



Yarımada Yüksek Rüzgar Ölçüm Direği

Program Kodu: ERANET

Proje No: 215M384

Proje Yürütücüsü:
Dr. Öğr. Üyesi Ferhat BİNGÖL

Araştırmacı(lar):
Prof. Dr. Gülden Gökçen AKKURT

Bursiyer(ler):
Ar. Gör. Faruk TUNA

Nisan 2019
İZMİR

Önsöz

Yeni Avrupa Rüzgar Atlası (New European Wind Atlas - NEWA) projesi 1990'ların sonlarında geliştirilmiş olan Avrupa Rüzgar Atlası (European Wind Atlas - EWA) metodolojinin güncellenmesi için başlatılmış 15 Nisan 2015 ile 15 Nisan 2019 arasında devam eden 8 ülkeden 29 kuruluşun katıldığı bir ERANET projesidir.

Elinizde tuttuğunuz bu sonuç raporu NEWA projesi altında İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü (İYTE), Enerji Sistemleri Mühendisliği (ESE) bölümünde yürütülen alt projelerden biri olan "Yarımada Yüksek Rüzgar Ölçüm Direği" projesinin sonuçlarını içerir. Proje 15 Ekim 2015 ile 15 Nisan 2019 arasında yürütülmüş ve raporda sunulan çıktılarına ulaşılmıştır.

Öncelikle projeye katılmamız için bizi teşvik eden ve projemizi desteğe uygun gören TÜBİTAK yöneticilerine ve projenin her aşamasında bize destek olan üniversite rektörlüğümüze teşekkür ederiz. Bölümümüz ve dekanlığımız destekleride bir çok zorluğun aşılmasında kilit rol oynamıştır. Ayrıca, yabancı proje ortaklarımızın ilgisi ve desteği de projenin sağlıklı ve uyumlu tamamlanmış olmasında önemli bir etken olarak görüyoruz.

Çalışmamız iki adet bilimsel makale ve bir adet sempozyum sunumuna vesile olmuştur. Kurulan ölçüm direği Türkiye'nin benzer yükseklikteki ilk ve tek araştırma amaçlı ölçüm direğidir.

Ferhat BİNGÖL
Dr. Öğr.Üyesi
Urla, İZMİR
Nisan 2019

İçindekiler

1 Giriş	1
1.1 NEWA Projesi	1
1.2 Yarımada Yüksek Rüzgar Ölçüm Direği Projesi	3
2 Deneysel Hazırlık	6
2.1 Saha sınırlarının belirlenmesi	7
2.2 Hizmet Alımı ve Kurulum	14
3 Genel Rüzgar İstatistikleri	18
4 Senelik Weibull Analizi	23
4.1 Dağılım Analizi	23
4.1.1 Empirik Metot (EM)	25
4.1.2 Maksimum Olabilirlik Yöntemleri (MOY)	25
4.1.3 Düzenlenmiş Maksimum Olabilirlik Yöntemleri (DMOY)	25
4.1.4 En Küçük Kare Fit Yöntemi (EKY)	26
4.1.5 WASP Metodu	26
4.2 Bulgular	27
5 Kararsızlık Analizi	31
5.1 Karışım Yüksekliği Teorisi	32
5.1.1 3D Yüksek Frekanslı Ölçümlerle MOST	34
5.1.2 Richardson Yöntemi	35
5.1.3 Akı Profil (F-P) İlişkileri	36
5.1.4 Rüzgar Kesme Hızı Yöntemi	37
5.2 Deneysel Düzenek	37
5.3 Bulgular	39
6 Proje Sonuçları ve Çıktılar	67
6.1 Yayınlar	67
6.2 Çalıştay	68

Şekil Listesi

2.1	Güncel İYTE yerleşke sınırları	6
2.2	İYTE kampüs alanı kırmızı kesik çizgiler belirtilmiştir. Mavi çizgiler yolları, sarı alanlar planlı yaşam alanlarını, kahverengi alanlar binaları gösterir.	7
2.3	Yaşam alanları, binalara ve yollara eklenen 200m tampon	8
2.4	İYTE kampüs alanı kırmızı kesik çizgiler belirtilmiştir. Mavi çizgiler yolları, sarı alanlar planlı yaşam alanlarını, kahverengi alanlar binaları gösterir.	8
2.5	Seçilen Noktalar	9
2.6	Modelleme alanı. Deniz seviyesinden yükseklik [m]	11
2.7	Modelleme Alanı. Pürüzlülük [m]	11
2.8	Vektör formatına dönüştürülmüş ve birleştirilmiş dijital harita	12
2.9	(Solda) Saha sınırları ve arazi eğimi [°] (Sağda) Saha içinde arazi eğimi 17° üstünde olan noktalar (kırmızı) ve daha düz araziler (yeşil).	13
2.10	Seçilen noktanın rüzgar frekansı değerleri (solda) ve Weibull parametereleri (sağda)	14
3.1	Ölçüm direği (kırmızı nokta) Türkiye'nin Batı ucu olan Çeşme yarım adasında bulunan Urla ilçesindeki kampüsümüz sınırları içindeki bir noktadır.	18
3.2	3 km yarıçap 250m aralıklarla çizilmiş ölçüm direği çevresi grafiği. Rüzgar yönleri 12 eşit sekötre bölünmüş olup her biri 30°'dir. İlk sektör 0'dan başlamaktadır. Beyaz rakamlar sekötr numaraları olarak belirlenmiştir. (Fotoğraf: Google Earth)	19
3.3	Dikey hız ve yön profilleri.	20
3.4	Senelik veriden üretilmiş saatlik ortalamalar	21
4.1	Omni-directional results. Number of samples are 52559	28
4.2	Group I; Sectors 1 to 2, Wind direction between 345° - 45°. Number of samples are 29629	28
4.3	Group II; Sectors 3 to 5, Wind direction between 45° - 135°. Number of samples are 2551	29
4.4	Group III; Sectors 6 to 7, Wind direction between 135° - 195°. Number of samples are 8580	29
4.5	Group IV; Sectors 8 to 12, Wind direction between 195° - 345°. Number of samples are 11799	30
5.1	IYTE 100 m ölçüm direğinin konumu	38
5.2	2018-2019 yılı 10 m' de ki hız dağılımı	40

5.3	Aylık bazda ki hız değişimi	40
5.4	2018-2019 yılı 30 m' de ki hız verileri değişimi	41
5.5	30 m' de ki aylık hız değişim grafiği	41
5.6	2018-2019 yılları 52 m' den alınmış ölçüm değerleri zaman serisi	42
5.7	52 m' de ki ölçümlerin Ağustos ayı değişimi	42
5.8	2018-2019 yılları 76 m' den alınmış ölçüm değerleri zaman serisi	43
5.9	76 m' de ki ölçümlerin Ağustos ayı değişimi	43
5.10	2018-2019 yılları 101 m' den alınmış ölçüm değerleri zaman serisi	44
5.11	101 m' de ki ölçümlerin Ağustos ayı değişimi	44
5.12	Aylık bazda ortalama hız değerleri dağılımı	45
5.13	2018-2019 arası ölçümü yapılmış tüm noktalardaki hız değerleri	45
5.14	2018-2019 yılları 3 m' den alınmış sıcaklık ölçüm değerleri zaman serisi	46
5.15	3 m' de ki sıcaklık ölçümlerin Ağustos ayı değişimi	46
5.16	2018-2019 yılları 10 m' den alınmış sıcaklık ölçüm değerleri zaman serisi	47
5.17	10 m' de ki sıcaklık ölçümlerin Ağustos ayı değişimi	48
5.18	2018-2019 yılları 35 m' den alınmış sıcaklık ölçüm değerleri zaman serisi	48
5.19	35 m' de ki sıcaklık ölçümlerin Ağustos ayı değişimi	49
5.20	2018-2019 yılları 52 m' den alınmış sıcaklık ölçüm değerleri zaman serisi	50
5.21	52 m' de ki sıcaklık ölçümlerin Ağustos ayı değişimi	50
5.22	2018-2019 yılları 90 m' den alınmış sıcaklık ölçüm değerleri zaman serisi	51
5.23	90 m' de ki sıcaklık ölçümlerin Ağustos ayı değişimi	51
5.24	2018-2019 yılları 3 m' den alınmış nem ölçüm değerleri zaman serisi	52
5.25	3 m' de ki nem ölçümlerin Ağustos ayı değişimi	52
5.26	2018-2019 yılları 35 m' den alınmış nem ölçüm değerleri zaman serisi	53
5.27	35 m' de ki nem ölçümlerin Ağustos ayı değişimi	53
5.28	2018-2019 yılları 90 m' den alınmış nem ölçüm değerleri zaman serisi	54
5.29	90 m' de ki nem ölçümlerin Ağustos ayı değişimi	54
5.30	2018-2019 yılları 2 m' den alınmış basınç ölçüm değerleri zaman serisi	55
5.31	2 m' de ki basınç ölçümlerin Ağustos ayı değişimi	55
5.32	2018-2019 yılları 90 m' den alınmış basınç ölçüm değerleri zaman serisi	56
5.33	90 m' de ki basınç ölçümlerin Ağustos ayı değişimi	56
5.34	2018-2019 yılları 10 m' de ki ısı akısı değerleri zaman serisi	57
5.35	10 m' de ki ısı akısı değerleri Ağustos ayı değişimi	57
5.36	2018-2019 yılları 52 m' de ki ısı akısı değerleri zaman serisi	58
5.37	52 m' de ki ısı akısı değerleri Ağustos ayı değişimi	58
5.38	2018-2019 yılları 10 m' de ki boyutsuz Obukhov yükseklik değerleri zaman serisi	59
5.39	10 m' de ki boyutsuz Obukhov yükseklik değerleri Ağustos ayı değişimi	59
5.40	2018-2019 yılları 52 m' de ki boyutsuz Obukhov yükseklik değerleri zaman serisi	60
5.41	52 m' de ki boyutsuz Obukhov yükseklik değerleri Ağustos ayı değişimi	60
5.42	2018-2019 yılları 10 m' de ki hava yoğunluğu değerleri zaman serisi	61
5.43	10 m' de ki hava yoğunluğu değerleri Ağustos ayı değişimi	61
5.44	2018-2019 yılları 10 m' de ki yatay rüzgar geliş açısı değerleri zaman serisi	62

5.45 10 m' de ki rüzgar geliş açısının Ağustos ayı değişimi	62
5.46 2018-2019 yılları 52 m' de ki yatay rüzgar geliş açısı değerleri zaman serisi . . .	63
5.47 52 m' de ki rüzgar geliş açısının Ağustos ayı değişimi	63
5.48 Akı profil(F-P) denklemlerinin analitik çözümü	64
5.49 F-P ve Richardson ilişkileri ile yapılan empirik yaklaşım sonuçları	65
5.50 α ve ζ kullanılarak elde edilen kararsızlık sınıflarının karşılaştırılması	66

Tablo Listesi

2.1	Seçilen noktalar; https://parselsorgu.tkgm.gov.tr/ adresinden İzmir ili için sorgulanarak daha detaylı bilgi alınabilir.	10
2.2	Referans Rüzgar Ölçüm verileri.	10
2.3	Rüzgar Ölçüm İstasyonunda Kullanılacak Sensörlerin Asgari Özellikleri	16
2.4	Rüzgâr Ölçüm İstasyonunda Kullanılacak Ultrasonic 3D Sensörünün Asgari Özellikleri	16
3.1	İYTE Direğinde bulunan cihazların listesi. 10 ve 52m yükseklikte iki adet sonik anemometre bulunmaktadır.	18
3.2	Rüzgar yönleri ve konuma göre bilgiler	19
3.3	Aylık istatistikler	21
3.4	Sektörel istatistikler	22
4.1	Selected studies related to the estimation of Weibull distribution of last 20 years and the estimation of Weibull parameter methods used.	24
5.1	Kararsızlık sınıfları ile kesme hızı üsteli (Van den Berg, 2008)	37
5.2	Türetilmiş parametreler	39

Özet

“Yarımada Yüksek Rüzgar Ölçüm Direği” projesinde iki temel konu çalışılmıştır. (i) Rüzgar enerjisi yatırımları yerinde ölçüm yapma gerekliliğine sahiptir. Rüzgar mühendisliği dalında sıkça kullanılan Weibull olasılık dağılımı rüzgarın yüksek ve devamlı olduğu yerlerde kolaylıkla iki parametrelili Weibull dağılımına uymaktadır. Ancak, değişken rüzgar koşullarında bu işlem adımlarında zorluklar yaşanır. Bu çalışmada 101m meteoroloji ölçüm direği kullanılarak bir çok farklı dağılım metodu test edilmiş ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. (ii) Modelleme ve türbin üstüne gelen gerçek yüklerin hesabında ise kararlılık analizi çalışması önemli bir yer tutmaktadır. Çünkü, atmosferin farklı konularına göre logaritmik rüzgar profilinden sapan dikey rüzgar karakteristiği değişmekte ve bunun düzgün olarak hesaplanamadığı durumlarda fazla ya da eksik üretim tahmini yapılmaktadır. Her iki durumda da oluşturulan ekonomik model yatırımcı için sorun çıkarmaktadır. Türkiye’de hali hazırda kurulu 1500’e yakın direk ve daha önce ölçüm yapılmış olan başka yerlerdeki yine binden fazla direkte kararlılık analizi yapacak bir ölçüm cihazı yapılması yoktur. Bu projenin ikinci ayağında amacımız kurulan 101m yükseklikteki direği kullanarak ölçüm cihazı yetersiz direklerde de kararlılık analizi yapabilen bir yöntem geliştirmek ya da hali hazırda var olan modellerin sağlamasını yapmaktır.

Elde edilen çıktılar bu rapor içinde sunulmuştur. Raporun beşinci bölümü “Kararsızlık Analizi”, konuyu tez çalışması olarak üstlenmiş bursiyer Ar.Gör. Faruk Tuna tarafından yazılmıştır. Bu bölüm aynı zamanda bursiyerin, danışmanı Dr. Öğr. Üyesi Ferhat Bingöl ile birlikte yaptığı tez çalışmasının da bir özetidir. Rapordaki geriye kalan çalışmalar Dr. Öğr. Üyesi Ferhat Bingöl tarafından yapılmış ve hazırlanmıştır.

Abstract

In “Peninsula Tall Tower” project, two main topics are studied. (i) Wind energy investment requires in-situ measurement which is advised by several regulations and standards. At locations with wind distribution fitting to the Weibull distribution function, it is rather easier to parameterize wind resource since two parameter Weibull function would successfully define a resemble average wind characteristics. Nevertheless, there is a problem of Weibull fitting for diverse winds where the form of the wind distribution wanders from expected. Such case brings the question, if a Weibull estimation method can be better than any other one. In this study, data from 101 m meteorological mast has been used to test several estimation methods and the results are compared. (ii) Flow modeling and calculation of forces applied to a turbine is an important subject in load control. At the different conditions of atmosphere the vertical wind profiles diverts from its natural logarithmic structure and reports either lower or higher wind speeds. In both cases, the economic model that has been put in to plan causes financial problems in the future of the wind farm. In Turkey, there almost 1500 meteorological masts are present and over 1000 masts are previously measured different locations with not enough instrumentation for stability analysis. In the second part of this study, we have studied on creating a simplified model to calculate stability conditions and validate and compare this method to already available ones with the 101m mast.

Results achieved by the project has been presented in this report. Chapter 5 is written by the Research Assistant Faruk Tuna who has studied on the subject for this MSc thesis under the supervision of Assist.Prof Ferhat Bingöl. This chapter is also a long abstract of the thesis report. The rest of the studies has been done by the Assist.Prof. Ferhat Bingöl and prepared for this report.

Bölüm 1

Giriş

Rüzgar enerjilerinde yatırım yapmanın ilk adımı, tercih edilen sahanın rüzgar karakteristikleri hakkında bilgi sahibi olmaktır. Bu da günümüzde halen ilgi duyulan sahayı temsil edecek bir noktaya ölçüm direği kurup veri toplamakla mümkündür (IEC, 2005; MEASNET, 2016). Yakın zamanda uzaktan algılama cihazlarının dikey rüzgr profillerinin çıkartılmasında başarılı bir yöntem olarak bilindiği doğru olsa dahi özellikle Türkiye gibi kompleks arazilerde etkisi altında oldukları homojen olmayan hava akımı sebebiyle hatalara sebep olmaktadır (Bingöl vd., 2009; Bradley vd., 2012; Vasiljevia vd., 2017; Mann vd., 2018). Bu sebeple, bir rüzgar tarlasının yatırımının yapılmasında ölçüm direkleri halen ana ölçüm yöntemi olarak ve uzaktan algılama cihazları ise hava akımının detaylı incelenmesi için sadece yardımcı cihazlar olarak kullanılmaktadır.

Bilinen ölçüm direkleriyle noktasal veri toplanması için direk sahayı temsil edebilecek bir noktaya dikilmelidir. Bazen bir direk yetmediği durumlarda bir den fazla direk kullanılabilir. Bu direklerde hız, yön ve atmosferik parametre ölçerler (basınç, bağıl nem ve sıcaklık gibi) dışında çoklu veri ölçme yeteneğine sahip sonik ölçerler de kullanılabilir.

Bu sonuç raporuna konu olan gerek çok ortaklı ERANET projesi gerekse üniversitemizde yürüttüğümüz alt proje işte bu ihtiyaç bulunan ölçüm tekniklerinde ihtiyacı en aza indirme ve düşük belirsizlikte atlaslar oluşturmak için oluşturulmuştur. Raporunun bu bölümünün geri kalanında proje hakkında bilgi sunulmuştur.

1.1 NEWA Projesi

Rüzgar atlasları en yaygın olarak kullanılan fizibilite kaynağıdır. Rüzgar atlasları kullanılarak ölçüm noktasından alınan veri başka bir konuma taşınarak bir rüzgar türbininin üreteceği yıllık enerji hesaplanarak yatırıma değer olup olmadığı anlaşılır. Daha önce ön çalışmaları Danimarka sınırları içinde yapılan yöntembilim (Petersen vd., 1981) Avrupa Komisyonunun desteğiyle tüm Avrupa'da 220 rüzgar direğinden alınan verilerle ilerletilmiş ve ilk defa 30 yıl önce Danimarka Teknik Üniversitesinde (DTU), Avrupa Rüzgar Atlası (Troen ve Petersen, 1989) çalışmasında kullanılmıştır. Getirdiği yeniliklerden dolayı tüm sektör tarafından hızla kabul edilen yöntembilim, 110 ülkede 80'i lokal ve 30'u ülke çapında olmak üzere rüzgar atlaslarının

oluşturulmasında kullanılmıştır¹. Aynı zamanda, Rüzgar Atlası Analiz ve Uygulama Programının (Wind Atlas Analysis and Application Program-WAsP) temelini oluşturan yöntem bilim şu anda 4300 üzerinde kullanıcıya sahip sektörün lider yazılımıdır². WAsP çekirdeğinin lisansı alınarak üretilen windPRO³ ve Wind Farmer⁴ yazılımları da pazarda yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Özetle metodoloji şu an için akademik ve sektör çerçevesinde en çok kullanılan bilimsel metottur. Türkiye’de de tüm dünyayla paralel geniş bir şekilde kullanılmaktadır.

Metodoloji zaman içerisinde bazı güncellemelerden geçmiştir. İlk çalışma rüzgar direklerinden alınan verilerin Gözlemlenmiş Rüzgar Klimatolojisine (Observational Wind Climate–OWC) dönüştürülmesi ile başlatılmıştı. Sadece noktasal bir veri olan OWC istatistik bilgisi ölçümün yapıldığı noktadaki yükseklik, pürüzsüzlük (roughness) ve engeller dikkate alınarak bunların etkisinden temizlenmekte ve Gözlemlenmiş Rüzgar Atlasına (Observed Wind Atlas – OWA) dönüştürülmekteydi. Bu üretilen atlas bilgisinin 20km ila 50km yarıçapında (arazinin yapısına göre) bir alanı temsil ettiği var sayılarak başka bir noktadaki yükseklik, pürüzsüzlük ve engel bilgileri dikkate alınarak atlas verisinden yeni nokta için yeni bir yerel veri elde edilmekteydi (Petersen ve Troen, 1985). Bir süre sonra, bu tür bir yöntem ile fizibilite çalışmaları geniş araziler için yapmak zorlaşınca (Mortensen vd., 2008) Sayısal Rüzgar Atlası (Numerical Wind Atlas – NWA) teorisi geliştirildi (Badger vd., 2006; Mortensen vd., 2006; Hasager vd., 2011; Badger ve Ejsing Jørgensen, 2011; Volker vd., 2012). Bu yöntemde bir noktada ölçüm yapmak yerine ilgilenen bölgede modeller (Badger vd., 2006) ve re-analysis (GMAC, 1981; Kanamitsu vd., 2002; UCAR, 2002) verileri ile doğrudan bir atlas yaratılabilmektedir. NWA metodu ile oluşturulan atlas noktaları belirli ve eşit aralıklarla dağıtılarak büyük araziler (Mortensen vd., 2014), ülkeler (Tammelin vd., 2013) ya da kıtaların (Badger ve Ejsing Jørgensen, 2011) atlasları çıkartılabilmektedir. NWA bazı açılardan yetersizdir. Bu şekilde yaratılan atlaslar karşılaştırma ve sağlaması yapıldıkları noktalarda ve çevrelerinde tabii ki rahatlıkla kullanılabilir ancak ülkeleri ya da kıtaları kaplayan bir haritada eğer her 5km’de yeni bir atlas noktası oluşturulmuşsa tüm atlas noktalarının ve tüm sınırlar çerçevesinde sağlamasının yapılması imkânı yoktur. Dolayısıyla yüksek belirsizlikler beklenmektedir. Bu konuda daha iyi bir kullanım (best practice) geliştirilmesi için yürütülen çalışmalar da mevcuttur (Bingöl, 2014).

Tüm bu belirsizliklere gelişen rüzgar teknolojilerinin getirdiği yeni sorularda eklenince; daha büyük türbinler (Eecen vd., 2011) ya da daha fazla kompleks araziye rüzgar tarlası yapılması (Bingöl, 2010) daha iyi ve detaylı bir sayısal modelin geliştirilmesi gereksinimi doğmuştur. Bu defa sadece DTU değil Türkiye’nin de içinde bulunduğu bir çok Avrupa ülkesi projeye destek vererek Yeni Avrupa Rüzgar Atlası (New European Wind Atlas – NEWA)⁵ (Petersen vd., 2014) oluşturulması konusunda bir akademik bir birlik kurulmuştur. Projenin amacı ve sınırları yeni türbin yüksekliklerinde geçerli olan, belirsizlik ve türbülans değerleri içeren yeni bir atlas metodoloji yaratılması olarak özetlenebilir.

Bu yeni sayısal atlasın sağlaması yapılması için birçok paydaş ülkede deneyler ve teorik çalışmalar yapılacaktır. Bu deneyler içinde kompleks arazi ölçümleri, yüksek rüzgar

¹Bkz. <http://www.WindAtlas.dk>

²Bkz. <http://www.Wind.dk>

³Bkz. <http://www.emd.dk/windpro/>

⁴Bkz. <https://www.dnvgl.com/services/windfarmer-3766>

⁵Bkz. <http://www.neweuropeanwindatlas.eu/>

ölçüm direkleri, lidar destekli ölçümler, rüzgar tüneli çalışmaları, teorik çalışmaların verilerle karşılaştırılması gibi bir çok farklı deneyler bulunmaktadır. Yine NEWA deneylerden biri olan “Yarımada Yüksek Rüzgar Ölçüm Direği” çalışmasının amacı da bu sağlama çalışmalarına destek olmak ve Türkiye içinde modelin sağlamanın yapılmasını sağlayacak bir yüksek ölçüm direği kurmak ve kullanmaktır. Proje kapsamında 100m veya üstü bir rüzgar ölçüm direği stabilize analizi yapılabilecek geliştirilen sayısal yöntemin ülkemizin en çok rüzgar kapasitesine sahip bir bölgesinde tam sağlamanın yapılması imkanını verecektir. NEWA projesi paydaşlarının daha önce yürüttüğü (Sathe vd., 2013) ya da proje dışındaki merkezlerde de benzer çalışmalar (Smedman vd., 1999) yapılmıştır ancak ülkemizdekine benzer kompleks arazilere karşılık gelen bir çalışma bulunmamaktadır.

1.2 Yarımada Yüksek Rüzgar Ölçüm Direği Projesi

Yarımada Yüksek Rüzgar Ölçüm Direği projesi NEWA kapsamında 15 Ekim 2016 tarihinde başlamış ve 15 Nisan 2019’da tamamlanmıştır. Proje kapsamında üniversitemizde 1 adet yüksek ölçüm direğinin (101m) kurulması ve bu direğin gerekli ölçüm cihazlarıyla donatılması hedeflenmiş ve bu direktten alınacak verilerle NEWA sonuçlarının modelleme aşamasında kalibrasyonu sağlanarak NEWA’nın rüzgar kapasitesi en yüksek olan Batı bölgesi için yüksek kalitede sonuç vermesi hedeflenmiştir. Günümüzde bölgede (ve ülkenin diğer bölgelerinde) 80m direkler görmek mümkündür. Ancak bu direklerde yere yakın atmosferin (0-300m) stabilize yapısını inceleyebilecek ölçüm cihazları bulunmamaktadır. Bu sebeple projemiz için gerekçe doğmuştur. Proje temel olarak ölçüm direğinin kurulup kullanılmaya başlaması için 1 sene ve analizin yapılması için 2 sene olarak iki bölüme ayrılmıştır. Yüksek bir ölçüm direkleri bu projede önerildiği gibi kompleks bir arazide ölçüm için kullanılabilirse, iki farklı durum için çok yardımcı olacak bilimsel sonuçlar verecektir.

1. 2011 yılında tamamlanan ve FP6 bünyesinde desteklenen UpWind projesi öncelikli olarak 5 daha sonra 12 ve yakın bir geçmişte 20MW kapasiteli türbinlerin öncelikle açık denizde ancak daha sonra karada kullanılacağını öngörmüştür. 2015 yılı itibarıyla öngörülen ilk kademe türbin tasarımları açık denizlerde test edilmeye başlamıştır. Bu türbinlerden Siemens tarafından üretilen 6MW kapasiteli SWT-6.0-154 türbini örnek verilebilir. 75m kanat uzunluğuna sahip türbinin, rotor çapı 154m’dir. Açık denizde 102m’lik kule üstüne kurulan türbin çok farklı rüzgar rejimlerinin etkisi altındadır (Şekil.1.a). Kanatların yere en uzak olduğu nokta (A) yerden 179m yükseklikte ve yere en yakın olduğu nokta (B) ise sadece 25m yüksekliktedir. Günümüzde dünyada ve Türkiye’de kullanılan kule yüksekliğinin yüzde 75 yüksekliğinde - yani bu örnek için 76.5m yükseklikte - ölçüm yapılması gerekliliğinin, yeni nesil türbinlerde işe yaramayacağı yani kanat süpürme alanının tamamını temsil edemeyeceği açıktır.
2. Yukarıda anlatılan problem, düz bir arazide dahi olsa bir ormana yakın kurulmuş türbinleri daha fazla etkileyecektir. Türkiye’de ve dünyanın birçok bölgesinde yetişmiş bir ormanlık arazinin yüksekliği 25m civarındadır. Türbinlerin yeterince yüksek olması ya

da ormanlardan uzakta noktalara kurulması sayesinde ormanın rüzgar profiline etkisinin azami olacağı inancı var olsa da, daha önce yapılan çalışmalara göre ormanlık arazilere yakın kurulmuş türbinlerde rüzgar ormandan-türbine ya da türbinden-ormana istikametlerinden hangisinde hareket ederse etsin türbinlerin statik ve dinamik yapılarını etkileyecek oranda türbülans altında kalacakları ve alt kanat bölgesinde zararların (ör. Erken yaşlanma) oluşabileceğini öngörülmüştür. Atmosfer Stabilitesi türbinler ve kuleler üzerindeki yükleri arttırarak bir önceki başlıkta belirtilen sorunlara yol açabilir. Atmosfer Stabilitesi tek bir cümle ile "Atmosferin dikey hava akımına olan direnci" olarak özetlenebilir. Akımın kaynağı sıcaklık değişimidir ve ölçümlere göre standart atmosfer koşullarında her 1000m daha yükseğe çıktığında sıcaklık 5oC düşer. Örneğin deniz seviyesinde 20°C olan sıcaklık 4000m'de 0°C olacaktır. Bu standart koşullar atmosferin yerden ilk 2km yüksekliğe kadar olan bölümünde kuru hava sebebiyle farklı etkileşimler de gösterebilir. Bu bölgede hareket eden hava 1000m yüksekliğe gittiği varsayılsa ve o yüksekliğe ulaşsa 10°C ısı kaybına uğrar ve çevresiyle farklı bir hava sıcaklığına sahip olur. Eğer havayı bir balon gibi düşünürsek çevresinden soğuksa batma eğilimi gösterecek ve 'stable' olacak; çevresindeki havadan sıcaksa yükselme eğilimi gösterecek ve 'unstable' olacaktır. Daha farklı bir deyişle, eğer hava akımı hali hazırda bulunduğu durumda kalma ya da çökme eğilimindeyse 'stable', eğer başka bir etken olmadan yükselme eğilimindeyse ise "unstable" olarak adlandırılır. Bilimsel çalışmalarda hava akımının durumu 5 kademe ile tanımlanır; (i) çok unstable, (ii) unstable, (iii) neutral (iv) sTablo ve (v) çok stable. Atmosfer stabilitesinin rüzgar enerjilerini ilgilendiren yere yakın ilk 300m ile bağlantılı ilk çalışmaları Obukhov 1912'de yayınlanmış (İngilizcesi 1951'de yayınlanmıştır (A.M, 1951)) ve uzunluk ölçeği (length scale), L, hesaplaması gösterilmiştir. Ortak çalışma sonrası (Monin ve Obukhov., 1954) tarihinde L parametresine dayalı Monin-Obukhov Benzerlik Prensibi (Monin-Obukhov Similarity Theory - MOST) adı altında bir metot geliştirmişlerdir. Metot sayesinde atmosferik stabilite hesaplanabilir. Metot hakkında detaylı bilgi ileriki bölümlerde sunulmuştur.

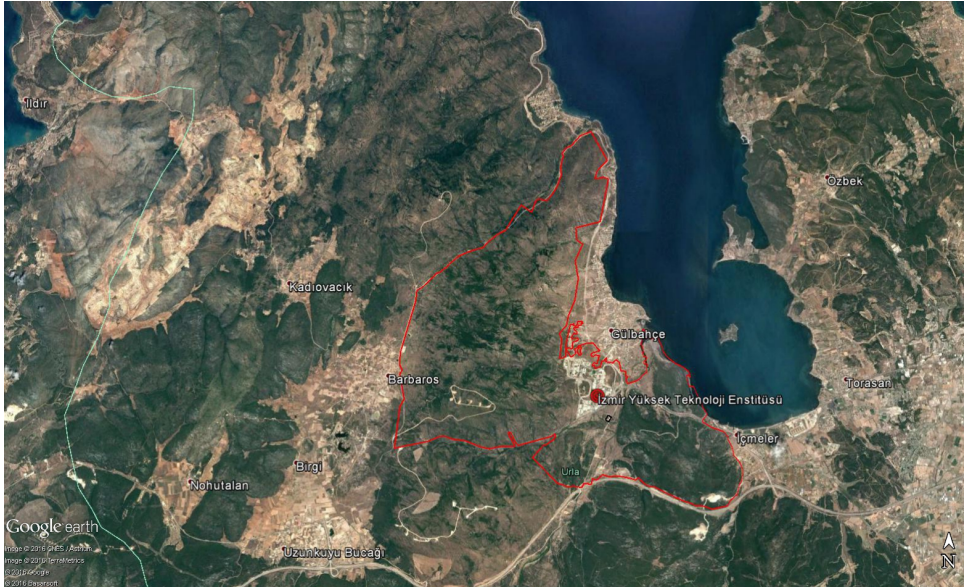
NEWA projesindeki gereksinimleri karşılaştırmak için ölçüm direğinde en az 5 rüzgar hızı ölçüm cihazı ve 3 rüzgar yön ölçüm cihazı konuşlandırılması planlanmıştır. Bunlara ek olarak sıcaklık, basınç ve nem ölçümlerinin yapılması sayesinde atmosferik stabilite analizi yapılabilecektir (Sathe vd., 2011). Bu sayede toplanan veriden Obukov yüksekliği hesaplaması yapılabilecek ve Monun-Obukov benzerlik teoremi (Monin ve Obukhov., 1954) kullanılarak stabilite güncellemesi yapılabilecek ve modellerde kullanılan logaritmik rüzgar profili yenilenebilecektir. Ayrıca, bir çok modelleme yazılımı atmosferde sadece neutral durumda var olan veriye kullanabilmektedir, çünkü diğer formları (sTablo ve unstable) dikkate almamaktadır. Dolayısıyla direkt alınacak verilerin neutrel başta olmak üzere ayrıştırılması ve modellemelerin bu veriler kullanılarak yapılması gerekmektedir. Ya da, atmosfer stabilitesini destekleyen bir modelleme yazılımı kullanılıyorsa belirli parametrelerin hesaplanıp girdi olarak verilmesi gerekmektedir. Rüzgar enerjilerinde dikey rüzgar profilleri türbin kanat bölgesine gelecek rüzgarın hesabında kullanılır ve kritik bir bilgidir. Günümüzde bazı mühendislik yöntemleri sadece güç kanunu (power law) kullanılarak yani sadece yere yakın bir noktada ölçülmüş rüzgar verisinin sadece

tek bir eksponent değişken ile yukarı bir noktaya - genel de türbin yüksekliğine - aktarılması ile kullanılır. Oysa ki, yüksekliği 2km'yi bulan Atmosferik Sınır Tabaka'da (Atmospheric Boundary Layer - ABL) dikey rüzgar profili doğasında logaritmik bir profildir ve özellikle ABL'in yüzde 5 ila 10'lük bölümünü oluşturan yere yakın yüzey tabaka (surface layer) bölgesinde logaritmik rüzgar profili (logarithmic wind profile) kullanılmalıdır.

Bölüm 2

Deneyisel Hazırlık

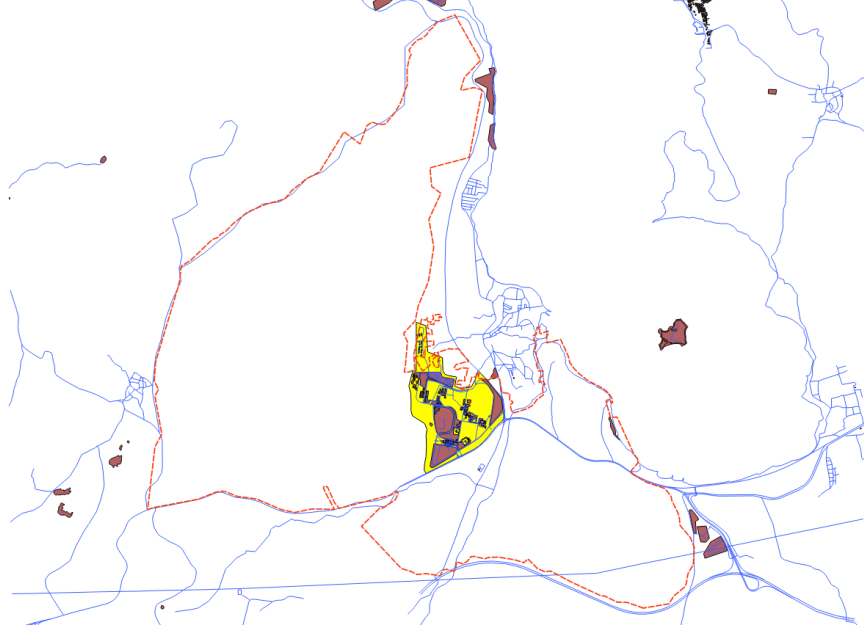
İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü 132.000 m^2 'ye yakın bir kapalı alanda eğitim-öğretim ile araştırma faaliyetleri sürdürülmekte olup kampüsün toplam alanı 3500 hektardır. Yerleşke sınırları belirli olmakla birlikte (Şekil 2.1) bazı kamulaştırılmış araziler üzerinde devam eden davalar bulunmaktadır. Dolayısıyla kurulmak istenen ölçüm direği için bir çok konum seçeneği vardır. Başvuru aşamasında direğin yolu açılmış bir tepenin üstüne konumlandırılması hedeflenmiş, rektörlük makamından izin alınmış ve başvuru aşamasında sunulmuştur. Ancak, proje başladıktan sonra bu noktaya rüzgar türbini alımı için bütçe ayrılmış ve konumun rüzgar türbinleri için özel bir konum olmasından dolayı 250kW'lık bir rüzgar türbini için kullanılmasında karar kılınmıştır. Alternatif bölgelerin sayısı artırılarak analizinin yapılmasına karar verilmiştir. Önce 3 olan alternatif direk konumları sekiz adete çıkartılmıştır. Bu bölümde yapılan inceleme ve sonuç olarak seçilen konum hakkında bilgi verilmiştir.



Şekil 2.1: Güncel İYTE yerleşke sınırları

2.1 Saha sınırlarının belirlenmesi

Saha sınırlarını belirlemek için İYTE inşaat işleri bölümünden CBS formatında kampüs arazisi hakkında veri alınmıştır. Proje dönemi boyunca bu bilgi 2 defa yenilenmiştir. Bunun temel sebebi, devam eden istimlak davalarının sonuçlandırılmasıdır. Projenin başvuru aşamasından 1nci gelişme raporuna kadar yaklaşık 40 paftanın davası sonuçlanmış ve kullanım alanı genişlemiştir (Şekil 2.2).



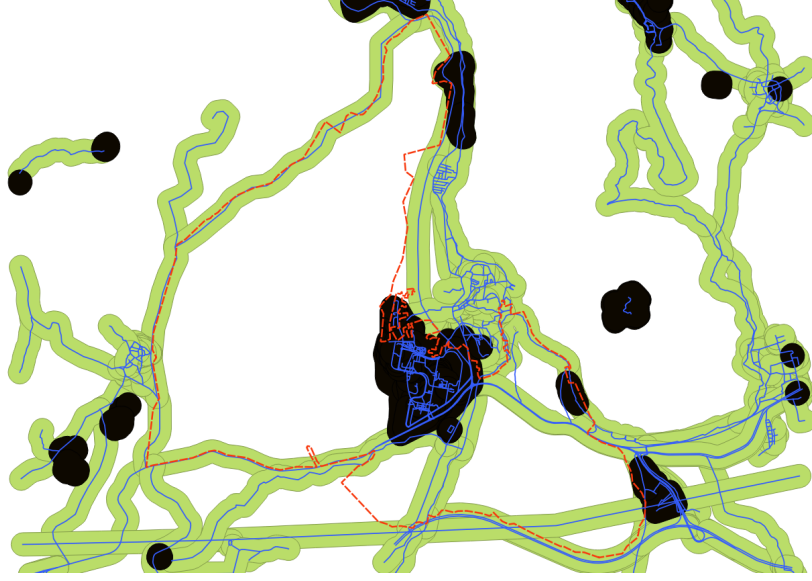
Şekil 2.2: İYTE kampüs alanı kızımsı kesik çizgiler belirtilmiştir. Mavi çizgiler yolları, sarı alanlar planlı yaşam alanlarını, kahverengi alanlar binaları gösterir.

Direk kurulumu için yasal şart olmamakla beraber yol ve evlere yüksekliği olan $h=100\text{m}$ 'nin iki katı mesafede olması genel bir uygulamadır. Diğer yandan bu aşamada arazinin orman, hazine ya da şahıs arazisi olup olmadığına bakılmamıştır. Alternatiflere göre seçim yapılması hedeflenmiştir. Direk konulabilecek yerlerin tespiti için şu şartlar ön koşul sayılmıştır:

1. Direk en yakın yaşam alanından 200m uzakta olmalıdır
2. Direk tüm araç trafiğine açık 1nci ve 2nci sınıf yollara 200m uzakta olmalıdır
3. Sahanın davalık olmaması ve arazi türünün bilinmesi (Hazine, orman vb.)

Bu alanı hesaplamak için;

- i Kampüs arazisi içinde kalan yollara ve yaşam alanlarına 200m dış-tampon uygulanmış (Şekil 2.3),
- ii Daha sonra (ii)'de elde edilen arazi kampüs alanından çıkartılmıştır (Şekil 2.4).

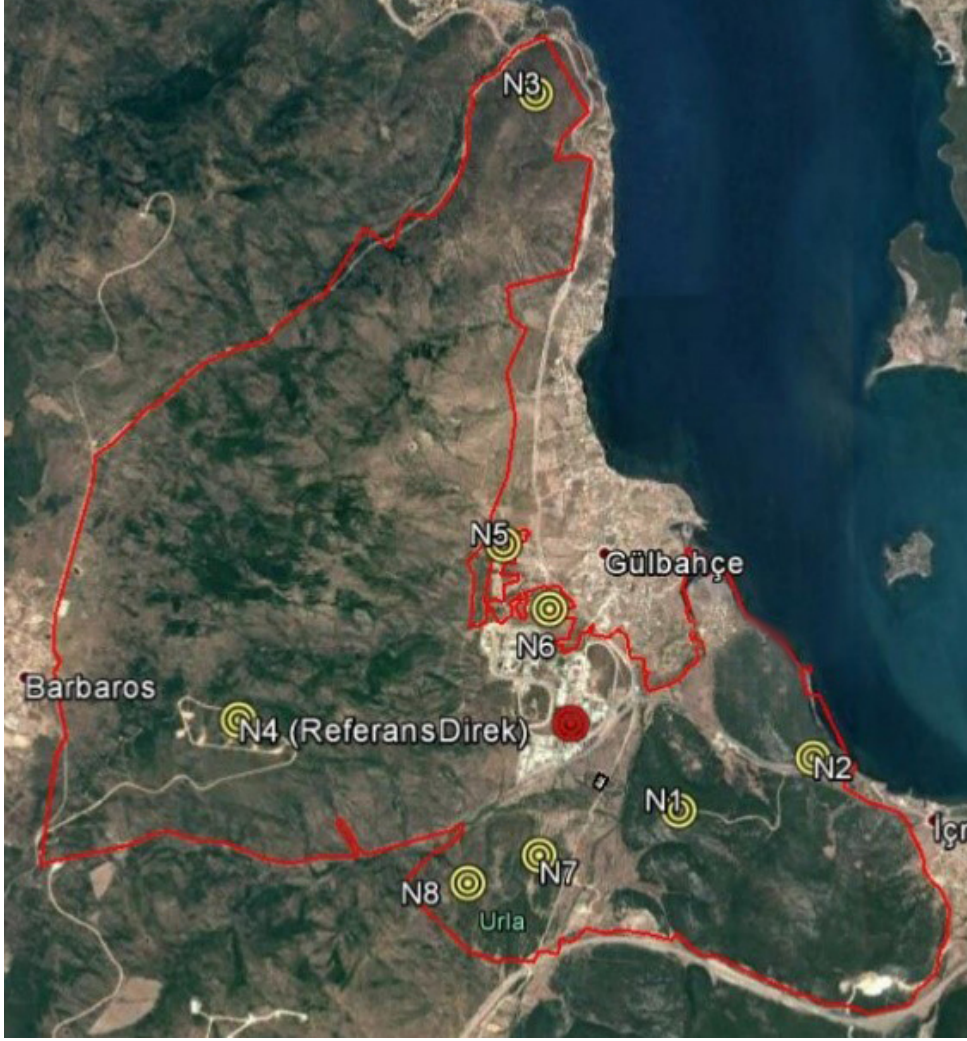


Şekil 2.3: Yaşam alanları, binalara ve yollara eklenen 200m tampon



Şekil 2.4: İYTE kampüs alanı kırmızı kesik çizgiler belirtilmiştir. Mavi çizgiler yolları, sarı alanlar planlı yaşam alanlarını, kahverengi alanlar binaları gösterir.

Kullanım alanının belirlenmesinden sonra sahadaki ulaşılabilir noktaların görülebilmesi ve aday noktaların listelenmesi için bir saha ziyareti yapılmıştır. Urla ve Karaburun bölgesinde Kuzey rüzgarının hakimiyeti bilindiği için Kuzey rüzgarını sorunsuz alan noktalar bulunmaya çalışılmıştır. Ayrıca aranan ikinci kıstas direğin bütçeye uygun kurulabilmesi için seçilen noktaların hafriyat gerektirmeyen, donma tehlikesi olmayan bir nokta olması tercih sebebidir. Sekiz nokta öne çıkmıştır (Şekil 2.5 ve Tablo 2.1).



Şekil 2.5: Seçilen Noktalar

İYTE sınırları içinde yer alan URLA RES tesisi 15 MW kapasiteye sahip 3MW'lık 5 türbinden oluşmaktadır. Tesis sahsında Nokta 4 konumunda bir ölçüm direği 2009 yılında koyulmuş ve 2015 yılına kadar 70m taban yükseklikte ölçüm yapılmıştır. 2015 yılında tesisin kurul aşamaları başlamış ve 2016 yılında tesis faaliyete geçmiştir. Bu ölçüm direğinin verileri sahibi olan ENDA Enerji tarafından üniversitemizle 3ncü şahıslarla ticari olarak paylaşmama şartıyla verilmiştir. Bu çalışmada bu ölçüm direğinden alınan veriler kullanılmıştır ancak verilerin yayını konusunda yapılan anlaşma gereği sadece bu verinin diğer noktalara modelleme yoluyla aktarılmış hali verilecektir. Yani, direk noktasının verisi doğrudan paylaşılmayacaktır.

Nokta4 hakkında o noktada toplanmış veriyi kullanmak dışında bir çalışma yapılmamıştır çünkü 2016 yılında kaldırılan direğin yerine yenisi konularak ölçüme devam edilmiştir. Bu sebeple, ENDA Enerji'ye direk kurma teklifi götürülmemiştir. Proje yöneticisi, yeni direkten alınacak verilerinde projede kullanabilmesi için girişimlerde bulunmaktadır.

Veri analiz edildiğinde en uzun ve kesintisiz dönemler 1 ila 5 tam sene arasında incelenmiş ve sonuçlar Tablo 2.2'de verilmiştir. Bu sonuçlar en üst noktada bulunan rüzgar hız ve yön ölçerin sorunsuz çalıştığı dönemleri ifade etmektedir. Direk noktasında donma olmadığı için

Nokta	1	2	3	4
No	68129218	68309179	68307878	68307878
Mahalle	Zeytinler	Gülbahçe	Gülbahçe	Gülbahçe
Ada	168	391	333	333
Parsel	25	27	1	1
Nitelik	Orman	Tarla	Orman	Orman
Mevkii	-	Çarpan	-	-
Pafta	L17-A-19-D	L17-A-19-D	L17-A-18-A	L17-A-18-A
Nokta	5	6	7	8
No	68308061	68308139	67576059	67576067
Mahalle	Gülbahçe	Gülbahçe	Birgi	Birgi
Ada	333	333	196	196
Parsel	280	338	17	25
Nitelik	Tarla	Tarla	Zeytinlik	Orman
Mevkii	Köyüstü	Köyüstü	Tatar	-
Pafta	L17-A-18-B	L17-A-18-B	L17-A-18-C-4, L17-A-18-C-3	L17-A-23-B-1, L17-A-18-D-3, L17-A-18-C-4

Tablo 2.1: Seçilen noktalar; <https://parselsorgu.tkgm.gov.tr/> adresinden İzmir ili için sorgulanarak daha detaylı bilgi alınabilir.

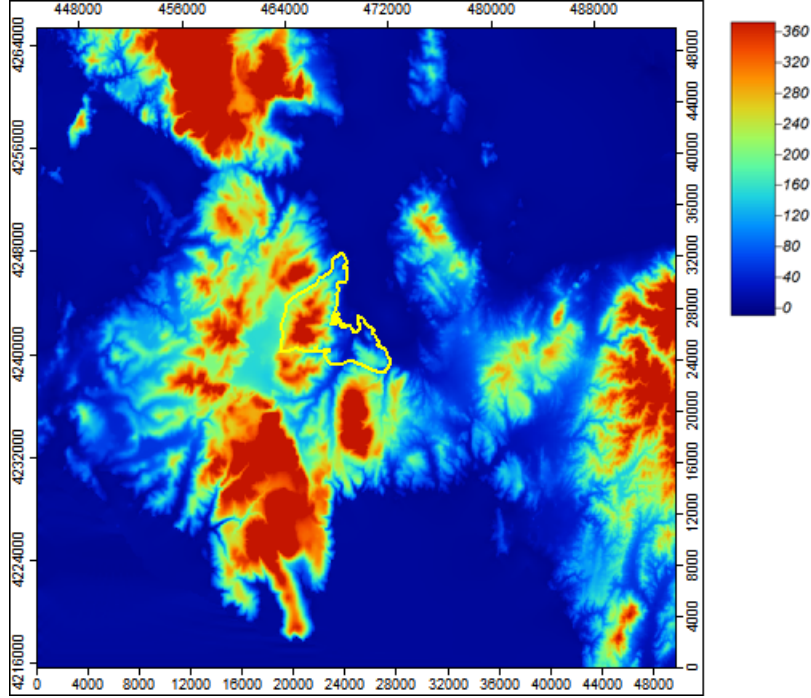
kış aylarında kayıp olmamıştır. Beş senelik verinin istatistiki verilerde ve akışkan modellemede kullanılmasına karar verilmiştir.

Yıl	Başlangıç	Bitiş	Ölçüm	Beklenen	Oran
1	2013-03-29 14:40	2014-03-29 14:40	52546	52560	100%
2	2010-04-08 15:40	2012-04-07 15:40	103120	105120	98.1%
3	2009-02-02 19:30	2012-02-02 19:30	152527	157680	96.7%
4	2010-04-08 15:40	2014-04-07 15:40	202821	210240	96.5%
5	2009-02-02 19:30	2014-02-01 19:30	250889	262800	95.5%

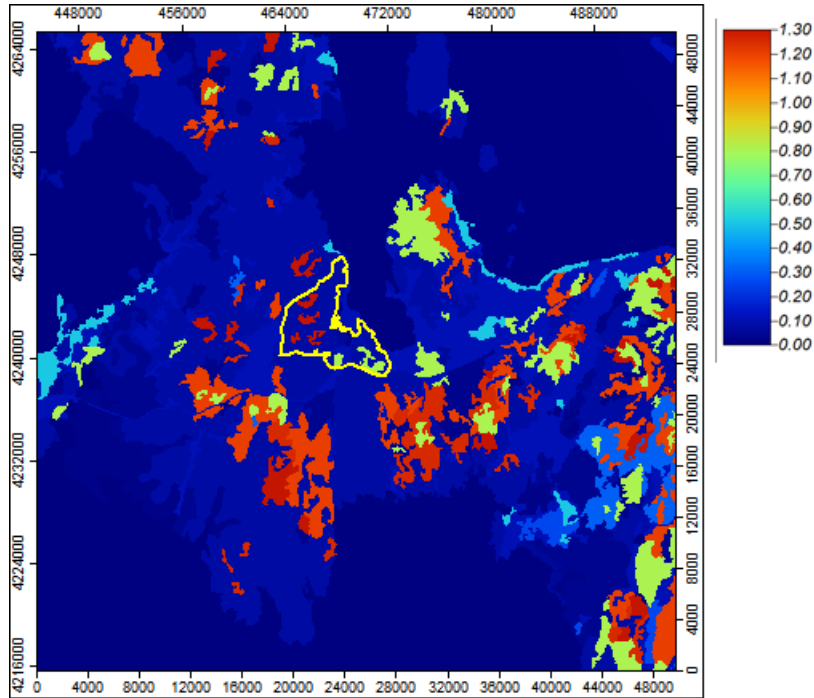
Tablo 2.2: Referans Rüzgar Ölçüm verileri.

Modelleme aşamasının ilk adımı güncel dijital harita bilgisinin hazırlanmasıdır. İki temel bilgiye ihtiyaç vardır (i) Deniz seviyesinden yükseklik (ii) Aerodinamik Pürüzlülük. İki veri içinde uydu ve yerel verilerin birleşmesinden oluşan veri grupları kullanılmıştır. Yükseklik haritası için SRTM olarak bilinen uydudan alınan dijital yükseklik modeli (Digital Elevation Model – DEM) verileri kullanılmıştır. Ağaçlık arazi barındırmayan ve deniz sınırları düzgün olarak belirlenebilen sahalarda için SRTM verisinin 4.1 sürümünün başarılı sonuçlar verdiği bilinmektedir. 0.0082 derece (90m) çözünürlükteki bu veri interpolasyon yöntemiyle 50m çözünürlüğe yuvarlanmış ve bu veriler kullanılarak yine 50m adımlı eş yükselti eğrileri oluşturulmuştur(Şekil 2.6). Pürüzlülük verileri için ise CORINE Bitki Örtüsü veri tabanı temel alınmış ve bitki örtüsü sınıfları saha ziyareti sonrası belirlenen pürüzlülük değerlerine dönüştürülmüştür. Aynı düzenleme eş yükselti eğrileri içinde yapılmıştır (Şekil 2.7). Deniz sınırları CORINE veri ta-

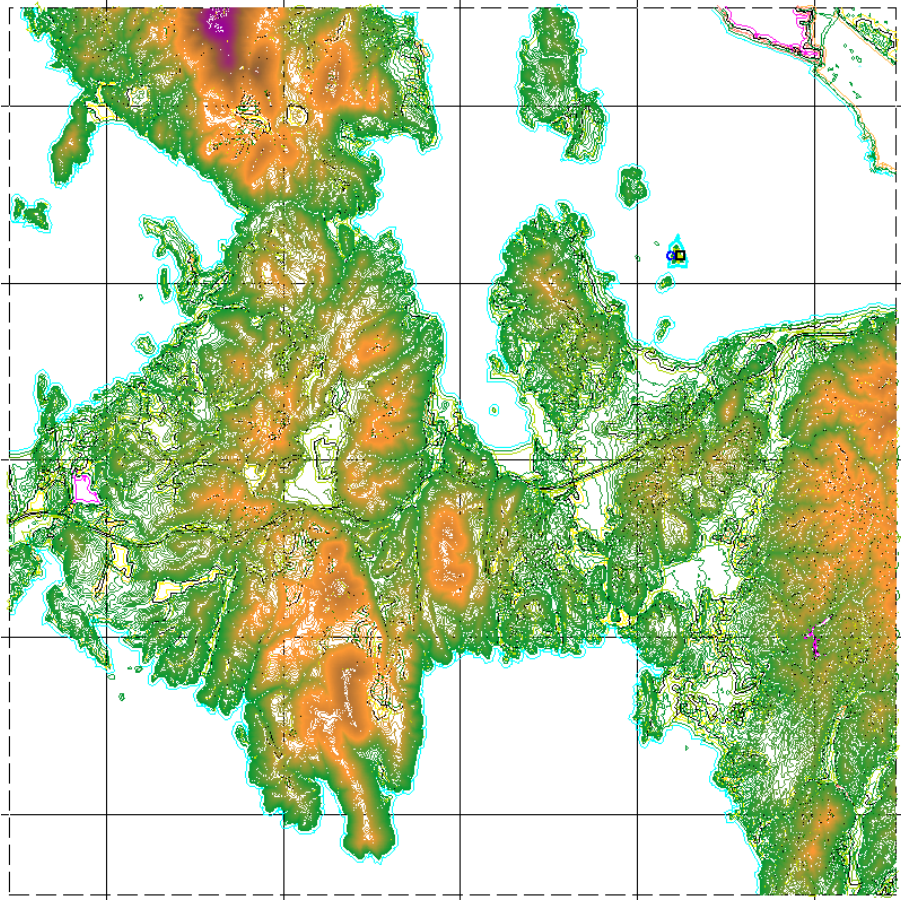
banından 523 nolu sınıfın seçimiyle 2m çözünürlükte haritalara eklenmiştir. Daha sonra haritada bulunmayan yol ve binalar haritaya eklenerek, en güncel hale getirilmiştir. Bu noktadan itibaren birleştirilmiş vektör haritalar kullanılmıştır (Şekil 2.8).



Şekil 2.6: Modelleme alanı. Deniz seviyesinden yükseklik [m]

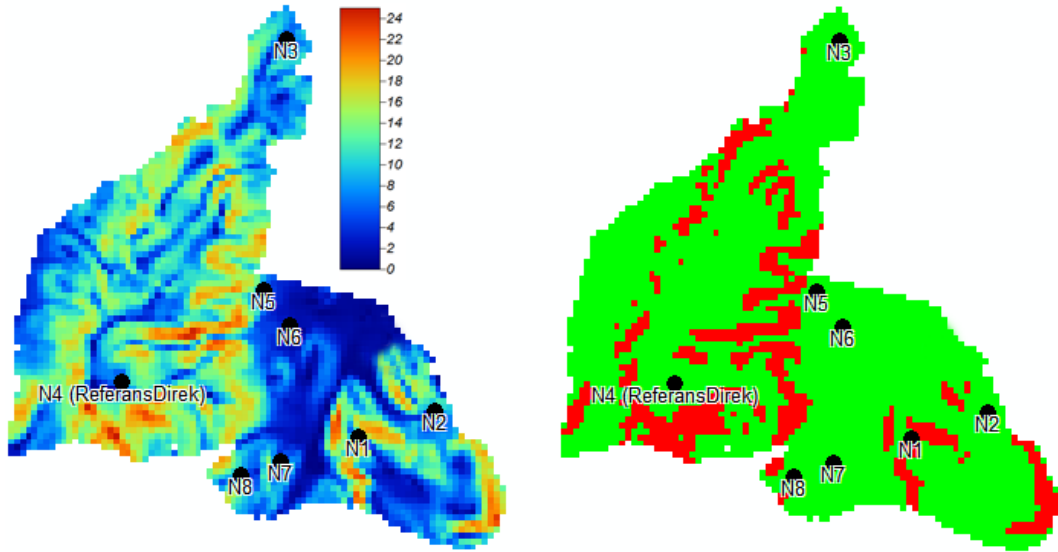


Şekil 2.7: Modelleme Alanı. Pürüzlülük [m]



Şekil 2.8: Vektör formatına dönüştürülmüş ve birleştirilmiş dijital harita

Bu aşamada, haritaların kullanılacağı model olan WAsP yazılımının sahayı modelleme kapasitesi konusunda bilgi alabilmek için arazi eğimine bakılmıştır. WAsP yazılımı IBZ modelini kullanmakta ve lineer bir model yardımıyla arazi etkisini hesaplayarak rüzgar verisini güncellemektedir. Arazi etkisi hem yükseklik hem de pürüzlülük bilgilerinden gelen verilerin birleşiminden oluşmaktadır. Çoğu zaman zor arazilerde toplanmış verilerin atlasa dönüştürülmesinde yetersiz kalabildiği gibi başka bir noktaya taşırken de hata yapabilir. Bu sebeple ölçüm ve taşıma noktalarının tümünde sistemin öngörülen standartlar içinde çalıştığını görebilmemiz için arazi eğimlerini bulup sınır olan 17 derecenin altındaki ve üstündeki diye ayırmamız gerekmektedir. Eğim hesabına göre ve 17° üstündeki noktalara (Şekil 2.9) bakıldığında, saha ziyareti noktası listeye eklenen noktaların tümünde lineer akışkan modellerinin sağlıklı çalışacağı anlaşılmıştır. WAsP CFD sadece direk noktasından alınan verinin en yalın halde atlasa dönüştürülmesi için kullanılmıştır. Bu sayede en yüksek rakımda bulunan ölçüm direğinin verisinin çevre etkilerden en iyi şekilde temizlenmesi hedeflenmiştir.



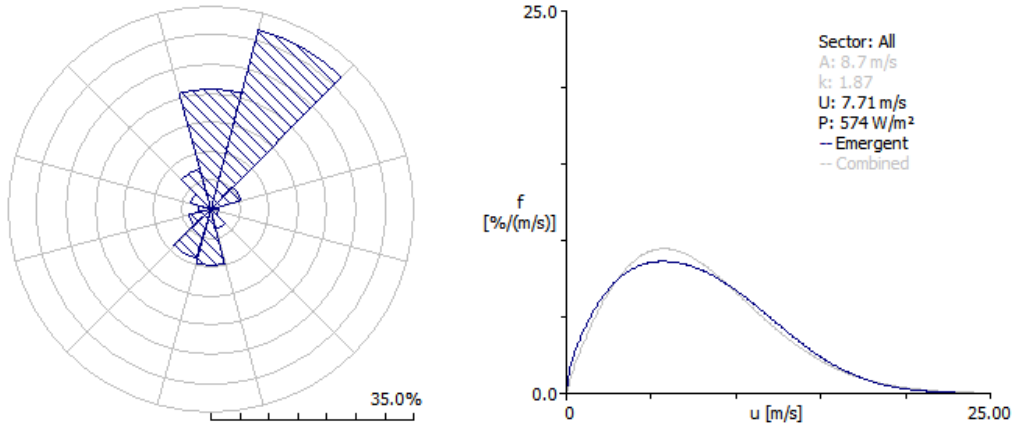
Şekil 2.9: (Solda) Saha sınırları ve arazi eğimi [°] (Sağda) Saha içinde arazi eğimi 17° üstünde olan noktalar (kırmızı) ve daha düz araziler (yeşil).

Daha sonra farklı kriterler teker teker incelenmiştir:

- **Yükseklik:** Kurulacak direğin deniz seviyesinden yüksekliği seçilen noktalar için ölçülmüştür. Yüksekliğin artması hava yoğunluğunu düşüreceği için tercih edilmezken 0m seviyesinde olması da denizden gelecek parçalara maruz kalarak erken yıpranma ile karşı karşıya kalmasına sebep olabilir.
- **Rüzgar Hızı:** Bir noktadaki rüzgar hızı ve referans direktan alınan zaman serisi kullanılarak yeni direğin kurulması istenen noktadaki 50 yıllık teorik azami rüzgar hızı, U50, hesaplanabilir ve buna bağlı olarak o noktanın sınıfı (Class) belirlenir. Bu bilgi direği üretecek kişiler için yeterli mukavemette yapmalarına yardımcı olacak bir standarttır. Üretim için istenilen en yüksek sınıf olmasıdır. Ancak, ölçüm için direğin uzun süre bakım gerektirmeden çalışabilmesi için daha düşük seviyeler tercih edilmelidir. Bu sayede malzeme ve kurulum/işletim maliyeti düşecektir.
- **Açıklık:** Rüzgar açıklığı (wind exposition) bir noktanın her yönden esen rüzgarı kesintisiz alma kabiliyetini gösterir. 0.9 ve üzeri büyük bir engelle karşılaşmamak anlamındadır. 1'e yakın ve üstü değerler tercih edilir. Hâkim rüzgar yönü için olan değeri direğin düzgün veri toplaması için önemlidir. Hâkim rüzgar yönleri ve güçleri her nokta için hesaplanmıştır.
- **Eğim:** Direğin yüksekliği (bu proje için 101m) çağında bir arazideki ortalama eğim direğin ne kadar çok akım kopması ile karşılaşacağını göstergesidir. Bu sebeple düşük eğim değerleri aranır.
- **Ormanlık Arazi:** 10/5/2005 tarihli ve 5346 sayılı Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanununun 8. maddesine göre 'Orman

veya Hazinesinin özel mülkiyetinde ya da Devletin hüküm ve tasarrufu altında bulunan her türlü taşınmazın bu Kanun kapsamındaki yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik enerjisi üretimi yapmak amacıyla kullanılması halinde, bu araziler için Çevre ve Orman Bakanlığı veya Maliye Bakanlığı tarafından bedeli karşılığında izin verilir, kiralama yapılır, irtifak hakkı tesis edilir veya kullanma izni verilir’.

Bu kiralama bedelleri 31/8/1956 tarihli ve 6831 sayılı Orman Kanununa göre, izin bedeli, arazi bedeli, ağaçlandırma bedeli ve ilave ağaçlandırma bedellerini kapsamaktadır. Ayrıca şehirlere, gerekli arazi büyüklükleri ve ormanların durumuna göre değişiklik göstermektedir. Bazı alanlar ağaçsız olmasına rağmen orman vasfında arazi olmaları durumu göze alınması gerekmektedir. Bu proje kapsamında, orman vasfı olan yerler alınması gereken izinler ve ödenmesi gereken bedellere sebep olduğu için bu araziler seçilmemeye özen gösterilmiştir. Yukarıda listelenen bilgiler ışığında 8 nokta içinde gerekli hesaplamalar yapılmış ve sonuç olarak Nokta 5 birden fazla sebepten dolayı ölçüm direğini kurmak için seçilmiştir. Nokta 5, orman vasfında arazi üzerinde bulunmayıp, eğimi 5 dereceyi geçmemekte, hakim rüzgar yönünde açıklığa sahip olmakta, rüzgar hızı ortalaması 7 m/s üzerinde olmakta olduğundan dolayı terchi edilmiştir (Şekil 2.10).



Şekil 2.10: Seçilen noktanın rüzgar frekansı değerleri (solda) ve Weibull parametereleri (sağda)

2.2 Hizmet Alımı ve Kurulum

Yer koordinatı belirlendikten sonra, pazarlık usulü ile mal alımında uygulanacak teknik ve idari şartname hazırlama süreci başlatıldı. Bu süreçte, gerek ticari gerekse bilimsel çalışmalarda aynı türde alıma ilişkin şartnameler incelendi. İncelenmiş olan rüzgâr ölçüm sistemleri hizmet ve mal alımı ihalelerinin bir kısmı aşağıda belirtilmektedir;

- ODTÜ Kuzey Kıbrıs Kampüsü 60 metre yükseklikte kafes tip çelik rüzgâr ölçüm direği yapımı,
- 2010/578980 ihale kayıt numaralı Makina ve Kimya Endüstrisi Kurumu Genel

Müdürlüğü'nün 80 metre uzunluğundaki rüzgâr ölçüm direği kurulması ve 365 günlük ölçüm yapılarak raporların hazırlanması hizmet alımı,

- 2011/45009 ve 2011/80025 ihale kayıt numaraları ile Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu Marmara Araştırma Merkezi'nin 80 Metre Rüzgâr Ölçüm Sistemi alımı
- 2012/124834 ve 2012/164010 ihale kayıt numaraları ile Bartın Belediyesi Mali Hizmetler Müdürlüğü'nün 30 metre uzunluğundaki ölçüm direği kurulması ve 180 günlük ölçüm yapılarak raporların hazırlanması.
- 2013/126553 ihale kayıt numaralı Bursa Büyükşehir Belediyesi Bursa Su ve Kanalizasyon İdaresi Genel Müdürlüğü'nün 60 metrelik 3 adet rüzgâr ölçüm direği satın alımı
- 2014/40746 ihale kayıt numaralı Toprak Mahsulleri Ofisi Genel Müdürlüğü-Afyon Alkaloidleri Fabrikası İşletme Müdürlüğü'nün 60 metrelik rüzgâr ölçüm direği alımı Bu alımlarım hepsi (ODTÜ hariç), ticari amaçlı kısa süreli ölçüm yapmak ve en az 1 en fazla 2 sene sonra sistemin kaldırılması ile sonuçlanmaktadır. Ama ODTÜ ve bu proje kapsamında dikilmesi planlanan yüksek rüzgar ölçüm direği bilimsel bir çalışma olduğu için diğerlerine göre daha uzun süre kalması gerekmektedir. ODTÜ ile yapılan sözleşmenin geçerlilik süresi, işe başlama tarihinden itibaren 3 yıldır. Bu nedenle, uzun süre ölçüm alınması beklenen rüzgâr ölçüm sistemleri için diğerlerinden farklı olarak zemin etüdünün yapılması ve beton dökülmesi gibi ekstra işlemler olduğunu öğrendik ve bu konuda yapılması gerekenleri bu proje kapsamında yapılan şartnameye eklendi.

Bunların yanı sıra, kurulacak olan rüzgar ölçüm sistemi için gerçekleştirilecek olan şartnamenin IEC 61400-12 numaralı uluslararası standart ve Türkiye'de yürürlükteki MGM Ölçüm Standardı Tebliğine uygun olarak hazırlanmasına ve devreye alınmasına büyük önem verildi. MGM Ölçüm Standardı,17-06-2014 tarihli Rüzgâr ve Güneş Enerjisine Dayalı Lisans Başvuruları için yapılacak Rüzgâr ve Güneş Ölçümleri Uygulamalarına Dair Tebliğ'inde belirtilmektedir. Bu tebliğ, eğer rüzgâr ölçüm direği bir gün lisans alınacak olursa aranmakta olup; bu standart alışlagelmiş bir kontrol mekanizması olduğu için kurulacak rüzgâr ölçüm direğini bu standartlara uygun olmasına dikkat edildi. Tebliğ'e göre kurulacak olan ölçüm sisteminin hızölçer, yön ölçer, sıcaklığı ölçer, nemi ölçer ve basınçölçer sensörleri için aranan asgari standartlar Tablo 2.3 gösterilmiştir. Cihazlar bu standartlara uygun talep edilmiş ve alınmıştır.

Cihaz Adı	İstenilen Özellikleri
Rüzgar Hız Ölçer	Ölçüm aralığı: 0-75 m/sn; Eşik değeri : 0.5 m/sn; Çözünürlük : 0.1 m/sn; Doğruluk: ± 0.5 m/sn (5 m/sn ye kadar), $\pm 10\%$ (5 m/sn'nin üzerinde); Mesafe sabiti : 2-5 m
Rüzgar Yön Ölçer	Ölçüm aralığı : 0. . . .360°; Çözünürlük : 1°; Doğruluk : $\pm 5^\circ$
Hava Sıcaklığı Ölçer	Ölçüm aralığı : - 40 °C. . .+60 °C; Çözünürlük : 0.1 °C; Doğruluk : ± 0.3 °C
Hava Nemi Ölçer	Ölçüm aralığı: %0. . . . %100 Çözünürlük : %1 Doğruluk : % 3
Basınç Ölçer	Ölçüm aralığı 750.....1050 hPa Çözünürlük 0.1 hPa Doğruluk ± 0.3 hPa (tam ölçüm aralığında) Kararlılık ± 0.5 hPa /yıl

Tablo 2.3: Rüzgar Ölçüm İstasyonunda Kullanılacak Sensörlerin Asgari Özellikleri

Tebliğ'de Ultrasonic 3D Anemometre konusunda aranan sensör standartları belirtilmediği için sonic özellikleri ayrı olarak ele alındı. Sonic konusunda bu tebliğ'e uygun dikilen ölçüm direklerinde en çok tercih edilen sensör üreticileri için sonic özellikleri incelendi. Ve hemen hemen hepsinin aynı özelliklere sahip olduğu fark edildi. Bu proje kapsamında, dikilmesi planlanan rüzgâr ölçüm sistemi için yapılacak olan pazarlık usulü ihalenin açık olabilmesi ve doğru fiyat alınabilmek için bu sensörün standartları belirlendi (Tablo 2.4).

Sensör Adı	İstenen Özellikler	
Ultrasonic Anemometre 3D	Ölçüm Aralığı	0,01 - 45 m/s azimut,0° - 360°, 0,01 - 45 m/s yükseklik,0° - 180°, (-40°C) - (+70°C)
	Doğruluk	WG +/- 0,1 m/s (i5 m/s) 2% (i5 m/s) WR +/- 1° -40°C ile +70°C Aralığında $\pm 0,5$ Kelvin

Tablo 2.4: Rüzgâr Ölçüm İstasyonunda Kullanılacak Ultrasonic 3D Sensörünün Asgari Özellikleri

Sensör özelliklerinin dışında ölçüm cihazlarının sayıları (2 adet Cup Anemometre, 3 adet Yön Sensörü, 2 adet Basınç Sensörü ve 2 adet Ultrasonic 3d Anemometre), teslim ve montaj süresi (max. 30 takvim günü), yüklenicinin sorumlulukları, test ve kabul işlemleri hakkında eklenmesi gereken ayrıntılar, cihazların garanti süreleri, bakım ve onarım hakkında yükleniciden beklenen servis hizmetleri ve arızaların giderilmemesi durumundaki ceza oranları detaylı şekilde araştırıldı ve gerekli maddeler teknik şartnameye eklendi.

Eski alımlarda yapılmış olan yukarıda da belirtilen şartnameler birleştirilerek ve ekstra istenilen koşullar eklenerek, bu alım için bir teknik şartname hazırlandı. Bunun yanı sıra, idari şartname İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü Rektörlüğü'nün esaslarını belirlediği mal alım ihalelerinde uygulanacak esaslar dâhilinde hazırlandı.

Teknik şartname ve idari şartname hazırlanması bitirildikten sonra şirketlere Pazarlık usulü alım yapılacağı bildirildi ve kapalı zarf usulü ile İzmir, Ankara ve İstanbul'dan 6 şirkete teklif vermesi için davet yapıldı. Şirketler sektörde en az 80m direk üretme, kurma ve işletme deneyimlerine sahip şirketler arsından proje yöneticisi tarafından seçildi. Verk Enerji (izmir) ve Alen Enerji (İstanbul) pazarlığa katılmak istemediklerini belirttiler. Teknam (Ankara), Genba (izmir), Enisolar (İzmir) ve Egeres (İzmir) firmalarından teklif yapılacağı ve pazarlık günü kapalı zarf usulü pazarlığa katlanacakları konusunda onay alındı.

Şartname gereği, pazarlıktan önceki günlerde randevu usulü ile pazarlığa girmek isteyen şirketlerden yetkili kişilere seçilen noktalar gösterildi. Birden fazla gösterilmesinin sebebi, seçilen noktada temel ya da benzeri bir sorun çıkarsa alternatif noktalar konusunda da şirketlerin hazırlıklı olmasının istenmesidir. Araziler gösterildi ve ya bu noktalar ya da kampüs arazisi içinde dengi bir noktanın direk kurulumu için kullanılacağı firmalara bildirildi. Bu tür bir yol izlenmesinin sebebi pazarlık sonlandıktan sonra, kurulum sürecine anlaşma yapılan firmanın arazi konusunda ekstra maliyet çıkarıp işi geciktirmesini engellemektir.

Pazarlık her ne kadar olabildiğince hızlı yapılmak istenirse de ülkemizdeki Olağanüstü Hal (OHAL) durumu sebebiyle alım süreci ertelendi. Bu sebeple projede işlemler belirtilen zamanlarda yapılamadı. Ancak, 31 Ağustos 2016 Çarşamba günü İYTE İdari ve Malı İşler ihale salonunda 4 firmanın katılımıyla gerçekleşti. İhaleden önce teknik şartname hazırlanırken rüzgar ölçüm direği, ölçüm cihazları ve diğer tüm sistemler dâhil edilerek hazırlanmıştı. 4 firma fiyat tekliflerini şartnameye göre vermişlerdir. İhaleye şirketlerin verdiği ilk teklifler okunarak başlanmıştır. Daha sonra şirketlerden diğer şirket tekliflerine göre yeniden teklif vermeleri istenmiştir. Fakat gelen tekliflerin elimizdeki TÜBİTAK bütçesini fazlasıyla aştığı ve şirketlerin bu bütçenin altına inemeyeceği görülmüştür. Bir daha teklif istenirken Sonic Anemometre ücretini çıkartmaları istenmiştir. Sonic Anemometre çıkarılmış teklifler de bütçe sınırlarını aşmıştır.

Çözüm olarak Sonic Ölçüm Cihazları Sistemi (2 adet Sonic Anemometre) ve Geleneksel Ölçüm Cihazları Sistemi (2 adet Cup Anemometre, 3 adet Yön Sensörü, 2 adet Basınç Sensörü) dışında kalan cihaz, direk ve sistemlerin TÜBİTAK bütçesinden alınmasına karar verilmiştir. Geleneksel Ölçüm Cihazları Sistemi ve Sonic Ölçüm Cihazları sistemi için rektörlüğe başvurulmuştur. Geleneksel Ölçüm Cihazları Sistemi ve Sonic Ölçüm Cihazları sistemi için yeniden iki sistem için şartnameler hazırlanmıştır. Bu sistemler TÜBİTAK bütçesinin yetersizliğinden dolayı rektörlük tarafından karşılanmış ve ödenekler bölüm bütçesine eklenmiştir. TÜBİTAK proje bütçesi tarafından karşılanacak ölçüm direği, cihazlar ve sistemlerin ücreti pazarlık usulü alım limiti içindedir. Bu sebeple pazarlık usulü Egeres ile anlaşılmıştır. EGERES aynı zamanda teklif verenler arasında 100m'lik direği Türkiye ve Yurtdışında kullanım için üretmiş, satmış ve kurmuş tek şirkettir.

Herhangi bir ölçüm direğinin kurulumunda rüzgar hızının 6m/s'nin üstünde olduğu durumlarda ve geceleri iş güvenliği sağlanamayacağından dolayı kurulum yapılamamaktadır. Kontratın imzalandığı günden bu yana Urla bölgesindeki hava durumu aşağıdaki grafikteki gibidir. 6 m/s'nin altında rüzgar hızı görülen 3 günde de inşaata devam edilmiş ve bu uygun vakitler atlanmamıştır. İş güvenliği gerekçesiyle yaşanan bu gecikmelerden dolayı direğin kurulumu ancak 28 Temmuz 2017 tarihinde tamamlanabilmiştir.

Bölüm 3

Genel Rüzgar İstatistikleri

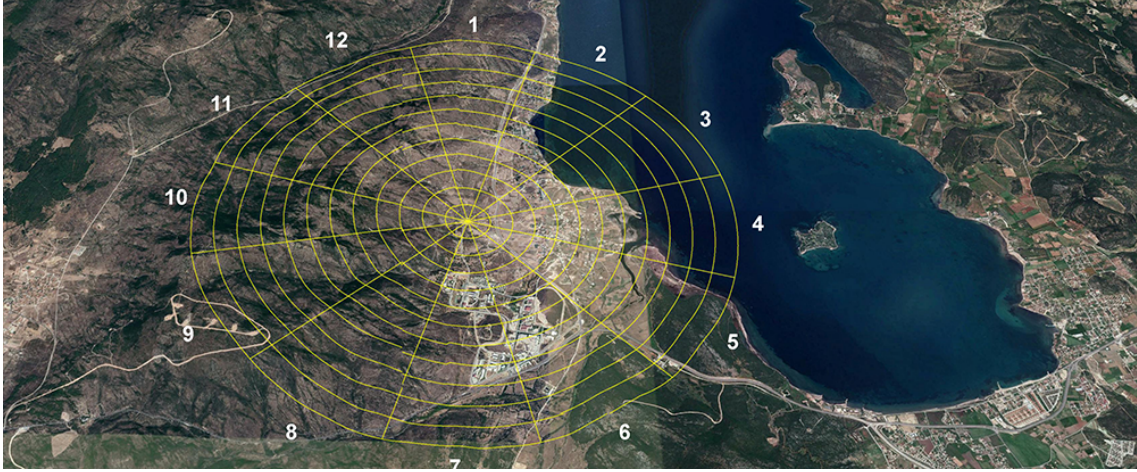
İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü kampüs sınırları içine $K38.3332^{\circ}$ $D26.6326^{\circ}$ konumuna bir ölçüm direği kurulmuştur (Şekil 3.1). Ağustos 2017’de başlayan ölçüm halen süremektedir. En iyi kesintisiz veri yüzde 99.9 ile 21st of Aralık 2017 ve 21 Aralık 2018 arasında 52191 adet 10 dakikalık örnek veriyle toplanmıştır. Cihazların bilergileri Tablo 3.1’de verilmiştir.



Şekil 3.1: Ölçüm direği (kırmızı nokta) Türkiye’nin Batı ucu olan Çeşme yarım adasında bulunan Urla ilçesindeki kampüsümüz sınırları içindeki bir noktadadır.

Parameter	Unit	Heights [m]
Wind Speed	m/s	101, 76, 52, 30, 10
Wind Direction	°	98, 74, 52, 28, 10
Temperature	°C	90, 35, 3
Relative Humidity	%	90, 35, 3
Pressure	Pa	90, 2

Tablo 3.1: İYTE Direğinde bulunan cihazların listesi. 10 ve 52m yükseklikte iki adet sonik anemometre bulunmaktadır.

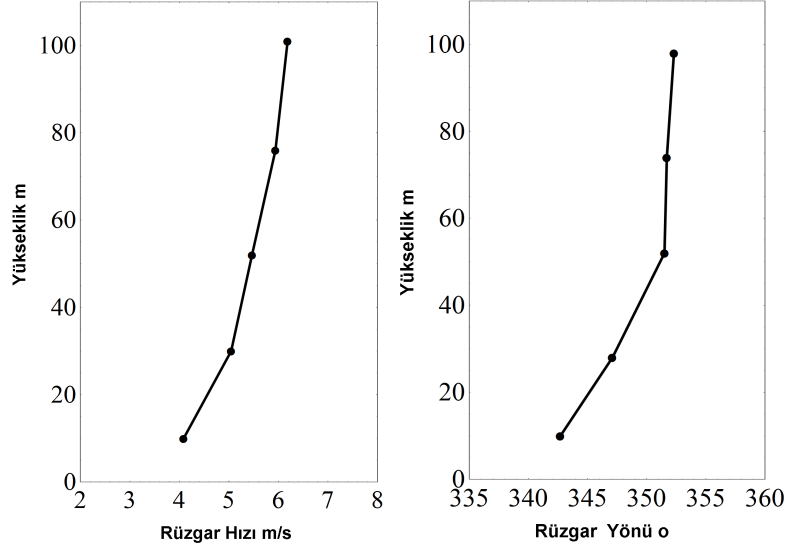


Şekil 3.2: 3 km yarıçap 250m aralıklarla çizilmiş ölçüm direği çevresi grafiği. Rüzgar yönleri 12 eşit sektöre bölünmüş olup her biri 30°'dir. İlk sektör 0'dan başlamaktadır. Beyaz rakamlar sektör numaraları olarak belirlenmiştir. (Fotoğraf: Google Earth)

Sektör	Merkez	Fre.%	Grup	Arazi	Pürüzlülük	Engeller
1	0°	45.65	I	Düz; 50m d.s.ü.	Çimenlik	Yok
2	30°	11.21				Müstakil Evler
3	60°	1.95	II		Yaşam Alanı	Kasaba en çok 6.5m
4	90°	1.41	III			Üniversite, en çok 12m binalar
5	120°	1.3				Yok
6	150°	3.7	IV		Hilly; up to 350m a.s.l with gentle slope	Çimenlik
7	180°	12.59		Yok		
8	210°	7.59		Yok		
9	240°	2.75				
10	270°	2.09				
11	300°	4.66				
12	330°	5.07				

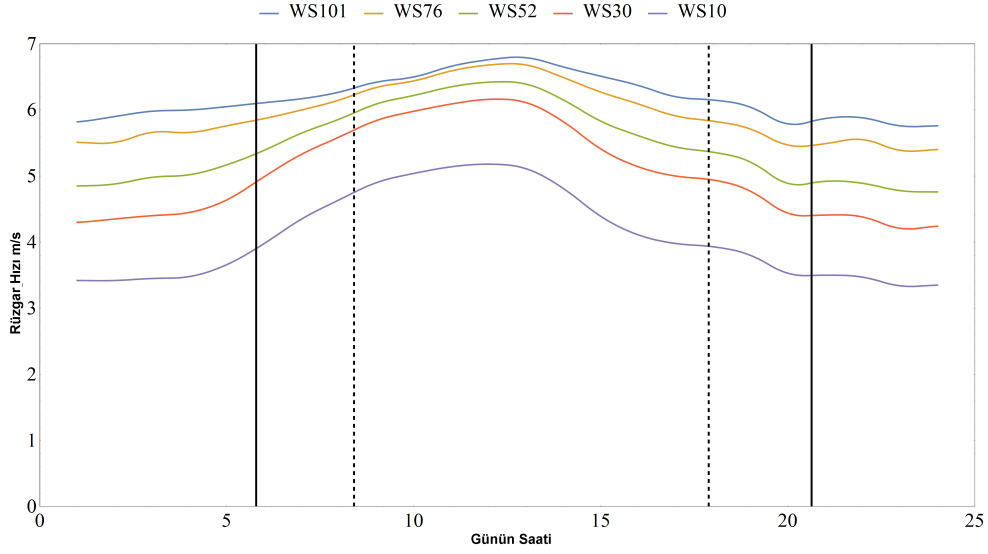
Tablo 3.2: Rüzgar yönleri ve konuma göre bilgiler

Direk konumu deneysel çalışma amaçlarına uygun olarak seçilmiştir. (Şekil 3.2). Bu noktada her rüzgar sektörü farklı bir arazi ve rüzgar karakteristiği göstermektedir. Etkin rüzgar yönü ilk sektördür; S1, ve rüzgarın yaklaşık yüzde 45'i buradan gelmektedir. S1 düz bir araziden oluşmakta ve deniz seviyesinden sadece 50 m yüksekliktedir. Bitki örtüsü olarak çimenle kaplıdır ve deniz kenarına 5 km mesafededir. S2 ise yaklaşık 1km denize mesafesi olan bir sektördür. S3, S4 ve S5 küçük bir köye bakmaktadır. Bu köyde evler en fazla 6.5m yükseklikte ve sokaklar dar ve dağınık şekildedir. S6 ve S7 ise İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü tarafından kullanılmakta ve ayırık ancak 12m yükseklikteki binalardan oluşmaktadır. S8'den S12'a kadar bir dizi küçük tepe bulunmaktadır ve denize paralel şekilde dizilmişlerdir. Tamamı 350 m deniz seviyesi üstündedir. Bu tepe bölgesinde tek farklı bölge S9'dur çünkü bu bölgede 3km mesafede 15MW'lık bir rüzgar tarlası vardır. Ancak mesafeden dolayı ölçümü etkemedikleri varsayılmıştır (Tablo 3.2).



Şekil 3.3: Dikey hız ve yön profilleri.

Dikey profiller tüm sene verisi için Şekil 3.3'de sunulmuştur. Ayrıca senelik verinin saatlik ortalamaları Şekil 3.4'da yer almaktadır. Aylık ve rüzgar yönlü analiz sonuçları ise sırasıyla Tablo 3.3 ve 3.4'dedir.



Şekil 3.4: Senelik veriden üretilmiş saatlik ortalamalar

Ay	Veri (%)	Ortalam	Median	Min	Maks	Std. Sapma
Oca	98.25	6.557	5.123	0.305	23.611	5.391
Şub	99.68	5.511	5.141	0.306	16.776	3.354
Mar	99.66	6.523	6.365	0.305	19.775	3.511
Nis	98.4	4.396	3.499	0.3	19.561	3.654
May	99.26	5.472	4.528	0.3	15.704	3.958
Haz	99.49	5.127	5.227	0.306	13.92	2.97
Tem	99.48	6.476	6.682	0.315	15.445	3.143
Ağu	99.64	7.736	8.32	0.304	15.472	3.498
Eyl	99.56	7.016	6.452	0.301	20.19	4.217
Ekm	98.75	5.617	5.291	0.308	16.658	3.433
Kas	99.91	7.221	7.078	0.348	18.321	3.667
Ara	99.53	6.447	5.538	0.301	23.628	4.432
TOPLAM	99.3	6.185	5.825	0.3	23.628	3.933

Tablo 3.3: Aylık istatistikler

Yön		Veri	Fre.	Ortalama	Min	Maks	Std.Sapma
Sektör	Aralık	%	%	m/s	m/s	m/s	m/s
1	345° - 15°	99.75	45.65	7.564	0.403	23.628	3.696
2	15° - 45°	98.9	11.21	5.921	0.403	23.611	4.871
3	45° - 75°	95.83	1.95	1.614	0.405	13.227	1.127
4	75° - 105°	95.19	1.41	1.772	0.418	7.588	1.15
5	105° - 135°	93.11	1.3	1.442	0.403	8.046	1.022
6	135° - 165°	97.12	3.7	2.542	0.401	19.775	3.912
7	165° - 195°	98.94	12.59	6.057	0.404	19.2	3.684
8	195° - 225°	98.28	7.59	5.163	0.402	16.151	2.836
9	225° - 255°	96.03	2.75	4.693	0.405	13.211	2.541
10	255° - 285°	95.26	2.09	4.756	0.412	13.536	2.601
11	285° - 315°	98.17	4.66	5.52	0.401	14.8	2.804
12	315° - 345°	97.52	5.07	4.648	0.403	16.122	3.122
TOPLAM		98.71	100	6.22	0.401	23.628	3.919

Tablo 3.4: Sektörel istatistikler

Bölüm 4

Senelik Weibull Analizi

Uzun yıllar rüzgar istatistikleri Rayleigh metodu ile çalışılmıştır (Mathew vd., 2002). Ancak, yaklaşık otuz yıl kadardır Weibull dağılım fonksiyonunun rüzgarı daha iyi temsil ettiğini bilmekteyiz (Luna ve Church, 1974). Bu değişim, ilk Avrupa Rüzgar Atlası projesi zamanında yani 90'lı yıllarda hızlanmıştır (Troen ve Petersen, 1989) ve şu anda bir çok istatistiki metot Weibull metodolojini kullanmaktadır. (Equ-4.1). Bu denklem aynı zamanda kumulatif olarak da (Equ-4.2) ya da olasılık olarak (Equ-4.3) yazılabilir. Burada U rüzgar hızını (m/s), A rüzgar katsayısını (m/s) ve k şekil parametresini göstermektedir (Stewart ve Essenwanger, 1978).

$$U = A\Gamma \left(1 + \frac{1}{k} \right) \quad (4.1)$$

$$F(U) = 1 - e^{-\left(\frac{U}{A}\right)^k} \quad (4.2)$$

$$P(U) = \frac{k}{A} \left(\frac{U}{A} \right)^{k-1} e^{-\left(\frac{U}{A}\right)^k} \quad (4.3)$$

Bilinen ve güncel yöntem, ölçülen verinin Weibull fonksiyonuna uygulanması ve elde edilecek iki parametre ile bir noktadaki rüzgar yapısının tanımlanmasıdır. Metot çok basit gözükse de gerçekte bilinen bazı problemleri vardır. Öncelikle, rüzgarın fazlaca değişkenlik gösterdiği durumlarda rüzgar dağılımı Weibull ile örtüşmemektedir. Bu hesaplamalara ek belirsizlik ekler (Deaves ve Lines, 1997). Ayrıca, ölçümlerin Weibull fonksiyonuna uygulanması için birden fazla yöntem vardır. Bu yöntemler bir sonraki altbaşlık altında incelenmiştir.

4.1 Dağılım Analizi

İstatistiki meteorolojinin ilk yıllarında rüzgar verileri için en çok bilinen dağılım fonksiyonu Rayleigh modeli idi (JAMIL vd., 1995). Ancak, son 30 yılda başka bir çok dağıtım fonksiyonu test edilmiştir. Örneğin, Rayleigh, Weibull, Lognormal, Gamma, Pearson, Kappa, Erlang ya da Gumble modelleri ya da bunların kombinasyonlarından oluşan modeller sıkça çalışılmıştır (Zhou vd., 2010; Morgan vd., 2011; Chang, 2011; Ouarda vd., 2015; Wais, 2016). Burada belirtilen çalışmalarda rüzgarın doğal yapısını en iyi kavrayan modellerin iki ya da 3 parametrelili

Weibull olduğu sonucu bilgisi paylaşılmaktadır. Bu sebeptendir ki, halen endüstride standart olarak kullanılan yazılımlarda 2 parametrelili Weibull olasılık dağılım fonksiyonu kullanılmaktadır (ör. WAsP, WindPRO).

Çalışmanın bu bölümünde, rüzgar verisi sekötr bazlı bir analize tabii tutulmuştur. Weibull fonksiyonunda ortalama rüzgar hızını temsil eden \bar{U} ve Weibull parametreleri Denklem 4.1 ve 4.4'de görülebilir. Aynı fonksiyondan yola çıkılarak türetilen güç yoğunluğu; P_d üçüncü momenten türetilir (Denklem-4.5). Burada ki Gamma (Γ) olarak belirtilen fonksiyon Euler'in Gamma fonksiyonudur (Denklem-4.6).

$$\bar{U} = A \cdot \Gamma \left(1 + \frac{1}{k} \right) \quad (4.4)$$

$$P_d = \frac{1}{2} \rho \Gamma \left(1 + \frac{3}{k} \right) \quad (4.5)$$

$$\Gamma(n) = \int_0^{\infty} e^{-t} t^{n-1} dt \quad (4.6)$$

Weibull dağılımının parametrelerinin hesaplanmasında bir çok farklı metod bulunmaktadır. Bu metotlar hakkında yayınlanmış ve sıkça referans verilmiş çalışmaların son 20 yıl içinde yapılmış olanları (Tablo 4.1)'de sunulmuştur. Bu metotlar arasında en çok kullanılan WAsP¹ metodu maalesef çok az sayıda makale de doğrudan diğerleriyle karşılaştırılmıştır. Bazı makaleler WAsP yazılım sonuçlarını karşılaştırırken (Tammelin vd., 2013; Nawri vd., 2014), sadece bir makale metodu açıklayarak karşılaştırma yapmıştır (Jourdir ve Drobinski, 2017). Çalışmamızda tüm metodlar test edilmemiş birbirine benzeyen ve aynı temele sahip metodolojilerden en çok kullanılan kendi grubunu temsilen seçilmiştir.

Yayın	EM	PDM	GM	MLM	MMLM	MM	LSM
(Garcia vd., 1998)			x	x	x		
(Seguro ve Lambert, 2000)			x	x	x		
(van Donk vd., 2005)				x	x		x
(Ramirez ve Carta, 2006)				x		x	x
(Carta ve Ramirez, 2007)				x			x
(Cellura vd., 2008)				x			
(Akdag ve Dinler, 2009)	x		x	x		x	
(Saleh vd., 2012)		x	x	x	x		
(Khahro vd., 2014)	x	x	x	x	x		
(Arslan vd., 2014)				x		x	
(Mohammadi vd., 2016)	x	x	x	x	x		
(Katinas vd., 2017)	x	x	x				x
(Ali vd., 2018)		x					
(Kang vd., 2018)	x		x		x	x	
(Polnumtiang ve Tangchaichit, 2018)			x				

Tablo 4.1: Selected studies related to the estimation of Weibull distribution of last 20 years and the estimation of Weibull parameter methods used.

¹Wind Atlas Analysis and Application Programme (WAsP); Resmi Websitesi <http://www.WAsP.dk>

4.1.1 Empirik Metot (EM)

En çok bilinen ve en basit yöntemlerden biri olan Empirik Metot bir çok çalışmada kullanılmıştır (Akdag ve Dinler, 2009; Khahro vd., 2014; Mohammadi vd., 2016; Katinas vd., 2017; Kang vd., 2018). Yöntemde önce enerji faktörü Denklem-4.7 ile hesaplanır ve buradan yola çıkarak önce k sonra A türetilir (Denklem-4.8).

$$E_f = \frac{\Gamma\left(1 + \frac{3}{k}\right)}{\Gamma^3\left(1 + \frac{1}{k}\right)} = \frac{\bar{U}^3}{\bar{U}^3} \quad (4.7)$$

$$k = 1 + \frac{3.69}{E_f^2} \quad A = \frac{\bar{U}}{\Gamma\left(1 + \frac{1}{k}\right)} \quad (4.8)$$

4.1.2 Maksimum Olabilirlik Yöntemleri (MOY)

En çok tercih edilen ikinci yöntem Maximum Likelihood Method (MLM) ya da Türkçede Maksimum Olabilirlik Yöntemleri (MOY) yöntemidir (Seguro ve Lambert, 2000; van Donk vd., 2005; Ramirez ve Carta, 2006; Carta ve Ramirez, 2007; Cellura vd., 2008; Akdag ve Dinler, 2009; Saleh vd., 2012; Khahro vd., 2014; Arslan vd., 2014; Mohammadi vd., 2016). MOY'da, k parametresi iterasyon yöntemi ile Denklem 4.9 kullanılarak bulunur. Burada n örnek sayısıdır. Daha sonra A Denklem 4.10 kullanılarak hesaplanır.

$$k = \frac{\sum_{i=1}^n U_i^k \ln(U_i)}{\sum_{i=1}^n U_i^k} - \frac{\sum_{i=1}^n \ln(U_i)}{n} \quad (4.9)$$

$$A = \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n U_i^k \right)^{\frac{1}{k}} \quad (4.10)$$

4.1.3 Düzenlenmiş Maksimum Olabilirlik Yöntemleri (DMOY)

Bazı istatistik alanlarda verinin farklı frekanslarının etkisini arttırmak için Modified Maximum Likelihood Method (MMLM) / Düzenlenmiş Maksimum Olabilirlik Yöntemleri (DMOY) kullanılır (Seguro ve Lambert, 2000; van Donk vd., 2005; Saleh vd., 2012; Khahro vd., 2014; Katinas vd., 2017; Kang vd., 2018). Hesaplama MOY ile aynıdır ancak hesaplama için de Denklem 4.9 içinde belirtilen hesaplanan rüzgarın tekrar etme frekansı eklenir. k bulunduktan sonra A Denklem 4.12 ile hesaplanır.

$$k_m = \frac{\sum_{i=1}^n U_i^{k_m} \ln(U_i) f(U_i)}{\sum_{i=1}^n U_i^{k_m} f(U_i)} - \frac{\sum_{i=1}^n \ln(U_i) f(U_i)}{n} \quad (4.11)$$

$$A_m = \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n U_i^{k_m} f(U_i) \right)^{\frac{1}{k_m}} \quad (4.12)$$

4.1.4 En Küçük Kare Fit Yöntemi (EKY)

Daha az tercih edilen ancak dağınk rüzgar verilerinde iyi sonuçlar elde ettiği söylenen yöntemlerden biri de Least Square Fit method (LSM) yani En Küçük Kare Fit Yöntemi (EKY) yöntemidir (van Donk vd., 2005; Ramirez ve Carta, 2005; Carta ve Ramirez, 2007; Katinas vd., 2017). Weibull fonksiyonu (Denklem 4.2) “ $y=C1 * x + C2$ ” şeklinde lineerleştirildikten sonra kullanılır (Denklem 4.13). fonksiyondan önce k sonra A iterasyonla bulunur.

$$\ln \left[\ln \left(\frac{1}{1 - F(U)} \right) \right] = k \ln(U) - k \ln(A) \quad (4.13)$$

4.1.5 WAsP Metodu

Metot diğerlerinden farklı bir yöntem kullanmaktadır. Öncelikle rüzgar türbinlerinin 3m/s hızların üstünde çalıştıkları savıyla daha yüksek hızlarda daha doğru sonuç veren bir yöntem geliştirilmek isterken bulunmuştur. İlk adım, küçülatif yoğunluk fonksiyonundan (Denklem 4.2) yola çıkarak ortalama değer altında olan zaman serisi elemanlarını seçmek için $1 - F(\bar{U})$ serisi oluşturulur yani \bar{U}_p Denklem-4.14'ye eşdeğerdir.

$$\bar{U}_p = e^{-\left(\frac{\bar{U}}{A}\right)^k} \quad (4.14)$$

Bu sebeple fonksiyonun her iki tarafı logaritmik forma dönüştürülürse (Denklem-4.15) A parametresi k 'nin türevi (ya da tam tersi) olarak yazılabilir (Denklem-4.5) bu da Denklem-4.16'ye eşittir. Buradan A çekilirse k 'nin fonksiyonu olarak Denklem-4.17 şeklinde yazılabilir. Eğer Denklem 4.15 ve 4.17, Denklem 4.19 içinde birleştirilirse, iterasyon yöntemi ile önce k sonra da Denklem 4.17 ile A bulunabilir.

$$\ln(\bar{U}_p) = - \left(\frac{\bar{U}}{A} \right)^k \quad (4.15)$$

$$A^3 \Gamma \left(1 + \frac{3}{k} \right) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n U_i^3 \quad (4.16)$$

$$A^3 \Gamma \left(1 + \frac{3}{k} \right) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n U_i^3 \quad (4.17)$$

$$A = \left[\frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n U_i^3}{\Gamma \left(1 + \frac{3}{k} \right)} \right]^{\frac{1}{3}} \quad (4.18)$$

$$\ln(\bar{U}_p) = - \left[\frac{\bar{U}}{\left[\frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n U_i^3}{\Gamma \left(1 + \frac{3}{k} \right)} \right]^{\frac{1}{3}}} \right]^k \quad (4.19)$$

4.2 Bulgular

Tüm sektörlerden alınan veriler ve gruplara ayrılmış sektörler analiz için kullanılmıştır. Gruplama yapı benzerlikleri baz alınarak yapılmıştır. Grup I, Kuzey rüzgarını alan en çok veriye sahip sektördür ve Sektör 1 ve 2'den oluşmaktadır. Kasaba bulunan Sektör 3,4 ve 5 ise Grup II olarak tanımlanmıştır. Ancak 3 sektörün birleştirilmesiyle oluşturulmuş bu sektörde halen çok az sayıda örnek veri bulunduğu için sonuçlar burada sunulmuş olsa da yazarlara göre bilimsel bir gerçekçilik içermemektedir. Sektör 6 ve 7 üniversite bölgesidir ve Grup III olarak adlandırılmıştır. Son olarak düzenli ve benzer bir tepenin bulunduğu sektör 8 ila 12 arası da Group IV olarak isimlendirilmiştir.

Hangi metodun daha iyi sonuç verdiğini anlamak için Weibull paramterelerinin hesaplanmasından sonra çıplak veriler bu parametrelerden türetilen tahimlerle doğrudan karşılaştırılmıştır. Bu adım için Ortalama Karekök metodu root mean square error (RMSE) kullanılmıştır (Denklem-4.20).

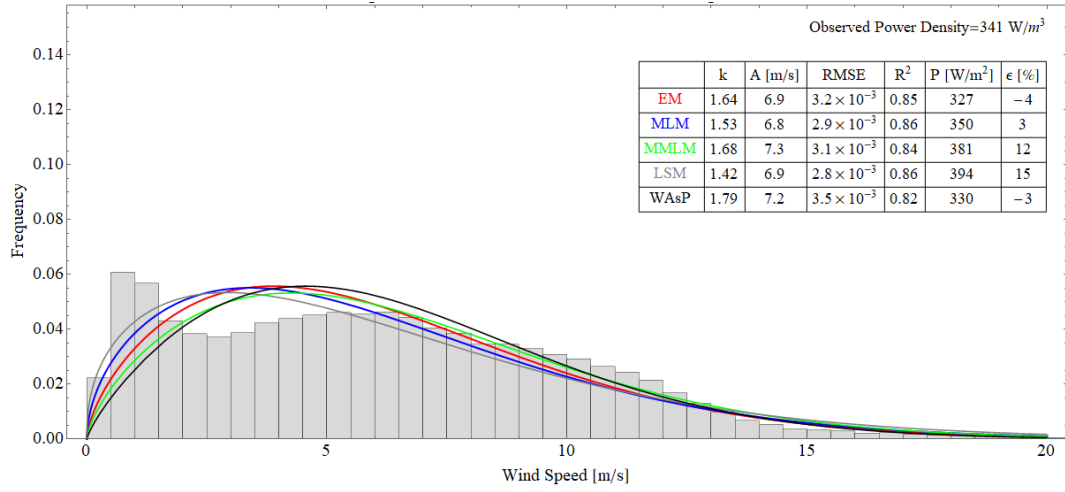
$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - x_i)^2} \quad (4.20)$$

burada y_i ölçülmüş veri x_i ise Weibull parameterelerinden türetilmiş veridir. Ancak bu karşılaştırma sadece hız açısından bir karşılaştırmadır ki, güç yoğunluğu hızın kübü ile orantılı olduğundan asıl bakılması gereken bu parametredir. Denklem 4.21'de bu hesaplama yapılırken, hava yoğunluğu ρ ve girilen rüzgar hızı bilgisinin bulunduğu frekans değeri f_m kullanılır. bu sayede hesaplanan enerji yoğunlukları gerçek ölçümler ve Weibull varsayımları ile karşılaştırılır ve gerçek hata oranı yüzde olarak bulunur; ε (Denklem-4.22).

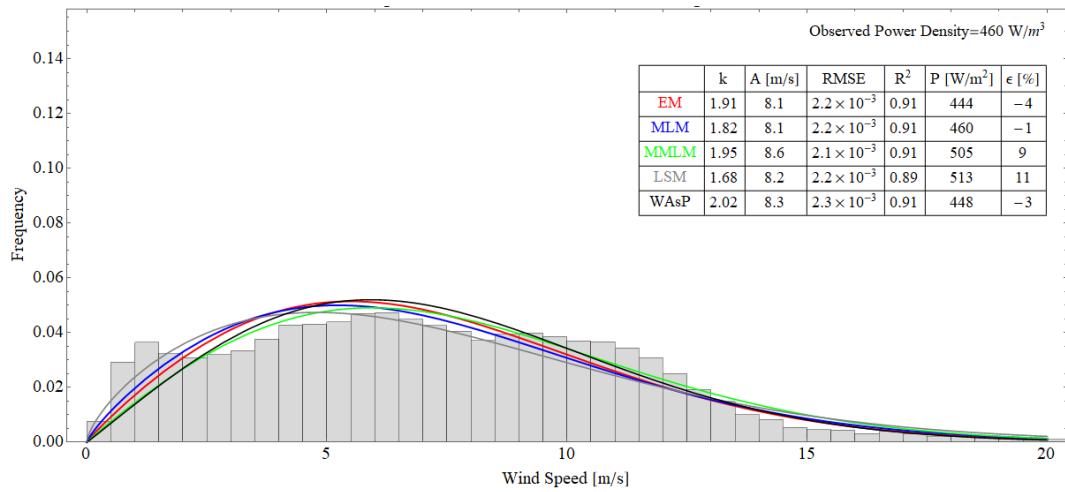
$$P_m = \sum_{i=1}^n \frac{1}{2} \rho U_i^3 f_m(U_i) \quad (4.21)$$

$$\varepsilon = \left[\frac{P_m - P}{P} \right] \cdot 100 \quad (4.22)$$

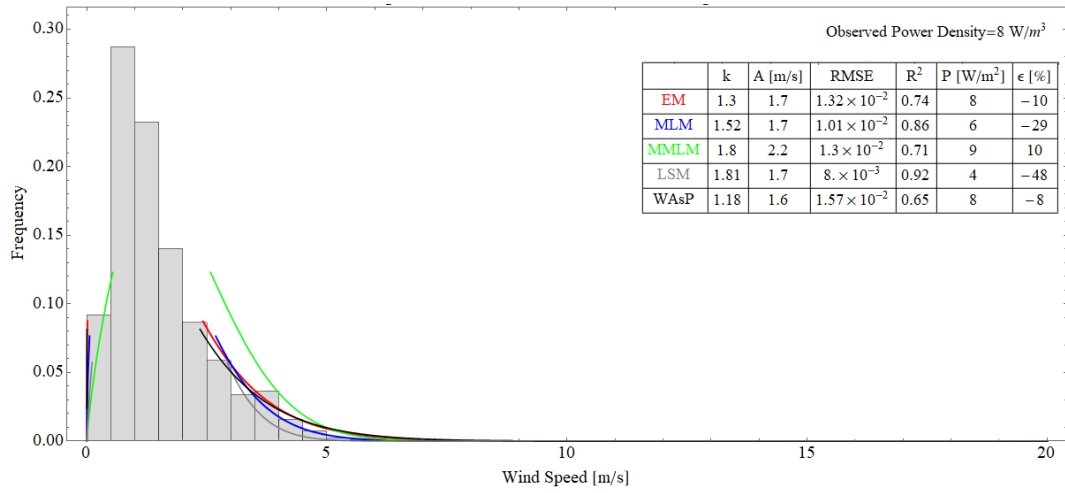
tüm sektör sonuçları Şekil 4.1'de sunulmuştur. Güç yoğunluğundan $\pm 3 - 4\%$ kadar düşük hatalar gözlemlenmiştir ve EM, MOY ve WAsP metotları bu belirsizliğin içindedir (Kwon, 2010). Gruplara ayrılmış sonuçlar ise Şekil 4.2-4.5 arasında sunulmuştur. Bu sonuçlarda yüksek frekanslı düşük hızların sorun yarattığı açıkça görülebilmektedir. RMSE ve R^2 sonuçlarına güvenilmemesi gerektiği de güç yoğunluğu hata oranları ile karşılaştırıldığında görülebilir. Bu sebeple daha önce yapılan çalışmalarda bu kriterler bizce yeterliliğe sahip değildir ve kullanılmamalıdır.



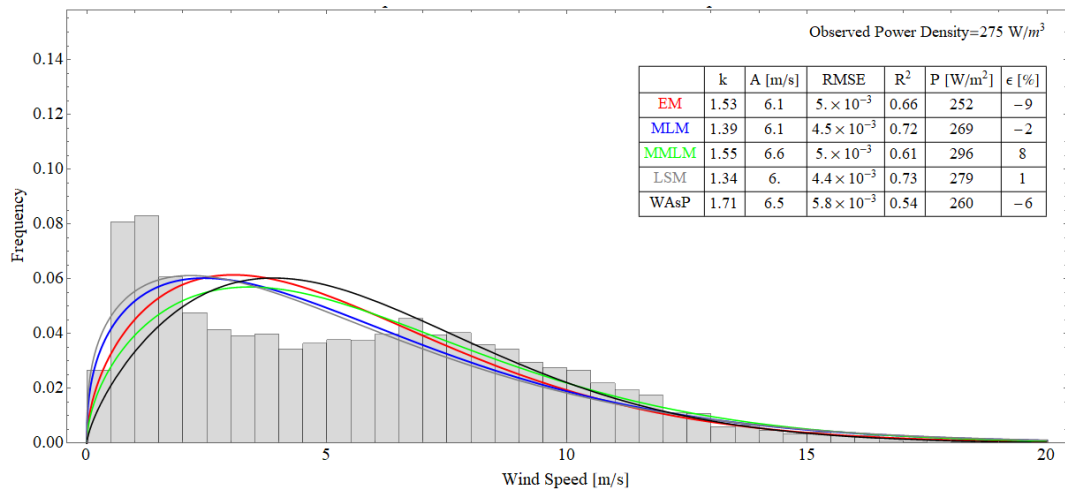
Şekil 4.1: Omni-directional results. Number of samples are 52559



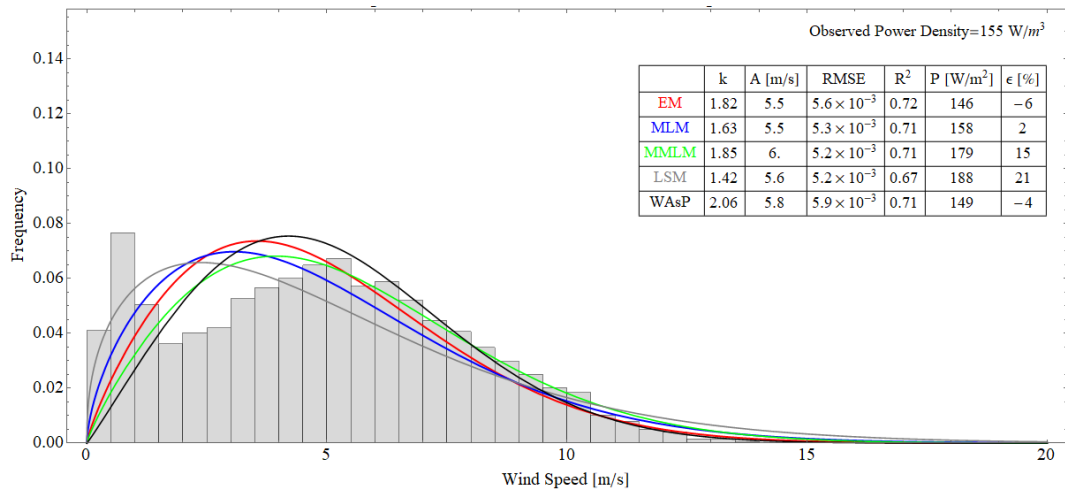
Şekil 4.2: Group I; Sectors 1 to 2, Wind direction between 345° - 45°. Number of samples are 29629



Şekil 4.3: Group II; Sectors 3 to 5, Wind direction between 45° - 135°. Number of samples are 2551



Şekil 4.4: Group III; Sectors 6 to 7, Wind direction between 135° - 195°. Number of samples are 8580



Şekil 4.5: Group IV; Sectors 8 to 12, Wind direction between 195° - 345°. Number of samples are 11799

Bölüm 5

Kararsızlık Analizi

Atmosferik sınır tabaka çalışmaları 19.yy.' a kadar dayanağı olan bir alandır ve de akışkanlar mekaniği alanında ki çalışmalarda yapılan gelişmelerle birlikte günümüze kadar büyük gelişmeler kaydedilmiştir. Bu alandaki gelişmelere neden olan en büyük sebep bilgisayar alanındaki gelişmeler (Özellikle de veri toplama, işleme, görüntüleme) ve ölçüm teknikleri ve cihazlarında ki gelişmelerdir. Herhangi bir akış problemi ikili yüzey arasında meydana gelmektedir. Bu problemlerin analizinde gerekli olan parametrelerin sınır tabaka karakteristiğinin belirlenmesinde çok büyük rolü vardır (Hız, sıcaklık, nem, basınç). Yapmış olduğumuz çalışma da dataların ardışık analizleri ile "Özet" kısmında sözü geçen parametreler saptanmıştır. Bu alandaki yapılan geçmiş çalışmalara göre girdap hareketliliklerinin sınır tabaka kalınlığının belirlenmesinde kullanıldığı gözlenmiştir, (Taylor, 1935).

Halstead farklı düşüş oranlarına bağlı olarak logaritmik hız profilini değerlendirmiş(yüzeyde min ve sınır tabakada maksimum) ve kararsızlık analizi gerçekleştirmiştir (Halstead, 1943). Holzman, Prandtl' ın karışım yüksekliği formülünü kullanarak buharlaşma ile hava kararsızlığı arasındaki ilişkiyi incelemiştir,(Holzman, 1943). Monin ve Obukhov ise türettikleri karışım yüksekliğini yüzey tabakasını ifade etmede kullanmışlardır. Kullandıkları yaklaşımda sabit akı kabulü geçerli olduğu için sınır tabaka dışında geçerli olmayan bir yaklaşımdır. Diğer bir bulguları ise Richardson sayısı ile $1/L$ değeri yüzey üzerinde oldukça yakınsamaktadır. Değişim katsayısı olarak da tanımlanan "Austausch" katsayısı farklı sıcaklık durumları için türetilmiş ve kesme hızı ile ısı oranları ifadelerinde kullanılmıştır. Son olarak da Richardson sayısı ile karışım yüksekliği arasında bir ilişki olduğunu göstermişlerdir, (Monin ve Obukhov, 1954). Richardson sayısı ve yüzey pürüzlülüğü ile kararsızlık arasında var olan ilişki bir dönem oldukça çok incelenmiş ve birçok sayıda empirik ilişki ortaya konmuştur, (Businger vd., 1971), (Dyer ve Hicks, 1970), (Golder, 1972), (Foken ve Skeib, 1983), (Arya, 1984), (Byun, 1990), (Grachev vd., 2007), (Grachev vd., 2000), (Dellwik ve Jensen, 2005), (Yang vd., 2001), (Högström, 1988), (Sorbian ve Grachev, 2010), and (Grachev vd., 2013). Bu çalışmaları birbirinden ayıran noktalar; yapıldıkları lokasyonların pürüzlülük açısından farklı olmaları ve rüzgar hız profillerinde ki farklılıkların kararsızlık üzerinde ki etkisidir. Yapılan bu çalışmalarda ki empirik ifadeler incelendiğinde denklemlerin neredeyse hepsinde derece değişmezken asıl değişikliğin katsayılarında olduğu görülür. Farklı tip sensörlerin kullanılması ve gelişmesi ile birlikte yapılan yeni çalışmalarda sonik sıcaklıkların ısı çiftlerden elde edilenlerden farklı olduğu

ortaya konmuştur, (Schotanus vd., 1983), (Dias vd., 2012), (Liu vd., 2001), ve (Kaimal ve Gaynor, 1991). Schotanus ısı ve nem parametrelerinin Bowen oranı ve enerji dengesi prensibi ile elde edilebileceğini önermiştir. Kaimal ve Gaynor yatay rüzgar hızı, su buhar basıncı ve mutlak basınca dayalı düzeltmeleri kullanarak sanal ve sonik sıcaklık denklemleri türetmişlerdir.

Bu çalışmada MOST, Richardson, ve kesme hızı üsteli kullanılarak elde edilen ζ 'lar arasında bir karşılaştırma yapılmıştır. Literatürde ki benzer çalışmaların, (Essa, 2000), (Zoumakis ve Kelessis, 1993), (Peña vd., 2008), ve (Peña ve Hahmann, 2012), bulgularına göre arazi tipine bağlı olarak ζ değerleri farklılıklar gösterebilmektedir. Yapmış olduğumuz çalışma da rüzgar kesme hızı üsteli ile kararsızlık sınıfı hesaplanması da görülür, bu yöntem de sadece farklı 2 yükseklikteki hız değerleri kullanılarak elde edilmiştir, (DeMarrais, 1959), (Heald ve Mahrt, 1981), (Sutton, 1947), ve (Touma, 1977).

Kararsızlık analizi kavramı 2 temel parametreye dayanmaktadır: derecelendirilmiş hız ve sıcaklık profili. Hava akımının yönü –kaldırma kuvveti baskın olduğu zaman yukarı yönlü bir hareket, kesme kuvveti etkili olduğunda ise düzenli bir hava akışı gözlenir– havanın kararsızlığı ile doğrudan ilişkilidir. Obukhov yüksekliği bu iki parametreye bağlı olarak hesaplanır ve hava kararsızlığı için kullanılan parametredir. 3D ölçümler her zaman var olmayabilir ve 2D(dikey yönlü hava hareketi hız ölçümü mevcut değil) verilerinin olduğu noktalarda bir kararsızlık analizi oldukça büyük önem taşır. Bu tür bir amaç için önerilmiş olan metotlar daha önce de söylendiği gibi : Richardson, F-P, ve kesme hızı üstelidir. Günümüzde sözü geçen (Sadece rüzgar hızı ve yönü ölçümleri olan ya da daha kapsamlı olarak; dikey hızın ve sıcaklık gradyanı olmayan her direk söylenebilir) ve eski dönemlerden kalma sayısı 1500'ü bulan ölçüm direği mevcuttur. Bu çalışma bu direklerde analiz yapmayı mümkün kılması açısından önem taşır. Bu direklerde elde edilen sonuçlar kararsızlık şiddetine bağlı olarak oldukça yanlı olabilmektedir ancak verilerden anlam çıkarma ve kullanma açısından sağladıkları fayda düşünüldüğünde büyük önem taşırlar. Yapmış olduğumuz çalışma da M-O benzerlik teorisini uygulayarak 12 aylık veri ölçümlerini kullandık ve elde edilen sonuçları önerilen metotların kullanımı ile elde edilen sonuçlarla kıyasladık. Amacımız daha önce yapılan tüm çalışmalarda arazilerin (Høvsøre, KANSAS, Arctic Ocean veri setleri) bu çalışmada ki gibi kompleks olmaması nedeniyle MOST yönteminin sonuçlarını saptamak ve bunu önerilen metotlarda ki sonuçlarla kıyaslamaktır.

Pürüzlülük nedeniyle hız ve sıcaklık profillerinde ki en büyük değişim bu noktalarda gözlenmektedir ve bu değişim profil(F-P) denklemlerinde ki diyabatik terimin de, ψ , değişmesine neden olmaktadır. Dolayısı ile pürüzlülük karışım yüksekliği fonksiyonunun en önemli değişkenlerinden biridir. Son olarak bu çalışmamızda, Richardson ve önerilmiş olan diğer yöntemler için tutarlı bir kararsızlık aralığı saptadık.

5.1 Karışım Yüksekliği Teorisi

Hız parametresinin vektörel değişimine bakıldığında, $\vec{\nabla} \times \vec{V} = 0$, ve atalet kuvvetlerinin viskoz kuvvetleri yenmesi durumunda potansiyel akış teorisi uygun modellerin eldesinde kullanılabilir. Herhangi bir yüzey üzeri akışta, pürüzlülük akışı bozduğu için hız gradyan değeri burada maksimuma ulaşır ve girdap oluşumu gözlenir ve buda sınır tabaka oluşumuna yol açar. Sınır

tabaka hareket dinamikleri farklı olan iki bölgeyi birbirinden ayıran bir karışım sınırı olarak tanımlanabilir. Türbülansın kaynağı yüzeydeki pürüzlülük ile meydana gelen hız gradyenidir ve türbülans bu noktada küçük ve çok hızlı oluşup yok olan ya da daha da büyüyerek var olan girdaplardan meydana gelmektedir. Sınır tabakanın yüksekliğinin ne olacağı bu girdap hareketleri ile oluşan dikey yönlü hareketin viskoz bölgede ki hızı ile ilişkilidir (Mekanik kararsızlık dikey yönlü hareket ile dengeye gelmeye çalışır), (Stull, 2012), (Kaimal ve Gaynor, 1991).

”Yükseklik Derecelendirmesi” araştırdığımız yüksekliğin hangi sınırlara ulaşacağını belirleme de kullandığımız yükseklik limitidir (Örneğin; türbülans yüksekliği derecelendirmesi). Bu limit 2 farklı karakteristikte olan bölgeleri ayırmada kullanılır(Örnek; yüzey tabakası ve orta sınır tabaka). Bu derecelendirme yüksekliği zamana bağlı olarakta(günlük, aylık, vb) değişimler göstermektedir. Sonuç olarak skaler ve vektörel olmak üzere birçok parametrenin bu derecelendirme üzerinde etkili olduğu görülür(hız, sıcaklık, viskozite, basınç, nem, ve zaman). Von Karman karışım yüksekliğinin hesaplanması için (Von Kármán, 1930):

$$l = \frac{-ks}{ds/dz} \quad (5.1)$$

s rüzgar kesme hızı şiddeti iken k Von Karman sabitidir. Bu yaklaşım aynı zamanda yüzey tabaka içinde geçerlidir ve Prandtl’ın yaptığı yaklaşım ile benzerlik göstermektedir (Prandtl, 1925).

$$l = kz \quad (5.2)$$

Blackadar yeni bir yaklaşım kullanarak (direnç prensibi) yükseklik derecelendirmesi için başka bir eşitlik önermiştir (Blackadar, 1962).

$$\frac{1}{l} = \frac{1}{\kappa z} + \frac{1}{\lambda} \quad (5.3)$$

λ parametresi girdapların derecesini ifade etmede kullanılmaktadır. Normal barotropik koşullar için, $\lambda = 0.00027G/f$, eşitliği ile hesaplanır. G ve f parametreleri jeostrofik hız ve sürtünme hızını ifade eder. Öte yandan Brost-Wyngaard modeli atalet ve kaldırma kuvvetleri arasındaki eşitliğe dayalıdır, $\lambda = l_B$ ve şu şekilde hesaplanır:

$$l_B = C \frac{\sigma_w}{N} \quad (5.4)$$

N, Brunt-Väisälä frekans parametresini göstermektedir ve $N = \left(\frac{g}{T_0} \frac{\partial \Theta}{\partial z} \right)^{1/2}$, formülü ile hesaplanır. σ_w , dikey yönlü hava hızının varyansını gösterir(girdapların derecesini belirler), C ise 1.69 olarak önerilen bir empirik değerdir,(Brost ve Wyngaard, 1978).

Blackadar ve Delage karakteristik yüksekliğin hesaplanmasında yeni bir model önermişlerdir. Zaman derecelendirmesi türbülansın saptanması adına yapılır ve daha sonra da tüm yönler için bir karakteristik yükseklik hesabına şu şekilde gidilir:

$$\frac{1}{l_i} = \frac{1}{(0.64/f_i) z + (0.17/f_i) \Lambda} \quad (5.5)$$

Burada i yönleri ifade etmede kullanılır, f_i değerleri spektral enerji parametreleridir ve sırasıyla; 0.33, 0.058 ve 0.22 olarak kabul edilir, (Sorbjan, 1986). Λ , yerel Monin-Obukhov yüksekliğini gösterir.

Gryning vd. (2007), tüm atmosferik tabakayı kapsayacak şekilde aşağıdaki modeli geliştirmiştir.

$$\frac{1}{l} = \frac{1}{l_{SL}} + \frac{1}{\kappa l_{MBL}} + \frac{1}{l_{UBL}} \quad (5.6)$$

Bu eşitlikte l_{UBL} , l_{MBL} , ve l_{SL} parametreleri sırasıyla yukarı, orta ve yüzey atmosferik sınır tabakayı ifade eder ve yine direnç prensibi kullanılarak tüm tabakayı ifade edecek eşdeğer bir direnç kullanılmıştır.

$$l_{UBL} = \kappa(z_i - z) \quad (5.7)$$

Bu eşitlikte z_i atmosferik sınır tabakanın yüksekliğini gösterir ve

$$z_i = 0.1 \frac{u_{*0}}{f} \quad (5.8)$$

olarak hesaplanır, öte yandan orta tabaka için aşağıdaki eşitlik kullanılır

$$l_{MBL} = \frac{u_{*0}}{f \left(-2 \ln \left(\frac{u_{*0}}{f z_0} + 55 \right) \right)} \exp \left(\frac{\left(\frac{u_{*0}}{f L} \right)^2}{400} \right) \quad (5.9)$$

Peña yine aynı parametrelerin yardımı ile ancak farklı bir direnç prensibi ile yaptığı yaklaşımda şu eşitliği önermiştir, (Peña vd., 2010)

$$\frac{1}{l} = \frac{1}{\kappa z} + \frac{(\kappa z)^{d-1}}{\eta^d} \quad (5.10)$$

Burada ise η girdapların büyüklüklerinin derecelendirilmesi ile ilişkilidir. Blackadar d üsteli için 1 değerini önerirken, Lettau ve Peña ise 5/4 değerini önermişlerdir (Blackadar, 1962), (Lettau, 1962), (Peña vd., 2010). Aşağıdaki eşitlik ise bu üstel değer ile girdap yükseklik derecesi arasındaki ilişkiyi göstermektedir.

$$\eta = \frac{\kappa z_i}{d(1+d)^{1/d}} \left[\left(\left[\ln \left(\frac{u_{*0}}{f_c z_0} \right) - A \right]^2 + B^2 \right)^{1/2} + \ln \left(\frac{z_i}{z_0} \right) \right]^{-1/d} \quad (5.11)$$

A ve B değerleri ampirik değerler olup, aldıkları değerler Peña'nın çalışmasında mevcuttur, kararsızlık durumuna bağlı olarak değişim göstermektedir, (Peña vd., 2010).

5.1.1 3D Yüksek Frekanslı Ölçümlerle MOST

MOST yöntemi için en önemli nokta, yüzey sınır tabakanın altında geçerli olduğudur. Bu bölgede ısı, momentum, ve nem akı modellerindeki değişim %10 u geçmediği için sabit kabul

edilebilir(Stull, 2012). Bu varsayıma bağlı olarak türbülans yükseklik derecelendirilmesi şu şekilde hesaplanır:

$$L = -\frac{u_*^3}{\kappa(g/T)w'\Theta'_v} \quad (5.12)$$

Burada $u_* = \sqrt[4]{\overline{u'w'^2} + \overline{v'w'^2}}$ olarak hesaplanır ve yüzey sürtünme hızını temsil eder. T sıcaklık parametresidir ve Θ_v ise sanal potansiyel sıcaklık değeridir ve nem parametresi ile ilişkilidir,(Stull, 2012), ve aşağıdaki gibi hesaplanır

$$\Theta_v = \Theta(1 + 0.61r) \quad (5.13)$$

Bu eşitlikteki r parametresi eğer hava doymamış ise hava-su oranını ifade etmede kullanılır, öte yandan doymuş hava için ise su içeriğini göstermesi açısından şu şekilde düzenlenir

$$\Theta_v = \Theta(1 + 0.61r_{sat} - r_L) \quad (5.14)$$

Burada ise r_{sat} ve r_L parametreleri görülür ve sırasıyla su buharı doyma karışım oranı ile sıvı su karışım oranını ifade eder. Θ kuru hava-adyabatik potansiyel sıcaklık parametresidir

$$\Theta = T \left(\frac{P_0}{P} \right)^{0.286} \quad (5.15)$$

ile hesaplanır. P ve P_0 ölçülmüş ve referans basınç (100 kPa) değerleridir. Başka bir türbülans yükseklik derecelendirmesi orta ve üst atmosferik katmanlarda dikkate alınarak aşağıdaki formül ile hesaplanılır.

$$l = \frac{(\overline{u'w'^2} + \overline{v'w'^2})^{1/4}}{\partial u / \partial z} \quad (5.16)$$

burada dikey hız ve yatay hız değerlerinin kovaryanslarının hız gradyeni de kullanımı ile birlikte bir derecelendirme önerilmiştir. Bunu yapmak için ölçümler 10 dk'lık bloklar halinde incelenir ve devamında ise durgun akış etkisinden kurtulmak için gerekli filtreleme işlemi yapılması gerekir. Aşağıdaki maddeler temel olan bazı koşulları göstermektedir

- Rüzgar hızının 1 m/s' nin altında olduğu veriler,
- Sadece sektör 12' deki veriler dikkate alınmıştır (hakim rüzgar yönü),
- Sıcaklık skalası ise $|T_*| > 0.05^\circ\text{C}$ aralığında kabul edilir (Dellwik ve Jensen, 2005),
- $|u_{*0}| > 0.1 \text{ Wm}^{-1}$ koşulu ile ϕ_m ' i belirlemek istenmiştir (Högström, 1988).

5.1.2 Richardson Yöntemi

Verilerin yetersiz olmasına rağmen kararsızlık analizi çalışmaları 1950'lerden beri var olan bir uğraştır. Richardson yöntemi de bunlardan bir tanesidir ve türbülans akışı ile yüzey karakteristiğinden çok fazla etkilenmektedir. Yaptığımız çalışma da Bulk Richardson sayısı dikkate

alınmıştır. Bunun en büyük nedeni ise 2 farklı yükseklik yerine yalnızca bir yüksekliğin yeterli oluşudur. Seçilen diğer yükseklik yerine pürüzlülük yüksekliğinin kullanılmasının nedeni bu noktada hızın 0 oluşu ve daha kesin sonuçlar elde edilmesidir,(Stull, 2012). Sonlu herhangi bir nokta için

$$Ri_b = \frac{g\Delta\bar{\theta}_v\Delta z}{\bar{\theta}_v [(\Delta\bar{U})^2 + (\Delta\bar{V})^2]} \quad (5.17)$$

şeklinde hesaplanır. Görüldüğü üzere hız bileşenlerinin değişimlerinin kareleri ile bir toplama yapılmıştır. Richardson sayısı ile Obukhov yüksekliği arasında ki ilişki aşağıda verilmiştir.

$$\zeta = mRi_B \quad (5.18)$$

$$\zeta = \frac{mRi_B}{1 - nRi_B} \quad (5.19)$$

m ve n katsayıları birçok araştırmacı tarafından çalışılmıştır ve şu bilgilere ulaşılmıştır. Genel olarak, 5.18 nolu denklem için $-1 < Ri_B < 0$ aralığı geçerli olduğu durumlarda $m = 10$ kabul edilir, diğer bir yandan ise 5.19 denkleminde $-1 < Ri_B < 0$ olduğu yerlerde $m = 10$, $n = 5$ değerleri kabul edilir. Deardoff bu değerlerin -0.012 ve 0.012 olduğu aralıkta 12 olarak alınması gerektiğini idda etmiştir (Deardoff, 1968). Başka bir çalışmada ise m değeri $-20 < U\Delta\theta < 20$ koşulu geçerli olduğu yerlerde 6.78 ve $U\Delta\theta > 20$ olduğu zaman ise 10.89 olarak önerilmiştir,(Grachev ve Fairall, 1997). Holstag da aynı şekilde m ve n değerleri için $m = 10$ ve $n = 5$ değerlerini önermiştir,(Holtslag vd., 2014). Bu çalışma içinde bu değerler kullanılmıştır. Grachev' in çalışması deniz yüzeyinde yapıldığı için bu çalışmanın yapıldığı arazide denendiğinde yanlı sonuçlara neden olmaktadır.

5.1.3 Akı Profil (F-P) İlişkileri

Bu yaklaşımlar dar bir kararsızlık sınıfı için geçerli olmaktadır ve bu çalışma da ise oldukça şiddetli kararsızlık değerlerine ulaşılmaktadır. İlk olarak hız ve potansiyel sıcaklık gradyenlerine ihtiyaç duyulur, devamında ise boyutsuz profil değerleri elde edilir. Son olarak ise ζ değeri uygun profil denklemi yardımıyla elde edilebilmektedir. Bu profil fonksiyonları geçerli oldukları aralığa göre uygun olanı seçilmelidir. Örneğin; ζ değeri 0'a yaklaştıkça fonksiyon ikinci dereceden olacak şekilde seçilmelidir.

$$\varphi_m(\zeta) = \left(\frac{\kappa z}{u_*} \right) \frac{du}{dz} \quad (5.20)$$

$$\varphi_h(\zeta) = \left(\frac{\kappa z}{T_*} \right) \frac{d\theta}{dz} \quad (5.21)$$

Normal kararsızlık şartları geçerli olduğu durumlarda verilen bu ifadeler 0 olmaktadır. Çok güçlü kararsızlık bölgeleri için z-less tabakalaşma terimi Wyngaard tarafından 1970'lerin başında kullanılmıştır, (Wyngaard vd., 1971) and (Wyngaard ve Coté, 1972). Ancak Grachev

kararsızlık parametresinin boyutsuz F-P değerinde çok daha hızlı bir şekilde arttığını idda etmiştir, (Grachev vd., 2007).

Farklı 2'den fazla farklı noktalardan alınmış yüksekliklerden yapılan ölçümler yardımı ile lineer ya da 2.dereceden bir eğri uydurma yöntemi ile hız gradyeni elde edilebilir. Şu unutulmamalıdır ki her ne kadar lineer yaklaşım hatalara sebep olarsa da verilerin oldukça yetersiz olduğu yerlerde gerekli bir durumdur. Sadece bir noktada hız ölçüm değeri olsa bile $du/dz = (u(z) - u(z_0))/(z - z_0)$ dönüşümü yapılarak $u(z)/z$ elde edilmektedir.

5.1.4 Rüzgar Kesme Hızı Yöntemi

Bir başka veri yetersizliği durumu sıcaklık ölçümlerinin olmayışıdır. Böyle bir senaryo için kesme hızı kullanılabilir. Ayrıca burada kesme hızı üsteli kullanılarak kararsızlık sınıfı belirlenmiş ve referans yöntem ile elde etmiş olduğumuz kararsızlık sınıfları ile tutarlılıkları incelenmiştir. Rüzgar kesme hızı üsteli, (Sutton, 1947),

$$U(z_2) = U(z_1) \left(\frac{z_2}{z_1} \right)^\alpha \quad (5.22)$$

olarak tanımlanır. Kesme hızı yüzey pürüzlülüğü ve kararsızlıktan etkilenmektedir. Kompleks bir arazide z_0 rüzgar yönüne bağlı olarak farklılıklar göstermektedir (Herbir sektörde farklı değerler görülür). Rüzgar kesme üsteli boyutsuz hız profili parametresi, diyabatik terim, ve pürüzlülük ile ifade edilebilir, (Blackadar, 1962).

$$\alpha = \frac{\varphi_m \left(\frac{z}{L} \right)}{\ln \left(\frac{z}{z_0} \right) - \psi_m \left(\frac{z}{L} \right)} \quad (5.23)$$

Rüzgar kesme hızı üsteli kesme hızının aşırı olduğu kararsızlık durumlarında maksimum değerlere ulaşırken konvektif durumlarda negatif değerler almaktadır son olarakta normal kararsızlık durumunda ise 0 değerine yakınsar. Berg'in çalışması dikkate alınarak aşağıdaki tabloda hangi kararsızlık durumunda bu değerlerin neler olabileceği görülür.

Pasquill sınıfı	Sınıf Adı	Kesme üsteli aralığı	Kesme üsteli değeri
A-C	(Zayıf) Konvektif	$m \leq 0.1$	0.07-0.1
D	(Yakın) Normal	$0.1 < m \leq 0.2$	0.15
E	(Zayıf) Kararlı	$0.2 < m \leq 0.4$	0.35
F	(Güçlü) Kararlı	$0.4 \leq m$	0.55

Tablo 5.1: Kararsızlık sınıfları ile kesme hızı üsteli (Van den Berg, 2008)

5.2 Deneysel Düzenek

IYTE 101 m meteorolojik ölçüm direği $38^\circ 19' 60''$ K ve $26^\circ 37' 58''$ D koordinatlarında yer alacak şekilde konuşlandırılmıştır, Şekil 5.1. Deniz yüzeyinden yüksekliği 52 m ve bulunduğu lokasyon eğimi ve yüzey pürüzlülüğü açısından komplekstir.



Şekil 5.1: IYTE 100 m ölçüm direğinin konumu

Veri ölçüm ve toplanmasına Aralık 2017’ de başlanmış olup devam etmektedir. Verilerin analizi ve bulguların değerlendirilmesi için uygun bulunan tarih aralığı ise 2018 Ocak-2019 Ocak aylarıdır. Datalogger frekansı 1Hz, veri setleri ise 10 d’lık, saatlik, aylık bazlarda incelenmektedir. Direkte bulunan ekipmanlar Tablo 3.1’ de verilmiştir.

Tablo 3.1’ de verildiği üzere 4 adet cup anemometre, 2 ultrasonik sensör, 3 adet nem/sıcaklık sensörü, ve 2 adet basınç sensörü bulunmaktadır. En tepede yer alan anemometre de ki bum uzunluğu 2m ve çap ise 34mm’ dir. Herhangi bir destek eleman olmadan montajı yapılmıştır. Diğer yandan ise yardımcı eleman uzunluğu 3.1m ve çap değerleri 48mm’ yi bulan elemanlar 98m ve 99m de yer alan rüzgar gülleri ile cup anemometrelerin montajında kullanılmıştır. Bum geometrilerine bakıldığında ise uzunluğun 1.17m ve çapın ise yine 34mm olduğu görülür. 76m-30m’ de yer alan cup anemometre ve rüzgar gülü için kullanılan rod uzunluğu ise 3.8m’dir ve diğerlerinden farklılık gösterir. Ultrasonik sensörler 10m ve 52m’ de kurulmuştur, destek elemanları ise 48mm çapında ve 3.8m uzunluğundadır. Bum uzunlukları ise 1.17m’ dir.

Ultrasonik sensörler için destek elemanların uzunlukları 3.8 m iken çapları 48 mm’dir. Bum boyutlarına gelirse uzunluk 1.17 m ve çap değeri yine 48 mm’ dir. Nem ve sıcaklık sensörleri 3 m, 35 m, ve 90 m’ ye kurulmuş olup kullanılan destek elemanı 34 mm çap değeri ile 0.75 m uzunluğunda iken, bum için uzunluk değeri 0.48 m ve çap değeri 34 mm’dir. Oryantasyon açısı destek eleman ve bumlar hava akışını bozacağı için değerlendirilmesi gereken başka bir parametredir. Rüzgar gülü için bu değer yukarıdan aşağıya doğru (98 m, 74 m ve 28 m) sırası ile 304°, 301°, ve 301°’ dir. Sıcaklık/nem sensörü içinse (90 m, 35 m, ve 3 m) 179°, 180°, ve 183°’ dir. Ultrasonik sensörler için oryantasyon açı değerleri (52 m ve 10 m) 125° ve 121° olarak belirlenmiştir.

Bu ölçülen parametreleri kullanarak önemli birçok parametre türetilmektedir. Tablo 5.2’e bakıldığında bu türetilen parametrelerin diğer parametreler ile olan ilişkisi görülebilir.

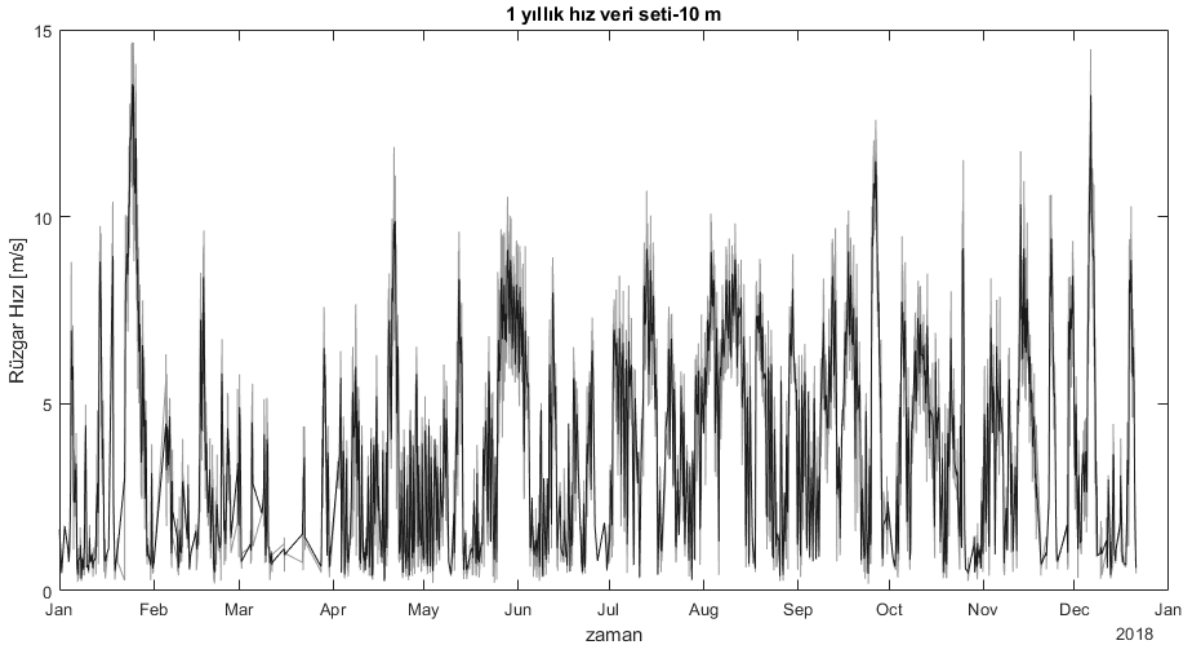
Tablo 5.2: Türetilmiş parametreler

Türetilmiş Parametreler	Kullanılan Parametreler
ρ_{10}	P_{10}, RH_{10}, T_{10}
ρ_{52}	P_{52}, RH_{52}, T_{52}
u_{10}^*	u_{10}, v_{10}, w_{10}
u_{52}^*	u_{52}, v_{52}, w_{52}
h_{Flux10}	$\rho_{10}, w_{10}, T_{10}$
h_{Flux52}	$\rho_{52}, w_{52}, T_{52}$
ζ_{10}	w_{10}, T_{10}, u_{10}^*
ζ_{52}	w_{52}, T_{52}, u_{52}^*

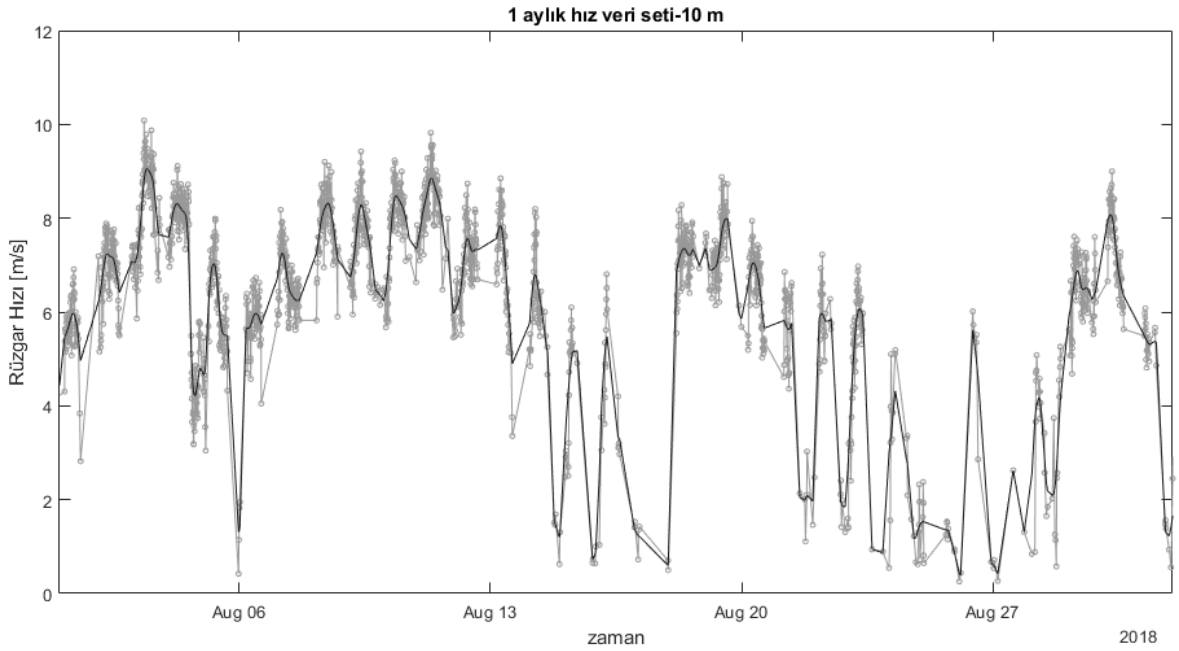
Düşey hız bileşeni (w), sürtünme hızının ve ısı akısının (h_{Flux}) hesaplanmasında oldukça büyük önem taşımaktadır. ρ ve ζ değerleri ise hava yoğunluğu ile boyutsuz Obukhov yükseklikleridir. Bu değerler 10 d' lık bloklar şeklinde türetilmektedir. 10 ve 52 alt indisleri ise ölçümlerin hangi yükseklikten alındığını göstermektedir.

5.3 Bulgular

Yaptığımız çalışmada ilk olarak rüzgar yönlerini sektörel olarak inceledik ve hakim rüzgar yönünü saptamaya çalıştık. Tablo 3.2' e bakıldığında rüzgar hızlarının sektörel olarak şiddete bağlı dağılımı görülmektedir. Sektör 1' in hakim rüzgar yönü olduğu dolayısı ile analizlerde diğer yönlerden esen rüzgarın ihmal edilebileceği görülür. Aşağıda yıllık ve aylık bazlarda tüm parametreler için veri setlerinde değişimler orijinal ve Gauss yöntemi kullanılarak düzeltilmiş şekilde de verilmektedir.

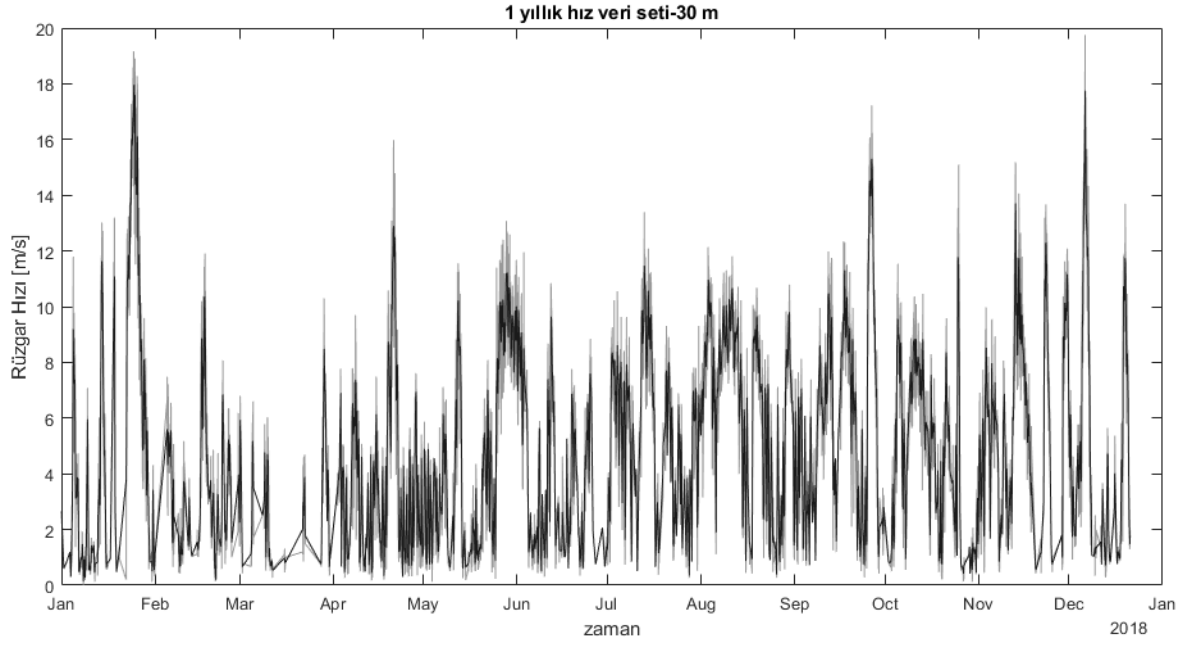


Şekil 5.2: 2018-2019 yılı 10 m' de ki hız dağılımı

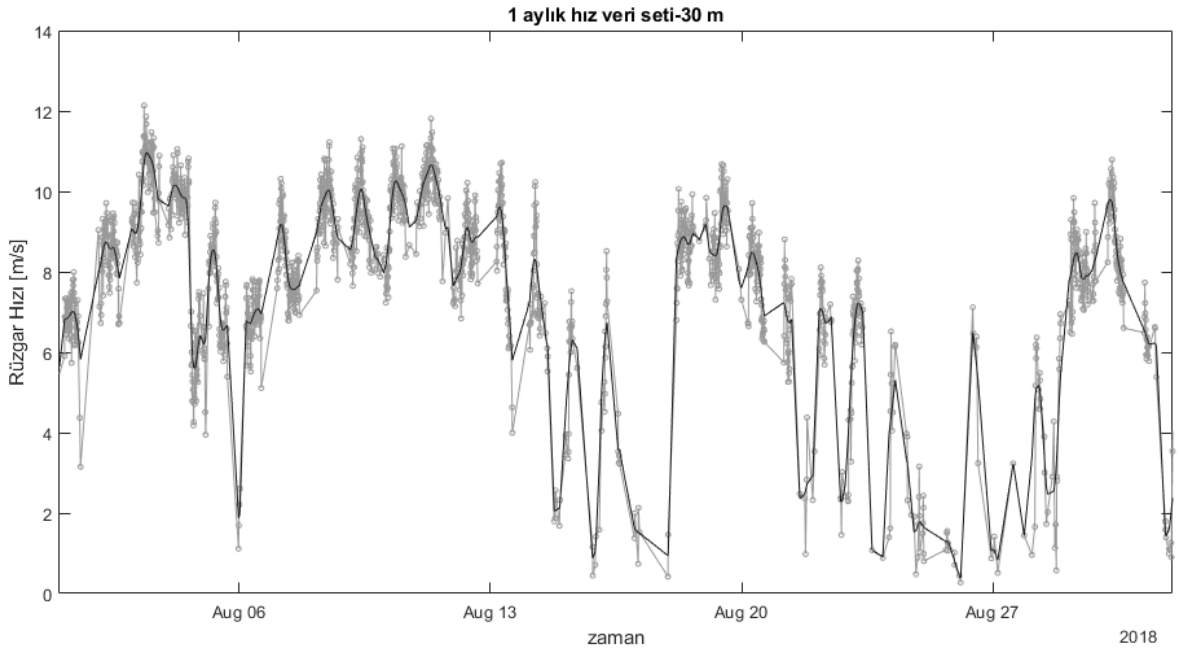


Şekil 5.3: Aylık bazda ki hız değişimi

Şekil 5.2' e bakıldığında yıllık bazda hız değerlerinde gerçekleşen değişimler görülmektedir. Şekil 5.3' te ise aylık değişimler verilmektedir. Gauss yöntemi ile keskin değişimler yumuşatılmış ve anlamlı hale getirilmiştir.

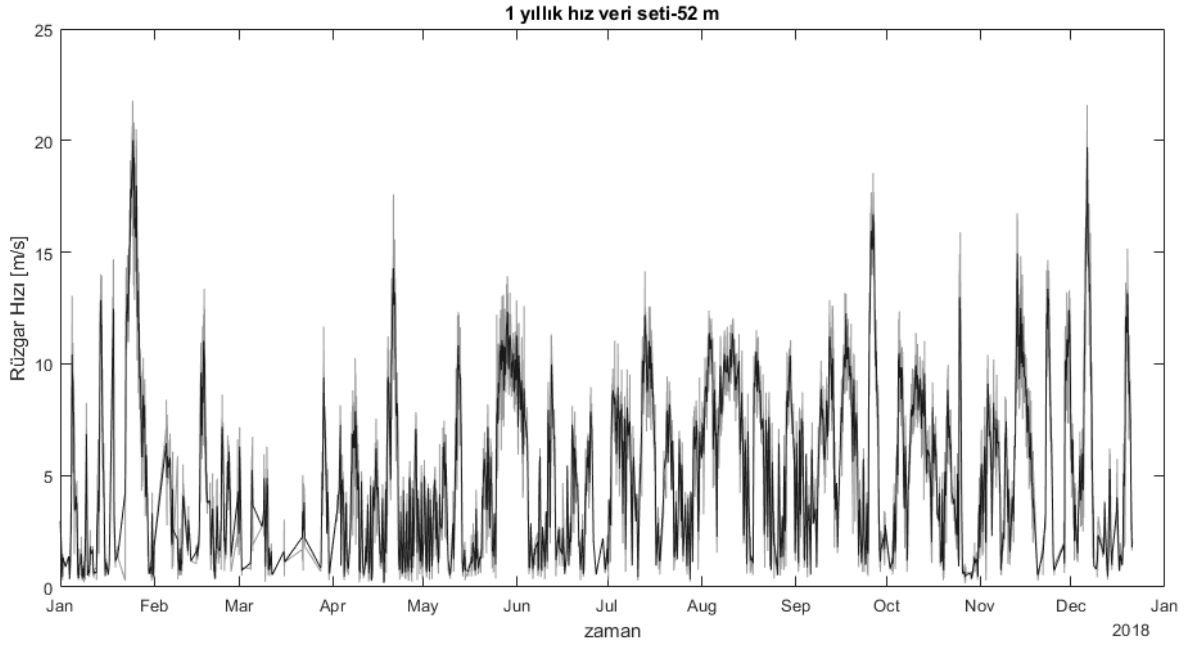


Şekil 5.4: 2018-2019 yılı 30 m' de ki hız verileri değişimi

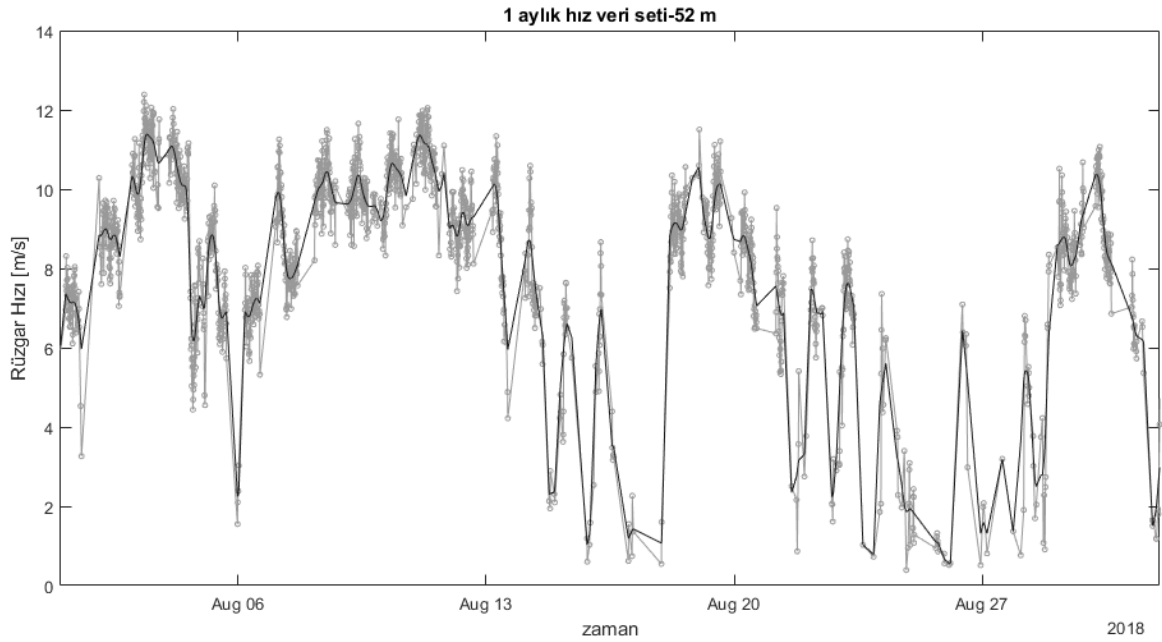


Şekil 5.5: 30 m' de ki aylık hız değişim grafiği

Yine aynı şekilde yıllık ve aylık bazda olacak şekilde 30 m' deki hız değerleri değişimleri Şekil 5.4 ve Şekil 5.5' de verilmektedir.

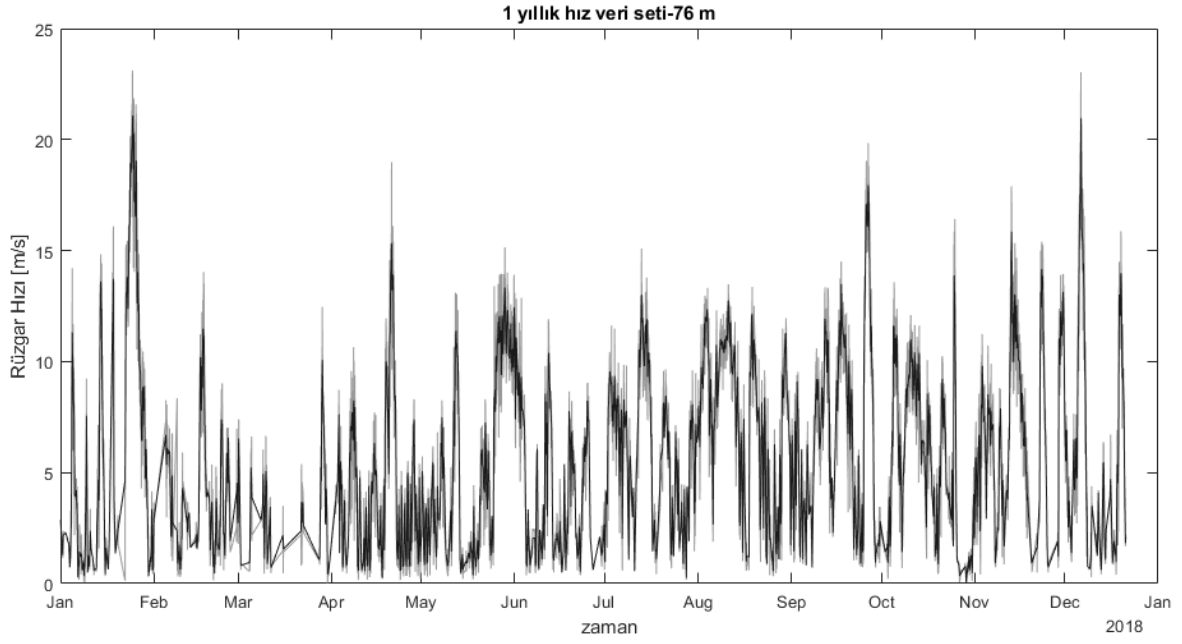


Şekil 5.6: 2018-2019 yılları 52 m' den alınmış ölçüm değerleri zaman serisi

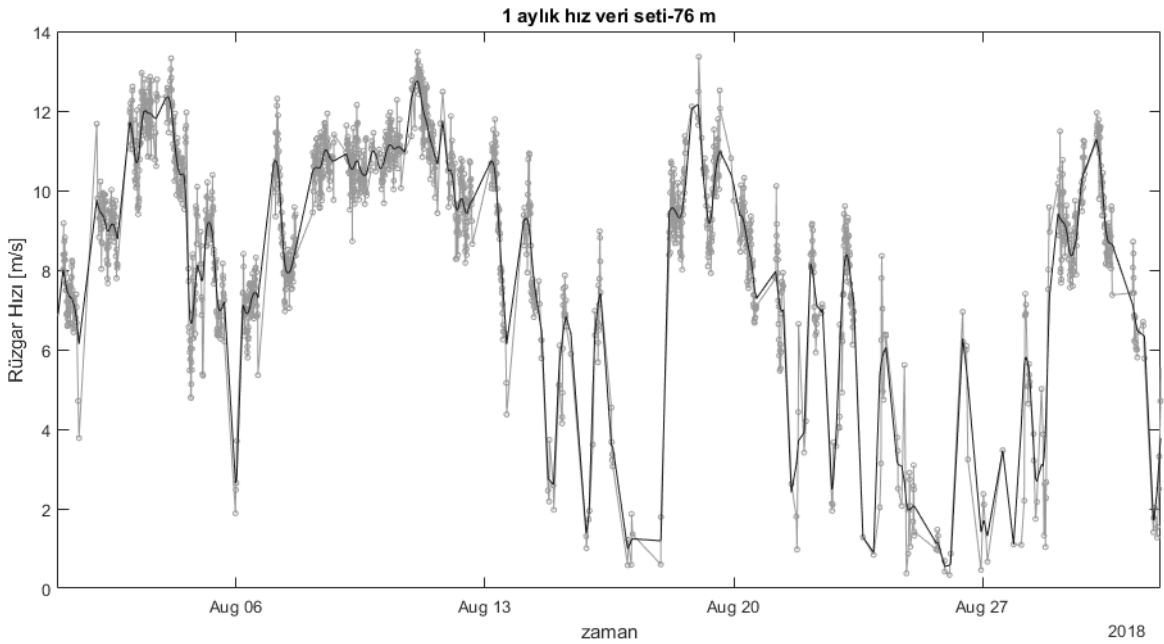


Şekil 5.7: 52 m' de ki ölçümlerin Ağustos ayı değişimi

Şekil 5.6' de 52 m' den alınmış verilerin yıllık bazdaki değişimleri görülmektedir. Bu grafikte genel olarak daha yüksek hızlara çıktığı görülebilmektedir. Şekil 5.7' de ise aylık bazda 52 m' den alınmış olan ölçümlerin sadece Ağustos ayında ki değişimleri yine daha detaylı olarak görülmektedir.

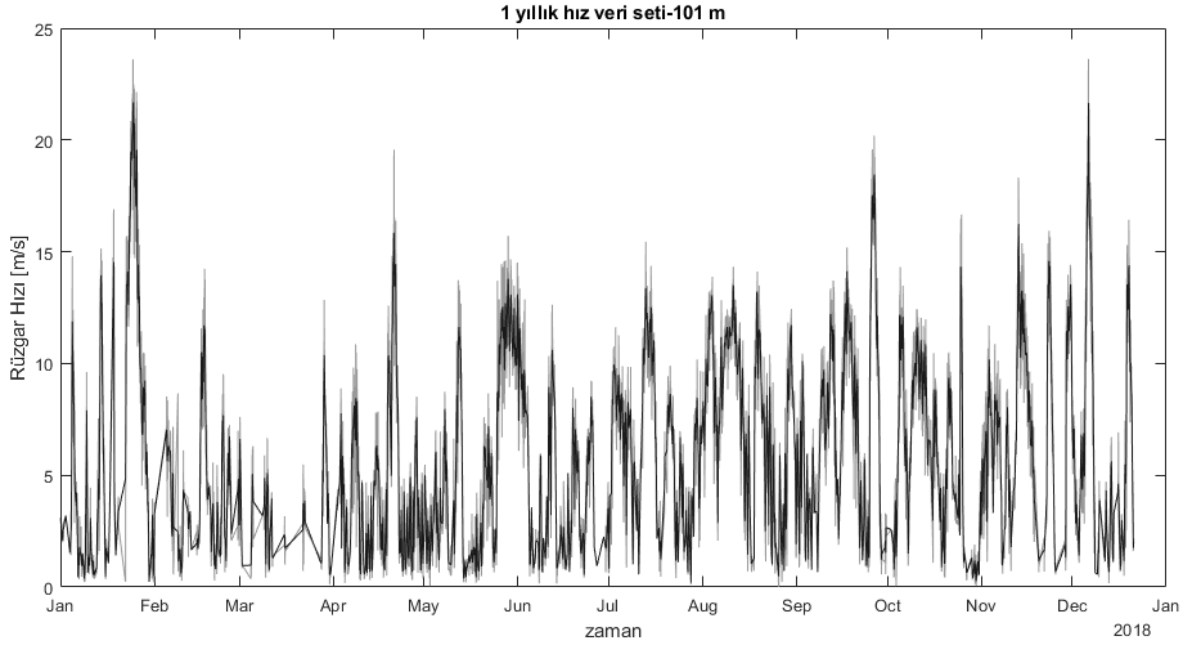


Şekil 5.8: 2018-2019 yılları 76 m' den alınmış ölçüm değerleri zaman serisi

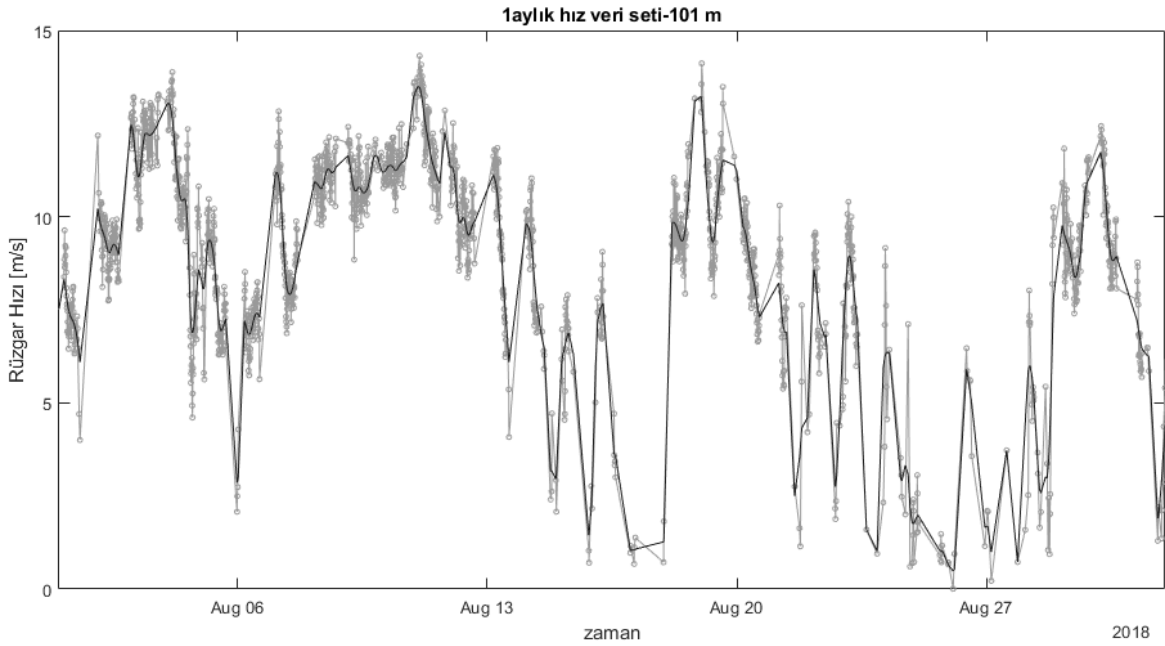


Şekil 5.9: 76 m' de ki ölçümlerin Ağustos ayı değişimi

Şekil 5.8' de bu sefer ölçümler 76 m' den alınmıştır. Şekil 5.9' da 1 aylık hız değişimleri verilmiştir. Yine aynı şekilde 52 m' de ki değişimler ile kıyaslandığında hız değerlerinde artış görülür.

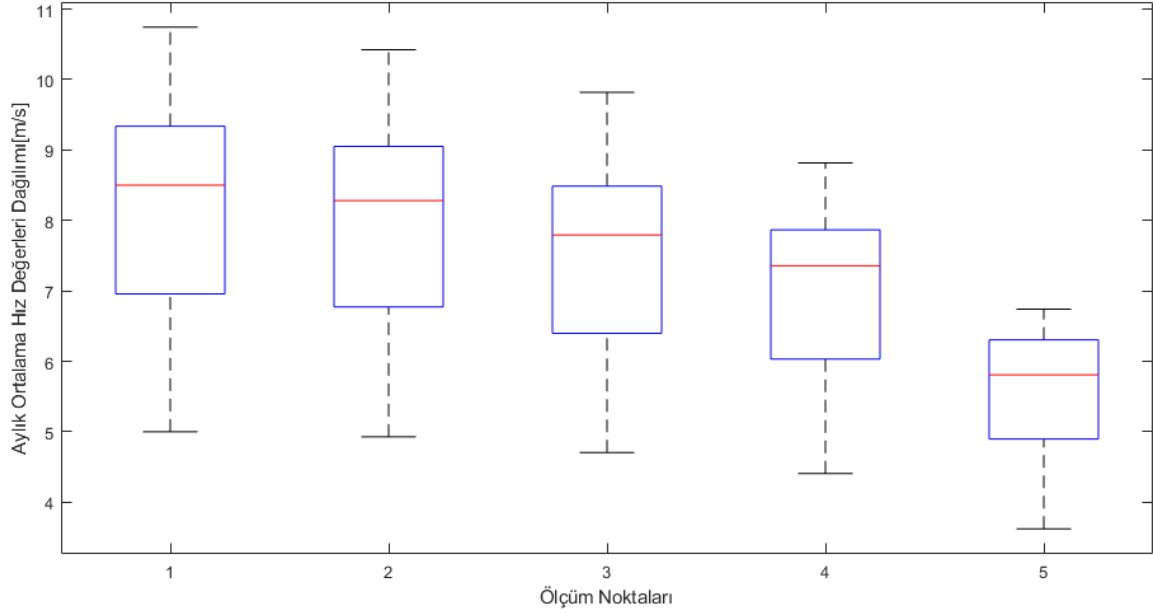


Şekil 5.10: 2018-2019 yılları 101 m' den alınmış ölçüm değerleri zaman serisi



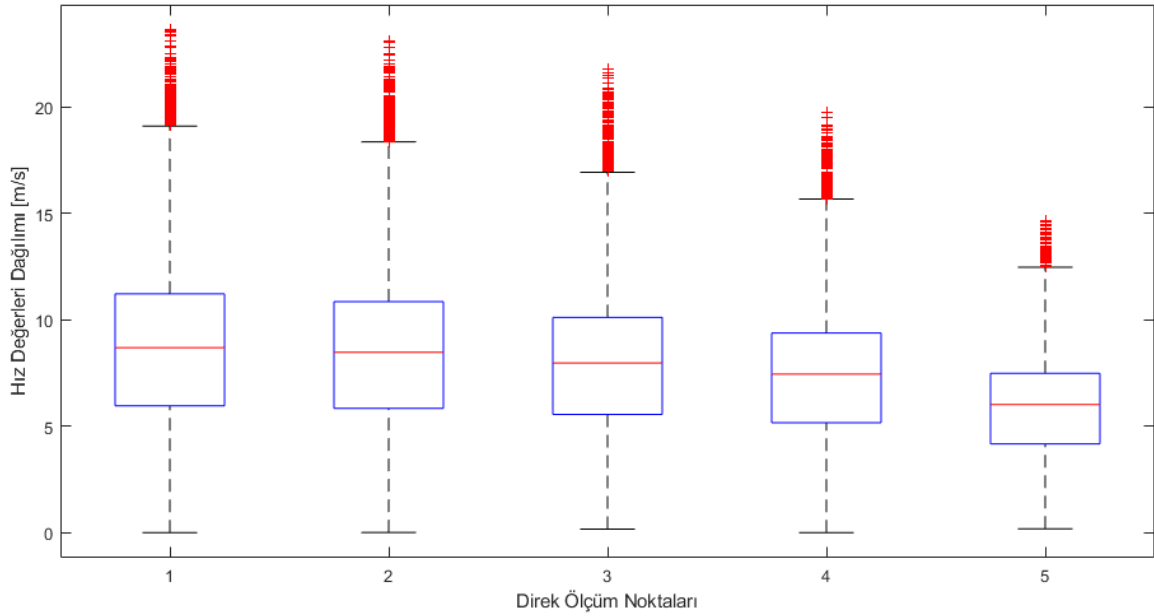
Şekil 5.11: 101 m' de ki ölçümlerin Ağustos ayı değişimi

Şekil 5.10' da en yüksek nokta da ki hız ölçüm değerlerinin 1 yıllık değişimi verilmiştir. Kış aylarında hız değerleri diğer mevsimlere göre daha yüksek olduğu görülmektedir. Şekil 5.11' de aylık bazda 101 m' de ölçülmüş hız değerlerinin değişimi görülmektedir.



Şekil 5.12: Aylık bazda ortalama hız değerleri dağılımı

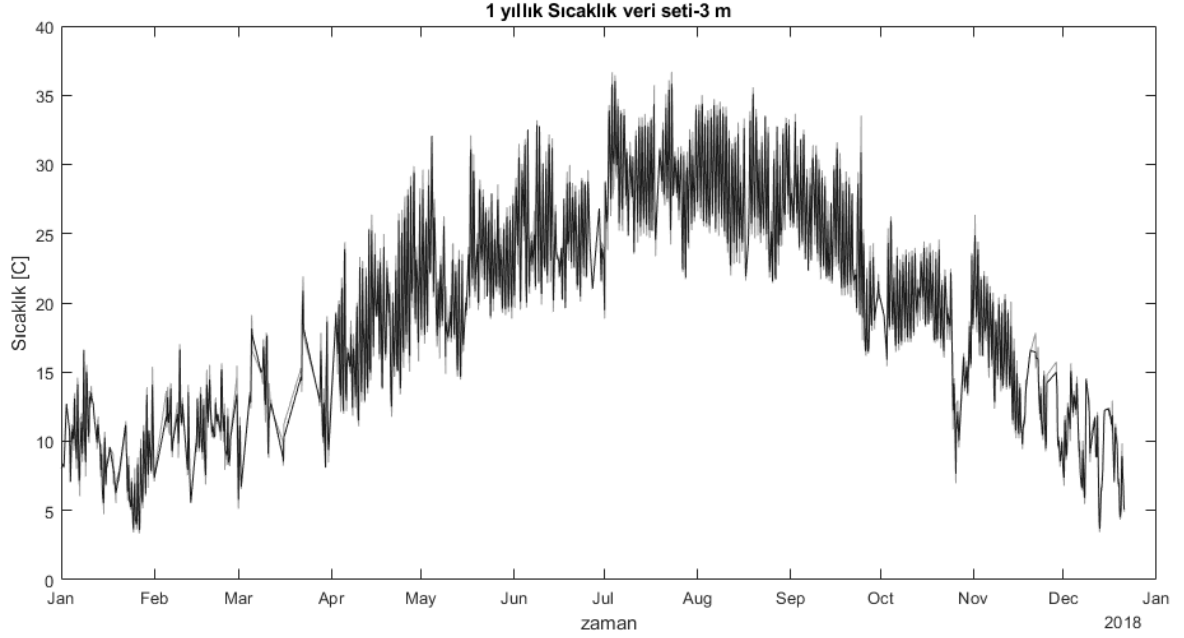
Şekil 5.12' te, x ekseninde yer alan 1' den 5' e kadar olan numaralar sırasıyla 101-76-52-30-10 m de bulunan ölçüm noktalarını ifade etmektedir. En düşük ortalama aylık hız değerleri 5 m/s değerini gösterirken aylık ortalama hız değeri en yüksek değeri 11 m/s' yi bulabilmektedir.



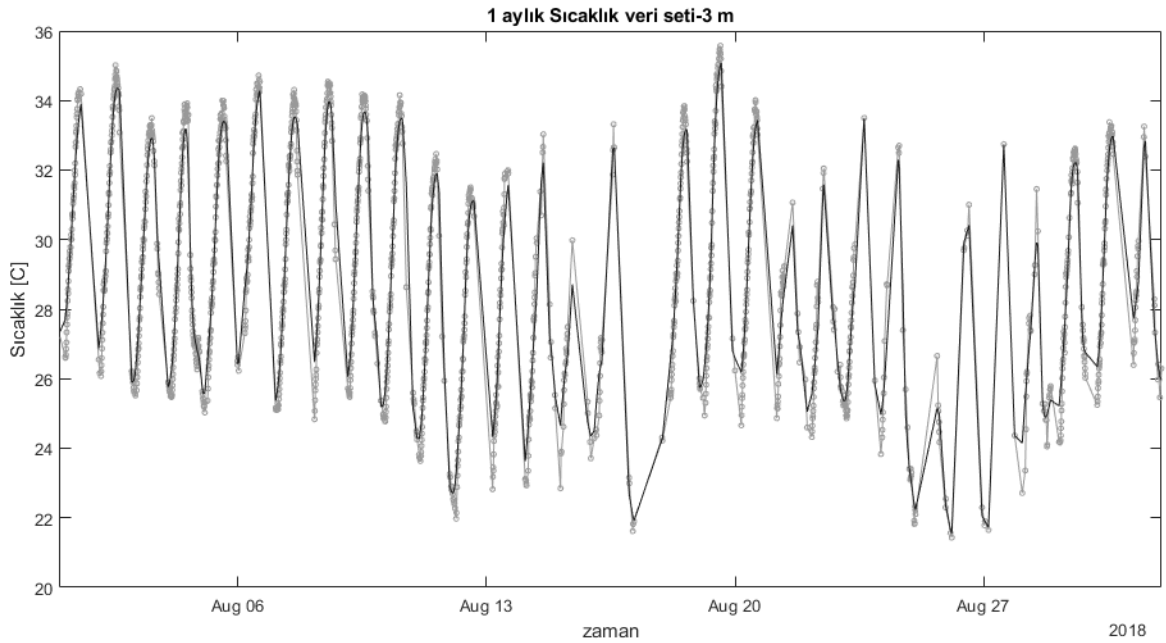
Şekil 5.13: 2018-2019 arası ölçümü yapılmış tüm noktalardaki hız değerleri

Şekil 5.13' de yine aynı şekilde x eksenini ölçüm noktalarını, y eksenini ise hız değerlerini

göstermektedir. Minimum ve maksimum değerler 0 ve 20 m/s dolaylarında seyrederken ekstrem hız değerlerinin sayısının fazlalığı da görülmektedir ve 25 m/s dolaylarında seyrettiği gözlenmiştir. Kutuların içindeki kırmızı çizgi medyanı temsil ederken Q25 ve Q75 değerlerinin ise sırasıyla 5 m/s ile 12 m/s dolaylarında olduğu görülür.

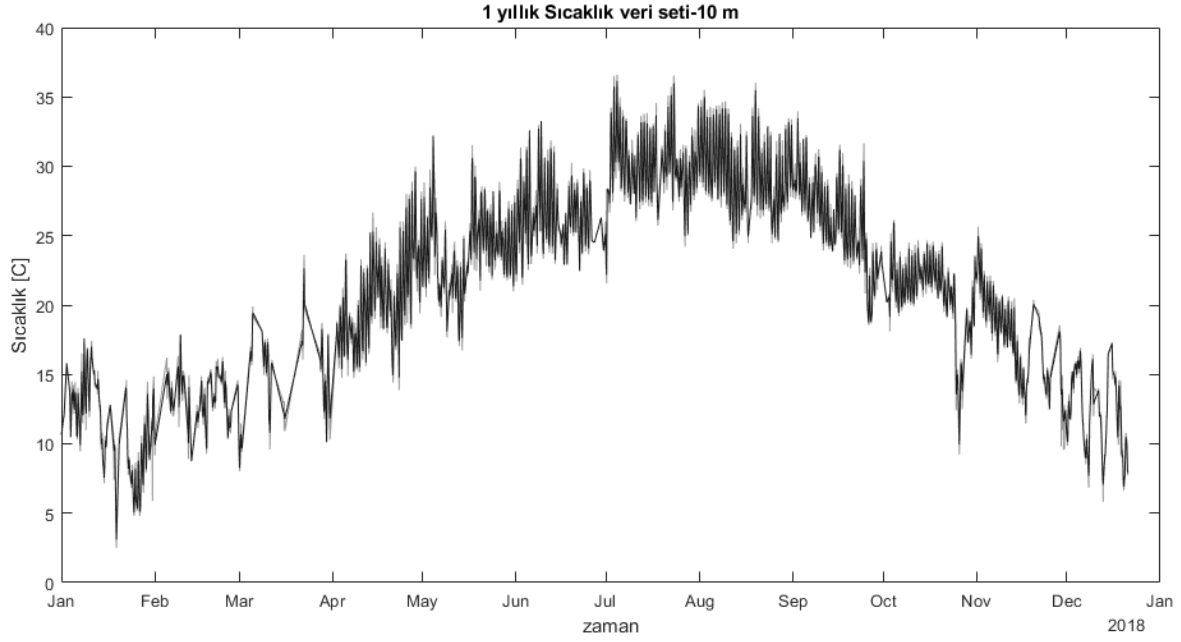


Şekil 5.14: 2018-2019 yılları 3 m' den alınmış sıcaklık ölçüm değerleri zaman serisi

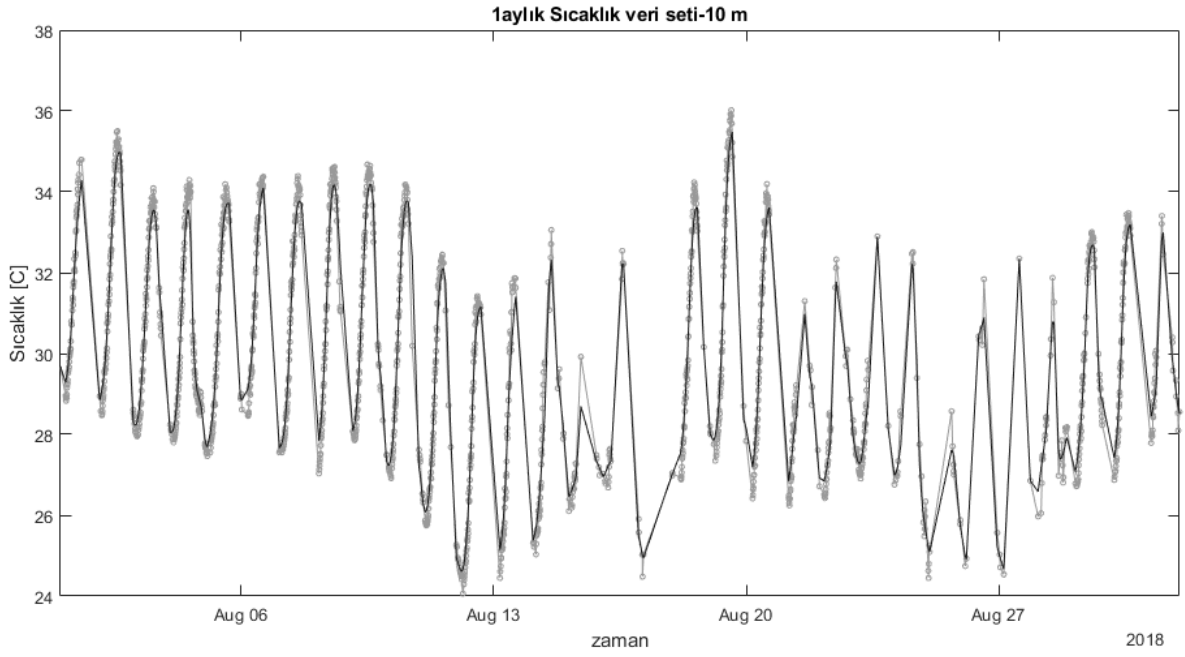


Şekil 5.15: 3 m' de ki sıcaklık ölçümlerin Ağustos ayı değişimi

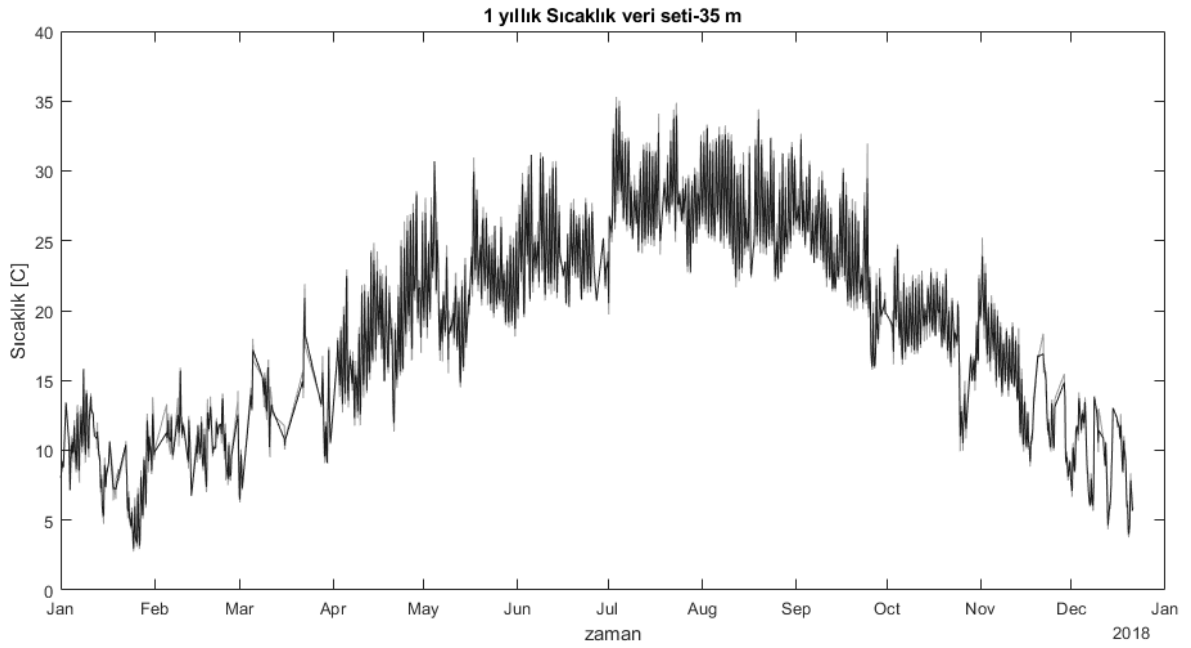
Şekil 5.14' e bakıldığında sıcaklık değerlerinin yıllık bazda nasıl değiştiği gözlenir. Diğer grafiklerde olduğu gibi burada da orijinal veri kümesi ile düzenlenmiş veri kümesi arasındaki farkın açıkça gözükmediği aşikardır. Şekil 5.15' te ise aylık bazda incelenen 3 m'den alınmış olan veri kümesi verilmektedir. Siyah ile belirlenmiş olan çizgiler keskin değişimleri yumuşatarak verinin daha kolay anlaşılmasını sağlamaktadır.



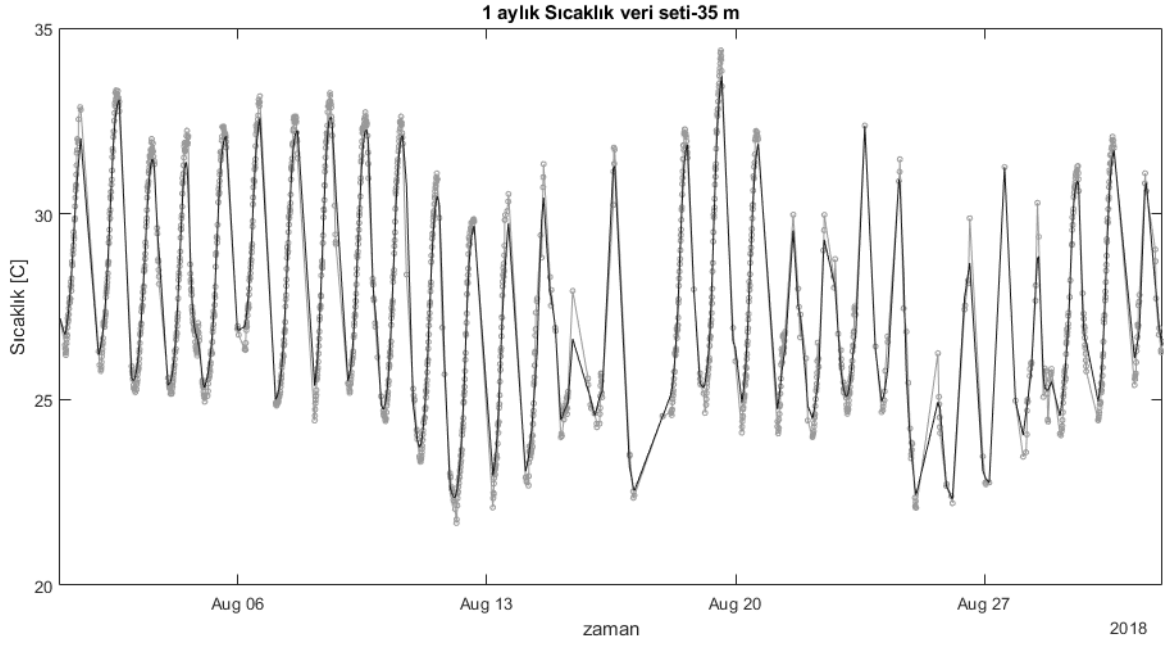
Şekil 5.16: 2018-2019 yılları 10 m' den alınmış sıcaklık ölçüm değerleri zaman serisi



Şekil 5.17: 10 m' de ki sıcaklık ölçümlerin Ağustos ayı değişimi

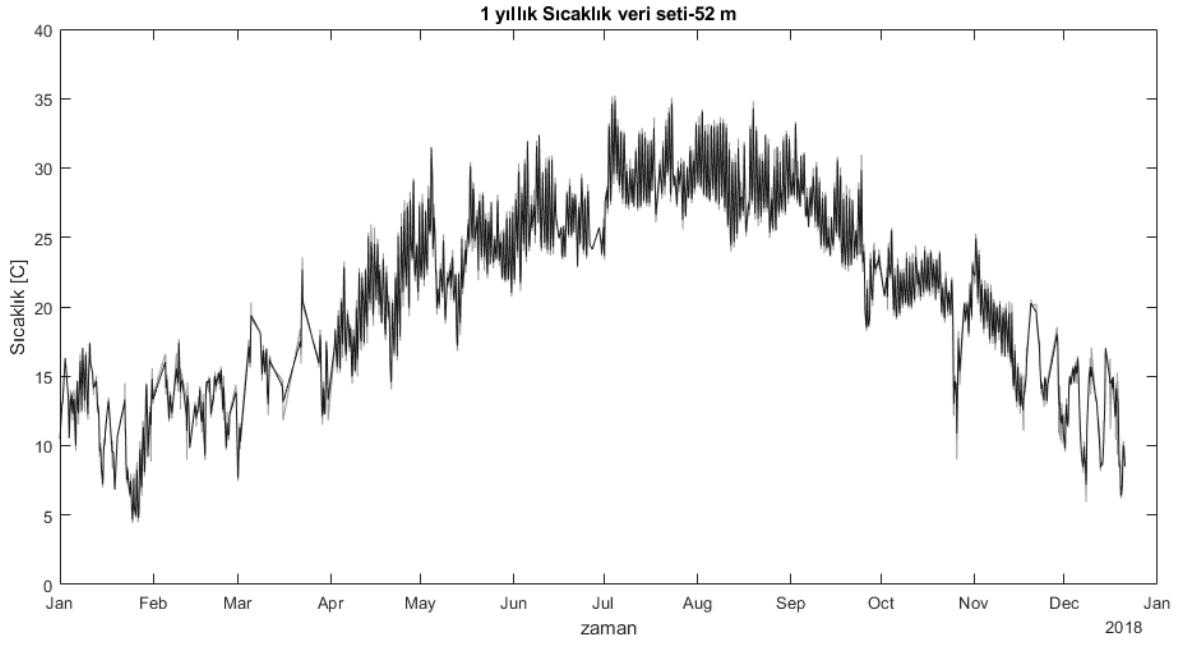


Şekil 5.18: 2018-2019 yılları 35 m' den alınmış sıcaklık ölçüm değerleri zaman serisi

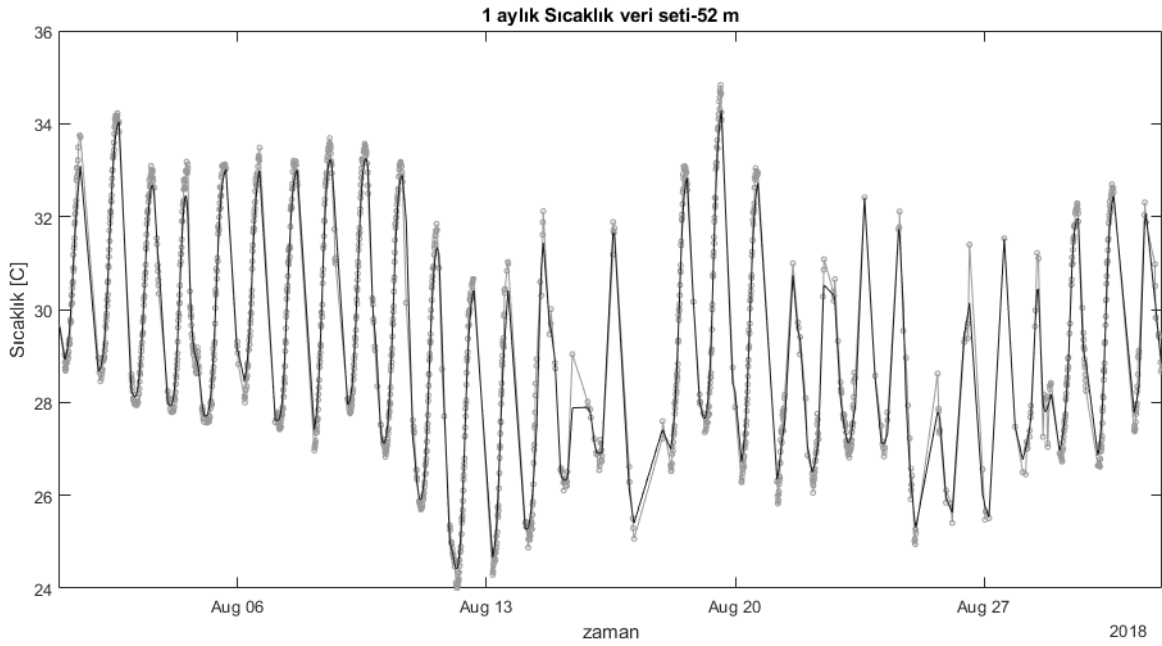


Şekil 5.19: 35 m' de ki sıcaklık ölçümlerin Ağustos ayı değişimi

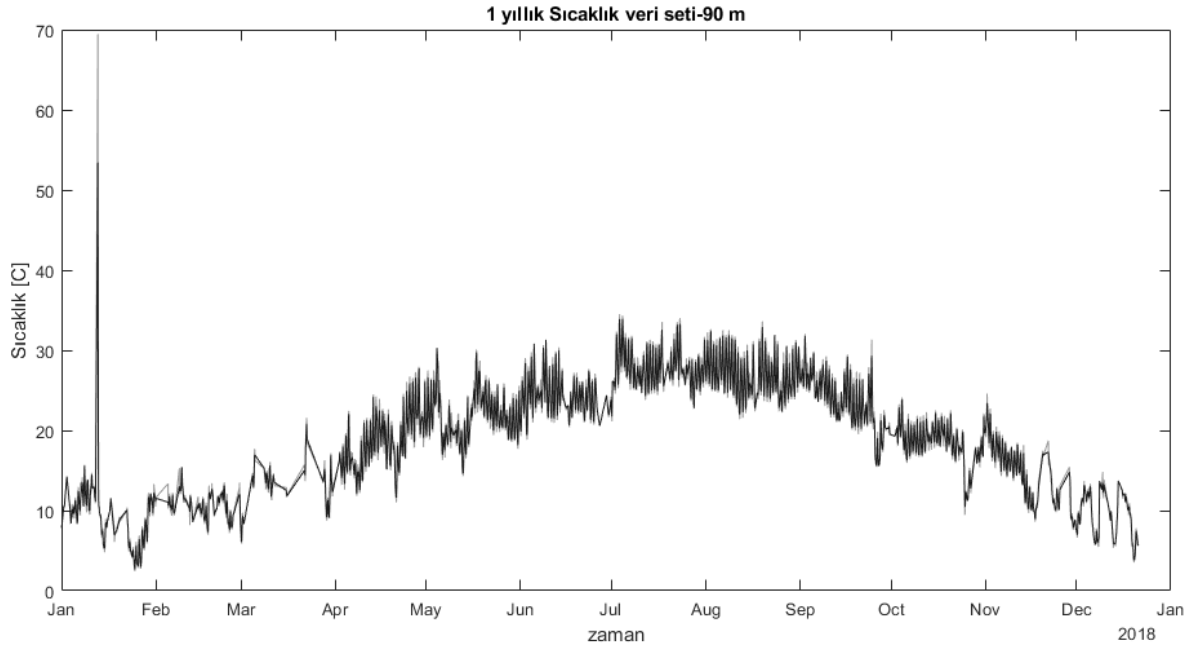
Şekil 5.16' da 10 m' den alınan sıcaklıklar ultrasonik sensörden alınmıştır. Yaz aylarına doğru beklendiği gibi sıcaklıklarda ki artış gözlenebilir ancak daha detaylı görebilmek adına yakından bakılmalıdır. Şekil 5.17 Ağustos ayı için sıcaklık değişimini göstermektedir. Şekil 5.18' de 35 m' den alınmış yıllık ölçümler verilmektedir. Şekil 5.19' da ise bu yükseklikten alınmış olan ölçümlerin Ağustos ayı için olan değişimleri yine Gauss yöntemi ile düzenlenmiş bir halde sunulmuştur.



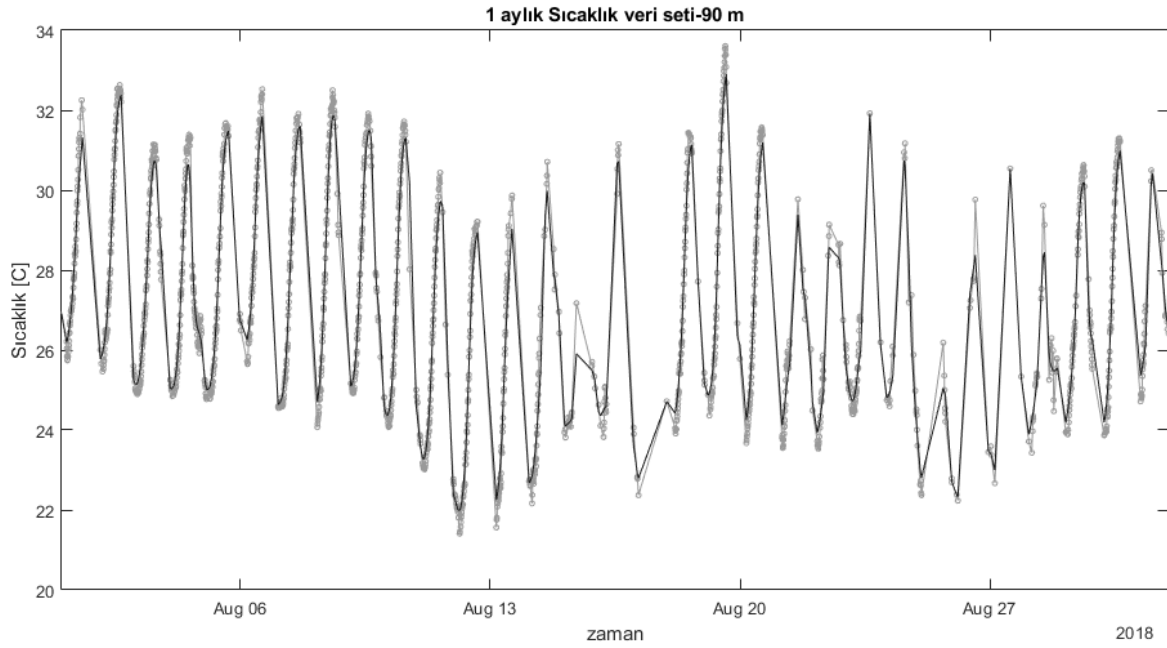
Şekil 5.20: 2018-2019 yılları 52 m' den alınmış sıcaklık ölçüm değerleri zaman serisi



Şekil 5.21: 52 m' de ki sıcaklık ölçümlerin Ağustos ayı değişimi



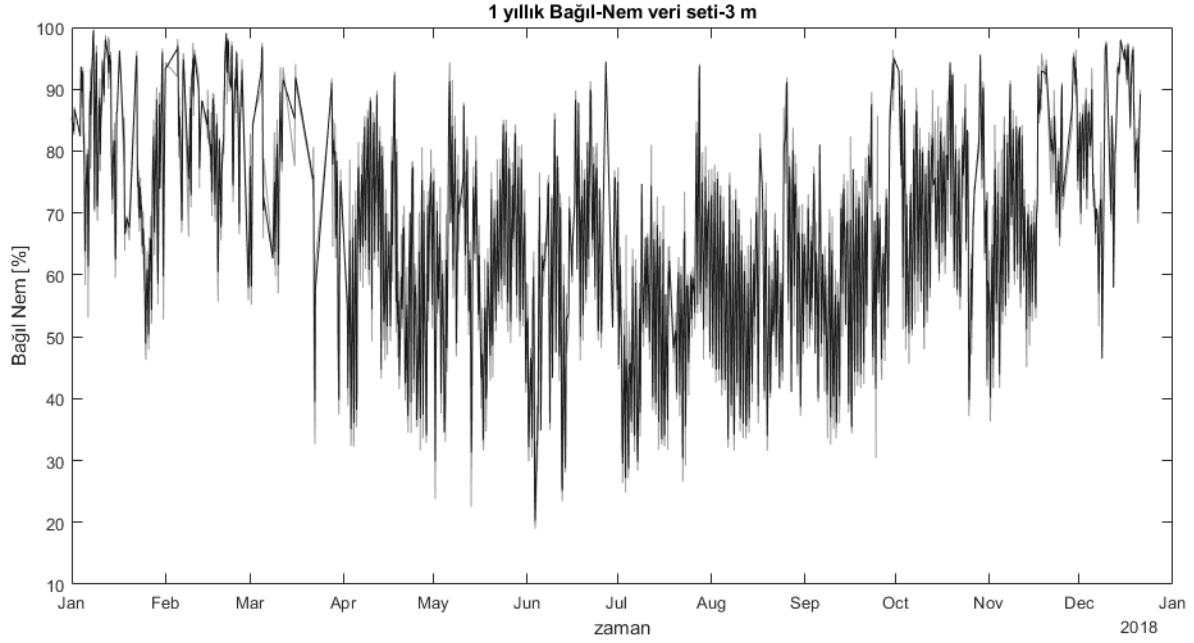
Şekil 5.22: 2018-2019 yılları 90 m' den alınmış sıcaklık ölçüm değerleri zaman serisi



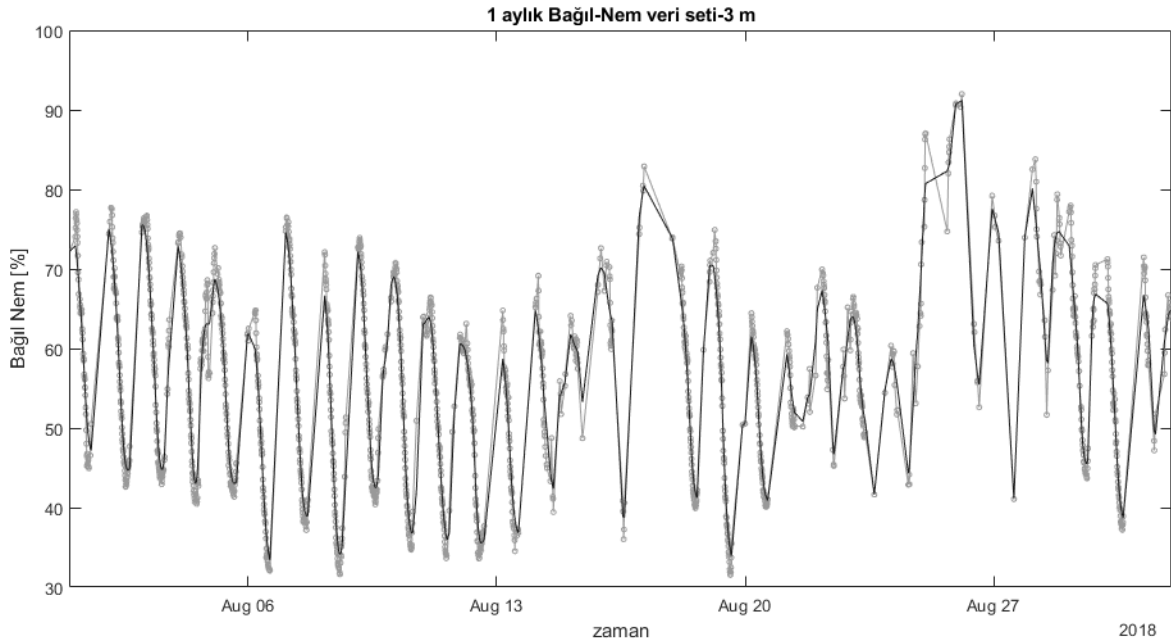
Şekil 5.23: 90 m' de ki sıcaklık ölçümlerin Ağustos ayı değişimi

Şekil 5.20 52 m'de yer alan ultrasonik cihazdan alınan sıcaklık ölçümlerini göstermektedir. Dolayısı ile bu noktada hız, yön, ve sıcaklık değerleri de mevcuttur. Aylık bazda ki sıcaklık değerleri ise Şekil 5.21' de mevcuttur. Şekil 5.22 yıllık bazda en yüksek nokta olan 90 m' de ki

değişimi göstermektedir. Burda ilginç olan tek nokta 15 Ocak dolaylarında ki hatalı ölçümdür. Diğer noktalarda böyle bir yükseliş olmaması ve böyle bir sıcaklık değerinin **mümkün olmayacağı** aşikardır. Şekil 5.23 Ağustos ayı için sıcaklık değerlerinin detaylı görünüşünü ifade eder.

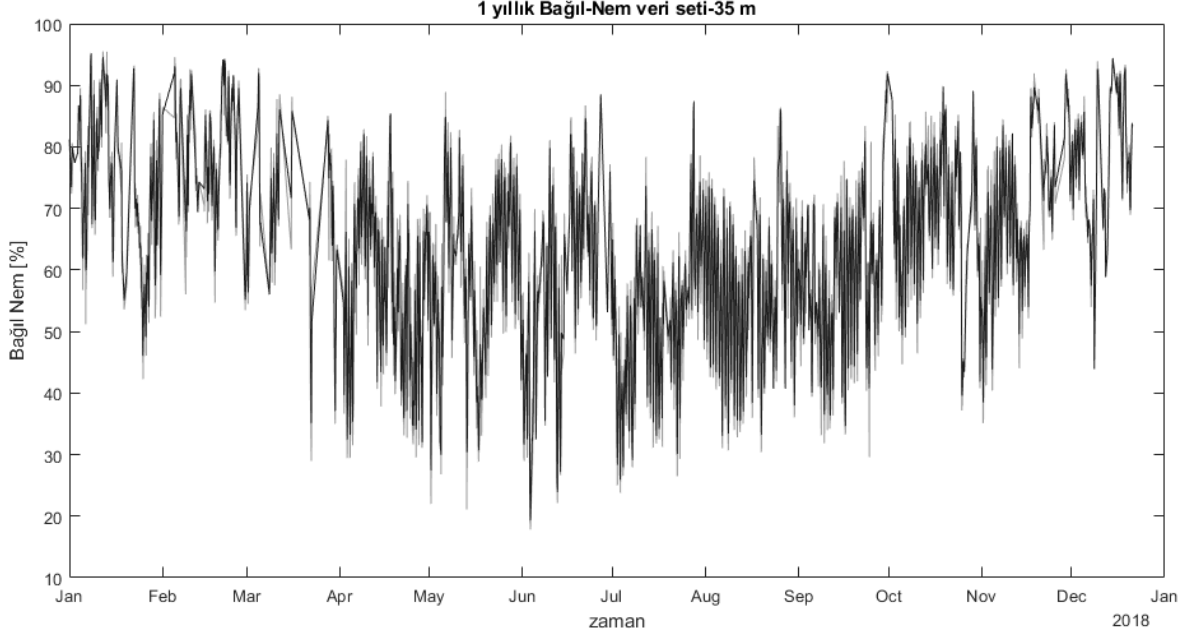


Şekil 5.24: 2018-2019 yılları 3 m' den alınmış nem ölçüm değerleri zaman serisi

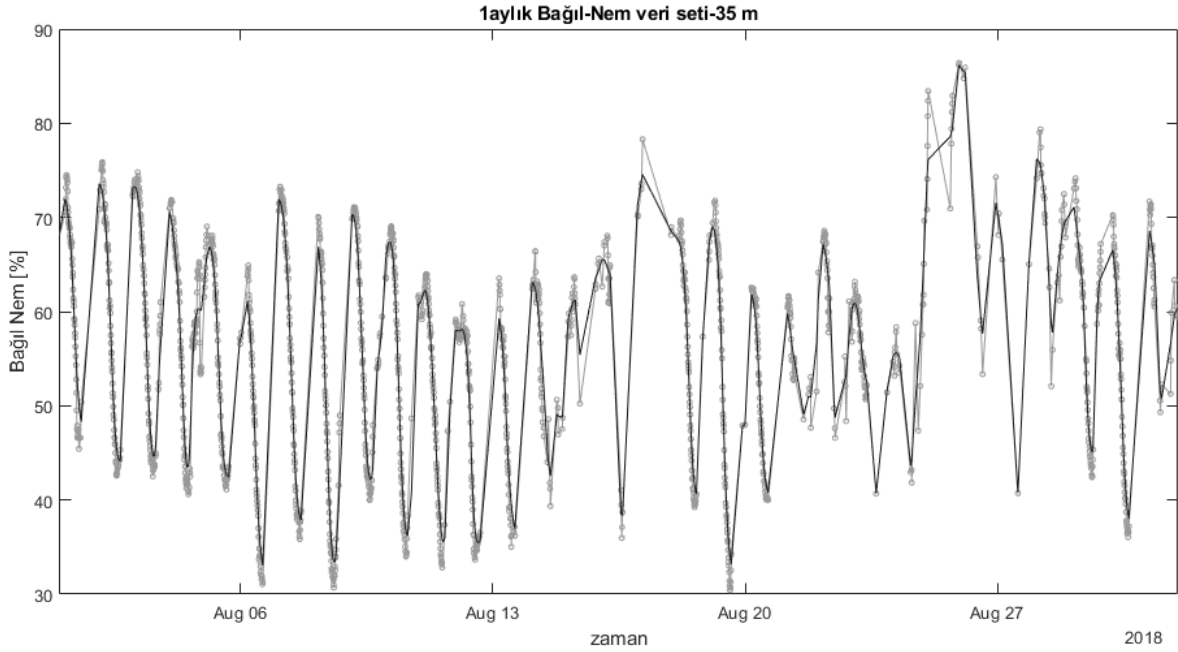


Şekil 5.25: 3 m' de ki nem ölçümlerin Ağustos ayı değişimi

Şekil 5.24' 3m' den sıcaklıkla beraber ölçülmüş olan bir yıllık bağıl nem oranları % olarak verilmektedir. Değişimlerin daha iyi görülebilmesi için bir aylık değişimler ise Şekil 5.25' de yer almaktadır.

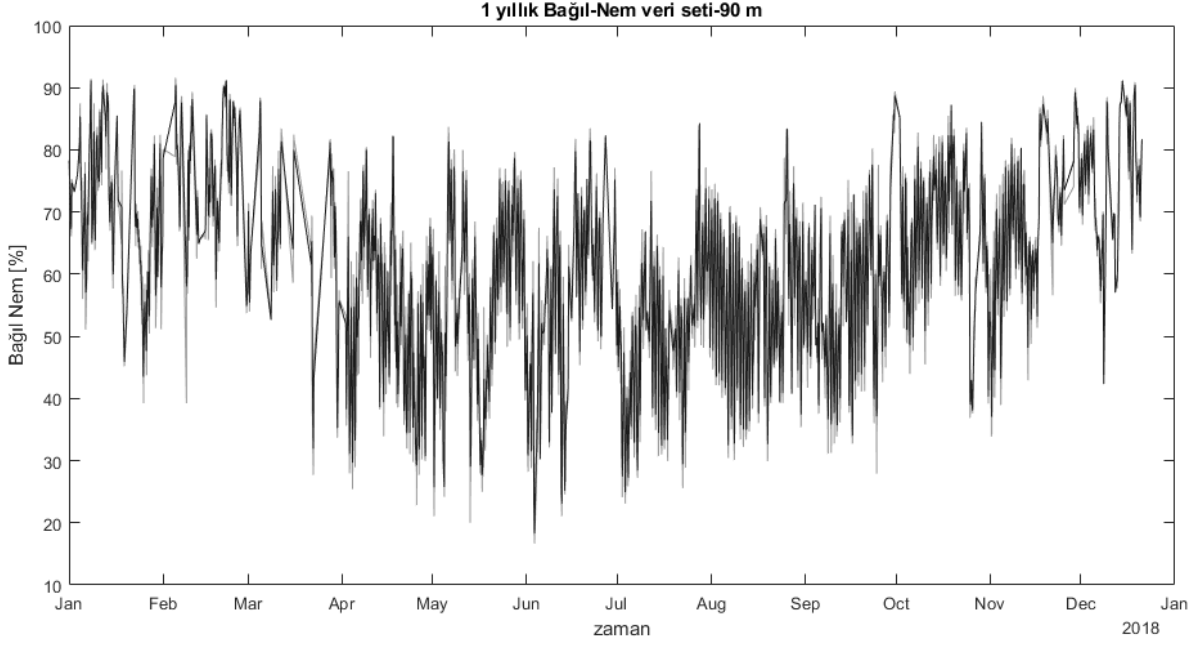


Şekil 5.26: 2018-2019 yılları 35 m' den alınmış nem ölçüm değerleri zaman serisi

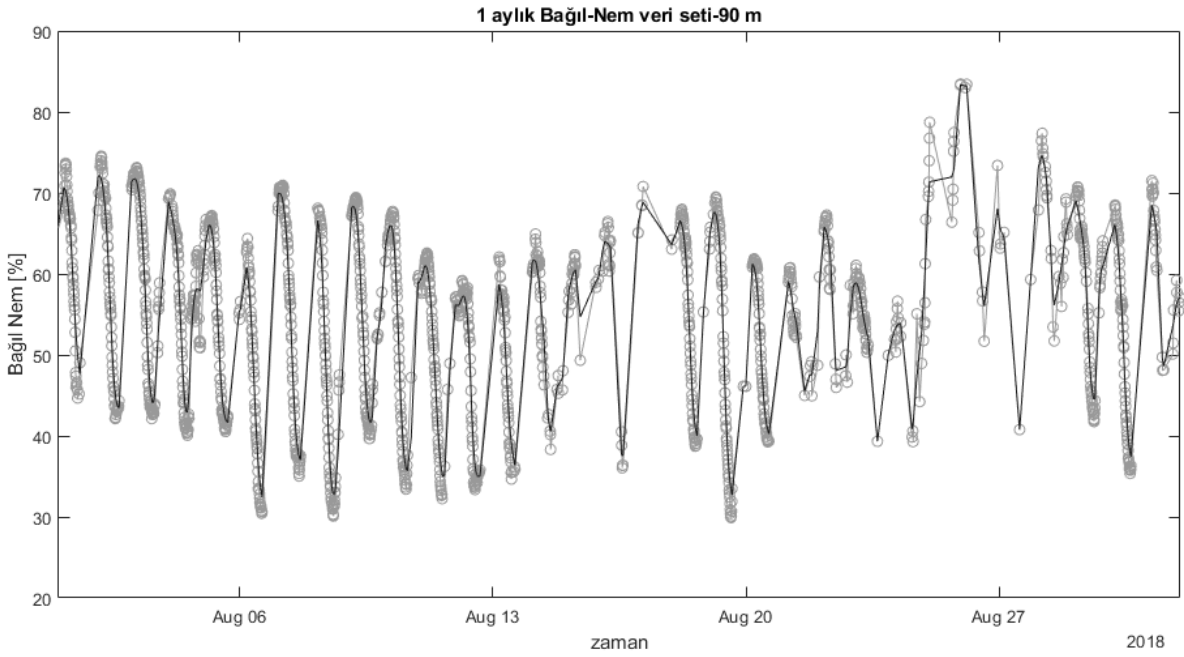


Şekil 5.27: 35 m' de ki nem ölçümlerin Ağustos ayı değişimi

Şekil 5.26 ise 35 m' de ki ölçümler için oluşturulmuştur. Aynı noktada ki sıcaklık ölçümleri de aynı sensör kullanılarak bütünleşik bir şekilde alınmaktadır. Ağustos ayı için olan değişimler ise Şekil 5.27' te yer almaktadır.

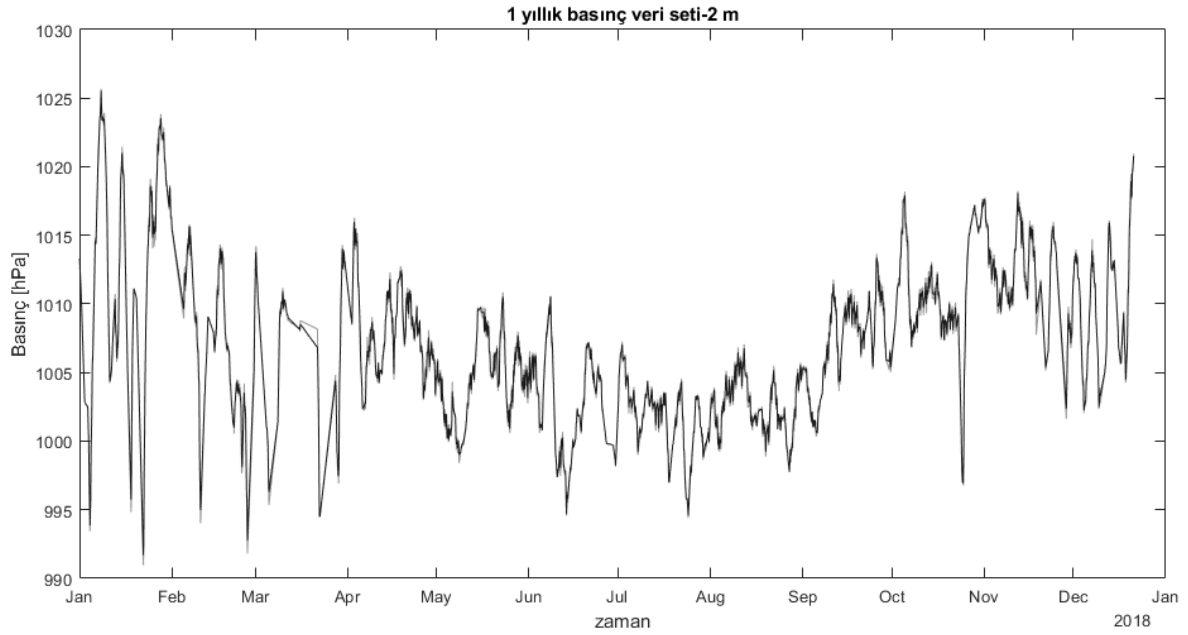


Şekil 5.28: 2018-2019 yılları 90 m' den alınmış nem ölçüm değerleri zaman serisi

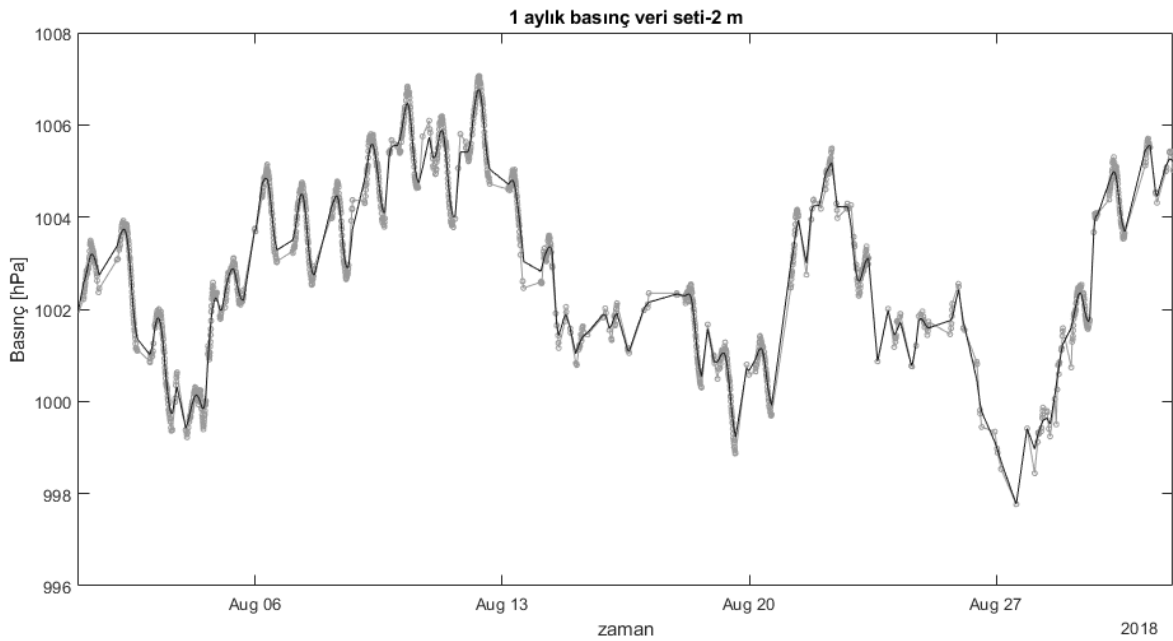


Şekil 5.29: 90 m' de ki nem ölçümlerin Ağustos ayı değişimi

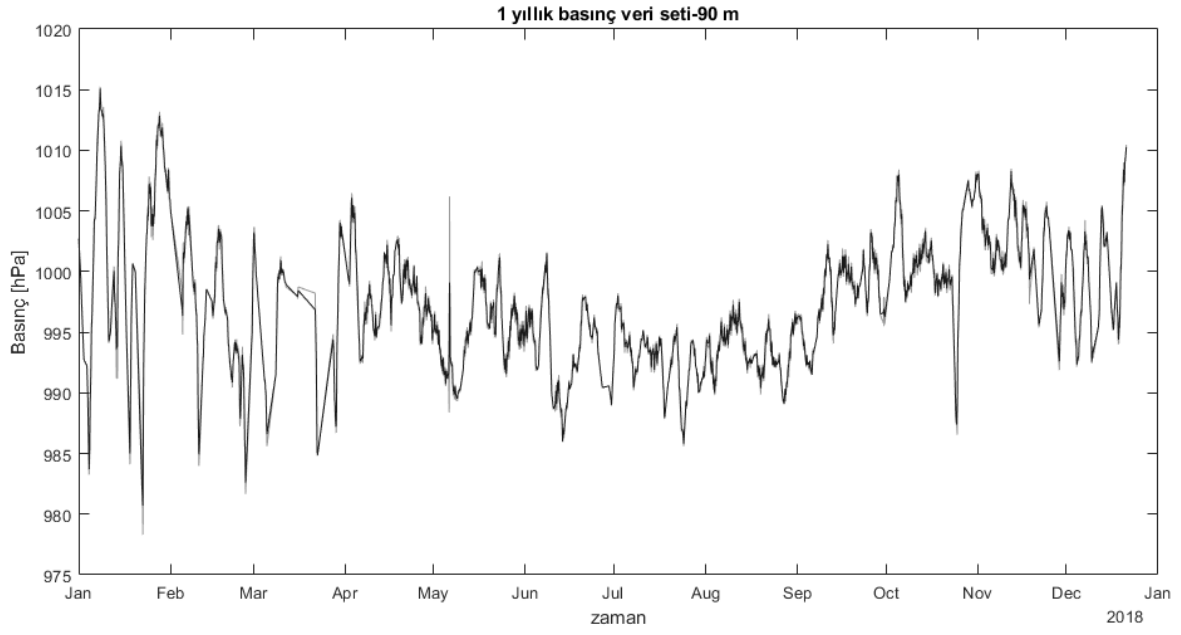
Şekil 5.28 en yüksek noktadan alınmış ölçümleri yıllık olarak ifade eder. Yine aynı noktadan bütünleşik bir şekilde sıcaklık sensörü ile birlikte ölçüm alınmıştır. Şekil 5.28'e bakıldığında ise 1 aylık verilen bu grafikte yine bağıl nemin nasıl değiştiği ve verilerdeki keskin değişimler görülebilmektedir.



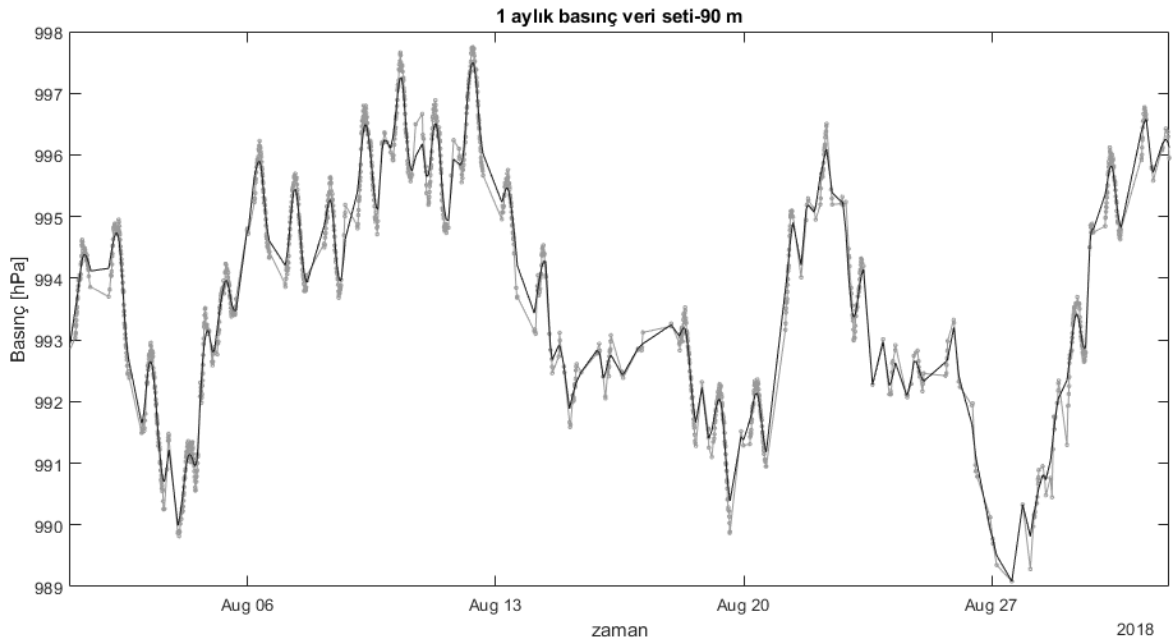
Şekil 5.30: 2018-2019 yılları 2 m' den alınmış basınç ölçüm değerleri zaman serisi



Şekil 5.31: 2 m' de ki basınç ölçümlerin Ağustos ayı değişimi

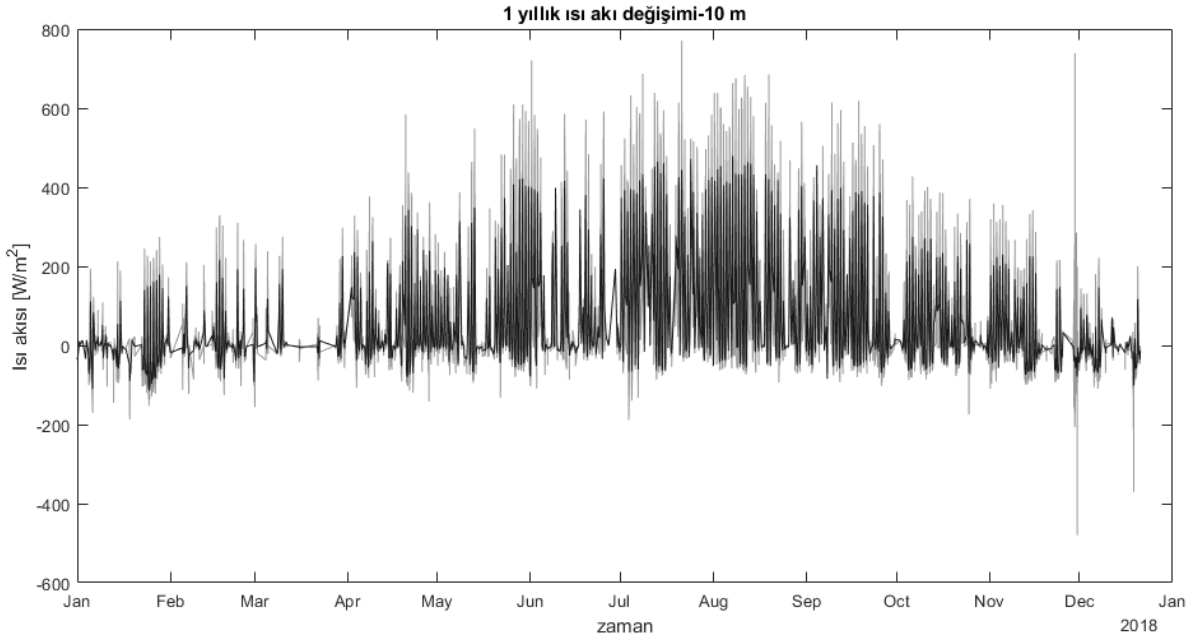


Şekil 5.32: 2018-2019 yılları 90 m' den alınmış basınç ölçüm değerleri zaman serisi

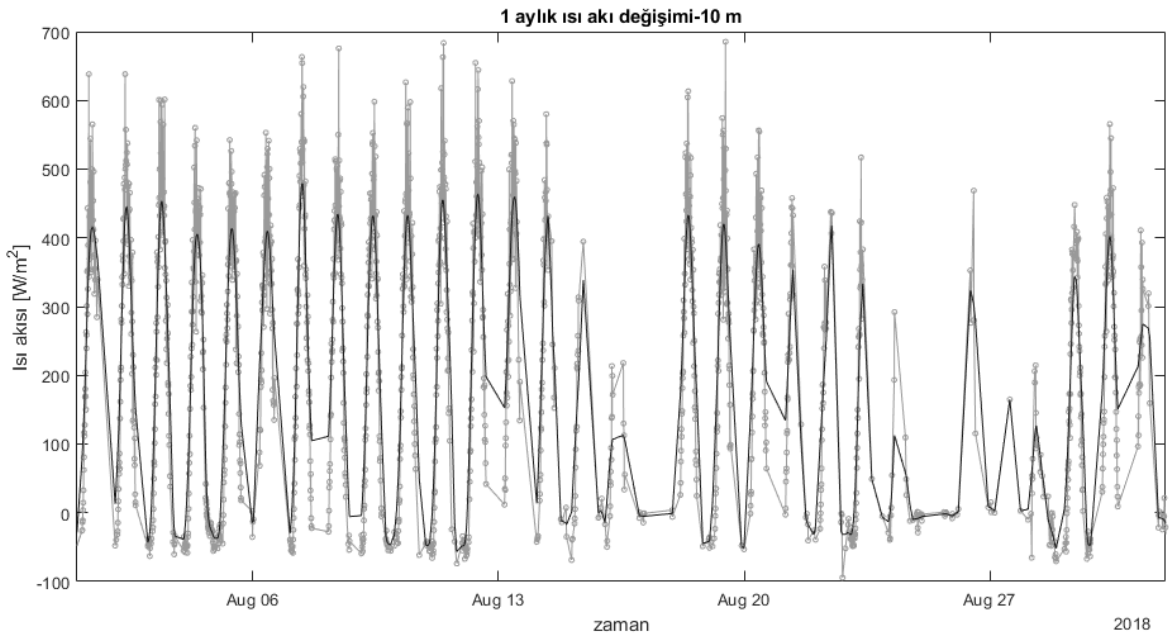


Şekil 5.33: 90 m' de ki basınç ölçümlerin Ağustos ayı değişimi

Şekil 5.30 ve 5.31 yıllık ve Ağustos ayı için gerçekleştirilen basınç ölçümlerini ifade etmektedir. Ölçümler 2 m' de yer alan sensör ile yapılmış olup basınç birimi hPa olarak verilmektedir. Şekil 5.32 ve 5.33 ise 90 m' de yer alan sensör tarafından yapılmış olan yıllık ve Ağustos ayı için gerçekleştirilen basınç ölçümlerini ifade etmektedir.

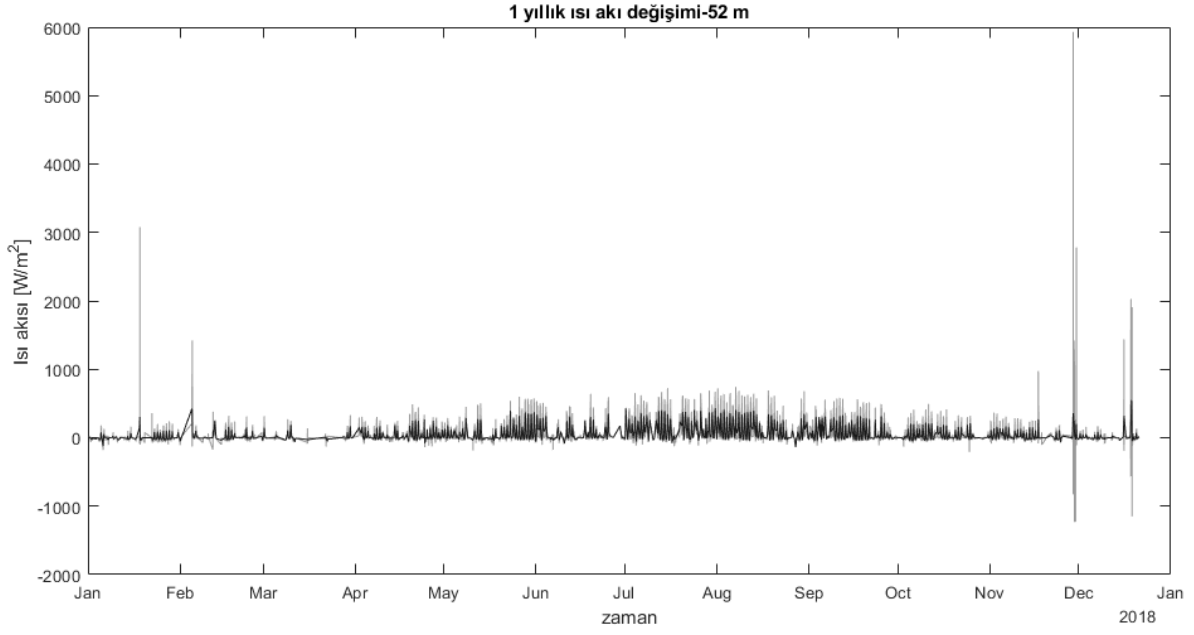


Şekil 5.34: 2018-2019 yılları 10 m' de ki ısı akısı değerleri zaman serisi

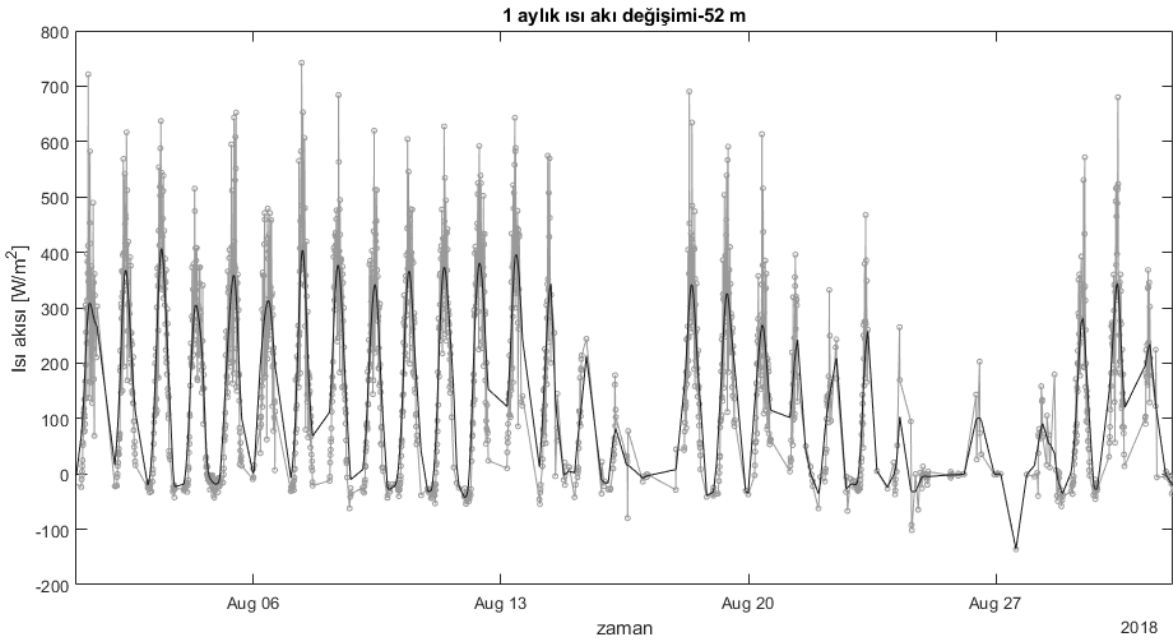


Şekil 5.35: 10 m' de ki ısı akısı değerleri Ağustos ayı değişimi

Şekil 5.34 ve Şekil 5.35 10 m' de yer alan ölçümler kullanılarak hesaplanan bir veridir. Bu parametrenin nasıl hesaplandığı daha önce Tablo 5.2' de verilmiştir. Isı akısı yıllık bazda ve Ağustos ayı için verilmiş olup oldukça ekstrem değişimler göstermektedir. Bunun nedeni ise kovaryans değerleri ile ilişkilidir. Bazı noktalarda bu değerlerin 0' a çok yakın olması gibi.



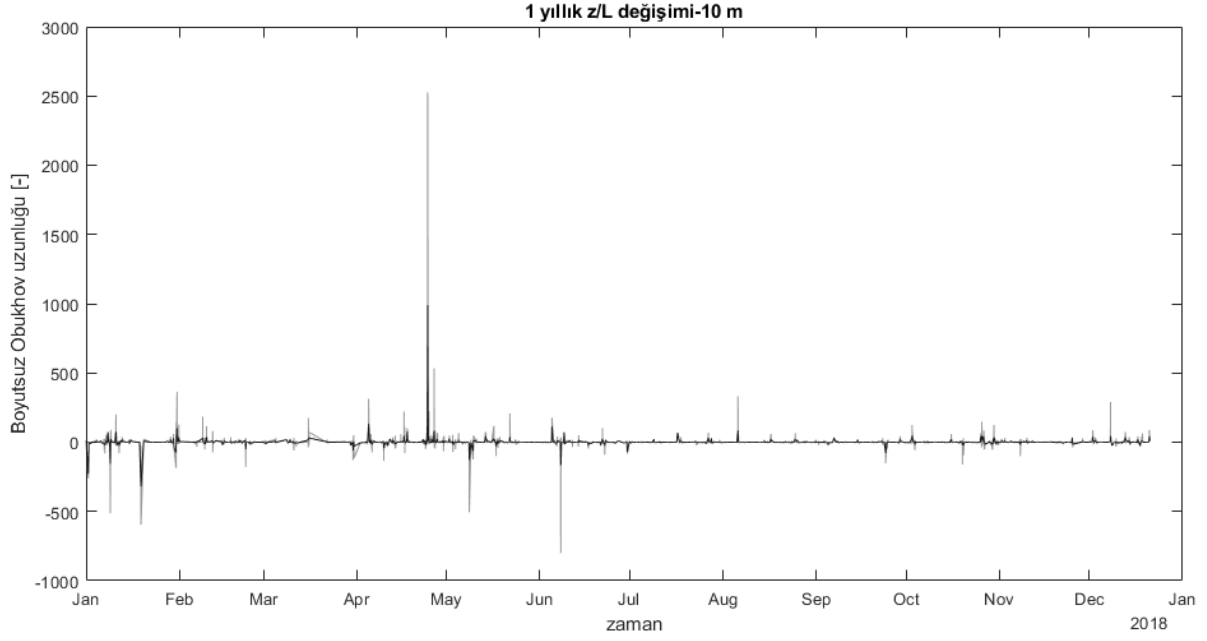
Şekil 5.36: 2018-2019 yılları 52 m' de ki ısı akısı değerleri zaman serisi



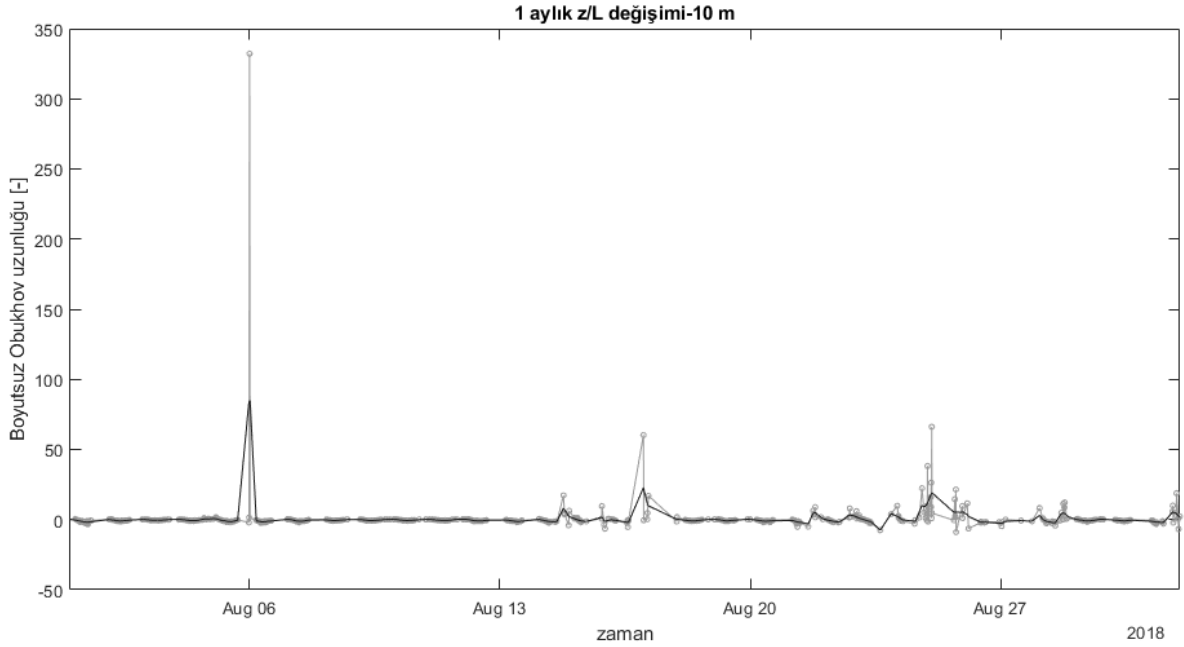
Şekil 5.37: 52 m' de ki ısı akısı değerleri Ağustos ayı değişimi

Şekil 5.36 ve Şekil 5.37' de yer alan grafikler 52 m' de hesaplanan ısı akısının yıllık ve aylık değişimini göstermektedir. Dikkat edilmesi gereken en önemli nokta şudur: 10 m' ye nazaran 52 m' de ısı akısı daha kararlı ve değişimler daha azdır. Bunun nedeni yerden uzaklaştıkça sıcaklık gradyanının da yok olmasıdır. Bu nedenle MOST için sıcaklık dikey hız kovaryansı

kullanırken 10 m' den alınan ölçümler referans kabul edilmelidir.



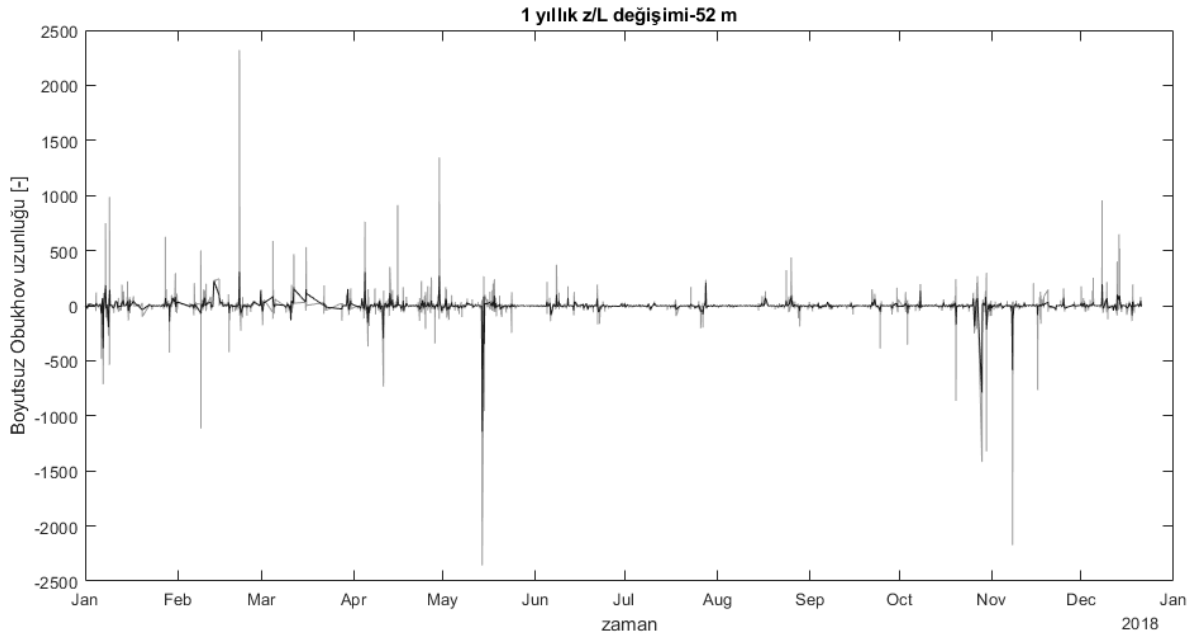
Şekil 5.38: 2018-2019 yılları 10 m' de ki boyutsuz Obukhov yükseklik değerleri zaman serisi



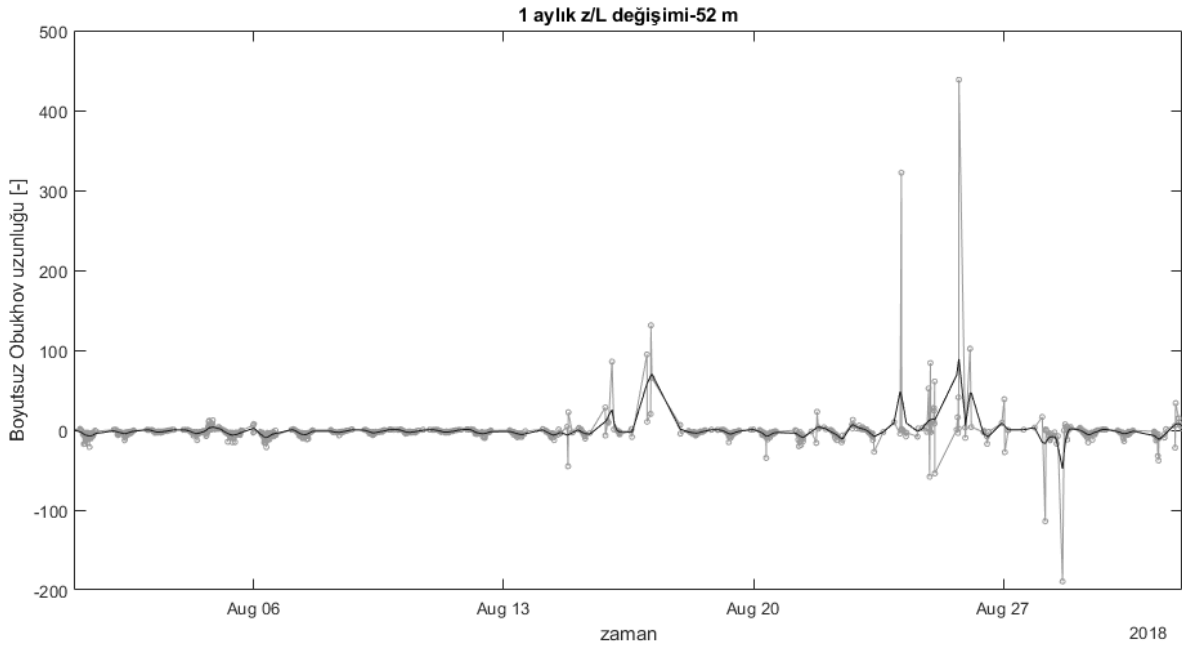
Şekil 5.39: 10 m' de ki boyutsuz Obukhov yükseklik değerleri Ağustos ayı değişimi

Birimsiz ζ değerlerinin değişimi yıllık ve Ağustos ayı olacak şekilde Şekil 5.38 ve Şekil 5.39' da verilmektedir. Yine hangi parametreler kullanılarak türetildiği Tablo 5.2' te verilmiştir. Dolayısı

ile yatay hız ve sıcaklığın dikey hız ile sırasıyla kovaryansları kullanılır. Verilerin filtrelenmesinin ne kadar önem arzettiği görülebilmektedir.



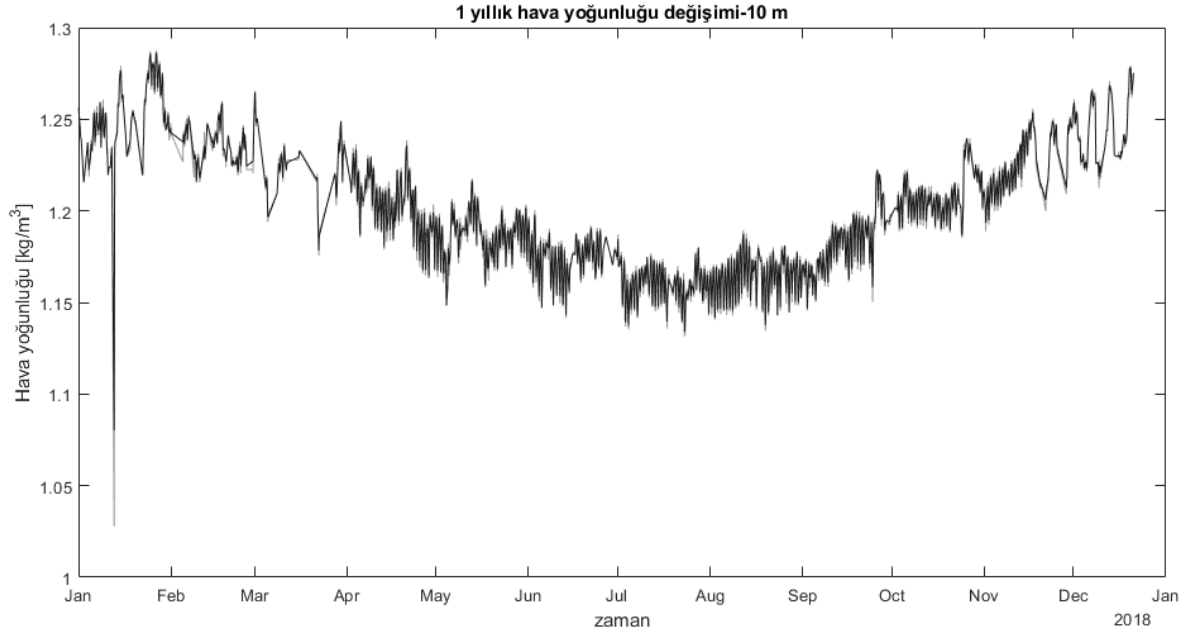
Şekil 5.40: 2018-2019 yılları 52 m' de ki boyutsuz Obukhov yükseklik değerleri zaman serisi



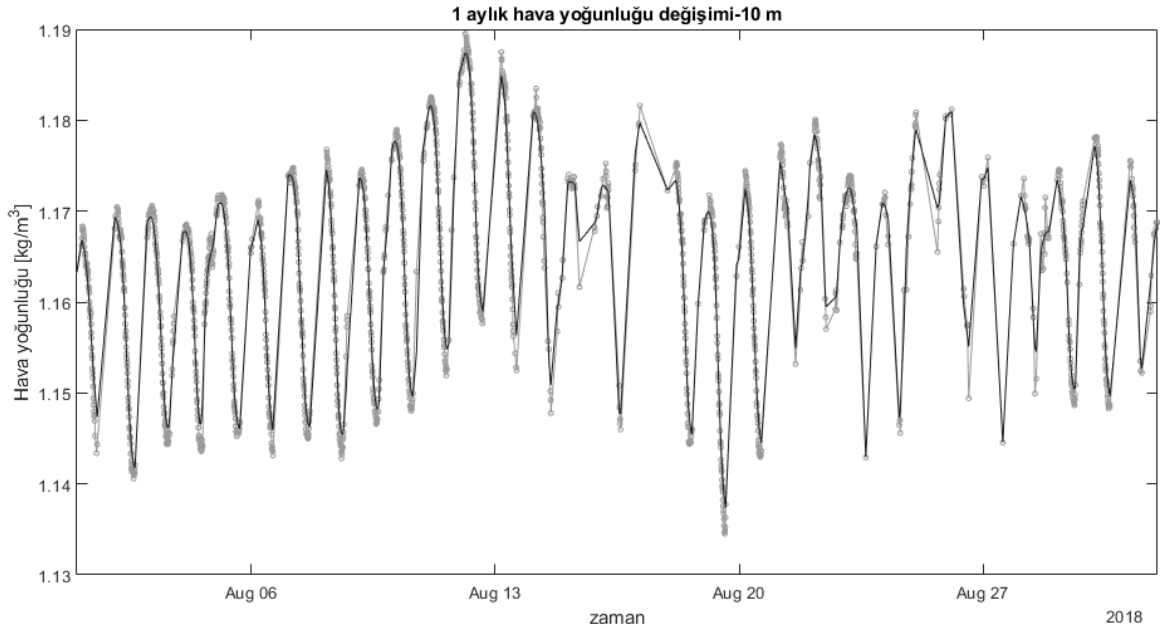
Şekil 5.41: 52 m' de ki boyutsuz Obukhov yükseklik değerleri Ağustos ayı değişimi

Aynı boyutsuz ζ değerleri 52 m için yukarıda yer alan Şekil 5.40 ve 5.41 grafikleri ile

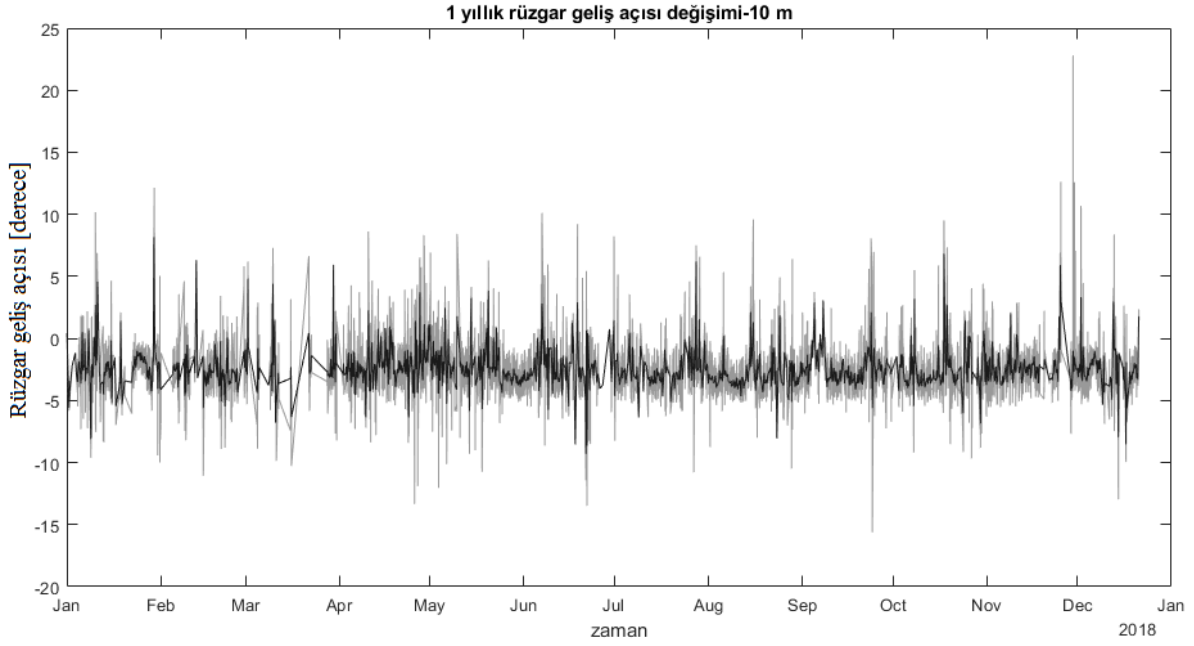
verilmiştir. Bu grafiklere bakıldığında ekstrem değerlerin oldukça yüksek olduğu görülür. Veriler düzenlenirken giriş kısmında bahsedilen filtreler uygulandığında bu değerlerden kurtulmak mümkün olmaktadır.



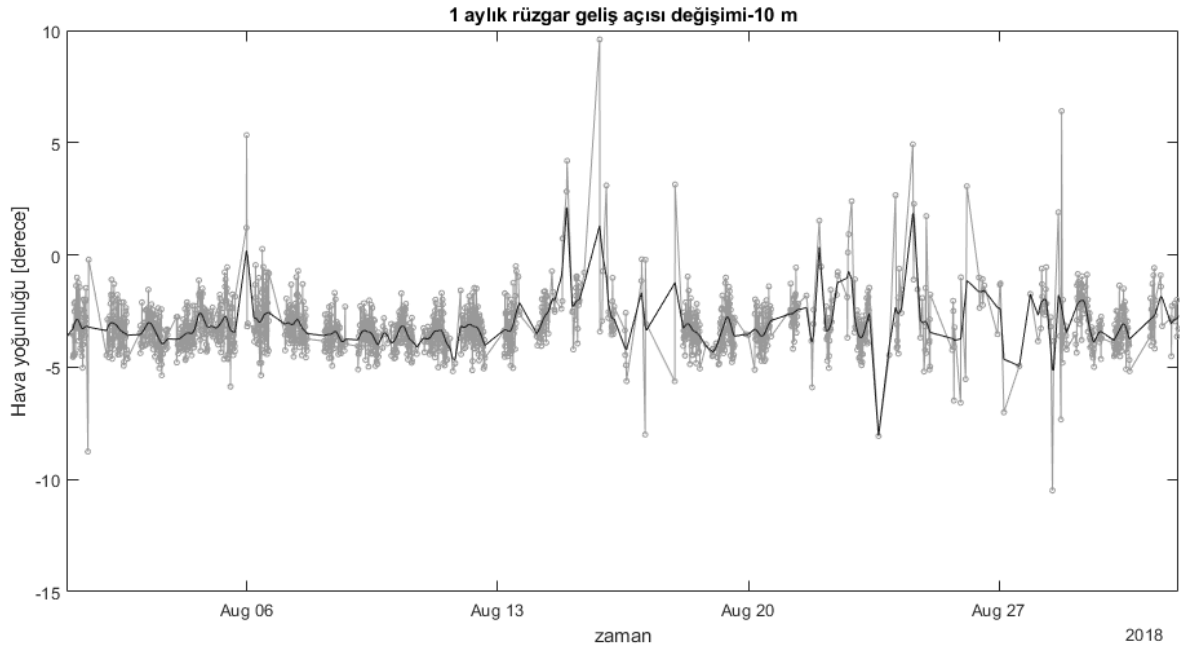
Şekil 5.42: 2018-2019 yılları 10 m' de ki hava yoğunluğu değerleri zaman serisi



Şekil 5.43: 10 m' de ki hava yoğunluğu değerleri Ağustos ayı değişimi



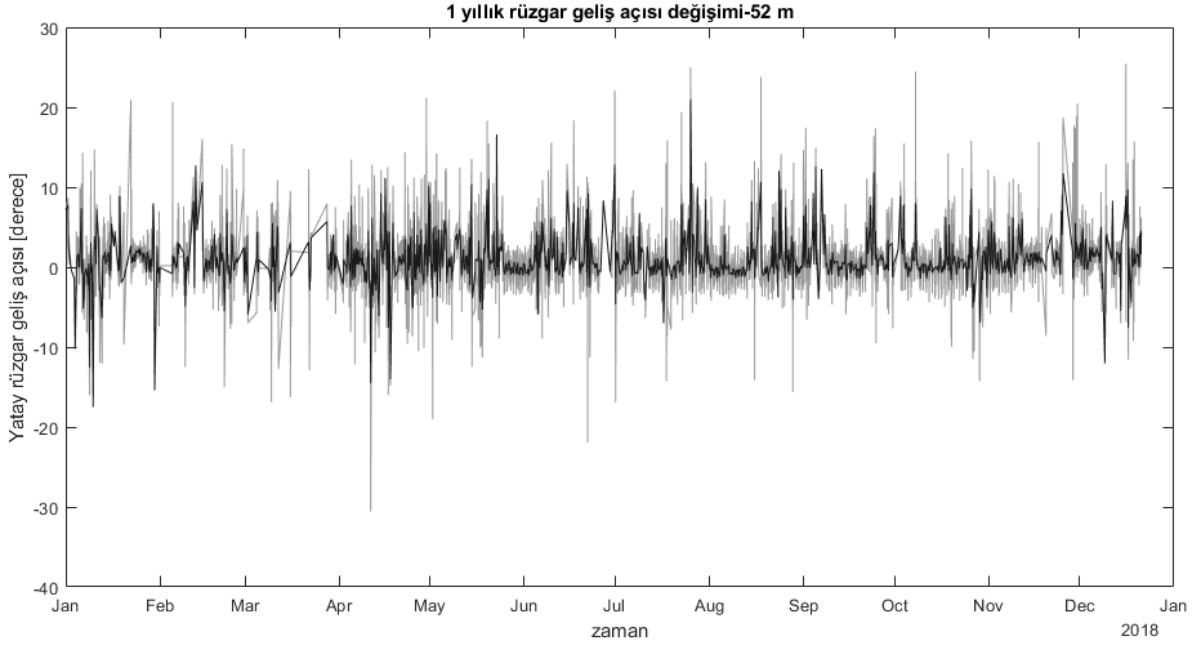
Şekil 5.44: 2018-2019 yılları 10 m' de ki yatay rüzgar geliş açısı değerleri zaman serisi



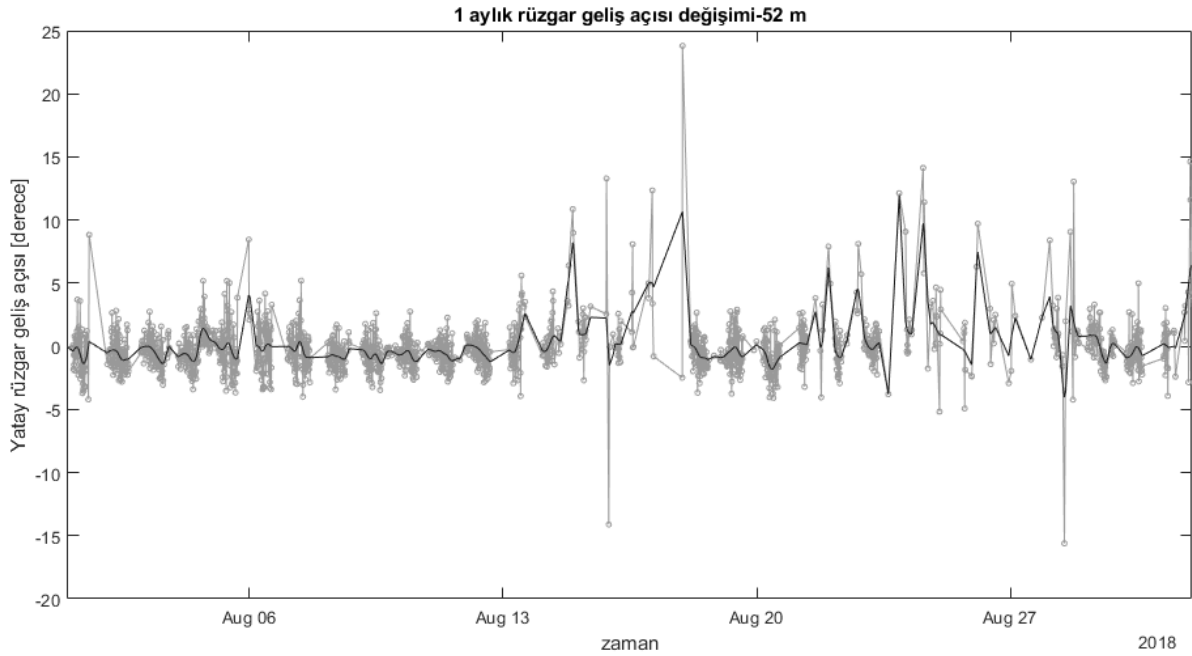
Şekil 5.45: 10 m' de ki rüzgar geliş açısının Ağustos ayı değişimi

Şekil 5.43 ve Şekil 5.43, hava yoğunluğu değerlerinin 10 m' de nasıl değiştiğini yıl ve ay olarak ifade etmektedir. Hava yoğunluğu değerleri kg/m^3 olarak verilmektedir. Şekil 5.44 ve Şekil 5.44 10 m' de yer alan ultrasonik sensöre gelen rüzgarın yatay da yaptığı geliş açısını temsil etmektedir ve sırasıyla yine 1 yıl ve sadece Ağustos ayı için verilmiştir. Dikey hız ve

yatay hız bileşenleri kullanılarak elde edilmektedir.



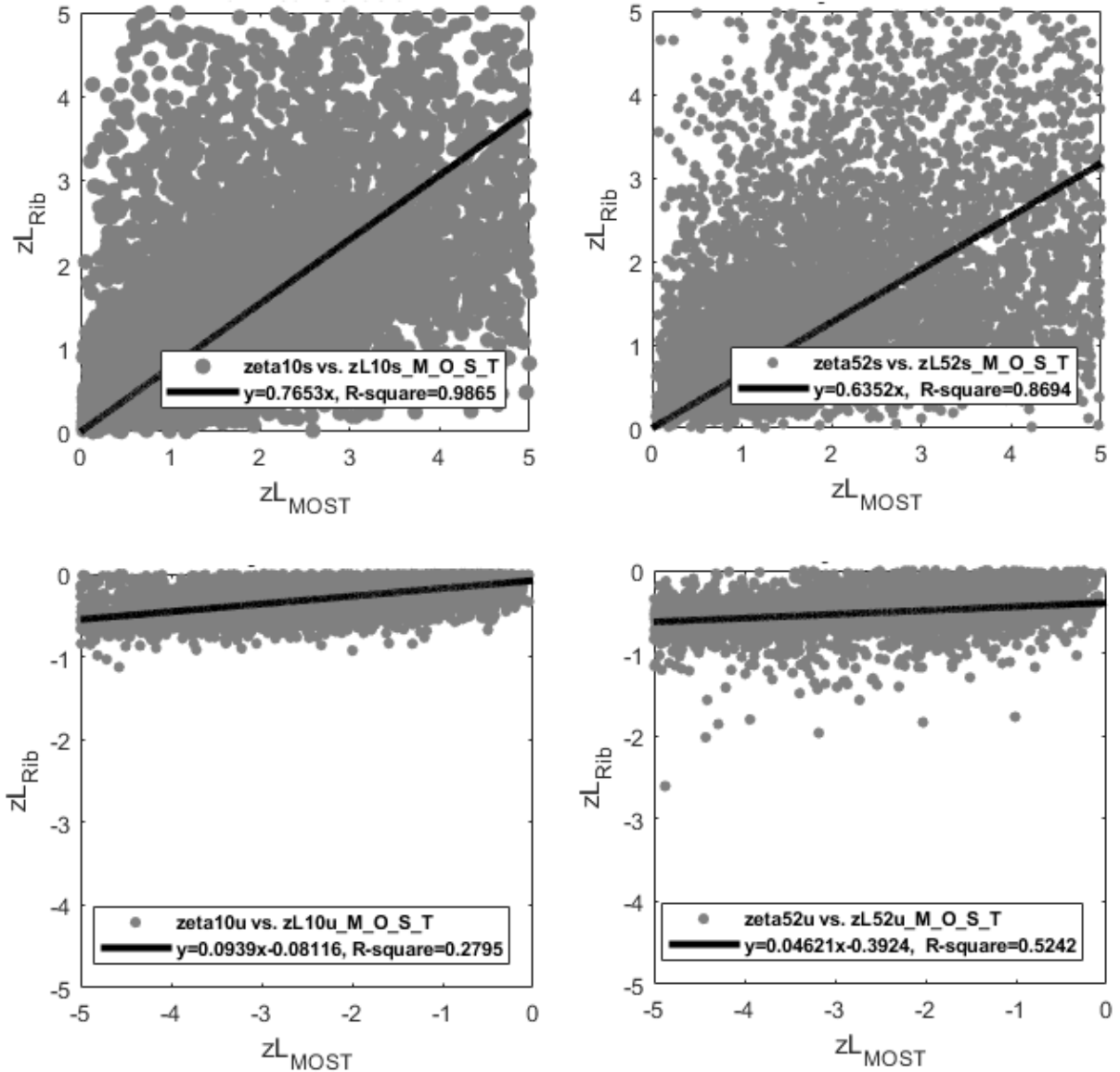
Şekil 5.46: 2018-2019 yılları 52 m' de ki yatay rüzgar geliş açısı değerleri zaman serisi



Şekil 5.47: 52 m' de ki rüzgar geliş açısının Ağustos ayı değişimi

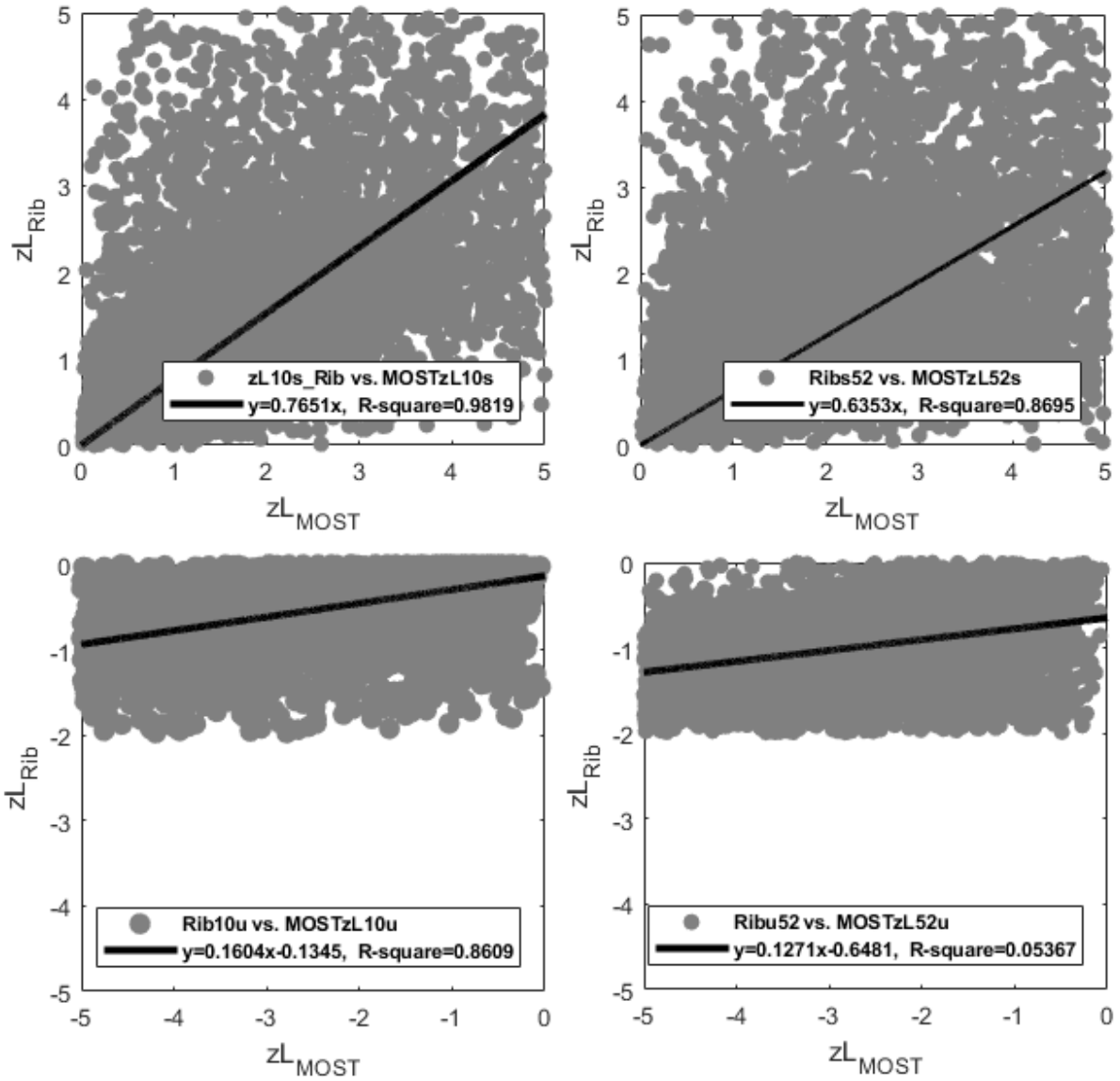
Yukarıda bahsi geçen geliş açısının Şekil 5.46 ve Şekil 5.47' de diğer bir ölçüm noktası olan 52 m için olan değerleri yine 2018-2019 yılı ve sadece Ağustos ayı için olacak şekilde aldığı

değerler verilmiştir. Devamında ise yukarıda önerilmiş olan teorik metotlara bağlı kalarak ζ ilk olarak Richardson metodu ile hesaplanmış ve kararsızlık bölgelerine bağlı olarak genel durum aşağıdaki grafikte verilmiştir.



Şekil 5.48: Akı profil(F-P) denklemlerinin analitik çözümü

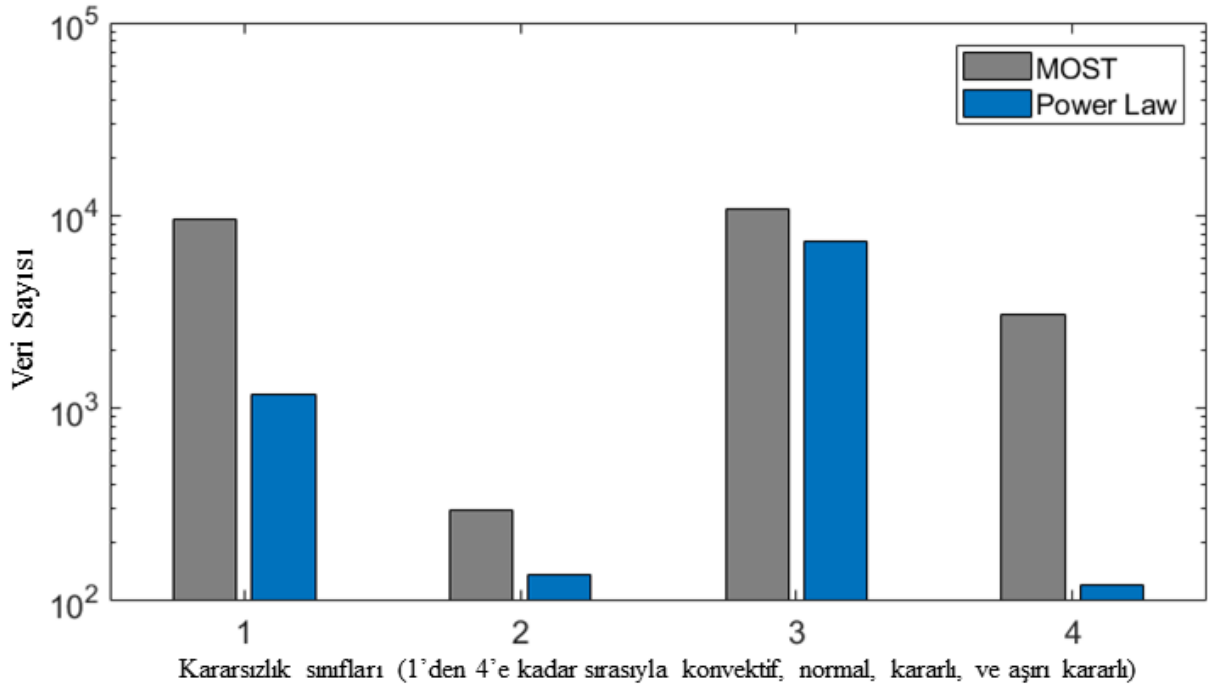
Şekil 5.48 analitik olarak yapılan yaklaşımı göstermektedir (Byun, 1990). Profil fonksiyonları analitik olarak çözülmeye çalışılmış ve çıkan sonuçlara göre ζ ile MOST ile elde edilen değerler arasında stabil bölge içerisinde ekstrem koşullar söz konusu bile olsa uyum yakalanmaktadır. Ancak konvektif şartlar söz konusu olduğunda ise teorik olarak hesaplanan ζ değerlerinin gerçek değerlere nazaran azımsandığı görülür.



Şekil 5.49: F-P ve Richardson ilişkileri ile yapılan empirik yaklaşım sonuçları

MOST ve Richardson yöntemi ile elde edilen ζ değerleri kıyaslandığında ise, şekil 5.49, kararlı bölge için (üstteki 2 grafik) uyum oldukça yüksek iken konvektif bölge için bu uyum gözlenmez. Şekil 5.48 ve Şekil 5.49 incelendiğinde konvektif bölge için her ikisinde de sonuçlar tutarsızlık gösterse de analitik yaklaşım daha doğru sonuçlar vermektedir. Öte yandan kararlı bölge için Şekil 5.49’ de yapılan yaklaşımlar daha doğrudur.

Rüzgar kesme hız üsteli önerilen diğer bir analiz yöntemidir. Şekil 5.50’ ye bakıldığında MOST yöntemi kullanılarak elde edilen kararsızlık sınıfları ile kesme üsteli kullanılarak elde edilen sınıfların kıyaslaması verilmiştir.



Şekil 5.50: α ve ζ kullanılarak elde edilen kararsızlık sınıflarının karşılaştırılması

Dikey eksen dataların sayısını ifade etmekte iken x ekseninde 1' den 4' e kadar olan rakamlar kararsızlık sınıflarını gösterir. Mavi renkli bar grafiği önerilen metodu, gri renkli barlar ise MOST ile belirlenmiş gerçek aralıktaki verileri göstermektedir. Şekil 5.50'e göre tutarlılık en çok normal ve normale yakın bölgelerde geçerli iken, konvektif ve aşırı kararlı bölgelerde yanılmanın büyüklüğü görülebilir.

MOST yönteminin referans yöntem olarak seçildiğini daha önce belirttik. Bu yöntem yine aynı şekilde belirtildiği üzere yüzey tabaka da tutarlı olup orta-skaladaki değişimlerden kötü etkilenip daha çok türbülansın etkin olduğu şartlar altında doğru sonuç vermektedir. Bu nedenle veri ölçüm frekans değerinin türbülansın oluşumunu sağlayan girdapları yakalayacak kadar yüksek olması gerekmektedir. Bu çalışmada kullanmış olduğumuz data-logger frekans değeri 1 Hz' dir. Dolayısı ile küçük girdapları yakalamada çoğu zaman yetersiz kalabilmektedir. Yine orta ölçekli değişimlerin etkisinden kurtulmak adına eş-spektral analize bakılıp uygun zaman aralığı seçilerek zaman blokları bu şekilde seçilmelidir (Örneğin; 30 s, 100 s, 1 d, veya 5 d gibi). Literatürde bu konuya oldukça dikkat çekilmiştir ve verilerin bir anlamda filtrelenmesinde etkili olan bu yöntemin ileride yapılacak olan çalışmalarımızda düşünülmektedir (Mahrt, 1991), (Vickers ve Mahrt, 2003), (Basu vd., 2006), ve (Saito ve Asanuma, 2008).

Bölüm 6

Proje Sonuçları ve Çıktılar

Projemizin iki bölümünden iki adet çıktı sağlanmıştır. Öncelikle 101m direktten alınan 10dk'lık ortalama değerler ile yapılan Weibull parametre belirleme çalışmasında (i) rüzgar karakteristiği beklenen dağılımların dışında olan yerlerde WASP metodunun kullanılmaması gerektiği ve bunun yerine MOY kullanılması gerektiği gözlenmiştir ve bu konuda benzer bir bilimsel çıktı başka bir çalışmada yoktur. Yani, sonuç makale olarak yayınlandığında öncü bir yayın olarak kabul görecektir. (ii) Çalışmamız sanılanın aksine hata hesaplamasının (ϵ) frekanslar üzerinden değil güç yoğunluğu üzerinden olması gerektiğini göstermektedir. RMSE ve R^2 değerleri hata oranlarını belirlemek için yeterli değildir.

Projenin ikinci değerli sonucu ise kararlılık analizi için belirtilen metotların doğrudan bir sağlamlasını yapabilmesi ve bazı metotlarda gerçeğe yakın sonuçlar elde edebilmiş olmasıdır. Verilerin yetersiz olduğu noktalarda MOST gibi 3D yöntemler bir kenarda dursun, sadece hız ölçümü yapılmış olan noktalarda bile kararsızlık analizinin nasıl gerçekleştirilebileceğini gösterilmesi açısından önemli bir çıktıdır. Önerilen metotlardan uygun olanını veya herbirini ayrı ayrı uygulayıp birbiri ile kıyasladıktan sonra normal veya normale yakın bölgeler belirlenip rüzgar alanında yapılacak analizlerde bu bölgedeki verileri kullanılması öneriyoruz. IYTE ölçüm direğinin yer almış olduğu arazide verilerin sadece % 10 gibi bir kısmın normal olduğu düşünülürse tüm veri kullanılacağı zaman yapılacak olacak çalışmalarda tahmin edilen rüzgar hızlarının gerçeği hiç yansıtmayacağı ve çok fazla yanılmanın olacağı aşikardır. Bu durum neredeyse Türkiye'deki tüm rüzgar tarlaları için geçerli olduğundan dolayı projenin çıktıları özellikle Türkiye açısından önem arz etmektedir.

6.1 Yayınlar

Proje kapsamında en az bir adet SCI-E yayın yapılması ve bir adet konferans bildirisi hedeflenmişti. Sonuç olarak bir adet yüksek lisans tezi, bir adet tam metinli konferans bildirisi ve iki adet SCI-E makale çalışması yapılmıştır. Makalelerden biri hakemler tarafından incelenmekte bir diğeri ise hazırlanmaktadır.

- Faruk Tuna, Ferhat Bingöl; Rüzgar Ölçümlerinde Kararsizlik Analizi, 4. İzmir Rüzgâr Sempozyumu, 28-30 Eylül 2017, İzmir, Tam Metin bildiri, <http://www.ruzgarsempozyumu>.

org/wp-content/uploads/2017/09/013.pdf

- Faruk Tuna, Rüzgar ölçümlerinde farklı istatistiki metotlarla yüzey katmanı derecelendirmesi ve kararsızlık analizi, İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Danışman: Ferhat Bingöl İngilizce, 2018, 66 s., Tez No: 511835
- Ferhat Bingöl, Comparison of Weibull Estimation Methods for Diverse Winds, Journal of Energy Science & Engineering, Wiley, Under Review (ESE-2019-04-0274)
- Faruk Tuna, Ferhat Bingöl, Comparison of Length Scale Parameterization Methodologies, Under Preparation

6.2 Çalıştay

Proje kapsamında yerel bir çalıştay yapılması ve bu etkinliğin İTÜ ve ODTÜ'de diğer NEWA projelerini yürüten çalışma gruplarıyla organize edilmesi planı vardı. ancak, NEWA projesinin tam çıktılarının Haziran 2019'da açıklanacağı projenin yönetim kurulu kararı ile belirlenince çalıştay için ayırdığımız ödeneği kullanma fırsatı bulamadım. Şu andaki fikrimiz Ekim 2019'da İstanbulda İTÜ Meteoroloji Mühendisliği bölümü tarafından yapılacak olan 9th International Symposium on Atmospheric Sciences, ATMOS-2019 kapsamında özel bir oturum düzenlenerek çıktıların paylaşılması hedeflenmiştir. İYTE bu etkinliğe katılımını kendi bütçesinden karşılayacaktır.

Kaynaklar

Akdag, S. A. ve A. Dinler

2009. A new method to estimate Weibull parameters for wind energy applications. *ENERGY CONVERSION AND MANAGEMENT*, 50(7):1761–1766.

Ali, S., S.-M. Lee, ve C.-M. Jang

2018. Statistical analysis of wind characteristics using weibull and rayleigh distributions in deokjeok-do island – incheon, south korea. *Renewable Energy*, 123:652 – 663.

A.M, O.

1951. Karakteristiki mikrostruktury vetra v prizemnom sloje atmosfery (characteristics of the micro-structure of the wind in the surface layer of the atmosphere). *Izv. AN SSSR, ser. Geofiz.*, 3(1):49–68.

Arslan, T., Y. M. Bulut, ve A. A. Yavuz

2014. Comparative study of numerical methods for determining Weibull parameters for wind energy potential. *RENEWABLE & SUSTAINABLE ENERGY REVIEWS*, 40:820–825.

Arya, S.

1984. Parametric relations for the atmospheric boundary layer. *Boundary-Layer Meteorology*, 30(1-4):57–73.

Badger, J. ve H. Ejsing Jørgensen

2011. A high resolution global wind atlas - improving estimation of world wind resources. In *Energy Systems and Technologies for the coming Century*, Pp. 215–225. Risoe-R, no. 1776(EN).

Badger, J., N. Mortensen, ve J. Hansen

2006. The kamm/wasp numerical wind atlas - a powerful ingredient for wind energy planning. In *GWREF, Beijing*.

Basu, S., F. Porté-Agel, E. Foufoula-Georgiou, J.-F. Vinuesa, ve M. Pahlow

2006. Revisiting the local scaling hypothesis in stably stratified atmospheric boundary-layer turbulence: an integration of field and laboratory measurements with large-eddy simulations. *Boundary-Layer Meteorology*, 119(3):473–500.

Bingöl, F.

2010. *Complex Terrain and Wind Lidars*. PhD thesis, Technical University of Denmark, Risø National Laboratory for Sustainable Energy, Roskilde. Risø-PhD, no. 52(EN).

- Bingöl, F.
2014. Adaptation of uniform wind atlases: Case study of turkey (project id: 114c016). TÜBİTAK Co-funded Brain Circulation Scheme funded project.
- Bingöl, F., J. Mann, ve D. Foussekis
2009. Conically scanning lidar error in complex terrain. *Meteorologische Zeitschrift*, 18(2):189–195.
- Blackadar, A. K.
1962. The vertical distribution of wind and turbulent exchange in a neutral atmosphere. *Journal of Geophysical Research*, 67(8):3095–3102.
- Bradley, S., Y. Perrott, P. Behrens, ve A. Oldroyd
2012. Corrections for wind-speed errors from sodar and lidar in complex terrain. *Boundary-Layer Meteorology*, 143(1):37–48.
- Brost, R. ve J. Wyngaard
1978. A model study of the stably stratified planetary boundary layer. *Journal of the Atmospheric Sciences*, 35(8):1427–1440.
- Businger, J. A., J. C. Wyngaard, Y. Izumi, ve E. F. Bradley
1971. Flux-profile relationships in the atmospheric surface layer. *Journal of the atmospheric Sciences*, 28(2):181–189.
- Byun, D. W.
1990. On the analytical solutions of flux-profile relationships for the atmospheric surface layer. *Journal of Applied Meteorology*, 29(7):652–657.
- Carta, J. A. ve P. Ramirez
2007. Analysis of two-component mixture Weibull statistics for estimation of wind speed distributions. *RENEWABLE ENERGY*, 32(3):518–531.
- Cellura, M., G. Cirrincione, A. Marvuglia, ve A. Miraoui
2008. Wind speed spatial estimation for energy planning in Sicily: A neural kriging application. *RENEWABLE ENERGY*, 33(6):1251–1266.
- Chang, T. P.
2011. Estimation of wind energy potential using different probability density functions. *APPLIED ENERGY*, 88(5):1848–1856.
- Deardorff, J. W.
1968. Dependence of air-sea transfer coefficients on bulk stability. *Journal of geophysical research*, 73(8):2549–2557.
- Deaves, D. ve I. Lines
1997. On the fitting of low mean windspeed data to the weibull distribution. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 66(3):169 – 178.

Dellwik, E. ve N. O. Jensen

2005. Flux–profile relationships over a fetch limited beech forest. *Boundary-layer meteorology*, 115(2):179.

DeMarrais, G. A.

1959. Wind-speed profiles at brookhaven national laboratory. *Journal of Meteorology*, 16(2):181–190.

Dias, N., J. Gonçalves, L. Freire, T. Hasegawa, ve A. Malheiros

2012. Obtaining potential virtual temperature profiles, entrainment fluxes, and spectra from mini unmanned aerial vehicle data. *Boundary-layer meteorology*, 145(1):93–111.

Dyer, A. ve B. Hicks

1970. Flux-gradient relationships in the constant flux layer. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 96(410):715–721.

Eecen, P., J. Wagenaar, N. Stefanatos, T. Friis Pedersen, R. Wagner, ve K. Hansen

2011. *UPWIND 1A2 Metrology. Final Report*. Energy Research Centre of the Netherlands (ECN).

Essa, K. S.

2000. Estimation of monin-obukhov length using richardson and bulk richardson number. In *Proceedings of the Second Conference on Nuclear and Particle Physics (NUPPAC-99)*.

Foken, T. ve G. Skeib

1983. Profile measurements in the atmospheric near-surface layer and the use of suitable universal functions for the determination of the turbulent energy exchange. *Boundary-Layer Meteorology*, 25(1):55–62.

Garcia, A., J. Torres, E. Prieto, ve A. De Francisco

1998. Fitting wind speed distributions: A case study. *SOLAR ENERGY*, 62(2):139–144.

GMAC, N.

1981. Merra: Modern-era retrospective analysis for research and applications.

Golder, D.

1972. Relations among stability parameters in the surface layer. *Boundary-Layer Meteorology*, 3(1):47–58.

Grachev, A. ve C. Fairall

1997. Dependence of the monin–obukhov stability parameter on the bulk richardson number over the ocean. *Journal of Applied Meteorology*, 36(4):406–414.

Grachev, A., C. Fairall, ve E. Bradley

2000. Convective profile constants revisited. *Boundary-layer meteorology*, 94(3):495–515.

- Grachev, A. A., E. L. Andreas, C. W. Fairall, P. S. Guest, ve P. O. G. Persson
2007. Sheba flux–profile relationships in the stable atmospheric boundary layer. *Boundary-layer meteorology*, 124(3):315–333.
- Grachev, A. A., E. L. Andreas, C. W. Fairall, P. S. Guest, ve P. O. G. Persson
2013. The critical richardson number and limits of applicability of local similarity theory in the stable boundary layer. *Boundary-layer meteorology*, 147(1):51–82.
- Halstead, M.
1943. A stability-term in the wind-gradient equation. *Eos, Transactions American Geophysical Union*, 24(1):204–208.
- Hasager, C., A. Hahmann, J. Badger, F. Bingöl, I. Karagali, A. Pena Diaz, N.-E. Clausen, ve M. Badger
2011. Wind atlas mapping in the south baltic sea: methods and results. In *Geophysical Research Abstracts*, volume 13, Pp. EGU2011–1339.
- Heald, R. ve L. Mahrt
1981. The dependence of boundary-layer shear on diurnal variation of stability. *Journal of Applied Meteorology*, 20(8):859–867.
- Högström, U.
1988. Non-dimensional wind and temperature profiles in the atmospheric surface layer: A re-evaluation. In *Topics in Micrometeorology. A Festschrift for Arch Dyer*, Pp. 55–78. Springer.
- Holtslag, M., W. Bierbooms, ve G. Van Bussel
2014. Estimating atmospheric stability from observations and correcting wind shear models accordingly. In *Journal of Physics: Conference Series*, volume 555, Pp. 012–052. IOP Publishing.
- Holzman, B.
1943. The influence of stability on evaporation. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 44(1):13–18.
- IEC
2005. Wind turbines - Part 1: Design requirements. International Electrotechnical Commission Standart 61400-1; 3rd Edition.
- JAMIL, M., S. PARSA, ve M. MAJIDI
1995. WIND POWER STATISTICS AND AN EVALUATION OF WIND ENERGY DENSITY. *RENEWABLE ENERGY*, 6(5-6):623–628. International Conference on Solar Electricity - Photovoltaics and Wind, CAIRO, EGYPT, OCT 02-07, 1994.
- Jourdier, B. ve P. Drobinski
2017. Errors in wind resource and energy yield assessments based on the Weibull distribution. *ANNALES GEOPHYSICAE*, 35(3):691–700.

- Kaimal, J. ve J. Gaynor
1991. Another look at sonic thermometry. *Boundary-Layer Meteorology*, 56(4):401–410.
- Kanamitsu, M., W. Ebisuzaki, J. Woollen, S.-K. Yang, J. J. Hnilo, M. Fiorino, ve G. L. Potter
2002. Ncep–doe amip-ii reanalysis (r-2). *Bulletin of the American Meteorological Society*, 83(11):1631–1644.
- Kang, D., K. Ko, ve J. Huh
2018. Comparative study of different methods for estimating weibull parameters: A case study on jeju island, south korea. *Energies*, 11(2).
- Katinas, V., M. Marčiukaitis, G. Gecevičius, ve A. Markevičius
2017. Statistical analysis of wind characteristics based on weibull methods for estimation of power generation in lithuania. *Renewable Energy*, 113:190 – 201.
- Khahro, S. F., K. Tabbassum, A. M. Soomro, L. Dong, ve X. Liao
2014. Evaluation of wind power production prospective and Weibull parameter estimation methods for Babaurband, Sindh Pakistan. *ENERGY CONVERSION AND MANAGEMENT*, 78:956–967. 4th International Congress on Renewable Energy (IREC), Sousse, TUNISIA, DEC 19-22, 2012.
- Kwon, S.-D.
2010. Uncertainty analysis of wind energy potential assessment. *Applied Energy*, 87(3):856 – 865.
- Lettau, H. H.
1962. Theoretical wind spirals in the boundary layer of a barotropic atmosphere. *Beitr. Phys. Atmos.*, 35:195–212.
- Liu, H., G. Peters, ve T. Foken
2001. New equations for sonic temperature variance and buoyancy heat flux with an omnidirectional sonic anemometer. *Boundary-Layer Meteorology*, 100(3):459–468.
- Luna, R. E. ve H. W. Church
1974. Estimation of long-term concentrations using a universal wind speed distribution. *Journal of Applied Meteorology*, 13(8):910–916.
- Mahrt, L.
1991. Eddy asymmetry in the sheared heated boundary layer. *Journal of the Atmospheric Sciences*, 48(3):472–492.
- Mann, J., R. Menke, N. Vasiljevic, J. Berg, ve N. Troldborg
2018. Challenges in using scanning lidars to estimate wind resources in complex terrain. In *The Science of Making Torque from Wind 2018 - Politecnico di Milano (POLIMI), Milan, Italy*, volume 1037-7, P. 8. IOP Publishing.

Mathew, S., K. Pandey, ve A. Kumar

2002. Analysis of wind regimes for energy estimation. *RENEWABLE ENERGY*, 25(3):381–399.

MEASNET

2016. Evaluation of site specific site conditions. International Network for Harmonised and Recognised Measurements in Wind Energy, Version 2.

Mohammadi, K., O. Alavi, A. Mostafaeipour, N. Goudarzi, ve M. Jalilvand

2016. Assessing different parameters estimation methods of Weibull distribution to compute wind power density. *ENERGY CONVERSION AND MANAGEMENT*, 108:322–335.

Monin, A. ve A. Obukhov

1954. Basic laws of turbulent mixing in the surface layer of the atmosphere. *Contrib. Geophys. Inst. Acad. Sci. USSR*, 151(163):e187.

Monin, A. S. ve A. Obukhov.

1954. Osnovnye zakonomernosti turbulentnogo peremeshivaniya v prizemnom sloe atmosfery (basic laws of turbulent mixing in the atmosphere near the ground). *Trudy Geofiz. Inst.*, 24(151):163—187. AN SSSR.

Morgan, E. C., M. Lackner, R. M. Vogel, ve L. G. Baise

2011. Probability distributions for offshore wind speeds. *ENERGY CONVERSION AND MANAGEMENT*, 52(1):15–26.

Mortensen, N., J. Badger, J. Hansen, E. Mabilille, ve Y. Spamer

2014. Large-scale, high-resolution wind resource mapping for wind farm planning and development in south africa. In *European Wind Energy Association (EWEA) Conference Proceedings*.

Mortensen, N., J. Hansen, ve J. Badger

2008. The wind atlas methodology - revisited. *Renewable Energy*, Pp. 37–39.

Mortensen, N., J. Hansen, J. Badger, B. Jørgensen, C. Hasager, U. Paulsen, O. Hansen, K. Enevoldsen, L. Youssef, U. Said, A.-S. Moussa, M. Mahmoud, A. Yousef, A. Awad, M.-E. Ahmed, M. Sayed, M. Korany, ve M.-E. Tarad

2006. Wind atlas for egypt: Measurements, micro- and mesoscale modelling. In *European Wind Energy Association (EWEA), Brussels*.

Nawri, N., G. N. Petersen, H. Bjornsson, A. N. Hahmann, K. Jonasson, C. B. Hasager, ve N.-E. Clausen

2014. The wind energy potential of Iceland. *RENEWABLE ENERGY*, 69:290–299.

Ouarda, T. B. M. J., C. Charron, J. Y. Shin, P. R. Marpu, A. H. Al-Mandoos, M. H. Al-Tamimi, H. Ghedira, ve T. N. Al Hosary

2015. Probability distributions of wind speed in the UAE. *ENERGY CONVERSION AND MANAGEMENT*, 93:414–434.

- Peña, A., S.-E. Gryning, ve C. B. Hasager
2008. Measurements and modelling of the wind speed profile in the marine atmospheric boundary layer. *Boundary-Layer Meteorology*, 129(3):479–495.
- Peña, A., S.-E. Gryning, ve C. B. Hasager
2010. Comparing mixing-length models of the diabatic wind profile over homogeneous terrain. *Theoretical and Applied Climatology*, 100(3-4):325–335.
- Peña, A. ve A. N. Hahmann
2012. Atmospheric stability and turbulence fluxes at horns rev—an intercomparison of sonic, bulk and wrf model data. *Wind Energy*, 15(5):717–731.
- Petersen, E. ve I. Troen
1985. Development of a method of wind climate analysis for non- mountainous terrain in europe. *Proceedings of the European Wind Energy Conference*, Pp. 6–12. Bedford.
- Petersen, E. L., I. Troen, H. Ejsing Jørgensen, ve J. Mann
2014. The new european wind atlas. *Energy Bulletin*, Pp. 34–39. Issue: 17.
- Petersen, E.L adn Troen, I., S. Frandsen, ve K. Hedegaard
1981. Danish windatlas: A rational method of wind energy siting. *Risø National Laboratory, Roskilde. Denmark*. Risoe-R, no. 428.
- Polnumtiang, S. ve K. Tangchaichit
2018. Wind speed and power characteristics of kalasin province, thailand. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 150:012020.
- Prandtl, L.
1925. Bericht uber untersuchungen zur ausgebildeten turbulenz. *Zs. angew. Math. Mech.*, 5:136–139.
- Ramirez, P. ve J. Carta
2005. Influence of the data sampling interval in the estimation of the parameters of the Weibull wind speed probability density distribution: a case study. *ENERGY CONVERSION AND MANAGEMENT*, 46(15-16):2419–2438.
- Ramirez, P. ve J. A. Carta
2006. The use of wind probability distributions derived from the maximum entropy principle in the analysis of wind energy. A case study. *ENERGY CONVERSION AND MANAGEMENT*, 47(15-16):2564–2577.
- Saito, M. ve J. Asanuma
2008. Eddy covariance calculation revisited with wavelet cospectra. *Sola*, 4:49–52.
- Saleh, H., A. A. E.-A. Aly, ve S. Abdel-Hady
2012. Assessment of different methods used to estimate Weibull distribution parameters for wind speed in Zafarana wind farm, Suez Gulf, Egypt. *ENERGY*, 44(1):710–719.

- Sathe, A., S.-E. Gryning, ve A. Peña
2011. Comparison of the atmospheric stability and wind profiles at two wind farm sites over a long marine fetch in the north sea. *Wind Energy*, 14(6):767–780.
- Sathe, A., J. Mann, T. Barlas, W. Bierbooms, ve G. van Bussel
2013. Influence of atmospheric stability on wind turbine loads. *Wind Energy*, 16(7):1013–1032.
- Schotanus, P., F. Nieuwstadt, ve H. De Bruin
1983. Temperature measurement with a sonic anemometer and its application to heat and moisture fluxes. *Boundary-Layer Meteorology*, 26(1):81–93.
- Seguro, J. ve T. Lambert
2000. Modern estimation of the parameters of the Weibull wind speed distribution for wind energy analysis. *JOURNAL OF WIND ENGINEERING AND INDUSTRIAL AERODYNAMICS*, 85(1):75–84.
- Smedman, A., U. Högström, H. Bergström, A. Rutgersson, K. K. Kahma, ve H. Pettersson
1999. A case study of air-sea interaction during swell conditions. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 104(C11):25833–25851.
- Sorbjan, Z.
1986. Local similarity of spectral and cospectral characteristics in the stable-continuous boundary layer. *Boundary-Layer Meteorology*, 35(3):257–275.
- Sorbjan, Z. ve A. A. Grachev
2010. An evaluation of the flux–gradient relationship in the stable boundary layer. *Boundary-layer meteorology*, 135(3):385–405.
- Stewart, D. A. ve O. M. Essenwanger
1978. Frequency distribution of wind speed near the surface. *Journal of Applied Meteorology*, 17(11):1633–1642.
- Stull, R. B.
2012. *An introduction to boundary layer meteorology*, volume 13. Springer Science & Business Media.
- Sutton, O.
1947. The problem of diffusion in the lower atmosphere. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 73(317-318):257–281.
- Tammelin, B., T. Vihma, E. Atlaskin, J. Badger, C. Fortelius, H. Gregow, M. Horttanainen, R. Hyvönen, J. Kilpinen, J. Latikka, K. Ljungberg, N. G. Mortensen, S. Niemelä, K. Ruosteenoja, K. Salonen, I. Suomi, ve A. Venäläinen
2013. Production of the finnish wind atlas. *Wind Energy*, 16(1):19–35.

- Taylor, G. I.
1935. Statistical theory of turbulence. *Proceedings of the Royal Society of London. Series A, Mathematical and Physical Sciences*, 151(873):421–444.
- Touma, J. S.
1977. Dependence of the wind profile power law on stability for various locations. *Journal of the Air Pollution Control Association*, 27(9):863–866.
- Troen, I. ve E. L. Petersen
1989. *European Wind Atlas*. Risø National Laboratory.
- UCAR, T. N. C. f. A. R.
2002. Ncep reanalysis (r2).
- Van den Berg, G.
2008. Wind turbine power and sound in relation to atmospheric stability. *Wind Energy*, 11(2):151–169.
- van Donk, S. J., L. E. Wagner, E. L. Skidmore, ve J. Tatarko
2005. Comparison of the weibull model with measured wind speed distributions for stochastic wind generation. In *TRANSACTIONS OF THE ASAE*, volume 48-2, P. 503-510.
- Vasiljevia, N., J. Palma, N. Angelou, J. Matos, R. Menke, G. Lea, J. Mann, M. Courtney, L. Ribeiro, ve V. Gomes
2017. Perdigão 2015: Methodology for atmospheric multi-doppler lidar experiments. *Atmospheric Measurement Techniques*, 10(9):3463–3483.
- Vickers, D. ve L. Mahrt
2003. The cospectral gap and turbulent flux calculations. *Journal of Atmospheric and Oceanic technology*, 20(5):660–672.
- Volker, P., J. Badger, A. Hahmann, ve S. Ott
2012. Wind farm parametrization in the mesoscale model wrf. In *European Wind Energy Association (EWEA)*.
- Von Kármán, T.
1930. Mechanische ahnlichkeit und turbulenz. *Math.-Phys. Klasse*.
- Wais, P.
2016. A review of weibull functions in wind sector. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 70(C):1099–1107.
- Wyngaard, J. ve O. Coté
1972. Cospectral similarity in the atmospheric surface layer. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 98(417):590–603.

Wyngaard, J., O. Côté, ve Y. Izumi

1971. Local free convection, similarity, and the budgets of shear stress and heat flux. *Journal of the Atmospheric Sciences*, 28(7):1171–1182.

Yang, K., N. Tamai, ve T. Koike

2001. Analytical solution of surface layer similarity equations. *Journal of Applied Meteorology*, 40(9):1647–1653.

Zhou, J., E. Erdem, G. Li, ve J. Shi

2010. Comprehensive evaluation of wind speed distribution models: A case study for North Dakota sites. *ENERGY CONVERSION AND MANAGEMENT*, 51(7):1449–1458.

Zoumakis, N. ve A. Kelessis

1993. On the theoretical relationship between the monin-obukhov stability parameter and the bulk richardson number. *Il Nuovo Cimento C*, 16(1):1–7.

TÜBİTAK
PROJE ÖZET BİLGİ FORMU

Proje Yürütücüsü:	Dr. Öğr. Üyesi FERHAT BİNGÖL
Proje No:	215M384
Proje Başlığı:	Yarımada Yüksek Rüzgar Ölçüm Direği
Proje Türü:	Uluslararası
Proje Süresi:	36
Araştırmacılar:	GÜLDEN GÖKÇEN AKKURT
Danışmanlar:	
Projenin Yürütüldüğü Kuruluş ve Adresi:	İZMİR YÜKSEK TEKNOLOJİ ENS. MÜHENDİSLİK F. ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ B.
Projenin Başlangıç ve Bitiş Tarihleri:	15/10/2015 - 15/04/2019
Onaylanan Bütçe:	458350.0
Harcanan Bütçe:	336149.49
Öz:	<p>Bu projede iki temel konu çalışılmıştır. (i) Rüzgar enerjisi yatırımları yerinde ölçüm yapma gerekliliğine sahiptir. Rüzgar mühendisliği dalında sıkça kullanılan Weibull olasılık dağılımı rüzgarın yüksek ve devamlı olduğu yerlerde kolaylıkla iki parametrelili Weibull dağılımına uymaktadır. Ancak, değişken rüzgar koşullarında bu işlem adımlarında zorluklar yaşanır. Bu çalışmada 101m meteoroloji ölçüm direği kullanılarak bir çok farklı dağılım metodu test edilmiş ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. (ii) Modelleme ve türbin üstüne gelen gerçek yüklerin hesabında ise kararlılık analizi çalışması önemli bir yer tutmaktadır. Çünkü, atmosferin farklı konularına göre logaritmik rüzgar profilinden sapan dikey rüzgar karakteristiği değişmekte ve bunun düzgün olarak hesaplanamadığı durumlarda fazla ya da eksik üretim tahmini yapılmaktadır. Her iki durumda da oluşturulan ekonomik model yatırımcı için sorun çıkarmaktadır. Türkiye'de hali hazırda kurulu 1500'e yakın direk ve daha önce ölçüm yapılmış olan başka yerlerdeki yine binden fazla direkte kararlılık analizi yapacak bir ölçüm cihazı yapılmaması yoktur. Bu projenin ikinci ayağında amacımız kurulan 101m yükseklikteki direği kullanarak ölçüm cihazı yetersiz direklerde de kararlılık analizi yapabilen bir yöntem geliştirmek ya da hali hazırda var olan modellerin sağlamlasını yapmaktır.</p>
Anahtar Kelimeler:	rüzgar enerjileri, Weibull, kararsızlık analizi, ölçüm direği
Fikri Ürün Bildirim Formu Sunuldu Mu?:	Hayır
Projeden Yapılan Yayınlar:	1- Rüzgar Ölçümlerinde Kararsızlık Analizi (Bildiri - Ulusal Bildiri - Sözlü Sunum),