

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ ENERJİ ENSTİTÜSÜ

**RÜZGAR HIZ VE YÖN ALGILAYICILARININ TASARIM VE
GELİŞTİRİLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Uğur KARAKAYA

Enerji Bilim ve Teknoloji Anabilim Dalı

Enerji Bilim ve Teknoloji Programı

HAZİRAN 2017

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ ENERJİ ENSTİTÜSÜ

**RÜZGAR HIZ VE YÖN ALGILAYICILARININ TASARIM VE
GELİŞTİRİLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Uğur KARAKAYA
(301101041)**

Enerji Bilim ve Teknoloji Anabilim Dalı

Enerji Bilim ve Teknoloji Programı

Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Burak BARUTÇU

HAZİRAN 2017

İTÜ, Enerji Enstitüsü'nün 301101041 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi Uğur KARAKAYA, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı "RÜZGAR HIZ VE YÖN ALGILAYICILARININ TASARIM VE GELİŞTİRİLMESİ" başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Yrd. Doç. Dr. Burak BARUTÇU**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Kasım KOÇAK**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Yrd. Doç. Dr. Hülya OBDAN
Yıldız Teknik Üniversitesi

Teslim Tarihi : **05 Mayıs 2017**
Savunma Tarihi : **07 Haziran 2017**





Eşime ve aileme,



ÖNSÖZ

Teknolojinin gelişmesiyle artan enerji talebi ile birlikte yenilenebilir enerjinin önemi daha da artmıştır. Rüzgar enerjisinden elektrik üretimi için yatırımların arttığı bu günlerde yapılan bürokratik değişimlerle rüzgar ölçümünü eskisinden daha da önemli bir hal almıştır.

Türkiye’de yerli üretimin artması ile birlikte tüm neredeyse tüm sektörlerde kullanılan ürünlerin yerli olarak yapılabilmesi amacıyla çalışmalar yapılmaktadır. Rüzgar ve güneş enerjisi fizibilite çalışmalarında kullanılan ölçüm sistemlerinin de yerli olarak üretilerek Türkiye’ye kazandırılması çalışmaları yapılmıştır. Bu çalışmada üretim anlamında maddi destek veren Teknam Teknoloji ve Enerji A.Ş. firması yönetimine, elektronik ve yazılım ihtiyaçlarında bana yardımlarını esirgemeyen iş arkadaşlarım Muharrem ARLI ve Mustafa YÜKSEL’e ve manevi olarak destek veren eşim ve aileme sonsuz teşekkür ederim.

Mayıs 2017

Uğur Karakaya
(Fizikçi)



İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	vii
İÇİNDEKİLER	ix
KISALTMALAR	xi
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xiii
ŞEKİL LİSTESİ.....	xv
ÖZET.....	xvii
SUMMARY.....	xix
1. GİRİŞ.....	1
1.1 Türkiye’de Rüzgar Enerjisi	4
1.2 Dünyada Rüzgar Enerjisi	10
1.3 Çalışmanın Amacı	12
1.4 Çalışmanın Yöntemi.....	13
2. RÜZGÂR ENERJİSİ.....	15
2.1 Rüzgâr	15
2.2 Rüzgâr Çeşitleri.....	16
2.2.1 Küresel rüzgârlar	16
2.2.1.1 Tropik rüzgârlar	17
2.2.1.2 Muson rüzgârlar	17
2.2.1.3 Kutup rüzgârları	17
2.2.2 Yerel rüzgârlar	17
2.2.2.1 Kara ve deniz meltemleri	18
2.2.2.2 Dağ ve vadi rüzgârları	19
2.3 Rüzgâr Enerjisi	19
3. RÜZGÂR ÖLÇÜMLERİ VE KULLANILAN SENSÖRLER	23
3.1 Rüzgâr Hızı Ölçerler	24
3.2 Rüzgâr Yön Sensörleri	27
3.3 Diğer Sensörler.....	29
3.4 Rüzgâr Ölçüm Direği	31
4. GELİŞTİRİLEN SENSÖRLERİN İNCELENMESİ	39
4.1 Geliştirilen Rüzgâr Hız Sensörü İncelenmesi	39
4.2 Geliştirilen Rüzgâr Yön Sensörü İncelemesi	51
4.3 Geliştirilen Kepçeli Tip Rüzgâr Hız ve Rüzgâr Yön Sensörlerinin Arazi Testleri.....	56
4.4 Arazide Test Edilen Sensör Sonuçları.....	61
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	69
KAYNAKLAR	73
EKLER.....	75
ÖZGEÇMİŞ.....	89



KISALTMALAR

ART	: Ankara Rüzgar Tüneli
EPDK	: Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu
IP	: Ingress Protection
MGM	: Meteoroloji Genel Müdürlüğü
REPA	: Rüzgar Enerjisi Potansiyeli Atlası
RES	: Rüzgar Enerji Santrali
WMO	: World Meteorological Organisation
YEGM	: Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü





ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 1.1: Rüzgar ölçüm istasyonu sensör listesi.....	2
Çizelge 1.2: Türkiye'de bulunan illere göre kurulu güç tablosu.....	6
Çizelge 1.3: 2015 dünya kurulu rüzgar güç kapasiteleri (MW)	10
Çizelge 2.1: Pürüzlülük uzunlukları ve sınıfları	21
Çizelge 4.1: Kepçeli anemometre dizaynında dikkat edilmesi gereken hususlar.....	39
Çizelge 4.2: Thies first class advanced rüzgar hız sensörü özellikleri	40
Çizelge 4.3: Kalibrasyon sonucunda elde edilen çıkış frekans değerleri	47
Çizelge 5.1: Geliştirilen rüzgar hız sensörü teknik özellikleri	71
Çizelge 5.2: Geliştirilen rüzgar yön sensörü teknik özellikleri	71



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1: Türkiye'de rüzgar enerjisi santralleri için kümülatif kurulum.....	4
Şekil 1.2: Türkiye'deki rüzgar enerjisi santralleri için yıllık kurulum.....	5
Şekil 1.3: Türkiye'de bulunan rüzgar enerji santrallerinin bölgelere göre dağılımı....	5
Şekil 1.4: Yakıt cinslerine göre kurulu güç grafiği.....	6
Şekil 2.1: Yeryüzündeki basınç kuşakları ve küresel rüzgarlar.....	16
Şekil 2.2: Kara-deniz meltemi oluşumu.....	18
Şekil 3.1: Çeşitli kepçeli anemometreler.....	24
Şekil 3.2: Ultrasonik rüzgar hız sensörü çalışma prensibi.....	25
Şekil 3.3: Ultrasonik anemometre örnekleri.....	26
Şekil 3.4: Propeller anemometre.....	27
Şekil 3.5: Rüzgar yön sensörü örnekleri.....	28
Şekil 3.6: Örnek rüzgar gülü (wind rose) grafiği.....	29
Şekil 3.7: Sıcaklık sensörü örnekleri.....	30
Şekil 3.8: Sıcaklık-nem sensörü radyasyon kalkanı.....	30
Şekil 3.9: Örnek hava basıncı sensörleri.....	31
Şekil 3.10: YEGM rüzgar enerjisi potansiyeli atlası (REPA).....	31
Şekil 3.11: Türkiye'de Nisan 2016 tarihine kadar dikilen rüzgar ölçüm direkleri.....	32
Şekil 3.12: 60 m örnek rüzgar ölçüm direği.....	32
Şekil 3.13: Örnek ankraj kurulumu.....	33
Şekil 3.14: Ölçüm direği temeli.....	34
Şekil 3.15: Tek anemometrenin rüzgar ölçüm direğine bağlanma şekli.....	35
Şekil 3.16: Tepe kola 2 anemometre bağlanması.....	36
Şekil 4.1: Thies clima rüzgar hız sensörü.....	41
Şekil 4.2: Thies anemometre çalışma prensibi.....	41
Şekil 4.3: Engelleyici gösterimi.....	42
Şekil 4.4: Geliştirilen kepçeli tip anemometre görünümü.....	43
Şekil 4.5: Hall sensörü ve ısıtma kontrolü için NTC.....	44
Şekil 4.6: 22 kutup çiftli magnet.....	44
Şekil 4.7: Magnet ve Hall sensör gösterimi.....	45
Şekil 4.8: Sabit hızla çevrilen thies marka rüzgar hız sensörü osiloskop çıkışı.....	46
Şekil 4.9: Sabit hızla çevrilen geliştirilen kepçeli anemometre osiloskop çıkışı.....	46
Şekil 4.10: Kepçeli tip anemometre kalibrasyon sonuçları.....	48
Şekil 4.11: ART test odası.....	49
Şekil 4.12: Ankara rüzgar tüneli (ART) bölümleri.....	51
Şekil 4.13: RES yatırımlarında kullanılan rüzgar yön sensörü potansiyometre.....	52
Şekil 4.14: Şaft ile potansiyometrik algılayıcıyı birbirine bağlayan yüzey.....	53
Şekil 4.15: Geliştirilen rüzgar yön sensörü.....	53
Şekil 4.16: Hall Efekt rüzgar yön sensörü nüvesi.....	54
Şekil 4.17: Tek kutup çiftli magnetin yerleşimi.....	55
Şekil 4.18: Mıknatısın Hall Efekt sensör üzerindeki konumu.....	55
Şekil 4.19: Test amaçlı dikilen 60 m rüzgar ölçüm direği.....	57

Şekil 4.20: Arazi testleri için dikilen direğin konumu.....	58
Şekil 4.21: Tepede bulunan U kol.....	59
Şekil 4.22: Direk üzerinde bulunan tüm rüzgar sensörleri.....	59
Şekil 4.23: Direk üzerinde bulunan rüzgar yön sensörü.....	60
Şekil 4.24: Veri kaydedici sistem ve akü.....	60
Şekil 4.25: Thies anemometre ve geliştirilen sensör karşılaştırması.....	62
Şekil 4.26: Rüzgar hız verileri karşılaştırması.....	63
Şekil 4.27: Thies referans cihaz donma verileri.....	64
Şekil 4.28: Donma anında hava sıcaklığı.....	65
Şekil 4.29: Sahada ölçülen maksimum rüzgar değeri.....	66
Şekil 4.30: Düşük hava sıcaklıklarda geliştirilen rüzgar hız sensörü verileri.....	66
Şekil 4.31: Geliştirilen rüzgar yön verileri.....	67
Şekil 4.32: 58 m'de bulunan rüzgar yönü.....	68
Şekil 4.33: 28 m'de bulunan rüzgar yönü.....	68
Şekil A.1: Geliştirilen sensör kalibrasyon sertifikası (1. Sayfa).....	76
Şekil A.2: Geliştirilen sensör kalibrasyon sertifikası (2. Sayfa).....	77
Şekil A.3: Geliştirilen sensör kalibrasyon sertifikası (3. Sayfa).....	78
Şekil A.4: Geliştirilen sensör kalibrasyon sertifikası (4. Sayfa).....	79
Şekil B.1: Geliştirilen sensör dayanım test sonuçları (1. Sayfa).....	80
Şekil B.2: Geliştirilen sensör dayanım test sonuçları (2. Sayfa).....	81
Şekil B.3: Geliştirilen sensör dayanım test sonuçları (3. Sayfa).....	82
Şekil B.4: Geliştirilen sensör dayanım test sonuçları (4. Sayfa).....	83
Şekil B.5: Geliştirilen sensör dayanım test sonuçları (5. Sayfa).....	84
Şekil B.6: Geliştirilen sensör dayanım test sonuçları (6. Sayfa).....	85
Şekil C.1: Rüzgar ölçüm direği bağlantı kolları teknik çizimleri.....	86
Şekil C.2: Rüzgar ölçüm direği yan kol teknik çizimi.....	87

RÜZGAR HIZ VE YÖN ALGILAYICILARININ TASARIM VE GELİŞTİRİLMESİ

ÖZET

Gelişen teknoloji ile artan enerji ihtiyacını karşılayabilmek amacıyla yeni enerji kaynakları bulunmalıdır. Ülkemizin jeopolitik ve coğrafi konumu sebebiyle yenilenebilir enerji kaynaklarından özellikle güneş ve rüzgar elektrik üretimi açısından ön plana çıkmaktadır.

Yenilenebilir enerji kaynakları bakımından zengin olan ülkemizde, her ne kadar kaynak zenginliği olsa da kaynakları enerjiye dönüştürecek malzemelerin ithal ürünler olması nedeniyle dışa bağımlılık artmaktadır. Ülkemizin cari açıkları göz önüne alındığında üretilmeyen ve enerji üretim alanında kullanılan tüm malzemelerin yerli olarak üretilmesi hatta ihracatının yapılması gerekmektedir.

Bu tez çalışmasında; rüzgar ölçüm sistemlerinde, güneş ölçüm sistemlerinde, askeri, meteorolojik ve zirai ölçümlerde ve hatta karayolu, denizyolu ve havayolu taşımacılığında da kullanılan kepçeli tip rüzgar hız sensörü ve rüzgar yön sensörünün yerli olarak üretilmesi hedeflenmiştir.

Bu çalışmada yurtdışından ithal edilen kepçeli tip anemometre ve yön sensörleri incelenmiş ve sensörlerin sektörün ihtiyaçlarının ne kadarına karşılık verdiği araştırılmıştır. Avantajları ve dezavantajları belirlenen bu sensörlerden yola çıkılarak yeni ölçüm mantığına sahip sensörler geliştirilmiştir.

Anemometre kalibrasyonu için altı adet farklı standart vardır. Kepçeli tip anemometreler için ISO 17713-1, ASTM D 5096-02 ve EN 61400-12-1, ultrasonik anemometreler için ASTM D 6011-96 ve ISO 16622, pitot tüpleri gibi basınç farkından rüzgar hız ölçümleri yapan küçük üniteler ve düşük rüzgar hız ölçümleri için sıcak-tel anemometreler için ASTM D 3796-09 standartları kullanılmaktadır. TS EN 61400-12-1 ise rüzgar enerjisi ile ilgili standartları belirleyen en kapsamlı standarttır. Bu standart sadece rüzgar türbinleri için güç eğrilerinin değerlendirilmesi amacıyla rüzgar ölçümünde kullanılan kepçeli tip anemometrelerin sınıflandırılması aşamalarını içermektedir.

Piyasada yaygın olarak kullanılan kepçeli tip rüzgar hız sensörleri optoelektronik olarak çalışmaktadır. Bu çalışma dahilinde, eski bir teknoloji ile ölçüm yapan bu sensörler geliştirilerek manyetik ölçüm yapan Hall efekt nüveli sensörlere dönüştürülmüştür. Laboratuvar ortamında dayanım testleri, IP testleri ve kalibrasyon testleri yapılan bu sensörün son olarak arazi testleri de yapılmış ve en az muadilleri kadar iyi olduğu saptanmıştır.

Rüzgar enerjisinden elektrik üretimi yapabilmek amacıyla fizibilite aşamasında kurulan rüzgar ölçüm direklerinde genellikle potansiyometrik rüzgar yön sensörleri kullanılmaktadır. Potansiyometrik ölçüm mantığı ile ölçüm yapan rüzgar yön sensörlerinde şaft ile potansiyometre arasında bir temas olduğundan sensördeki sürtünme artmaktadır. Bundan dolayı sensörün ömrü kısalmata ve bakım maliyetleri artmaktadır. Bu sürtünmeyi önlemek için gerekli araştırmalar yapılmıştır. Yapılan bu

araştırmalar sonucunda rüzgar yön sensörlerinde ölçümde kullanılabilir olacak temassız ölçüm algılayıcısı olarak en uygun nüvenin Hall efekt ile çalışan manyetik sensörler olduğu görülmüştür. Temassız olarak geliştirilen bu sensörler arazide ve laboratuvar koşullarında test edilmiştir.

Geliştirilen bu sensörlerin yalnızca yurtiçinde kullanılması ile bir yılda milyonlarca avronun ülkemizde kalması sağlanacaktır. Sensörlerin geliştirilmesi esnasında Türkiye'nin en fazla rüzgar hız ve yön sensörü tedarik eden kurumu olan Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM) ile görüşülmüş, kendilerinin tecrübeleri de kullanılarak sensörlerin son halini alması sağlanmıştır.



DESIGN AND DEVELOPMENT OF WIND SPEED AND WIND DIRECTION SENSORS

SUMMARY

New energy sources must be found in order to meet the increasing energy need with developing technology. Because of its geopolitical and geographical position of our country it is located in a convenient location from renewable energy sources to produce electricity from solar and wind energy.

Uncertainty in wind speed measurements, be they made during a site assessment, a site calibration or a wind turbine performance test, all contribute to the overall uncertainty in predicted annual energy yield. In economic terms, this translates into financial risk and in turn into higher cost of energy.

In our country which is rich in renewable energy resources, although there is a resource richness, external dependency is increasing because of the fact that materials which turn the resources into energy are imported products. Considering the current account deficits of our country, all the materials that use in the field of energy production should be produced locally and export the other countries.

Wind speed, or wind velocity, is a fundamental atmospheric rate. Wind speed is caused by air moving from high pressure to low pressure. Many aspects can be affected by wind speed such as weather forecasting, aircraft, mines, navigation and agriculture, so the observation of wind speed is necessary. An anemometer is a device for measuring wind speed, and is a common weather station instrument. The term is derived from the Greek word anemos, meaning wind. Anemometers can be divided into two classes: those that measure the wind's speed, and those that measure the wind's pressure; but as there is a close connection between the pressure and the speed, an anemometer designed for one will give information about both.

The measurement of wind speeds is usually done using a cup anemometer. The cup anemometer has a vertical axis and three cups which capture the wind. The number of revolutions per minute is registered electronically. The wind energy is directly proportional to the cube of the wind speed. For this reason, it is very important to make and evaluate the wind speed measurements correctly. As a result of the wind measurements, the blowing time and frequency of the wind are determined and these speeds are carried to the height of the wind turbines to be erected. In the calculation of the energy expected from the wind turbines, the sensor and the calibration to be used for the wind speed measurement are of great importance.

This thesis study has been carried out in order to contribute to the country by producing locally produced wind speed sensor and wind direction sensor which are used in wind measurement systems, solar measurement systems, military, meteorological and agricultural measurements and even road, sea and airway transportation.

In this thesis study, cup anemometers and directional sensors, which imported from Germany, have been investigated and researched for how much these sensors meet the

needs of the sector. Advantages and disadvantages have been investigated by changing the mechanical and electronic design of these sensors have developed new measurement logic.

There are six main standards used for the calibration of wind instruments. They are ISO 17713-1, ASTM D 5096-02, and EN 61400-12-1 for rotating anemometers, ASTM D 6011-96 and ISO 16622 for sonic anemometers, and ASTM D 3796-09 for small units such as Pitot tubes and hot wire anemometers. The EN 61400-12-1 is the only publication specifically related to the wind energy industry. This standard only recommends the use and classification of cup anemometers for wind measurement for the purposes of evaluating the power curves for wind turbines.

The cup anemometer sensors working principle which commonly used in the market are optoelectronic. These sensors, which measure with an old technology, have been developed and transformed into Hall effect sensors with magnetic effect. This sensor, which has been subjected to strength tests, IP tests and calibration tests in the laboratory environment, was finally subjected to field tests and found to be at least as good as their counterparts.

Potentiometric wind direction sensors are generally used in the wind measurement masts established at the feasibility stage in order to generate electricity from wind energy. In wind direction sensors which are used on wind measurement masts that measure with potentiometric measurement logic and there is an increase in friction in the sensor when there is a contact between the shaft and the potentiometer. This increases the maintenance costs of the sensor. Research and development has been done to prevent this rubbing. As a result of these investigations, it has been seen that magnetic sensors working with the most suitable nerve-sensitive Hall effect as a non-contact measurement sensor that can be used in measurement in wind direction sensors. This developed as contactless sensors were tested in the field and laboratory conditions.

If developed sensors use only in our country, millions of euros will be kept in the country in a year. During the development of the sensors, we were contacted by the General Directorate of Meteorology (GDM), who is the biggest provider of wind speed and direction sensor, and their experience was used to give the sensors the final shape.

The wind speed sensors on the wind measurement masts which is located in Ankara, are attached to look at the opposite directions to the top of the mast. Thus, the wind speed sensors are not affected by turbulence. The positioning of the sensors on the mast is made in accordance with TS EN 61400-12-1.

The data logger takes cup anemometer's data every two seconds and records the median, minimum, maximum and standard deviation data after 10 minutes. Data were collected from the wind measurement mast for 16 months and comparative tests were performed with a reference cup anemometer which called Thies cup anemometer.

The highest wind speed measured at the site is 35 m/s. This is a storm on a small scale wind speed according to standards. This wind speed is much lower than the speed of the sensor measured in the resistance tests. So, the wind speed sensor has not suffered any damage.

In the field tests, the sensors were inspected at low wind speeds, high speeds and cold weather and compared with the reference device. Sensors heating cables are not connected and the minimum air temperature measured at the site was -14 °C. No freezing occurred in the developed anemometer when the reference device was frozen

at this temperature value. We can not connect the sensors' heating cables due to power shortage. The wind measurement mast, which is erected for testing purposes, is located far away from the 220 V mains connection.

Survival tests of wind speed and direction sensors are carried out in TURKAK accredited laboratories. For the survival tests of the developed sensor, the sensor was given a wind of 75 m/s and the sensor rotated at this wind speed for 2 minutes without any damage.





1. GİRİŞ

Toplumun günlük ihtiyaçlarının giderilmesi anlamında en çok ihtiyaç duyulan girdi enerjidir. Özellikle lüks yaşam malzemelerinin ihtiyaç olarak görüldüğü günümüzde elektrik olmadan yaşam kalitesinin sürdürülmesi imkansız görülmektedir. Ülkemizdeki kaynaklar düşünöldüğünde yenilenebilir enerjide kendi kendine yetebilecek kapasitede bir ülke konumundadır. Ancak bu enerjinin sadece yakıtının yerli olması yeterli değildir. Gerek fizibilite çalışmalarında kullanılan gerekse rüzgardan enerji üretiminde kullanılan türbinlerin yerli olarak üretilmesi önceliklerimizden olmalıdır.

Artan nüfus ile birlikte her yıl yaklaşık % 4 ile % 5 arasında enerji ihtiyaçı artmaktadır. Dünyanın fosil rezervlerinin 2030-2050 yılları arasında tükenmek üzere olması ile birlikte yeni enerji kaynakları bulma çabası artmaktadır. Fosil yakıtların kullanım oranındaki artış sebebiyle dünya ortalama sıcaklığı 500 bin yılın en yüksek seviyesine gelmiştir [1].

Dünya'da artan nüfusa bağlı olarak, enerji ihtiyaçı her yıl yaklaşık % 4-5 arasında artmaktadır. Buna karşılık fosil yakıt rezervleri ise hızla azalmaktadır. Yapılan hesaplamalara göre en geç 2030-2050 yılları arasında petrol, kömür, doğal gaz rezervleri tükenme aşamasına gelecek ve ihtiyaçı karşılayamayacaktır. Fosil yakıtların kullanımı dünya ortalama sıcaklığını 500 bin yılın en yüksek seviyesine ulaştırmıştır.

Teknolojik gelişmeler ile enerji üretimi birbirini etkileyen iki kavramdır. Yerli teknolojilerin gelişmesi ile birlikte enerji üretimi de paralel olarak artacaktır. Üreten bir ülke konumuna gelinmesi ile birlikte enerji kaynaklarının da çeşitlendirilmesi gerekmektedir. Emre amade olan fosil yakıtların yerine yenilenebilir enerji kaynakları kullanılarak enerji üretimi çeşitlendirilmelidir. Böylelikle dışa bağımlılık ve tek kaynaktan üretilecek enerjiye mecburiyet ortadan kalkacaktır. Ülkemizin enerji kaynaklarındaki zenginliği düşünöldüğünde sadece fosil kaynaklara olan bağımlılık kesinlikle ülkemize zarar verecektir. Bulduğumuz konum itibari ile hem güneş hem rüzgar hem de jeotermal enerji kaynaklarını yeterince kullanmadığımız görülmektedir.

En basit şekliyle rüzgar oluşumu, yüksek basınçtan alçak basınca olan hava akımlarıdır. Bu hava akımları, kara ve denizlerin ısınmasındaki farklılıklardan oluşmaktadır. Yani rüzgar enerjisinin de kaynağı diğer bir deyişle güneştir.

Ülkemizde 2007 yılına kadar rüzgar enerjisinden elektrik üretimi için kayda değer bir yatırım yapılmamıştır. 2007 yılına kadar rüzgar projelerinde herhangi bir ölçüm yapılmadan lisanslar verilmiştir. 2007 yılına kadar verilen lisansların bir çoğu yatırıma geçirilmemiştir.

17.06.2014 tarihli ve 29033 sayılı resmi gazetede yayımlanan RÜZGAR VE GÜNEŞ ENERJİSİNE DAYALI ÖNLİSANS BAŞVURULARI İÇİN YAPILACAK RÜZGAR VE GÜNEŞ ÖLÇÜMLERİ UYGULAMALARINA DAİR TEBLİĞ ile rüzgar ölçümlerine şekil verilmiştir. Bir rüzgar ölçüm istasyonunda bulunması gereken sensörler ve bu sensörlerin özellikleri Çizelge 1.1'deki gibi olmalıdır.

Çizelge 1.1 : Rüzgar ölçüm istasyonu sensör listesi.

Sensör Adı	İstenilen Özellikler	İlave Özellikler
Rüzgar Hız Ölçer	Ölçüm Aralığı: 0-75 m/s Eşik Değeri: 0,5 m/s Çözünürlük: 0,1 m/s Doğruluk: 0,5 m/s (5 m/s'ye kadar) \pm %10 (5m/s'nin üzerinde)	
Rüzgar Yön Ölçer	Ölçüm Aralığı: 0-360° Çözünürlük: 1° Doğruluk: \pm 5°	
Hava Sıcaklığı Ölçer	Ölçüm Aralığı: -40°C - +60°C Çözünürlük: 0,1°C Doğruluk: \pm 0,3°C	Sensör uygun şekilde havalandırılan özel siperi içine kurulacaktır. Sıcaklık sensöründe kullanılan siper güneşlenmeden en az etkilenen bir maddeden yapılmış olmalıdır.
Hava Nemi Ölçer	Ölçüm Aralığı: %0 - %100 Çözünürlük: %1 Doğruluk: %3	
Basınç Ölçer	Ölçüm Aralığı: 750 hPa - 1050 hPa Çözünürlük: 0,5 hPa Doğruluk: \pm 1 hPa (tüm ölçüm aralığında) Kararlılık: \pm 0,5 hPa/yıl	

Çizelge 1.1'de belirtilen özelliklerdeki sensörler bir istasyonda muhakkak olması gereken sensörlerdir.

İnsanların yaşadığı ortamlarda kendisine avantaj sağlayan ve hakimiyet kurma olanağı veren en önemli özelliği enerjiyi kullanabilmesidir. Yaşam standartlarını yükseltmek istemesi, doğaya ve evrene hakim olmak istemesi insanlığı yeni enerji kaynakları bulmaya yönlendirmiştir. Eskiden lüks sayılan cihazların günümüzde ihtiyaç olduğu göz önünde bulundurulduğunda tüketilen enerji miktarında çok önemli bir artış görülmektedir [2].

Geçmişte ve günümüzde yapılan savaşlar ayrıntılı olarak incelendiğinde en önemli sebeplerden birinin sanayinin ve gelişmişliğin göstergesi olan enerjidir. Fosil yakıtların ömrü ve çevreye verilen zararlar düşünüldüğünde gelişmiş ülkelerin yenilenebilir enerji tercihleri kaçınılmazdır.

Şüphesiz ki fosil kaynakların tükenebilir olması ve bu kaynakların belirli bölgelerde toplanmış olması diğer bölgelerde yeni ve alternatif kaynak aranmasına yol açmıştır. Gelişmekte olan ülkemizde de son yıllarda yenilenebilir enerji kaynaklarına ciddi bir yönelim olmuştur. Özellikle rüzgar ve güneş enerjisi anlamında Türkiye'ye yapılan yatırım artmıştır.

Rüzgar enerjisinden elektrik üretmek için lisans alabilmenin ilk şartı yatırım yapılacak araziye rüzgar ölçüm direği kurulumudur. 2007-2014 yılları arasında Türkiye geneline 1500'den fazla rüzgar ölçüm direği dikilmiştir. Ayrıca 2012 yılında güneş enerjisinden elektrik üretimi için EPDK'nın belirlediği 600 MW'lık lisansa tam 9000 MW başvuru yapılmıştır.

2000'li yıllara kadar Türkiye sahip olduğu rüzgar enerjisi potansiyelini kullanmamıştır. 2005 yılında çıkarılan Yenilenebilir Enerji Kaynakları Kanunu ile rüzgar enerjisine olan yatırım artmıştır. 2013 yılı itibari ile Türkiye'de 2958,45 MW'lık kurulu rüzgar enerjisi güç santrali vardır.

Rüzgar enerjisi kullanımının bir çok avantajı vardır. Bu avantajlar aşağıdaki gibi sıralanabilir;

- Tükenmez bir enerji kaynağıdır,
- İlk yatırım maliyeti yüksek fakat sonrasında bedavadır,
- CO₂ salınımı yoktur, dolayısıyla temiz bir enerji kaynağıdır,

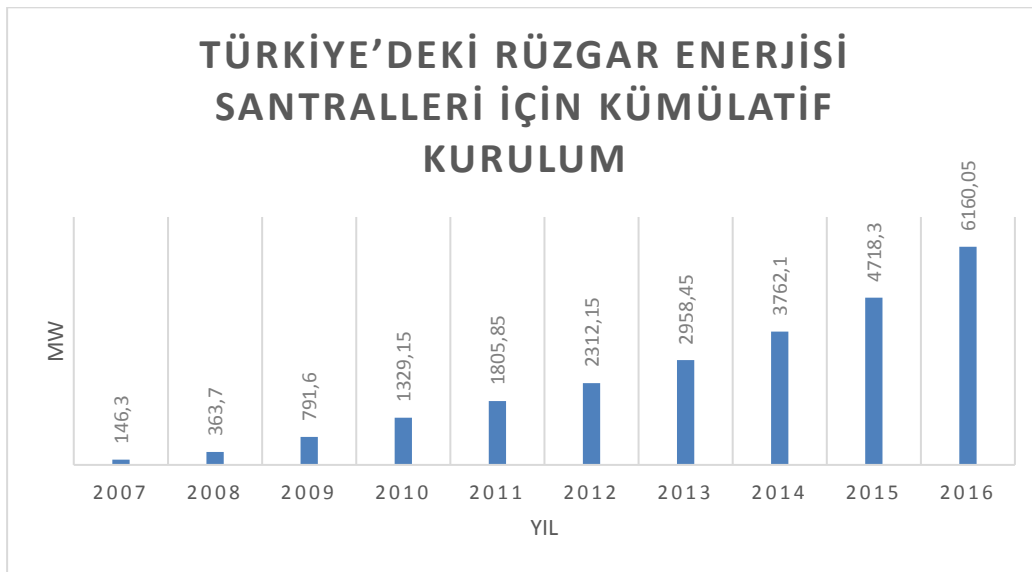
- Gelişen teknolojilerle amortisman süreleri 7 yıllara kadar düşmüştür,
- Kurulumu kolaydır,
- Enerji üretiminde kullanılan yakıtın dışarı bağımlılığı yoktur

Bu avantajlarının yanı sıra rüzgar enerji santrallerinin bazı dezavantajları vardır. Göçebe kuşlara olan etkileri, gürültü kirliliği ve en önemlisi Türkiye'nin rüzgarın mekanik enerjisinden elektrik enerjisi üreten rüzgar türbinlerini kendisinin üretememesi ve dışa bağımlılığın fazla olmasıdır [3].

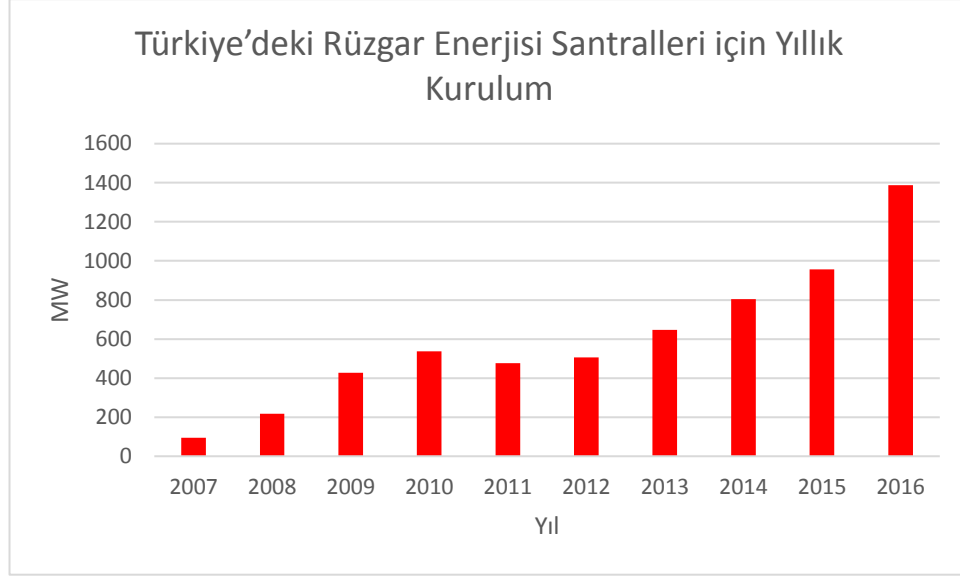
1.1 Türkiye'de Rüzgar Enerjisi

Şekil 1.1'den de görüleceği üzere 2007 yılı sonrası ülkemizde rüzgar enerjisinden üretilen enerji miktarı sürekli olarak artmaktadır. Bu artışın en büyük sebeplerinden biri ülkemizde 2007 sonrası yenilenebilir enerjiye ciddi yatırımlar yapılmaktadır. 2007 öncesi ülkemizde verilen Rüzgar enerjisinden elektrik üretme lisansları herhangi bir ölçüm alınmadan sadece proje sahalarının gösterilmesi ile verilmiştir. 2007 yılı sonrası ülkemizde yapılan değişiklikler ile lisans öncesi ölçüm zorunluluğu getirilmiştir. Daha profesyonel hale gelen projeler ile yatırım riskleri en aza indirilmiştir.

Şekil 1.2'den de görüleceği üzere ülkemizde yatırımın en fazla arttığı yıl 2016 yılı olarak görülmektedir. 2016 yılı rüzgar yatırımları için çok iyi bir yıl olarak görülmektedir. Ayrıca 2014 yılında yapılan rüzgar ölçümlerinin ihalelerinin yapılması ile yatırım oranı daha da artacaktır.

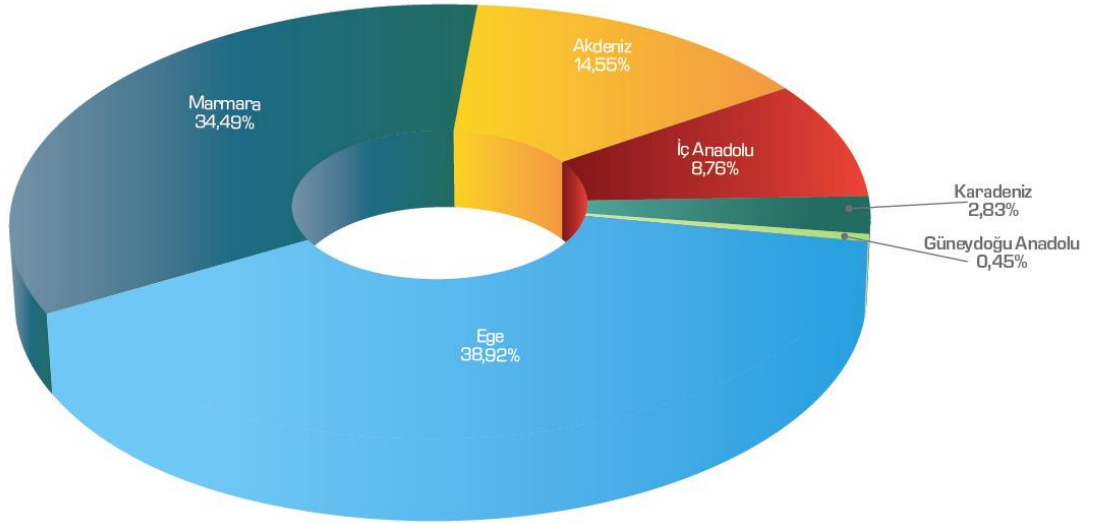


Şekil 1.1 : Türkiye'de rüzgar enerjisi santralleri için kümülatif kurulum.



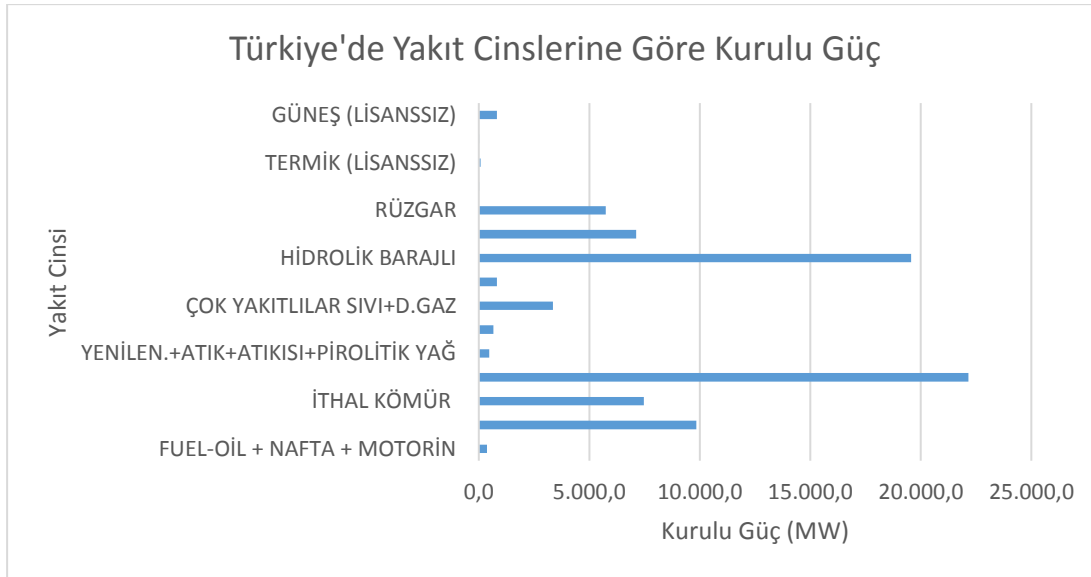
Şekil 1.2 : Türkiye'deki rüzgar enerjisi santralleri için yıllık kurulum.

Ocak 2017 itibari ile Türkiye’de kurulu ve çalışan lisanslı rüzgar projelerinin bölgelere göre dağılımı aşağıda gösterilmektedir (Şekil 1.3) [4].



Şekil 1.3 : Türkiye'de bulunan rüzgar enerji santrallerinin bölgelere göre dağılımı.

TEİAŞ verilerine göre 2016 yılı sonu itibari ile lisanslı rüzgar enerji santral kurulu gücü Türkiye'nin toplam kurulu gücünün yaklaşık %7,3'üne denk gelmektedir. Kurulu gücün yakıt cinslerine göre dağılım grafiği Şekil 1.4'te görüldüğü gibidir. Türkiye’de rüzgarın en yoğun olduğu yerlerin Ege ve Marmara bölgesi olmasından dolayı lisanslı rüzgar enerji santralleri bu bölgelerde yoğunlaşmıştır. Güneydoğu ve Karadeniz bölgesinde lokal rüzgarlar hakimdir. Bu noktalarda sahaların dikkatli seçilmesi ve yatırımın buna göre yapılması gerekmektedir.



Şekil 1.4 : Yakıt cinslerine göre kurulu güç grafiği.

2016 yılı sonu verilerine göre ülkemizde 78.497,4 MW'lık kurulu güç bulunmaktadır. Bu kurulu gücün 5.738,4 MW'ı lisanslı rüzgar enerji santrallerinden, 12,9 MW'ı ise lisanssız rüzgar enerji santrallerinden sağlanmaktadır. Yenilenebilir enerjide potansiyeli çok yüksek olmasına rağmen ülkemizde 22.156,1 MW'lık doğalgaz dönüşüm santralleri bulunmaktadır. Emre amade olan bu santraller sürekli çalıştırılmamaktadır [5].

Ülkemizde kurulu lisanslı rüzgar enerji projeleri, kurulu güçleri ve buldukları illeri içeren liste aşağıdaki gibidir (Çizelge 1.2) [4].

Çizelge 1.2 : Türkiye'de bulunan illere göre kurulu güç tablosu.

Firma Adı	Proje Adı	Kurulu Güç (MW)	İl
Esit Enerji A.Ş.	Ada2 RES	4,6	Balıkesir
YGT Elektrik Üretim A.Ş.	AdaRES	10	İzmir
Ayen En. A.Ş.	Akbük II RES	21	Muğla
Suay Enerji San. Ve Tic. A.Ş.	Akbük RES	9,6	Aydın
Ayen En. A.Ş.	Akbük RES	31,5	Aydın
Akhisar Rüz. En. El. Ür. San.Ltd. Şti.	AKRES	45	Manisa
Aksu Temiz En. El. Ür. San. Tic. A.Ş.	Aksu RES	72	Kayseri
ADO Enerji Üretimi San. Tic. A.Ş.	Akyurt RES	14,7	Tokat
Egenda Ege Enerji Üretim A.Ş.	Alaçatı RES	16	İzmir
Tan Elektrik Ür. A.Ş.	Aliğa RES	19,2	İzmir
Baktepe En. A.Ş.	Amasya RES	40	Amasya
Şehzade En. Ur. Tic. San. Ltd. Şti	Amasya RES	46,2	Amasya
Ares Alaçatı Rüz. En. San. Tic. A.Ş.	ARES	7,2	İzmir

Çizelge 1.2 (devam): Türkiye'de bulunan illere göre kurulu güç tablosu.

Firma Adı	Proje Adı	Kurulu Güç (MW)	İl
Aksa Enerji Ür. A.Ş.	Atik Belen RES	18	Hatay
Ayres Ayvacık El. Ür. Sant. Ltd. Şti	AyRES	5,4	Çanakkale
AkEn. El. Ür. A.Ş.	Ayyıldız RES	15	Balıkesir
Kütle Enerji Yat. Ür. ve Tic. A.Ş.	Bağarası RES	48	İzmir
Borusan EnBW Enerji A.Ş.	Balabanlı RES	50,6	Tekirdağ
Bares El. Ür. A.Ş.	Balıkesir RES	143	Balıkesir
Yapısan El. Ür. A.Ş.	Bandırma RES	30	Balıkesir
Borasco En. Ve Kim. San. Tic. A.Ş.	Bandırma RES	89,7	Balıkesir
Yapısan El. Ür. A.Ş.	Bandırma RES Ext.	21,5	Balıkesir
As Makinsan En. El. Ür. San.Tic. A.Ş.	Bandırma-3 RES	41,8	Balıkesir
Verim En. Yat. Ür. ve Tic. A.Ş.	Barbaros RES	2,85	Tekirdağ
Belen El. Ür. A.Ş.	Belen RES	48	Hatay
Kinesis Enerji A.Ş.	Bereketli RES	32	Tokat
Bergama RES En. Ür. A.Ş.	Bergama RES	120	İzmir
ICDAS Celik En. Ter. ve Ul. San. A.Ş.	Biga RES	60,8	Çanakkale
Bores Bozcaada Rüz. En. San.Tic. A.Ş.	Bozcaada RES	10,2	Çanakkale
Kardemir Haddecilik San.Tic. Ltd.Şti.	Bozyaka RES	19,7	İzmir
Doğal En. El. Ür. A.Ş.	Burgaz RES	14,9	Çanakkale
Alize En. El. Ür. A.Ş.	Çamseki RES	20,8	Çanakkale
Boydak Enerji Üretim ve Tic. A.Ş.	Çanta RES	47,5	İstanbul
Sanko Rüz. En. San. ve Tic. A.Ş.	Çatalca RES	93	İstanbul
Alize En. El. Ür. A.Ş.	Çataltepe RES	16	Balıkesir
Süper Elektrik Üretim A.Ş.	Çataltepe RES	12	İstanbul
ZT Enerji A.Ş.	Çerçikaya RES	57	Hatay
Alize En. El. Ür. A.Ş.	Çeşme RES	1,5	İzmir
ABK Çeşme Enerji	Çeşme RES	18	İzmir
Enerjisa En. Ür. A.Ş.	Dağpazarı RES	39	Mersin
Dares Datça Rüz. En. Sant. Sn. ve Tc. A.Ş.	Dares Datça RES	29,6	Muğla
Zorlu Ruzgar En. El. Ür. A.Ş.	Demirciler RES	23,3	Osmaniye
Çalık Rüzgar Enerjisi El. Ür. Ltd.Şti.	Demircili RES	40	İzmir
Kale Enerji Üretim Tic. ve San. A.Ş.	Dilek RES	24	K.Maraş
Olgu En. Ür. Tic. A.Ş.	Dinar RES	115	Afyon
Olgu En. Yat. Ür. ve Tic. A.Ş.	Dinar RES Ext	77	Afyon
Ütopya En. Ür. San. Tic. A.Ş.	Düzova RES	51,5	İzmir
Edincik Enerji El. Ür. A.Ş.	Edincik RES	77,4	Balıkesir
Meltem En. El. Ür. A.Ş.	Ege RES	9,2	İzmir
Hanay Elektrik Üretim A.Ş.	Elmalı RES	30	Mersin
Boreas En. Ür. San. ve Tic. Ltd. Şti.	Enez RES	21,6	Edirne
Derne En. Ür. Tic. A.Ş.	Fatma RES	38,4	Muğla
FuatRES Elektrik Üretim A.Ş.	Fuat RES	33	İzmir
Geres Enerji Ür. Tic. A.Ş.	GERES	30	Manisa

Çizelge 1.2 (devam): Türkiye'de bulunan illere göre kurulu güç tablosu.

Firma Adı	Proje Adı	Kurulu Güç (MW)	İl
Egenda Ege Enerji Üretim A.Ş.	Germiyan RES	12	İzmir
Al-Yel El. Ür. A.Ş.	Geycek RES	168	Kırşehir
Rotor El. Ür. A.Ş.	Gökçedağ RES	135	Osmaniye
Garet En. Ür. ve Tic. A.Ş.	GökRES	35,75	Manisa
Manres El. Ür. A.S.	Günaydın RES	20,75	Balıkesir
Türkay Alternatif En. El. Ür. A.Ş.	Gündoğdu RES	9,6	Bursa
Eskoda Enerji Ür. Paz. İth. İhr. A.Ş.	Harmanlık RES	52,8	Bursa
Eksim Enerji Ür. A.Ş.	Hasanbeyli RES	50	Osmaniye
Hilalres Elektrik Ür. San. Tic. A.Ş.	Hilal-2 RES	9,9	Mersin
Tamyeli Enerji Üretim A.Ş.	İncesu RES	29,2	Afyon
Anemon En. El. Ür. A.Ş.	İntepe RES	55,7	Çanakkale
Kangal Elektrik Üretim A.Ş.	Kangal RES	78	Sivas
Derne En. Ür. Tic. A.Ş.	Kaniye RES	64	Edirne
Kapıdağ Rüz. En. Sant. El. Ür. Sn. Tic. A.Ş.	Kapıdağ RES	28	Balıkesir
Egener El. Ür. Mak. San. ve Tic. A.S.	Karabel RES	3	İzmir
Lodos El. Ür. A.Ş.	Karaburun RES	120	İzmir
Yalova Rüzgar Ener.den El.	Karacabey RES	30	Bursa
MURSAL Enerji Ür. San. Tic. A.Ş.	Karacayır RES	12,6	Sivas
Garet En. Ür. ve Tic. A.Ş.	Karadağ RES	10	İzmir
Okman Enerji Elektrik Ür. Yat. A.Ş.	Karadağ RES	18	İzmir
Aysu En. San. ve Tic. A.S.	Karadere RES	19,2	Kırklareli
Deniz El. Ür. Ltd. Şti.	Karakurt RES	12	Manisa
Briza El. Ür. A.Ş.	Kavaklı RES	52,8	Balıkesir
Alize En. El. Ür. A.Ş.	Keltepe RES	29,9	Balıkesir
Lodos El. Ür. A.Ş.	Kemberburgaz RES	24	İstanbul
Esinti En. Ür. Tic. A.Ş.	Kınık RES	51,2	İzmir
Beşiktepe Enerji Ür. ve Tic. A.Ş.	Kıyıköy RES	45	Tekirdağ
Alenka Enerji Ür. ve Yat. Ltd. Şti.	Kıyıköy RES	28	Kırklareli
Garet En. Ür. ve Tic. A.Ş.	Kirkagac RES	34,2	Manisa
ADO Enerji Ür. San. Tic. A.Ş.	Konakpınarı RES	14,7	Sivas
Kores Kocadağ Rüz. En. Sant. Ür. A.Ş.	KORES	25	İzmir
Ayen En. A.Ş.	Korkmaz RES	25,2	İzmir
Eskoda Enerji Ür. Paz. İth. İhr. A.Ş.	Koru RES	52,8	Çanakkale
Doğal En. El. Ür. A.Ş.	Kozbeyli RES	32,2	İzmir
Are Elektrik Üretim Tic. ve San. A.Ş.	Kurtkayası RES	45,6	Kayseri
Alize En. El. Ür. A.Ş.	Kuyucak RES	40,9	Manisa
Kıroba El. Ür. A.Ş.	Madranbaba RES	20	Aydın
Enerjisa En. Ür. A.Ş.	Mahmudiye RES	29,9	Çanakkale
Mare Manastır Rüz. En. San. Tic. A.Ş.	Mare Manastır RES	56,2	İzmir
Mazı-3 Rüz. En. Sant. El. Ür. A.Ş.	Mazı-3 RES	30	İzmir
Akdeniz El. Ür. A.Ş.	Mersin Mut RES	42	Mersin

Çizelge 1.2 (devam): Türkiye'de bulunan illere göre kurulu güç tablosu.

Firma Adı	Proje Adı	Kurulu Güç (MW)	İl
Can Enerji Ent. El. Ür. A.Ş.	Metristepe RES	40	Bilecik
Egenda Ege Enerji Üretim A.Ş.	Mordoğan RES	15	İzmir
Ayen En. A.Ş.	Mordoğan RES	31,5	İzmir
Güney Rüzgarı El. Ür. Tic. A.Ş.	Mut RES	52,8	Mersin
Serin En. El. Ür. A.Ş.	Ortamandira RES	11,2	Balıkesir
Ayres Elektrik Üretim. A.Ş.	OvaRES	18	Aydın
Tayf Enerji Yat. Üretim Tic. A.Ş.	Ödemiş RES	21	Aydın
R.K. RES El. Ür. San. ve Tic. Ltd. Şti.	Paşalimanı RES	0,8	Balıkesir
Petkim Petrokimya Holding A.Ş.	Petkim RES	51	İzmir
Pitane Elektrik Ür. Ltd. Şti.	Pitane RES	4,8	İzmir
Poyraz En. El. Ür. A.S.	Poyraz RES	77,1	Balıkesir
NM Enerji Ür. Tic. A.Ş.	Poyraz RES	32	Balıkesir
Ufuk En. El. Ür. A.Ş.	Poyrazgözü RES	34,5	Balıkesir
Öres El. Ür. A.Ş.	Salman RES	27,5	İzmir
Doğal En. El. Ür. A.Ş.	Samurlu RES	34,5	İzmir
Saray Dök. Mad. Ak. San. Tur. A.Ş.	Saray RES	6,95	Tekirdağ
Garet En. Ür. ve Tic. A.Ş.	SaRES	27,5	Çanakkale
Alize En. El. Ür. A.Ş.	Sarıkaya RES	30	Tekirdağ
Zorlu Rüzgar En. El. Ür. A.Ş.	Saritepe RES	57	Osmaniye
Doğal En. El. Ür. A.Ş.	Sayalar RES	57,2	Manisa
Deniz El. Ür. Ltd. Şti.	Sebenoba RES	63,7	Hatay
Üçgen Seferihisar Rüzgar En. El. Ür. A.Ş.	Seferihisar RES	21	İzmir
Sincik Rüz. El. Ür. A.Ş.	Sincik RES	27,5	Adıyaman
Soma En. El. Ür. A.Ş.	Soma RES	264,1	Manisa
Bilgin Rüz. Sant. En. Ür. A.Ş.	Soma RES	120	Manisa
Bereket Enerji	Söke RES	49,5	Aydın
ABK En. Ür. San. ve Tic. A.Ş.	Söke RES	30	Aydın
Sunjüt Suni Jüt San. Tic. A.Ş.	Sunjüt RES	1,2	İstanbul
Alentek En. A.Ş.	Susurluk RES	60	Balıkesir
STEAG Rüzgar Süloğlu En. Ür. Tic. A.S.	Süloğlu RES	66	Kırklareli
Çanres El. Ür. A.S.	Şadıllı RES	38,5	Çanakkale
Galata Wind En. Ltd. Şti.	ŞahRES	105	Balıkesir
Baki El. Ür. Ltd. Şti.	Şamlı RES	113,4	Balıkesir
Yeni Belen Enerji El. Ür.	Şenbük RES	27,7	Hatay
Bakras Enerji Elektrik Ür. ve Tic. A.Ş.	Şenbük RES	38,1	Hatay
Teperes El. Ür. A.Ş.	TepeRES	0,85	İstanbul
Teperes Elektrik Üretim A.Ş.	Teperes Ext.	5	İstanbul
Düzhan Enerji Yat. Ür. Tic. A.Ş.	Tire RES	8,5	İzmir
Pem En. A.Ş.	Tokat RES	40	Tokat
Sabaş El. Ür. A.Ş.	Turguttepe RES	24	Aydın
Kavram Enerji Yatırım Ür. ve Tic. A. Ş.	Uluborlu RES	61,2	İsparta
Elfa Elektrik Üretim A.Ş.	Umurlar RES	10	Balıkesir
Egenda Ege Enerji Üretim A.Ş.	Urla RES	15	İzmir

Çizelge 1.2 (devam): Türkiye'de bulunan illere göre kurulu güç tablosu.

Firma Adı	Proje Adı	Kurulu Güç (MW)	İl
Hassas Teknik Enerji El. Ür. San. Tic. A.Ş.	Urla RES	18	İzmir
Arnaz RES Rüzgar En. El. Ür.	Uşak RES	54	Uşak
SE Santral Elektrik Ür. San. Tic. A.Ş.	Yahyalı RES	52,8	Kayseri
Bak Enerji Üretimi A.Ş.	Yahyalı RES	79,2	Kayseri
Arova RES Elektrik Ür.	Yalova RES	54	Yalova
Yaylaköy Res Elektrik Üretim A.Ş.	Yaylaköy RES	15	İzmir
Innores El. Ür. A.Ş.	Yuntdağ RES	60	İzmir
Derne En. Ür. Tic. A.Ş.	Zeliha RES	25,6	Kırklareli
Zeytineli RES El. Ür. A.Ş.	Zeytineli RES	50	İzmir
Rea Elektrik Üretim Tic. San. Ltd.Şti.	Zincirli RES	12	Kayseri
Eolos Rüz. En. Ür. A.Ş.	Senkoy RES	36	Hatay
Doruk En. Ür. San. Tic. A.Ş.	Seyitali RES	41,5	İzmir
Silivri Enerji Ür. A.Ş.	Silivri RES	45	İstanbul
Ziyaret RES El. Ür. San.Tic. A.Ş	Ziyaret RES	76	Hatay

1.2 Dünyada Rüzgar Enerjisi

Rüzgar Enerjisi dünyada en hızlı gelişen yenilenebilir enerji kaynağıdır. 2015 yılı itibari ile dünyada yaklaşık 370 TW'lık kurulu rüzgar enerji santrali bulunmaktadır. Bu santrallerin ülkelere göre dağılımı Çizelge 1.3'teki gibidir [6].

Çizelge 1.3: 2015 Dünya kurulu rüzgar güç kapasiteleri (MW).

		2015 Dünya Kurulu Rüzgar Güç Kapasiteleri (MW)		
		2014 Sonu	2015 Başı	Toplam (2015)
Afrika Ve Orta Doğu	Etopya	171	153	324
	Mısır	610	200	810
	Fas	787	0	787
	Tunus	245	0	245
	Güney Afrika	570	483	1053
	Ürdün	2	117	119
	Diğerleri ¹	151	0	151
	Toplam	2536	953	3489
Asya	Çin	114609	30753	145362
	Hindistan	22465	2623	25088
	Japonya	2794	245	3039
	Tayvan	633	14	647
	Güney Kore	610	225	835
	Tayland	223	0	223
	Pakistan	256	0	256
	Filipinler	216	0	216
	Toplam	141973	33860	175833

Çizelge 1.3 (devam): 2015 Dünya kurulu rüzgar güç kapasiteleri (MW).

2015 Dünya Kurulu Rüzgar Güç Kapasiteleri (MW)				
	2014 Sonu	2015 Başı	Toplam (2015)	
Avrupa	Almanya	39128	6013	44947
	İspanya	23025	0	23025
	İngiltere	12633	975	13603
	İtalya	8663	295	8958
	Fransa	9285	1073	10358
	Danimarka	4881	217	5063
	Portekiz	4947	132	5079
	İsveç	5425	615	6025
	Polonya	3834	1266	5100
	Türkiye	3738	956	4694
	Hollanda	2865	586	3431
	Romanya	2953	23	2976
	İrlanda	2262	224	2486
	Belçika	1959	274	2229
	Avusturya	2089	323	2411
	Diğer Avrupa Ülkeleri ²	6564	833	5737
Toplam	134251	13805	147771	
	2014 Sonu	2015 Başı	Toplam (2015)	
Latin Amerika ve Karayip	Brezilya	5962	2754	8715
	Şili	764	169	933
	Guatemala	0	50	50
	Arjantin	271	8	279
	Panama	35	235	270
	Honduras	126	50	176
	Peru	148	0	148
	Kosta Rika	198	70	268
	Uruguay	529	316	845
	Karayip Adaları	250	0	250
	Diğerleri	285	0	285
	Toplam	8568	3652	12220
Kuzey Amerika	Amerika	65877	8598	74471
	Kanada	9699	1506	11205
	Meksika	2359	714	3073
	Toplam	77935	10817	88749
	Diğerleri ³	285	0	285
Toplam	8568	3652	12220	

Çizelge 1.3 (devam): 2015 Dünya kurulu rüzgar güç kapasiteleri (MW).

2015 Dünya Kurulu Rüzgar Güç Kapasiteleri (MW)				
		2014 Sonu	2015 Başı	Toplam (2015)
Pasifik Bölgesi	Avustralya	3807	380	4187
	Yeni Zelanda	623	0	623
	Pasifik Adaları	12	0,6	13
	Toplam	4442	380,6	4823
	Dünya Genel Toplam	369705	63467	432883
1	İsrail, İran, Kenya, Libya, Nijerya, Güney Afrika			
2	Bulgaristan, Kıbrıs, Çek Cumhuriyeti, Estonya, Finlandiya, Faroe Adaları, Macaristan, İzlanda, Litvanya, Malta			
3	Bolivya, Kolombiya, Ekvador, Nikaragua, Venezüella			

Rüzgar enerjisi maliyetlerini etkileyen faktörler teknolojik gelişmeler, kurulum maliyetleri, iletim hattı maliyetleri ve mesafeleri, türbin özellikleri, ülkenin mali politikası, santral büyüklüğü ve kurulu gücü gibi etkenlerdir. 90'lı yıllarda türbin güçleri 1 MW'ın altındayken günümüzde 7 MW'lık türbinler denenmektedir. Böylelikle kurulum maliyetleri ve türbin sayısı azaltılarak çok daha az alana ihtiyaç duyulmaktadır.

Türbinlerin güçleri arttıkça kule yükseklikleri de artmaktadır. Kuleler yükseldikçe daha stabil ve yüksek rüzgar hızlarına ulaşabilmektedir. Böylelikle 7 MW'lık rüzgar türbinleri denenebilmektedir.

1.3 Çalışmanın Amacı

Hazırlanan bu tez çalışmasında amaç, ülkemizin rüzgar enerjisinde fizibilite çalışması yapmak amacıyla kurulan rüzgar ölçüm direklerinde kullanılan rüzgar hız ve rüzgar yön sensörlerinin yerli olarak üretilmesi ile yerli politikaların geliştirilmesidir. Rüzgar enerji projelerinin geliştirilmesi için 17 Haziran 2014 tarihinde resmi gazetede yayınlanan rüzgar ve güneş enerjisine dayalı önlisans başvuruları için yapılacak rüzgar ve güneş ölçümleri uygulamalarına dair tebliğ ile yatırımcılara yön verilmiştir. Bu tebliğde belirtilen sensörler tamamı yurtdışında üretilen sensörlerdir. Rüzgar ve güneş ölçüm direklerinde bulunan ve ithalat yoluyla ülkemize getirilen bu sensörler yerine, yerli olarak üretilen sensörlerin kullanılması amaçlanmış ve sensörler geliştirilmiştir. Ülkemize gelen bu sensörler tamamı 90'lı yılların teknolojisi ile üretilen ve pahalı olan sensörlerdir. Yerli olarak geliştirilen rüzgar hız ve yön sensörlerinin teknolojileri daha yeni ve doğrulukları yüksek sensörlerdir. Yapılan yeni sensörler ile her sene yurtdışına giden yaklaşık bir milyon avronun önüne geçilmesi amaçlanmaktadır.

1.4 Çalışmanın Yöntemi

Bu tez çalışmasında öncelikle yurtdışından ithal olarak getirilen rüzgar hız ve yön sensörleri incelenmiş ve ölçüm mantıkları anlaşılmıştır. Hali hazırda kullanılan bu sensörlerin yeni teknolojileri üzerine araştırmalar yapılmış ve daha yeni teknolojiler ile yeni sensörlere karar verilmiştir. Rüzgar ve güneş ölçümünde sayılı firmalardan olan Teknam Teknoloji ve Enerji firmasından destek alınarak yeni sensörlerin araştırma ve geliştirilmesi yapılmıştır. Geliştirilen rüzgar hız ve yön sensörleri Teknam Teknoloji firmasının proje firması olan Canres Enerji'nin Ankara ilinin Şereflikoçhisar ilçesinde bulunan 60 metre rüzgar ölçüm direğine takılmış ve testleri direk üzerinde yapılmıştır. Kurulan bu direk üzerinde, hem yeni geliştirilen rüzgar hız sensörleri hem de ülkemizde yaygın olarak kullanılan Thies marka rüzgar hız sensörleri kullanılmıştır. Karşılaştırma yöntemi ile sensörün düzgün çalıştığı kanıtlanmaya çalışılacaktır. Bu tez çalışmasında izlenen yöntem; öncelikle rüzgar enerjisi hakkında teorik bilgiler vermek, dünyada Avrupa'da ve Türkiye'de rüzgar enerjisinin bugünkü durumunu göstermek, rüzgar ölçümleri hakkında genel bilgiler vermek, ardından bu bilgilerle geliştirilen sensörlerin test sonuçları paylaşılacaktır.



2. RÜZGÂR ENERJİSİ

2.1 Rüzgâr

Rüzgar kelime anlamı olarak devir, hengam, meteorolojide ki anlamı ise en basit olarak hareket eden hava anlamına gelmektedir. Rüzgar enerjisinin ilk kullanımı, tahıl öğütme, yelkenli gemilerin yürütülmesi, yer altı sularının çıkarılması gibi amaçların için kullanılmaktaydı. Eski uygarlıklardan Romalılar, ayrıca denize kıyısı olan ve denizcilikte ilerlemiş toplumlarda gemilerde kullanılmaktaydı. Denize kıyısı olmayan ancak tarımın geliştiği Asya ve Orta Doğu'da ise tahıl öğütmede kullanılmaktaydı [7].

Rüzgar enerjisinin ana kaynağı güneştir. Dünyanın eğriliği ve yükseltilerinin homojen şekilde dağılmamasından dolayı yeryüzünün her yerinin eşit ısınmaması nedeniyle oluşan basınç farklılıklarından dolayı hareket eden havayla rüzgarlar meydana gelmektedir. Meteorolojik açıdan rüzgar aşağıdaki bölgelerde oluşabilmektedir;

- İki nokta arasındaki basınç farkının yüksek olduğu yerler,
- Yüksek, engebesiz tepe ve vadiler,
- Kıyı şeritleri (deniz-kara ısınmasının farklı olmasından)
- Kanal etkilerinin meydana geldiği vadiler, tepeler ve dağ toplulukları.

Rüzgar oluşumunda topoğrafya çok önemli bir etkidir. Mesela, dağ rüzgarları, vadi rüzgarları, kara-deniz meltemleri ve fön rüzgarlarının oluşumunda topoğrafya büyük bir etkidir. Topoğrafyanın rüzgar oluşumuna en büyük etkisi pürüzlülüktür.

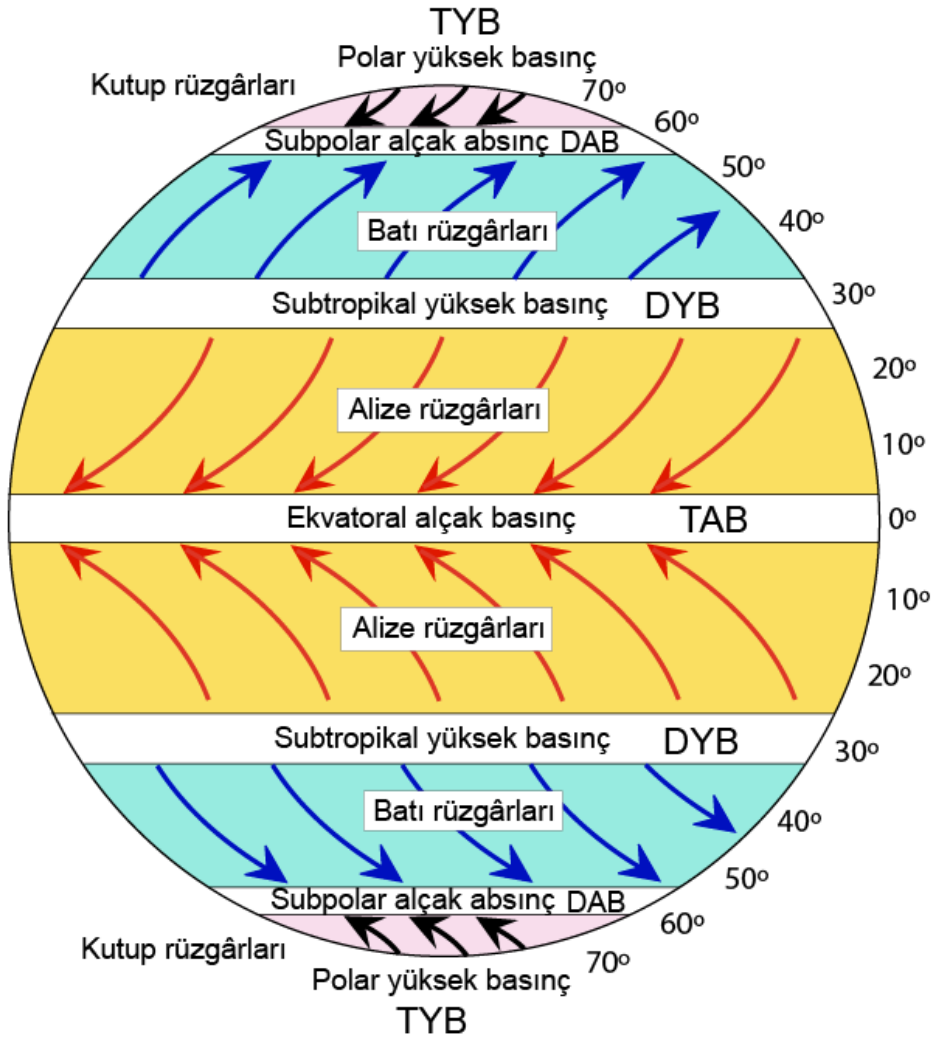
Rüzgar hızı sürekli değişiklik gösterebilmektedir. Rüzgar hızının değişiklik göstermesiyle birlikte rüzgardan elde edilecek enerji miktarı da değişir. Dolayısıyla, proje yapılacak sahaların ölçümleri uzun yıllar boyunca yapılmalıdır. Ülkemizde resmi kurumlar rüzgar enerjisinden elektrik üretebilmek için proje yapılacak sahalarındaki ölçümlerin en az bir yıl yapılması gerekliliğini şart koşmuşlardır. Ancak teknik olarak 1 yıllık rüzgar ölçümleri kesinlikle yeterli değildir. Sahanın rüzgar rejiminin doğru belirlenebilmesi için en az 2 yıllık bir ölçüm gereklidir. Rüzgar hızı, meteorolojik değişimlerden çok hızlı etkilendiği için en az iki yıllık veriler kullanılmalıdır.

2.2 Rüzgâr Çeşitleri

Atmosferde meydana gelen hareketler incelendiğinde, bu hareket 4 farklı kategoride değerlendirilmelidir. Bunlar; genel sirkülasyon, sinoptik ölçek, mezo ölçek ve mikro ölçektir. Bu 4 farklı kategori ile oluşan rüzgarlar aşağıdaki şekilde sıralanabilir.

2.2.1 Küresel rüzgârlar

Yeryüzü tarafından emilen güneş radyasyonu ekvatorda kutuplardan daha yüksektir. Ekvatorda daha fazla emilen güneş ışınları sebebiyle oluşan sıcaklık farklılıklarından atmosferin en alt tabakası olan troposferde sirkülasyonlar oluşmaktadır. Rüzgar projelerinde pek fazla küresel rüzgarlar kullanılmaktadır. Bu rüzgarların genel sebebi dünyanın homojen ısınmamasıdır [8]. Dünyanın basınç kuşakları ve küresel rüzgarları Şekil 2.1’de gösterilmiştir.



Şekil 2.1: Yeryüzündeki basınç kuşakları ve küresel rüzgarlar.

2.2.1.1 Tropik rüzgârlar

Ekvator da ısınan hava yükselerek yukarı seviyelerde tropical kuşağa doğru hareket etmekte ve 30° enlemlerde soğuyarak aşağı doğru çökmektedir. 30° enlemdeki hava dönerek ekvatora inmekte ve doğudan batıya doğru esmektedir. Bu rüzgara ticari rüzgarlar da denmektedir. Bu rüzgar yıl boyunca sürekli ve kararlı bir şekilde esmektedir. Bu kuşaktaki rüzgar hızlarında pek fazla değişim görülmemektedir. Ancak, deniz suyu sıcaklığında veya hava sıcaklığında gelişen ani değişimlerde bu rüzgarlar fırtınalara sebep olabilmektedir.

2.2.1.2 Muson rüzgârlar

Okyanus ile Asya kıtası arasındaki sıcaklık farklarından mevsimsel bazda sürekli rüzgarlar meydana gelmektedir. Yazın Asya kıtası hızlı şekilde ısınmakta ancak sular katıllara göre daha yavaş ısınıp soğuduğu için okyanus daha geç ısınmaktadır. Asya kıtasının daha hızlı ısınmasından dolayı kıta üzerinde alçak basınç bölgesi oluşmaktadır. Hava, yüksek basınçtan alçak basınç bölgesine doğru hareket ettiği için, yaz başında soğuk ve nemli olan hava asya kıtasına doğru hareket eder. Bu rüzgar yaz boyunca denizden karaya doğru esmektedir. Eylül sonrasında ise ısınan okyanus suyundan dolayı rüzgar yön değiştirerek karadan denize doğru eser.

2.2.1.3 Kutup rüzgârları

Kutup rüzgarları, yüksek basınç merkezleri olan kutuplardan, alçak basınç merkezi olan 60° enlemlerine kadar hareket eden hava akımından kaynaklı oluşmaktadır. Yüzeyin pürüzlü olması ve yer şekillerinden kaynaklı olarak 40° enlemlerine kadar inebilir. Güney yarım kürede kara oranı daha düşük olduğu için bu rüzgarlar güney yarım kürede daha güçlüdür

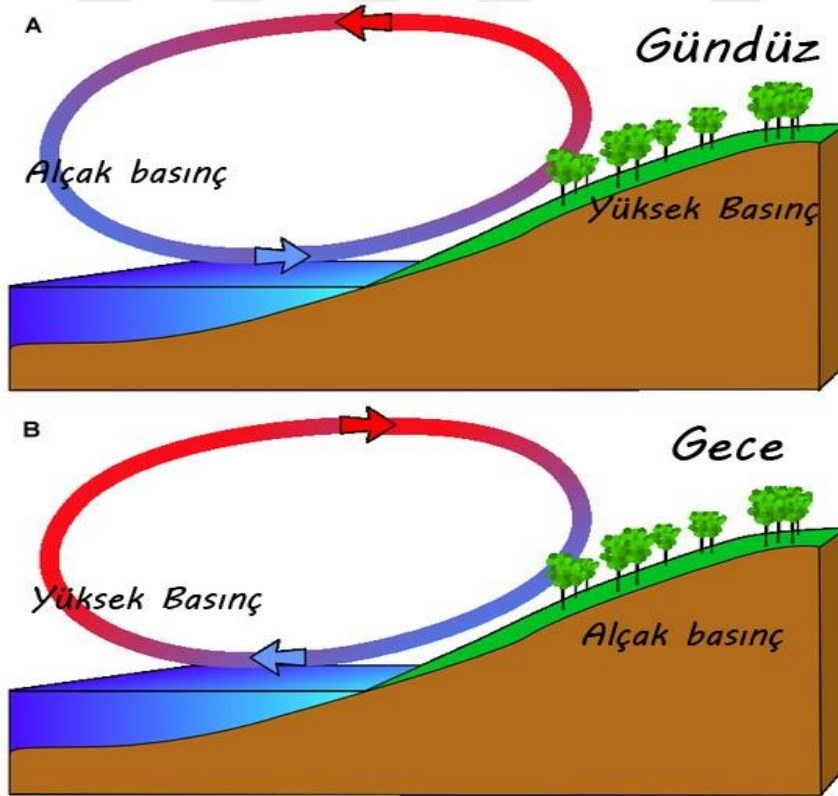
2.2.2 Yerel rüzgârlar

Rüzgar enerjisinde kullanılan rüzgarlardır. Gece-gündüz sıcaklık farklılıkları, kara-deniz etkileşimi veya vadi etkisinden kaynaklanan rüzgarlardır. Rüzgarın oluşma sebebi genellikle yerel kaynaklıdır. Sahanın konumuna ve yerel yükseltilere göre oluşma yerleri farklılıklar gösterebilir. Mesela bir vadi boyunca veya kara-deniz ısıtma sığasının farklı olmasından kaynaklanabilir.

2.2.2.1 Kara ve deniz meltemleri

Bu rüzgarların oluşum sebebi gece ve gündüz arasında meydana gelen sıcaklık farklarıdır. Deniz meltemleri kara meltemlerine göre daha stabil ve güçlüdür. Karalarda meydana gelen türbülanslar ve engellemeler deniz meltemlerinde pek görülmez. Deniz meltemleri deniz seviyesinin 10 metre üzerinde 6-9 m/s hızlara ulaşabilmektedir. Kara meltemleri gece başlar ve kısa sürede son bulur. Deniz meltemleri ise sabah başlar ve öğle sonuna kadar devam eder. Deniz meltemleri tuzlu ve nemli havayı taşıdıklarından kıyı şeridinde bulunan Rüzgar Enerji Santrallerinin (RES) ömrü çok uzun olmamaktadır.

Isıl sığası farklı olan denizler ve karalar güneş radyasyonundan dolayı farklı zamanlarda ısınırlar ve soğurlar. Bu farklılıktan dolayı kara ve deniz üzerindeki hava molekülleri de farklı zamanlarda ısınırlar. Özellikle ilkbahar ve yaz aylarında denizlerin sıcaklığı karaların sıcaklığından daha düşüktür. Kışın ise bu durum tamamen tersidir. Denizler karalara göre daha geç ısınır ve daha geç soğurlar. Kara üzerinde bulunan hava molekülleri de ısınarak yükselir ve deniz üzerindeki soğuk hava yükselen havanın yerini alır. Gece şartlarında ise bu döngü tersine döner (Şekil 2.2).



Şekil 2.2: Kara-deniz meltemi oluşumu.

2.2.2.2 Dağ ve vadi rüzgârları

Dağ yamaçlarında ısınan hava yükselerek tepelere doğru yükselir. Tepelerdeki soğuk havada yamaç boyu aşağı inerek rüzgarları oluşturur. Geceleri ise bu olay tam tersine döner ve tersi yönde rüzgarlar meydana gelir. Bu rüzgarların ortalama hızları 3-5 m/s aralığındadır. Rüzgardan enerji üretimi için yetersiz olan bu rüzgarlara meteoroloji de anabatik rüzgarlar da denir. Dağ yamacındaki rüzgarlar vadi boyu ilerleyerek daha güçlü rüzgarlar oluşturabilir. Bu rüzgarlar, rüzgardan enerji üretimi için daha uygun rüzgarlarıdır.

2.3 Rüzgâr Enerjisi

Proje geliştirilecek bir sahada rüzgar enerjisinin hesaplanabilmesi için sahadaki rüzgar hızı ve esme sayısı muhakkak bilinmelidir. Sahada esen tüm rüzgar hızlarında esme sayıları belirlenmeli ve projenin yatırıma uygun olup olmadığı, eğer uygunsa hangi tür türbin seçilmesi gerektiği bu şekilde karar verilecektir. Rüzgarın bir kütlesi ve hızı bulunmaktadır. Dolayısıyla rüzgar enerjisi hesaplanırken öncelikle rüzgarın kinetik enerjisi hesaplanmalıdır. Rüzgar türbinleri ile ilgili ilk ciddi araştırmalar 1926 yılında Dr. Albert Betz tarafından yapılmıştır. Betz'e göre türbin rotoru, havaya kaşı direnç göstermeyen ve sonsuz sayıda kanattan oluşmaktadır. Bu teoreme göre Betz Yasası, teorik olarak bir rüzgâr türbinin enerji veriminin maksimum %59 olacağını ifade etmektedir.

Rüzgar gücü;

$$P = \frac{1}{2} \rho A \vartheta^3 \quad (2.1)$$

Eşitlik 2.1'deki gibi bulunur [9].

Burada;

P : Güç (W)

ρ : Hava yoğunluğu (kg/m³)

A : Rotor süpürme alanı (m²)

ϑ : Rüzgar hızı (m/s)

Eşitlik 2.1 ile verilen güç formülü ideal şartlarda ve sürtünmeler ihmal edildiğinde güç hesaplamalarda kullanılır. Betz tarafından belirtilen limitle rüzgardan gelen enerjinin maksimum 16/27'si güce çevrilebilmektedir.

Bazı durumlarda ortalama rüzgar hızı ile daha yükseklerdeki rüzgar hızları basit bir formülle kabaca bulunabilmektedir. Bunun için en iki basit formül bulunmaktadır. Bunlardan ilki Eşitlik 2.2 ile verilmiştir.

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{\ln \frac{Z}{Z_0}}{\ln \frac{Z_{ref}}{Z_0}} \quad (2.2)$$

V_1 : h_1 yüksekliğinde ölçülen rüzgar hızı (m/s)

V_2 : h_2 yüksekliğinde hesaplanmak istenen rüzgar hızı (m/s)

Z : hesaplanmak istenen yükseklik (m)

Z_0 :Pürüzlülük uzunluk katsayısı

Z_{ref} :rüzgar hızı ölçüm yüksekliği (m)

Hesaplanmak istenen rüzgar hızını bulmanın bir diğer yolu ise Hellman yükseltme bağıntısıdır (Eşitlik 2.3). Bu bağıntı ile rüzgar hızı, değişik yüksekliklere taşınabilir. Hesaplamalar yapılırken en önemli olan yüzey pürüzlülüğünün doğru olarak girilmesidir. Yüzey pürüzlülüğünün doğru olarak girilebilmesinin en önemli şartlarından biri saha gezilerinin yapılmasıdır.

$$\frac{v_1}{v_2} = \left(\frac{h_1}{h_2}\right)^\alpha \quad (2.3)$$

v_1 : h_1 yüksekliğinde ölçülen rüzgar hızı

v_2 : h_2 yüksekliğinde hesaplanmak istenen rüzgar hızı

h_1 : Rüzgar şiddetinin ölçüldüğü yükseklik

h_2 : Hesaplanmak istenen rüzgar hızının yüksekliği

α : yüzey pürüzlülüğü (Hellman katsayısı)

Eşitlik 2.2 ve 2.3 ile rüzgar hızını bildiğimiz bir yüksekliğin rüzgar hız değerlerini daha yükseklere taşıyabili ve pürüzlülük katsayıları ile rüzgar hızlarını başka noktalara taşıyabiliriz. Bir arazinin pürüzlülüğü çoğunlukla Z_0 pürüzlülük uzunluğu parametresi ile belirtilir. α ve Z_0 arasındaki bağıntı Lettau tarafından ortaya konmuştur. Lettau'nun yaptığı çalışmalar sonucunda Eşitlik 2.4'teki formül bulunmuştur.

$$Z_0 = 15,25 \exp(-1/\alpha) \quad (2.4)$$

Eşitlik 2.4'deki gibi Z_0 değeri bulunur [10]. Bulunan Z_0 değeri 0-1 arasında değişir. Bitki örtüsünün değişiminden ve rüzgar yönüne göre farklı değerler alabilir. Çizelge 2.1'de farklı yüzeylere sahip örnek pürüzlülük katsayıları verilmiştir. Pürüzlülük katsayısı kullanılarak rüzgar hızı bilinen bir yükseklikteki veriler, rüzgar hızı hesaplanmak istenen noktaya taşınabilir. Rüzgar enerjisinden elektrik üretecek sistemler için her ne kadar kullanışlı olmasalar da düz ovalarda kullanışlı hale gelebilmektedir. Bölgenin rüzgar profili hakkında bilgi vermek amacıyla kullanılabilir.

Çizelge 2.1: Pürüzlülük uzunlukları ve sınıfları.

Pürüzlülük Uzunluğu Z_0 (m)	Yüzey yapısı	Pürüzlülük Sınıfı
0,50	Büyük şehirlerin varoşları, taşra kentleri	3
0,30	Siper kuşakları, orman, küçük binalı şehir	
0,20	Birçok ağaç ve/veya çalılar	
0,10	Kapalı görünümlü çiftlik arazisi,seyrek ağaçlık	2
0,03	Çok seyrek bina ve ağaçlı çiftlik arazisi	
0,02	Havaalanları (binaları ve ağaçlarıyla)	1
0,01	Havaalanı pistleri	
0,007	Biçilmiş çim	
0,005	Pürüzsüz çıplak toprak	0
0,001	Pürüzsüz kar yüzeyi	
0,0003	Pürüzsüz kum yüzeyi	
0,0001	Su yüzeyleri	

Çizelge 2.1’de verilen pürüzlülük verileri incelendiğinde pürüzlülük değeri en düşük olan yerler su yüzeyleridir. Deniz üzerine kurulacak RES santrallerinin kurulumu öncesi rüzgar olduğu düşünölen sahalara yakın noktalarda yapılacak rüzgar ölçümleri herhangi bir değışiklik yapılmadan farklı noktalar taşınabilir.

Ormanlık, dağlık ve şehirlerde pürüzlülük katsayıları yüksek olduğundan buralarda yapılan rüzgar ölçümlerinin farklı noktalar taşınması ve bu dataların kullanılması çok uygun değildir. Bu verileri bu noktalarda taşıyabilmek için gelişmiş bilgisayar programları bulunmaktadır. Bu programlara sahanın topografyası girilerek bir simölasyon çalıştırılmakta ve bu datalar ölçölmek istenen noktalara taşınmaktadır.



3. RÜZGÂR ÖLÇÜMLERİ VE KULLANILAN SENSÖRLER

Bir RES projesi geliştirmek için ilk yapılması gereken rüzgar ölçümünün standartlara uygun şekilde yapılmasıdır. Proje sahasından elde edilecek enerji miktarı, sahaya uygun türbinlerin seçimi ve türbinlerin yerleşimine kadar tüm işlemlerin doğru yapılabilmesi için rüzgar ölçümünün doğru aletlerle ve güvenilir bir şekilde yapılması gerekmektedir.

Rüzgar ölçümü, data kullanılma amacına göre yapılmalıdır. Meteorolojik ve zirai amaçlı rüzgar ölçümleri, Dünya Meteoroloji Örgütü (WMO) standartlarına göre 10 m yükseklikte yapılmaktadır. Bu ölçüm direklerinde tepede bir adet rüzgar hız sensörü ve bir adet rüzgar yön sensörü bulunmaktadır. Meteorolojik rüzgar ölçümlerinde direk üzerine başka sensörler de yerleştirilmektedir. Güneş ölçüm istasyonlarında da rüzgar ölçümleri yapılmaktadır ancak bu direklerin boyu maksimum 4 metre olacak şekilde ayarlanmaktadır. Bu direkler üzerinde de bir adet rüzgar hız sensörü ve bir adet rüzgar yön sensörü monte edilmektedir.

RES yatırımı yapılması planlanan bir sahada ise rüzgar ölçümü sahada kullanılması planlanan türbin hub yüksekliğinin en az 2/3'ü kadar olmalıdır. Günümüzde hub yükseklikleri neredeyse 120 metre yüksekliğe çıkabilmektedir. Günümüzde rüzgar ölçümleri genellikle 60 veya 80 metrede yapılmaktadır. Bir rüzgar ölçüm direğinde aşağıdaki sensörler olmalıdır:

- En az 2 adet Rüzgar Hız sensörü
- En az 2 adet Rüzgar Yön Sensörü
- Sıcaklık-Nem Sensörü
- Basınç Sensörü
- Ölçülen verilerin kaydedilmesi için veri kaydedici (Datalogger)
- Yıldırım koruma sistemi
- Direğin sabitlenebilmesi için ankrajlar
- Direk tabanı ve temel
- Rüzgar hız ve yön sensörlerinin direk üzerine montajı için bağlantı kolları

Sıcaklık ve basınç sensörleri verileri hava yoğunluğunu hesaplamak için kullanılmaktadır. Nem sensörü ise havanın korozyon etkisini hesaplamak için kullanılmaktadır.

3.1 Rüzgâr Hızı Ölçerler

Anemometreler, rüzgar ölçümlerinde kullanılan cihazlardır. Ölçüm direklerinde genellikle kepçeli anemometreler kullanılmaktadır. Şekil 3.1’de bazı firmalara ait kepçeli anemometreler gösterilmektedir.



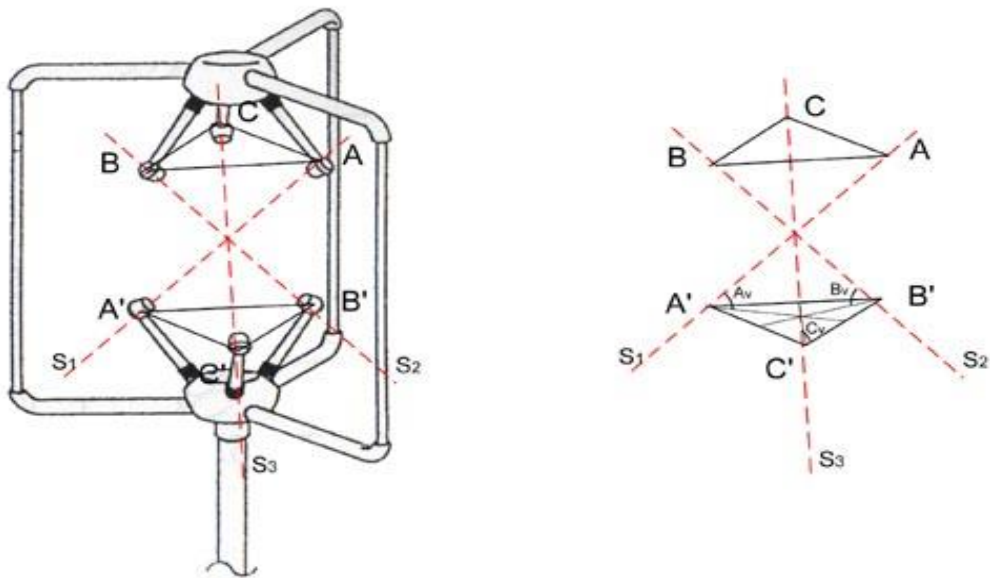
Şekil 3.1: Çeşitli kepçeli anemometreler.

Düşey eksene dik yerleştirilen kepçeler ile rüzgar yakalanmakta ve bu dönme kuvvetini bir mil yardımıyla ölçümü yapacak nüveye iletilmesi ile rüzgarın kinetik enerjisi elektriksel işaretlere dönüştürülmektedir. Yukarıdaki kepçeli anemometrelerin bir çoğunun çıkışı rüzgar hızı ile orantılı kare dalga frekans şeklindedir. Sensörün dönüş hızına göre çıkış frekansı artmaktadır. Bu sensörlerin yüzeyi genellikle dış ortama dayanıklı anodize kaplı alüminyum veya plastik malzemeden yapılmaktadır. Sensörün çalışma sıcaklığı -40 ile +60°C aralığındadır. Sensör gövdesinde oluşacak bir deformasyonda sensörün duyarlılığı ve kalibrasyonu değişmekte ve doğru ölçüm alınamaması ihtimali doğmaktadır.

Kepçeli anemometrelerin RES projelerinde kullanılmasının en önemli sebebi hem ölçüm kalitelerinin yüksek olması hem de fiyat avantajının olmasıdır. Kepçeli anemometrelerin en büyük dezavantajı çok hassas rulmanlar üzerinde dönmeleridir. Bu rulmanların süreç içerisinde eskimesi ile sensörün kalibrasyonu kaymakta ve yanlış ölçümler yapmaya başlamaktadır. Bir diğer dezavantajı ise kepçelerden kaynaklı

türbülânların yaşanabilmesidir. Firmalar bu tür problemleri aşabilmek amacıyla kepeçleri konik hale getirmiştir. Yeni tip kepeçli anemometrelerde konik kepeçlerin yanında ufak kanatçıklar bulunmaktadır. Bu kanatların amacı; sensöre dikey gelen rüzgarların mümkün olduğunca ölçüme katılmasını engellemektir. Çünkü RES yatırımlarında rüzgarın yalnızca yatay bileşeniyle enerji hesabı yapılacaktır. 3 boyutlu koordinat eksenini düşünülduğünde (x,y,z), yatay düzlemde esen rüzgar u, v düşey düzlemde esen rüzgarın w olduğunu varsayarsak, ölçülmesi gereken rüzgar hızı $\sqrt{u^2 + v^2}$ olacaktır. Eğer, düşey düzlemde esen w hızındaki rüzgar da ölçüme girerse, ölçülen rüzgar; $\sqrt{u^2 + v^2 + w^2}$ olacaktır. Bu yüzden kanatçığın görevi çok önemlidir. Şekil 3.1'den de görüleceği üzere tüm anemometrelerin dizaynları birbirine benzemektedir. Dizaynda yapılacak en ufak değişikliklerde doğruluk değerleri sıkıntı çıkarmaktadır.

Kepeçli anemometrelerin yanında ultrasonik anemometreler de bulunmaktadır. Bu sensörlerin teknolojileri çok yenidir ve kepeçli anemometrelere oranla daha duyarlı ölçümler yapmaktadır. Ultrasonik anemometrelerde rüzgar ölçümü hareket eden dalga temelleri üzerinde yapılmaktadır. Alıcı ve verici çifti üzerindeki faz değişimi aynı eksen üzerindeki rüzgar akışı için referans oluşturmaktadır. Rüzgar ölçümü 3 boyutta ölçülecek ise her diyafram üzerindeki vektörler belirlenir ve rüzgarın 3 boyutlu verisi çıkarılır. Her bir boyut için bir üçgen oluşturulur ve rüzgarın geliş açısına göre hızı belirlenir (Şekil 3.2).



Şekil 3.2: Ultrasonik rüzgar hız sensörü çalışma prensibi.

Bu sensörler aynı zamanda yön verisi de kaydedebilmektedir. Ultrasonik anemometrelerde havanın yoğunluğu, sıcaklığı ve basıncı da ölçüme etkendir. Çünkü, sesin hızı bu 3 değişkene de bağlıdır. Şekil 3.3'te örnekleri gösterilen rüzgar hız sensörleri, ultrasonic prensible ölçüm yapmaktadır. Sensor üzerindeki kırmızı çizgiler coğrafik kuzeye gelecek noktayı göstermektedir. Sensörün rüzgar yön verisini de doğru ölçebilmesi için bu noktanın kuzeye getirilmesi gerekmektedir. Be sensörler IP korumaları yüksek olduğu için ve hareketli parçaları olmadığı için denize yakın meteorolojik ölçümlerde, karayolları ve deniz ulaşımdaki ölçümleme sistemlerinde kullanılmaktadır.



Şekil 3.3: Ultrasonik anemometre örnekleri.

Şekil 3.4'te gösterilen propeller anemometer, rüzgar ölçümlerinde kullanılan bir diğer anemometre çeşididir. Kepçeli anemometreler rüzgar vektörüne dik bir şekilde yerleştirilirken, propeller anemometrenin dönen hareketli kısmı rüzgara paralel olarak yerleştirilir. Bu anemometrenin kuyruğunda sensörün hareketli kısmına gelen rüzgar yönüne çevirmek için bir kuyruk bulunur. Bu kuyruk vasıtasıyla sensör sürekli hakim rüzgar yönüne dönecektir. Ancak bu sensörler rüzgar enerjisinden elektrik üretimi yapacak firmaların çok fazla kullanmak istemedikleri sensörlerdir. Rüzgar hız sensörlerini ve rüzgar yön sensörlerini ayrı ayrı kullanarak daha stabil ölçümler yapmak istemektedirler.



Şekil 3.4: Propeller anemometre.

3.2 Rüzgâr Yön Sensörleri

RES projesinde ölçümü yapılması gereken tek parametre rüzgar hızı değildir. En az rüzgar hızı kadar önemli bir diğer ölçülmesi gereken parametre de rüzgarın yönüdür. Sahada esen rüzgar tek bir yönden esebileceği gibi farklı yönlerden de esebilir. Her bir farklı yönden gelen rüzgar belirlenerek farklı yönlerden gelen rüzgarın yüzdeleri belirlenmelidir. Hatta yönlere göre ortalama rüzgar yönü de proje için kritik öneme sahiptir. Hakim rüzgar yönünde esen rüzgar düşük olabileceken farklı bir yönden esen rüzgar daha şiddetli olabilmektedir. Esmeye sayıları, rüzgar hızları ve rüzgarın estiği yön değerleri hep birlikte değerlendirilmelidir.

Rüzgar yön sensörü 360°'lik alanda ölçüm yapabilmektedir ve bu dönüşü sonsuz olarak yapabilmektedir. Rüzgar yön sensörleri ağırlık dengeleyici bir burun ve sensörün rüzgara dönmesini sağlayan kuyruk kısmından oluşur. Sensörün en önemli kısımlarından biri ağırlık dengeleyici burun kısmıdır. Eğer sensör dengeli değilse çok küçük rüzgar hızlarında bile salınım yapabilir. Yapacağı bu salınım rüzgarın yönünü belirlemede hataya neden olabilmektedir. Sektörde en fazla kullanılan yön sensörleri analog çıkışlı potansiyometrik yön sensörleridir.

Şekil 3.5'te bazı rüzgar yön sensörleri gösterilmektedir. Şekilde gösterilen tüm rüzgar yön sensörleri yatay konuma getirildiğinde dengede durabilmektedir. Böylece türbülanslı rüzgarlarda az salınım yapmaktadır. Şekilde kırmızı kanat ile görünen rüzgar yön sensörü IP 68 koruma sınıfına sahiptir ve denizlerde meteorolojik ölçüm amacıyla kullanılmaktadır.

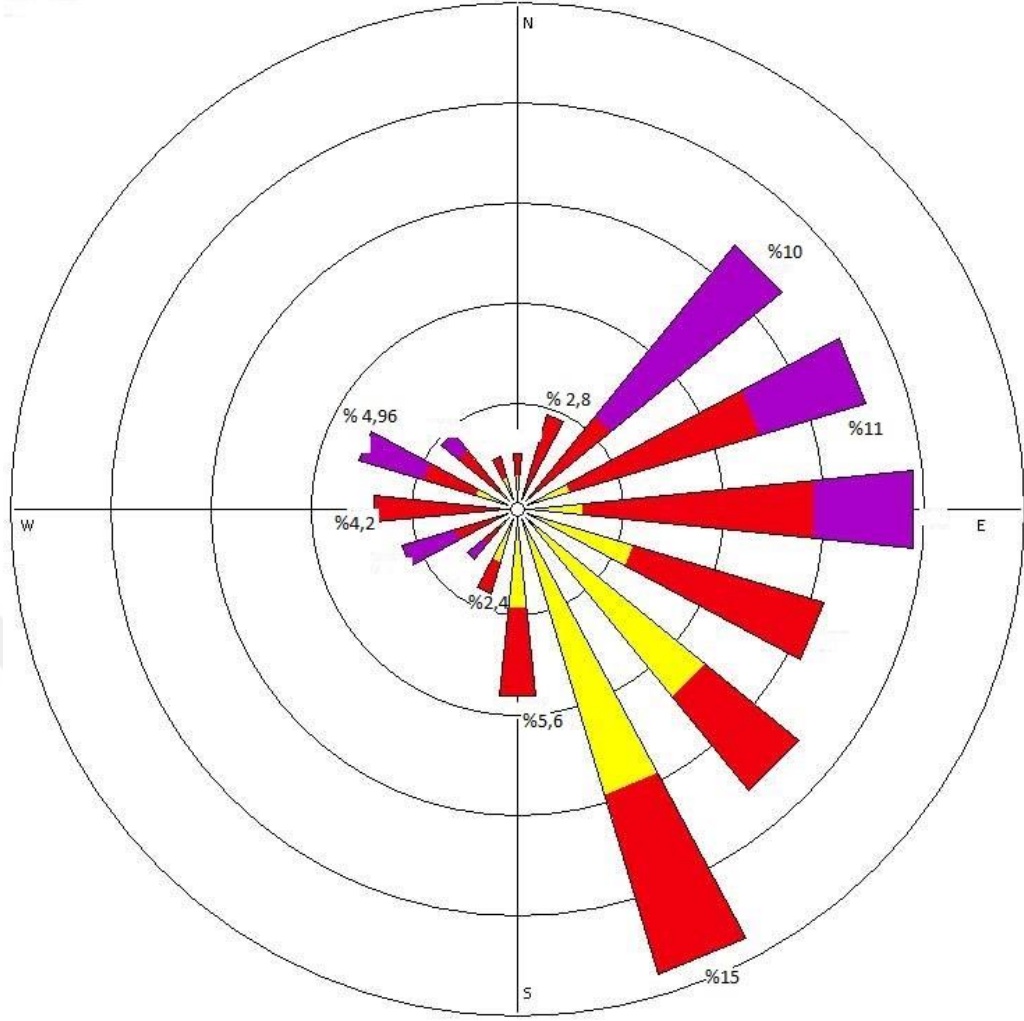


Şekil 3.5: Rüzgar yön sensörü örnekleri.

Rüzgar yön sensörlerinin gövde tasarımları oldukça önemlidir. Sensör boyutları anemometrelerden büyüktür. Dolayısıyla rüzgara gösterecekleri direnç ve rüzgar altında oluşturdukları türbülanslar da anemometrelere göre fazladır.

Rüzgar yön sensörleri rüzgar ölçüm direkleri üzerine monte edilirken sensörün gövdesi üzerinde bulunan kuzey işareti coğrafi kuzeye getirilir. Böylelikle sensörün yaptığı ölçümde referans olarak gerçek kuzey alınmaktadır. Bazı firmalar sensörü gerçek kuzeyde getirmeye zorlandıkları için sensörün kuzey işaretini algılayıcının monte edildiği kolun içerisine doğru baktırarak bir offset değer çıkarmaktadır. Sensörün yaptığı ölçümlere bu fark eklenerek gerçek yön değerleri bulunmaktadır.

Rüzgar yön sensörlerinden okunan değerler bazı programlar yardımıyla rüzgar gülü (Wind Rose) grafiklerine dönüştürülmektedir. Şekil 3.6'da örneği gösterilen rose grafiğinde rüzgarın hakim yönü ve diğer yönlerden esiş sayıları kolaylıkla görülebilmektedir.



Şekil 3.6: Örnek rüzgar gülü (wind rose) grafiği.

3.3 Diğer Sensörler

Rüzgar güç hesaplarında kullanılan formülde direk çarpan olarak kullanılan hava yoğunluğu verisinin hesaplanmasında önemli bir rolü olan sıcaklık verisi sıcaklık sensörleri ile ölçülmektedir. Şekil 3.7’de rüzgar ve meteorolojik ölçümlerde kullanılan farklı firmalara ait sıcaklık sensörleri gösterilmiştir. Bu sensörler genellikle direnç telli PT100 sensörleri ile yapılmaktadır. Sıcaklıkla değişen direnç değeri ile ölçüm yapan bu sensörler rüzgar ölçüm direği üzerinde 10 metre yüksekliğe monte edilmektedir. Bazen hub yüksekliğindeki sıcaklığı da ölçülmek istenmesiyle direğin en tepesine de bir adet sıcaklık sensörü bağlanmaktadır. Böylelikle enerji üretilecek yükseklikte hem rüzgar hızı ölçümü hem de sıcaklık ölçümü yapılmaktadır. İki farklı noktada sıcaklık ölçümü yapılarak sıcaklık eğimi de çıkarılmaktadır.



Şekil 3.7: Sıcaklık sensörü örnekleri.

Sıcaklık ölçümlerinin düzgün ve gölgede yapılabilmesi için iyi ve yeterli şekilde havalandırılan bir kalkana ihtiyaç duyulmaktadır. Şekil 3.8’de farklı büyüklüklerde kalkanlar gösterilmektedir. Bu kalkanlarla birlikte sıcaklık ölçümleri gölgede ve hava sıcaklığını en iyi temsil edecek şekilde yapılmaktadır.



Şekil 3.8: Sıcaklık-nem sensörü radyasyon kalkanı.

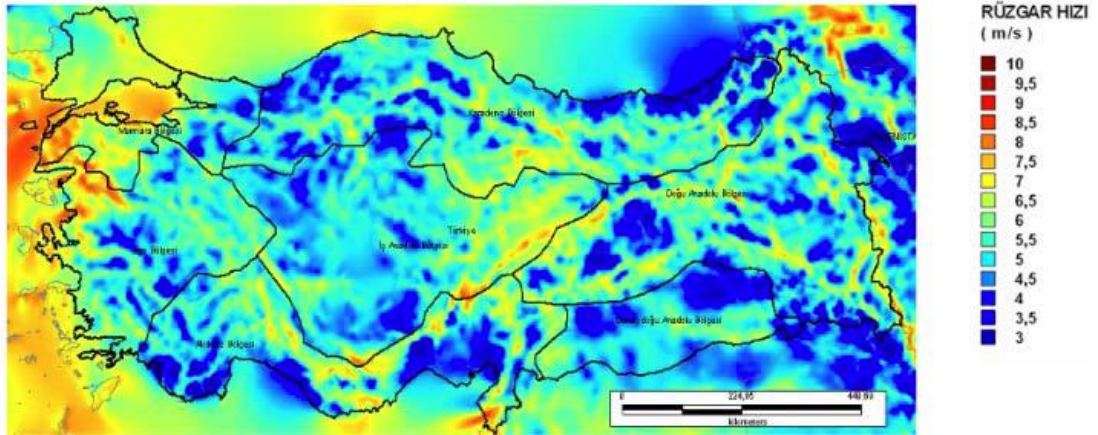
Hava yoğunluğunu etkileyen bir diğer faktör de havanın basıncıdır. Basınç verisi de açık hava basıncı sensörleri ile ölçülmektedir. Bu sensörler tüm sensörlerin datalarının kaydedildiği veri kaydedicinin de içinde bulunduğu pano içine monte edilmektedir. Böylelikle olumsuz çevre koşullarından korunmaktadır. Şekil 3.9’da örnekleri gösterilen basınç sensörlerinin gövdeleri üzerinde hava girişleri olmasından dolayı korunaklı ve havalandırılan bir kabin içerisine yerleştirilmelidir. Aşağıda gösterilen her iki hava basıncı sensörü de basınç değişimlerini analog sinyallere çevirme prensibi ile çalışmaktadır.



Şekil 3.9: Örnek hava basıncı sensörleri.

3.4 Rüzgâr Ölçüm Direği

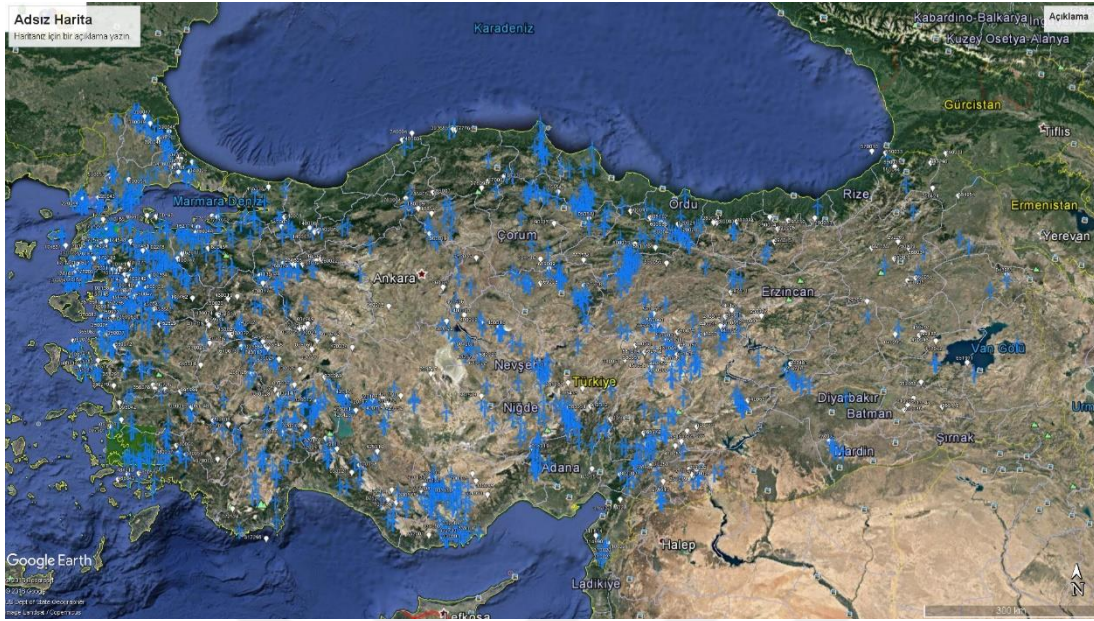
YEGM (Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü) üzerinden alınan bilgilere göre Türkiye'nin rüzgar haritası çıkarılmıştır. Şekil 3.10'da Türkiye'nin genel rüzgar haritası çıkarılmıştır. Kabaca Türkiye'de rüzgarın yoğun olduğu yerler Ege ve Marmara bölgesi olarak görünmektedir.



Şekil 3.10: YEGM rüzgar enerjisi potansiyeli atlası (REPA).

Şekil 3.11'den görüleceği üzere Türkiye'de RES yatırımı yapılacak sahalara genellikle Marmara ve Ege bölgesinde yoğunlaşmıştır. Rüzgar hızının yatırıma değer olduğu bu bölgelerde rüzgar ölçüm direği yoğunluğu da fazladır. Mavi ile belirtilen noktalarda ki rüzgar ölçüm direkleri 2014 Nisan Ayına kadar kurulanlar, beyaz noktalar şeklinde belirtilenler ise Nisan 2014'ten günümüze kadar kurulan rüzgar ölçüm direklerinin yerlerini göstermektedir. Nisan 2014 sonrası rüzgar ölçüm direklerindeki dağılım daha

homojen şekilde olmaya başlamıştır. Firmalara proje geliştirmelerini bilinen yerlerin aksine bilinmeyen ve lokal rüzgarları yakalamaya yönelik yerlere yönlendirmişlerdir.



şekil 3.11: Türkiye'de Nisan 2016 tarihine kadar dikilen rüzgar ölçüm direkleri.

Bir rüzgar ölçüm siteminde iki önemli kısım vardır. Bunlardan ilki direğin metal kısmı, tabanı, halatları ve direği yere sabit tutmaya yarayan ankraj kısımları. Bir diğer kısmı ise veri kaydedici ve rüzgar ölçüm sensörlerini içeren elektronik kısmı [7]. Kafes tipi bir Rüzgar ölçüm direğinin metal konstrüksiyon kısmı ve rüzgar ölçüm sensörleri şekil 3.12'de görölmektedir. Üçgen yapıda olan bu sistem 3 yandan gergi halatlarla ayakta durmaktadır.



şekil 3.12: 60 m örnek rüzgar ölçüm direği.

Direğin stabilitesini sağlamakta önemli görev yapmaktadırlar. Direğin sürekli salınım yapması sensörlerde yanlış ölçümler sebeptir. Bunu engellenmesi için halatların mevsimlere uygun şekilde gerginliklerinin ayarlanması gerekmektedir.

Şekil 3.13'te görüldüğü üzere direğe bağlı olan halatlar yerde ankraj noktalarına bağlanarak direk sabit tutulmaktadır. Bu noktalar toprağın jeofizik yapısı dikkate alınarak ya betonla ya da toprak kazılarak yapılır.



Şekil 3.13: Örnek ankraj kurulumu.

Ankraj montajlarında 2 metrelik delikler açılarak alt tarafa 2.5 cm'lik bir sac levha konular ve tekrar üzeri toprakla kapatılır.

Direğin en önemli parçalarından biri de direğin yere bastığı noktadaki tabanıdır. Bu nokta genellikle kazılarak bir temel atılır ve direk bu temel üzerine kurulur. Aksi takdirde direğin statik ağırlığından dolayı toprakta çökmeler meydana gelebilir ve bu çökmeler gergi halatlarının gevşemesine neden olabilir. Eğer direğin zemini sağlam ise Şekil 3.14'te görüleceği üzere beton çok küçük bir alana atılır. Rüzgar ölçüm direkleri ağırlık olarak rüzgar türbinlerinden çok daha hafif olduğu için çok kalın temele ihtiyaç duymamaktadır. Ayrıca direği kenarlardan tutan ankrajlar olduğu için geniş ve derin temellere ihtiyaç duymamaktayız.



Şekil 3.14: Ölçüm direği temeli.

Direk üzerinde bulunan rüzgar ölçüm sensörlerinin montajı için bazı mekanik parçalara ihtiyaç duyulmaktadır. Anemometrelerin ve yön sensörlerinin direğe monte edilmesi için bir standart bulunmaktadır. TS EN 61400-12-1 RÜZGÂR TÜRBİNLERİ –BÖLÜM 12-1: ELEKTRİK ÜRETEN RÜZGÂR TÜRBİNLERİNİN GÜÇ PERFORMANSI ÖLÇMELERİ standardının EK-G kısmında Ölçü aletlerinin meteoroloji direği üzerindeki montajı adlı bölümünde bu sensörlerin direk üzerine nasıl monte edileceği açıklanmıştır. Rüzgar ölçüm direği dikilirken dikkat edilmesi gereken noktalar bulunmaktadır. Dikkat edilmesi gereken hususlar aşağıdaki gibidir. [7];

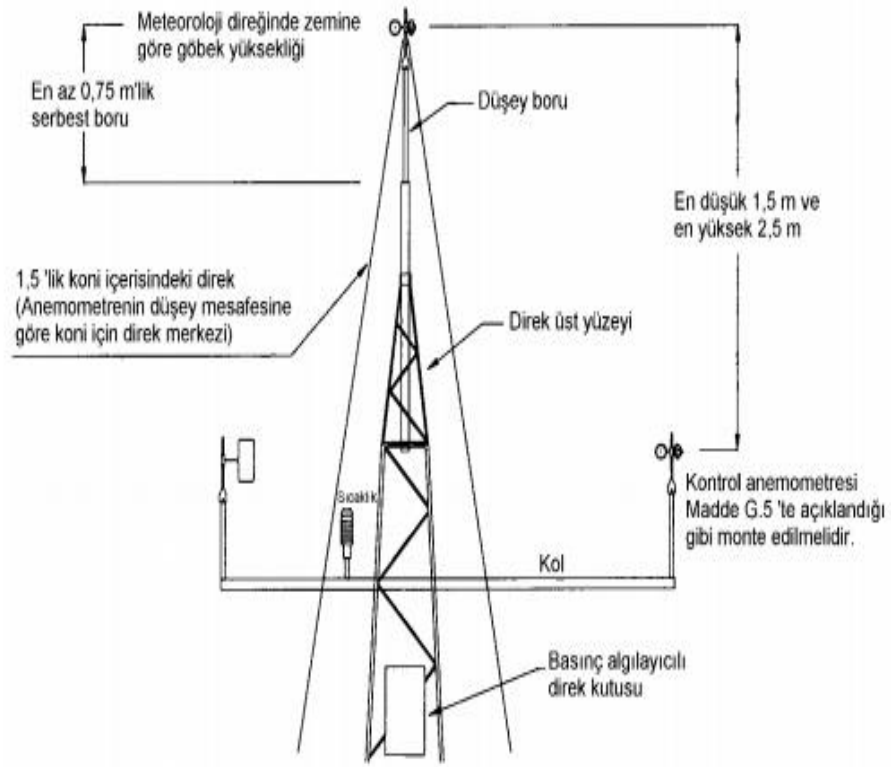
1. Rüzgar hız ve yön ölçümünde kullanılan bütün sensörler yatay olarak yerleştirilmelidir. Sensörlerin bağlı olduğu kollarda oluşabilecek en küçük eğrilik sensör ölçümlerinde hatalara sebep olacaktır.
2. Minimum ölçüm yüksekliği sahada kullanılması planlanan türbin yüksekliğinin en az 2/3'ü kadar olmalıdır.
3. Direk üzerinde en az iki adet anemometre kullanılmalıdır. Bu sensörlerden biri en tepeye diğeri ise en az 30 metre yüksekliğe konulmalıdır. Tepeye konulan tek

anemometre oluşabilecek bir arızada müdahale edilinceye kadar arızalı kalacağından bu noktada yedek bir anemometre daha kullanmak faydalı olacaktır. Sensörlerin monte edildiği yan kollar türbülansstan etkilenmeyecek şekilde olmalıdır. Kafes tipi bir rüzgar ölçüm direğinde, anemometrelerin direktten kaynaklı türbülansstan etkilenmemesi için direk genişliğinin en az 5 katı uzunluğunda bir kol ile direğe bağlanması gerekmektedir. Aksi takdirde direk tarafından gelen rüzgar ölçümlerinde hatalara sebep olacaktır.

4. Kafes tipi rüzgar ölçüm direklerinde, Sensörlerin monte edileceği yan kolların açısı hakim rüzgar yönüne 90° olacak şekilde monte edilmesi gerekmektedir. Böylelikle türbülans etkisi en aza indirilmektedir.

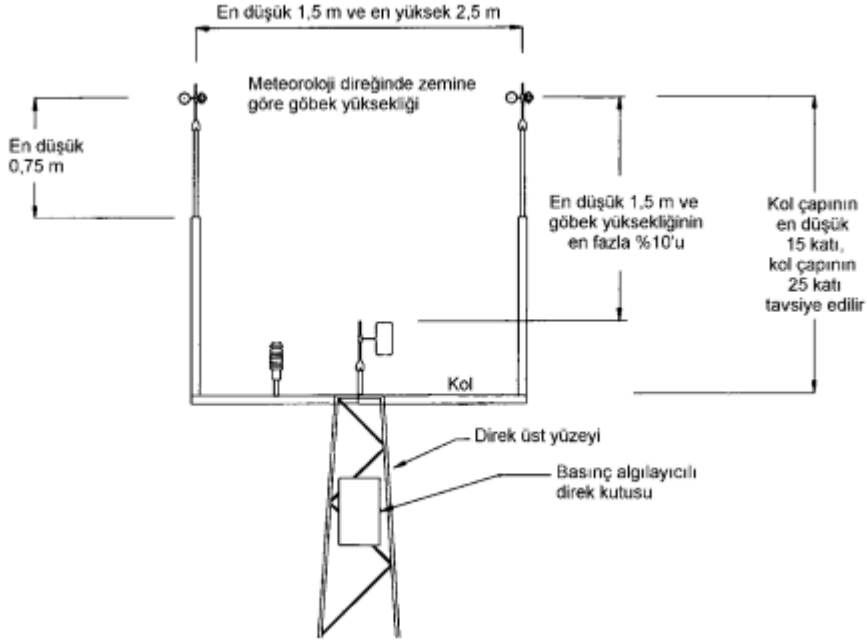
5. Sensörlerin bağlanacağı yan kollar direğe sıkı bir şekilde bağlanmalıdır. Özellikle rüzgar yön sensörlerinin bağlı olduğu kollarla oluşacak titremeler ve eğilmeler hakim rüzgar yönünü belirlemede büyük kaymalara ve ölçüm hatalarına sebep olacaktır.

6. Kafes tipi rüzgar ölçüm direklerinde eğer tepeye tek bir anemometre bağlanacaksa standarda uygun şekilde Şekil 3.15'te gösterildiği şekilde bağlanmalıdır.



Şekil 3.15: Tek Anemometrenin rüzgar ölçüm direğine bağlanma şekli.

Eğer en tepeye 2 anemometre bağlanacaksa aynı yüksekliğe bağlanmalı ve aralarındaki mesafe için standartta belirtilen mesafe Şekil 3.16'da gösterildiği gibi olmalıdır.



Şekil 3.16: Tepe kola 2 anemometre bağlanması.

7. En tepeye bağlanan iki anemometre arasında kesinlikle başka sensör bağlanmamalıdır. Sadece sensörleri ve direği yıldırımdan korumak amacıyla paratoner (Franklin çubuğu) bağlanmalıdır. Yıldırım yakalama ucu anemometreden en az 50 cm uzakta olmalıdır. Bu çubuk anemometreyi yıldırımdan koruyabilmesi açısından anemometreden yüksekte olmalıdır ve direk düşey eksenine ile 60°'lik bir açı yapmalıdır.
8. Direğe bağlanacak yön sensörleri yan kollara bağlanmalıdır. En tepeye bağlanan anemometrenin 2 m altına bir rüzgar yön sensörü konulmalıdır. Tepede esen rüzgarın yönü, yatırım açısından çok önemlidir. İkinci yön sensörü ise en alta bağlanan anemometrenin 2 m altına bağlanır. Böylelikle yüzeye yakın rüzgarların yön değerlerine de ulaşılabilir. Yüzeye yakın noktadaki türbülanslar bu iki yön sensörü arasındaki kaymalara bakılarak görülebilir.
9. Tepe ve en alt iki anemometre arasında bağlanacak rüzgar hız sensörleri rüzgar kaymasını ve farklı yüksekliklerdeki rüzgar hızını hesaplamak açısından önemlidir.
10. Sıcaklık-nem ve basınç sensörleri very kaydedici sensöre yakın bir noktada olmalıdır.

11. Anemometre ve yön sensörlerinin kabloları veri kaydedici ünitesine getirilirken sağlam bir şekilde bağlanmalıdır. Aksi takdirde kış aylarında buzlanmadan dolayı koparak veri kayıplarına neden olacaktır.

12. Direk üzerinde kullanılan anemometreler muhakkak kalibrasyonlu olmalıdır. Bir anemometrenin doğru ölçüm yapabilmesi için her yıl kalibre edilmesi gerekmektedir. Bu sensörler hassas cihazlar olduğu için kalibrasyonlarının yenilenmesi gerekmektedir.





4. GELİŞTİRİLEN SENSÖRLERİN İNCELENMESİ

4.1 Geliştirilen Rüzgâr Hız Sensörü İncelenmesi

Bir kepçeli tip rüzgar hız sensörü dizayn edilirken Çizelge 4.1’de belirtilen parametrelere dikkat edilmesi gerekmektedir.

Çizelge 4.1: Kepçeli anemometre dizaynında dikkat edilmesi gereken hususlar.

Kaliteyi Etkileyen Faktörler				
Dizayn Parametreleri	Rüzgarın Dikey Bileşenlerine Etkisi	Kalibrasyonun Doğrusallığı	Sensör Tepki Süresi	Yatay Rüzgar Yönünde Kalibrasyon Hassasiyeti
Rotor geometrisi (kepçelerin şekli, kepçe-rotor oranı)	kepçenin şekli rüzgarın sadece yatay bileşenini yakalayacak şekilde biçimlendirilmeli	kepçenin şekli kalibrasyonun doğrusallığını etkilemektedir	Sensörün tepki süresini etkileyen en önemli faktör eylemsizlik kuvvetleri ve sensörün aerodinamik yapısıdır. En uygun anemometre için merkeze yakın kepçelerdir	Etkili değildir
Rotor büyüklüğü	Etkili değildir		Büyük rotor ile daha fazla eylemsizlik kuvvetleri daha geç tepki verecektir	Etkili değildir
Şaft Uzunluğu	Şaft ne kadar uzun olursa rüzgar kepçelere gelirken o kadar az türbülansa maruz kalır	Etkili değildir	Etkili değildir	Gövdenin etkisini azaltır
Gövde Geometrisi	Gövdenin şekli ve uzunluğu sensöre gelen rüzgarın akışının bozulmasına etkisi vardır. Sensör geometrisi türbülans yapmamalıdır	Etkili değildir	Etkili değildir	Sensör gövdesi türbülansa sebep olursa sensör kalibre edilemez
Sensör Çıkıntıları (Kablo bağlantı girişleri, ısıtma için kablo girişi vs.)	Kepçelere yakın olursa olumsuz etkisi olabilir	Etkili değildir	Etkili değildir	kalibrasyonun doğrusallığını bozabilir

Çizelge 4.1 (devam): Kepçeli anemometre dizaynında dikkat edilmesi gereken hususlar.

Kaliteyi Etkileyen Faktörler				
Dizayn Parametreleri	Rüzgarın Dikey Bileşenlerine Etkisi	Kalibrasyonun Doğrusallığı	Sensör Tepki Süresi	Yatay Rüzgar Yönünde Kalibrasyon Hassasiyeti
Rulman kalitesi	Etkili değildir	Sıcaklıkla sensörün transfer fonksiyonu değişebilir	Sensör düşük rüzgar hızlarına tepki vermeyebilir	Etkili olabilir
Ölçümleme Şekli	Etkili değildir	Transfer fonksiyonu değiştirilebilir	Etkili değildir	Etkili değildir

Geliştirilmesi planlanan rüzgar hız sensörü için minimum Çizelge 4.2'deki özellikler sağlanmalıdır. Thies Clima First Class Advanced kepçeli tip anemometre optoelektronik mantıkla çalışan bir sensördür.

Çizelge 4.2: Thies first class advanced rüzgar hız sensörü özellikleri.

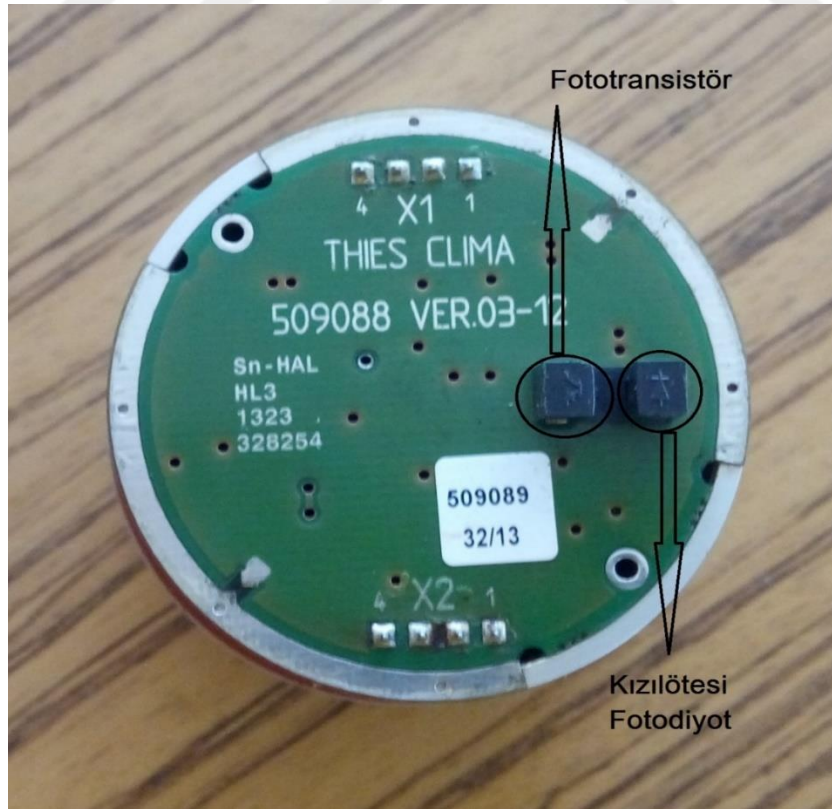
Ölçüm Aralığı	0.3 ... 75 m/s
Doğruluk	< 1 % ölçüm aralığı (0.3 ... 50 m/s) veya < ±0.2 m/s
Doğrusallık	$r > 0.99999$ (4 ... 20 m/s)
Veri Çıkış Sinyali	
Frekans	50 m/s rüzgar hızında 1082 Hz
Elektronik	3.3 ... 48V DC 3,3 ... 15 V besleme geriliminde 130 µA 180 µA > 15 V
Isıtma	24 V AC/DC, max 25 W
Çalışma Sıcaklığı	-50 ... +80 °C
Bağlantı	8 pinli askeri tip konektör
Koruma Sınıfı	IP 55
Azami Hız	80 m/s (30 dakika boyunca)

Referans cihaz olarak kullanılması planlanan Thies marka rüzgar hız sensörünün Şekil 4.1’de görüleceği üzere mekanik kısmı ile elektronik kısmı birbirinden ayrılmıştır.



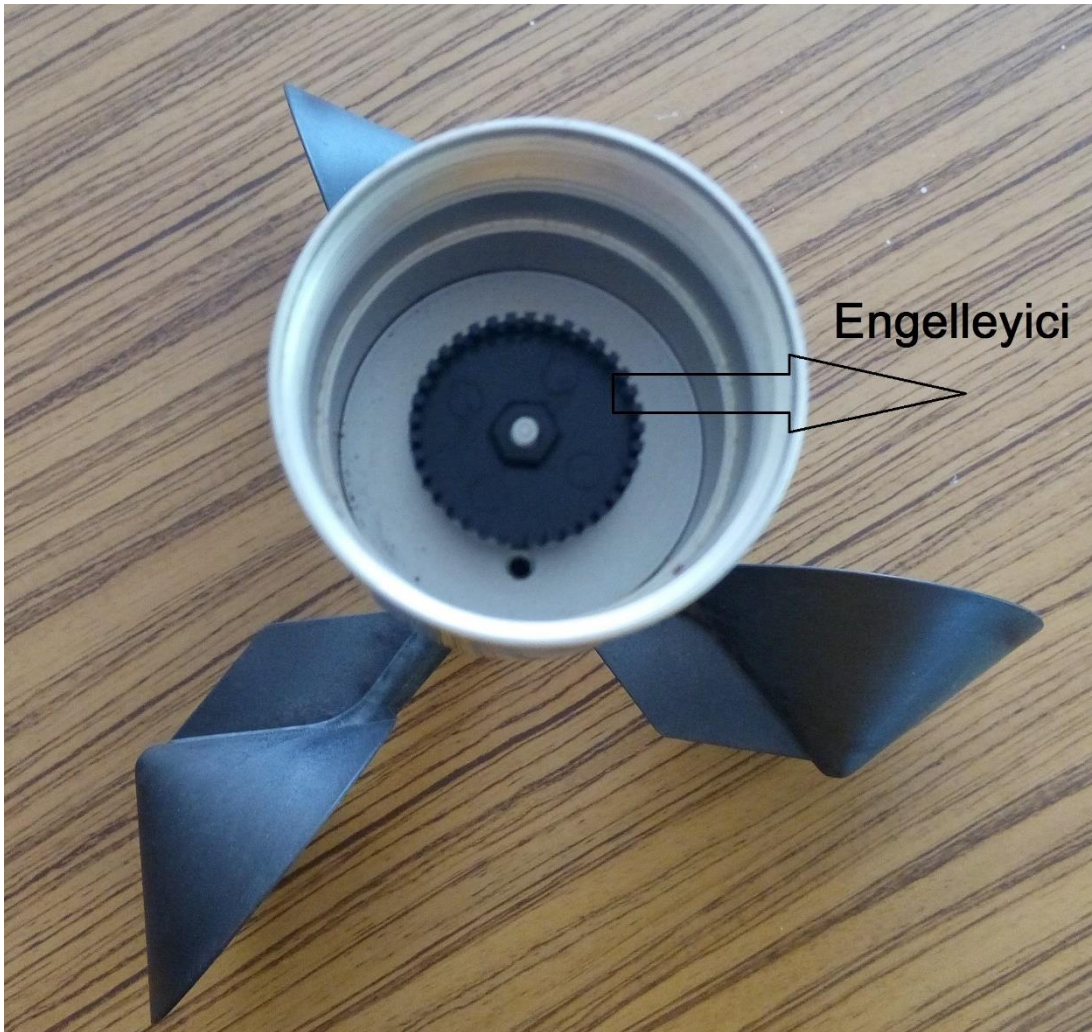
Şekil 4.1: Thies clima rüzgar hız sensörü.

Sensörün elektronik kart kısmında Şekil 4.2’den de rahatça görüneceği üzere bir adet fototransistör ve kızılötesi bir fotodiyot bulunmaktadır.



Şekil 4.2: Thies anemometre çalışma prensibi.

Thies marka anemometreler optik mantık ile çalışmaktadır. Fotodiyot ile fototransistör arasındaki boşluktan 37 eşit yarıklı dairesel bir engelleyici geçmektedir (Şekil 4.3). Engelleyicinin yarık genişliği ve yarık olmayan kısmının genişliği eşittir. Engelleyicinin yarık kısmına gelindiğinde kızılötesi ışık fotodiyottan çıkarak fototransistöre gitmektedir. Fototransistörün çıkışını aktif hale getirerek 5V'luk bir potansiyel fark oluşturmaktadır. Işık engelleyiciden geçemediğinde fototransistörü pasif hale getirmekte ve çıkışını sıfıra çekmektedir. Böylelikle 0-5V aralığında bir kare dalga oluşturmaktadır. Engelleyicinin geçiş hızına göre de frekans artmakta veya azalmaktadır.



Şekil 4.3: Engelleyici gösterimi.

İyi bir anemometre tasarlamak için Çizelge 4.1'de belirtilen şartların sağlanması gerekmektedir. Tasarlanan kepçeli tip anemometre Şekil 4.4'de gösterilmiştir. Sensör gövdesi şekilsel olarak referans cihaz olarak kullanılan Thies marka rüzgar hız sensörüne her ne kadar benzese de ölçüm prensibi olarak tamamiyle farklıdır.

Sensörün aerodinamik yapısı gereği benzerlikler kaçınılmazdır. Geliştirilen sensörde Şekil 4.3'te gösterilen engelleyici bulunmamaktadır. Tamamen temassız bir ölçüm mantığı ile ölçüm yapmaktadır.

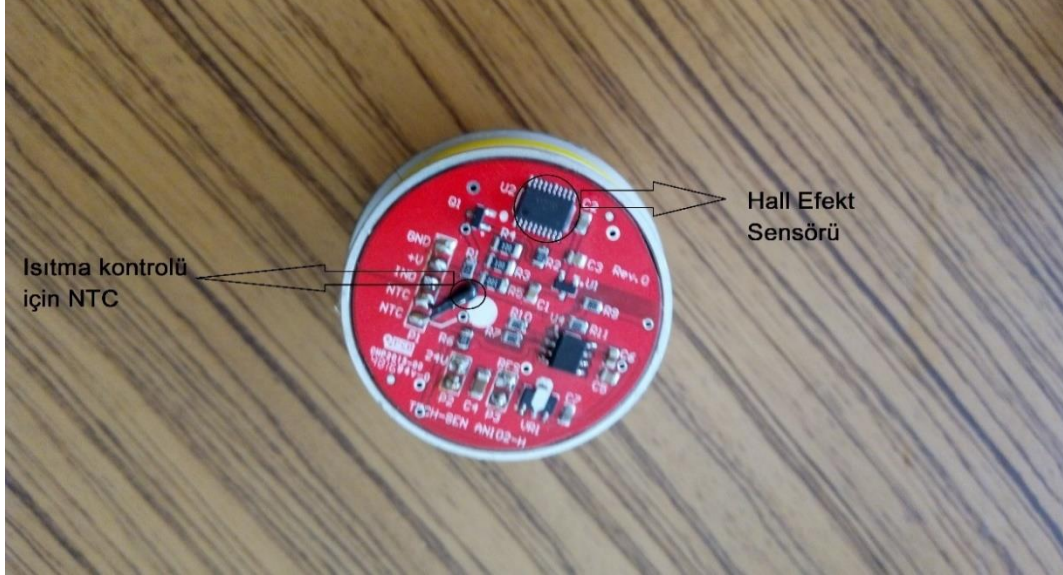


Şekil 4.4: Geliştirilen kepçeli tip anemometre görünümü.

Sensörde kullanılan GRW marka rulmanlar ultra düşük sürtünmeli hassas rulmanlardır. Kepçeli anemometrede kullanılacak rulmanın kaliteli olması gerekmektedir. Mekanik sürtünme sadece rulmanlar üzerinde vardır. Sensörün kalkış hızını belirleyen en önemli şey rulmanın statik sürtünmesidir. Ayrıca rulman içerisindeki yağın sıcaklıkla özelliğini yitirmemesi gerekmektedir [11]. Sensör ölçümlerinin düşey rüzgar hızlarından etkilenmemesi için kepçe bağlantı kollarında kanatçıklar bulunmaktadır. Kepçeler konik yapıdadır ve kepçe şekilleri türbülansı minimize etmek için konik şekilde yapılmıştır. Sensörün boğaz kısmı mümkün olduğunca uzun tutulmuş ve gövde pürüzsüz şekilde dizayn edilmiştir. Sensör gövdesinde keskin hatlardan kaçınılmış ve tüm geçişler yuvarlatılmıştır.

Yukarıda bahsedilen anemometrenin ölçüm mantığı optoelektroniktir. Tasarlanan yeni nesil anemometrede tercih edilen ölçüm daha yeni teknoloji olan manyetik olarak yapmaktır. Rüzgar hızını manyetik sensör ile ölçebilmek için Hall etkisinden

faydalanan Hall sensörü kullanılmıştır. Hall sensörleri; değişken manyetik alanla elektriksel potansiyel üreten sensörlerdir. Bu sensörler genellikle endüstriyel cihazlarda, dönme hızını veya otomasyonda konum belirleyen sensörlerdir. Hall sensörünün çalışabilmesi için ayrıca 22 kutup çiftli bir mıknatısa da ihtiyaç duyulmaktadır. Sensörün ve mıknatısın gösterimi Şekil 4.5'teki gibidir.



Şekil 4.5: Hall sensörü ve ısıtma kontrolü için NTC.

Şekil 4.6'da bulunan magnet şaft yardımıyla kepçelere bağlıdır. Şaftın merkezlenmesi ve rahat bir şekilde dönebilmesi için 2 adet rulman kullanılmıştır. Rulmanlardan biri sensörün kafa kısmında diğeri ise mıknatısın hemen üzerindedir. Çift rulman kullanılarak şaftın balans yapmadan dönmesi sağlanmaktadır.



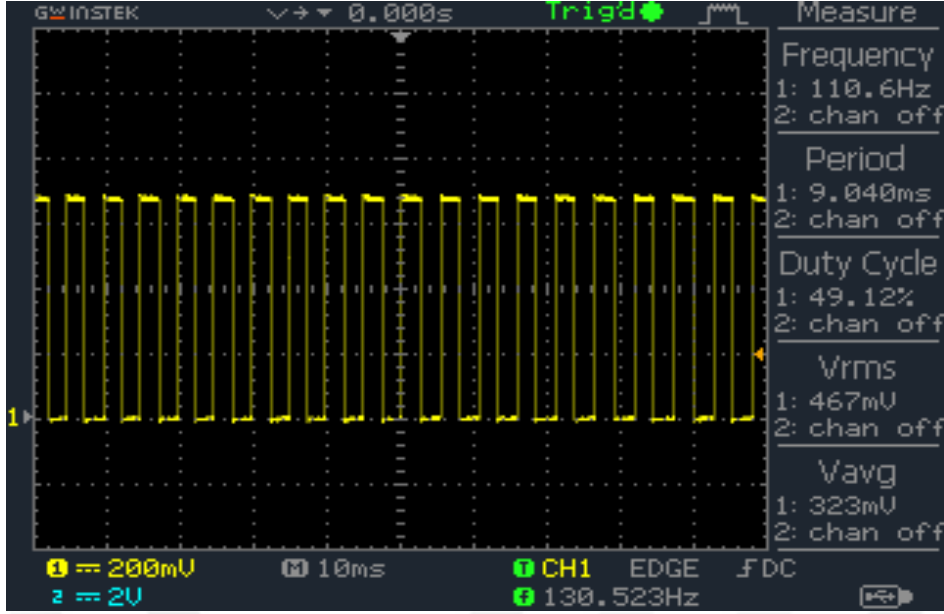
Şekil 4.6: 22 Kutup çiftli magnet.

22 kutup çiftli mıknatıs Hall efekt sensörün üzerinden 1 mm yukarıdadır. Mıknatısın 1 mm'den daha yukarıya konması ile Hall efekt sensör üzerindeki manyetik değişimin gücü azalacağından okumalarda yanlışlıklar meydana gelebilir. Aksi durumda mıknatıs 1 mm'den daha yakın olursa Hall efekt sensör manyetik alan değişimlerini algılamakta karışıklık yaşayabilir. Mıknatıs Hall efekt sensörünün tam merkezinden geçecek şekilde konumlandırılmıştır. Mıknatıs ve sensörün temsili yerleşimi Şekil 4.7'deki gibi olmalıdır.

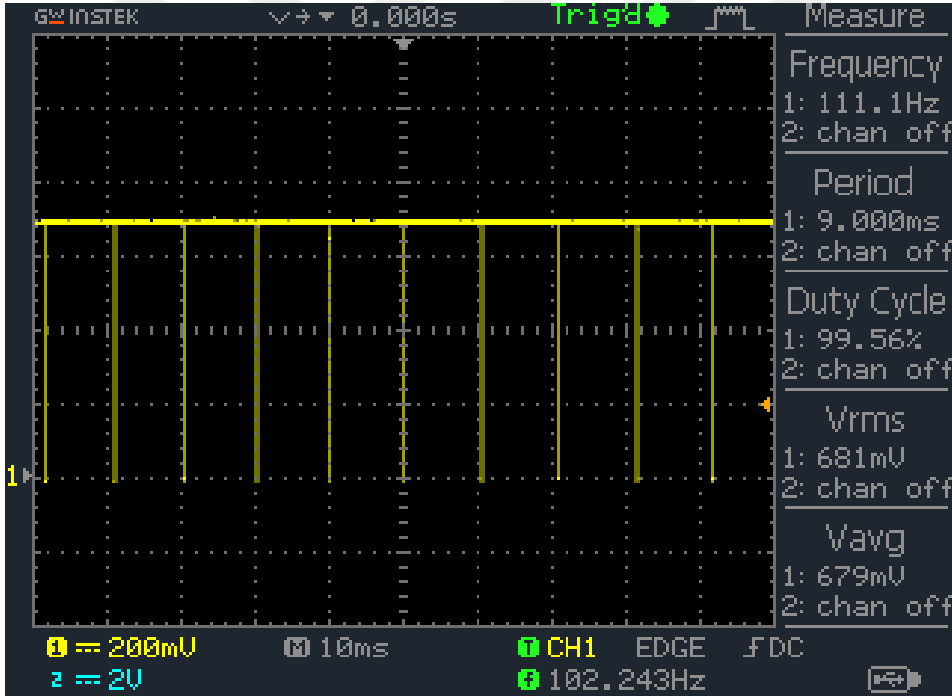


Şekil 4.7: Magnet ve Hall sensör gösterimi.

Rüzgarın etkisiyle dönmeye başlayan kepçeler rüzgarı alarak dönmeye başladığında bu kinetik enerji şaft yardımıyla mıknatısa iletilir. Hareketlenen mıknatıs Hall efekt sensörü üzerinde dönerek potansiyel fark üretir. Magnet üzerinde bulunan 22 kutup çiftinden her N-S kutbu, Hall efekt algılayıcı üzerinden geçtiğinde bir adet pulse üretir. Bir tam dönüşte 22 adet pulse üretir. Thies marka kepçeli tip anemometre ise 37 yarıkli engelleyici sayesinde bir tam dönüşte 37 kare dalga oluşturur. Geliştirilen anemometrede kare dalga oluşmaz çünkü sadece N-S kutbu geçişi sırasında bir pik dalga oluşur. Şekil 4.8 ve Şekil 4.9'da görüldüğü üzere her iki anemometrenin çıkışı da osiloskopta incelenmiştir. Geliştirilen rüzgar hız sensörünün çıkışı sinyallerin oluşturabileceği gürültüden etkilenmemesi için negatife çekilmiştir. Şekil 4.9'da görüldüğü üzere sensör çıkışı sıfırın altındadır. Thies marka referans rüzgar hız sensörünün çıkışı ise kare dalga olarak görülmektedir. Rüzgar hızının yüksek olduğu yerlerde kara dalgalar birbirine yaklaşacaktır ve sensör çıkışı sinyal gürültülerinden etkilenebilecektir. Referans cihaz çıkışının kara dalga olmasının sebebi optik malzemenin önünden geçen engelin her bir boşluğunda pozitif voltaj üretilirken engel kısmında ise sıfır volt çıkışı bulunmaktadır. Boşluk ve engelin genişlikleri eşit olduğundan kare dalga oluşmaktadır.



Şekil 4.8: Sabit hızla çevrilen thies marka rüzgar hız sensörü osiloskop çıkışı.



Şekil 4.9: Sabit hızla çevrilen geliştirilen kepçeli anemometre osiloskop çıkışı.

Laboratuvar ortamında yapılan bir diğer test ise kalibrasyon işlemidir. Teknam Teknoloji ve Enerji firmasında bulunan rüzgar tüneline turbulans fazla olduğundan sensör kalibrasyon çalışmaları için İzmir Makine Mühendisleri Odasının KALMEM Laboratuvarına gönderilmiştir. Bu laboratuvar TS EN ISO/IEC 17025 Deney ve kalibrasyon laboratuvarlarının yeterliliği için genel şartlar standardına uygun şekilde kalibrasyon yapmaktadır. 17025 standardı kalibrasyon belirsizliğini ve kalibrasyon için genel şartları belirtmesine rağmen kepçeli tip anemometrenin nasıl kalibrasyon

yapılacağına dair herhangi bir şey içermemektedir. 17025 standardına ek olarak kurumun anemometre kalibrasyonu nasıl kalibre edileceğine ilişkin hazırlanan TS EN 61400-12-1 standardına da hakim olması ve kalibrasyonu bu standart çerçevesinde yapması gerekmektedir. KALMEM'in tercih edilmesinin en büyük sebebi kurum her iki standarda da akredite olarak kalibrasyon yapmaktadır. Sensörün KALMEM tarafından yapılan kalibrasyon çalışmalarına ait kalibrasyon sertifikası Ek A'daki gibidir.

Kalibrasyon da kullanılan referans cihazlarının tanıtımı ve sensörün kalibrasyon yapılırken tüneldeki fotoğrafı kalibrasyon sertifikasında yer almaktadır. Çizelge 4.3'de ise sensörün çıkış frekansına karşılık referans cihazından elde edilen hız değerleri yer almaktadır. Ayrıca, sensörün doğrusallığı ve frekans değerlerini rüzgar hızına çevirmek için kullanılacak transfer fonksiyonu yer almaktadır (Eşitlik 4.1).

Çizelge 4.3: Kalibrasyon sonucunda elde edilen çıkış frekans değerleri.

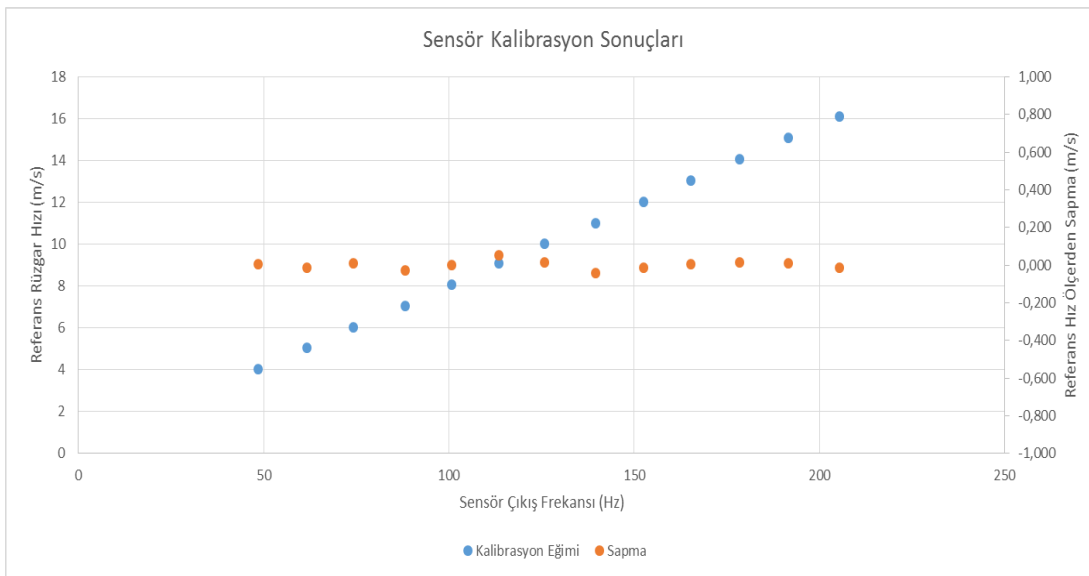
Anemometre Frekansı f (Hz)	Referans Rüzgar Hızı V (m/s)	Anemometre Çıkış Frekansına Transfer Fonksiyonu Uygulanmış Değerler V (m/s)	Referans Hız Ölçer İle Anemometre Çıkışı Arasındaki Fark V (m/s)
48,558	4,044	4,038	0,006
74,106	6,017	6,008	0,009
100,72	8,063	8,062	0,001
125,836	10,013	9,999	0,014
152,458	12,041	12,053	-0,012
178,41	14,071	14,055	0,016
205,332	16,119	16,132	-0,013
191,71	15,089	15,081	0,008
165,29	13,046	13,043	0,003
139,56	11,015	11,058	-0,043
113,52	9,102	9,049	0,053
88,24	7,07	7,099	-0,029
61,676	5,035	5,050	-0,015

Anemometrenin çıkış işaretini rüzgar hız değerine çevirmek için aşağıdaki transfer fonksiyonu uygulanmalıdır. Bu değerler kalibrasyon sonucu bulunmuş değerlerdir.

$$V (m/s) = (f(Hz) * 0,07715) + 0,29147 \quad (4.1)$$

Çizelge 4.3'te görüldüğü üzere referans hız ölçer ile geliştirilen kepçeli tip anemometre arasındaki fark en fazla 0,053 m/s'dir. Bu da sensörün düzgün çalıştığının göstergesidir. Bu farkın sebebi sensörün test aşamasında gerçekleşebilen titreşimler veya tünelde gerçekleşebilecek ani türbülanslardır.

Şekil 4.10'dan da görüleceği üzere sensörün çıkış frekansı doğrusal yapıdadır. Turuncu ile gösterilen noktalar ise sensör ile referans cihaz arasındaki sapmayı göstermektedir.



Şekil 4.10: Kepçeli tip anemometre kalibrasyon sonuçları.

Geliştirilen anemometrenin maksimum ne kadar rüzgara dayanabileceğinin tespit edilebilmesi için yaklaşık 80 m/s hızında rüzgar üretilen bir tünele ihtiyaç duyulmuştur. Bu testi yapabilmek amacıyla yapılan araştırmalar sonucunda bu hızlara çıkabilen Türkiye'de tek bir tünel olduğu tespit edilmiştir. Ankara'da TÜBİTAK SAVUNMA SANAYİİ ARAŞTIRMA VE GELİŞTİRME ENSTİTÜSÜ (SAGE)'nin Ankara Rüzgar Tüneli'nde testlerin yapılması kararlaştırılmıştır. 1946-1950 yılları arasında kurulan ve 1993-1998 yılları arasında TÜBİTAK-SAGE tarafından bakım, onarım ve yetenek artırımı yapılan Ankara Rüzgar Tüneli (ART), düşük ses altı hızlarda çalışan, kapalı devre, yatay döngülü, atmosferik kapalı, test odasına sahip bir rüzgar tüneldir. Test odası genişliği 3.05 m, yüksekliği 2.44 m, uzunluğu 6.10 m'dir. Tünel döngüsü betonarme olup test odası ahşaptır. Test odası içinde 90 m/s (324

km/saat) hıza ulaşılmaktadır. ART’de deneyi yapılacak cismin kendisi veya ölçekli modeli deneyin yapıldığı test odasına monte edilir, 324 km/saat hıza kadar istenen hızda rüzgar verilir, model istenen açıya getirilir, dış balans veya iç balans sistemleri ile kuvvet ölçüm veya akımın incelenmesi için değişik tekniklerle akım görüntüleme testleri yapılır [12].

Şekil 4.12’de görüleceği üzere ART bu testlerin yapılabilmesi için uygun test alanına sahiptir. ART’nin test odasına 5 adet prototip anemometre ve 3 adet geliştirilen yeni rüzgar yön sensörü bağlanmıştır. Sensörler test odasına sabitlenirken birbirinden etkilenmemesi için aralarına kepçe uzaklıklarının 10 katı kadar bir boşluk konulmuştur (Şekil 4.11).



Şekil 4.11: ART test odası.

Şekil 4.12’de Ankara Rüzgar Tüneli’nin bölümleri gösterilmektedir. ART havacılık, otomotiv, şehircilik, çevre ve askeri tip malzemelerin modellenerek denenmesi için yapılmış bir tüneldir. Yukarıda bahsedilen sektörlere ait yapılan testler ve araştırmalar aşağıdaki gibidir;

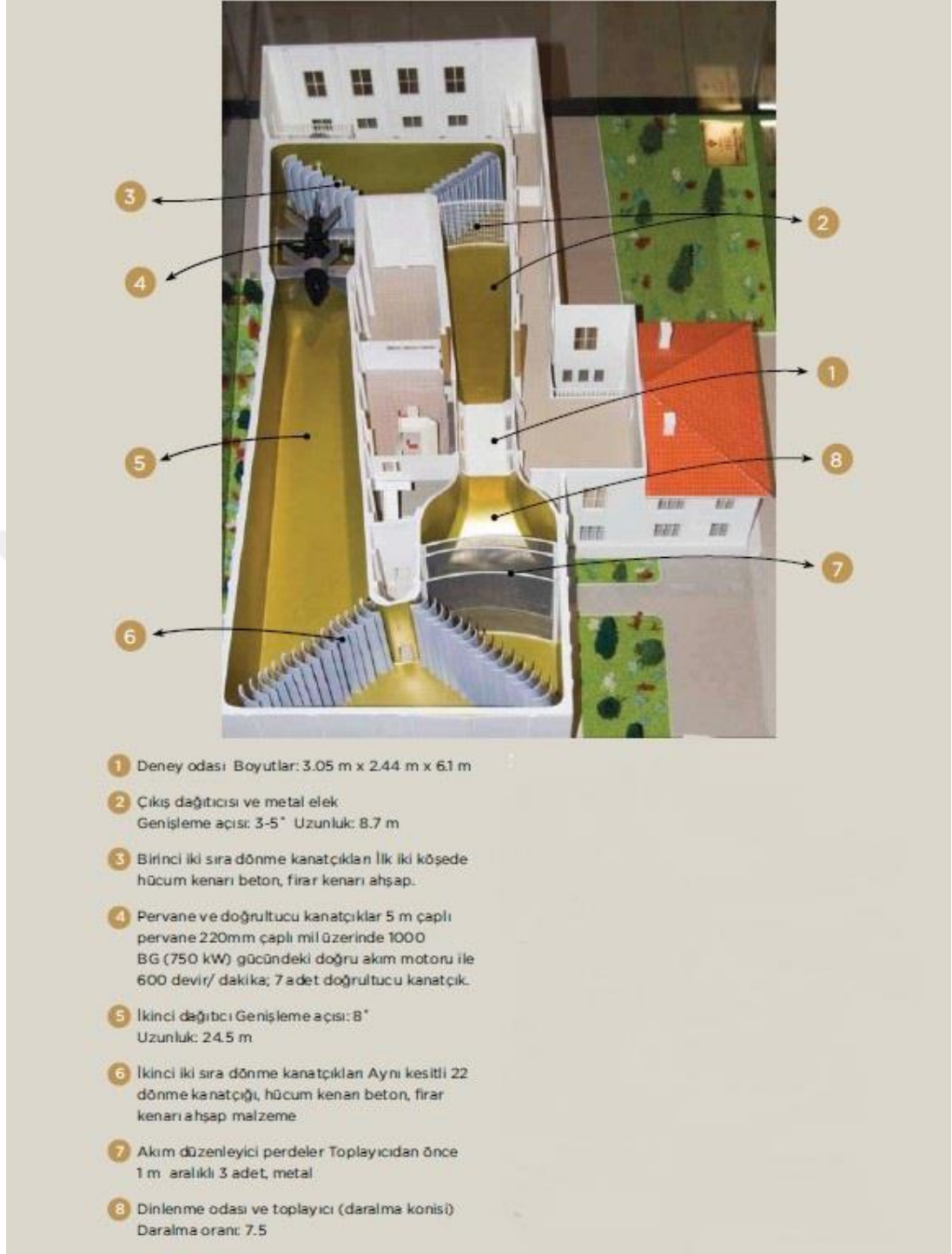
- Hava aracının ölçekli bir modelinin test edilmesi ve aerodinamik olarak incelenmesi,
- Özellikle askeri tip hava araçlarının üzerlerine eklenecek bomba veya silahların etkileri,
- Hava aracının tasarımı sırasında yapılabilecek hataların görünmesi,

- Uçak kanatlarına uçuş sırasında binen yüklerin hesaplanması,
- Motorlu bir taşıtın ölçekli modelinin aerodinamik başar testleri (Özellikle spor arabalar ve yarış arabaları için çok önemli testlerdir),
- Yol tutuş, yakıt tüketimini azaltma ve kaporta tasarımı,
- Soğutma sistemlerinin tasarımı,
- Köprü ve tabela gibi ürünlerin rüzgar dayanımlarının belirlenmesi,
- Füze ve bomba gibi askeri malzemelerin rüzgar dayanımlarının çıkarılması ve test edilmesi,
- Ölçekli şehir modelleri üzerinde doğal havalandırma testlerinin yapılarak hava kirliliğinin azaltılması.

Anemometrelerin dayanım testleri de Türkiye’de tek olan ART’de yapılmıştır. Test sonucunda geliştirilen rüzgar hız sensörleri ve anemometreler yaklaşık 2’şer dakika 75 m/s rüzgar hızına dayanmışlardır. 2 dakikanın ardından anemometrelerin kepeçlerinde deformasyonlar görüldü ve ardından da kepeçler koptu (EK B). Kepeçlerin kopmaları incelendiğinde kepeçlerin yapıldığı malzeme dökülürken düzgün olarak ısıtılmadığı ve döküm aşamasında malzemenin arasında boşluklar kaldığı görüldü.

Tünelde test edilen rüzgar hız sensörlerinin dayanımlarının 2 dakika ile sınırlı olmasının en büyük sebeplerinden biri de sensörün kepeçleri ile yakalanan rüzgarı, elektronik kısma aktarmada kullandığımız mildeki işleme hataları olduğu sensörlerin dönüşü esnasında görülmüştür. Tüneldeki rüzgar hızının 50 m/s üzerine çıktığında sensörün kepeçlerinde titremeler görülmüştür. Bu titremeleri gidermek amacıyla rüzgar hız sensörlerinde kullanılan bu miller tekrar işleme sokularak ağırlık merkezini bozan pürüzler mil üzerinden temizlenmiştir.

ART anemometre gibi küçük rüzgar hız ölçerlerin testlerini yapmak amacıyla kurulmuş bir tünel değildir. Rüzgar hız sensörlerinin testlerinin yapıldığı rüzgar tünelleri çok daha küçük ve testlerde kullandıkları rüzgar hızları çok daha düşüktür. Ayrıca tünelin akış kalitesi anemometre testlerini sağlayacak niteliklerde değildir. Rüzgar tüneli içerisindeki türbülans kanatların dönüş biçimlerini etkileyebilmektedir.

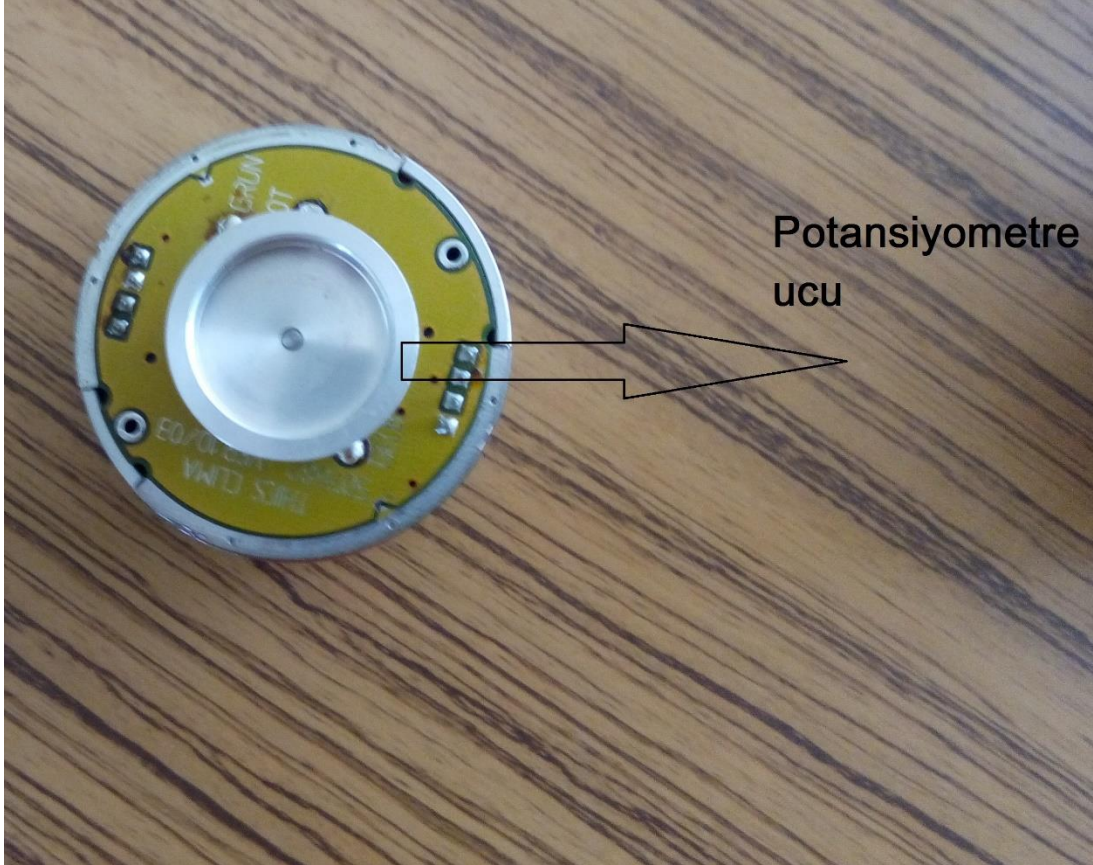


Şekil 4.12: Ankara rüzgar tüneli (ART) bölümleri.

4.2 Geliştirilen Rüzgâr Yön Sensörü İncelemesi

Yapılan ön araştırma sonucu elde edilen veriye göre RES yatırımı ve meteorolojik amaçlı kullanılan rüzgar yön ölçerlerin neredeyse tümü potansiyometrik ölçüm mantığına sahiptir. Sonsuz türlü bir potansiyometre ile ölçüm alınmakta ve ardından bu direnç değeri gerilime çevrilmektedir. Veri kaydedici gerilim değerini 360 dereceye

bölerek rüzgar yön verisine çevirerek kaydetmektedir. Şekil 4.13'te görüldüğü üzere potansiyometrenin uç kısmına şafttan gelen dönme hareketini aktarabilecek bir alüminyum yüzey yapılmıştır. Böylelikle yön sensörünün kanadının yardımıyla yapılan dönme hareketi potansiyometrik algılayıcıya aktarılmakta ve direnç değişimi sağlanmaktadır.



Şekil 4.13: RES yatırımlarında kullanılan rüzgar yön sensörü potansiyometre.

Şekil 4.13 ve 4.14'te görünen Thies marka rüzgar yön sensörü mekanik olarak birbirine değen parçalar yardımıyla ölçüm almaktadır. Temas eden yüzeylerden dolayı sürtünmesi yüksektir. Parçaların birbirine sürtünmesinden dolayı sensörün bakım ihtiyacı fazladır. Ayrıca, bu sensörler potansiyometre uçlarına gerilim uygulanarak okunmaktadır ve potansiyometrenin sıfır direncine yakın olan (Yön olarak kuzey bölgelerinde) kısımlarında direnç sıfıra yakın olduğu için devreden akım maksimum geçmekte ve sensörü yakabilmektedir. Yukarıda bahsedilen sıkıntılardan dolayı geliştirilen rüzgar yön sensörlerinde potansiyometrik algılayıcı kullanılmamaktadır. Tıpkı rüzgar hız sensöründe olduğu gibi rüzgar yön sensörü de manyetik algılayıcı ile geliştirilmiştir.



Şekil 4.14: Şaft ile potansiyometrik algılayıcıyı birbirine bağlayan yüzey.

Şekil 4.15'te geliştirilen yön sensörünün parçaları görünmektedir. Sensor yüzeyi ağır kış şartlarına dayanabilmesi için anodizasyon kaplama yapılmıştır. Tıpkı kepçeli anemometre olduğu gibi rüzgar yön sensöründe de sensor yüzeyinde türbülans yaratacak keskin çizgiler bulunmamaktadır.



Şekil 4.15: Geliştirilen rüzgar yön sensörü.

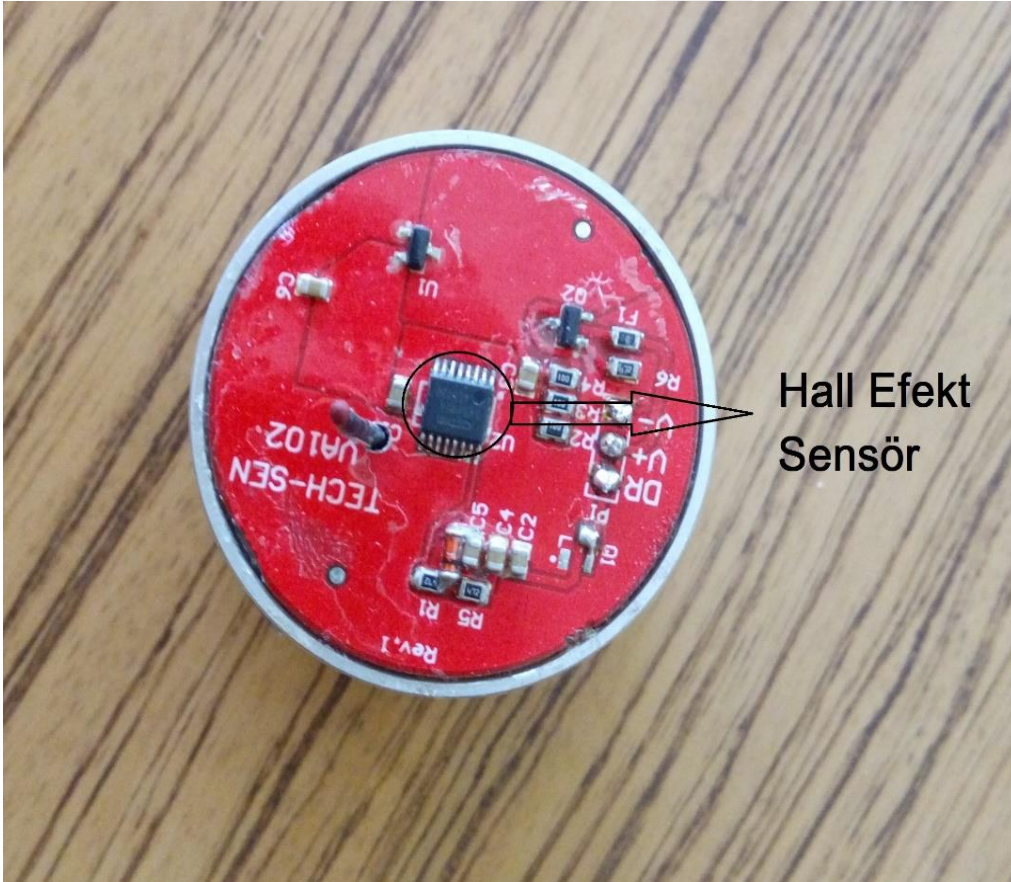
Yön sensörü 4 kısımdan oluşmaktadır.

- Ağırlık dengeleyici uç kısım
- Rüzgara yönelimi sağlayan kanat kısmı

- Gövde
- Elektronik devre kartı ve kablo bağlantı soketinin yer aldığı alt gövde

Ağırlık dengeleyici ve kanat kısmını bağlayan çubuğun gövdeye bağlanan yeri çok önemlidir. Kanadın ve ağırlık dengeleyicinin yatay konumda, kafada bağlandığı noktaya göre açısal momentinin sıfır olması gerekmektedir. Aksi takdirde rüzgarın etkisiyle dönmeye başlayan ve rüzgara göre konumlanması gereken sensör sabit durmayacak, salınım yapacaktır. Montaj aşamasında sensörde dikkat edilmesi gereken çok önemli bir husustur.

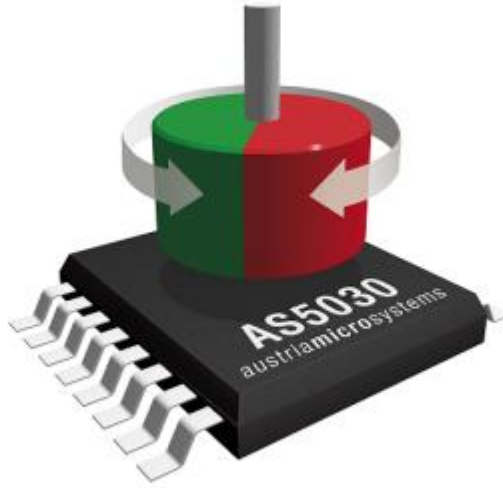
Sensörün elektronik kısmında, Hall efekt sensörü ve tek kutup çiftli magnet bulunmaktadır (şekil 4.16 ve şekil 4.17). Mıknatısın kutupları silindirin dikine iki yarısında bulunmaktadır ve mıknatıs tam olarak Hall efekt sensörünü merkezine gelecek şekilde şafta monte edilmiştir (şekil 4.18). Böylelikle şaftın dönmesi ile manyetik alan oluşmakta ve bu manyetik alan algılayıcı içerisinde elektriksel potansiyele dönüştürülmektedir.



şekil 4.16: Hall efekt rüzgar yn sensörü nüvesi.



Şekil 4.17: Tek kutup çiftli magnetin yerleşimi.



Şekil 4.18: Mıknatısın Hall Efekt sensör üzerindeki konumu.

Kullanılan AMS5030 Hall efekt sensörünün doğruluğu ve hassasiyetinin bozulmaması için mıknatısın algılayıcıdan ideal uzaklığı 0,4-0,8 mm arasında olması gerekmektedir. Mıknatısın 0,4 mm den daha yakın olması durumunda algılayıcı manyetik alan değişimini algılayamamakta ve sensörün ölçüm kalitesi düşmektedir. Mıknatısın sensörden 1 mm den uzak olması durumunda ise Hall efekt sensörüne gelen manyetik alan değişimi etkisi az olduğundan sensör çıkışı alınmamaktadır [13].

Sensör çıkışı 0-5V DC olacak şekilde ayarlanmıştır. Böylelikle 360°'lik aralık 5V potansiyele bölünmektedir. Sensörde temas eden herhangi bir yüzey olmadığı için

sürtünmesi azdır. Sürtünmenin az olmasından kaynaklı bakım maliyetleri oldukça düşüktür. Sistemdeki tek sürtünme rulmanlar üzerindedir. Kepçeli tip anemometrede olduğu gibi bu sensörde de çift rulman kullanılarak hem sürtünme azaltılmakta hem de şaftın merkezlemesi sağlanmaktadır.

4.3 Geliştirilen Kepçeli Tip Rüzgâr Hız ve Rüzgâr Yön Sensörlerinin Arazi

Testleri

Geliştirilen sensörlerin laboratuvar testleri yapıldıktan sonra arazi denemeleri için Ankara ili Şereflikoçhisar ilçesi Aliuşağı mahallesine bir adet 60 m rüzgâr ölçüm direği dikilmiştir (Şekil 4.20). Direk üzerine en tepeye bir U kol bağlanarak, bir ucuna Thies marka rüzgâr hız sensörü diğer ucuna da geliştirilen anemometre takılmıştır. Ayrıca en tepedeki sensörlerden herhangi birine gelebilecek zarardan dolayı aynı düzenek 45 metrede de oluşturulmuştur. Sensörler yerleştirilirken direkt olarak kaynaklanabilecek türbülans etkileri engellenecek şekilde bir düzenek kurulmuştur. Direğin çizimi Şekil 4.19'daki gibidir.

Direk üzerinde 5 adet anemometre bulunmaktadır. Anemometrelerin 2 si geliştirilen sensör prototipleri diğer 3'ü ise Thies marka rüzgâr hız sensörüdür. Direk üzerinde 2 adet rüzgâr yön sensörü bulunmaktadır. Yön sensörlerinin ikisi de geliştirilen prototip rüzgâr yön sensörüdür. Şekil 4.19'da V1, V2, V3, V4 ve V5 anemometreleri, D1 ve D2 rüzgâr yön sensörlerini göstermektedir. Ayrıca, T1 sıcaklık-nem sensörünü, P1 ise barometrik hava basınç sensörünü temsil etmektedir. D.L. olarak gösterilen kısım veri kaydedicinin içinde bulunduğu panonun yerini belirtmektedir. Panonun 13 metre yüksekliğinin en büyük sebebi hem hırsızlığa karşı bir önlem hem de pano içerisinde bulunan modem çekim kalitesinin artırılmasıdır.

Şekil 4.19'da S.P. ile gösterilen is pano içerisinde kullanılan akünün şarj edilmesini sağlamak için kullandığımız güneş panelini göstermektedir. Direklerimizde bulunduğu alanlarda 220 V şebeke gücünü bağlamamızın imkanı olmadığından direğimizin gücünü güneşten sağlamak zorundayız. Sensörlerin ısıtmalarının bağlanmasının istenmediği durumlarda 40 W'lık bir güneş paneli ile 26 Ah'lık bir akü şarj edilebilmektedir. Daha büyük güneş paneli kullanılması durumunda rüzgâra karşı mukaveti az olacağından panel kopmaları yaşanabilecek ve sahada güç problemleri görülebilecektir.

V1 = 60 m
V2 = 60 m
V3 = 45 m
V4 = 45 m
V5 = 30 m

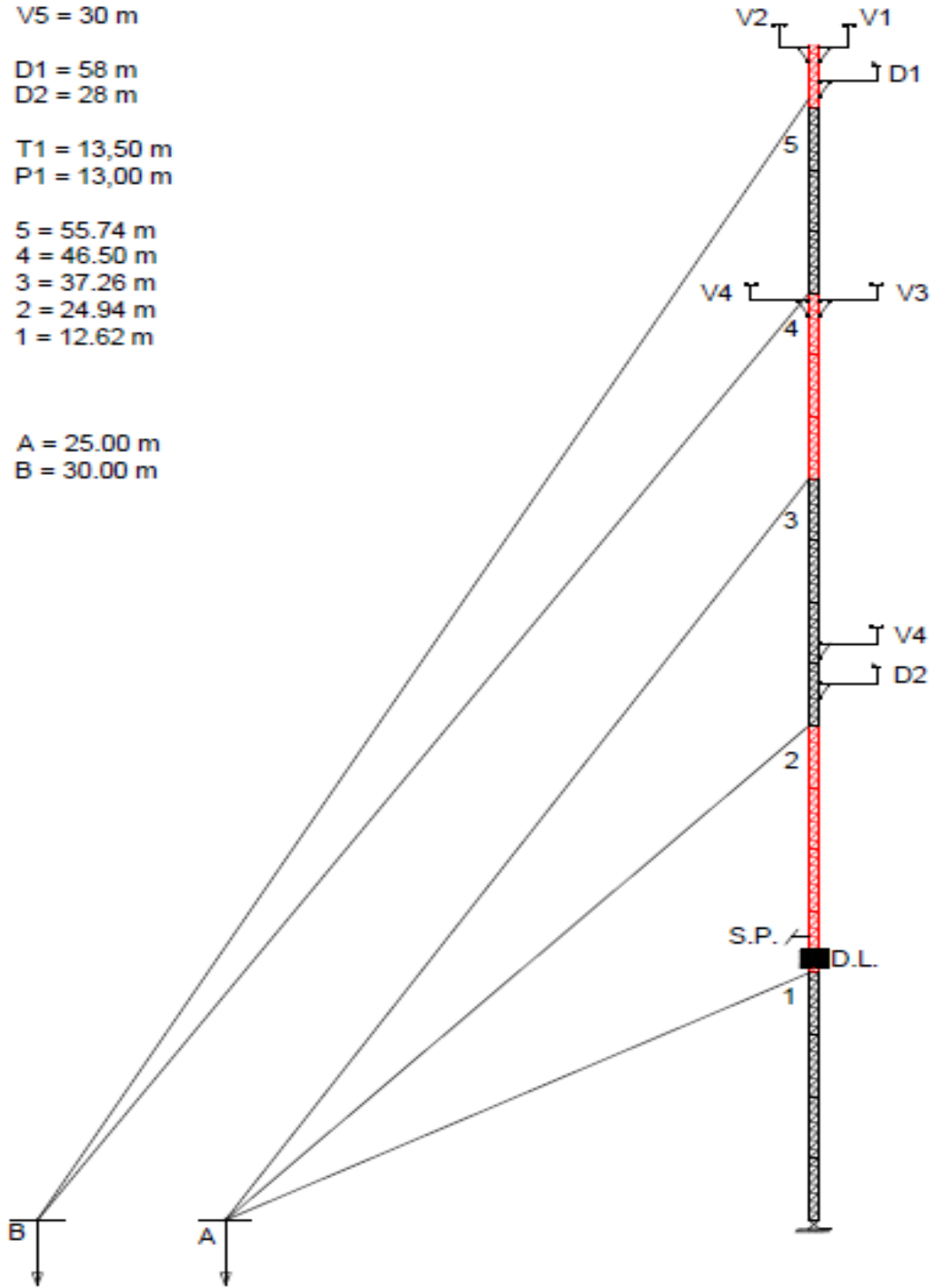
D1 = 58 m
D2 = 28 m

T1 = 13,50 m
P1 = 13,00 m

5 = 55.74 m
4 = 46.50 m
3 = 37.26 m
2 = 24.94 m
1 = 12.62 m

A = 25.00 m
B = 30.00 m

60 M KAFES TİPİ RÜZGAR ÖLÇÜM DİREĞİ



Şekil 4.19: Test amaçlı dikilen 60 m rüzgar ölçüm direği.

Şekil 4.20'de geliştirilen rüzgar hız ve yön sensörlerinin deneneceği ölçüm direğinin dikim noktasının Google Earth programında yeri gösterilmiştir.



Şekil 4.20: Arazi testleri için dikilen direğin konumu.

Karşılaştırmalı test amacıyla direk tepesinde bulunan sensörlere ait direk fotoğrafları aşağıdaki gibidir. Sağdaki sensör referans cihaz olarak kullanılan Thies Clima rüzgar hız sensörüdür. Soldaki sensör ise geliştirilen yeni anemometredir.

Geliştirilen sensör ile referans cihaz Thies Clima marka anemometrenin bağlanacağı U kol Şekil 4.21’de gösterilmiştir. En tepede bulunan sensörlerin U kol ile bağlanmalarının sebebi aynı yükseklikte ölçüm yapmalarının sağlanmak istenmesidir. U kolun genişliği yaklaşık 1,5 metredir. Böylelikle sensörler ölçüm sırasında birbirine gölgeleme yapmamaktadır. Standartlara uygun direk bağlantı kolları ekler bölümünde gösterilmiştir (EK C).

Direk üzerinde bulunan tüm sensörler Şekil 4.22’de gösterilmiştir.

Rüzgar yön sensörleri direk üzerine 2,5 metrelik kollarla bağlanmaktadır (Şekil 4.23). Tüm sensörlerin data kablolarının ve güç ünitesinin yer aldığı pano Şekil 4.24’te verilmiştir. Sensörlerden gelen kablolar direk veri kaydedici üzerine bağlanmamaktadır. Araya klemensler bağlanarak tüm sensörlerin güç ve data kabloları birbirinden ayrılmakta ve birbirinden etkilenmelerinin önüne geçilmektedir. Ayrıca direk veya sensör üzerine düşecek bir yıldırımın veri kaydediciye verebileceği zararın da önüne geçilmektedir. Türkiye oraj haritasına göre yıldırımın çok fazla düştüğü yerlerde sensörlerin besleme ve veri kanallarının girişleri veri kaydediciye

bağlanmadan önce araya sigorta malzemesi konulmakta ve böylelikle veri kaydedicinin hasar görmesinin önüne geçilmektedir.



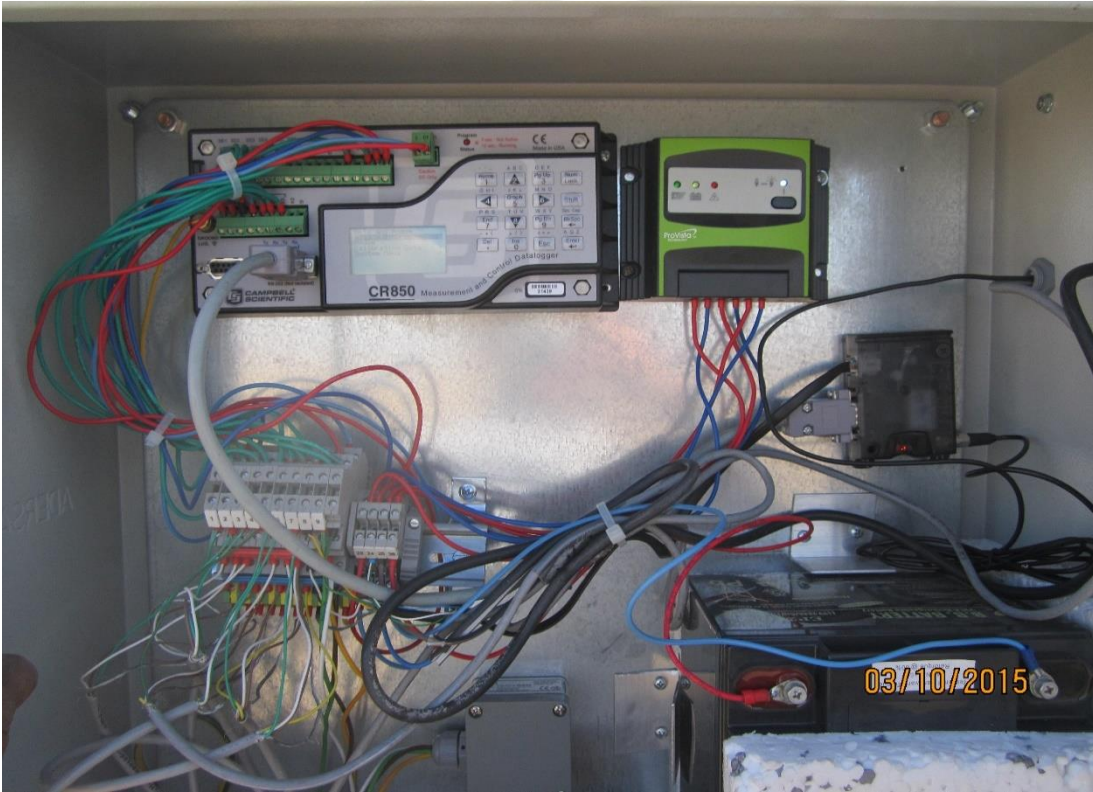
Şekil 4.21: Tepede bulunan U kol.



Şekil 4.22: Direk üzerinde bulunan tüm rüzgar sensörleri.



Şekil 4.23: Direk üzerinde bulunan rüzgar yön sensörü.



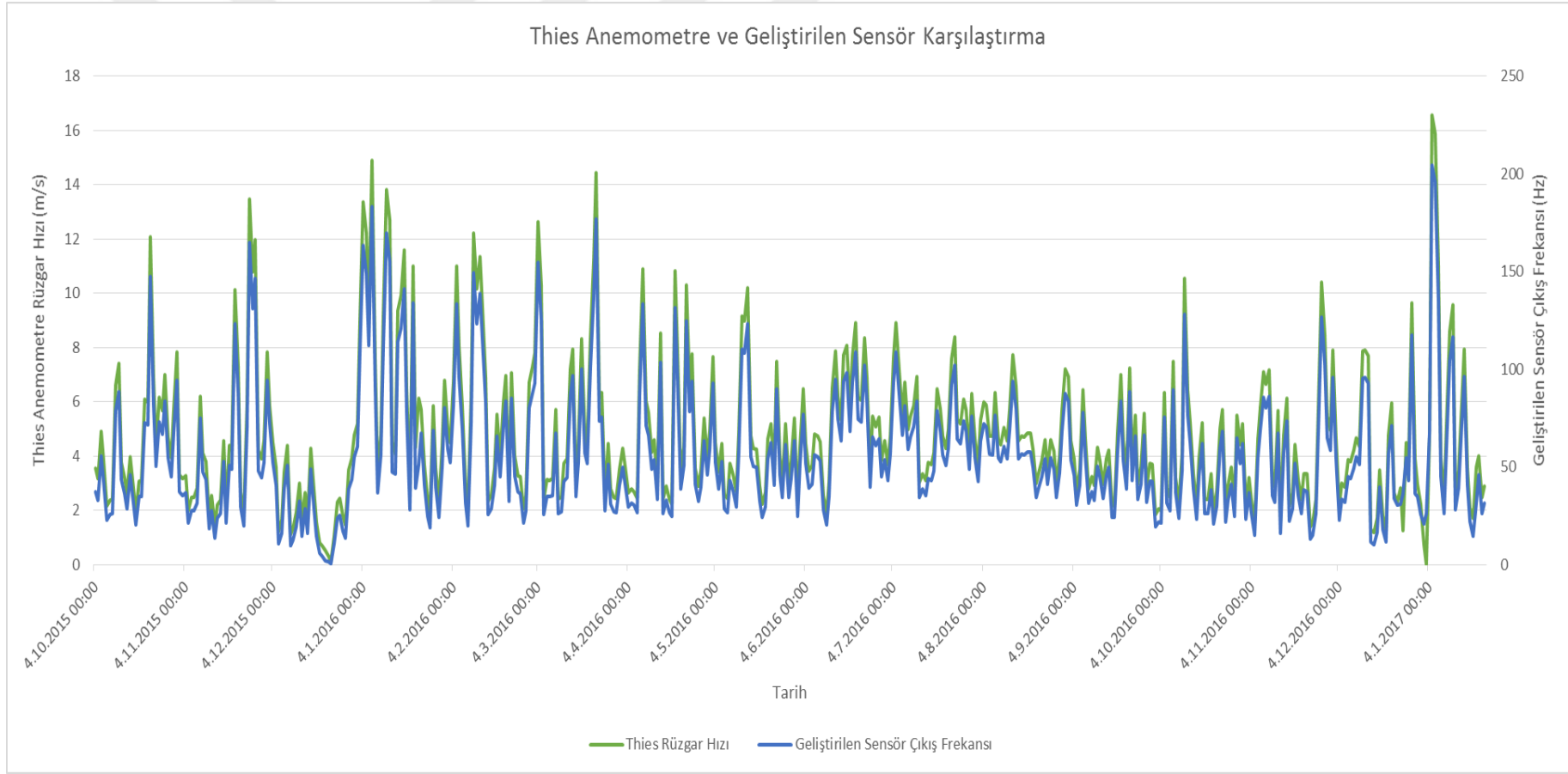
Şekil 4.24: Veri kaydedici sistem ve akü.

4.4 Arazide Test Edilen Sensör Sonuçları

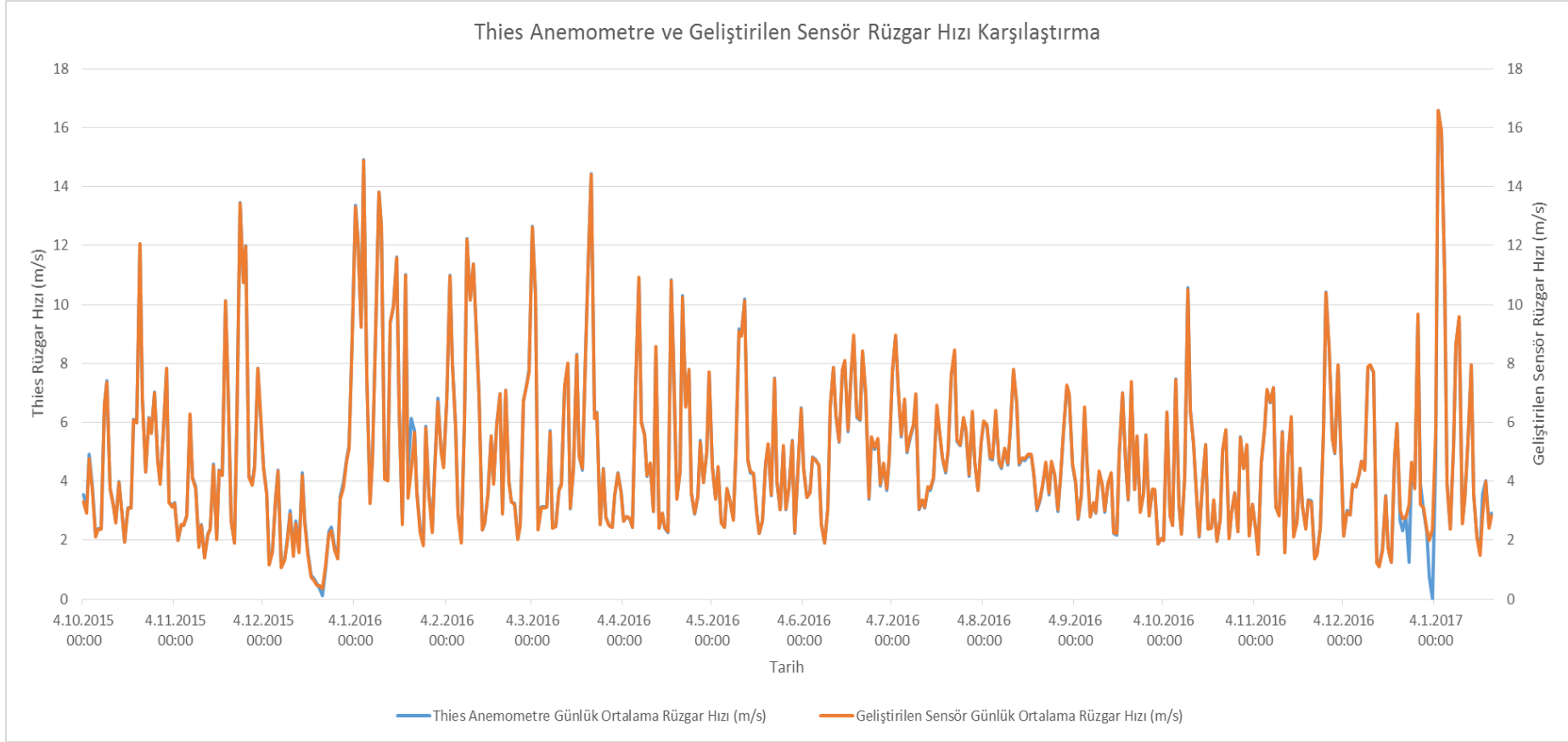
Tepede bulunan U kola bağlı geliştirilen anemometrenin ve Thies marka rüzgar hız sensörünün 16 ay boyunca yaptığı ölçüm sonuçları Şekil 4.25 ve Şekil 4.26'daki gibidir. Thies marka rüzgar hız sensörünün verileri, veri kaydediciye kaydedilirken sensörün kalibrasyonu sonucu elde edilen transfer fonksiyonu uygulanarak rüzgar hız değerlerine çevrilmiştir. Geliştirilen sensör verileri ise frekans olarak kaydedilmiştir.

Veri kaydedici rüzgar hız ve yön datalarını kaydederken her iki saniyede bir ölçüm almakta ve 10 dakikanın sonunda aldığı bu ölçümlerin ortalamasını kaydetmektedir. Kullanılan Campbell Scientific marka veri kaydedici ortalama rüzgar hızlarını kaydederken ayrıca, minimum, maksimum ve standart sapma değerlerini de kaydetmektedir. Rüzgar hız ve yön sensörlerinin doğru veri kaydedip kaydetmedikleri maksimum, minimum veya standart sapma değerlerine bakılarak anlaşılabilir. Özellikle rüzgar yön sensörü verilerinde standart sapma değeri oldukça önem taşımaktadır. Eğer 1 saatlik veri içerisinde standart sapma değeri 0-5 derece arasında bir değer gösteriyorsa ya sensör donmuştur ya da rüzgar hızı çok dengeli ve düzgün esmektedir. Sensör verileri birbiri ile kontrol edilerek arıza veya donma verileri ayıklanmaktadır.

Ayrıca dataların kaliteli olup olmadıkları da standart sapma ve maksimum değerlerinden bulunabilmektedir. Şekil 4.25'te de görüldüğü üzere referans cihaz verileri ile geliştirilen sensör verileri neredeyse üst üste oturmaktadır. Referans cihazın okuduğu rüzgar hızının azaldığı noktalarda geliştirilen sensörün kaydettiği değerlerde paralellik göstermiş ve azalmıştır. Şekil 4.25'te 16 ay boyunca yapılan ölçümlerin günlük ortalamaları verilmiştir. 10'ar dakikalık ortalamaların verilmesi durumunda grafikte veri sayısı artacağından veriler net olarak görülememektedir. Şekil 4.26'da ise geliştirilen sensörden alınan frekans değerleri bir transfer fonksiyon uygulanarak rüzgar hız değerlerine çevrilmiştir. Burada referans cihaz olarak kullanılan anemometrenin değerleri kullanılmıştır. Transfer fonksiyon hesaplanırken referans cihazdan okunan anlamsız veriler çıkarılmıştır. Aksi takdirde transfer fonksiyonu hesaplanırken küçük de olsa hatalar oluşacaktır. Geliştirilen sensörlerden bazıları da rüzgar hız sensörlerinin kalibrasyonunu yapmada akredite olan laboratuvarlara gönderilerek kalibre edilmiştir. Kalibrasyon sonuçları karşılaştırıldığında değerlerin birbirine çok yakın olduğu görülmektedir.

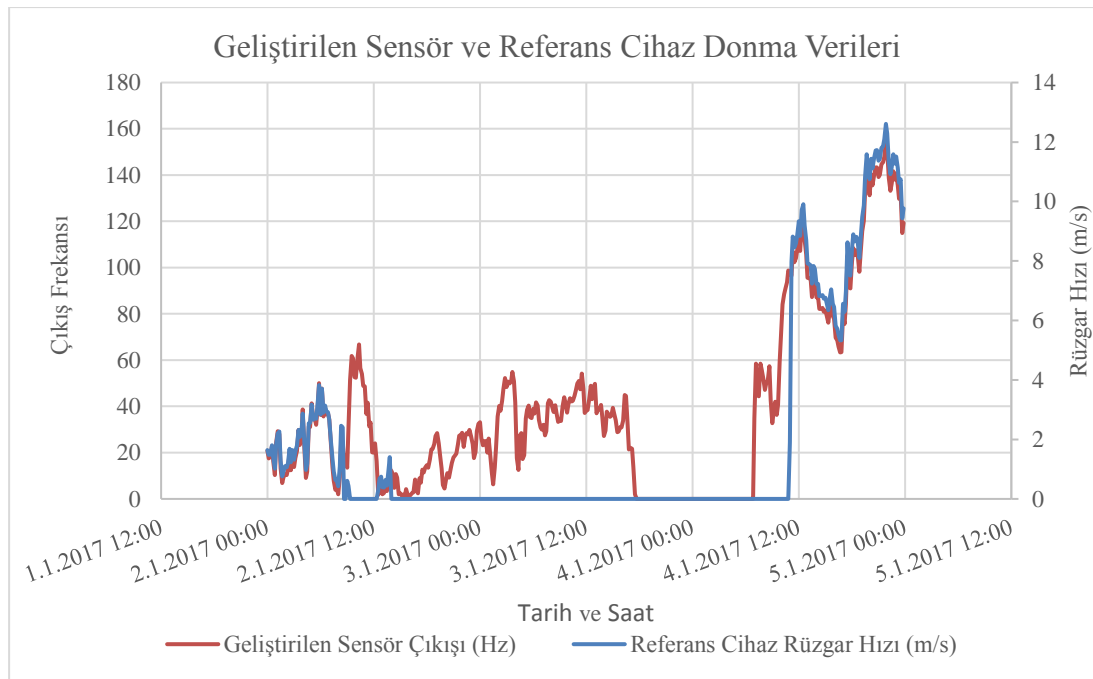


Şekil 4.25: Thies anemometre ve geliştirilen sensör karşılaştırılması.



Şekil 4.26: Rüzgar hız verileri karşılaştırması.

Şekil 4.25 ve Şekil 4.26’da sensör rüzgar hız ölçümlerinin günlük ortalamalarına göre çizilmiştir. Şekil 4.25’te geliştirilen rüzgar hız sensörü verilerine herhangi bir transfer fonksiyonu uygulanmamıştır. Çıkışından alınan frekans değeri olduğu gibi veri kaydediciye kaydedilmiştir. Karşılaştırma amacıyla verilen grafikte de görüleceği üzere sensörlerin ölçüm karakteristikleri üst üste binmektedir. Şekil 4.26’da ise direk üzerinde bulunan sensörün verilerine transfer fonksiyonu uygulanmış ve bu değerlerle referans cihaz değerleri karşılaştırılmıştır. İki cihaz üzerinde görülen farklılıkların sebebi 2-3-4 Ocak 2017 tarihlerinde referans cihazın donmasıdır. Bu sebeple iki sensör verisi üstüste oturmamıştır (Şekil 4.27).

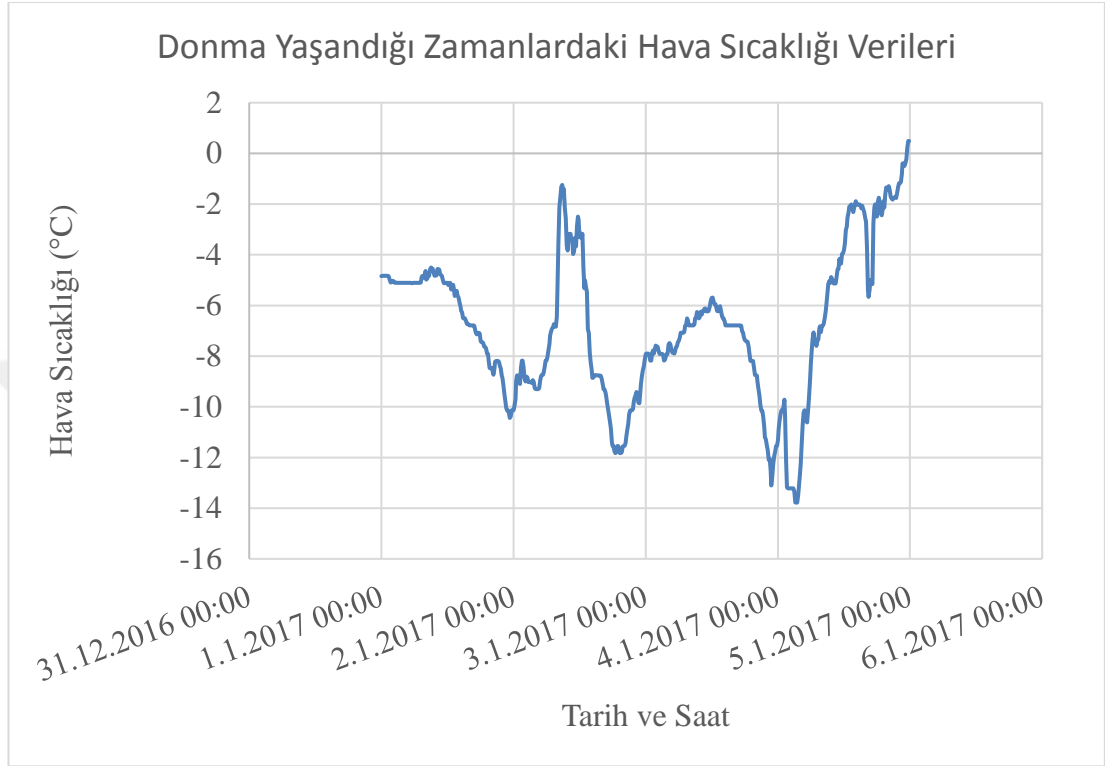


Şekil 4.27: Thies referans cihaz donma verileri.

Cihazlar test amaçlı rüzgar ölçüm direğine takılırken ısıtmaları bağlanmamıştır. Direğin bulunduğu lokasyonda şebeke elektriği alınamayacağı için sensörlerin ısıtmaları çalıştırılmamıştır. Direk üzerinde sistemi beslemesi için 40 W gücünde bir solar panel ve 26 Ah’lik bir jel akü bulunmaktadır. Bu sistemle sensörlerin ısıtılması imkansızdır.

Sensörlerin donmalarının yaşandığı zamandaki sıcaklık değerleri aşağıdaki grafikte gösterilmiştir. Şekil 4.28’te görüleceği üzere sensörün donduğu ve ölçüm alamadığı zamanlarda hava sıcaklığı -14°C ’ye kadar düşmüştür. Bu sıcaklıklarda hareketli parçaların ve metal yüzeylerin donmaması neredeyse imkansızdır. Direğin dikildiği lokasyon Tuz Gölü’ne çok yakın bir yerdir, dolayısıyla nem oranı da yüksektir.

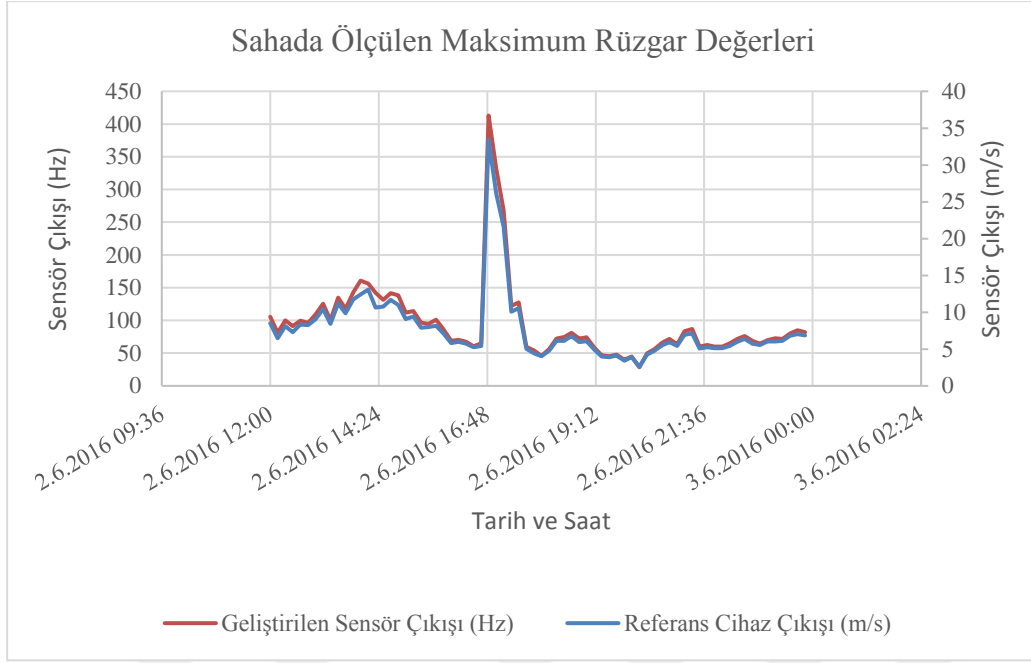
Donmaya en çok etkileyen faktörlerden biri düşük sıcaklıkla birlikte yüksek nem değerleridir. Direğin metal yüzeyi üzerinde hızlıca yoğunlaşan nem, düşük ve ani sıcaklık düşmeleri ile direk üzerinde buzlanmaya neden olmaktadır. Özellikle gece-gündüz arasındaki sıcaklık farklılıkları buzlanmanın en büyük sebeplerinden biridir.



Şekil 4.28: Donma anında hava sıcaklığı.

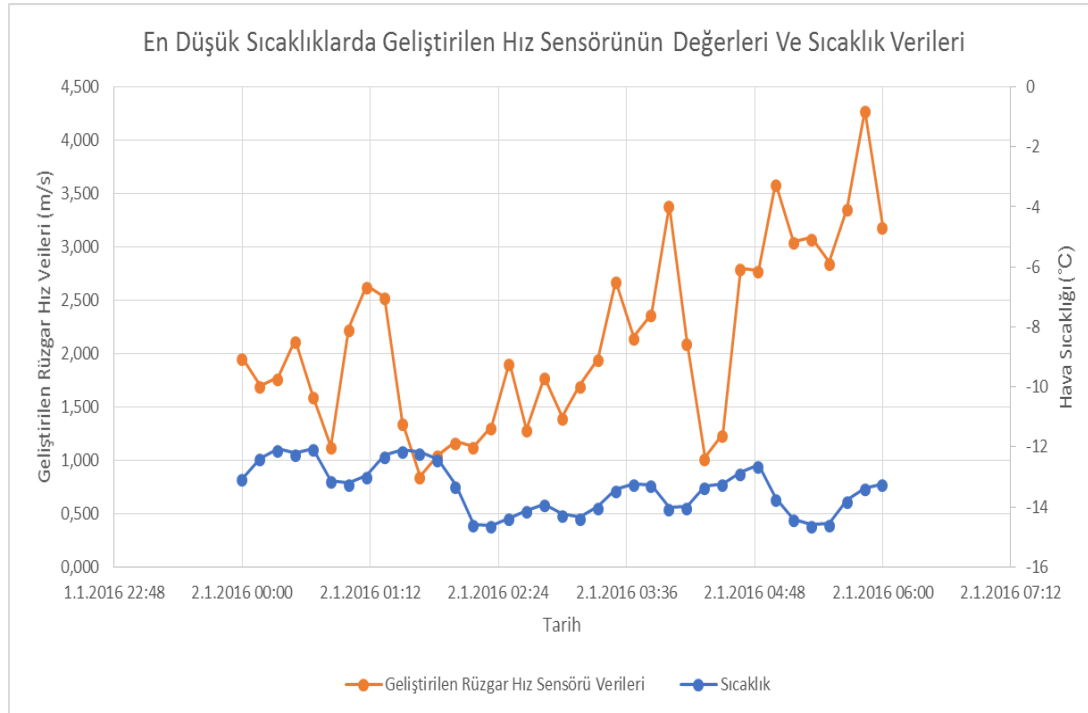
Şekil 4.29’da görüldüğü üzere sahada ölçülen maksimum rüzgar hızı 2 Haziran 2016 tarihindedir. Rüzgar ortalama hızı 5 m/s hızdan bir anda 33 m/s’ye hızla ulaşmıştır. Havadaki ani değişimle bir anda mini bir fırtına (büyük ihtimalle hortum) meydana gelmiş ve yaklaşık bir saat boyunca 30-35 m/s hızla esmiştir. Bu esnada yapılan ölçümler incelendiğinde sensörlerin bu ani değişikliği düzgün bir şekilde takip ettiği görülmektedir. Grafik çizilirken sensörlerin maksimum değerleri kullanılmıştır. Tüm veriler 10’ar dakika içerisinde okunan maksimum rüzgar değerleri ile çizilmiştir.

Oluşan bu hortumun en büyük sebebi ani sıcaklık değişimleri olduğu tahmin edilmektedir. Sahanın bulunduğu konumda rüzgar hızını ani etkileyebilecek herhangi bir etken bulunmamaktadır. Direğin yaklaşık 3 km güneybatısında tuz gölü bulunmaktadır. Burada ısınarak genişleyen sıcak hava kütesinin soğuk hava ile karşılaştığı ve bu ani basınç değişikliği ile küçük çaplı bir hortum oluştuğu düşünülmektedir.



Şekil 4.29: Sahada ölçülen maksimum rüzgar değeri.

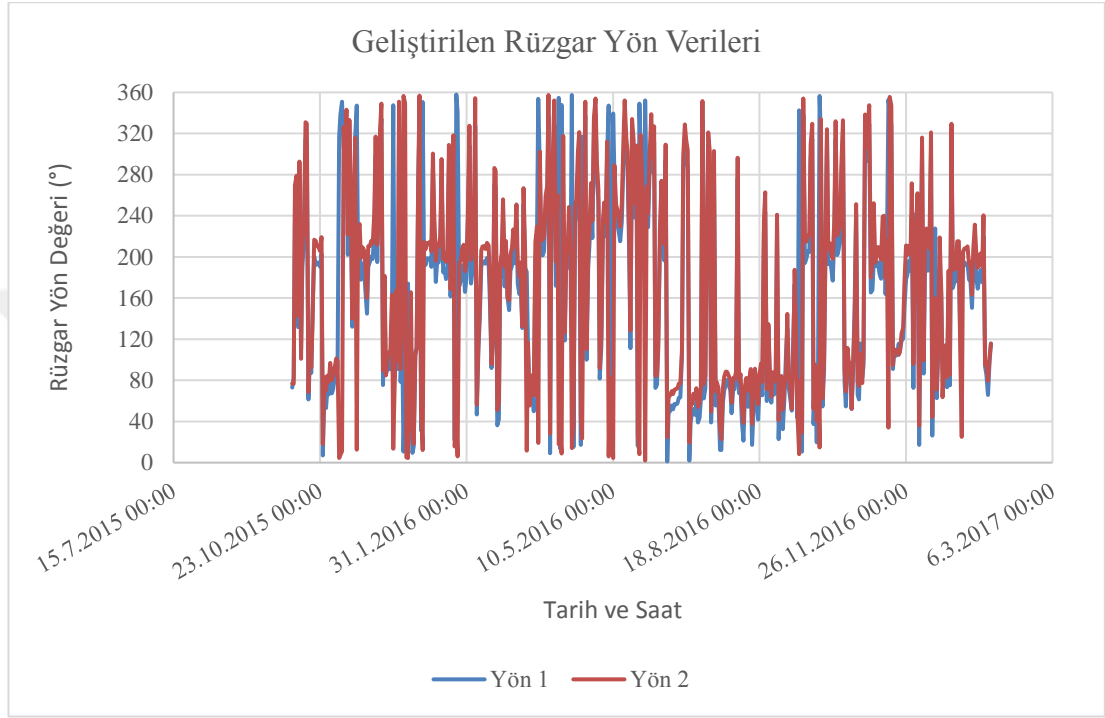
Sensörün hızlı değişimleri takip edebilmesi için elektronik ve mekanik yapısının çok düzgün olması gerekmektedir. Sahada ölçülen en düşük sıcaklık -14°C 'dir. Bu sıcaklığın görüldüğü 2 Ocak 2017 tarihinde geliştirilen rüzgar hız sensörünün verileri Şekil 4.30'da gösterilmiştir. Bu sıcaklık değerlerinde anemometrede herhangi bir donma olayı yaşanmamıştır ve hız değerleri normal görünmektedir.



Şekil 4.30: Düşük hava sıcaklıklarda geliştirilen rüzgar hız sensörü verileri.

Düşük sıcaklıklarda ve yüksek sıcaklıklarda sensör ölçümünün bozulmaması için kullanılan rulmanların kalitesi ve sensörün geometrisi çok önemlidir. Sensör gövde dizaynında yapılacak en ufak hatada sensörün donması kaçınılmazdır.

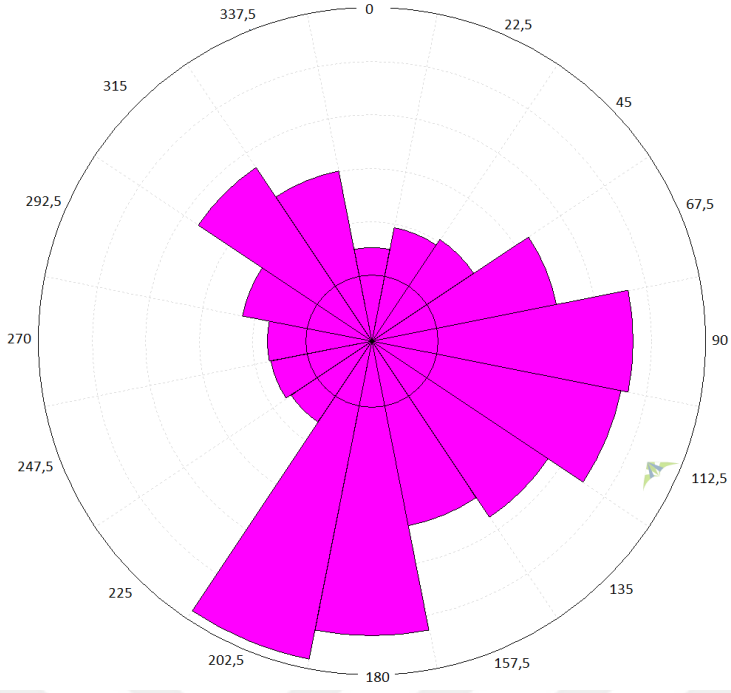
Rüzgar ölçüm direği üzerine monte edilen 2 adet rüzgar yön ölçerin verileri Şekil 4.31'deki gibidir.



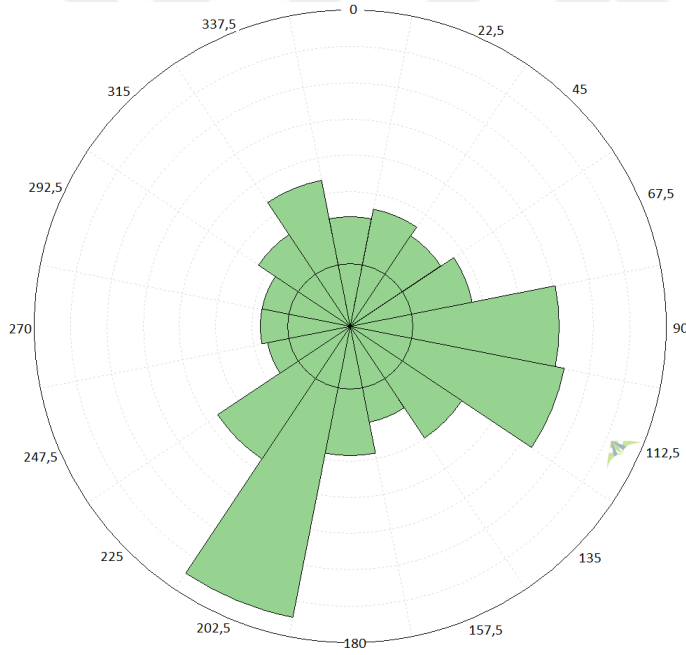
Şekil 4.31: Geliştirilen rüzgar yön verileri.

Şekil 4.31'de görüleceği üzere rüzgar yön verileri sürekli birbirini takip etmektedir. Pembe ile gösterilen değerler 58 m'de bulunan rüzgar yön sensörüne ait verilerdir. Yeşil ile gösterilen veriler ise 28 metrede bulunan sensöre ait verilerdir. Aralarında dönem dönem farklılıklar oluşmaktadır. Bunun en önemli sebebi sensörlerden birinin yere yakın ölçüm yapmasıdır. Yerden ısınarak yukarıya doğru hareket eden hava molekülleri sensör etrafında türbülansa sebep olabilmektedir. Bu da alt ve üst sensör arasında 20°C'ye kadar ölçüm sapmalarına sebep olmaktadır. Ayrıca dikey yönde esen rüzgarlar yere çarparak türbülans oluşturabilmektedir. Dolayısıyla 28 metrelerde yapılan yön ölçümleri RES yatırımlarında çok fazla dikkat edilen ölçümler değildir. Ancak Meteoroloji Genel Müdürlüğü tarafından çıkarılan tebliğde en altta bulunan anemometrenin altında bir rüzgar yön verisi istendiği için bu yüksekliğe bir yön sensörü takılmıştır.

Her iki sensöre ait rüzgar gülü grafikleri Şekil 4.32 ve Şekil 4.33'de verilmiştir.



Şekil 4.32: 58 m'de bulunan rüzgar yönü.



Şekil 4.33: 28 m'de bulunan rüzgâr yönü.

Şekil 4.32 ve Şekil 4.33 incelendiğinde, Tuz Gölü'nün sebep olduğu kara-deniz meltemleri nedeniyle hakim rüzgar yönünün 200 derece civarı olduğu görülmektedir. Güney-Güneybatı yönünden esen rüzgar sayısının maksimum olduğu rüzgar gülünden anlaşılmaktadır. Her iki sensörün de hakim rüzgar yönü aynıdır. Bu da sensörlerin türbülans etkilenmeden düzgün ölçüm yaptığı görülmektedir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Rüzgar enerjisinden elektrik üretimi Türkiye’de son günlerde oldukça fazla tartışılan konulardan biridir. Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü (YEGM) tarafından son çıkarılan YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAK ALANLARI YÖNETMELİĞİ (YEKA) ile hem güneş enerjisinde hem de rüzgar enerjisinde büyük yatırımlar düşünülmektedir. Türkiye’nin yenilenebilir enerji alanında dışa bağımlılığını azaltma anlamında büyük projeler yapılmaktadır. YEKA’lar ile büyük rüzgar türbin üreticileri ülkemizde kuracakları Ar-Ge merkezleri ve fabrikalarla teknolojiyi bizlere öğreteceklerdir. Böylelikle yıllardır yapılamayan yerli üretim rüzgar türbini araştırma ve geliştirme işlemleri hızlanacaktır.

Ülkemizde 2013-2016 yılları arasında yaklaşık 2000 adet rüzar ölçüm direği dikilmiştir. Bu direkler üzerinde kullanılan rüzgar hız ve rüzgar yön sensörleri tamamı yurtdışından ithal sensörlerdir. Bir rüzgar ölçüm direğinde ortalama 3 adet anemometre kullanıldığı öngörülürse yaklaşık 6000 adet anemometre ithal edilmiştir. İthal bir kepçeli tip anemometrenin ülkemize geliş fiyatı kalibrasyon dahil 800 € civarındadır. Sadece anemometre için Almanya’ya giden döviz 4.800.000 €’dur. Yerli kaynaklarla araştırma ve geliştirmesi yapılan anemometrenin maliyeti satın alınan bu sensörün 1/3’ü kadardır.

Rüzgar ölçüm direklerinde kullanılan bir diğer sensör olan rüzgar yön sensörlerinden ise 2 adet kullanılmaktadır. Yani ülkemize giren rüzgar yön sensörü adeti yaklaşık 4000 adettir. Bu sensörün de ithalat fiyatı 750 € civarındadır. 2000 direkte kullanılan rüzgar yön sensörü için yurtdışına giden para 1.500.000 €’dur. Direk üzerinde kullanılan yalnızca anemometre ve yön sensörleri için ülkemizden çıkan döviz miktarı 6.300.000 €’dur.

Meteoroloji, zirai, askeri ve karayollarının da kullandığı bu sensörlerin ülkemiz ekonomisine etkisi büyüktür. Ölçüm prensibinde yapılan yeniliklerle en az muadilleri kadar iyi olan sensörlerin kullanılması ile ülke ekonomisindeki açığın bir kısmının kapatılması amaçlanmıştır. Arazi şartlarında sensörlerin test edilmesi için Ankara’da

kurulan 60 m rüzgar ölçüm direği sonuçları verilmiştir. Rüzgar ölçüm direği 03.10.2015 tarihinde sahaya kurulmuştur. Kullanılan data seti 04.10.2015-23.01.2017 tarihleri arasındaki rüzgar verileridir. Veri kaydedici, rüzgar hız sensörü verilerini her iki saniyede almakta ve 10 dakikada bir ortalama, minimum, maksimum ve standart sapma verilerini kaydetmektedir. Rüzgar yön verilerini ise her iki saniyede bir ölçüp, 10 dakikada bir vektörel rüzgar yönünü ve yön değerinin standart sapmasını kaydetmektedir.

Test edilen sensörün muadili olan ve tüm dünyada adını duyurmuş Thies marka Alman malı sensörle karşılaştırılması sonucunda sensörün ölçümlerinde hiçbir hata tespit edilmemiştir. Soğuk havalarda, yüksek rüzgar hızlarında ve düşük rüzgar hızlarında denenen sensörün çalışmasında olumsuzluklara rastlanmamıştır.

Thies marka rüzgar hız sensörünün koruma sınıfı IP 55 (Toza karşı korumalı-sınırlı koruma-, Her yönden ve açıdan düşük basınçlı su jetine karşı koruma) olarak belirtilmiştir. Geliştirilen rüzgar hız ve yön sensörlerinin akredite kuruluş (LVT Test Laboratuvarı) tarafından yapılan testlerde IP 65 (Toza karşı tam korumalı, Her yönden ve açıdan düşük basınçlı su jetine karşı koruma) koruma sınıfına sahip olduğu kanıtlanmıştır. Sensörün çalışacağı dış ortamdan etkilenmemesi için muadili olan sensörlerden daha iyi bir koruma sınıfına sahiptir.

Sensörlerin laboratuvar koşullarında yapılan testleri olumlu sonuç vermiştir. Kepçeli tip rüzgar hız sensörünün kalibrasyon sonuçlarına göre doğrusalığı oldukça iyidir. Geliştirilen rüzgar hız sensörünün kalkış hızı 0,3 m/s olması amaçlanmıştır ve yapılan kalibrasyon testlerinde kaçıklık (offset) değeri olarak verilen değer 0,3 çıkmıştır ve bu değer sensörün minimum rüzgar hızında hareket ettiği değeri vermektedir.

Geliştirilen manyetik ölçüm mantığına sahip rüzgar yön sensörü 16 ay boyunca hiçbir arıza çıkarmadan ölçüm yapmaya devam etmektedir. Bu da sensörde hedeflenen bakım maliyetlerinin düşürüldüğünün bir göstergesidir.

Geliştirilen sensörün tüm özelliklerini içeren tablo Çizelge 5.1’de verilmiştir. Tabloda görülen değerler incelendiğinde sensörlerin üretimi aşamasında istenilen tüm değerlere ulaşıldığı açıkça görülmektedir. Sensörün doğruluğu ve kalkış hızı testleri akredite kuruluş laboratuvarlarında yapılmıştır. Çözünürlüğe ait test çalışmaları ise şirket bünyemizde bulunan rüzgar tüneli ile yapılmıştır. Rüzgar tünelimizde 4-16 m/s

aralığında rüzgar hızları ile testler yapılabilir. Rüzgar tünelimiz kapalı çevrim açık test alanı ile anemometrelerin test edilebilmesini kolaylaştırmaktadır.

Çizelge 5.1: Geliştirilen rüzgar hız sensörü teknik özellikleri.

Teknik Özellikler	
Ölçüm Aralığı	0,3-70 m/s
Doğruluk	< 0,1 m/s
Çözünürlük	0,1 m/s
Kalkış Hızı	0,3 m/s
Azami Dayanıklılık	75 m/s
Çalışma Sıcaklığı	-50°C to 80°C
Koruma Sınıfı	IP65
Çalışma Voltaj Aralığı	5-12 V DC
Ağırlık	465 g

Çizelge 5.2’de ise geliştirilen rüzgar yön sensörlerinin teknik bilgileri verilmiştir. Rüzgar yön sensörü testlerimiz de firmamız bünyesinde bulunan rüzgar tüneline yapılmıştır. Rüzgar yön sensörü tünele bağlanarak sabit rüzgar altında sensör gövdesi çevrilerek tüm açı değerleri için testler yapılmıştır.

Çizelge 5.2: Geliştirilen rüzgar yön sensörü teknik özellikleri.

Teknik Özellikler	
Ölçüm Aralığı	0-360°
Doğruluk	0,015°
Çözünürlük	0,015°
Azami Dayanıklılık	75 m/s
Çalışma Sıcaklığı	-50°C to 80°C
Koruma Sınıfı	IP65
Çalışma Voltaj Aralığı	5-12V DC
Ağırlık	820g



KAYNAKLAR

- [1] **Ateş, T.** (2007). *Trakya bölgesindeki bir karargahta rüzgar enerjisi santrali fizibilite çalışması.* (Yüksek Lisans Tezi). İstanbul Ticaret Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [2] **Koç, T.** (1998). Ayvalık'ta rüzgar enerjisi potansiyeli, *Balıkesir Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 1(2), 1-18.
- [3] **Özaktürk, M.** (2007). *Rüzgar enerjisinin güç kalitesi açısından incelenmesi.* (Yüksek Lisans Tezi). S.A.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- [4] **TÜREB** (2017). *Türkiye rüzgar enerjisi istatistik raporu*, Ankara: Türkiye Rüzgar Enerjisi Birliği.
- [5] **Url-1** <<http://www.teias.gov.tr>>, erişim tarihi 20.04.2017.
- [6] **GWEC** (2016). *Global-Wind-2015-Report*.
- [7] **Durak, M., Özer, S.** (2008). *Rüzgar Enerjisi: Teori ve Uygulama*, İmpress, Ankara.
- [8] **Barutçu, B.**, (2010). *Wind Energy and Conversion Technology*, Ders notları, İ.T.Ü. Enerji Enstitüsü, İstanbul.
- [9] **Adekoya, L., O., Adewale, A., A.** (1992). Wind energy potential of Nigeria, *Renewable Energy*, 2(1), 35-39.
- [10] **Lettau, H.** (1969). Note on Aerodynamic Roughness-Parameter Estimation on the Basis of Roughness-Element Description, *Journal of Applied Meteorology*, 8(5),828-832.
- [11] **Sheppard, P.,A.** (1941). *Anemometry: A Critical And Historical Survey*, ders notları, Imperial College of Science and Technology, London.
- [12] **Url-2** <<http://www.sage.tubitak.gov.tr/tr/hizmetlerimiz/ruzgar-tuneli-test-hizmetleri-0>>, erişim tarihi 21.04.2017.
- [13] **Url-3** <<http://ams.com/eng/Products/Magnetic-Position-Sensors/Angle-Position-On-Axis/AS5030>>, erişim tarihi 20.04.2017.



EKLER

EK A: Geliştirilen sensör kalibrasyon sertifikası

EK B: SAGE rüzgar dayanım testleri

EK C: Rüzgar ölçüm direğinde kullanılan sensör kollarının çizimleri



EK A



t m m o b
m a k i n a
m ü h e n d i s l e r i
o d a s ı

MMO KALMEM

Kalibrasyon Laboratuvarı ve Metroloji Eğitim Merkezi

Kalibrasyon Sertifikası Calibration Certificate



Kalibrasyon
TS EN ISO/IEC 17025
AB-0070-K

AB-0070-K

18.HIZ.0018

25.11.2016

Cihaz / Ekipman Device / Equipment	: KEPÇELİ ANEMOMETRE Cup Anemometer	<p>Bu kalibrasyon sertifikası, Uluslararası Birimler Sisteminde (SI) tanımlanmış birimleri realize eden ulusal ölçüm standartlarına izlenebilirliği belgeler. Kalibrasyon laboratuvarı olarak faaliyet gösteren MMO KALMEM, TÜRKAK'tan AB-0070-K ile TS EN ISO/IEC 17025:2012 standardına göre akredite edilmiştir. Türk Akreditasyon Kurumu (TÜRKAK) kalibrasyon sertifikalarının tanınırlığı konusunda Avrupa Akreditasyon Birliği (EA) ile Çok Taraflı Anlaşma ve Uluslararası Laboratuvar Akreditasyon Birliği (ILAC) ile karşılıklı tanıma anlaşması imzalamıştır. Ölçüm sonuçları, genişletilmiş ölçüm belirsizlikleri ve kalibrasyon metodları bu sertifikanın tamamlayıcı kısmı olan takip eden sayfalarda verilmiştir.</p> <p>This calibration certificate documents the traceability to national standards, which realize the unit of measurement according to the International System of Units (SI). MMO KALMEM accredited by TÜRKAK under registration number AB-0070-K for TS EN ISO/IEC 17025:2012 as Calibration Laboratory. Turkish Accreditation Agency (TÜRKAK) is a signatory to the European co-operation for Accreditation (EA) Multilateral Agreement (MLA) and to the International Laboratory Accreditation Cooperation (ILAC) Mutual Recognition Arrangement (MRA) for the recognition of calibration certificates. The measurements, the uncertainties with confidence probability and calibration methods are given on the following pages which are part of this certificate.</p>
Üretici Firma Manufacturer	: TECH-SEN	
Seri No Serial No	: 20.0105	
Tip / Model Tip / Model	: AN102	
Talep Eden / Adres Issued For / Address	: Teknam Teknoloji Ve Enerji Sanayi Ticaret A.Ş. Altınörmek Sanayi Sitesi 1518. Cadde No:35 İVOGSAN Yenimahalle Ankara	
Talep Numarası Order no	: EK16001272/1	
Kalibrasyon Tarihi Date of Calibration	: 25.11.2016	
Sertifika Sayfa Sayısı Page Number	: 4	

ENC.06.02 24.04.2016 Rev:00



Tarih
Date of Issue
25.11.2016

Kalibrasyonu Yapan
Calibrated by
ALPER TORTOÇ

Dijital olarak imzalayan:
ALPER TORTOÇ

Laboratuvar Müdürü
Head of the Calibration Laboratory
ALPER TORTOÇ

Dijital olarak imzalayan:
ALPER TORTOÇ

Bu sertifika MMO KALMEM'in yazılı izni olmadan kısmen çoğaltılıp kopyalanamaz. İmzasız ve mühürlü sertifikalar geçersizdir.

This certificate shall not be reproduced other than in full except with the full permission of MMO KALMEM Calibration certificate without signature and seal are not valid

A_ 251 sok. no: 33 d: 1-2 Manavkuyu Bayraklı İZMİR T_ (0232) 348 40 50 F_ (0232) 348 63 98 W_ www.kalmem.org | kalmem@mmo.org.tr

Şekil A.1: Geliştirilen sensör kalibrasyon sertifikası (1. Sayfa).



t m m o b
m a k i n a
m ü h e n d i s l e r i
o d a s ı



AB-0070-K

16.HIZ.0018

11.2016

Sayfa No: 2/4

Page Number

1. Kalibrasyonda Kullanılan Referans:

Cihaz / Ekipman	Üretici	Seri No	İzlenebilirlik
Pitot Tüp	Fumess Controls	EK 08.01	UME / G2AH-010 / 2016
Mikro Manometre	Fumess Controls	EK 08.02	UME / G2AH-010 / 2016
Dijital Multimetre	Fluke	EK 03.18	KALMEM / 2016
Nem ve Sıcaklık Ölçer	Testo	EK 05.62	KALMEM / 2016

2. Kalibre Edilen Cihazın Özellikleri:

Cihazın Adı	Ölçüm Aralığı	Çözünürlük
Keççeli Anemometre	4 - 16 m/s	0,01 Hz

3. Ortam Şartları :

Hava Sıcaklığı (°C)	20,2	±1,5
Hava Basıncı (hPa)	1021,0	±10
Hava Nemi (%)	40,0	±5

4. Kalibrasyon Yöntemi ve Prosedürü :

Cup Anemometrenin kalibrasyonu, KALMEM Hava Hızı Laboratuvarı tarafından TS EN 61400-12-1 standardı esas alınarak hazırlanan hazırlanan EKT.08.01 No'lu "Anemometre Kalibrasyon ve Belirsizlik hesaplamaları Talimatı" gereğince yapılmıştır.

Kalibrasyon açık tip, ve kapalı ölçüm odalı bir rüzgar tüneline pitot tüp ve mikromanometre referanstan okunan rüzgar hızı ile anemometreden okunan çıkış sinyalinin karşılaştırılması yöntemi ile yapılmıştır.

Anemometre 0,9m yüksekliğe ve 0,8m genişlikteki ölçüm odası içerisinde uygun montaj aparatları ile bağlanmıştır. Mekanik sürtünme etkilerini önlemek için kalibrasyondan önce, anemometre 10m/s sabit rüzgar tüneline hızında 5 dakika boyunca çalıştırılmıştır. Anemometre örnekleme frekansı 1 Hz, örnekleme aralığı 30 saniyedir. Ölçümlere başlamadan önce her hava hızı için, 1 dakika boyunca sistemin dengeye gelmesi için beklenmiştir.

5. Fonksiyon ve Göz Kontrolü

Fonksiyon ve göz kontrolünde hasar veya eksiklik görülmemiştir.



t m m o b
m a k i n a
m ü h e n d i s l e r i
o d a s ı



AB-0070-K
16.HIZ.0018
11.2016

Sayfa No: 3/4

Page Number

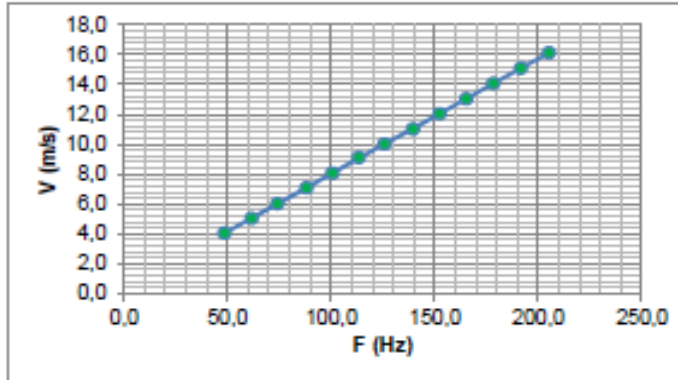
6. Kalibrasyon Sonuçları

Cup Anemometre F (Hz)	Referans Rüzgar Hızı V(m/s)	Mutlak Belirsizlik V(m/s)	Bağıl Belirsizlik (%)	Denklem Hatası* (m/s)
48,558	4,044	0,04	1,1	0,006
74,108	6,017	0,06	1,1	0,008
100,720	8,063	0,08	1,0	0,002
125,836	10,013	0,10	1,0	0,014
152,458	12,041	0,12	1,0	-0,012
178,410	14,071	0,14	1,0	0,016
205,332	16,119	0,16	1,0	-0,012
191,710	15,089	0,15	1,0	0,008
165,290	13,046	0,13	1,0	0,003
139,560	11,015	0,11	1,0	-0,043
113,520	9,102	0,09	1,0	0,053
88,240	7,070	0,07	1,0	-0,028
61,676	5,035	0,05	1,0	-0,015

* Denklem Hatası : Anemometrenin çıkış sinyali ile, lineer regresyon sonucu arasındaki farktır. Bu hesaplamalar, belirsizlik bütçesine dahil değildir.

7. Lineer Regresyon Sonuçları **

$$V \text{ (m/s)} = \text{slope} \cdot F \text{ (Hz)} + \text{Offset}$$



Slope (m/s)	0,07715
Offset (m/s)	0,29147
Regresyon Katsayısı	0,99996

** Lineer regresyon denklemi, en küçük kareler yöntemi kullanılarak, sonuçlara en uygun olan doğru denklemi çıkartılarak hesaplanmıştır.

Şekil A.3: Geliştirilen sensör kalibrasyon sertifikası (3. Sayfa).



tmmob
makina
mühendisleri
odası



Sancayın Hizmetinde

AB-0070-K

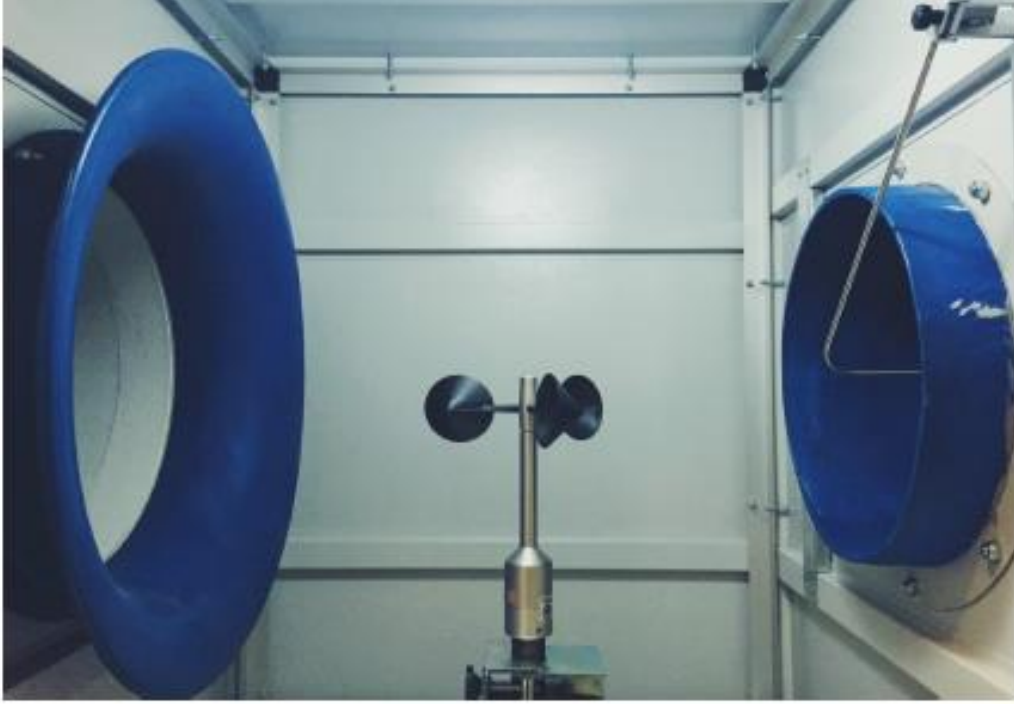
16.HIZ.0018

11.2016

Sayfa No: 4/4

Page Number

8. Anemometrenin Rüzgar Tüneli İçerisindeki Montaj Resmi



8. Kalibrasyon Belirsizliği

Beyan edilen genişletilmiş ölçüm belirsizliği, standart ölçüm belirsizliğinin normal dağılım için %95 güvenilirlik seviyesini sağlayan $k=2$ kapsam faktörü ile çarpımının sonucudur. Standart ölçüm belirsizliği GUM ve EA-4/02 dokümanlarına uygun olarak belirlenmiştir.

9. Açıklamalar

Kalibrasyon sonuçları sadece yukarıda belirtilmiş kepeçli anemometreye ait olup, kalibrasyon tarihinden itibaren ve sertifikada belirtilmiş şartlarda geçerlidir.

10. Kalibrasyon Etiketinin Yeri

Kalibrasyon etiketi sensörün üzerine yapıştırılmıştır.

A_ 251 sok. no: 33 d: 1-2 Memekkuşu Bayraklı İZMİR T_ (0232) 348 40 50 F_ (0232) 348 53 98 W_ www.kalmem.org | kalmem@tmmob.org.tr

Şekil A.4: Geliştirilen sensör kalibrasyon sertifikası (4. Sayfa).

EK B



**TEKNAM GROUP RÜZGAR YÖN ÖLÇER VE
ANEMOMETRE RÜZGAR DAYANIM TESTLERİ SONUÇ
RAPORU**

[H.11.74.0.0.0]

DİĞER HİZMETLER

TEST, ANALİZ VE ÖLÇÜM – ENDÜSTRİYEL HİZMET

BELGE NO: 086-021391-000

GÜNCELLEME NO: R00

TÜBİTAK-SAGE
Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu
Savunma Sanayii Araştırma ve Geliştirme Enstitüsü
P.K. 16 06261 Mamak/ANKARA
TEL: (0312) 590 90 00 FAKS: (0312) 590 91 48/49

HİZMETE ÖZEL

Bu belgenin tamamı veya bir kısmı TÜBİTAK-SAGE'nin izni olmadan çoğaltılamaz, yayımlanamaz, içeriği açıklanamaz ve amacı dışında kullanılamaz. Belgenin bir sözleşme kapsamında hazırlanması durumunda ilgili sözleşmedeki hükümler geçerlidir. Aksi belirtilmedikçe "KONTROLSÜZ KOPYA"dır ve güncel olmayabilir. Herhangi bir amaçla kullanılmadan önce güncelliği kontrol edilmelidir.

Şekil B.1: Geliştirilen sensör dayanım test sonuçları (1. Sayfa).

HAZIRLAYAN				
#	İSİM SOYİSİM	ÜNVAN	TARİH	İMZA
1	Süleyman KURUN	Başuzman Araştırmacı		
2				
3				
4				
KONTROL EDEN				
#	İSİM SOYİSİM	ÜNVAN	TARİH	İMZA
1	Dr. Ümit KUTLUAY a.	Uçuş Mekanîği B.A.V		
2				
3				
4				
ONAYLAYAN				
#	İSİM SOYİSİM	ÜNVAN	TARİH	İMZA
1	Oğuzhan KÜÇÜK	Endüstriyel Hizmetler Koordinasyon Sorumlusu		
2				

Şekil B.2: Geliştirilen sensör dayanım test sonuçları (2. Sayfa).

1. TEKNAM GROUP RÜZGAR YÖN ÖLÇER-ANEMOMETRE RÜZGAR DAYANIM TESTLERİ

1.1. Kayıt Bilgileri

İş Emri Numarası: H.11.74.13/0009

Test Yeri: Ankara Rüzgar Tüneli (ART)

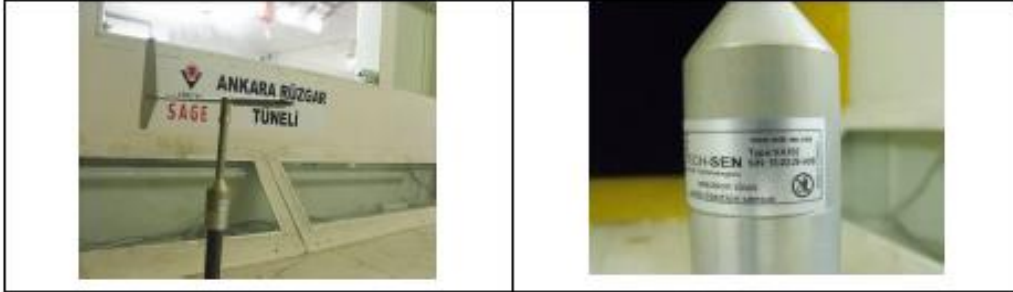
Test Tarihi: 10.04.2013/ 04.07.2014

1.2. Testin Amacı

TEKNAM GROUP firması tarafından üretimi yapılan iki farklı rüzgar yön ölçer ile bir anemometrenin 75 m/s (270 km/saat) hızda rüzgar dayanım testlerinin gerçekleştirilmesi.

1.3. Testin Tanımı

İki adet TECH-SEN VA-102 ve bir adet TECH-SEN VAM-102 model rüzgar yön ölçerin 10.04.2013 tarihinde, her biri üçer adet kepeçeden (*İng. cup*) oluşan üç adet TECH-SEN AN-102 model anemometrenin 04.07.2014 tarihinde testleri gerçekleştirilmiştir. Tüm test numuneleri gerçek boyutlu olup 75 m/s hızda rüzgara maruz bırakılarak rüzgar dayanımı incelenmiştir. (Şekil 1).



Şekil 1 TECH-SEN VA-102 Model Rüzgar Yön Ölçer (2 adet)

Şekil B.3: Geliştirilen sensör dayanım test sonuçları (3. Sayfa).



Şekil 2 TECH-SEN VA-102 Model Rüzgar Yön Ölçer (1 adet)



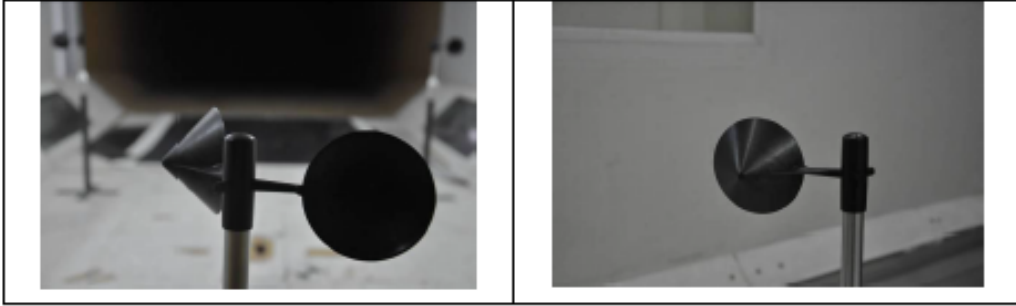
Şekil 3 Rüzgar Yönölçerler (Toplu Görünüm)



Şekil B.4: Geliştirilen sensör dayanım test sonuçları (4. Sayfa).

Tüm modeller rüzgar tüneli tabanına test için üretilen tutucu ayaklar vasıtasıyla bütünlenmiştir. Gerçekçi bir akış modellemesi için tutucu ayakların yükseklikleri modellerin tünel sınır tabakasının dışında kalacak şekilde en az 40cm üretilmiştir. Gerçek hayatta modellerin göreceği akışın gerçekçi olarak benzetilmesi amacıyla modeller birbirini akışını etkilemeyecek şekilde birbirlerinden en az 5 çap uzaklıkta yerleştirilmiştir.

Bütünlemelerin tamamlanmasının ardından rüzgar hızının 75m/s hıza çıkarılıp test numunelerinin en az 1 dakika boyunca bu hıza maruz bırakılması ve tünelin durdurulup modelin incelenerek fotoğraflarının çekilmesinin ardından testin sonlandırılması amaçlanmıştır. Tüm modeller de 1 dakika boyunca söz konusu hızlara dayanmıştır. VA-102 ve VAM-102 model rüzgar yönölçer testlerinde 75,4 m/s hızda 1 dakikanın ardından test sonlandırılmış ve herhangi bir kalıcı deformasyon gözlenmemiştir. AN-102 anemometre testlerinde test süresi uzatılması talep edilmiş; 75,16m/s hızda bir adet anemometrede 1 dakika 10 saniye sonra, diğer iki modelde sırasıyla 2 dakika ve 2 dakika 30 saniye sonra bağlantı noktalarına yakın bölgeden kopuşlar gözlenmiştir (Şekil 5). İki anemometrede birer, bir anemometrede iki adet cup kırılmıştır.



Şekil 5 TECH-SEN AN-102 Model Anemometre Test Sonu Fotoğrafları

1.4. Kaynak Belgeler

TEKNAM Group tarafından 28/03/2013'de gönderilen Endüstriyel Hizmet Başvuru Formu ile TÜBİTAK-SAGE tarafından gönderilen 05/04/2013 tarih ve B.14.2.TBT.5.02.06.01-151-935 numaralı fiyat teklifi.

Şekil B.5: Geliştirilen sensör dayanım test sonuçları (5. Sayfa).

1.5. Test Edilen Kalemin Tarifi

TEKNAM Group tarafından üretilen iki adet TECH-SEN VA-102 ve bir adet TECH-SEN VAM-102 model gerçek boyutlu rüzgar yön ölçer ile üç adet TECH-SEN AN-102 model gerçek boyutlu anemometre.

1.6. Testin Başarım Kriteri

Testlerin başarım kriteri, istenen hız ve sürede testlerin gerçekleştirilmesidir.

1.7. Test Sırasında Kullanılan A/G/A ve Malzeme

Ankara Rüzgar Tüneli hız ölçüm sistemi kullanılarak akış parametreleri ölçülmüştür. Tüm ölçerlerin "Kalite Yönetimi" esasları gereği kalibrasyonu gerçekleştirilmektedir.

1.8. Test Şartları/Prosedürleri/Teknikleri

"Hata! Başvuru kaynağı bulunamadı." bölümünde detayları verilen aparat ve test numuneleri rüzgar tüneli test odasına bütünlenmiş, yaklaşık 5 dakikada 75 m/s hıza çıkılmış, yukarıda ayrıntıları verildiği şekilde testler gerçekleştirilmiş ve yaklaşık 5 dakikada akış durdurularak test sonlandırılmıştır.

1.9. TEST SONUÇLARI

1.9.1. Test Kayıtları / Verileri

Test sorumluluğu sadece istenen konfigürasyonda ve hızda akışın sağlanması olup akış koşulları Tablo 1'de verilmiştir. İlk değerler rüzgar yönölçer testlerine, ikinci değerler anemometre testlerine aittir.

Tablo 1 Akış Koşulları

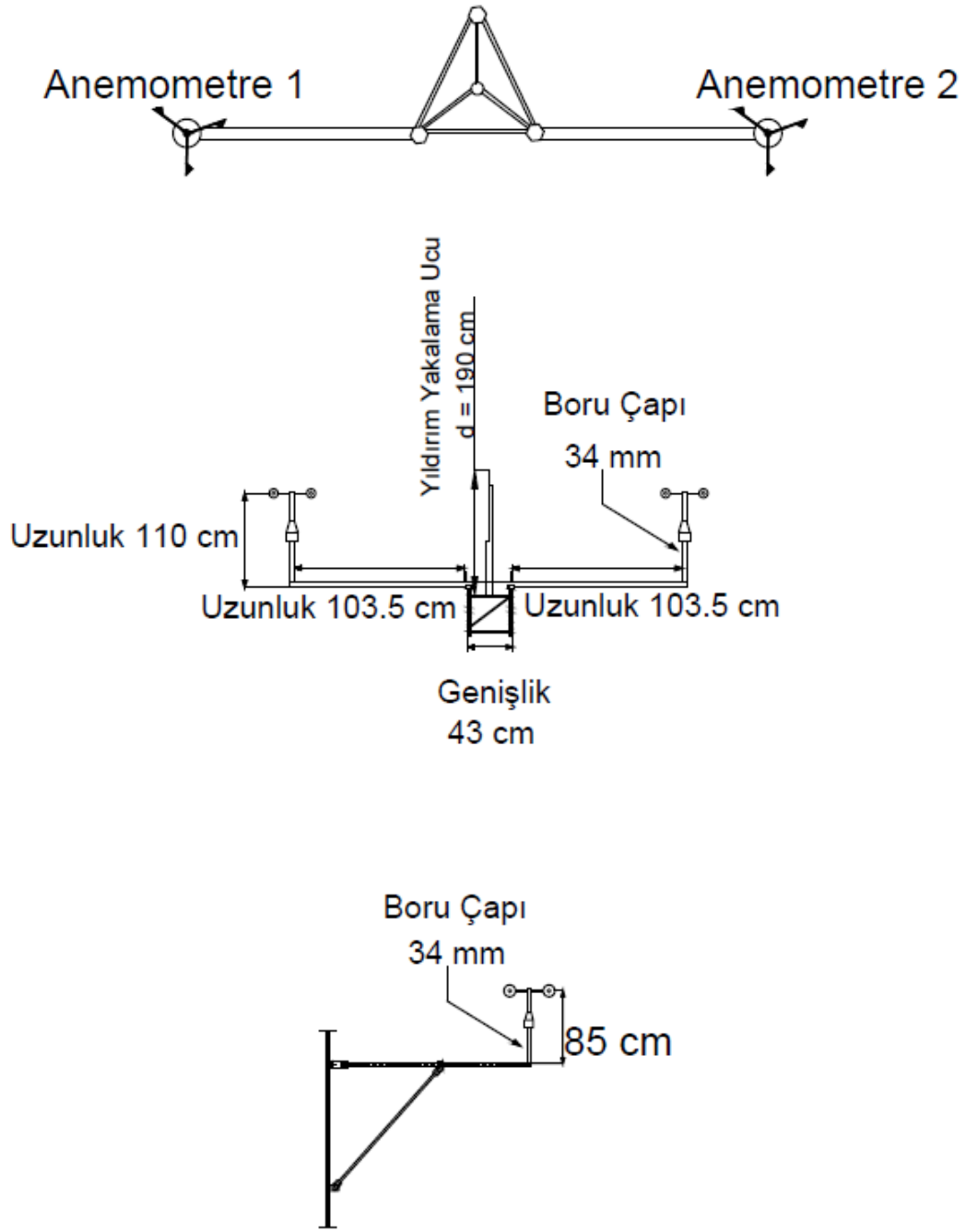
Test Hızı (m/s)	Yoğunluk (kg/m ³)	P _{atm} (psi)	T _{atm} (C°)
75,4-75,16	1,056- 1,049	13,27	28,70- 30,83

1.9.2. Başarım Kriteri Karşılaştırması

TÜBİTAK-SAGE açısından testlerin başarım kriteri istenen koşul, hız ve sürelerde testlerin gerçekleştirilmesi olduğundan, testler başarılı olmuştur.

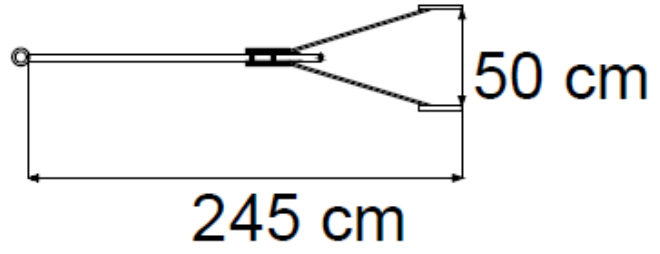
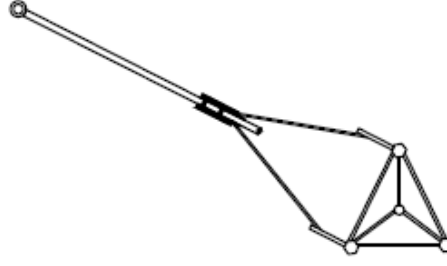
Şekil B.6: Geliştirilen sensör dayanım test sonuçları (6. Sayfa).

EK C



Şekil C.1: Rüzgar ölçüm direği bağlantı kolları teknik çizimleri.

Anemometre ve Yn Sensörü için Yan Kol



Şekil C.2: Rüzgar lm direği yan kol teknik izimi.



ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad : Uğur KARAKAYA
Doğum Tarihi ve Yeri : 17.03.1985
E-posta : ugurkkaya@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2004, Gazi Üniversitesi, Gazi Eğitim Fakültesi, Fizik

MESLEKİ DENEYİM

- 2012- . Teknam Teknoloji ve Enerji firmasında Ar-Ge Tasarım Mühendisi.