



T.C.
ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

RÜZGAR TÜRBİNLERİNDE VERİ TOPLAMA SİSTEMLERİNİN
GELİŞTİRİLMESİ

Harun ÇİFTÇİ

Prof. Dr. İrfan KARAGÖZ
(Danışman)

YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ÖZET

Bu çalışmada, bir küçük rüzgar türbini ile kurulu olan meteoroloji istasyonunun verileri bir veri yakalama sistemi kurularak elde edilmeye çalışılmıştır. Meteorolojik verilerin ve rüzgar türbininin devir sayısının elde edilmesi için Labview programlama dili kullanılmış. Türbin gücü ise direk inverter ile yapılan bağlantıyla elde edilmeye çalışılmıştır. Böylece rüzgar durumu ve türbin verileri karşılaştırılarak devir sayısı ve gücün rüzgarla değişimi, uç hız oranı ve verimlilik gibi değerlerin bulunması amaçlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Küçük rüzgar türbini, veri yakalama sistemi, Labview, uç hız oranı

ABSTRACT

In this study a data acquisition system is tried to build in order to catch data from installed meteorology station and small wind turbine. Labview, as a programming language, is used for acquisition of the meteorological data and revolutions per minute of wind turbine. The power of the turbine is tried to be obtained directly in connection with inverter. In that way, by comparing the data of the wind situation and turbine, the values such as revolutions per minute and tip speed ratio are aimed to be found.

Key Words: Small wind turbine, data acquisition system, Labview, tip speed ratio

ÖZET	iii
ABSTRACT	iv
TABLolar DİZİNİ.....	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	viii
SİMGELER DİZİNİ.....	xiii
1. GİRİŞ.....	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI VE KURAMSAL BİLGİLER.....	2
2.1. KAYNAK ARAŞTIRMASI	2
2.2. KURAMSAL BİLGİLER	3
2.2.1 Betz'e göre temel impuls teorisi.....	4
2.2.2 Sürüklenme ve kaldırma prensibi.....	12
2.2.4 Türbin kanatlarında hız üçgenleri	24
2.2.5. Kanatların hücum açısı.....	27
2.2.6. Betz Teorisiyle Optimal Dizayn.....	30
2.2.7. Kayıplar.....	32
2.2.8. Güç kontrolü (pitch ve stall kontrolü)	40
2.2.9. Küçük rüzgar türbini hakkında bilgiler	44
3. MATERYAL VE YÖNTEM	53
3.2. SİSTEMİN TASARIMI.....	61
3.2.1. Güç eğrisi	61
3.2.2. Kesme kuvveti.....	63
3.2.3. Devir sayısı ile dönme momenti ilişkisi	64
3.2.4. Jeneratör seçimi.....	65
3.2.5. Rüzgar takip ve fırtınadan koruma mekanizmaları	70
3.2.7. Tasarımın özeti.....	73
3.3. KONSTRÜKSİYON.....	74
3.3.1. Direk	74
3.3.2. Göbek.....	82
3.4. VERİ YAKALAMA SİSTEMİ.....	87

3.4.1. Veri yakalama sisteminin genel yapısı	88
3.4.2. Yazılan programın akış diyagramı	98
3.4.3. Verileri internete aktarma	105
4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI.....	106
4.1. ELDE EDİLEN VERİLERİN İNCELENMESİ.....	106
4.2. SONUÇ VE ÖNERİLER	111
KAYNAKLAR.....	113
EKLER.....	114
ÖZGEÇMİŞ.....	164
TEŞEKKÜR.....	165

TABLolar DİZİNİ

Tablo 2.1.	Bazı rüzgar makinelerinin, dizayn uç hız oranı λ_D , kanat sayısı z ve etkin çap D' değerlerine bağlı olarak kanat uç kayıpları $\xi_{uç}$	37
Tablo 3.1.	Akış simülasyonunun sınır şartları	55
Tablo 3.2.	Hesaplamalarda kullanılan değerler	56
Tablo 3.3.	Projede kullanılan kanadın verileri.....	61
Tablo 3.4.	$\lambda_D = 7,5$ olan rüzgar türbini için tahmini katsayılar	61
Tablo 3.5.	Jeneratör şaftının bağlantı verileri	69
Tablo 3.6.	Sapma yatağı için veriler (Braun Windtechnik firması)	71
Tablo 3.7.	Rüzgar türbini tasarımı	73
Tablo 3.8.	Dış yükler için simgesel gösterimler	74
Tablo 3.9.	Mekanik parçaların ağırlıkları	77
Tablo 3.10.	Giriş büyüklükler	79
Tablo 3.11.	Tasarım parametreleri.....	80
Tablo 3.12.	Hesap sonuçları	80
Tablo 3.13.	Kullanılan direnç termometresinin özellikleri.....	92
Tablo 3.14.	Kombine rüzgar sensorunun özellikleri	93
Tablo 3.15.	Kullanılan NI USB-6008 veri yakalama kartının analog giriş değerleri.....	96

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1.	Temel impuls teorisine göre bir rüzgar akımından mekanik güç eldesi sırasındaki akımın ilişkileri	6
Şekil 2.2.	Güç oranının dönüştürücü önünde ve arkasındaki hız orana göre seyri	9
Şekil 2.3.	Bir ideal enerji dönüştürücüsünde mümkün olan azami mekanik gücün eldesi sırasındaki hava akımın ilişkileri.....	11
Şekil 2.4.	Tahrik kuvveti olarak rüzgarın sürüklenme kuvvetinin kullanılması	13
Şekil 2.5.	Perslere ait sürüklenme prensibiyle çalışan eski rüzgar değirmenleri.....	14
Şekil 2.6.	Sürüklenme prensibiyle çalışan anemometre	14
Şekil 2.7.	Tahrik için rüzgarın kaldırma kuvvetinin kullanılması	15
Şekil 2.8.	Bir kanat profilindeki basınç dağılımı.....	16
Şekil 2.9.	Akış sırasında türbin kanadında oluşan kuvvetler.....	17
Şekil 2.10.	Üç kanatlı ($\lambda=7$) uç hız oranına göre tasarlanmış bir rüzgâr türbini için deneysel kesme kuvveti katsayıları	19
Şekil 2.11.	Üç kanatlı ($\lambda=7$) uç hız oranına göre tasarlanmış bir rüzgâr türbini için deneysel moment katsayıları.....	20
Şekil 2.12.	Üç kanatlı ($\lambda=7$) uç hız oranına göre tasarlanmış bir rüzgâr türbini için deneysel güç katsayıları	20
Şekil 2.13.	Dizayn edildikleri uç hız oranlarına göre rüzgâr enerjisini kullanan aletler	21
Şekil 2.14.	Kullanılan kanat oranları ve dizaynı uç oranlarına göre rüzgar türbinlerinin gelişimi.....	23

Şekil 2.15.	Kanat güç çarpanına ve uç hız oranına göre türbinler.....	24
Şekil 2.16.	Rüzgar türbininde hız üçgeni	25
Şekil 2.17.	Farklı kanat kesitlerindeki hız üçgenleri	26
Şekil 2.18.	Kaldırma K ve sürüklenme S kuvvetlerinin bir kanat genişliği boyunca gösterimi	27
Şekil 2.19.	Küçük ve büyük hücum açılarında bir profildeki basınç dağılımı.....	28
Şekil 2.20.	Rüzgar kanalı deneylerinden hücum açısı α 'ya bağlı olarak elde edilen kaldırma ve sürüklenme katsayıları	29
Şekil 2.21.	Yüzeydeki halka kesiti $dF=2.\pi.r.dr$	30
Şekil 2.22.	Uç hız oranı λ_D 'ye bağlı olarak ve Betz'e göre dizayn edilmiş üç kanatlı türbinin kanat derinliği $t(r)$, akım açısı $\alpha(r)$, $D=10$ m.....	34
Şekil 2.23.	Kanat ucundaki basınçlı bölümden emme bölümüne doğru olan hava akımı, kaldırma kuvveti dağılımı c_L	36
Şekil 2.24.	Bir Betz kanadı üzerinde havanın ayrımı	38
Şekil 2.25.	Kanatların arkasındaki girdap ihtiva eden akım.....	39
Şekil 2.26.	Kayıplar göz önüne alındığında maksimum güç çarpanı (λ uç hız oranı, z rotordaki kanat sayısı, c_P güç çarpanı).....	40
Şekil 2.27.	Normal ve kuvvetli rüzgar şartlarında kanat profilindeki akışların durumu.....	41
Şekil 2.28.	Fren kapaklarının imalat formları: a) Dönebilen kanat ucu, b) Kanadın içindeki kapak, c) Açılabilen disk	41
Şekil 2.29.	Pitch kontrolü bir rüzgar türbininde dizayn şartlarında ve güçlü rüzgar durumundaki akım üçgenleri.....	42
Şekil 2.30.	Önceki projeden tamamlanmış türbin kanadı.....	46
Şekil 2.31.	Kafes kule.....	47
Şekil 2.32.	Upwind türbini için pasif rüzgar takip sistemleri: Rüzgar bayrağı (a) ve rüzgar çarkı (b).....	48
Şekil 2.33.	Rüzgar bayrağı kontrolünün çalışma prensibi.....	49

Şekil 2.34.	Helikopter kontrolünün çalışma prensibi	49
Şekil 2.35.	Jeneratör çeşitleri.....	50
Şekil 3.1.	Paul-Bonatz-Caddesindeki A binası için rüzgar simülasyonu	54
Şekil 3.2.	Binanın meshlenmiş hali (yukarıdan).....	57
Şekil 3.3.	Nümerik Simülasyon: PB-A binasına orta uzunlamasına kesitte soldan akış	58
Şekil 3.4.	Yer seçeneği A için ilgili kesitteki hız alanları	59
Şekil 3.5.	Yer seçeneği B için ilgili kesitteki hız alanları.....	59
Şekil 3.6.	Yer seçeneği C için ilgili kesitteki hız alanları.....	60
Şekil 3.7.	PB-A binası üzerinde rüzgar türbininin kurulması için düşünülen seçenekler	60
Şekil 3.8.	$\lambda_D=7,5$ için rüzgar hızı-güç grafiği	62
Şekil 3.9.	Beklenen devir sayısı/güç eğrileri	62
Şekil 3.10.	$\lambda_D 7,5$ için kesme kuvvetinin rüzgar hızına bağlı değişimi	63
Şekil 3.11.	$\lambda_D=7,5$ için hızla moment değişimi	64
Şekil 3.12.	Rüzgar türbini ve jeneratör eğrileri: Denklem (3.6)'ya göre maksimum şaft gücü için jeneratör momenti	65
Şekil 3.13.	Dönme momentine göre jeneratörün optimum devir sayısı seyri	66
Şekil 3.14.	Elektriksel güç üretim ve iletim tertibatları.....	68
Şekil 3.15.	Braun Windtechnik firmasından alternatif akım jeneratörü.....	68
Şekil 3.16.	Elektriksel parçalar: Braun Windtechnik firmasından elektrik kontrol kutusu (a) ve aşırı yüklenim için direnç (b) ve SMA firmasından bir inverter (c)	70
Şekil 3.17.	Rüzgar bayrağı (Braun Windtechnik firması)	72
Şekil 3.18.	Helikopter kontrolüyle sapma yatağı norma işletme durumunda (a) ve fırtına durumunda (b)	72

Şekil 3.19.	Direğe etkiyen dış yükler	75
Şekil 3.20.	Direğin sabitlenmesinde gerekli ölçüler.....	75
Şekil 3.21.	Menteşe prensibi.....	82
Şekil 3.22.	Kanat yuvası	83
Şekil 3.23.	Göbek	84
Şekil 3.24.	Muhafaza olmadan flanş içerisindeki kanat	85
Şekil 3.25.	Rüzgar hızına göre santrifüj kuvvetlerin değişimi	86
Şekil 3.26.	Veri yakalama sisteminin genel gösterimi	88
Şekil 3.27.	Hava istasyonu	90
Şekil 3.28.	Sıcaklığa bağlı olarak metallerdeki elektriksel direnç değişimi..	91
Şekil 3.29.	Hava istasyonunda kullanılan (a) direnç termometresi ve (b) kombine rüzgar sensörü.....	92
Şekil 3.30.	Sıcaklık ve elektrik akımı arasındaki ilişki	94
Şekil 3.31.	Rüzgar hızı ile elektrik akımı arasındaki ilişki.....	94
Şekil 3.32.	Rüzgar yönü ve elektrik akımı arasındaki ilişki	95
Şekil 3.33.	Ölçülen açının yön olarak ifadesi.....	95
Şekil 3.34.	NI USB–6008 veri yakalama kartı	97
Şekil 3.35.	NI USB–6008 veri yakalama kartının ebatları	97
Şekil 3.36.	Kullanılan inverter.....	98
Şekil 3.37.	Yazılan programın akış diyagramının ilk parçası.....	100
Şekil 3.38.	Yazılan programın akış diyagramının ikinci parçası.....	101
Şekil 3.39.	Yazılan programın akış diyagramının üçüncü parçası	102
Şekil 3.40.	Yazılan programın akış diyagramının dördüncü parçası.....	103
Şekil 3.41.	Yazılan programın akış diyagramının beşinci parçası	104
Şekil 3.42.	Rüzgar hızının zamana göre değişimi	107

Şekil 3.43.	Günlere göre ortalama rüzgar hızı.....	108
Şekil 3.44.	Rüzgâr hızı şiddetinin ölçülen zaman aralığındaki dağılımı.....	108
Şekil 3.45.	Rüzgar hızı ile yönünün ilişkisi.....	109
Şekil 3.46.	Siegen şehrinin 11/2001 – 9/2009 tarihleri arasında günlük 7:00 ile 19:00 saatleri arasında ölçülen rüzgar istatistiği	109
Şekil 3.47.	Rüzgar yönünün zamana göre değişimi	110
Şekil 3.48.	Rüzgâr yönlerinin sıklıkları.....	111
Şekil 3.49.	Sıcaklığın zamana göre değişimi.....	111

SİMGELER DİZİNİ

A	Rotor alanı	$[m^2]$
A'	İzdüşümsel rotor alanı	$[m^2]$
b	Gerilim halatlarının direğe bağlandığı yükseklik	$[m]$
c_M	Moment katsayısı	$[-]$
c_p	Güç katsayısı	$[-]$
$c_{p,opt}$	Optimum güç katsayısı	$[-]$
c_K	Kesme kuvveti katsayısı	$[-]$
D	Direğin dış çapı	$[mm]$
d	Direğin iç çapı	$[mm]$
ϵ	Glide oranı	$[-]$
F	Güç	$[N]$
F_L	Kaldırma kuvveti	$[N]$
F_{Lx}	Eksenel kuvvet	$[N]$
$F_{sant.}$	Santrifüj kuvvet	$[N]$
F_{G1}	Mekanik aksamların ağırlık kuvveti	$[N]$
F_{G2}	Direğin ağırlık kuvveti	$[N]$
F_k	Güç iletim ve dağıtım tertibatlarının kesme kuvveti	$[N]$
F_{St}	Referans kuvvet	$[N]$

F_T	Teğetsel kuvvet	[N]
F_D	Sürükleme kuvveti	[N]
F_R	Rüzgarın kesme kuvveti	[N]
H	Göbek yüksekliği	[m]
l	Kanat uzunluğu	[m]
M	Moment	[Nm]
M_{ayak}	Direğin ayağında oluşan dönme momenti	[Nm]
M_e	Güç iletim ve dağıtım tertibatlarının eğilme momenti	[Nm]
n	Devir sayısı	[1/s]
P	Güç	[W]
R	Rotor dış çapı	[m]
r	Kanat yarıçapı	[m]
R'	İzdüşümsel çap	[m]
r_{kanat}	Rotor ekseninden kanadın ağırlık noktasına olan uzaklık	[m]
S_{Toplam}	Gevşeme halatındaki toplam güç	[N]
S_F	Emniyet katsayısı	[-]
S_x	Gevşeme halatındaki gücün x bileşeni	[N]
S_y	Gevşeme halatındaki gücün y bileşeni	[N]
u	Çevresel hız	[m/s]
$\bar{u}$	Ortalama rüzgar hızı	[m/s]
u_τ	Yüzey kayma gerilmesi hızı	[m/s]
V	Rüzgar hızı	[m/s]
V_1	Rotorun uzağındaki rüzgar hızı	[m/s]
V_2	Rotor düzlemindeki rüzgar hızı	[m/s]

V_{dizayn}	Dizayn rüzgar hızı	[m/s]
w	Gerilme halatının yer bağlantısının ayaktan uzaklığı	[m]
W_e	Eğilme mukavemet momenti	[mm ³]
z	Kanat sayısı	[-]
z	Yükseklik	[m]
z_0	Pürüzlülük	[-]
α	Hücum açısı	[°]
β	Halatların açısı	[°]
ε	Türbülans yayılımı	[1/s]
λ	Uç hız oranı	[-]
λ_D	Dizayn uç hız oranı	[-]
σ_e	Eğilme gerilimi	[N/mm ²]
ω	Açısal hız	[1/s]
c_μ	Standart-k-ε-modeli sabiti	0,09 [-]
g	Yer çekimi ivmesi	9,81 [m/s ²]
κ	Karman sabiti	0,4187 [-]
ν	Kinematik viskozite	1,7894x10 ⁻⁴ [m ² /s]
ρ	Havanın yoğunluğu	1,2 [kg/m ³]
ρ_{Malzeme}	Kullanılan malzemenin yoğunluğu (alaşım çelik)	7,9 [kg/m ³]

1. GİRİŞ

Artan çevre kirliliği ve müsebbibi çoğunlukla enerji üretim süreçleri olan iklim değişiklikleri her geçen zamanda kullanımı artmakta olan çevreye zararlı emisyonların azaltılmasını gerektirmektedir. Enerji üretiminde yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı önemli rahatlama sağlayabilecektir. Ayrıca kötümser senaryolar elektrik üretimi ve ısınma gibi enerji gereksinimlerinin şu an büyük bir kısmını sağlayan petrol ve doğal gaz yataklarının en fazla 50 yıl daha ömrü kaldığını ortaya koymaktadırlar. Bu konuda bütün dünyada kullanılmakta olan su gücünün yanı sıra Güneş ve rüzgâr enerjisinin muazzam potansiyeli öne çıkmaktadırlar. Bu enerji kaynakları hiç şüphesiz kıyamete kadar baki kalacaktır. Bu enerji kaynaklarının kullanımı için gerekli dönüşüm sistemleri yoğun başlangıç ve geliştirme aşamalarına göre hala daha yüksek bir teknikte kullanılmasının başlangıç evresinde bulunmaktadır. Mesela Heier (2003) tarafından bildirildiğine göre Almanya’da bu zamana kadar elektrik üretiminin yaklaşık %6’sı rüzgar enerjisinden sağlanmaktayken, buna karşın Federal Almanya’nın Schleswig-Holstein eyaletinde ya da Danimarka’da bu oran yüzde 30’lardadır. 2003 ortalarında ise Almanya’da şebekeye verilen elektrikte rüzgâr enerjisinin payı hidroenerjiyi geçmiştir.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI VE KURAMSAL BİLGİLER

2.1. Kaynak Araştırması

Heier (2003) yapıtında, rüzgar türbinlerinin nasıl hangi ayarlamalar ve kontrol mekanizmaları sayesinde alışılmış elektrik santrallerinin davranışlarına yaklaştırılabileceği sorusuna yanıt aramıştır. Bunun için türbin, jeneratör, kontrol mekanizmaları ve ilgili parçaların birbirleriyle olan etkileşimi dikkate alınmıştır. Ayrıca rüzgar türbinlerinin genel şebekeye bağlanmaları ve de ekonomik incelemeler üzerinde de durulmuştur.

Hau (2008) çalışmasında, modern rüzgar türbini teknolojisini sistematik ve geniş kapsamlı bir biçimde ortaya koymuştur. Hau konuyu temel prensiplerden başlayarak, işletme koşullarından parça tasarımlarında oradan da rüzgar enerjisiyle elektrik üretiminin ekonomik araştırmalarına kadar geniş bir yelpazede ele almıştır. Kendisi ayrıca yapıtında off-shore rüzgar türbini pakları ile rüzgar türbinlerinin bakım ve onarımı üzerinde gayet geniş kapsamlı durmuştur.

Böswirth (2007), akım fiziğini incelemiştir. Çalışmasında sabit hızlı akışlarda momentum ve açısal momentum oluşumunu, kanat profilleri üzerine olan akışları, parçaların rüzgar direnci ve akışları benzerlikleri üzerinde durmuştur.

Gash (2009) eserinde, Betz ve Schmit (girdap kayıplarını da ihtiva eden) baz alan tasarım metotlarını kullanarak kanat tasarımının nasıl yapılabileceğini hususunu basitçe ortaya koymaya çalışmıştır. Zamanımızın rüzgar enerjisi kullanım alanlarında bilgiler

vermiştir. Eserinde ayrıca, benzeşim teorisiyle ürün geliştirme, yapıdaki yükler, sistemin dinamiği ve rüzgar türbinlerindeki güç kontrolleri hakkında önemli bilgiler vermiştir.

Bitterle (1993), ölçüm tekniği ve elektroniği üzerinde durmuştur. Anlattığı konularda özellikle bilgisayarın ölçümler teknolojisindeki yerinden bahsetmiştir. Bilgisayarla ölçüm verilerini alan sistemleri ve bunları bilgisayar ile iletişimini anlatmıştır. Genişleme kartları ve veri yolları olarak adlandırılan sistemlerin özellikleri ve kullanım şekillerinden detaylıca bahsedilmiştir.

Rüzgar türbini ve meteoroloji istasyonundan gelecek verilerin elde edilmesi ve işlenmesi için LabView programlama dilinde program yazılması gerekmekteydi. Jamal (2004), bunun için gerekli olan sinyal bilgisi ve programlama dili ile ilgili geniş kapsamlı anlatımı ile geniş ölçüde faydalanılabilecek bir kaynak sunmuştur. Veri elde etme kartlarının bağlantısı, kullanımı ve sistemde nasıl ayarlamalar yapılması gerektiği üzerinde durulmuştur. Georgi ve Metin (2008) eserlerinde, Labviw programlama dili hakkında açıklamalarda bulunmuşlar ve örnek programlar sunmuşlardır.

Ehrmanntraut (2008), daha önceden tasarlanmış olan kanatların kullanacağı, imalatının bir kısmının kendi üniversitesi bünyesinde yapılacağı ve üniversitede üretilmeyecek bazı diğer parçalarında yaptığı hesaplamalara dışarıdan temin edildiği bir proje gerçekleştirmiştir. Öncelikle hem eğitimsel açıdan uygun hem de sistemin çalışması için en uygun olacak yerin temini gerçekleştirmeye çalışmıştır. Yer tespitinden sonra bulunduğu yerin özelliklerini hesaplamalı akışkanlar dinamiği simülasyonu yapan program aracılığıyla çıkarmış ve bu program neticesinde sistemin bulunması gereken yükseklik konusunda bilgi vermiştir.

2.2. Kuramsal Bilgiler

Bir rüzgâr türbininin en önemli parçası hareket halindeki havanın kinetik enerjisini mekanik enerjiye çeviren enerji dönüştürücüsüdür. Enerji dönüştürücünün detaylı yapısı ilk başta çok önemli değildir. Bir hava akımından zuhur eden mekanik enerjinin disk

şeklinde ve dönebilen bir enerji dönüştürücüsü vasıtasıyla çevrimi temel bir kanuna göre cereyan eder.

Bu kanun Albert Betz'in hizmetleri sonucu fark edilmiştir. 1922–1925 arası ortaya çıkan el yazmaları, temel fizik yasalarını kullanarak, önceden tanımlanmış bir kesitten geçen hava akımından elde edilebilecek mekanik enerjinin, hava akımının sahip olduğu enerjiye oranla belli bir değerde sınırlandırılmış olduğunu göstermiştir. Buna ek olarak Betz, mekanik enerjinin dönüşümündeki optimum verimliliğin hava akımı hızının sadece belli bir oranında enerji dönüştürücüsünün ön ve arkasında mümkün olduğunu fark etmiştir.

Betz'in teorisi, kayıpsız çalışan bir enerji dönüştürücüsü, sürtünmesiz bir akış kabulü ve basitleştirmeler ihtiva etmesine karşın, sonuçlarına pratik tahmini hesaplarda ihtiyaç duyulmaktadır. Bu teori esasında konunun kavranması ve enerji dönüştürücünün farklı yapı tarzlarındaki etki etme şeklinin ortak fiziksel prensipleri ortaya koyması açısından manidardır. Bu yüzden aşağıdaki başlık altında Betz'in "İmpuls teorisi"nin matematiksel ispatı kısaca verilmiştir.

2.2.1 Betz'e göre temel impuls teorisi

Kütlesi m ve sürati v ile ifade edilen hava akımının kinetik enerjisi aşağıdaki şekilde ifade edilir:

$$E = \frac{1}{2}mV^2 \quad (2.1)$$

İçerisinden havanın v hızıyla geçtiği belirli bir kesit alanı A ve birim zamanda akan hacim V olmak üzere hacimsel debi $\dot{V}$:

$$\dot{V} = vA \quad (m^3 / s) \quad (2.2)$$

Havanın özkütlesi ρ iken kütleli debi:

$$\dot{m} = \rho VA \quad (kg / s) \quad (2.3)$$

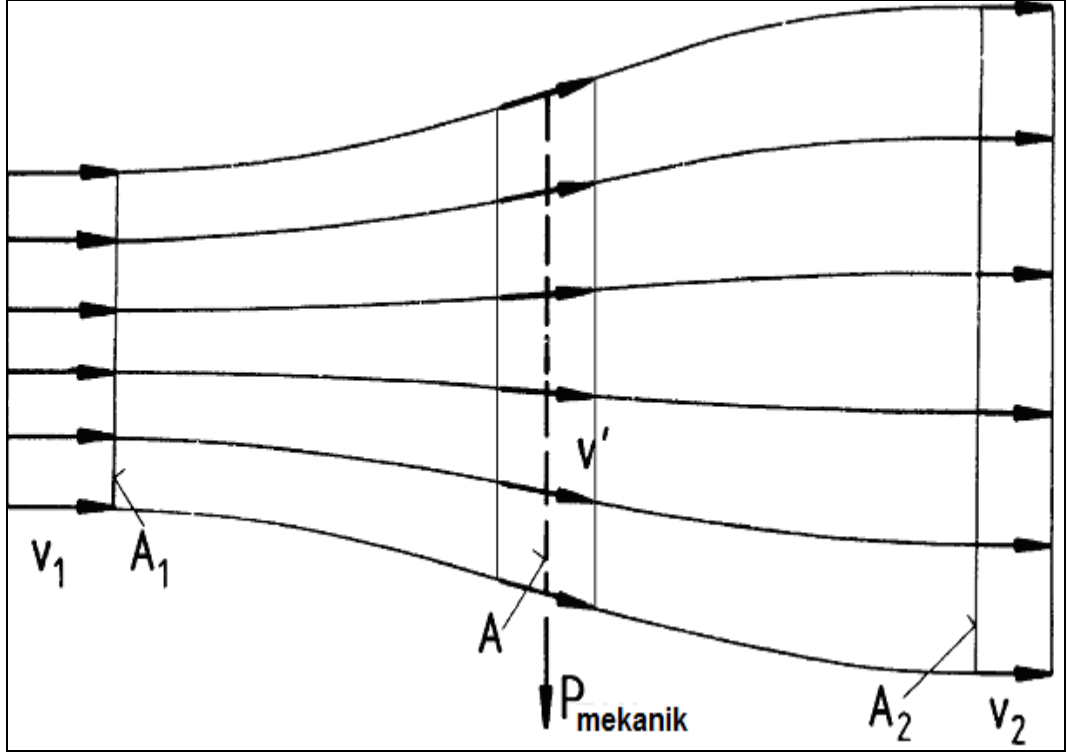
A kesitinden birim zamanda geçen enerji, hareket halindeki havanın kinetik enerjisine ve kütsel debisine bağıdır. Bu değr ise fiziksel olarak P gücü ile özdeştir:

$$P = \frac{1}{2} \rho V^3 A \quad (W) \quad (2.4)$$

Buradaki problem ne kadar büyüklükte bir mekanik gücün hava akımından enerji dönüştürücüsü aracılığıyla alınabileceğinin bulunmasıdır. Mekanik gücün elde edilmesi sadece hava akımının sahip olduğı kinetik enerjideki kayıplarla mümkün olması, sabit kütsel debide enerji değıştiricinin çıkışında sürat düşümünün zorunlu olmasını gerektirir. Süratin düşmesi ise aynı zamandan kesit alanındaki genişleme demektir, çünkü aynı kütsel debi akmak zorundadır. Enerji dönüştürücünün önündeki ve arkasındaki durumun dikkate alınması gerekmektedir (bkz. Şekil 2.1).

Burada v_1 enerji dönüştürücüsünün önündeki yavaşlamamış olan hava hızı, v_2 ise enerji dönüştürücüsünün çıkışındaki hava hızını temsil etmektedir. Dönüştürücü tarafından alınan mekanik güç hava akımının dönüştürücünün önünde ve arkasındaki gücünün farkına denk gelir:

$$P = \frac{1}{2} \rho A_1 V_1^3 - \frac{1}{2} \rho A_2 V_2^3 = \frac{1}{2} \rho (A_1 V_1^3 - A_2 V_2^3) \quad (W) \quad (2.5)$$



Şekil 2.1. Temel impuls teorisine göre bir rüzgar akımından mekanik güç eldesi sırasındaki akımın ilişkileri

KAYNAK: HAU, Windkraftanlagen- Grundlagen, Technik, Einsatz, Wirtschaftlichkeit 2008, p.80 (Örnek 4.1)

Kütlesel debinin korunumundan (Süreklilik bağıntısı):

$$\rho V_1 A_1 = \rho V_2 A_2 \quad (kg / s) \quad (2.6)$$

Buradan hareketle:

$$P = \frac{1}{2} \rho V_1 A_1 (V_1^2 - V_2^2) \quad (W) \quad (2.7)$$

Ya da:

$$P = \frac{1}{2} \dot{m} (V_1^2 - V_2^2) \quad (W) \quad (2.8)$$

Bu bağıntının da ortaya koyduğu gibi v_2 hızının sıfıra eşit olması halinde mekanik güç maksimum olacaktır. Yani hava, enerji dönüştürücüsü tarafından tamamen

durdurulmuştur. Bu sonuç fiziksel açıdan mantıksızdır. Eğer çıkış akısının hızı $v_2=0$ ise, aynı şekilde giriş akısının hızı da sıfır olmalıdır. Böylece hiçbir şekilde akım oluşmayacaktır. Fiziksel açıdan mantıklı olan sonuç beklendiği gibi belirli bir v_2/v_1 oranında elde edilebilecek gücün maksimum olacağıdır. Enerji dönüştürücüsünün mekanik verimini hesaplayabilmek için ilave bir bağıntıya ihtiyaç duymaktayız. Enerji dönüştürücüsüne etki eden kuvveti impuls teoremi yardımıyla hesaplayabiliriz:

$$F = \dot{m}(V_1 - V_2) \quad (N) \quad (2.9)$$

Etki tepki eşitliği prensibine göre aynı büyüklükte bir kuvvetin, söz konusu olan kuvvete enerji değiştiriciden hava akımı yönünde karşı koymalıdır. İtme kuvveti, hava kütlesini enerji değiştiricisinin akım düzlemine etki eden v' hava hızıyla iter. Bunun için gerek güç:

$$P = Fv' = \dot{m}(V_1 - V_2)v' \quad (W) \quad (2.10)$$

Hava akımından elde edilen mekanik güç, değiştiricinin önünde ve arkasındaki enerji (güç) farkından ve diğer bir şekilde itme kuvveti ile akım hızından bulunabilir. Sözü edilen bu denklemlerin eşitlenmesiyle akım hızı v' için bir eşitlik elde edilir.

$$\frac{1}{2} \dot{m}(V_1^2 - V_2^2) = \dot{m}(V_1 - V_2)v' \quad (W) \quad (2.11)$$

$$v' = \frac{1}{2}(V_1 + V_2) \quad (m/s) \quad (2.12)$$

Yani değiştiriciden geçen akım hızı v_1 ve v_2 'nin aritmetik ortalamasıdır.

$$v' = \frac{V_1 + V_2}{2} \quad (m/s) \quad (2.13)$$

Buradan kütleli debi:

$$\dot{m} = \rho A v' = \frac{1}{2} \rho A (V_1 + V_2) \quad (kg/s) \quad (2.14)$$

Enerji dönüştürücüsünün mekanik gücü şu şekilde ifade edilir:

$$P = \frac{1}{4} \rho A (V_1^2 - V_2^2) (V_1 + V_2) \quad (W) \quad (2.15)$$

Bu bulunan güç için bir karşılaştırma kıstasına sahip olmak gayesiyle aynı A kesitinden geçen hava akımının mekanik güce çevrilmemiş haliyle karşılaştırılır.

Anlatılan güç:

$$P_0 = \frac{1}{2} \rho V_1^3 A \quad (W) \quad (2.16)$$

Enerji değıştiricisinin mekanik gücünün serbest hava akımının gücüne oranı c_p olarak gösterilir:

$$c_p = \frac{P}{P_0} = \frac{\frac{1}{4} \rho A (V_1^2 - V_2^2) (V_1 + V_2)}{\frac{1}{2} \rho A V_1^3} \quad (-) \quad (2.17)$$

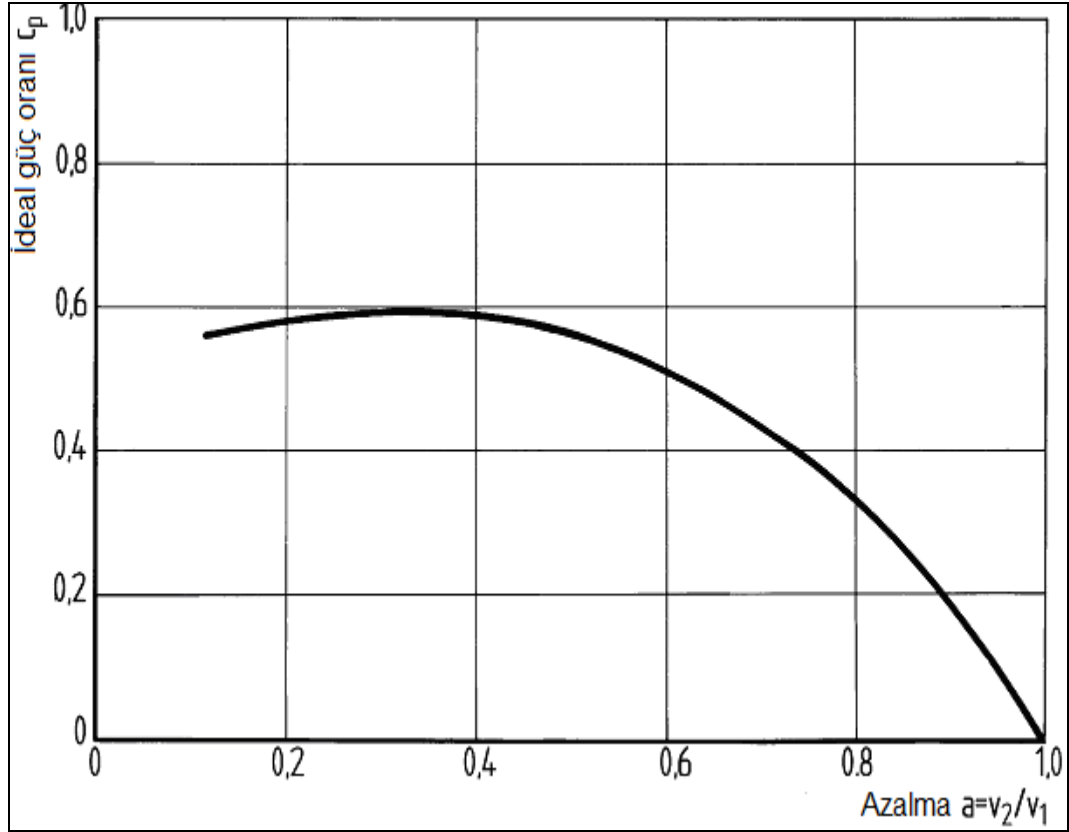
Birkaç değışiklikle güçlerin oranı doğrudan hızlarının oranının v_2/v_1 bir fonksiyonu olarak verilebilir.

$$c_p = \frac{P}{P_0} = \left| 1 - \left(\frac{V_2}{V_1} \right)^2 \right| \left| 1 + \frac{V_2}{V_1} \right| \quad (-) \quad (2.18)$$

Güç oranı, yani elde edilebilecek mekanik gücün hava akımının ihtiva ettiği toplam güce oranı, enerji dönüştürücüsünün önü ve arkasındaki hava hızlarına bağlıdır. Bu bağıntı grafiğe döküldüğünde (ki analitik bir çözüme de çok kolay ulaşılabilir) güç oranının belli bir hız oranında maksimuma ulaştığı fark edilir (bkz. Şekil 2.2).

$V_2/V_1 = 1/3$ değerinde sözü edilen ideal güç oranı c_p

$$c_p = \frac{16}{27} = 0,59 \quad (2.19)$$



Şekil 2.2. Güç oranının dönüştürücü önünde ve arkasındaki hız orana göre seyri. **KAYNAK:** HAU, Windkraftanlagen- Grundlagen, Technik, Einsatz, Wirtschaftlichkeit 2008, p.82 (Örnek 4.2)

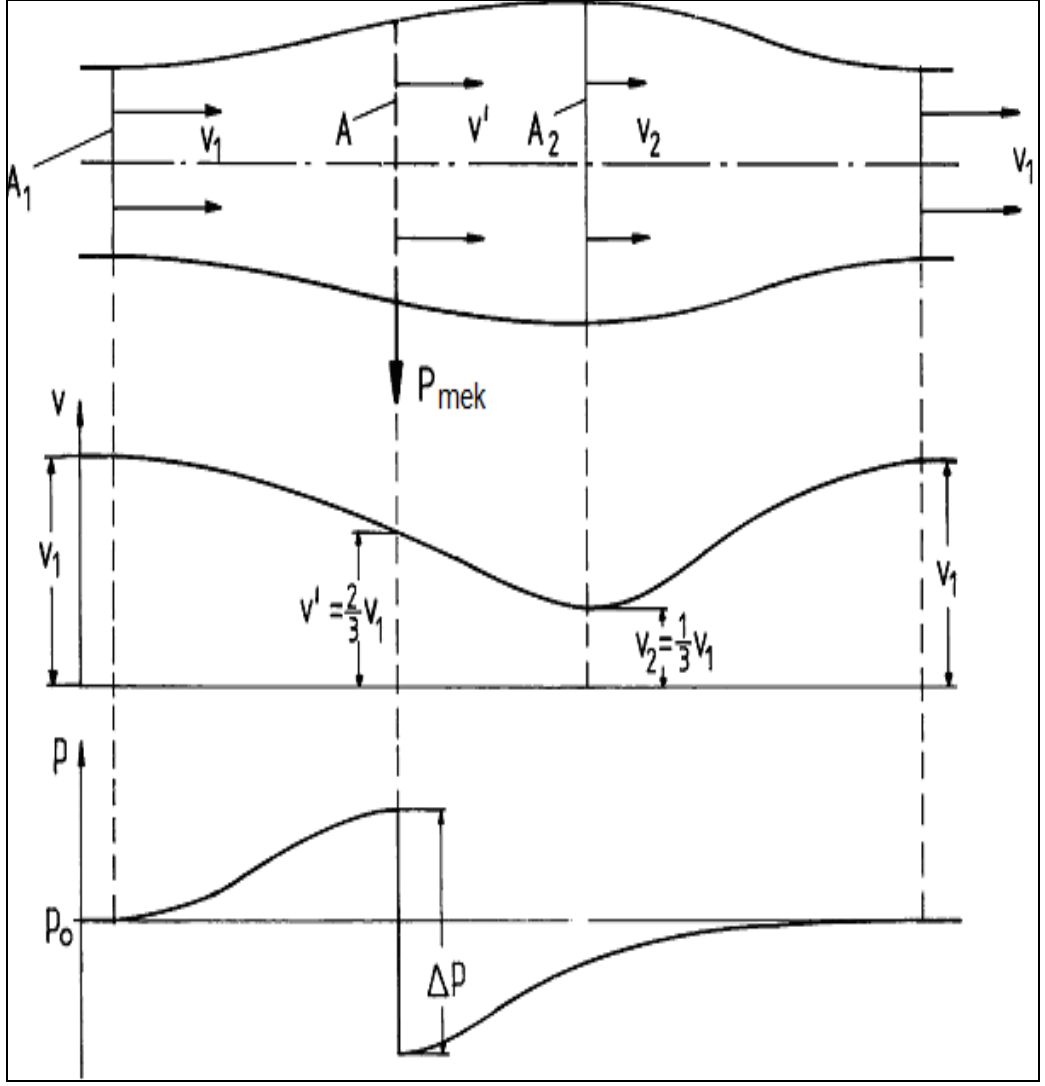
Bu önemli fiziksel büyüklük ilk defa Betz tarafından türetildiği için genellikle “Betz Faktörü” ya da “Betz Değeri” olarak ifade edilir. Azami güç oranına $V_2/V_1 = 1/3$ oranında ulaşıldığı bilgisiyle, hava akımı hızı v' :

$$v' = \frac{2}{3} V_1 \quad (2.20)$$

Bunun için gerekli olan dönüştürücünün arkasındaki düşürülmüş V_2 hızı aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$V_2 = \frac{1}{3} V_1 \quad (2.21)$$

Şekil 2.3’de rüzgâr enerjisi değıştiricisindeki hava akışının içerisindeki ilişkiler daha aydınlatıcı bir şekilde verilmiştir. Akış çizgilerinin yanında ilgili akış hızı ve statik basıncın gelişimi de gösterilmiştir. Hava, enerji dönüştürücüsünün yüzeyine yaklaşırken yavaşlıyor, arasından akıyor ve türbinin arkasında minimum değerine kadar yavaşlamaya devam ediyor. Akış çizgileri resminde akış borularının maksimum yarıçapa ulaştığı minimum hıza kadar olan genişlemesini gösterilmiştir. Statik basınç türbine yaklaşırken artmakta, sonra dönüştürücünün arkasında tekrardan kendini ortam basıncına eşitleyebilmek için en düşük bir değere kadar inmektedir. Akışkanın hızı enerji dönüştürücüden uzaklaştığında çıkış değerini alır. Akış borusu kaybolur.



Şekil 2.3. Bir ideal enerji dönüştürücüsünde mümkün olan azami mekanik gücün eldesi sırasındaki hava akımının ilişkileri.

KAYNAK: HAU, Windkraftanlagen- Grundlagen, Technik, Einsatz, Wirtschaftlichkeit 2008, p.83 (Örnek 4.3)

Bir kere daha hatırlatmak gerekir ki, bu temel bağıntılar ideal, sürtünmesiz bir akış durumu için hesaplanmış ve sonuç ise açıkça rüzgâr enerjisi dönüştürücüsünün ayrıntılı bir açıklaması olmadan bulunmuştur. Gerçekte ise basınç oranı her zaman Betz'in ideal oranından daha düşüktür. Betz Teorisi'nin temeli şu şekilde özetlenebilir:

Bir enerji dönüştürücüsü tarafından alınan hava akımının mekanik gücü, rüzgâr hızının üçüncü kuvvetiyle artmaktadır.

Mekanik güç enerji dönüştürücüsünün kesit alanıyla doğru orantılı, yani çapın karesiyle orantılı olarak artar.

Mekanik güce dönüşebilen güçle hava akımının sahip olduğu bütün güç arasındaki ilişki ideal akış ve kayıpsız enerji dönüşümü kabulünde 0,593 değeriyle sınırlanmıştır. Yani rüzgar enerjisinin belli bir kesit alanında hemen hemen %60 kadarı mekanik işe çevrilebilmektedir.

İdeal basınç oranının en büyük değeri olan $c_p = 0,593$ 'nde dönüştürücü düzlemindeki rüzgâr hızı serbest akış halindeki azami değerinin 2/3'üdür ve değıştiricin arkasında 1/3'üne kadar iner. Bazen Betz'in maksimum basınç oranının geçerliliğı bazı kanatçık formları için sorgulanmaktadır. Bu konuda temel kanatçık yapılarının genellikle Betz Modeli'nden uzaklaşacağı pek tabii ki söylenebilir. Örnek olarak disk şeklindeki kanatçıklarda Betz yaklaşımı geçerliliğini yitirir. Bugüne kadar kimse Betz Modeli tarafından tespit edilen maksimum basınç oranını aşabilecek pratik ve kullanılabilir bir kanatçık üretmeyi başaramamıştır (Hau 2008).

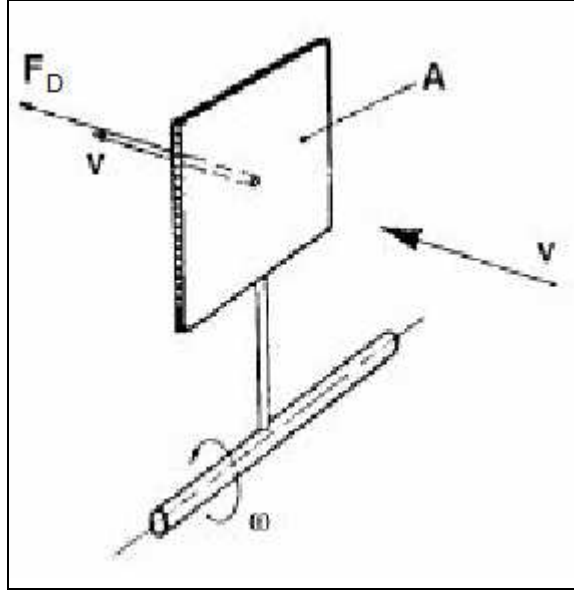
2.2.2 Sürüklenme ve kaldırma prensibi

Rüzgârın kinetik enerjisini elektrik enerjisine çevirmek için önce kinetik enerjinin, sonra elektrik enerjisine çevrilecek olan mekanik enerjiye çevrilmesi gerekir.

Bu çevrim için iki prensip bulunmaktadır: sürüklenme prensibi ve kaldırma prensibi.

2.2.2.1 Sürüklenme prensibi

Rüzgar her A yüzeyini kendi doğrultusunda iter ve bu yüzeyi hareket ettiren bir kuvvet meydana getirir. Bu sürüklenme kuvveti şeklinde isimlendirilir.



Şekil 2.4. Tahrik kuvveti olarak rüzgarın sürüklenme kuvvetinin kullanılması

KAYNAK:

<http://www.wind-energie.de/de/technik/physik-der-windenergie/widerstand-und-austriebsprinzip/>, 2010

Sürüklenme kuvveti:

Rüzgar hızı V 'nin karesi, A alanı, sürüklenme katsayısı c_D ve havanın özkütlesi ρ ile doğru orantılıdır.

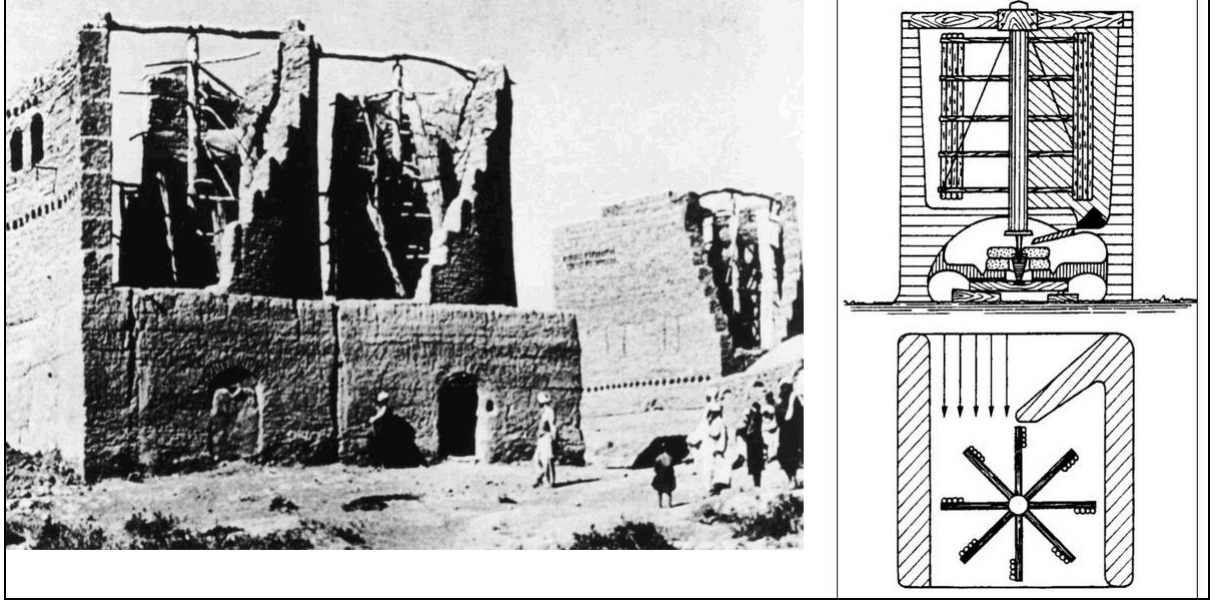
$$F_D = \frac{1}{2} \rho c_D A V^2 \quad (2.22)$$

Sürüklenme katsayısı c_D , parçanın hava direncini karakterize etmeye yarar ve örneğin bir rüzgar kanalı içerisinde tespit edilir.

c_D ne kadar küçükse hava direnci de o ölçüde düşüktür. c_D örneğin rüzgara karşı duran bir dairesel plaka için 1,11, kare şeklinde bir plaka için 1,10 ve bir küre için ise 0,45 değerini alır.

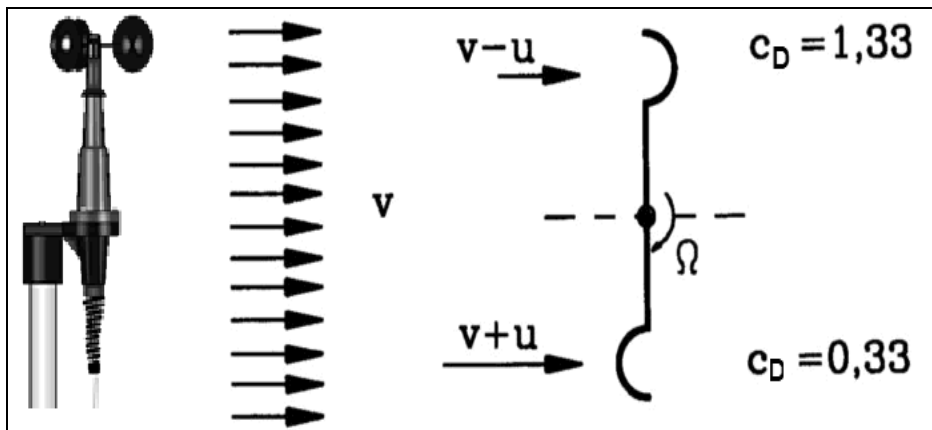
Taşıt endüstrisinde çalışan mühendisler hava direncinden doğan kayıpları minimize etmek için bu katsayıyı azaltmaya yönelik araştırmalar yapmaktadırlar. Örneğin bir

Toyota Prius için C_D değeri 0,26, bir VW Golf V için 0,325, bir Citroen 2VC için 0,50 ve bir kamyon içinse 0,80 dir.



Şekil 2.5. Perslere ait sürüklenme prensibiyle çalışan eski rüzgar değirmenleri
KAYNAK: <http://www.wind-energie.de/de/technik/konstruktiver-aufbau/>, 2010

Perslere ait eski rüzgâr değirmenleri (Dünya'nın en eski rüzgâr değirmenleri) havanın sürüklenme kuvvetiyle çalışırlardı. Bir duvar dikey rotorun yarısını korur, rüzgâra karşı izole ederdi. Rüzgâr rotorun açıkta kalan yarısı üzerine eser, kanatları iter ve harekete geçirirdi.



Şekil 2.6. Sürüklenme prensibiyle çalışan anemometre

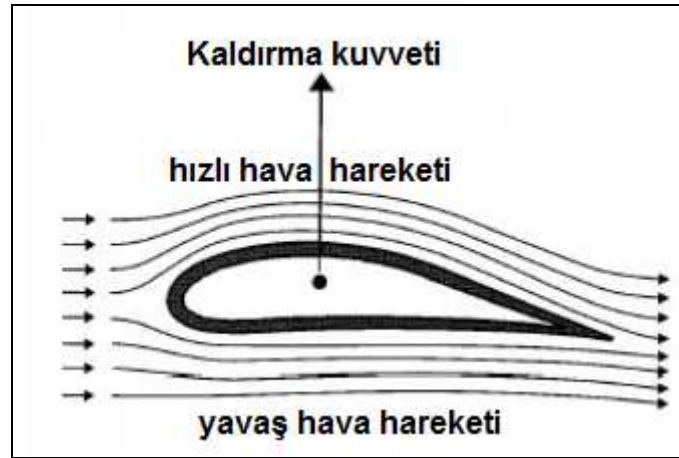
KAYNAK: <http://www.wind-energie.de/de/technik/physik-der-windenergie/widerstand-und-austriebsprinzip/>, 2010

Yukarıdaki resimde gösterilen dönen yarım küre şeklindeki kapakçıklardan meydana gelen anemometre rüzgârın sürüklemeye kuvvetiyle çalışmaktadır. Açık bir kürenin C_D değeri 1,33 iken, kapalı kürenin C_D değeri ise 0,33'dür. Bu aradaki farktan dolayı hareket sağlanmış olur.

Sürüklemeye kuvveti ile çalışan sistemler rüzgârın hızından daha hızlı dönemezler (yani uç hız oranları 1'den küçük olur). Kayıplar büyüktür ve aerodinamik verim çok düşüktür (örneğin pers değirmenlerinde 0,17 ve dönen yarım küre şeklindeki kapakçıklardan meydana gelen anemometrede ise 0,08).

2.2.2.2 Kaldırma prensibi

Modern rüzgâr türbinlerinde kanatlar kaldırma prensibiyle hareket ettirililer. Tahrik havanın kaldırma kuvvetiyle olur.

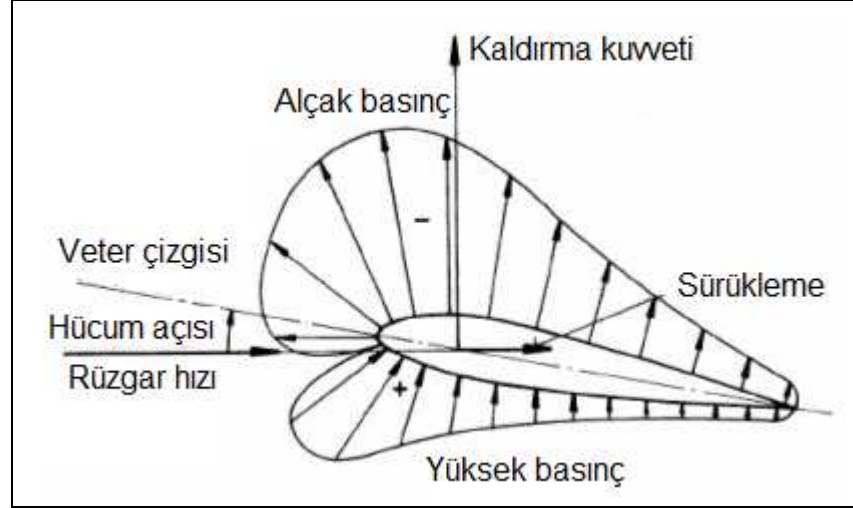


Şekil 2.7. Tahrik için rüzgârın kaldırma kuvvetinin kullanılması

KAYNAK:

<http://www.wind-energie.de/de/technik/physik-der-windenergie/widerstand-und-austriebsprinzip/>, 2010

Bir uçak, helikopter ya da türbin kanadının üst yüzey alanı alt yüzey alanına göre daha büyüktür. Uzunluğun üst yüzeyde daha fazla olmasından dolayı üst yüzeydeki havanın alt yüzeydekine göre daha hızlı hareket etmesi gerekir.



Şekil 2.8. Bir kanat profilindeki basınç dağılımı

KAYNAK:

<http://www.wind-energie.de/de/technik/physik-der-windenergie/widerstand-und-austriebsprinzip/>, 2010

Eş yükseklikler için Bernoulli denklemi statik ve dinamik basınçlar toplamının her noktada aynı olduğunu belirtir.

$$\frac{1}{2} V_{üst}^2 + P_{üst} = \frac{1}{2} V_{alt}^2 + P_{alt} \quad (2.23)$$

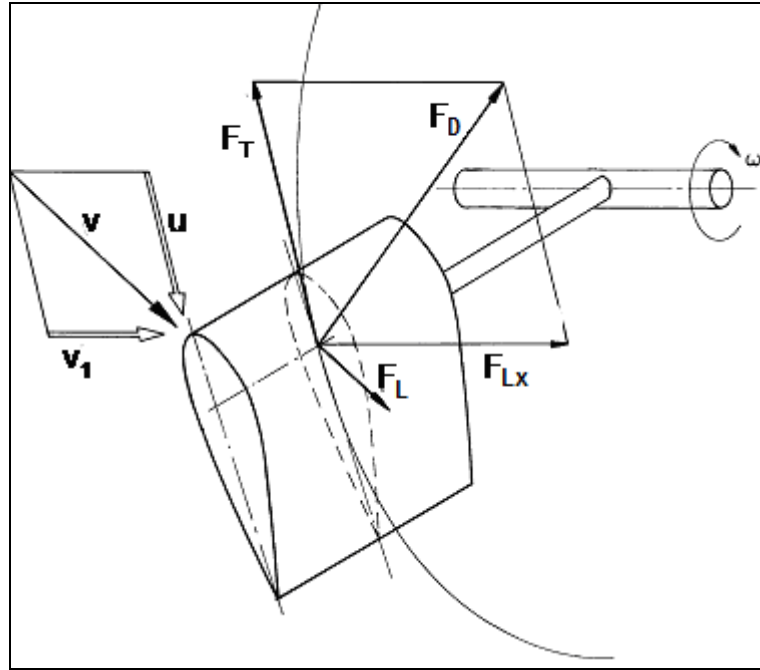
Üst yüzeydeki rüzgâr hızı alt yüzeyden daha büyüktür. Bu hız farkı üst bölgede alçak alt bölgede ise yüksek basınç alanı oluşmasından ileri gelir. Meydana gelen bu basınç farkının yardımıyla uçaklar havalanıp uçabilmektedirler. Aynı prensip bir rüzgâr türbini pervanesini de hareket ettirmek için kullanılır.

Kaldırma kuvveti rüzgâr hızı V 'nin karesi, kanat alanı A , hava yoğunluğu ρ ve kaldırma katsayısı c_L ile orantılıdır. Hava akımına maruz kalmış bir kanadın üst ya da alt yüzeyindeki kaldırma kuvveti:

$$F_L = c_L \frac{\rho}{2} A V^2 \quad (2.24)$$

Yüzey alanı A kanadın uzunluğu ve genişliğinin çarpımına eşittir. Kaldırma katsayısı c_L hücum açısı α 'ya bağlıdır. Kaldırma kuvvetine hücum açısının ayarlanmasıyla etki edilebilir.

Sürüklenme kuvveti F_D uçak ve rüzgâr türbini kanatlarına da etki ederler. Fakat hücum açısının düşük olmasından dolayı çok küçüktür (20'den 100 kata kadar kaldırma kuvvetinden daha küçük). Hücum açısının 20 derece olmasından itibaren sürüklenme kuvveti daha büyük olmaya başlar.



Şekil 2.9. Akış sırasında türbin kanadında oluşan kuvvetler

KAYNAK: HAU, Konzeption und Aufbau einer kleinen Windturbine 2008, p.87 (Örnek: 4.6.)

Kaldırma kuvveti, sürüklenme kuvveti akım hızı V ile aynı yöndeyken akım hızına dik olarak etki eder (bkz. Şekil 2.19). Akım hızı, yavaşlatılmış rüzgâr hızı V_2 ve çevresel hız $u = w.r$ nin bileşkesidir.

Kanadın üstü yüzeyinde kaldırma kuvveti tanjantı olan teğetsel kuvvet F_T ve eksenel kuvvet F_{Lx} 'e parçalanabilir. Teğetsel kuvvet F_T döndürme momenti M 'den sorumludur ve eksenel kuvvet F_{Lx} ise kesme kuvveti F_K 'dan sorumludur.

2.2.2.3 Dönme Momenti ve Kesme Kuvveti

Akım hızının açısı kanat yarıçapına göre değişir. Öyle ki, kanat kesitinin her yerinde kesme kuvveti ve dönme momenti buna bağlı olarak değişirler.

Yükün gerçek değerini uğraştırıcı yöntemlerle hesaplamamak için F_{st} referans kuvveti kullanılır. Bu referans kuvvet statik basınç ve akışın olduğu yüzey alanının bir sonucu olarak ortaya konulmaktadır.

$$F_{St} = \frac{\rho}{2} V_1^2 \pi R^2 \quad (2.25)$$

İleriki süreçlerde bu referans kuvveti bir karakteristik büyüklük ve bir katsayıyla çarpılır. Bu aynı zamanda gücün bulunabilmesi için de bir benzeşim sunar. Şu şekilde hesaplanırlar:

Kesme kuvveti

$$F_k = F_{St} \cdot c_l(\lambda) = \frac{\rho}{2} \cdot \pi \cdot R^2 \cdot V_1^2 \cdot c_l(\lambda) \quad (2.26)$$

Dönme momenti

$$M = R \cdot F_{St} \cdot c_m(\lambda) = \frac{\rho}{2} \cdot \pi \cdot R^3 \cdot V_1^2 \cdot c_m(\lambda) \quad (2.27)$$

Güç

$$P = V_1 \cdot F_{St} \cdot c_p(\lambda) = \frac{\rho}{2} \cdot \pi \cdot R^2 \cdot V_1^3 \cdot c_p(\lambda) \quad (2.28)$$

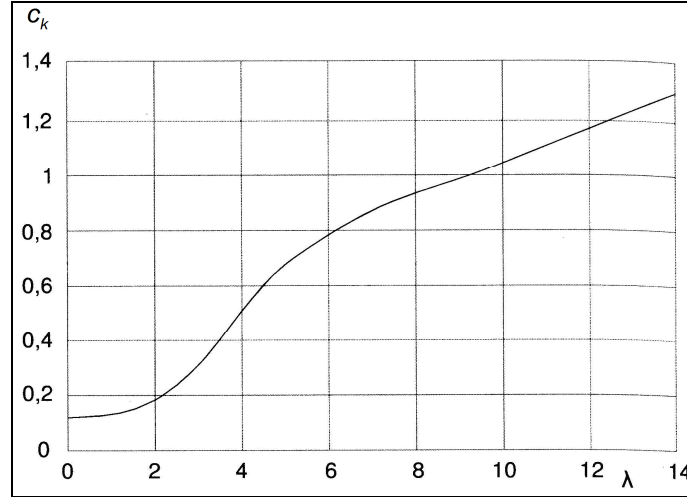
Katsayılar deneysel olarak elde edilir ve uç hız oranına bağlı olarak boyutsuz karakteristik eğrilerde gösterilirler. Aşağıda verilen grafiklerde (bkz. Şekil 2.10 ve Şekil 2.11 ve Şekil 2.12) uç hız oranı $\lambda=7$ için dizayn edilmiş üç kanatlı bir türbinin karakteristik eğrisi gösterilmiştir.

Katsayıların uç hız oranına bağlı olması, güç, dönme momenti ve kesme kuvveti fonksiyonlarının rüzgâr hızı V_1 ve devir sayısı n 'ye bağlı olmasıdır.

Boyutsuz gösterimden boyutlu gösterime geçmek için uç hız oranı formülü devir sayısına göre yeniden düzenlenir.

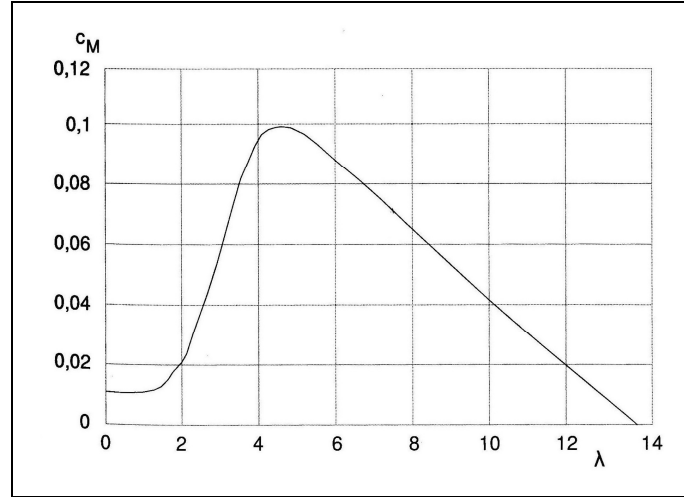
$$n = \frac{\lambda \cdot V_1}{2 \cdot \pi \cdot R} \quad (2.29)$$

Boyutlu gösterimde her rüzgâr hızı için devir sayısına bağlı grafikler elde edilir (Ehrmanntraut 2008).



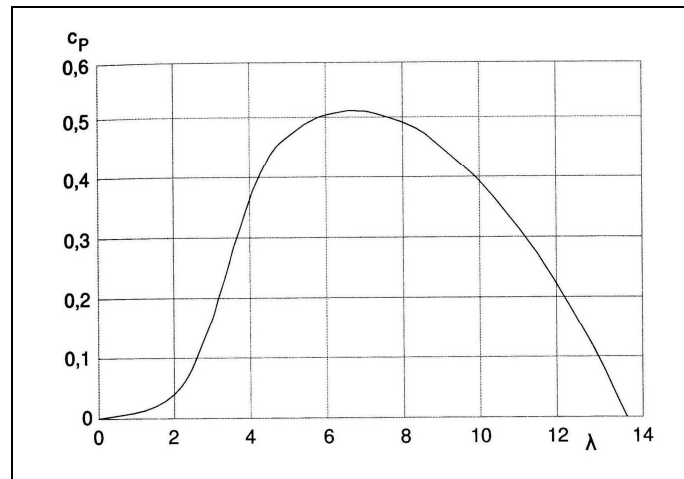
Şekil 2.10. Üç kanatlı ($\lambda=7$) uç hız oranına göre tasarlanmış bir rüzgâr türbini için deneysel kesme kuvveti katsayıları

KAYNAK: EHRMANNTRAUT. Konzeption und Aufbau einer kleinen Windturbine 2008, p.7 (Örnek: 2.5.)



Şekil 2.11. Üç kanatlı ($\lambda=7$) uç hız oranına göre tasarlanmış bir rüzgâr türbini için deneysel moment katsayıları

KAYNAK: EHRMANNTRAUT. Konzeption und Aufbau einer kleinen Windturbine 2008, p.7 (Örnek: 2.6.)



Şekil 2.12. Üç kanatlı ($\lambda=7$) uç hız oranına göre tasarlanmış bir rüzgâr türbini için deneysel güç katsayıları

KAYNAK: EHRMANNTRAUT. Konzeption und Aufbau einer kleinen Windturbine 2008, p.13 (Örnek: 2.7.)

2.2.2.4 Glide (kayma, süzülme) Oranı

Glide oranı ε , kaldırma kuvveti katsayısı c_L 'nin sürüklenme katsayısı c_D 'ye oranıdır ve kanadın kalitesini ortaya koyar.

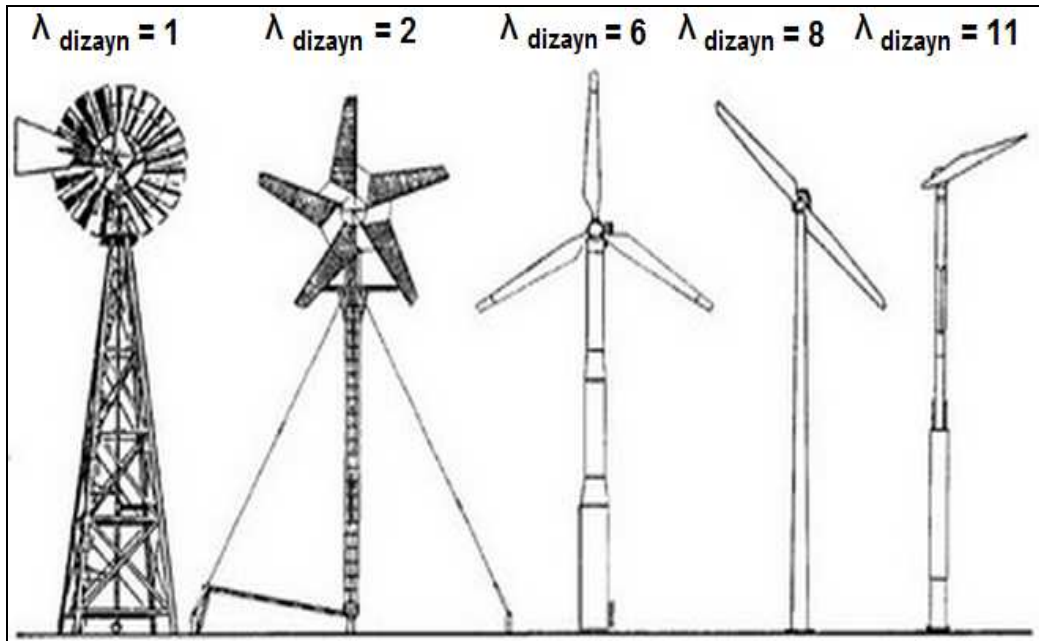
$$\varepsilon = \frac{C_L}{C_D} \quad (2.30)$$

Glide oranı kanat profiline ve hücum açısına bağlıdır. Glide oranı ne kadar yüksekse, hava direncinden doğan kayıplar o kadar düşük olur ve aynı oranda verimliliği yükseltir. İyi profiller 100 ya da daha yüksek glide oranına ulaşırlar /12/.

2.2.3 Uç Hız Oranı

Uç hız oranı rüzgar türbinini karakterize edebilmek için çok önemli bir özelliktir ve çevresel hızın rüzgar hızına bölünmesiyle elde edilir.

Kanatlar ne kadar uzun de rotorun devri ne kadar yüksek ise aynı rüzgar hızında uç hız oranı daha büyük olur.



Şekil 2.13. Dizayn edildikleri uç hız oranlarına göre rüzgâr enerjisini kullanan aletler.

KAYNAK:

<http://www.wind-energie.de/de/technik/physik-der-windenergie/schnelllaufzahl/>, 2010

Rüzgâr enerjisini kullanan sistemler hızlı ve düşük hızlı sistemler olarak iki gruba ayrılabilirler.

2.2.3.1 Düşük hızlı sistemler

En büyük 2,5 uç hız oranına göre dizayn edilen rüzgâr enerjisini kullanan aletler düşük hızlı sistemlerdir. Sürüklenme kuvvetiyle çalışan bütün sistemler düşük hızlı sistemlerdir ve uç hız oranları 1'den küçüktür.

Kaldırma kuvvetiyle çalışan sistemlerden uç hız oranları 1'den 2,5'a kadar olan sistemler de aynı şekilde düşük hızlı sistemlerdir. Şekil 2.13'de gösterilen birinci şekildeki 19. yüzyılda genellikle Amerika Birleşik Devletleri'nde ve Avustralya'da genel olarak ilk başlarda pompa amaçlı daha sonraları ise elektrik üretiminde de kullanılmış rüzgâr değirmeni ve diğer su pompası amaçlı kullanılan değirmenler yaklaşık 1 olan uç hız oranıyla bu kategoriye girmektedir. Şekil 2.13'de ikinci sırada gösterilen eski Hollanda yel değirmeni ve eski Alman yel değirmenleri ise 2'ye denk düşen uç hız oranlarıyla yine bu kategoride kendilerine yer bulurlar.

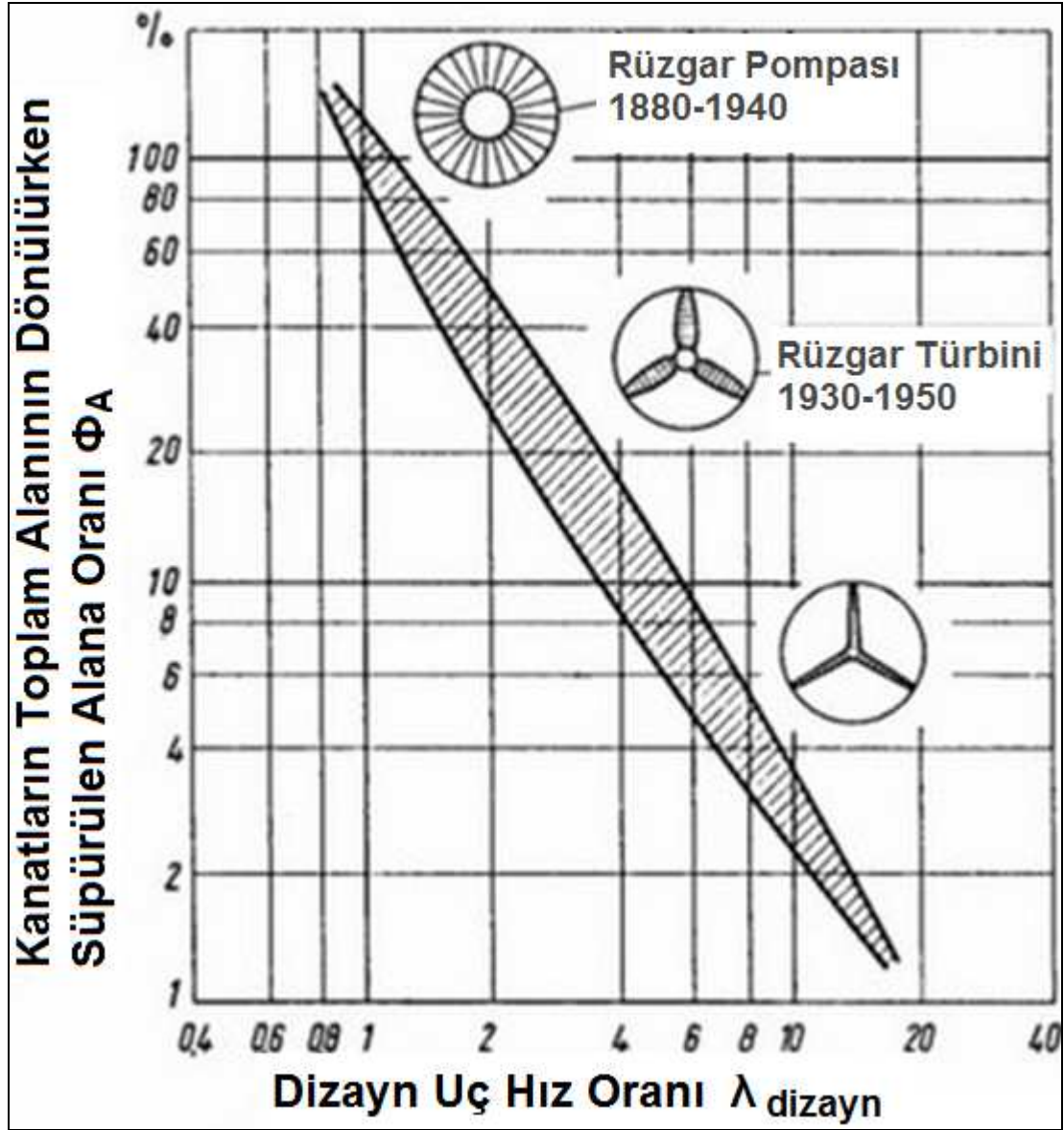
2.2.3.2. Yüksek hızlı sistemler

Yüksek hızlı sistemler havanın kaldırma kuvvetini kullanan uç hız oranları 2,5'dan 15'e kadar olan sistemlerdir. Bu kategoriye bir kanatlıdan üç kanalıya kadar olan elektrik elde etme amacıyla kullanılan türbinler girmektedir. Uç hız oranı yapı tipine ve şekline oldukça kuvvetli etki etmektedir. Örneğin:

Rotor devir sayısı: Belli bir kanat uzunluğu için, eğer uç hız oranı ne kadar büyük olursa rotorun devir sayısı da o kadar fazla olur. Tek kanatlı türbinlerde çok yüksek bir uç hız oranıyla üç kanatlı türbinlere göre çok daha hızlı dönerler. Fark edilmektedir ki pompa amacıyla kullanılan türbinler düşük hızlı sistemler olarak addedilmelerine karşın çok hızlı dönmektedirler. Bunun nedeni pervane çaplarının küçük olmasından dolayı çevresel hızlarının düşük olmasında yatmaktadır.

Kanat sayısı: 19. yüzyılda Amerika ve Avustralya'da su pompasını çalıştırmak için kullanılan değirmenler küçük uç hız oranlarından dolayı (yaklaşık 1) muazzam pervane yüzey alanına gereksinim duyduklarından 20'den 30'a kadar kanatla yapılmışlardır. Uç

hız oranı 2 olan eski Hollanda yel değirmenlerinin ise kanat sayısı iki ila dört arasındaydı. Elektrik üreten rüzgâr türbinlerinin uç hız oranı yaklaşık 6 olan üç kanadından, uç hız oranı 12'ye kadar çıkan tek kanatlı olanına kadar üç farklı tipi vardır.

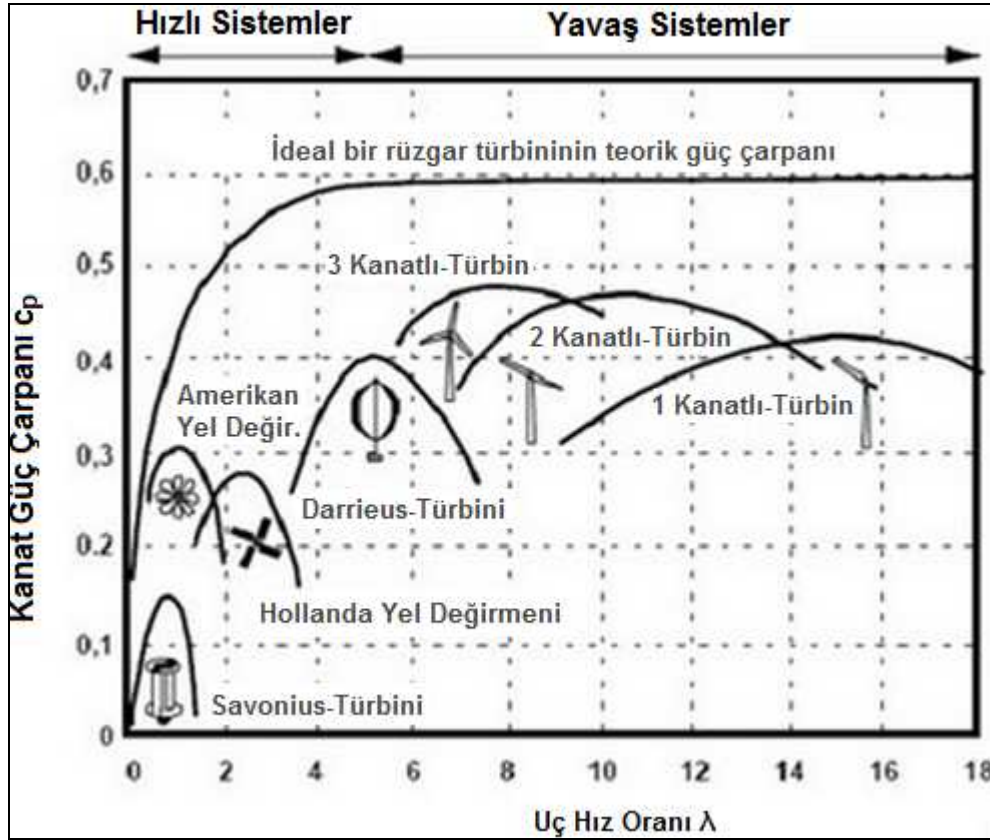


Şekil 2.14. Kullanılan kanat oranları ve dizaynı uç oranlarına göre rüzgar türbinlerinin gelişimi

KAYNAK:

<http://www.wind-energie.de/de/technik/physik-der-windenergie/schnelllaufzahl/>, 2010

Kanat profili: Yüksek hızlı sistemlerin kanatları ince tasarlanmıştır çünkü izafi rüzgar hızı kanatlarda çok yüksektir.



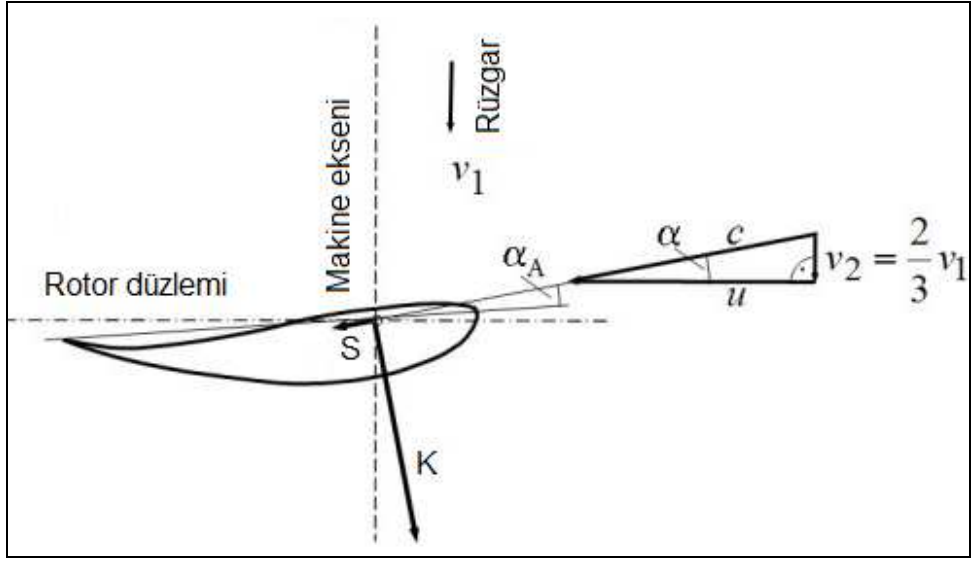
Şekil 2.15. Kanat güç çarpanına ve uç hız oranına göre türbinler

KAYNAK: HAU, Konzeption und Aufbau einer kleinen Windturbine 2008, p.106 (Örnek: 5.14.)

Makinenin güç çarpanı: Yüksek hızlı sistemler düşük hızlı sistemlere göre pervane arkasında oluşan girdapların (swirl) kayıplarından dolayı açıkça daha yüksek verime sahiptirler. Azami güç çarpanı $c_{p,max}$ düşük hızlı sistemler için 0,3 ile 0,35 arasındayken yüksek hızlı sistemler içinse 0,45 ile 0,55 arasındadır.

2.2.4 Türbin kanatlarında hız üçgenleri

Havanın kanat üzerindeki lokal hızı rüzgar hızıyla karıştırılmamalıdır. Bu lokal hız yüksek hızlı sistemlerde rüzgar hızından 9 kat daha fazladır. Rüzgar kanatları üzerindeki lokal hız rotor devir sayısı ve rotor ekseninden olan uzaklıkla büyür.



Şekil 2.16. Rüzgar türbininde hız üçgeni

KAYNAK: GASH, Windkraftanlagen: Grundlagen, Entwurf, Planung und Betrieb 2009, p.191 (Örnek: 5.11)

Rüzgar türbininin hız üçgeni üç hız tarafından şu şekilde açıklanmıştır:

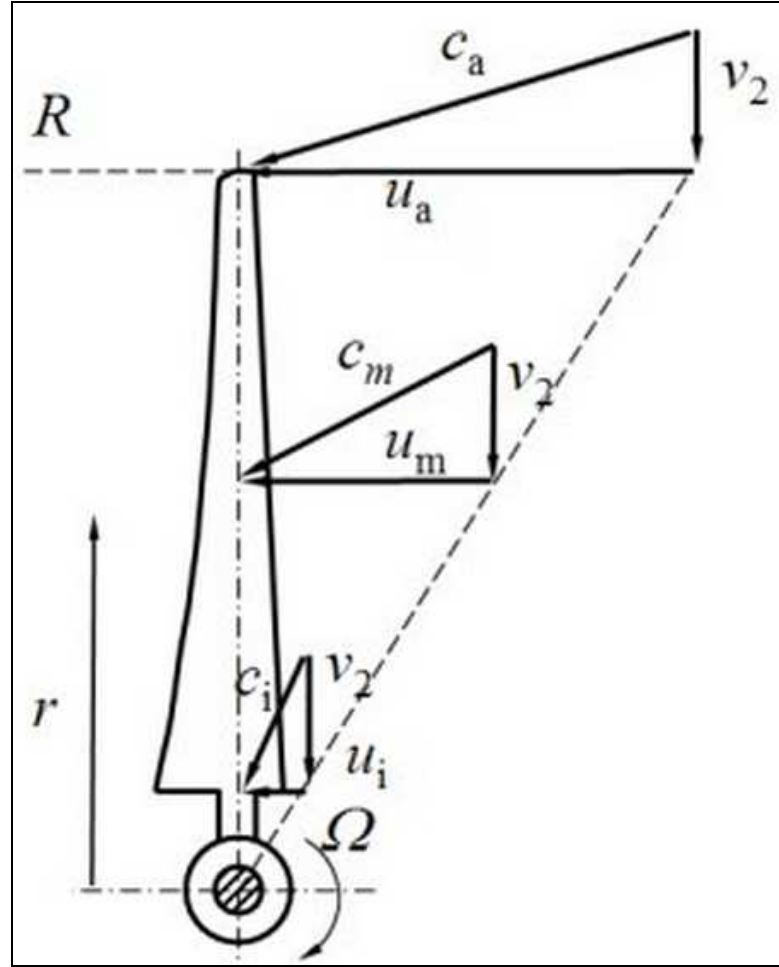
Rotor düzlemindeki rüzgar hızı V_2 : Bu rotor düzlemindeki rüzgar hızı V_2 sistemden uzaktaki rüzgar hızı V_1 'in üçte ikisine eşittir (rüzgar daha rotor düzleminde önce rüzgar türbini sayesinde üçte bir oranında yavaşlatılmıştır).

Kanatın kendi dönüşünden oluşan çevresel hız u .

Mutlak hız c (Kanat üzerindeki havanın hızı).

Kanat üzerinde oluşan kuvvetler:

- Kaldırma Kuvveti
- Sürüklenme Kuvveti



Şekil 2.17. Farklı kanat kesitlerindeki hız üçgenleri

KAYNAK:

<http://www.wind-energie.de/de/technik/physik-der-windenergie/winddreiecke/>, 2010

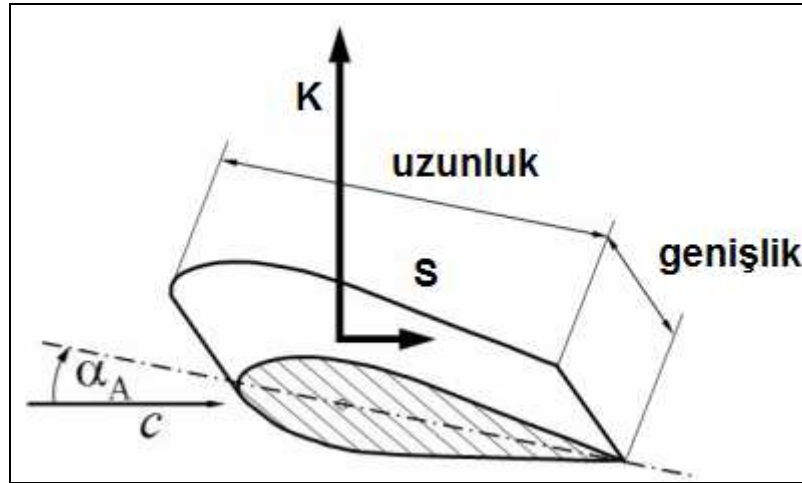
Çevresel hız u , rotorun açısal hızı Ω ile rotor eksenine olan r uzaklığının çarpılmasıyla bulunur. Bu demek oluyor ki, eğer bir nokta rotor eksenine ne kadar uzaksa çevresel hızı u o kadar büyüktür.

Mutlak hız c çevresel hız u ile birlikte artar ve bu yüzden her r yarıçapı için (ve kanadın her bir kesiti için) hız üçgenleri farklıdır. c ve u , r uzaklığına göre doğrusal olarak artarlar.

Hava akımı mümkün olduğu kadar her kanat kesitinde kanat profili üzerine aynı açıyla çarpmalıdır. Kanat boyunca farklılaşan hız üçgenleri nedeniyle de kanadın burularak üretilmesi gerekir. Böylece hava akımı aynı açıyla kanatla buluşturulmaya çalışılır /12/.

2.2.5. Kanatların hücum açısı

Havanın kaldırma kuvvetini kullanan bir rüzgar makinesine iki güç etki eder: Kaldırma kuvveti K ve sürüklenme kuvveti S . Bu iki kuvvet kanat profiline ve hücum açısı α_A 'ya sıkı sıkıya bağlıdır.



Şekil 2.18. Kaldırma K ve sürüklenme S kuvvetlerinin bir kanat genişliği boyunca gösterimi

KAYNAK:

<http://www.wind-energie.de/de/technik/physik-der-windenergie/anstellwinkel/>, 2010

Hücum açısı sıfır ise, simetrik bir profildeki kaldırma kuvveti K sıfıra eşittir ve sadece çok çok az bir sürüklenme kuvveti S oluşur: kanat “bayrak pozisyonu” olarak tabir edilen durumdadır.

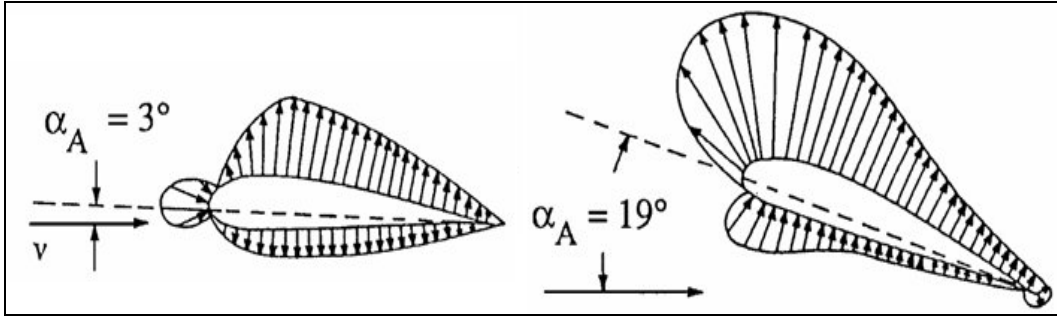
Kaldırma ve sürüklenme kuvvetleri kanat alanı, havanın yoğunluğu ρ , lokal mutlak hız c (havanın kanat üzerindeki hızı) ve c_L (kaldırma kuvveti için) ile c_D (sürüklenme kuvveti için) katsayılar ile artar.

$$K = c_L(\alpha) \cdot \frac{\rho}{2} \cdot c^2 \cdot (\text{genişlik} \cdot \text{uzunluk}) \quad (2.31)$$

$$S = c_D(\alpha) \cdot \frac{\rho}{2} \cdot c^2 \cdot (\text{genişlik} \cdot \text{uzunluk}) \quad (2.32)$$

Ortaya çıkan toplam güç F ise aşağıdaki şekilde ifade edilir:

$$F = \sqrt{K^2 + S^2} \quad (2.33)$$



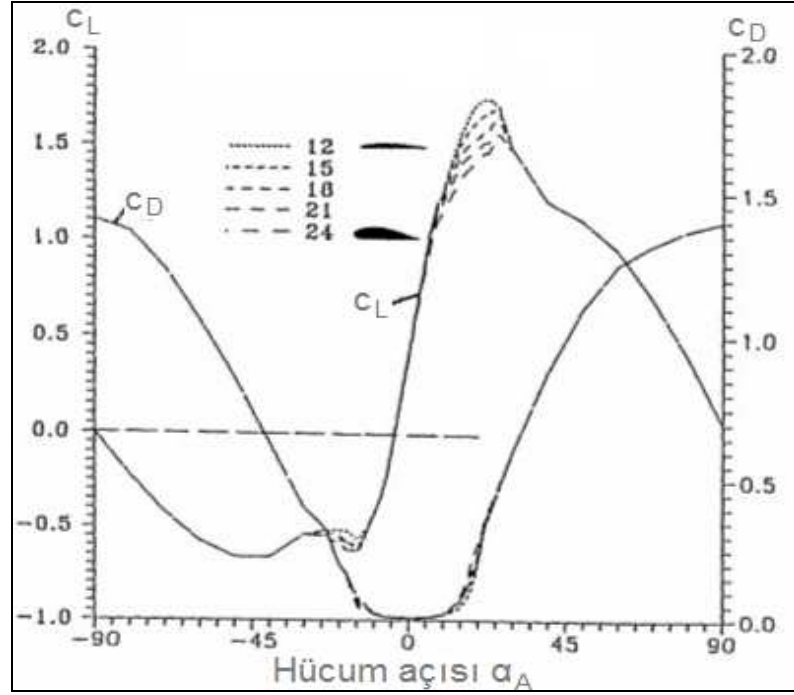
Şekil 2.19. Küçük ve büyük hücum açılarında bir profildeki basınç dağılımı

KAYNAK:

<http://www.wind-energie.de/de/technik/physik-der-windenergie/anstellwinkel/>, 2010

c_L ve c_D katsayıların her ikisi de kanat profiline ve hücum açısı α_A 'ya çok bağlıdır. Hücum açısıyla kanat üzerindeki basınç dağılımları ve rüzgar direnci kuvvetli bir şekilde değişimlere uğrar.

c_L ve c_D katsayıları deneysel olarak bir rüzgar kanalı içerisinde elde edilir ve α_A 'nın bir fonksiyonu olarak ifade edilirler.



Şekil 2.20. Rüzgar kanalı deneylerinden hücum açısı α 'ya bağlı olarak elde edilen kaldırma ve sürüklenme katsayıları

KAYNAK:

<http://www.wind-energie.de/de/technik/physik-der-windenergie/anstellwinkel/>, 2010

c_L hücum açısı α_A 'nın artışıyla büyür. Önemli olan ise kaldırma kuvveti K 'nın, hücum açısı α_A 'nın -5° ile $+10^\circ$ değerleri arasında neredeyse doğrusal artması ve bu bölgede teorik olarak hücum açısı α_A 'nın $2.\pi$ katına eşit olmasıdır:

$$c_L(\alpha) = 2.\pi.\alpha \quad -5^\circ < \alpha < +10^\circ \quad (2.34)$$

c_L değeri sadece teoriktir ve gerçekte biraz daha düşüktür. Azami değere yaklaşık 12° 'lik hücum açısında ulaşılır. 12° 'den itibaren kaldırma kuvveti, tutunma kaybının (stall etkisi) etkisiyle küçülür ve sürüklenme kuvveti ise hızla büyür.

Bu tutunma kaybı stall kontrollü sistemlerde güç sınırlama (kontrol) yöntemi olarak kullanılır.

Yüksek devir sayılarında yani sabit çevresel hızlarda, hücum açısı rüzgar hızıyla beraber arttığı için yüksek rüzgar hızlarında ($V > A_{nma}$ hızı) tutunma kaybı (stall etkisi)

ortaya çıkar. Kaldırma kuvveti düşer ve sürüklenme kuvveti ise hızlıca artar. Güç ve rotorun devir sayısı bu şekilde sınırlandırılmış olur.

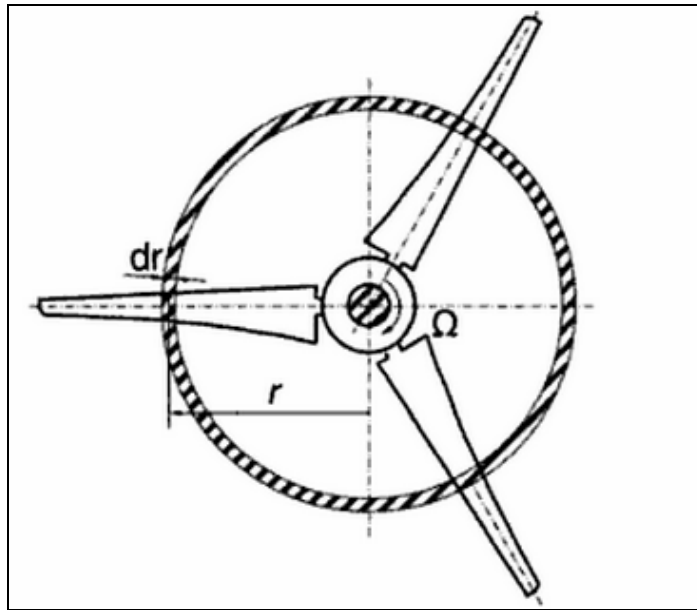
2.2.6. Betz Teorisiyle Optimal Dizayn

Kanatların taradığı yüzeyden elde edilebilecek azami enerji aşağıdaki gibi ifade edilebilir:

$$\dot{E}_{Betz} = \frac{16}{27} \cdot \frac{\rho}{2} \cdot V_1^3 \cdot (\pi \cdot R^2) \quad (2.35)$$

Rotor, taranan tüm rotor dairesi alanının her $2 \cdot \pi \cdot r \cdot dr$ halka kesitinde rüzgârdan elde edilecek enerji aşağıdaki gibi olacak şekilde dizayn edilmelidir.

$$d\dot{E}_{Betz} = \frac{16}{27} \cdot \frac{\rho}{2} \cdot V_1^3 \cdot (2 \cdot \pi \cdot r \cdot dr) \quad (2.36)$$



Şekil 2.21. Yüzeydeki halka kesiti $dF=2 \cdot \pi \cdot r \cdot dr$

KAYNAK: GASH, Windkraftanlagen: Grundlagen, Entwurf, Planung und Betrieb 2009, p.193 (Örnek 5.14)

Bu enerjiyi z tane uygun boyutlandırılmış kanatla çıkartmak istiyoruz. Kanatlar halka kesitinde mekanik enerjiyi şu şekilde dönüştürür.

$$dL = \underset{\substack{\text{Kanat} \\ \text{sayısı}}}{z} \cdot \underset{\substack{\text{Rüzgar} \\ \text{gücünün} \\ \text{çevresel} \\ \text{bileşenleri}}}{dU} \cdot \underset{\substack{\text{Çevresel} \\ \text{hız}}}{\Omega r} \quad (2.37)$$

Dizaynda profili glide sayısına çok yakın çalıştırdığımızdan sürüklenme katsayısı düşüktür, $c_D \ll c_L$. Çevresel bileşen dU aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$dU \approx dA \cdot \sin \alpha = \frac{\rho}{2} \cdot c_A \cdot c^2 \cdot t(r) \cdot dr \cdot \sin \alpha \quad (2.38)$$

Buradan mekanik enerjiyi yazarsak:

$$dL \approx z \cdot \Omega \cdot r \cdot \frac{\rho}{2} \cdot c_A \cdot c^2 \cdot t(r) \cdot dr \cdot \sin \alpha \quad (2.39)$$

Bu (2.39)'daki mekanik enerji formülünü (2.36)'daki Betz'in enerji formülüyle eşitlersek, $dL = d\dot{E}_{Betz}$, optimal olarak tasarlanmış bir türbin kanadının kanat derinliğine ilişkin en önemli formülü elde etmiş oluruz:

$$t(r) = \frac{1}{z} \cdot \frac{16}{27} \cdot \frac{2 \cdot \pi \cdot r}{c_L} \cdot \frac{V_1^3}{c^2 \cdot \Omega \cdot r \cdot \sin \alpha} \quad (2.40)$$

Hız üçgeninden okunabilecek ilişkiler $V_1 = \frac{3}{2} \cdot c \cdot \sin \alpha$ ve $u = \Omega \cdot r = c \cdot \cos \alpha$ yukarıdaki denklem şu şekilde değiştirilir:

$$t(r) = 2 \cdot \pi \cdot R \cdot \frac{1}{z} \cdot \frac{8}{9 - c_L} \cdot \frac{1}{\lambda_D \sqrt{\lambda_D^2 \cdot \left(\frac{r}{R}\right)^2 + \frac{4}{9}}} \quad (2.41)$$

Burada λ_D dizaynın seçilen uç hız oranı ve c_A ise seçilen kaldırma kuvveti katsayısıdır. Kaldırma kuvveti katsayısı yarıçap r üzerinde şart olmamakla beraber sabit seçilebilir. Pratikte dizayn c_L değeri için glide sayısı civarında bir değer seçilir, yani:

$$\left. \begin{array}{l} c_L = 0,6 \text{ ile } 1,2 \text{ arası} \\ \alpha_A = 2 \text{ ile } 6 \text{ derece arası} \end{array} \right\} \mathcal{E} = \mathcal{E}_{\max}$$

Sadece toplam kanat derinliğini daha çok kanada dağıtan kanat sayısının seçimi üzerinde (2.41) eşitliği bir şey söylememektedir. Bu seçim sağlamlık kriterlerine, üretim tasarımlarına veya aynı zamanda dinamik bilimindeki bakış açılarına göre gerçekleştirilebilir. Kanat derinliğiyle ilgili (2.41) eşitliği kolaylaştırılmış olarak yazılırsa daha anlaşılır olur

$$t(r) \approx 2 \cdot \pi \cdot R \cdot \frac{1}{z} \cdot \frac{8}{9 - c_L} \cdot \frac{1}{\lambda_D^2 \cdot \left[\frac{r}{R} \right]} \quad (2.42)$$

Eğer $\lambda_D > 3$ olan yüksek hızlı sistemler göz önünde alınırsa buradan hareketle kanatlar göbeğin yer ihtiyacından dolayı dış yarıçapın %15'inde başlar. Sonra Betz teorisine göre elde edilebilecek tüm enerjinin elde edilmesi için gerekli kanat derinliğinin pratikte uç hız oranı λ_D 'nin karesiyle düştüğü açık hale gelir.

Hütter'e dayanan (Şekil 2.14)'deki diyagramda alan doldurma düzeyini dizayn uç oranına bağlı olarak gösterilmektedir. Şekildeki bant c_L değerlerinden oluşan bir alanın 1,0'ı temel almasıyla meydana gelir (Gash 2009).

2.2.7. Kayıplar

Betz'in güç katsayısına $c_{p,Betz} = \frac{16}{27} = 0,59$ sadece ideal makinede ulaşılır. Bu bağıntıda sadece eksenel çıkış hızından dolayı oluşan kayıplar dikkate alınmıştır. Ayrıca bundan başka bir dizi daha kayıp kaynakları mevcuttur.

En önemli kayıplar aşağıda verilenlerdir:

- Profil Kayıpları, 2.39 eşitliğinde göz ardı edilen dirençten meydana gelir.
- Kanat Ucu Kayıpları
- Swirl (Girdap) Kayıpları (Gash 2009)

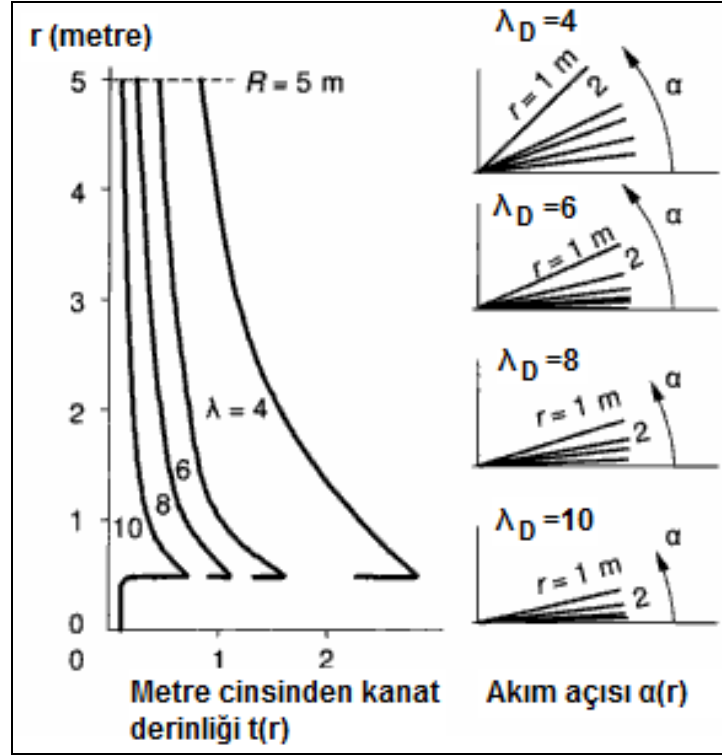
2.2.7.1. Profil Kayıpları

Profil kayıpları, ideal kanat geometrisini ararken göz ardı edilen profil direncinden meydana gelir. Fakat enerji bilançosunu çıkarılırken bu kayıplarında dikkate alınması gerekmektedir. (bkz. 2.37) denklemi profil direnci de hesaba katılarak kanat kesitindeki gerçek enerjiyi gösterecek şekilde aşağıdaki gibi düzenlenebilir:

$$\begin{aligned}
 dL &= z \cdot \Omega \cdot r \cdot dU \\
 &= z \cdot \Omega \cdot r \cdot \left[\frac{\rho}{2} \cdot c^2 \cdot t \cdot dr \cdot (c_L \cdot \sin \alpha - c_D \cdot \cos \alpha) \right]
 \end{aligned} \tag{2.43}$$

İdeal bir makinede ise buna karşın direnç hesaba katılmaz ($c_D=0$), yani:

$$dL_{ideal} = z \cdot \Omega \cdot r \cdot \frac{\rho}{2} \cdot c^2 \cdot t \cdot dr \cdot c_L \cdot \sin \alpha \tag{2.44}$$



Şekil 2.22. Uç hız oranı λ_D 'ye bağlı olarak ve Betz'e göre dizayn edilmiş üç kanatlı türbinin kanat derinliği $t(r)$, akım açısı $\alpha(r)$, $D=10$ m .

KAYNAK: GASH, Windkraftanlagen: Grundlagen, Entwurf, Planung und Betrieb 2009, p.197 (Örnek 5.16)

$$\eta_{\text{Profil}} = 1 - \frac{c_D}{c_L} \cdot \frac{1}{\tan \alpha}$$

(2.45)

$$= 1 - \frac{1}{\varepsilon} \cdot \frac{1}{\tan \alpha} = 1 - \frac{3}{2} \cdot \frac{r}{R} \cdot \frac{\lambda_D}{\varepsilon}$$

dL/dL_{ideal} oranından profilin verimi $\tan \alpha$ 'nın düzenlenmesiyle yukarıdaki gibi ifade edilebilir. Her halka kesitindeki kayıplar ise uç hız oranı λ_D ve yarıçap r ile doğru orantılıdır ve kanat ucuna doğru bunlar büyümektedirler. Fakat bu kayıplar glide sayısı ile ters orantılıdır. En fazla enerjinin dış alanda dönüştürülmüş olmasından dolayı yüksek hızlı sistemlerde dış bölgede çok kaliteli profiller kullanılmalıdır ($\varepsilon_{\text{max}} > 50$). İç bölgede ve düşük hızlı sistemlerde ise (Hollanda yel değirmenleri $\lambda_D \approx 2$) profil kalitesi önemli değildir.

$$\xi_{\text{Profil}} = \frac{3}{2} \cdot \frac{r}{R} \cdot \frac{\lambda_D}{\varepsilon} \quad (2.46)$$

Eğer kanat boyunca sabit bir α_A hücum açısıyla tek tip profil kullanılırsa, bu şekilde glide sayısı ε yarıçap r 'ye bağlı olur. Daha sonra dizayn şartları için enerjinin (ya da profil kaybının) kanat boyunca integrali alınır:

$$E = \frac{16}{27} \cdot \frac{\rho}{2} \cdot V_1^3 \int_0^R \eta_{\text{Profil}} \cdot 2 \cdot \pi \cdot r \cdot dr$$

$$E = \frac{16}{27} \cdot \frac{\rho}{2} \cdot V_1^3 \int_0^R \left(1 - \frac{3}{2} \cdot \frac{r}{R} \cdot \frac{\lambda_D}{\varepsilon} \right) \cdot 2 \cdot \pi \cdot r \cdot dr \quad (2.47)$$

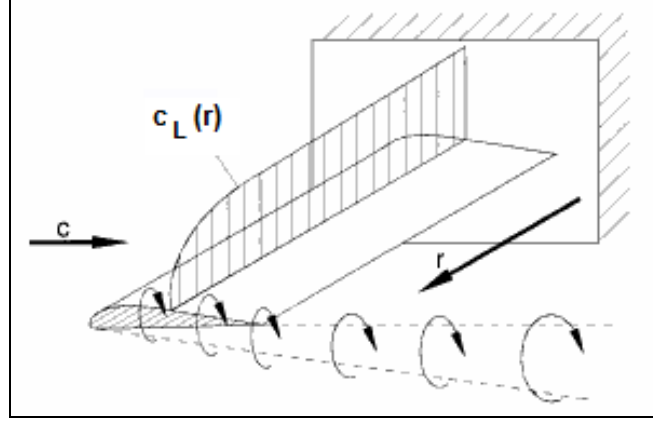
$$E = \frac{16}{27} \cdot \frac{\rho}{2} \cdot V_1^3 \cdot \pi \cdot R^2 \left[1 - \frac{\lambda_D}{\varepsilon} \right]$$

Uç hız oranının glide sayısına oranı bu durumda direk olarak profil direncinden doğan kayıpları betimlemektedir (Gash 2009).

2.2.7.2. Kanat ucu kayıpları

Diğer bir kayıp kaynağı ise kanat ucunda yüksek basınçlı bölümden (profilin alt kısmı) emme bölümüne (üst kısım) hava akımı şeklindedir. Bu yüzden kaldırma kuvveti kanat bitimine doğru azalır. Kanada olan hava akımıyla beraber kanat ucundaki ters hava akımının birikimi yüzünden kendi kendine genişleyen bir girdap oluşur (bkz. Şekil 2.23).

Kanat ne kadar inceyse, c_L ve c_D değerlerinin kendisi için profil kataloglarında geçerli olduğu sonsuz kanada $\left(\frac{R}{t} = \infty \right)$ o kadar daha yaklaşırlar ve bu etki de o kadar daha düşer.



Şekil 2.23. Kanat ucundaki basınçlı bölümden emme bölümüne doğru olan hava akımı, kaldırma kuvveti dağılımı c_L

KAYNAK: GASH, Windkraftanlagen: Grundlagen, Entwurf, Planung und Betrieb 2009, p.198 (Örnek 5.17)

Betz bu kayıpların elde edilmesi için esas çap yerine etkili bir D' çapını sunmuştur. Bu çap Prandtl'a dayanan bir değerlendirmeye göre aşağıdaki gibi belirlenmiştir.

$$D' = D - 0,44.b \quad (2.48)$$

Burada b mutlak hız c 'ye dik olan bir düzlemde kanat ucuna olan kanat mesafesi a 'nın projeksiyonudur (Şekil 2.24).

$$a = \frac{\pi.D}{z}, b = \frac{\pi.D}{z} \cdot \sin \alpha \quad (2.49)$$

Hızlar kanat ucundaki hız üçgenlerinden okunanlar bağlamında.

$$c \cdot \sin \alpha = V_2 \quad ; \quad c^2 = (\Omega.R)^2 + V_2^2 \text{ şeklinde ifade edilir.}$$

Dizaynda $V_2 = 2 \cdot \frac{V_1}{3}$ koşulunun geçerli olduğu da dikkate alınarak indirgenmiş çap D' şu şekilde elde edilir

$$D' = D \cdot \left[1 - 0,44 \cdot \frac{2 \cdot \pi}{3 \cdot z} \cdot \frac{1}{\sqrt{\lambda_D^2 + \frac{4}{9}}} \right] \quad (2.50)$$

Enerji çapın karesiyle doğru orantılı olduğundan aşağıdaki şekilde kanat ucu kaybını da göz önüne alan verim ortaya konur.

$$\eta_{uç} = \frac{E'}{E} = \left[\frac{D'}{D} \right] = \left[1 - \frac{0,92}{z \cdot \sqrt{\lambda_D^2 + \frac{4}{9}}} \right]^2 \quad (2.51)$$

Dizayn uç hız oranı $\lambda_D > 2$ yukarıdaki formül şu şekilde basitleştirilebilir:

$$\eta_{uç} \approx 1 - \frac{1,84}{z \cdot \lambda_D} \quad (2.52)$$

Kabaca görülmektedir ki bu kayıp kanat sayısı ve dizayn uç hız oranıyla ters orantılıdır.

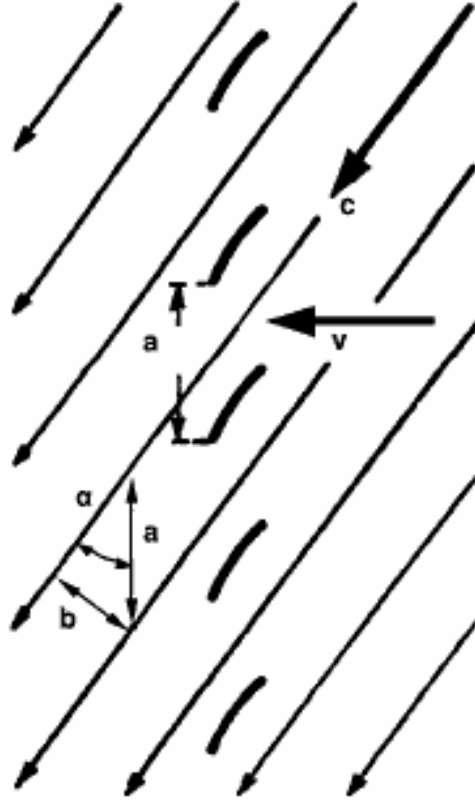
$$\xi_{uç} \approx \frac{1,84}{z \cdot \lambda_D} \quad (2.53)$$

Bazı rüzgâr türbinlerinin kanat ucu kaybının büyüklüğü ve etkili çapın gerçek çapa oranı Tablo 2.1’de verilmiştir (Gash 2009).

Tablo 2.1. Bazı rüzgar makinelerinin, dizayn uç hız oranı λ_D , kanat sayısı z ve etkin çap D' değerlerine bağlı olarak kanat uç kayıpları $\xi_{uç}$

	λ_D	z	$\lambda_D \cdot z$	$\xi_{uç}$ (%)	D'/D
Rüzgarla Çalışan Eski Amerikan Su Pompaları	1	20	20	9	0,95
Hollanda Yel Değirmenleri	2	4	8	22	0,88
Danimarka Rüzgar Türbinleri	6	3	18	10	0,94
1-Kanatlı Türbin	12	1	12	15	0,92

KAYNAK: GASH, Windkraftanlagen: Grundlagen, Entwurf, Planung und Betrieb 2009, p.200 (Örnek 5.1)



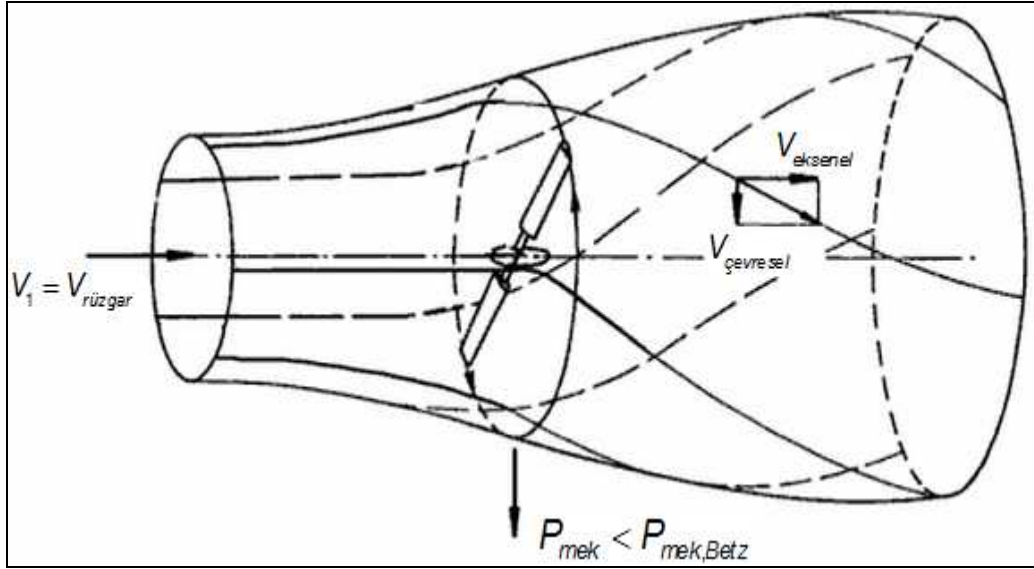
Şekil 2.24. Bir Betz kanadı üzerinde havanın ayrımı

KAYNAK: GASH, Windkraftanlagen: Grundlagen, Entwurf, Planung und Betrieb 2009, p.200 (Örnek 5.18)

2.2.7.3. Girdap (swirl) kayıpları

Girdap kayıpları aktif çark düzlemindeki dönme momenti eldesinden meydana gelir. Etki tepki eşitliği prensibi nedeniyle çevresel hız dU 'dan kanatlardan akan hava üzerine bir karşı moment etkir. Bu moment rüzgar türbininin uç hız oranı ne kadar düşüğe o kadar büyük olur. Direk olarak dr halka kesitindeki mekanik enerji dL 'yi veren (2.37) denkleminde de bu görülebilir.

Uç hız oranı yüksek olan sistemler enerjiyi yüksek devir sayısı Ω ve düşük momentle $r.dU$ elde ederler. Uç hız oranı düşük olan sistemler ise bunun tam tersini gerçekleştirirler: Onların devir sayısı düşük, rüzgâr gücü momentleri $r.dU$ yüksektir ve buna bağlı olarak ayrılan hava akımındaki girdapta büyük olur.

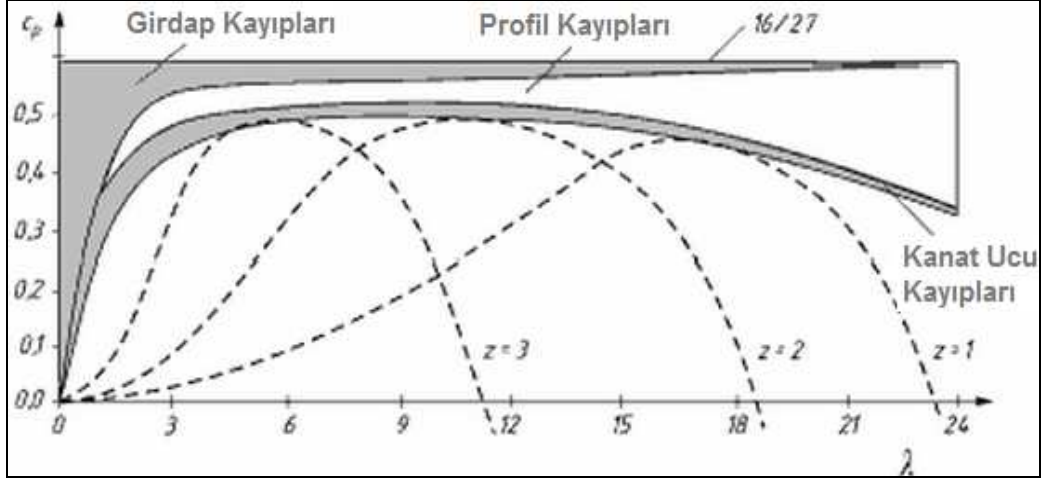


Şekil 2.25. Kanatların arkasındaki girdap ihtiva eden akım

KAYNAK: GASH, Windkraftanlagen: Grundlagen, Entwurf, Planung und Betrieb 2009, p.201 (Örnek 5.19)

Dolayısıyla akımın ayrılmasındaki kayıplar sadece Betz’de olduğu gibi aksenel ayrılma hızından kaynaklanmaz. Akımın ayrılması sırasında girdap kayıplarına yol açan çevresel bileşenler oluşur.

Uç hız oranı yüksek olan yüksek hızlı sistemlerde ($\lambda_D > 3$) bu kayıplar oldukça düşüktür. Uç hız oranı düşük olan sistemlerde ise örneğin 19. yüzyılın ikinci yarısında Amerika ve Avustralya’da su pompası olarak kullanılan rüzgar enerjisiyle çalışan dizayn uç hız oranı $\lambda_D \approx 1$ olan sistemlerde (bkz. Şekil 2.13 ilk şekil) Betz’e göre maksimum güç çarpanı $c_{p,Betz} = 0,59$ olmasına rağmen kaçınılmayacak girdap kayıplarından dolayı $c_{p,max} = 0,42$ (profil ve kanat ucu kayıpları tabii ki bundan çıkarılmıştır) şeklinde bir uç hız oranına ulaşılır. Girdaplardan dolayı oluşan %30 oranındaki bu güçlü kayıpların optimal olarak imal edilmiş kanatların profil geometrisi üzerinde etkisi vardır. Profil derinliği süreci $t(r)$ ve yapım açısı bu durum için kolaylaştırılmış Betz teorisinden ayrılırlar (Gash 2009).



Şekil 2.26. Kayıplar göz önüne alındığında maksimum güç çarpanı (λ uç hız oranı, z rotordaki kanat sayısı, c_p güç çarpanı)

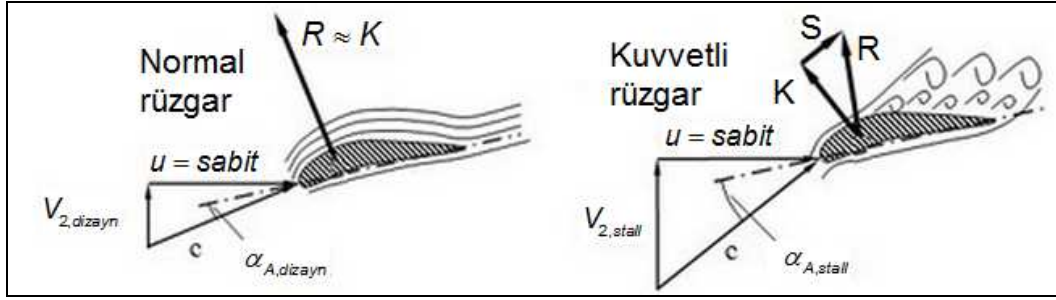
KAYNAK: BÖSWIRTH, Technische Strömungslehre 2007, p.77 (Örnek 3.16)

2.2.8. Güç kontrolü (pitch ve stall kontrolü)

Bir rüzgar türbini kanatlarındaki rüzgarın kaldırma kuvvetiyle dönerler. Rüzgardan alınan enerji rüzgarı hızının üçüncü kuvvetiyle artar. Genellikle rüzgar hızının yaklaşık 9 m/s-12 m/s olduğunda rotor gücü (kaldırma kuvvetiyle) anma gücünden daha yüksek olur ve rüzgar türbininin güç yönünden sınırlandırılmalıdır: rüzgar çok hızlı esiyor ve dolayısıyla malzeme zarar görebilir. Güç kontrolü stall ve pitch güç kontrolü olmak üzere iki temel şekilde gerçekleştirilmektedir.

2.2.8.1. Stall güç kontrolü

Stall güç kontrolü en basit ve en eski kontrol sistemidir ve 1950'lerde Johannes Jull tarafından Danimarka'da geliştirilmiştir (Prototip: Gedser Türbini 1957).



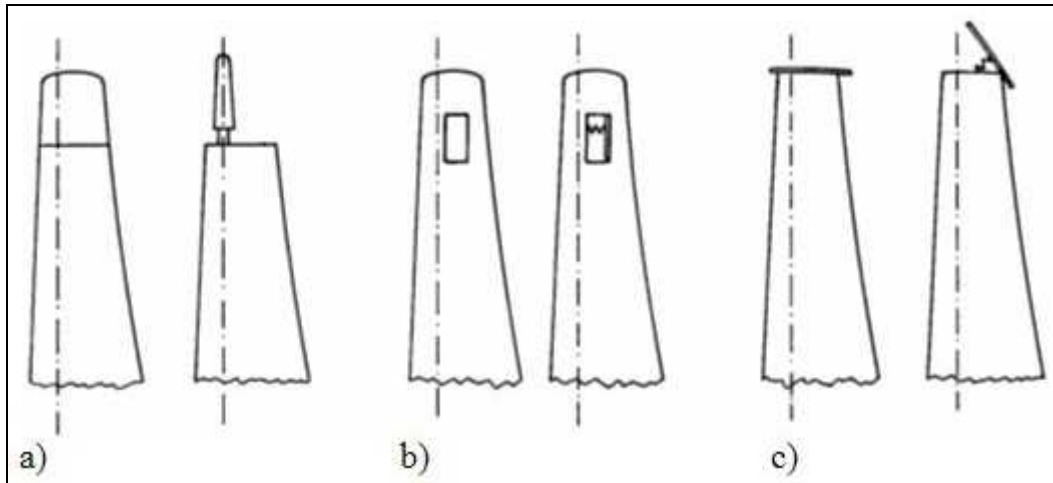
Şekil 2.27. Normal ve kuvvetli rüzgar şartlarında kanat profilindeki akışların durumu

KAYNAK:

<http://www.wind-energie.de/de/technik/physik-der-windenergie/leistungsregelung/>, 2010

Rotor kanatlarındaki akımın durumu rüzgar hızıyla değişir. 14 m/s hızından başlayarak akımın ayrılması (stall etkisi) oluşur ve rotor kanatlarında güçlü türbülanslar oluşur. Türbülanslar hareket veren hava gücünü ve böylece türbinden elde edilecek gücü düşürür. Bu olay rüzgar hızıyla güçlenir, sistemin gücünü anma gücünde sınırlar ve orada tutar.

Stall etkisinin devreye girebilmesi için en önemli ön şart sabit (maksimum) devir sayısıdır. Jeneratörün şebeke frekansına (örneğin 50 Hz) bağlı olmasıyla bu duruma erişilir. Bu rüzgar türbini sisteminin akımı kestiği kapanma hızına kadar geçerlidir.



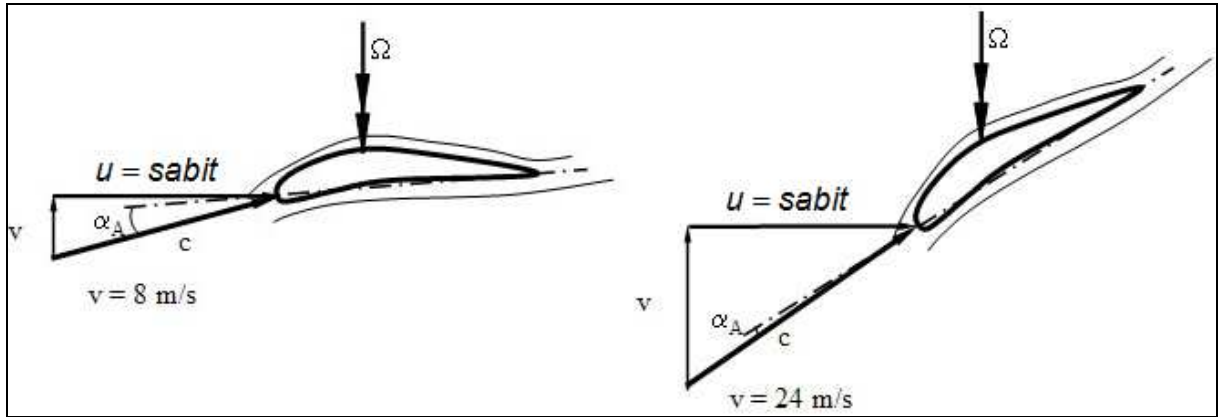
Şekil 2.28. Fren kapaklarının imalat formları: a) Dönebilen kanat ucu, b) Kanadın içindeki kapak, c) Açılabilen disk

KAYNAK:

<http://www.wind-energie.de/de/technik/physik-der-windenergie/leistungsregelung/>, 2010

Sistemi yüksek devir sayılarına karşı korumak için Stall kontrollü rüzgar türbinlerini kapatmak gayesiyle gerektiğinde fren kapakları açılır. Sistemin kapanması kapanma hızından itibaren (rüzgar çok hızlı estiğinde) veya bakım onarım vs. gibi acil kapanmaları gerektiğinde meydana gelir. Birçok fren kapağı tipi vardır ve bunlardan en geleneksel tip dönebilen kanat ucudur. Sadece kanat ucunun dönmesi türbini neredeyse hareketsiz duruma getirecek bir aerodinamik fren vazifesi görmeye yeter. Bu fren düşük devir sayılarında daha etkili olamayacağından sistem mekanik bir frenle durdurulması gerekir.

2.2.8.2. Pitch güç kontrolü



Şekil 2.29. Pitch kontrolü bir rüzgar türbininde dizayn şartlarında ve güçlü rüzgar durumundaki akım üçgenleri

KAYNAK:

<http://www.wind-energie.de/de/technik/physik-der-windenergie/leistungsregelung/>, 2010

Pitch güç kontrollü bir rüzgar türbininde gücün kontrolü kanatların dönmesiyle garanti edilir. Rüzgar makinelerinin genel kullanım alanlarında kanatların güç çarpanı hücum açısıyla doğru orantılı olarak artar. Yani küçük bir hücum açısı, düşük bir kaldırma kuvvetine ve buna bağlı olarak düşük bir güç eldesine neden olur. Bu prensiple güç kanatların rüzgar hızına çevrilmesiyle (ve bu şekilde hücum açısına adapte edilmesiyle) ayarlanır:

Çok zayıf rüzgarlarda (0-4 m/s) rüzgar türbini üretimde bulunmaz: Rüzgar rotor kanatlarını harekete geçiremeyecek kadar zayıftır. Kanatlar kanat pozisyonu ismiyle anılan duruma (Pitch açısı=90°) döndürülür. Rüzgar türbini hareketsizdir ya da çok yavaş döner.

Düşük rüzgarlarda (4-13 m/s) rüzgar türbini döner ve güç üretir ama rüzgar anma gücüne ulaşabilmek için çok zayıftır. Pitch açısı 0°'ye eşittir: Rüzgarın enerjisi mümkün olduğu kadar mekanik enerjiye dönüştürülür.

Güçlü rüzgarlarda (13-25 m/s) sistem güç üretimini sınırlamak zorundadır. Sistemde pitch kontrolü işler: Pitch açısı rüzgar hızıyla artar (0°-30°) ve kaldırma kuvveti öyle etki eder ki türbinin güç üretimi anma gücünde sabit kalır. Çok güçlü rüzgarlarda (25 m/s) sistemin zarar görmemesi için devre dışı bırakılır. Pitch açısı 90°'dir: Kanatlar bayrak pozisyonundadır.

Kanatların dönmesi Pitch sistemi sayesinde gerçekleştirilir. Her rotor kanadı bağımsız bir sistemce hareket ettirildiğinden üç temel fren olarak görülebilirler: Kesin bir şekilde rüzgar türbinini her türlü durumdan kapatmak için tek bir rotor kanadının bayrak pozisyonuna (rüzgarın pozisyonu) getirilmesi yeterli olur /12/.

2.2.8.3. Aktif stall güç kontrolü

Güç kontrolü için üçüncü bir güç kontrolü ise ‘aktif Stall güç kontrolüdür’. Bu metotta da akımın ayrılması (Stall etkisi) kanatların dönmesi ile düzenlenir ve kontrol edilir. Kanatların dönüşü Pitch sistemine benzer şekilde gerçekleştirilir. Bununla beraber Pitch kontrolüyle olan iki fark şunlardır:

- Kanatlar zıt yönde döner (Rotor düzlemine doğru)
- Eş değer bir kontrol için Pitch kontrolündekinden daha küçük bir açı yeterlidir. Sistem bu nedenle daha hızlı tepki verebilir.

Bu sistem göbeğe Pitch kontrolünden daha çok yük binmesinden ve bir kanat döndürme sistemi gerektirmesi ve bu nedenle ekonomik bir avantaj sağlamamasından dolayı çok az kullanılır.

Bütün bu üç konseptte hareketsiz duruma getirilebilmeleri için de ek olarak bir mekanik fren rotor çevresine kurulur. Çok büyük türbinlerde frenleme görevini mekanik frenler değil aerodinamik frenler Pitch veya Stall sistemleri üstlenmişlerdir.

2.2.9. Küçük rüzgar türbini hakkında bilgiler

Proje kapsamında tasarımının, imalatının ve veri incelemelerinin yapıldığı türbin küçük türbin sınıfına girmektedir. Küçük rüzgar türbinleri literatürde pervane çapı 12 m genişliğinden daha küçük olan türbinlerdir. Bu türbinlerde diğerlerinden farklı olarak çark kutusundan feragat edilebilir ve ayrıca büyük türbinlerde kullanılan güç stall ve pitch kontrolleri dışındaki güç kontrolleri kullanılabilir.

Küçük rüzgar türbinleri elektrik üretimi, su pompalama, aküleri doldurma ve su ısıtma gibi amaçlar için kullanılır. Rüzgar türbinleri kullanımlarının yanında eksen doğrultularına göre eksenel veya dikey şeklinde de kategorize edilebilirler. Rotor kanatlarının sayısı ve uç hız oranı kullanıma bağlıdır. Su pompalamak için yüksek döndürme momenti ama düşük devir sayısı gerekir ve bu sebepten de küçük uç hız oranı seçilir. Elektrik üretimi için kullanılan şebekeye bağlanmış rüzgar türbinlerinde ise yüksek devir sayısı gerekmektedir. Bu sebepten dolayı rotorlar az sayıda kanatla (iki veya üç) ve yüksek uç hız oranlarında üretilirler.

Bir rüzgar türbini sistemi genel olarak üç yapı grubundan teşekkül eder. Bunlar rotor, mekanik ve elektriksel güç üretime ve aktarım tertibatlarıdır. Aynı zamanda direk olarak güç üretim ve aktarımına dahil olmayan ancak rüzgar türbiniyle ilgili mekanik parçalar da mekanik güç iletim ve aktarım tertibatlarından sayılır.

Mekanik güç üretim ve aktarım tertibatları rotorun dönme hareketini üstlenirler. Temel olarak bir milden, lazım görülürse bir dişli kutusundan, uygun yataklamadan ve

frenlerden oluşur. Direk olarak mekanik güç üretim ve aktarım tertibatlarına dahil olmayan diğer mekanik parçalar ise; yer bağlantısı ile kule, rüzgar takip sistemi (sapma mekanizması), nase ve sapma yatağı.

Elektriksel güç üretim ve aktarım tertibatlarına ise hem mekanik enerjiyi elektrik enerjisine dönüştüren hem de kullanıcıya kadar arada kullanılan diğer parçalar dahildir. En temel parça jeneratördür. Onun arkasına bağlanan parçalar (eğer mevcutsa) kullanım amacına ya da jeneratöre göre değişir.

2.2.9.1. Rotor

Eksenel rotorun içerdiği bütün dönen parçalar makine odasının dışarısındadır. Bunlar kanatlar ve göbektir.

2.2.9.2. Kanatlar

Küçük rüzgar türbinlerinin kanatları çeşitlilik arz ederler. Profilleri basit düz veya kavisli alüminyumdan çok kaliteli özel kanatlara kadar büyük bir yelpazededir. Materyal olarak tahta veya fiberle güçlendirilmiş plastikler gibi modern ve hafif yapı malzemeleri kullanılır.

Bu proje için geliştirilen kanatlar (bkz. Şekil 2.30) düşük hız profiline sahiptir ve 4 m/s rüzgar hızı için dizayn edilmişlerdir.



Şekil 2.30. Önceki projeden tamamlanmış türbin kanadı

2.2.9.3. Göbek

Küçük rüzgar türbinlerinin göbekleri genellikle rijit göbeklerdir yani kanatlar göbeğe rijit bir şekilde bağlanmıştır ve kendi eksenlerinde azami şekilde dönebilirler. Sarkaç hareketleriyle yüklerin dengelenmesi mümkün değildir. Göbekler rüzgar teknolojisinin bu alanında kanatların kendisine vidalanabileceği alüminyum konstrüksiyondan oluşur.

2.2.9.4. Dişli Kutusu

Yüksek devir sayılarına ulaşabilmek için aerodinamik önlemler dışında dişli kutusu da kullanılır. Kayış transmisyonlarından zincir transmisyonlarına orada da dişli çarklara kadar bütün transmisyon seçenekleri bulunabilir. Yeni modellerde dişli kutusundan tamamen vazgeçilmiş ve bunun yerine çok kutuplu jeneratörler kullanılmıştır. Bu projede de imkan dairesinde dişli kutusundan vazgeçilmiştir. Ana yatak ve ana milin, sadece eğer dişli kutusu mevcutsa bir önemi vardır. Aksi taktirde göbek direk jeneratör miline bağlanır.

2.2.9.5. Frenler

Fren küçük rüzgar türbinlerinde pek kullanılmaz. Bunun nedeni montaj veya bakım gibi durumlarda gerekli olduğu zaman dışarıdan kanatları hareketsiz duruma getirme imkanı olmasıdır.

2.2.9.6. Direk

Karşılaşılan tipler çelik kafes (Şekil 2.31) ve çelik boru (Şekil 2.32) direkleridir. Her seçenek yeterince iyi bir temele ihtiyaç duyar.



Şekil 2.31. Kafes kule

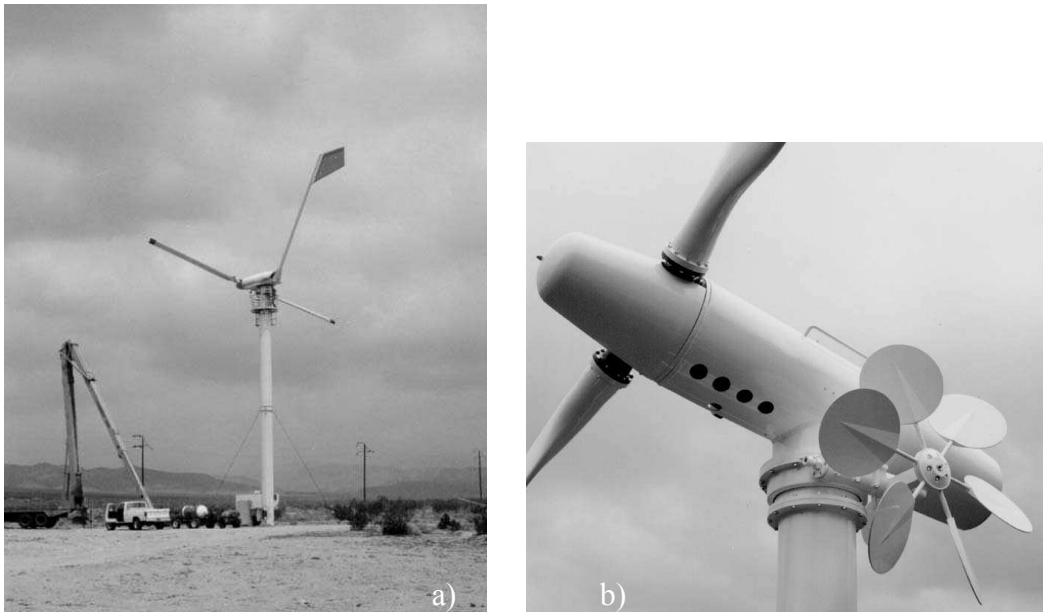
KAYNAK: EHRMANNTRAUT. Konzeption und Aufbau einer kleinen Windturbine 2008, p.12 (Örnek: 2.11.)

2.2.9.7. Nasel ve yataklama

Küçük bir türbinin naseli genelde rüzgarın hızına göre ana yatak yönünü belirlemede kullanılan kaymalı yatak ve jeneratör ve diğer mekanik tertibatlar için sabitleme aparatından oluşur.

2.2.9.8. Sapma mekanizması

Küçük türbinlerde pasif sapma mekanizmaları kullanılır. Rotoru rüzgarın geldiği yöne doğru çevrilmiş olarak çalışan türbinler (upwind machine) için iki model vardır: Rüzgar bayrağı ve rüzgar çarkı rüzgar takip sistemleri (sapma mekanizması) (Şekil 2.32). Öncelikle 10 kW civarındaki şebeke dışı (off the gridd) sistemlerde kullanılan rüzgar çarkı takip sistemleri (sapma mekanizması), sistemin sınırlı bir hızla değişen rüzgar yönüne adapte olması ve rotordaki cayroskopik kuvvetlerin azaltılması avantajlarını sunar. Fakat rüzgar bayrağı sapma mekanizmasına göre daha pahalı ve imalatı zordur. Bunun nedeni salyangoz dişlisi ve dişli çemberle (ayar mili dişlisi) donatılmak zorunda olmasıdır.



Şekil 2.32. Upwind türbini için pasif rüzgar takip sistemleri: Rüzgar bayrağı (a) ve rüzgar çarkı (b)

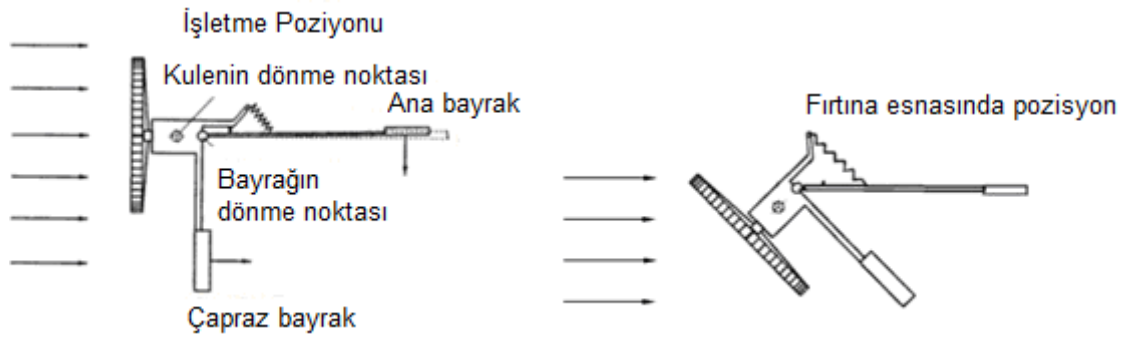
KAYNAK: EHRMANNTRAUT. Konzeption und Aufbau einer kleinen Windturbine 2008, p.13 (Örnek: 2.12.)

2.2.9.9. Küçük türbinlerde fırtına koruması (güç kontrolü)

Fırtına koruması (güç kontrolü) aşırı yüklenme sırasında korunmayı sağlar. Yüksek rüzgar hızlarında sisteme tehlikeli güçler etkirler. Yapısal önlemler almak ya da

jeneratörden müdahale etmek seçenekleri vardır. Yapısal önlemler için harekete geçme mekanizmaları rüzgar basıncı ve santrifüj kuvvettir.

Üç seçenek vardır: rüzgar bayrağı kontrolü, ekliptik kontrol ve helikopter kontrolüdür. Ekliptik ve rüzgar bayrağı kontrolünün prensibi (Şekil 2.33) rotoru yüksek rüzgar hızlarında rüzgarın önünden çevirmektir. Bu ayrıca her yeni yön değişiminde yeniden etkiyecek büyük cayroskopik güçlere neden olur.

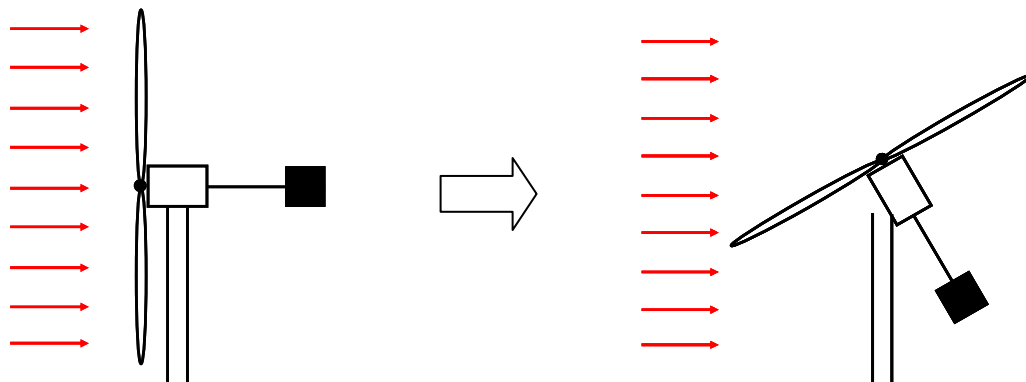


Şekil 2.33. Rüzgar bayrağı kontrolünün çalışma prensibi

KAYNAK:

<http://www.wind-energie.de/de/technik/physik-der-windenergie/leistungsregelung/>, 2010

Helikopter kontrolünde (Şekil 2.34) rotor rüzgar doğrultusundan şekildeki gibi çevrilir. Çevirme işlemi, helikopter kontrolü sırasında ağırlık nedeniyle aşağıya inen ağırlık noktasıyla kontrol edilir.



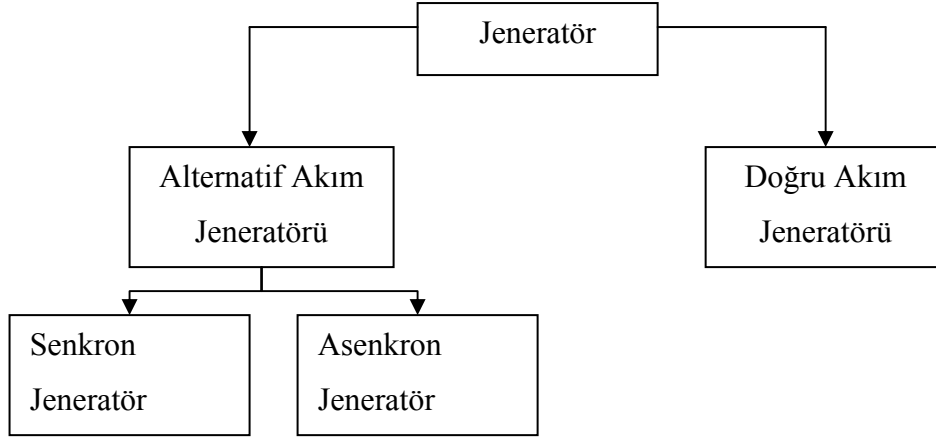
Şekil 2.34. Helikopter kontrolünün çalışma prensibi

KAYNAK: EHRMANNTRAUT. Konzeption und Aufbau einer kleinen Windturbine 2008, p.14 (Örnek: 2.14.)

Piyasadaki helikopter kontrolleri damperli olarak elde edilebilirler. Böylece aniden ortaya çıkan kuvvetler yakalanırlar.

2.2.9.10. Jeneratör

Jeneratörler mekanik rotasyon enerjisini elektrik enerjiye dönüştüren elektrik makineleridir. Genel olarak jeneratörler doğru akım ve alternatif olmak jeneratörleri olmak üzere sınıflandırılırlar. Buradan hareketle alternatif akım jeneratörleri Şekil 2.35’de görüldüğü gibi senkron ve asenkron jeneratörler olarak üretilirler.



Şekil 2.35. Jeneratör çeşitleri

- Doğru akım jeneratörleri akımla veya sürekli mıknatıslarla aktive edilen bir sabit uyarıcı bölgeye sahiptir. Manyetik bölgedeki rotorun dönmesiyle alternatif gerilim oluşur. Bu, indüklenmiş gerilimin akım yönünü değiştiren bir alet vasıtasıyla kutupları değiştirilerek doğru akım gerilimine çevrilir. Elektrik akımının yönünü değiştiren aletin karbon fırçasından dolayı doğru akım jeneratörü oldukça sık bakım gerektirir ve bunun dışında kötüleştirilmiş bir devreye girme davranışına sahiptir. Buna rağmen küçük rüzgar türbünlerinde oldukça sık kullanılmaktadır. Çünkü bu alandaki tipik kullanıcılar için yani akü şarj etmeye çok uygundurlar.

- Alternatif akım jeneratörleri dönen bir ikaz alanı kullanır. Üç tane 120° arayla duran bobinler aynı şekilde fazları 120° kaydırılmış gerilimleri garanti eder. Alternatif akım jeneratörlerinin en büyük gücü iyi fiyat/performans oranlarıdır. Kullanımına göre az bakım gerektiren ve sağlam bir makine olabilir.
- Senkron jeneratörler doğru akım jeneratörleri gibi hem sürekli ikazla hem de dışarıdan ikazla çalışabilirler. Senkron jeneratörler için karakteristik olan ise statorun dönen manyetik bölgesiyle rotorun aynı devirle dönmesidir. Rüzgar enerjisi uygulamalarında senkron jeneratörler nispeten nadir kullanılırlar. Bunun sebebi bu jeneratörlerin senkron devir sayılarından dolayı sadece belirli rüzgar hızlarında besleyebilmeleridir.
- Son yıllarda teknolojiadaki gelişmeler neticesinde senkron jeneratörler sabit devir sayılarıyla kullanılabilirler ve bu yüzden sürekli önem kazanırlar. Özellikle ilginç olan güçlendirilmiş sürekli mıknatısların kullanımıdır. Neodymium mıknatıslarla daha yüksek verimler ile boyutlarda küçülme sağlanabilir. Diğer taraftan ise satın alma fiyatları oldukça yüksektir.
- Asenkron jeneratörler ise döner manyetik alanın yapılması için indüktif reaktif güç gerekir ve küçük türbinlerde nadiren kullanılırlar (Ehrmanntraut 2008).

2.2.9.11. Elektronik sistemler

Güç elektroniğindeki aşırı büyük gelişmeler rüzgar enerjisi kullanımı ileri taşımıştır. Artık sabit devir sayısına sahip sistemleri işletmek mümkündür. Bu konuda özellikle senkron jeneratörlerden istifade edilmektedir. Şebekeyi besleyebilmek için frekansın, genliğin ve faz kaymasının sürekli ve kesin olarak uyumu gereklidir. Modern güç elektroniği doğrultucu, inverter ve frekans dönüştürücüyle farklı rüzgar koşullarında şebekeye beslemeye olanak sağlar. Bu amaçla üretilen alternatif akım bir ara bölgeye aktarılır. Burada doğru akım bir inverterle oradan besleme yapabilmek için şebeke özelliklerine getirilir (Ehrmanntraut 2008).

2.2.9.12. Kullanıcı

Küçük rüzgar türbininin olası kullanıcısı şebeke, aküler ve elektriksel dirençlerdir. Elektriksel dirençler genellikle kullanım suyu ısıtılması için kullanılır. Aynı şekilde aküler gibi elektriksel dirençlerde ada işletmesi için çok uyumludur.

- Akü doldurmak için bir doğru akım jeneratörü tavsiye edilebilir. Bu jeneratör düşük güç gereksinimine oldukça uygundur. Sürekli değişen bir enerji çıkışıyla baş edebilmek için depolama elektroniği gerekmektedir.
- Eğer elektriksel dirençler kullanım sıcak suyu hazırlanmasında kullanılacaksa gerekli şartların yerine getirilmesi gerekir. En azından su temini düzeneği gerekmektedir.
- Elektriksel dirençler aynı zamanda başka bir cihaz olmadan da bağlanabilirler. Böylece çevreyi ısıtacaklardır. Burada sadece ısının tahliyesi için yeterli hava sağlanmasına dikkat edilmelidir. Jeneratör tipi burada çok önemli bir rol oynamaz. Kesinlikle kabul edilemez çözüm ise bir rüzgar türbini kurup, onun ürettiği elektrikle de mantılı bir şekilde istifade etmeden hemen ısı enerjisine dönüştürmek için kullanmaktır.
- Şebeke 230 V'luk bir gerilime ve 50 Hz'lik bir frekansa sahip olan alternatif akım istemektedir. Sözü edilen talimatları yerine getirmek için frekans değiştirme teknolojisi gerekir. Buna en uygunu ise alternatif akım jeneratörleridir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Küçük rüzgar türbininin yerleştirileceği yer öğrenciler için izlenebilir olma faktörü göz önüne alınarak katılarak ilgili binanın oluşturulan modelinin eldeki hakim rüzgar yönü ve ortalama rüzgar hızı verileri ışığında bir hesaplamalı akışkanlar dinamiği simülasyonu yazılımı olan Ansys ile yapılan analizler ışığında belirlenmeye çalışılmıştır.

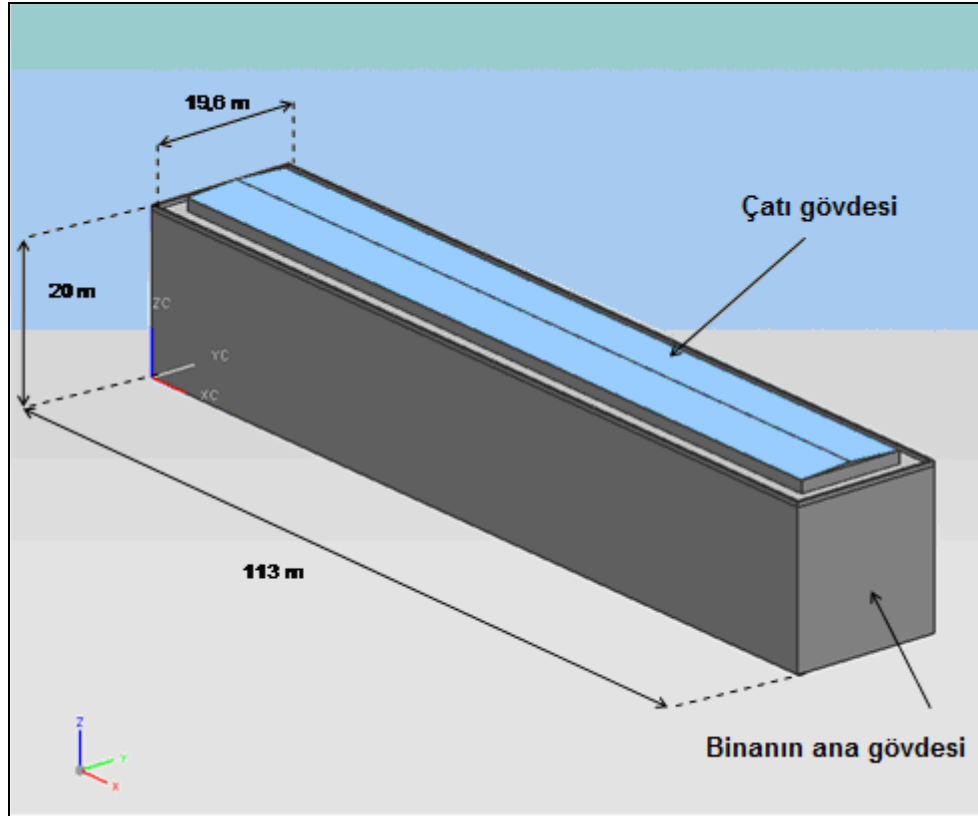
Küçük rüzgar türbinin parçaları uygun hesaplamalar sonucunda bir bilgisayar destekli çizim programında tasarlanmışlardır. Üretilebilecek parçalar üniversitenin kendi atölyesinde üretilmiş, üretilmeyecek parçalar ise çeşitli tedarikçilerden elde edilmiştir.

. Meteoroloji istasyonundan gelen ve küçük rüzgar türbininden gelecek olan verilerin bir kısmı için bir veri yakalama kartı satın alınmıştır. Türbinin ürettiği güç dışında bütün veriler bu kartın bilgisayara bağlanması ve LabView programlama dilinde yazılmış bir program tarafından okunması şeklinde elde edilecektir. LabView alışılan aksine görsel tabanlı bir programlama dilidir ve veri yakalama, işleme ve saklama uygulamalarına oldukça müsaittir. Türbinin gücü ise, RS 232 arabirimi ile donatılmış doğrultulmuş akımı alternatif akıma çeviren cihazla aynı birim üzerinden bilgisayarla direk yapılacak bağlantı sayesinde ve yine bu cihazın tedarikçisinden sağlanan Sunny Data programı vasıtasıyla elde edilecektir. Meteoroloji istasyonundan alınan verilerin doğruluğu elektronik anemometre ve termometre cihazlarıyla kontrol edilecektir. Bir hata varsa yazılan programda revizyonlara gidilecektir. Bütün bu elde edilen veriler ise Siegen Üniversitesi'nin Enformasyon ve Medya Teknolojileri Merkezi'nin (ZIMT) iletişim

ağından sağlanacak veri alanına aktarılıp, sürekli olarak üniversite öğrencilerinin takip edebilmesi sağlanacaktır.

3.1. Rüzgar Türbininin Yerleştirileceği Bina Üzerindeki Hava Akımının ve Yer Seçiminin Analizi

Çatı üzerindeki yer seçiminde akım ayrılması neticesinde türbülanslar beklenir. Rüzgar türbini en azından bu ayrılmayla çalışabilmelidir. Bu alanın tarif edilebilmesi için bina üzerindeki hava akımının kolaylaştırılmış nümerik simülasyonu uygulanmıştır. Geometri basitleştirilerek basamaklı bir dikdörtgen prizması şeklinde kabul edilmiştir (Şekil 3.1). Bina yüksekliği kat başına 4 m. olarak öngörülmüştür. Girişten itibaren beş kat ve çatı kirişi için de 5 m'lik bir yükseklik hesaba katılmıştır.



Şekil 3.1. Paul-Bonatz-Caddesindeki A binası için rüzgar simülasyonu

KAYNAK: EHRMANNTRAUT. Konzeption und Aufbau einer kleinen Windturbine 2008, p.23 (Örnek: 3.12.)

Kafeslerin (mesh) ölçüsü bina üzerindeki akış simülasyonu için talimatlara göre seçilmiş ve toplamda 466x320x133 m³ tutmaktadır. Hakim rüzgar yönünde bir engel yoktur. Simülasyon sırasında çevredeki diğer binaların etkisi dikkate alınmamıştır.

Kafesler (mesh) heksagoneldir (bkz. Şekil 3.2) ve yaklaşık 1,5 milyon adettir. Sınır şartları Tablo 3.1’de verilmiştir.

Tablo 3.1. Akış simülasyonunun sınır şartları

Alan	Şartlar
Kontrol hacmi sınırları	
Alt	„stationary wall“
Üst	„velocity inlet“
Giriş	„velocity inlet“
Çıkış	„pressure-outlet“
Sağ	„symmetry“
Sol	„symmetry“
Bina	
Çatı	„stationary wall“
Bina Duvarları	„stationary wall“

KAYNAK: EHRMANNTRAUT. Konzeption und Aufbau einer kleinen Windturbine 2008, p.23 (Örnek: 3.1.)

Hız girişi yüksekliğe bağlı olarak aşağıdaki fonksiyonla ele alınmıştır:

$$\bar{u} = \frac{u_\tau}{\kappa} \cdot \ln \left(\frac{z + z_0}{z_0} \right) \quad (3.1)$$

Girişteki türbülansın kinetik enerjisi aşağıdaki gibi ifade edilir:

$$k = \frac{u_\tau^2}{\sqrt{c_\mu}} \quad (3.2)$$

Burada Standard-k-ε-Modeline uygun olarak c_μ değeri sabit olup 0,09’dur. Türbülans yayılımı ε ise aşağıdaki denklem yardımıyla tespit edilir:

$$\varepsilon = \frac{u_{\tau}^3}{\kappa \cdot (z + z_0)} \quad (3.3)$$

Hesaplarda kullanılan değerler Tablo 3.2’de gösterilmiştir.

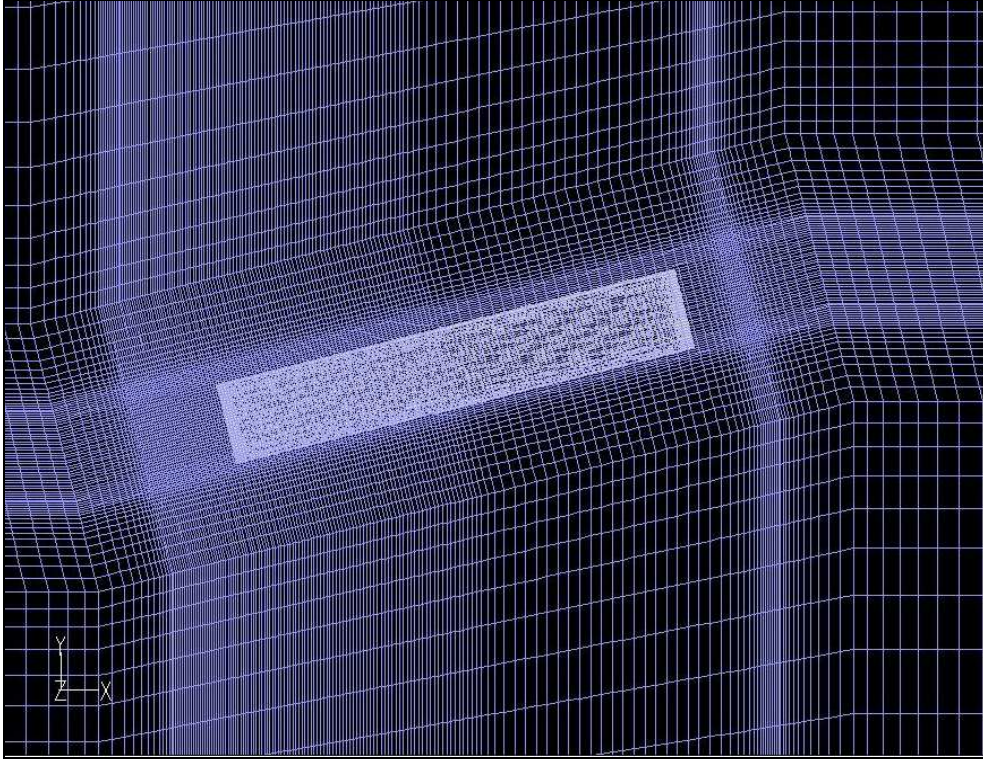
Tablo 3.2. Hesaplamalarda kullanılan değerler

Yüzey Kayma Gerilmesi Hızı	u_{τ}	0,496726411 m/s	
Von-Karman-Sabiti	κ	0,4187	
Pürüzlülük	z_0	0,3	Girişte
Duvar Pürüzlülüğü	$z_{0,Duvar}$	0,03	Duvarda
Sabit	c_{μ}	0,09	k-ε-Modelinden
Havanın Yoğunluğu	ρ	1,225 kg/m ³	
Kinematik Viskozite	ν	1,7894 x 10 ⁻⁴ m ² /s	

KAYNAK: EHRMANNTRAUT. Konzeption und Aufbau einer kleinen Windturbine 2008, p.24 (Örnek: 3.2.)

Çıkışta basınç 1 bar olarak verilmiştir ve üst sınırdaki sabit bir z yüksekliğinde bir hız verilmiştir. Bina duvarları için pencereler ve jaluzilerden dolayı z_0 değeri 0,03 olarak hesaplanmıştır.

Hesaplamalar için RANS eşitlikleri (Reynolds-Averaged Navier-Stokes-denklemleri) kullanılmıştır ve 4000 iterasyonla hesap yapılmıştır. Simülasyondaki akış açısı için sadece hakim rüzgar yönü 236,25° için denemeler yapılmıştır. Bu değer en sık görülen akış yönleri 225° ve 247,5° değerlerinin ortalamasıdır. Kafesteki binanın konumu kontrol hacmindeki bir düzlemin akışının simüle edilebileceği şekilde seçilmiştir. Yani akım kontrol hacmine dikey durumdadır. Binanın uzun kenarı ve kuzey eksenindeki açı 42°’dir.

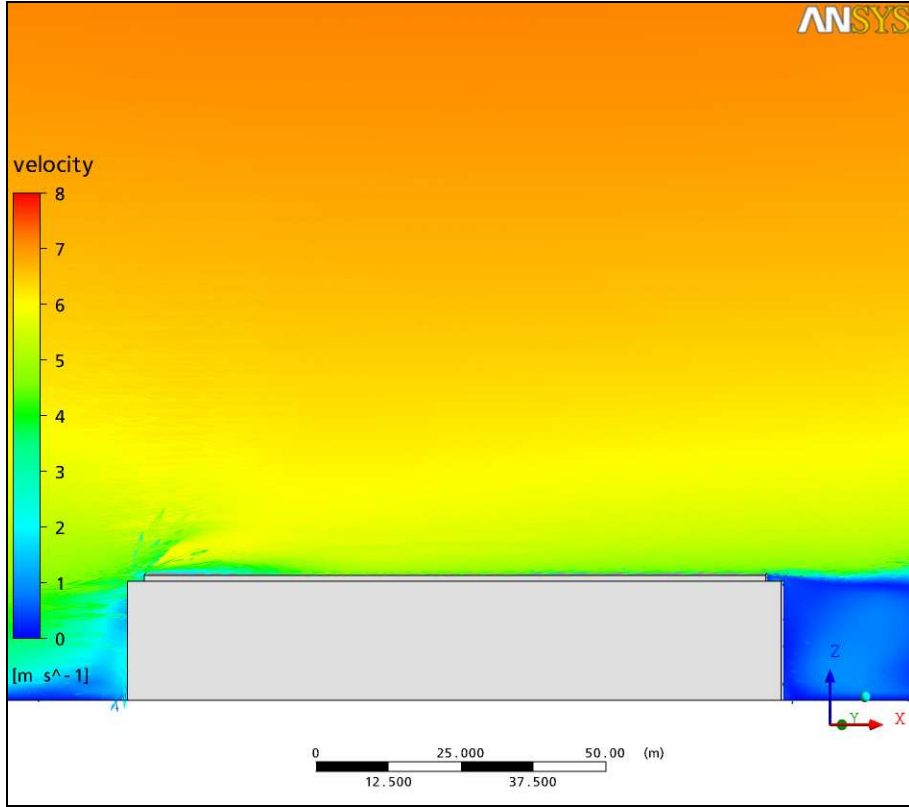


Şekil 3.2. Binanın meshlenmiş hali (yukarıdan)

KAYNAK: EHRMANNTRAUT. Konzeption und Aufbau einer kleinen Windturbine 2008, p.25 (Örnek: 3.13.)

Nümerik olarak hesaplanmış akım alanı boyuna kesit için örnek olur. Yani koordinat sistemindeki x-ekseni yönünde (Şekil 3.2'nin sol alt köşesinden de anlaşılacağı gibi) analiz edilmiştir. Şekil 3.4 hız haritasını göstermektedir. Akım binaya sol tarafından etki etmiştir.

Renkler mevcut hızı ifade etmektedirler. Üstünlük derecesine göre bir analiz yapıldığından kesin değerler öncelikli değildir. Renkli gösterime ek olarak bazı yerlerin doğrusal formdaki yapısını açıklayan vektörel gösterim de seçilmiştir. Gösterimlerde akım hızı değiştirilmemiştir.

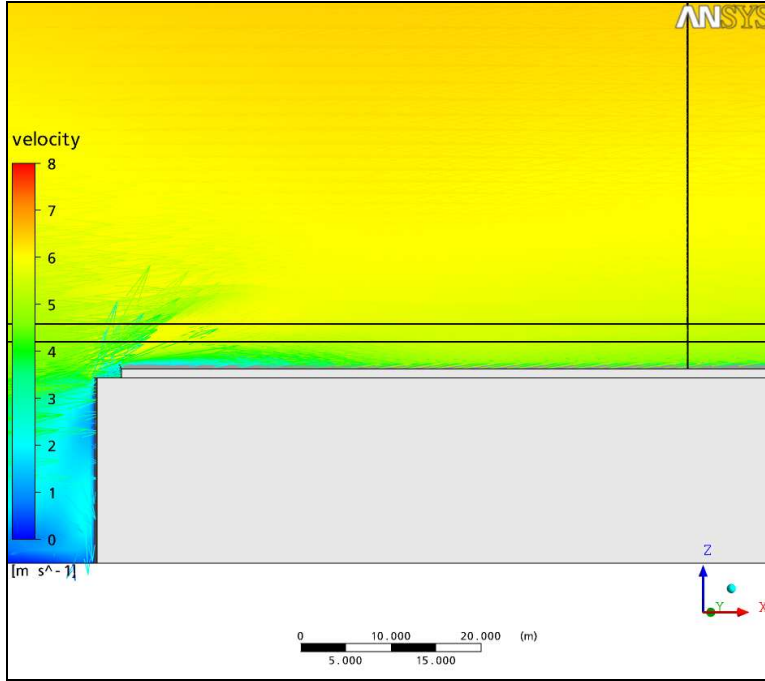


Şekil 3.3. Nümerik Simülasyon: PB-A binasına orta uzunlamasına kesitte soldan akış.
KAYNAK: EHRMANNTRAUT. Konzeption und Aufbau einer kleinen Windturbine 2008, p.26 (Örnek: 3.14.)

Şekil 3.5 ve Şekil 3.6 üç değişik kurulma durumu için de hızların vektör gösterimini göstermektedir. Çatının 3 m üzerindeki düzlemde akım yönündeki akım hızı yere çok bağımlı olduğu anlaşılmaktadır. Çatının sol tarafında ise akımın ayrılmasından dolayı oluşan türbülanslar fark edilmektedir. Çatı boyunca akım sakinler ve en iyi koşulları çatının orta kısmında sergilemektedir.

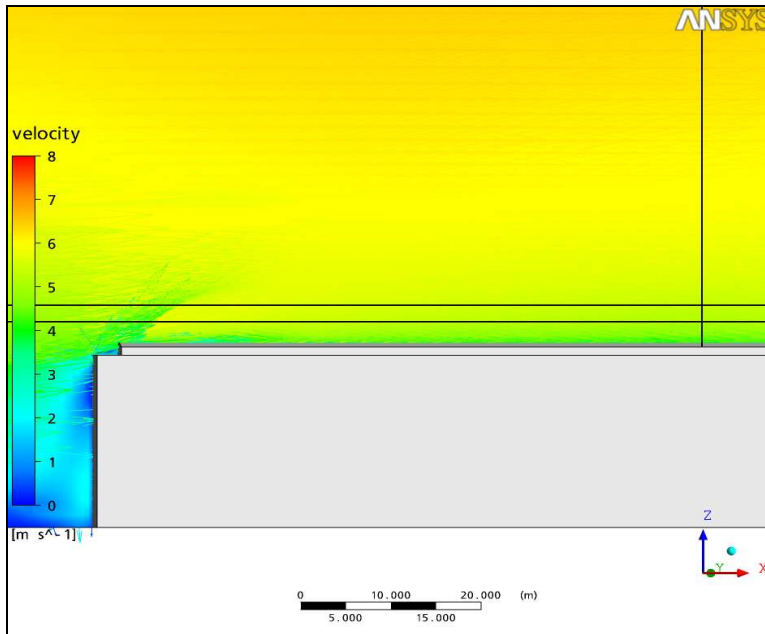
Dikkat edilmelidir ki, 3 m'lik bir rotorun kanadının uç noktası en alt pozisyonda çatının üst kenarından 1.5 m yukarıda bulunacaktır ve bu kurulma yüksekliğinin kusuru hemen belli olur. Buna karşın 5 m yükseklikteki düzlemin şartları daha uygundur. Binaenaleyh sadece 5 m'lik bir göbek yüksekliği kullanılacaktır.

Görünebilirlik özelliği dolayısıyla ve veri elde etmek için bir laboratuvarın kurulacağı çatı girişindeki yere de yakınlığı sebebiyle rüzgar türbinini kurmak için C seçeneğinde karar kılınmıştır (bkz. Şekil 3.7).



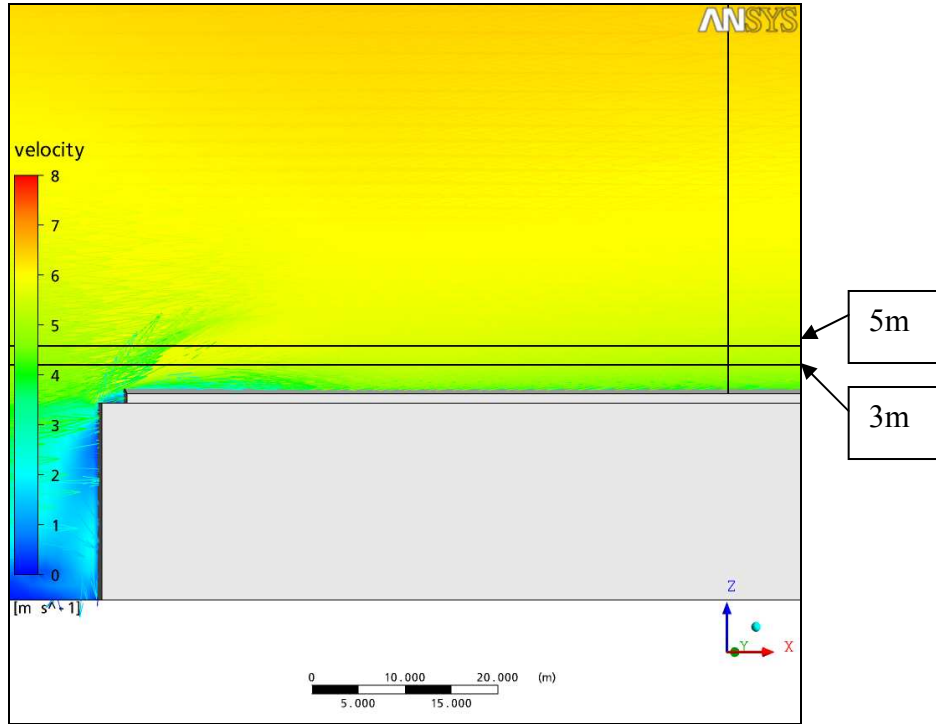
Şekil 3.4. Yer seçeneği A için ilgili kesitteki hız alanları.

KAYNAK: EHRMANNTRAUT. Konzeption und Aufbau einer kleinen Windturbine 2008, p.27 (Örnek: 3.15.)



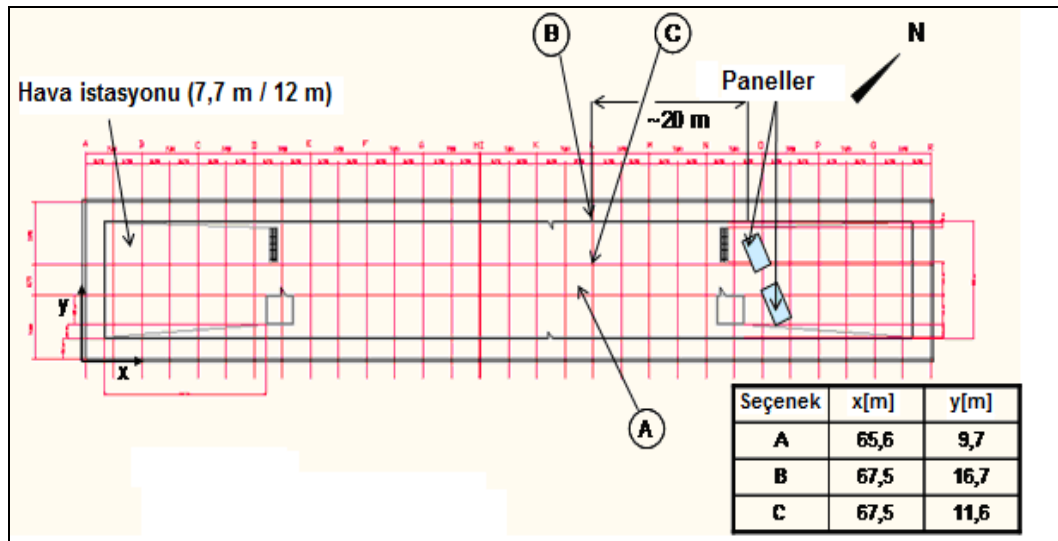
Şekil 3.5. Yer seçeneği B için ilgili kesitteki hız alanları

KAYNAK: EHRMANNTRAUT. Konzeption und Aufbau einer kleinen Windturbine 2008, p.28 (Örnek: 3.16.)



Şekil 3.6. Yer seçeneği C için ilgili kesitteki hız alanları

KAYNAK: EHRMANNTRAUT. Konzeption und Aufbau einer kleinen Windturbine 2008, p.29 (Örnek: 3.17.)



Şekil 3.7. PB-A binası üzerinde rüzgar türbininin kurulması için düşünülen seçenekler

KAYNAK: EHRMANNTRAUT. Konzeption und Aufbau einer kleinen Windturbine 2008, p.19 (Örnek: 3.4.)

3.2. Sistemin Tasarımı

Sistem daha önceden tasarımı yapıp imal edilmiş olan kanatlara göre tasarlanmıştır. İşte önceden tasarlanmış olan üç türbin kanadının tasarım verileri Tablo 3.3’de verilmiştir.

Tablo 3.3. Projede kullanılan kanadın verileri

Dizayn rüzgar hızı V_{dizayn}	4 m/s
Kanat uzunluğu l	1,4 m
Kanat ağırlığı m	1,03 kg
Dönme yönü	Sağa dönüşlü
Dizayn uç hız oranı λ_D	7,5
Materyal	Karbon fiberle güçlendirilmiş plastik
Rotor ekseninden kanadın ağırlık noktasına olan uzaklık r_{kanat}	0,56 m
Kanat sayısı z	3

Dizayn uç hız oranı $\lambda_D=7,5$ göre güç çarpanları Tablo 3.4’de verilmiştir.

Tablo 3.4. $\lambda_D=7,5$ olan rüzgar türbini için tahmini katsayılar

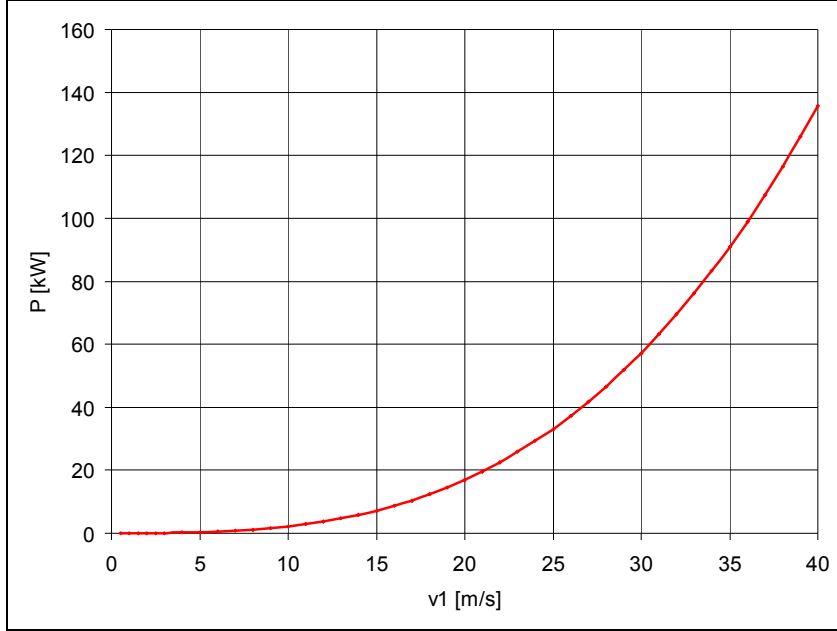
λ_D için kesme kuvveti çarpanı	0,9
λ_D moment çarpanı	0,071
λ_D için güç çarpanı	0,5

Boyutlu karakteristik eğriler $\rho=1,2 \text{ kg/m}^3$ için hesaplanmıştır. Rotor çapı her zaman için 3 m olarak alınmıştır.

3.2.1. Güç eğrisi

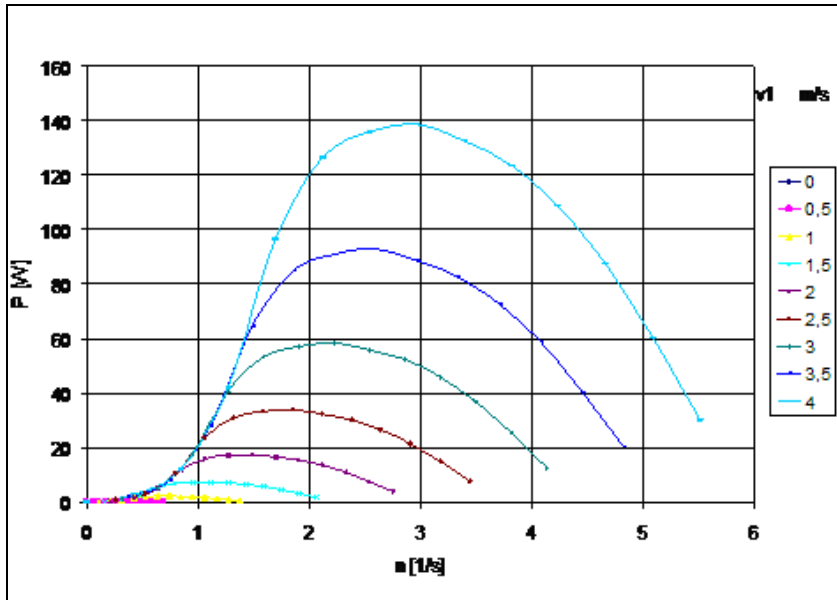
2.28 denkleminin sonucu olan Şekil 3.8’da de görüldüğü gibi gücün rüzgar hızının üç katına bağlı olduğu görülebilmektedir. İlk olarak rüzgar hızının 8 m/s olmasından güç yükselmeye başlar. Sıkça gözlenen rüzgar hızlarının bulunduğu rüzgar alanı için beklenen güç çok azdır.

Şekil 3.9'da Şekil 2.12'nin vasıtasıyla hesaplanan eğriyi göstermektedir. Dizayn hızındaki maksimum güç V_{dizayn} 140 kW'dır.



Şekil 3.8. $\lambda_D=7,5$ için rüzgar hızı-güç grafiği

KAYNAK: EHRMANNTRAUT. Konzeption und Aufbau einer kleinen Windturbine 2008, p.37 (Örnek: 4.1.)

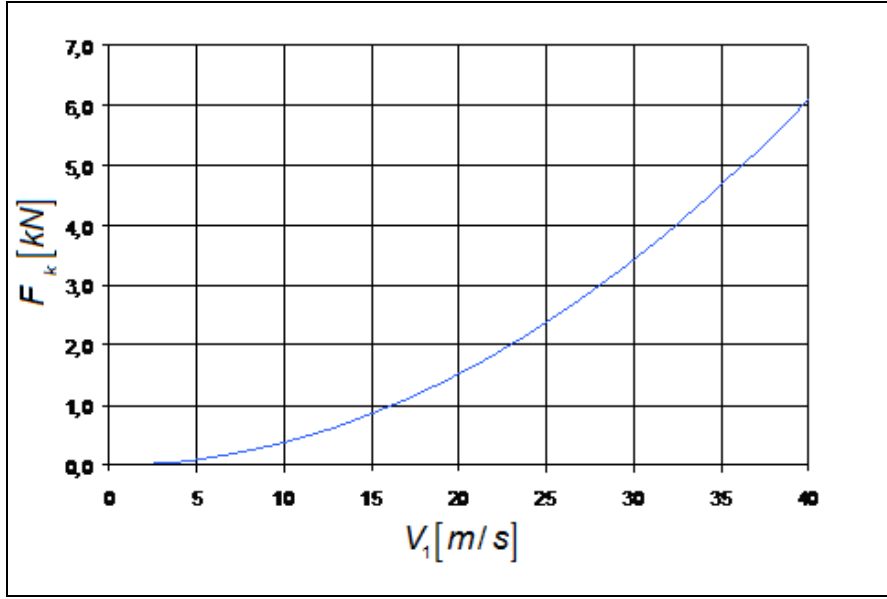


Şekil 3.9. Beklenen devir sayısı/güç eğrileri

KAYNAK: EHRMANNTRAUT. Konzeption und Aufbau einer kleinen Windturbine 2008, p.37 (Örnek: 4.2.)

3.2.2. Kesme kuvveti

Ayrıca sistem kesme kuvvetine de maruz kalmaktadır. Dizayn uç hız oranında ($\lambda_D=7,5$) Şekil 2.10'a göre kesme kuvveti katsayısı $c_k=0,9$ 'dur. Buradan kesme kuvveti, denklem (2.26) ile Şekil 3.10'de gösterildiği gibi ortaya konur.



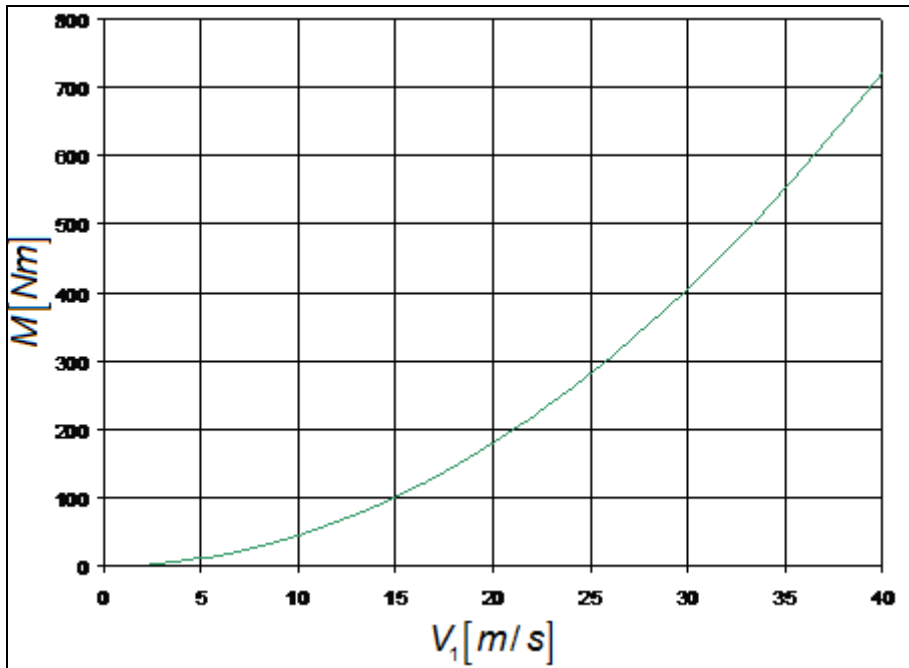
Şekil 3.10. $\lambda_D 7,5$ için kesme kuvvetinin rüzgar hızına bağlı değişimi

KAYNAK: EHRMANNTRAUT. Konzeption und Aufbau einer kleinen Windturbine 2008, p.38 (Örnek: 4.3.)

Yüksek devir sayılarında kesme kuvveti çarpanı 1,25'e kadar artar. Bu bir halka kesitinin kesme kuvveti çarpanıdır. Etkiyen güçler çok yüksek olabilirler. Bir güç kontrolü bu nedenle gereklidir.

3.2.3. Devir sayısı ile dönme momenti ilişkisi

Şekil 3.11’de devir sayısı-moment seyri gösterilmiştir.



Şekil 3.11. $\lambda_D=7,5$ için hızla moment değişimi

KAYNAK: EHRMANNTRAUT. Konzeption und Aufbau einer kleinen Windturbine 2008, p.38 (Örnek: 4.4.)

Bu eğri rüzgar hızının karesine bağlıdır. Moment Şekil 2.11’e göre uç hız oranı $\lambda=5$ için azami değerine ulaşır. İlginç olan özellikle maksimum güçtür. Maksimum gücün momentle aşağıdaki gibi bir ilişkisi vardır.

$$M = \frac{P}{\omega} = \frac{c_{p,opt} \cdot \rho \cdot \pi \cdot R^2 \cdot V_1^3}{2 \cdot \omega} \quad (3.4)$$

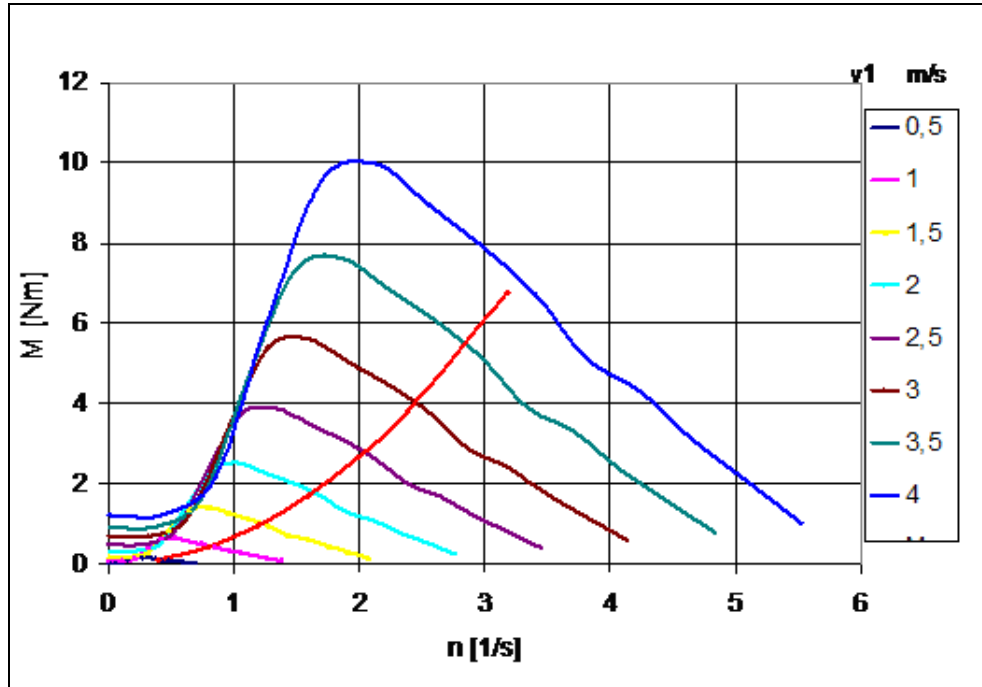
Dönme momenti de aynı şekilde hızın ve devir sayısının bir fonksiyonudur. Hız da aynı şekilde devir sayısına ve uç hız oranına bağlı olarak yazılabilir.

$$V_1 = \frac{\omega \cdot R}{\lambda} \quad (3.5)$$

Eğer V_1 yerine konursa optimum devir sayısındaki optimum güç için optimum devir sayısı-dönme momenti-seyri ortaya çıkar.

$$M = \frac{c_{p,opt} \cdot \rho \cdot \pi \cdot R^5 \cdot \omega^2}{2 \cdot \lambda_{opt}^3} \quad (3.6)$$

Şekil 3.12’de gösterilen karakteristik eğriden jeneratörün optimum devir sayısı-dönme momenti-ilişkisi okunabilir.



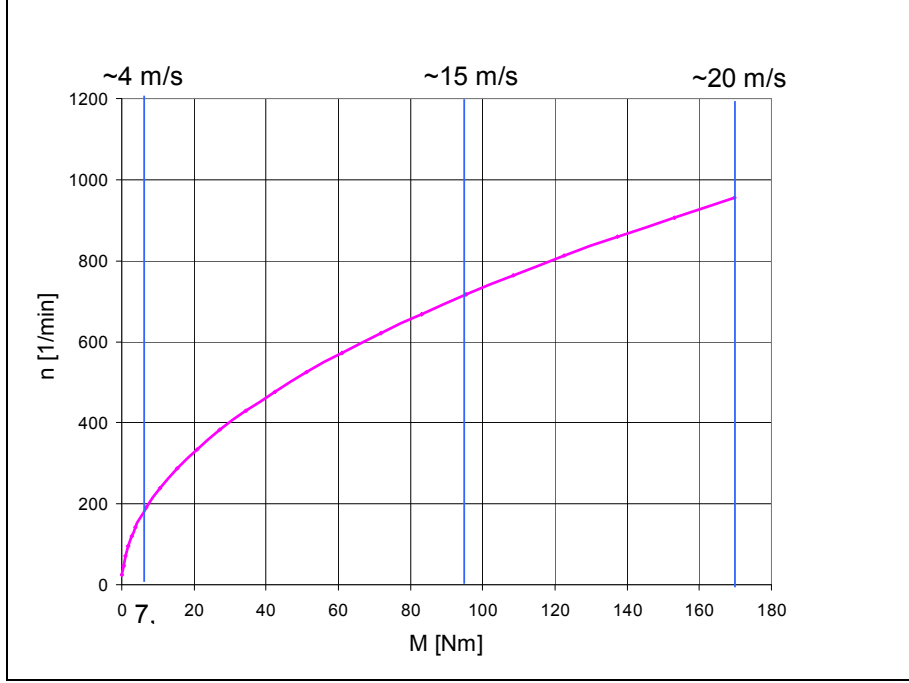
Şekil 3.12. Rüzgar türbini ve jeneratör eğrileri: Denklem (3.6)’ya göre maksimum şaft gücü için jeneratör momenti

KAYNAK: EHRMANNTRAUT. Konzeption und Aufbau einer kleinen Windturbine 2008, p.39 (Örnek: 4.5.)

3.2.4. Jeneratör seçimi

Yukarıda da yazıldığı gibi dönme momenti devir sayısının bir fonksiyonu olarak hesap edilmiştir. Eğer jeneratör Şekil 3.13’deki karakteristik eğriyi takip edebiliyorsa,

bu ideal durumdur. Eğri devir sayısını momentten elde ederek göstermektedir. Eğri 20 m/s’de bitmektedir çünkü bu hızda güç kontrolü gerekmektedir.



Şekil 3.13. Dönme momentine göre jeneratörün optimum devir sayısı seyri
KAYNAK: EHRMANNTRAUT. Konzeption und Aufbau einer kleinen Windturbine 2008, p.40 (Örnek: 4.6.)

3.2.4.1. İşletme alanının tespiti

Türbinin tasarımı 4 m/s rüzgar hızı için yapılmıştır. Ek olarak sistemin bulunduğu bölgede rüzgar hızları çok düşüktür (ortalama 2,5 m/s). Sistemin sıkça ortaya çıkacak olan rüzgar hızlarından optimum istifade edebilmesini garanti edebilmek için jeneratörün bu bölgede anma gücünde çalışması gerekmektedir. Şekil 3.13’den de anlaşılabileceği gibi 4 m/s rüzgar hızında türbinin devir sayısı yaklaşık 200 1/dk.’dır. Dönme momenti de 7 Nm’de bulunmaktadır.

Kesinlikle bu büyüklükteki bir jeneratörle aşırı yüklenme tehlikesi oldukça büyüktür. İstifade edilen rüzgar verilerine göre rüzgar hızı zaman zaman 8 m/s hıza ulaşmaktadır.

Ya geniş bir işletme alanı seçilecek ya da sistemin işletme alanının üzerindeki rüzgar hızlarında çalışmayacağını garanti eden bir emniyet sistemi planlanacak. Güç üzerine rüzgar hızının üçüncü kuvvetiyle etki etmesinden dolayı düşük rüzgar hızı üzerinde direnmek mantıklı değildir.

Pedagojik sebeplerden dolayı rüzgar türbininin birikmiş bir duraksamasına kesinlikle katlanılabılır. Çünkü bundan dolayı yıllık enerji eldesi bakımından sistemin yerleştirildiği bölgenin etkisi açıklanmış olabilir.

Bu sebeplerden nominal güç 1'den 1.5 kW'a, 30'dan 35 Nm'ye kadar seçildi.

3.2.4.2 Kullanıcının tespiti

Kullanıcı seçeneklerinin öncelikle fizibilite açısından birbirleriyle karşılaştırılması gerekir. Yanıtlanması gereken kullanıcının hangi jeneratör tipiyle işletilebileceği ve gerekli tedariki sağlayabilmek için hangi tertibatların mevcut bulunması gerekliliği sorularıdır.

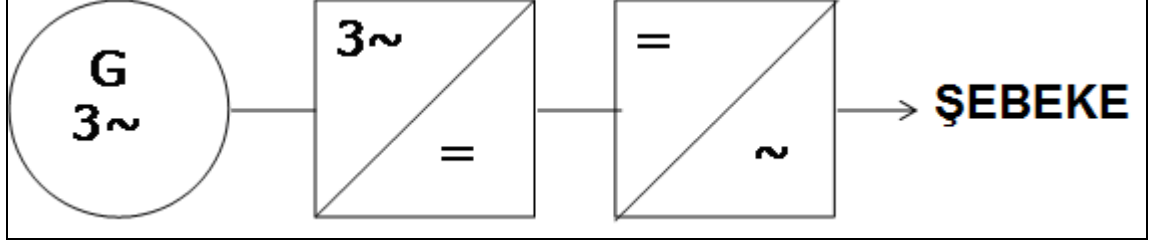
Sistemin basitçe elektrik direnci seçeneği için kullanılması dışında diğer bütün seçenekler gerçekleştirilmeleri için farklı önlemlere gereksinim duyarlar. Sistemin ileride özerk olarak çalışması gerektiğinden bakımı kolay olan seçenek seçilir.

Akülerin bir sonraki kullanım için deşarj edilmeleri gereksiniminden ve elektriksel dirençlerin mantıklı bir şekilde kullanılmasının yapısal giderlerinin nispeten yüksek olarak hesaplanması bu iki kullanıcının elenmesine neden olur. Geriye şebekeyi beslemek kalır.

3.2.4.3. Elektriksel kontrol ve jeneratör seçimi

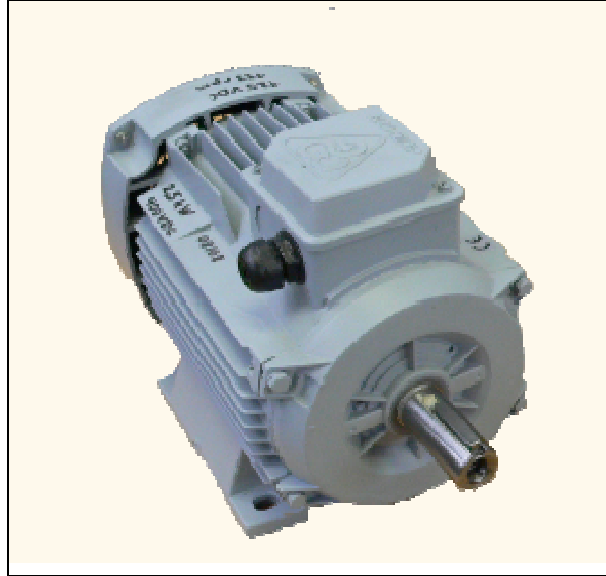
Şebekeyi beslemek için uygun jeneratörün yanında doğrultucu ve interverden müteşekkil uyumlu bir elektronik tertibatta gereklidir (Şekil 3.14). Ek olarak aşırı yüklenme sırasında korunma için önlemlerinin de mevcut olması gerekir.

Bu şekilde on kutuplu sürekli tahrikli 1,5 kW'lık alternatif akım senkron jeneratörü Braun Windtechnik firmasından satın alındı. Söz konusu jeneratörün ürettiği alternatif akım bir doğrultucu-inverter sistemiyle şebeke özelliklerine getirilir ve bunu müteakip standart bir priz üzerinden şebekeye verilir. Aşırı yüklenme koruması için bir elektrik direnci bulunması planlanmıştır.



Şekil 3.14. Elektriksel güç üretim ve iletim tertibatları

Jeneratörün nominal gücü 1.5 kW ve maksimum gücü ise 2,5 kW'tır. Devreye girme devir sayısı üretici verilerine göre 135 1/dk.'dır ve 3 m/s'lik bir rüzgar hızına tekabül eder. Jeneratörün ağırlığı 23 kg.'dır. Jeneratör hava soğutmalıdır ve muhafazası alüminyumdur. Sürekli mıknatıslar NdFeB'den yapılmıştır ve 150°C sıcaklığa kadar dayanıklıdır.



Şekil 3.15. Braun Windtechnik firmasından alternatif akım jeneratörü

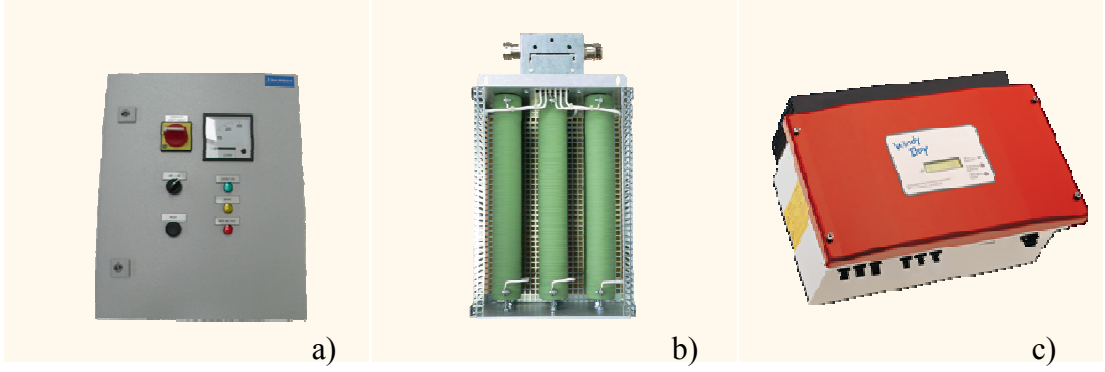
Jeneratörün (Şekil 3.15) çok kutuplu olmasından dolayı dişli kutusundan feragat edilebilir. Göbek direk olarak bir M10 cıvatayla jeneratör miline sabitlenmiştir. Jeneratörle ilgili diğer veriler Tablo 3.5’de verilmiştir.

Tablo 3.5. Jeneratör şaftının bağlantı verileri

Mil çapı	28mm
Mil uzunluğu	60mm
Dönme momenti transferi	Düz kama
Mil bağlantısı	M10 cıvata

Jeneratörün nasele sabitlenmesi ayaklardan cıvata bağlantısıyla gerçekleştirilir. Akımın iletimi kablo ile olmaktadır. Tecrübelere göre rüzgarın çok nadir olarak 360° dönmesinden dolayı yüksek bir burulma tehlikesi mevcut değildir. Yıllık yapılacak bir bakım çerçevesinde bükülmeleri gidermek yeterli olacaktır. Jeneratör bağlantısında esnek bir kablo kullanmak önerilir.

Jeneratör sistemin optimal uç hız oranıyla çalışacak ve ayrıca voltaj kontrolünü garanti edebilecek şekilde ayarlanabilir. İçerisine doğrultucunun entegre edildiği elektrik kontrol kutusu (Şekil 3.16 a) bir acil durdurma şalteriyle donatılmıştır. Doğrultucu ile inverter arasına 3 kW değerinde bir direnç (Şekil 3.16 b) bağlanmıştır. Bu direnç, şebeke bağlantısının düşmesi durumunda ve yüksek rüzgar hızları cereyan ettiğinde inveteri korur. Buradan hareketle sistem aynı zamanda yüksek rüzgar hızlarında boşa çalışmayacaktır. İnverter olarak SMA firmasından Windy Boy 1700 (Şekil 3.16 c) kullanılmıştır. Şebekeyi besleme sıradan bir priz üzerinden yapılacaktır. İnverter üzerinden bilgisayarla bağlantı kurulabilecek bir RS 232 arabirimiyle donatılmıştır. Bu şekilde bir deney için gerekebilecek ölçüm değerleri elde edilip kaydedilebilecektir.



Şekil 3.16. Elektriksel parçalar: Braun Windtechnik firmasından elektrik kontrol kutusu (a) ve aşırı yüklenim için direnç (b) ve SMA firmasından bir inverter (c)

3.2.5. Rüzgar takip ve fırtınadan koruma mekanizmaları

Sistemin verimli çalışabilmesi için sürekli değişen rüzgar yönüne göre kendini adapte edebilmesi yani bir rüzgar takip mekanizmasına sahip olması gerekmektedir. Bu sayede türbin rüzgarı cepheden karşılayacak ve daha çok güç üretebilecektir. Rüzgarın doğru açıyla karşılanması önemi yanında işletme koşullarından çok yüksek rüzgar hızlarına karşı türbinin zarar görmesini önlemek gerekmektedir. Bunun için de sistemimizde bir de fırtınadan korunma mekanizması bulunmaktadır.

3.2.5.1. Sapma mekanizması (rüzgar takibi)

Rüzgar takibi için bir rüzgar bayrağı kullanılmıştır. Değişen rüzgar yönü sayesinde rüzgar bayrağı akıma maruz kalır ve tamamen rüzgara döner.

Sistemin rüzgar yönü değişimlerine ne hızla tepki verdiği rüzgar bayrağının alanına ve sapma yatağının hareket kolaylığına bağlıdır. Önemli olan bir nokta ise rüzgarın yön değiştirmesine adaptasyonun çok hızlı olmaması gerektiğidir. Aksi takdirde sisteme çok büyük cayroskopik güçler etki eder. Diğer taraftan ise rotora olan eğik akışlardan dolayı rüzgar yönüne olan adaptasyon süresi fazla değildir.

3.2.5.2. Fırtınadan koruma

Jeneratörden değil de sistemin mekanik olarak baş etmesi için geliştirilen yapısal bir fırtınadan koruma (güç kontrolü) sistemi için harekete geçirme mekanizması olarak rüzgar basıncının kullanılması gerekir. Bizim projemizde de rüzgarın yüksek hızından korunabilmek için helikopter koruması seçilmiştir. Projemizdeki sistem özerk olarak çalışması gerektiğinden maksimum fırtına konumu 60°'de sınırlandırılmalıdır. Böylelikle türbin azalan rüzgarla aşağı çekilebilir ve azami güç elde edebilir.

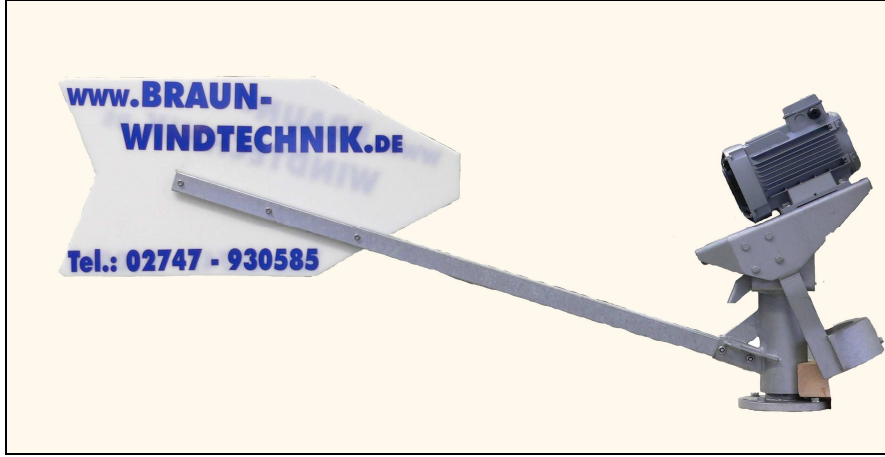
Fırtına koruması en geç 600 N'luk bir basınçta harekete geçmelidir. İşletmeye alırken ne dereceye kadar bu kabulün gerçekleştiği sınıanmalıdır. Eğer sistem istenilmeyen bir basınçta harekete geçerse, ağırlıkların eklenmesi yardımıyla ağırlık noktasının kaydırılması sağlanabilir ve böylece devreye girme basıncı değiştirilebilir.

3.2.5.3 Sapma yatağı (yaw bearing)

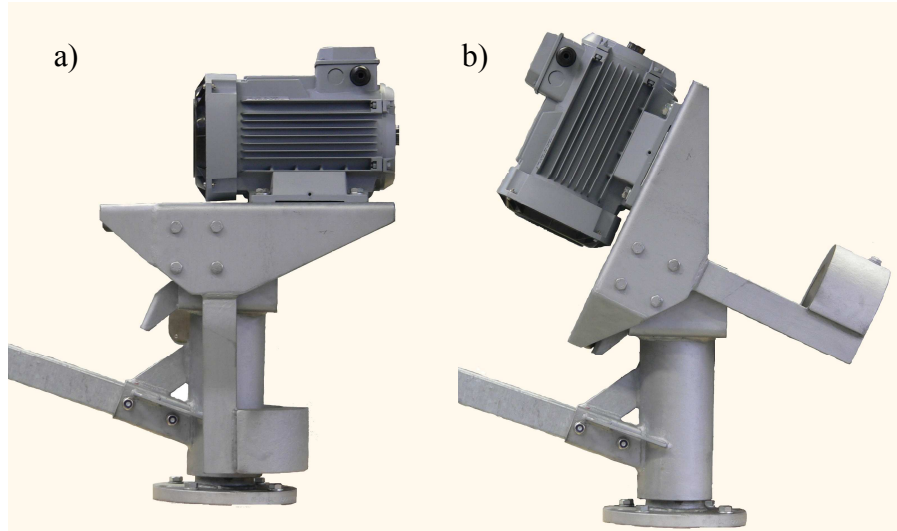
Sapma yatağı (yaw bearing) yukarıda anlatılan iki işletim ekipmanını birbirine bağlar. Yatak kendisi bir kaymalı yataktır ve üzerine helikopter kontrolü için bir tür döner mafsallı (tilting joint) sabitlenmiştir. Aynı zamanda rüzgar bayrağı kolu için taşıyıcı parça da buraya sabitlenmiştir. Rüzgar bayrağı kolu 1,5 m uzunluğundadır. Sapma yatağı için yapısal veriler aşağıdaki Tablo 3.6'da verilmiştir. Jeneratör haznesi ve rüzgar bayrağıyla sapma yatağı Braun firmasından tedarik edilmiştir (Şekil 3.17) .

Tablo 3.6. Sapma yatağı için veriler (Braun Windtechnik firması)

Dış çap	114,3 mm
Flanş	PN16
Delik dairesi çapı	180mm
Sabitleme	8 x M16
Flanş dış çapı	220mm
Malzeme	Çelik
Ağırlık	50 kg



Şekil 3.17. Rüzgar bayrağı (Braun Windtechnik firması)



Şekil 3.18. Helikopter kontrolüyle sapma yatağı normal işletme durumunda (a) ve fırtına durumunda (b).

3.2.6. Yıldırımdan koruma

Ayrıca bir rüzgar türbini bulunduğu çevrede pek tabi ki yüksekte durmaktadır. Bu yükseklik belki daha güçlü rüzgar yakalamak için bir avantajdır ama yıldırım düşme tehlikesini de artırır. Bu başlık altında ayrıca sistemin nasıl yıldırımdan korunacağı da anlatılacaktır.

Kanatlara yıldırımı tasfiye edecek iletim tertibatı entegre edilmediğinden başka tedbirler alınmak zorundadır. Üç tane seçenek söz konusudur. İlk olarak türbinin yanına

ondan daha yüksek bir paratoner konulabilir. İkinci olarak nasel üzerine bir paratoner monte edilebilir. Son olarak ise türbin sadece iyi topraklanış olabilir.

Göbek yüksekliğinin 5 m olması dolayısıyla paratonerin ilk seçenek için kanatların uzunluğu da hesaba katılırsa paratonerin boyunun 6,5 m'yi aşması gerekecektir. İkinci seçenek için paratoner boyunun 1,5 m'yi aşması gerekmektedir. Fakat sürekli işletme koşullarından dolayı naselin dönüşleri bir problem teşkil eder. Tartışmalardan sonra üçüncü seçenek uygun görülmüştür.

3.2.7. Tasarımın özeti

Dizayn verilerinden hareketle öncelikle bir jeneratör büyüklüğü ve buna bağlı olarakta kullanıcının karakteri tespit edilmiştir. Bu şekilde bütün elektriksel ekipmanların satın alımı gerçekleşmiştir. Hepsinin aynı yerden alınmasının bir avantajı da birbirlerine uyumluluk göstermeleri olmuştur.

Tablo 3.7. Rüzgar türbini tasarımı

	Çözüm	Temin
Kanat	Tasarlandı	
Göbek	İmal edildi	
Dişli kutusu	-	
Jeneratör	Alternatif akım jen.	Alındı
Kullanıcı	Şebeke	
Elektronik	Düzenleme sistemi	Alındı
Rüzgar takibi	Rüzgar bayrağı	Alındı
Mek. Güç kontrolü	Helikopter kont.	Alındı
Yataklama	Kaymalı yatak	Alındı
Direk	İmal edildi	

3.3. Konstrüksiyon

Bundan önceki bölüm rüzgar türbini sisteminin planlanması ve tasarımıyla ilgilenmişti. Bu bölümde ise göbeğin ve direğin konstrüksiyonu üzerinde durulacaktır.

3.3.1. Direk

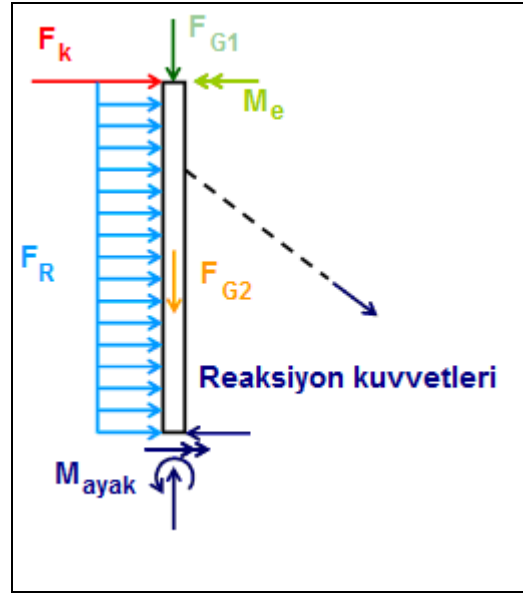
Direğin görevi türbinin ekipmanlarını rüzgar içinde pozisyonlandırmak ve işletim sırasında oluşan reaksiyon kuvvetlerini alıp tasfiye etmektir. Rotorun ve diğer ekipmanların ise bakım gerektiğinde ve ileriki projelerde yapılacak değişiklikler için ulaşılır olmalıdır.

Rüzgar türbininin dış yükleri direğin ucu tarafından alınması, direğin yapısıyla taşınması ve binaya aktarılması gerekmektedir. Bunun dışında rüzgarın yükü ve direğin kendi ağırlığı dış yüklerden sayılır. Yükün binaya aktarılması direğin ayağından ve eğer gerekirse gevşetme halatı üzerinden de gerçekleşebilir.

Şekil 3.19’de örnek bir direk üzerine etkiyen kuvvetler gösterilmiştir. Kullanılan formüllerdeki semboller Tablo 3.8’de verilmiştir. Şekil 3.20’de gösterilmiş olan direkte gevşeme halatları da kullanılmıştır. Bu resimde gevşeme halatının direğe bağlandığı noktanın yerden yüksekliğiyle yere bağlandığı noktanın direğe olan uzaklığına dikkat edilmelidir. Bu değerler direğe etkiyen gerilmeler ve eğilme momentinin hesaplamalarında kullanılacaktır.

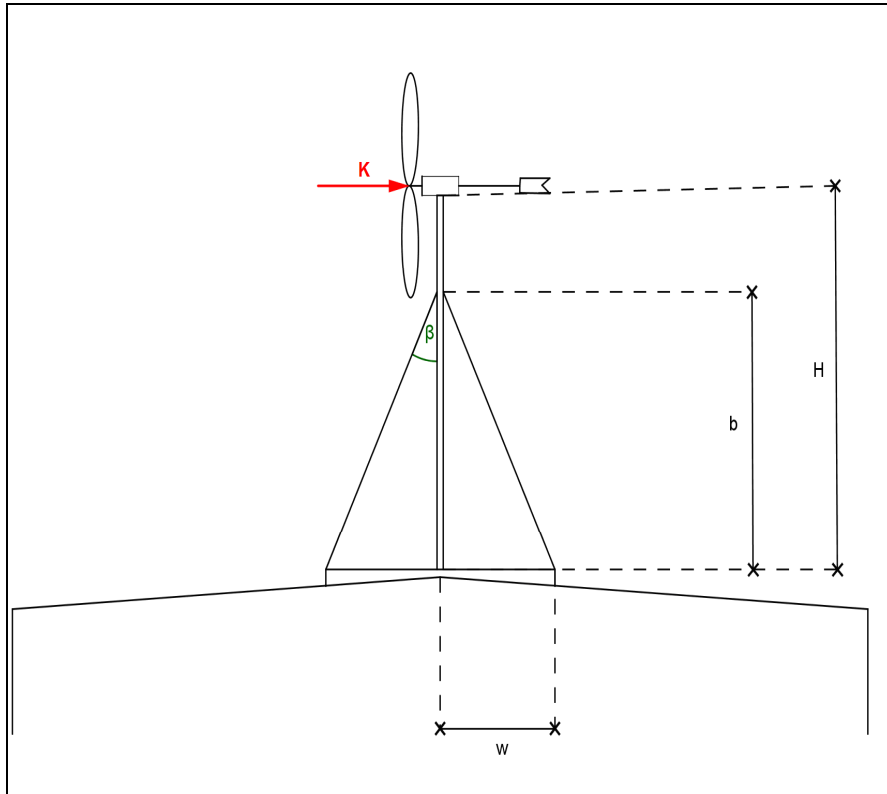
Tablo 3.8. Dış yükler için simgesel gösterimler

F_k	Güç iletim ve dağıtım tertibatlarının kesme kuvveti
F_R	Rüzgarın kesme kuvveti
F_{G1}	Güç iletim ve dağıtım tertibatlarının ağırlık kuvveti
F_{G2}	Direğin ağırlık kuvveti
M_e	Güç iletim ve dağıtım tertibatlarının eğilme momenti



Şekil 3.19. Direğe etkiyen dış yükler

KAYNAK: EHRMANNTRAUT. Konzeption und Aufbau einer kleinen Windturbine 2008, p.48 (Örnek: 5.1.)



Şekil 3.20. Direğin sabitlenmesinde gerekli ölçüler

KAYNAK: EHRMANNTRAUT. Konzeption und Aufbau einer kleinen Windturbine 2008, p.48 (Örnek: 5.2.)

3.3.1.1. Rotorun Kesme Kuvveti

Güç iletim ve dağıtım tertibatlarının kesme kuvvetini hesaplayabilmek için türbinin olağan durumuyla fırtına koruması sırasındaki yani yukarı kaldırılmış olan durumu ayırt edilmelidir. Kesme kuvvetinin 600N'a ulaştığı anda sözü edilen fırtına koruması (helikopter güç kontrolü) devreye girer. Bu sistemle kesme kuvvetinin değişimine göre türbin çarkının konumunu normal işletme pozisyonu 0° ile fırtına koruması konumu 60° arasında değiştirilir.

En yüksek kesme kuvveti fırtına koruması konumunda meydana gelir. Bu durum rüzgar akımının statik basıncının, kesme kuvveti çarpanının ve yeni eliptik rüzgar temas alanının bir fonksiyonuyla ifade edilebilir. Rotorun rüzgar temas alanı yani normal işletme pozisyonu sırasındaki dairesel alanı aşağıdaki gibidir:

$$A = \pi.R^2 \text{ (Daire yüzeyi)} \quad (3.7)$$

Fırtına koruması devreye girdiği zaman ise pervane ekseninin yatay eksen ile yaptığı açı değişeceğinden rüzgarın temas ettiği alan elipsleşir. Bu durumda yani göbek ekseninin yatay eksenle yaptığı açı 60° yukarı doğru kalktığında oluşacak rüzgarın temas alanı aşağıdaki gibi bulunur:

$$A' = \frac{\pi}{4}.2.R.2.R' \text{ (Elips yüzeyi)}$$

$$R' = R.\sin\left(\frac{60}{2}\right) = \frac{R}{2}$$

$$A' = \frac{\pi}{2}.R^2 \quad (3.8)$$

Yüksek bir tahmin yapmak için kesme kuvveti çarpanı 1 olarak alınır. Emniyet katsayısı $S_F = 1,5$ olduğu dikkate alınarak direk dizaynı için gerekli maksimum kesme kuvveti aşağıdaki gibi bulunur:

$$F_{k,max} = S_F \cdot A \cdot \frac{\rho}{2} \cdot V_1^2 \quad (3.9)$$

3.3.1.2. Direğin kesme kuvveti

Rüzgarın direğe uyguladığı kesme kuvveti $F_R = c_D \cdot H \cdot D \cdot \frac{\rho}{2} \cdot V_1^2$ şeklinde hesaplanır.

Burada H direğin yüksekliği, D silindirik direğin çapı ve c_D sürüklenme katsayısıdır. Söz konusu denklemde c_D katsayısı 1 olarak alınırsa maksimum kesme kuvveti aşağıdaki denklem ile elde edilir.

$$F_R = H \cdot D \cdot \frac{\rho}{2} \cdot V_1^2 \quad (3.10)$$

3.3.1.3. Güç Üretim ve İletim Ekipmanlarının Eğilme Momenti

Oldukça temkinli bir yaklaşımla mekanik ekipmanların eğilme momenti helikopter kontrolü olmaksızın maksimum hızın kullanılması koşuluyla Denklem (2.27) ile hesaplanabilir.

3.3.1.4. Güç üretim ve iletim ekipmanlarının ağırlık kuvveti

Bu başlık altında yer alan ekipmanların ağırlıkları Tablo 3.9'da derlenmiştir.

Tablo 3.9. Mekanik parçaların ağırlıkları

Jeneratör	23 kg
Rüzgar bayrağı	50 kg
Göbek	5 kg
Kanatlar	3 kg
Toplam m₁	81 kg

Bütün ekipmanların ağırlıklarının toplanmasından elde edilen değerin yer çekimi ivmesiyle çarpılmasıyla toplam ağırlık kuvveti aşağıdaki gibi bulunur:

$$F_{G1} = m_1 \cdot g = 81 \text{kg} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \approx 0,80 \text{kN} \quad (3.11)$$

3.3.1.5. Direğin Ağırlık Kuvveti

Direğin ağırlık kuvveti ise toplam hacminin bulunması için gereken kendi çapına (D), et kalınlığına, yüksekliğine (H) ve yapılmış olduğu malzemenin öz kütlesine bağlıdır:

$$F_{G2} = g \cdot \rho_{\text{materyal}} \cdot \frac{\pi}{4} (D^2 - d^2) \cdot H \quad (3.12)$$

Bu denklemde d direğin iç çapıdır. Denklemdaki $\frac{\pi}{4} (D^2 - d^2)$ ifadesi içi boş demirin et kalınlığının meydana getirdiği birim alandır.

3.3.1.6. Direğin Ayağındaki Eğilme Momenti ve Gerilme

Direkteki maksimum statik yüklenme ayak kısmında veya eğer varsa gevşeme bölgesi diye ifade edilen gevşeme halatlarında cereyan eder. Bu yüklenmenin nedeni oluşan eğilme gerilmesinden kaynaklanır. Direkteki rüzgar yükü nispeten düşük olacağından dikkate alınmayacaktır.

Gevşeme halatları kullanılmadığı zaman eğilme momenti direğin ayağına şu şekilde etkiyecektir:

$$M_{\text{ayak}} = F_T \cdot H \quad (3.13)$$

Gevşetme halatı kullanıldığında ise direğin ayağında oluşacak eğilme momenti ise:

$$M_{ayak} = F_T \cdot (H - b) \quad (3.14)$$

Bu denklemde b gevşetme halatlarının direğe bağlandığı yer ile ayak arasında kalan yükseklik ve F_T ise teğetsel kuvvettir. Buradan direğin ayağındaki eğilme gerilmesi σ_e aşağıdaki şekilde bulunur:

$$\sigma_e = \frac{M_{ayak}}{W_e} \quad (3.15)$$

Direğin eğilme mukavemet momenti ise:

$$W_e = \frac{\pi}{32} \frac{(D^4 - d^4)}{D} \quad (3.16)$$

3.3.1.7. Direk için yapılan hesaplamaların sonuçları

Sonuçlar Tablo 3.10'da gösterilen giriş büyüklüklerine göre verilmiştir. Burada $d=D-2s$ 'dir. Parçalara ait bütün değişmeyen değerler ise Tablo 3.11'de sonuçlar ise Tablo 3.12'de verilmiştir.

Tablo 3.10. Giriş büyüklükleri

H [m]	3				5			
b [m]	0 (gevşetme halatı yokken)		1,6		0		3,7	
s [mm]	5	10	5	10	5	10	5	10

KAYNAK: EHRMANNTRAUT. Konzeption und Aufbau einer kleinen Windturbine 2008, p.51 (Örnek: 5.3.)

Tablo 3.11. Tasarım parametreleri

Direğin dış çapı	D	114,3 mm
Maksimum rüzgar hızı	V ₁	40 m/s
Direk malzemesinin yoğunluğu (alaşım çelik)	ρ_{Malzeme}	7,9 kg/m ³
Havanın yoğunluğu	ρ	1,225 kg/m ³
Azaltılmış rüzgar etki alanı	A'	3,53 m ²
Güç üretim ve iletim tertibatlarının kesme kuvveti	F _K	5,19 kN
Güç üretim ve iletim tertibatlarının ağırlık kuvveti	F _{G1}	0,81 kN

KAYNAK: EHRMANNTRAUT. Konzeption und Aufbau einer kleinen Windturbine 2008, p.51 (Örnek: 5.4.)

Bu işlemlerin sonucuna göre gerilimler gevşetme halatı olmadan çok yüksek bir değerde olduğu ve bu durumda da 10 mm'lik et kalınlığının kritik olarak dikkate alınması gerektiği görünmüştür. Eğilme gerilimi için izin verilen değerler malzemeye göre 180 ile 250 N/mm² arasındadır. Sadece gevşetme halatı kullanılmasıyla eğilme gerilimi düşürülebilir. Böylelikle kritik bölge direğin ayağında değil aksine gevşetme halatının direğe bağlantı noktasında olacaktır.

Tablo 3.12. Hesap sonuçları

H	b	s	F _K	F _R	F _{G1}	F _{G2}	F _{toplam}	M _{ayak}	W _e	σ_e
[m]	[m]	[mm]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[Nm]	[mm ³]	[N/mm ²]
3	0	5	5,19	0,34	0,8	0,40	1,20	15567	44955	346,3
		10				0,76	1,56	15567	78681	197,9
	1,6	5				0,40	1,20	7265	44955	161,6
		10				0,76	1,56	7265	78681	92,3
5	0	5	5,19	0,56	0,8	0,67	1,47	25946	44955	577,1
		10				1,27	2,07	25946	78681	329,8
	3,7	5				0,67	1,47	6746	44955	150,1
		10				1,27	2,07	6746	78681	85,7

KAYNAK: EHRMANNTRAUT. Konzeption und Aufbau einer kleinen Windturbine 2008, p.52 (Örnek: 5.5.)

Konstrüksiyonda gevşetme olması durumunda gevşetme ipindeki kuvvetlerin çok büyük olmaması garanti edilmelidir. Azami halat gücü için bütün yükün halat tarafından yükleneceği durum hesaplanmıştır.

$$S_x = \frac{M}{b} \quad (3.17 \text{ a})$$

$$S_{toplamlam} = \frac{S_x}{\sin \beta} \quad (3.17 \text{ b})$$

$$S_y = \frac{S_x}{\tan \beta} \quad (3.17 \text{ c})$$

$$\beta = \tan^{-1} \left(\frac{w}{b} \right) \quad (3.17 \text{ d})$$

Kullanım için gerilme halatının yer bağlantısının ayaktan uzaklığı için $w = 2,7 \text{ m}$ değeri oldukça gerçekçidir ve takip eden işlemlerde bu değer kullanılmıştır. İlk sıradaki işlemlerde direk yüksekliği 3 m ikinci sıradakilerde ise 5 m olarak alınmıştır.

$$S_{x,1} = \frac{15300Nm}{1,6m} = 9,6kN$$

$$S_{x,2} = \frac{25500Nm}{3,7m} = 6,9kN$$

$$\beta_1 = \tan^{-1} \left(\frac{2,7m}{1,6m} \right) = 59,3^\circ$$

$$\beta_2 = \tan^{-1} \left(\frac{2,7m}{3,7m} \right) = 36,1^\circ$$

$$S_{toplamlam,1} = \frac{9,6kN}{\sin(59,3^\circ)} = 11,2kN$$

$$S_{toplamlam,2} = \frac{6,9kN}{\sin(36,1^\circ)} = 11,8kN$$

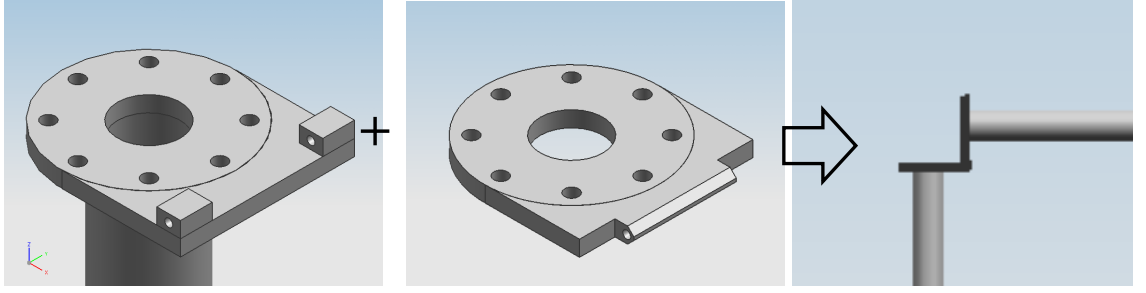
$$S_{y,1} = \frac{9,6kN}{\tan(59,3^\circ)} = 5,8kN$$

$$S_{y,2} = \frac{6,9kN}{\tan(36,1^\circ)} = 9,5kN$$

Gevşetme halatlı bir direk seçiminde halatın uygun şekilde boyutlandırılması gerekmektedir. (Ehrmanntraut 2008).

3.3.1.8. Montaj çalışması

Kanatların açılarının zaman içinde değiştirilmesi gerekebilir. Bu değişiklikler tabii ki de ayakta duran direğin 5 m'lik yüksekliğinde gerçekleştirilemez. İşte tam da bu yüzden direk iki parça olarak tasarlanmıştır. Alt kısım 1,5 m üst kısım ise 3 m uzunluğundadır. Naselin sapma yatağıyla beraber 5 m yüksekliğe ulaşır. Doğrultmak için bir menteşe bağlantısı kullanılmalıdır (Şekil 3.22). Bu bağlantı bir çubuk ile dönebilecek şekilde birbirine bağlanan iki flanştan oluşur. Flanşlar direğin parçalarının bağlantı uçlarına kaynaklanır. Direğin üst kısmının doğrultulmasından sonra flanşlar vidalanabilecekleri şekilde üst üste gelirler (Ehrmanntraut, 2008).



Şekil 3.21. Menteşe prensibi

KAYNAK: EHRMANNTRAUT. Konzeption und Aufbau einer kleinen Windturbine 2008, p.53 (Örnek: 5.3.)

3.3.2. Göbek

Göbek türbinin mekanik güç üretim ve iletim ekipmanlarıyla rotorun bağlantısını sağlayan elemandır. Göbeğin, kanatların dış yüklerini absorbe edebilmesi ve enerji dönüşümü için gerekli momentin rotor miline aktarımını garanti etmesi gerekmektedir. Göbeğin imalatı için daha önceden tasarlanıp üretilmiş olan kanatların geometrisi temel alınmalıdır.

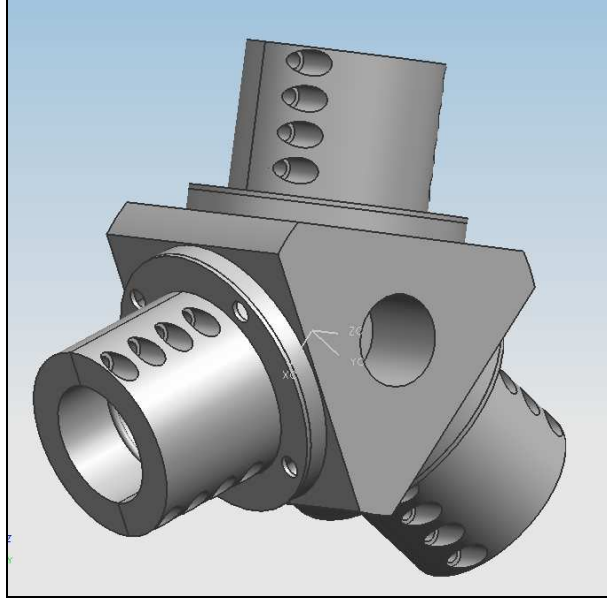
Kanatların takıldığı yuva 50 mm dış çapa ve 60 mm uzunluğa sahip karbon fiber bir borudur. Bu borunun dışına oluk açılmıştır (bkz. Şekil 3.22).



Şekil 3.22. Kanat yuvası

Her kanat yuvası tamamen ve şekil bağlı biçimde göbeğin ayak deliği tarafından kavranması gerekir. Noktasal baskı olmamalıdır ve bununla beraber delinmemelidir. Ayrıca kanatların tekrar tekrar yönlendirilmesi gerekmeden kanat ayarlarının elle yapılması gerekebilir. Bu açının göbeğe entegre edilmiş skaladan okunabilmesi gerekmektedir.

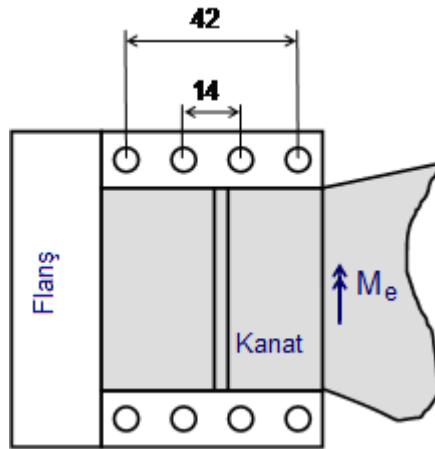
Göbek (Şekil 3.23) prensipte yedi parçadan oluşur. Bunlar üçgen profilli bir ana gövde, muhafazalarıyla her bir kanada bağlantıyı sağlayan üç adet flanştır. Flanşın boylamasına delikleri sayesinde kanatların açısının kontrol edilip ayarlanması mümkündür. Kanadın ilk olarak yönlendirilmesi için en dıştaki kanat kesiti kullanılabilir. Orada konumu profil düzlemine karşı $0,1^\circ$ kadardır. Flanşın ve göbek ana gövdesinin vidalanması için rondela yerine her flanş için bir koruyucu levha yapılmıştır.



Şekil 3.23. Göbek

Göbeğin tasarımı rotor kanatlarından alınan maksimum dış yüklere dayanmaktadır. Bu yükler esas olarak kesme kuvveti, kaldırma kuvveti bileşeni, ağırlık kuvveti ve santrifüj kuvvetlerden oluşur. Ağırlık kuvveti bu durumda göz ardı edilebilir. Göbek parçalarının birbirine cıvata ile bağlanmış olmasından dolayı, ilk olarak parçaların sağlamlığı tek başına ölçülmesi ve daha sonra da bağlantıların işleme yeteneği denenmelidir.

Muhafazaları rotor düzleminde desteklemesi için Şekil 3.23’de de gösterildiği üzere delikler seçilir ve böylece yükleme durumu Şekil 3.24’deki gibi oluşur.



Şekil 3.24. Muhafaza olmadan flanş içerisindeki kanat

Eğilme momenti kanattaki kesme kuvvetinden oluşur ve Manuel Franquesa'ya göre aşağıdaki bağıntıyla bulunabilir.

$$M_e = p_{Rüzgar, maks} \cdot \frac{\pi \cdot R^3}{3 \cdot z} \cdot \left[\left(\frac{r}{R} \right)^3 - 3 \left(\frac{r}{R} \right) + 2 \right] \quad (3.18)$$

Şekil 3.23'deki alanda cıvata bağlantısı tarafından taşınması gereken eğilme momenti 2018 Nm olarak bulunmuştur. Aşağıda belirtilen tahmini hesaplamalarda da gösterildiği gibi dış çapı 6 mm ve cıvata mukavemet sınıfı 8.8 olarak seçilen cıvatayla bulunan eğilme momenti karşılanamamaktadır.

Bu tip bir cıvata 9300 N değerindeki izin verilen bir işletme gücünü karşılayabilir. Cıvataların ön gerilimli olmadığına dair bir kabul yapmak suretiyle yapılacak tahmini hesaplarla kanatlar tarafından taşınabilecek maksimum eğilme momenti bulunabilir. Yapıdaki simetriden dolayı göbek tarafındaki iki cıvatanın çekme gerilimine maruz kalacağı ve kanat tarafındaki cıvataların ise yükünün hafifleyeceği sonucuna varılabilir. Taşınabilecek maksimum eğilme momenti maksimum kesme kuvvetinden aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$M_{e, maks} = 2 \cdot (F_{civata, maks} \cdot 14mm + F_{civata, maks} \cdot 42mm) = 1041,6Nm \quad (3.19)$$

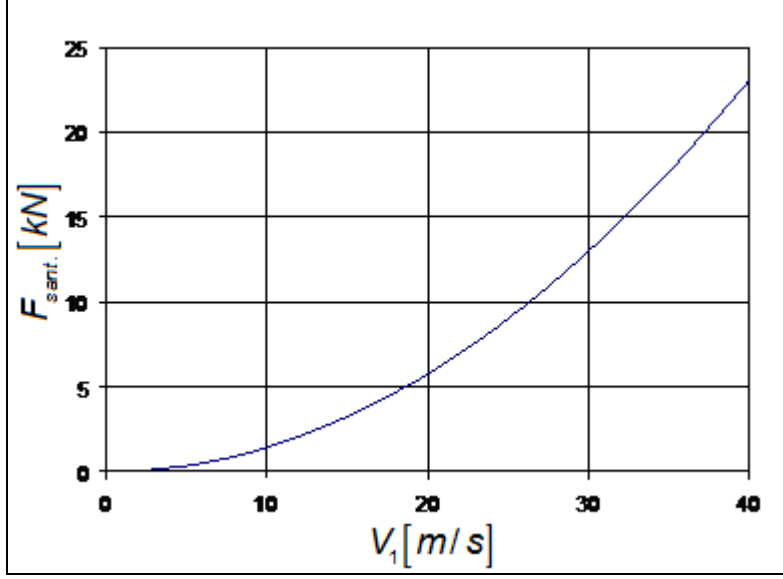
Bu hesaplar maksimum yüklenme sırasında beklenen gerekli momentin kuşkusuz karşılanamayacağını göstermektedir. Muhafazanın cıvata bağlantısının dönme ekseninden dışarı 90° döndürülmesi önerilir. Böylece eğilme momentinin flanşın malzemesiyle ve muhafazayla taşınabileceğinden emin olunur.

3.3.2.1. Santrifüj kuvvetlerden korunma

Bir kanadın ağırlığı 1,03 kg tutmaktadır ve rotorun devir sayısına göre göbekte tutulması gereken bir santrifüj kuvvet üretir.

$$F_{\text{sant.}} = m \cdot r_{\text{sant.}} \cdot \omega^2 \quad (3.20)$$

Bir kanadın dönem eksenine olan ağırlık noktası mesafesi 560 mm'dir. Buradan hareketle uç hız oranı 7,5 olan sistemimizin maruz kaldığı santrifüj kuvvetler Şekil 3.25'da gösterilmiştir.



Şekil 3.25. Rüzgar hızına göre santrifüj kuvvetlerin değişimi

KAYNAK: EHRMANNTRAUT. Konzeption und Aufbau einer kleinen Windturbine 2008, p.57 (Örnek: 5.7.)

40 m/s olarak öngörülen maksimum rüzgar hızında yaklaşık 23 kN değerinde santrifüj kuvvet beklenebilir. Bu durumda sistem helikopter kontrolünde çalışıyor olacak ve güç üretim ve aktarım tertibatlarınca taşınacaktır. Buda rağmen santrifüj kuvvetlerin çok yüksek değerler de alabileceği düşünülmelidir. İşte bu sebepten dolayı göbek içerisinde bir oluk yapılması planlanmıştır. Bu oluk kuvvet bağının yanında muhafazaların vidalanmasıyla yüksek santrifüj kuvvetlere de dayanabilen şekil bağı sağlamış olur (Ehrmanntraut 2008).

3.3.2.2. Kanat flanşlarının ana gövdeyle vidalanması

Kanat flanşlarının ana gövdeyle bağlantısı 8 mm dış çapa sahip, cıvata mukavemet sınıfı 8.8 olan cıvatalarla ve temiz bir sökümün sağlanması için paslanmaz çelik

rondelaların kullanılmasıyla gerçekleştirilir. Bütün yüklerin belli belirsiz tahmin edilebilmesinden dolayı açıklamalı bir hesaplama girmekten kaçınılmıştır. Aynı zamanda göbek sistemin çalışması sırasında dinamik yüklere maruz kalır. Bu dinamik yükler için yapının yorulması ya deneysel olarak ya da hesaplanarak belirlenmelidir (Ehrmanntraut 2008)

3.4. Veri Yakalama Sistemi

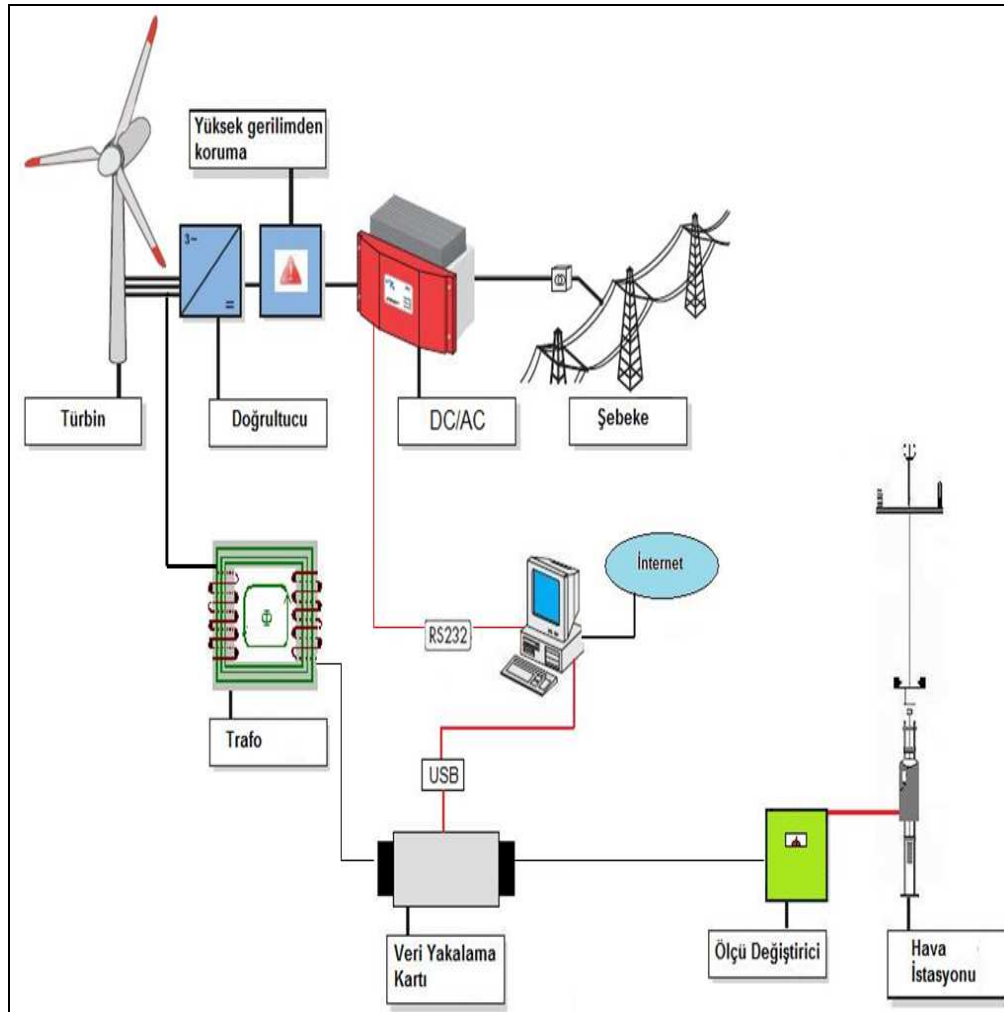
Veri yakalama sisteminin oluşturulmasında amaç, kurulacak olan küçük rüzgar türbininden ve daha önceden kurulmuş olan meteoroloji istasyonundan gerekli verileri alıp depolamak ve bunları işlemektir. Tasarlanılan sistem, türbinin gücü dışında elde edilecek bütün verilerin bir genişleme kartı ya da başka bir ifadeyle bir veri yakalama kartı vasıtasıyla alınıp, LabView programlama diliyle yazılmış bir program vasıtasıyla okunup depolanması esasına dayanmaktadır. Aşağıda proje kapsamında gerçekleştirilmek istenenler sıralanmıştır:

- Paul Bonatz Kampusu'ndaki A binasının çatısında bulunan meteoroloji istasyonundan gelen rüzgâr yönü, rüzgâr hızı ve hava sıcaklığı verilerinin edinilmesi için LabView programlama dilinde bir program yazılmalıdır.
- Bu program rüzgar türbininin senkron jeneratöründen gelen verileri yakalayıp, devir sayısını bulmak için analiz etmelidir. Elektriksel güç dönüştürücü ile olan bir bağlantının marifetiyle Sunny Data programı aracılığıyla elde edilmelidir.
- Elde edilmiş veriler arzu edilen zaman aralığında sürekli olarak kopyalanmalıdır.
- Elde edilmiş veriler barındıran klasörler internet aracılığıyla öğrencilere sunulmalıdır.
- Elde edilmiş veriler ayrı bir şekilde zamandan bağımsız gösterilmeli ve değerlendirilmelidir.

Konu kapsamında anlatılması gerekli olan fakat konu akışını dağıtabileceği düşünülen veri elde etme konusundaki temel bilgiler Ek-1’de geniş kapsamlı olarak verilmiştir.

3.4.1. Veri yakalama sisteminin genel yapısı

Veri yakalama sisteminin genel gösterimi Şekil 3.26’de verilmiştir. Ölçülmek istenen veriler hava sıcaklığı, rüzgar hızı ve yönü, türbinin gücü ile devir sayısıdır. Bu niceliklerin ölçümü üç kaynak üzerinden yapılmaktadır. Meteorolojik veriler hava istasyonundan alınacaktır. Türbin gücü inverter ile yapılacak bilgisayar bağlantısından ve türbinin devir sayısı verisi ise jeneratör çıkışındaki trifaze hat üzerinden elde edilmesi beklenmektedir.



Şekil 3.26. Veri yakalama sisteminin genel gösterimi

Türbinin gücü, bilgisayar ile inverter yani doğru akımı dalgalı akıma çeviren araçla yapılan RS 232 bağlantısı ile öğrenilir. Bu verilerin bilgisayar tarafından alınabilmesi inverter ile beraber verilen ‘‘Sunny Data’’ isimli program ile mümkün olacaktır.

Türbin gücünün ölçümü dışında kalan diğer bütün ölçümlerde veriler bir veri yakalama kartı üzerinden bilgisayara aktarılırlar. Veri yakalama kartının verileri elde etmek ve depolama maksadıyla ‘‘LabView’’ programlama dilinde bir program yazılır. Bu programda ayrıca kart ile hangi büyüklüklerin (voltaj, akım, direnç vb.) ölçüleceği, ölçüm aralığının ne olacağı, ölçüm tipi (diferansiyel, tek uçlu vb.) ve ölçümlerin tarama oranı (saniyede alınan örnek sayısı) gibi direk ölçümle ilgili parametreler öncelikle belirlenmektedir. Ölçülen büyüklük olarak voltaj ve ölçüm tipi olarak programın kendisinin de önerdiği diferansiyel tip seçilmiştir. Örneklem sayısı programın elverdiği ölçüde (yani hata vermediği sürece) daha kesin bir sonuç eldesini mümkün kılabilmek maksadıyla en yüksek alınabilecek değerlerde alınmıştır. Ölçülecek değerin yani voltajın aralığı meteorolojik ölçümlerde ölçü dönüştürücüsünün Şekil 3.30, Şekil 3.31 ve Şekil 3.32’de verilen grafiklere göre elde edilen verileri işlemesi ve ölçü değiştiricisinde kullanılan dirençlere bağlı olarak 0 ve 10 volt olarak alınmıştır. Kullanılan dirençlerin 470 m Ω değerinde olmaları sebebiyle ve demin sözü edilen şekiller ve bu şekillerden elde edilen denklemler neticesine aslında elde edilecek voltaj aralığı 1,88 ile 9,4 V arasındadır ve ölçüm için seçilmiş voltaj aralığının içindedir. Devir sayısı ölçümü için kullanılacak ölçüm aralığı yapılacak trafoya göre belirlenecektir.

Hava istasyonunda elde edilen veriler ölçü dönüştürücüsünde Şekil 3.30, Şekil 3.31 ve Şekil 3.32’de gösterildiği gibi elektrik akımlarına çevrilmektedir. Elektrik akımları ölçü dönüştürücüsünde koyduğumuz dirençler vasıtasıyla da veri yakalama kartınca gerilim mertebesinde ölçülürler.

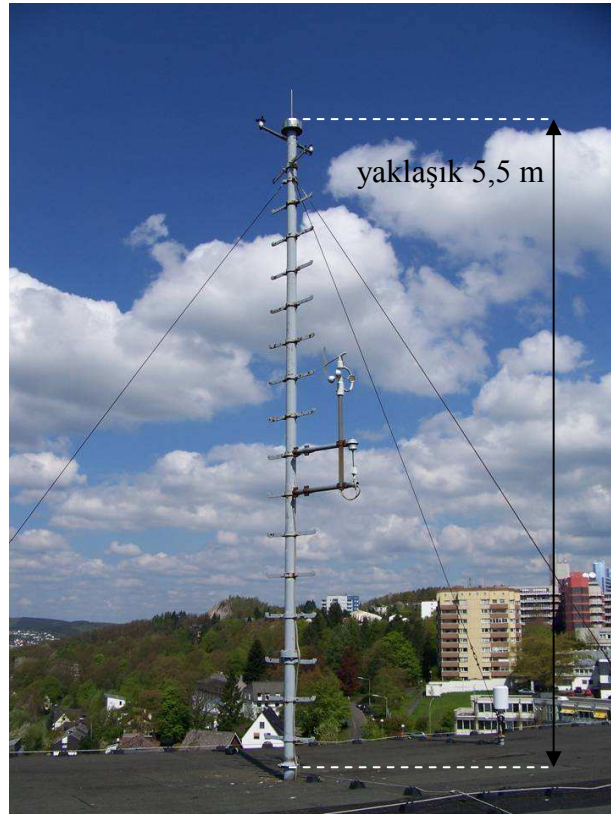
Türbinin devir sayısını bulmak için ise düşünülen yol, senkron jeneratörün çıkışındaki gerilim değişimlerinin periyodunu bulmak suretiyle devir sayısına ulaşmaktır. Fakat veri yakalama kartının dayanabileceği maksimum gerilimin ± 35 V olması nedeniyle jeneratör çıkışına direk bağlanabilmesi imkansızdır. Bu sebepten

dolayı bir trafo inşa edilecek ve voltajın çalışma şartlarına indirilmesiyle veri yakalama kartına bağlantı sağlanacaktır.

Şimdi de veri elde etmede kullanılan elemanları tanıyalım:

3.4.1.1. Hava istasyonu

Hava istasyonu, üzerinde rüzgarın hızı ve yönü ile hava sıcaklığının ölçüldüğü, rüzgar türbiniyle aynı binanın çatısı üzerinde bulunan bir yapıdır. Bu yapıda rüzgar hızını ölçen dönen yarım küre şeklindeki kapakçıklardan meydana gelen anemometre, rüzgar yönünü ölçen bir cihazla kombine olarak ve hava sıcaklığını ölçen bir Pt100 direnç termometresi bulunmaktadır. Hava istasyonunun yüksekliği Şekil 3.27’de de görüldüğü gibi zeminden yaklaşık 5,5 m. civarındadır.

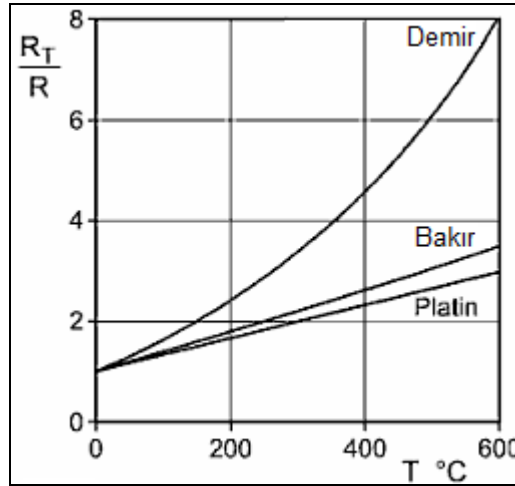


Şekil 3.27. Hava istasyonu

Malzemenin elektriksel direnci sıcaklığa bağlı olduğundan, sıcaklık direncin ölçülmesiyle aşağıdaki denklemdeki gibi ifade edilebilir.

$$R(T) = R_0 \left[1 + \alpha(T - T_0) + \beta(T - T_0)^2 \right] \quad (3.21)$$

Denklemdaki α ve β metal iletken malzemenin sıcaklık katsayılarıdır. Demir, kurşun ve Pt 100 formundaki bir platin direnç termometresinin $R=f\{t\}$ karakteristik eğrisi Şekil 3.28’de gösterilmiştir.



Şekil 3.28. Sıcaklığa bağlı olarak metallerdeki elektriksel direnç değişimi

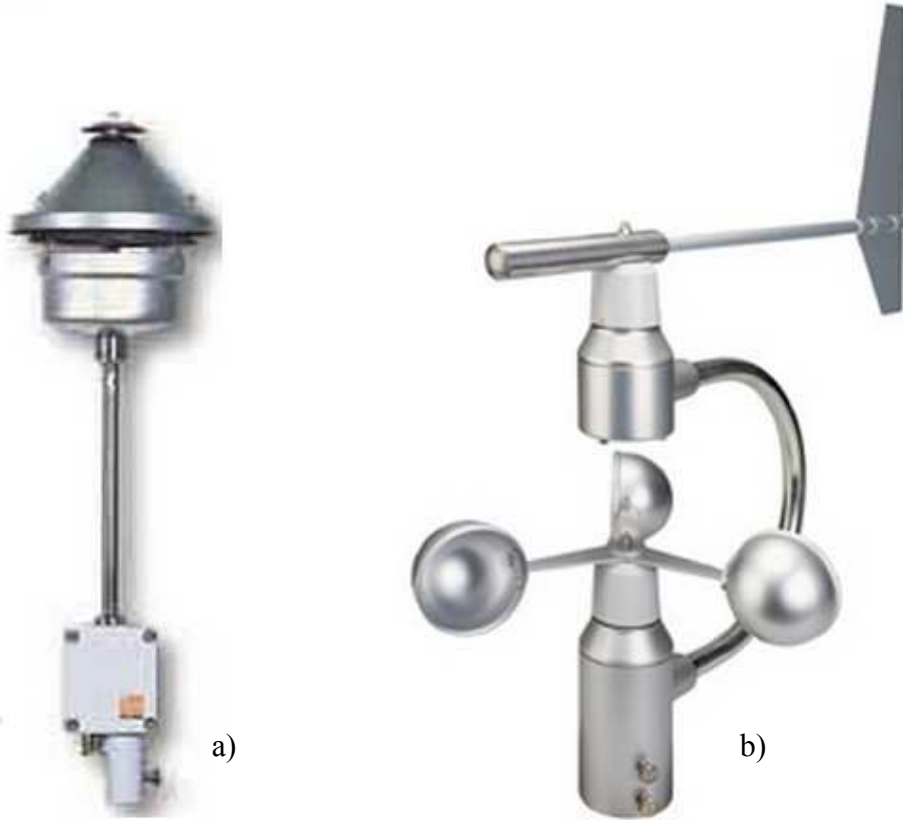
KAYNAK: SUREK, Angewandte Strömungsmechanik 2007, p.391 (Örnek 15.31)

Pt 100 ifadesi, uluslar arası normlarda direnç malzemesi olarak platini kullanan ve 0° sıcaklıkta direnci $R = 100 \, \Omega$ olan direnç termometresini tanımlamaktadır (Surek 2007).

Hava istasyonunda bulunan direnç termometresi Şekil 3.29’da gösterilmiştir. Bu termometre ısıma korunumu için anotlanmış alüminyum ve sabit hava sıcaklığının kesin ölçümü için iyi bir havalandırmaya sahiptir. Kullanılan direnç termometresinin özellikleri Tablo 3.13’de verilmiştir.

Tablo 3.13. Kullanılan direnç termometresinin özellikleri

Ölçüm aralığı	-30...+50°C
Ölçüm elemanı	Pt100
Doğruluk	1/3 Sınıf B ($\pm 0,1$ K)
Devre tipi	4-iletken devresi
Ölçüler	Ø 120 x 400 mm
Ağırlık	0,8 kg



Şekil 3.29. Hava istasyonunda kullanılan (a) direnç termometresi ve (b) kombine rüzgar sensörü.

Üretici firma tarafından kullanılan kombine rüzgar sensorunun veri kaydetmek için tasarlandığı ifade edilmiştir. Bu sensor yatay rüzgar akımının hızını ve yönünü ölçmek için üretilmiştir. Anemometrenin devir sayısı herhangi bir temas ve kayıp olmaksızın optik ve elektronik kullanarak taranır. Anemometrenin harekete başlaması özellikle çok kolaydır. Rüzgar bayrağının konumu ise bir kod diski tarafından optik olarak okunarak

elde edilir. Bütün temel parçalar alüminyumdan imal edilmiştir ve anotlanmıştır. Kombine rüzgar sensorunun özellikleri Tablo 3.14’de verilmiştir. ‘‘RH’’ rüzgar hızını ‘‘RY’’ ise rüzgar yönünü temsil etmektedir.

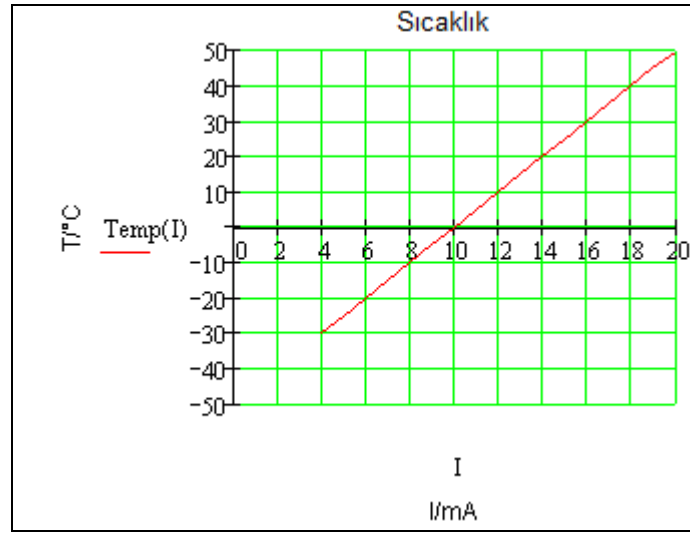
Tablo 3.14. Kombine rüzgar sensorunun özellikleri

RH için ölçüm aralığı	0,3...50 m/s
RY için ölçüm aralığı	0...360°
RH için elektriksel çıkış	3...1042 Hz
RY için elektriksel çıkış	Seri senkron 16 bit
Ölçü hassasiyeti	$\pm 0,3$ m/s veya ölçü değerinin $\pm 2\%$ ’si, $\pm 1,5^\circ$
Maksimum çalışma hızı	60 m/s
Tepki eşiği	90° içinde 0,5 m/s
Sönüm oranı	$> 0,3$
Isıtma	Maksimum 40 W
Çevre sıcaklığı	-35...+80°C
Elektriksel bağlantı	Çok kutuplu priz
Montaj deliği	Ø 50 x 50 mm
Montaj	1½" genişliğinde boru üzerine
Toplam yükseklik	620 mm
Ağırlık	3,4 kg

Tabloda bulunan sönüm oranı rüzgar bayrağının salınım davranışını karakterize etmekte ve onun nitelik olarak değerlendirilmesinde önemli bir büyüklüktür. Sönüm oranı, birbiri ardınca gelen iki titreşim genliğince belirlenir.

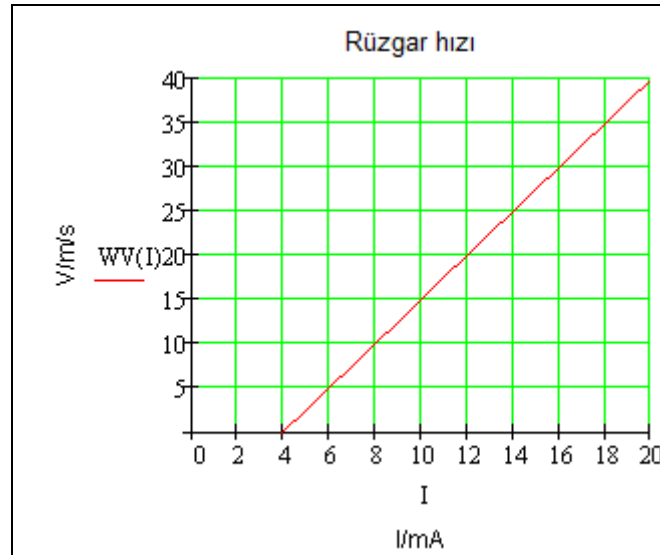
3.4.1.2. Ölçü dönüştürücüsü

Hava istasyonundaki ölçüm aletleri tarafından gönderilen sinyaller Şekil 3.30, Şekil 3.31 ve Şekil 3.32’de gösterilen grafiklere göre ölçü dönüştürücüsü tarafından elektrik akımına çevrilmektedirler. Elde edilen açılar mahiyeti ise yön olarak Şekil 3.33’de sunulmuştur. Biz ölçü dönüştürücüsü içerisinde 470 mΩ değerinde bir direnç kullandık ve buradan bağladığımız veri yakalama kartı vasıtasıyla gerilimleri ölçmeye çalıştık.



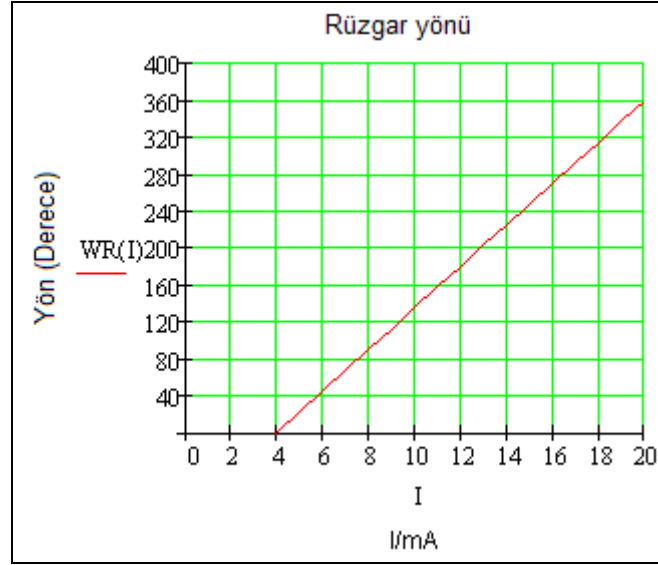
Şekil 3.30. Sıcaklık ve elektrik akımı arasındaki ilişki

$$Temp(I) = \frac{5^{\circ}C}{mA} I - 50^{\circ}C \quad (3.22)$$



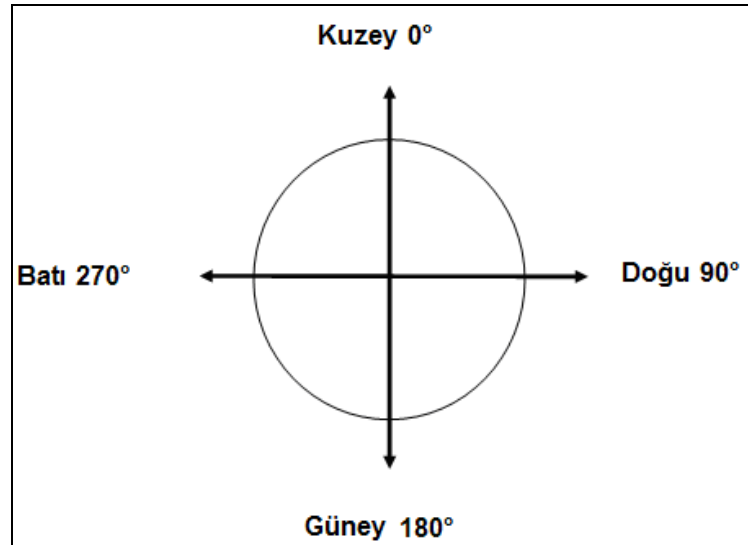
Şekil 3.31. Rüzgar hızı ile elektrik akımı arasındaki ilişki

$$WV(I) = \frac{5}{2} \frac{m}{s \cdot mA} I - 10 \frac{m}{s} \quad (3.23)$$



Şekil 3.32. Rüzgar yönü ve elektrik akımı arasındaki ilişki

$$WR(I) = \frac{22,5^\circ}{mA} \cdot I - 90^\circ \quad (3.24)$$



Şekil 3.33. Ölçülen açının yön olarak ifadesi

Ayrıca ölçü dönüştürücüsünde bulunan yavaşlatma aparatı sayesinde ölçümlerdeki hatalı olabilecek ani değişimlerin elde edilen verilere yansımaması sağlanır. Bu şekilde birden meydana gelen aşırı değişimler eğer devam etmezse alınan verilere yansımayacak, devam ederse kademeli olarak yansıyacaktır.

3.4.1.3. Veri yakalama kartı

Kullandığımız veri yakalama kartı, ölçmede kullanacağımız programa uygundur ve programlama dili LabView ile aynı üretici olan National Instrument firması tarafından tasarlanmış NI USB–6008 modelidir. Kartın en büyük kolaylıklarından birisi de usb girişinden bilgisayara bağlanabilme pratikliğidir. Kendisi Şekil 3.34’de gösterilmiş olan veri yakalama kartının bizim de kullandığımız analog girişi için başlıca özellikleri de Tablo 3.15’de verilmiştir. Kartın ölçüleri ise Şekil 3.35’den okunabilir.

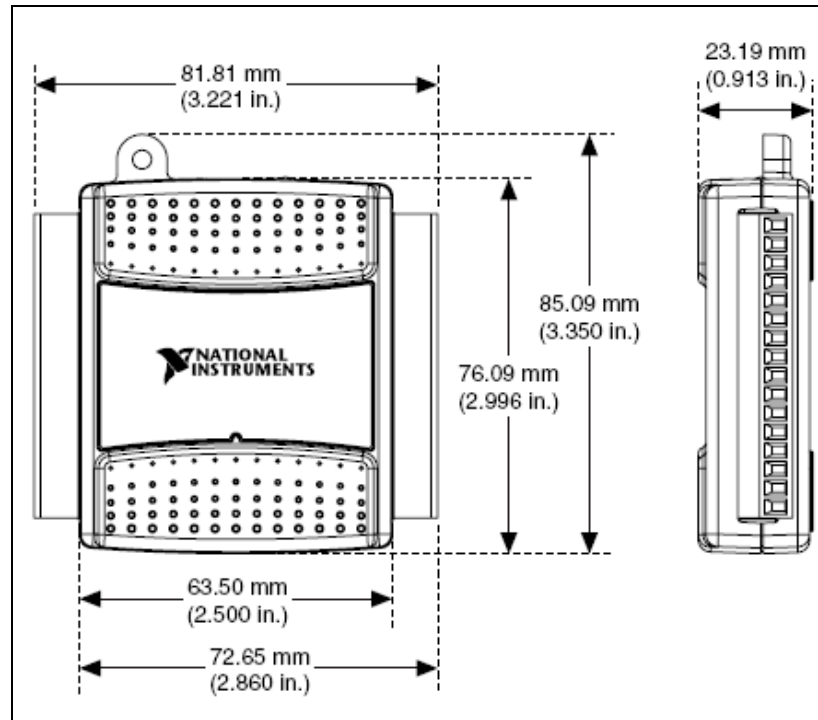
Tablo 3.15. Kullanılan NI USB–6008 veri yakalama kartının analog giriş değerleri
Dönüştürücü tipi Ardaşıl yaklaşımlama

Analog girişleri	8-tek uçlu (single ended), 4 diferansiyel
Giriş çözünürlüğü	12 bit diferansiyel, 11 bit single ended
Azami örnekleme oranı	10 kS/s
Zamanlama çözünürlüğü	41,67 ns (24 Mhz)
Giriş aralığı	Single ended ± 10 V Diferansiyel ± 20 V, ± 10 , ± 5 V, $\pm 2,5$ V ± 2 V, $\pm 1,25$, ± 1 V
Çalışma gerilimi	± 10 V
Yüksek gerilim koruması	± 35 V

Tabloda yer alan örnekleme oranı tarama oranı olarak da ifade edilir ve her bir kanaldaki örnekleri elde etme ya da üretme hızı olarak açıklanır. Yüksek bir örnekleme oranıyla verilen zaman içerisinde daha çok noktanın elde edilmesini ve orijinal sinyalin daha iyi bir temsilinin şekillendirilmesi sağlanır. 1 Hz’lik bir sinyalin yaratılmasında her döngüde, 10 nokta kullanmak yani 10 S/s değerinde bir örnekleme oranıyla çalışmaktansa, 1000 nokta kullanmak yani 1000 S/s değerinde bir örnekleme oranıyla çalışmak üretim için daha iyi bir temsil sağlar.



Şekil 3.34. NI USB-6008 veri yakalama kartı



Şekil 3.35. NI USB-6008 veri yakalama kartının ebatları

3.4.1.4. İnverter

İnverter üretici firma tarafından ‘‘Windboy’’ (Şekil 3.36) olarak isimlendirilmektedir ve aslında elektriksel ekipmanlar içerisinde yer almakta ve görevi ise jeneratörden çıkıp doğrultucuda doğrultulan akımın dalgalı akıma dönüştürülmesini

sağlamaktır. Bizim açımızdan önemi ise kendisinden türbin gücü verisinin direk alınabiliyor olmasından ileri gelmektedir.

Windboy çeşitli iletişim ara yüzleriyle donatılmış olabilir. Verilerin bilgisayara transferi PLC (powerline communication), telsiz sistemi, USBPBS (USB Service Interface) ile RS 232 ve RS 485 ara yüzlerinden ek bir kablo vasıtasıyla sağlanabilir. Bilgisayarla bağlantı sağlandıktan sonra rüzgar türbini ‘‘Sunny Data’’ programıyla denetlenebilir. Bizim aldığımız inverter RS 232 ara birimiyle donatılmıştır. İnverterin bilgisayarla bağlantısı bir RS 232 kablosuyla bilgisayarın COM1 ve ya COM2 girişlerinden yapılacaktır.

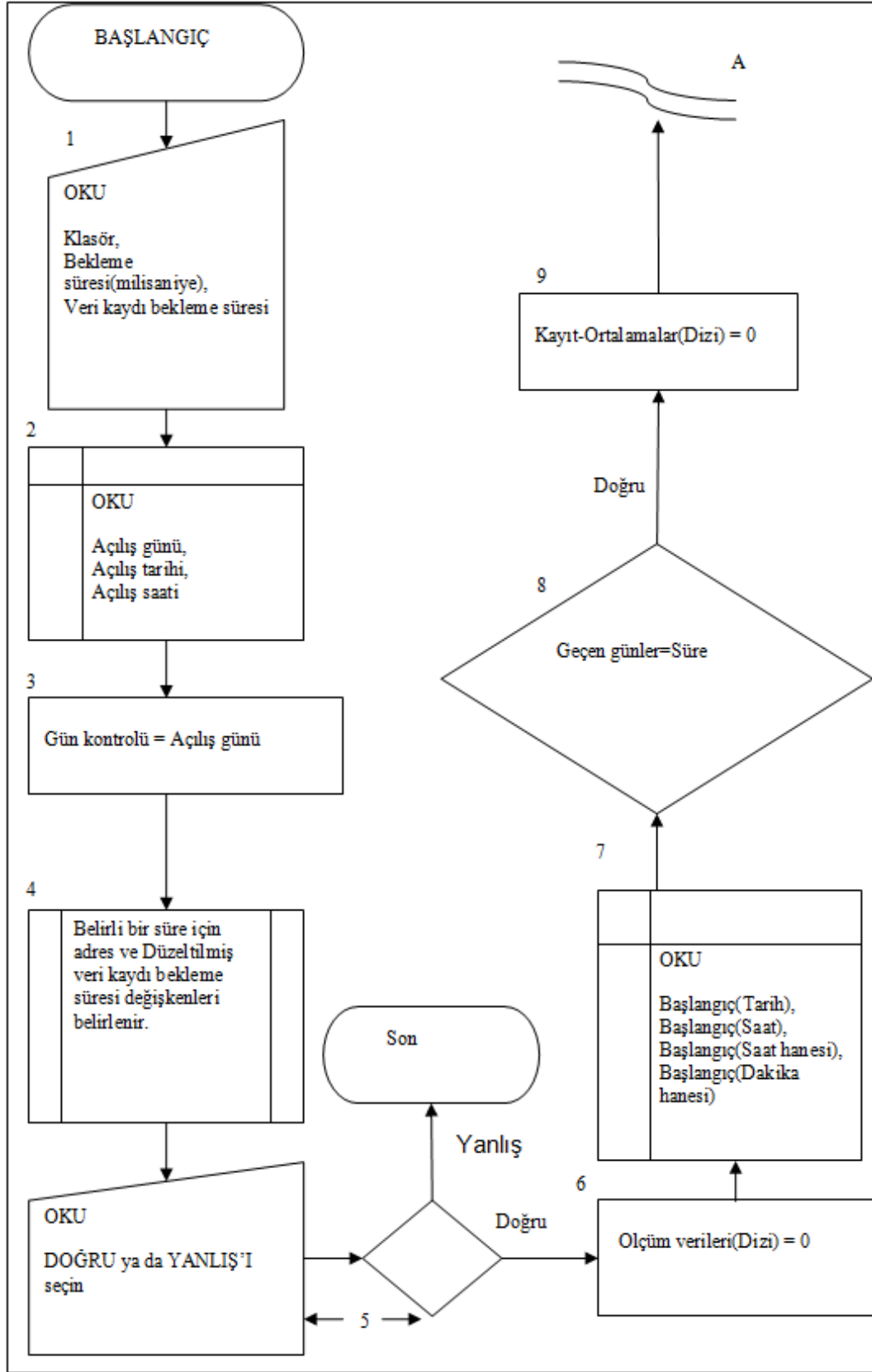


Şekil 3.36. Kullanılan inverter

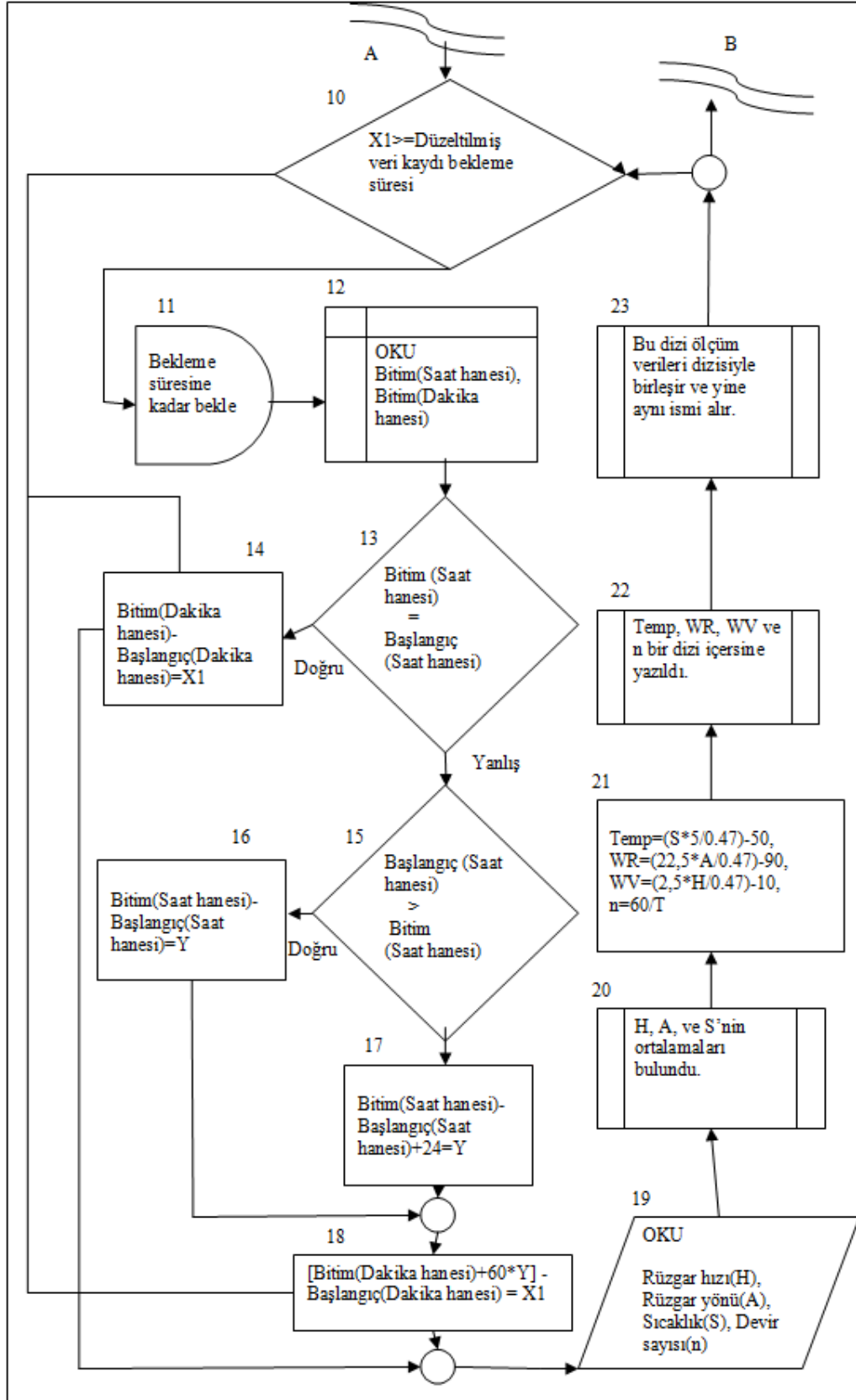
3.4.2. Yazılan programın akış diyagramı

Program akış planı, bilgisayar programının akış diyagramıdır ve program yapı planı olarak da isimlendirilir. Bu bir programın algoritmasını ifade eden grafiksel bir gösterimdir ve bir sorunun çözümü için yapılan işlemleri betimler.

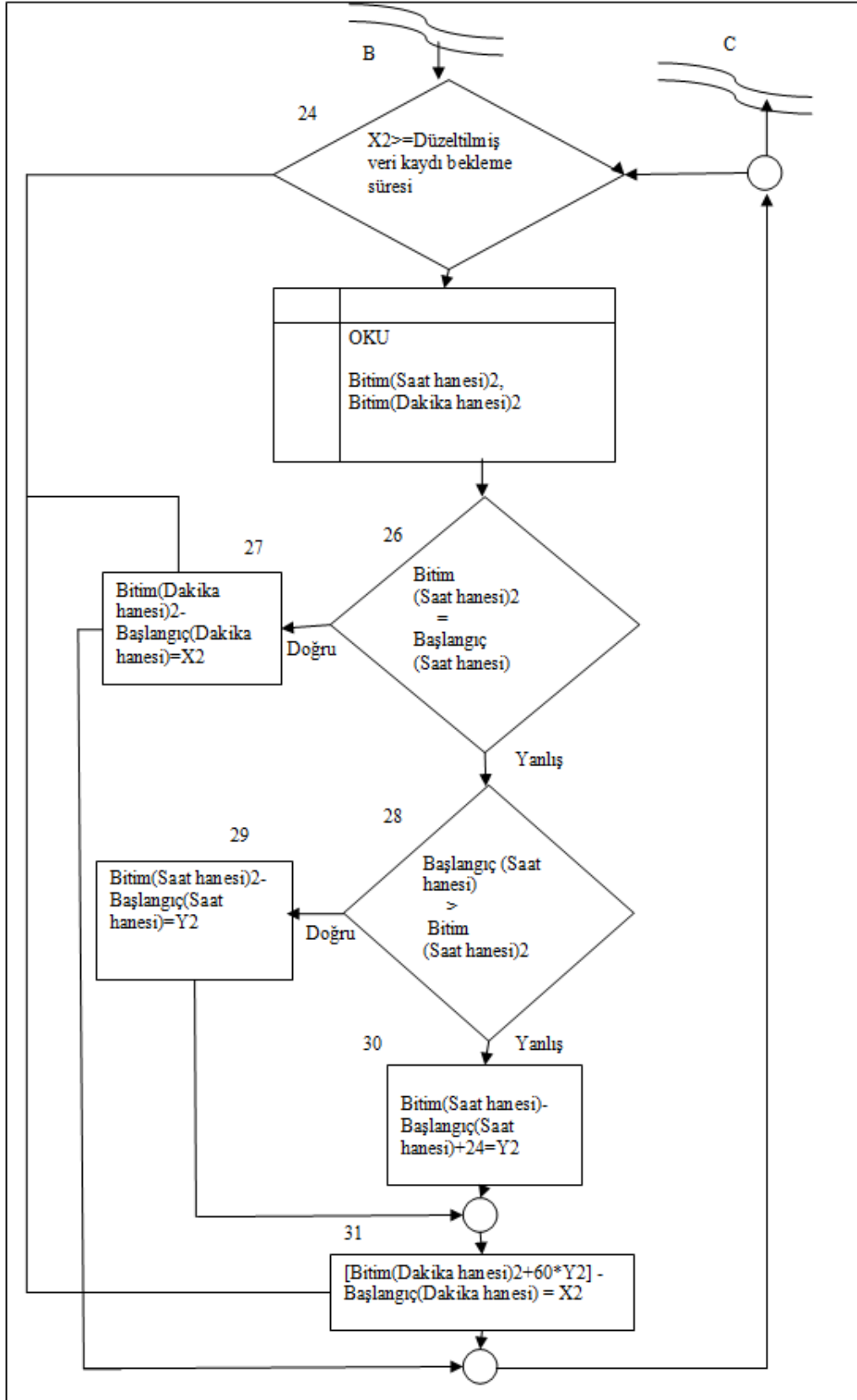
Program akış planı için gereken semboller DIN 6001’de standartlaştırılmıştır. Bu sembollerin yardımıyla verilerin elde edilmesinde kullanılması için yazılmış program anlaşım kolaylığı için akış diyagramıyla verilmiştir. Programın ayrıca resimleri çekilerek simge simge anlatımı yapılmıştır. Fakat bu anlatım, uzunluğu dolayısıyla anlatım bütünlüğünü bozmaması için Ek 2’de verilmiştir. Akış planının yazılmasında kullanılan temel semboller ise Ek 3’de sunulmaktadır.



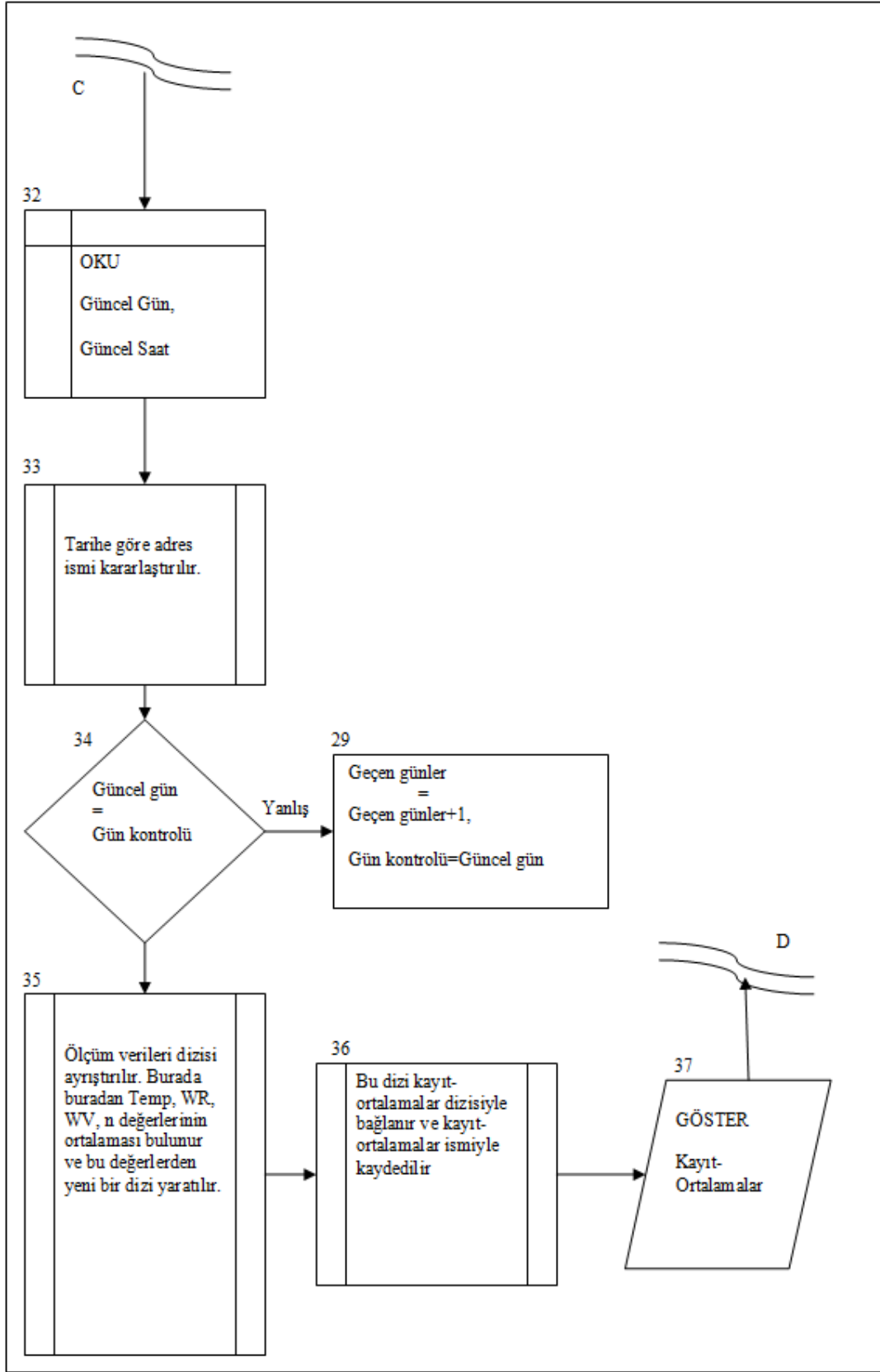
Şekil 3.37. Yazılan programın akış diyagramının ilk parçası



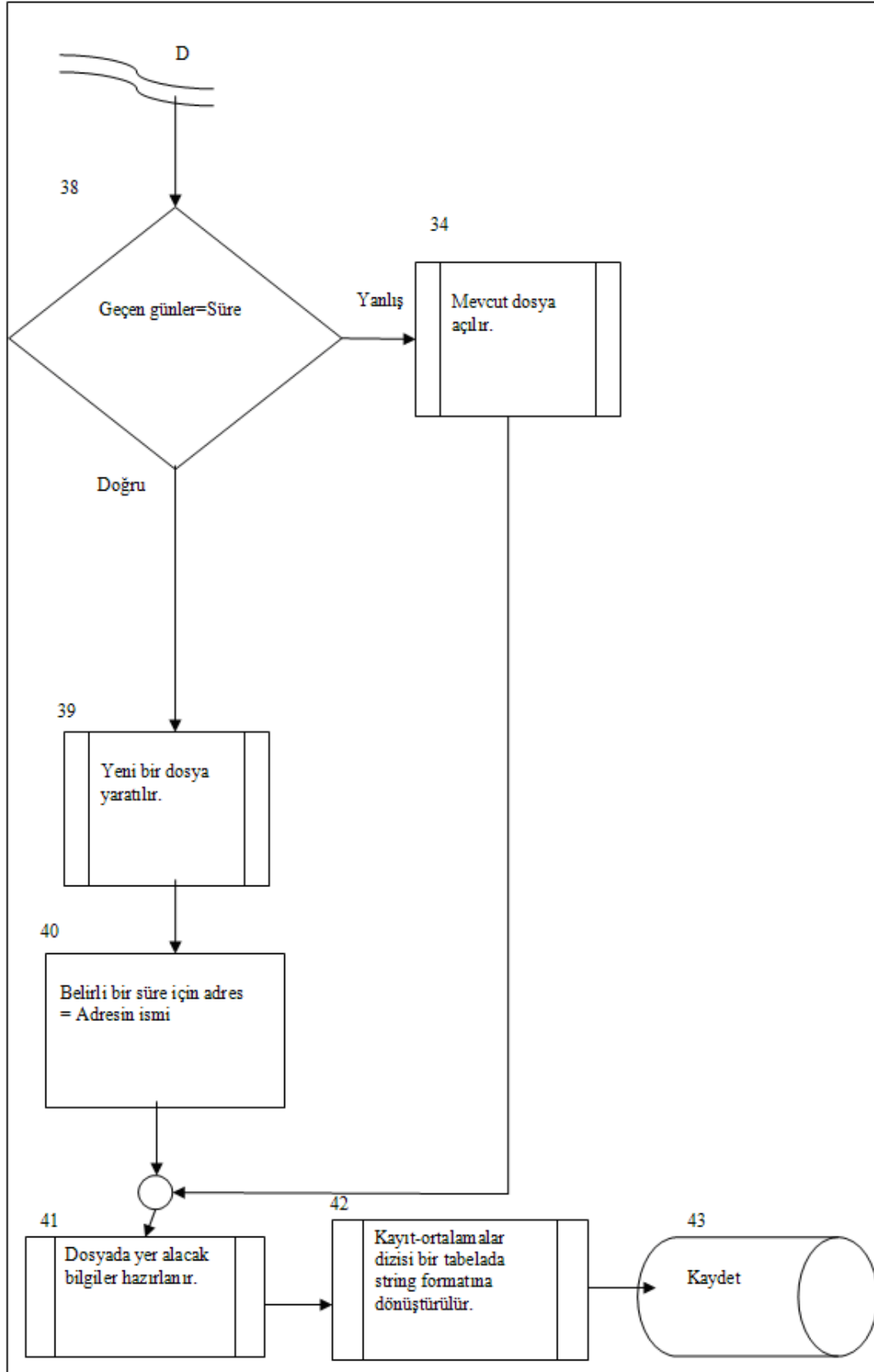
Şekil 3.38. Yazılan programın akış diyagramının ikinci parçası



Şekil 3.39. Yazılan programın akış diyagramının üçüncü parçası



Şekil 3.40. Yazılan programın akış diyagramının dördüncü parçası



Şekil 3.41. Yazılan programın akış diyagramının beşinci parçası

3.4.3. Verileri internete aktarma

Ölçülen verileri internete vermek amacıyla Siegen Üniversitesi'nin Enformasyon ve Medya Teknolojileri Merkezi'nin (ZIMT) iletişim ağında bize bir yer tahsis edilmiştir. Söz konusu yerin adresi “\\nas.uni-siegen.de\FB11-MWM”dir. Burada biz yazıcı ve Siegen Üniversitesi'nin diğer bütün öğrencileri ise okuyucu olarak tanımlanmıştır. Öğrenciler kendi evlerinden Vpn Client programını kullanmak üzere bizim sayfamıza ulaşabileceklerdir. Verilerin internete gönderimi ise oldukça kolaydır. Sadece iletişim ağı üzerine açılmış bir klasörü programda dosyaların oluşturma adresi olarak vermek suretiyle bu problem çözülmüş olur. Yani iletişim ağı normal bir sabit disk olarak kullanılabilir.

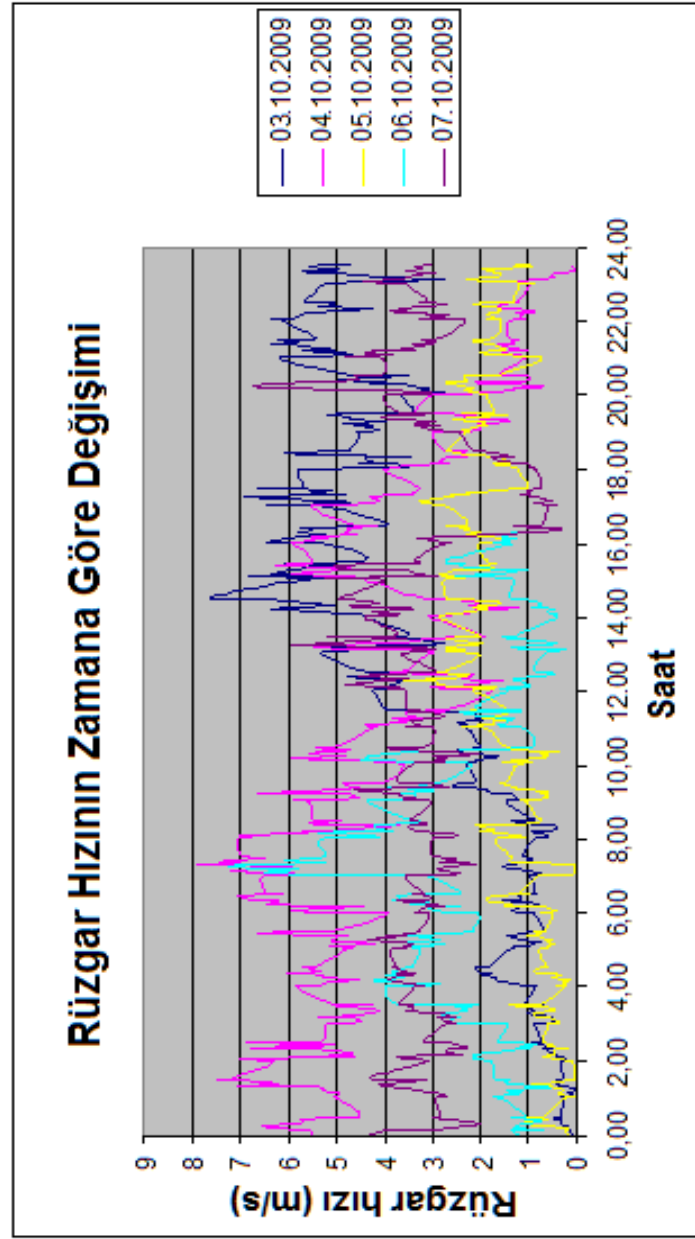
4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI

Aşağıda alınan beş günlük sonuçlar grafiklerle yansıtılmış ve yorumlanmıştır. Rüzgar yönü ve hızı eski istatistiklere göre karşılaştırılmış ve aradaki fark irdelenmiştir

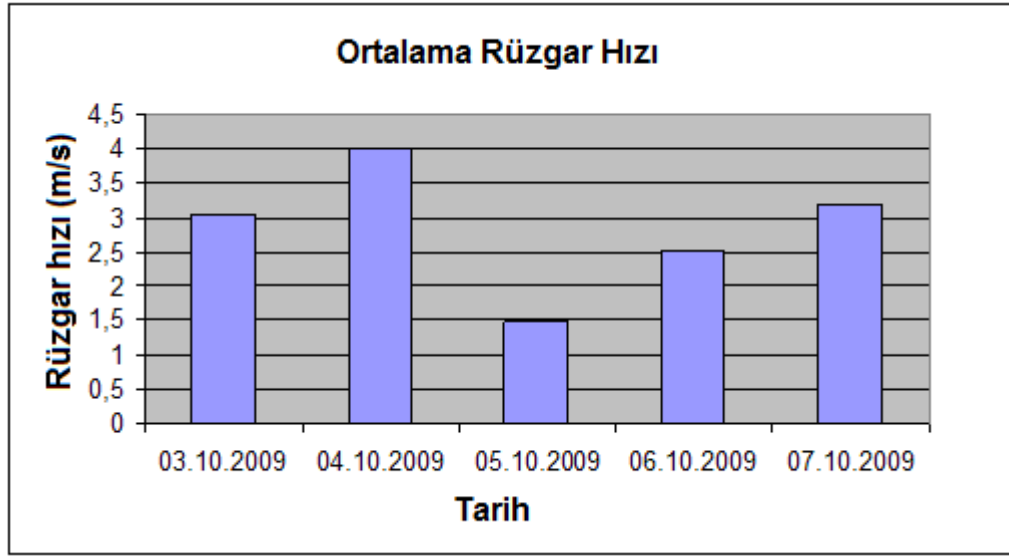
4.1. Elde Edilen Verilerin İncelenmesi

Yapılan bu ölçümlerin ortaya koyduğu üzere Siegen’de rüzgar hızının günlük olarak belirli, karakteristik bir değişimi yoktur (bkz. Şekil 3.42). Her ölçüm gününde rüzgar hızları farklı bir dalgalanma izlemişlerdir.

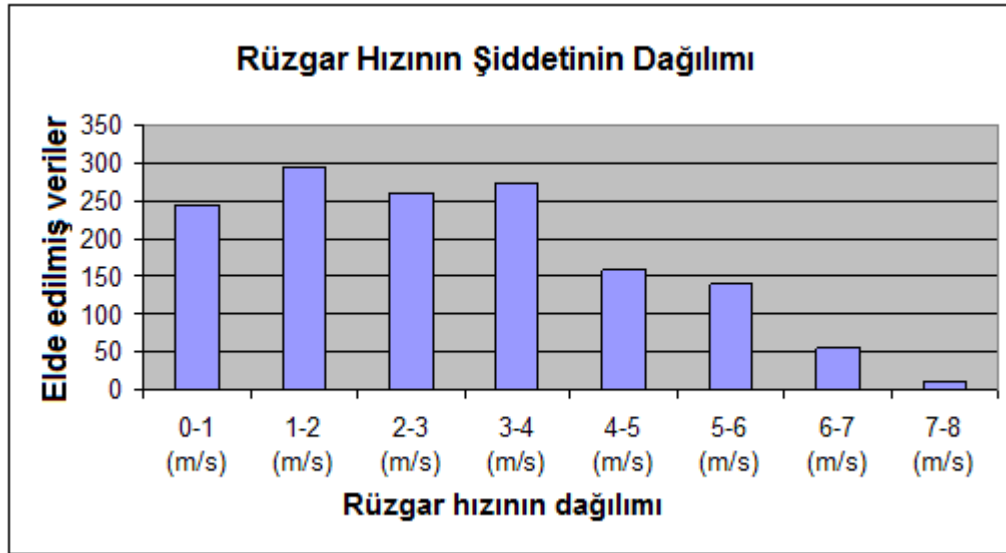
Türbin kanatlar her ne kadar 4 m/s’lik bir rüzgar hızı için tasarlanmış olsa da verilerin sadece %25.43’ü 4m/s’lik hıza ulaşmış ve aşmıştır. 11/2001 ve 9/2009 arasında ölçülen Siegen şehrinin rüzgâr hızı istatistiklerine göre (bkz. Resim. 3.47) ekim için ortalama rüzgar hızı değeri 10 knottur. 10 knot yaklaşık olarak 5,15 m/s’lik bir hıza tekabül etmektedir ki, bu bizim ölçtüğümüz 2.85 m/s’lik ortalamaya göre bir hayli fazladır. Bizim ölçümlerimizdeki hakim rüzgar yönü kuzey batı ve güney batı olmuştur. Bu iki yön hemen hemen aynı sıklıkta gözlenmiştir (bkz. Şekil 3.48). Siegen şehrinin rüzgar istatistiklerine göre ekim ayında hakim rüzgar yönü kuzey batıdır (bkz. Şekil 3.46). Yine bizim ölçümlerimizdeki ortalama sıcaklık 12,18°C derecedir ve 21,75°C ile 3,22°C arasında salınım yapmaktadır (Şekil 3.49).



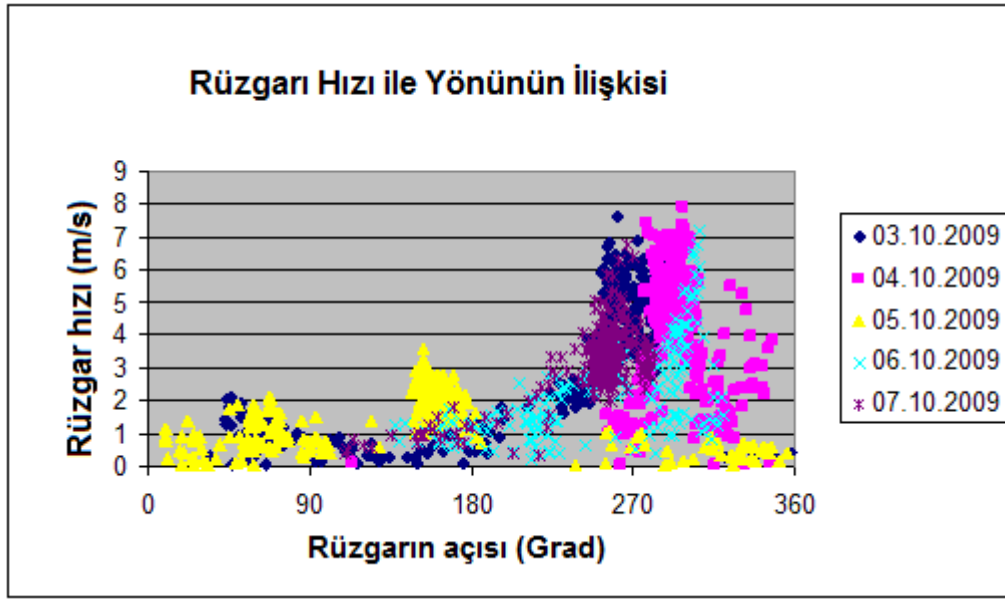
Şekil 3.42. Rüzgar hızının zamana göre değişimi



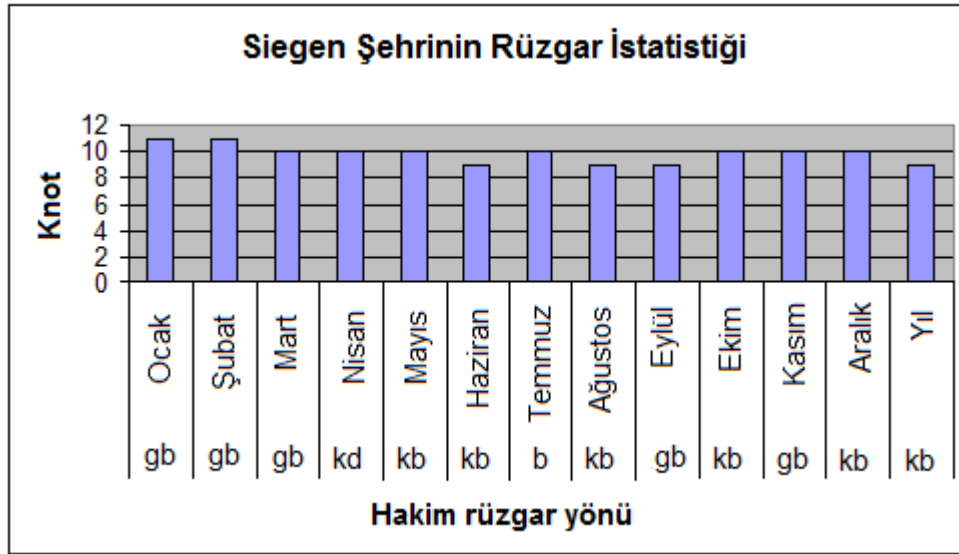
Şekil 3.43. Günlere göre ortalama rüzgar hızı



Şekil 3.44. Rüzgâr hızı şiddetinin ölçülen zaman aralığındaki dağılımı

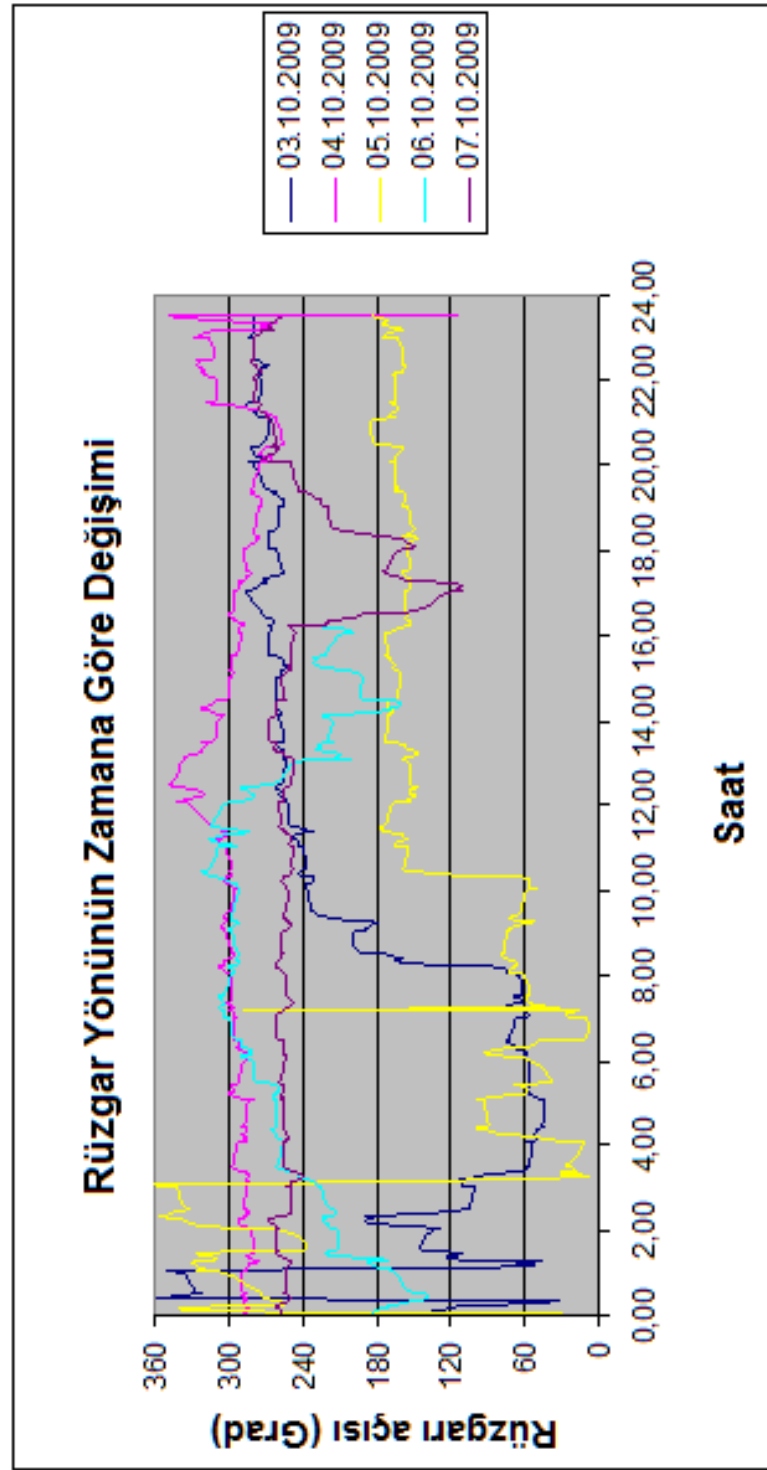


Şekil 3.45. Rüzgar hızı ile yönünün ilişkisi

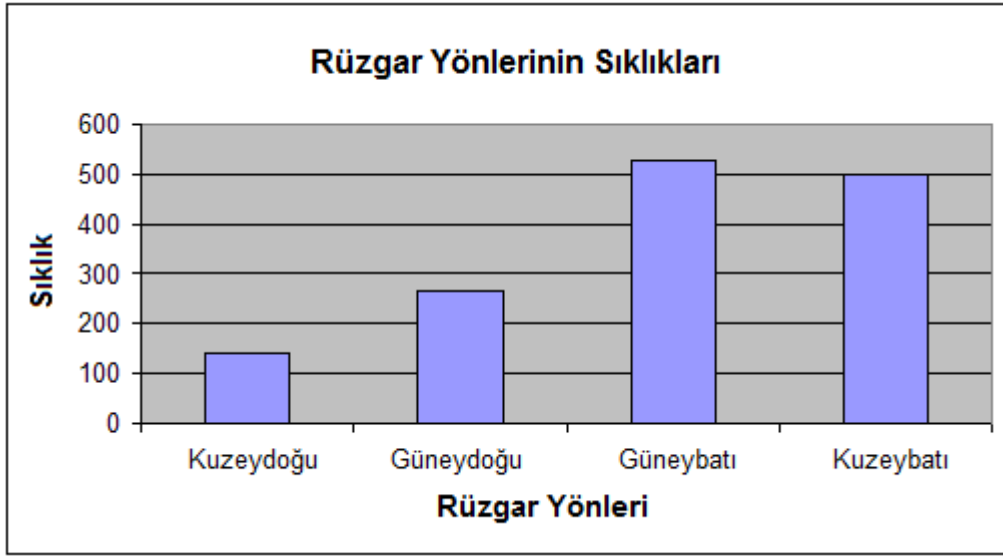


Şekil 3.46. Siegen şehrinin 11/2001 – 9/2009 tarihleri arasında günlük 7:00 ile 19:00 saatleri arasında ölçülen rüzgar istatistiği.

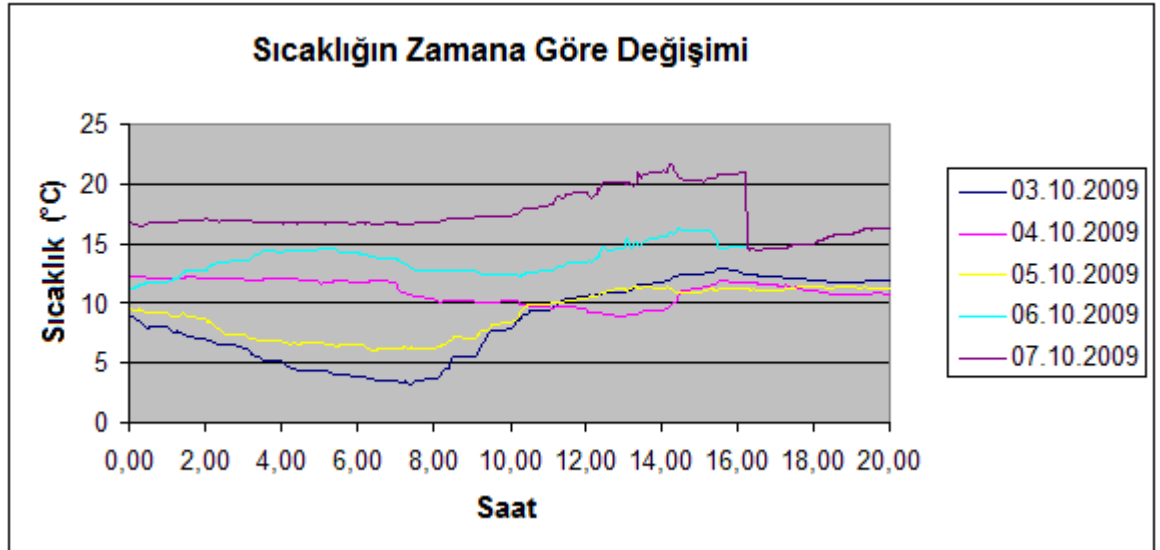
KAYNAK: http://de.windfinder.com/windstats/windstatistic_siegen.htm, 2009



Şekil 3.47. Rüzgar Yönünün Zamana Göre Değişimi



Şekil 3.48. Rüzgâr yönlerinin sıklıkları



Şekil 3.49. Sıcaklığın zamana göre değişimi

4.2. Sonuç ve Öneriler

Bu proje kapsamında meteorolojik verilerin ve devir sayısını ölçebilmek için LabView programlama diliyle bir program yazılmıştır. Meteorolojik verilerin elde edilmesin hiçbir problem çıkmamış fakat rüzgâr türbinin inşaatın gecikmesi yüzünden devir sayısını ölçmekte muvaffak olunamamıştır. “Windboy” isimli inverter ile kullandığımız bilgisayar arasındaki RS232 bağlantısında da sorun çıkmıştır. Bu yüzden elektriksel güç ölçülememiştir. Belki de elektriksel gücün ölçümünde Sunny Data

programını kullanmanın yerine başka bir alternatif bulunmalıdır. Benim düşünceme göre Sunny Data'yı kullandığımız takdirde dokümantasyonda sorun yaşanacaktır. Çünkü durağan halde inverter ile bilgisayar arasındaki bağlantı kopabilir.

Aynı zamanda rüzgar hızının ölçülebilmesine rağmen, türbinin devir sayısını elde etmek için kullanılacak trafonun yapımının tamamlanmamış olması neticesiyle rüzgar türbini için elde edilecek en önemli performans verisi olacak uç hız oranı hesaplanamamaktadır.

Daha ortalama meteorolojik değerler elde edebilmek için elbette ki daha uzun ölçümler yapılmalıdır. Bizim verilerimiz çok kısa bir zaman zarfında elde edilmiştir ve hava karakteristiğini gösterecek mahiyette değildir.

Bundan sonraki çalışmalarda bu projede sunulan metotlarla ya da başka şekillerde elektriksel güç ve devir sayısı tespit edilmelidir. Ancak bu sayede elektriksel güç ile devir sayısı değişimi, uç hız oranı değişimleriyle elektriksel güç eldesi arasındaki ilişki tespit edilebilecektir.

KAYNAKLAR

HEIER, S. 2003. Windkraftanlagen- Systemauslegung, Netzintegration und Regelung. Teubner Verlag, Wiesbaden. 441 p.

HAU, E. 2008. Windkraftanlagen- Grundlagen, Technik, Einsatz, Wirtschaftlichkeit, Springer Verlag, Heidelberg. p.79-106.

BITTERLE, D. 1993. Messdatenerfassung ve –verarbeitung mit dem PC, Franzis Verlag, Ebersberg. 272 p.

GASH, R. 2009. Windkraftanlagen: Grundlagen, Entwurf, Planung und Betrieb, Vieweg+Teubner Verlag, Wiesbaden. p.191-201.

JAMAL, R. 2004. Labview für Studenten, Pearson Studium, München. 576 p.

NAHRSTEDT, H. 2009. Excel+VBA für Maschinenbauer –Programmieren erlernen und Problemstellungen lösen, Vieweg+Teubner Verlag, Wiesbaden. p.25-26.

GEORGI, W. 2008. Einführung in Labview, Hanser Verlag, München. p.314-315.

BÖSWIRTH, L. 2007. Technische Strömungslehre, Springer Verlag, Heidelberg. p.77-79.

SUREK, D. 2007. Angewandte Strömungsmechanik, Teubner Verlag, Wiesbaden. p.391-392

EHRMANNTRAUT, K. 2008. Konzeption und Aufbau einer kleinen Windturbine, Bachelor Arbeit, Universitaet Siegen. p.1-61.

http://de.windfinder.com/windstats/windstatistic_siegen.html, Eriřim Tarihi: 10.10.2009. Konu: Siegen şehrinin rüzgar istatistikleri.

<http://www.wind-energie.de>, Eriřim Tarihi: 01.06. 2010. Konu: Rüzgar türbinleri hakkında genel bilgiler.

EKLER

Ek 1. Veri Yakalama Sistemleri Hakkında Genel Bilgiler

Endüstriyel ölçüm tekniği büyük bir değişim içerindedir. Bilgisayarlar ölçüm teknolojilerine tamamen yeni seçenekler açmıştır. Kişisel bilgisayarların hızlı bir şekilde yayılmalarının temel nedenleri sürekli gelişen hesaplama yetenekleri, büyüyen hafıza kapasiteleri, devamlı kolaylaşan kullanımları ve çok büyük fiyat düşümleridir.

Ölçüm verileri elde edilmesi ve kullanılmasında da kişisel bilgisayardan artan bir oranda faydalanılacaktır. Kişisel bilgisayarların çok çeşitli kullanımları ve genişletme kartlarının yaygınlaşması kullanıcılara neredeyse sınırsız seçenekler sunmaktadır. Hiçbir başka ölçüm enstrümanı bu kadar çok pratik çözüm varyasyonları içermemektedir. Veri elde etme, kaydetme, sonradan üzerinde çalışma, dokümantasyon, analiz ve süreçlerin değerlendirilmesi aynı kişisel bilgisayarda yapılabilmektedir.

Ama bilgisayarı kullanmaktaki ön koşul her zaman için çok iyi bir yazılımdır. Son yıllarda ölçüm verileri elde etme ve bu verilerle çalışmak için kullanılan standart yazılımların gelişiminde hızlı bir ilerleme gerçekleştirmiştir. Örnek olarak piyasadaki yazılım paketleriyle kullanıcı ölçüm programını grafik ve nesne tabanlı kullanıcı arayüzleriyle kullanabiliyor. Bu şekildeki bir derleyici grafik tabanlı bir ölçüm sürecinden farenin tek bir tıklayışıyla fevkalade verimli bir program yaratıyor. Kullanıcı bir programlama dilinde detaylı bilgiye sahip olmadan kendisinden talep edilen ölçüm prosesini tertip edebilir (Bitterle, 1993).

1. Veri Yakalama Tasarımları

Endüstrideki ölçüm ve kontrol uygulamalarında kişisel bilgisayarlar tabanlı sistemler günden güne ilgi odağı olmaya başlamışlardır. Temel fikir bilgisayarın yüksek hesaplama kapasitesiyle gelişmiş modern yazılım paketlerini ölçüm işlemleri için birleştirmek ve böylece çok çeşitli hizmetlerden faydalanabilmektir. Ayrıca kişisel bilgisayarlar için geliştiren üç farklı ölçüm aletinin seçilmesi gerekmektedir (Bitterle, 1993).

1.1 Genişleme Kartı Olarak PC-Ölçüm Aletleri

Kişisel bilgisayarların boş bir yuvasına yerleştirilen genişleme kartları ölçüm dataları elde edilmesindeki en ucuz metottur. Laboratuvar ve sanayi uygulamaları için çok çeşitli çözüm yöntemleri sunmaktadırlar. Elektronik teknolojisinde sürekli vuku

bulan gelişmelerden genişleme kartları da nasibini almaktadırlar. Eğilim açıkça çok fonksiyonlu kartlara kaymaktadır. Bu kartlar sahip oldukları esneklikten ötürü popüler olmuşlardır ve değişik ölçüm işlemlerinde kullanılabilmektedirler. Böyle bir kartın üzerinde bundan başka birçok dijital ve analog giriş ve çıkışları ile timer (zamanlayıcı) modülleri bulunmaktaydı. Şu da saklanamaz bir gerçektir ki, birçok kullanıcı kişisel bilgisayarını açmaktan ve bu genişleme parçalarını takmaktan kaçınmaya çalışmışlardır.

Aşağıda farklı üretim biçimlerinin avantajları sunulmuştur (Bitterle, 1993).

1.2. Harici Kasalardaki PC-Ölçüm Aletleri

Bu modelde az miktardaki genişletilebilme dezavantajı büyük ölçüde bertaraf edilmiştir. Harici bir kasa içerisine birçok yapı bileşenleri monte edilebilmektedir. Pek tabii ki bu durumda bu harici kasaya ayrıca elektrik bağlantısı sağlanmalıdır. Bu yüzden fiyat-performans oranı genişleme kartlarına göre kötüleşir.

Eklenti kartlarıyla harici kasalarda oluşturulan yapılarla çok büyük ve geniş kapsamlı sistemler (birçok çıkış kanalları ve ölçüm fonksiyonları) gerçekleştirilebilir.

Dezavantajı ise, eklenti kartlarının sınırlı ürün çeşitliliği nedeniyle genişleme kartlarına göre daha pahalı olmasıdır.

1.3. Ayır Muhafazalardaki PC-Ölçüm Aletleri

Diğer bir alternatif ise ölçüm aygıtlarını kendisine ayrıca elektrik sağlanan ayrı bir muhafazaya yerleştirilmesidir. Ölçüm aygıtları elle kontrol edilebilen herhangi bir düğmeye ya da şaltere sahip değildir. Yalnızca sinyal giriş ve çıkışları için bağlantı yerleri mevcuttur. Aletlerin aralarındaki bağlantısı dünya çapında kullanılmakta olan IEC-veriyolu ile sağlanır. Bu şekilde kolayca genişletilip geliştirilebilen bir sistem elde edilmiş olur. Böylece iki veya daha çok baskılı devre kartı üzerinde ölçüm fonksiyonları gerçekleştirilebilir. Otomatik ölçüm ortamları, ayrı bir muhafazadaki PC-ölçüm aletleri ile laboratuvar, üretim ve kalite kontrol için düzenlenebilmektedir (Bitterle, 1993).

2. Ölçüm Tekniğinde Kullanılan Arabirimler

Dışarıdaki bir ölçüm aletinden bilgisayara veri gönderilmek (ya da tam tersi) isteniyorsa arabirimlere ihtiyaç duyulur. Bu arabirim üzerinden bilgisayar ile ölçüm aleti arasındaki iletişimin tamamı vuku bulur. Bilgisayardan ölçüm aletine veriler gönderilecekse bunun için donanım üzerinde bazı ayarlamalar yapılmalıdır. Çok kanallı bir ölçüm sisteminde örnek olarak analog değerleri okunmak zorunda olan aktif kanal tespit edilir. Özel ve yüksek bütünlük arabirim yapı taşları bilgisayar tarafından programlanmalıdırlar. Bilgisayarın ölçüm aletinden okuduğu veriler, öncelikle dijitalize edilmiş ölçüm verileri ile durum bitleridir.

Arabirim kullanımda ilk başta veri transferinin paralel mi yoksa seri mi yapılacağı seçilir. Paralel arabirimlerde veri bitleri eşzamanlı olarak transfer edilir. Bu yüzden veri transferi hızlı bir şekilde yapılabilir. Her bir veri biti iletim için bir hatta ihtiyaç duyar. En çok bilinen paralel arabirim yazıcı arabirimidir. Burada yazıcıya aynı anda sekiz veri biti ulaşır D0...D7.

Ölçümlerde sıkça verilerin uzak mesafelerce taşınması gerekir. Böyle bir durumda paralel arabirimlerden söz edilemez. Çünkü gerekli uzunluktaki bir kablo çok pahalı olur. Bunun dışında böyle bir kablonun elektriksel özellikleri büyük mesafeler için uygun değildir. Bu tip durumlarda seri arabirimler kullanılır.

Seri arabirimlerde kablodan veri transferi sıra halinde bit bit gerçekleşir. En yaygın kullanılan seri arabirim RS232 ya da diğer ismiyle V24 arabirimidir. Ölçüm tekniğindeki bu ve özel arabirimler, mesela IEC veri yolu arabirimi ileride detaylı olarak açıklanmıştır (Bitterle, 1993).

2.1. RS 232-Arabirimi

En yaygın kullanılan arabirim RS 232 arabirimidir (Amerikan normunda) ve Almanya'da V.24 arabirimi olarak tanınmaktadır. Burada veri transferi seri yani, iletim hattında veri bitlerinin birbiri ardınca yollanmasıyla gerçekleşir. Bu veri transferi şekli her şeyden önce büyük mesafeler için çok uygundur. Bunun nedeni paralel arabirimlere nazaran daha dayanıklı oluşlarıdır.

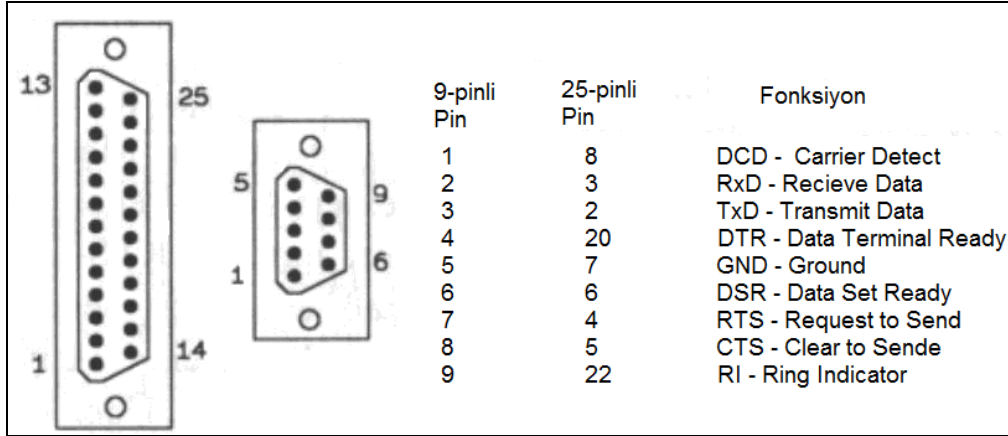
RS 232 arabirimi bir veri yolu sistemi değildir. Sadece iki aletin birbiriyle haberleşebilmesine izin veren direk bir bağlantı kurar. Üçüncü bir katılımcı bu iletişim bağlantısına iştirak edemez.

Seri arabirimlerin ilk kullanımı modemlerin bilgisayar bağlantısında yatmaktadır. Terminolojide RS 232 ile birbirine bağlı iki iletişim sistemi veri uçbirim donatımı (Data Terminal Equipment, DTE) olarak adlandırılır. Buna bir örnek bir bilgisayar ve modemin kastedildiği veri iletişim donatımıdır (Data Communication Equipment, DCE).

Bilgisayar, telefon hattından başka bir modemle ve dolayısıyla başka bir bilgisayarla bağlantıda olan bir modeme veri gönderip ondan veri alır. Bu şekilde ikinci bilgisayar karşısındakinin ne demek istediğini anlar. Tabii ki transfer formatı üzerinde kesinlikle bir anlaşmanın var olması gerekmektedir.

Günümüzde çok az modem ölçüm aygıtı veya yazıcı olarak bağlanılmaktadır. Bu aletler DTE (veri uçbirim donatımı) olarak sınıflandırılır. Eğer böyle bir alet bir bilgisayarla bağlandıysa bu DTE-DTE-Bağlantısı olarak isimlendirilir.

Bir RS 232 arabiriminin konektörü aşağıdaki Şekil 1'de görülmektedir.



Şekil 1. RS 232-Konektöründe pinlerin dağılımı

KAYNAK: BITTERLE, Messdatenerfassung ve –verarbeitung mit dem PC 1993

İlki 25 pinli ve ikincisi 9 pinli D-Sub (tam adı D-Subminiatur) fişi olmak üzere iki fiş tipi bulunmaktadır. İletişim için gerekli sinyaller Tablo 1’de açıklanmıştır.

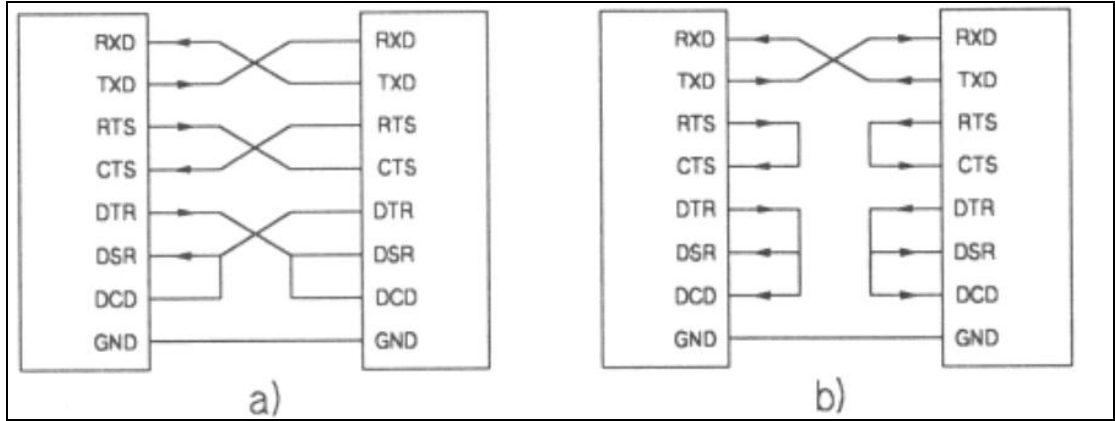
Tablo 1. RS 232 bağlantısındaki sinyallerin anlamları

TXD-Transmit Data	Veri Gönder
RXD-Receive Data	Veri al
RTS-Request to Send	DTE sinyal verir: “Veri gönderebilirsin”
CTS-Clear to Send	DCE sinyal verir: “Veri yollamaya hazırım”
DTR-Data Terminal Ready	DTE sinyal verir: “Veri transferine hazırım”
DSR-Data Set Ready	DCE sinyal verir: “Veri transferine hazırım”

KAYNAK: BITTERLE, Messdatenerfassung ve –verarbeitung mit dem PC 1993

Aşağıda bir bilgisayarın RS 232 arabirimi ile bir ölçüm aletiyle nasıl haberleşeceği anlatılmıştır.

Bilgisayar DTR hattını aktive ediyor. Bu sayede ölçü aletine veri transferine hazır olduğuna dair sinyal gönderiyor. Ölçü aleti bu sinyali ölçer ve 1 bitle karşılık verir. Şimdi bilgisayar RTS hattını aktive ederek verileri gönderebileceğini bildirir. Ölçü aleti ise bilgisayara aktif bir CTS hattıyla veri aktarımına hazır olduğunu haber verir. En sonunda TXD hattı üzerinden bilgisayara olan veri aktarımı gerçekleştirilir.



Şekil 2. İki veri uç birim donatımının bağlantısı

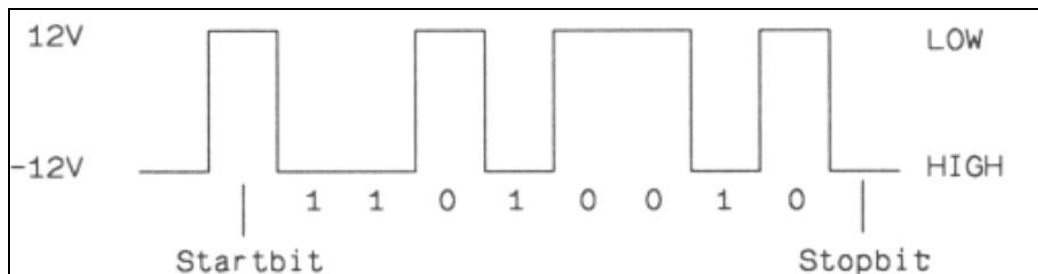
KAYNAK: BITTERLE, Messdatenerfassung ve –verarbeitung mit dem PC 1993

İki veri uç birim donatımının bağlantısı farklı şekilde cereyan eder. Şekil 2'nin 'a' şikkında çiftleri RXD/TXD, CTS/RTS ve DSR/DTR çaprazlama bağlanmıştır.

Bu bağlantı kukla modem (null modem) olarak isimlendirilir. Diğer bir bağlantı Şekil 2'nin 'b' şikkında gösterilmiştir. Burada veri transferi için hiçbir kontrol hattı kullanılmamaktadır. İki DTE aletini birbirine bağlamak için sadece üç hat yetmektedir. Göndericiyi kapatıp açmak için ASCII (American Standart Code for Information Interchange-Bilgi Alışverişi İçin Standart Amerikan Kodu) işaretleri kullanılır. Bu süreç XON/XOFF- Protokolü diye adlandırılır.

Veri aktarımı sırasında ver bitleri seri yani başka bir deyişle bit bit olarak, TXD ya da RXD hattından taşınır. Veri hattındaki gerilimi düzeyi -3V ve 15V arası için yüksek (high) gerilim ve alçak (low) gerilim ise 3V ve 15V arasındadır. Şekil 3'de RS 232 arabirimi üzerindeki tipik bir veri akımını gösterilmektedir. Serbest vaziyette TXD hattında yüksek (high) gerilim bulunmaktadır (yaklaşık -12V). Bir başlangıç biti (Startbit) veri aktarımını iletir. Buna bağlı olarak veri bitleri ilk olarak gönderilmiş olur. Veri bitlerinin sayısı beş ve sekiz arasında değişmektedir. Veri paketinin bitiminden önce dur biti (Stopbit) sinyali yollanmadan, ek olarak hata kontrolü için bir eşlik biti (parity bit) gönderilir.

Veri akımının hızı bit/s veya baud olarak verilmiştir (Bitterle, 1993).



Şekil 3. RS 232-Arabiriminde veri akışı

KAYNAK: BITTERLE, Messdatenerfassung ve –verarbeitung mit dem PC 1993

2.2. RS 422-Arabirimi

RS 422 arabirimi temelde iyileştirilmiş bir RS 232 arabiriminden başka bir şey değildir. Düşük veri aktarım hızı ve sınırlı hat uzunluğu gibi dezavantajlar geniş ölçüde giderilmiştir. RS 232 arabirimi en azından daha fazla Mbit/s veri aktarım oranına olanak tanır. RS 232 arabiriminde kullanılan alışlagelmiş yükseltici (line driver) mesela MAX232, RS 422’de kullanılmaz. Aynı zamanda veri transferi biçimi de değiştirilmiştir. Veriler önceki gibi seri iletilmesine rağmen topraklanmış sinyal seviyesiyle iletilmez. Mantık düzeyinin sınıflandırılması farksal voltaja göre cereyan eder. RS 422 arabiriminin yükselticileri ikişer bükümlü kablo (twisted pair) üzerinden aktarılan 5 V’luk bir gerilim farkı üretir. Alıcıdaki yükseltici ise bu gerilim farkını ölçerek yüksek (high) mi yoksa alçak (low) mı olduğuna karar verir.

Böyle bir arabirimle 1200 metrelik mesafeye kadar veri transferi mümkündür. Bunun sebebi hat üzerinde oluşan rahatsızlıkların, hem ters hem de ters olmayan sinyal yollarına indükleyici etki etmesidir. Bunun için gerekli olan şart ise ikili bükümlü kablo kullanmaktır. Fiziksel birimler (konektör, pin şeması) RS 422 standardında tespit edilmemişlerdir (Bitterle, 1993).

2.3. RS 485-Arabirimi

RS 485 arabiriminde 422 standardının geliştirilmesi söz konusudur. Aynı iletim mesafesinde ve transfer hızında iki daha çok katılımcının (en çok 32) bağlanması mümkündür. RS 485 arabirimi esasen bir veri yolu olarak nitelendirilebilir. Çünkü bir RS 485 bağlantısında olan katılımcı sayısı, tek bir katılımcının üç durum (three state) elemanının yeteneği sayesinde iki ile sınırlı değildir (örneğin RS 232 arabiriminde olduğu gibi).

Logic 1 durumu burada aynen RS 422’deki gibi 1,5...-6 V ve logic 0 ise +1.5...+6 V gerilim aralığında gerçekleşir. RS 485 arayüzü yükselticisi RS 422’de olduğu gibi iki tel üzerinde 5 V’luk bir diferansiyel gerilim üretir (Bitterle, 1993).

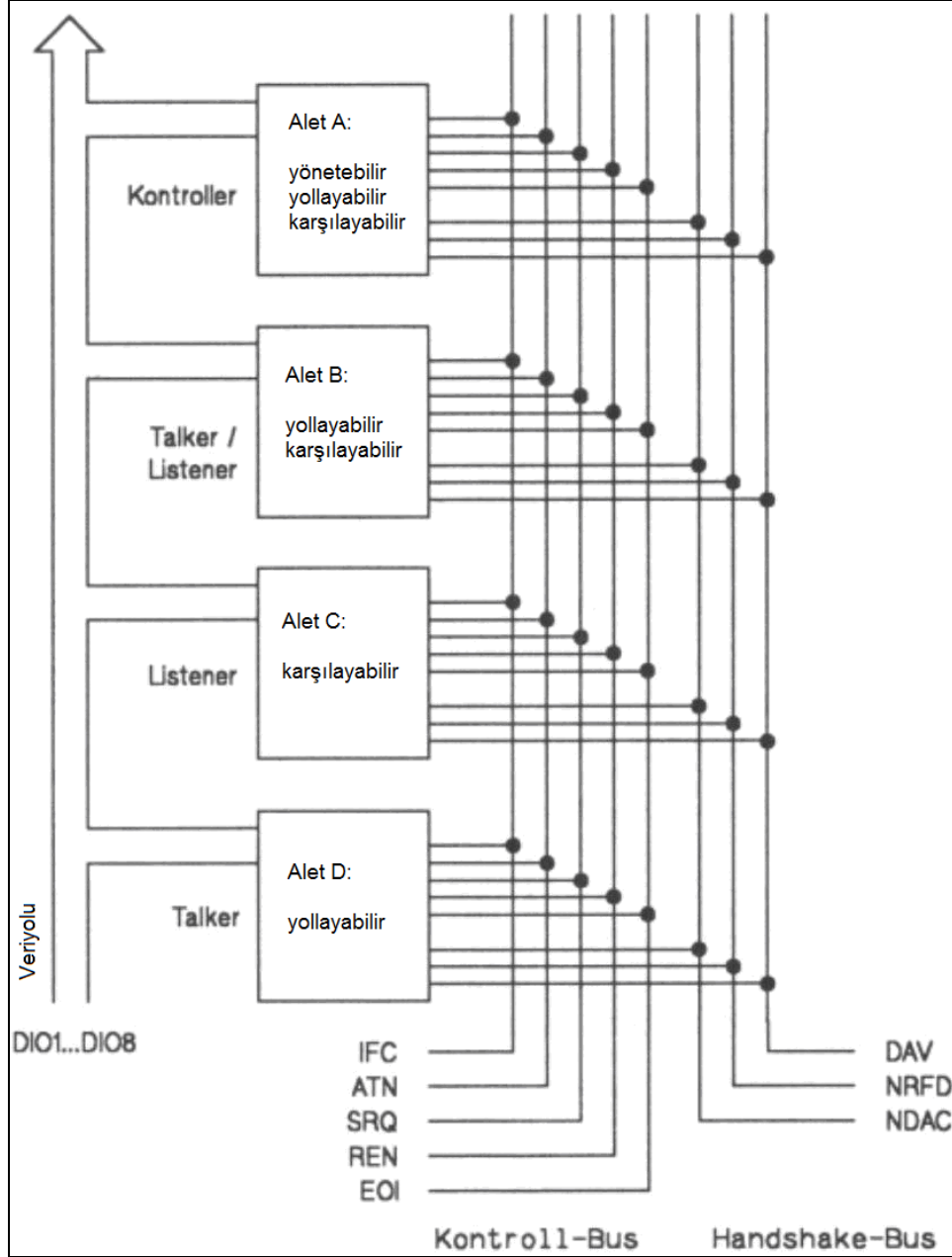
2.4. IEC-Veriyolu

IEC veriyolu Hawlett Packard firması tarafından geliştirilmiş ve 1975 yılında ABD’de tanıtılmıştır. Buradan Amerikan IEEE-488 normu gelişmiştir. Avrupa’da ise karşılığı IEC-625 normudur.

IEC veriyolu başlıca birçok aletin bu veriyolu ile donatıldığı ölçüm ve kontrol mühendisliğinde kullanım bulur. Avantajları besbelli ortadadır. Farklı imalatçıların ürünü olan aletler istenildiği gibi birbirlerine bağlanabilirler. Veri aktarım hızını kendisini en yavaş katılımcıya göre ayarlayacağından, farklı aktarım hızlarına sahip birçok alet veriyolu trafiğine katılabilir.

IEC veriyolu konsepti en fazla 15 aletin birbiriyle bağlanmasına izin vermektedir. Veri yoluna dahil olan aletler yer aldıkları göreve göre üç gruba ayrılırlar. Şekil 4’de de

görüldüğü gibi bilgiyi veriyolu üzerinden yollayanlar "Talker", bilgiyi alanlar "Listener" ve veriyolundaki aktivitelerin koordinasyonunu üstlenen aletler ise "Kontroller" olarak isimlendirilir (Bitterle, 1993).



Şekil 4. IEC-Veriyolunun Oluşumu

KAYNAK: BITTERLE, Messdatenerfassung ve -verarbeitung mit dem PC 1993

Tablo 2. IEC veriyolu parçalarının açıklaması /3/.

Veri yolu	Veri iletimi hattı, her birinden bir byte'ın bit-paralel bir biçimde taşındığı sekiz hattan meydana gelir. Veri iletim hattı çift yönlü tasarlanmıştır. Veri iletim hatları genelde DIO1- DIO2...- DIO8 (Data Input Output – Veri Giriş Çıkış) şeklinde gösterilirler.
Kontrollbus	IFC (Interface Clear): IFC'nin aktive olmasıyla bütün aletlerin fonksiyonları belirlenmiş ilk duruma geri döndürülür.
	ATN (Attention): ATN, verilerin veri iletim hattında mı (ATN=High) yoksa kontrol verilerinin bağlı bir alete mi gönderildiği (ATN=Low) hususunda karar vermeye yarar.
	SRQ (Service Request): Bu ara (kesinti) hattıyla bağlı bir alet kontrollerden (kontrolör) bir hizmet talebinde bulunur. Hangi aletin hizmet talebinde bulunduğu seri ve paralel araştırmalarla ortaya çıkarılmalıdır.
	REN (Remote Enable): Remote Enable kontroller aracılığıyla bağlı aleti uzaktan kumanda edebilmeye olanak tanır.
Handshakebus	EOI (End Or Identify): Bu sinyalin iki fonksiyonu vardır ve ATN sinyali ile bağlantılıdır. Veri transfer biriminde (ATN=High) bu sinyal bir veri transferinin son byte'ında gönderilir. Arabirim bilgilerinin (ATN=Low) transferi sırasında EOI sinyalini bağlı aletlerde bir paralel sorgulama başlatır.
	DAV (Data Valid): DAV, veri iletim yolunda geçerli bir byte'ın olduğunu ve alınabileceğini belirtir.
	NRFD (Not Ready For Data): Veri transferi en başta bütün bağlı aletlerin veri alabileceklerine dair sinyal göndermeleri ile başlar. Bu iletimle en yavaş alet beklenir.
	NDAC (Not Data Accepted): İlk önce bütün aletler verilerin alınmış olduğuna dair sinyal gönderdilerse, yeni bir byte gönderilebilir

KAYNAK: BITTERLE, Messdatenerfassung ve –verarbeitung mit dem PC 1993

Veriyolu, sekizi veri iletimi, beşi kontrol veriyolu ve üçü tokalaşma (handshake) hattı olmak üzere toplam 16 hattan meydana gelmektedir. Bütün veriyolu sinyalleri TTL (Transistör Transistör Lojik) seviyesine ve aktif mantık seviyesi olarak da düşük mantığa (low logic) sahiptir (Bitterle, 1993).

3. Bir Veri Yakalama Sisteminin Yapısı

Ölçüm verilerini elde etmek ve bunlarla çalışmak bilgisayarla hiç de zor değildir. Bu bölümde bir bilgisayar veri yakalama genişleme kartının alınması ya da yapılmasında dikkat edilmesi gereken sınır şartları üzerine bir genel bakış sunulacaktır. Veri elde etmek için bir genişleme kartı ararken tekliflerden neredeyse ölebilir. Kataloglarda kartlar her bir şeyi yapabilmektedirler. Ama acaba neden büyük bir fiyat farkı var? Bir AD/DA kartı 75 avrodan 1500 avroya kadar çıkabilmektedir.

Bir PC genişleme kartının dijital kısmı az ve ucuz yapı elemanlarıyla gerçekleştirilebilir. Fiyat farkından temelde diğer yapı elemanları sorumludur.

Pratikte bir veri elde etme sisteminin analog parçaları kaliteyi belirler. Kısacası: 12 bitlik bir AD/DA kartıyla 12 bitlik başka bir AD/DA kartı aynı değildir. Kataloglarda aynı gösterilen bu 12 bitlik AD/DA kartları mesela sekiz giriş ve sekiz çıkışla taban tabana zıt yapılmış olabilirler (Bitterle, 1993).

3.1. Bir AD/DA-Dönüştürücüsünün Bit Genişliği ve Bütün Sistemin Doğruluğu

Analog parçaların boyutlandırılmasında önemli olan yükseltici üzerindeki sensordan A/D dönüştürücüsüne kadar bütün yapı elemanlarının talep edilen doğruluğu gösterebilmesidir. Bu kesinlikle örnek olarak LM 324 12 bitlik bir sistemde aranmamalıdır. Tablo 3' de talep edilen doğruluğun sistem boyunca anlaşılabilmesi için bir LSB'nin (en önemsiz bit) voltaj salınımı (voltage level difference), 0'dan 10 volta kadarlık bir ölçüm alanı için verilmiştir.

Tablo 3. Bir LSB'nin gerilim değişimlerine göre sistem talebinin doğruluğu

Sistemin talep edilen doğruluğu	Nicemleme Basamakları	1 LSB % olarak (yuvarlatılmış)	10V'luk bir sinyal seviyesi dalgalanmasında 1 LSB
8 Bit	256	0,4 %	39 mV
10 Bit	1024	0,1%	9,7 mV
12 Bit	4096	0,024%	2,4 mV
14 Bit	16384	0,006%	0,61 mV
16 Bit	65536	0,0015%	0,15 mV

KAYNAK: BITTERLE, Messdatenerfassung ve –verarbeitung mit dem PC 1993, p.88 (Örnek: 4.1.)

Bağlantı tasarımında örnekle tut devresi (Sample and Hold Circuit) üzerindeki işlemsel yükselticiden A/D dönüştürücüsüne kadar bütün sıcaklıklar, denkleştirme ve yükseltici hataları toplamının $\frac{1}{2}$ LSB'den düşük olmasına dikkat edilmelidir. Bu örnek olarak 12 bitlik bir sistemde sistem boyunca doğruluğun korunması için hatanın 0,012%'den küçük olması gerektiği anlamına gelir. Buna ulaşmak çok kolay değildir ve sadece itinayla tasarlanmış veri yakalama kartlarında mümkündür.

Reklamlarda kalite standardı olarak gerçek sistem kesinliklerine yaklaştıklarıyla ilgilenmeksizin A/D ve D/A dönüştürücünün bit genişlikleri verilir. Normal bir veri yakalama kartında pratik bir yolla, bir bitin bit genişliğinden alınmasıyla bütün sistemin gerçek doğruluğu sağlanabilir. Ucuz sistemler genelde A/D dönüştürücüsünün bant genişliğine göre 2 bit daha az sistem doğruluğuna sahiptirler.

Birçok kullanıcı sırf biçimsel nedenlerle 12 bitlik bir AD/DA kartı talep etmektedir. Fakat etraflıca düşünüldüğünde sadece 10 bit doğruluğunda bir kart gerektiği görülür.

3.2. Sinyal-Gürültü-İlişkisi ve A/D-Dönüştürücüsünü Çözünürlüğü

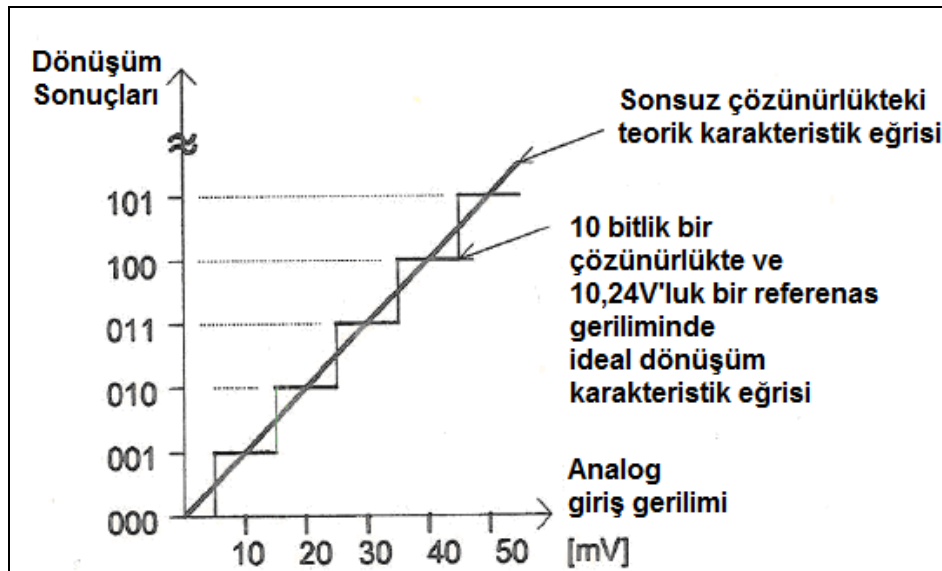
Kendi başına ideal bir A/D dönüştürücü bir analog giriş sinyalini $\pm 1/2$ LSB (nicemleme etkisi) bir nicemleme hatasıyla dijitalleştirir. Bu nicemleme hatası bilimsel literatürde nicemleme gürültüsü (Quantization error) olarak ifade edilir. Buradan yola çıkarak A/D dönüştürücüler için bir sinyal gürültü oranı (SNR, Signal to noise ratio) tanımlanabilir,

$$SNR = 6,02n + 1,76dB \quad (1)$$

Eşitlikte n A/D dönüştürücüsünün bit genişliğini göstermektedir.

Şekil 5’de bir A/D dönüştürücüsünün dönüşüm karakteristik eğrisini 10 bitlik bir çözünürlükle gösterilmektedir ki, bu da verilmiş olan formülde de görüldüğü gibi aşağıdaki sinyal gürültü oranına neden olur.

$$6,02 * 10bit + 1,76dB \approx 62dB \quad (2)$$



Şekil 5. Veri dönüşümündeki nicemleme gürültüsünün kökeni

KAYNAK: BITTERLE, Messdatenerfassung ve -verarbeitung mit dem PC 1993, p.90 (Örnek: 4.1.)

Pratikte şu anlama gelir: Bir A/D dönüştürücü örneğin 10 bitlik bir çözünürlükle yaklaşık 62 dB'lik sinyal gürültüsüne sahipken, gerçek bir 10 bitlik A/D dönüştürücü ± 1 LSB kadar bir hata (denkleştirme, doğrusallık dışı ve yükseltici hataları) ve buna ilaven son bitte bir güvensizlik gösterir. Bundan dolayı sözü edilen A/D dönüştürücü gerçekte 9 bitlik bir doğruluğa sahiptir ve sinyal gürültüsü ise $SNR = 6,02 * 9bit + 1,76dB \approx 56dB$ 'dir. Diğer analog parçaların boyutlandırılmasında bu da dikkate alınmalıdır (Bitterle, 1993).

3.3. Tarama Frekansının Etkisi

Veri yakalama sistemleri belirli zamanlarda analog sinyali ölçerler ve bunu uygun dijital değerlere dönüştürür. Tarama zamanları boş ve kararsız noktalar arasında bulunduğu, sürekli analog sinyal belirli zamanlarda taranır.

Kararsız noktalar nasıl ifade edilebilir?

Genelde iki ölçüm noktası arasındaki bağlantı doğru olarak göz önüne alınır (lineer interpolasyon) ve ölçüm noktaları kolayca bağlanır. Sadece, ne kadar sıklıkla sinyalin frekansı ölçülmelidir ki, kullanılan sinyal hakkındaki temel bilgiler kaybedilmesin?

Shannon burada kendisinin ünlü eşitliğini keşfetmiştir:

$$f_{Tarama} \geq 2 * f_{Sinyal} \quad (3)$$

Eşitlik, tarama frekansının sinyal frekansının iki katına eşit ya da daha büyük olması gerektiğini ve böylece temel sinyalin bütün özelliklerinin anlaşılabilceğini söylemektedir.

Daha somut olarak ifade etmek gerekirse, tarama frekansı en az kullanılan sinyalde meydana gelen frekansın büyüklüğünün iki katı olmalıdır. Fakat bu kullanılan sinyalde meydana gelen frekansın büyüklüğü nasıl tespit edilir?

Temiz bir sinüs salınımı için bu soru çok kolayca cevaplanabilir, ama dikdörtgen sinyaller ya da pratikte en çok karşılaşılan düzensiz, titreşimli ve sönümlenen sinyallerde nasıl?

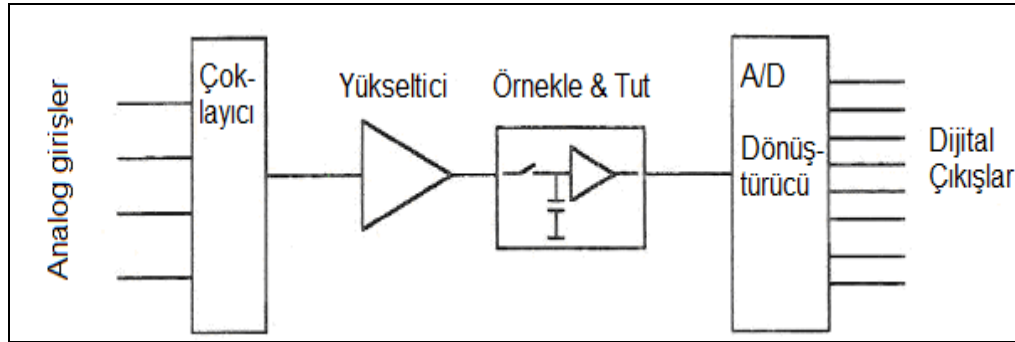
Öğrenim hayatından da hatırlanacağı gibi Fourier, keyfi bir sinyalin farklı frekanslara sahip sinüs salınımlarının süper pozisyonlarıyla oluşturabileceğini bulmuştur. Bir dikdörtgen sinyal sonsuz çoklukta sinüs salınımlarının birleşiminden meydana gelir. Dikdörtgen sinyalin periyodu temel dalga olarak adlandırılan en küçük sinüs salınımına denktir. Sinyal ne kadar çok köşeliyse, sinyalde o kadar yüksek frekansta sinüs salınımları mevcuttur.

Böyle bir sinyal taranmak istiyorsa, sonsuz büyük bir tarama frekansı seçilmelidir ki, matematiksel açıdan doğru bir sonuç elde edilebilsin. Pratikte ise taranmak istenilen sinyalin frekansının en az beş ila on katı büyüklüğünde bir tarama oranı seçilir. Ama 12 bitlik bir sistem için yüksek frekanslı parçalar tamamen tespit edilmiş bir şekilde filtrelenerek ayrıştırılması gerekir. Sonra anti alias filtresi veya örnekle-tut devresi

çoklayıcının önüne yerleştirilir. Buradaki problem bu filtrelerin sonsuz geçirgenlikte olmayacakları ve bu nedenle de yüksek frekanslı sinyal parçalarını sönmümesidir. Geçirgenlik (giriş ve çıkış gerilimleri oranı-transconductance) azami hatanın çözünürlüğün $\frac{1}{2}$ LSB'sinden küçük olacak şekilde ayarlanmalıdır.

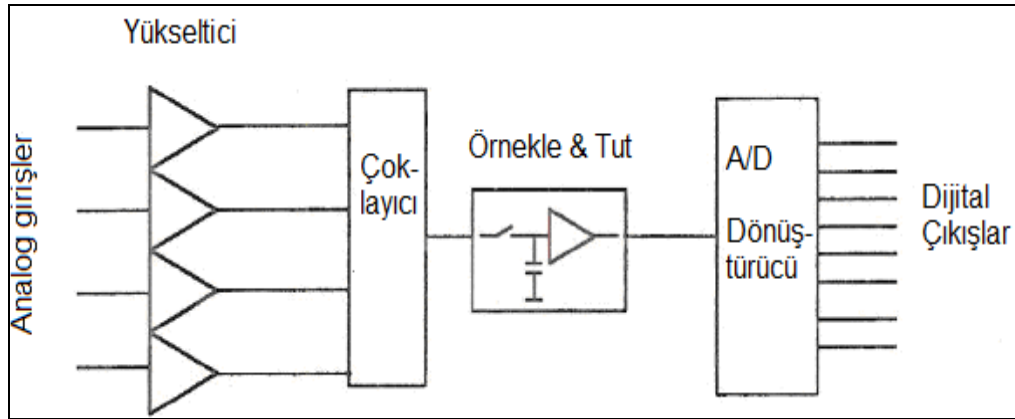
3.4. Veri Yakalama Sistemlerinin Başlıca Farkları

Burada veri yakalama kartlarının temel üretim prensipleri gösterilmiştir ki okuyucu piyasadaki genişleme kartlarını hakkındaki kendi zihninde bir resim oluşturabilsin veya bir proje hakkında tavsiye edinsin.



Şekil 6. Çoklayıcı yükselticinin önündeyken bir veri yakalama sistemi

KAYNAK: BITTERLE, Messdatenerfassung ve -verarbeitung mit dem PC 1993, p.93 (Örnek: 4.2a.)



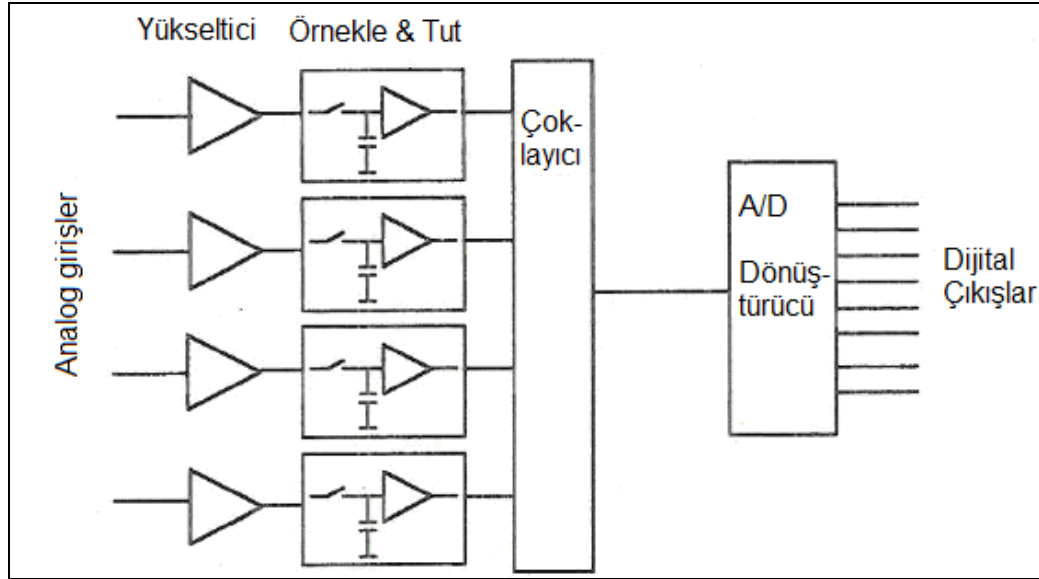
Şekil 7. Yükselticili çoklayıcının önündeyken bir veri yakalama kartı

KAYNAK: BITTERLE, Messdatenerfassung ve -verarbeitung mit dem PC 1993, p.93 (Örnek: 4.2b.)

Şekil 6'da gösterilen bir veri yakalama kartına ait çözüm kendini ucuz PC- genişleme kartlarında bulur. Bunlar 4,8 veya 12 girişe sahip bir çoklayıcı (multiplexer), bir yükseltici, bir örnek ve tut devresi ve bir de n bitlik bir A/D dönüştürücüsünden meydana gelirler. Fakat bu çözümün önemli dezavantajları vardır. Çoklanmış analog sinyal girişleriyle sadece gecikmeli taramaları mümkündür. Analog sinyallerin ilk olarak çoklayıcıdan sonra yükseltilmiş olmasından dolayı, çoklayıcının bütün hataları da bununla beraber yükseltilmiş ve analog sinyalin üzerine eklenmiş olur.

Daha mantıklısı Şekil 7' de de olduğu gibi, yükselticiyi çoklayıcının önüne yerleştirerek, her kanal için sapma ve yükseltmelerin teker teker düzeltilmesine olanak vermektir. Şekil 6'daki çözümle hiçbir şekilde 12 bitlik bir doğruluğa ulaşamaz. Sistem doğruluğu en iyi halde 8..10 bit olur. Mantıklı bir veri yakalama için Şekil 7'ye göre olan sistem yapısı minimum konfigürasyonu vermektedir.

Şekil 8'de her kanal için ayrı bir örnekle tut devresi kullanılmıştır. Bu şekilde bütün kanallarda eş zamanlı tarama mümkün hale gelmiştir.



Şekil 8: Aynı anda bütün kanallardaki tarama

KAYNAK: BITTERLE, Messdatenerfassung ve -verarbeitung mit dem PC 1993, p.94 (Örnek: 4.3.)

Sistem tekniği açısından 12 bitlik bir doğruluğa ulaşmanın ve her giriş sinyalinden zamansal olarak doğru değerlendirmeler yapılabilmesinin temel gereksinimleri Şekil 8'deki yapıya göredir (Bitterle, 1993).

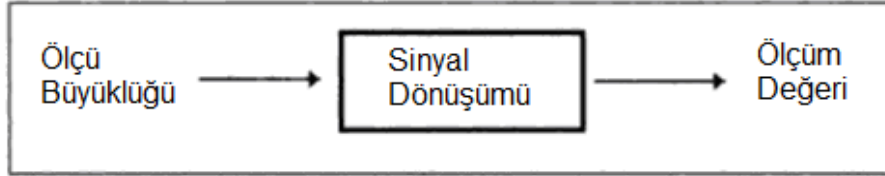
3.5. Analog ve Dijital Ölçüm Sinyalleri

Eğer veri yakalamadan bahsediyorsak, öncelikle sinyallerin yakalanmasını kastediyoruzdur. Sinyaller bilimsel alanda bilgilerin transferi için kullanılırlar. Aynı zamanda tek bir ölçüm değeri olarak da anlaşılabilir. Pratikte sinyal kavramıyla ölçüm değerlerinin seyrinin zamana veya mekâna göre bir fonksiyonu anlaşılır. Bu tip sinyallere bir örnek olarak akustik sinyaller, osilogramlar gibi gerilim seyrini zamanın bir fonksiyonu olarak değerlendirenler verilebilir. Bundan sonra kolaylık olsun diye sinyaller zamanın bir fonksiyonu olarak kısıtlanacaktır.

Her yakalanması gereken fiziksel büyüklük öncelikle elektriksel bir sinyale dönüştürülmelidir, ya bir gerilime ya da bir akıma. Bir ölçü dönüştürücüsü bu dönüşümü gerçekleştirir. Mesela sıcaklığı mı ölçülmek isteniyor, o zaman bir şekilde sıcaklığı bir veri edinme (DAQ, data acquisition) genişleme kartı tarafından okunabilecek bir gerilim olarak ifade edilmelidir. Sıcaklık için kullanılan ölçü

dönüştürücülerin büyük bir bölümü sıcaklığı elektriksel bir sinyale çevirmek için ısıtın ve materyallerin fiziksel özelliklerini kullanırlar.

Eğer bir kere fiziksel bir büyüklük elektrik sinyaline dönüştürüldüyse bundan sonra bu sinyali ölçülebilir ve yorumlanabilir (bkz. Şekil 9).

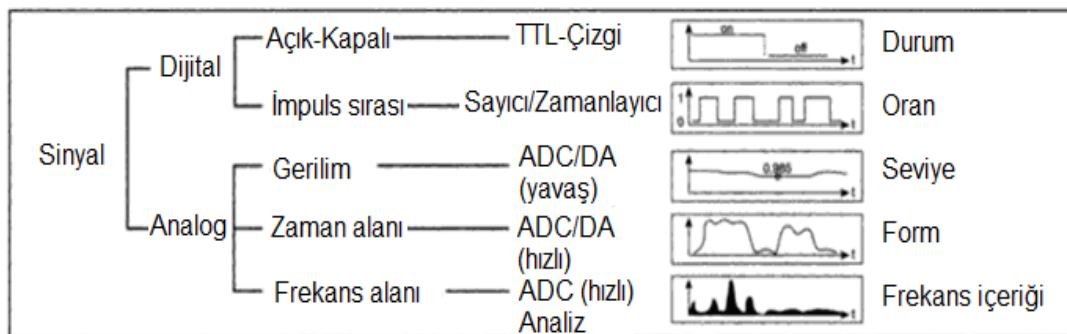


Şekil 9. Sinyal ediniminin prensibi

KAYNAK: JAMAL, Labview für Studenten 2004, p.334 (Örnek: 11.1.)

Daha öncede belirtildiği gibi değerli bir bilgi içerdiği için bir sinyal ölçülür. Bu nedenle ilk olarak sinyalin hangi bilgileri içerdiği ve bunun nasıl iletileceği sorusu hâsıl olur. Genellikle bir sinyalin bilgileri sıralanan parametreler vasıtasıyla iletilir: Durum, form, hız ve frekans içeriğidir. Bu parametreler hangi giriş çıkış (I/O) arabirimlerine ve analiz metotlarına gereksinim duyulduğuna karar verirler. Öncelikle bir sinyal analog ve ya dijital olarak sınıflandırılabilir. Bir dijital ya da ikili (binary) sinyalin sadece iki olası kesin durumu vardır. Bunlar bir yüksek (açık) ve de bir düşük (kapalı) seviyedir. Buna karşın analog sinyal bilgileri, zamana bağlı olarak sinyalin kesintisiz değişimlerinde içerir.

Mühendisler dijital sinyalleri genellikle iki ve analog sinyalleri ise üç tipte sınıflarlar. Açık-kapalı sinyal dijital sinyalin bir tipi diğeri ise Pulse-Train (dalgalar dizisi) sinyalidir. Analog sinyalin üç tipi ise doğru akım sinyali, zaman aralığı ya da alternatif akım sinyali ve frekans aralığı sinyalidir. Bilgilerin aktarılmasında bütün bu dijital ve analog sinyaller aynı şekilde davranır. Görülecektir ki, bu beş sinyal tipi sinyal bilgilerinin beş temel tiplerine denk gelmektedirler. Bunlar durum, hız, seviye, form ve frekans içeriği olarak ifade edilirler (bkz. Şekil 10).



Şekil 10. Sinyal tipleri

KAYNAK: JAMAL, Labview für Studenten 2004, p.335 (Örnek: 11.2.)

3.5.1. Veri yakalamaya temel bir bakış

Veri yakalamadan bu bağlamda ilk olarak bilgisayardaki bir genişleme kartının yardımıyla ölçüm değerlerinin edinimi kast edilir. Bu kartlar genellikle çok fonksiyonlu kartlar olarak açıklanırlar. Bu kartlar hem analog, statik ve dinamik gerilimleri ölçme ve gönderme gibi hem de dijital sinyalleri algılama ve üretme gibi seçenekler sunmaktadırlar. Bu fonksiyon için A/D dönüşümü, D/A dönüşümü, dijital I/O ve Counter/Timer (sayaç/zamanlayıcı) başlıca kavramlardır.

3.5.2. Analog/Dijital dönüştürücü

Analog/Dijital dönüştürücü, kısaca A/D dönüştürücü olarak ifade edilir ve analog sinyalleri bilgisayarca anlaşılabilen dijital sinyallere dönüştürür. Bunun için en basit örnek dijital voltmetredir. Dijital voltmetre bir gerilimi ölçer ve ondalık sayılarla gösterir. Analog gösterge cihazları ise buna karşın bugünlerde arka plana çekilmekte ve sadece özel kullanımlar için tutulmaktadırlar. Bu durum, bir dijital osiloskopun gösterge biçimlerine ilk bakışta bir analog ölçen aletten ayrılabilir olmasına rağmen, sadece mikro dalga alanındaki yüksek frekanslı uygulamalar için kullanılan analog osiloskoplar için de geçerlidir.

Ölçüm teknolojisinde kullanılan A/D dönüştürücülerin piyasadaki oranları, bir taraftan bağımsız aletlerin temel parçası, diğer bir taraftan ise bilgisayar sistemleri için A/D dönüştürücü kartlar olarak yıldan yıla artmaktadır. Bu sahanın kaydedilmesi gereken oldukça büyük büyüme oranları vardır. Bunun sebebi ise esnekliktir. Bu esneklik böyle bir kartın bir bilgisayar ve ilgili bir yazılım bağlantısı bulundurmasıdır. Bu kartlar bilgisayarı bir kere bir dijital voltmetre olarak kısa bir süre sonra da bir sıcaklık ölçüm cihazı, bir osiloskop ve bir frekans analiz cihazı olarak kullanmanın donanımsal ön koşuludurlar. Bununla birlikte A/D dönüştürücü her zaman analog sinyali dijitalle dönüştüren temel parçadır. Diğer fonksiyonları, mesela sıcaklık ölçümü mü ile frekans analizi arasındaki farka karar verme gibi, yazılım tarafından yönetilir.

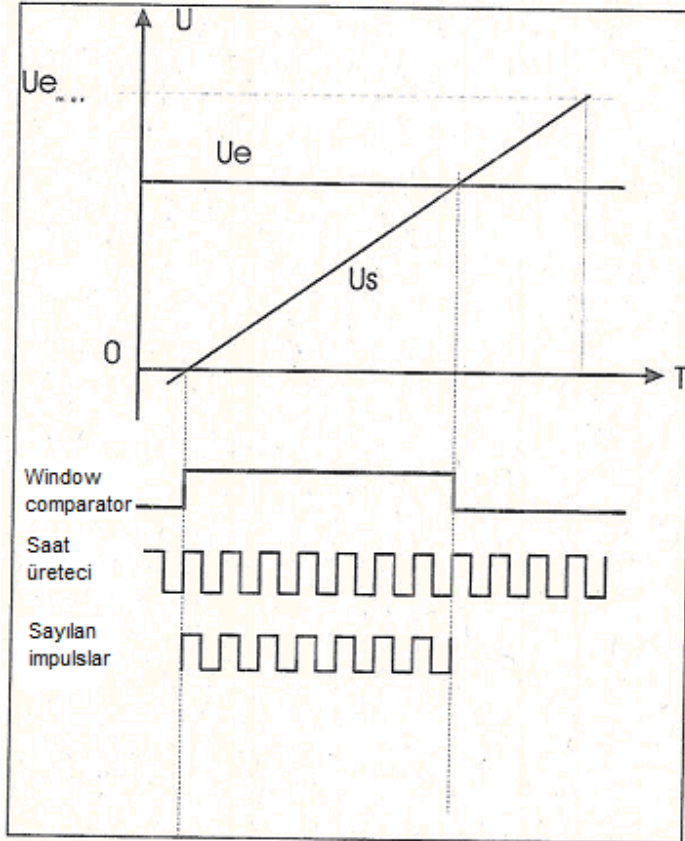
Değişik performans sınıfları arasındaki seçim kriterlerine bir karar verebilmek için, öncelikle A/D dönüştürücülerin çalışma prensipleri tetkik edilecektir.

3.5.3. Bir A/D-Dönüştürücünün İşleyiş Prensibi

Statik yani zamanla değişmeyen analog bir sinyali dijital bir sinyale çevirmenin birçok metodu vardır. Her bir metodun avantaj ve dezavantajları vardır ve talep edilen doğruluk, hız ve dayanıma göre kullanım yerini bulur. A/D dönüşümünün bir prensibi olarak burada rampa (ramp) metodu anlatılmıştır. Bu isim altında üç ayrı metot mevcuttur. Bunlar bir, iki ve dört rampa metotlarıdır. Bu sadece seçeneklerin fazlalığını göstermektedir. Tek rampa metoduyla burada kolay anlaşılabilir temel bir metot açıklanmak istenmektedir. (bkz Şekil 11).

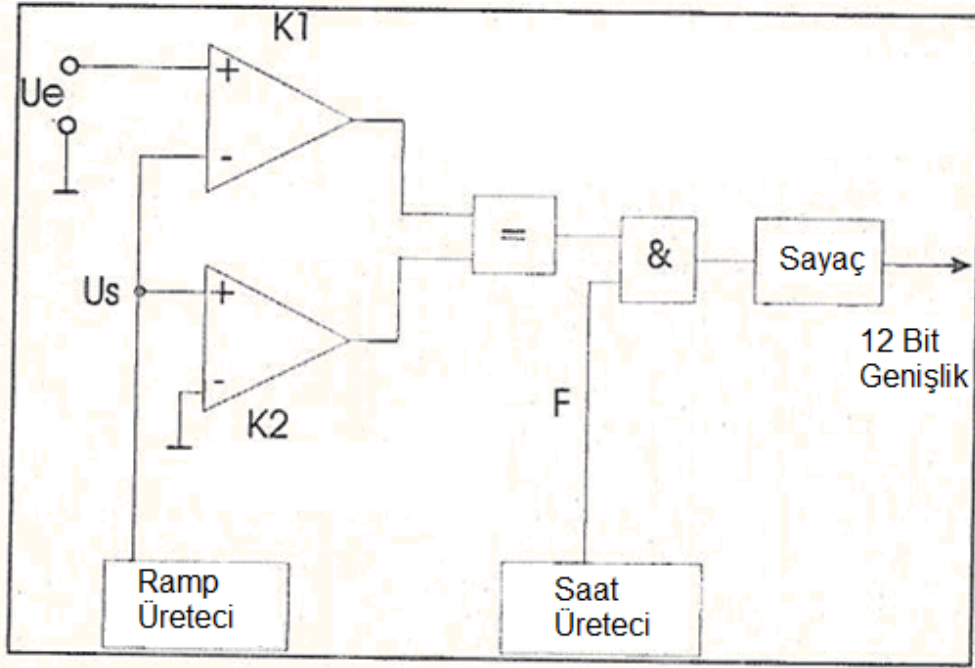
Rampa metoduyla çalışan bir A/D dönüştürücü bir pencere komparatör (window comparator), bir saat üretici (clock generator) ve bir sayaçtan meydana gelir. Rampa

üreticisi örnek olarak 0dan +10'a kadar doğrusal artan U_S gerilimi üretir. Pencere komparatörü sürekli ölçülmek istenilen U_E ile tanımlı ramp U_S ile karşılaştırır. U_S 'nin sıfırı kestiği noktada komparatör saat üreticinin elektrik akımlarını (impuls) sayan sayacı çalıştırır. Sayaç, U_S U_E 'den büyük olduğunda durdurulur. Sayaç verileri ölçülmek istenen gerilim U_E için dijital bir ölçü oluşturur. U_E için orantılı sayaç verileri elde etmenin ön şartları rampa gerilimlerinin sabit yükselmesi ve saat üreticinin sabit frekansta yayın yapmasıdır.



Şekil 11. Ramp yöntemine göre A/D-Dönüştürücüsünde sinyal seyirleri

KAYNAK: JAMAL, Labview für Studenten 2004, p.337 (Örnek: 11.3.)



Şekil 12. Tek rampa metoduna göre A/D-dönüştürücü blok şeması

KAYNAK: JAMAL, Labview für Studenten 2004, p.337 (Örnek: 11.4.)

Blok diyagram (Şekil 11 ve Şekil 12) şu şekilde görünmektedir. K1 ve K2 komparatör çifti Exclusiv-NOR G1 ile bir pencere komparatörü oluşturur. Sözü edilen pencere komparatörü $0 < U_S < U_E$ gerçekleştiği süre mantık (logic) 1 değerini verir. Pencere komparatörünün çıkışında saat üreticinin sinyaliyle bağlandı ve sayaç girişi üzerine kondu. Rampanın yükselmesi ve saat üreticinin frekansını birbirine o kadar iyi uymuştur ki, sayaç rampa geriliminin azami genliğinde en yüksek durumuna ulaşmıştır.

Dönüşüm alanı rampa geriliminin genliğinden ileri gelir ve tipik olarak 0-10, 10 veya 5 volt değerindedir. A/D dönüştürücüsünün çözünürlüğü azami olabilecek sayaç verisine göre hesaplanır. Bu sayaç verisine rampa gerilimi dönüşüm alanından geçtiğinde ulaşılabilir. Standartlaştırılmış sayaçların 8,12 ve 16 bitlikleri kullanılmaktadır ve bugünlerde 24 bitliklerde standart olarak ifade edilmektedir. Sonra bununla beraber $2^8 = 256$, $2^{12} = 4.096$ veya $2^{16} = 65.536$ değerlerine kadar hesaplanılabilir. Dönüşüm alanı ve bit şeklinde ifade edilen çözünürlük, aşağıdaki bağıntıyla en küçük anlaşılabilen gerilim değişiminin hesaplanmasına olanak verir.

$$\Delta U = \frac{\text{Dönüşüm Alanı}}{2^{\text{Çözünürlük (Bit)}}} \quad (4)$$

0–10 voltluk bir dönüşüm alanı ve 16 bitlik bir çözünürlük $152,6 \mu$ voltluk en küçük fark edilebilen gerilimi verir.

Dinamik sinyallerin yakalanmasında bu çevrim sonra sadece uygun kısa zaman aralıklarında tekrarlanır. Bu “kısa” zaman aralığı, dinamik sinyalin tekrardan statik sinyal olarak kabul edilebileceği bir aralıktır. Tarama oranından Hz olarak bahsedilir ve

bununla beraber ne kadar sıklıkla dönüşme sürecinin her saniye başına tekrarlanabileceği kastedilir. Pek tabiidir ki bu rampanın yükselme hızına bağlıdır. 100 Hz’lik bir tarama oranında ve 12 bitlik bir çözünürlükte rampanın en azından 0,01 saniyede cereyan etmeli ve saat üreticinin frekansı o kadar yüksek seçilmelidir ki, sayaç bu 0,01 saniyede 4.096’ya kadar sayabilsin. Bu $2^{12} = 4.096$ kHz bir saat frekansı verir.

Bugünkü geleneksel 16 bite kadarlık çözünürlükler ve 100 kHz’lik tarama oranları görülüyor ki, bu kolay gerçekleştirilen dönüştürme metodu burada daha az kullanım bulacaktır. Dönüştürücü bir, iki ve dört ramp metotlarından sonra ilk başta yüksek ölçüm oranlarının (measuring rate) önemli olmadığı dijital multimetreler için kullanılmıştır. Bilgisayar destekli veri yakalamada kullanılan ve temelde hızlı dönüşüm teknikleri gerektiren çok yönlü kartlar için sıkça A/D dönüştürücüler ardışıl yaklaşımlama (successive approximation) tekniğine göre kullanılırlar.

Bu metoda göre çalışan bir dönüştürücü, temelde referans kaynağı, dijital-analog dönüştürücü, ardışıl yaklaşım saklayıcısı (successive approximation register-SAR) ve karşılaştırıcı (komparatör) elemanlarından meydana gelir. Ardaşıl yaklaşım saklayıcısı ilk önce en yüksek bite ayarlanır. Bu, 4 bitlik bir saklayıcıda ‘1 0 0 0’ ikili sayısına denktir, yani en yüksek olabilecek 4 bitlik sayının ‘1 1 1 1’ yarisıdır. Bu 4 bitlik sayı D/A dönüştürücü üzerinden daha sonra yeniden seçilmiş olan dönüşüm alanının yarisına denk gelen analog bir gerilime dönüştürülür. D/A dönüştürücüsünden gelen analog gerilim komparatörde ölçülecek gerilim ile karşılaştırılır. Eğer ölçülecek gerilim daha büyükse ardışıl yaklaşım saklayıcısındaki ilk bit aynı şekilde kalır. Eğer daha küçükse, saklayıcı ‘0’ olarak ayarlanır. Sonra ardışıl yaklaşım sayacı en yakın küçük bite ayarlanır. Böylece ‘1 1 0 0’ veya ‘0 1 0 0’ ikili sayı değerini verir. İkinci en büyük bit en yüksek olabilecek 4 bitlik ‘1 1 1 1’ sayısının çeyreğine eşittir.

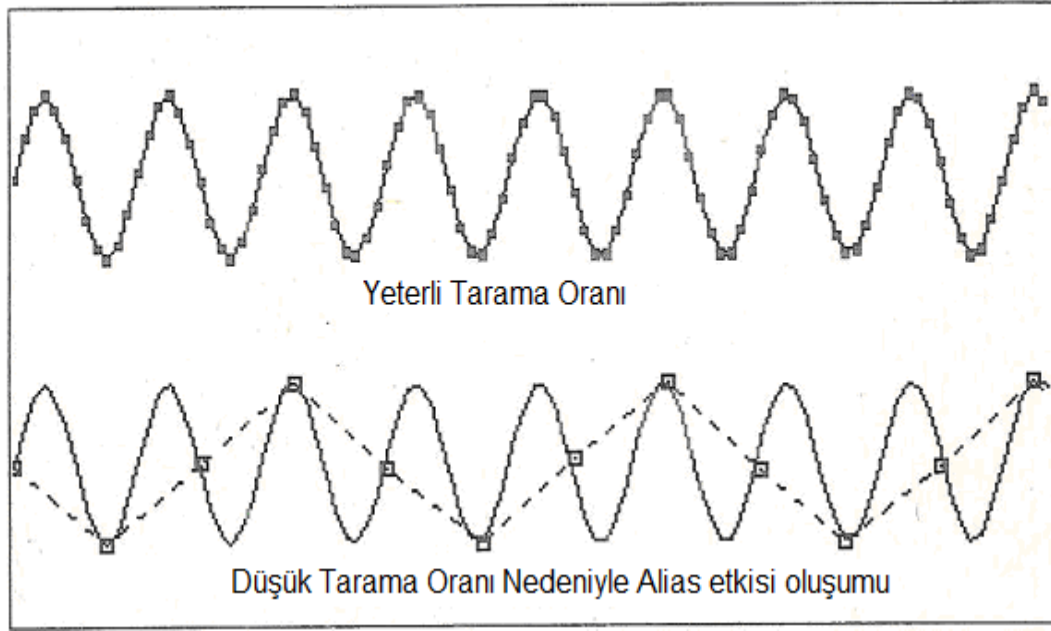
Yeni ikili sayının analog bir gerilime çevrilmesinden sonra yeniden ölçülecek gerilimle karşılaştırılır. Sonuçlara göre ikinci en büyük bit ‘1’ ya da ‘0’ olarak ayarlanır. Bu süreç en düşük değerlikli bite (LSB) kadar tekrar edilir. 4 bitte bu değer dönüşüm alanının 1/16’sına alışılmış 12 bitte ise 1/4.096’sine denktir. Bu süreç sonunda elde edilen dijital sayı, ölçülecek olan gerilimin D/A dönüşümünden sonraki LSB doğruluğuyla orantılıdır. 12 bitlik bu tekniğe göre çalışan bir dönüştürücü çok düşük mikrosaniyelik dönüşüm zamanlarına ulaşabilir.

Bir veri yakalama sisteminin kullanılmasında A/D parçaları hususunda dikkat edilecekler kullanım amacına bağlıdır. Birçok kart genelde bir A/D dönüştürücüsüne sahiplerdir ve 64 kanala kadar ölçüm yapabilirler. Bu eşzamanlı işlemde gerçekleşir. Yani kanallar peş peşe dönüştürücü girişine ayarlanırlar. Buradan da kolayca anlaşılmaktadır ki, kanallar eşzamanlı olarak değil yani zamansal bir kaymayla ölçülebilecektir ve bu yöntemdeki A/D dönüştürücüsünün olabilecek maksimum tarama oranını verir. Söz konusu tarama oranı ölçüm yapan kanal sayısına bölünür. Tanımlamalarda genel olarak belirtilmiş olan toplam tarama oranı verilir. Bu ölçüm sırasında tek bir kanaldan elde edilebilecek azami olabilecek tarama frekansıdır.

Gerekli olan tarama oranı her kanal için ölçülecek olan azami sinyal frekansına bağlıdır. Daha önceden de söz edildiği gibi Nyquist teoremine göre tarama frekansı en az maksimum sinyal frekansının iki katı olarak seçilir ($f_{\text{Tarama}} < f_{\text{maks}}$). Eğer buna dikkat

edilmezse, yani araştırılacak olan sinyal frekanslarında $f_{\text{maks}} < f_{\text{Tarama}}$ cereyan ederse, taranan sinyal alias frekansı (Alias etkisi) üretir.

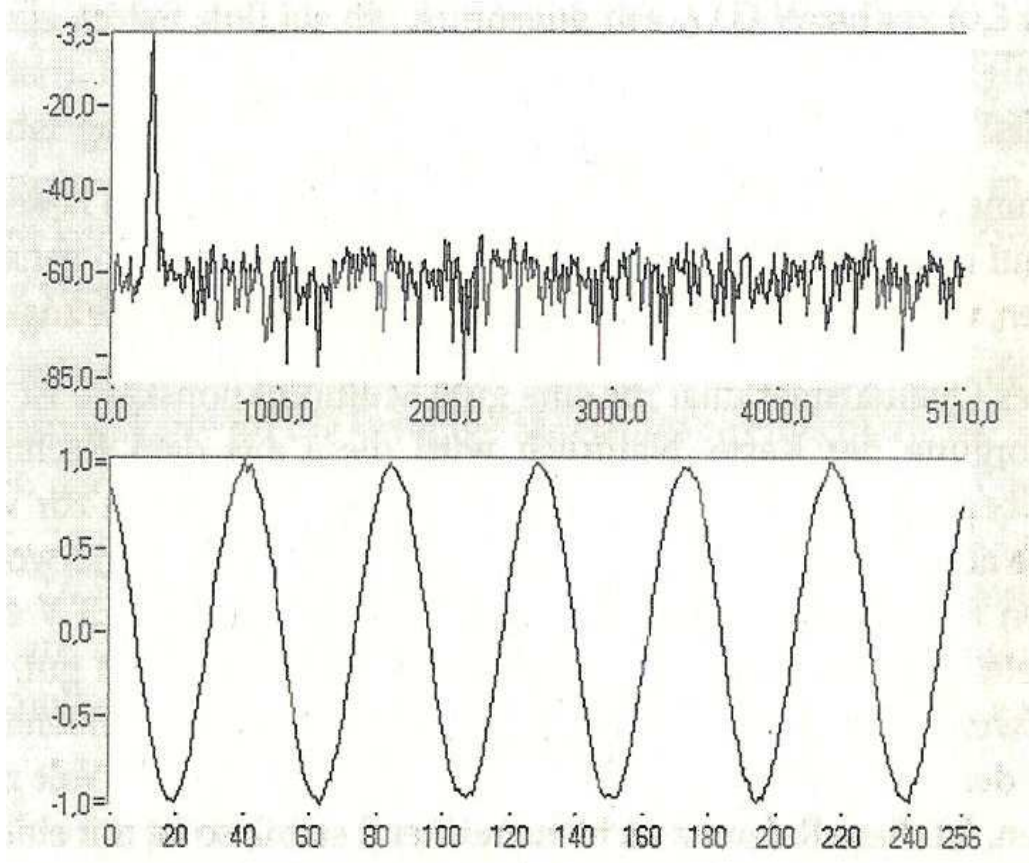
Bu, zamana bağlı olarak sinyal frekansının yakalanıp analiz edilmesi gerekliliğine yoksa sadece frekans parçalarının mı hesaplanacağına göre bağımlılık gösterir. Zaman bölgesinde sinyal formu üzerinde nitel bir ifadeye rastlayabilmek için pratikte ortaya çıkan maksimum frekansın en az beş ya da on katı seçilmelidir (bkz. Şekil 13).



Şekil 13. Over and under sampling (yüksek ve düşük örnekleme)

KAYNAK: JAMAL, Labview für Studenten 2004, p.340 (Örnek: 11.5.)

Buna karşın eğer periyodik bir sinyalle uğraşıldığı ve yeterli sayıda periyodun tarandığı farz edilirse, bir sinyalin içerdiği frekans parçalarını Fourier transformasyonu ile hesaplamada maksimum olarak ifade edilen frekansın tarama frekansı olarak seçilmesi yetecektir. Fourier transformasyonunun kümesi, her bir tekil gücün, frekansların derecelendirildiği X ekseninde farklı yükseklikteki spektrum çizgileri ile gösterildiği güç spektrumunda (Power Spectrum) ifade edilir. Pratikte hızlı Fourier transformasyonu (FFT=Fast Fourier Transformation) kullanılır. Bu güvenilir Fourier transformasyonunun en az işlem gerektirecek şekilde uyarlanmış bir versiyonudur (bkz Şekil 14).



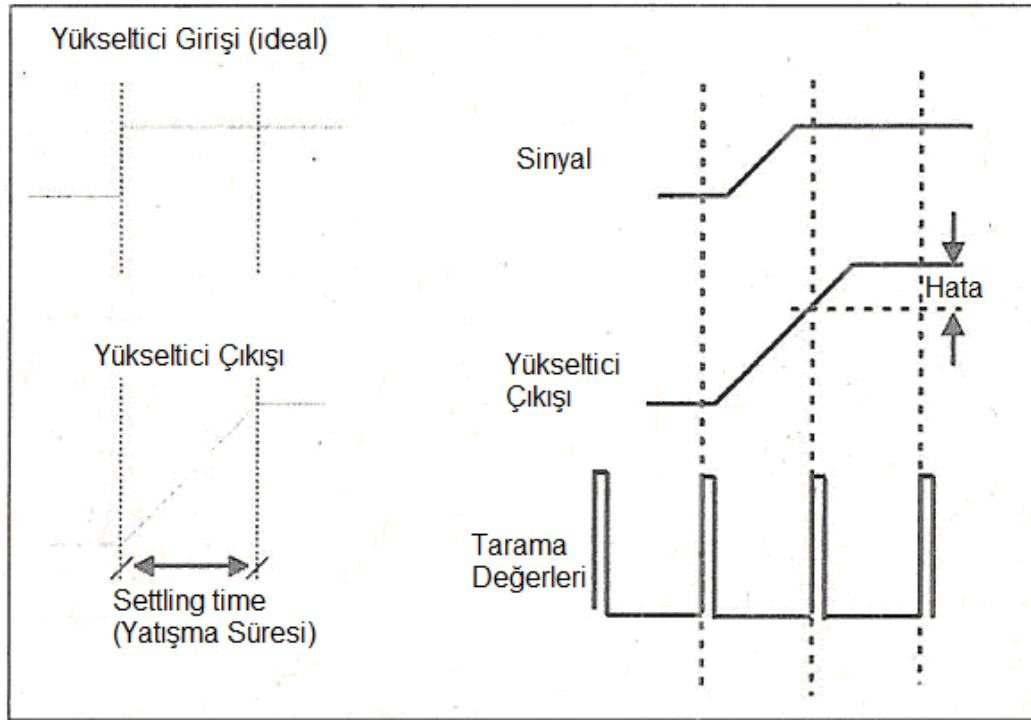
Şekil 14. Zaman ve frekans alanında sinyaller

KAYNAK: JAMAL, Labview für Studenten 2004, p.341 (Örnek: 11.6.)

A/D dönüştürücüsünün çözünürlüğü bit olarak verilir (en yaygın olanları 12 ve 16 bittir) ve doğruluk hakkında bilgi verir. Bu bilgiyle mevcut doğrulukla bir analog gerilimin dijitalleştirilebileceği hususunda bilgi sahibi olunur. 10 voltluk bir dönüşüm alanında ve 12 bitlik bir çözünürlükte dönüştürücü tarafından fark edilebilecek en düşük gerilim $20 \text{ Volt} / 2^{12} = 4,88 \text{ mV}$ şeklinde hesaplanılır. Burada en düşük değerdeki analog gerilimle orantılı oluşmuş ikili sayı değeriyle alakalı olan en düşük değerli bit yani LSB'den (Least Significant Bit) söz edilir. 16 bitlik bir çözünürlükte bir LSB dönüşüm alanının $1/65.536$ sına eşittir ve bu 10 volt için $0,3 \text{ mV}$ 'a karşılık gelir. Önemli olan burada dönüşüm alanıyla olan ilgisidir. A/D dönüştürücüsünün 10 V 'luk bir maksimum alanında ve 12 bitlik çözünürlüğünde, bir sinyal 10 voltluk bir maksimum genlikte iken gerçekten $1 \text{ LSB} = 4,88 \text{ mV}$ 'luk maksimum çözünürlük kullanılır ve böylece yaklaşık $4,88 \text{ mV} / 20 \text{ V} = \%0,025$ 'lik bir doğruluğa ulaşılır.

Ama aynı koşullar altında 20 mV genliğinde bir sinyal ölçülür, doğruluk hala sadece $\%25$ olarak kalırsa, bu 3 bit çözünürlüğünde 10 mV dönüşüm alanında bir A/D dönüştürücüsüne denk gelir. Bu örnekte görüldüğü gibi A/D dönüştürücünün özellikleri tek başına ölçümün kalitesi hakkında bir ifade veremez. Bunun sebebi ölçülecek sinyallerin genliklerinin dönüşüm alanına (genellikle $0-10 \text{ volt}$, 5 V veya 10) uymaması ve bunların güçlendirilmesi gerekliliğidir. Bu amaç için veri yakalama kartlarının üzerinde bir ölçü yükseltici bulunur. Sözü edilen yükseltici küçük sinyal genliğini, neredeyse ölçüm alanını tamamen aşacak şekilde büyütür. Bununla beraber yazılımsal

olarak böyle bir yükseltmenin seçilebilmesinin mümkünlüğüne ve bunun teker teker her kanal için ayarlanabilir olup olmadığına ve diğer taraftan mutlak yükseltme faktörü ve onun derecelerine dikkat edilmelidir. Yükseltme örnek olarak 1-, 2-, 4-, 8 katlı veya 1-, 10-, 100-, 500 katlı adımlar şeklinde derecelendirilir. Ölçü yükselticisi için en önemli kalite karakteristiği Setting Time yani yükseliş hızıdır. 100 kat artan basamaklı bir yükselticide 0,1 voltluk bir giriş gerilimi yükseltici çıkışında 0,1 voltta 10 volta yükselmelidir. Bu dâhili ve kapasitif yüklerden dolayı belli bir zaman tutar (bkz. Şekil 15). Şimdi örnek olarak 100 kHz'lik yüksek bir tarama oranıyla taranıyor. Yükselme zamanı ise $1/100 \text{ kHz} = 10 \text{ saniyeden}$ kısa olmalıdır. Eğer böyle değilse, yanlış ölçüm sonuçlarına ulaşılır.



Şekil 15. Yükselticinin yatışması

KAYNAK: JAMAL, Labview für Studenten 2004, p.342 (Örnek: 11.7.)

En kötüsü ise bu tip hataların çok az tespit edilir olmasıdır, öyle ki üreticinin açıklamalarına bağımlı kalınır. Hangi yükseltici faktörüyle hangi tarama oranına kadar izin verildiği belirtilmek zorundadır.

İyi birçok fonksiyonlu kart için başka bir kalite ölçüsü kartın elektriği nasıl sağladığıdır. Tabii ki bilgisayarın güç kaynağından beslenir. PC veriyolu üzerinden 5 V'luk bir besleme gerilimi sağlanır. Fakat bu gerilim yüke göre izafi büyük salınımlara maruz kalır. Daha kötü bilgisayarlar PCI veriyolundan sadece 3,3 V sağlarlar. Önemli olan bu 5 V'un olabildiğince iyi, yani pahalı bir donanımla kullanılmasıdır. 10 V'luk bir dönüşüm alanında A/D dönüştürücüsünün 10 V'luk bir referans gerilimine sahip olması gerekir. Eğer bu referans mümkün olduğunca istikrarlı değilse 16 bitlik bir dönüştürücünü, sadece 12 bitlik veya daha düşük bir dönüştürücünün doğruluğuna ulaşabilir.

Veri yakalama kartını besleme hususunda dâhili bilgisayar güç kaynağının kapasitesi doğal olarak önemli bir rol oynar. Güç kaynağının, bilgisayarın yanında ek bir donanım birimi formundaki veri yakalama kartını besleyebilmesi için yeterli rezervler sunması gerekmektedir. Toplam enerji tüketimi her şeyden önce başka genişleme kartlarının kullanılmasında en önemli kriterdir. Eğer pilinden enerji sağlayan bir dizüstü bilgisayar ile taşınabilir bir genişleme kasası kullanılırsa, pil çok çabuk bitecektir.

Bu bağlamda kayıplar ve bunların sonucu olan sıcaklık artışının büyük önemi vardır. 200 kHz'lik bir tarama oranıyla çalışan bir A/D dönüştürücü 5 voltluk bir besleme gerilimde 2 amperlik bir akım tüketimi gerçekleştirir. Bu da 10 Watt'lık bir kayıp güce tekabül eder ki, her şeyden önce kompakt yapıdaki taşınabilir bir sistemde oldukça önemli ısı problemlere sebebiyet verebilir.

Bütün bu düşüncelerde daha kartların çalışmak zorunda olduğu temiz olmayan çevre dikkate alınmadı. Video kartı ve farklı saat frekansları yüzünden bir bilgisayar yüksek frekans bozukluklarına (parazitlerine) maruz kalırlar. Bu belki A/D dönüştürücüsünün (16 bit dönüştürücü için 0,3 mV) çözünürlüğünden çok büyük bozucu kaynaklar kartın analog parçalarına bozucu sinyallerin gitmesine neden olabilirler. Bundan dolayı analog ve dijital parçalar montajda birbirinden ayrı olmalıdırlar. İki parçanın aynı ölçüm bağlantısıyla tasarlanması kuşku verir. 16 bitlik kartta analog parçaya genellikle metalik bir muhafaza biçimindeki komple bir koruyucu takılır (Jamal, 2004).

3.5.4. Sinyal Kaynağı Tipleri

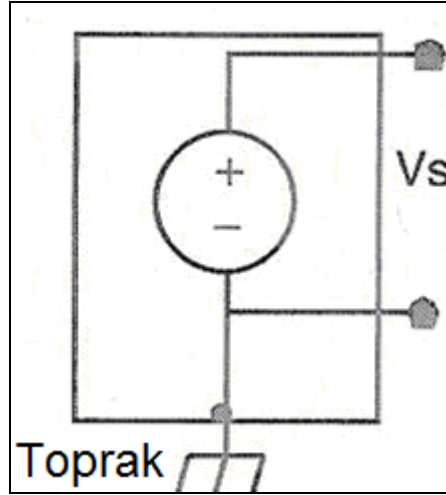
Gerilim her zaman iki parça arasındaki potansiyel farkın ölçümüdür. Alışılmış olarak bir parça referans noktası olarak alınır "0 V" olarak gösterilir. 3,47 V'luk bir sinyalden konuşmak temiz bir referans noktası ifadesi olmadan hiçbir şey ifade etmez. Normalde bu referans noktası 0 V olarak alınır (Toprak).

Toprak ayaklarımız altındaki yeryüzünün potansiyeline işaret eder. Birçok priz, bir binanın elektrik tesisatı için olan güvenlik sistemleri gibi toprakla bağlantısı vardır. Birçok alet aynı şekilde bu toprağa "topraklanmış"tır ve bundan dolayı da topraklanmış sistemden (System Grove) söz edilir. Referans potansiyeli olmaktansa topraklamanın temel sebebi güvenlidir.

Genellikle toprak referansı (Reference Grove) ölçme ve kontrol tekniğinden kullanılan referans potansiyelidir. Genellikle toprak teli veya ortak sinyal olarak gösterilir. Ortak toprak, toprakla bağlantılı olabilir. Birçok enstrüman, alet ve sinyal kaynağı artık bir referans noktası sunarlar. Bilgisayardaki veri edinme kartları aynı şekilde hangi referans noktasına göre bir gerilimin ölçüleceğine dair bir talimat beklerler. Bunun seçimi bağlanmış olan sinyal kaynağının tipine bağlıdır. Sinyaller topraklanmış ve topraklanmamış /Potansiyelsiz (Floating) şeklinde iki temel kategoride sınıflandırılabilirler.

Topraklanmış sistemi temel alan bir gerilim sinyali topraklanmış kaynak olarak nitelendirilir (bkz. Şekil 16). Topraklanmış sistem veri yakalama kartı ile birlikte

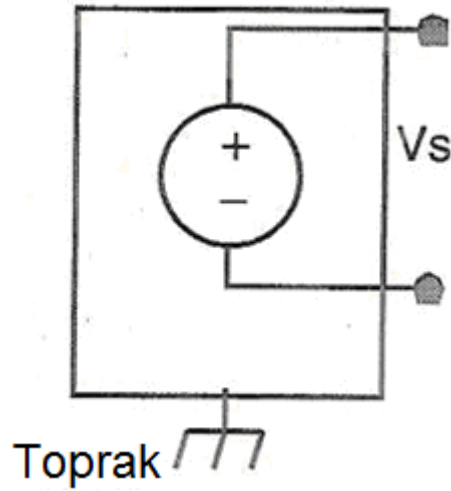
kullanılır. Topraklanmış kaynaklara örnek olarak priz üzerinden yapı zeminiyle bağlantılı sinyal üreteçleri ve güç kaynakları verilebilir.



Şekil 16. Topraklanmış Sinyal Kaynağı

KAYNAK: JAMAL, Labview für Studenten 2004, p.344 (Örnek: 11.8.)

Gerilim sinyali herhangi bir ortak toprağı temel almıyorsa, bu kaynak topraklanmamış kaynak olarak ifade edilir (bkz Şekil 16). Topraklanmamış sinyal kaynakları için piller, transformatörler ve yalıtım yükseltici verilebilir. Şekil 17’de topraklı prize hiçbir kaynak bağlantısı bağlanmamıştır.



Şekil 17. Topraklanmamış Sinyal Kaynağı

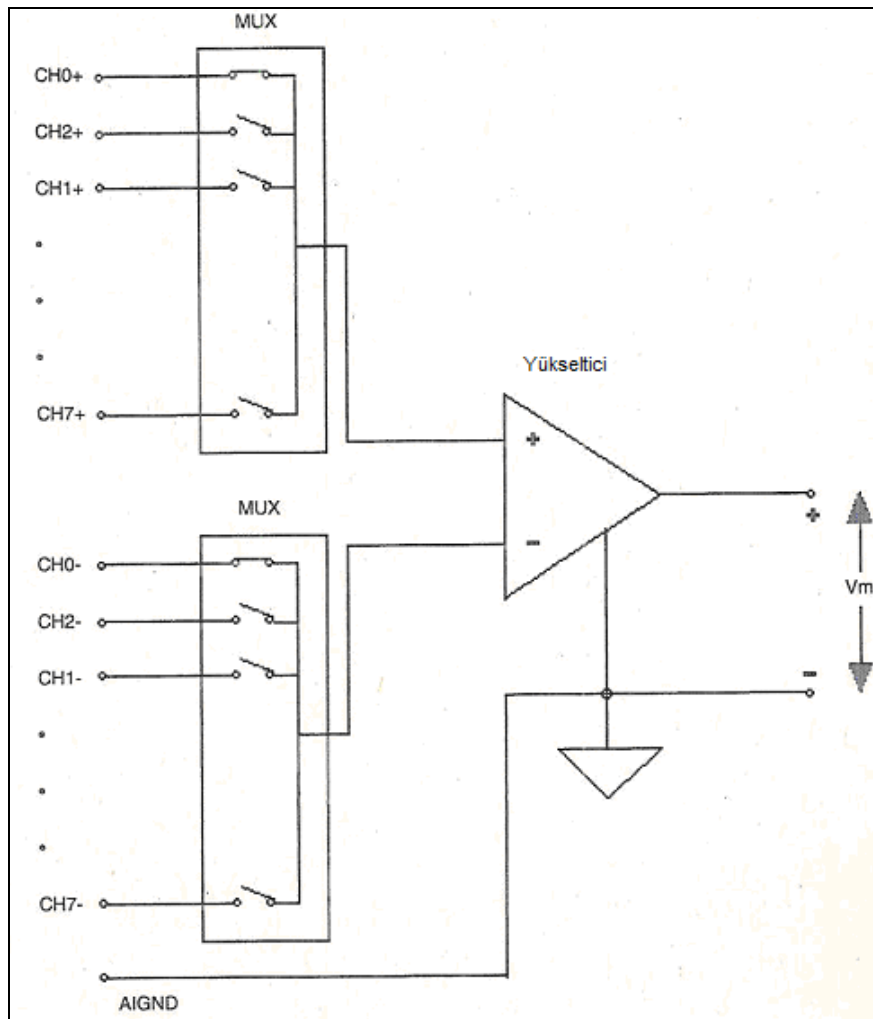
KAYNAK: JAMAL, Labview für Studenten 2004, p.345 (Örnek: 11.9.)

3.5.5. Veri Yakalama Tipleri

Eğer ölçüm sırasında birkaç noktaya dikkat edilirse, en iyi veri yakalama kartıyla sadece iyi sonuçlar elde edilebilir. Herkesin bildiği gibi, yükselticiler A/D dönüştürücülerin yanında çoklayıcıların önüne eklenirler. Enstrümantal yükselteç (instrumentation amplifier) ve işlemsel yükselteç (operational amplifier) olarak anılan

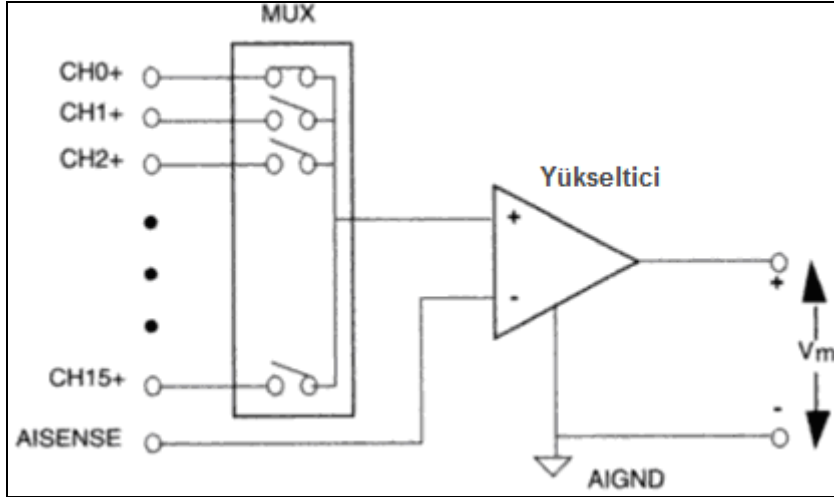
bu yükselteçler bir eviren-tersleyen-giriş ve bir de evirmeyen-terslenmeyen giriş sunmaktadırlar. Bunlar hem "diferansiyel" hem de "tek uçlu" (single ended) giriş bağlantılarını mümkün kılarlar. Diferansiyel modda tek uçluda olduğu gibi sadece giriş kanallarının yarısı kullanılabilir. Bu nedenle diferansiyel modun ölçüm kablolarına etki eden hasarları elimine edilir. Bunlar sensora oldukça uzak hatlarla ve hasar yaratabilecek çevrede çalışmak zorunda kalacaklardır. Daha sonra düşünülmesi gereken topraklanmış mı yoksa topraklanmamış bir kaynağın mı ölçüleceğidir. Şekil 18, Şekil 19 ve Şekil 20'de diferansiyel, RSE ve NRSE ölçüm tipleri şematik olarak gösterilmiştir.

Her talebe göre uygun olan giriş bağlantısı devre kartına bağımlı jumper (genişleme kartı üzerinde istenilen konfigürasyonu seçmeye yarayan elektrik konektörü) ile direk devre kartı üzerinde veya yazılımla gerçekleştirilir. Bu sözü edilenlerin uygulanmasında için ölçülecek gerilimin sabit ya da eğrisel olması fark etmemektedir.



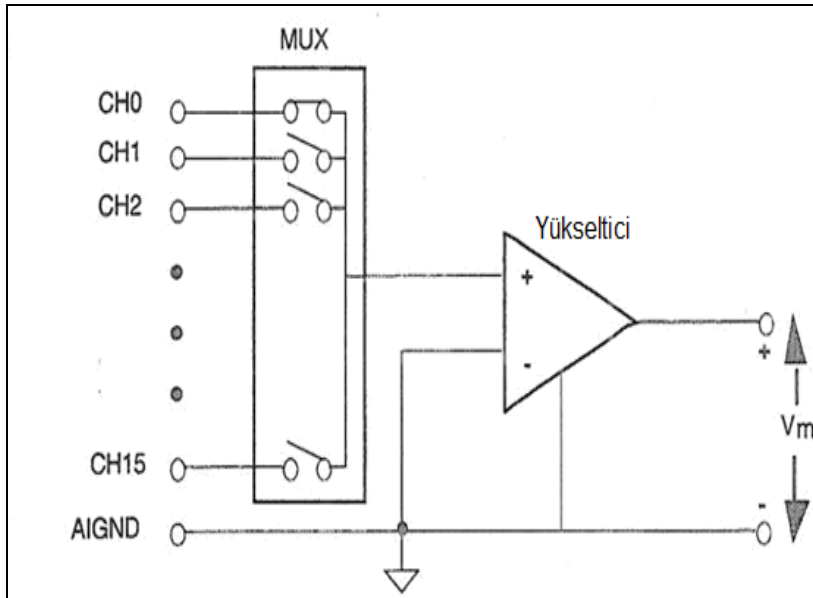
Şekil 18. Diferansiyel ölçüm

KAYNAK: JAMAL, Labview für Studenten 2004, p.346 (Örnek: 11.10.)



Şekil 19. Referenced Single Ended (RSE) ölçüm

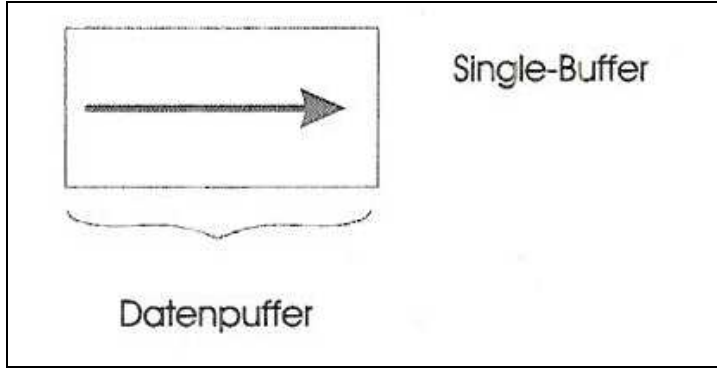
KAYNAK: JAMAL, Labview für Studenten 2004, p.346 (Örnek: 11.11.)



Şekil 20. Non Referenced Single Ended (NRSE) ölçüm

KAYNAK: JAMAL, Labview für Studenten 2004, p.347 (Örnek: 11.12.)

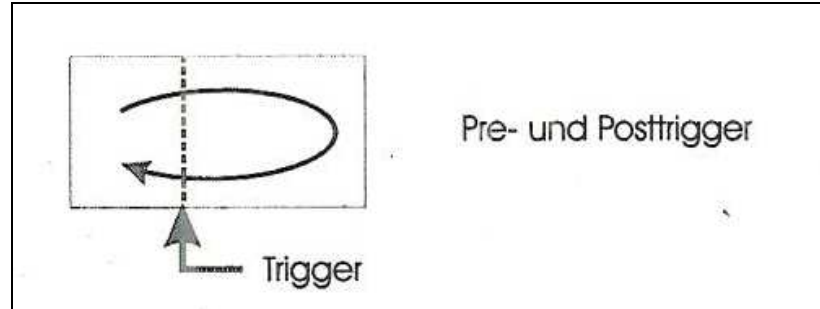
Eğrisel formdakilerin ediniminde bundan başka hafızada depolanması ve tetikleme (triggering) hususundaki üç olasılığın seçilmesi gerekir: Tek ara bellekli (Single-Buffer) yakalama bir donanım veya yazılım tetikleyici (trigger) ile etkinleştirilir ve veriler önceden tanımlanmış büyüklükteki bir dizide (array) depolanır (bkz. Şekil 21). Örneğin harici bir tetikleyici sinyali vasıtasıyla başlanması ve 10 000 noktanın 50 kHz'lik bir tarama oranıyla yakalanması gerekmedir. Program harici tetikleyici impulsu bekler ve ölçümden sonra çağrılmış olan programa geri döner. Ölçüm 10 000 Nokta/50 kHz, 0,2 saniye sürer. Anlatılan süreç bir dijital kayıt osiloskopundaki "tek atım" (single shot) ile karşılaştırılabilir.



Şekil 21. Single-Buffer-veri yakalama

KAYNAK: JAMAL, Labview für Studenten 2004, p.347 (Örnek: 11.13.)

Önce ve sonra tetikleyici (Pre-/Posttrigger) veri yakalamasında veriler önceden tanımlanmış büyüklükteki bir dizide (array) dosyalanırlar (bkz. Şekil 22). Aynen burada da bir tetikleyici impulsu işlemi başlatır ve hatta önceden verilen dizilerdeki kaç noktanın tetiklemeden önce veya sonra yakalanacağı ayarlanabilir. Noktaların tetiklemeden önce ölçülmesi gerekliliği, veri yakalamanın döngü biçiminde gerçeklemesine sebebiyet verir. Ama önce tetiklemeden olayından sonra elde edilen veriler dosyalanırlar. Örnek olarak 20 kHz'lik bir tarama oranında 1000 noktanın 300'ünün tetikleme olayından önce ve sonra 700'ünün ise bir X/Y grafiğiyle verilmesi gerekli olsun.

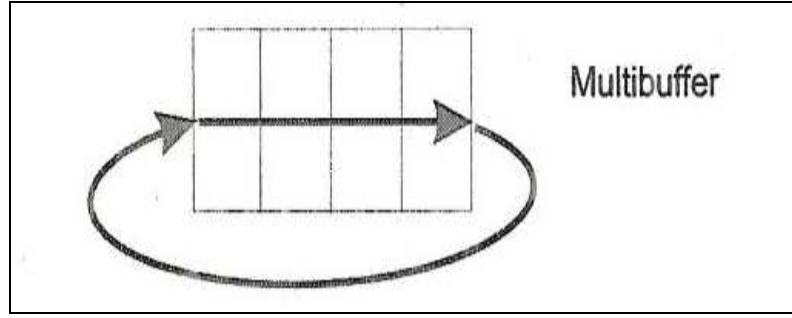


Şekil 22. Pre-/Posttrigger- veri yakalama

KAYNAK: JAMAL, Labview für Studenten 2004, p.348 (Örnek: 11.14.)

Çok arabellekli (multibuffer) veri yakalaması temiz arka plan veri edinimi gibi kullanılır (bkz. Şekil 23). Bir tamponun (ara bellek) büyüklüğü periyodik olarak tarif edilir. Bu demektir ki, yani yeni yeni tarifle tampon dolduysa, elde edilmiş veriler belirli bir süre sonra yeni verilerle değiştirilirler. Tamponun bir kısmı yeni veriler tarafından doldurulmadan okunmalı ve işlenmelidir.

Böyle bir fonksiyon başlamasından sonra hemen çağrılmış olan programa geri döner. Bu sırada ise arka planda periyodik veri yakalama devam etmektedir. Zaman zaman tamponun parçaları okunur, analiz edilir ve betimlenir. Ayrıca bununla beraber tabii ki üzerine yazma sebebiyle okunmamış tampon parçalarındaki veri kaybını önceden fark edip ve sinyallebilecek yardımcı fonksiyonlar mevcut olmalıdır (Jamal, 2004).

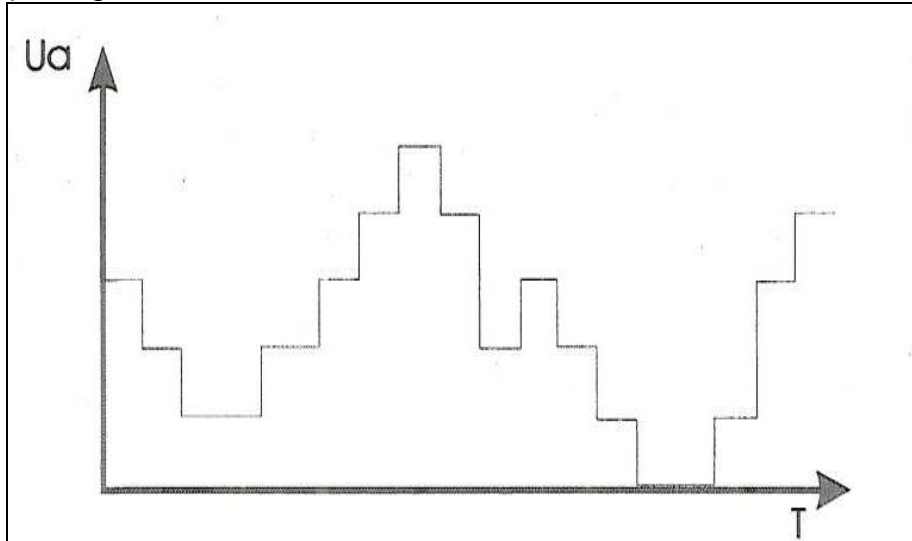


Şekil 23. Multibuffer-veri yakalama

KAYNAK: JAMAL, Labview für Studenten 2004, p.348 (Örnek: 11.15.)

3.5.6. Dijital/Analog dönüştürücü

Dijital/Analog dönüştürücü, kısaca D/A dönüştürücü olarak nitelendirilir ve çok haneli bir ikili sayı biçimindeki dijital büyüklüğü gerilim ve elektrik akımı gibi eşdeğer bir analog büyüklüğe dönüştürür. Bir analog sinyalin ayrıştırılması Şekil 24’de verilmiştir. İkili sayı örnek olarak bir bilgisayar tarafından oluşturulur. Böylece program desteğiyle hemen hemen keyfi bir analog gerilim referans geriliminin sınırlarında üretilir. Bu sırada D/A dönüştürücüsünü besleyen ikili sayıların sırası değiştirilir ve bu şekilde çıkışta basamak şeklinde bir eğri elde edilir. D/A dönüştürücüsünün çıkış sinyali çok değerlilikli ve süreklidir.



Şekil 24. Bir analog sinyalin ayrıştırılması

KAYNAK: JAMAL, Labview für Studenten 2004, p.349 (Örnek: 11.16.)

Dönüştürücünün uygun büyüklükteki değişim oranı ve çözünürlükte gelişigüzel formda yüksek frekanslı eğriler de oluşturulur. Kontrolsüz, keyfi bir eğim üretici elde edilir. “Keyfi” burada güvenilmez, kararsız demektir, çünkü kısa zaman kesitlerine göre, doğal olarak her zaman çıkış gerilimi çok değerlilikli kalır. Bununla beraber gerilim değerinin sabit olduğu zaman kesitleri istenilen analog sinyalden çok fazla küçük ve minimum dalgalanma maksimum sinyal geldiğinden çok küçük ise, çok değerlilikli çıkış gerilimi yaklaşık sabit değerlilikli gerilim olarak dikkate alınabilir. Bir dönüştürücünün sonlu çözünürlük ve değişim oranından dolayı pratikte sıkça sonrasına

alçak frekans geçiren filtreler yerleştirilir. Bu sayede gerçekten sabit değerli bir sinyal elde edilir (Jamal, 2004).

3.5.7. Bir D/A dönüştürücünün çalışma prensibi

D/A dönüştürücü için de farklı işleyiş olanakları vardır. En yaygın bir metot bir direnç devresinin D/A dönüştürücünü oluşturduğudur. Devreye dirençlerin bağlanmış şekillerine göre çıkışta gerilim ya da akım formunda farklı analog sinyaller elde edilir. Bununla beraber sinyal değiştirilecek olan ikili sayının her bir resmi şalteri kontrol eder. Genellikle çok fonksiyonlu kartlarda 12 ve 16 bit çözünürlüklü A/D dönüştürücüler kullanılır. Normalde bir kart üzerinde iki analog çıkış bulunur. Ama analog girişlerde yaygın olduğu gibi çoklayıcılarla çalışır, öyle ki standart kartlar temiz analog çıktı için ona (10) kadar D/A dönüştürücüyle donatılırlar.

Eğer D/A kısmına özel değer veriliyorsa, kart seçiminde nelere dikkat edilmelidir? Bit olarak çözünürlüğün ve maksimum çıktı oranının yanında "Glitch etkisi" de kaliteden sorumludur. D/A dönüştürücüyle eğik çizgili değil, tersine sadece ama zamansal olarak sabit gerilimler üretilecekse, bunun üzerinde düşünülmesine hiç gerek yoktur. Ama eğer bir tip fonksiyon jeneratörü (function generator) olarak kullanılacaksa Glitch etkisinden en az derecede nasibini almış çıkış değerleri vermelidir.

Glitchler, sebebinin temelde şalterlerin denk olmayan bağlantısından ve iletim sürecindeki parazitize dirençlerde aranması gereken gerilim yükselmeleridir.

Bu hasarların gücü D/A dönüştürücünün çalışma prensibine ve bu etkinin giderilmesi için kullanılması muhtemel çıkış filtresine bağlıdır. Maalesef üretici açıklamalarında üretilecek çıkış sinyali için çok az bilgi bulunmaktadır.

3.5.8. Dijital I/O

Dijital giriş ve çıkış kanalları, elektriğin durumunu okumak, göndermek veya dijital bit örüntüsüne çevirmek ve bunları alabilmek için kullanılır. Bu kanallardan sekizine sahip olan çok fonksiyonlu kartların yanında, özel "dijital I/O (input-output, giriş-çıkış) devre kartları" 96 kanala kadar sahip olabilirler. Bununla beraber girdi ve çıktılara açıkça karar verilemez. Kanallar her karta göre teker teker ya da portlarda yazılımla 4 veya 8 bitlik olarak ayarlanabilirler.

Genelde TTL (TTL = Transistor Transistor Logic) düzeyi ile çalışılabilir. Buna göre "0" düşük sinyal ve 0 ve 0.8 V arasında, "1" ise yüksek sinyal 2 ile 5.25 V arasındadır. Burada akan akım, bir girişte birkaç ampere denk gelir ve ihmal edilebilir. Bir çıkışta oluşturulan akım ise miliamperden çok az büyüktür. Öyle ki kullanıcı tarafından kullanılabilmesi için dışarıdan uygun duruma getirilmesi gerekir.

Dijital I/O'ların veri yakalama için kullanılması gerekirse, yüksek transfer oranları arzu edilir. Bunlar kullanılan bilgisayara ve yazılıma kuvvetlice bağlıdır. Ama 100Kbyte/saniyenin üzerinde oranlara ulaşılabilir (Jamal, 2004).

3.5.9. Counter/Timer (Sayıcı/Zamanlayıcı)

Sayıcı/Zamanlayıcının (Counter/Timer) veri yakalamadaki kullanım alanı olayları saymak ve ya zamanı ve frekansı ölçmektir. Sinyal üretimi alanında ise impulsları tam olarak tarif edilmiş duraksamalarla ve ayarlanabilir Impuls/Duraklama oranıyla dikdörtgen üretici olarak hizmet eder. Çok fonksiyonlu kartlar üzerinde genellikle iki ya da üçe kadar 16 bit çözünürlüğünde Counter/Timer bulunur. Aynı zamanda örneğin on sayıcıya kadar Counter/Timer kartları da mevcuttur. Bununla beraber 32 bitlik bir sayıcıyı gerçekleştirebilmek için bunları kaskadlayarak kullanmak mümkündür.

Olaylarla sayılabilecek olan azami frekans birkaç MHz civarındadır ve zaman ölçümündeki çözünürlük 1 saniyenin altında gerçekleşir. Zaman ölçümü ve dikdörtgen sinyallerinin çıktısı için saat üreticileri (Clock generator) gereklidir. Bunlar kart üzerinde bulunmalı, uygun derecelendirmeye sahip olmalı ve yazılımla ayarlanabilir olmalıdır (Jamal, 2004).

3.6. Ölçü Verileri Yakalama Yazılımları

Bilgisayar destekli veri yakalama sistemlerinin kullanım seçeneklerine ve kullanılabilirliklerine bir taraftan kullanılan donanım yani bilgisayar ve veri yakalama aletlerine göre ama diğer bir taraftan da aynı zamanda ağırlıklı olarak yazılıma göre karar verilir. Son yıllarda donanım alanında muazzam artan fiyat-performans oranıyla ve iş istasyonlarının (Workstation) ek standardizasyonlarıyla, yazılımlar artan bir şekilde ön plana çıkmışlardır.

Uygun programların seçimindeki temel unsur, bir bilgisayar sisteminin problemin çözümünde etkili olup olmayacağıdır. Yazılım seçimindeki problem özellikle bilgisayar alanındaki standardizasyon bakımından önem kazanmıştır. Bir taraftan birçok kullanıcı için uygun bir kişisel bilgisayar çok az soru teşkil ederken, donanımın standardizasyonu ile farklı yazılımların satışa sunulması büyük bir ölçüde yaygınlaşabilecektir. Keza prensipte en uygun program sorusu bir çok kullanım alanında söz gelimi metin yazımı, adres yönetimi, CAD, simülasyon veya veri yakalama için de sorulmaktadır. Ticari kullanımların çoğu için detaylı bilgisayar ve programlama bilgisi olmadan kullanılabilen farklı işlevsel kabiliyetlerde program paketleri mevcuttur. Kişisel program oluşturma sorusu ise çok az ortaya çıkar.

Bilgisayar destekli veri yakalama alanının durumu daha farklı görünüyor. Bu genellikle uygulamaların %70'inin veri yakalama donanımlarına ve çeşitli analiz metodlarından özel arşivleme ve dokümantasyon talimatlarına kadar olan farklı taleplerden meydana geldiğinden hareket edilerek ifade edilir. Ama bu arada ölçme tekniği uygulamaları için kullanılan standart programlar, çeşitliliğin doğru bir şekilde ele alındığı ve bunun da yaygınlaşmaya neden olduğu bir gelişim aşamasına ulaşmıştır (Bitterle, 1993).

Ek 2. Yazılmış Olan Programın Açıklanması

Bu bölümde yazmış olduğum programı detaylı olarak açıklamak istiyorum. Bundan dolayı akış diyagramının adımları programdan alınmış olan resimlerle açıklanmış ve kullanılan yapı taşları ise programın kendi yardım seçeneğinin de yardımıyla açıklanmıştır. Eğer bir yapı taşı daha önceki işlem adımlarının birinde numaralanmış ve açıklanmışsa yeniden açıklanmamıştır.

1. Simge 1

Program açıldıktan sonra kişi ön paneldeki bu sorularla karşılaşır. Burada klasör, bekleme süresi, süre ve veri kaydı bekleme süresi soruları doldurulmalıdır. Klasörün seçimiyle oluşturulacak olan dosyaların nerede bulunması gerektiği kararlaştırılır. Program her veri yakalama sürecinden önce belirli bir süre bekler. Bu bekleme süresi ise kullanıcı tarafından "Bekleme süresi" sorusu altındaki kutucuğun doldurulmasıyla tespit edilir. İstenen bekleme süresi milisaniye olarak yazılmalıdır. "Süre" ve "veri kaydı bekleme süresi" soruları ise yakalanan verilerin düzenlenmesinde oldukça önemlidir. "Veri kaydı bekleme süresi" sorusu ile verilerin ölçülmesi ile ortalamalarının alınıp dosyaya yazılması arasındaki zaman aralığı tespit edilir. Tabii ki bu zaman aralığına karar vermeden önce elektriksel gücün ölçümünde de gerekli olan zaman aralığına dikkat edilmelidir. Kullanıcı aynı zamanda bir dosyanın kaç günlük ölçümleri barındıracağını da tespit edebilir. Bu kararı seçimi yapabilmek için "Süre" sorusunun altındaki kutucuğun doldurulması gereklidir.

Lütfen aşağıdaki parametreleri doldurunuz!

Selektieren Sie bitte den Ordner

C:\Users\harun\Desktop\labview-internet\test-

Verilerin nereye kaydedilmesi gerektiğini seçiniz.

Veri kaydı bekleme süresi

0

Veriler kaydedilmeden önce kaç dakika boyunca yakalanmalıdır ya da kaç dakikada bir veriler kaydedilmelidir?

Bekleme süresi(milisaniye)

0

Program verileri yakalamadan önce kaç milisaniye beklenmelidir?

Süre

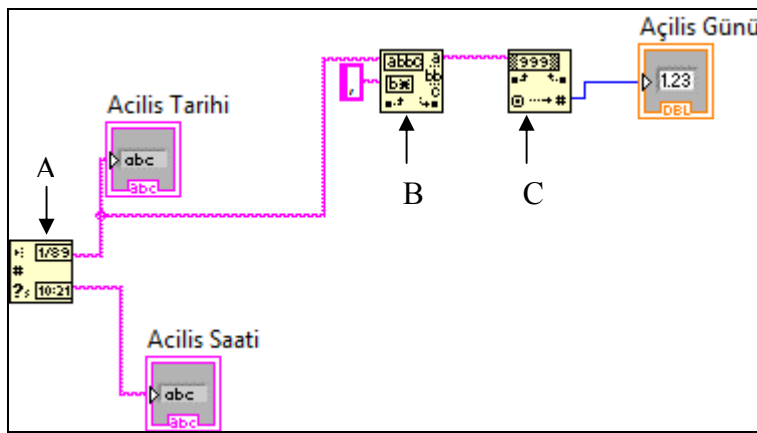
7

Verileri kaydedildiği dosya kaç günü içermelidir?

Şekil 25. Simge 1

2. Simge 2

Öncelikle zaman sayacı için referans teşkil eden ve dosyalara yazım sırasında önemli rol oynaya zamanla ilgili bilgiler kaydedilir. En önce program "Tarih-/Saat string oku" fonksiyonu yardımıyla tarihi ve saati okur. Tarih "Açılış tarihi" ve saat ise "Açılış Saati" olarak kaydedilir. Tarihin değişiminin farkına varılması için programın ayın hangi gününde başladığı tespit edilmelidir. Binaenaleyh "Örnek arama" fonksiyonuyla bütün tarih içerisinde sadece gün elde edilir. Bundan sonra bu sayı ileride karşılaştırılmalarda kullanılmak üzere "ondalık stringi rakama dönüştür" fonksiyonu sayesinde string formatından ondalık sayıya dönüştürülür ve "Açılış günü" olarak kaydedilir.



Şekil 26. Simge 2

(A) Tarih-/Saat-String oku: Zaman damgası (timestamp) formatındaki bir zamanı ya da nümerik veriyi, kullanılan saat dilimi de dikkate alınarak tarih ve zaman çıktısına

dönüştürür. Rakam ya da zaman çıktısı 01.Ocak 1904 Cuma günü saat 12.00'den beri geçen saniyeler şeklinde ifade edilir.

(B) Örnek arama: String formatındaki veri içinde verilmiş olan ifadeyi yine verilmiş olan başlangıç pozisyonundan başlayarak arar ve bunla karşılaştığı zaman veri stringi üç parçaya bölünür. Geçerli bir verinin belli bir işaret kombinasyonu olmalıdır.

(C) Ondalık Stringi rakama dönüştür: String formatındaki sayıları verilmiş olan başlangıç pozisyonundan başlayarak ondalık sayılara dönüştürür ve rakam şeklinde verir.

3. Simge 3

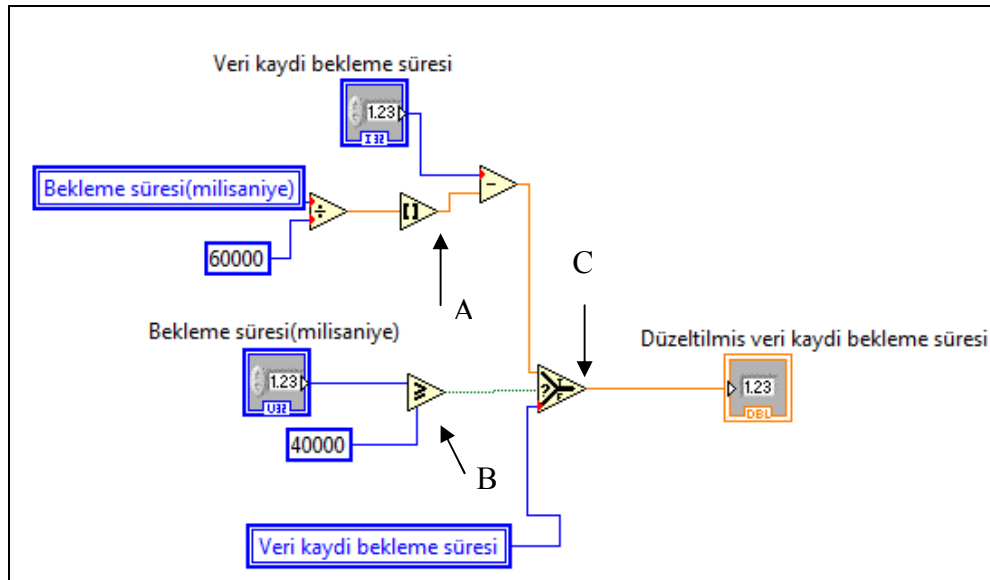
Burada "Açılış günü" değeri "Gün kontrolü" değerine atanır. "Gün kontrolü" değişkeni ileride tarihin farkındalığından sorumlu olacaktır.



Şekil 27. Simge 3

4. Simge 4

Program verileri sabit bir zaman aralığında ölçmelidir. Bu sabitliği garanti edebilmek gayesiyle veri yakalama için "Bekleme süresi"ne göre "Düzeltilmiş veri kaydı bekleme süresi" isminde yeni bir süre tespit edilmiştir. Eğer "Bekleme süresi" 40 saniyeden büyük ya da eşitse, bu değer 60000'e bölünmek suretiyle dakikaya çevrilen ve "Bir sonraki tam sayıya yuvarla" fonksiyonu ile yuvarlanmış "Bekleme süresi" değeri, "Veri kaydı bekleme süresi" değerinden çıkarılır. Bu şekilde "Düzeltilmiş veri kaydı bekleme süresi" bulunur.

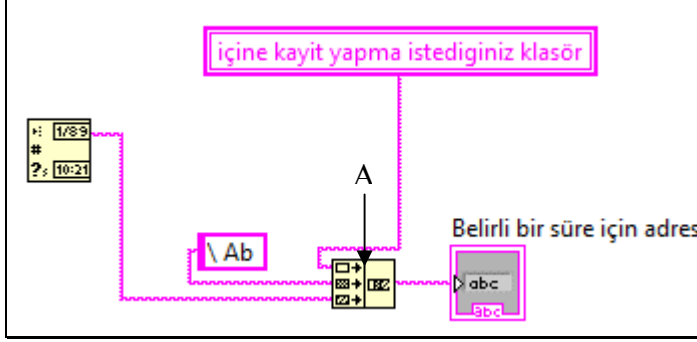


Şekil 28. "Düzeltilmiş veri kaydı bekleme süresi" değişkeninin oluşturulması (Simge 4)

(A) Bir sonraki tam sayıya yuvarla: Giriş değerini bir sonraki tam sayıya yuvarlar. Eğer giriş değeri tam olarak iki tamsayının arasındaysa (örneğin 1,5 veya 2,5), fonksiyon bir sonraki tam sayı değerini (2) verir.

(B) Büyük veya eşit?: Eğer x değeri y'den büyük ya da bu değerler eşit ise DOĞRU (true) verir. Aksi takdirde YANLIŞ (false) verir.

(C) Seçme: “?” olarak gösterilen giriş değerine göre t (true-doğru) ya da f (false-yanlış) kısımlarına bağlanmış olan değeri verir. Eğer “?” DOĞRU ise, t'deki değer, YANLIŞ ise f'deki değer verilir.



Şekil 29. “Belirli bir süre için adres” değişkeninin oluşturulması (Simge 4)

(A)Stringleri bağlama: Stringleri bağlar ve tek boyutlu string dizilerini tekil stringlere dönüştürür. Dizi girişlerinde fonksiyon dizinin tekil elemanlarını okur ve tek bir string olarak birleştirir.

Burada ilk metin dosyasının adresi tespit edildi. İlk önce tarih okundu ve sonrasında bu tarih “Stringleri bağlama” fonksiyonunun yardımıyla “\ Ab” (Almancada “-den itibaren”) string sabitiyle ve verilmiş olan “içine kayıt yapmak istediğiniz klasör” değeriyle bağlanır.

5. Simge 5

Burada öncelikle “While loop” döngüsü anlatılmalıdır. While loop döngüsü alt programı şart bağlantısından belli bir işaret alana kadar tekrar ettirir. Nasıl bir işaret bekleceği hususunda döngünün ayarlarına göre hareket edilir. Kişi doğru (true) için dur (stop) ya da devam et şeklinde seçim yapabilir.

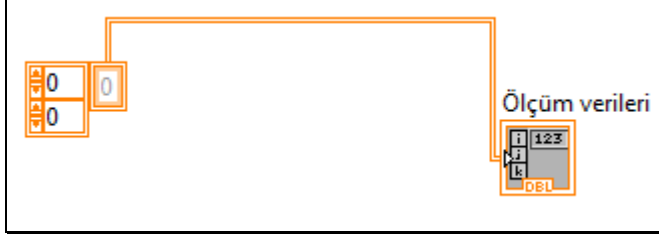
Daha önce gerçekleştirilen hazırlık işlemlerinden diğerlerini ayırmak için bu işlemler “While loop” içerisinde gerçekleştirilmiştir. Döngü bir yanlış (false) sabitiyle devam edecek şekilde ayarlanmıştır.



Şekil 30. Simge 5

6. Simge 6

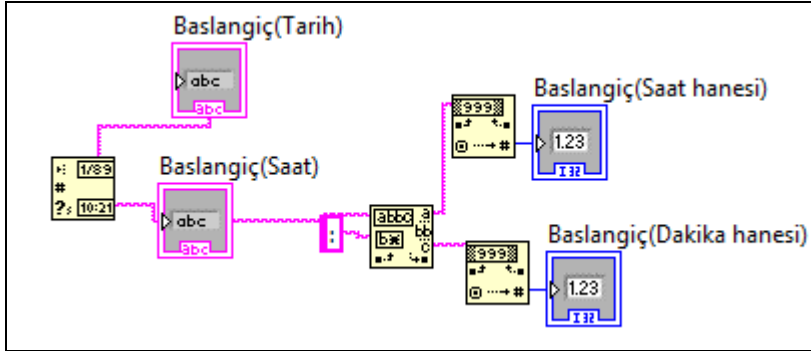
Ölçüm verileri dizisinin içerisinde her “bekleme süresi” sonunda yakalanan ve ortalamaları alınan veriler (devir sayısı hariç) bulunmaktadır. Verilerin ortalaması “düzeltilmiş veri kaydı bekleme süresi” olarak adlandırılan, istenen bir süreye göre alınır. Eğer döngü kendini tekrar ederse, bu dizinin sıfırlanması gerekir. Böylece son döngüde kullanılan ve yeni veri yakalamalarında önemsiz olan veriler elimine edilmiş olur.



Şekil 31. Simge 6

7. Simge 7

Burada ölçümden önceki zaman okunmaktadır. “Başlangıç(Tarih)” ve “Başlangıç(Saat)” değişkenleri metin dosyasının oluşturulmasında kullanılır. “Başlangıç(Saat)” değişkeninden “Örnek arama” fonksiyonu ile çekilen ve “Ondalık Stringi rakama dönüştür” fonksiyonunun yardımıyla da sayı formatına çevrilen “Başlangıç(Dakika hanesi)” ve “Başlangıç(Saat hanesi)” olarak adlandırılan değişkenler, veri yakalamanın başlangıcı ve bitimi arasındaki zaman farkını ölçmek için güncel zamanla karşılaştırma gayesiyle kullanılırlar.

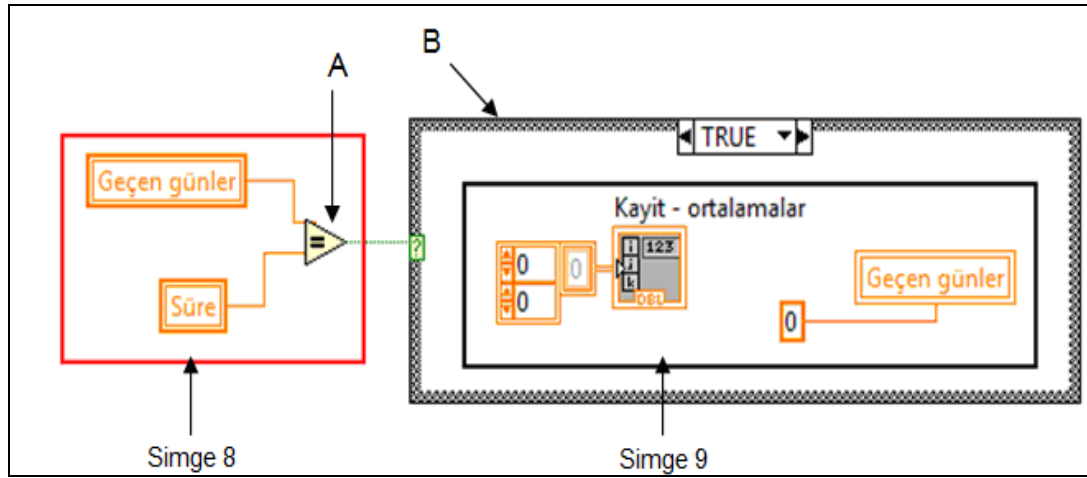


Şekil 32. Simge 7

8. Simge 8 ve 9

Her “Süre” içerisinde oluşturulan metin dosyası verileri “Kayıt-ortalamalar” dizini tarafından alınır. Eğer yeni bir metin dosyası hâlihazırda oluşturulmuşsa, “Kayıt-ortalamaları” dizisinin bu yeni metin dosyası için temizlenmesi gerekmektedir. Bu durumun tayini için programın mevcut güne kadar kaç günün geçtiğini gösterebilecek bir değişkene ihtiyacı vardır. Benim programında bu değişkenin ismi “Geçen günler” değişkenidir. Eğer bir metin dosyasının yazımı sona erip yeni bir gün başlıyorsa, bunun tespitinde kullanılan “Geçen günler” değişkenine “0” (sıfır) değeri verilir. “Geçen

günler’’ değişkenin ölçümünün nasıl olduğunu ileride simge 34 ve 35 açıklanırken anlatılmıştır.



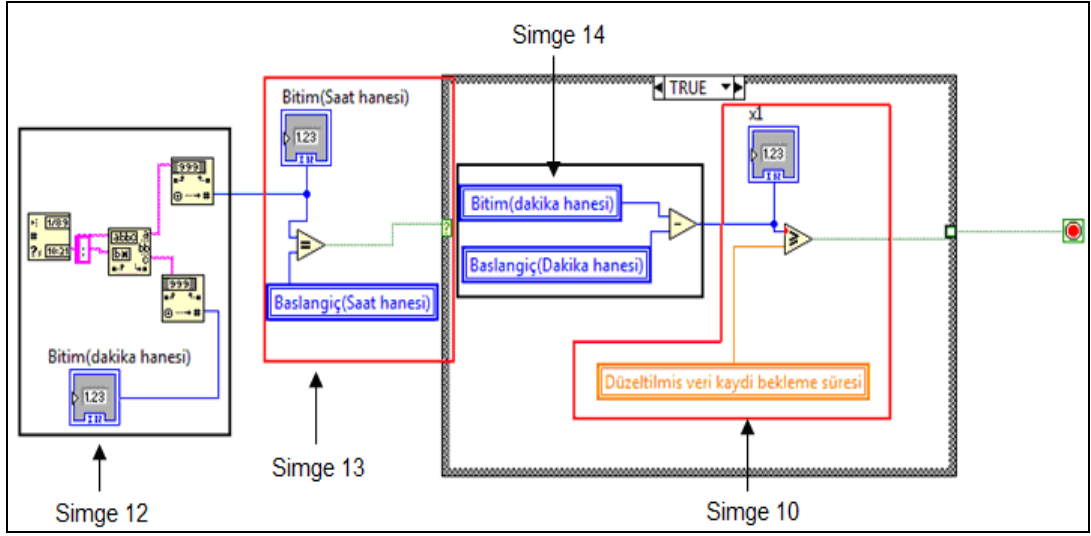
Şekil 33. Simge 8 ve 9

(A) Eşit?: Eğer x ile y birbirine eşitse (iki karşılaştırılan değer) DOĞRU (true) verir. Aksi taktide YANLIŞ (False) verilir.

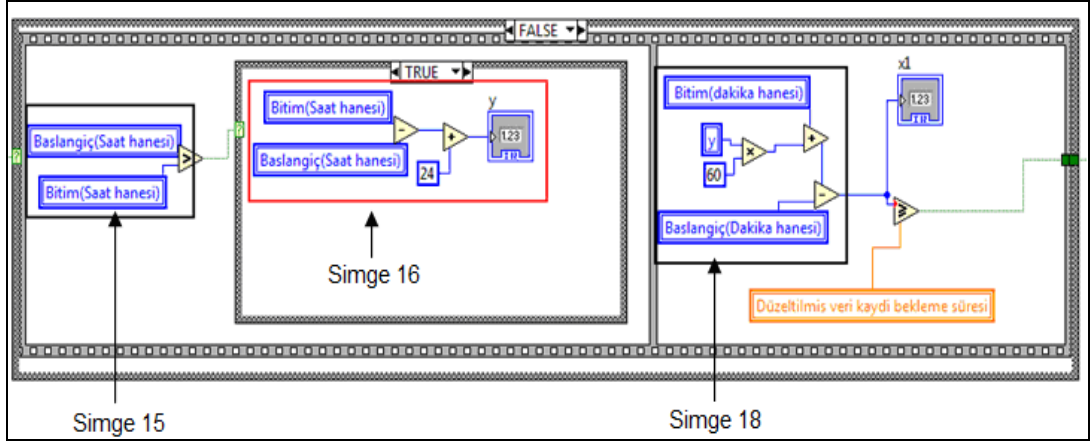
(B) Case Structure (Durum yapısı): Yapının işleyişinde birinden birinin uygulandığı bir ya da birden çok alt diyagramlara sahiptir. Seçim girişine bağlanmış olan değer hangi alt diyagramın uygulanacağına karar verir ve true veya false değer alan gösterge (boolean), string, tam sayı veya enum (enumeration –numaralama) elementi biçiminde olabilir. Yapı üzerine farenin sağ tuşuyla tıklandığı zaman durumların eklenip çıkarılabileceği bir menü açılır. Hangi değerlerin ya da hangi değerlerin ilgili durumda uygulanacağı, yazım araçları sayesinde seçim etiketleri içerisine kaydedilebilir.

9. Simge 10, 12, 13, 14, 15, 16, 17 ve 18

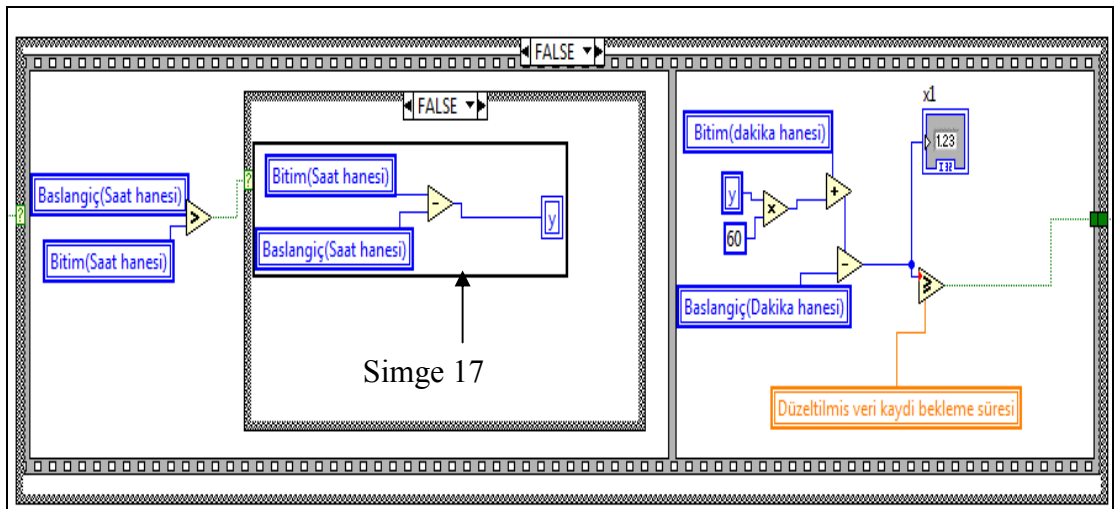
Ölçümler bir While döngüsü içerisinde gerçekleştirilir. Bu While döngüsü, ölçümler için geçen sürenin “Düzeltilmiş veri kaydı bekleme süresi” değişkeninden büyük ya da buna eşit olduğu durumda durur. Burada anlık zaman okunur ve zaman “Örnek arama” fonksiyonunun sayesinde saat ve dakika olarak ayrılır. Programda bu veriler “Bitim(Saat hanesi)” ve “Bitim(Dakika hanesi)” olarak isimlendirilir. Güncel zamanın saat hanesiyle “Bitim(Saat hanesi)” ölçümlerden önce tespit edilen zamanın saat hanesi birbirine eşitse, “X1” olarak adlandırılan süre “Bitim(Dakika hanesi)”’nden “Başlangıç(Dakika hanesi)”’nin çıkartılmasıyla bulunur. Diğer bir taraftan programın gün değişip değişmediğini tespit etmesi gerekmektedir. Bu sebepten dolayı program o anki zamanla “Bitim(Saat hanesi)” ile en başta ölçülen zamanla “Başlangıç(Saat hanesi)” karşılaştırır. Sözü edilen durumda ilk defa olarak “Başlangıç(Saat hanesi)” ile “Bitim(Saat hanesi)”nin farkı hesaplanır. Daha sonra gün değişimini dikkate alabilmek için bu sonuç 24 ile toplanır. Bulunan bu değer programda “Y” olarak adlandırılır. Eğer o anki zamanın saat hanesi, en başta ölçülen zamanın saat hanesinden büyükse, gün değişmiş demektir. Bundan dolayı “Y” değerini hesaplayabilmek için 24 ile toplamak gereklidir. Saat hanelerindeki fark “Y” 60 ile çarpılarak dakikaya çevrilir ve “Bitim(Saat hanesi)” ile “Başlangıç(Saat hanesi)” arasındaki farkla toplanır. Böylece “X1” diye adlandırılan ölçümün zaman aralığı bulunabilir.



Şekil 34. Simge 10, 12, 13 ve 14



Şekil 35. Simge 15, 16 ve 18



Şekil 36. Simge 17

10. Simge 11

Kontrol değişkeni program başlamadan önce kullanıcı tarafından tespit edilen “Bekle” fonksiyonu ölçümlerin gerçekleştirildiği While döngüsünün içerisinde bulunmaktadır ve anlık ölçümler arasındaki bekleme zamanını kontrol etmekle sorumludur.

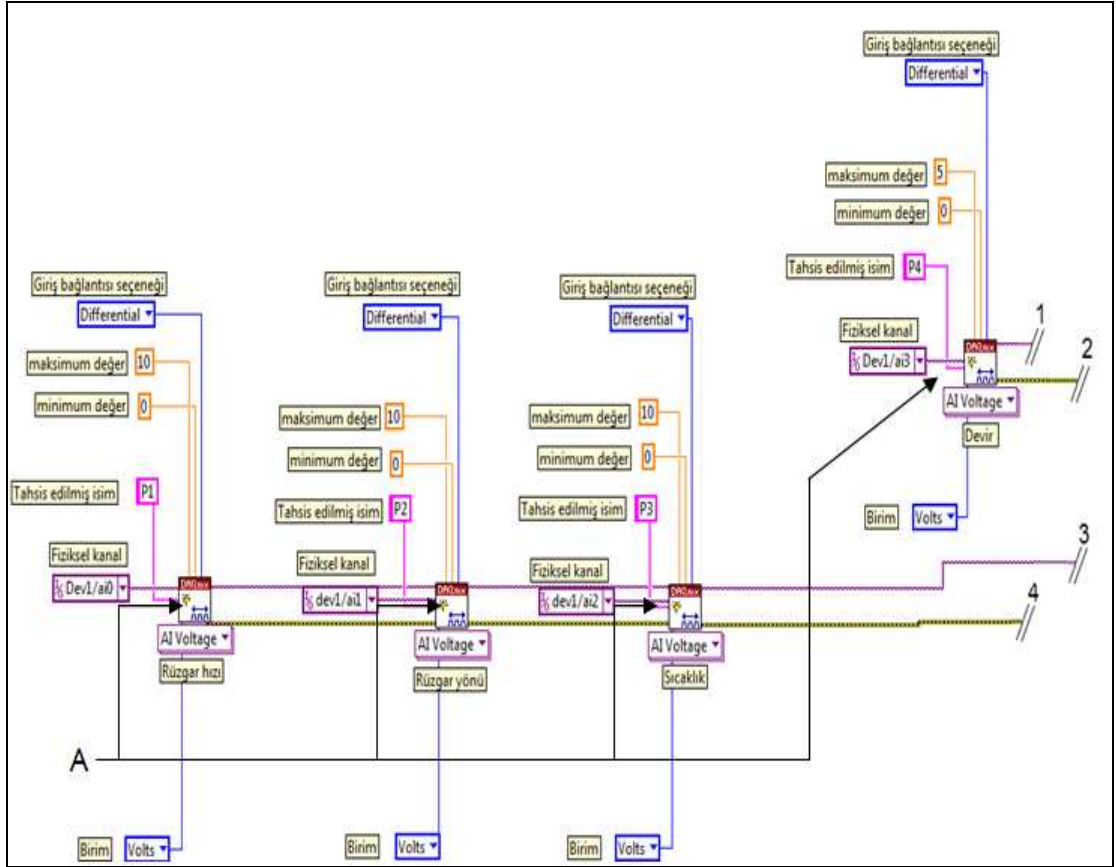


Şekil 37. Simge 11

(A) Bekle (ms): Milisaniye olarak verilmiş bir zaman süresince bekler ve milisaniye sayacının son değerini verir.

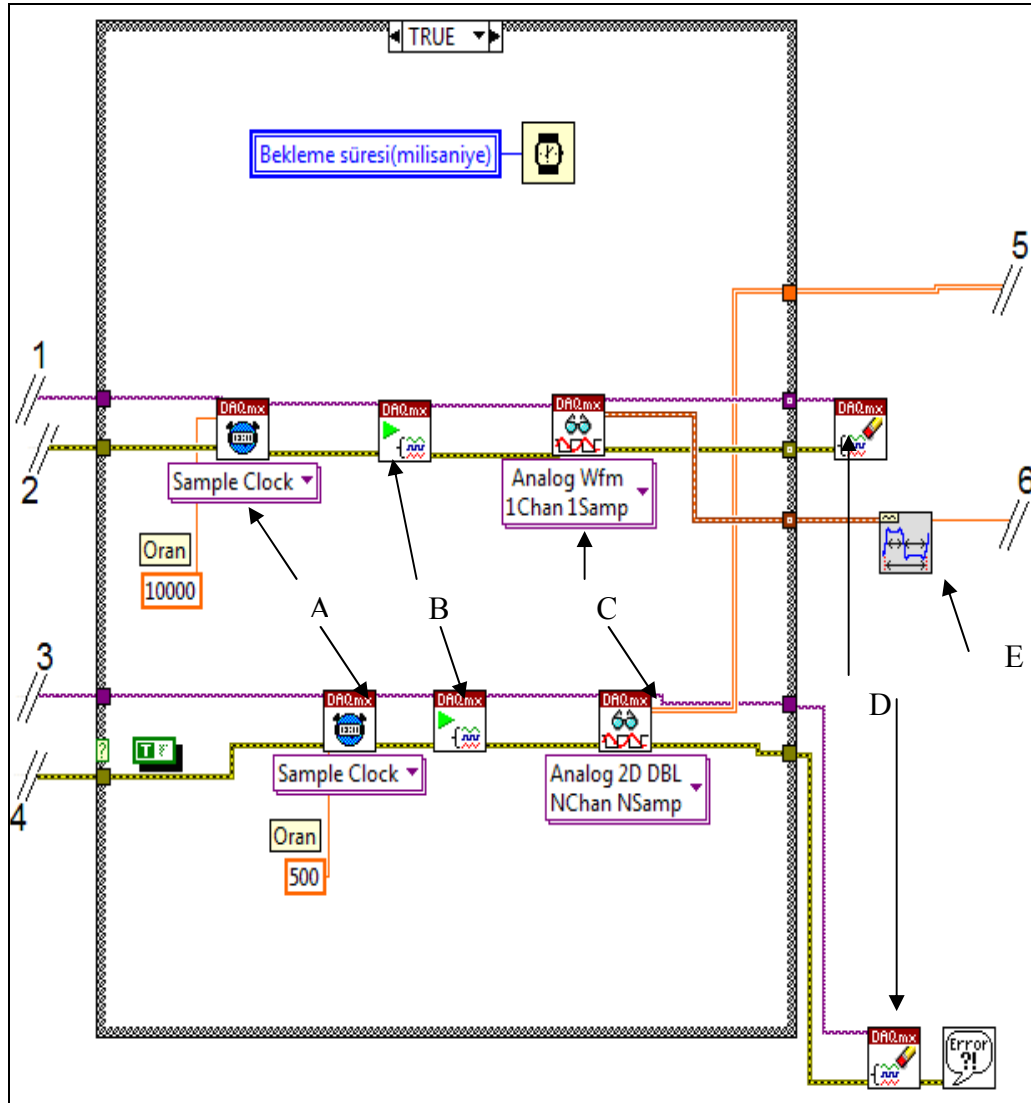
11. Simge 19

Burada ölçüm için gerekli bütün parametreler ayarlanmıştır ve ölçümde kullanılacak fiziksel kanallar tespit edilmiştir. Fiziksel kanallar veri yakalama kartının giriş ve çıkışlarıdır. Doğru kanalın seçildiğine ve seçilmiş olmasına ihtimam göstermek gerekir. Giriş bağlantı seçeneği diferansiyel olarak seçilmiştir. Diferansiyel ölçüm sistemlerinin girişlerinin toprak gibi sabit bir referansla bir bağlantısı yoktur. Bir diferansiyel ölçüm sistemi aynı akan bir sinyal kaynağı gibidir, çünkü ölçüm, ölçüm zemininden farklı kayan bir zemin üzerine istinat eder. “Sample Clock” fonksiyonu ile ise ölçümlerin tarama oranı ayarlanabilir ve eğer gerekliyse bir ara bölge oluşturabilinir. İyi bir ölçüm için en önemli parametre tarama oranıdır.



Şekil 38. Simge 19 birinci görüntü

(A) DAQmx- Sanal Kanal Oluşturma: LabView programında bir ölçüm projesi görev (task) olarak isimlendirilir. Bir görevde bir ölçümün ya da sinyal üretiminin bütün parametreleri (Kanallar, tetikleyici (trigger) ve diğer ayarlar) birleştirilmiştir. ‘DAQmx Create Virtual Channel VI’ fonksiyonu açmak suretiyle bir görev oluşturulabilir. Bu şekilde eş zamanlı olarak bir görev açılır ve her kontrol elemanı başına fiziksel giriş ve çıkışlar ile diğer parametrelerin tahsis edilebileceği bir sanal ölçüm kanalı yaratılır /7/.



Şekil 39. Simgе 19 ikinci görüntü

(A) Sample Clock (Örnek saati): Sample Clock üretilecek ya da kazanılacak (yakalanacak) örnek sayısını ayarlar ve gerekliyse ara bellek oluşturur.

(B) DAQmx- Task (Görev) Başlatma: Görevi uygulama durumuna getirir ve ölçüme ya da sinyal üretimine başlar. Bu enstrüman bazı kullanımlar için gerekli bazıları ise opsiyoneldir.

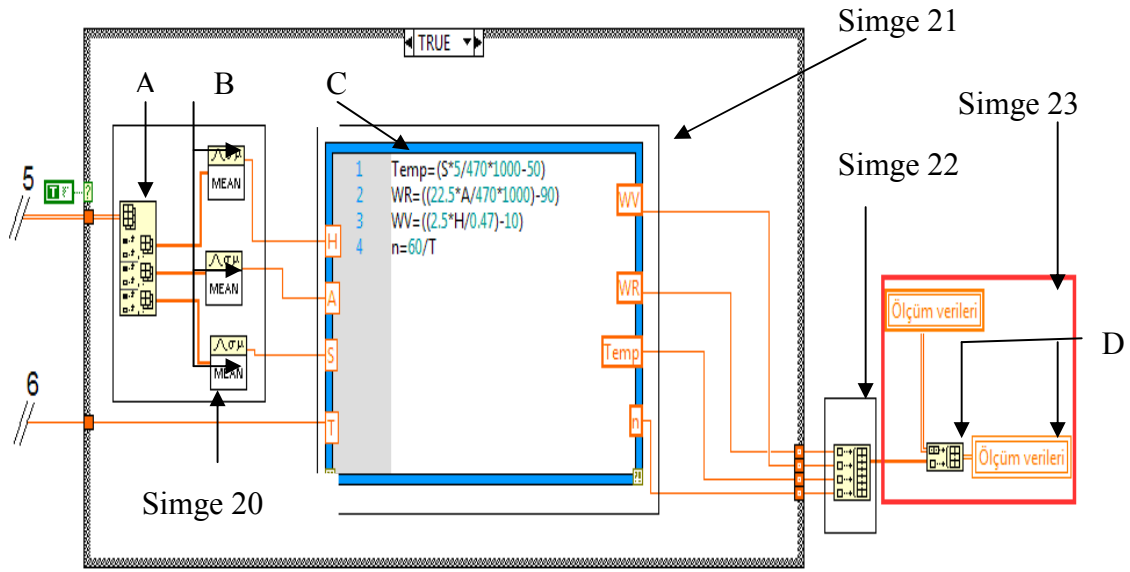
(C) DAQmx-Okuma: Verilen bir görevin ya da sanal kanalın örneklerini okur. Bu enstrümanla örneklerin hangi formatta verilmesi gerektiği, yani sadece tek bir örneğin mi yoksa daha fazla örneklerin mi aynı anda okunması gerektiği ya da bir veya daha fazla kanalın mı sorgulanması gerektiğini tespit edilebilir.

(D) DAQmx- Taskı (Görevi) ilk durumuna getir. Bir göreve dair bütün ayarları siler. Silmeden önce görevi durdurur ve görev tarafından kontrol edilen kaynaklar üzerindeki denetimi kaldırır, serbest bırakır. Eğer göreve yeniden ihtiyaç duyarsanız, onu yeniden yerleştirmelisiniz (Georgi 2008).

(E) İmpuls ölçme: Periyodik sinyallerle ve periyodik sinyallerin dizileriyle çalışır ve seçilmiş impuls periyodu ve impuls genişliği gibi değerleri verir.

12. Simge 20, 21, 22 ve 23

“Sample Clock” fonksiyonunda seçilen tarama oranına göre yakalanan meteorolojik veriler ilk olarak sanal kanalların sırasına göre “Dizi endeksini çıkar” fonksiyonunun yardımıyla ayrılırlar ve sonrasında bu verilerin ortalamaları alınır. Bu ortalaması alınan bütün veriler ölçülmüş olan voltlar, gerilimlerdir. Sözü edilen veriler gelecek aşamada işlem algoritmaları için oluşturulmuş “MathScript-Düğümüleri”ne yollanırlar. Bu yapıya (3.22), (3.23) ve (3.24) eşitlikleri hava istasyonu verilerinin hesaplanması için yazılmıştır. Ama eşitliklerin kullanımında veriler gerilimden akıma dönüştürülmüştür. Bu işlemler sonunda kazanılmış olan veriler “Dizi yaratma” fonksiyonu sayesinde birleştirilir ve sonra yeniden yaratılmış olan bu dizi “Ölçüm verileri” dizisine yazılır. Bu sayede programın seyri sırasında veriler kaybolmamış olur.

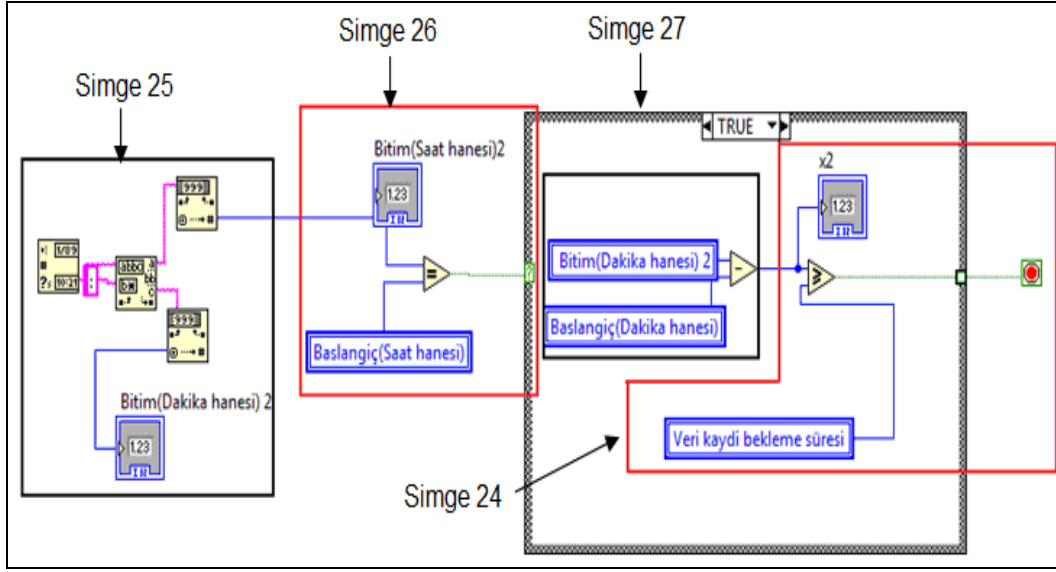


Şekil 40: Simge 20, 21, 22, 23

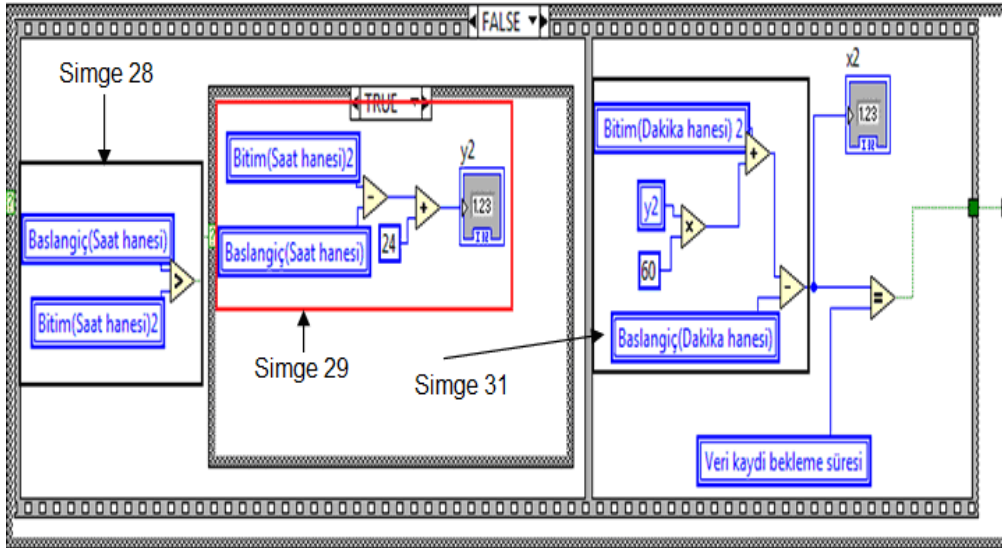
- (A) Dizinin endeksini çıkar: Girişte verilen n-boyutlu dizinin alt dizilerini verir.
- (B) Ortalama: Giriş değerlerinin ortalamasını hesaplar:
- (C) MathScript-Düğümüleri: Bunun yardımıyla işlem algoritmaları gerçekleştirilebilir.
- (D) Dizi yaratma: Birçok diziyi birbirine bağlar ya da n-boyutlu bir diziyi eleman ekler.

13. Simge 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30 ve 31

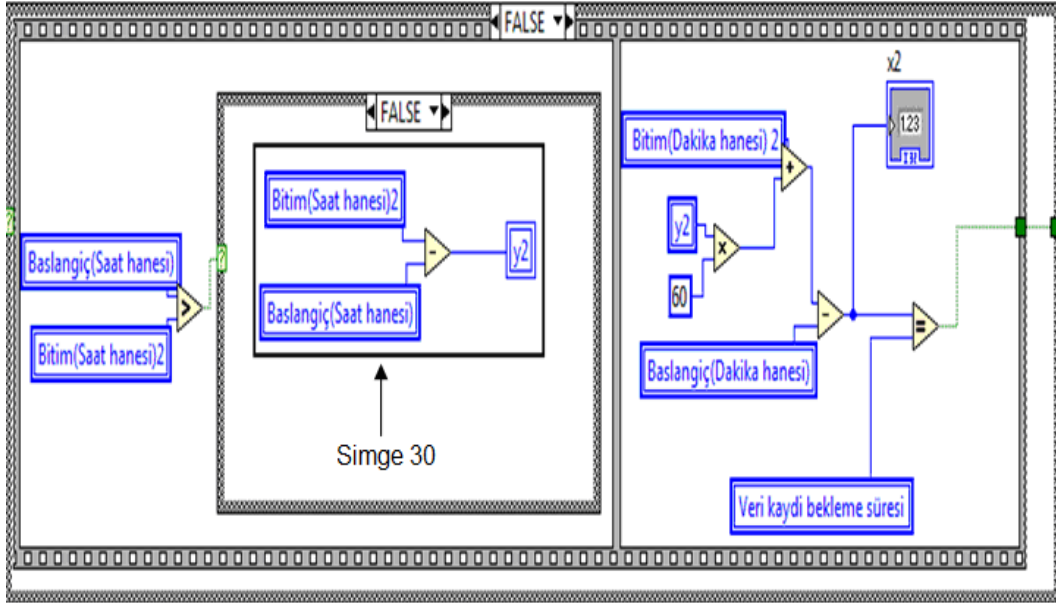
Bu başlık altında anlatılan işlem aynı 3.4.2.9. başlığında anlatılana benzemektedir. Sadece “Bitim(Saat hanesi)”, “Bitim(Dakika hanesi)”, “X1” ve “Y” değişkenleri yerine burada “Bitim(Saat hanesi)2”, “Bitim(Dakika hanesi)2”, “X2” ve “Y2” değişkenleri mevcuttur. Aradaki en önemli fark ise döngünün kontrol değişkenleri “Düzeltilmiş veri kaydı bekleme süresi” ve “Veri kaydı bekleme süresi” arasındadır. Bu farkın sebebi zaman aşımını engellemek için tedbir olarak bir bekleme süresi alınması gerekliliğidir. Eğer kullanıcı iki ölçüm arasındaki bekleme süresini 40 saniyeden daha fazla seçerse, bu tedbir devreye girecektir. Aksi takdirde “Düzeltilmiş veri kaydı bekleme süresi” ve “Veri kaydı bekleme süresi” değişkenleri birbirine eşit olur.



Şekil 41. Simge 24, 25, 26 ve 27



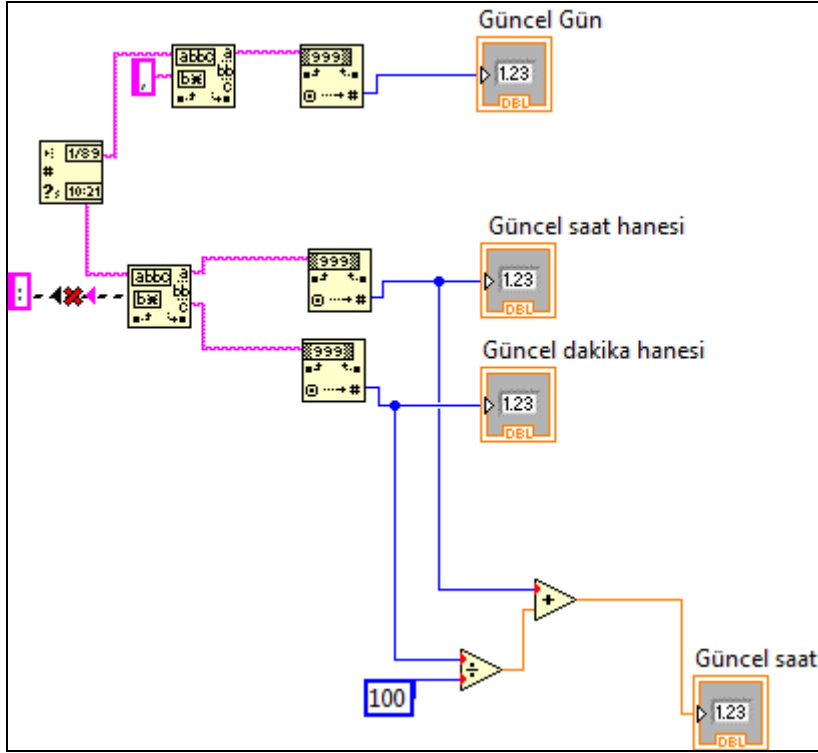
Şekil 42. Simge 28, 29 ve 31



Şekil 43. Simge 30

14. Simge 32

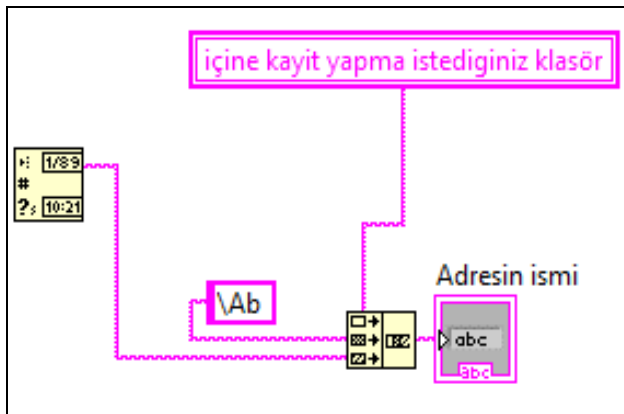
Günün değişimini fark edebilmek için burada aktüel tarihten ayın hangi günü olduğu çekilir ve "Güncel Gün" değişkenine atanır. Burada bulunan "Güncel saat" program tarafından dokümantasyon işleminde kullanılır. Zamanın saat ve dakika haneleri ise "Örnek arama" fonksiyonu yardımıyla "Tarih-/Saat-String oku" fonksiyonundan teker teker çekilirler ve "Ondalık Stringi rakama dönüştür" fonksiyonunun marifetiyle sayı formatına dönüştürülür. Bu iki sayıyı birbirine bağlamak için "Güncel(Dakika hanesi)" şeklinde anılan aktüel saatin dakikası 100'e bölünür ve ondan sonra "Güncel(Saat hanesi)" diye adlandırılan aktüel saatin saat kısmı ile toplanır.



Şekil 44. Simge 31

15. Simge 33

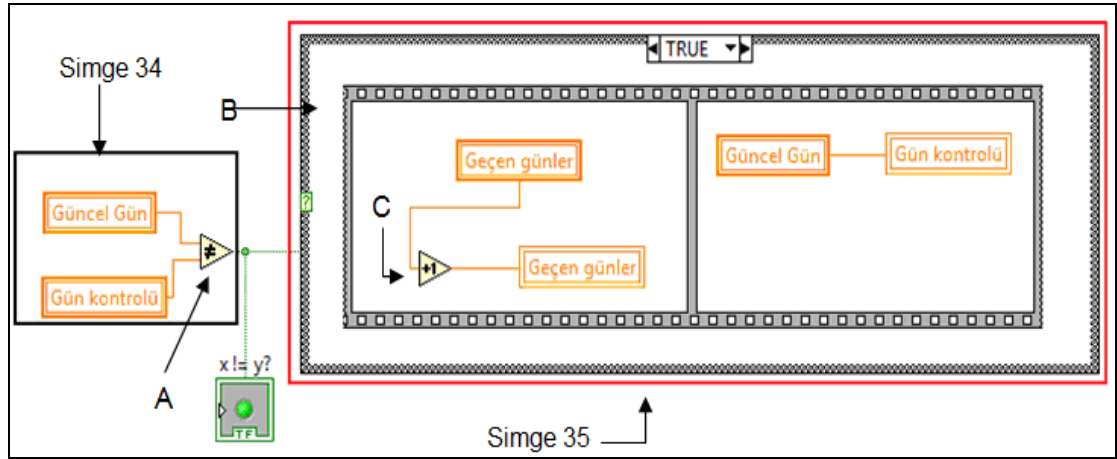
Dosyaların oluşturulma gereksiniminden dolayı programın istenilen bir zaman aralığında her metin dosyası için yeni bir adres meydana getirmesi gerekmektedir. Güncel tarihi kullanmak suretiyle program her gün için yeni bir isim oluşturabilir. Her üretin dosya ismi Almanca “-den itibaren” manasına gelen “Ab” ile başlar ve daha sonra dosyanın oluşturulmasının başlangıcı olan tarih gelir. Örnek olarak “Ab 03.10.2009” yani “Ab 03.10.2009’den itibaren” gibi.



Şekil 45. Simge 33

16. Simg 34 ve 35

Eğer ilk başlangıçta ölçülen gün ‘‘Gün kontrolü’’ ve aktüel gün ‘‘Güncel Gün’’ birbirlerine eşit değillerse, program günün değiştiğini anlamaktadır ve ne kadar günün geçmiş olduğunu gösteren ‘‘Geçen günler’’ değişkenine bu geçen gün için 1 ekler. Tekrar kullanılabilmek için güncelleştirme amacıyla ‘‘Gün kontrolü’’ değişkeni güncel günün değerine atanır.



Şekil 46. Simg 34 ve 35

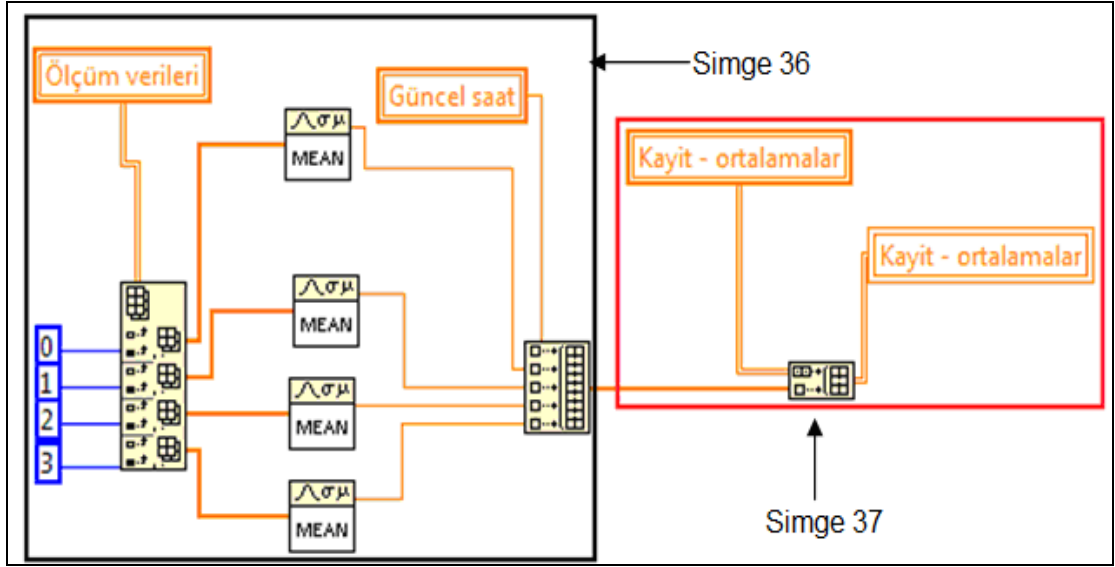
(A) Eşit değil mi?: Fonksiyona bağlanmış olan x ye y değerleri eşitse, TRUE (doğru) verir. Aksi takdirde FALSE (yanlış) verilir.

(B) Düzlemsel Dizi Yapısı: Birbiri ardınca gerçekleştirilen bir veya daha fazla alt diyagramlardan veya çerçevelerden meydana gelir. Bir düzlemsel dizi yapısında çerçevelerin birbiri ardınca uygulanacağı her zaman garanti edilir.

(C) Artırma: Giriş değerine 1 ekler.

17. Simg 36 ve 37

Program ‘‘Ölçüm verileri’’ olarak adlandırılan dizi belirlenmiş zaman aralığı sonunda elde edilmiş ve ortalamaları alınmış ölçüm verilerini içerir. Veriler, bir metin dosyasına yazımı için ortalamalarının alınabilmesi gayesiyle ‘‘Dizinin endeksini çıkar’’ fonksiyonu marifetiyle alt dizilere dönüştürülürler. Güncel saatin de eklenmesiyle sözü edilen ortalamaları alınmış veriler ‘‘Kayıt-ortalamalar’’ dizisine yazılırlar. Şekil 47’deki işlem adımı 37’de gösterilen yapı taşlarının bağlantı tarzıyla gelen sonuç dizilerinin sürekli ve kayıpsız birbiri ardınca düzenlenmesi sağlanır.



Şekil 47. Simge 36 ve 37

18. Simge 38

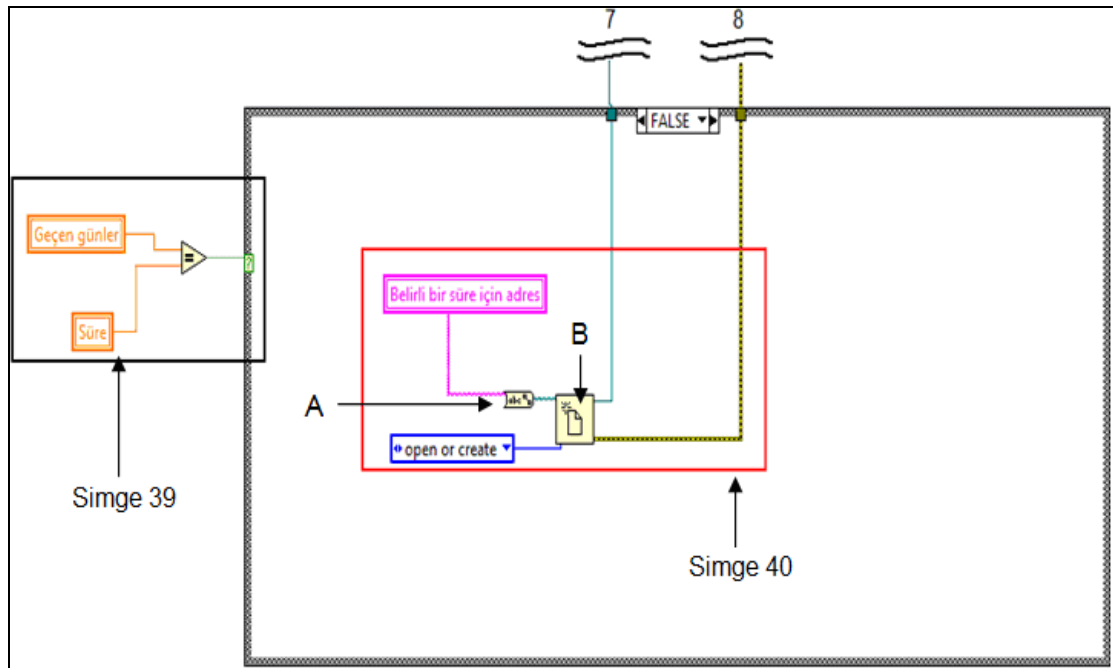
Kullanıcı oluşturulan metin dosyasını açmadan ön panel üzerinden aşağıdaki tablo sayesinde metin dosyasına yazılan verileri görebilir.

Kayıt - ortalamalar	Saat	Hız.	Yön.	Sıcaklık.	Devir
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0

Şekil 48. Simge 38

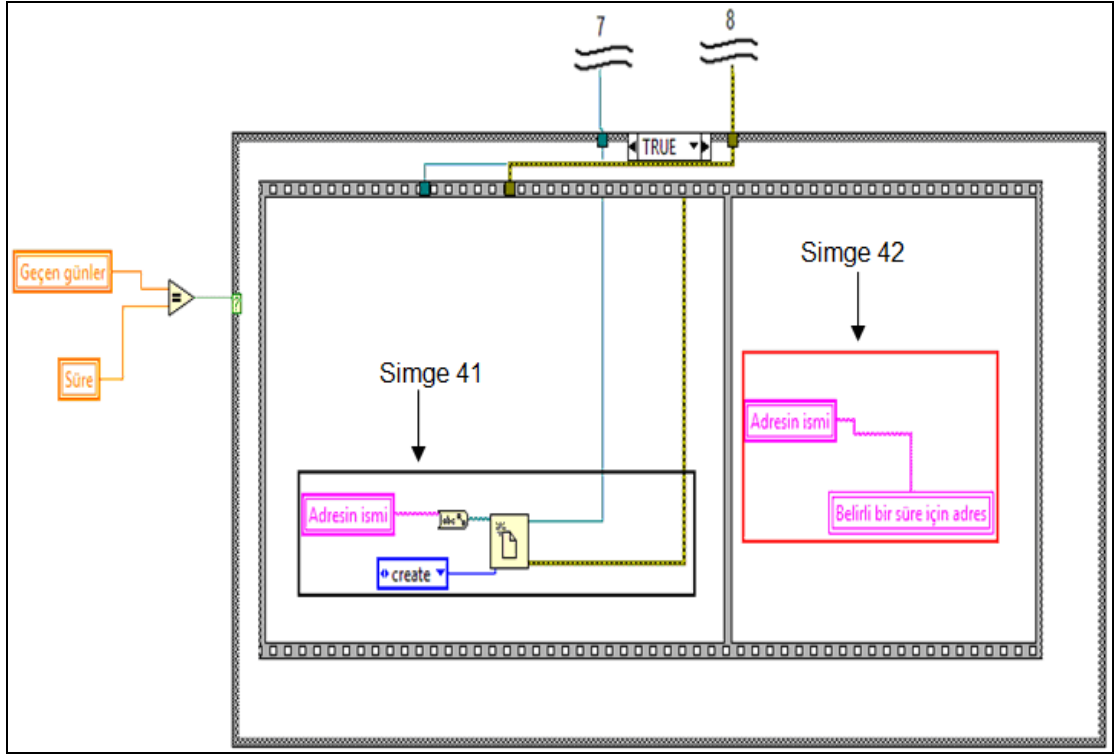
19. Simge 39, 40, 41 ve 42

Bir durum yapısıyla (case structure) ile dosyaların trafiği zamana uygun olarak düzenlenmektedir. Bunun için program sadece dört değişken kullanır. “Geçen günler” değişkeni programın yeni bir metin dosyası için çalışmaya başlamasından bu yana geçen gün sayısını ifade eder. Programın ilk açıldığında ayarlanan “Süre” değişkeni ise iki metin dosyasının oluşturulması arasındaki zamanı vermektedir. “Belirli bir süre için adres” değişkeni bir metin dosyasının açılışından kapatılışına kadar, bu dosyanın adresini tutar. Buna rağmen “Adresin ismi” değişkeni programın her bir çalışma döngüsü sırasında yenilenir ve her gün bu değişken değişir. Eğer “Geçen günler” ve “Süre” değişkenleri eşit değil ise, yeni bir metin dosyası yaratılması için önceden tespit edilmiş zamana daha ulaşılammış demektir. Bundan dolayı “Belirli bir süre için adres” değişkeni mevcut dosyayı verilerin yazımı için açar. Durum yapısının (case structure) ilk kullanıldığı zaman bir istisna gerçekleşir. Bu durumda ilk metin dosyasının yaratılması gerekmektedir. Eğer “Geçen günler” ve “Süre” değişkenleri eşit ise mevcut dosya yerine yeni bir dosya yaratılması gerekmektedir. Bu yeni dosya “Adresin ismi” değişkenindeki adrese göre oluşturulur. Bu adresi yeninde kullanabilmek için “Adresin ismi” değişkeni “Belirli bir süre için adres” değişkenine atanır. Yapılan işlemlerle “Belirli bir süre için adres” değişkeni güncellenir ve ileride yeniden başlangıç referansı olarak kullanılabilen duruma gelmiştir.



Şekil 49. Simge 39 ve 40

- (A) Stringi adrese dönüştür: Bir stringi bir adres bilgisiyle adrese dönüştürür.
 (B) Bir dosyayı Açma/Oluşturma/Yerini değiştirme: Otomatik olarak bir dosya diyalog alanı (girilen bir adres) üzerinden mevcut dosyayı açar, yeni bir dosya oluşturur veya bir dosyanın yerini değiştirir.



Şekil 50. Simge 41 ve 42

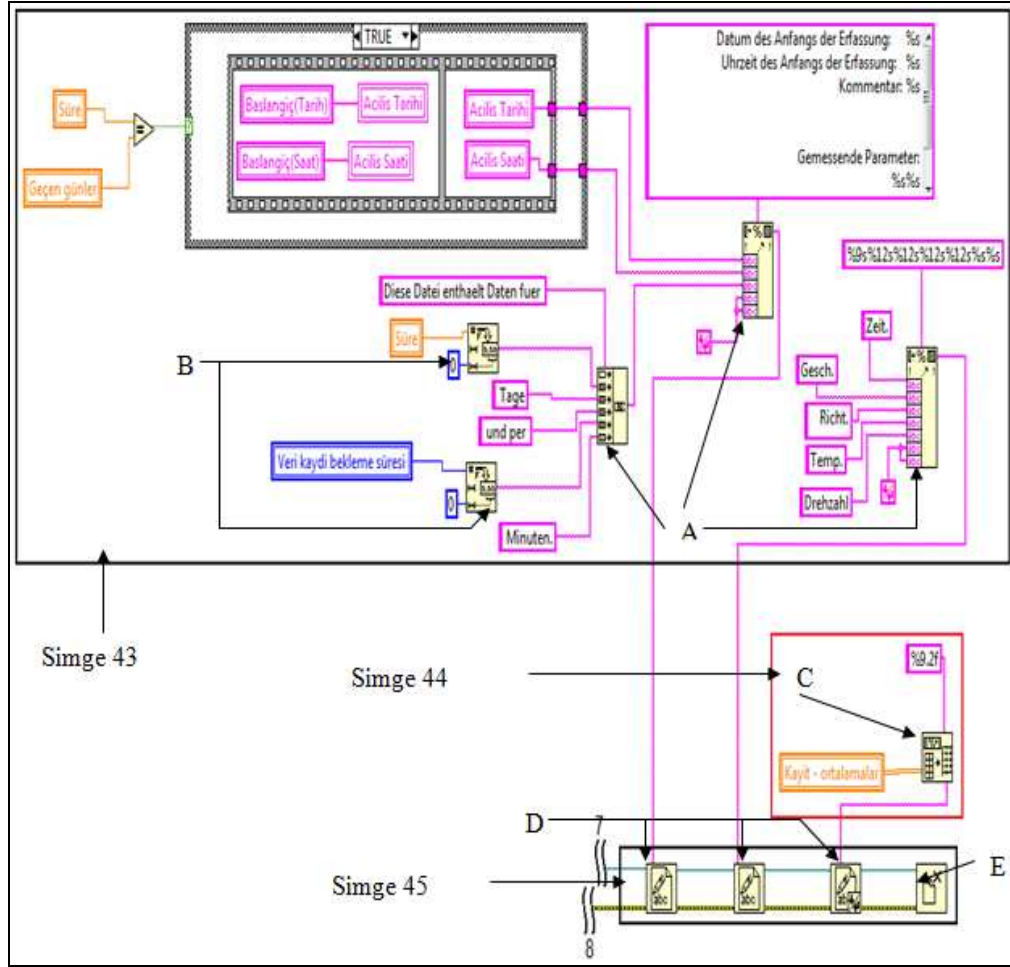
20. Simge 43, 44 ve 45

43 numaralı simgede metin dosyasının başına yazılacak bilgiler hazırlanır. Bu string formatındaki veriler "String düzenleme" fonksiyonu ile birleştirilmiştir. Durum yapısı (Case Structure) simge 43'de açıklanmalıdır. Eğer yeni bir dosya oluşturulduysa, metin dosyasına yazılan ölçüme başlangıç tarihi ve saati ile ilgili değerlerin güncellenmesi gerekir. Bu durum yapısı (case structure) sayesinde ilk dosyanın yazımında programın devreye geçtiği ilk anda okunan tarih ve saat değerleri "Açılış Tarihi" ve "Açılış Saati" kullanılır. Bu değişkenler sürekli çalışan While döngüsünün önünde ölçülmüştür ve bu yüzden durum yapısında (case structure) yeni bir dosya oluşturulması nedeniyle gerçekleşen değişimlerine kadar sabit kalırlar. Bu durum programda "Süre" ve "Geçen günler" değişkenlerinin eşitliği olarak temsil edilmiştir. Bu durumda sürekli çalışan While döngüsü içerisindeki konumlarından dolayı sürekli güncellen "Başlangıç(Tarih)" ve "Başlangıç(Saat)" değişkenleri "Açılış Tarihi" ve "Açılış Saati" değişkenlerinin üzerine yazılır ve bunlara kaynaklık eder.

Simge 44'de "Kayıt-ortalamalar" dizisi "Diziyi tabela stringine dönüştürme" fonksiyonu ile metin belgesine yazılabilmesi için string formatına dönüştürülür. Format stringindeki "%9.2f" ifadesi bu verilerin kayar nokta sayısı olduğunu ve virgülden önce dokuz ve virgülden sonra ise iki hanenin bu sayı için ayrılması gerektiğini ifade eder.

Simge 45'de bir metin belgesine yazılma hususunu gerçekleyen yapı taşlarının rutin bir kombinasyonu görülür. İlk önce "Bir dosyayı Açma/Oluşturma/Yerini değiştirme" fonksiyonu ile açılan metin dosyası "Metin dosyasına yaz" fonksiyonları ve son olarak

da ‘‘Dosyayı kapa’’ fonksiyonu ile donatılır. Ardı ardına bağlanan ‘‘Metin dosyasına yaz’’ fonksiyonları metin dosyasında alt alta yazılabilmeyi sağlar.



Şekil 51. Simge 43, 44 ve 45

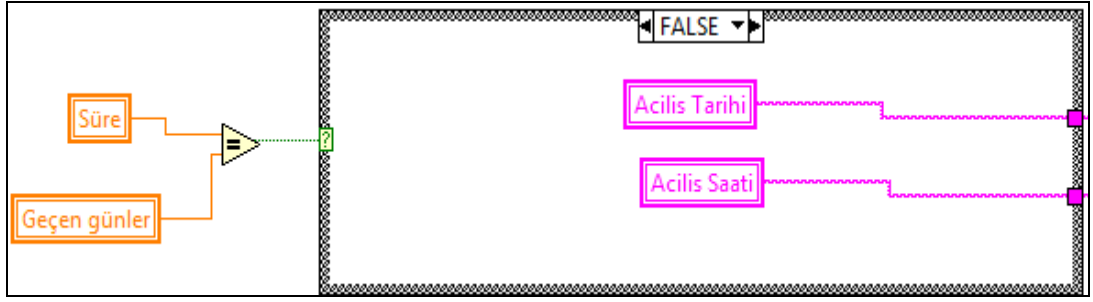
(A) String düzenleme: String formatındaki adresleri, sayıları, true veya false değer alan göstergeleri (boolean) veya enumlari (enumaraiton –numaralama) metin olarak düzenler.

(B) Sayıyı stringe çevir: String formatındaki kayar nokta sayılarını en az verilen simgelerin genişliğinde ya da isteğe bağlı olarak daha da geniş ayarlanabilecek şekilde ondalık formata dönüştürür.

(C) Diziyi tabela stringine dönüştürme: Keyfi boyuttaki bir diziyi, sütunların tablolayıcı sayesinde ve satırların ise platforma bağımlı EOL (end of line) simgelerince oluşturulduğu string formatındaki tabelaya dönüştürür.

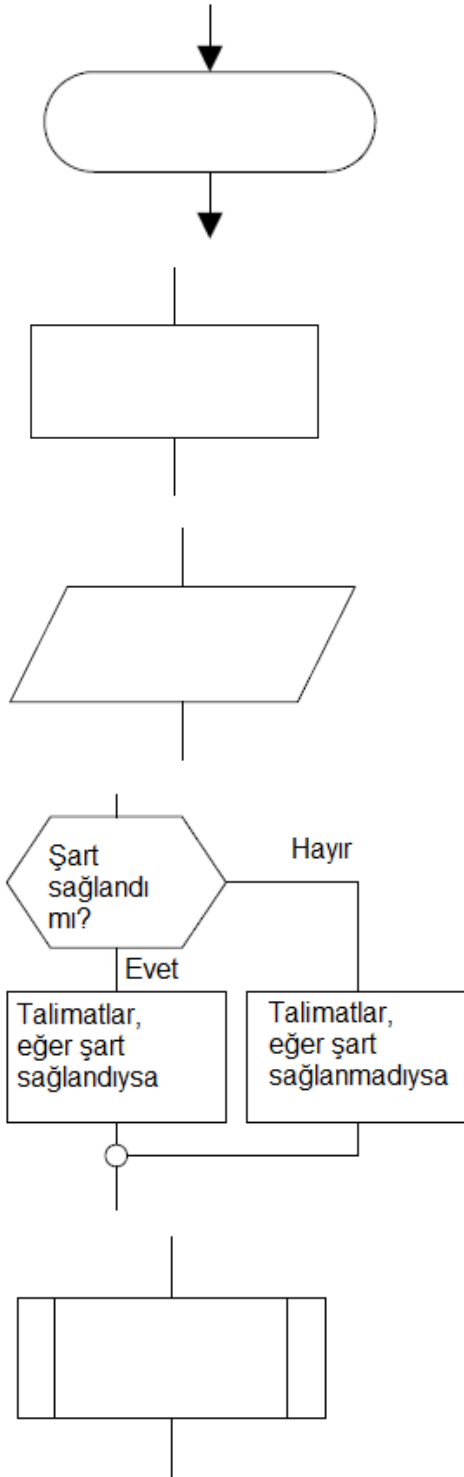
(D) Metin dosyasına yaz: Bir stringi ya da bir stringden meydana gelmiş bir diziyi satır satır dosyaya yazar. Eğer dosya girişi kısmına (resimde açık mavi hattın bağlandığı yer) bir adres bağlanmışsa, yazma sürecinden önce ya yeni ya da mevcut bir dosyayı açar ve üzerine yazar. Eğer dosya girişi kısmında bir dosya referansı bulunuyorsa, yazma işlemi imlecin aktüel pozisyonundan başlar.

(E) Dosyayı kapa: Bir dosya referans ile açılmış dosyaları kapatır ve adresi dosyaya bildirir.



Şekil 52. Simge 43'deki case structure'nin (durum yapısı) false (yanlış) durumu

Ek 3. Akış Diyagramının Elemanları



Bir akış diyagramının başlangıç ve sonu bir simge ile başlar. Ama akış diyagramının içerisindeki kararlaştırılmış yerler de bir simgeyle gösterilebilir.

Talimatlar tek başına bir dikdörtgen bloğun içerisinde dururlar. Talimat blokları arasındaki oklar işleme yönünü gösterir.

Girdiler ve çıktılar da bir eşkenar dörtgen ile gösterilir.

Bir akış diyagramındaki dallanmalar genellikle bir şarta bağlanmıştır. Şart sağlanırsa, evet-talimat bloğu, aksi takdirde ise hayır-talimat bloğu işler. Bu talimat blokları olmayadabilirler. Farklı talimat dalları küçük bir daire ile birleştirilmiştir.

Alt program bağımsız bir akış diyagramı için bulunur.

ÖZGEÇMİŞ

Harun Çiftçi, 28.12.1983 tarihinde İstanbul Üsküdar'da doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini burada tamamladı. Üsküdar Anadolu Lisesi'ni bitirdikten sonra 2002 yılında Uludağ Üniversitesi Makine Mühendisliği bölümünü kazandı. 2007 yılında lisans öğretimini tamamladı ve aynı yıl Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği anabilim dalında yüksek lisans eğitimine başladı. Halen yüksek lisans eğitimine devam etmektedir.

TEŞEKKÜR

Tez konusunun belirlenmesi ve tezin oluşması aşamasında değerli bilgi ve zamanını benimle paylaşan saygıdeğer hocam ve danışmanım Prof. Dr. İrfan Karagöz'e ve Erasmus öğrencisi olarak gittiğim Siegen Üniversitesi'nde tezimi yazarken bana yardımcı olan Prof. Dr. Thomas Carolus ve tez grubundaki bütün arkadaşlara ayrıca teşekkürlerimi sunarım.