T.C.
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ-CERRAHPAŞA
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ANDROİD TABANLI CİHAZLAR İLE RÜZGAR GÜCÜ KESTİRİMİ VE FİZİBİLİTE ÇALIŞMASI

Mustafa GÜVENÇ

DANIŞMAN
Dr. Öğr. Üyesi Rana ORTAÇ KABAOĞLU

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Programı

İSTANBUL-2022

Bu çalışma, 3.01.2022 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Programında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Jürisi

Dr. Öğr. Üyesi Rana ORTAÇ KABAOĞLU (Danışman)
İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa
Mühendislik Fakültesi

Doç. Dr. Erkan ATMACA
İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa
Mühendsilik Fakültesi

Dr. Öğr. Üyesi Baran TANDER
İstanbul Aydın Üniversitesi
Anadolu Bil MYO

UnvanAdı SOYADI
Üniversite
Fakülte

UnvanAdı SOYADI
Üniversite
Fakülte

20.04.2016 tarihli Resmi Gazete'de yayımlanan Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin 9/2 ve 22/2 maddeleri gereğince; Bu Lisansüstü teze, İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa'nın abonesi olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Lisansüstü Eğitim Enstitüsü'nün belirlemiş olduğu ölçütlere uygun rapor alınmıştır.

ÖNSÖZ

Yüksek lisans eğitimimde ve tez aşamamda danışmanlığımı üstlenen Dr. Öğr. Üyesi Rana ORTAÇ KABAOĞLU hocama yardımları, tez sürecinde zamanın verimli kullanılması açısından yol göstermesi ve öğrenmemi sağladığı bilgiler için teşekkürlerimi sunarım.

Eğitim öğretim hayatım boyunca benden desteklerini esirgemeyen değerli aileme, tez sürecimde hem teknik hem de manevi destek olan arkadaşlarım Vural ATICI ve Oğuzhan ÇETİNKAYA'ya çok teşekkür ederim.

Ocak 2022 Mustafa GÜVENÇ

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ ..... **iv**
İÇİNDEKİLER ..... **v**
ŞEKİL LİSTESİ ..... **vi**
TABLO LİSTESİ ..... **vii**
SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ ..... **viii**
ÖZET ..... **x**
SUMMARY ..... **xi**
1. GİRİŞ **1**
2. GENEL KISIMLAR **5**
2.1. ANDROİD İŞLETİM SİSTEMİ 5
2.1.1. Android Studio 5
2.1.2. Android Sürümleri 6
2.1.3. Kotlin ile Android Uygulama Geliştirme 7
2.1.4. Uygulama Programlama Arayüzü (API) 8
2.1.4.1. Google Maps Android Api *8*
2.1.4.2. Geçmiş Hava Durumu Api *9*
2.2. RÜZGAR TÜRBİNLERİNİN YAPISI 9
2.3. RÜZGAR ENERJİSİ POTANSİYELİNİN BELİRLENMESİ 10
2.3.1. Weibull Olasılık Yoğunluk Fonksiyonu 11
2.3.2. Güç Yoğunluğunun Hesaplanması 12
2.3.3. Weibull Parametrelerinin Tahmini 12
2.3.4. Rüzgar Türbinlerinin Güç Eğrisi 13
2.3.5. Rüzgar Türbininin Ürettiği Enerjinin Bulunması 13
3. MALZEME VE YÖNTEM **15**
4. BULGULAR **21**
5. TARTIŞMA VE SONUÇ **30**
KAYNAKLAR **33**
EKLER **37**
ÖZGEÇMİŞ **38**

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 1.1: 2018 yılı dünya birincil enerji arzında kaynakların payı [4]. 1

Şekil 1.2: 2006-2016 döneminde dünyada rüzgar enerjisi kapasitesi [5]. 2

Şekil 2.1: Android Studio arayüzü [15]. 6

Şekil 2.2: Google Maps görünümü [21].....8

Şekil 2.3: Rüzgar türbinlerinin genel yapısı [24]. 10

Şekil 3.1: İntegral çözümü 1. 19

Şekil 3.2: İntegral çözümü 2. 20

Şekil 4.1: Geliştirilen uygulamanın arayüzü. 21

Şekil 4.2: Uygulama üzerinde Hellman katsayısı seçimi. 22

Şekil 4.3: Uygulama üzerinde eksik veri girilmesi durumu. 23

Şekil 4.4: Uygulama işlem devam ediyor animasyonu. 24

Şekil 4.5: Uygulama sonuç ekranı. 25

Şekil 4.6: Osmaniye bölgesi için seçilen veriler. 26

Şekil 4.7: Osmaniye bölgesi için elde edilen sonuçlar. 27

Şekil 4.8: Çatalca bölgesi için seçilen veriler. 28

Şekil 4.9: Çatalca bölgesi için elde edilen sonuçlar. 29

TABLO LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 2.1: Android sürümleri [18]. 7

Tablo 3.1: Uygulama için belirlenen rüzgar türbin modelleri ve özellikleri. 17

Tablo 3.2: Farklı arazi koşullarında Hellmann katsayısı değerleri [27]. 17

SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ

Simgeler **Açıklama**

$\boldsymbol{\rho}$: Havanın Yoğunluğu
$\boldsymbol{P(v)}$: Rüzgardan Elde Edilen Güç Bağıntısı
$\boldsymbol{A}$: Rüzgar Türbini Rotorun Taradığı Alan
$\boldsymbol{v}$: Rüzgar Hızı
$\boldsymbol{V_{ri}}$: İstenilen Yükseklikteki Rüzgar Hızı
$\boldsymbol{V_{rö}}$: Ölçüm Yapılan Yükseklikteki Rüzgar Hızı
$\boldsymbol{H_i}$: Rüzgar Hızının Belirlenmesi Gereken Yükseklik
$\boldsymbol{H_ö}$: Rüzgar Hızının Ölçüm Yapılan Yüksekliği
$\boldsymbol{\mu}$: Hellman Pürüzsüzlük Katsayısı
$\boldsymbol{v_1}$: Rüzgar Türbininin Devreye Girmesi İçin Gereken Minimum Rüzgar Hızı
$\boldsymbol{v_2}$: Rüzgar Türbininin Çalışabileceği Maksimum Rüzgar Hızı
$\boldsymbol{k}$: Ölçek Parametresi
$\boldsymbol{c}$: Şekil Parametresi
$\boldsymbol{P}$: Güç Yoğunluğu
$\boldsymbol{\Gamma}$: Gamma Fonksiyonu
$\boldsymbol{v_{ort}}$: Ortalama Rüzgar Hızı
$\boldsymbol{\sigma}$: Standart Sapma
$\boldsymbol{n}$: Toplam Veri Sayısı
$\boldsymbol{\sigma}$: Standart Sapma
$\boldsymbol{P_T(v)}$: Rüzgar Türbininin Güç Eğrisi
$\boldsymbol{v_R}$: Rüzgar Türbininin Nominal Çalışmada Rüzgar Hızı
$\boldsymbol{P_R}$: Rüzgar Türbininin Gücü
$\boldsymbol{T}$: Rüzgar Türbininin Çalışacağı Zaman
$\boldsymbol{E_{türbin}}$: Rüzgar Türbininin Gücü T Zamanda Üreteceği Enerji Miktarı

Kısaltmalar	Açıklama
W	: Vat (Watt)
kW	: Kilovat (Kilowatt)
MW	: Megavat (Megawatt)
GW	: Gigavat (Gigawatt)
WiFi	: Kablosuz İnternet Bağlantısı
GPRS	: Genel Paket Radyo Hizmeti (General Packet Radio Service)
IOS	: İphone İşletim Sistemi (İphone Operating System)
API	: Uygulama Programlama Arayüzü (Application Programming Interface)
m	: Metre
kg	: Kilogram
s	: Saniye
cP	: Rotor Verimi
GPS	: Küresel Konum Belirleme Sistemi (Global Positioning System)
UI	: Kullanıcı Arayüzü (User Interface)
UX	: Kullanıcı Deneyimi (User Experience)

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ANDROİD TABANLI CİHAZLAR İLE RÜZGAR GÜCÜ KESTİRİMİ VE FİZİBİLİTE ÇALIŞMASI

Mustafa GÜVENÇ

İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman : Dr. Öğr. Üyesi Rana ORTAÇ KABAOĞLU

Elektrik üretiminde kullanılan kaynakların önemli bir kısmının fosil yakıtlardan oluştuğu bilinmektedir. Dünyadaki fosil kaynakların sınırlı olması nedeniyle son yıllarda elektrik üretiminde yenilenebilir enerji kaynaklarına yapılan yatırımlar artmıştır. Bu yatırımların büyük bir kısmını rüzgar enerjisi oluşturmaktadır. Rüzgar enerjisine olan ihtiyacın ve talebin artmasıyla birlikte, rüzgar gücünün kestiriminin ve fizibilitesinin yapılması konuları önem kazanmıştır. Mobil cihazların yaygınlaşması ve gelişmesi hayatımızın birçok noktasında kolaylık sağlamaktadır. Rüzgar hızı verilerinin elde edilmesi ile rüzgar gücü potansiyelinin belirlenmesi ve buna bağlı olarak fizibilitesinin yapılması mobil cihazlar ile gerçekleştirilebilir. Bu çalışmada konuma göre internetten elde edilen güncel rüzgar hızı verileri ile rüzgar gücü kestirimini yapan ve belirlenen konuma rüzgar türbini yatırımı yapılması durumunda verimlilik sonucunu veren bir android mobil uygulama tasarlanmıştır. Uygulamada rüzgar enerjisi potansiyelini belirlemede en sık kullanılan istatistiklerden biri olan weibull olasılık yoğunluk fonksiyonu kullanılmıştır. Arayüz çok sade ve anlaşılır şekilde oluşturulmaya çalışılmıştır. Sonuçlar mobil uygulama üzerinden kolaylıkla rüzgar hızı potansiyelinin belirlenebileceğini ve bölgeye yatırım yapılması durumunda verimlilik sonuçlarının elde edilebileceğini göstermektedir.

Ocak 2022, 49 sayfa.

Anahtar kelimeler: Rüzgar enerjisi, mobil uygulama, rüzgar türbinleri, fizibilite.

SUMMARY

M.Sc. THESIS

WIND POWER ESTIMATION AND FEASIBILITY USING ANDROID-BASED MOBILE DEVICES

Mustafa GÜVENÇ

Istanbul University-Cerrahpasa

Institute of Graduate Studies

Department of Electrical and Electronic Engineering

Supervisor : Assist. Prof. Dr. Rana ORTAÇ KABAOĞLU

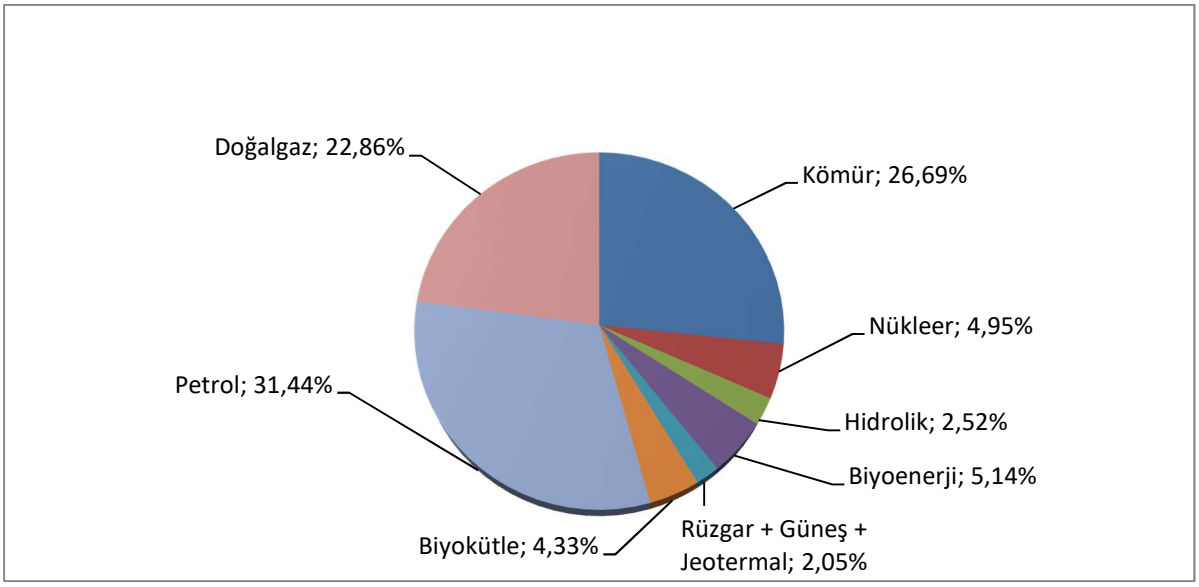
It is known that a significant part of the resources used in electricity generation consists of fossil fuels. Due to the limited fossil resources in the world, investments in renewable energy sources have increased in electricity generation in recent years. A large part of these investments consists of wind energy. With the increase in the need and demand for wind energy, the issues of estimating and feasibility of wind power have gained importance. The spread and development of mobile devices provides convenience in many aspects of our lives. With the acquisition of wind speed data, the determination of the wind power potential and the feasibility of it can be done with mobile devices. In this study, an android mobile application was designed that makes wind power estimation with the current wind speed data obtained from the internet according to the location and gives the efficiency result in the case of a wind turbine investment in the determined location. In practice, weibull probability density function, which is one of the most frequently used statistics to determine the wind energy potential, is used. The interface has been tried to be created in a very simple and understandable way. The results show that the wind speed potential can be determined easily via the mobile application and efficiency results can be obtained if investment is made in the region.

January 2022, 49 pages.

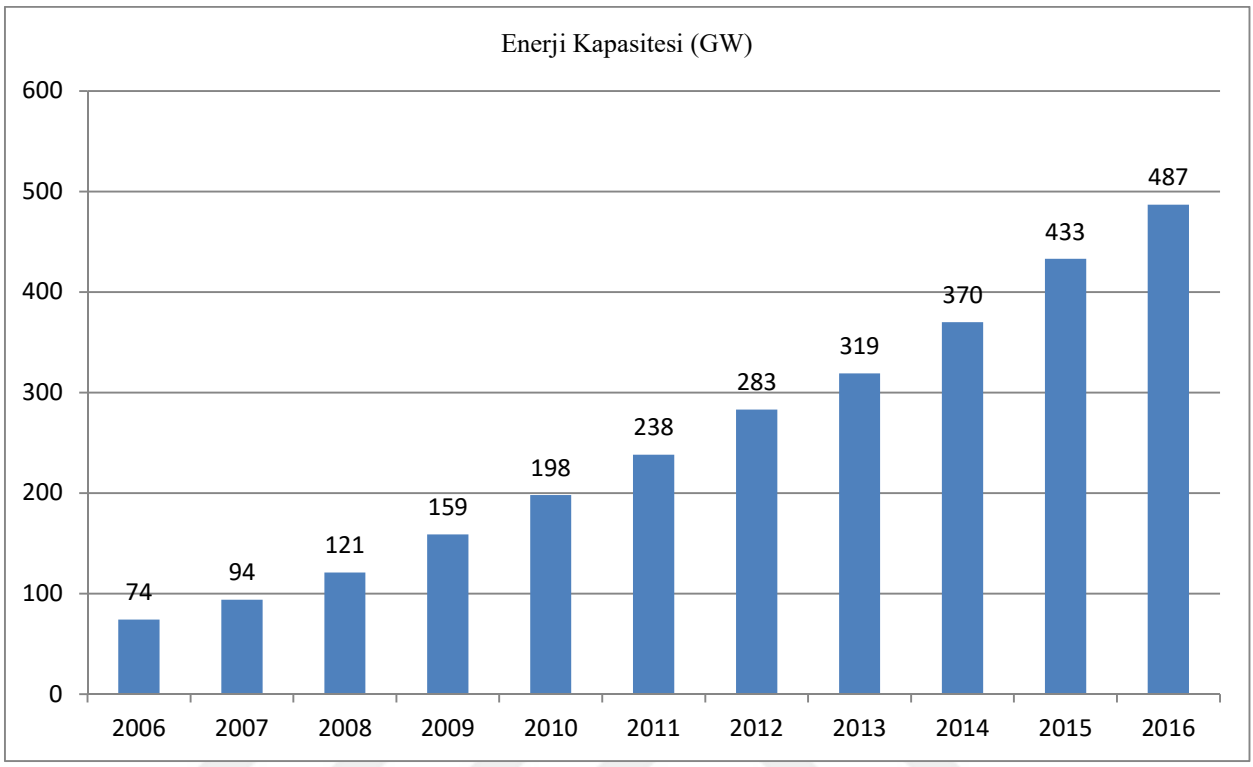
Keywords: Energy of wind, mobil application, windturbines, feasibility.

1. GİRİŞ

Günlük yaşamda hemen hemen her yerde kullanılan enerjiye olan talep, dünya nüfusundaki yükseliş, sanayileşme ve teknolojik gelişmeler nedeniyle hızla artmaktadır [1]. 1973 yılında meydana gelen petrol krizinin ardından ülkeler enerji kaynaklarını çeşitlendirme ve alternatif enerji kaynaklarının kullanılmasında ciddi girişimlerde bulunmuş, özellikle enerjide dışa bağımlı olan ülkeler enerjinin sürdürülebilir kullanımı adına çeşitli politika arayışları içine girmişlerdir. 21. yüzyıla gelindiğinde alternatif enerji arayışları önemli ölçüde artmış ve yenilenebilir enerji alanındaki çalışmalar büyük bir ivme kazanmıştır [2]. Yenilenebilir enerji, rüzgar, güneş, biokütle, jeotermal, hidrojen enerjisi gibi doğaya, çevreye ve doğal döngüye zarar vermeyen, kendini yenileme özelliği olan enerji çeşitlerine verilen genel addır. Rüzgar enerjisi, kaynağı güneş olan, temiz, sonsuz, doğal ve yenilenebilir bir güç kaynağıdır. Dünyaya gelen güneş enerjisinin yaklaşık %1-2 gibi bir kısmı rüzgar enerjisine dönüşmektedir. Yer yüzeyinin ve atmosferin homojen ısınmamasından dolayı oluşan sıcaklık ve basınç farkı nedeniyle rüzgar oluşur. Önceki dönemlerde, su depolamak, tarım ürünlerini öğütmek amacıyla kullanılan, gemilerin yelkenlerini şişirerek hareket etmesini sağlayan rüzgar, günümüze gelindiğinde rüzgar türbinleri sayesinde elektrik üretimini sağlamaktadır [3].



Şekil 1.1: 2018 yılı dünya birincil enerji arzında kaynakların payı [4].



Şekil 1.2: 2006-2016 döneminde dünyada rüzgar enerjisi kapasitesi [5].

Rüzgar türbinleri, rüzgarın kinetik enerjisini öncelikle mekanik enerjiye sonrasında elektrik enerjisine dönüştüren makinelerdir. Rüzgâr türbini genellikle elektrik-elektronik elemanlar, hız dönüştürücüleri (dişli kutusu), kule, jeneratör ve pervaneden oluşmaktadır. Kinetik enerji rotorda mekanik enerjiye dönüştürülür. Gövdedeki jeneratör rotor milinin hareket etmesiyle elektrik enerjisi üretir. Ve elde edilen elektrik enerjisi alıcılara ulaştırılabilir veya aküler ile depolanabilir. Rüzgar türbinleri kanat adetlerine, dönme eksenlerine, periyotlarına, konumlarına, rüzgar etkisine, dişli eksenlerine ve güçlerine göre sınıflandırılırlar. Rüzgar koşulları, yatırım yapılacak alan, rüzgar türbinlerinin özellikleri rüzgar çiftliklerinin kurulumunda bilinmelidir. Genellikle gücü 50 kW - 2 MW arasında olan türbinler büyük, 50 W – 10 kW olan türbinler ise küçük rüzgar türbini olarak bilinmektedir. Büyük rüzgar türbinleri endüstriyel kullanım olup üretilen enerji şebekeye verilir. Küçük rüzgar türbinleri ise kişisel kullanım olup genellikle üretilen enerji seralar, çiftlik evleri, radyo kulesi vb. alanlara verilir. Büyük rüzgar türbinlerinin akü ihtiyacı yoktur, bakım ve kurulum maliyetleri yüksektir. Küçük rüzgar türbinlerinde ise aküye ihtiyaç vardır, bakım ve kurulum maliyetleri düşüktür [6]. Rüzgardan elde edilen güç rüzgar hızının kübüyle doğru orantılıdır. Bu yüzden rüzgar hızı iki

katına çıktığında elde edilen güç miktarı sekiz katına çıkmaktadır. Rotor alanı iki kat arttırılması durumunda ise güç dört kat artmaktadır. Hava yoğunluğu arttıkça elde edilen enerji miktarı da artmaktadır [7]. Bir bölgedeki rüzgar enerjisi potansiyelinin hata oranı düşük olacak şekilde hesaplanabilmesi için en az bir yıllık rüzgar hızı ölçüm verilerine ihtiyaç duyulmaktadır. Ayrıca rüzgar ölçüm sistemine uygun bir yer seçilmelidir. Rüzgar ölçüm istasyonlarından alınan rüzgar hızı verilerinin frekans dağılımları belirlenerek veri analiz işlemleri yapılır [8]. Rüzgar enerjisi potansiyelini belirlemek için olasılık yoğunluk fonksiyonları kullanılmaktadır [9].

Mobil uygulamalar oldukça yaygınlaşan ve gün geçtikçe de sunduğu hizmetleri kendi içinde artan uygulamalardır. Bu uygulamalar mobil cihazlardan bilgiye daha süratli ve etkin bir biçimde ulaşmayı sağlar. Mobil uygulama bilgisayarınıza veya herhangi bir mekâna ihtiyaç duymadan her an her yerde hizmet alımı için son derece önemlidir. Mobil uygulamalar özellikle artan ve karmaşıklaşan hizmet sunumları için son derece kullanışlı ve pratik çözümler getiren uygulamalardır. Bu uygulamalar bilgisayar uygulamalarının sunduğu hizmetlerin neredeyse tümünü verebilmektedir. Kullanıcılara büyük bir zaman kazanımı ve hizmet alma özgürlüğü sağlamaktadır. Bilgisayarların taşınamadığı veya bulunmadığı ortamlarda, kolaylıkla hizmet portalına erişmek ve istenilen bilgiye ya da hizmete çok kısa sürede ulaşmak oldukça önemli bir konu olarak gündemdedir. Mobil uygulama hemen her alanda başta zamanla yarışın en büyük silahı olmakla birlikte, sağladığı avantaj ve işlem kolaylığı ile de fazlaca tercih edilmektedir. Mevcutta her ne kadar klasik bilgisayar program ve uygulamaları kullanılıyor olsa da, mobil uygulamalar hızla yükselmektedir [10]. Android ve İOS gibi işletim sistemine sahip olan cihazların bluetooth, WiFi veya GPRS özelliklerinden dolayı internete bağlanabile, konum belirleme, veri transferi gerçekleştirme gibi işlemleri gerçekleştiriyor olması, sosyal hayatımızın yanı sıra iş ve eğitim hayatımızda da birçok kolaylık sağlamaktadır.

Literatürde rüzgar gücünün belirlenmesine yönelik bir çok çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmalarda bilgisayar programları sıklıkla kullanılmaktadır. Ancak, literatürde mobil cihazlar üzerinden rüzgar hızlarının elde edilmesi ve rüzgar enerji potansiyelinin belirlenmesine yönelik bir çalışma bulunmamaktadır. Bu nedenle, bu çalışmada, konuma göre internetten elde edilen güncel rüzgar hızı verileri ile rüzgar gücü kestirimi yapan bir mobil uygulama geliştirilmiştir. Uygulama android tabanlı cihazlara yönelik yapılmıştır. Uygulamada ayrıca belirlenen noktaya yatırım yapılması durumunda verimlilik sonuçlarını da vermektedir. Çalışmada, uygulama

sonuçlarına göre rüzgar enerjisinin konuma göre mobil uygulamalar üzerinden belirlenmesi ve mobil uygulamalar üzerinden bu işlemlerin yapılmasının kolaylığı/zorluğu tartışılmıştır.

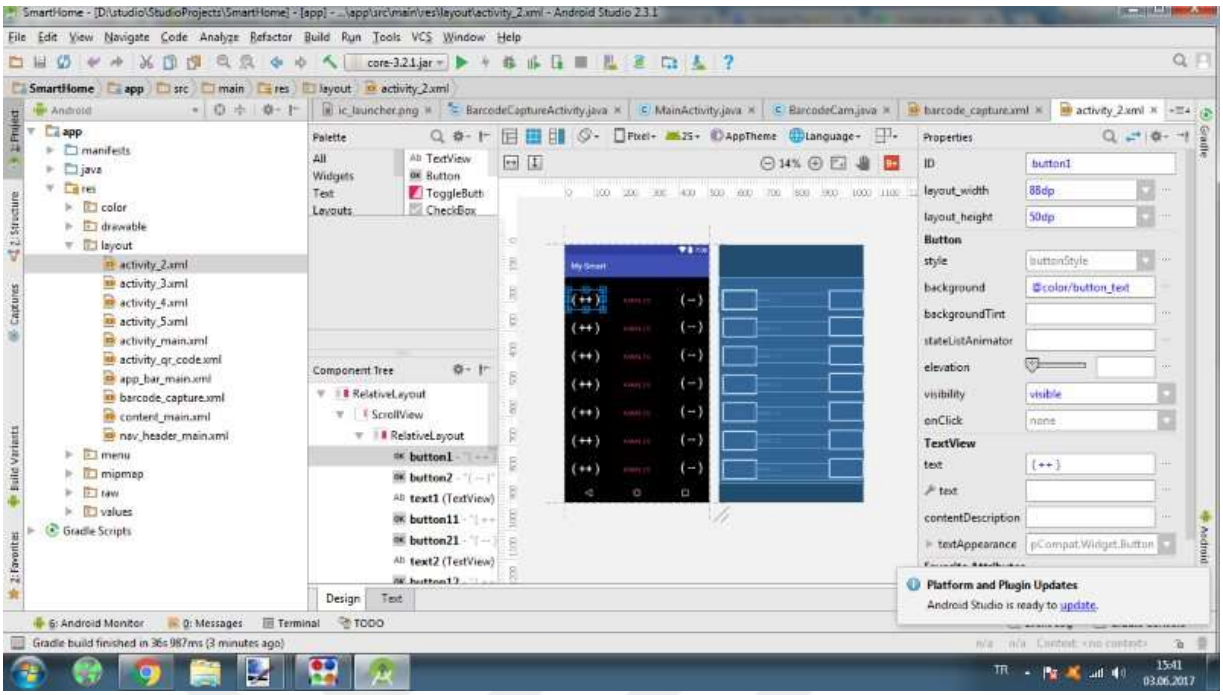
2. GENEL KISIMLAR

2.1. ANDROİD İŞLETİM SİSTEMİ

Kelime anlamı olarak insan şeklinde robot manasına gelen android, İngilizce bir kelimedir. Terim olarak yalnızca mobil cihazlarda kullanılması için geliştirilen mobil işletim sisteminin adıdır [11]. Android, Google tarafından geliştirilmiş olup milyonlarca kişi tarafından kullanılan dev bir işletim sistemidir. Android işletim sistemleri cep telefonları ve tabletlerde bulunmaktadır. Linux işletim sistemi çekirdeği kullanılmıştır. Apk uzantısını desteklemektedir. Android işletim sistemi beş kısımdan oluşur: Çekirdek, Android Runtime, kütüphaneler, uygulama çatısı ve uygulama katmanı. Çekirdek**,** Linux kernelidir. Güvenlik, hafıza yönetimi, süreç yönetimi, ağ yığınları ve sürücü modellerini içermektedir. Android Runtime**,** sanal makinedir. Dalvik sanal makinesini de içermektedir. Kütüphaneler**,** veritabanı kütüphaneleri, web tarayıcı kütüphaneleri, grafik ve arayüz kütüphanelerini içermektedir. Uygulama çatısı**,** uygulama geliştiricilere geniş bir platform sunan kısımdır. Uygulama katmanı**,** doğrudan Java veya Kotlin programlama dilleriyle geliştirilmiş uygulamaları içermektedir [12].

2.1.1. Android Studio

Android Studio, Android işletim sistemi üzerinde uygulama geliştirmemize yarayan geliştirme platformudur [13]. 2013 yılında Google I/O etkinliğinde tanıtılan Android Studio, yazılımcılar için geliştirilmiştir. Android geliştirme için özel olarak tasarlanmış olup resmi Entegre Geliştirme Ortamı (IDE) olarak bilinmektedir [14]. Anlaşılır bir arayüze sahiptir. Geliştirilen uygulamalar, android studionun sunduğu emülatör desteğiyle veya gerçek cihazlar ile test edilebilir.



Şekil 2.1: Android Studio arayüzü [15].

2.1.2. Android Sürümleri

Google, yeni özelliklerin eklenmesi, mevcut hataların giderilmesi ve sistemin iyileştirilmesi amacıyla Android sürümlerini sürekli güncellemektedir. İlk geliştirme aşamaları da hesaba katıldığında android sürümleri on altı yıldır güncellenmektedir [16]. 2008 yılından bu yana Google tarafından 24 sürüm çıkarılmıştır [17].

Tablo 2.1: Android sürümleri [18].

Versiyon	Kod adı	Yayın tarihi
1.0	Android 1.0	23 Eylül 2008
1.1	Android 1.1	9 Şubat 2009
2.3	Gingerbread	9 Şubat 2011
2.3.6		2 Eylül 2011
3.0	Honeycomb	22 Şubat 2011
4.0	IceCreamSandwich	19 Ekim 2011
4.1	JellyBean	9 Temmuz 2012
4.2		13 Kasım 2012
4.3		24 Temmuz 2013
4.4	KitKat	31 Ekim 2013
4.4.4		19 Haziran 2014
5.0	Lollipop	3 Kasım 2014
5.1		9 Mart 2015
6.0	Marshmallow	5 Ekim 2015
7.0	Nougat	22 Ağustos 2016
7.1		4 Ekim 2016
7.1.1		5 Aralık 2016
8.0	Oreo	21 Ağustos 2017
8.1		5 Aralık 2017
9	Pie	6 Ağustos 2018
10	10	3 Eylül 2019
11	11	8 Eylül 2020
12	12	4 Ekim 2021

2.1.3. Kotlin ile Android Uygulama Geliştirme

Kotlin, 2010 yılında JetBrains firması tarafından ortaya çıkarılmıştır. Nesne tabanlı, statik bir programlama dilidir. Android uygulamaları yazılırken ilk başlarda Java programlama dili kullanılırken artık Kotlin programlama dili de kullanılabilir. Kotlin Java'ya göre daha güvenli bir dildir. Bunun nedeni 1965 yılından beri nesne tabanlı programlarda kullanılan ve milyar dolarlık zararlara yol açan null verisi Kotlin ile birlikte daha güvenli olarak ele alınıp sisteme zarar vermesi engellenmiştir. Kotlin ve Java birlikte çalışmaktadır. Java'nın içinde Kotlin'i, Kotlin'in içinde Java'yı kullanabilirsiniz. Android Studio içerisinde yazmış olduğunuz Java kodunu kolaylıkla Kotlin diline çevirebilirsiniz. Kotlin, mevcut Java kütüphanelerini kullanarak

uygulama geliştirmeye olanak sağlar. Kotlin dilini öne çıkaran en önemli etken, Google'ın bu dile güvenmesi ve desteklemesidir.

2.1.4. Uygulama Programlama Arayüzü (API)

Uygulama programlama arayüzü, bir uygulamanın sahip olduğu yeteneklere izin verilen sınırlandırmalar dahilinde dışarıdan erişilebilmesini sağlayan bir arayüzdür. Bu kullanım sürecinde uygulamanın kendisine ihtiyaç duymadan sunulan özellikler edinilebilir. Bunun yanı sıra, gerçekleştirilmek istenilen işlemler için erişim sağlamak istenilen uygulama tarafından özel erişim bilgileri kullanmak gerekebilir [19].

2.1.4.1. Google Maps Android Api

Android uygulamalara harita yetenekleri eklenebilen kütüphanedir. Bu kütüphaneyi kullanmanın en büyük avantajı, mevcutta kullanılan android cihazlarda varsayılan harita uygulaması olarak Google Maps kullanılmasıdır. Uygulama özelinde harita görüntüleme, veri indirme gibi işlemler API yardımıyla otomatik olarak yapılmaktadır. Bunun haricinde kullanıcının görüşünün haritanın belli noktasına odaklanması, poligon eklenmesi, nokta eklenmesi gibi işlemler de API yardımıyla yapılmaktadır. Nesneye yönelik programlama prensiplerine göre geliştirilen API, geliştirici açısından uygulamaların geliştirilmesini oldukça kolaylaştırmaktadır. Kullanıcılar API anahtarı elde ederek kullanabilmektedirler. Her uygulama için ayrı API anahtarı gerekmektedir [20].



Şekil 2.2: Google Maps görünümü [21].

2.1.4.2. Geçmiş Hava Durumu Api

Dünyadaki herhangi bir yer veya belirli bir bölge için geçmiş hava durumu verilerini sağlayan uygulama arayüzüdür. Yayınlayan kuruma veya şirkete göre saatlik, aylık, yıllık olarak veriler elde edilebilir. Genellikle özel bir API anahtarı gerekmektedir. Bu API ile rüzgar hızı, hava sıcaklığı, basınç vb. hava durumu bilgileri elde edilebilir.

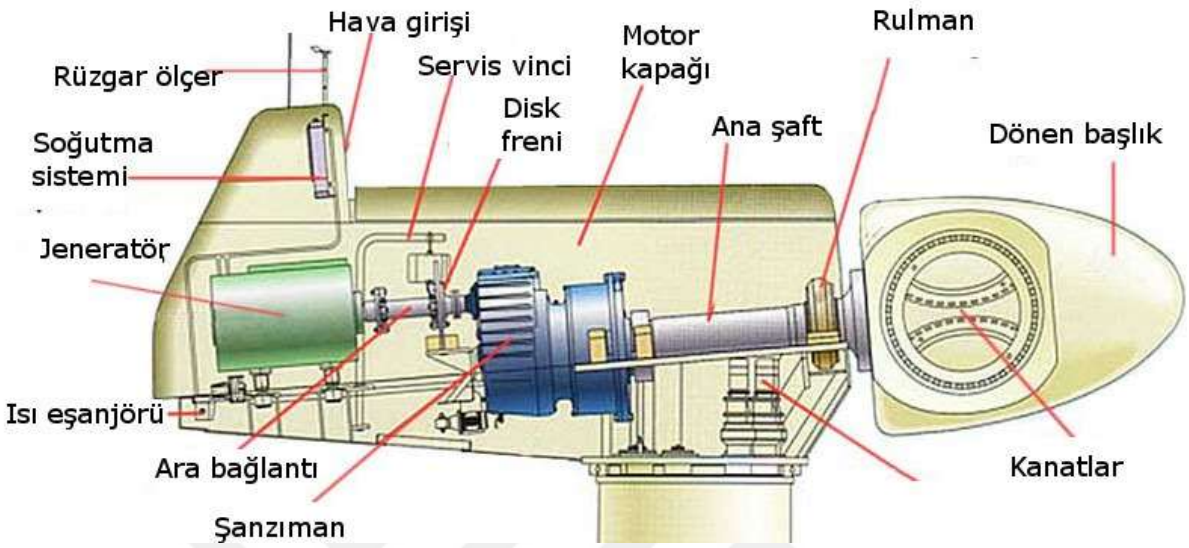
2.2. RÜZGAR TÜRBİNLERİNİN YAPISI

Rüzgar türbinleri, pervane, kule ve nacelle olmak üzere üç ana kısımdan oluşur. Pervanede kanatlar, hub ve şaft bulunmaktadır. Pervane ile bağlantılı olan nacelle bölümünde ise dişli kutusu, hidrolik sistemler, elektronik cihazlar, generatör ve diğer donanımlar bulunmaktadır. Rüzgar türbinleri elektrik üretimi şu şekilde gerçekleşir;

- Rüzgar, türbin kanatlarına çarpar ve kanatlar dönmeye başlar. Düşük hızlı şaftın dönmesine neden olur.
- Düşük hızlı şaftın dönmesiyle dönme hızını arttıran dişli kutusuna kinetik enerji aktarılır.
- Yüksek hızlı şaft generatörün nominal hızda dönmesini sağlar.
- Generatörün dönmesiyle birlikte mekanik enerji elektrik enerjisine dönüştürülür [22].

Rüzgar türbinlerinde rüzgar yönü tespiti, rüzgarı verimli seviyede kullanabilmek ve kanatların rüzgarı doğru yönden almasını sağlamak için gereklidir. Rüzgar türbinlerinde yön değiştirme yaw adı verilen sistem ile gerçekleştirilir. Yaw sistemi, rüzgarın yönüne göre nacelle kısmını döndürür. Kötü hava koşullarında rüzgar türbini sürücü sistemini mekanik zorlanmalara karşı korumak için yüksek hızlı şaft kısmı acil frenleme sistemleri ile donatılmalıdır [23]. Rüzgar türbinlerinde kanat kontrolünün sağlanması için kontrol sitemleri bulunmaktadır. Pervane kısmında kanatların dönmesini sağlamak için pitch motor ve sürücüleri eklenir. Böylece kontrol sistemi kanatların pitch açısını değiştirerek, acil durumlarda (yüksek rüzgar hızı vs.) kanatlar yeni konumlarına getirilebilir ve pervane kısmı frenlenir [22]. Rüzgar ölçer sayesinde ölçülen rüzgar yönü yaw sistemine iletilir. Ve sistem bu bilgi ile rüzgar türbininin yönünü ayarlar. Maksimum gücü gözlemlemek ve koruma amaçlı rüzgar hızını ölçmek için anemometre sensörü kullanılır. Anlık olarak ölçülen rüzgar hızı, kontrol sistemine iletilir. Böylece yüksek

veya düşük rüzgar hızları durumunda türbinin çalışmasına izin verilmez [22]. Rüzgar türbinlerinin genel yapısı Şekil 2.3'de gösterilmiştir.



Şekil 2.3: Rüzgar türbinlerinin genel yapısı [24].

2.3. RÜZGAR ENERJİSİ POTANSİYELİNİN BELİRLENMESİ

Mevcutta bulunan rüzgar türbinleri ile belirli rüzgar hızlarında enerji üretilebilmektedir. Bu yüzden, rüzgar türbini kurulacak alanın rüzgar rejinin tespit edilmesi çok önemli bir konudur. Rüzgar enerjisi, rüzgarın kübü ile doğru orantılıdır. Rüzgarın oluşturacağı enerji, şiddetine ve esme süresine bağlıdır [9]. Rüzgar hızı dağılımının belirlenmesinde birçok fonksiyon kullanılmaktadır. İki parametreli Weibull ve Weibull'un şekil parametresin 2 olarak kabul edildiği durum olan Rayleigh dağılımları en sık kullanılan dağılımlardır [8]. Bunlardan Weibull dağılımı, rüzgar dağılımına çok iyi uyması, parametrelerinin kolay belirlenmesi, esnek bir yapıda olması, parametrelerinin az olması, parametrelerinin farklı yükseklikler için tahmin edilebilmesi nedenlerinden dolayı daha yaygın kullanılmaktadır [7]. Denklem (2.1)'de rüzgardan elde edilen gücü veren bağıntı verilmiştir.

$$P(v) = \frac{1}{2} * \rho * A * v^3 * cP \tag{2.1}$$

Bağıntıda; ρ havanın yoğunluğu (kg/m^3), A rotorun taradığı alanı (m^2), v rüzgar hızını (m/s), cP rotor verimini, P(v) ise elde edilecek gücü (Watt) vermektedir. Yüzey pürüzsüzlük katsayısı bilinen bir ölçüm noktası için ölçüm verisi elde edilen yükseklikten daha yüksek bir noktadaki rüzgar hızı denklem (2.2) ile hesaplanabilir.

$$V_{ri} = V_{rö}\left(\frac{H_i}{H_ö}\right)^{\mu} \quad (2.2)$$

Denklemde; V_{ri} istenilen yükseklikteki hızı, $V_{rö}$ ölçüm yapılan yükseklikteki hızı, $H_ö$ ölçüm yapılan yüksekliği, H_i hızın belirlenmesi istenilen yüksekliği, μ Hellman pürüzsüzlük katsayısını belirtmektedir.

2.3.1. Weibull Olasılık Yoğunluk Fonksiyonu

Rüzgar hızı olan v (m/s)'nin olasılık yoğunluk fonksiyonu denklem (2.3) koşulunu sağlayan fonksiyondur. Burada rüzgar hızlarının rassal olduğu kabul edilmelidir.

$$\int_0^{\infty} f(v)dv = 1 \quad , \quad f(v) > 0 \quad (2.3)$$

Kümülatif dağılım fonksiyonu,

$$F(v > v^*) = 1 - \int_0^{v^*} f(v)dv = \int_{v^*}^{\infty} f(v)dv \quad (2.4)$$

olarak tanımlanır. Denklem (2.4)'den sonuç olarak denklem (2.5) hesaplanır.

$$F(v_1 < v < v_2) = \int_{v_1}^{v_2} f(v)dv \quad (2.5)$$

Weibull dağılımı ölçek (c) ve boyutsuz şekil (k) parametrelerinden oluşmaktadır. Rüzgar hızı için Weibull dağılımının olasılık yoğunluk fonksiyonu,

$$f(v) = \frac{k}{c}\left(\frac{v}{c}\right)^{k-1} e^{-\left(\frac{v}{c}\right)^k} \quad (2.6)$$

şeklinde ifade edilmektedir. Formüle v rüzgar hızı (m/s), k boyutsuz şekil parametresi ve c ölçek parametresini ifade etmektedir. Ölçek parametresi olan c, aynı zamanda rüzgar hızının bir biriminin referans değeridir. Boyutsuz şekil parametresi olan k'nın genel olarak 1.5 ile 3 değerleri arasında olması beklenir. Weibull dağılımının birikimli olasılık yoğunluk fonksiyonu denklem (2.7) ile belirtilmiştir.

$$F(v) = 1 - e^{\left(\frac{v}{c}\right)^k} \quad (2.7)$$

Weibull kümülatif dağılım fonksiyonu, rüzgar hızının, belli bir v değerinden küçük veya eşit gerçekleşme olasılığını verir [7][8][9].

2.3.2. Güç Yoğunluğunun Hesaplanması

Rüzgarın kinetik enerjisi denklem (2.8) ile gösterilmektedir.

$$p(v) = \frac{1}{2} * \rho * A * v^3 \tag{2.8}$$

Weibull dağılımında güç yoğunluğunun ifadesi,

$$P = \int_0^\infty p(v) f(v) dv \tag{2.9}$$

şeklinde ifade edilir. Denklem (2.6) ve denklem (2.8) denklem (2.9)'da yerine konulduğunda Gamma fonksiyonu kullanılarak elde edilen fonksiyon denklem (2.10)'da belirtilmektedir.

$$P = \frac{1}{2} * \rho * c^3 * \Gamma\left(1 + \frac{3}{k}\right) \tag{2.10}$$

2.3.3. Weibull Parametrelerinin Tahmini

Weibull parametrelerinin belirlenmesinde kullanılan en eski yöntemlerden biri moment yöntemidir. Dağılımın ortalaması ve standart sapması arasındaki bağlantıyı şekil parametresi için bulan bir metottur. Şekil parametresi, standart sapma ve ortalama hesaplandıktan sonra ölçek parametresi hesaplanabilir.

Ölçek parametresi denklem (2.11) ile ifade edilir.

$$c = \frac{v_{ort}}{\Gamma\left(1+\frac{1}{k}\right)} \tag{2.11}$$

Denklem (2.11)'de belirtilen Γ Gamma fonksiyonunu temsil etmektedir. Denklem (2.12)'de şekil parametresi olan k ifade edilmiştir.

$$k = \left(\frac{\sigma}{v_{ort}}\right)^{-1,086} \tag{2.12}$$

Denklem (2.12)'de belirtilen σ standart sapması denklem (2.13) ile, v_{ort} ortalama hız ise denklem (2.14)'de gösterilmiştir.

$$v_{ort} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} v_i \tag{2.13}$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n-1}\sum_{i=1}^{n}(v_i - v_{ort})^2} \tag{2.14}$$

Denklem (13) ve denklem (14)'de belirtilen n, veri sayısını ifade etmektedir [25].

2.3.4. Rüzgar Türbinlerinin Güç Eğrisi

Rüzgar türbininin çalışmaya başladığı ve tam kapasiteye ulaştığı hızlar ile modellenen güç eğrisi denklemi (2.15)'de ifade edilmiştir[26].

$$P_T(v) = \begin{cases} 0, & v < v_1 \\ P_R \frac{v^2 - {v_1}^2}{{v_R}^2 - {v_1}^2}, & v_1 \le v < v_R \\ P_R, & v_R \le v < v_2 \\ 0, & v > v_2 \end{cases} \tag{2.15}$$

2.3.5. Rüzgar Türbininin Ürettiği Enerjinin Bulunması

Rüzgar türbinlerinin belirli bir zaman diliminde ürettiği enerji, Weibull olasılık yoğunluk fonksiyonunun, türbin güç eğrisi ile integre edilmesi sonucunda bulunur. İntegral sınırları rüzgar türbininin devreye girdiği ve devreden çıktığı hız değerleri alınarak hesaplanır. Denklem (2.16)'de belirtilmiştir [26].

$$E_{türbin} = T\int_{v_1}^{v_2} P_T(v) f(v) dv \tag{2.16}$$

Denklem (2.6) ve denklem (2.15)'in denklem (2.16)'da yerine konulmasıyla rüzgar türbininin ürettiği enerji denklem (2.17)'de iki parçalı integral olarak ifade edilmiştir.

$$E_{türbin} = T\left(P_R \int_{v_1}^{v_R} \frac{v^2 - {v_1}^2}{{v_R}^2 - {v_1}^2} \frac{k}{c}\left(\frac{v}{c}\right)^{k-1} e^{-\left(\frac{v}{c}\right)^k} dv + P_R \int_{v_R}^{v_2} \frac{k}{c}\left(\frac{v}{c}\right)^{k-1} e^{-\left(\frac{v}{c}\right)^k} dv \right) \tag{2.17}$$

Rüzgar türbininin kurulum maliyeti denklem (2.18), elde edilecek gelir denklem (2.19), işletme ve bakım giderleri denklem (2.20), elde edilecek kar denklem (2.21) ve amortisman süresi denklem (2.22) ile hesaplanabilir.

$$M_{kurulummaliyeti} = P_R * M_{kurulummaliyeti/kW} \quad (2.18)$$

$$M_{yıllıkgelir} = E_{türbin} * M_{enerjisatışfiyatı/kW} \quad (2.19)$$

$$M_{yıllıkgider} = E_{türbin} * M_{bakımonarımfiyatı/kW} \quad (2.20)$$

$$M_{yıllıkkar} = M_{yıllıkgelir} - M_{yıllıkgider} \quad (2.21)$$

$$T_{amortisman\ üresi} = M_{kurulummaliyeti} / M_{yıllıkkar} \quad (2.22)$$

3. MALZEME VE YÖNTEM

Bu bölümde rüzgar gücü kestirimi ve fizibilite sonuçlarını veren android mobil uygulamanın geliştirme aşamaları, verilerin elde edilme yöntemi, yapılan kabuller vb. konular açıklanmıştır. Elde edilen sonuçlar ilerleyen bölümlerde belirtilmiştir.

Uygulama yazılımı Android Studio geliştirme ortamı ve Kotlin dili kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Geliştirme esnasında Android Studio'nun esnek yapısından faydalanılmıştır. Java yerine Kotlin dilinin tercih edilme sebebi kod yoğunluğunu az olması, null kontrolünün otomatik olarak sağlanması, kullanım kolaylığının olması ve Kotlin dilinin endüstride son yıllarda daha çok tercih edilmesidir. Bunun yanında daha yüksek kapasiteli uygulamalar yazılmasına yardımcı olan Android Jetpack paketinde bulunan kütüphaneler kullanılmıştır. Bu paketin kullanılması yazılımın daha esnek, test edilebilir, düzenlenebilir olmasını sağlamaktadır. Böylelikle yazılacak uygulamada ilerde yapılacak eklemelerin veya düzenlemelerin kolaylıkla entegre edilmesi amaçlanmaktadır.

Tasarlanacak olan mobil uygulama, gerekli olan verilerin girileceği ekran ve hesaplanan sonuçların gösterileceği ekran olmak üzere 2 ana kısımdan oluşmaktadır. Bu nedenle 2 ayrı arayüz tasarımı yapılmıştır. Yazılım üzerinde 2 ekran arasında geçiş yapabilmek için Android'in Fragment yapıları ve Android Jetpack öğesi olan Navigation kütüphanesi kullanılmıştır. Uygulama arayüzünün çok sade ve anlaşılabilir olması düşünülmüştür. Bu yüzden uygulama açıldığında tüm veriler açılan ilk ekranda girilecek ve hesaplama butonu ile sonuç ekranına geçilecektir. Uygulama görünümünün tüm cihazlarda orantılı bir şekilde görünmesi için uyumlu tasarım (responsivedesign) prensiplerine uygun tasarım gerçekleştirilmiştir. Böylelikle farklı ekran çözünürlüklerine sahip cihazlara uyum sağlayabilen tasarımlar elde edilmiş olacaktır. Örneğin; eskiden mobil cihazlardan veya tabletlerden web sitelerine giriş yapıldığında siteler cihazlarımıza uyumsuz olabiliyor, menüye ulaşmayı, tıklama yapmayı zorlaştırabiliyordu. Responsive tasarımlar ile web siteleri farklı cihazlarla düzgün görüntülenebilmektedir. Böylece fontlar, resimler ve diğer görsel araçlar farklı çözünürlüklere hazır hale gelmektedir. Açılış ekranında konum, rüzgar türbini modeli, pürüzsüzlük katsayısı ve türbin adeti gibi veriler istenecektir.

Konum belirlenirken Google Maps servisleri kullanılacaktır. Android'de konumlar Network Provider ve GPS Provider olmak üzere 2 farklı yolla belirlenebilir. Uygulamada yazılan kodlar

ile her iki sistem de kullanılabilecektir. Bir sistemde sorun olduğunda konum belirlemek için diğer sistem kullanılacaktır. Bu sayede uygulamanın sürdürülebilir ve verimli çalışması amaçlanmaktadır. Uygulama açıldığında kullanıcı tarafından konum bilgisine izin verilmişse, konum otomatik olarak cihazın bulunduğu yer olarak işaretlenecektir. Eğer izin verilmemişse, İstanbul merkezinde bir konum işaretlenecektir. Harita üzerinde kaydırma yaparak ve istenilen konuma uzun tıklayarak yeni konum belirlenebilir. Böylece rüzgar gücü kestirimi ve fizibilitesi için dünya üzerindeki istenilen herhangi bir konum seçilebilecektir.

Uygulamada kullanılmak üzere güçleri 0.3 – 5000 kW arasında değişen16 farklı rüzgar türbini modeli belirlenmiştir. Belirlenen rüzgar türbini ve özellikleri piyasa ortalaması göz önüne alınarak yapılmıştır. Hesaplama aşaması için gerekli olan rüzgar türbini özellikleri türbin gücü, rüzgar türbininin devreye girmesi için gerekli olan minimum rüzgar hızı, rüzgar türbininin çalışabileceği maksimum rüzgar hızı, türbinin nominal çalışma esnasındaki rüzgar hızı ve türbin kule yüksekliği şeklindedir. Uygulamada kullanılacak olan rüzgar türbinleri ve özellikleri Tablo 3.1'de belirtilmiştir. Her ölçekten rüzgar türbini olması amaçlanmıştır. Rüzgar türbini verileri internet üzerinde bir kaynakta toplanacak ve uygulamaya entegre edilecektir. Bu yöntem ile rüzgar türbin verilerinde herhangi bir değişiklik olduğunda, yeni rüzgar türbin modeli eklenmek veya çıkarılmak istendiğinde uygulamanın yazılımına müdahale edilmeden verilerin güncellenmesi amaçlanmaktadır. Android Jetpack paketinin Networking kütüphanesi olan Retrofit ile uygulama internete bağlanarak belirtilen internet adresi üzerinden rüzgar türbin verilerine ulaşacak ve verileri uygulamanın hafızasına çekecektir. Uygulama tarafından elde edilen rüzgar türbin verileri Android'in Recylerview adı verilen listeleme yöntemi ile entegre edilerek arayüze aktarılacaktır. Uygulamada Recyclerview yatay olarak kullanılmıştır. Ayrıca her yana kaydırma hareketinde ekranda sadece bir adet rüzgar türbin verisi görülmesi için Recyclerview'in PagerSnapHelper özelliği kullanılmıştır. Böylelikle yana kaydırma hareketi ile türbin modelleri arasında geçiş yapılabilecektir. Ekranda görülen rüzgar türbini modeli seçilecek rüzgar türbini olarak algılanacaktır. Kısacası seçilmek istenen rüzgar türbin modeline sağa-sola kaydırma hareketi ile ulaşıldığında aynı zamanda hesaplamada kullanılacak olan rüzgar türbin modeli de seçilmiş olacaktır.

Tablo 3.1: Uygulama için belirlenen rüzgar türbin modelleri ve özellikleri.

Türbin Modeli	Güç (kW)	Minimum Hız (m/s)	Nominal Hız (m/s)	Maksimum Hız (m/s)	Yükseklik (m)
Türbin Modeli - 1	5000	3	15	26	164
Türbin Modeli - 2	4000	3	17	28	133,2
Türbin Modeli - 3	3600	3	14	25	134
Türbin Modeli - 4	3900	3	13	25	134
Türbin Modeli - 5	2500	3	11	25	120
Türbin Modeli - 6	1700	3	10	23	103
Türbin Modeli - 7	2850	3	12,5	25	103
Türbin Modeli - 8	1500	3,5	15	25	77
Türbin Modeli - 9	0,3	1,5	12	50	1,6
Türbin Modeli - 10	0,5	2,2	10	25	3
Türbin Modeli - 11	1	3	16	25	3
Türbin Modeli - 12	50	4,6	11	22,4	30
Türbin Modeli - 13	100	3,5	13,5	24	45
Türbin Modeli - 14	250	4	11,5	23	28
Türbin Modeli - 15	500	4	10	25	50
Türbin Modeli - 16	1000	3	12	25	70

Hellman pürüzsüzlük katsayısı seçimi için Android'in aşağı açılır pencere özelliği (Spinner) kullanılmıştır. Ölçülen rüzgar hızlarının uygulama üzerinde türbin kule yüksekliğine ötelemek amacıyla kullanılacak olan Hellman katsayıları Tablo 3.2'de belirtilmiştir.

Tablo 3.2: Farklı arazi koşullarında Hellmann katsayısı değerleri [27].

Arazinin Tanımı	Hellman Katsayısı
Düz zemin, göl ya da okyanus	0.10
Çayır ya da işlenmemiş toprak	0.14
Kırsal arazi, ayak seviyesinde çayır, seyrek ağaçlı bölge	0.16
Mahsüllü toprak ve ağaçlı bölge	0.20
Orman ve binaların olduğu bölge	0.22-0.24
Ormanlık kasaba ya da şehir	0.28-0.30
Büyük binaların olduğu şehirler	0.40

Uygulamada Tablo 3.2'de verilen değerler kullanılmış olup, değer aralığı verilen koşullar için ortalama değer kullanılmıştır. Ormanlık kasaba ya da şehir koşulu için 0.29, orman ve binaların olduğu bölge koşulu için 0.23 değerleri kullanılmıştır. Hellman katsayısının belirlenmesi kararı kullanıcıya bırakılacaktır. Seçilen konuma göre uygulama üzerinde Spinner aracı ile Tablo 3.2'de belirtilen değerlerden gerçeğe en yakın olanının seçilmesi hesaplamanın doğruluk payını arttıracaktır.

Kullanıcıdan istenecek diğer bir veri ise kaç adet rüzgar türbini kurulacağı bilgisidir. Bu verinin girilebilmesi için arayüzde bir bölüm oluşturulmuştur. Bu bölüm Android'de bulunan metin girişi (Edittext) özelliği kullanılarak tasarlanmıştır. Manuel olarak Edittext'e tıklandığında sayı girilmesi için klavye açılacak ve istenilen sayı girilebilecektir. Edittext içerisinde bulunan ayarlar sayesinde bu kısma sadece sayı girilebilecek şekilde ayarlanmıştır. Bu sayede harf veya özel karakter girilmesi engellenmiştir. Bu özelliklerin kullanmasının amacı uygulamanın kullanıcı arayüzü (UI) ve kullanıcı deneyimi (UX) açısından iyi sonuç vermesini sağlamaktır.

Tüm veriler girildikten sonra arayüzde bulunan hesaplama butonu kullanılarak sonuç ekranına geçilebilir. Kullanıcı arayüzde bulunan türbin adedini girmeden veya ortam koşullarını seçmeden hesaplama butonuna tıkladığında uygulama uyarı verecek ve verilerin girilmesini isteyecektir. Uyarı için ekranda kısa süreli bir mesaj çıkmasını sağlayan Android'in Toast mesaj özelliği kullanılacaktır. Verilerin tamamı eksiksiz bir şekilde girilip hesaplama butonuna basıldığında uygulama sonuç fragmentine geçecektir.

Sonuç fragmentine geçildiğinde belirlenen konuma ait yükseklik ve rüzgar hızı verilerinin internet kaynağından alınması işlemleri arka planda gerçekleşecektir. Yükseklik verisi rüzgar ölçüm noktası ile belirlenen konum arasındaki yükselti farkını belirlemek amacıyla alınacaktır. Konumun yükseltisinin elde edilmesi Airmap web sitesinin yükselti verisi için sunduğu API ile sağlanmaktadır. Yazılım üzerinden enlem ve boylamın belirtilmesi ile belirlenen konuma ait yükselti verisi elde edilebilecektir. Rüzgar hızı verileri OpenWeatherMap sitesinin sunduğu geçmiş hava durumu API'ı aracılığıyla elde edilecektir. Rüzgar hızı verileri geçmişe dönük 1 yıllık süre içerisinde saatlik periyotlar ile alınacaktır. Bu veriyi sağlamak için OpenWeatherMap'de özel bir API anahtarı elde edilmesi gerekmektedir. Ücret ödeyerek veya öğrenci durumu belirtilerek özel API anahtarı elde edilebilir. Yazılım üzerinde enlem, boylam ve veri tarihlerinin aralığı belirtilerek rüzgar hızı verileri elde edilebilecektir. Veriler tek seferde yapılacak istek için sadece 1 haftalık olarak verilmektedir. Bu yüzden veriler yazılım

üzerinde yapılan bir döngü ile 52 seferde alınmaktadır. Bu şekilde yaklaşık 8760 adet gerçek rüzgar hızı verisi elde edilecektir.

Rüzgar hızı ölçümleri genellikle 10 metrelik direkler ile yapılmaktadır [28]. İnternet üzerinden alınan verilerde rüzgar hızının ölçüm yüksekliği verilmemektedir. Bu yüzden ölçüm yüksekliği 10 metre olarak kabul edilmiştir. Elde edilen rüzgar hızlarının seçilen türbinin kule yüksekliğine ötelenmesi gerekmektedir. Hellman katsayısının ve türbin yüksekliğinin bilinmesi ile rüzgar hızları teker teker denklem (2.2) kullanılarak türbin kule yüksekliğine ötelenecektir. Rüzgar hızları yazılım üzerinde dizilerde (Array) tutulmaktadır. Ve istenildiği zaman ulaşılabilir. Elde edilen yeni rüzgar hızlarının ortalaması belirlenecektir.

Rüzgar hızlarının ortalamasının belirlenmesi ile denklem (2.14)'de belirtilen σ hesaplanabilir. Bu hesap ile denklem (2.12)'de belirtilen şekil parametresi ve daha sonra denklem (2.11)'de belirtilen ölçek parametresi hesaplanabilir.

Şekil ve ölçek parametrelerinin bilinmesi ile denklem (2.17) yardımıyla seçilen türbinin üreteceği enerji miktarı hesaplanabilir. Denklem (2.17)'de bulunan integraller WolframAlpha internet sitesinin integral hesaplama hizmeti ile Şekil 3.1 ve Şekil 3.2'de belirtildiği gibi çözülmüştür.

$$\int \frac{\frac{x^2-a^2}{b^2-a^2}\, k \left(\frac{x}{c}\right)^{k-1} \exp\left(-\left(\frac{x}{c}\right)^k\right)}{c}\, dx =$$

$$\frac{x^2 \left(\left(\frac{x}{c}\right)^k\right)^{-2/k} \Gamma\left(\frac{k+2}{k}, \left(\frac{x}{c}\right)^k\right) - a^2\, e^{-(x/c)^k}}{a^2 - b^2} + \text{constant}$$

Şekil 3.1: İntegral çözümü 1.

$$\int \frac{k\left(\frac{x}{c}\right)^{k-1}\exp\left(-\left(\frac{x}{c}\right)^{k}\right)}{c}\,dx = -e^{-(x/c)^{k}} + \text{constant}$$

Şekil 3.2: İntegral çözümü 2.

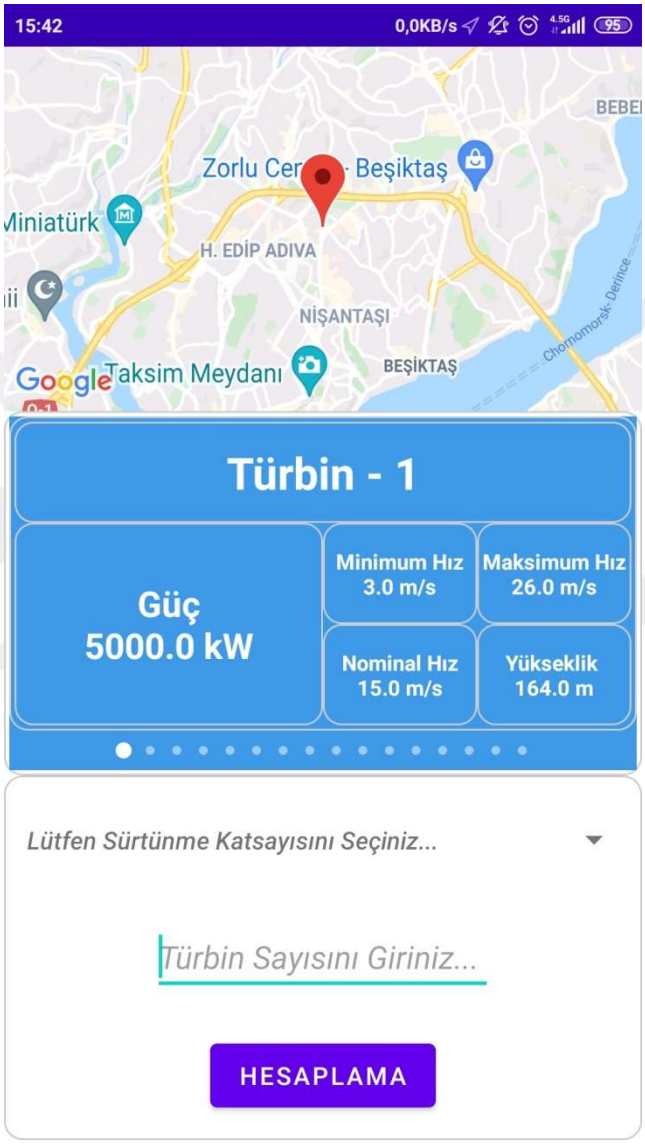
Şekil 3.1 ve Şekil 3.2'de belirtilen çözümler uygulamaya tanımlanmıştır. Çözümde bulunan verilerin bilinmesi ile türbinlerin üreteceği enerji miktarı belirlenecektir. Uygulama üzerinde başta Gamma fonksiyonlarının hesabı olmak üzere tüm matematiksel işlemler Kotlin'de kullanılan Math kütüphaneleri yardımıyla yapılacaktır.

Yıllık üretilecek enerjinin hesaplanmasının ardından kurulum maliyeti, bakım onarım maliyeti ve enerji satış fiyatı gibi kalemlerin belirlenmesi ile birlikte fizibilite aşamasına geçilebilecektir. Rüzgar santrallerinin ortalama kurulum maliyeti 1300$/kW , işletme ve bakım giderleri 0.01-0.02 $/kWh civarındadır [29]. Türkiye'de 2021 yılı Ocak ayı itibariyle rüzgar ve hidroelektrik santrallerde 7.3cent/kWh devlet tarafından alım garantisi verilmektedir [30]. Bu verilere dayanarak mobil uygulama üzerinde kurulum maliyeti 1300$/kW, bakım onarım maliyeti 0,02$/kWh, enerji satış fiyatı ise 0.073$/kWh olarak kabul edilmiştir.

Gerekli olan tüm verilerin elde edilmesi ile rüzgar türbinlerinin yıllık işletme ve bakım giderleri, kurulum maliyeti, yıllık enerjinin satışından elde edilen gelir ve sonuç olarak yapılan yatırımın kaç yıl içinde kendini amorti edeceği bilgisi hesaplanacaktır.

4. BULGULAR

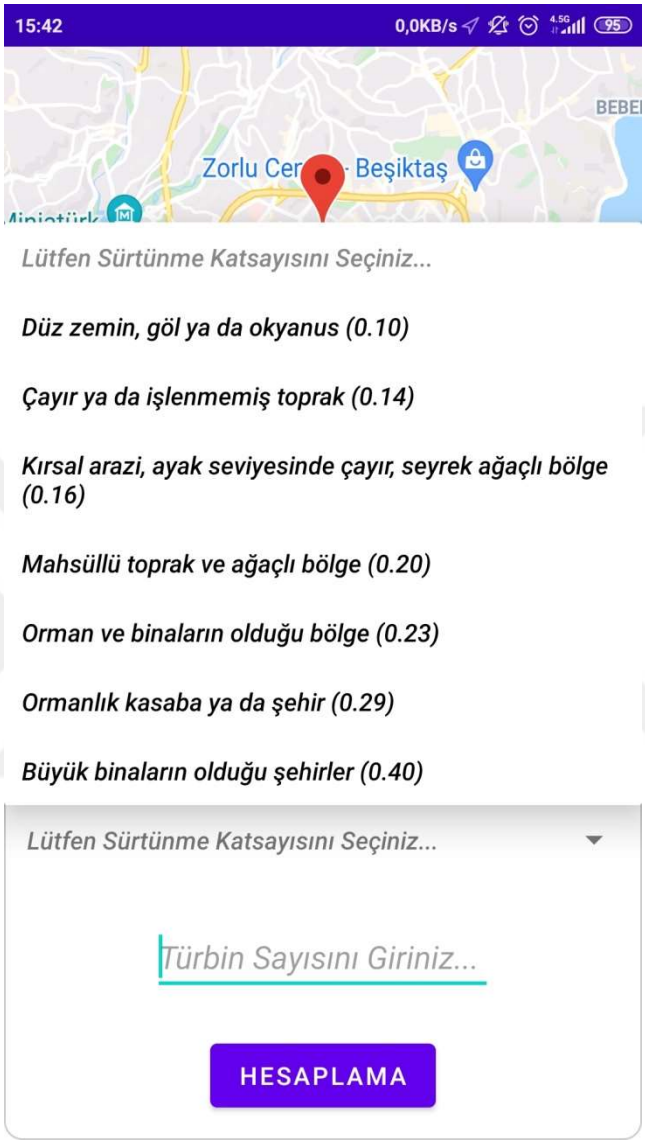
Bu bölümde tasarlanan android mobil uygulama ve sonuçları anlatılmaktadır. Uygulamanın giriş ekranı Şekil 4.1'de gösterilmiştir.



Şekil 4.1: Geliştirilen uygulamanın arayüzü.

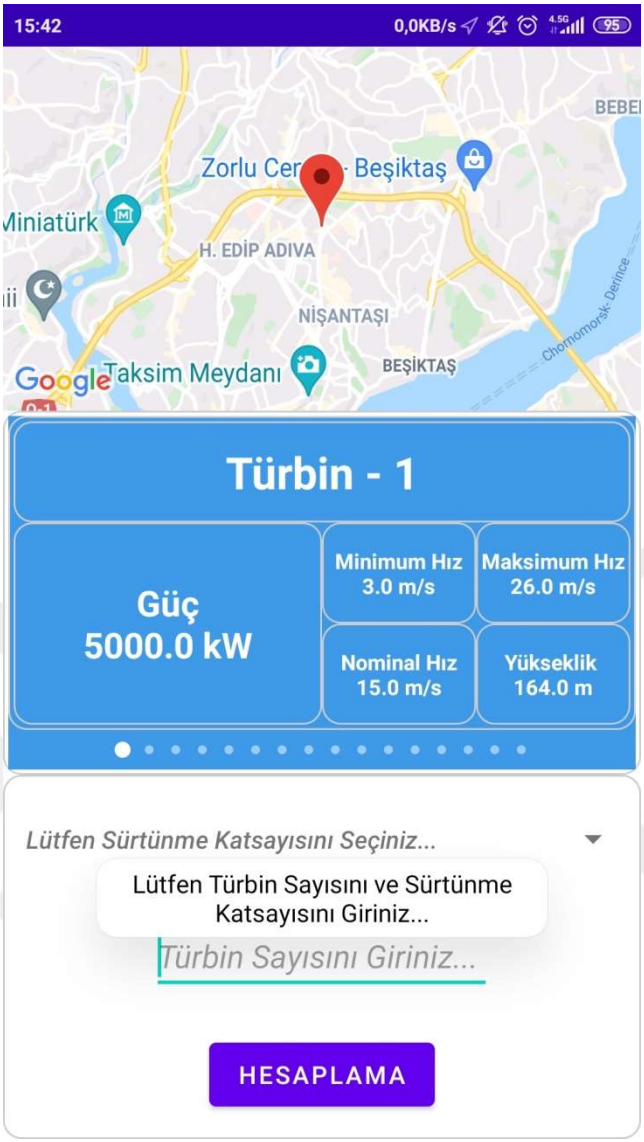
Şekil 4.1'de görüldüğü üzere kullanıcı sadece bu ekran üzerinden veri girişlerini yapabilir. En üst bölümde bulunan haritadan istenilen konum uzun tıklanarak yatırım yapılacak alan belirlenebilir. Orta bölümde sağa ve sola kaydırma yöntemi ile türbin modeli seçilebilir. En alt bölümde ise Hellman katsayısının seçimi, türbin sayısının belirlenmesi ve hesaplama butonu

yer almaktadır. Hellman katsayısının seçimine yönelik açılır pencerenin görünümü Şekil 4.2'de gösterilmiştir.



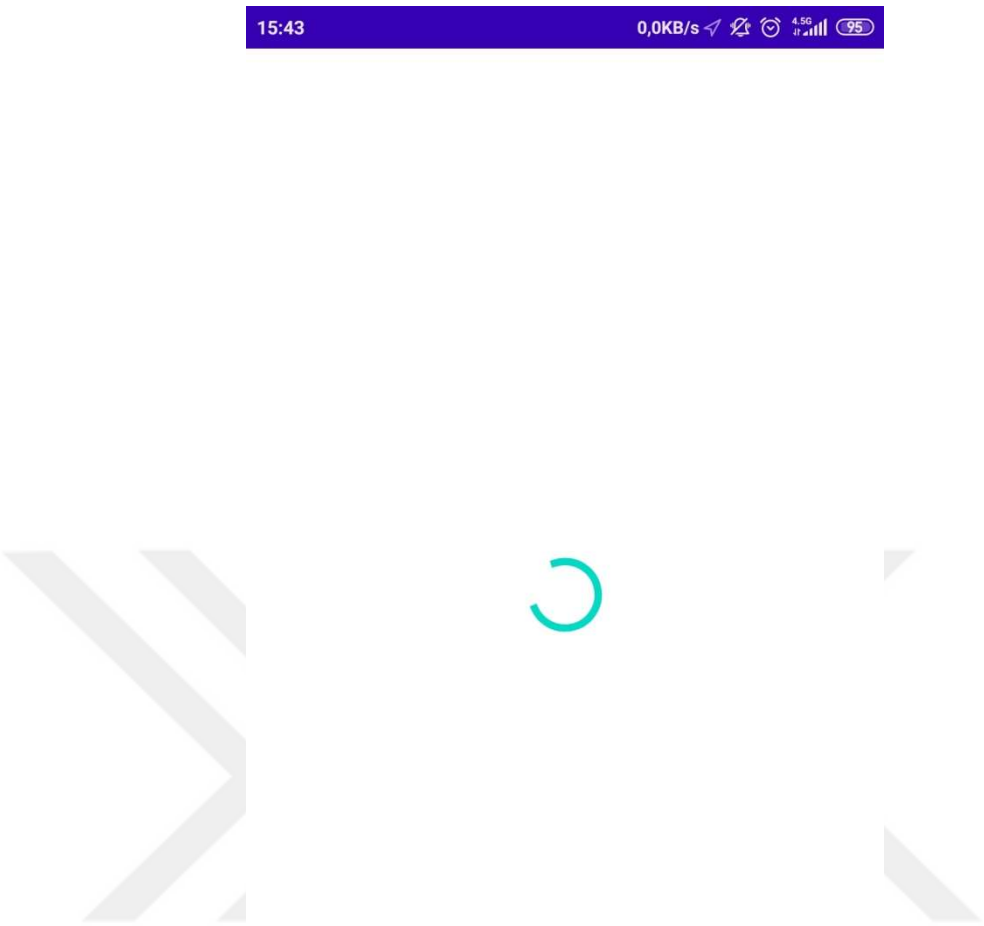
Şekil 4.2: Uygulama üzerinde Hellman katsayısı seçimi.

Uygulama ilk açıldığında ekranda görülen konum ve türbin modeli hesaplama için hazırdır. Fakat Hellman katsayısı ve türbin adetinin girilmesi gerekmektedir. Belirtilen veriler girilmeden hesaplama butonuna tıklandığında uygulama Şekil 4.3'de görüldüğü gibi uyarı verecektir.



Şekil 4.3: Uygulama üzerinde eksik veri girilmesi durumu.

Tüm veriler düzgün bir şekilde girildikten sonra hesaplama butonuna tıklayarak sonuç bölümüne geçilebilir. Rüzgar hızı verilerinin internetten alınması ve çok fazla olması nedeniyle işlem biraz uzun sürmektedir. Bu yüzden hesaplama sırasında işlem devam etme animasyonu (Progress Bar) kullanılmaktadır. İşlem devam etme animasyonu Şekil 4.4'de gösterilmiştir.



Şekil 4.4: Uygulama işlem devam ediyor animasyonu.

Arka planda tüm rüzgar verileri alınıp, fizibilite hesapları yapıldıktan sonra sonuçlar ekranda gösterilmektedir. Sonuç ekranı Şekil 4.5'de gösterilmiştir.



Şekil 4.5: Uygulama sonuç ekranı.

Şekil 4.5'de görüldüğü üzere kullanıcıdan alınan veriler, hesaplanan parametreler, yapılan kabullere göre alınan değerler, rüzgar gücü kestirimi ve fizibilite sonuçları ayrıntılı olarak verilmektedir.

Mobil uygulama üzerinde örnek bir çalışma Osmaniye bölgesi için yapılmıştır. Örnek çalışma için girilen veriler Şekil 4.6'da, sonuçlar ise Şekil 4.7'de gösterilmektedir.



Şekil 4.6: Osmaniye bölgesi için seçilen veriler.

Örnek uygulama için 3600 kW'lık rüzgar türbini seçilmiştir. Seçilen alan düz zemin olarak tahmin edilmektedir. Bu nedenle Hellman katsayısı 0.10 olarak seçilmiştir. Belirlenen veriler ile 1 adet türbin için hesaplama gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4.7: Osmaniye bölgesi için elde edilen sonuçlar.

Osmaniye bölgesinde yapılan örnek çalışmanın sonuçlarına bakıldığında, 3600 kW'lık 1 adet türbinin bölgeye kurulması durumunda yıllık enerji üretimi yaklaşık 2192 MWh, yıllık gelir 160.030 $, yıllık işletme ve bakım giderleri 43.843 $, yıllık kar 116.186 $ ve son olarak amortisman süresi 40.28 yıl olarak hesaplanmıştır.

Diğer bir örnek bir çalışma Çatalca bölgesi için yapılmıştır. Örnek çalışma için girilen veriler Şekil 4.8'de, sonuçlar ise Şekil 4.9'da gösterilmektedir.



Şekil 4.8: Çatalca bölgesi için seçilen veriler.

İkinci örnek uygulama için de 3600 kW'lık rüzgar türbini seçilmiştir. Seçilen alan seyrek ağaçlı bölge olarak tahmin edilmektedir. Bu nedenle Hellman katsayısı 0.16 olarak seçilmiştir. Belirlenen veriler ile 1 adet türbin için hesaplama gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4.9: Çatalca bölgesi için elde edilen sonuçlar.

Çatalca bölgesinde yapılan ikinci örnek çalışmanın sonuçlarına bakıldığında, 3600 kW'lık 1 adet türbinin bölgeye kurulması durumunda yıllık enerji üretimi yaklaşık 8643 MWh, yıllık gelir 630.943 $, yıllık işletme ve bakım giderleri 172.861 $, yıllık kar 458.081 $ ve son olarak amortisman süresi 10.12 yıl olarak hesaplanmıştır.

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Günümüzde enerjiye olan talebin artması ve fosil yakıtların sınırlı olması nedeniyle yenilenebilir enerji kaynaklarına olan ihtiyaç artmıştır. En önemli yenilenebilir enerji kaynaklarından biri de rüzgar enerjisidir. Rüzgar enerjisine olan talebin artmasıyla birlikte rüzgar enerji potansiyelinin belirlenmesi ve buna bağlı olarak rüzgar santrali veya türbini kurulmak istenen alanın fizibilite çalışmasının yapılması konuları oldukça önem kazanmıştır. Teknoloji ve yazılım sektörünün gelişmesiyle birlikte karmaşık hesaplar bilgisayar ve telefonlar gibi işletim sistemine sahip cihazlar ile yapılabilmektedir. Özellikle her an yanımızda bulunan mobil cihazlar ile yapılabilecek işlemler hayatımızı oldukça kolaylaştırmaktadır.

Bu tez çalışması rüzgar enerji kestiriminin ve fizibilitesinin mobil cihazlar ile yapılabilirliğine odaklanmaktadır. Çalışma için özel bir android mobil uygulama geliştirilmiştir. Uygulama ile cihazın bulunduğu konum veya farklı bir konum için rüzgar enerji potansiyeli kestiriminin sonuçları ve buna bağlı olarak fizibilite sonuçları verilmektedir.

Çalışmanın en temel verisi rüzgar hızlarıdır. Geliştirilen uygulama incelendiğinde rüzgar hızları belirli bir konum için geçmişe yönelik bir yıllık olarak internet üzerinden alınabilmektedir. Böylece yaklaşık 8760 adet rüzgar hızı elde edilmiştir. Rüzgar hızlarının elde edilmesiyle Weibull olasılık yoğunluk fonksiyonları kullanılarak rüzgar enerjisi potansiyeli hesaplanmaktadır.

Örnek alınan bir bilimsel çalışmada Osmaniye bölgesi için moment yöntemi kullanılarak şekil parametresi (k) 1.6394, ölçek parametresi (c) 2.5391 bulunmuştur [25]. Geliştirilen mobil uygulamada Osmaniye bölgesi için hesaplama yapılmış olup, sonuçlar Şekil 4.7'de gösterildiği gibidir. Referans alınan çalışma ile karşılaştırıldığında sonuçların birbirine yakın olduğu gözükmektedir. Aradaki fark tasarlanan mobil uygulamada ölçüm yüksekliğinin bilinmemesinden dolayı 10 metre kabul edilmesinden, rüzgar hızlarının farklı zaman dilimlerine ait olmasından, frekanslarının farklı olmasından kaynaklanmaktadır. Genel olarak bakıldığında şekil ve ölçek parametreleri beklenen değerler arasındadır. Şekil 4.9'da Çatalca bölgesi için yapılan hesaplamada amortisman süresi 10.12 yıl olarak bulunmuştur. Şekil 4.7'de Osmaniye bölgesi için yapılan hesaplamada ise amortisman süresi 40.28 yıl olarak bulunmuştur. Aynı model türbin kullanılmasına rağmen iki sonuç arasında çok fazla fark olması, Çatalca bölgesinin rüzgar potansiyelinin Osmaniye bölgesinden yüksek olmasından

kaynaklanmaktadır. Ortalama rüzgar hızı Çatalca bölgesinde 4.28 m/s iken Osmaniye bölgesinde 2.56 m/s'dir. Bu sonuçlar mobil uygulama üzerinde arka planda gerçekleştirilen matematiksel işlemlerin doğruluğunu göstermektedir.

Yazılım açısından bakıldığında geliştirilen mobil uygulamada mevcutta bulunan en güncel teknolojiler kullanılmıştır. Bu da uygulamanın test edilebilir, güncellenebilir ve düzenlenebilir olmasının yanı sıra uygulamanın hızı, verimliliği ve hata oranının düşük olması açısından oldukça avantaj sağlamaktadır.

Bu çalışmanın en temel verisi olan rüzgar hızları internet üzerinde bulunan bir API yardımıyla alınmaktadır. Uygulamada kullanılan API'ın bu çalışma için en büyük dezavantajı ölçüm yapılan yerin net koordinatlarının ve ölçüm yüksekliğinin verilmemesidir. Bunun nedeni kullanılan API'ın rüzgar hızı verilerini elde etmek için radarlar, hava durumu istasyonları gibi küresel/yerel birçok farklı veri kaynağını kullanmasıdır. Belirtilen dezavantajın çözümü verilerin belirli noktalarda bulunan rüzgar ölçüm istasyonlarından alınmasıdır. Ülkeler veya özel kurumlar hava durumu ölçüm istasyonlarından rüzgar hızı verilerini elde etmektedirler. Elde edilen bu veriler bir API yardımıyla internet üzerinden bir hizmet olarak sunulabilir. Böyle bir hizmet ile mobil uygulama üzerinde veriler elde edildiğinde verilerin ölçüm koordinatları ve yüksekliği tespit edilebilecektir. Hava durumu ölçüm istasyonlarının koordinat ve yükseklik verilerinin bilinmesi ile mobil uygulama üzerinde daha etkin bir hesaplama yapılabilecektir.

Gelişen yazılım teknolojisi sayesinde güncellemeler kolaylıkla yapılabilir. Mobil uygulama üzerinde kurulum maliyeti, enerji satış fiyatı, işletme ve bakım masrafları gibi özellikleri kullanıcının belirleyeceği veya uygulamanın internet üzerinden güncel şekilde alabileceği hibrit bir model haline dönüştürülebilir.

Genel olarak bakıldığında, geliştirilen mobil uygulama ile konum belirleme, veri işleme, internet üzerinden veri alma, karmaşık matematiksel işlemlerin gerçekleştirilmesi gibi birçok işlem yapılabilmektedir. Sonuçlar, gerçek verilerin elde edilmesi ile masaüstü bilgisayarlar ile yapılabilecek işlemlerin her an yanımızda olan mobil cihazlar ile daha efektif yapılabileceğini göstermektedir. Uygulama sayesinde her an ve her yerde rüzgar gücü kestirimi ve fizibilite sonuçları elde edilebilecektir. Uygulamanın sunduğu bu hizmet bilgiye ulaşmayı kolaylaştırması açısından rüzgar enerjisi yatırımlarına olan talebi arttırmayı amaçlamaktadır. Uygulamada küçük ölçekli rüzgar türbinlerinden büyük ölçekli rüzgar türbinlerine kadar tüm

rüzgar türbini çeşitleri kullanılabilir. Sağlanan bu esnek yapı sayesinde sadece büyük ölçekte yatırımcıların değil ev tipi rüzgar türbini kullanmak isteyen yatırımcıların da rüzgar enerjisine olan taleplerinin artması amaçlanmaktadır.

KAYNAKLAR

[1] E. Koç ve K. Kaya, «Enerji Kaynakları-Yenilenebilir Enerji Durumu,» *Mühendis ve Makina,* cilt 56, no. 668, pp. 36-47, 2015.

[2] E. T. Karagöl ve İ. Kavaz, «Dünya'da ve Türkiye'de Yenilenebilir Enerji,» *Analiz,* no. 197, Nisan 2017.

[3] A. Şeker, «Yenilenebilir Enerji, Türkiyede Yenilenebilir Enerji Potansiyeli ve Yeşil Pazarlama ve Yenilenebilir Enerjinin Pazarlanması,» *Uluslararası Sosyal Araştırmalar Dergisi,* cilt 9, no. 46, pp. 809-828, 2016.

[4] Ş. Yılmaz, «Dünyada ve Türkiye'de Birincil Enerji Arzı,» %1 içinde *Türkiye'nin Enerji Görünümü*, Ankara, TMMOB Makina Mühendisleri Odası, 2020, pp. 5-18.

[5] Ü. Şenol ve Z. Musayev, «Rüzgar Enerjisinden Elektrik Üretiminin Yapay Sinir Ağları İle Tahmini,» *Bilge Uluslararası Fen ve Teknoloji Araştırmaları Dergisi,* cilt 1, no. 1, pp. 23-31, 2017.

[6] U. Elibüyük ve İ. Üçgül, «Rüzgâr Türbinleri, Çeşitleri Ve Rüzgâr Enerjisi Depolama Yöntemleri,» *YEKARUM e-Dergi,* cilt 2, no. 3, 2014.

[7] B. Köse, Z. Recebli, M. Yazıcı ve M. Özkaymak, «Rüzgâr Enerjisinin Potansiyelinin Belirlenmesi ve Türbin Seçimi,» %1 içinde *20. Uluslararası Enerji ve Çevre Fuarı ve Konferansı*, İstanbul, 2014.

[8] A. Albostan, L. Eren ve Y. Çekiç, «Rüzgar Enerjisi Potansiyelinin Belirlenmesi,» [Çevrimiçi]. Available: https://www.researchgate.net/publication/242718776_Ruzgar_Enerjisi_Potansiyelinin_Belirlenmesi_Determination_of_Wind_Energy_Potential. [Erişildi: 10 12 2021].

[9] M. Kurban, Y. Mert Kantar ve F. O. Hocaoğlu, «Weibull Dağılımı Kullanılarak Rüzgar Hız ve Güç Yoğunluklarının İstatistiksel Analizi,» *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi,* cilt 7, no. 2, pp. 205-218, 2007.

[10] «Codex,» [Çevrimiçi]. Available: https://www.codex.com.tr/mobil-uygulamalarin-onemi#:~:text=Mobil%20uygulamalar%20kullan%C4%B1c%C4%B1ya%20olduk%C3%A7a%20b%C3%BCy%C3%BCk,%C3%B6nemli%20bir%20konu%20olarak%20g%C3%BCndemdedir.. [Erişildi: 10 12 2021].

[11] Ü. Çıtak, «Android Tabanlı Mobil Cihazlar Üzerinde Lojik Devre Deneylerinin Simülasyonu,» Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta, 2018.

[12] «İşnet,» 04 02 2020. [Çevrimiçi]. Available: https://www.isnet.net.tr/BlogIcerik/android-isletim-sistemi-nedir-neler-yapilir-isnet-blog. [Erişildi: 10 12 2021].

[13] A. Çetin, «Medium,» 17 01 2020. [Çevrimiçi]. Available: https://medium.com/@aysincetin/android-studio-nedir-ve-kurulumu-nas%C4%B1l-yap%C4%B1l%C4%B1r-27bfac3c1cb9. [Erişildi: 10 12 2021].

[14] Z. Ulukut, «ShiftDelete,» 30 09 2021. [Çevrimiçi]. Available: https://shiftdelete.net/android-studio-ne-ise-yarar-iste-ozellikleri. [Erişildi: 10 12 2021].

[15] Anarche, «Droid,» 03 06 2017. [Çevrimiçi]. Available: https://droid.com.tr/__trashed/. [Erişildi: 10 12 2021].

[16] «Webtekno,» 04 2021. [Çevrimiçi]. Available: https://www.webtekno.com/android-surumleri-h106194.html. [Erişildi: 10 12 2021].

[17] C. Şahin, «Bilinc,» 27 06 2021. [Çevrimiçi]. Available: https://www.bilinc.net/android-nedir-android-surumleri-nelerdir/. [Erişildi: 10 12 2021].

[18] «Wikipedia,» [Çevrimiçi]. Available: https://tr.wikipedia.org/wiki/Android_(i%C5%9Fletim_sistemi). [Erişildi: 10 12 2021].

[19] «Ceaksan,» 12 10 2021. [Çevrimiçi]. Available: https://ceaksan.com/tr/api-nedir. [Erişildi: 10 12 2021].

[20] S. Yalçın, «Androıd İşletim Sistemli Mobil Cihazların Anlık Konum Bilgisi Kullanılarak Pafta Bul Uygulamasının Geliştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi,» İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 2017.

[21] «Microsoft Docs,» 04 11 2021. [Çevrimiçi]. Available: https://docs.microsoft.com/tr-tr/azure/azure-maps/migrate-from-google-maps-web-app. [Erişildi: 10 12 2021].

[22] O. Aykut, «Rüzgar Türbin - Generatör Sistemlerinin Modellemesi, Kontrolü ve Şebeke Gerilim Düşmelerine Karşı Sistem Davranışının Analizi, Yüksek Lisans Tezi,» İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 2019.

[23] X. Jing, «Modeling and Control of a Doubly-Fed Induction Generator for Wind Turbine-Generator Systems, Yüksek Lisans Tezi,» Marquette University, Milwaukee, 2012.

[24] «Notpast,» 24 09 2018. [Çevrimiçi]. Available: https://notpast.com/cevre/Ruzgar-Gulu-51.html. [Erişildi: 11 12 2021].

[25] Y. A. Kaplan, «Rayleigh ve Weibull Dağılımları Kullanılarak Osmaniye Bölgesinde Rüzgar Enerjisinin Değerlendirilmesi,» *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi,* cilt 20, no. 1, pp. 62-71, 2016.

[26] S. A. Akdağ, «Rüzgar Enerjisi Potansiyeli ve Ekonomik Analizinde Weibull Dağılımının Kullanımı, Yüksek Lisans Tezi,» İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 2008.

[27] E. Yağcı, «Rüzgar Hızı Yükseltmelerinde Kullanılan Farklı Yöntemlerin Karşılaştırılması ve Hata Analizleri, Yüksek Lisans Tezi,» İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 2013.

[28] «T.C. ÇEVRE, ŞEHİRCİLİK VE İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ BAKANLIĞI Meteoroloji Genel Müdürlüğü,» [Çevrimiçi]. Available: https://www.mgm.gov.tr/genel/ruzgar-atlasi.aspx. [Erişildi: 2021 12 2021].

[29] «Weather Guard,» 22 07 2021. [Çevrimiçi]. Available: https://weatherguardwind.com/how-much-does-wind-turbine-cost-worth-it/. [Erişildi: 18 12 2021].

[30] «Dünya,» 07 08 2017. [Çevrimiçi]. Available: https://www.dunya.com/kose-yazisi/171-firma-2790-turbin-ile-ruzgardan-elektrik-uretiyor/376437. [Erişildi: 18 12 2021].

EKLER