

RÜZGAR TÜRBİNİ ROTORLARI İÇİN KALIN KANAT PROFİLLERİNİN HAD SİMÜLASYONLARI



Ezgi Orbay Akcengiz

Nilay Sezer Uzol

Havacılık ve Uzay Mühendisliği Bölümü,
ODTÜ

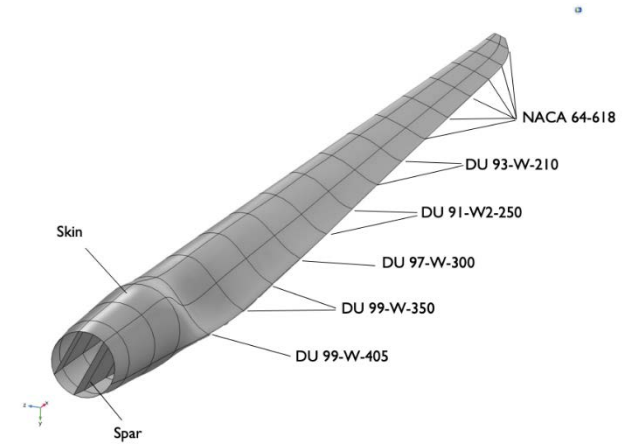
ODTÜ RÜZGEM

İçerik

- Giriş
 - Kalın kanat profilleri hakkında kısa bilgilendirme
 - Literatür araştırması
- Çözüm ağları
- Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği Analizleri
- Analiz Sonuçları
 - NACA 63-418
 - DU91-W2-250
 - DU97-W-300
- Sonuç

Kalın kanat profilleri

- Büyük rüzgar türbinlerinde büyük bükülme yüklerini absorbe etmek için tasarlanmıştır.
 - Kanatların dış kısımlarında aerodinamik performans
 - Kök kısmına yaklaştıkça ise yapısal dayanıklılık ve aerodinamik performans
- Keskin firar kenarlı kalın kanat profilleri
 - NACA serisi
- Küt firar kenarlı kalın kanat profilleri
 - DU serisi
 - Daha geniş kesit alanlarına uyarlanabilirler.
 - Ayrıca, daha fazla taşıma kuvveti üretebilir.
 - Yapısal dayanıklılığı arttırmak için kullanılabilirler.



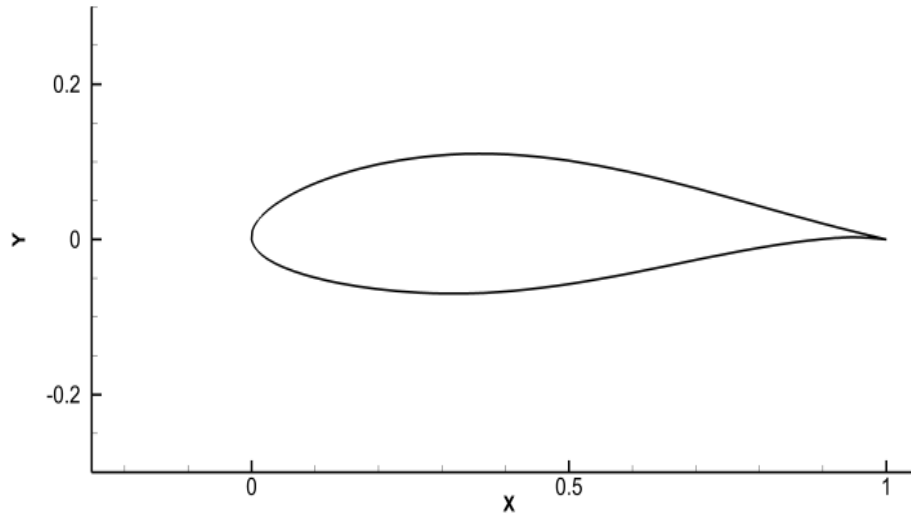
Farklı profil kesitlerine sahip rüzgar türbini palasının geometrisi [18]

Literatür Araştırması

2001	Bertagnolio vd. [1]	Çeşitli kanat profilleri	Deneysel veriler, EllipSys2D, XFOIL
2003	Timmer ve Rooij [2,3]	DU kanat profilleri	Deneysel ve sayısal
2008	Velte [4]	DU91-W2-250	
2009	Barone ve Berg [5]	DU97-W-300	Reynolds sayısı 3×10^6 Aeroakustik ve aerodinamik performans
2011	Bechmann vd. [6]	DU 91-W2-250, RISOE-A1-21 ve NACA 63-418	EllipSys2D
2013	Lago vd. [7]	DU40-DU21, NACA64	
2014	Fischer vd. [8]	aerodinamik ve yapısal optimizasyonu	
	Cakmakcioglu vd. [10]	S826	Düşük Reynolds sayılarında 2B ve 3B HAD analizleri
2015	Gao vd. [11]	DU97	$Re=3 \times 10^6$ ve 2×10^6
2016	Yang vd. [9]	aerodinamik ve yapısal optimizasyonu	
2018	Özçakmak vd. [12]	NACA 63-418	Laminer-Türbülans Geçişi
	Rogowski vd. [13]	DU91	$Re=3 \times 10^6$, SST geçiş modeli
	Li vd. [14]	DU91-W2-250	$Re=3 \times 10^5$, Geçiş SST ve URANS

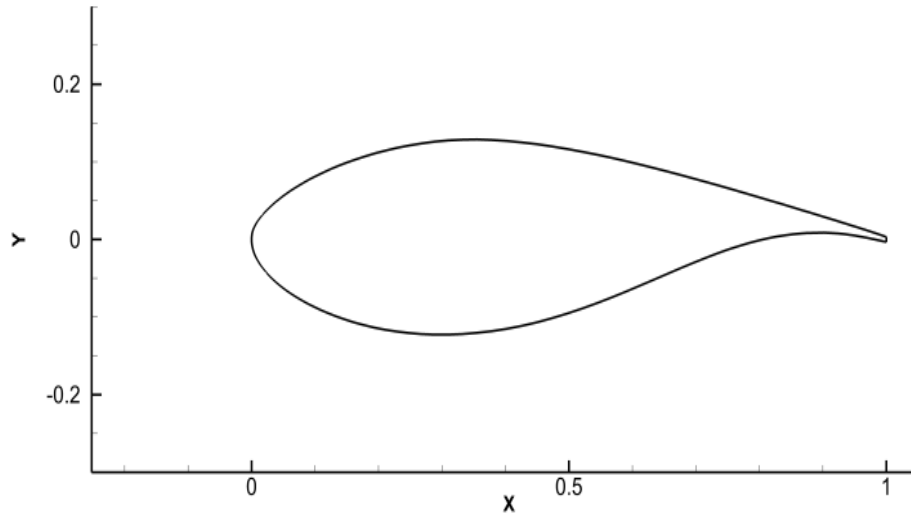
Kanat profilleri

- NACA 63-418
 - Keskin firar kenarı
 - %18 veter uzunluğunda profil kalınlığı



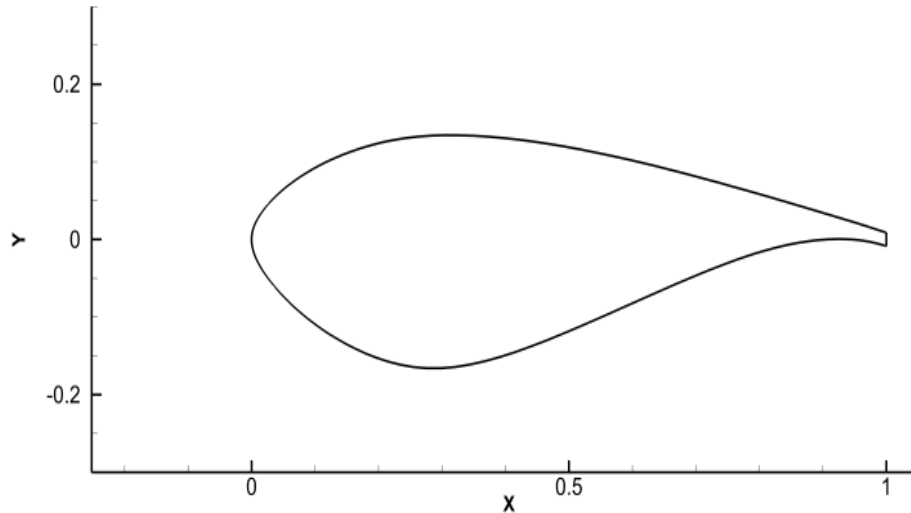
Kanat profilleri

- DU91-W2-250
 - Küt firar kenarı
 - %25'lik bir maksimum kalınlığa
 - %0.65 veter uzunluğunda küt firar kenarı kalınlığı

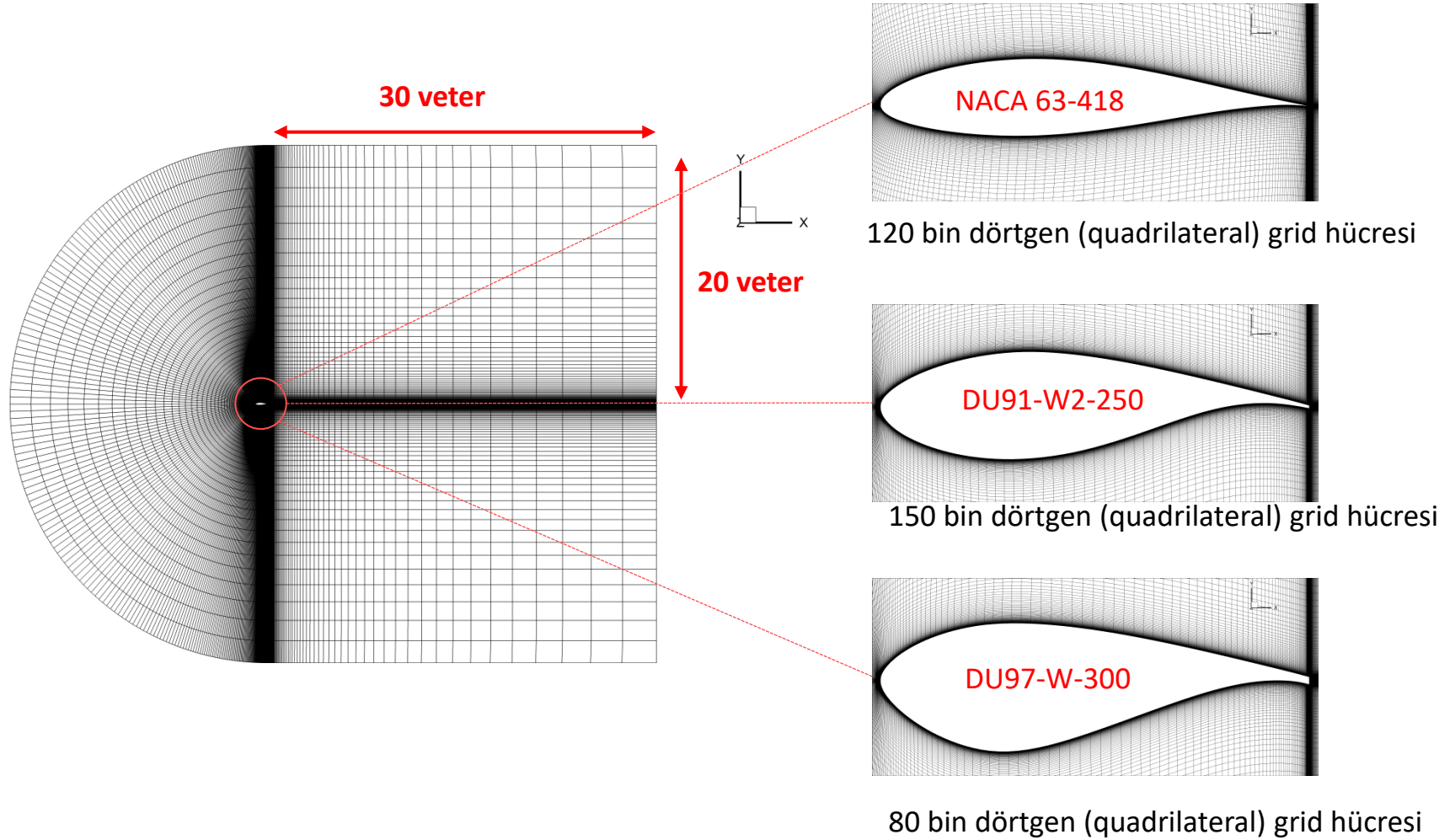


Kanat profilleri

- DU97-W-300
 - Küt firar kenarı
 - %30'luk maksimum kalınlık
 - yaklaşık %1.74 veter uzunluğunda küt firar kenarı kalınlığı



Çözüm ağları

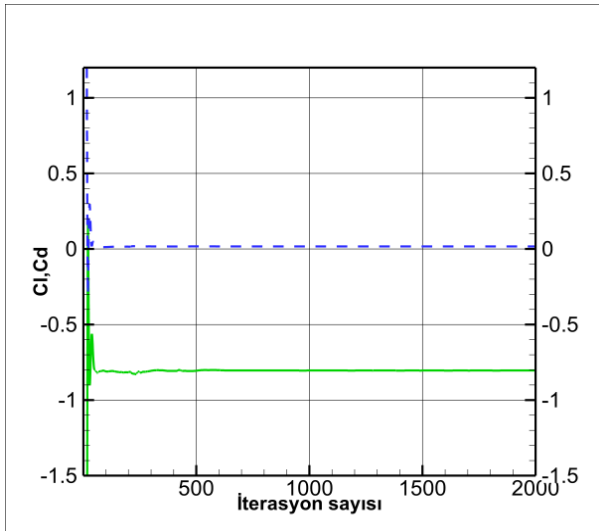


HAD Analizleri

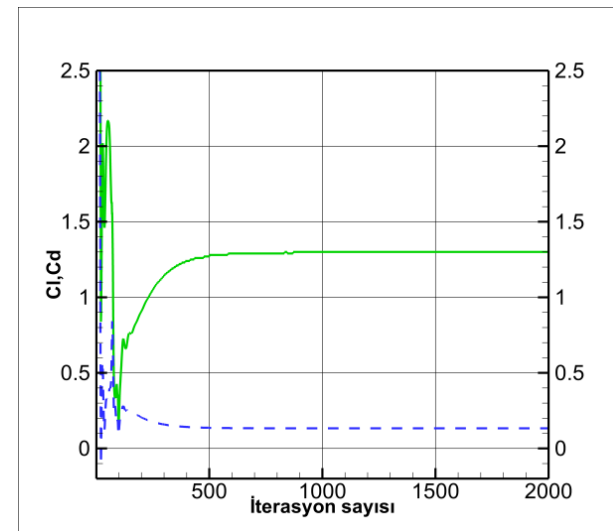
- Ön koşullandırılma tekniği ile birlikte sıkıştırılabilir RANS denklemleri
- $k-\omega$ SST türbülans modeli
- Ticari bir sonlu hacim HAD akış çözücü yazılımı olan CFD++ [15]
- Daimi durum simülasyonları 2000 iterasyon adımı boyunca yürütülmüştür.
- Kanat profillerinin aerodinamik özellikleri standart deniz seviyesi koşulları için ve Reynolds sayısı 3×10^6 iken incelenmiştir.
 - Standart deniz seviyesi koşullarında, açık hava basıncı 101325 Pa
 - Sıcaklık 288.15 K olarak
 - Serbest akış hızı 42.86 m/s olarak verilmiştir.
- Sınır koşulları:
 - Hesaplama alanın dış kenarları: Karakteristik uzak alan sınır koşulları
 - Kanat profili: duvar sınır koşulu (kaymazlık koşulu).
- Yürütülen bütün simülasyonlar temiz/pürüzsüz yüzey koşullarında yapılmış olup, kanat profili etrafındaki akış $k-\omega$ SST'nin tam türbülans modeli kullanılarak çözülmüştür.
- Aerodinamik analizler -10 ila 20 derece aralığındaki hücum açıları (Angle of Attack, AoA) için yapılmıştır.

HAD Analiz Sonuçları

NACA 63-418



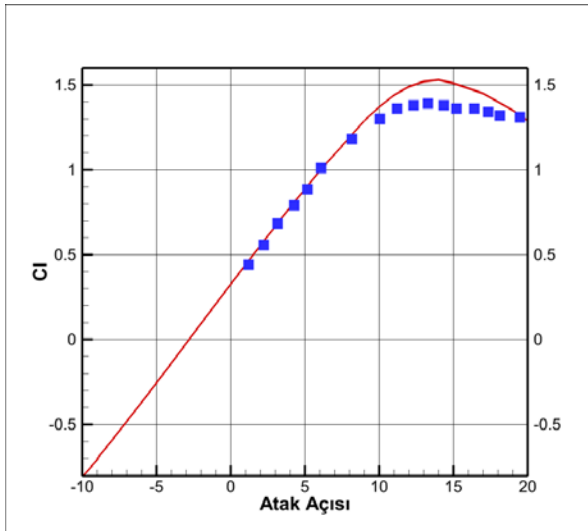
NACA 63-418 kanat profilinin -10 derecelik hücum açıları için yapılan analizlerin yakınsama grafiği



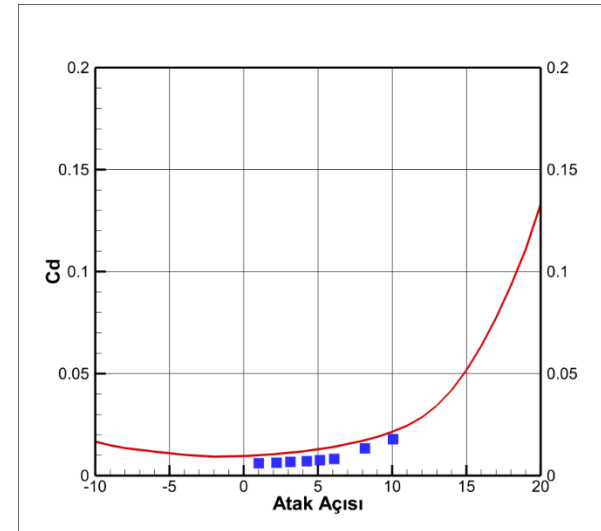
NACA 63-418 kanat profilinin 20 derecelik hücum açıları için yapılan analizlerin yakınsama grafiği

HAD Analiz Sonuçları

NACA 63-418



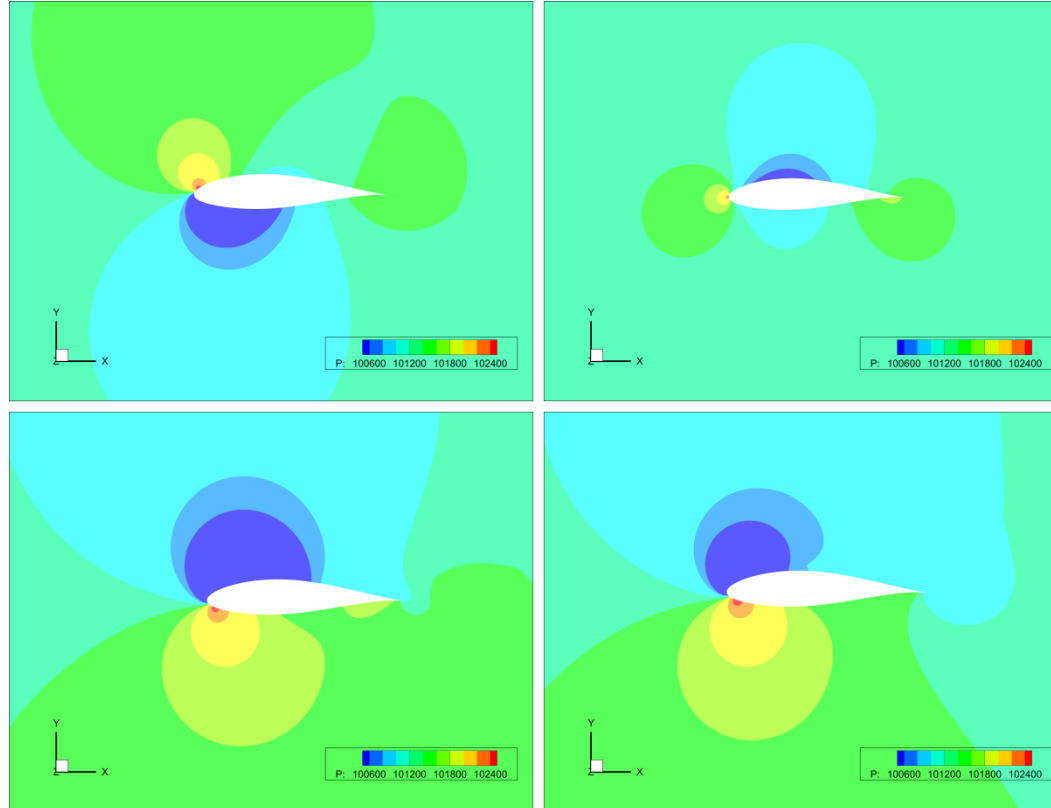
NACA 63-418 kanat profili için taşıma kuvveti katsayısının hücum açısına göre değişimi [1]



NACA 63-418 kanat profili için sürüklenme kuvveti katsayısının hücum açısına göre değişimi [1]

HAD Analiz Sonuçları

NACA 63-418

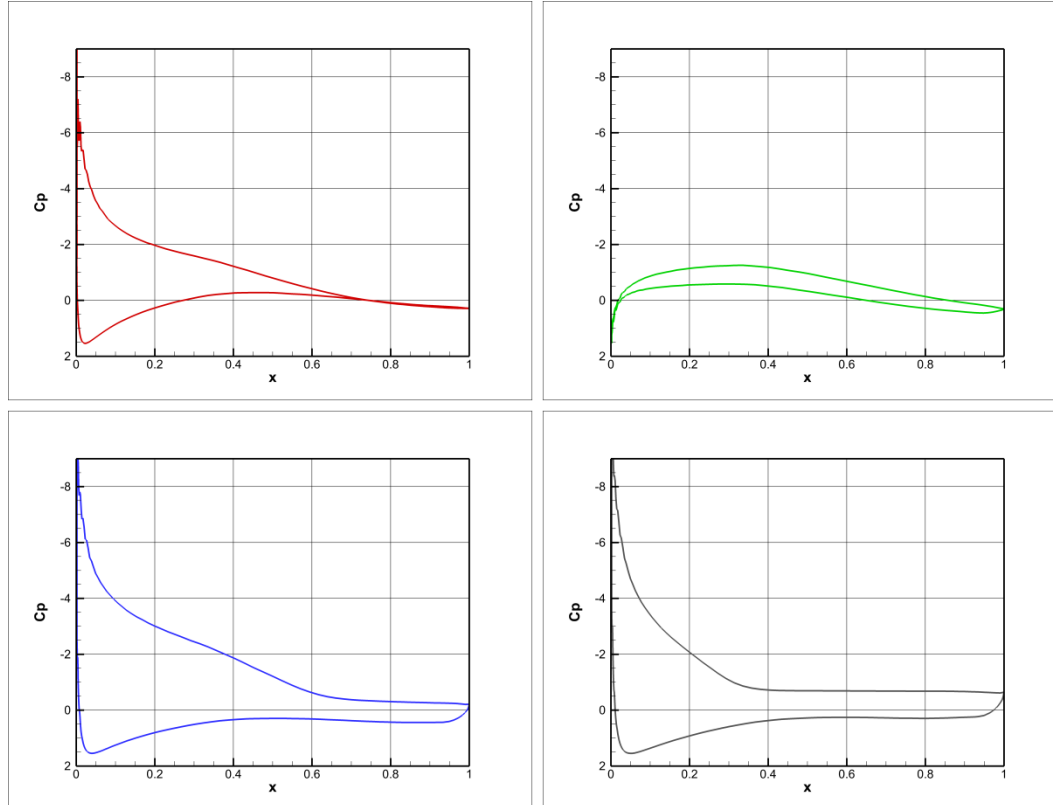


NACA 63-418 kanat profili üzerinde farklı hücum açılarında oluşan basınç dağılımları

a) AoA= -10° , b) AoA= 0° , c) AoA= 14° , d) AoA= 20°

HAD Analiz Sonuçları

NACA 63-418

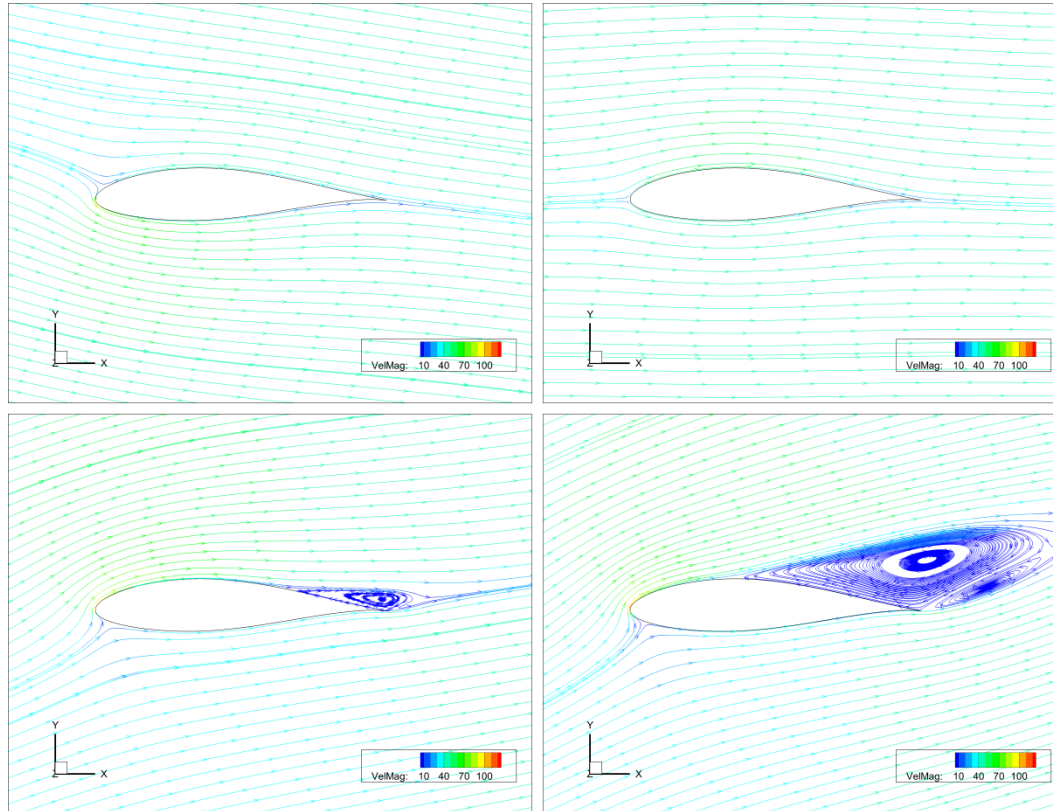


NACA 63-418 kanat profili üzerinde farklı hücum açılarında oluşan basınç katsayısı dağılımları

a) AoA= -10°, b) AoA= 0°, c) AoA= 14°, d) AoA= 20°

HAD Analiz Sonuçları

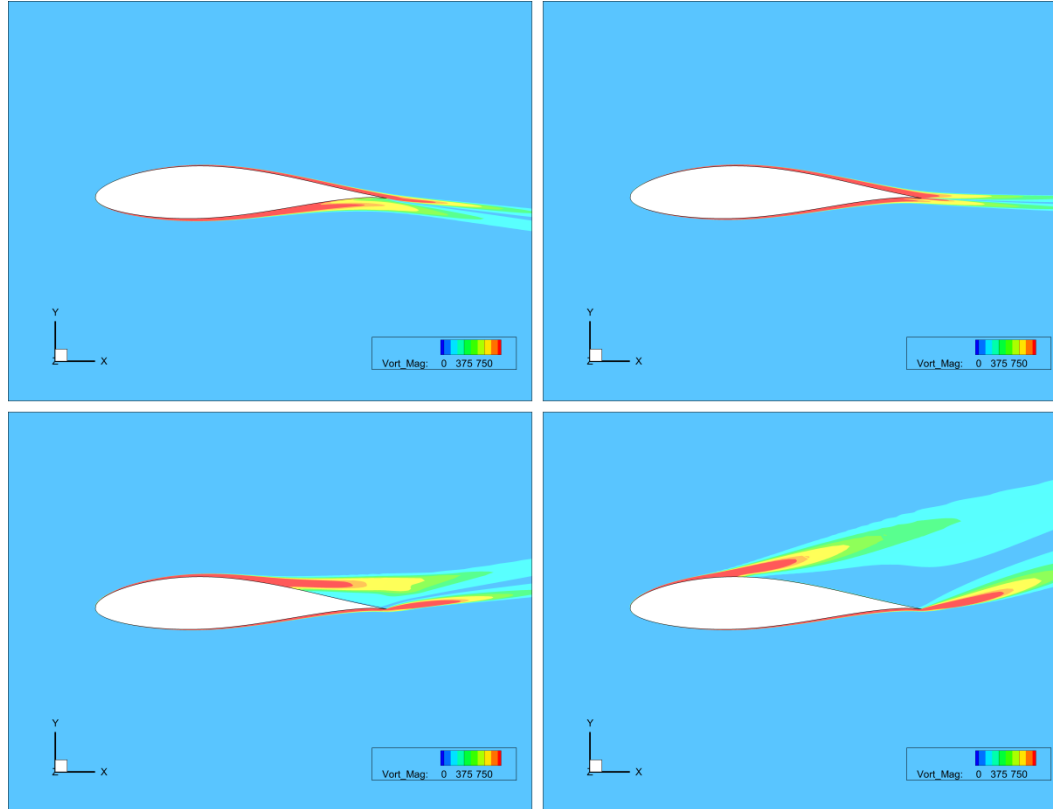
NACA 63-418



NACA 63-418 kanat profili üzerinde farklı hücum açılarında oluşan akış çizgileri ve akış hızı büyüklükleri
a) $AoA = -10^\circ$, b) $AoA = 0^\circ$, c) $AoA = 14^\circ$, d) $AoA = 20^\circ$

HAD Analiz Sonuçları

NACA 63-418

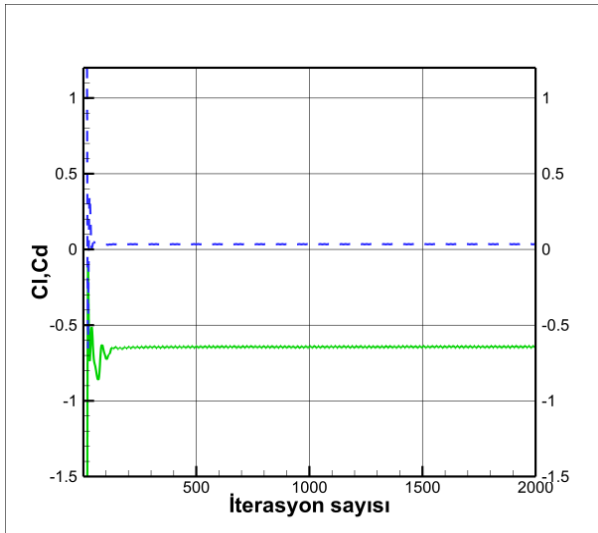


NACA 63-418 kanat profili üzerinde farklı hücum açılarında oluşan girdap şiddeti dağılımı

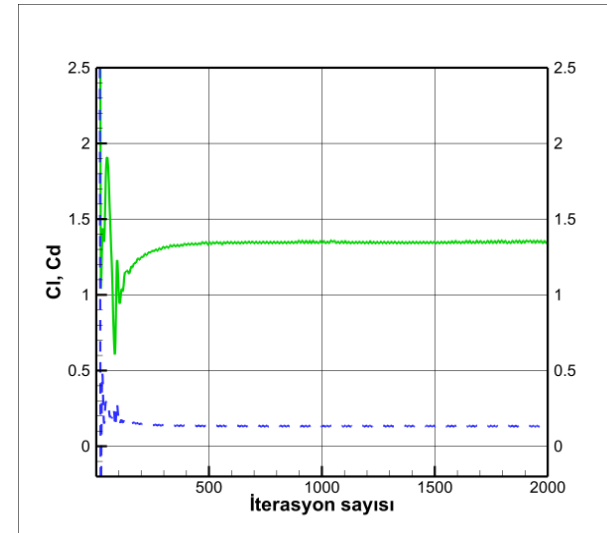
a) $AoA = -10^\circ$, b) $AoA = 0^\circ$, c) $AoA = 14^\circ$, d) $AoA = 20^\circ$

HAD Analiz Sonuçları

DU91-W2-250



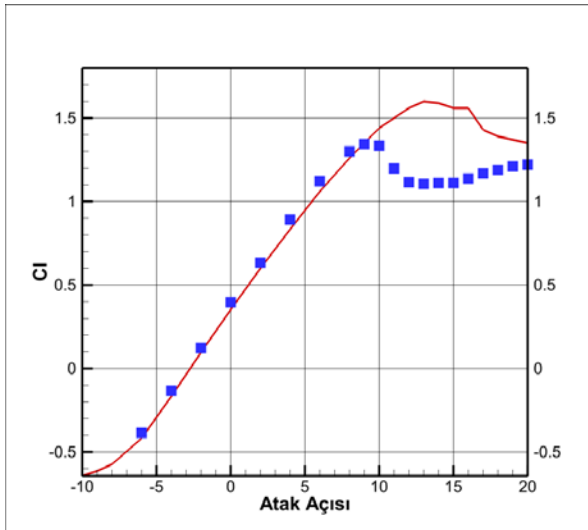
DU91-W2-250 kanat profilinin -10 derecelik hücum açıları için yapılan analizlerin yakınsama grafiği



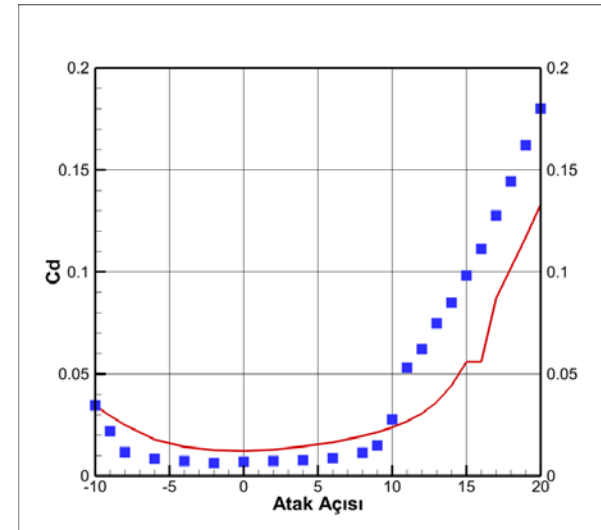
DU91-W2-250 kanat profilinin 20 derecelik hücum açıları için yapılan analizlerin yakınsama grafiği

HAD Analiz Sonuçları

DU91-W2-250



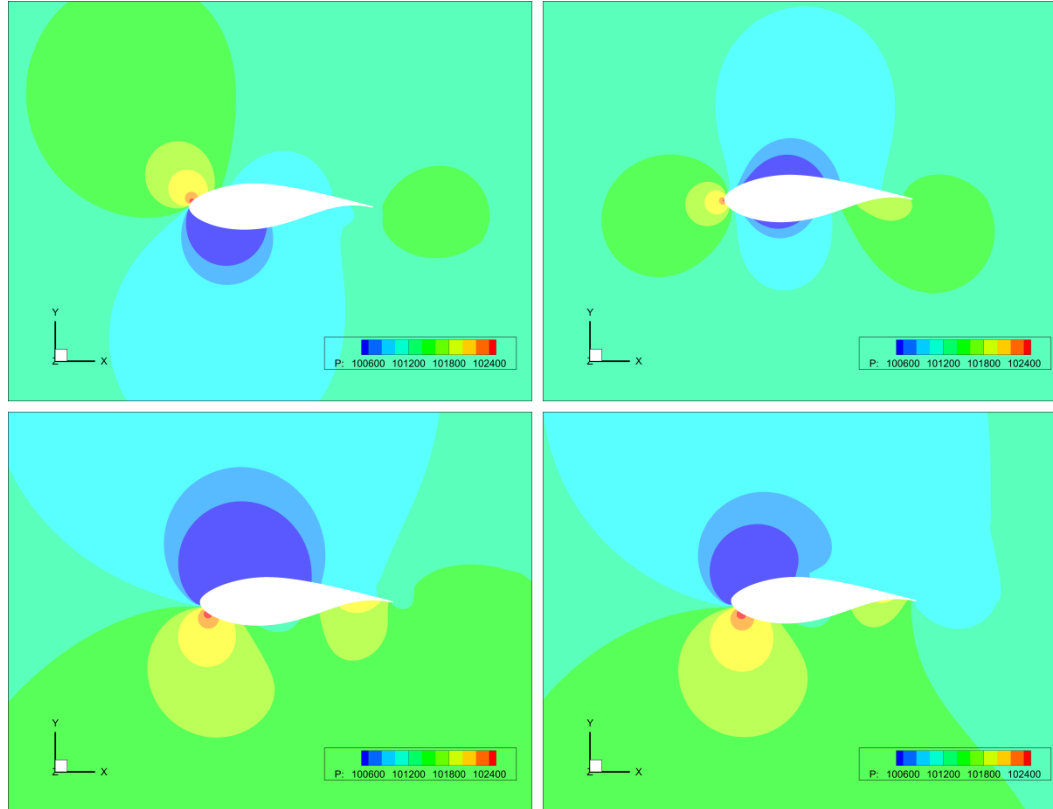
DU91-W2-250 kanat profili için taşıma kuvveti katsayısının hücum açısına göre değişimi [1]



DU91-W2-250 kanat profili için sürüklenme kuvveti katsayısının hücum açısına göre değişimi [1]

HAD Analiz Sonuçları

DU91-W2-250

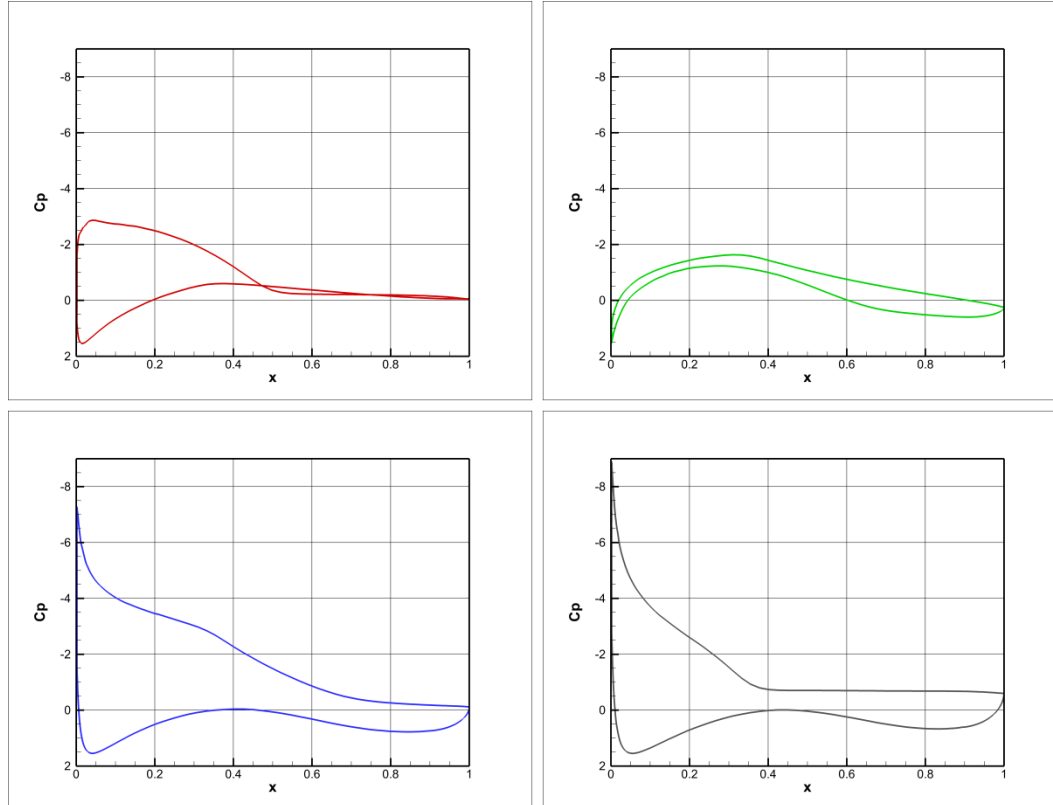


DU91-W2-250 kanat profili üzerinde farklı hücum açılarında oluşan basınç dağılımları

a) AoA= -10° , b) AoA= 0° , c) AoA= 14° , d) AoA= 20°

HAD Analiz Sonuçları

DU91-W2-250

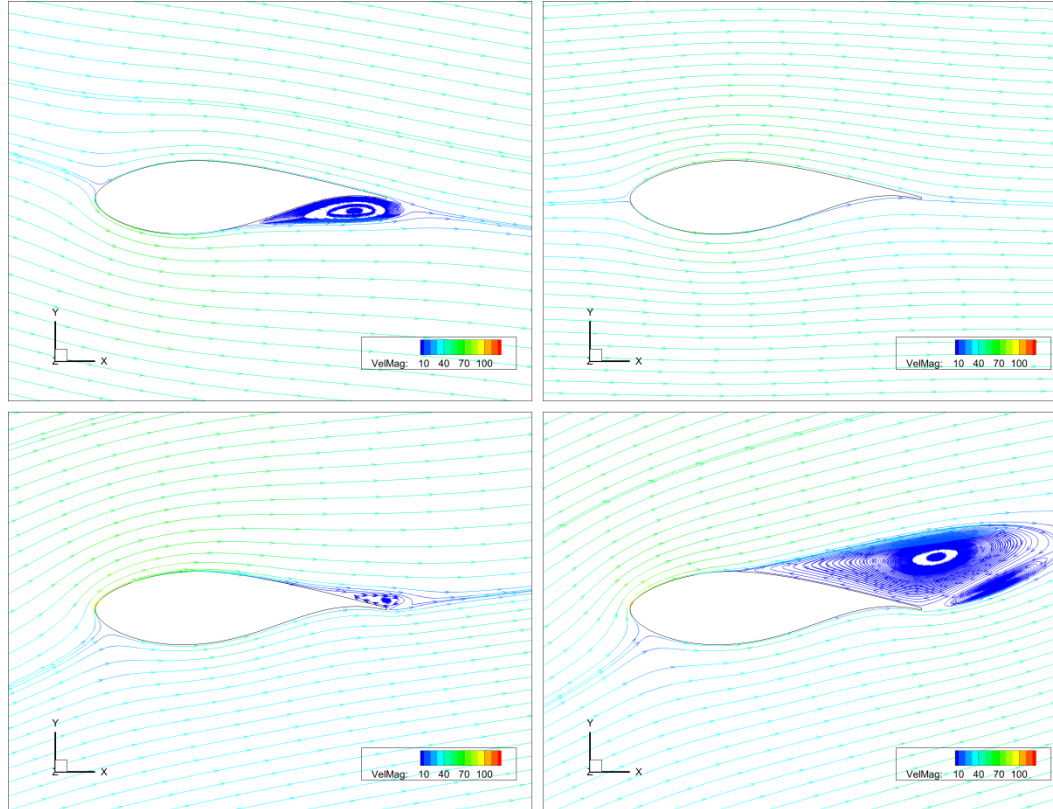


DU91-W2-250 kanat profili üzerinde farklı hücum açılarında oluşan basınç katsayısı dağılımları

a) AoA= -10°, b) AoA= 0°, c) AoA= 14°, d) AoA= 20°

HAD Analiz Sonuçları

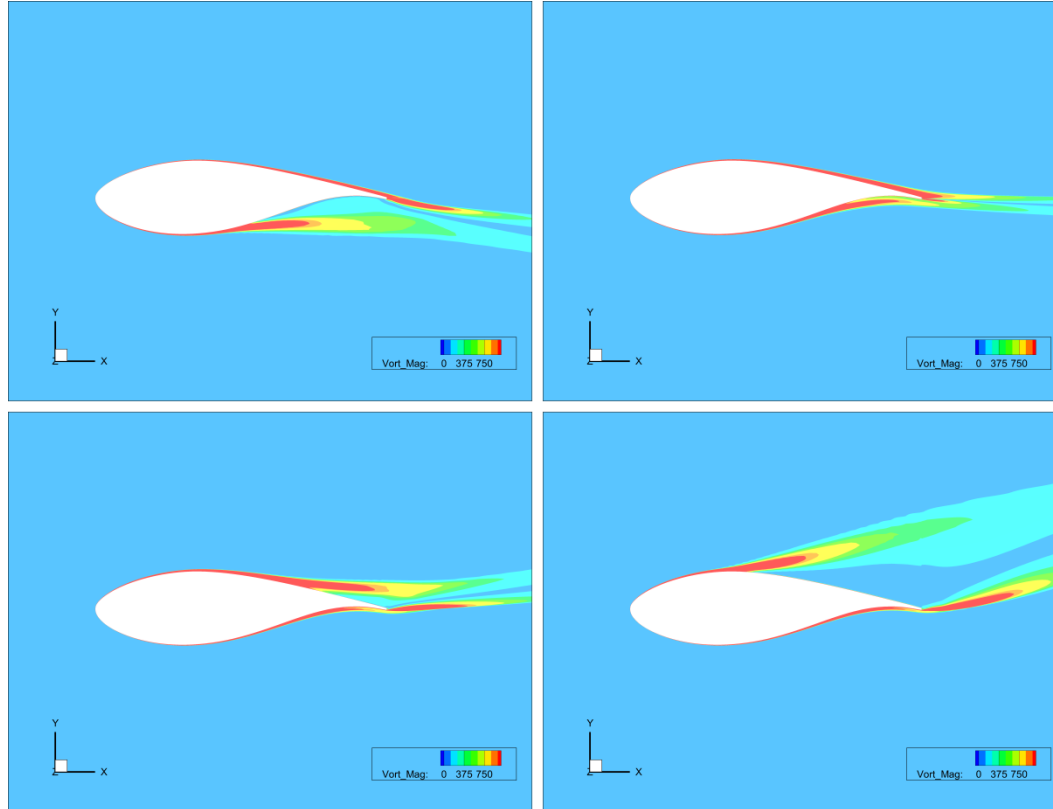
DU91-W2-250



DU91-W2-250 kanat profili üzerinde farklı hücum açılarında oluşan akış çizgileri ve akış hızı büyüklükleri
a) AoA= -10°, b) AoA= 0°, c) AoA= 14°, d) AoA= 20°

HAD Analiz Sonuçları

DU91-W2-250

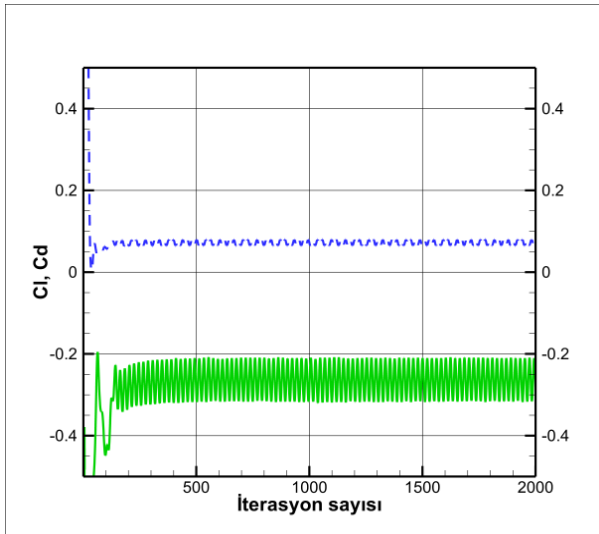


DU91-W2-250 kanat profili üzerinde farklı hücum açılarında oluşan girdap şiddeti dağılımı

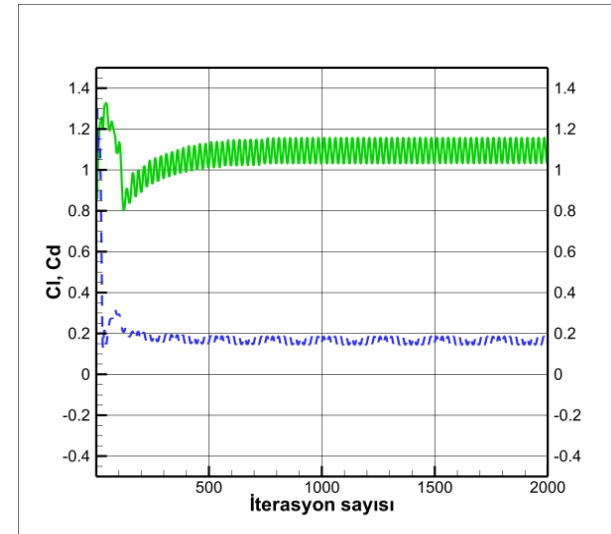
a) AoA= -10° , b) AoA= 0° , c) AoA= 14° , d) AoA= 20°

HAD Analiz Sonuçları

DU97-W-300



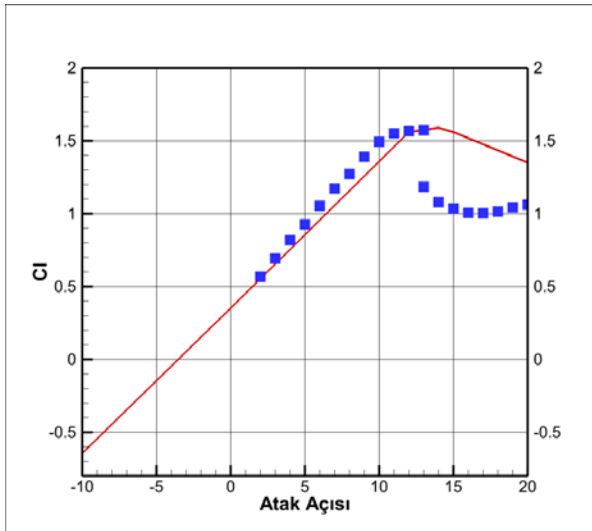
DU97-W-300 kanat profilinin -10 derecelik hücum açıları için yapılan analizlerin yakınsama grafiği



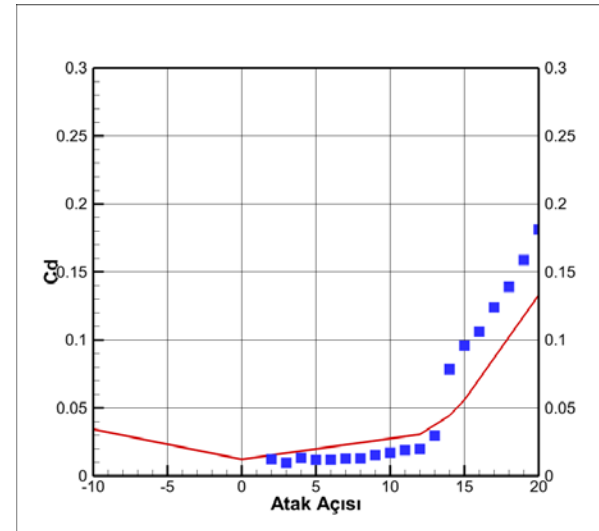
DU97-W-300 kanat profilinin 20 derecelik hücum açıları için yapılan analizlerin yakınsama grafiği

HAD Analiz Sonuçları

DU97-W-300



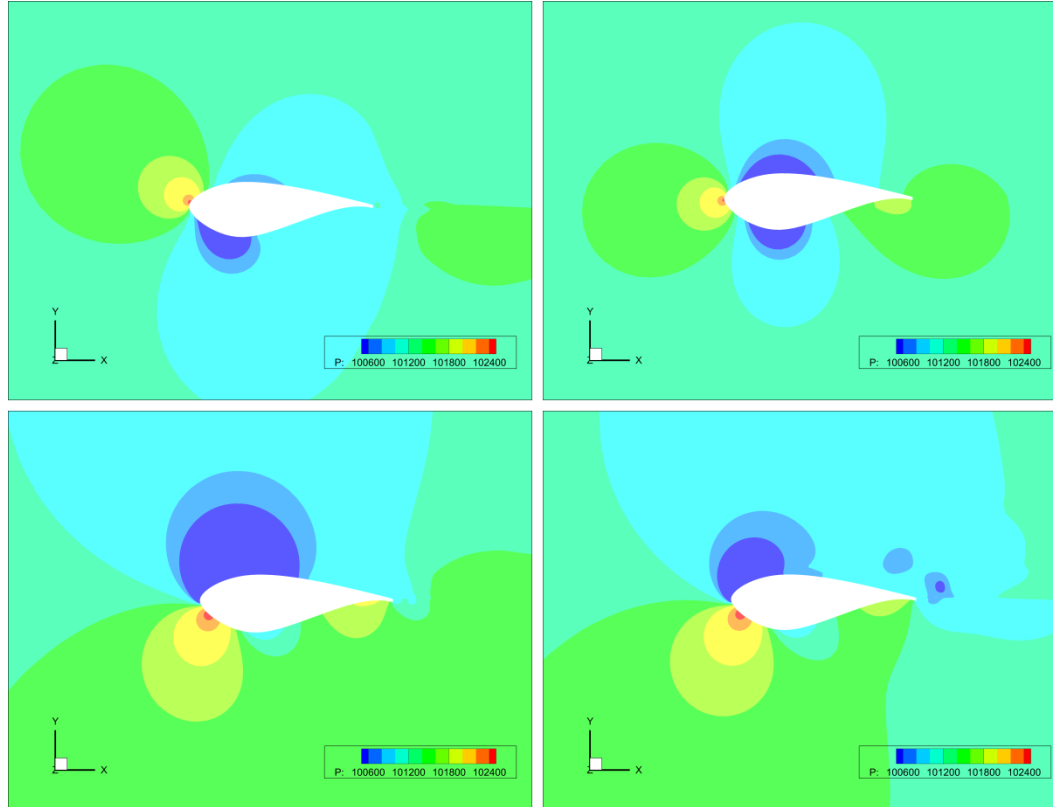
DU97-W-300 kanat profili için taşıma kuvveti katsayısının hücum açısına göre değişimi [1]



DU97-W-300 kanat profili için sürüklenme kuvveti katsayısının hücum açısına göre değişimi [1]

HAD Analiz Sonuçları

DU97-W-300

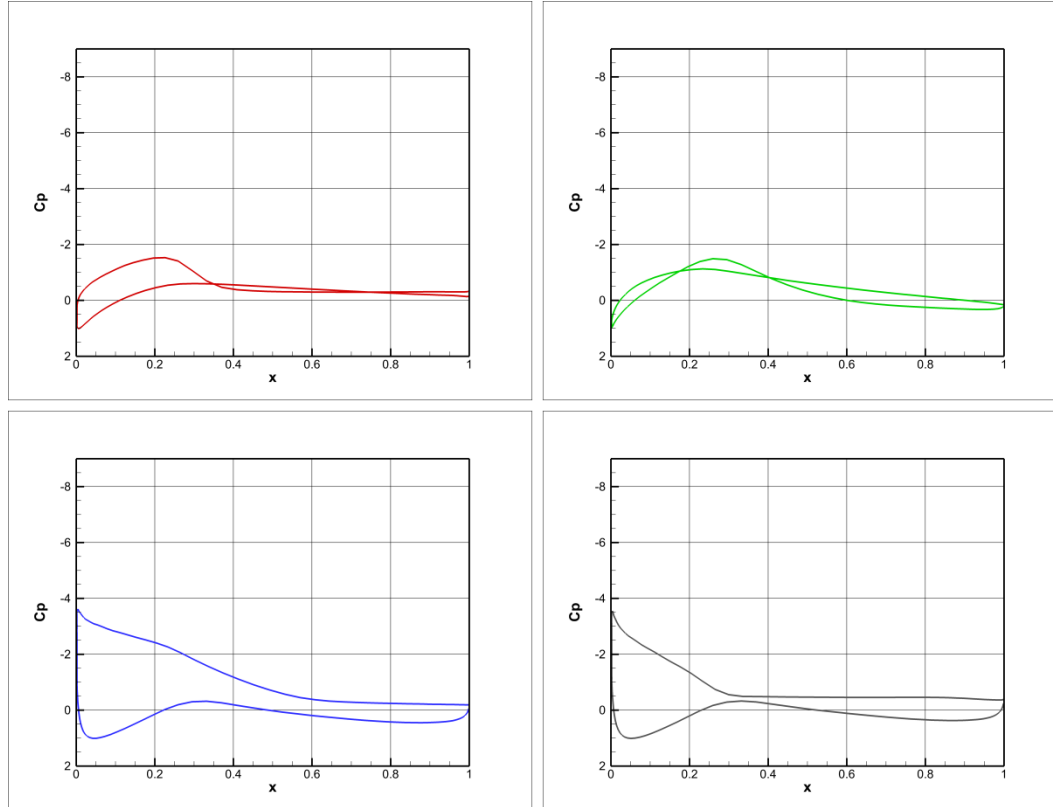


DU97-W-300 kanat profili üzerinde farklı hücum açılarında oluşan basınç dağılımları

a) AoA= -10° , b) AoA= 0° , c) AoA= 14° , d) AoA= 20°

HAD Analiz Sonuçları

DU97-W-300

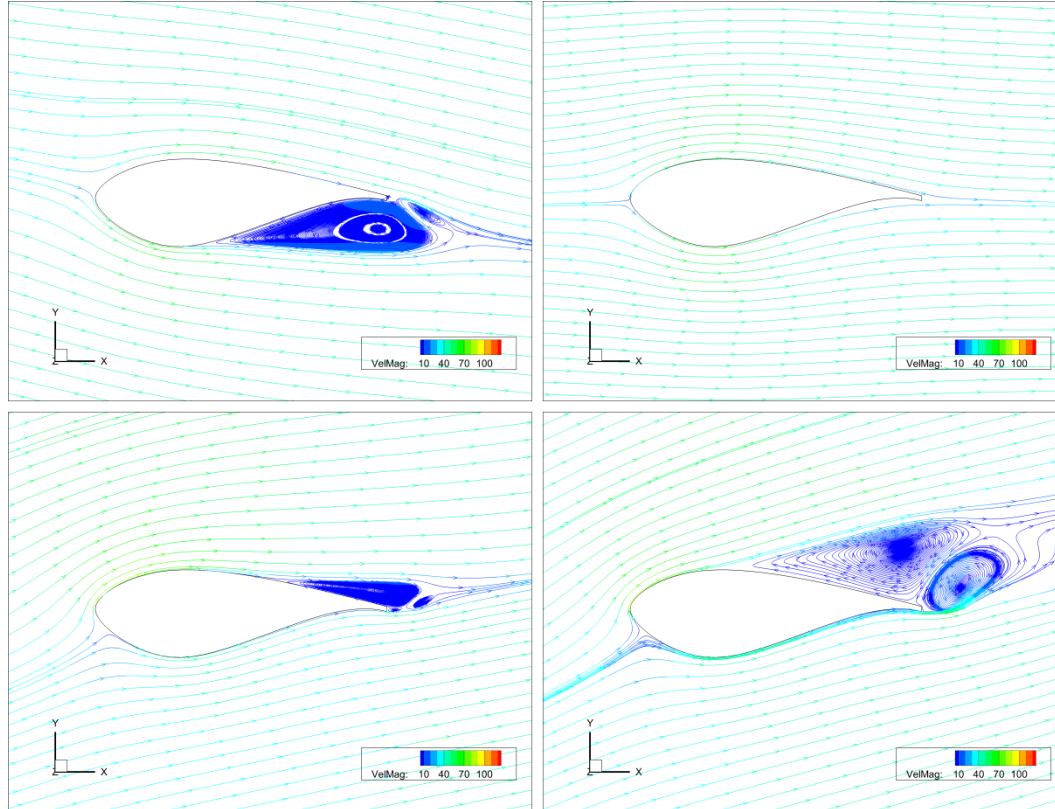


DU97-W-300 kanat profili üzerinde farklı hücum açılarında oluşan basınç katsayısı dağılımları

a) AoA= -10°, b) AoA= 0°, c) AoA= 14°, d) AoA= 20°

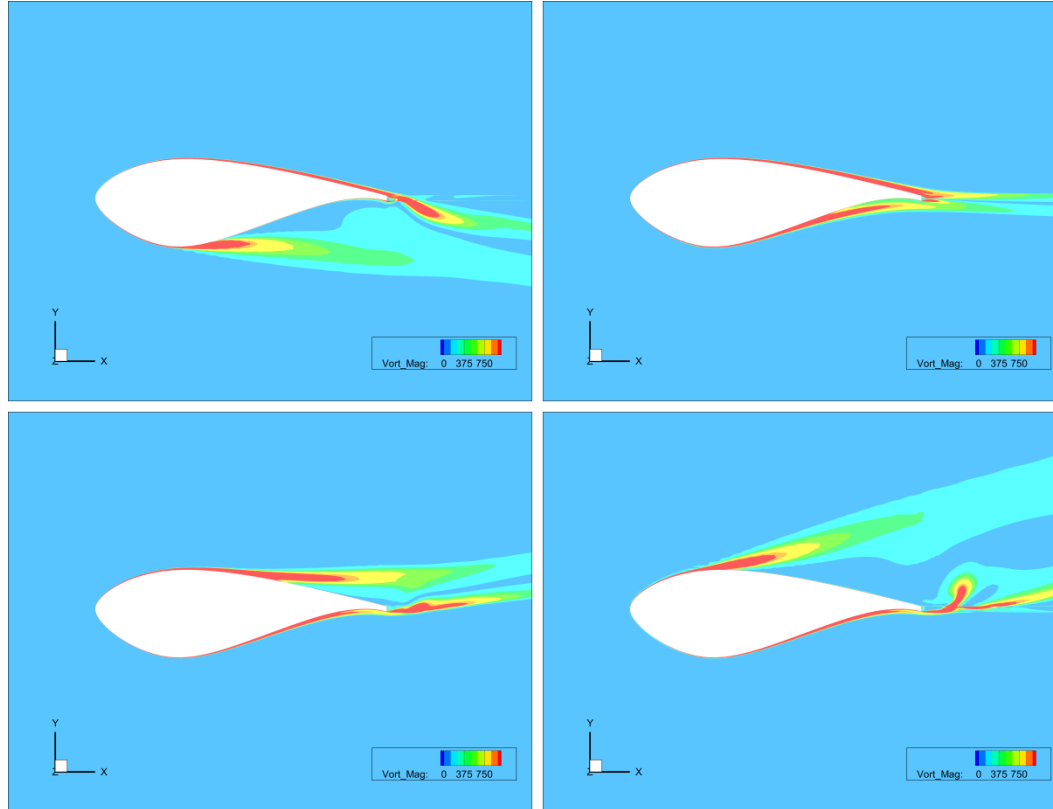
HAD Analiz Sonuçları

DU97-W-300



DU97-W-300 kanat profili üzerinde farklı hücum açılarında oluşan akış çizgileri ve akış hızı büyüklükleri
a) AoA= -10°, b) AoA= 0°, c) AoA= 14°, d) AoA= 20°

HAD Analiz Sonuçları DU97-W-300



DU97-W-300 kanat profili üzerinde farklı hücum açılarında oluşan girdap şiddeti dağılımı

a) AoA= -10°, b) AoA= 0°, c) AoA= 14°, d) AoA= 20°

SONUÇ

- Bu çalışmada, rüzgar türbini rotorlarında tercih edilen kalın kanat profillerinden NACA 63-418, DU91-W2-250 ve DU97-W-300 profilleri etrafındaki akış alanları için farklı hücum açıları için HAD simülasyonları yapılmıştır.
- Kanat profilleri etrafındaki akış alanları, daimi durum simülasyonları ile incelenmiş olup, analizlerden elde edilmiş veriler literatürde mevcut olan deneysel veriler ile karşılaştırılmıştır.
- Ayrıca, akışın kanat profilleri etrafındaki davranışının, profillerin aerodinamik performansı üzerine olan etkisi de birbirleri ile karşılaştırılmalı olarak tartışılmıştır.
- NACA 63-418 ve DU 91-W2-250 profilleri daimi durum simülasyonlarında iyi sonuçlar verirken, göreceli olarak daha kalın ve firar kenarı küt bir kanat profili olan DU 97-W-300 için daimi durum simülasyonlarında istenen daimi sonuçlar elde edilememiştir.
- Bu profilin etrafındaki akışı inceleyebilmek için zamana bağlı HAD simülasyonlarını yapılması ve anlık ve ortalama değerlerin incelenmesi gerekmektedir.

DİNLEDİĞİNİZ İÇİN TEŞEKKÜR EDERİM.



REFERANSLAR

- [1] Bertagnolio, F., Sørensen, N. N., Johansen, J., & Fuglsang, P., 2001. Wind turbine airfoil catalogue. Denmark. Forskningscenter Risoe. Risoe-R, No. 1280(EN)
- [2] Timmer, W. A., & Rooij, R. P. J. O. M., 2003. Summary of the Delft University wind turbine dedicated airfoils. In 41st aerospace sciences meeting and exhibit (s. 352).
- [3] Van Rooij, R. P. J. O. M., & Timmer, W. A., 2003, January. Roughness sensitivity considerations for thick rotor blade airfoils. In ASME 2003 Wind Energy Symposium, American Society of Mechanical Engineers. (s. 22-31)
- [4] Velte, C. M., Hansen, M. O. L., Meyer, K. E., & Fuglsang, P., 2008. Evaluation of the Performance of Vortex Generators on the DU 91-W2-250 Profile using Stereoscopic PIV. In International Symposium on Energy, Informatics and Cybernetics: Focus Symposium in the 12th World Multiconference on Systemics, Cybernetics and Informatics (WMSCI 2008).
- [5] Barone, M., & Berg, D., 2009. Aerodynamic and aeroacoustic properties of a flatback airfoil: an update. In 47th AIAA Aerospace Sciences Meeting including The New Horizons Forum and Aerospace Exposition, s. 271.
- [6] Bechmann, A., Sørensen, N. N., & Zahle, F., 2011. CFD simulations of the MEXICO rotor. Wind Energy, 14(5), s. 677-689.
- [7] Lago, L. I., Ponta, F. L., & Otero, A. D., 2013. Analysis of alternative adaptive geometrical configurations for the NREL-5 MW wind turbine blade. Renewable Energy, 59, s. 13-22.
- [8] Fischer, G. R., Kipouros, T., & Savill, A. M., 2014. Multi-objective optimisation of horizontal axis wind turbine structure and energy production using aerofoil and blade properties as design variables. Renewable Energy, 62, s. 506-515.
- [9] Yang, Y., Li, C., Zhang, W., Yang, J., Ye, Z., Miao, W., & Ye, K., 2016. A multi-objective optimization for HAWT blades design by considering structural strength. Journal of Mechanical Science and Technology, 30(8), s. 3693-3703.
- [10] Cakmakcioglu, S. C., Sert, I. O., Tugluk, O., & Sezer-Uzol, N., 2014. 2-D and 3-D CFD investigation of NREL S826 airfoil at low Reynolds numbers. In Journal of Physics: Conference Series (Vol. 524, No. 1, p. 012028). IOP Publishing.
- [11] Gao, L., Zhang, H., Liu, Y., & Han, S., 2015. Effects of vortex generators on a blunt trailing-edge airfoil for wind turbines. Renewable Energy, 76, s. 303-311.
- [12] Özçakmak, Ö. S., Madsen, H. A., Sørensen, N. N., Sørensen, J. N., Fischer, A., & Bak, C., 2018, June. Inflow Turbulence and Leading Edge Roughness Effects on Laminar-Turbulent Transition on NACA 63-418 Airfoil. In Journal of Physics: Conference Series (Vol. 1037, No. 2, s. 022005). IOP Publishing.
- [13] Rogowski, K., Hansen, M. O. L., Hansen, R., Piechna, J., & Lichota, P., 2018, June. Detached Eddy Simulation Model for the DU-91-W2-250 Airfoil. In Journal of Physics: Conference Series (Vol. 1037, No. 2, s. 022019). IOP Publishing.
- [14] Li, S., Zhang, L., Yang, K., Xu, J., & Li, X., 2018. Aerodynamic Performance of Wind Turbine Airfoil DU 91-W2-250 under Dynamic Stall. Applied Sciences, 8(7), s. 1111.
- [15] CFD++ Software, <http://www.metacomptech.com/index.php/features/icfd>
- [16] Pointwise Software, <https://www.pointwise.com/>
- [17] Airfoil Tools, <http://airfoiltools.com/airfoil/details?airfoil=naca633418-il>
- [18] <https://www.comsol.com/blogs/analyzing-wind-turbine-blades-with-the-composite-materials-module/>