

RÜZGAR TÜRBİNİ KANATLARININ KATI MODELLEMESİ

Cem ONAT^{*}, Tamer KEPÇELER^{**},
Baki Orçun ORGÜL^{***}

Bu makalede, dizayn devirlilik sayısı, kanat boyu, hücum açısı ve seçilen profil tipine bağlı olarak 2 farklı profil tipinde 3 farklı kanat sayısı için 6 adet kanat dizaynı yapılmıştır. Matlab bilgisayar programı kullanılarak kanadın optimum bağlama açısı, optimum profil boyu ve kanat profili alt ve üst kalınlıkları profil giriş hattı boyunca hesaplanmıştır. Daha sonra hesaplanan değerler ışığında Solidworks programı kullanılarak 6 farklı kanadın katı modellemesi yapılmıştır. Sonuç olarak optimum kanat bağlama açısı ve optimum profili boyu yarıçapı ile azalmakta olduğu ve gerçekleştirilen katı modelin maksimum bağlı hatasının yüzde bir mertebelerinde kaldığı ve rüzgâr türbini kanatlarının burgulu formda olduğu görsel olarak ortaya konmuştur. Ayrıca beş metre uzunluğunda üç kanada sahip, on derece dizayn hücum açılı, LS-1 profilli rüzgâr türbini rotorunun bütün olarak katı modellemesi yapılmış olup mukavemet ve titreşim analizi için gerekli olan katı model elde edilmiştir.

Anahtar sözcükler: Rüzgâr, rüzgâr türbini, katı modelleme

In this article, six blades were designed for three different blade numbers which have two different profile types according to chosen profile type, angle of attack, blade length and design rotation number. The optimum binding angle and the optimum profile length of the blade and the bottom and the upper thicknesses of the blade through jet profile bowstring line were calculated with Matlab programme. Then, the solid model of six blades was made using Solidworks programme according to the calculated values. Finally, it was proved that the optimum blade binding angle and the optimum profile length were decreased with radius, the maximum relative error of the solid model was about 1 % and wind turbine blades were in the form of drill visually. Furthermore, the whole solid model of the five meter long wind turbine rotor which has three blades, 10 degree angle of attack and LS-1 profile was made and the solid model which was required for the strength and resonance analysis was obtained.

Keywords: Wind, wind turbine, solidworks

^{*} Arş. Grv., Yıldız Teknik Üniversitesi Makina Fak.
^{**} Öğr. Grv. Dr., Yıldız Teknik Üniversitesi Makina Fak.
^{***} Makina Mühendisi

GİRİŞ

Rüzgâr türbini tasarımında, enerji dönüşümü zincirinin ilk halkası olan rüzgâr pervanesi önemli bir rol oynamaktadır. Rüzgârdaki kinetik enerjinin pervane miline olabildiğince kayıpsız alınması, elde edilecek verimi önemli ölçüde etkilemektedir. Bu sebeple rüzgâr türbini pervanesinin rüzgârdan maksimum enerjiyi çekebilecek şekilde dizayn edilmesi gerekmektedir [1].

Rüzgâr türbini kanat dizaynında, öncelikle yapılması gereken, dizayn devirlilik sayısı seçimidir. Bu değer, şebeke bağlantılı üç kanatlı rüzgâr türbinleri için 7 olarak alınmakta ve 6 - 8 değerleri arasında seçilmesi önerilmektedir [2,3]. En genel halde optimum devirlilik sayısı, profil tipine ve kanat sayısına bağlıdır. Bu nedenle optimum devirlilik sayısının 6 - 8 arasında seçimi genel bir kural değildir [4]. Rüzgâr türbini kanadı dizaynı için optimum profil boyunun, profil giriş hattı ile pervane dönme düzlemi arasındaki açı olan bağlama açısının ve profil boyuna bağlı olarak profil alt ve üst kalınlıkları hesaplanmalıdır [5].

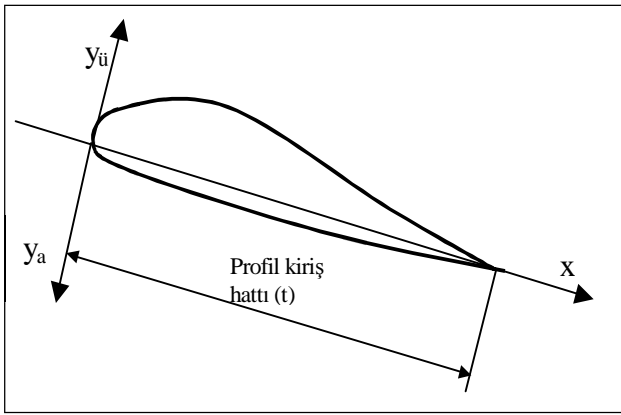
Rüzgâr türbini rotorlarının üretiminde dikkate alınması gereken ve yeterince dikkate alınmadığı durumlarda sonuçlarının çok daha ağır olabileceği bir konu; yüksek rüzgâr hızlarında rotorun dayanımıdır. Önlem alınmaması durumunda, yüksek rüzgâr hızlarında türbin kulesinde ve özellikle kanatlarda mukavemet problemleri ortaya çıkmakta, sonuç olarak türbin elemanlarının deformasyonu ve hatta kırılması söz konusu olabilmektedir. Kuleyi zorlayan yük, kule ve özellikle pervaneye etki eden rüzgâr kuvvetinden kaynaklanmaktadır. Kanatlara ise, hem rüzgâr kuvveti hem de kanatların dönmesinden kaynaklanan atalet kuvvetlerinin teğetsel ve normal bileşenleri etki etmektedir. Bu kuvvetler, kule ve kanatlarda eğilme gerilmeleri ile normal gerilmeler oluşturmakta, bu gerilmelerin kullanılan malzemeye özgü güvenli gerilme sınırını aşması durumunda da kırılma oluşmaktadır [6].

TEORİ

Rüzgâr türbini pervane kanatlarında profil olarak daha çok NACA, LS ve LM profilleri kullanılmaktadır. Rüzgâr türbinlerinde

verimi kanat profilinin sağlayacağı kaldırma kuvvetinin direnç kuvvetine oranı (ϵ) etkilemektedir. Bu oran ne kadar büyük olursa sistemin verimi o kadar iyi olur.

Şekil 1'de bir rüzgâr türbini kanat profilinin temel parametreleri gösterilmiştir. Profillerin giriş ve çıkış uçlarını birleştiren doğruya profil giriş hattı denir. Profil kataloglarında bu profillerin profil giriş hattından itibaren ölçülen $y_{\bar{u}}$ (üst kalınlık) ve y_a (alt kalınlık) değerleri t profil boyuna bölünerek boyutsuz olarak verilmektedir.



Şekil 1. Kanat Profilinin Temel Parametreleri.

R yarıçapında bir rüzgâr türbini rotoru kanadının katı modelini oluşturmak için öncelikle profil boyunu her bir r uzunluğu için hesaplamak gerekir. Optimum profil boyu; z kanat sayısı, c_L kaldırma kuvveti katsayısı ve λ_D dizayn devirlilik sayısı olmak üzere:

$$t_{opt} = \frac{1}{z} \frac{16\pi r}{c_L} \sin^2 \left[\frac{\arctg\left(\frac{R}{\lambda_D \cdot r}\right)}{3} \right] \quad (1)$$

bağıntısıyla hesaplanabilmektedir [5]. Bu çalışmada

kullanılan NACA 4415 ve LS-1 profillerine ait kaldırma kuvveti katsayıları, hücum açlarına bağlı olarak Tablo 1’de verilmektedir [2].

Türbin kanadı dizaynı için optimum profil boyunun yanı sıra, profil giriş hattı ile pervane düzlemi arasındaki açı olan bağlama açısında (α_{bgl}) bilinmesi gerekir. Bunun için α_{opt} , optimum hücum açısı, α_1 , relatif hız vektörü ile profil giriş hattı arasındaki açı olmak üzere,

$$\alpha_{opt} = \frac{2}{3} \alpha_1 \quad (2)$$

şeklinde R rotor yarıçapı, λ_D dizayn devirlilik sayısı olmak üzere,

$$\tg \alpha_1 = \frac{R}{\lambda_D r} \quad (3)$$

ile verilmektedir. Buna göre optimum bağlama açısı $\alpha_{bgl} = \alpha_1 - \alpha_D$ bağıntısından hesaplanabilir. Dizayn aşamasında, hücum açısı α_D seçilir ve optimum bağlama açısı:

$$\alpha_{op,bgl} = \frac{2}{3} \arctg\left(\frac{R}{\lambda_D r}\right) - \alpha_D \quad (4)$$

bağıntısıyla bulunarak, kanat profili her bir r için çizilir. Kanat profili çiziminde kanat eksenini, burulma zorlanmasını azaltabilmek için genellikle hücum kenarına daha yakın olacak şekilde $t/4$ ve $t/3$ aralığında yerleştirilir [7].

Her bir r için optimum profil boyu ve optimum bağlama açısı belirlendikten sonra her bir r için çizilecek olan kanat profillerinin alt ve üst kalınlıklarının (profil giriş hattı boyunca) belirlenmesi gerekir. Bunun için NACA 4415 ve LS-1 profiline ait kalınlık değerleri Tablo 2’de verilmektedir.

Tablo 1. NACA 4415 ve LS-1 Profillerine Ait Kaldırma Kuvveti Katsayıları

	$\alpha_D = 0^\circ$	$\alpha_D = 5^\circ$	$\alpha_D = 10^\circ$	$\alpha_D = 15^\circ$
NACA 4415	0.4	0.875	1.225	1.2
LS-1	0.375	0.4	1.5	2

Tablo 2. NACA 4415 ve LS-1 Profillerine Ait Kalınlık Değerleri

NACA 4415			LS-1		
x/t	y _u /t	y _a /t	x/t	y _u /t	y _a /t
0	0	0	0	0	0
0.2	0.1	0.04	0.2	0.105	0.06
0.4	0.11	0.03	0.4	0.104	0.065
0.6	0.09	0.015	0.6	0.085	0.045
0.8	0.05	0.008	0.8	0.05	0.01

ANALİZ

Optimum profil boyu, optimum bağlama açısı ve kanat profil tipine bağlı olarak kanadın alt ve üst kalınlık değerleri, Matlab programında 6 değişik dizayn seçeneği için hesaplandı. LS-1 profilinde $a_D = 10^\circ$ de, NACA 4415 profilinde 5° de maksimum enerji elde edilmektedir [1]. Bunun için hesaplar LS-1 profili için $a_D = 10^\circ$ dizayn hücum açısında, NACA 4415 profili için $a_D = 5^\circ$ dizayn hücum açısında yapılmıştır. Tablo 3-4 de sırasıyla NACA 4415 profili, $l_D = 7$, $R = 5$, $a_D = 5^\circ$ için ve LS-

1 profili, $l_D = 7$, $R = 5$, $a_D = 10^\circ$ için optimum profil boyu ve optimum bağlama açısının kanat sayısı ile değişimi tablo halinde verilmektedir.

Tablo 5-7’de NACA 4415 profilinin $l_o = 7$, $R = 5$, $a_D = 5^\circ$ dizayn şartlarında 3 farklı kanat sayısı ($z = 2, 3, 4$) için profil kiriş hattı boyunca ayrı ayrı hesaplanan profil kalınlığı değerleri tablo halinde verilmektedir. Tablo 8-10’da ise LS-1 profilinin $l_o = 7$, $R = 5$, $a_D = 10^\circ$ dizayn şartlarında 3 farklı kanat sayısı ($z = 2, 3, 4$) için profil kiriş hattı boyunca ayrı ayrı hesaplanan profil kalınlığı değerleri tablo halinde verilmektedir.

Tablo 3. NACA 4415 Profili, $l_o = 7$, $R = 5$, $a_D = 5^\circ$ için Optimum Profil Boyu ve Optimum Bağlama Açısının Kanat Sayısıyla Değişimi

r	0,8	1,2667	1,7334	2,2001	2,6668	3,1335	3,6002	4,0669	4,5333	5	
z = 2	t	1,3298	1,0554	0,8404	0,6894	0,5814	0,5014	0,4401	0,3919	0,3530	0,321
	α	22,8402	14,6123	9,9301	6,9910	4,9962	3,5608	2,4812	1,6410	0,9690	0,4197
z = 3	t	0,8866	0,7036	0,5602	0,4596	0,3876	0,3342	0,2934	0,2612	0,2353	0,2140
	α	22,8402	14,6123	9,9301	6,9910	4,9962	3,5608	2,4812	1,6410	0,9690	0,4197
z = 4	t	0,6649	0,5277	0,4202	0,3447	0,2907	0,2507	0,2201	0,1959	0,1765	0,1605
	α	22,8402	14,6123	9,9301	6,9910	4,9962	3,5608	2,4812	1,6410	0,9690	0,4197

Tablo 4. LS-1 Profili, $l_o = 7$, $R = 5$, $a_D = 10^\circ$ için Optimum Profil Boyu ve Optimum Bağlama Açısının Kanat Sayısıyla Değişimi

r	0,8	1,2667	1,7334	2,2001	2,6668	3,1335	3,6002	4,0669	4,5333	5	
z = 2	t	0,7757	0,6156	0,4902	0,4022	0,3392	0,2925	0,2657	0,2286	0,2059	0,1873
	α	17,8402	9,6123	4,9301	1,9910	359,99	358,56	357,48	356,64	355,96	355,41
z = 3	t	0,5172	0,4104	0,3268	0,2681	0,2261	0,1950	0,1712	0,1524	0,1373	0,1248
	α	17,8402	9,6123	4,9301	1,9910	359,99	358,56	357,48	356,64	355,96	355,41
z = 4	t	0,3879	0,3078	0,2451	0,2011	0,1696	0,1462	0,1284	0,1143	0,1030	0,0936
	α	17,8402	9,6123	4,9301	1,9910	359,99	358,56	357,48	356,64	355,96	355,41

Tablo 5. NACA 4415 Profilinin 2 Kanatlı Versiyonu İçin Profil Kalınlığı Tablosu

x/t	r	0,8	1,2667	1,7334	2,2001	2,6668	3,1335	3,6002	4,0669	4,5333	5
0	y _ü	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	y _a	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0,2	y _ü	0,1330	0,1055	0,0840	0,0689	0,0581	0,0501	0,0440	0,0392	0,0353	0,0321
	y _a	0,0532	0,0422	0,0336	0,0276	0,0233	0,0201	0,0176	0,0157	0,0141	0,0128
0,4	y _ü	0,1463	0,1161	0,0924	0,0758	0,0640	0,0552	0,0484	0,0431	0,0388	0,0353
	y _a	0,0399	0,0317	0,0252	0,0207	0,0174	0,0150	0,0132	0,0118	0,0106	0,0096
0,6	y _ü	0,1197	0,0950	0,0756	0,0620	0,0523	0,0451	0,0396	0,0353	0,0318	0,0289
	y _a	0,0199	0,0158	0,0126	0,0103	0,0087	0,0075	0,0066	0,0059	0,0053	0,0048
0,8	y _ü	0,0665	0,0528	0,0420	0,0345	0,0291	0,0251	0,0220	0,0196	0,0177	0,0161
	y _a	0,0106	0,0084	0,0067	0,0055	0,0047	0,0040	0,0035	0,0031	0,0028	0,0026
1	y _ü	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	y _a	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tablo 6. NACA 4415 Profilinin 3 Kanatlı Versiyonu İçin Profil Kalınlığı Tablosu

x/t	r	0,8	1,2667	1,7334	2,2001	2,6668	3,1335	3,6002	4,0669	4,5333	5
0	y _ü	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	y _a	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0,2	y _ü	0,0887	0,0704	0,0560	0,0460	0,0388	0,0334	0,0293	0,0261	0,0235	0,0214
	y _a	0,0355	0,0281	0,0224	0,0184	0,0155	0,0134	0,0117	0,0105	0,0094	0,0086
0,4	y _ü	0,0975	0,0774	0,0616	0,0506	0,0426	0,0368	0,0323	0,0287	0,0259	0,0235
	y _a	0,0266	0,0211	0,0168	0,0138	0,0116	0,0100	0,0088	0,0078	0,0071	0,0064
0,6	y _ü	0,0798	0,0633	0,0504	0,0414	0,0349	0,0301	0,0264	0,0235	0,0212	0,0193
	y _a	0,0133	0,0106	0,0084	0,0069	0,0058	0,0050	0,0044	0,0039	0,0035	0,0032
0,8	y _ü	0,0443	0,0352	0,0280	0,0230	0,0194	0,0167	0,0147	0,0131	0,0118	0,0107
	y _a	0,0071	0,0056	0,0045	0,0037	0,0031	0,0027	0,0023	0,0021	0,0019	0,0017
1	y _ü	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	y _a	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tablo 7. NACA 4415 Profilinin 4 Kanatlı Versiyonu İçin Profil Kalınlığı Tablosu

x/t	r	0,8	1,2667	1,7334	2,2001	2,6668	3,1335	3,6002	4,0669	4,5333	5
0	y _ü	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	y _a	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0,2	y _ü	0,0665	0,0528	0,0420	0,0345	0,0291	0,0251	0,0220	0,0196	0,0177	0,0161
	y _a	0,0266	0,0211	0,0168	0,0138	0,0116	0,0100	0,0088	0,0078	0,0071	0,0064
0,4	y _ü	0,0731	0,0580	0,0462	0,0379	0,0320	0,0276	0,0242	0,0216	0,0194	0,0177
	y _a	0,0199	0,0158	0,0126	0,0103	0,0087	0,0075	0,0066	0,0059	0,0053	0,0048
0,6	y _ü	0,0598	0,0475	0,0378	0,0310	0,0262	0,0226	0,0198	0,0176	0,0159	0,0144
	y _a	0,0100	0,0079	0,0063	0,0052	0,0044	0,0038	0,0033	0,0029	0,0026	0,0024
0,8	y _ü	0,0332	0,0264	0,0210	0,0172	0,0145	0,0125	0,0110	0,0098	0,0088	0,0080
	y _a	0,0053	0,0042	0,0034	0,0028	0,0023	0,0020	0,0018	0,0016	0,0014	0,0013
1	y _ü	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	y _a	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tablo 8. LS-1 Profilinin 2 Kanatlı Versiyonu İçin Profil Kalınlığı Tablosu

x/t	r	0,8	1,2667	1,7334	2,2001	2,6668	3,1335	3,6002	4,0669	4,5333	5
0	y _ü	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	y _a	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0,2	y _ü	0,1330	0,1055	0,0840	0,0689	0,0581	0,0501	0,0440	0,0392	0,0353	0,0321
	y _a	0,0532	0,0422	0,0336	0,0276	0,0233	0,0201	0,0176	0,0157	0,0141	0,0128
0,4	y _ü	0,1463	0,1161	0,0924	0,0758	0,0640	0,0552	0,0484	0,0431	0,0388	0,0353
	y _a	0,0399	0,0317	0,0252	0,0207	0,0174	0,0150	0,0132	0,0118	0,0106	0,0096
0,6	y _ü	0,1197	0,0950	0,0756	0,0620	0,0523	0,0451	0,0396	0,0353	0,0318	0,0289
	y _a	0,0199	0,0158	0,0126	0,0103	0,0087	0,0075	0,0066	0,0059	0,0053	0,0048
0,8	y _ü	0,0665	0,0528	0,0420	0,0345	0,0291	0,0251	0,0220	0,0196	0,0177	0,0161
	y _a	0,0106	0,0084	0,0067	0,0055	0,0047	0,0040	0,0035	0,0031	0,0028	0,0026
1	y _ü	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	y _a	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

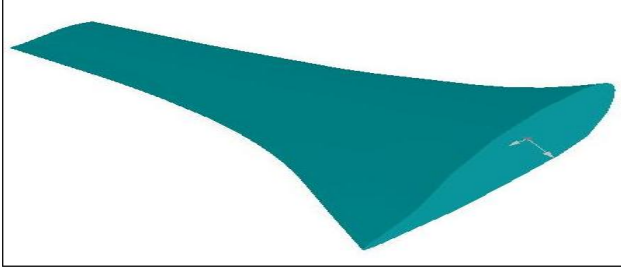
Tablo 9. LS-1 Profilinin 3 Kanatlı Versiyonu İçin Profil Kalınlığı Tablosu

x/t	r	0,8	1,2667	1,7334	2,2001	2,6668	3,1335	3,6002	4,0669	4,5333	5
0	y _ü	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	y _a	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0,2	y _ü	0,1330	0,1055	0,0840	0,0689	0,0581	0,0501	0,0440	0,0392	0,0353	0,0321
	y _a	0,0532	0,0422	0,0336	0,0276	0,0233	0,0201	0,0176	0,0157	0,0141	0,0128
0,4	y _ü	0,1463	0,1161	0,0924	0,0758	0,0640	0,0552	0,0484	0,0431	0,0388	0,0353
	y _a	0,0399	0,0317	0,0252	0,0207	0,0174	0,0150	0,0132	0,0118	0,0106	0,0096
0,6	y _ü	0,1197	0,0950	0,0756	0,0620	0,0523	0,0451	0,0396	0,0353	0,0318	0,0289
	y _a	0,0199	0,0158	0,0126	0,0103	0,0087	0,0075	0,0066	0,0059	0,0053	0,0048
0,8	y _ü	0,0665	0,0528	0,0420	0,0345	0,0291	0,0251	0,0220	0,0196	0,0177	0,0161
	y _a	0,0106	0,0084	0,0067	0,0055	0,0047	0,0040	0,0035	0,0031	0,0028	0,0026
1	y _ü	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	y _a	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

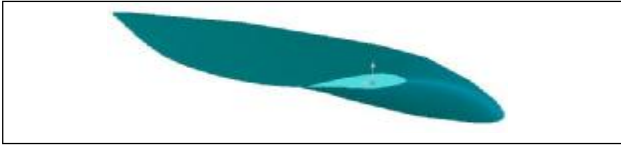
Tablo 10. LS-1 Profilinin 4 Kanatlı Versiyonu İçin Profil Kalınlığı Tablosu

x/t	r	0,8	1,2667	1,7334	2,2001	2,6668	3,1335	3,6002	4,0669	4,5333	5
0	y _ü	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	y _a	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0,2	y _ü	0,1330	0,1055	0,0840	0,0689	0,0581	0,0501	0,0440	0,0392	0,0353	0,0321
	y _a	0,0532	0,0422	0,0336	0,0276	0,0233	0,0201	0,0176	0,0157	0,0141	0,0128
0,4	y _ü	0,1463	0,1161	0,0924	0,0758	0,0640	0,0552	0,0484	0,0431	0,0388	0,0353
	y _a	0,0399	0,0317	0,0252	0,0207	0,0174	0,0150	0,0132	0,0118	0,0106	0,0096
0,6	y _ü	0,1197	0,0950	0,0756	0,0620	0,0523	0,0451	0,0396	0,0353	0,0318	0,0289
	y _a	0,0199	0,0158	0,0126	0,0103	0,0087	0,0075	0,0066	0,0059	0,0053	0,0048
0,8	y _ü	0,0665	0,0528	0,0420	0,0345	0,0291	0,0251	0,0220	0,0196	0,0177	0,0161
	y _a	0,0106	0,0084	0,0067	0,0055	0,0047	0,0040	0,0035	0,0031	0,0028	0,0026
1	y _ü	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	y _a	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

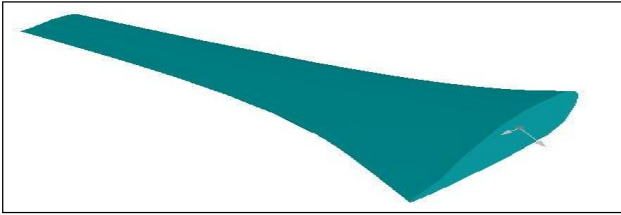
Şekil 2-4’de 5 m uzunluğunda LS-1 profilli, $l_D = 7$, $a_D = 10^\circ$ dizayn şartlarında Solidworks bilgisayar programında yapılan katı modelin iki farklı görünüşü verilmektedir.



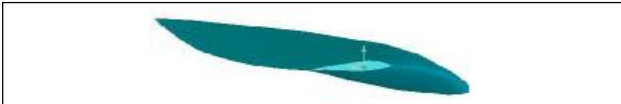
Şekil 2.a. LS-1 Profilli 2 Kanatlı Rotor Kanadının Katı Modelinin Tam Görünüşü



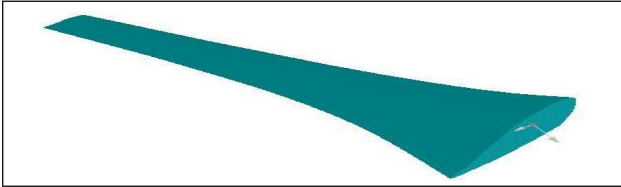
Şekil 2.b. LS-1 Profilli 2 Kanatlı Rotor Kanadının Katı Modelinin Uçtan Görünüşü



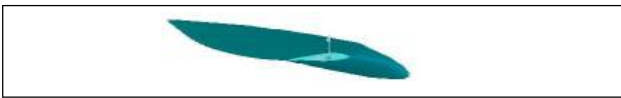
Şekil 3.a. LS-1 Profilli 3 Kanatlı Rotor Kanadının Katı Modelinin Tam Görünüşü



Şekil 3.b. LS-1 Profilli 3 Kanatlı Rotor Kanadının Katı Modelinin Uçtan Görünüşü

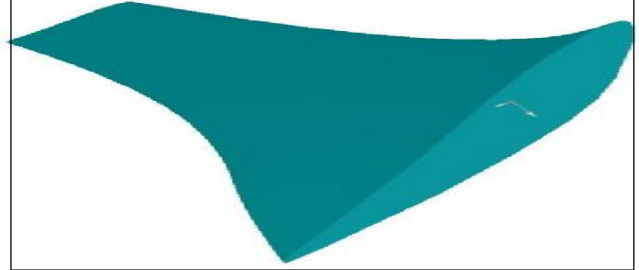


Şekil 4.a. LS-1 Profilli 4 Kanatlı Rotor Kanadının Katı Modelinin Tam Görünüşü

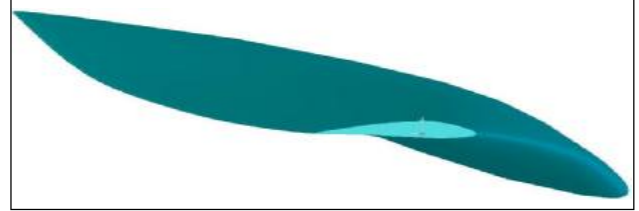


Şekil 4.b. LS-1 Profilli 4 Kanatlı Rotor Kanadının Katı Modelinin Uçtan Görünüşü

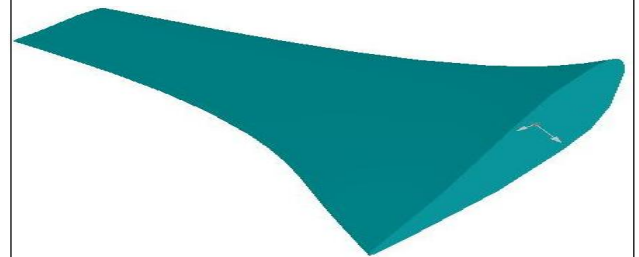
Şekil 5-7’de 5 m uzunluğunda NACA 4415 profilli, $l_D = 7$, $a_D = 5^\circ$ dizayn şartlarında Solidworks bilgisayar programında yapılan katı modelin iki farklı görünüşü verilmektedir.



Şekil 5.a. NACA 4415 Profilli 2 Kanatlı Rotor Kanadının Katı Modelinin Tam Görünüşü



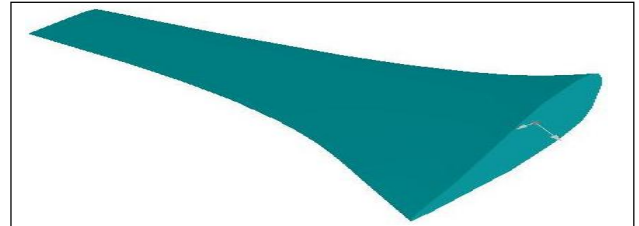
Şekil 5.b. NACA 4415 Profilli 2 Kanatlı Rotor Kanadının Katı Modelinin Uçtan Görünüşü



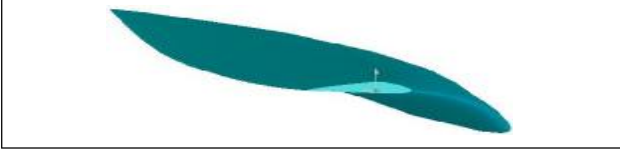
Şekil 6.a. NACA 4415 Profilli 3 Kanatlı Rotor Kanadının Katı Modelinin Tam Görünüşü



Şekil 6.b. NACA 4415 Profilli 3 Kanatlı Rotor Kanadının Katı Modelinin Uçtan Görünüşü

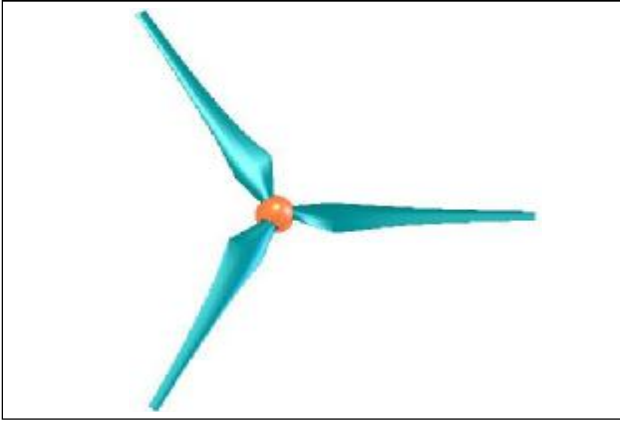


Şekil 7.a. NACA 4415 Profilli 4 Kanatlı Rotor Kanadının Katı Modelinin Tam Görünüşü

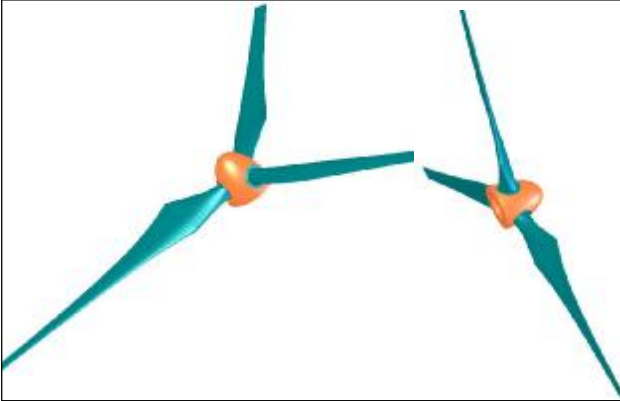


Şekil 7.b. NACA 4415 Profilli 4 Kanatlı Rotor Kanadının Katı Modelinin Uçtan Görünüşü

Sekil 8’de 5 m yarıçaplı (kanat kökü dahil kanat boyu 5m), LS-1 profilli, 7 dizayn devirlilik sayılı ($I_D = 7$), 10° dizayn hücum açılı ($a_D = 10^\circ$) tam bir rotorun katı modellemesi verilmektedir. Şekil 9’da ise katı modellemesi yapılan sözkonusu rotorun farklı açılardan görünüşü verilmektedir.



Şekil 8. 5 m Uzunluğunda LS-1 Profilli 3 Kanatlı Rotorun Katı Modeli



Şekil 9. 5 m Uzunluğunda LS-1 Profilli 3 Kanatlı Rotorun Katı Modelin Farklı Açılardan Görünüşü

SONUÇ

Tablo 3-4’de sırasıyla 2,3,4 kanatlı rüzgar türbini pervanelerinde kullanılan NACA 4415 ve LS-1 profilleri için dizayn devirlilik sayısı $I_D = 7$ ’de optimum kanat profili boyları ve optimum bağlama açıları verilmiştir.

Optimum rüzgar türbini pervanesi profili boyu, kanat boy eksenini r ile orantılı olarak azalmakta, sabit r için optimum profil kalınlığı optimum hücum açısına kadar küçülmektedir. Optimum kanat bağlama açısında r ile azalmakta, uçta en küçük değerini almaktadır. Ayrıca optimum kanat bağlama açısında profil tipinden bağımsız olduğu görülmektedir.

Şekil 2-4’de, 5 m uzunluğunda LS-1 profilli, $I_D = 7$, $a_D = 10^\circ$ dizayn şartlarında ve şekil 5-7’de 5 m uzunluğunda NACA 4415 profilli, $I_D = 7$, $a_D = 5^\circ$ dizayn şartlarında ve 3 farklı kanat sayısı için yapılan katı modellemede rotor kanatlarının burgulu formda olduğu görülmektedir. Katı modellerin değişik noktalarından alınan düzlemlerin ölçüleriyle teorik olarak hesaplanan ölçüleri karşılaştırıldığında maksimum bağıl hatanın % 1.5’i geçmediği görülmüştür.

Ayrıca bu çalışmada 5 m yarıçaplı (kanat kökü dahil kanat boyu 5m), LS-1 profilli, 7 dizayn devirlilik sayılı ($I_D = 7$), 10° dizayn hücum açılı ($a_D = 10^\circ$) tam bir rotorun katı modellemesi gerçekleştirilmiştir. Sonuç olarak söz konusu rüzgar türbini rotorunun mukavemet ve titreşim analizi için gerekli olan katı modeli elde edilmiştir.

KAYNAKÇA

1. Onat, C., "Rüzgar Türbini Pervanesi Dizaynı", Yüksek Lisans Tezi, İnönü Üniversitesi, Türkiye, 2001
2. Hau, E., "Windkraftanlagen", Springer Verlag, s. 110-113, Berlin, 1996
3. Gasch, R., "Windkraftanlagen", B. G. Teubner Verlag, s. 73-158, Stuttgart, 1996
4. Numan, S., Ç., Özdamar, A., Çolak M., Özbalta, N., "Rüzgar türbilerinde Optimum Dizayn Devirlilik Sayısının Belirlenmesi", 4. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu Bildiri Kitabı, s. 369-373, İstanbul, 2002
5. Özdamar, A., "Rüzgar Türbini Pervanesi Dizaynı Üzerine Bir Araştırma", Güneş Günü Sempozyumu'99, s. 151-160, Kayseri, 1999
6. Gürsel, T., K., Özdamar, A., Yıldız, H., "Bir Rüzgar Güllünün Dayanabileceği Rüzgar Hızlarının Bulunması", 4. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu Bildiri Kitabı, s. 509-525, İstanbul, 2002
7. Habali S., M., "Local Design Testing and Manufacturing of small mixed Airfoil Wind Turbine Blades of Glass Fiber Reinforced Plastics", Energy Conversion Management, 41, 16 May 1999, 249-280