

3. Baskıdan Çeviri

RÜZGAR TÜRBİNLERİ AERODİNAMİĞİ

MARTIN O. L. HANSEN

Çevirenler:

Cemil YİĞİT · Yaşar KAHRAMAN





Martin O. L. Hansen

Çevirenler: Dr. Cemil Yiğit - Dr. Yaşar Kahraman

RÜZGAR TÜRBİNLERİNİN AERODİNAMIĞI

ISBN 978-625-7052-34-4

DOI 10.14527/9786257052344

Kitabın orijinal adı: Aerodynamics of Wind Turbines

Yazar: Martin O. L. Hansen

Baskı sayısı: 3

ISBN: 978-1-138-77507-7

Yayınevi: Routledge

Kitap içeriğinin tüm sorumluluğu yazarlarına aittir.

© 2020, PEGEM AKADEMİ

Bu kitabın basım, yayım ve satış hakları Pegem Akademi Yay. Eğt. Dan. Hizm. Tic. AŞ'ye aittir. Anılan kuruluşun izni alınmadan kitabın tümü ya da bölümleri, kapak tasarımı; mekanik, elektronik, fotokopi, manyetik kayıt ya da başka yöntemlerle çoğaltılamaz, basılamaz, dağıtılamaz. Bu kitap T.C. Kültür ve Turizm Bakanlığı bandrolü ile satılmaktadır. Okuyucularımızın bandrolü olmayan kitaplar hakkında yayınevimize bilgi vermesini ve bandrolsüz yayınları satın almamasını diliyoruz.

Pegem Akademi Yayıncılık, 1998 yılından bugüne uluslararası düzeyde düzenli faaliyet yürüten **uluslararası akademik bir yayınevi**dir. Yayımladığı kitaplar; Yükseköğretim Kurulunca tanınan yükseköğretim kurumlarının kataloglarında yer almaktadır. Dünyadaki en büyük çevrimiçi kamu erişim kataloğu olan **WorldCat** ve ayrıca Türkiye'de kurulan **Turcademy.com** ve **Pegemindex.net** tarafından yayınları taranmaktadır, indekslenmektedir. Aynı alanda farklı yazarlara ait 1000'in üzerinde yayını bulunmaktadır. Pegem Akademi Yayınları ile ilgili detaylı bilgilere <http://pegem.net> adresinden ulaşılabilir.

I. Baskı: Mayıs 2020, Ankara

Yayın-Proje: Özge Yüksek

Dizgi-Grafik Tasarım: Ayşe Nur Yıldırım

Kapak Tasarım: Pegem Akademi

Ay-bay Kırtasiye İnşaat Gıda Pazarlama ve Ticaret Limited Şirketi
Çetin Emeç Bulvarı 1314.Cadde No:37/A-B
Çankaya / ANKARA
0312 472 58 55

Yayıncı Sertifika No: 36306

Matbaa Sertifika No: 46661

İletişim

Karanfil 2 Sokak No: 45 Kızılay/ANKARA

Yayınevi: 0312 430 67 50 - 430 67 51

Dağıtım: 0312 434 54 24 - 434 54 08

Hazırlık Kursları: 0312 419 05 60

İnternet: www.pegem.net

E-ileti: pegem@pegem.net

WhatsApp Hattı: 0538 594 92 40

Rüzgâr Türbinlerinin Aerodinamiği

Rüzgâr Türbinlerinin Aerodinamiği kitabı, etkili bir rüzgâr türbini tasarımı için ana çözümler konusunda temel bir kaynaktır. Güncel olarak yayımlanan bu üçüncü baskıda yapısal, dinamik ve kontrol ile ilgili konular oldukça iyileştirilmiştir. Yeni kontrol bölümü, klasik hatve ve tork regülatörünün dönme hızı ve gücünü kontrol etmek için nasıl tasarlanacağına yönelik detaylar içermekteyken; yapısal dinamik bölümü, öne ve arkaya girdap durumlarındaki olayı açıklayan basitleştirilmiş bir mekanik sistem eklenerek genişletilmiştir. Okuyucular, ayrıca dikey eksenli rüzgâr türbinleri (Vertical-Axis Wind Turbines - VAWTs) ile ilgili yeni bölümlerden de yararlanacaklardır.

Kitap boyunca; türbin boyunca kütleli debinin artışı, düşük ve yüksek rüzgâr hızlarında performans, türbinin çalışacağı aşırı koşullarda değerlendirme ve türbinin ömür süresini hesaplamak için gerekli teori irdelenecektir. Klasik kanat elemanı momentum (Blade Element Momentum - BEM) metodu aynı zamanda öz modlar ve türbinin dinamik davranışını da içermektedir.

Kitap, dinamiğin etkilerini ve bunun modern rüzgâr türbinlerinin tasarım ve doğrulamasında geniş bir şekilde kullanılan bir aeroelastik kod içerisinde nasıl modellenebileceğini tanımlamaktadır. Ayrıca kitapta, zamana bağlı yükler ve küresel durum çalışmalarına ilaveten tüm yapının titreşiminin nasıl hesaplanacağı da incelenmiştir.

Martin O. L. Hansen Danimarka Teknik Üniversitesi'nde rüzgâr türbini ve ilgili teknolojiler alanında dersler veren bir öğretim üyesidir.

İçindekiler

<i>Şekiller</i>	<i>v</i>
<i>Tablolar</i>	<i>xii</i>
<i>Ön söz</i>	<i>xiii</i>
<i>Çevirenlerin ön sözü</i>	<i>xiv</i>
<i>Çevirenler hakkında</i>	<i>xv</i>
1 Rüzgar türbinlerine genel giriş	1
2 İki boyutlu aerodinamik	7
3 Üç boyutlu aerodinamik	17
4 İdeal bir rüzgar türbini için tek-boyutlu momentum teorisi	25
5 Difüzörlü rotorlar	37
6 Klasik kanat elemanı momentum metodu	41
7 Kontrol/ayarlama ve güvenlik sistemleri	57
8 Optimizasyon	75
9 Kararsız BEM modeli	79
10 Yük ve yapılara giriş	95
11 Rüzgar türbini kanatları için giriş teorisi	99
12 Rüzgar türbinlerinin dinamik yapısal modeli	113
13 Bir rüzgar türbini üzerindeki yüklerin kaynakları	133
14 Rüzgar simülasyonu	141
15 Yorulma	149
16 Dikey eksenli rüzgar türbinleri	155
17 Son söz	169
<i>Ek A: Temel akışkanlar mekaniği denklemleri</i>	<i>171</i>
<i>Ek B: Semboller</i>	<i>175</i>
<i>İndeks</i>	<i>179</i>

Şekiller

1.1	Yatay eksenli rüzgar türbini	4
1.2	Rüzgar türbini makine dairesi yerleşimi	5
2.1	Bir kanat profili boyunca akım çizgilerinin şematik görünümü	7
2.2	Kaldırma ve direnç kuvvetlerinin tanımı	8
2.3	Kaldırma kuvvetinin oluşumunun açıklanması	9
2.4	FX67-K-170 kanat profili için kutup	10
2.5	Farklı duraksama davranışları	11
2.6	Sırasıyla 5^0 ve 15^0 lik hücum açıları için hesaplanan akım çizgileri	11
2.7	Bir kanat profilinin duvarındaki viskoz sınır tabaka	12
2.8	Düz ve zıt basınç gradyanları için sınır tabakanın şeklinin şematik görünümü	13
2.9	Geçiş prosesinin şematik görünümü	14
3.1	Kanadın üzerindeki ve altındaki akım çizgileri. Kanat emiş yönünden görülmektedir. Emiş yönünün üstünden akan akış çizgisi (düz çizgi) içe doğru ve altından akan akım çizgisi (kesikli çizgi) ise dışarıya doğru yönelmiştir.	17
3.2	Kanadın arkasından görülen hız vektörleri	18
3.3	Bir kanat üzerindeki girdapların sadeleştirilmiş modeli	18
3.4	Bir kanat üzerindeki daha gerçekçi girdap sistemi	19
3.5	Kuvvet girdap çizgisinden indüklenen hız	19
3.6	Kanadın bir kesidi için etkin hücum açısı ve bileşke kuvvet (R), kaldırma kuvveti (L) ve indüklenen direnç kuvveti (D)	20
3.7	Yüksek rüzgar hızında duraksama denetimli rüzgar türbini üzerindeki hesaplanan sınır akım çizgileri	21
3.8	Rotor yarıçapı R olan üç kanatlı bir rüzgar türbininin rotoru	21
3.9	Bir rüzgar türbininin r/R 'de kanat profillerinin gösterimi	22
3.10	Bir rüzgar türbininin arkasındaki girdap sisteminin şematik çizimi [Wilson ve Lissaman'dan (1974) izinle yeniden çizilmiştir.]	23
4.1	Rotor boyunca geçen akım çizgileri, yakınsak ve ıraksak bölge arasındaki basınç ve eksenel hız değişimi	26
4.2	Bir rüzgar türbini etrafındaki dairesel kontrol hacmi	27

4.3	Rüzgar türbini etrafında alternatif kontrol hacmi	28
4.4	İdeal bir yatay eksenli rüzgar türbini için eksenel indüklenme faktörü a 'nın bir fonksiyonu olarak güç ve itme katsayıları C_p ve C_T	29
4.5	Eksenel indüklenme faktörü a 'nın fonksiyonu olarak ölçülen itme katsayısı C_T ve karşılığı olan rotor durumları [Eggleston ve Stoddard'dan (1987) izinle yeniden çizilmiştir.]	30
4.6	İdeal bir rüzgar türbininin 1D modeli için girdabın genişlemesi ve girdaptaki hız sıçraması	30
4.7	Girdabın köşesindeki kararsız kayma akımı tarafından indüklenen türbülanslı girdap halinin şematik görünümü	31
4.8	Rotorun bir kesiti için hız üçgeni	32
4.9	Kanadın bir kesiti için indüklenmiş hızları gösteren hız üçgeni; küçük hücum açıları için toplam indüklenmiş hız w 'nun kesit tarafından görülen bağıl hızla dik olduğunu not ediniz.	33
4.10	Dönen optimum bir türbin için verim. Verim, C_p ile Betz limiti ($C_{p, \text{Betz}} = 16/27$) arasındaki oran olarak tanımlanır.	35
5.1	Bir difüzör içerisindeki rüzgar türbini boyunca ideal akış	37
5.2	Hesaplanan \dot{m}_d/\dot{m}_b oranının hesaplanan $C_{p,d}/C_{p,b}$ oranına göre değişim grafiği	38
5.3	Bir difüzör içindeki rotor için C_T 'nin fonksiyonu olarak hesaplanan güç katsayısı	39
6.1	BEM modelinde kullanılacak olan dairesel bir eleman olarak şekillenen kontrol hacmi	41
6.2	Rotor düzlemindeki hızlar	43
6.3	Kanat üzerindeki yerel yükler. R kaldırma ve direnç kuvvetlerinin vektörel toplamıdır. p_N ve p_T sırasıyla R'nin normal ve teğetsel bileşenleridir.	44
6.4	İki farklı radyal pozisyon r_i ve r_{i+1} arasında varsayılan lineer yük dağılımı	46
6.5	İtme katsayısının (C_T) farklı değerlerine karşılık eksenel indüklenme faktörü (a)	48
6.6	Belirli bir bölgedeki belli bir türbinin yıllık enerji üretimini hesaplamak için rüzgar hızının V_i ve V_{i+1} arasında bulunduğu olasılık $f(V_i < V_0 < V_{i+1})$ ve güç eğrisi	50
6.7	Rüzgar hızının fonksiyonu olarak hesaplanan ve ölçülen mekanik shaft gücü	52
6.8	Uç hız oranı $\lambda = \omega R/V_0$ 'ın bir fonksiyonu olarak güç katsayısı C_p	53
6.9	Uç hız oranının tersinin $\lambda^{-1} = V_0/\omega R$ bir fonksiyonu olarak güç katsayısı C_p	53

6.10	Hatve kontrollü bir rüzgar türbini için güç eğrisi	54
7.1	Asenkron bir jeneratör için tipik tork karakteristiği	58
7.2	Aerodinamik fren olarak kullanılan ve merkezkaç kuvveti ile aktive edilen dönebilen uç	59
7.3	Duraksama ayarlı bir rüzgar türbini, Avedfre Danimarka'da bulunan Elkraft 1MW gösteri rüzgar türbininin başlatılması	59
7.4	Ana şaftın içine yerleştirilmiş bir piston ile kanatların açılmal konumunun değiştirilmesi için mekanizmanın çizimi	60
7.5	Avedøre, Danimarka'daki Elkraft 1MW gösteri rüzgar türbininin yüksek rüzgar hızında hatve kontrollü olarak çalışmaya başlatılması	61
7.6	Hatve kontrollü bir rüzgar türbininde güç kontrolünün fonksiyon diyagramı	62
7.7	Değişken kaymaya sahip asenkron bir jeneratör için tork karakteristiği	63
7.8	Değişik rüzgar hızları için optimum kanat hatve açısı	64
7.9	Bir NTK 500/41 rüzgar türbininde 20 m/s rüzgar hızında kanat hatve açısının değişimiyle mekanik gücün değişimi	64
7.10	Duraksama ayarlı ve hatve ayarlı bir makine olarak çalışan NTK 500/41 rüzgar türbini için hesaplanan güç eğrisi	65
7.11	Kanat hatve açısı için optimum değerler ve nominal gücü aşmayı engelleyecek gerekli kanat hatve açısı	66
7.12	Sabit hıza karşılık değişken hız	68
7.13	Değişken hızlı hatve ayarlı bir rüzgar türbini için gelen bir tork karakteristiği	68
7.14	Değişken hızlı hatve ayarlı bir makine için fonksiyon diyagramının şematik görünümü	69
7.15	Rüzgar hızında $t = 300s$ 'de $6 m/s$ 'den $8 m/s$ 'ye ani yükseliş için NREL 5MW referans türbininde düşük hız şaft açılmal hızının hesaplanan zaman serisi	71
7.16	Rüzgar hızında $t = 300s$ 'de $6 m/s$ 'den $8 m/s$ 'ye ani bir değişim için NREL 5MW referans türbininden üretilen gücün hesaplanan zaman serisi	72
7.17	Ortalama $14 m/s$ rüzgar hızı ve yüzde 12 türbülans yoğunluğu olan bir Kaimal spektrumu kullanılarak türbülanslı rüzgar hızının simülasyonlu zaman geçmişi	72
7.18	VSPR kontrolörü ve Şekil 7.17'de gösterilen rüzgar hızı geçmişi kullanılarak NREL 5MW referans rüzgar türbini üzerinde hesaplanan rotor hızı	73

7.19	VSPR kontrolörü ve Şekil 7.17'de gösterilen rüzgar hızı geçmişi kullanılarak NREL 5MW referans rüzgar türbini üzerinde hesaplanan kanat hatve açısı	73
7.20	VSPR kontrolörü ve Şekil 7.17'de gösterilen rüzgar hızı geçmişi kullanılarak NREL 5MW referans rüzgar türbini üzerinde hesaplanan güç	74
8.1	İki farklı tasarım. Tasarım 1; Yüksek bir $C_{p, max}$ 'a sahiptir fakat C_p farklı uç hız oranlarında hızlıca düşer. Tasarım 2; daha düşük bir $C_{p, max}$ 'a sahiptir fakat bir uç hız oranı aralığında daha iyi sonuç verir.	75
8.2	NACA 63-415 kanat profili için veriler [Abbot ve von Doenhoff'tan, (1959) izinle yeniden çizilmiştir.]	77
8.3	Optimum global kanat açısı dağılımı ($\lambda = 6$, $\alpha_{opt} = 4^0$, $C_{l,opt} = 0.8$ $C_{d,opt} = 0.012$ ve $B = 3$)	77
8.4	Optimum veter uzunluğu dağılımı ($\lambda = 6$, $\alpha_{opt} = 4^0$, $C_{l,opt} = 0.8$ $C_{d,opt} = 0.012$ ve $B = 3$)	78
9.1	Dört koordinat sistemi tarafından tanımlanan rüzgar türbini	80
9.2	Arkadan rotor görünümü	81
9.3	Vektörler tarafından tanımlanan kanat üzerinde bir nokta	82
9.4	Bir kanat üzerinde görülen hız üçgeni	83
9.5	Rotor diskinin üzerindeki girdabın üstten görünüşü	83
9.6	Bir kanat profili üzerindeki yerel etki	84
9.7	Halkasal (Dairesel) şerit	85
9.8	Tjaereborg makinası için 8.7 m/s'lik bir rüzgar hızında hatvenin adım olarak girişi sırasında rotor-şaft torku için ölçülen ve hesaplanan zaman serilerinin karşılaştırılması	87
9.9	Dinamik duraksama modeli kullanmanın sonucuna bir örnek	89
9.10	Rüzgar alanındaki sapmış rotor diski	90
9.11	Deterministik rüzgar hızı kayması	92
9.12	Kulenin etkisi	92
10.1	Yatay eksenli bir rüzgar türbini için bazı temel yükler	96
10.2	Ortalama 11 m/s rüzgar hızı için FLEX4 kullanılarak hesaplanan yüklerin örneği	97
11.1	Gerçek bir kanadın kesiti	100
11.2	Bir kanadın kesitinin şematik görünümü	100
11.3	Ana yapısal parametreleri gösteren bir kanat kesiti; değişkenlerin tanımı için metne bakınız.	101

11.4	Bir kanat kesiti	101
11.5	Rüzgar türbini kanadı. Bu kanat için kullanılan koordinat sisteminin Şekil 11.4'te gösterilenden farklı olduğu not edilmelidir.	104
11.6	Teknik giriş	104
11.7	Kirişin sonsuz küçüklükteki parçası	104
11.8	Ana eksenlerin yönelimi	105
11.9	Ayrık(laştırılmış) saplama giriş	106
11.10	İlk kelebekleme öz modu (1f)	108
11.11	İlk kılıçlama öz modu (1e)	109
11.12	İkinci kelebekleme öz modu (2f)	109
11.13	50 eleman kullanılarak ikinci öz mod	110
11.14	Kanat uzunluğunca bir x pozisyonundaki toplam merkezkaç kuvvet (F_x)	110
11.15	2 MW Tjaereborg makinası için $V_0 = 10$ m/s'de merkezkaç yükü olan ve merkezkaç yükü olmadan birincil ana eksen etrafında hesaplanan yük. P_{aero} BEM metodu ile hesaplanan aerodinamik yük ve $P_{aero} + P_c$ aerodinamik ve merkezkaç yükler toplamıdır.	111
11.16	2MW Tjaereborg makinası için $V_0 = 10$ m/s'de merkezkaç yükü olan ve merkezkaç yükü olmadan birincil ana eksen etrafında hesaplanan eğilme momenti	112
12.1	Sönümleme olmayan SDOF sistemi	116
12.2	Tek serbestlik dereceli kaldırma	117
12.3	2 DOF bir sisteme örnek	118
12.4	Basit 4 DOF mekanik sistem	124
12.5	$p_0 = 1$, $b = 18$ ve $\theta_0 = \pi/2$ için kuvvetin şekli	125
12.6	$\omega_0 = 2.3$ rad/s, $p_0 = 1$ ve $b = 18$ için bir çubuğun maruz kaldığı kuvvetin zaman serisi	125
12.7	Şekil 12.6'da gösterilen çubuğun maruz kaldığı kuvvetin zaman sin-yalinin Fourier dönüşümü	126
12.8	Bir numaralı çubuk üzerine etkiyen kuvvetler	127
12.9	Şekil 12.4'te gösterilen mekanik sistem için değişen ω_{edge}/ω_b oranı için hesaplanan dinamik amplifikasyon	128
12.10	Öz değer problemini çözerek hesaplanan dört modun şematik çizimi	129
12.11	Tamamen atalet yükleri ve şaftın sıfır ivmelenmesinden kaynaklanan, kanatların kökündeki kayma kuvveti	132
13.1	Dünya'nın yerçekimi alanı dolayısıyla oluşan yük	133
13.2	Rotorun frenlenmesinden kaynaklanan yük	134

13.3	Rotorun konikleştirilmesinin etkisi	135
13.4	Rüzgar türbini rotoru tarafındaki türbülanslı içe akışın çizimi	135
13.5	Bir kanadın azimutal pozisyonunu gösteren rotor düzlemi ve üstten görülen sapmış bir rotor düzlemi	137
13.6	Basitleştirilmiş yapısal model	138
14.1	Ayrık örneklendirilmiş rüzgar hızının 1 noktasındaki zaman geçmişi	141
14.2	Güç spektral yoğunluğu fonksiyonu	143
14.3	1 m aralıklı iki noktadaki rüzgar hızının hesaplanan zaman serileri. Ortalama rüzgar hızı 10 m/s ve türbülans yoğunluğu 0.1'dir.	146
14.4	Şekil 14.3'te gösterilen ve denklem 14.18 ile belirlenen iki zaman serisinin gerçek uyumunun kıyaslanması	146
14.5	Rüzgar türbini inşasının aeroelastik hesaplaması için rüzgar hızının zaman geçmişleri için nokta dağılımı	147
14.6	Belirlenmiş PSD ve dönen kanat üzerinde etkin PSD arasındaki karşılaştırma	148
15.1	Bir döngü için ortalama gerilme s_m ve aralık s_r 'in tanımı	150
15.2	Bir S-N eğrisi	151
15.3	Kelebekleme bir bükülme momentinin zaman geçmişi örneği	152
15.4	Şekil 15.3'teki zaman serisi üzerinde yağmur akışı hesaplaması kullanılması sonucunu	152
15.5	Orijinal zaman serisi ile aynı yorulma hasarını veren artan aralıklı döngüsel yüklerin dizisi	152
16.1	İki farklı VAWT geometrisi: a) Darrieus tipi, b) Gyro rüzgar türbini	155
16.2	Tek kanatlı VAWT için Şekil 16.1'deki A-A kesitinin üstten görünüşü ve indüklenmiş rüzgarın ihmal edildiğinde kanadın bağıl hızı	156
16.3	İndüklenmiş hızı ihmal ederek uç hız oranı 2 ve 6 için azimutal kanat pozisyonunun fonksiyonu olarak hücum açısının değişimi	156
16.4	Tek kanatlı VAWT için indüklenmiş rüzgar hızı ihmal edildiğinde bağıl rüzgar hızının normal ve teğetsel bileşenlerini gösteren Şekil 16.1'deki A-A kesiti	157
16.5	Bir VAWT için azimutal kanat pozisyonu ve global koordinat sistemi	159
16.6	Bir VAWT üzerindeki akım tüpleri (kesikli çizgilerin arasındaki alan) büyüklüğü ve dağılımı. Akım tüplerinin dağılımı şekli; genişliğin (h) rotorun köşesinde en küçük ve girişte en büyük olduğu şekildedir.	159
16.7	Bir VAWT'deki bir kanat için hız üçgeni oluşturmanın farklı bir yolu	160
16.8	Gyro tipi VAWT için denklemler 16.4-16.15 ve Tablo 16.1'deki kanat profili verisi kullanılarak hesaplanan güç katsayısı	161
16.9	2D bir kanat profilinin arkasındaki vorteks sistemi	164

- 16.10 2.5 (üzerinde) ve 5 (altında) uç hız oranı için iki kanatlı bir VAWT arkasındaki hesaplanan vorteks sistemi 164
- 16.11 Momentum metodu ($K = 0.3$) ve vorteks metodu kullanılarak $S = 0.1$, $B = 2$ ve $\lambda = 6$ için $C_p = 0.37$ ve $C_r = 0.67$ 'yi veren hesaplanan normal ve teğetsel kuvvet katsayılarının kıyaslanması 165
- 16.12 Momentum metodu ($K = 0.3$) ve vorteks metodu kullanılarak $S = 0.2$, $B = 2$ ve $\lambda = 6$ için $C_p = 0.24$ ve $C_r = 1.15$ 'i veren hesaplanan normal ve teğetsel kuvvet katsayılarının kıyaslanması 166
- 16.13 Sabit bir dış kısım ve rotoru içeren bir iç kısmı olan VAWT için CFD hesaplama bölgesinin çizimi 166
- 16.14 Ölçülen ve hesaplanan normal ve teğetsel yüklerin kıyaslanması 167

Tablolar

4.1	a , a' ve x arasındaki sayısal ilişkiler	34
4.2	Betz limitindeki girdap dönmesini içeren hesaplanmış optimum güç katsayısının Glauert kıyaslaması	35
6.1	Kanat temel ölçüleri	51
11.1	Tjaereborg kanadı için ana yapısal parametreler	103
13.1	Troen ve Petersen'dan (1989) pürüzlülük yüksekliği değerleri	136
13.2	Pürüzlülük yüksekliğinin bir fonksiyonu olarak arazi faktörü	138
16.1	Şekil 16.8'deki hesaplamada kullanılan kanat profili verisi	162

Ön söz

Bu kitap, bir rüzgar türbininin rüzgarın kinetik enerjisini mekanik şaft gücüne nasıl dönüştürdüğüne ve nihayetinde jeneratör çalıştırılarak elektrik üretimine dair temel bir anlayış sağlamak için Danimarka Teknik Üniversitesi'nde rüzgar türbinlerinin temel çalışma mekanizmalarının anlatıldığı iki dersin notlarına dayanılarak yazılmıştır. Aynı zamanda yüklerin kontrolü için kullanılan kanatların hücum açılarının değiştirilmesi ve dönme hızının kontrol edilmesi gibi çeşitli yöntemleri de içermektedir. Kitapta, güç elektroniğinin jeneratör şaftı üzerindeki torku değiştirerek rotor dönme hızının nasıl kontrol edileceği detaylı olarak anlatılmamaktadır ve ilgilenen bir okuyucu için elektrik motorları ve güç elektroniği ders kitaplarına atıfta bulunmaktadır. Rüzgar türbini imalatındaki en önemli yükleri tanımlayan bölümler de içerikte yer almaktadır. Bölüm 1-8, 10 ve 11 lisans seviyesinde rüzgar türbini teknolojisi için bir temel oluşturabilir. Bu bölümleri okuyan bir öğrencinin rüzgar türbininin geometrisini bilerek gerçek statik yükleri tahmini olarak hesap edebilecek kanat elemanı momentum teorisine dayalı bir program yazabilmesi ve dolayısıyla çeşitli rüzgar hızlarında, kanat açılarında ve dönme devirlerindeki mekanik gücü hesaplayabilmesi mümkündür. Böyle bir program, yıllık enerji üretimi gibi istenilen bir özelliği maksimize etmek için çeşitli tasarım değişkenleri ile çok defalar hesaplanması gereken yük dağılımını verebilmesi bakımından optimizasyon sürecinde değerli bir araçtır.

Tasarım ömrü süresince çalışacak bir rüzgar türbini inşa etmek, çok çeşitli kararsız durumlarda iç materyal yüklerinin kayıtlarını hesaplamayı içerir; bunların arasında en önemlisi rotor alanı üzerinde hem zamana hem de konuma bağlı olarak değişen türbülanslı iç akımdır. Bu durum, çeşitli aerodinamik, yerçekimsel ve diğer yüklerin zamana bağlı olarak değişen rüzgar türbini imalatının dinamik tepkisini de hesaba katan ve aeroelastik metot olarak bilinen metodun da göz önüne alınmasını kapsar. Kanatların titreme hızları, aerodinamik yükleri doğrudan etkiler ve dolayısıyla aerodinamik ve yapısal dinamik arasında güçlü bir bağlantı vardır. Dahası, yerel ivmeler de içsel materyal yükleri hesaplanırken dikkate alınmalıdır. Böyle bir metodun özeti Bölüm 9 ve 12'de kararsız kanat elemanı momentum teorisi ve bazı temel yapısal dinamik araçların tanımlanması ile verilmiştir. Bölüm 14 ve 15 ile birlikte, bunlar rüzgar türbini aeroelastisitesi ile ilgili bir yüksek lisans dersinde kullanılabilir. Bölüm 14'te 3D türbülanslı iç akışı oluşturmak için bir yöntem üzerine durulurken, Bölüm 15'te çeşitli yük kayıtlarından nasıl yorulma hasarının tahmin edildiği özetlenmektedir. Bu bölümler bir rüzgar türbininin tasarlandığı yorulma ve sınır yük bakımından çeşitli yük durumlarını tanımlayan normlar ile desteklenmelidir. Son olarak dikey eksenli rüzgar türbinleri kavramı Bölüm 16'da verilmiştir.

Çevirenlerin ön sözü

Elinizdeki kitap "*Aerodynamic of Wind Turbines*" kitabının 3. Baskı'sının çevirisidir. Kitabın çevirisini yapmak hususunda başlıca motivasyon kaynaklarından bir tanesi, ülkemizde ciddi bir potansiyele sahip olmasının yanı sıra, fosil yakıtlı enerji proseslerine alternatif olarak, temiz ve yenilenebilir bir kaynak kullanarak enerji üreten rüzgar türbinlerini konu alması, bir diğeri ise bu alanda lisans ve lisansüstü seviyede Türkçe kaynağın yetersiz olmasıdır.

Rüzgar türbinleri üzerine çalışacak üniversite gençliğine ve araştırmacılara armağan edilen bu eser, 17 bölüm kapsamında; kararlı ve değişken yükler altında türbin performansının ve ömrünün değerlendirilmesi, türbinin çalışacağı aşırı koşullarda kontrol mekanizmasının kullanılması, dinamik yükler altında yapısal dayanıklılığının ve titreşimlerinin irdelenmesi, modern rüzgar türbinlerinin tasarımı, optimizasyonu ve doğrulanmasında yaygın olarak kullanılan aeroelastik kodların incelenmesi konularında etkili çözümler sunan temel bir kaynaktır.

Çeviri süreci, diller ve kültürler arasındaki uyumsuzluklar ve farklılıklardan kaynaklanan, birtakım zorlukları içerisinde barındıran meşakkatli bir süreçtir. Çeviri-yi yapan araştırmacılar, kitabın tercümesini büyük bir dikkatle okuyarak hataları düzelten ve önerilerde bulunan Doç. Dr. Kasım Kiroğlu'na ve Pegem Akademi Yayınlarının tüm ilgililerine teşekkür eder, kaçınılmaz olan çeviri ve yazım hatalarını en aza indirmeye özel gayret harcamalarına rağmen, görülen yanlışlıkların bildirilmesi hususunda minnettarlığını sunar ve okurlarına faydalı olmasını temenni ederler.

Dr. Cemil Yiğit

Dr. Yaşar Kahraman

Mayıs, 2020

Çevirenler hakkında

Dr. Cemil Yiğit

1977 Almanya doğumlu olan Dr. Yiğit, lisans ve lisansüstü öğrenimini Sakarya Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü'nde tamamlamıştır. Yatay ve dikey eksenli rüzgar türbinlerinin tasarımı ve optimizasyonu, hesaplamalı akışkanlar dinamiği ve akışkanlar mekaniği konularında akademik seviyede çalışmalar yürütmektedir. Konuyla alakalı çok sayıda bildiri, makale ve projesi olan Dr. Yiğit, "Hava Akış Kanallı Rüzgar Türbini Kanadı Tasarımı" başlıklı patentin sahibidir. Halen Sakarya Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü'nde öğretim üyesi olarak görev yapmaktadır. Evli ve 2 çocuk babasıdır.

Dr. Yaşar Kahraman

Sakarya Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü'nden mezun oldu. Aynı bölümde yüksek lisansın ardından 2013 yılında doktorasını tamamladı. Sakarya Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü öğretim üyesi olarak göre yapan Dr. Kahraman, evli ve 3 çocuk babasıdır.