



GELİŞTİRİLEN DMST YAZILIMI İLE YUNUSLAMA AÇISI KONTROLÜNÜN DARRIEUS TÜRBİNİ PERFORMANSINA ETKİSİNİN İNCELENMESİ

Rıdvan ALMAZ

XGEN ENERGY, Proje Mühendisi

Sercan ACARER

İzmir Katip Çelebi Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü

Ziya Haktan KARADENİZ

İzmir Katip Çelebi Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü

İskeneder KÖKEY

XGEN ENERGY, Genel Müdür

Alpaslan TURGUT

Dokuz Eylül Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü



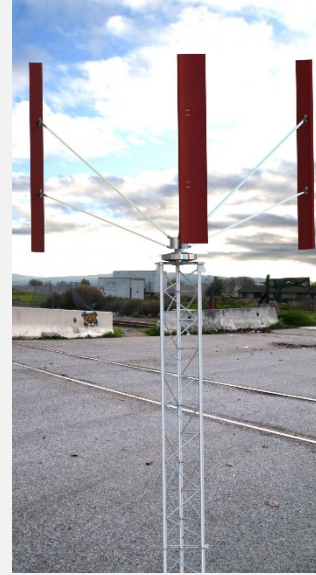
YERT vs. DERT



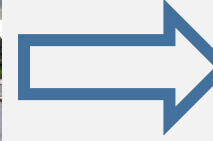
Şekil 1. YERT örneği.



- ✓ **Düşük hızlarda verimsiz**
- ✓ **Kompleks tasarım**
- ✓ **Gürültülü çalışma**
- ✓ **Yüksek maliyetler**
- ✓ **Yalpa mekanizmasına (yaw mechanism) ihtiyaç duyar**



Şekil 2. H-Tipi DERT örneği¹



¹ (Wind-er, XGEN ENERGY, R&D Product, <http://www.wind-er.com/tr/hometr/>)

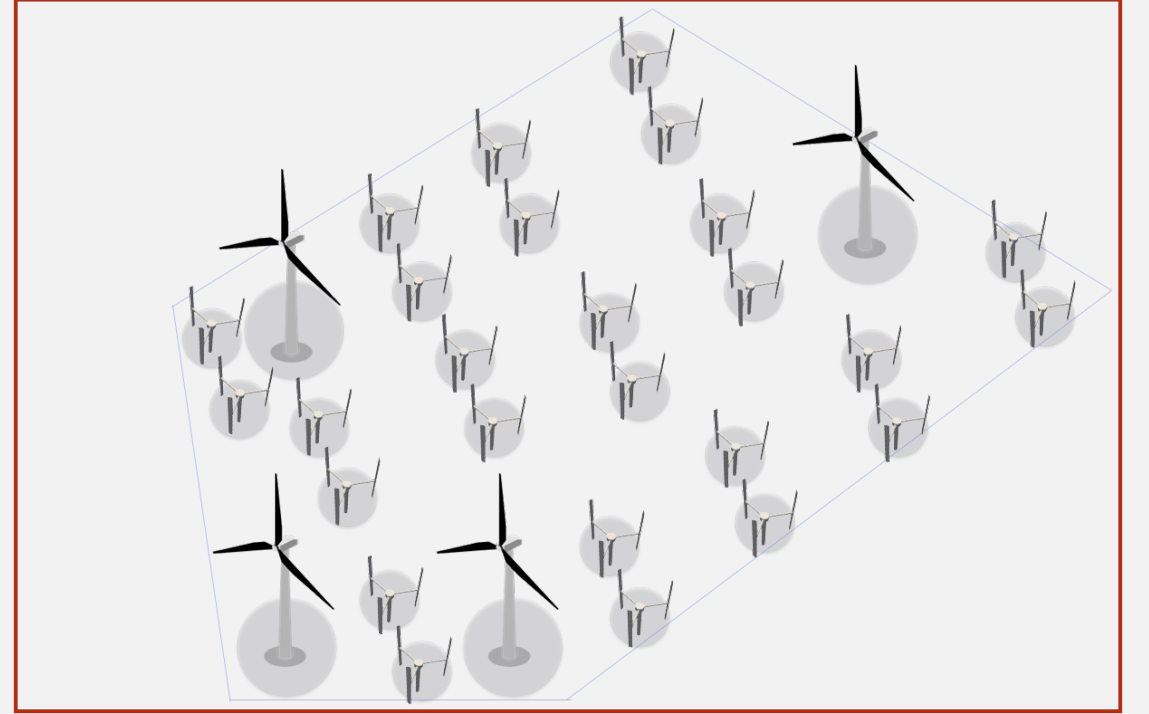
Neden DERT?

Modern YERT çiftlikleri metrekarede 2-3 W elektrik üretmektedirler.

ANCAK

Eşli Çalışan türbinler rüzgar çiftliklerinin daha yüksek güç yoğunluklarına sahip olmasını sağlar.³

Çalı-ağaç konseptine sahip bir RES için yapılan saha deneyleri, **metrekare başına 30 W** elektrik üretme potansiyeli olduğunu göstermiştir.

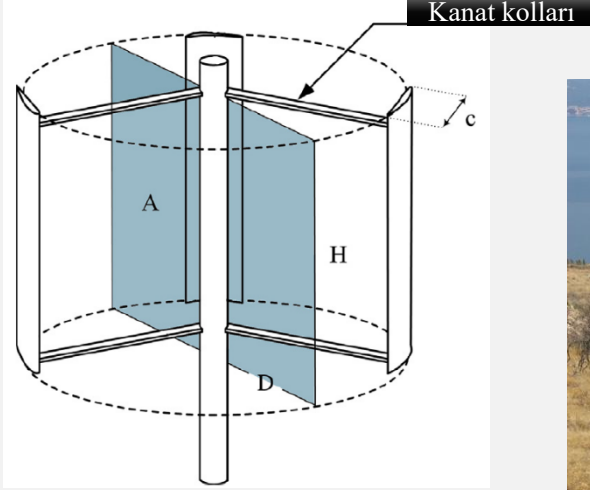


Şekil 3. Çalı-ağaç konseptine sahip bir RES

³ J. O. Dabiri, "Potential Order-of-Magnitude Enhancement of Wind Farm Power Density via Counter-Rotating Vertical-Axis Wind Turbine Arrays" J. Renew. Sustain. Energy **3**, 043104 (2011).

Tasarım Parametreleri ve DERT üzerine etkiyen Bileşenler

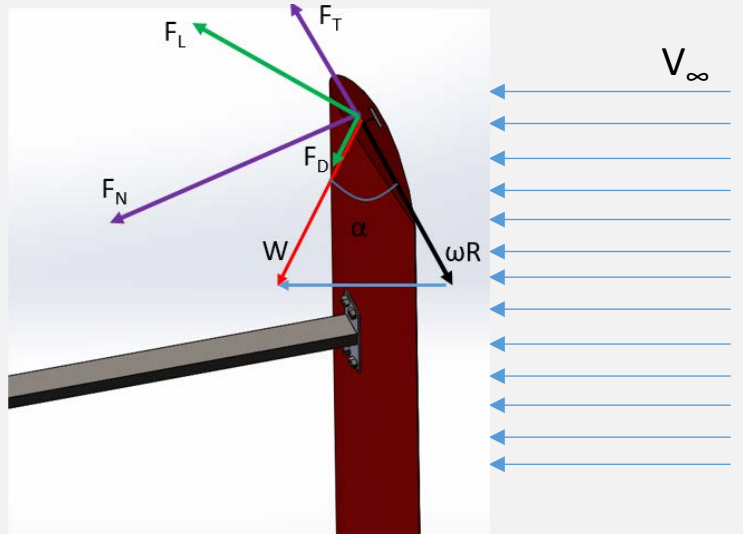
- 1) Kord (veter) (c)
- 2) Türbin Yüksekliği (H)
- 3) Türbin Çapı (D)
- 4) Turbine Süpürme Alanı (A)
- 5) Kanat Sayısı (N)
- 6) Serbest Akış Hızı (V_{∞})
- 7) Türbin Açısal Hızı (ω)
- 8) Kanat Profili
- 9) Katılık Oranı (σ)
- 10) Hücum Açısı (α)
- 11) Yunuslama Açısı (β)
- 12) Azimut Açısı (θ)



Şekil 4. Tasarım parametrelerinden bazılarının 3-kanatlı DERT üzerinde gösterimi



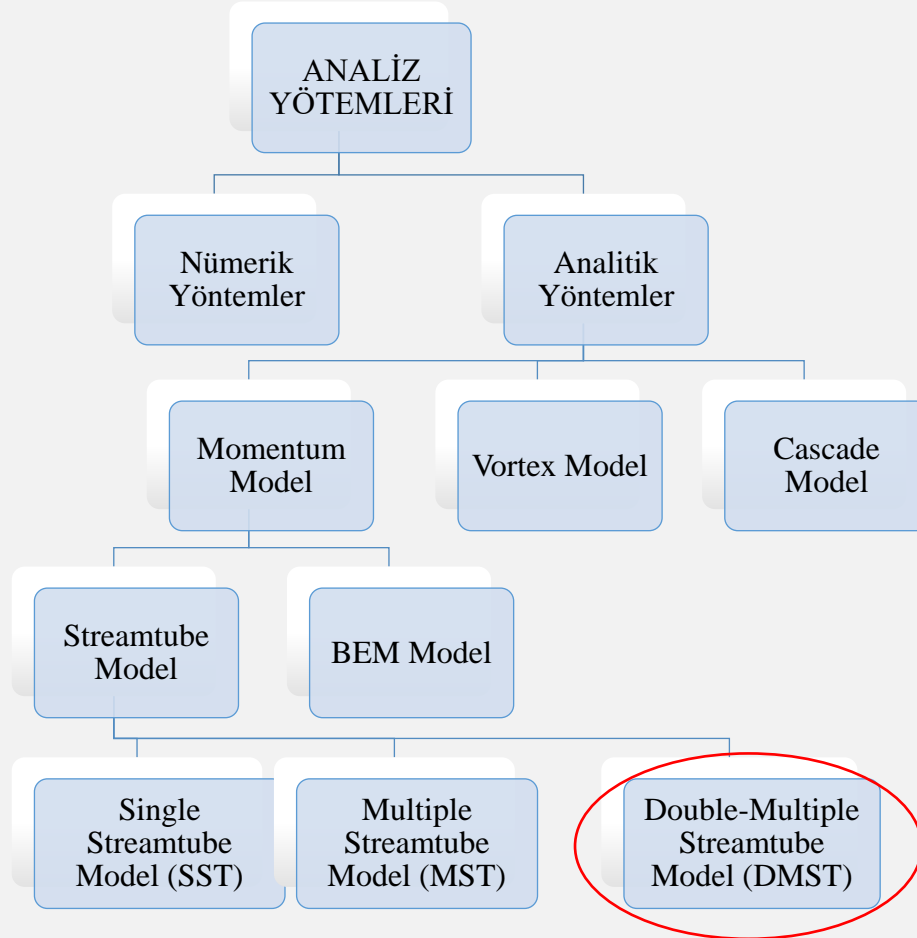
Şekil 6. Winder saha testlerinden bir görünüm



- $F_L \rightarrow$ Kaldırma Kuvveti (*Lift Force*)
- $F_D \rightarrow$ Sürüklenme Kuvveti (*Drag Force*)
- $F_T \rightarrow$ Teğetsel Kuvvet (*Tangential Force*)
- $F_N \rightarrow$ Normal Kuvvet (*Normal Force*)

Şekil 5. Kanat üzerine etkiyen hız ve kuvvet bileşenleri

Analiz Yöntemleri ve DMST



- Nümerik çözüm yöntemleri daha yüksek güvenilirliklidir.
- Mometum Modelleri düşük güvenilirliğe sahiptir.

ANCAK

- Düşük güvenilirlikli modellerin en önemli avantajı zaman alan ve pahalı hesaplama ve deneyler gerektiren analizlerden önce verimli bir türbin için uygun tasarım parametrelerini kolayca belirleyebilmesidir.
- DMST yöntemi geniş aralıktaki hücum açısı ve farklı reynolds sayıları için elde edilmiş aerodinamik karakteristik verilerine (C_L , C_M) ihtiyaç duymaktadır.

DMST Yöntemi

$$V_{up} = u_{up} \cdot V_{\infty} \quad (1)$$

$$X_{up} = \frac{\omega \cdot \text{Radius}}{V_{up}} \quad (2)$$

$$W_{up} = V_{up} \sqrt{[1 + X_{up}^2 - 2X_{up} \sin(\theta)]} \quad (3)$$

$$Re_{blade} = \frac{W_{up} \cdot \text{Chord_length}}{\text{visc}} \quad (4)$$

$$\alpha = \arcsin\left(\frac{V_{up} \cos(\theta)}{W_{up}}\right) \quad (5)$$

$$F_{L_up} = \frac{1}{2} \rho A_{blade} W_{up}^2 C_L \quad (6)$$

$$F_{D_up} = \frac{1}{2} \rho A_{blade} W_{up}^2 C_D \quad (7)$$

$$F_{T_up} = F_{L_up} \sin(\alpha) - F_{D_up} \cos(\alpha) \quad (8)$$

$$F_{N_up} = F_{L_up} \cos(\alpha) + F_{D_up} \sin(\alpha) \quad (9)$$

$$C_{T_up} = \frac{F_{T_up}}{0.5 \rho A_{blade} W_{up}^2} \quad (10)$$

$$C_{N_up} = \frac{F_{N_up}}{0.5 \rho A_{blade} W_{up}^2} \quad (11)$$

$$F_{up} = \frac{Nc}{8\pi R} \int_{-\pi/2}^{\pi/2} \left(C_{N_up} \frac{\cos\theta}{|\cos\theta|} - C_{T_up} \frac{\sin\theta}{|\cos\theta|\cos\delta} \right) \left(\frac{W_{up}}{V_{up}} \right)^2 d\theta \quad (12)$$

$$u_{up} = \frac{\pi}{F_{up} + pi} \quad (13)$$

(1)

(2)

(3)

(4)

(5)

(6)

(7)

(8)

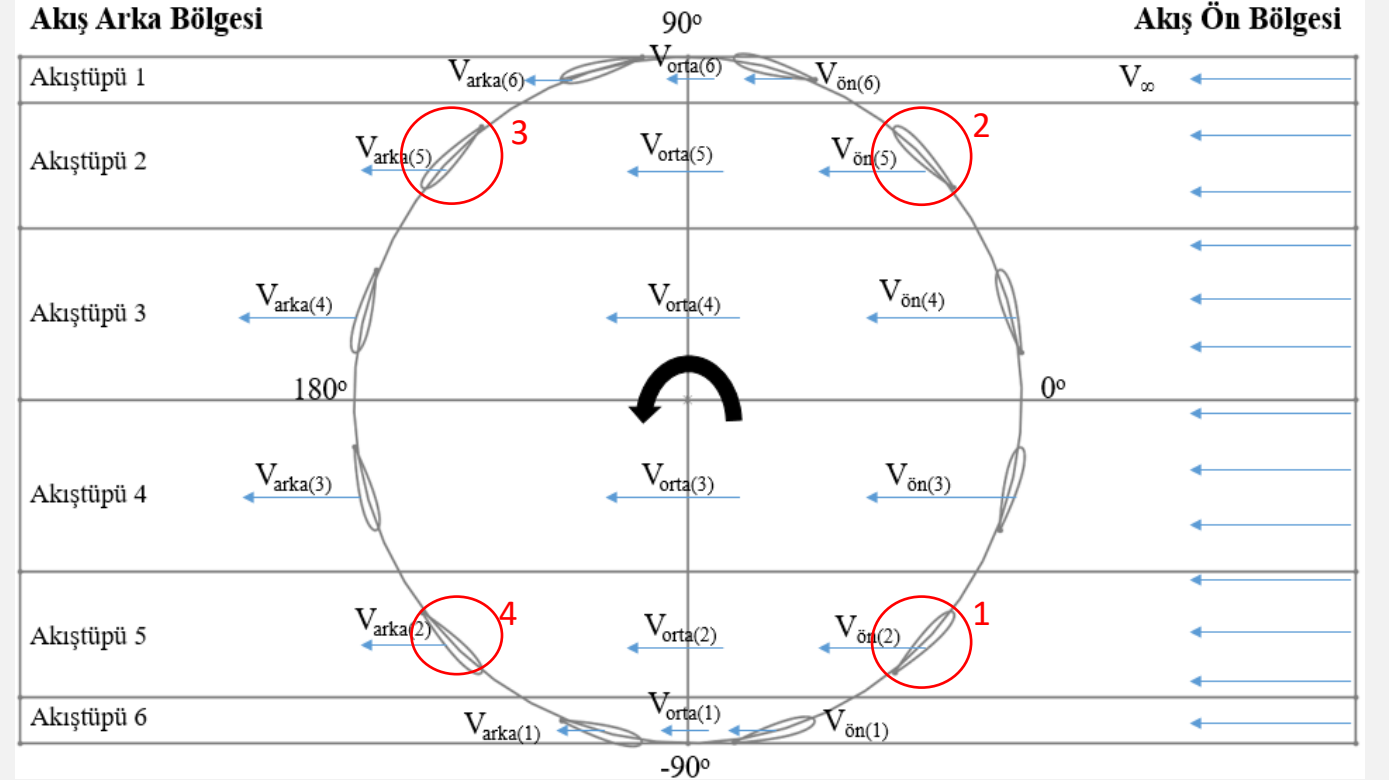
(9)

(10)

(11)

(12)

(13)



Şekil 7. DMST Şematığının Gösterimi

DMST Yöntemi

$$V_e = (2u_{up} - 1)V_\infty \quad (14)$$

$$V_{down} = u_{down}V_e \quad (15)$$

$$X_{down} = \frac{\omega * Radius}{V_{down}} \quad (16)$$

$$W_{down} = V_{down} \sqrt{[1 + X_{down}^2 - 2X_{down} \sin(\theta)]} \quad (17)$$

$$Re_{blade} = \frac{W_{down} * Chord_length}{visc} \quad (18)$$

$$W_{down} = \omega R \quad (19)$$

$$Re_{blade} = \frac{\omega * R * Chord_length}{visc} \quad (20)$$

$$\alpha = \arcsin\left(\frac{V_{down} \cos(\theta)}{W_{down}}\right) \quad (21)$$

$$F_{L_down} = \frac{1}{2} \rho A_{blade} W_{down}^2 C_L \quad (22)$$

$$F_{D_down} = \frac{1}{2} \rho A_{blade} W_{down}^2 C_D \quad (23)$$

$$F_{T_down} = F_{L_down} \sin(\alpha) - F_{D_down} \cos(\alpha) \quad (24)$$

$$F_{N_down} = F_{L_down} \cos(\alpha) + F_{D_down} \sin(\alpha) \quad (25)$$

$$C_{T_down} = \frac{F_{T_down}}{0.5 \rho A_{blade} W_{down}^2} \quad (26)$$

$$C_{N_down} = \frac{F_{N_down}}{0.5 \rho A_{blade} W_{down}^2} \quad (27)$$

$$F_{down} = \frac{Nc}{8\pi R} \int_{\pi/2}^{3\pi/2} \left(C_{N_down} \frac{\cos\theta}{|\cos\theta|} - C_{T_down} \frac{\sin\theta}{|\cos\theta|\cos\delta} \right) \left(\frac{W_{down}}{V_{down}} \right)^2 d\theta \quad (28)$$

$$u_{down} = \frac{\pi}{F_{down} + pi} \quad (29)$$



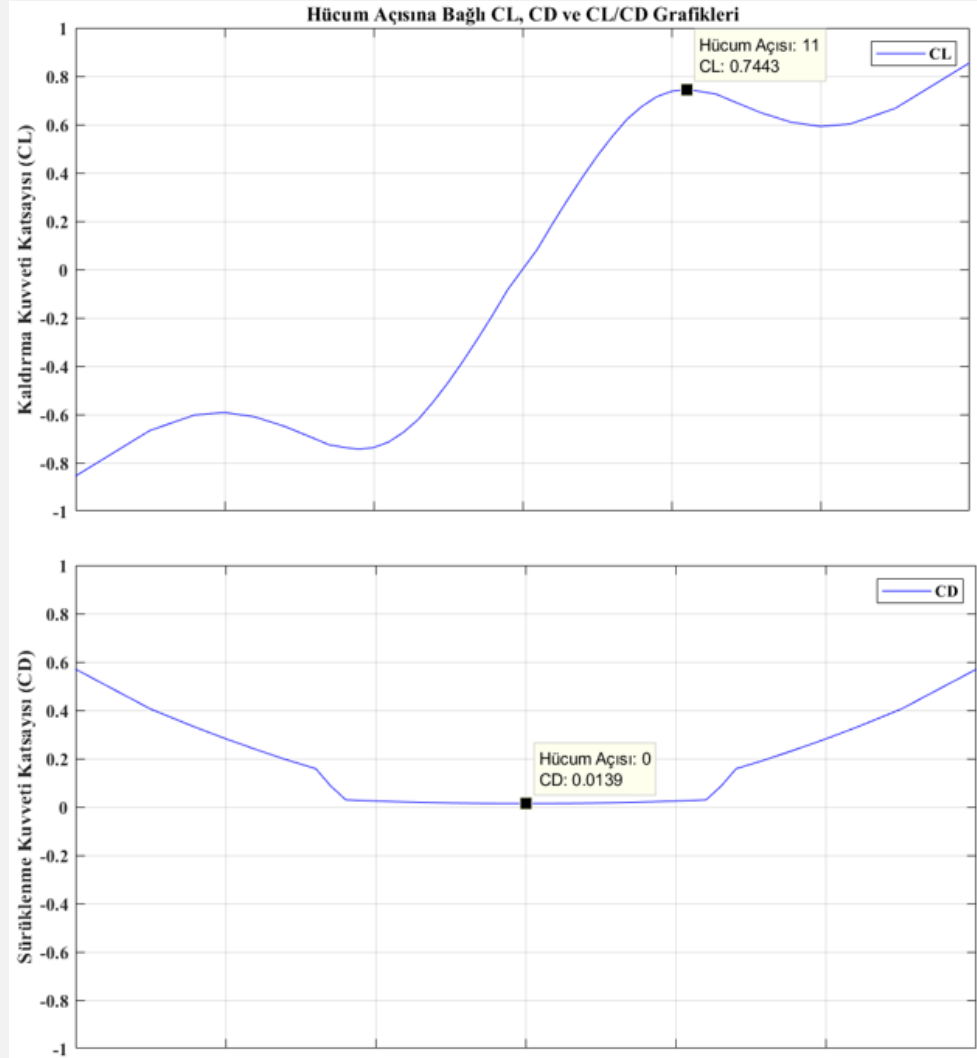
Kanat Profilleri için Veritabanı

The image displays the MATLAB R2016a environment. On the left, a file explorer shows a directory of NACA airfoil profiles (e.g., NACA0012_10000.csv). The central editor window shows the script DMST.m, which contains MATLAB code for calculating aerodynamic coefficients. The right side of the image shows a table of results for various airfoil profiles, with columns for Alpha, CL, and CD. A red arrow points from the 'pitch' variable in the code to the corresponding column in the table.

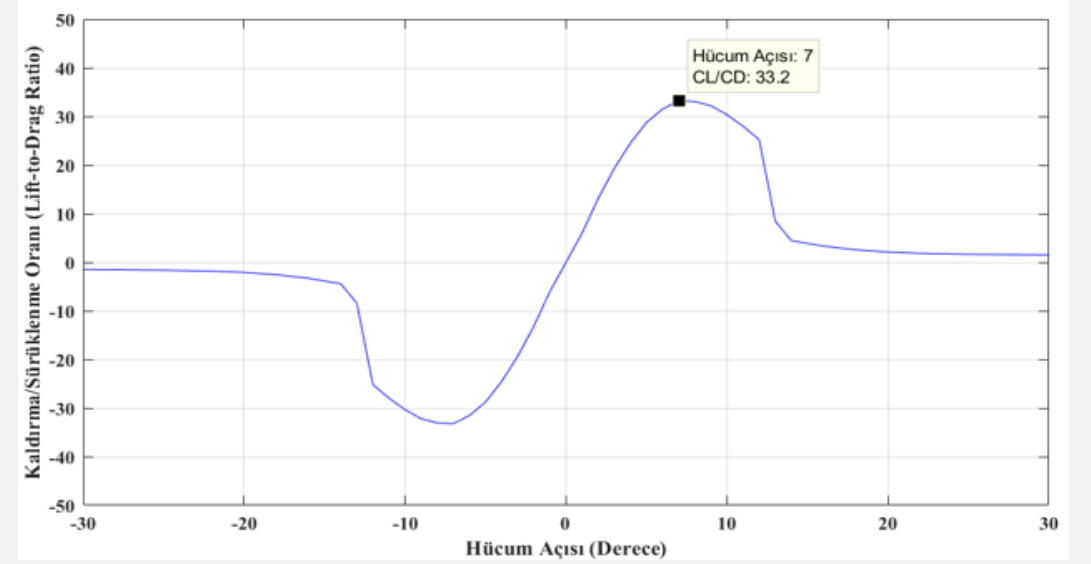
	A Alpha NUMBER	B CL NUMBER	C CD NUMBER
1	Re	360000.00000	
2	Alpha	CL	CD
3	-90.0	-0.09000	1.80000
4	-85.0	-0.23000	1.80000
5	-80.0	-0.36500	1.78000
6	-75.0	-0.50000	1.73500
7	-70.0	-0.63000	1.66500
8	-65.0	-0.76000	1.57500
9	-60.0	-0.87500	1.47000
10	-55.0	-0.95500	1.34500
11	-50.0	-1.02000	1.21500
12	-45.0	-1.05000	1.07500
13	-40.0	-1.03500	0.92000
14	-35.0	-0.98000	0.74500
15	-30.0	-0.85500	0.57000
16	-25.0	-0.77240	0.40500
17	-22.0	-0.70500	0.32900
18	-20.0	-0.69970	0.28200
19	-18.0	-0.73190	0.23800
20	-16.0	-0.80070	0.19600
21	-14.0	-0.88030	0.09400
22	-13.0	-0.91040	0.02590
23	-12.0	-0.92790	0.02350

Şekil 8. MATLAB Veritabanından bir kesit

Yunuslama Açısı



Şekil 9. Hücum açısına bağlı kaldırma (CL) ve sürüklenme (CD) katsayılarının gösterimi

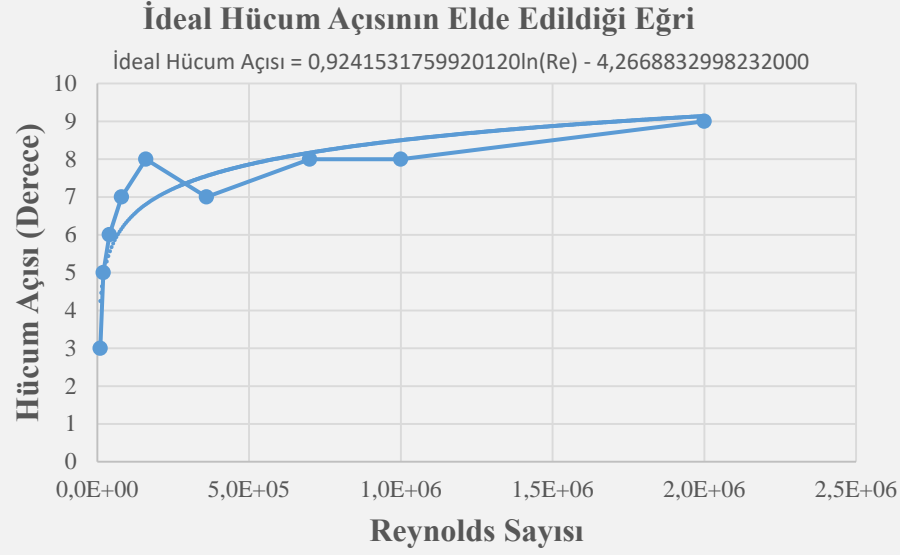


Şekil 10. Hücum açısına bağlı Kaldırma/Sürüklenme katsayılarının gösterimi

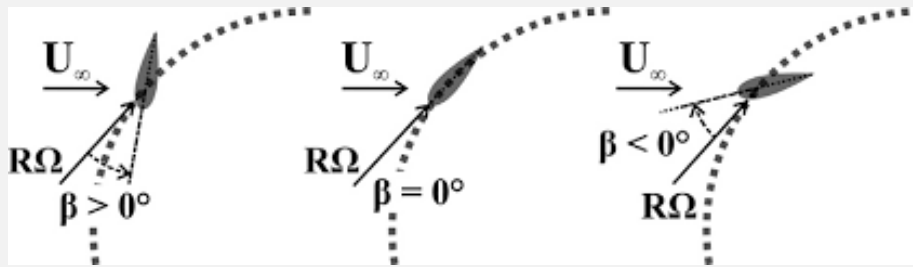
İdeal performans → Maksimum CL/CD

İdeal Performans → Dinamik yunuslama açısı kontrolü

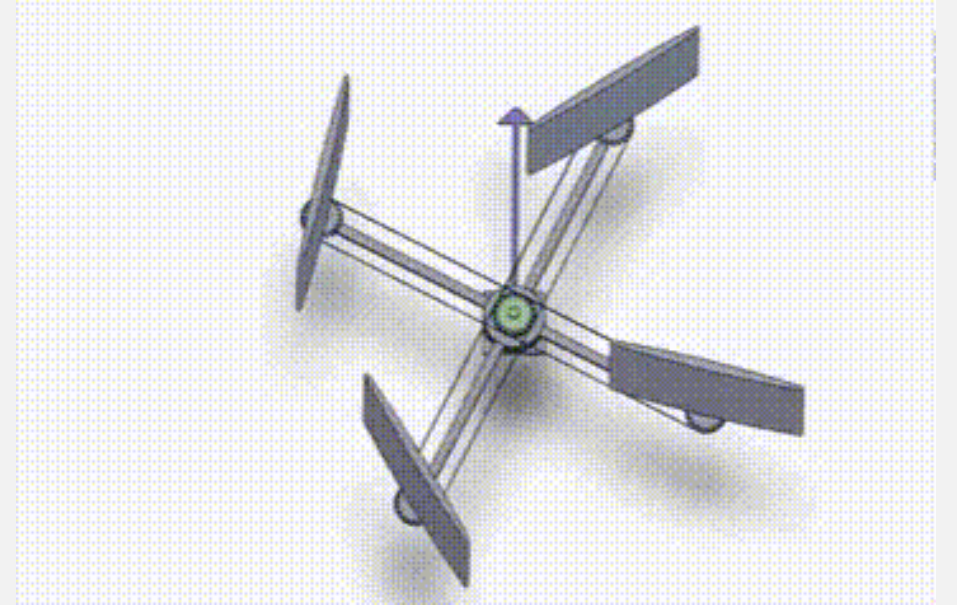
Yunuslama Açısının Gösterimi ve Çalışma Prensibi



Şekil 11. İdeal hücüm açısının Reynolds sayısına bağlı fonksiyonu



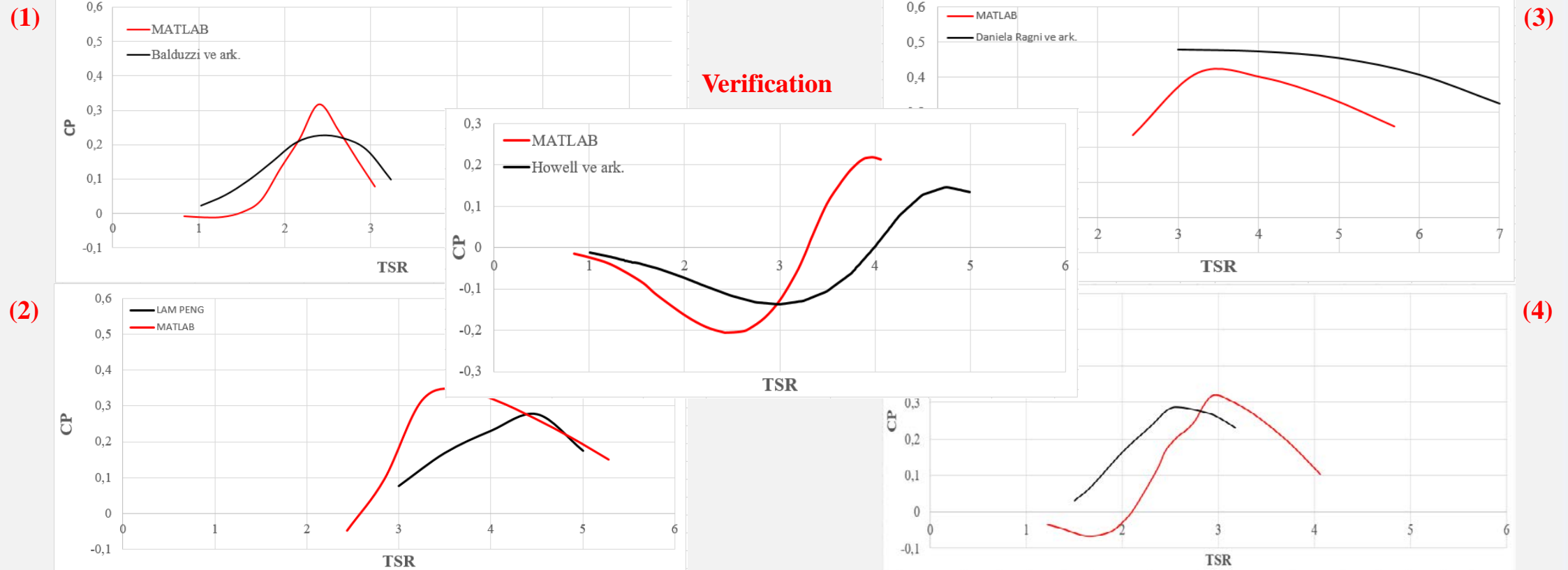
Şekil 12. Kanat profili üzerinde yunuslama açısının gösterimi



Şekil 13. Dinamik yunuslama kontrolünün şematığı

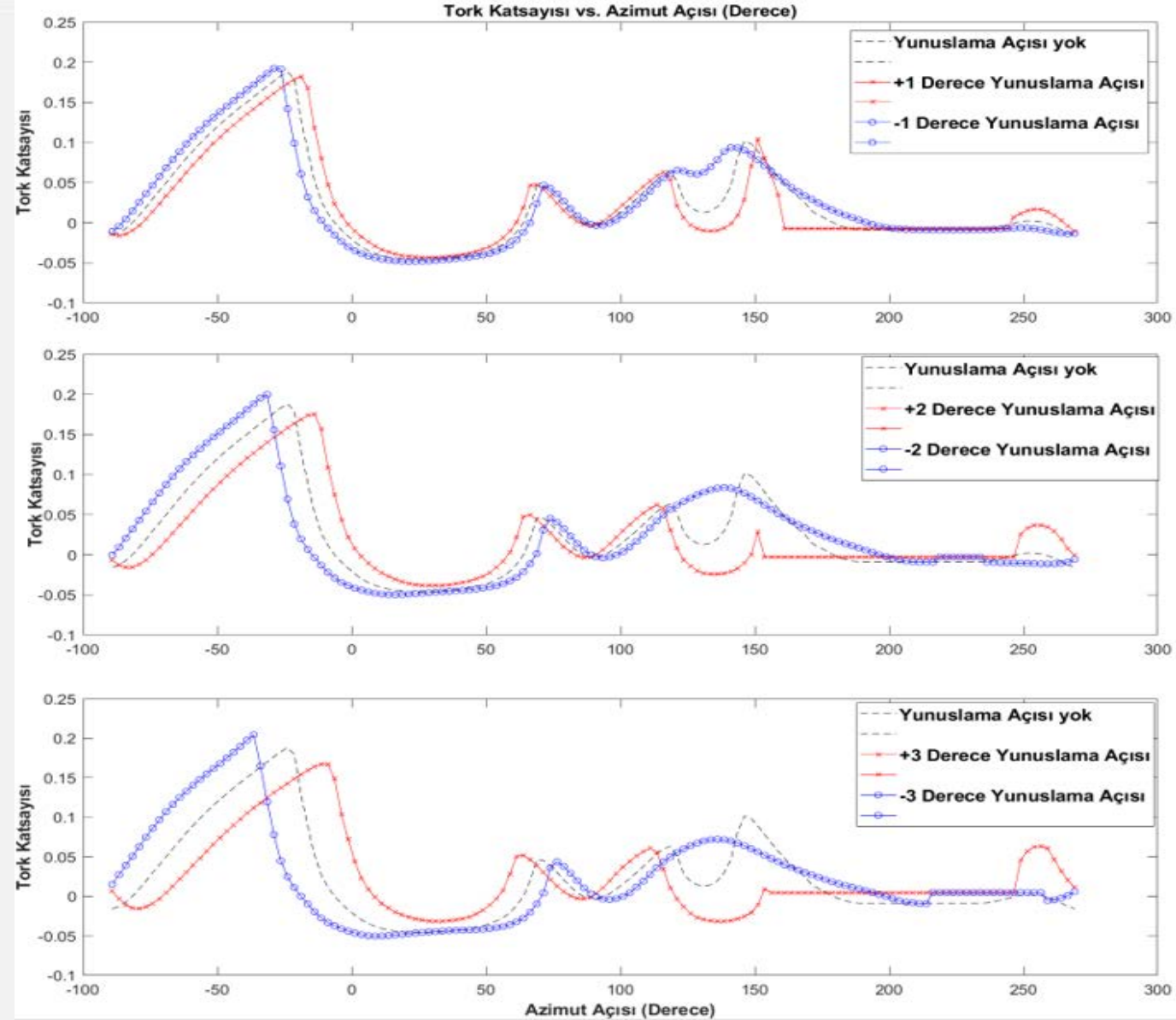
KALİBRASYON ve DOĞRULAMA Çalışmaları

CONSTANT PARAMETERS (1)		CONSTANT PARAMETERS (2)		CONSTANT PARAMETERS (3)		CONSTANT PARAMETERS (4)		CONSTANT PARAMETERS Verification	
Airfoil Profile	NACA 0018	Airfoil Profile	NACA 0018	Airfoil Profile	NACA 0018	Airfoil Profile	NACA 0021	Airfoil Profile	NACA 0018
Number of Blades	3	Number of Blades	2	Number of Blades	3	Number of Blades	3	Number of Blades	3
Blade Type	Straight	Blade Type	Straight	Blade Type	Straight	Blade Type	Straight	Blade Type	Straight
Chord Length (m)	0.246	Chord Length (m)	0.06	Chord Length (m)	0.25	Chord Length (m)	0.085	Chord Length (m)	0.85
Rotor Radius (m)	0.85	Rotor Radius (m)	0.5	Rotor Radius (m)	3.75	Rotor Radius (m)	0.515	Rotor Radius (m)	0.246
Turbine Height (m)	20.4	Turbine Height (m)	1	Turbine Height / Blade Length (m)	20.4	Turbine Height (m)	1.45	Turbine Height / Blade Length (m)	20.4
Free Stream Velocity (m/s)	8	Free Stream Velocity (m/s)	9.3	Free Stream Velocity (m/s)	8	Free Stream Velocity (m/s)	9	Free Stream Velocity (m/s)	8



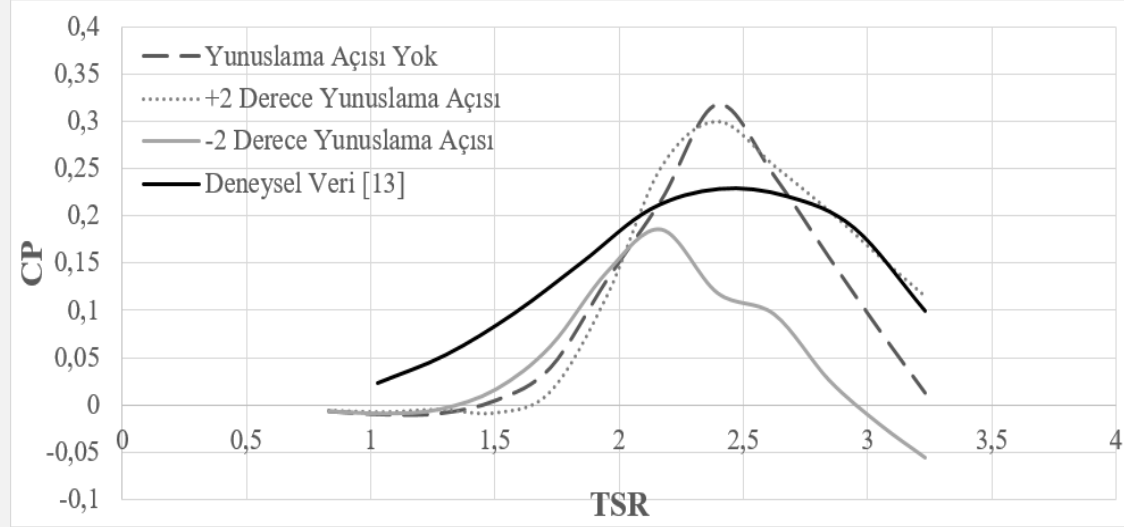
Şekil 14. Dört farklı kalibrasyon ve bir tane doğrulama çalışmasına ait performans eğrileri

SONUÇLAR – I (Statik Yunuslama Açısı Kontrolü)

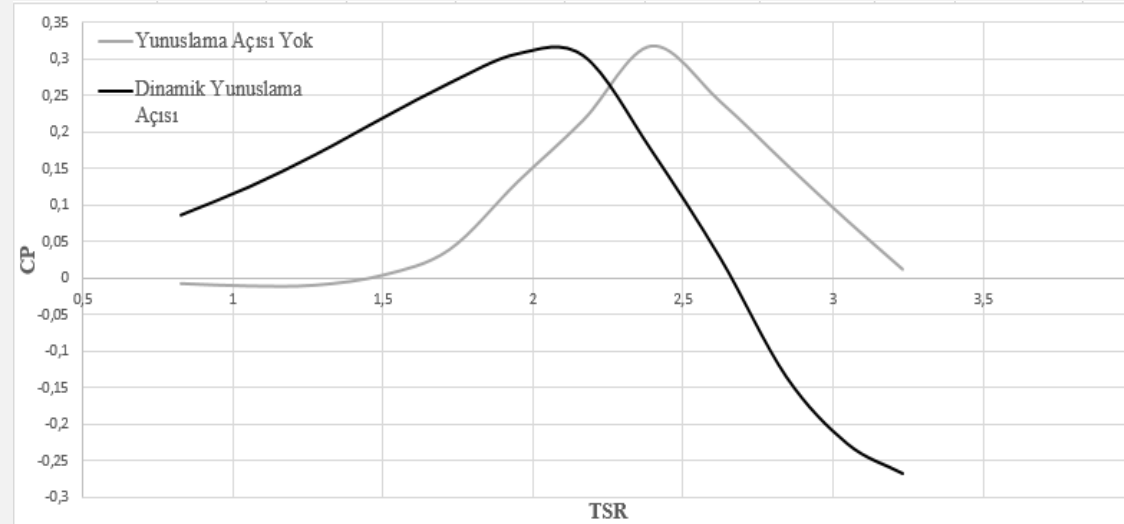


Şekil 15. Sabit yunuslama açısı kontrolünde tork katsayısının türbin açısai konumuyla değişimi, (a) +1 ve -1, (b) +2 ve -2, (c) +3 ve -3 derece sabit yunuslama açılarının etkileri

SONUÇLAR – II (Dinamik Yunuslama Açısı Kontrolü)



Şekil 17. Güç katsayısının kanat uç hız oranıyla değişimi



Şekil 18. Türbinin yunuslama açısı yapmadığı ve dinamik yaptığı durumlarda türbin performans eğrileri

Dinlediđiniz için Teřekkürler...

**Rıdvan ALMAZ
Mechanical Engineer**



KAYNAKLAR

- Baytekin E. ve ark.**, Uluslararası Temiz Enerji Sempozyumu (UTES), 2016. Effect of Tip Speed Ratio on The Wake of a Darrieus Type Wind Turbine.
- Karadeniz Z.H.**, Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu (YEKSEM), 2015. Düşey Eksenli Rüzgar Türbinlerinde Son Gelişmeler.
- Kokey I. ve ark.**, İzmir Rüzgar Sempozyumu, 2017. Eşli Olarak Çalışan Düşey Eksenli Rüzgar Türbinleri ve Fırsat Penceresi.
- Dabiri, J. O., Greer, J. R., Koseff, J. R., Moin, P., & Peng, J.** 2015. A new approach to wind energy: Opportunities and challenges. AIP Conference Proceedings, 51–57.
- Kokey I. ve ark.**, Wind Europe 2018. Energy Interaction of Vertical Axis Wind Turbines Working in Pairs : A Case Study and An Application of IEC 61400-12-1:2017.
- Bianchini A., Ferrara G., Ferrari L.**, 2015. Design Guidelines for H-Darrieus Wind Turbines: Optimization of the Annual Energy Yield. Energy Conversion and Management, 89, (690-707).
- Paraschivoiu I.** 2002. Wind Turbine Design with Emphasis on Darrieus Concept (1. Baskı). Kanada: Polytechnic International Press.
- Tushar R. Mali, Avinash P. Dhale, Harsh A. More, Prachi R. Kavade, Prof. Ramesh K Kavade5, Dr. P. M. Ghanegaonkar**, 2018. Analysis of VAWT Using Pitching Mechanism. International Journal of Innovative Studies in Sciences and Engineering Technology, 4 (3), Mart 2018. <http://ijisset.org/wp-content/uploads/2018/04/IJISSET-040407.pdf>.
- Hau E.**, 2013. Wind Turbines Fundamentals , Technologies, Application, Economics (3.baskı). London: Springer Heidelberg New York Dordrecht London.
- Nguyen T. V.**, 1978. A Vortex Model of The Darrieus Turbine. Yüksek lisans tezi, Graduate Faculty of Texas Tech University, USA.
- Paraschivoiu I.**, 1981. Double Multiple Streamtube Model for Darrieus Wind Turbines. NASA, Lewis Research Center Wind Turbine Dyn. (19-25).
- Sheldahl R. E., Klimas P. C.** 1981. Aerodynamic Characteristics of Seven Symmetrical Airfoil Sections Through 180-Degree Angle of Attack for Use in Aerodynamic Analysis of Vertical Axis Wind Turbines. Sandia National Laboratories Energy Report, USA.
- Balduzzi F., Bianchini A., Maleci R., Ferrara G., Ferrari L.**, 2015. Critical issues in the CFD simulation of Darrieus wind turbines. Renewable Energy, 85 (2016), (419-435).
- Lam H. F., Peng H.Y.**, 2016. Study of wake characteristics of a vertical axis wind turbine by two- and three-dimensional computational fluid dynamics simulations. Renewable Energy, 90(2016), (386-398).
- Ragni D., Ferreira C. S., Correale G.**, 2014. Experimental investigation of an optimized airfoil for vertical-axis wind turbines. Wind Energy (2014).
- Castelli M.C., Englaro A., Benini E.**, 2011. The Darrieus wind turbine: Proposal for a new performance prediction model based on CFD. Energy, 36 (2011), (4919 – 4934).
- Eboibi O., Danao L.A.M., Howell R.J.**, 2016. Experimental investigation of the influence of solidity on the performance and flow field aerodynamics of vertical axis wind turbines at low Reynolds numbers. Renewable Energy, 92 (2016), (474-483).