‌گیرند [۲].

توربین باد از انرژی جنبشی استفاده و به توان مکانیکی و سپس به توان الکتریکی تبدیل می‌نماید. طراحی روتور و عملکرد آیرودینامیکی پره‌های توربین خیلی مهم و انتظار داشتن بیشینه راندمان بدون انجام عملیات بهینه‌سازی غیرممکن است [۳]. از جمله عللی که باعث پیشرفت کم توربین‌های عمودی در مقایسه با توربین‌های محور افقی شده ناتوانی آن‌ها در راه‌اندازی اولیه است [۴].

هاول و همکاران در سال ۲۰۱۰ در مطالعه‌شان به این نتیجه رسیدند که افزایش تعداد پره، باعث کاهش بازدهی توربین می‌گردد و سه پره ضریب عملکرد بالایی نسبت به سایر تعداد پره‌ها دارد [۵]. لیچر و همکاران در سال ۲۰۱۰ نشان دادند که ترکیب توربین بادی داریوس و ساوینیوس می‌تواند به راه‌اندازی بهتر توربین بادی عمود محور داریوس کمک نماید [۶]. دوآک و همکاران در سال ۲۰۱۷ به این نتیجه رسیدند که توربین بادی داریوس سه پره قابلیت راه‌اندازی اولیه بالایی در سرعت‌های کمتر باد را دارد [۷].

پره توربین بادی نقش بسیار مهمی در بازده و توان خروجی توربین بادی دارد و تحقیقات متعددی در زمینه بهینه‌سازی پره توربین بادی انجام شده که فوگلسانگ و تامسن، بنینی، توفالو، هو و راتو در مورد بهینه‌سازی ویژگی توربین‌های بادی نظیر وتر، توپی، تعداد پره‌ها و سرعت روتور تحقیق نموده‌اند [۸، ۹، ۱۰].

در این پژوهش به بررسی تاثیر افزایش نسبت دید در پره متخلخل و مستقیم بر نیروی راه‌اندازی توربین بادی محور عمودی داریوس پرداخته می‌گردد. برای متخلخل کردن فضای پره از ورق امباس لوزی شکل و برای پره مستقیم، از ورق ساده آلومینیومی به ضخامت ۰/۳ میلی متر با ضخامت برابر با ورق امباس استفاده گردید.

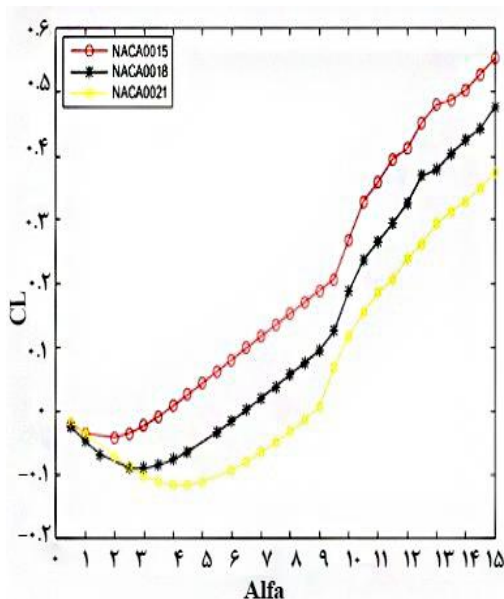
۲- انتخاب ایرفویل

برای انتخاب ایرفویل پره توربین بادی عمود محور داریوس سه ایرفویل NACA0015، NACA0018 و NACA0021 انتخاب و در نرم افزار Q-Blade ضرایب برآ، پسا و نسبت بیشینه ضریب برآ به ضریب پسا بدست آورده و در نهایت ایرفویلی که در سرعت‌های ۵ و ۱۰ متر بر ثانیه نسبت بیشینه ضریب برآ به ضریب پسا بالایی داشته باشد، انتخاب می‌گردد.

۲-۱- ضریب برآ، پسا و نسبت ضریب برآ به ضریب پسای ایرفویل‌های انتخابی در سرعت ۵ متر بر ثانیه

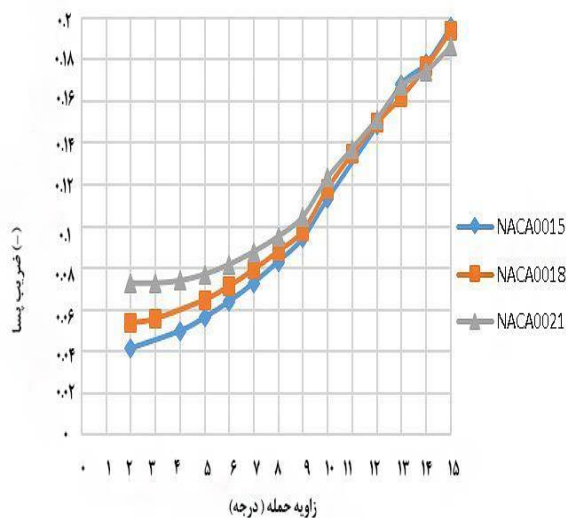
همانطور که در شکل ۱ قابل مشاهده است با افزایش زاویه حمله، ضریب برآی هر سه ایرفویل افزایش پیدا کرده و ایرفویل ناکا ۰۰۱۵ نسبت به دو ایرفویل دیگر ضریب برآی بیشتری داشته و در زاویه ۱۵ درجه ضریب برآی بیشینه برابر با ۰/۵۵ است که بالاترین ضریب برآ در بین ایرفویل‌ها در سرعت ۵ متر بر ثانیه دارد.

فصل‌نامه علمی انرژی‌های تجدیدپذیر و نو، ۱۴۰۲، دوره ۱۰، شماره ۱



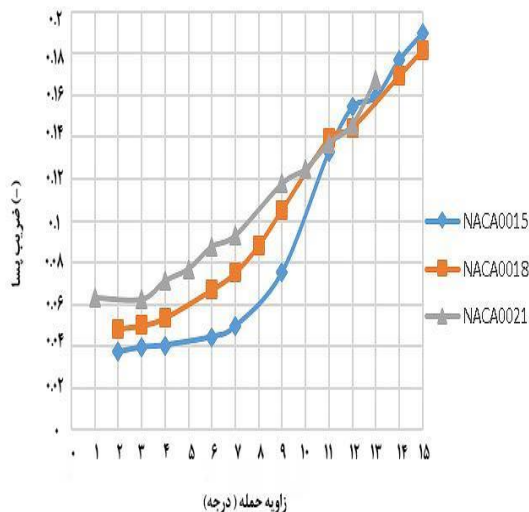
شکل ۱ ضریب برآ ایرفویل‌ها در سرعت ۵ متر بر ثانیه

در شکل ۲ هر سه ایرفویل مقدار ضریب پسای تقریباً برابری در سرعت ۵ متر بر ثانیه داشته و هر سه ایرفویل با افزایش زاویه حمله، ضریب پسای هر سه ایرفویل حالت صعودی به خود گرفته است.



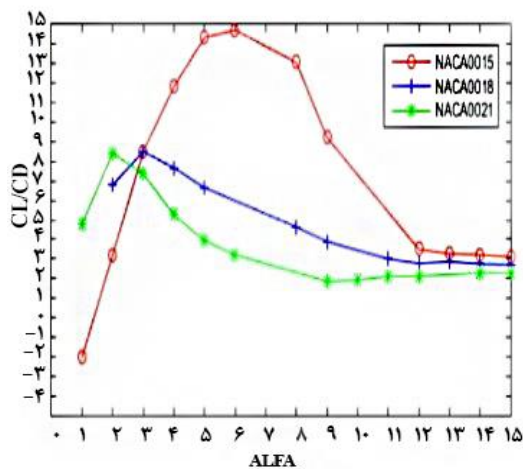
شکل ۲ ضریب پسای ایرفویل‌ها در سرعت ۵ متر بر ثانیه

در شکل ۳ ایرفویل ناکا ۰۰۱۵ نسبت ضریب برآ به ضریب پسای بیشتری نسبت به دو ایرفویل دیگر در سرعت ۵ متر بر ثانیه داشته به طوری که بیشترین مقدار نسبت ضریب برآ به ضریب پسا در زاویه حمله ۱۳ درجه و برابر ۲/۵۸ بوده و نسبت ضریب برآ به ضریب پسا برای ایرفویل ناکا ۰۰۱۸ در زاویه حمله ۱۵ درجه و برابر با ۲/۴۰ بوده که کم‌تر از ایرفویل ناکا ۰۰۱۵ است و برای ایرفویل ناکا ۰۰۲۱ بیشینه نسبت ضریب برآ به ضریب پسا در زاویه ۱۵ درجه و برابر ۲ بوده که کم‌تر از دو ایرفویل دیگر است و در این سرعت ایرفویل ناکا ۰۰۱۵ نسبت به دو ایرفویل دیگر شرایط مناسب‌تری برای انتخاب دارد.



شکل ۵ ضریب پسای ایرفویل‌ها در سرعت ۱۰ متر بر ثانیه

در شکل ۶ ایرفویل ناکا ۰۰۱۵ نسبت ضریب برآ به ضریب پسای بیش‌تری نسبت به دو ایرفویل دیگر در سرعت ۱۰ متر بر ثانیه داشته و بیش‌ترین مقدار نسبت ضریب برآ به ضریب پسا در زاویه حمله ۶/۵ درجه و برابر ۱۵/۳ و نسبت ضریب برآ به ضریب پسا ایرفویل ناکا ۰۰۱۸ در زاویه حمله ۳ درجه و برابر ۸/۲ که و ایرفویل ناکا ۰۰۲۱ بیشینه نسبت ضریب برآ به ضریب پسا در زاویه ۳ درجه و برابر ۸/۵ بوده که کم‌تر از ایرفویل ناکا ۰۰۱۵ است و در این سرعت ایرفویل ناکا ۰۰۱۵ نسبت به دو ایرفویل دیگر شرایط مناسب‌تری برای انتخاب داشته و نسبت ضریب برآ به ضریب پسای بیش‌تری دارد.



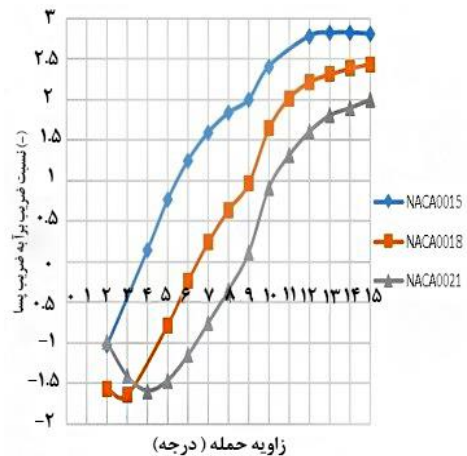
شکل ۶ نسبت ضریب برآ به ضریب پسای ایرفویل‌ها در سرعت ۱۰ متر بر ثانیه

۳- تئوری حل و معادلات حاکم

معادلات حاکم بر جریان هوا در توربین بادی عمود محور داریوس همان معادلات بقای جرم یا پیوستگی و اندازه حرکت یا همان معادلات تکانه هستند. جریان سیال در این مسئله تراکم ناپذیر و به صورت فرمول ۱ است [۱۱] که w و v و u به ترتیب سرعت‌های جریان در راستای x ، y و z بوده و ρ چگالی جریان است.

$$\frac{\partial(\rho u)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho w)}{\partial z} + \frac{\partial \rho}{\partial t} = 0 \quad (1)$$

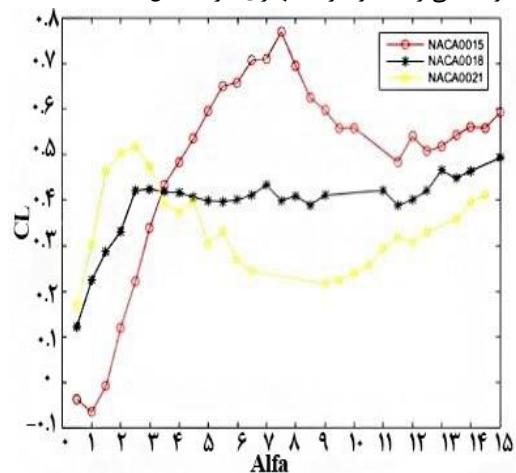
معادله بقای اندازه حرکت را هم می‌توان به صورت فرمول ۲ بیان کرد.



شکل ۳ نسبت ضریب برآ به ضریب پسای ایرفویل‌ها در سرعت ۵ متر بر ثانیه

۲-۲- ضریب برآ، پسا و نسبت ضریب برآ به ضریب پسای ایرفویل‌های انتخابی در سرعت ۱۰ متر بر ثانیه

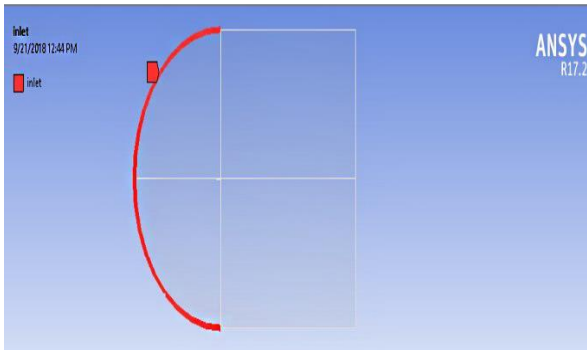
ضریب برآی ایرفویل ناکا ۰۰۱۵ با افزایش زاویه حمله ابتدا سیر صعودی به خود گرفته به طوری که در زاویه حمله ۷/۵ درجه به بیشینه مقدار خود یعنی ۰/۷۲ و ایرفویل ناکا ۰۰۱۸ در زاویه ۴ درجه و ایرفویل ناکا ۰۰۲۱ در زاویه ۳ درجه به ناحیه واماندگی رسیده و ایرفویل ناکا ۰۰۱۵ دیرتر از دو ایرفویل دیگر به ناحیه واماندگی رسیده و شرایط بهتری دارد (شکل ۴).



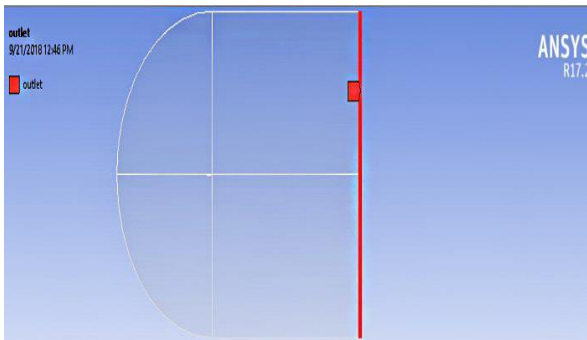
شکل ۴ ضریب برآی ایرفویل‌ها در سرعت ۱۰ متر بر ثانیه

در شکل ۵ ایرفویل ناکا ۰۰۱۵ در ابتدا نسبت به دو ایرفویل دیگر ضریب پسای کم‌تری داشته ولی با افزایش زاویه حمله بیش‌ترین مقدار ضریب درگ در زاویه حمله ۱۵ درجه به مقدار ۰/۱۸۵ رسیده است.

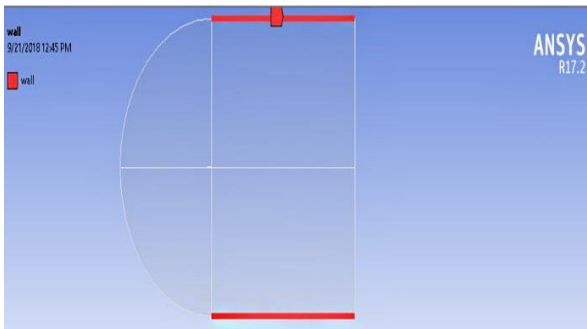
وارد، برای سطح ایرفویل شرط مرزی دیوار Wall و شرط عدم لغزش به صورت پیش فرض در حرکت سیال از روی سطح ایرفویل اعمال و قسمت خروجی شبکه outlet، قسمت بالا و پایین شبکه Wall و ایرفویل مورد نظر Airfoil نام گذاری شد، شکل ۸.



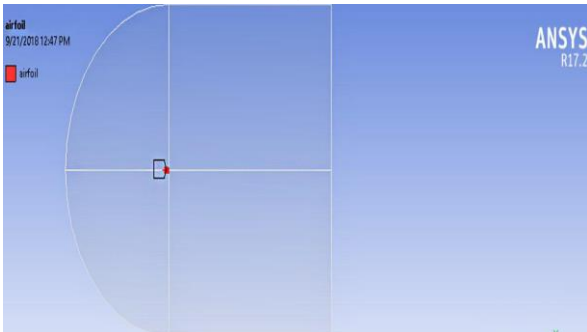
الف



ب



ج



د

شکل ۸ نمایی از شبکه بندی کل دامنه حل (الف) و نمای نزدیک ایرفویل (ب)

۳-۴- استقلال از شبکه

$$\frac{\partial(\rho v)}{\partial t} + \nabla(\rho v v) = -\nabla p + v \cdot (\tau) + \rho g + F \quad (2)$$

در معادله بالا F و g نیروهای حجمی و شتاب گرانشی، τ تانسور تنش و p فشار هست که به صورت فرمول ۳ تعریف می‌گردد.

$$\tau = \mu[(\nabla v + \nabla v^T) - \frac{2}{3} \nabla \cdot v I] \quad (3)$$

۳-۱- نسبت منظری در توربین بادی عمودی

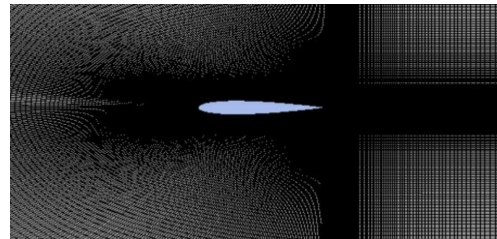
نسبت منظری (AR) در توربین‌های بادی محور عمودی برابر است با نسبت ارتفاع پره h بر طول وتر پره c که به صورت فرمول ۴ بیان می‌گردد [۱۲]:

$$AR = \frac{h}{c} \quad (4)$$

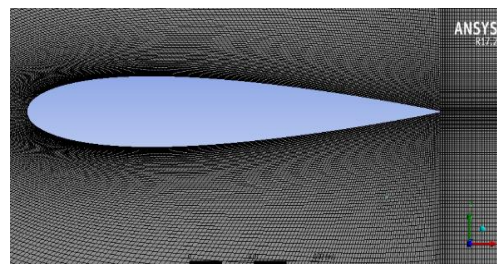
۴- شبیه سازی عددی

۴-۱- نحوه مش بندی

به علت پیچیدگی هندسه ایرفویل، جهت بهبود کیفیت شبکه بندی، دامنه محاسباتی به چهار ناحیه تقسیم و هر ناحیه به صورت جداگانه شبکه بندی شد. این امر کیفیت شبکه بندی را به خصوص در نواحی نزدیک سطح ایرفویل افزایش داده که این گونه مش زنی سبب بهبود خاصیت تعامدپذیری خطوط شبکه بر سطح ایرفویل در لبه حمله گردید. هندسه مقطع پره و مش بندی ایرفویل در انسیس انجام و شبکه ایجاد شده ساختار یافته و از دامنه محاسباتی C شکل حول ایرفویل استفاده شده که شعاع نیم دایره حول دامنه ۱۱ برابر وتر و فاصله مرز خروجی دامنه تا لبه فرار ۱۸ برابر وتر ایرفویل بوده و سعی شده تا مقدار ضریب بی بعد γ^+ به اندازه‌ای باشد تا اولین گره در نزدیکی ایرفویل در زیر لایه لزج قرار گرفته باشد. دامنه محاسباتی و نمای نزدیک در شکل ۷ نشان داده شده است.



الف



ب

شکل ۷ نمایی از شبکه بندی کل ایرفویل NACA0015

۴-۲- شرایط مرزی

شرط مرزی ورودی سرعت Inlet Velocity، در خروجی جریان Pressure Outlet که در این شرط مرزی فشار استاتیک به صورت نسبی در مرز خروجی

فصل نامه علمی انرژی‌های تجدیدپذیر و نو، ۱۴۰۲، دوره ۱۰، شماره ۱

برای بررسی استقلال حل عددی و نتایج از شبکه محاسباتی، تحقیقی انجام شد که در آن از سه نوع شبکه متفاوت در حالت پایا و در زاویه حمله پنج و ۱۰ درجه و سه نوع شبکه بندی درشت با تعداد ۱۵۰۰۰۰، متوسط با تعداد ۲۵۰۰۰۰ و ریز به تعداد ۳۵۰۰۰۰ برای ایرفویل NACA0015 مورد ارزیابی قرار گرفت که بررسی نتایج در شکل‌های ۹ و ۱۰ نشان داده شده است.



الف



ب

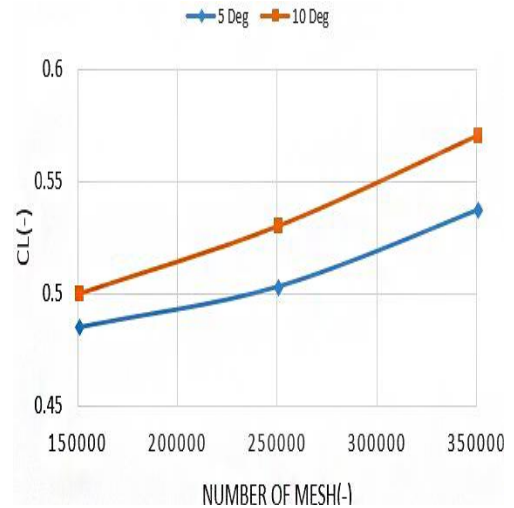
شکل ۱۱ شماتیک و ساخت توربین

۱-۵- ساخت بازوهای توربین

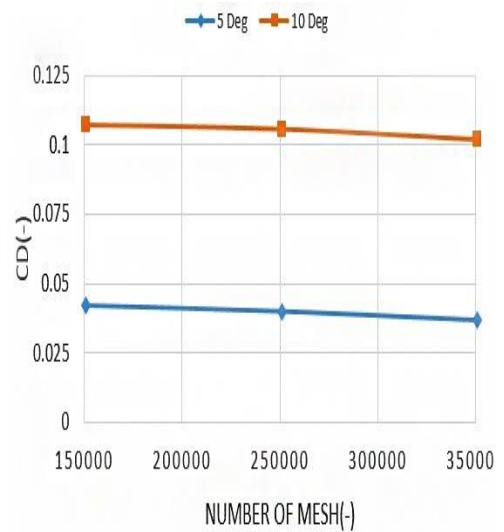
برای ساخت بازوی توربین ابتدا فولاد به قطر ۱۰ میلی‌متر و به طول ۱۸/۵ سانتی‌متر برش و سپس به فاصله ۱۰ میلی‌متر از یک طرف بازو، سوراخی به قطر پنج میلی‌متر و پخی به اندازه ۸/۵ میلی‌متر ایجاد و برای این‌که بازوها را بتوان به شفت توربین وصل و راحت‌تر بتوان ارتفاع پره‌ها را افزایش یا کاهش داد، قطعه‌ای به قطر داخلی و خارجی ۲۰ و ۲۵ میلی‌متر طراحی و ساخته شد، شکل ۱۲.



الف



شکل ۹ استقلال از شبکه ضریب برآ در زوایای مختلف



شکل ۱۰ استقلال از شبکه ضریب پسا در زوایای مختلف

با توجه به شکل‌های ۹ و ۱۰ مشاهده می‌گردد که نتایج با افزایش سلول‌های شبکه ضریب برآ و پسا در زاویه‌های پنج و ۱۰ درجه تاثیر گذاشته و تغییر کرده است.

۵- طراحی و ساخت

شماتیک توربین بادی در نرم‌افزار کتیا طراحی شکل (۱۱-الف) و در مقیاس $\frac{1}{5}$ نمونه اصلی ساخته شکل (۱۱-ب) و ارتفاع پره‌های طراحی و ساخته شده برابر ۳۵ و ۷۵ سانتی‌متر، شعاع پره ۱۸/۵ سانتی‌متر و طول ایرفویل برابر ۶/۴ سانتی‌متر است.

با استفاده از پرچ و پیچ خودرو به هم وصل و با استفاده از ساعت اندیکاتور، لقی و فرورفتگی پره‌های مستقیم و متخلخل کنترل شده تا برآمدگی و فرورفتگی در پره‌ها ایجاد نشود و کنترل پره‌ها دقیق و در هر حالت مقایسه، هر کدام از پره‌ها شرایط و کنترل دقیق و یکسانی دارند تا خطایی در محاسبات و ساخت پیش نیاید شکل ۱۴.



الف



ب



ج



ب

شکل ۱۲ اتصال بازوها در ارتفاع کوچک (الف) و اتصال بازوها در ارتفاع بزرگ (ب)

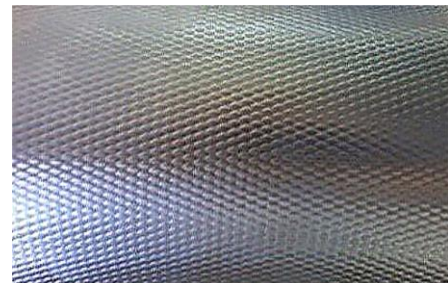
۲-۵- استفاده از ورق آلومینیوم برای ساخت پره

آلومینیوم و آلیاژهای آن به طور گسترده‌ای در صنایع مختلف به کار گرفته شد. این آلیاژها به دلیل دانسیته پایین، هدایت حرارتی بالا و خواص الکترومغناطیس، در صنایع هوافضا، قطعات هواپیما و سایر صنایع کاربرد فراوانی دارند.

ورق آلومینیومی نوع خاصی از ورق است که از آلیاژ سری یک، با ویژگی‌های فلز آلومینیوم تولید و در دسته‌های ورق فلزی سبک قرار می‌گیرد. برای ساخت پره‌ها از یک ورق ساده آلومینیوم به ضخامت ۰/۳ میلی‌متر به ابعاد ۲×۱ متر و برای ساخت پره متخلخل از ورق آلومینیوم امباس که به صورت خلل و فرج به ضخامت ۰/۳ میلی‌متر استفاده شد و پره‌ها دارای پیچش نبوده و از نوع راست پره هستند.



الف



ب

شکل ۱۳ ورق ساده آلومینیوم و امباس لوزی شکل

برای ساخت پره از ایرفویل NACA0015 و جنس مورد استفاده برای روکش پره‌ها از ورق آلومینیوم ساده برای پره مستقیم و برای پره متخلخل از روکش ورق امباس که به صورت خلل و فرج است، استفاده و ورق‌های آلومینیوم

فصل‌نامه علمی انرژی‌های تجدیدپذیر و نو، ۱۴۰۲، دوره ۱۰، شماره ۱



ب

شکل ۱۵ نیروسنج و نحوه نصب نیروسنج به توربین بادی محور عمودی داریوس

۴-۵- وسایل مورد نیاز برای ساخت، تست و اندازه‌گیری

یکی از مهم‌ترین قسمت در این کار اندازه‌گیری متغیرهای مورد نظر جهت بررسی و تحلیل سیستم راه‌انداز، داده برداری با استفاده از ابزار اندازه‌گیری دقیق شامل ساعت اندیکاتور، دورسنج، سرعت‌سنج و دیگر ابزارآلات اندازه‌گیری است.



ب



الف



د



ج

شکل ۱۶ ابزارهای اندازه‌گیری

ساعت اندیکاتور یا ساعت اندازه‌گیری جز ابزارهای اندازه‌گیری متغیر است که با دقت $0/01$ میلی‌متر بعد از برش قطعات و تعیین اختلاف سطح پیچ متری و سایر قطعات مورد استفاده در ساخت توربین با دقت $0/01$ میلی‌متر استفاده



د

شکل ۱۴ (الف) پره طراحی شده، شکل (ب-۱۴) توربین بادی پره مستقیم با ارتفاع ۷۵ سانتی‌متر، شکل (ج-۱۴) پره متخلخل به ارتفاع ۷۵ سانتی‌متری ساخته شده و شکل (د-۱۴) توربین بادی پره متخلخل با ارتفاع ۳۵ سانتی‌متری

۳-۵- نیروی راه‌اندازی پره مستقیم و متخلخل در ارتفاع ۳۵ سانتی‌متری

یکی از مشکلات توربین‌های بادی محور عمودی داریوس توانایی کم آن‌ها در راه‌اندازی اولیه بوده که اساس کار این پژوهش هم بر این اساس است. برای همین لازم است در ابتدا نیروی لازم برای شروع به حرکت توربین را اندازه‌گیری کرد. شکل ۱۵ نحوه استفاده نیروسنج برای ایجاد نیروی راه‌اندازی اولیه را نشان می‌دهد. برای این کار ابتدا در سرعت بادی که توربین می‌تواند در آن شروع به کار کند، نیروسنج را به پره توربین متصل و سپس نیروی مورد نیاز برای اندازه‌گیری در پره مستقیم و متخلخل در ارتفاع‌های ۳۵ و ۷۵ سانتی‌متری مشخص شد. لازم به ذکر است که ارتعاشات کل دستگاه در حالت دینامیکی محدوده مجاز بوده و برای اندازه‌گیری دقیق‌تر نیروسنج با دقت $0/2$ واسنجی شده‌اند.



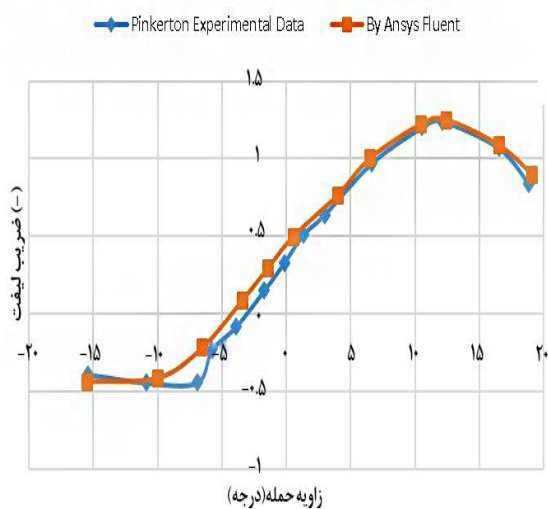
الف

د- خطای دستگاه‌های اندازه‌گیری: اگر چه دستگاه به دقت واسنجی شده ولی وجود مقداری خطا در ثبت اطلاعات اجتناب‌ناپذیر است. خطاهای دستگاه می‌تواند مربوط به نیروسنج، دورسنج یا سرعت‌سنج باشد که دارای دقت ۰/۲ درصد است.

۶- بحث و نتایج

۶-۱- اعتبارسنجی داده‌های تئوری با استفاده از نرم‌افزار انسیس فلونت و Q-Blade

برای اعتبارسنجی نتایج انسیس فلونت، با نتایج تجربی Pinkerton [۱۳] مقایسه شد که با نزدیک شدن به مرحله واماندگی و در زوایای حمله بالا، به خاطر جدایی جریان و لرزش مدل که به دمنده وارد می‌گردد، نتایج دارای اختلاف در واماندگی و در زمان افزایش زاویه حمله تا قبل از واماندگی، ضریب نیروی برآ به صورت خطی تغییر کرده و درصد خطا برابر ۳/۲ درصد است. شکل ۱۸.



شکل ۱۸ مقایسه تحلیل عددی ضریب لیفت به زاویه حمله با نتایج تجربی

برای صحت کار انجام شده در مرحله اول نتایج به دست آمده را با داده‌های عملی به دست آمده توسط پینکرتون [۱۳] و تحلیل داناو [۱۴] برای ایرفویل NACA4412 در عدد رینولدز ۲۵۰۰۰۰ و زوایای صفر تا ۲۰ درجه اعتبارسنجی شد، شکل ۱۹.

در زمان افزایش زاویه حمله تا قبل از زاویه واماندگی، ضریب نیروی برآ به صورت خطی افزایش پیدا کرده و در روش حاضر مدل انتخاب شده دقیق‌تر نسبت به مدل داناو، نتایج را پیش‌بینی و با نزدیک شدن به مرحله واماندگی در زاویه حمله بالا، به خاطر جدایی جریان، نتایج دارای اختلاف در نزدیکی‌های زاویه واماندگی بوده و مقدار بیشینه ضریب برای پیش‌بینی شده در تحقیق حاضر خیلی نزدیک‌تر نسبت به مدل حل شده داناو برای مدل تجربی و خطای نتایج Q-Blade برابر ۵/۹ درصد است

و برای ایجاد جریان باد از دمنده که از چهار فن با قابلیت هوادهی و برای اندازه‌گیری سرعت باد از سرعت‌سنج لوترون مدل YK2004AH و برای اندازه‌گیری دوران توربین از یک دورسنج لوترون مدل DT-2268 استفاده شد.

۵-۵- تست توربین

بعد از ساخت توربین بادی محور عمودی داریوس با پره‌های مستقیم و متخلخل در جلوی دمنده قرار و شروع به تست در سرعت‌های مختلف نموده و نیروی راه‌اندازی توربین بادی در هر دو حالت پره مستقیم و متخلخل اندازه‌گیری و در شکل ۱۷ قرارگیری توربین بادی در مقابل دمنده را نشان می‌دهد.



الف



ب

شکل ۱۷ تست توربین در ارتفاع ۳۵ سانتی‌متری

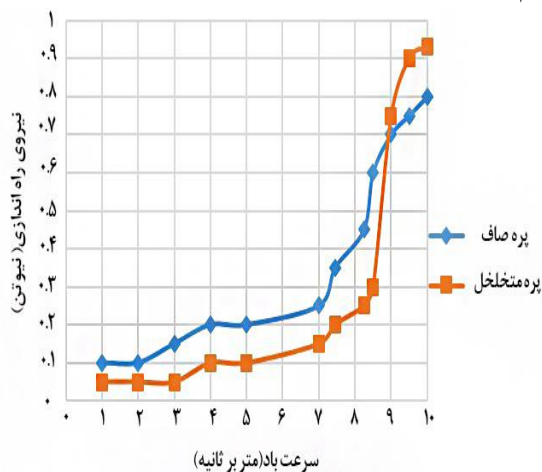
۵-۶- انواع خطاها

در پژوهش حاضر، خطاهای موجود به صورت زیر است:

الف- خطای اندازه‌گیری سرعت دمنده: سرعت در مقطع آزمون تست باد با استفاده از سرعت‌سنج و حسگر نصب شده بر روی دمنده تعیین شد.
ب- خطای تنظیم موقعیت قرارگیری مدل در فاصله مورد نظر: اگر چه با استفاده از ساعت اندیکاتور، شابلون و ترازسنج دیجیتالی سعی گردید که مدل دقیقاً در محل خود قرار گیرد.

ج- خطای موجود در ساخت مدل: به دلیل خطای دستگاه‌های ساخت مدل، همواره در این مرحله مقداری خطا ایجاد شده که بر نتایج تست تاثیر می‌گذارد.

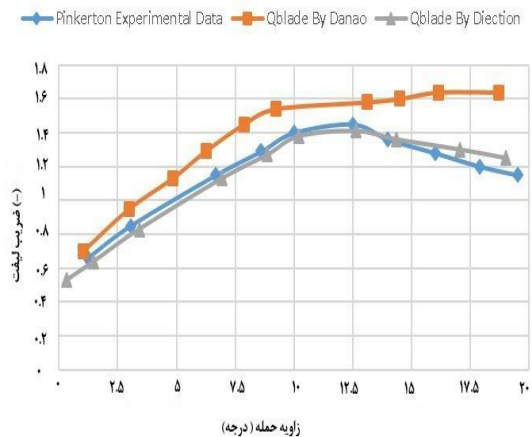
برای راه‌اندازی آن در سرعت‌های ذکر شده دو برابر پره متخلخل نیرو باید وارد گردد تا شروع به دوران نماید. در سرعت هفت متر بر ثانیه برای راه‌اندازی توربین بادی پره متخلخل ۰/۱۵ نیوتن و مستقیم ۰/۲۵ نیوتن و در سرعت ۷/۴۵ متر بر ثانیه نیروی مورد نیاز برای شروع به چرخش توربین بادی پره متخلخل ۰/۲۰ نیوتن و برای توربین بادی پره مستقیم برابر ۰/۳۵ نیوتن و در سرعت ۸/۲۵ متر بر ثانیه نیروی راه‌اندازی توربین بادی پره متخلخل برابر ۰/۲۵ نیوتن و پره مستقیم ۰/۴۵ نیوتن و در سرعت ۸/۵ متر بر ثانیه مقدار نیروی لازم برای راه‌اندازی توربین بادی پره متخلخل برابر ۰/۳۰ نیوتن و پره مستقیم ۰/۶۰ نیوتن است و در سرعت نه متر بر ثانیه نیروی راه‌اندازی توربین بادی پره متخلخل ۰/۷۵ نیوتن و پره مستقیم ۰/۷۰ نیوتن است. در سرعت ۹/۵ متر بر ثانیه نیروی راه‌اندازی توربین بادی پره متخلخل ۰/۹۰ نیوتن و پره مستقیم ۰/۷۵ نیوتن است که در سرعت ۹/۵ و نه متر بر ثانیه، نیروی راه‌اندازی توربین بادی پره متخلخل نسبت به پره مستقیم بیش‌تر و در سرعت ۱۰ متر بر ثانیه نیروی راه‌انداز توربین بادی پره متخلخل ۰/۹۳ نیوتن و پره مستقیم ۰/۸۰ نیوتن است. در سرعت ذکر شده نیروی راه‌انداز توربین بادی پره متخلخل بیش‌تر از توربین بادی پره صاف است و در این سرعت دوران پره متخلخل برای شروع به چرخش انرژی زیادی نسبت به پره مستقیم صرف خواهد نمود. ولی برای سرعت‌های یک تا نه متر بر ثانیه نیروی مورد لازم برای راه‌اندازی در توربین بادی پره متخلخل کم‌تر از پره مستقیم و در سرعت نه تا ۱۰ متر بر ثانیه نیروی مورد نیاز برای دوران توربین بادی پره متخلخل بیش‌تر از پره مستقیم است.



شکل ۲۱ مقایسه نیروی راه‌اندازی توربین بادی با پره مستقیم و متخلخل برحسب نیوتن در ارتفاع ۳۵ سانتی‌متر

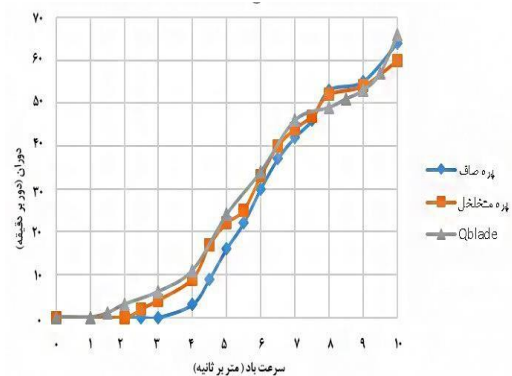
۲-۲-۶- مطالعه تجربی نیروی لازم برای راه‌اندازی توربین بادی عمود محور داریوس در ارتفاع ۷۵ سانتی‌متر برای پره مستقیم و متخلخل

شکل ۲۲ مقایسه نیروی راه‌اندازی توربین بادی عمود محور داریوس در ارتفاع ۷۵ سانتی‌متری برای پره مستقیم و متخلخل را نشان می‌دهد. مقدار نیرویی که لازم است تا توربین در سرعت‌های مختلف شروع به دوران کند. اگر نیروی لازم برای راه‌اندازی توربین بادی در سرعت‌های مختلف بیش‌تر باشد، به جای اینکه صرف تولید توان و شروع دوران شود، صرف تولید نیروی راه‌انداز می‌گردد. توربین بادی پره متخلخل نیروی راه‌انداز کم‌تری نسبت به توربین بادی پره مستقیم نیاز دارد تا شروع به دوران کند، به طوری که در سرعت یک متر بر ثانیه نیروی راه‌انداز توربین بادی پره متخلخل ۰/۱۰ نیوتن و پره صاف برابر



شکل ۱۹ اعتبارسنجی داده‌های Q-blade

برای صحت‌سنجی داده‌های بدست آمده در نتایج آزمایشگاه حاصل از دوران توربین بادی پره صاف و متخلخل در ارتفاع ۳۵ سانتی متری در سرعت بادی مختلف، نتایج را در نرم افزار Q-blade تحلیل کرده که با افزایش سرعت باد، دوران توربین بادی افزایش پیدا کرده و مدل عددی، نتایج آزمایشگاهی را به دقت پیش‌بینی کرده و خطای نتایج تجربی شامل خطای دستگاه اندازه‌گیری یا سرعت دمنده، خطای ساخت مدل و تنظیم موقعیت قرارگیری است که در شکل ۲۰ نتایج تصدیق داده‌های تجربی را نشان می‌دهد.

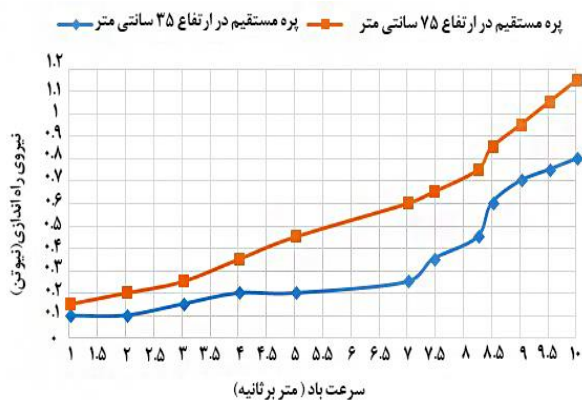


شکل ۲۰ تصدیق و صحت‌سنجی داده‌های تجربی

۲-۶- مطالعه آزمایشگاهی نیروی لازم برای راه‌اندازی توربین بادی عمود محور داریوس در ارتفاع ۳۵ سانتی‌متر برای پره مستقیم و متخلخل

مقدار نیرویی که لازم است تا توربین در سرعت‌های مختلف شروع به دوران کند. اگر نیروی لازم برای راه‌اندازی توربین بادی در سرعت‌های مختلف بیش‌تر باشد، به جای اینکه صرف تولید توان و شروع دوران شود، صرف تولید نیروی راه‌انداز می‌گردد. شکل ۲۱ مقایسه نیروی راه‌اندازی توربین بادی پره مستقیم و متخلخل را در سرعت‌های مختلف باد نشان می‌دهد. توربین بادی پره متخلخل نیروی راه‌انداز کم‌تری نسبت به توربین بادی پره مستقیم نیاز دارد تا شروع به دوران کند، به طوری که در سرعت‌های یک، دو و سه متر بر ثانیه نیروی راه‌انداز ۰/۵۰ نیوتن و در پره مستقیم در سرعت یک و دو متر بر ثانیه نیروی مورد نیاز برای شروع ۰/۱۰ نیوتن که دو برابر مقدار نیروی لازم دوران توربین پره متخلخل و در سرعت سه متر بر ثانیه نیروی لازم پره مستقیم سه برابر توربین بادی پره متخلخل است. در سرعت چهار و پنج متر بر ثانیه نیروی مورد نیاز پره متخلخل برابر ۰/۱۰ نیوتن و پره مستقیم ۰/۲۰ نیوتن است که

داریوس پره مستقیم سیر صعودی به خود گرفته و با افزایش سرعت باد نیروی راهاندازی توربین بادی در دو حالت افزایش پیدا کرده به طوری که در سرعت یک متر بر ثانیه با افزایش نسبت دید نیروی راهاندازی توربین بادی ۱/۵ برابر، در سرعت ۲ متر بر ثانیه ۲ برابر، در سرعت ۳ متر بر ثانیه ۱/۶ برابر، در سرعت ۴ متر بر ثانیه ۱/۷۵ برابر، در سرعت ۵ متر بر ثانیه ۲/۲۵ برابر، در سرعت ۷ متر بر ثانیه ۲/۴ برابر، در سرعت ۷/۴۵ متر بر ثانیه ۱/۸۵ برابر، در سرعت ۸/۵ متر بر ثانیه ۱/۴۲۵ برابر، در سرعت ۹ متر بر ثانیه ۱/۳۵ برابر، در سرعت ۹.۵ متر بر ثانیه ۱/۸ برابر و در سرعت ۱۰ متر بر ثانیه ۱/۴ برابر است که در تمام سرعتها با افزایش نسبت دید نیروی راهاندازی توربین بادی پره مستقیم افزایش پیدا کرده و در سرعت ۷ متر بر ثانیه بیشترین مقدار نیروی راهاندازی و در سرعت ۹ متر بر ثانیه کمترین مقدار نیروی راهاندازی را دارد.



شکل ۲۳ مقایسه نیروی راهاندازی توربین بادی با پره مستقیم بر حسب نیوتن در ارتفاع ۳۵ و ۷۵ سانتی‌متر

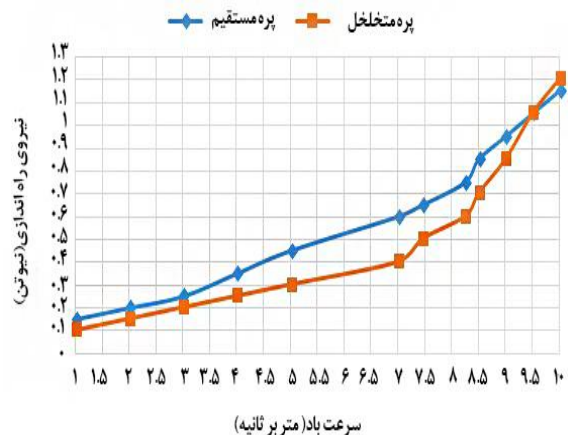
۲-۴-۶- مقایسه تجربی نیروی لازم برای راهاندازی توربین بادی عمود محور داریوس در ارتفاع ۳۵ و ۷۵ سانتی‌متر برای پره متخلخل

همانطور که در شکل ۲۴ قابل مشاهده است با افزایش ارتفاع و نسبت دید توربین بادی از ۵/۴۶ به ۱۱/۷ نیروی راهاندازی توربین بادی محور عمودی داریوس پره متخلخل سیر صعودی به خود گرفته و با افزایش سرعت باد نیروی راهاندازی توربین بادی در دو حالت افزایش پیدا کرده به طوری که در سرعت یک متر بر ثانیه با افزایش نسبت دید نیروی راهاندازی توربین بادی ۲ برابر، در سرعت ۲ متر بر ثانیه ۳ برابر، در سرعت ۳ متر بر ثانیه ۴ برابر، در سرعت ۴ متر بر ثانیه ۲/۵ برابر، در سرعت ۵ متر بر ثانیه ۳ برابر، در سرعت ۷ متر بر ثانیه ۲/۶ برابر، در سرعت ۷/۴۵ متر بر ثانیه ۲/۵ برابر، در سرعت ۸/۲۵ متر بر ثانیه ۲/۴ برابر، در سرعت ۸/۵ متر بر ثانیه ۲/۳۳ برابر، در سرعت ۹ متر بر ثانیه ۱/۱۳ برابر، در سرعت ۹/۵ متر بر ثانیه ۱/۱۶ برابر و در سرعت ۱۰ متر بر ثانیه ۱/۲۹ برابر بوده که در تمام سرعتها با افزایش نسبت دید نیروی راهاندازی توربین بادی پره مستقیم افزایش پیدا کرده و در سرعت ۴ متر بر ثانیه بیشترین مقدار نیروی راهاندازی و در سرعت ۹ متر بر ثانیه کمترین مقدار نیروی راهاندازی را دارد.

۰/۱۵ نیوتن و در سرعت دو متر بر ثانیه نیروی راهانداز پره متخلخل ۰/۱۵ نیوتن و پره مستقیم برابر ۰/۲۰ نیوتن و در سرعت سه متر بر ثانیه نیروی مورد نیاز پره متخلخل برای شروع ۰/۲۰ نیوتن و نیروی لازم پره مستقیم ۰/۲۵ نیوتن است.

در سرعت چهار متر بر ثانیه نیروی مورد نیاز پره متخلخل برابر ۰/۲۵ نیوتن و پره مستقیم ۰/۳۵ نیوتن و در سرعت پنج متر بر ثانیه نیروی راهانداز پره متخلخل ۰/۳۰ نیوتن و پره مستقیم برابر ۰/۴۵ نیوتن و در سرعت هفت متر بر ثانیه برای راهاندازی توربین بادی پره متخلخل ۰/۴۰ نیوتن و مستقیم ۰/۶۰ نیوتن و در سرعت ۷/۴۵ متر بر ثانیه نیروی مورد نیاز برای شروع به چرخش توربین بادی پره متخلخل ۰/۵۰ نیوتن و برای توربین بادی پره مستقیم برابر ۰/۶۵ نیوتن و در سرعت ۸/۲۵ متر بر ثانیه نیروی راهاندازی توربین بادی پره متخلخل برابر ۰/۶۰ نیوتن و پره مستقیم ۰/۷۵ نیوتن و در سرعت ۸/۵ متر بر ثانیه مقدار نیروی لازم برای راهاندازی توربین بادی پره متخلخل برابر ۰/۷۰ نیوتن و پره مستقیم ۰/۸۵ نیوتن و در سرعت نه متر بر ثانیه نیروی راهانداز توربین بادی پره متخلخل ۰/۸۵ نیوتن و پره مستقیم ۰/۹۵ نیوتن و در سرعت ۹/۵ متر بر ثانیه نیروی راهاندازی توربین بادی پره مستقیم و متخلخل ۱/۰۵ نیوتن که در سرعت ۹/۵ متر بر ثانیه نیروی راهاندازی توربین بادی پره متخلخل و مستقیم با هم برابر است.

در سرعت ۱۰ متر بر ثانیه نیروی راهانداز توربین بادی پره متخلخل ۱/۲۰ و پره مستقیم ۱/۱۵ نیوتن است که در سرعت ذکر شده نیروی راهانداز توربین بادی پره متخلخل بیش‌تر از توربین بادی پره صاف هست و در این سرعت دوران پره متخلخل برای شروع به چرخش انرژی زیادی نسبت به پره مستقیم صرف خواهد نمود. ولی برای سرعت‌های یک تا ۹/۵ متر بر ثانیه نیروی مورد لازم برای راهاندازی در توربین بادی پره متخلخل کم‌تر از پره مستقیم بوده و در سرعت ۱۰ متر بر ثانیه نیروی مورد نیاز برای دوران توربین بادی پره متخلخل بیش‌تر از پره مستقیم است.



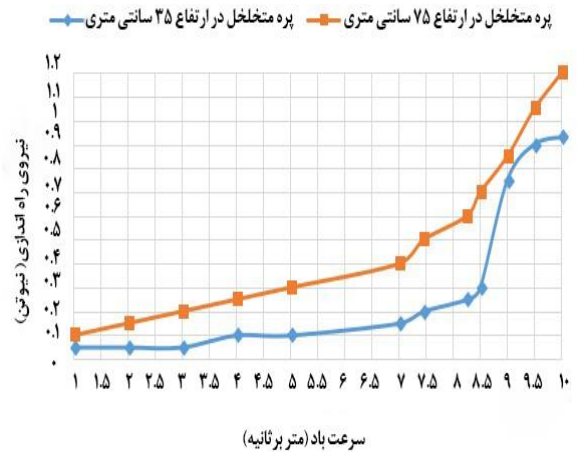
شکل ۲۴ مقایسه نیروی راهاندازی توربین بادی با پره مستقیم و متخلخل بر حسب نیوتن در ارتفاع ۳۵ و ۷۵ سانتی‌متر

۲-۳-۶- مقایسه تجربی نیروی لازم برای راهاندازی توربین بادی عمود محور داریوس در ارتفاع ۳۵ و ۷۵ سانتی‌متری پره مستقیم

همانطور که در شکل ۲۳ قابل مشاهده است با افزایش ارتفاع و نسبت دید توربین بادی از ۵/۴۶ به ۱۱/۷ نیروی راهاندازی توربین بادی محور عمودی

نتایج نشان داد که برای راهاندازی توربین بادی پره متخلخل در ارتفاع ۳۵ سانتی‌متری در سرعت‌های یک و دو متر بر ثانیه ۵۰٪، در سرعت سه متر بر ثانیه ۳۳٪، در سرعت چهار و پنج متر بر ثانیه ۵۰٪، در سرعت هفت متر بر ثانیه ۶۰٪، در سرعت ۷/۴۵، ۸/۲۵ و ۸/۵ متر بر ثانیه ۵۷٪، ۵۵٪ و ۵۰٪ نیروی راهاندازی توربین بادی پره صاف در همان ارتفاع لازم است تا شروع به دوران نماید و برای راهاندازی توربین بادی پره صاف در سرعت نه متر بر ثانیه ۹۳٪ نیروی توربین بادی پره متخلخل و در سرعت ۱۰ متر بر ثانیه ۸۶٪ نیروی راهاندازی توربین بادی پره متخلخل لازم است تا شروع به دوران نماید.

نتایج نشان داد که برای راهاندازی توربین بادی پره متخلخل در ارتفاع ۷۵ سانتی‌متری در سرعت یک متر بر ثانیه ۶۶٪، در سرعت دو متر بر ثانیه ۷۵٪، در سرعت سه متر بر ثانیه ۸۰٪، در سرعت چهار متر بر ثانیه ۷۱٪، در سرعت پنج و هفت متر بر ثانیه ۶۶٪، در سرعت ۷/۴۵ متر بر ثانیه ۷۶٪، در سرعت ۸/۲۵ متر بر ثانیه ۸۰٪، در سرعت ۸/۵ متر بر ثانیه ۸۲٪، در سرعت ۹ متر بر ثانیه ۸۹٪، در سرعت ۹/۵ متر بر ثانیه ۱۰۰٪ نیروی راهاندازی توربین بادی پره صاف در همان ارتفاع لازم است تا شروع به دوران نماید و برای راهاندازی توربین بادی پره صاف در سرعت ده متر بر ثانیه ۹۵٪ نیروی توربین بادی پره متخلخل لازم است تا شروع به دوران نماید.



شکل ۲۴ مقایسه نیروی راهاندازی توربین بادی پره متخلخل برحسب نیوتن در ارتفاع ۳۵ و ۷۵ سانتی‌متر

۷- نتیجه‌گیری

هدف از این پژوهش بررسی تاثیر نسبت منظری در پره متخلخل و مستقیم بر نیروی راهاندازی توربین بادی محور عمودی داریوس است. جهت اجرای این طرح، توربین بادی محور عمودی داریوس با پره‌های مستقیم و متخلخل طراحی، ساخته و تست شده است. آزمایش‌های تجربی در یک دمنده چهار فن در سرعت‌های یک تا ۱۰ متر بر ثانیه انجام شده است. نتایج عددی نیز در نرم‌افزار فلونت و Q-Blade برای تحلیل ایرفویل و پره‌های توربین به دست آمده و نتایج نشان‌دهنده بهبود ویژگی‌های آیرودینامیکی پره متخلخل نسبت به پره مستقیم است.

در سرعت ۵ متر بر ثانیه با افزایش زاویه حمله ضریب برای هر سه ایرفویل افزایش و ایرفویل ناکا ۰۰۱۵ نسبت به دو ایرفویل دیگر ضریب برای بیش‌تری داشته و در زاویه ۱۵ درجه ضریب برای بیشینه ۰/۵۵ است و ایرفویل ناکا ۰۰۱۵ نسبت ضریب برآ به ضریب پسای بیش‌تری نسبت به دو ایرفویل دیگر در سرعت ۵ متر بر ثانیه داشته به طوری که بیش‌ترین مقدار نسبت ضریب برآ به ضریب پسای در زاویه حمله ۱۳ درجه و برابر ۲/۵۸ بوده و در این سرعت ایرفویل ناکا ۰۰۱۵ نسبت به دو ایرفویل دیگر شرایط مناسب‌تری برای انتخاب دارد.

در سرعت ۱۰ متر بر ثانیه ضریب برای ایرفویل ناکا ۰۰۱۵ با افزایش زاویه حمله ابتدا سیر صعودی به خود گرفته و در زاویه حمله ۷/۵ درجه به بیشینه مقدار خود ۰/۷۲ و نسبت به دو ایرفویل دیگر دیرتر به ناحیه واماندگی رسیده به طوری که ایرفویل ناکا ۰۰۱۸ در زاویه ۴ درجه و ایرفویل ناکا ۰۰۲۱ در زاویه ۳ درجه و ایرفویل ناکا ۰۰۱۵ در زاویه ۷/۵ درجه به ناحیه واماندگی رسیده و ایرفویل ناکا ۰۰۱۵ نسبت ضریب برآ به ضریب پسای بیشتری نسبت به دو ایرفویل دیگر داشته به طوری که بیش‌ترین مقدار نسبت ضریب برآ به ضریب پسای در زاویه حمله ۶/۵ درجه و برابر ۱۵/۳ بود و ایرفویل ناکا ۰۰۱۵ نسبت به دو ایرفویل دیگر شرایط مناسب‌تری برای انتخاب داشته و نسبت ضریب برآ به ضریب پسای بیش‌تری دارد.

طرحواره توربین بادی طراحی شده در نرم افزار کتیا طراحی و ارتفاع پره‌های توربین برابر ۳۵ و ۷۵ سانتی متر، شعاع پره توربین ۱۸/۵ سانتی‌متر و طول ایرفویل پره برابر ۶/۴ سانتی‌متر و پره‌ها دارای پیچش نیست.

۸- فهرست علائم

T	پارامتر بی‌بزر
P_1	نقطه کنترلی
P_0	نقطه ابتدایی
P_2	نقطه انتهایی
C	طول وتر ایرفویل
C_L	ضریب برآ
C_D	ضریب پسای
$Alfa$	زاویه حمله ایرفویل
C_p	ضریب عملکرد فشار

۹- مراجع

- [1] R. Firdaus, T. Kiwata, T. kano and K. Nagao, Numerical and experimental studies of a small vertical axis wind turbine with variable – pitch straight blades, *Journal of Fluid Science and Technology*, Vol.10, No.1, pp.220-228, 2015.
- [2] M. Bahrami and P. Abbaszadeh, An overview of renewable energies in Iran. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 24, pp.198–208, 2013.
- [3] D. Nagarkar and D. Khan, Characteristics of ice accretions on blade of the straight-bladed vertical axis wind turbine rotating at low tip speed ratio, *Cold Regions Science and Technology*, Vol. 145, pp. 1-13, 2018.
- [4] A. Sengupta, A. Biswas and R. Gupta, R, Determination of vertical axis wind turbines optimal configuration through CFD simulations, *International Conference on Future Environment and Energy*, Vol. 28, pp. 13 -19, 2012.
- [5] K. Gharali and D. Johnson, Numerical modeling of an S809 airfoil under dynamic stall, erosion and high reduced frequencies, *Applied Energy*, Vol. 93, pp. 45 -52, 2012.

- [6] Y. Lee and H. Lim, Numerical study of the aerodynamic performance of a 500 W Darrieus-type vertical-axis wind turbine, *Renewable Energy*, Vol. 83, pp.407 - 415, 2015.
- [7] M. Douak, Z. Aouachira, R. Rabehi and N. Allam, Wind energy systems: Analysis of the self-starting physics of vertical axis wind turbine, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 81, No. 1, pp. 1602-1610, 2018.
- [8] P. Fuglsang and K. Thomsen, Cost Optimization of Wind Turbines for Large Scale Offshore Wind Farms, Risoe National Lab., Roskilde (Denmark). *Wind Energy and Atmospheric Physics Dept*, 1998.
- [9] T. Benini and A. Toffolo, Optimal design of horizontal-axis wind turbines using blade element theory and evolutionary computation, *Journal of Solar Energy Engineering*, Vol. 124, No. 4, pp. 357–363, 2002.
- [10] Y. Hu and S. Rao, Robust design of horizontal axis wind turbines using taguchi method, *Journal of Mechanical Design*, Vol.133, No. 11, pp:1-15, 2011.
- [11] E. Sobhani, M. Ghaffari and M. Maghrebi, Numerical investigation of dimple effects on darriues vertical axis wind turbine, *Energy*, Vol. 133, pp. 231-241, 2017.
- [12] J. Vince, *Mathematics for Computer Graphics*. 3rd Edition, Springer, pp: 17-37, 2017.
- [13] R. M. Pinkerton, The Variation with Reynolds Number of Pressure Distribution over an Airfoil Section, *Technical Report No. 613*, NASA, Cranfield, UK, 1938.
- [14] L.A. Danao, B. Abuan, R. Howel, Design analysis of a horizontal axis tidal turbine, *Asian Wave and Tidal Conference*, 2016.