

**T.C.
ISPARTA UYGULAMALI BİLİMLER ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**İZMİR ALIĞA BÖLGESİ RÜZGÂR ENERJİSİ POTANSİYELİ
TAHMINİ İÇİN YAPAY SİNİR AĞ MODELİ GELİŞTİRİLMESİ**

Taha ELMACI

**Danışman
Prof. Dr. Tuncay AYDOĞAN**

ISPARTA – 2019



© 2019 [Taha ELMACI]

TEZ ONAYI

**İZMİR ALİAĞA BÖLGESİ RÜZGÂR ENERJİSİ POTANSİYELİ
TAHMİNİ İÇİN YAPAY SİNİR AĞ MODELİ GELİŞTİRİLMESİ**

Taha ELMACI tarafından hazırlanan bu tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

İmza

Başkan Prof. Dr. Tuncay AYDOĞAN
Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi

Üye Dr. Öğr. Üyesi Erkan DİKMEN
Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi

Üye Dr. Öğr. Üyesi Sertaç GÖRGÜLÜ
Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi

.....
.....
.....

Yukarıdaki Jüri kararı Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun / /
tarih ve / sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof.Dr. Yusuf UÇAR
Enstitü Müdürü


ETİK BEYANI

Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak ve bilimsel ahlak ve geleneklere aykırı düşecek bir yol ve yardıma başvurmaksızın hazırladığım bu tez çalışmasında;

Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi, tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu, tez çalışmasında yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi, kullanılan verilerde ve ortaya çıkan sonuçlarda herhangi bir değişiklik yapmadığımı, bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu, tezime ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçlara katlanacağımı bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

27/06/2019

Taha ELMACI



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
İÇİNDEKİLER	i
ÖZET.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	v
ÇİZELGELER DİZİNİ	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	viii
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ÖZETLERİ	7
3. MATERYAL VE YÖNTEM	13
3.1. Rüzgâr Enerjisi.....	13
3.2. Rüzgâr Türbin Teknolojisi	14
3.3. Rüzgâr Türbininin Potansiyel Gücü ve Türbininde Üretilebilecek Potansiyel Güç Hesabı.....	16
3.4. Rüzgâr Enerjisi Bakımından İzmir	17
3.5. Araştırmada Kullanılan Veriler.....	19
3.6. Yapay Sinir Ağları (YSA).....	21
3.6.1. Yapay sinir hücresinin yapısı	23
3.6.2. Yapay sinir ağları modelleri.....	24
3.6.3. YSA eğitim algoritmaları	26
3.6.3.1. Scaled conjugate gradient (ölçekli eşlenik gradyan)(SCG)	26
3.6.3.2. Bayesian regularization algoritması (BR).....	27
3.6.3.3. Levenberg-Marquardt algoritması	27
4. BULGULAR	28
4.1. Güç Tahmini İçin Oluşturulan YSA Modeli	28
4.2. YSA Modelinde Kullanılacak Eğitim Algoritmalarının Belirlenmesi.....	29
4.3. Tahmin Modelindeki Gizli Katman Nöron Sayısının Belirlenmesi.....	30
4.4. Farklı Giriş Değişkenlerine Göre Çıkış Performansının İncelenmesi	31
4.4.1. 5 giriş – 1 çıkış parametrelili M5 modelinin başarımının incelenmesi	33
4.4.2. 4 giriş – 1 çıkış parametrelili M4 modelinin başarımının incelenmesi	34
4.4.3. 3 giriş – 1 çıkış parametrelili M3 modelinin başarımının incelenmesi	35
4.4.4. 2 giriş – 1 çıkış parametrelili M2 modelinin başarımının incelenmesi	36
4.4.5. 1 giriş – 1 çıkış parametrelili M1 modelinin başarımının incelenmesi	37
4.5. Matematiksel Modelin Oluşturulması.....	38
4.6. Rüzgâr Enerji Potansiyeli Tahmini İçin Oluşturulacak Model	42
5. TARTIŞMA ve SONUÇ	46
KAYNAKLAR	48
ÖZGEÇMİŞ	52

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

İZMİR ALIĞA BÖLGESİ RÜZGÂR ENERJİSİ POTANSİYELİ TAHMİNİ İÇİN YAPAY SİNİR AĞ MODELİ GELİŞTİRİLMESİ

Taha ELMACI

Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Tuncay AYDOĞAN

Bu çalışmada, rüzgâr türbinlerinin güç üretim kapasitelerinin kurulu oldukları bölgelerin meteorolojik koşullarına göre ağırlıklı olarak hangi parametrelerden etkilenecek gerçekleştirildiklerini ve bu parametrelere göre ileriye yönelik güç ve enerji üretim tahminlerini yapabilecek modellerin Yapay Sinir Ağları yöntemi kullanılarak gerçekleştirilebileceği araştırılmıştır.

Araştırmada C_p , U , T , A ve P parametrelerine bağlı olarak güç üretimi tahminlemesi yapacak 5 giriş 1 çıkışlı YSA modeli geliştirilmiştir. Model 0,99 doğrulukta başarılı tahmin yapabilmektedir. Daha sonra bu parametrelerin 4'lü kombinasyonlarından C_p , U , T ve P parametrelerinin, 3'lü kombinasyonlarından C_p , U ve T parametrelerinin, 2'li kombinasyonlarından C_p ve U parametrelerinin birlikte ve 1'li kombinasyonundan U parametresinin tek başına daha etkili tahmin yapabildiği görülmüştür.

Araştırma sonunda ayrıca U parametresine göre YSA tabanlı tahmin yapabilen bir matematiksel model ve uygulama programı geliştirilmiştir. Araştırmada son olarak bölgenin rüzgâr hızı esme süreleri dikkate alınarak rüzgâr enerjisi tahmin modeli geliştirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: YSA, NFTOOL, Rüzgâr türbini güç tahmini, Rüzgâr enerjisi, Rüzgâr gücü.

2019, 52 sayfa

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

IMPROVING ARTIFICIAL NEURAL NETWORK MODEL FOR THE PREDICTION OF THE WIND ENERGY POTENTIAL IN IZMIR ALIAGA REGION

Taha ELMACI

**Isparta University of Applied Sciences
The Institute of Graduate Education
Department of Electrical-Electronics Engineering**

Supervisor: Prof. Dr. Tuncay AYDOĞAN

In this study, it has been investigated that which parameters are mainly effected according to the meteorological conditions of the regions where the power generation capacities of wind turbines are installed and the models that can predict the power and energy production in the future according to these parameters can be realized by using artificial neural networks method.

In this study, 5 input 1 output ANN model was developed to predict power generation based on C_p , U , T , A and P parameters. Model 0.99 was able to predict successful accuracy. Then, It was observed of these parameters, that C_p , U , T and P parameters of 4 combinations; C_p , U and T parameters of 3 combinations; C_p and U parameters of 2 combinations together and U parameter alone can make a more effective estimation.

At the end of the research, a mathematical model and application program, which can make ANN estimation according to U parameter has been developed. In the study, wind energy estimation model has been developed by taking into account the wind speed of the region.

Key Words: ANN, NFTOOL, Power estimation of wind turbine, Wind energy. Wind power.

2019, 52 pages

TEŞEKKÜR

Bu araştırma için beni ynlemdirren, karşılaştığım zorlukları bilgi ve tecrbesi ile aşmamda yardımcı olan değerli danışman hocam Prof. Dr. Tuncay AYDOĞAN'a teőekkürlerimi sunarım.

Araştırmanın yürütülmesinde veri temininde yardımlarını gördüğüm PETKİM Őirketin'den elektrik dağıtım ve piyasa işlemleri yöneticisi Erdal TUFAN'a teşekkür ederim.

Tezimin her aşamasında beni yalnız bırakmayan sevgili annem Melahat ve abim Talha ve kardeşim Tuba ELMACI'ya sonsuz sevgi ve saygılarımı sunarım.

Bu çalışmanın bitmesini sabırla bekleyen eşime de sevgilerimi sunarım.

Taha ELMACI
İZMİR, 2019

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 1.1. Ocak 2019 döneminde lisanslı elektrik üretiminin kaynak bazında dağılımı	1
Şekil 1.2. Yenilenebilir enerji kaynakları ile enerji üreten tesislerin 2007-2017 yılları arasındaki kurulu güç gelişimi.....	3
Şekil 1.3. 2007-2017 yılları arasında yenilenebilir kaynaklardan üretilen elektrik enerjisi miktarları ve toplam üretime katkısı.....	3
Şekil 1.4. 2008-2018 yılları arasında Türkiye’de toplam kurulu rüzgâr gücü kapasitesi.....	4
Şekil 1.5. Türkiye geneli 50m yükseklikteki ortalama yıllık rüzgâr hızları dağılımı.....	5
Şekil 3.1. Alstom ECO 110 rüzgâr türbinin Petkim RES sahasına montajı	15
Şekil 3.2. Alstom ECO 110’ a ait nacelle şeması	16
Şekil 3.3. Alstom ECO 110 rüzgâr türbinin Cp değer grafiği.....	17
Şekil 3.4. 50 metredeki rüzgâr hız dağılımı	18
Şekil 3.5. 50 metredeki kapasite faktörü dağılımı.....	19
Şekil 3.6. Petkim RES sahası	20
Şekil 3.7. Petkim RES sahası	21
Şekil 3.8. Biyolojik nöron hücresi yapısı	21
Şekil 3.9. Temel düzeyde yapay sinir hücresi yapısı	23
Şekil 3.10. Yapay sinir ağlarının topolojik yapısı.....	25
Şekil 3.11. İleri beslemeli (<i>Feedforward</i>) YSA	25
Şekil 3.12. Geri beslemeli (<i>Recurrent</i>) YSA	26
Şekil 4.1. 5 giriş 1 çıkış YSA modeli.....	29
Şekil 4.2. LM, BR ve SCG algoritmalarının karşılaştırması	30
Şekil 4.3. Gerçekleşen ve katalog güç değerleri ile LM algoritmasında 1-5-10-15-20 gizli katman nöron seviyelerinin karşılaştırılması	31
Şekil 4.4. M5 modelini tahmin başarımının gerçekleşen ve katalog güç değerleri ile karşılaştırılması	33
Şekil 4.5. M4 modellerinin tahmin başarımının gerçekleşen ve katalog güç değerleri ile karşılaştırılması.....	34
Şekil 4.6. M3 modellerinin tahmin başarımının gerçekleşen ve katalog güç değerleri ile karşılaştırılması.....	35
Şekil 4.7. M2 modellerinin tahmin başarımının gerçekleşen ve katalog güç değerleri ile karşılaştırılması	36
Şekil 4.8. M1 modellerinin tahmin başarımının gerçekleşen ve katalog güç değerleri ile karşılaştırılması.....	37
Şekil 4.9. 1 giriş 1 nöronlu gizli katmanlı 1 çıkış YSA modeli	38
Şekil 4.10. M1.1 modelinin tahmin başarımının gerçekleşen ve katalog güç değerleri ile karşılaştırılması	38
Şekil 4.11. YSA gizli katman modeli	39
Şekil 4.12. YSA modelinin genel şekli	39
Şekil 4.13. YSA normalizasyon modeli	39
Şekil 4.14. YSA katman modelleri	39
Şekil 4.15. YSA 1. katman modeli.....	40
Şekil 4.16. YSA 2. katman modeli.....	40
Şekil 4.17. YSA denormalizasyon modeli	40

Şekil 4.18. Rüzgâr hızının gerçek esme sürelerine göre gerçekleşen ve M1.1 modeliyle elde edilen rüzgâr enerji potansiyeli ile Rayleigh dağılım fonksiyonu ile elde edilen esme sürelerine göre gerçekleşen ve M1.1 modeliyle elde edilen rüzgâr enerji potansiyelleri karşılaştırılması 44



ÇİZELGELER DİZİNİ

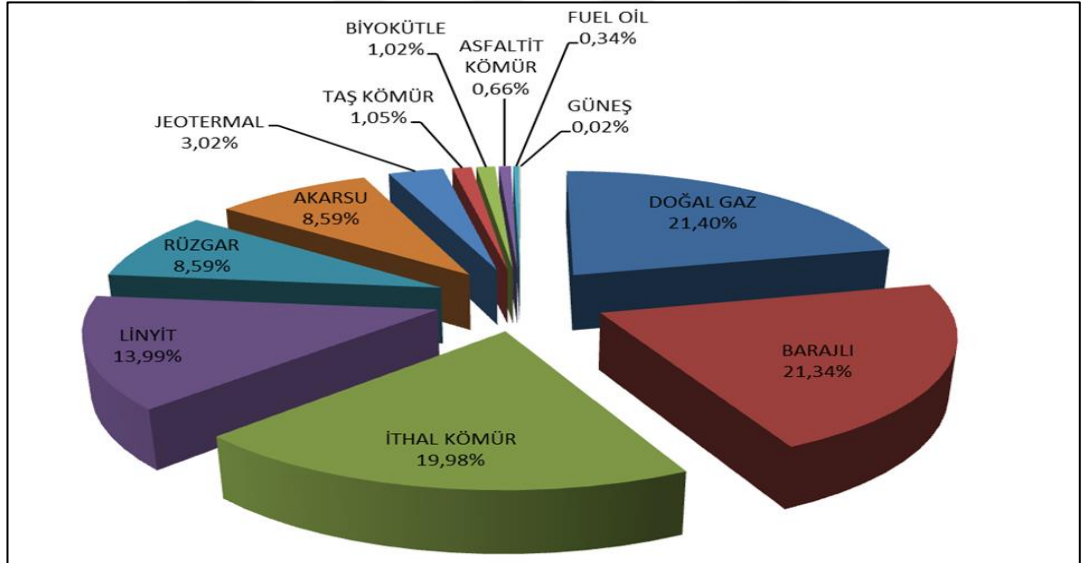
	Sayfa
Çizelge 1.1. Ocak 2019 döneminde lisanslı elektrik üretiminin kaynak bazında dağılımı ve 2018 yılı ocak ayı değeriyle karşılaştırılması	2
Çizelge 3.1. Alstom ECO 110' a ait temel özellikler	16
Çizelge 3.2. İzmir iline kurulabilecek rüzgâr enerjisi santrali güç kapasitesi	18
Çizelge 3.3. Meteoroloji istasyonuna ait veriler	19
Çizelge 3.4. Petkim RES sahasındaki rüzgâr türbininden elde edilen veriler	20
Çizelge 3.5. En çok kullanılan toplam fonksiyonları	24
Çizelge 3.6. En çok kullanılan aktivasyon fonksiyonları	24
Çizelge 4.1. LM, BR ve SCG algoritmalarının karşılaştırması	30
Çizelge 4.2. Gizli katman nöron sayılarının karşılaştırması	30
Çizelge 4.3. Modelleme kombinasyonları	32
Çizelge 4.4. Model-5 kombinasyonu çıktıları	33
Çizelge 4.5. Model-4 kombinasyonu çıktıları	34
Çizelge 4.6. Model-3 kombinasyonu çıktıları	35
Çizelge 4.7. Model-2 kombinasyonu çıktıları	36
Çizelge 4.8. Model-1 kombinasyonu çıktıları	37
Çizelge 4.9. M1.1 kombinasyonu çıktısı	38
Çizelge 4.10. YSA modelinin işlem sırası ve matematiksel fonksiyonları	40
Çizelge 4.11. Matematiksel modelin C kodu	41
Çizelge 4.12. Rüzgâr hızlarının gerçek ve Rayleigh dağılım fonksiyonu ile hesaplanan esme süreleri	43
Çizelge 4.13. Rüzgâr hızının gerçek esme sürelerine göre gerçekleşen ve M1.1 modeliyle elde edilen rüzgâr enerji potansiyeli ile Rayleigh dağılım fonksiyonu ile elde edilen esme sürelerine göre gerçekleşen ve M1.1 modeliyle elde edilen rüzgâr enerji potansiyel verileri	45
Çizelge 5.1. 5, 4, 3, 2 ve 1 parametre girişli modellerden en iyi sonucu veren modeller	46

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

A	Rotor Dönüşü Sırasında Taranan Alan
AF	Otokorelasyon Fonksiyonu
b	Bias
BFGS	Broyden–Fletcher–Goldfarb–Shanno
BP	Geri Yayılım
BR	Bayesian Regularization Algoritması
C_p	Güç Katsayısı
DI	Dik İniş
ISSO	Geliştirilmiş Basitleştirilmiş Swarm Optimizasyonu
LM	Levenberg – Marquardt
MLP	Multi-Layer Perceptron
MSE	Ortalama Kare Hata Değeri
NIMET	Nigerian Meteorological Agency
NNWT	Neural Network Wavelet Transform
OKH	Ortalama Karekök Hatası
p	Girdiler
P	Basınç
PAF	Kısmi Otokorelasyon Fonksiyonu
PCA	Temel Bileşen Analizi
P_{out}	Rüzgâr Türbininin Üretebileceği Güç
R-B	Rüzgâr-Basınç
RES	Rüzgâr Enerji Santrallerinin
RMLP	Tekrarlayan Çok Katmanlı Algılayıcı
R-N	Rüzgâr-Nem
R-S	Rüzgâr-Sıcaklık
SCG	Scaled Conjugate Gradient
T	Sıcaklık
U	Rüzgâr Hızı
YSA	Yapay Sinir Ağları
w	Ağırlıklar
WAsP	Wind Atlas Analysis and Application
WT	Wavelet Transform
ρ	Hava Yoğunluğu

1. GİRİŞ

Eskiden olduğu gibi günümüzde de enerji insan yaşamı için vazgeçilemez bir ihtiyaçtır ve ülkeler bu ihtiyaçlarının önemli bir kısmını fosil yakıtlardan; yani kömür, petrol ve doğalgazdan karşılamaktadır. Özellikle enerji ihtiyacını yabancı kaynaklardan döviz ile karşılayan ülkelerde bu durum bütçelerine ciddi ekonomik yüke ve cari açığın her geçen gün artmasına sebep olmaktadır. Şekil 1.1.'de görüldüğü gibi Türkiye'nin elektrik enerji ihtiyacını karşıladığı ana kaynakların en önemlisini doğalgaz ve ithal kömür oluşturmaktadır (Anonim, 2019 a). Türkiye sahip olduğu petrol, doğalgaz ve kömür rezervlerinin düşük olması sebebiyle, enerji talebinin karşılanmasında yurt dışına bağımlı durumdadır. Bununla birlikte fosil yakıt kaynaklarının rezervlerinin azalması ve ekosisteme olan zararlarından ötürü, yenilenebilir enerji kaynakları kullanımının artırılması gündeme gelmeye başlamıştır.



Şekil 1.1. Ocak 2019 döneminde lisanslı elektrik üretiminin kaynak bazında dağılımı (Anonim, 2019 a)

Türkiye gibi fosil yakıt rezervleri kısıtlı olan ülkelerin yenilenebilir enerjiye yatırımlarının olduğu görülmektedir. 2018 ve 2019 Ocak aylarındaki lisanslı elektrik üretim kaynaklarının karşılaştırıldığı Çizelge 1.1.'de de görüldüğü üzere gün geçtikçe verilen teşvikler ile yenilenebilir enerjiye yapılan yatırımlar sayesinde yenilenebilir kaynaklardan enerji üretiminin arttığı ve ithal kaynaklardan enerji üretiminin ise azalması ile beraber dışa bağımlılığın yavaş ama emin adımlarla

azaldığı görülmektedir. Örneğin rüzgârda 2018 Ocak ayında 1.813.885,74 MWh iken 2019 yılının aynı ayında %21,39'luk artışla 2.201.832,38 MWh olmuştur (Anonim, 2019 a). Yenilenebilir enerji kaynakları; fosil yakıtların sahip olduğu arz güvenliği sorunlarına, sera gazları salınımı sebebiyle iklim değişikliklerine, ithal bağımlılığına ve cari açığa neden olmak gibi olumsuz yönlere sahip değildir.

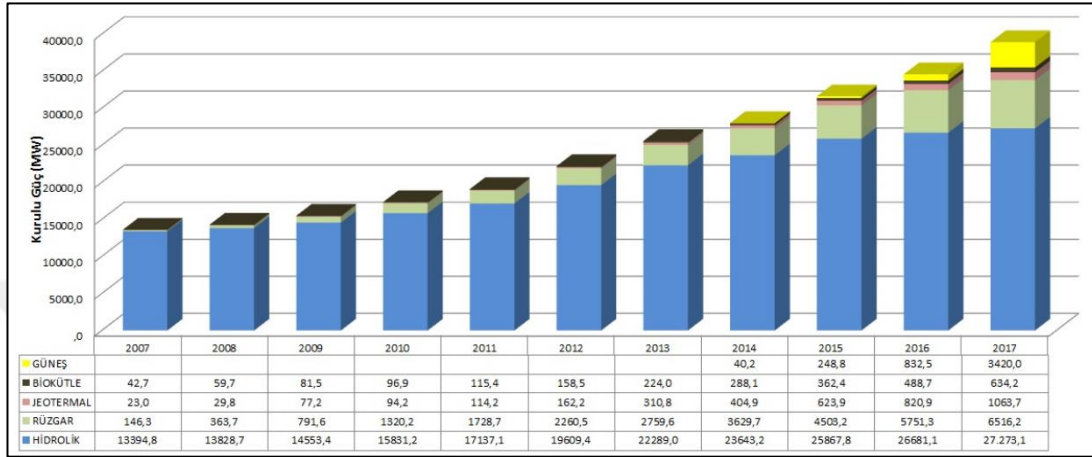
Çizelge 1.1. Ocak 2019 döneminde lisanslı elektrik üretiminin kaynak bazında dağılımı ve 2018 yılı ocak ayı değeriyle karşılaştırılması (Anonim, 2019 a)

KAYNAK TÜRÜ	2018 OCAK		2019 OCAK		DEĞİŞİM (%)
	ÜRETİM (MWh)	ORAN (%)	ÜRETİM (MWh)	ORAN (%)	
DOĞAL GAZ	9.101.183,59	34,64	5.482.141,91	21,40	-39,76
BARAJLI HİDROLİK	3.087.681,14	11,75	5.467.305,15	21,34	77,07
İTHAL KÖMÜR	5.788.357,38	22,03	5.118.971,23	19,98	-11,56
LİNYİT	3.645.158,35	13,87	3.585.835,34	13,99	-1,63
RÜZGÂR	1.813.885,74	6,90	2.201.832,38	8,59	21,39
AKARSU	1.453.245,74	5,53	2.201.504,04	8,59	51,49
JEOTERMAL	664.251,52	2,53	773.622,50	3,02	16,47
TAŞ KÖMÜRÜ	268.008,82	1,02	269.916,41	1,05	0,71
BİYOKÜTLE	193.271,55	0,74	261.292,73	1,02	35,19
ASFALTİT	179.788,61	0,68	168.225,31	0,66	-6,43
FUEL OIL	79.123,19	0,30	86.318,60	0,34	9,09
GÜNEŞ	1.667,61	0,01	6.249,97	0,02	274,79
LNG	669,00	0,00	0,00	0,00	-100,00
Genel Toplam	26.276.292,23	100,00	25.623.215,56	100,00	-2,49

Türkiye bazında bakıldığında; giderek artan enerji talebinin karşılanabilmesi için yenilenebilir enerji kaynaklarının verimli ve etkin bir biçimde kullanılması gerekmektedir. Dolayısıyla maliyetleri azaltmak, daha temiz bir çevre meydana getirmek ve ülkelerin ihtiyaç duyduğu enerjiyi sürekli sağlayabilmek için yenilenebilir enerji üretiminin hızla arttırılmalıdır.

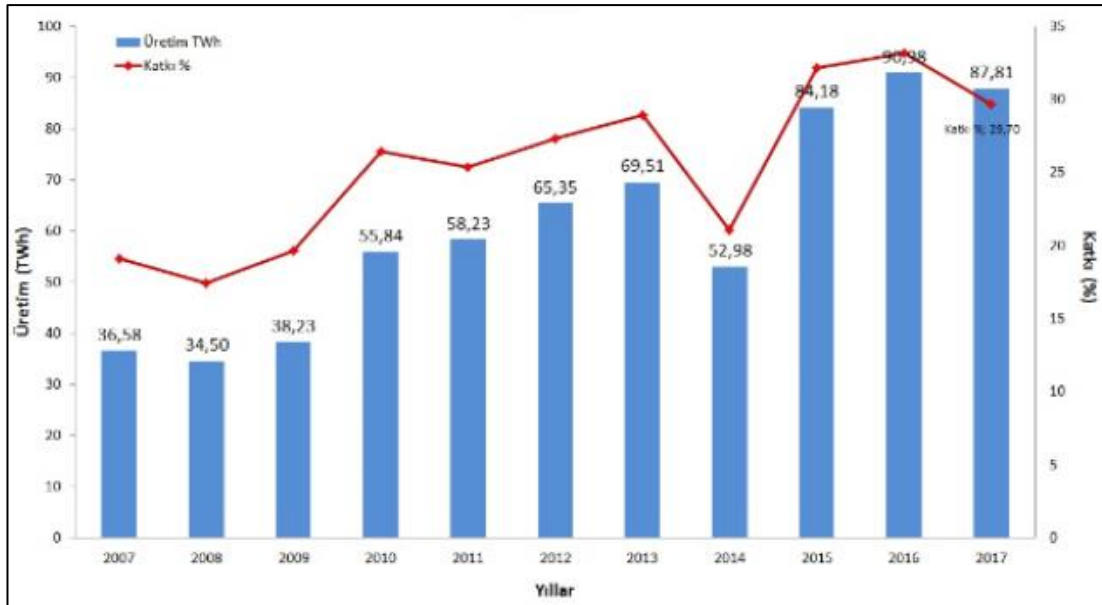
Ülkemizde enerji üretimi için faydalanabileceğimiz yenilenebilir enerji kaynakları hidrolik, güneş, jeotermal, biyokütle, rüzgâr olarak sıralanabilir. Şekil 1.2.'de hidrolik enerji kaynaklarından üretilen enerjinin ilk sırada geldiğini, bunu sırasıyla rüzgâr, güneş ve jeotermal enerji kaynaklarının takip ettiğini görülmektedir. Biyokütle enerji kaynağı ise en son sırada yer almaktadır. Enerji bakanlığı 2023

yılına kadar; 36000 MW olan hidroelektrik potansiyelimizin tamamını kullanmayı, rüzgâr enerjisi santrallerinde 20.000 MW, jeotermal santrallerde 600 MW, güneş enerjisi santrallerinde 600 MW kurulu güce ulaşmayı ve elektrik arzındaki yenilenebilir enerji payını % 30'un üzerine çıkarmayı hedeflemektedir (Anonim, 2018 a).



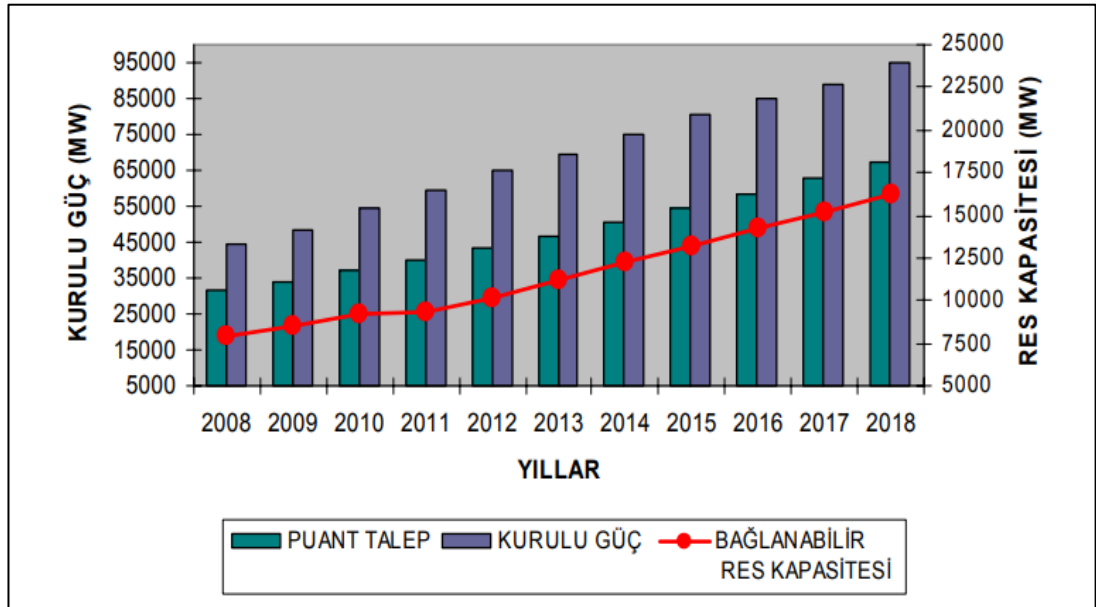
Şekil 1.2. Yenilenebilir enerji kaynakları ile enerji üreten tesislerin 2007-2017 yılları arasındaki kurulu güç gelişimi (Anonim, 2018 a)

Şekil 1.3.'e bakıldığında yenilenebilir kaynaklardan üretilen elektrik enerjisinin toplam üretime katkısının her geçen yıl arttığı anlaşılmaktadır (Anonim, 2018 a).



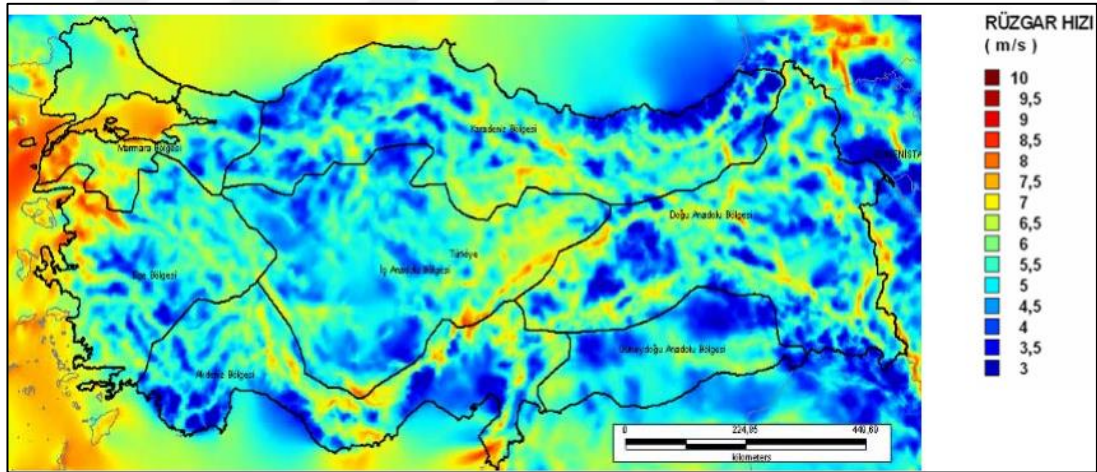
Şekil 1.3. 2007-2017 yılları arasında yenilenebilir kaynaklardan üretilen elektrik enerjisi miktarları ve toplam üretime katkısı (Anonim, 2018 a)

Türkiye’de ilk rüzgâr türbini 1984 yılında İzmir Çeşme’de bulunan Altinyunus otelinin bahçesine kurulmuştur. Türkiye’de Rüzgâr Enerji Santrallerinin (RES) asıl başlangıcı yine Çeşme’de 1998 yılının Şubat ayında kurulumu tamamlanan her biri 500 kW gücünde 3 türbinden oluşan Germiyan RES’dir. 1998 yılının Ağustos ayında ise yine Çeşme’de her biri 600 kW gücünde 12 adet türbinden oluşan ARES RES işletmeye başlamıştır. 2000 yılında ise Bozcaada’da her biri 600 kW gücünde 17 adet türbinden oluşan Bozcaada RES’in kurulmuştur. ARES RES ve Bozcaada RES santralleri Yap-İşlet-Devret modeliyle yapılmıştır ve 2020 yılında işletme devlete devir edilecektir. 2003 yılında İstanbul Hadımköy’de Germiyan RES gibi kendi enerjisini üretme amacıyla otoprodüktör lisansı ile kurulmuş her biri 600 kW gücünde 2 adet türbinden oluşan Sunjüt rüzgâr santrali kurulmuştur ve halen işletmemedir. Yukarı bahsedilen bu santraller yenilenebilir enerjiye dair herhangi bir düzenleme olmadan kurulmuş ve işletilmiştir (Anonim, 2016). 1998 yılından 2005 yılına kadar ise çok az miktarda yeni kurulum gerçekleştiği için 2005 yılı sonundaki toplam kurulu güç sadece 20 MW’a ulaşabilmiştir (Yanıktepe vd., 2013). 2005 yılında “Yenilenebilir Enerji Yasası’nın yürürlüğe girmesi ile birlikte rüzgâr enerjisi sistemlerinin kurulumları için yapılan çalışmalar artarken, Şekil 1.4.’de görüldüğü gibi 2008-2018 yılları içinde kurulu güç kapasitesinde de önemli artışlar meydana gelmiştir (Anonim, 2018 b). 2018 yılında işletmede olan rüzgâr enerji santrallerinin toplam kurulu gücü ise 7.005 MW’a ulaşmıştır (Anonim, 2018 c).



Şekil 1.4. 2008-2018 yılları arasında Türkiye’de toplam kurulu rüzgâr gücü kapasitesi (Anonim, 2018 b)

Türkiye’de yenilenebilir enerji kaynakları önem kazanırken ülkemizin sahip olduğu rüzgâr enerjisi potansiyeli göz önünde alındığında; rüzgârın, Türkiye’nin ileri yıllardaki enerji üretiminde önemli bir rol üstleneceği öngörülebilir (Yanıktepe, 2013). Türkiye’nin rüzgâr enerjisi potansiyelini belirlemek için Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM) tarafından yapılan çalışmalarda, Türkiye’de 45 farklı meteorolojik istasyonda, 10 yıl süreyle ölçülmüş, saatlik rüzgâr hızları kullanılarak “Türkiye Rüzgâr Atlası” oluşturulmuştur (Şekil 1.5.). Elde edilen sonuçlara göre yerden 50 metre yükseklikte, yıllık ortalama rüzgâr hızının 7.0 m/s ve üzerinde olduğu bölgelere ait güç yoğunlukları hesaplanmış ve kullanılabilir alanlar dikkate alınarak Türkiye’nin rüzgâr enerjisi potansiyeli belirlenmiştir. Toplam kurulabilecek rüzgâr gücü kapasitesi 47849 MW olarak belirlenirken, bu miktarın 10013 MW’lık kısmı deniz üstü alanlar, 37836 MW’lık kısmı ise kara üstü alanlar için hesaplanmıştır (Anonim, 2018 b). Bu potansiyele karşılık gelen toplam alan Türkiye yüz ölçümünün %1,30’una denk gelmektedir. 2018 yılında rüzgâr enerjisinden 19,882 milyar kWh elektrik üretilmiştir (Anonim, 2018 c).



Şekil 1.5. Türkiye geneli 50m yükseklikteki ortalama yıllık rüzgâr hızları dağılımı (Anonim, 2018 b)

Türkiye Rüzgâr Atlası’na göre 50 metre yükseklikte ve yerleşim yerlerinin dışında kalan alanlarda yapılan incelemelerde; Marmara, Batı Karadeniz ve Doğu Akdeniz kıyılarında yıllık ortalama rüzgâr hızının 6.0-7.0 m/s aralığında olduğu, iç kesimlerde 4.5-5.0 m/s’ye kadar düştüğü gözlemlenmektedir. Kuzeybatı Ege kıyılarında yıllık ortalama rüzgâr hızı 7.0-8.5 m/s’ye çıkarken, Ege Bölgesi’nin iç kısımlarında 6.5-7.0 m/s aralığında bir ortalama olduğu görülmüştür (Anonim, 2018 b). Genel olarak

Türkiye'deki tüm bölgelerin değerlendirilmesi sonucunda ise rüzgâr enerjisi sistemleri için en uygun bölgelerin Marmara, Ege ve Güneydoğu Anadolu olduğu, iller bazında rüzgâr potansiyeli en yüksek Çanakkale, İzmir, Balıkesir, Hatay ve İstanbul illeri olduğu belirtilmektedir (Cantürk, 2018; Anonim, 2012; İlkılıç, 2011).

Bu çalışmada PETKİM/SOCAR faaliyet sahasında Alstom ECO 110 türbinleri kurulu olan RES'nden alınan 2018 yılına ait gerçekleşen güç değerleri, katalog güç değerleri, kulede ölçülen rüzgâr hızı değerleri ve katalog C_p parametreleri, ve İzmir Meteoroloji Bölge Müdürlüğü'nden (MBM) alınmış olan 2018 yılı rüzgâr hızı, sıcaklık ve basınç değerlerinden faydalanılarak;

- Yapay Sinir Ağları (YSA) ile güç tahmin modeli geliştirilmesi,
- YSA tahmin modelinin matematiksel modelinin çıkartılması,
- Ve rüzgâr türbininin üretebileceği enerji potansiyelinin tahmin edilmesi amaçlanmıştır.

Tezin ikinci bölümünde çalışmaya katkı veren literatürün bir kısmı verilmiş, üçüncü bölümde çalışmanın materyal ve yöntemini oluşturan rüzgâr enerjisi ve yapay sinir ağlarına değinilmiş, dördüncü bölümde çalışma sırasında elde edilen bulgular sunulmuş ve son bölümde de sonuçlar tartışılmıştır.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

Bu bölümde, rüzgâr enerjisi potansiyelinin YSA yöntemiyle tahmini hakkında yapılan literatür taraması sonuçlarından bu tez çalışmasına katkı sağlayabilecek bazı çalışmalar özetlenmiştir.

Li (2003), çalışmasında rüzgâr hızı ve yönünün sürekli dalgalanması nedeniyle hızla değişen Rüzgârın ürettiği gücü tahmin etmek için tekrarlayan çok katmanlı algılayıcı (RMLP - Recurrent Multi-Layer Perceptron) sinir ağları kullanmıştır. Bu ağları eğitmek için Zaman algoritması ile genişletilmiş Kalman filtresi tabanlı geri yayılmayı kullanmıştır.

Çetin (2006), doktora tezi çalışmasında otonom (şebeke bağlantısız) rüzgâr türbinlerinde, sistem optimizasyonu için uygun bir algoritma sunulmuştur. Bu algoritma, back-propagation (geriye-yayılım) kullanılarak YSA'nın eğitimine dayanmaktadır. YSA'nın paralel bilgi işleme yeteneğinden dolayı, önerilen metodun hızlı ve doğru olduğu tezine varılmıştır. Yaptığı çalışma üç eğitime aşamasından oluşmaktadır. İlk olarak; sistemin kurulacağı yerin yıllık ortalama rüzgâr hızından, yüksekliğe bağlı bir şekilde, rüzgâr türbininin enerji üretebileceği rüzgâr hızlarının esme süreleri tahmin edilmiştir. Bunun için yapılacak eğitimde; farklı yerlere ait yıllık ortalama rüzgâr hızları ve Hellman yükseltme katsayılarını kullanmıştır. Böylelikle yapılan eğitime genelleştirilerek, optimizasyonun istenen her hangi bir yere uygulanması sağlanmıştır. Daha sonra; her hangi bir yerde kurulu olan ve farklı kanat boyları (farklı güçler) ile birlikte uygun jeneratör kullanılarak elde edilen ölçüm sonuçlarından; rüzgâr hızı, güç Katsayısı, elektriksel güç ve uç hız oranı değerleri tahmin edilmiştir. Yapılan bu iki eğitimin sonunda elde edilen değerlere bağlı, üçüncü bir eğitimle de yıllık enerji üretimi ve akümülatör kapasitesi tahmin edilmiştir.

Bilgili (2007), doktora tezi çalışmasında Türkiye'nin güney ve güneybatı bölgesindeki rüzgâr gücü potansiyeli, Weibull ve Rayleigh olasılık yoğunluğu fonksiyonları ve "Wind Atlas Analysis and Application (WAsP)" programı kullanılarak hesaplamıştır. Ayrıca, bir hedef istasyonun rüzgâr hızı, etrafını çevreleyen referans istasyonların rüzgâr hızlarından ve diğer meteorolojik

parametrelerinden faydalanılarak YSA yöntemi ile tahmin etmiştir. Bundan başka, YSA, Türkiye'nin herhangi bir özel noktasındaki ortalama sıcaklık ve yağmur parametrelerini, etrafını çevreleyen referans istasyonların değerlerinden faydalanarak tahmin etmek için uygulamıştır. Matlab programında, farklı YSA öğrenme algoritmaları kullanarak bir tahmin modeli oluşturmuş ve elde edilen sonuçlar ile gerçek değerleri karşılaştırmıştır.

Mabel ve Fernandez (2009), çalışmalarında Hindistan'daki yedi rüzgâr santralinden, Nisan 2002 ile Mart 2005 arasında üç yıl boyunca toplanan ve rüzgâr santrallerinden elde edilen enerji veriminin tahmini için verileri kullanmıştır, Modellemeyi Matlab yazılımı kullanılarak yapmışlardır. Yapay sinir ağı yapılandırmasında 3-5-1 (3 giriş katmanı nöronu - ortalama rüzgâr hızı, bağıl nem ve üretim saatleri, 5 gizli katman nöronu, 1 çıkış katmanı nöronu) tercih edilmiştir.

Fadare (2009), çalışmasında Nijerya'daki rüzgâr hızının profili yapay sinir ağı kullanılarak modellenmiştir. YSA modeli, Matlab için NNTOOL kullanılarak tasarlanmış ve farklı konfigürasyonlara sahip 3 katmanlı, ileri beslemeli, geri yayılım ağı oluşturulmuştur. Ortalama Aylık, ortalama günlük rüzgâr hızı verileri, 20 saatlik bir süre boyunca yer seviyesinden 10 m yüksekte izlenmiştir. Nijerya Meteoroloji Hizmetleri (NIMET - Nigerian Meteorological Agency) tarafından işletilen 28 yer istasyonu için yıl (1983–2003) eğitim (18 istasyon) ve test (10 istasyon) veri seti olarak kullanılmıştır.

Grassi ve Vecchio (2009), çalışmalarında rüzgâr hızı ve hava yoğunluğunun sürekli dalgalanmasıyla hızla değişen rüzgâr türbinlerinde üretilen enerjinin tahmini için iki katmanlı bir modelleme oluşturmuşlardır. Birinci katmanda Geri yayılma öğrenme algoritması ile birlikte uygun deneysel kullanarak, hiperbolik teğet transfer fonksiyonu ile karakterize edilen uygun bir sinir mimarisi, ikinci katmanda ise logaritmik sigmoid transfer fonksiyonu kullanılmıştır.

Catalao vd. (2010), çalışmalarında rüzgâr enerjisinin elektrik şebekesine entegrasyonunun oluşturduğu kesiklik ve değişkenlik gibi zorlukları aşmak için kısa vadeli rüzgâr enerjisi tahmininde dalgacık dönüşümü (WT - Wavelet Transform) ile

yapay sinir ağı modellerini birleştirmiş ve dalgacık modüllü sinir ağı yaklaşımını (NNWT - Neural Network Wavelet Transform) oluşturmuşlardır.

Yeşilnacar (2011), yüksek lisans tezi çalışmasında bir matematiksel modele yakınlığı öngörülen YSA kullanmıştır. Çalışmasında gerçek verilerin modellenmesi, gerçek verilerin istatistiksel modeli ve gerçek verilerdeki tek sayılı günlerin giriş, çift sayılı günlerin çıkış olarak ele alındığı üç farklı model üzerinde çalışmıştır. Bu modelden hangisinin daha başarılı olduğunu ortaya koymuştur. İstatistiksel verilerin ortalama sapmalarını alarak yapılan tahminlerin, normal veriler kullanarak yapılan tahminlere oranla daha başarılı sonuçlar verdiği öngörülmesine rağmen tek sayılı günlerin giriş, çift sayılı günlerin çıkış olarak ele alındığı modelde istenilen başarı elde edilemediğini saptamıştır. Tez çalışması, Bilecik İlinin rüzgâr hızı, basınç ve sıcaklık tahminini içermektedir. Bilecik İline ait 2000-2009 yılları arasındaki rüzgâr hızı, basınç ve sıcaklık verileri alınmış, 2010 yılı değerleri YSA kullanarak tahmin edilmiş, 2010 yılına ait gerçek değerler ile karşılaştırılmıştır.

Saray (2012), yüksek lisans tezi çalışmasında Tokat iline ait rüzgâr verilerinin, YSA yardımıyla rüzgâr hızı tahmini için kullanılması incelemiştir. Rüzgâr hızı modellemesinde Matlab Neural Network araç kutusu ile geri beslemeli, üç katmanlı bir ağ tasarlamıştır. Kullanılan veriler devlet meteoroloji işleri istasyonundan 10 metre yükseklikten alınmıştır. Tokat iline ait 2010 yılı günlük ortalama rüzgâr hızı tahmini 2005-2010 yılları arasındaki verilerden yararlanılarak, YSA geri beslemeli ağ öğrenme algoritmaları kullanılarak 2010 yılına ait rüzgâr hızı verilerinin tahmini yapmıştır. Her üç ayın Rüzgâr-Sıcaklık (R-S), Rüzgâr-Basınç (R-B), Rüzgâr-Nem (R-N) giriş verileri kullanılarak rüzgâr hızı tahmini için LM, Dik iniş (Dİ) ile Esnek yayılım (EY) öğrenme algoritmaları kullanılarak 36 adet şekil elde edilerek ortalama karekök hatası (OKH) değerleri hesaplamıştır.

Yeh vd. (2013), yaptıkları çalışmada bir rüzgâr çiftliğinde rüzgâr gücünün tahmini için YSA ve ISSO (Geliştirilmiş Basitleştirilmiş Swarm Optimizasyonu - Improved Simplified Swarm Optimization) modeline dayanan yeni bir tahmin algoritması geliştirmişlerdir. Bu algorithmada ISSO modeli, verimliliğini arttırmak için, PCA (Temel Bileşen Analizi - Principal Component Analysis), AF (Otokorelasyon

Fonksiyonu - Autocorrelation Function) ve PAF (Kısmi Otokorelasyon Fonksiyonu - Partial Autocorrelation function) ile beraber çalışmıştır.

Liu vd. (2014), çalışmalarında Rüzgâr hızı tahmini için dört hibrit algoritma önermişlerdir. Adaboost (Adaptive Boosting) algoritması, melez bir eğitim çerçevesi sağlamak için kabul edilmiştir. MLP (Multi-Layer Perceptron) sinir ağları modelini tahmin hesaplama yapmak için dört önemli ağ eğitim algoritması ile geliştirmişlerdir. Hibrit Adaboost-MLP tahmin mimarisinde, GD-ALR-BP algoritması, GDM-ALR-BP algoritması, CG-BP-FR algoritması ve BFGS (Broyden-Fletcher-Goldfarb-Shanno) algoritması dâhil olmak üzere MLP sinir ağlarının eğitimi ve modellenmesi için benimsenmiştir.

Ramasamy vd. (2015), çalışmalarında YSA NFTOOL modelini ve Levenberg-Marquardt algoritmasını kullanarak Hindistan'daki 11 dağlık mekânın rüzgâr hızı tahminlemesini sıcaklık, basınç, güneş radyasyonu, rakım girdilerini kullanarak yapmışlardır.

Yıldız (2016), yüksek lisans tezi çalışmasında iki ayrı ana başlık altında inceleme yapmıştır. İlk çalışmada, İstanbul Teknik Üniversitesi (İTÜ) Maslak/Ayazağa kampüsünde ölçülen 2001-2002 yıllarına ait saatlik rüzgâr hızı verilerinin kullanılmasıyla, YSA'nın performans analizi yapılmıştır. İlk çalışmada 2001 yılına ait rüzgâr hız verileri, Matlab programında hazırlanan yapay sinir ağına beslenerek en iyi performans değerini sağlayan yapay sinir ağı elde edilmeye çalışılmıştır. En iyi ağı elde etmek için, yapay sinir ağının bazı parametrelerinde (giriş sayısı, gizli tabaka sayısı, vs.) değişiklikler yapılmıştır. 2001 yılına ait gözlemlenen rüzgâr hızı verileri ve YSA kullanılarak tahmin edilen rüzgâr hız verileri WAsP programına aktararak rüzgâr enerjisi hesabı yapılmıştır. WAsP'ta hesaplama yapılırken, diğer tüm değişkenler aynı kalmak şartıyla (topoğrafya, kullanılan rüzgâr türbini, yön bilgisi, vs.) sadece rüzgâr hız verileri değiştirilmiştir. Elde edilen rüzgâr enerji değerleri karşılaştırılmıştır. İkinci çalışmada ise, yapay sinir ağlarının ileriye dönük rüzgâr hızı tahmini üzerinde başarısı araştırılmıştır. Çalışmanın bu aşamasında, yapay sinir ağına beslenen 2001 rüzgâr hızı verilerinden ileriye dönük elde edilen çıktılar (tahmin edilen) 2002 yılına ait verilerle (gözlemlenen) karşılaştırılmıştır.

Karabacak (2016), doktora tezi çalışmasında rüzgâr-fotovoltaik hibrit güç sistemlerini tanımlama ve kontrol amaçlı bir yapay sinir ağı modeli tasarlamış, tasarlanan sinir ağı modeli bir mikrobilgisayara gömerek örnek bir hibrit güç sistemini kontrol amaçlı kullanmıştır. Tez çalışmasında, Ege Üniversitesi Güneş Enerjisi Enstitüsü'nde kurulu olan 3 kW kapasiteli rüzgâr türbini ve 2 kW kapasiteli fotovoltaik panelleri kullanmıştır. Gerçeklenen sistemde, fotovoltaik panellerin ve rüzgâr türbininin çıkış gerilimini kontrol etmek üzere yükseltici konvertör devresi (boost konvertör) tasarlanmıştır. Yükseltici konvertörün görev zamanını ayarlamak için yapay sinir ağı tabanlı kontrolör kullanılarak yükseltici konvertör çıkış gerilimi, belirli bir aralıkta sabit tutulmuştur. Bu sayede sistem içerisinde tek bir DC bara ve tek bir invertör ünitesi kullanılarak enterkonnekte şebekeye bağlantı gerçekleştirilmiştir. Sisteme bağlanmış olan rüzgâr türbininin ve fotovoltaik panellerin optimum şekilde çalışması sağlanmıştır.

Şenol (2017), yüksek lisans tezi çalışmasında genel olarak rüzgâr enerjisi incelenmiş, uygulamada ise rüzgâr enerjisi potansiyelinin yapay sinir ağları yardımıyla tahmini yapılmıştır. Oluşturulan modelde kullanılacak olan rüzgâr hızı verileri test aşamasında, farklı tip rüzgâr türbinlerine ait çıkış güçlerine ait veriler ise eğitim aşamasında kullanılmıştır. Uygulama sonrası yapılan regresyon eğrilerinde oluşturulan modelin yaptığı tahminlerin güvenilir ve tutarlı olduğu anlaşılmıştır.

Cantürk (2018), yüksek lisans tezi çalışmasında Türkiye'de yer alan bir rüzgâr çiftliğinden elde edilen veriler ile YSA yönteminden yararlanılarak kısa süreli rüzgâr enerjisi üretimi tahmini yapmıştır. Bu doğrultuda öncelikle rüzgâr çiftliğinden alınan veri setleri incelenmiş, veri analizleri yapılmış ve YSA modeli için uygun veri setleri oluşturulmuştur. Oluşturulan modellerle yapılan tahmin sonuçları, kısa süreli rüzgâr enerjisi üretim tahminlerinde bir kriter olarak kabul edilen naive yöntemi ile elde edilen tahmin sonuçlarına göre değerlendirilmiştir. Statik ve dinamik yapıda iki farklı temel YSA modeli ile yapılan tahminlere ait hata oranlarının, naive yöntemle göre kabul edilebilir bir aralık içerisinde olduğu görülmüştür. Genel olarak en düşük ortalama hata oranları statik yapıda olan YSA ile elde edilmiştir. Ancak seçilen zaman ufukları için tahmin edilen ortalama değerler incelendiğinde; dinamik yapıdaki ağ modellerinden elde edilen sonuçların bazı durumlarda gerçekleşen ortalama değerlere çok yakın olduğu görülmüştür. Veri seti; çiftlikte bulunan her

türbin için ayrı ayrı ölçülmüş, 2 yıla ait 10 dakikalık ortalama rüzgâr hızı (m/s), sıcaklık (°C) ve üretim (kWh) değerlerinden oluşmaktadır. Yapılan tahminler de bu verilere paralel olarak 10 dakikalık zaman adımlarıyla yapılmıştır. Ayrıca çalışmada kullanılan 2 yıllık veri seti; son 10 yıl içinde ölçülmüş 2 yıla aittir.

Mert (2018), doktora tezi çalışmasında Hatay ilinde bulunan Türkiye Meteoroloji Genel Müdürlüğü'ne ait meteoroloji istasyonundan tedarik edilen 10 m yükseklikte ölçülen günlük, aylık ve yıllık ortalama rüzgâr hızları kullanılarak rüzgâr karakteristikleri ve potansiyeli analiz edilmiştir. İstatistiksel analizlerde yaygın olarak kullanılan Weibull ve bölgede daha önce denenmemiş olan Burr ve genelleştirilmiş Gamma dağılım fonksiyonları da mevcut veriye uygulanmıştır. Antakya bölgesinin rüzgâr hızı dağılım eğrileri, ortalama rüzgâr hızları ve rüzgâr gücü değerleri Weibull, Burr (4P) ve Gen. Gamma dağılım kullanılarak elde edilmiştir. Weibull, Burr (4P) ve Gen. Gamma dağılım parametreleri için parametre kestirim tekniği olarak, Maksimum Olabilirlik Metodu (MOM) kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar, Kolmogorov-Smirnov (D) ve Chi-Square (χ^2) uyum iyiliği testleri ile Belirleme Katsayısı (R^2) ve Ortalama Hata Kareleri Toplamının Karekökü (RMSE) hata analizleri ile değerlendirilmiştir.

Methaprayoon vd. (2018), çalışmalarında Lawton City, Oklahoma eyaletindeki bir RES'den Mayıs 2002 ve Temmuz 2002 arasındaki rüzgâr hızı ve rüzgâr enerjisi verilerini kullanarak rüzgâr gücü üretim tahminleri yapmışlardır. Üç katmanlı bir ileriye dönük YSA modeli uygulamışlardır.

Bu yayınlardan anlaşıldığı gibi çalışmaların çoğunun bölgesel meteorolojik verilerden bölgenin rüzgâr enerji potansiyeli, rüzgâr hızı ve rüzgâr gücü tahmininin yapılmasına yönelik olduğu görülmektedir.

Bu tez çalışmasında bahsi geçen çalışmalardan farklı olarak, rüzgâr verisi; türbin nacelle yüksekliğinden gerçek veri olarak alınmış, türbinin üretebileceği rüzgâr gücüne etki eden parametreler 5'li, 4'lü, 3'lü, 2'li ve 1'li kombinasyonlar ile modellenmiş, bu parametrelerin güce olan etkisi araştırılmış ve üretilebilecek rüzgâr gücü tahminlemesi için matematiksel model oluşturulmuştur.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu bölümde araştırmaya konu olan Rüzgâr enerjisinin özellikleri, veri alınan RES özellikleri, İzmir bölgesine ait meteorolojik veriler ile tahminlerin yapıldığı yöntem olan YSA hakkında bilgiler verilmiştir.

3.1. Rüzgâr Enerjisi

Güneş kaynaklı radyasyonun yer yüzeyinde farklı ısıtmalara neden olmasından dolayı Rüzgâr oluşur. Yer yüzeyinin farklı ısınması, havanın sıcaklığı, nem ve basınç değerlerinin farklı olmasına, bu basınç farkları da havanın hareketine neden olur. Dünyaya ulaşan güneş enerjisinin sadece yaklaşık %2'si kadarı rüzgâr enerjisine dönüşür. Rüzgâr, hız ve yön olmak üzere iki değişken ile ifade edilir. Rüzgâr hızı yükseldikçe artar ve teorik gücü de hızının küpü ile orantılı olarak değişir (Anonim, 2018 c). Rüzgârın hızı ve yönü zamana ve bölgelere göre farklılık gösterir. Rüzgâr santrallerinin dizaynında sıcaklık, basınç, rüzgâr yönü ve hızı, hava yoğunluğu öğelerin dikkate alınması gerekmektedir. Sağlayacağı enerji; rüzgârın gücüne ve estiği süreye bağlıdır (Şenol, 2017).

Rüzgâr enerjisinin avantajları şu şekilde sıralanabilir:

- Yenilenebilir ve temiz, çevre dostudur, yerli, sürekli, yakıt-hammadde maliyeti olmayan bir enerji kaynağıdır. Rüzgâr türbinlerinin çevreye olan en önemli katkısı, fosil yakıtların yanması sonucu oluşan zararlı gazları oluşturmaması, sera etkisi yapmaması ve asit yağmurlarına neden olmamasıdır.

- Tükenme ve zamanla fiyatının artma riski yoktur.
- Maliyeti günümüz güç santralleriyle rekabet edebilecek düzeye gelmiştir.
- Bakım ve işletme maliyetleri düşüktür. Bir rüzgâr türbininin ömrü ortalama olarak 20-30 yıldır. Düşük bir maliyetle uzun bir süre boyunca üretim aksamadan yapılabilir.

- Teknolojisinin tesisi ve işletilmesi göreceli olarak basittir.
- İşletmeye alınması kısa bir sürede gerçekleştirilebilir.
- Enerjide dışa bağımlılığı azaltır ve gün geçtikçe ucuzlamaktadır

- Kuruldukları bölgede alan işgali minimum düzeydedir, tarım ve hayvancılığa engel olmaz.
- İstihdamı arttırır.

Dezavantajları ise şu şekilde özetlenebilir:

- Rüzgâr hızının değişken olmasından dolayı enerjiye ihtiyaç duyulan zamanda Rüzgâr hızı yeterli hızda değilse elektrik üretimi gerçekleştirilemez.
- Rüzgâr enerji santrali teknolojisi çoğunlukla gelişmiş ülkelerin elinde olduğu için ilk kurulum maliyetleri yüksektir.
- Kuşlara zarar verebilir.
- Rüzgâr türbinlerinin gürültü oluşturması, radyo ve televizyon alıcılarında parazitler oluşturması da dezavantajları arasındadır (Şenol, 2017).

3.2. Rüzgâr Türbin Teknolojisi

Rüzgâr türbinleri, rüzgâr enerji santrallerinin ana yapı elemanıdır ve hareket halindeki havanın kinetik enerjisini önce mekanik enerjiye, sonra da elektrik enerjisine dönüştüren makinelerdir. Rüzgâr türbinleri dönüş eksenlerine göre yatay eksenli veya dikey eksenli olarak üretilirler. Bu modellerden en fazla kullanılanı yatay eksenli olanlarıdır. Yatay eksenli rüzgâr türbinlerinde dönme eksenleri rüzgâr yönüne paralel ve kanatları ise rüzgâr yönüne dik durumda çalışır. Bu tip rüzgâr türbinleri bir, iki, üç veya çok kanatlı yapılmaktadır. Yatay eksenli rüzgâr türbinleri; rüzgârın esme yönüne göre ileri ya da önden rüzgârlı (up-wind), ve geri ya da arkadan rüzgârlı (down-wind) türbin olarak adlandırılırlar. Dikey eksenli rüzgâr türbinlerinin eksenleri rüzgâr yönüne dik ve dikey olup kanatları da dikey vaziyettedir. Dikey eksenli rüzgâr türbinlerinde rüzgârın esme yönü değiştiği zaman yatay eksenli rüzgâr türbinlerinde olduğu gibi herhangi bir pozisyon değiştirmesi olmaz. Elektrik üretim amaçlı şebeke bağlantılı modern rüzgâr türbinleri genellikle 3 kanatlı, yatay eksenli ve up-wind rüzgâr türbinleridir (Anonim, 2018 d).

Günümüzde teknolojik gelişmelere paralel olarak 1,0-6,0 MW gücünde yatay eksenli rüzgâr türbinleri kullanılmaktadır. Bir rüzgâr türbini, çevredeki engellerin rüzgâr hız

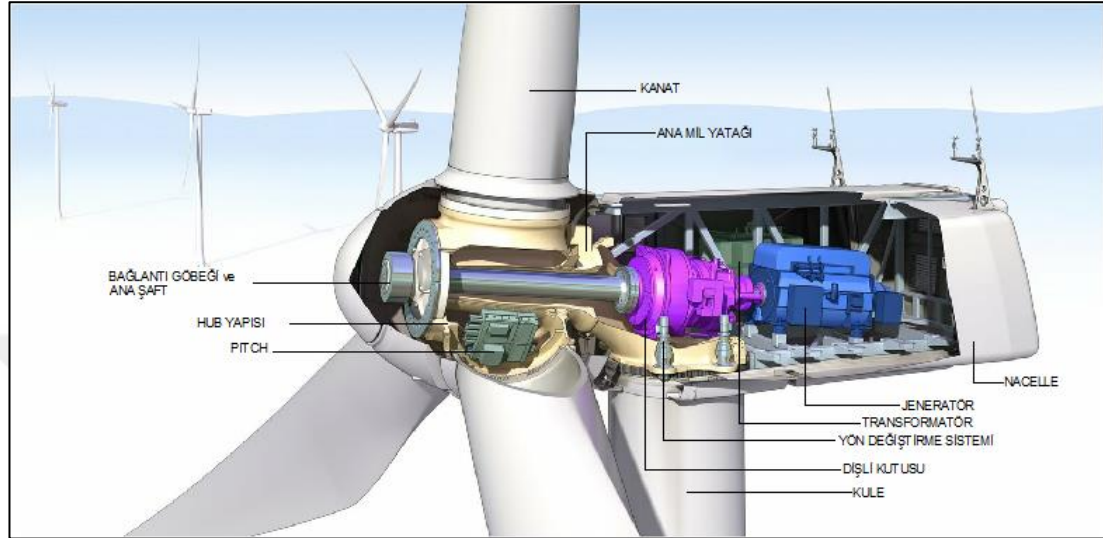
profilini değiştirmeyeceği yükseklikteki bir kule üzerine yerleştirilmiş gövde ve rotordan oluşur. Kanatlar ve göbek rotor olarak adlandırılır. Kanatlar polyester ile kuvvetlendirilmiş fiberglass veya epoxy ile güçlendirilmiş fiber karbondan yapılmakta ve elik omurga ile desteklenmektedir. Modern rüzgâr türbinlerinin rotor göbekleri (hub) yer seviyesinden 60-100 m yükseklikte bir kule üzerinde bulunur. Bir rüzgâr türbininden elde edilecek enerji miktarı birinci dereceden türbin hub yüksekliğindeki rüzgâr hızına bağlı olmaktadır. Türbin hub yüksekliğinin artırılması sonucu rüzgâr hızının artacağı gerçeği dikkate alındığında hub yüksekliğinin artırılması, mevcut rüzgâr gücünden maksimum düzeyde yararlanılmasını sağlayacaktır. Gürültü kirliliğini önlemek için gövde ses izolasyonludur. Kuleler kafes veya boru biçiminde yapılmaktadır. Maliyeti fazla olmakla beraber günümüzde yaygın olarak açık gri renge boyanmış silindirik konik kesitli kuleler kullanılmaktadır (Anonim, 2018 d). Şekil 3.1.'de verilerin alındığı Petkim RES türbinlerinin montaj aşamasından bir görünüm bulunmaktadır (Anonim, 2019 b).



Şekil 3.1. Alstom ECO 110 rüzgâr türbininin Petkim RES sahasına montajı (Anonim, 2019 b)

Rotor düşük devirli bir ana mile bağlıdır. Rzgrn kinetik enerjisi rotor tarafından mekanik enerjiye çevrilir ve düşük devirli ana milin dönüş hareketi gövde içeresindeki iletim sistemine (dişli kutusu vb.), oradan jeneratöre aktarılır. İletim sistemi, jeneratör ve yardımcı üniteler gövde içeresinde yer alır. Bir rüzgâr türbininde

tanıtılan elemanlar dışında; frenleme düzenleri, kontrol-kumanda sistemleri, yönlendirme motoru ve mekanizması, anemometre ve rüzgâr gülü gibi ölçüm cihazları bulunur (Anonim, 2018 d). Alstom ECO 110' a ait Nacelle Şeması Şekil 3.2.' de gösterilmiştir (Anonim, 2018 e).



Şekil 3.2. Alstom ECO 110' a ait nacelle şeması (Anonim, 2018 e)

Bu çalışmada Petkim RES'nde bulunan Alstom ECO 110 modeline ait veriler kullanılmıştır. Alstom ECO 110' a ait temel özellikler Çizelge 3.1.'de, diğer özellikler EK-A'da verilmiştir (Anonim, 2018 f).

Çizelge 3.1. Alstom ECO 110' a ait temel özellikler (Anonim, 2018 f)

Anma Gücü:	3.000 Kw
Cut-İn Rüzgâr Hızı:	3 m/s
Anma Rüzgâr Hızı:	11,5 m/s
Cut-Out Rüzgâr Hızı:	25 m/s
Çap:	110 m
Süprülmüş Bölge:	9,469 m ²
Bıçakların Sayısı:	3

3.3. Rüzgâr Türbininin Potansiyel Gücü ve Türbininde Üretililecek Potansiyel Güç Hesabı

Rüzgâr türbininin üretebileceği potansiyel güç (P); Rüzgâr hızına (U), türbin süpürme alanına (A), hava yoğunluğuna (ρ) bağlıdır. Süpürme alanı, türbinin rotor

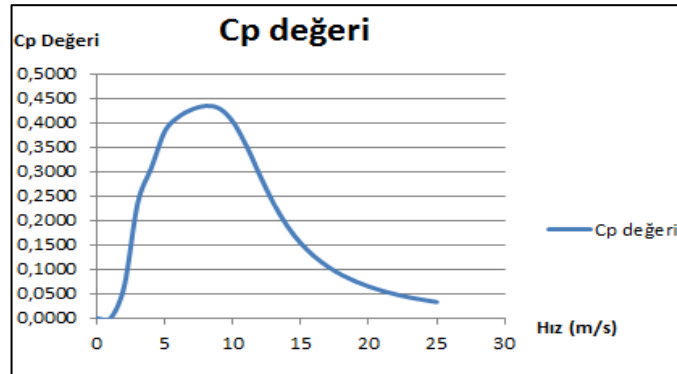
çapının oluşturduğu daire alanı hesaplanarak elde edilmektedir. Bu durumda güç formül 3.1'deki şekliye ifade edilir.

$$P = \frac{1}{2} \rho A U^3 \quad (3.1)$$

Rüzgârın sahip olduğu enerji rotor tarafından mekanik enerjiye dönüştürülürken rüzgârın hızı azalmaktadır. Yapılan hesaplamalara göre hiçbir türbin rüzgâr enerjisini tamamen elektrik enerjisine dönüştüremez. Rüzgârın sahip olduğu potansiyel enerjinin tamamının elektrik enerjisine dönüşümünün gerçekleşebilmesi için rotor alanıyla temasta bulunan rüzgâr hızının pervaneyle temasından sonra sıfırlanması gerekmektedir. Böylece türbinde üretilebilecek potansiyel güç (P_{ROTOR}) hesabı formül 3.2'deki gibidir.

$$P_{\text{ROTOR}} = \frac{1}{2} \rho A U^3 C_p \quad (3.2)$$

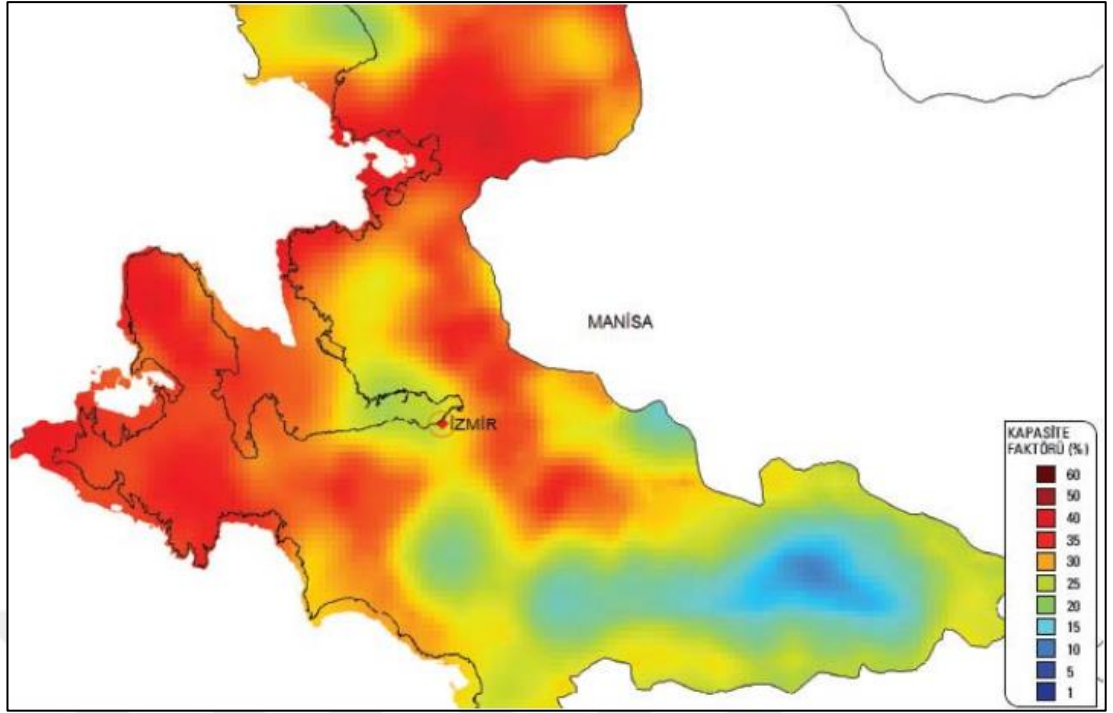
Burada C_p (Güç Katsayısı) türbinden elde edilebilecek maksimum gücü belirtmek için kullanılan bir parametredir. Bu ifadenin alabileceği maksimum değer 0,5926 teorik olarak hesaplanmıştır (Artar, 2005). Şekil 3.3.'de araştırmada verileri kullanılan Alstom ECO 110 türbininin C_p değer grafiği görülmektedir.



Şekil 3.3. Alstom ECO 110 rüzgâr türbininin C_p değer grafiği

3.4. Rüzgâr Enerjisi Bakımından İzmir

Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü'nün (YEGM) yapmış olduğu Rüzgâr Enerjisi Potansiyel Atlası (REPA) çalışmaları kapsamında Çizelge 3.2.'de de görüldüğü üzere İzmir'in 2.370 km²'lik alanına karşılık gelen 11.854 MW olduğu tahmin edilen İzmir



Şekil 3.5. 50 metredeki kapasite faktörü dağılımı (Anonim, 2018 g)

3.5. Araştırmada Kullanılan Veriler

Araştırmada MBM İzmir ili Aliğa ilçesine ait meteoroloji istasyonundan elde edilen ve Çizelge 3.3.'de aylık ortalamaları verilen 2018 yılına ait saatlik 8760 adet sıcaklık, basınç verileri kullanılmıştır.

Çizelge 3.3. Meteoroloji istasyonuna ait veriler

Veri No	Ay	SICAKLIK (°C)	BASINC (hPa)
1	Ocak	8,7	1015
2	Şubat	11,3	1009
3	Mart	15	1007
4	Nisan	18	1011
5	Mayıs	22,6	1007
6	Haziran	25	1005
7	Temmuz	28	1004
8	Ağustos	28	1005
9	Eylül	23,8	1010
10	Ekim	18,7	1014
11	Kasım	14,4	1014
12	Aralık	8,2	1014

Çalışmada ayrıca Petkim RES sahasındaki rüzgâr türbininden ölçülerek elde edilen 2018 yılına ait saatlik 8760 adet Çizelge 3.4.'de aylık ortalamaları verilen rüzgâr hızı ve anlık güç verileri ile Alstom ECO 110 rüzgâr türbinine ait katalog bilgilerinden Şekil 3.3.'deki C_p değerleri ve Çizelge 3.1.'deki rotor süpürme alanı (A) verileri temin edilmiş ve çalışmada kullanılmıştır.

Çizelge 3.4. Petkim RES sahasındaki rüzgâr türbininden elde edilen veriler

Veri No	Ay	Rüzgâr Hızı (m/s)	Türbinde Ölçülen Anlık Güç (kW)
1	Ocak	7,7563	1208
2	Şubat	7,6393	1239
3	Mart	8,2314	1375
4	Nisan	6,0259	828
5	Mayıs	6,3893	896
6	Haziran	6,2624	847
7	Temmuz	6,4149	823
8	Ağustos	9,1265	1687
9	Eylül	8,1381	1205
10	Ekim	6,7891	1112
11	Kasım	9,2117	1696
12	Aralık	7,8372	1223

Şekil 3.6. ve Şekil 3.7' de verileri kullanılan Petkim RES sahası görülmektedir (Anonim, 2019 c; Anonim, 2017).



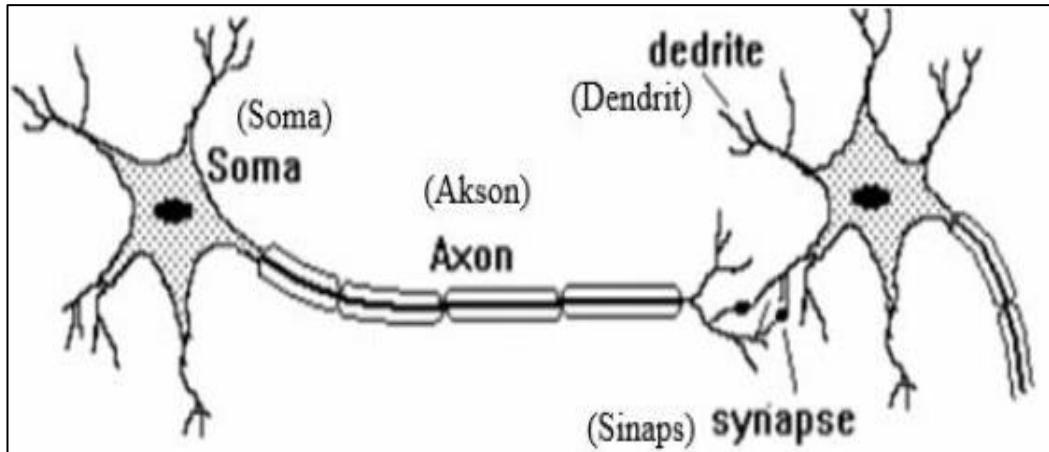
Şekil 3.6. Petkim RES sahası (Anonim, 2019 c)



Şekil 3.7. Petkim RES sahası (Anonim, 2017)

3.6. Yapay Sinir Ağları (YSA)

Yapay sinir ağları, insan beyninin öğrenme özelliğinden yola çıkarak geliştirilmiş matematiksel bilgisayar yazılım sistemleridir. Temel olarak, insan beynindeki nöron (sinir) hücrelerinin çalışma prensibine dayanmaktadır. Nöronlar, birbirleriyle olan bağlantıları ile sinirsel işlevin temeli olan bilgi akışını sağlamaktadır (Saray, 2012). Şekil 3.8.'de nöronların biyolojik yapısı görülmektedir.



Şekil 3.8. Biyolojik nöron hücresi yapısı (Saray, 2012)

Şekilde görüldüğü gibi biyolojik nöronlar dendritler, çekirdek (soma) ve sinapsis olarak üç ana bölümde incelenebilir.

Dendritler bir tür alıcı görevi gösterirler ve diğer nöronlardan gelen sinyalleri kabul ederek hücre çekirdeğinin bulunduğu somaya iletirler.

Çekirdek ise alınan sinyalleri toplar ve diğer nöronlara iletilmesi için aksona yollar.

Aksonların ucunda bulunan sinapsisler ise gelen toplam sinyali, diğer hücreye aktarılmadan önce önışlemeden geçirir. Bu önışlemede bir eşik değerine göre, gelen toplam sinyal belirli bir aralığa indirgenir ve dendritlere iletir.

İnsan beynine paralel olarak YSA'larda da çok sayıda ve birbirine bağlı işlem elemanları (nöron) bulunurken, bu elemanlar arasında belirli ağırlıklarda bağlantılar yer almaktadır (Cantürk, 2018). Bu ağırlıkların düzenlenmesi ise YSA'larda "öğrenme" işlemi olarak tanımlanmaktadır.

YSA'ların özellikleri şu şekilde sırlanabilir:

- YSA'larda Sistemin Paralelliği Ve Toplamsal İşlevin Konstrüktif Paylaşırılmışlığı:

YSA birçok nörondan oluşur ve senkronize şekilde çalışarak karmaşık işlevleri yerine getirir. İşlem süreci boyunca bu nöronlardan her hangi birinin görevini yerine getirmemesi durumunda da sistem güvenli bir şekilde faaliyetine devam edebilir.

- Genelleme Yeteneği:

Ağ yapısının, eğitim esnasında kullanılan sayısal verilerden eşleştirmeyi tasvir eden özellikleri algılaması ve böylelikle eğitim sırasında kullanılmayan veriler için de, anlamlı yanıtlar üretebilmesi olarak ifade edilebilir.

- Ağ Fonksiyonları Doğrusal Olmaması:

YSA modelinde dağılmış belli tipteki doğrusal olmayan alt birimlerin, bilhassa istenen eşleştirmenin kontrol ya da tarif etme işlemlerinde olduğu gibi doğrusal

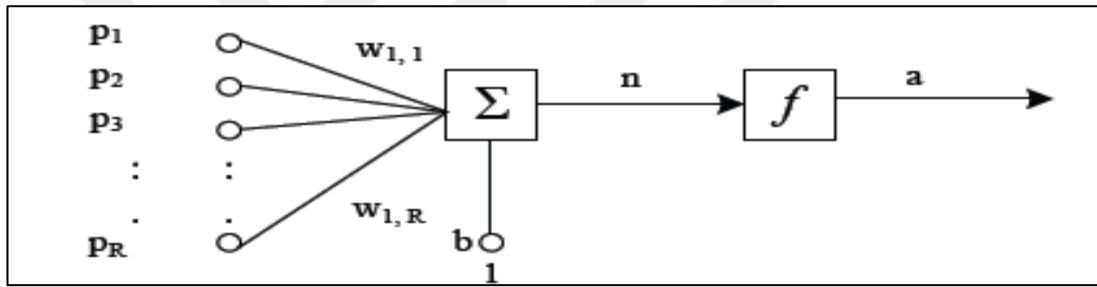
olmaması durumunda görevin düzgün bir biçimde ifa edebilmesini matematiksel olarak mümkün kılmasıdır.

- YSA'ların, gerçekleştirilebilir olması:

Sayısal ortamda tasarlanan YSA'ların bu özelliği günlük yaşamda kullanılabilir hale getirilebileceği göstermektedir (Zorlu, 2015).

3.6.1. Yapay sinir hücresinin yapısı

Temel düzeydeki yapay sinir ağı modeli Şekil 3.9.'de görüldüğü gibi biyolojik nöron hücresine göre oldukça basit bir yapıdadır (Cantürk, 2018).



Şekil 3.9. Temel düzeyde yapay sinir hücresi yapısı (Cantürk, 2018)

Yapay sinir hücresi modelinde dış ortamdan veya diğer nöronlardan alınan Girdiler (p), Ağırlıklar (w), Bias (b) değeri (bu değer öğrenmeyi iyileştirmek için aktivasyon fonksiyonunun orijini dengeye getirmek ve yerel minimum değerlerine takılmayı önlemek görevini üstlenir), toplama fonksiyonu (Σ), aktivasyon fonksiyonu (f) ve çıkışlar (a) yer almaktadır. Çizelge 3.5.'te en çok kullanılan toplam fonksiyonları ve Çizelge 3.6.'da en çok kullanılan aktivasyon fonksiyonları görülmektedir. Dış ortamdan alınan girdiler (p) ağırlıklar (w) ile YSA yapısına bağlanır ve bu ağırlıklar ilgili girdinin etkisini belirler. Toplam fonksiyonu ise net (n) girdiyi hesaplar, net girdi, girdilerle bu girdilerin ağırlıkları ile çarpımının toplamıdır. Çizelge 3.3.'te en çok kullanılan toplam fonksiyonları görülmektedir. Aktivasyon fonksiyonu işlem süresince net çıkışı (a) hesaplar ve bu işlem aynı zamanda YSA modelinin çıkışını verir (Cantürk, 2018).

Modelinin çıkışı şu şekilde hesaplanır:

W ağırlıklar matrisi ($W = w_1, w_2, w_3, \dots, w_R$), P ise girdiler matrisi ($P = p_1, p_2, \dots, p_R$) ve R giriş sayısı olmak üzere; $n = \sum W * P + b$ ve $a = f(n)$ olarak ifade edilebilir.

Çizelge 3.5. En çok kullanılan toplam fonksiyonları

Toplam $Net_i = \sum_j W_{ij} I_j$	Maksimum $Net_i = \text{Max}(W_{ij} I_j)$
Minumum $Net_i = \text{Min}(W_{ij} I_j)$	Çoğunluk $Net_i = \sum_j \text{Sgn}(W_{ij} I_j)$
Kümülatif Toplam $Net_{yeni} = Net_{eski} + \sum_j W_{ij} I_j$	Burada; i, j: Proses elemanı, Net _i : Proses elemanına giden net girdi, I: Proses elemanının çıktısı, W _{i,j} : i ve j proses elemanları arasındaki bağlantının ağırlıklarını göstermektedir.

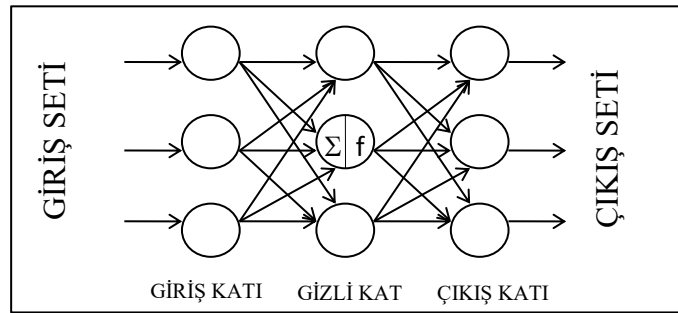
Çizelge 3.6. En çok kullanılan aktivasyon fonksiyonları

Lineer fonksiyon $f(x) = x$	Adım fonksiyonu $f(x) = \begin{cases} 1 & \text{eğer } x > \text{eşik değeri} \\ 0 & \text{diğer durumlar} \end{cases}$
Sigmoid fonksiyonu $f(x) = \frac{1}{1 + e^{-x}}$	Hiperbolik tanjant fonksiyonu $f(x) = \frac{e^x - e^{-x}}{e^x + e^{-x}}$
Eşik mantıksal fonksiyon $f(x) = \begin{cases} 0 & x \leq 0 \\ 0 & 0 < x < 1 \\ 1 & x \geq 1 \end{cases}$	Sinüsoidal fonksiyon $f(x) = \text{Sin}(x)$

3.6.2. Yapay sinir ağları modelleri

Tasarlanacak Yapay Sinir Ağ yapısı Şekil 3.10.'de görüldüğü gibi giriş (Input layer), gizli (Hidden layer) ve çıkış (Output layer) katmanlarından oluşan bir topolojiye sahiptir. Katmanlar yapay sinir hücrelerinden oluşmuştur. Giriş katmanı ve çıkış katmanı hücre sayıları problemin özelliğine bağlı olarak belirlenir. Gizli katman

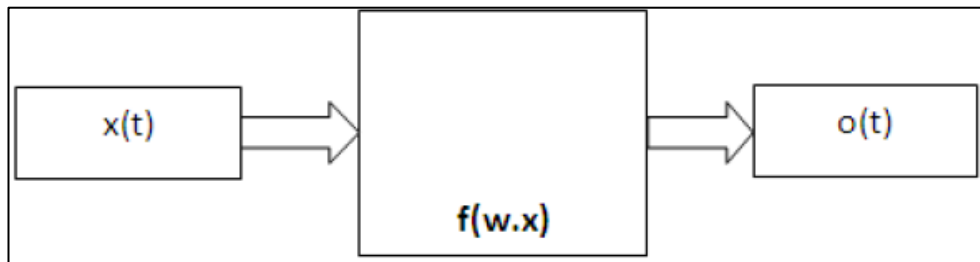
hücre sayısı iste bağlı olarak sınırsız biçimde belirlenebilir. Tasarlanan ağa bilgi ve örnek girişi, giriş seti ile yapılır. Sonuç değerler çıkış seti olarak bulunur.



Şekil 3.10. Yapay sinir ağlarının topolojik yapısı

YSA'lar genellikle katmanlı bir yapıya sahiptir, ancak katmansız ağ yapısına sahip olan türleri de mevcuttur. Ama katmansız ağ yapılarının kullanımı genellikle çok yaygın değildir (Cantürk, 2018). Katmanlı YSA'ları kendi aralarında ileri beslemeli ve geri beslemeli olarak iki çeşittir.

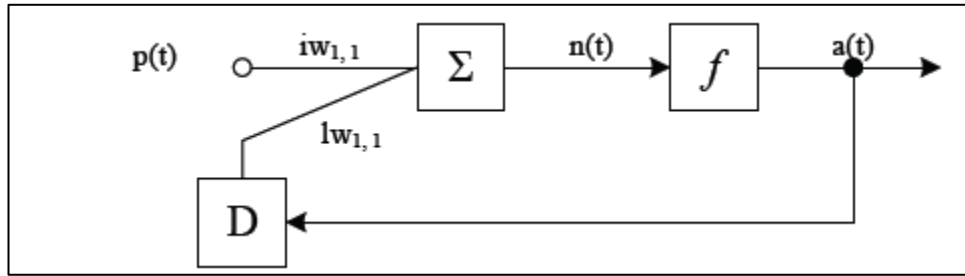
İleri beslemeli (feedforward) modellerde ilk katman girdi katman, son katman çıktı katmanıdır. Şekil 3.11.'de görüldüğü gibi işlemlerde girdilerden çıktılara gidecek şekilde tek yönlü bir bilgi iletimi vardır. Yani Nöronlar kendilerinden önceki katmanlardan aldıkları verileri bir sonraki katmana iletmek üzere işlerler; ancak kendilerinden önceki katmanlara veri gönderemezler (Cantürk, 2018; Zorlu, 2015).



Şekil 3.11. İleri beslemeli (Feedforward) YSA (Cantürk, 2018)

Geri beslemeli (recurrent) modelde Şekil 3.12.'de görüldüğü gibi çıkış ve ara katman çıkışlarının, giriş birimlerine veya önceki ara katmanlara geri beslendiği bir yapı sunmaktadır. Bu sayede girişler hem ileri yönde hem de geri yönde iletilme imkânına kavuşur. Bir andaki çıkış hem o andaki hem de önceki girişleri yansıttığından dolayı hafızası varmış gibi davranır. Bu model bilhassa tahmin uygulamaları için uygundur. Bu modelde elde edilen çıktılar geri besleme ile ağa tekrar girdi (D)

olarak dönmekte ve belirlenen katman ağırlıkları (layer weight) (lw) ile tekrar kullanılmaktadır (Cantürk, 2018; Zorlu, 2015).



Şekil 3.12. Geri beslemeli (*Recurrent*) YSA (Cantürk, 2018)

3.6.3. YSA eğitim algoritmaları

Optimizasyon bakış açısından bir YSA modelinde eğitim, ağıdaki ağırlıklara bağlı çok değişkenli bir fonksiyon olan küresel hata fonksiyonunu en aza indirmektir. Bu bakış açısı, etkili eğitim algoritmasına sahip öngörücü bir YSA modelinin geliştirilmesinde bazı pozitif etkiler yaratır, çünkü küresel hata fonksiyonunu en aza indirme problemi geleneksel sayısal analiz gibi diğer bilim alanlarında çok yaygındır (Müller, 1993). NFTOOL YSA aracında Scaled Conjugate Gradient (SCG), Bayesian Regularization (BR) ve Levenberg-Marquardt (LM) eğitim algoritmaları bulunmaktadır.

3.6.3.1. Scaled conjugate gradient (ölçekli eşlenik gradyan)(SCG)

Martin Fodstlette Meiller tarafında geliştirilen algoritma artan öğrenme hızı ve kritik kullanıcı tarafından seçilen parametrelere bağımlılığı ortadan kaldırması gibi avantajlar sunmaktadır ve gradyan iniş algoritması üzerine kuruludur. Süper doğrusal yakınsama oranına sahip denetimli bir öğrenme algoritmasıdır. Algoritma, sayısal analizde Konjuge Gradient Yöntemleri olarak iyi bilinen bir optimizasyon teknikleri sınıfına dayanır. Sinir ağından ikinci derece bilgileri kullanır. BP'ye(geri yayılım) göre en az bir büyüklük derecesinde bir hızlanma sağlar. Hızlanma, yakınsama kriterlerine bağlıdır, yani, hatadaki azalma talebi ne kadar büyük olursa, hızlanma o kadar önemlidir. Algoritma, kullanıcıya bağımlı parametreler içermez ve tamamen otomatiktir. Algoritma, adım boyutu ölçekleme mekanizmasını kullanarak, öğrenme yineleme başına zaman alıcı bir satır aramasını önler ve bu da algoritmayı son

zamanlarda önerilen diğer ikinci dereceden algoritmalarından daha hızlı hale getirir (Müller, 1993).

3.6.3.2. Bayesian regularization algoritması (BR)

Standart geri yayılımdan daha sağlamdırlar ve çapraz doğrulama işlemini ortadan kaldıracırlar. Bayesian sürecini başlatmak için ağı ve ağırlıkların önceden dağılımını tanımlamamız gerekir. Herhangi bir veri setinin gelmesinden önce ağırlıkları belirlediğimiz yerde olasılık dağılımının yaklaşımını izler ve varıştan sonra düzenlenirler.

Bu algoritmada temel olarak 3 bölüm vardır:

- Kabul edilebilir bir değere indirgenecek olan kayıp fonksiyonu.
- Ağ için 'Gaussian error' modeli gibi bir Maksimum olasılık fonksiyonu vardır.
- Ağı önceki ağırlıklarını belirlemektir (Suri, 2017).

3.6.3.3. Levenberg-Marquardt algoritması

Levenberg-Marquardt (LM) algoritması, lineer olmayan gerçek değerli fonksiyonların karelerinin toplamı olarak öne sürülen çok değişkenli bir fonksiyonun minimumunu belirleyen yinelemeli bir yaklaşımdır. Günümüzde geniş bir disiplin yelpazesinde geniş çapta onaylanmış doğrusal olmayan en küçük kareler problemleri için standart bir tekniğe dönüşmüştür. En dik iniş bir birleşimi ve Gauss-Newton yöntemi olarak kabul edilir. Öngörülen sonuç deneysel sonuçtan uzak olduğunda, algoritma en dik bir iniş metodu gibi çalışır: yavaş, fakat yakınsak olduğundan emin olunur ve eğer öngörülen sonuç deneyselse yakınsa, Gauss-Newton metodu gibi davranır (Hung vd., 2012).

4. BULGULAR

Bu bölümde; Petkim şirketinde faaliyette bulunan ve araştırmamızın veri kaynağı temelini oluşturan Alstom ECO 110 Rüzgâr türbininin anlık güç ve C_p verileri ve RES sahasından ölçülerek elde edilen anlık güç verileri ile MBM'den alınan Aliğa ilçesi'ne ait basınç ve sıcaklık verilerinden faydalanarak bir YSA modeli Matlab NFTOOL (N-N-F-T) aracı kullanılarak oluşturmuş ve bu verilerden üretilen güç ve enerji tahmin modelleri geliştirilmiştir.

4.1. Güç Tahmini İçin Oluşturulan YSA Modeli

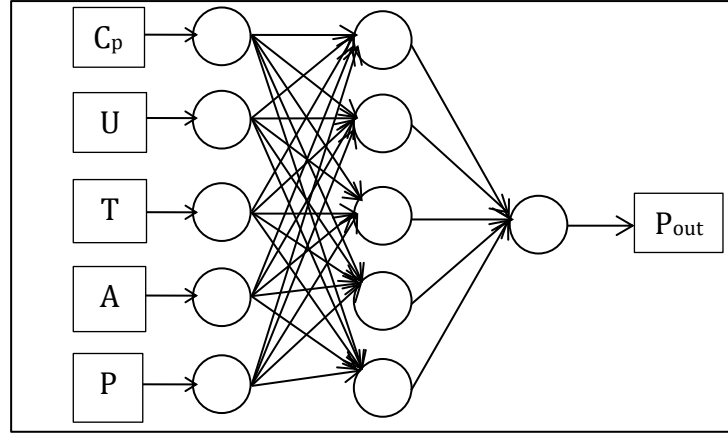
Atmosferde bulunan gazların belli bir kütlesi vardır ve rüzgâr şeklinde hareket etmeleri halinde kinetik enerjiye sahip olmaktadır. Hava akımındaki kinetik enerji ile rüzgâr türbininden güç elde edilir. Araştırmada Alstom ECO 110 rüzgâr türbinine ve meteorolojik verilerden rüzgâr türbini giriş tahminini YSA modelini oluşturmak için rüzgâr türbininden elde edilecek güç için formül 4.1 kullanılmıştır (Yeh vd., 2013).

$$P_{out} = \frac{1}{2} \rho C_p A U^3 \quad (4.1)$$

Formül de görüldüğü gibi türbinin üretebileceği güç hava yoğunluğu (ρ), güç katsayısı (C_p), kanatların taradığı alan (A), rüzgâr hızı (U) parametrelerine bağlıdır. Hava yoğunluğu ise formül 4.2'de görüldüğü gibi sıcaklık (T), basınç (P) ve gaz sabiti (R_d) parametrelerine bağlı bir değişkendir (Anonim, 2019 d).

$$\rho = P / (R_d * T) \quad (4.2)$$

Bu denklemlerden türbin gücünün C_p , U , T , A , P parametrelerine bağlı olduğu görülmektedir. Buna istinaden YSA modeli Şekil 4.1.'de görüldüğü gibi 5 giriş (C_p , U , T , A , P) ve 1 çıkış (P_{out}) olarak belirlenmiştir.



Şekil 4.1. 5 giriş 1 çıkış YSA modeli

Araştırma aşağıdaki adımlardan oluşmuştur:

1. Adım: Tahmin modelinde kullanılacak eğitim algoritmasının belirlenmesi,
2. Adım: Tahmin modelinde kullanılacak gizli katman nöron sayısının belirlenmesi,
3. Adım: Farklı giriş parametrelerine göre çıkış parametresinin başarımının incelenmesi,
4. Adım: Matematiksel modelin oluşturulması,
5. Adım: Türbinde üretilebilecek enerji potansiyelinin tahmini.

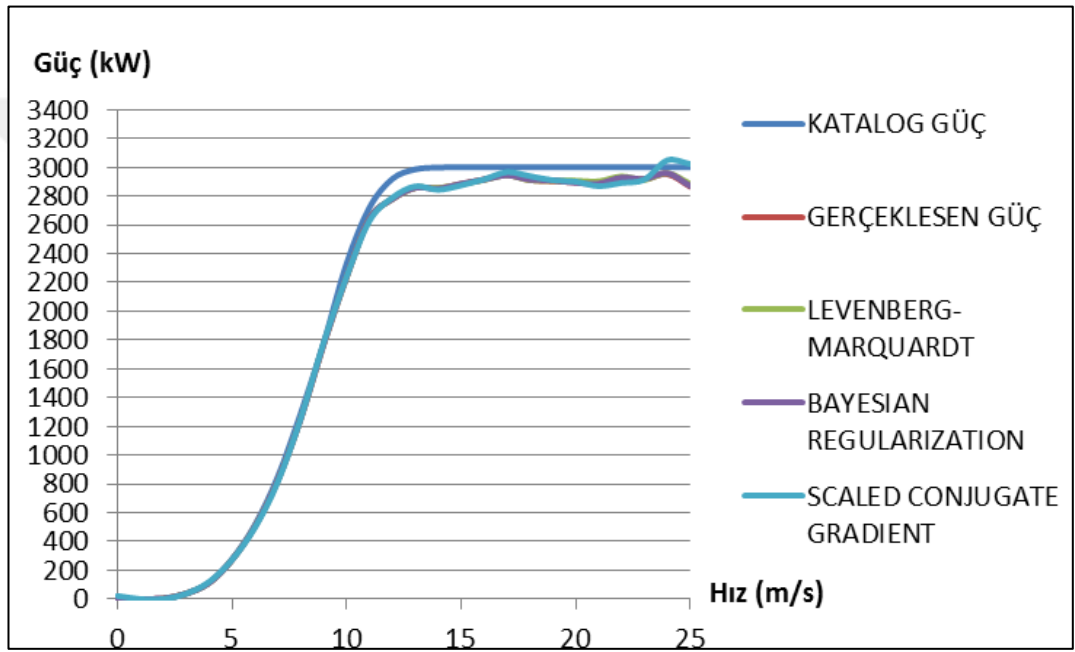
4.2. YSA Modelinde Kullanılacak Eğitim Algoritmalarının Belirlenmesi

NFTOOL, YSA modellerini Levenberg-Marquardt (LM), Scaled Conjugate Gradient (SCG) ve Bayesian Regularization (BR) eğitim algoritmaları ile eğitime imkân sağlamaktadır. Araştırmanın birinci adımında hazırlanan modellerin eğitiminde kullanılacak algoritmalar belirlenmiştir. Bunun için Model 5 (M5) %70 Training (Eğitim), %15 Validation (Doğrulama), %15 Testing (Deneme) ve 20 Hidden-Layer (HL – Gizli Katman) örneklemeleri ile her üç algortmada 10’ar kez eğitilerek eğitim ortalamaları kıyaslanmıştır. Çizelge 4.1.’de görüldüğü gibi her üç algortmada regresyon (R) analizleri %0,01’lik farklılıklarla başarılı sonuçlar vermiştir. Ancak MSE (Ortalama Kare Hata) değerleri karşılaştırıldığında LM algoritmasının örneklemelerinin hedefe daha yakın olduğunu gözlenmiştir. Sonuç olarak; NFTOOL modelindeki eğitimde LM algoritmasının kullanmasına karar verilmiştir.

Çizelge 4.1. LM, BR ve SCG algoritmalarının karşılaştırması

	TRAIN	VALIDATION	TEST	ALL
LEVENBERG-MARQUARDT	0,99985	0,99984	0,99984	0,99985
SCALED CONJUGATE GRADIENT	0,99962	0,99967	0,9996	0,99963
BAYESIAN REGULARIZATION	0,99985	0	0,99986	0,99985

Şekil 4.2.'de LM, BR, SCG algoritmalarının sonuçları Alstom ECO 110 rüzgâr türbinin katalog güç verisinin eğrisi ve sahada ölçülen güç verisinin eğrisi ile kıyaslanması görülmektedir. LM ve BR'nin gerçekleşen güç verisinin eğrisine daha yakın olarak tahmin ettiği görülmektedir.



Şekil 4.2. LM, BR ve SCG algoritmalarının karşılaştırması

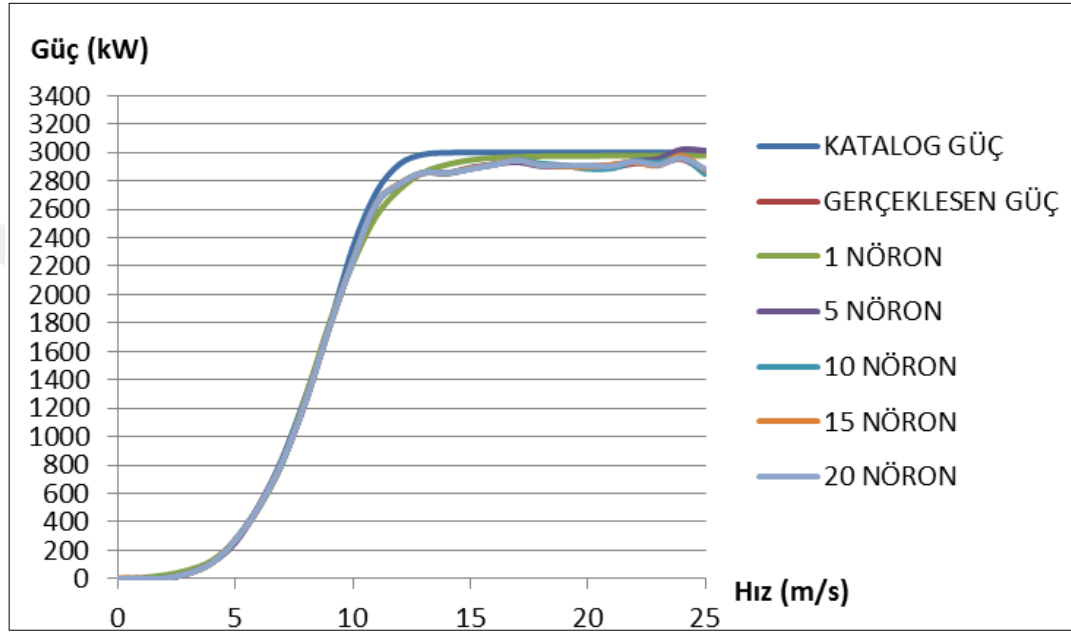
4.3. Tahmin Modelindeki Gizli Katman Nöron Sayısının Belirlenmesi

Bu adımda tahmin modeline uygun gizli katman nöron sayısını belirlemek için 1, 5, 10, 15 ve 20 nöronlu modeller denenmiştir.

Çizelge 4.2. Gizli katman nöron sayılarının karşılaştırması

Gizli Katman Nöron Sayısı	TRAIN	VALIDATION	TEST	ALL
1	0,99746	0,99769	0,99761	0,99752
5	0,99968	0,99965	0,99969	0,99968
10	0,9998	0,99978	0,99981	0,9998
15	0,99976	0,99976	0,99973	0,99976
20	0,99985	0,99984	0,99984	0,99985

Çizelge 4.2.'de de görüldüğü gibi eğitimdeki Regresyon (R) analizleri karşılaştırıldığında farkların %0,01'ler seviyesinde çok yakın olduğu görülmektedir. Ancak MSE (Ortalama Kare Hata) değerleri ve Şekil 4.3.'deki grafikler karşılaştırıldığında en iyi sonucu 20 nöron ile alındığı görülmektedir. Bu sonuca göre çalışmalara LM algoritması ve 20 nöron seviyesi ile devam edilmesine karar verilmiştir.



Şekil 4.3. Gerçekleşen ve katalog güç değerleri ile LM algoritmasında 1-5-10-15-20 gizli katman nöron seviyelerinin karşılaştırılması

4.4. Farklı Giriş Değişkenlerine Göre Çıkış Performansının İncelenmesi

Araştırmanın YSA modeli Şekil 4.1.'de görüldüğü gibi 5 giriş 1 çıkış olarak belirlenmiştir. Çalışmanın bu adımında, giriş değişkenlerinin hangilerinin tahmin edilecek gücü daha çok etkilediği araştırılmıştır. Bunun için Çizelge 4.3.'de görülen giriş kombinasyonlarından 31 model oluşturularak tahmin başarımları incelenmiştir. Çizelge 4.3.'de bu parametreler ile yapılan kombinasyonlar ve Matlab programı NFTOOL YSA Modellemesinde kullanılan giriş değişkenleri gösterilmiştir.

Çizelge 4.3. Modelleme kombinasyonları

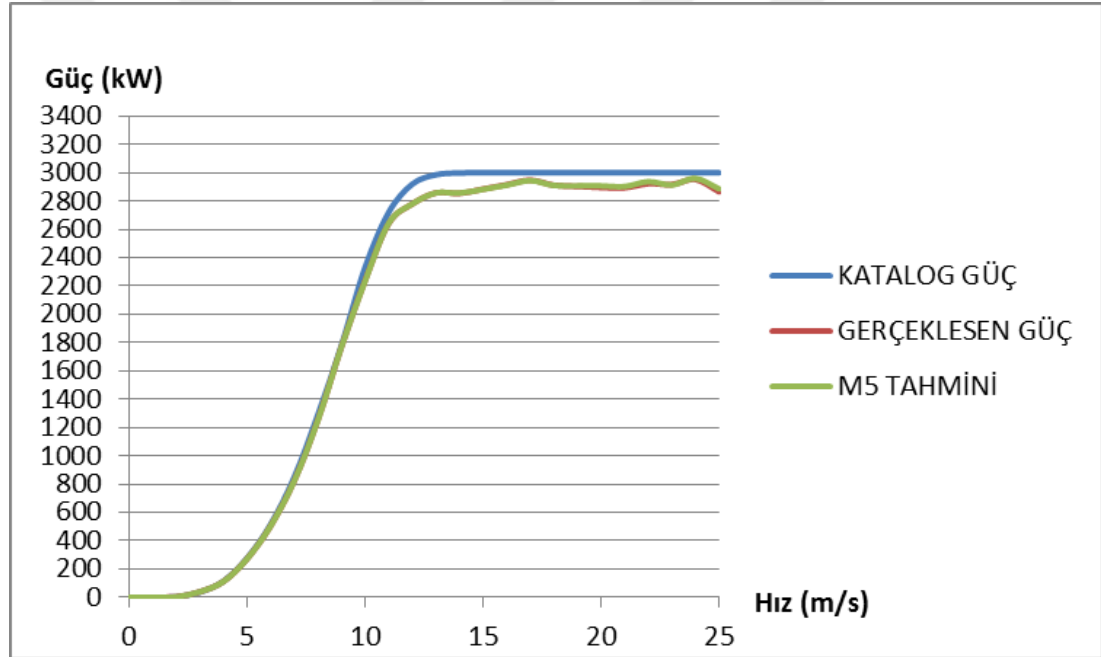
MODEL ADI	GİRİŞLER					ÇIKIŞ
M5	Cp	U	T	A	P(BASINÇ)	Pout
M4.1	Cp	U	T	P(BASINÇ)		Pout
M4.2	Cp	T	A	P(BASINÇ)		Pout
M4.3	U	T	A	P(BASINÇ)		Pout
M4.4	Cp	U	T	A		Pout
M4.5	Cp	U	A	P(BASINÇ)		Pout
M3.1	Cp	U	A			Pout
M3.2	U	A	P(BASINÇ)			Pout
M3.3	U	T	A			Pout
M3.4	Cp	A	P(BASINÇ)			Pout
M3.5	Cp	T	A			Pout
M3.6	T	A	P(BASINÇ)			Pout
M3.7	Cp	U	P(BASINÇ)			Pout
M3.8	Cp	U	T			Pout
M3.9	U	T	P(BASINÇ)			Pout
M3.10	Cp	T	P(BASINÇ)			Pout
M2.1	U	A				Pout
M2.2	Cp	A				Pout
M2.3	T	A				Pout
M2.4	A	P(BASINÇ)				Pout
M2.5	Cp	U				Pout
M2.6	U	T				Pout
M2.7	U	P(BASINÇ)				Pout
M2.8	Cp	T				Pout
M2.9	Cp	P(BASINÇ)				Pout
M2.10	T	P(BASINÇ)				Pout
M1.1	U					Pout
M1.2	Cp					Pout
M1.3	T					Pout
M1.4	P(BASINÇ)					Pout
M1.5	A					Pout

4.4.1. 5 giriş – 1 çıkış parametrelili M5 modelinin başarımının incelenmesi

M5 modelinde; giriş olarak meteorolojiden alınan P, T, U değerleri ve rüzgâr türbin katalog bilgisi olan A ve C_p değerleri, çıkış olarak da sahada ölçülen rüzgâr türbininin gerçek güç değerleri (P_{out}) kullanılmıştır. Bu modelin eğitimi sonunda elde edilen tahmin başarımları değerlerinin yüksek olduğu Çizelge 4.4.'de gösterilmektedir. Şekil 4.3.'de de M5 modelinin tahmin başarımının gerçekleşen güç ile benzerlik gösterdiği görülmektedir.

Çizelge 4.4. Model-5 kombinasyonu çıktıları

MODEL ADI	GİRİŞLER					ÇIKIŞ	TRAIN	VALIDATION	TEST	ALL
M5	C_p	U	T	A	P(BASINÇ)	Pout	0,99985	0,99984	0,99984	0,99985



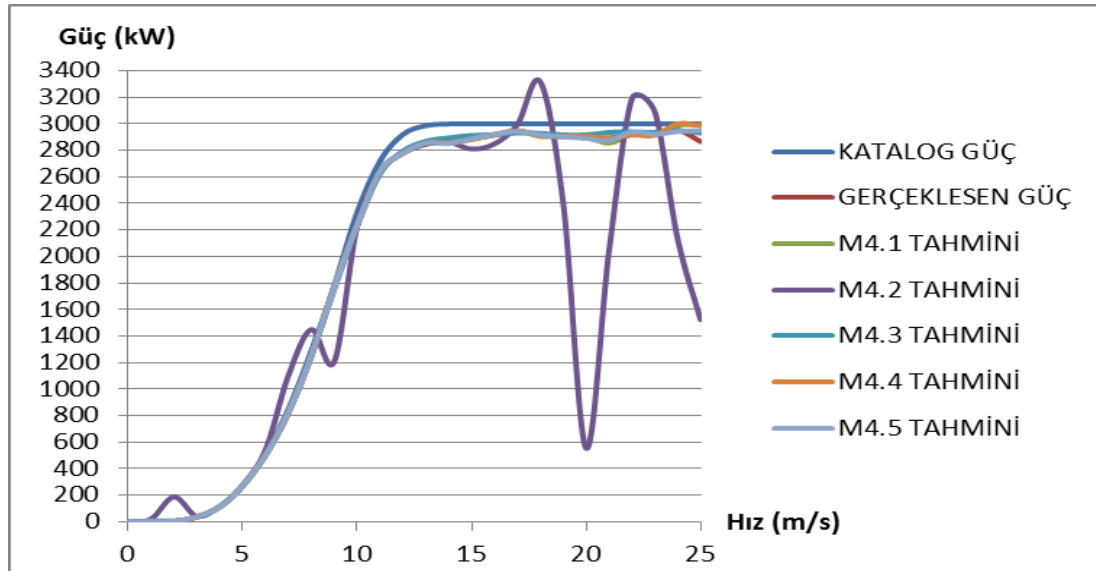
Şekil 4.4. M5 modelini tahmin başarımının gerçekleşen ve katalog güç değerleri ile karşılaştırılması

4.4.2. 4 giriş – 1 çıkış parametrelili M4 modelinin başarımının incelenmesi

M4 modelleri Çizelge 4.5.'de görüldüğü gibi P_{out} çıkış gücüne etki eden 5 parametrenin 4'lü kombinasyonlarından oluşmaktadır. Her modele ait başarımların sonuçları Çizelge 4.5.'de görülmektedir. Şekil 4.5.'de görüldüğü gibi M4.2 modelinin çalışmasının başarımlar değerlerinin normal olmayan grafik eğrileri oluşturduğunu ve rüzgâr hızı 20 (m/s) noktasında anlamsız bir kırımın meydana geldiğini, M4.1 modelinin hem grafiksel hem de Regresyon (R) analizi (Çizelge 4.5.) ve MSE (Ortalama Kare Hata) değeri bakımından gerçekleşen güç eğrisini en iyi tahmin ettiği görülmektedir. 4 girişli modellerden C_p , U, T ve P parametrelerinin en iyi sonucu verdiği anlaşılmaktadır.

Çizelge 4.5. Model-4 kombinasyonu çıktıları

MODEL ADI	GİRİŞLER				ÇIKIŞ	TRAIN	VALIDATION	TEST	ALL
M4.1	C_p	U	T	P(BASINÇ)	P_{out}	0,99985	0,99984	0,99984	0,99985
M4.2	C_p	T	A	P(BASINÇ)	P_{out}	0,96966	0,96859	0,97801	0,97075
M4.3	U	T	A	P(BASINÇ)	P_{out}	0,99827	0,99815	0,99815	0,99824
M4.4	C_p	U	T	A	P_{out}	0,99982	0,99981	0,99980	0,99982
M4.5	C_p	U	A	P(BASINÇ)	P_{out}	0,99958	0,99955	0,99958	0,99958



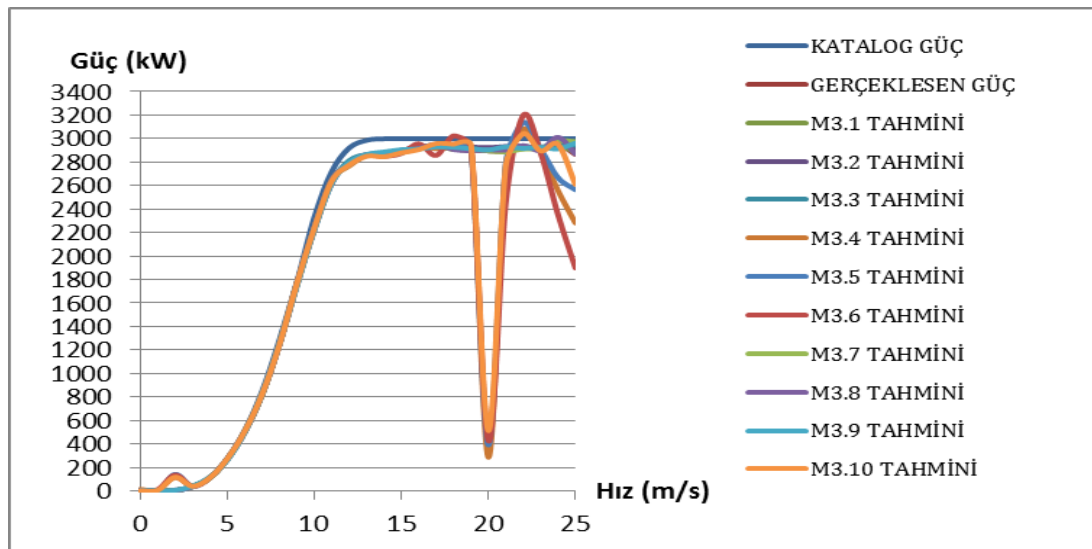
Şekil 4.5. M4 modellerinin tahmin başarımının gerçekleşen ve katalog güç değerleri ile karşılaştırılması

4.4.3. 3 giriş – 1 çıkış parametrelili M3 modelinin başarımının incelenmesi

M3 modelleri Çizelge 4.6.'de görüldüğü gibi P_{out} çıkış gücüne etki eden 5 parametrenin 3'lü kombinasyonlarından oluşmaktadır. Her modele ait başarımların sonuçları Çizelge 4.6.'da görülmektedir. Şekil 4.6.'da görüldüğü gibi M3.6 model çalışmasının başarımlar değerlerinin normal olmayan grafik eğrileri oluşturduğunu ve M3.4, M3.5, M3.10 modellemesinde rüzgâr hızı (20 m/s) noktasında anlamsız bir kırımın meydana geldiğini, M3.8 model çalışmasının hem grafiksel hem de Regresyon (R) analizi (Çizelge 4.6.) ve MSE (Ortalama Kare Hata) değeri bakımından en iyi sonuçları verdiği gözlemlendi. 3 girişli modellerden C_p , U ve T parametrelerinin en iyi sonucu verdiği anlaşılmaktadır.

Çizelge 4.6. Model-3 kombinasyonu çıktıları

MODEL ADI	GİRİŞLER			ÇIKIŞ	TRAIN	VALIDATION	TEST	ALL
M3.1	C_p	U	A	P_{out}	0,99927	0,99929	0,99931	0,99928
M3.2	U	A	P(BASINÇ)	P_{out}	0,99803	0,99779	0,99803	0,99799
M3.3	U	T	A	P_{out}	0,99822	0,99828	0,99815	0,99822
M3.4	C_p	A	P(BASINÇ)	P_{out}	0,98871	0,98864	0,98109	0,98755
M3.5	C_p	T	A	P_{out}	0,98716	0,99062	0,98730	0,98768
M3.6	T	A	P(BASINÇ)	P_{out}	0,27913	0,28244	0,30230	0,28325
M3.7	C_p	U	P(BASINÇ)	P_{out}	0,99954	0,99956	0,99949	0,99953
M3.8	C_p	U	T	P_{out}	0,99981	0,99979	0,99980	0,99980
M3.9	U	T	P(BASINÇ)	P_{out}	0,99822	0,99820	0,99818	0,99821
M3.10	C_p	T	P(BASINÇ)	P_{out}	0,98811	0,99023	0,98652	0,98817



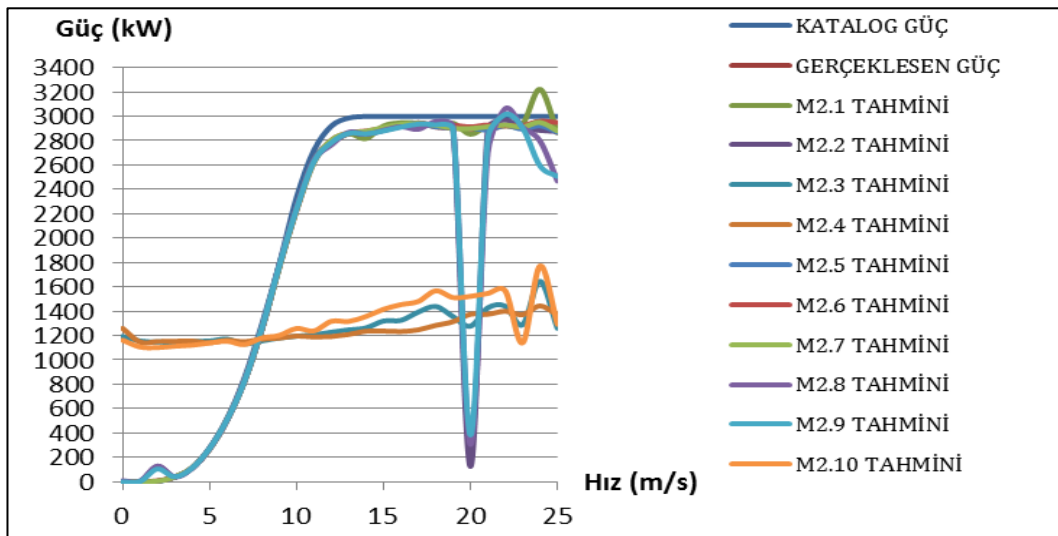
Şekil 4.6. M3 modellerinin tahmin başarımının gerçekleşen ve katalog güç değerleri ile karşılaştırılması

4.4.4. 2 giriş – 1 çıkış parametrelili M2 modelinin başarımının incelenmesi

M2 modelleri Çizelge 4.7.'de görüldüğü gibi P_{out} çıkış gücüne etki eden 5 parametrenin 2'li kombinasyonlarından oluşmaktadır. Her modele ait başarım sonuçları Çizelge 4.7.'de görülmektedir. Şekil 4.7.'de görüldüğü gibi M2.3, M2.4, M2.10 model çalışmalarının başarım değerlerinin normal olmayan grafik eğrileri oluşturduğunu ve M2.2, M2.8, M2.9 model çalışmalarında rüzgâr hızı 20 (m/s) noktasında anlamsız bir kırımanın meydana geldiğini, M2.5 model çalışmasının hem grafiksel hem de Regresyon (R) analizi (Çizelge 4.7.) ve MSE (Ortalama Kare Hata) değeri bakımından en iyi sonuçları verdiği gözlemlendi. 2 girişli modellerden C_p ve U parametrelerinin en iyi sonucu verdiği anlaşılmaktadır.

Çizelge 4.7. Model-2 kombinasyonu çıktıları

MODEL ADI	GİRİŞLER		ÇIKIŞ	TRAIN	VALIDATION	TEST	ALL
M2.1	U	A	Pout	0,99893	0,99879	0,99891	0,99890
M2.2	C_p	A	Pout	0,98814	0,98229	0,98610	0,98698
M2.3	T	A	Pout	0,21297	0,13948	0,14527	0,19209
M2.4	A	P(BASINÇ)	Pout	0,15414	0,16822	0,13253	0,15282
M2.5	C_p	U	Pout	0,99926	0,99926	0,99923	0,99926
M2.6	U	T	Pout	0,99825	0,99825	0,99811	0,99823
M2.7	U	P(BASINÇ)	Pout	0,99799	0,99825	0,99785	0,99800
M2.8	C_p	T	Pout	0,98812	0,98457	0,98946	0,98779
M2.9	C_p	P(BASINÇ)	Pout	0,98791	0,98944	0,98564	0,98783
M2.10	T	P(BASINÇ)	Pout	0,27913	0,28244	0,30230	0,28325



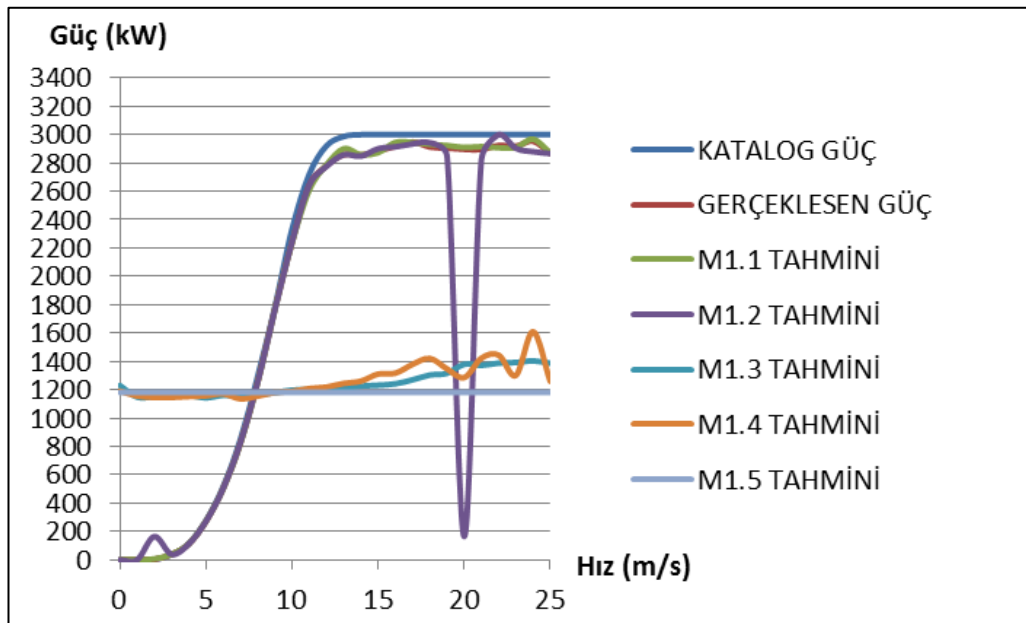
Şekil 4.7. M2 modellerinin tahmin başarımının gerçekleşen ve katalog güç değerleri ile karşılaştırılması

4.4.5. 1 giriş – 1 çıkış parametrelili M1 modelinin başarımının incelenmesi

M1 modelleri Çizelge 4.8.'de görüldüğü gibi P_{out} çıkış gücüne etki eden 5 parametrenin 1'li kombinasyonlarından oluşmaktadır. Her modele ait başarım sonuçları Çizelge 4.8.'de görülmektedir. Şekil 4.8.'de görüldüğü gibi M1.3, M1.4, M1.5 model çalışmalarının başarım değerlerinin normal olmayan grafik eğrileri oluşturduğunu ve M1.2 model çalışmalarında rüzgâr hızı 20 (m/s) noktasında anlamsız bir kılırimın meydana geldiğini, M1.1 model çalışmasının hem grafiksel hem de Regresyon (R) analizi (Çizelge 4.8.) ve MSE (Ortalama Kare Hata) değeri bakımından en iyi sonuç verdiği gözlemlendi. M1.5'in etkisinin çok sınırlı olduğu gözlemlendi. 1 girişli modellerden U parametresinin en iyi sonucu verdiği anlaşılmaktadır.

Çizelge 4.8. Model-1 kombinasyonu çıktıları

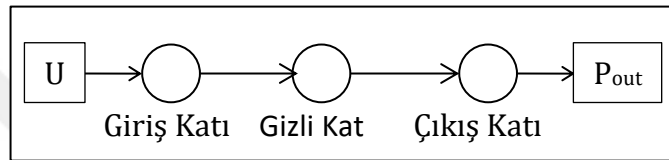
MODEL ADI	GİRİŞLER	ÇIKIŞ	TRAIN	VALIDATION	TEST	ALL
M1.1	U	Pout	0,99832	0,99812	0,99833	0,99829
M1.2	Cp	Pout	0,98812	0,98312	0,98535	0,98696
M1.3	T	Pout	0,16417	0,13302	0,14855	0,15723
M1.4	P(BASINÇ)	Pout	0,19704	0,19102	0,18204	0,19384
M1.5	A	Pout	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000



Şekil 4.8. M1 modellerinin tahmin başarımının gerçekleşen ve katalog güç değerleri ile karşılaştırılması

4.5. Matematiksel Modelin Oluşturulması

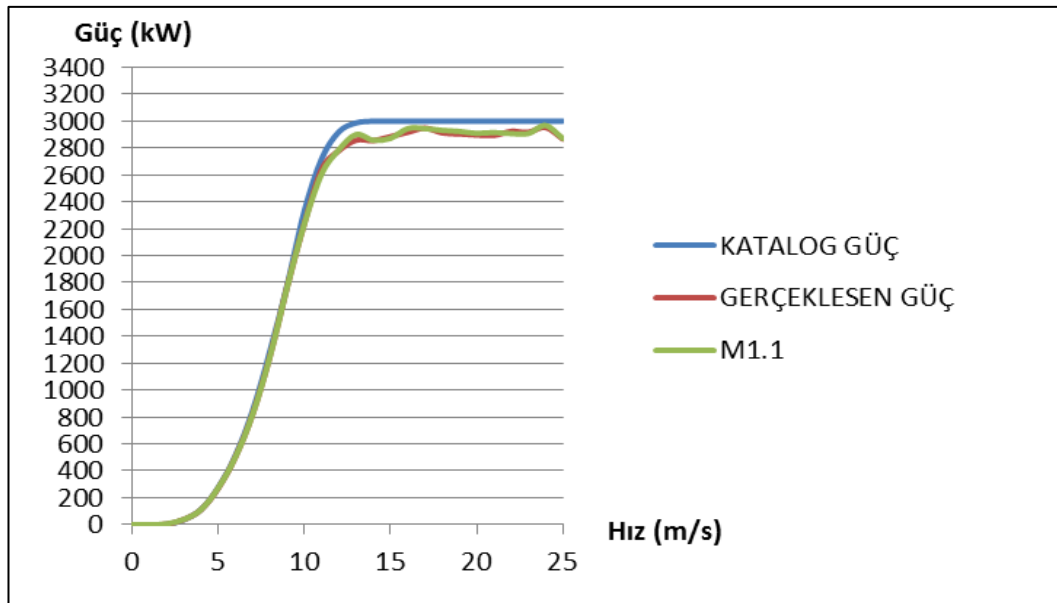
Çizelge 4.3.'de verilen giriş kombinasyonlarına göre yapılan modellemeler sonunda 5, 4, 3, 2 ve 1 girişli modellerden yüksek oranda tahmin başarımı gösteren modeller ilgili bölümlerde belirtilmiştir. Çalışmanın bu bölümünde güç tahmini için olabildiğince sade bir matematiksel model çıkartmak için 1 giriş (U), 1 nöronlu gizli katman ve 1 çıkışlı Şekil 4.9.'daki YSA modeli tasarlanmıştır. Tasarlanan modelin çıktıları Çizelge 4.9.'da görüldüğü gibi yüksek çıkmış ve Şekil 4.10.'da da görüldüğü gibi M1.1 modelinin tahmin başarımını gerçekleştiren ve katalog güç değerlerine çok yakın çıkmıştır.



Şekil 4.9. 1 giriş 1 nöronlu gizli katmanlı 1 çıkış YSA modeli

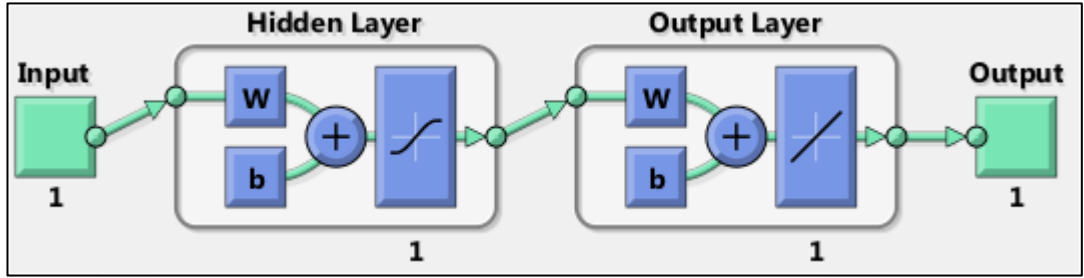
Çizelge 4.9. M1.1 kombinasyonu çıktısı

MODEL ADI	GİRİŞLER	ÇIKIŞ	TRAIN	VALIDATION	TEST	ALL
M1.1	U	Pout	0,99725	0,99727	0,99712	0,99723

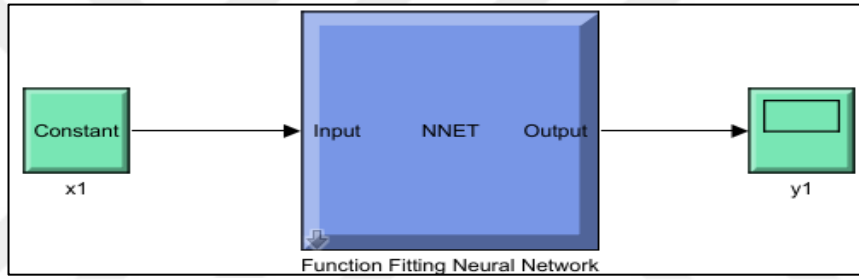


Şekil 4.10. M1.1 modelinin tahmin başarımının gerçekleşen ve katalog güç değerleri ile karşılaştırılması

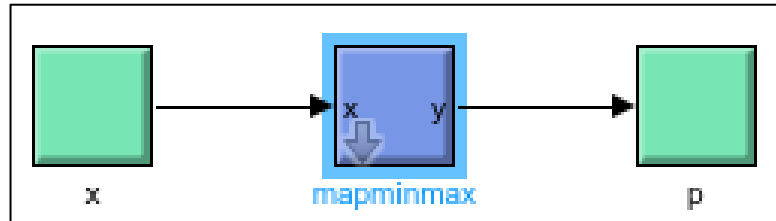
NFTOOL'un simulink modeli de aşağıdaki şekillerde görüldüğü gibidir. Şekil 4.11.'de oluşturulan YSA'nın gizli katman modeli, Şekil 4.12.'de modelin genel şekli, Şekil 4.13.'de normalizasyon modeli, Şekil 4.14.'de katman modelleri, Şekil 4.15.'de birinci katman modeli, Şekil 4.16.'da ikinci katman modeli, Şekil 4.17.'de denormalizasyon modeli görülmektedir.



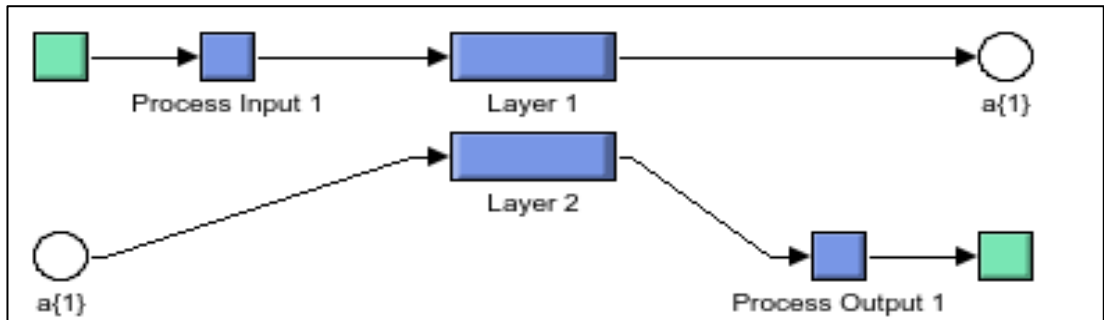
Şekil 4.11. YSA gizli katman modeli



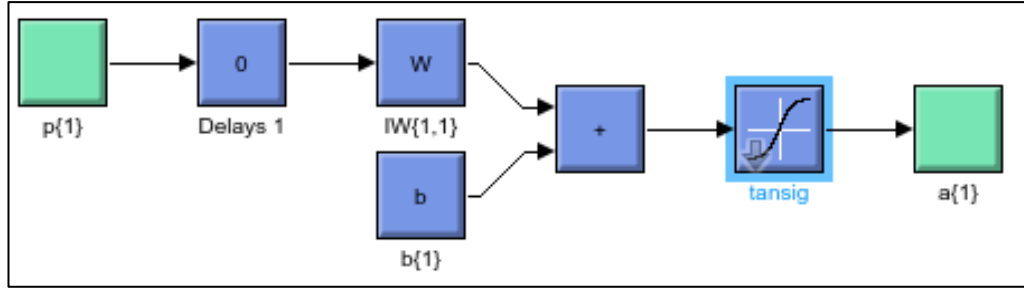
Şekil 4.12. YSA modelinin genel şekli



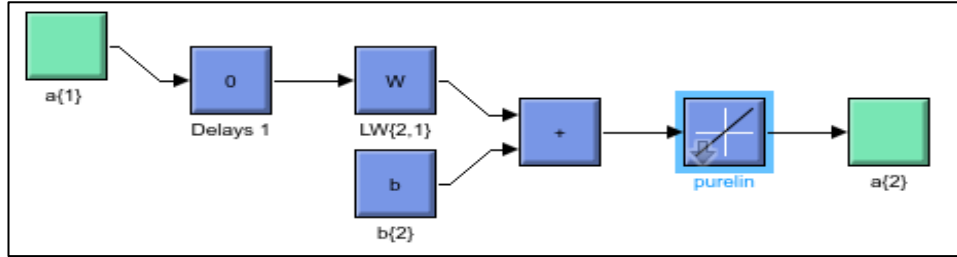
Şekil 4.13. YSA normalizasyon modeli



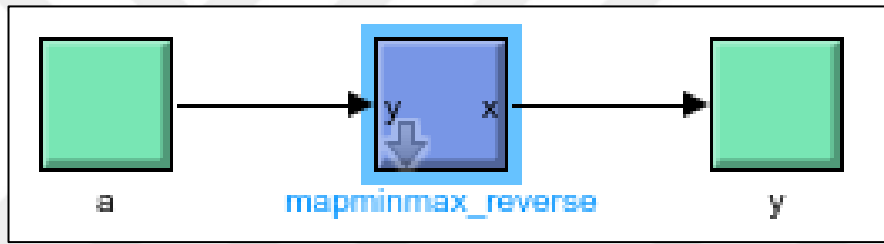
Şekil 4.14. YSA katman modelleri



Şekil 4.15. YSA 1. katman modeli



Şekil 4.16. YSA 2. katman modeli



Şekil 4.17. YSA denormalizasyon modeli

Simulink bloglarının matematiksel modelleri çıkarıldığında hesaplamaların Çizelge 4.10.'daki gibi 5 adımda tamamlandığı görülmektedir.

Çizelge 4.10. YSA modelinin işlem sırası ve matematiksel fonksiyonları

Adım Sayısı	İşlemin Adı	Matematiksel Fonksiyonu
1	Normalizasyon İşlemi	$p_1 = 2 * \frac{(x-x_{min})}{(x_{max} - x_{min})} - 1$
2	1.Katman Toplama İşlemi	$n_1 = p_1 * w_1 + b_1$
3	Aktivasyon İşlemi	$a_1 = 2/(1+e^{-2*n_1})-1$
4	2.Katman Toplama İşlemi	$n_2 = a_1 * w_2 + b_2$
5	Purelin	$n_2 = a_2$
6	Denormalizasyon İşlemi	$y = (a_2 + 1) * \frac{(x_{max}-x_{min})}{2} + x_{min}$

M1.1 modeli (U-Hız) için Çizelge 4.10.'daki matematiksel fonksiyonlara Matlab programında hesaplanan ağırlıklar (w_1 , w_2) ve bias (b_1 , b_2) değişkenleri eklendiği zaman aşağıdaki matematiksel model ortaya çıkmaktadır. Bu modelde p_1 normalizasyon işleminin çıktısını, n_1 1.katman toplama işleminin çıktısını, a_1

aktivasyon işleminin çıktısını, n2 2.katman toplama işleminin çıktısını, a2 purelin çıktısını, y denormalizasyon işleminin çıktısını ifade etmektedir. Matematiksel modelin tamamı 4.3.a – 4.3.f formülleri ile verilmiştir.

$$p1 = ((2*U)-(2*0)) / (24,565354-0)-1; \quad (4.3.a)$$

$$n1 = U*(4,285758880505616375)+(1,35688582904416636605); \quad (4.3.b)$$

$$a1 = 2 / (1+\exp(-2*E1))-1; \quad (4.3.c)$$

$$n2 = F1*(0,99855967031696912795)+(-0,0088310766133275257235); \quad (4.3.d)$$

$$n2 = a2; \quad (4.3.e)$$

$$y = (a2+1)*(3000-0) / 2+0. \quad (4.3.f)$$

Bu matematiksel modelin C kodu Çizelge 4.11.'de verilmiştir.

Çizelge 4.11. Matematiksel modelin C kodu

```
#include <iostream>
#include <conio.h>
#include <math.h>
using namespace std;
double Pout(double U)
{
U = ((2 * U) - (2 * 0)) / (24.565354 - 0) - 1;
double E1 = U * (4.285758880505616375) + (1.35688582904416636605);
double F1 = 2 / (1 + exp(-2 * E1)) - 1;
double E2 = F1 * (0.99855967031696912795) + (-0.0088310766133275257235);
double F2 = E2;
return F2 = (F2 + 1) * (3000 - 0) / 2 + 0;
}
main ()
{
double U;
cout<<"U=";cin>>U;
```

4.6. Rüzgâr Enerji Potansiyeli Tahmini İçin Oluşturulacak Model

Bölüm 4.1. - 4.5.' te YSA ile güç tahmin modellemeleri yapılmıştır. Bu bölümde; Petkim RES sahasında ölçülmüş olan rüzgâr hızı verilerden elde edilen gerçek esme süreleri ve ortalama rüzgâr hızı ile dağılımın belirlenmesine imkan tanıyan ve rüzgâr çalışmalarında geçerliliği referans alınan Rayleigh dağılım fonksiyonuyla elde edilen esme hızı sürelerine göre gerçekleşen rüzgâr enerji potansiyeli ile YSA M1.1 modeliyle elde edilen rüzgâr enerji potansiyeli karşılaştırılmaktadır. Rayleigh dağılım fonksiyonuna göre esme saati formül 4.4 ile hesaplanır.

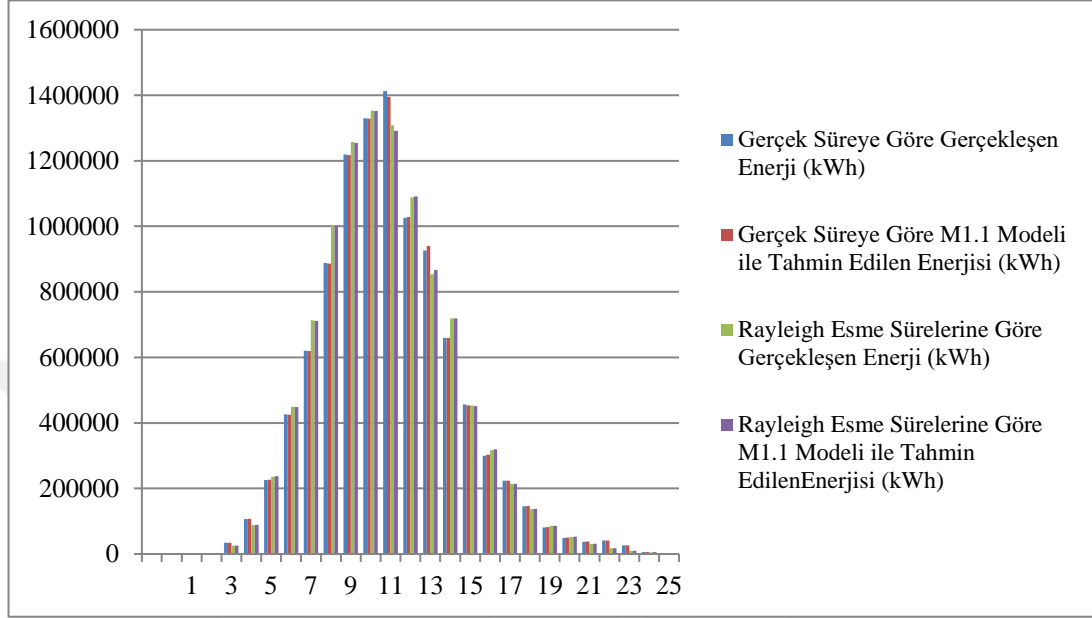
$$h_r = \frac{\pi}{2} * (U/U_{ort})^2 * \exp(-\frac{\pi}{4} * (U/U_{ort})^2) \quad (4.4)$$

Burada h_r rüzgâr esme saatini, U rüzgâr hızını, U_{ort} rüzgâr hız verilerinin ortalamasını ifade etmektedir. Rüzgâr hızlarının gerçek esme süreleri ve Rayleigh dağılım fonksiyonu ile hesaplanan esme süreleri Çizelge 4.12.'de verilmiştir.

Çizelge 4.12. Rüzgâr hızlarının gerçek ve Rayleigh dağılım fonksiyonu ile hesaplanan esme süreleri

Rüzgâr Hızı (m/s)	Rüzgâr Gerçek Esme Süresi (saat)	Rayleigh Metodu ile Rüzgâr Esme Süresi (saat)
0	0	0
1	201	242,2025581
2	357	464,4542246
3	868	649,5179685
4	955	785,0723782
5	829	865,0123315
6	843	889,6699676
7	753	865,0155269
8	709	801,1001821
9	689	710,1222667
10	594	604,5151598
11	535	495,3808958
12	369	391,4623374
13	324	298,7012627
14	231	251,7801301
15	158	157,189413
16	103	108,5688844
17	76	72,62906794
18	50	47,07962651
19	28	29,58256697
20	17	18,0242333
21	13	10,65156558
22	14	6,106705488
23	9	3,397230949
24	2	1,834189556
25	1	0,961239301

Şekil 4.18.'de rüzgâr hızının gerçek esme sürelerine göre gerçekleşen ve M1.1 modeliyle elde edilen rüzgâr enerji potansiyeli ile Rayleigh dağılım fonksiyonu ile elde edilen esme sürelerine göre gerçekleşen ve M1.1 modeliyle elde edilen rüzgâr enerji potansiyelleri karşılaştırılmıştır.



Şekil 4.18. Rüzgâr hızının gerçek esme sürelerine göre gerçekleşen ve M1.1 modeliyle elde edilen rüzgâr enerji potansiyeli ile Rayleigh dağılım fonksiyonu ile elde edilen esme sürelerine göre gerçekleşen ve M1.1 modeliyle elde edilen rüzgâr enerji potansiyelleri karşılaştırılması

Çizelge 4.13.'de rüzgâr hızının gerçek esme sürelerine göre gerçekleşen ve M1.1 modeliyle elde edilen rüzgâr enerji potansiyeli ile Rayleigh dağılım fonksiyonu ile elde edilen esme sürelerine göre gerçekleşen ve M1.1 modeliyle elde edilen rüzgâr enerji potansiyel verileri gösterilmiştir.

Çizelge 4.13. Rüzgâr hızının gerçek esme sürelerine göre gerçekleşen ve M1.1 modeliyle elde edilen rüzgâr enerji potansiyeli ile Rayleigh dağılım fonksiyonu ile elde edilen esme sürelerine göre gerçekleşen ve M1.1 modeliyle elde edilen rüzgâr enerji potansiyel verileri

Rüzgâr Hızı (m/s)	Gerçek Süreye Göre Gerçekleşen Enerji (kWh)	Gerçek Süreye Göre M1.1 Modeli Enerjisi (kWh)	Rayleigh Esme Sürelerine Göre Gerçekleşen Enerji (kWh)	Rayleigh Esme Sürelerine Göre M1.1 Modeli Enerjisi (kWh)
0	0	0	0	0
1	0	0	0	0
2	1428	2499	1857,816898	3251,179572
3	33852	33852	25331,20077	25331,20077
4	106960	107915	87928,10636	88713,17873
5	225488	227146	235283,3542	237013,3788
6	425715	424872	449283,3336	448393,6637
7	620472	618966	712772,7942	711042,7631
8	888377	886250	1003778,528	1001375,228
9	1219530	1217463	1256916,412	1254786,045
10	1329966	1328778	1353509,443	1352300,412
11	1412935	1395280	1308300,946	1291953,376
12	1025820	1028403	1088265,298	1091005,534
13	925992	939600	853688,2089	866233,6619
14	659505	659967	718832,2715	719335,8317
15	455830	453776	453491,4565	451447,9941
16	300348	303232	316586,8669	319626,7957
17	224048	223744	214110,4923	213819,976
18	145600	146550	137095,8724	137990,3853
19	81312	81844	85907,77448	86469,84325
20	49232	49453	52198,17963	52432,49467
21	37622	37895	30825,63079	31049,31366
22	40922	40698	17849,90014	17752,19285
23	26253	26172	9909,722678	9879,1476
24	5906	5934	5416,361758	5442,040412
25	2866	2870	2754,911838	2758,756795

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Yenilenebilir enerji kaynakları dünyamızın mücadelesini verdiği enerji çıkmazı çözümünün önemli bir parçasını oluşturmaktadır. Bu kaynakların yönetiminin doğru yapılması, çok yatırım yapılması kadar önemlidir. Kaynak yönetimi, arz talep dengesini korumak için ihtiyacı öngörmek kadar, kaynak potansiyelini de ön görmekten geçmektedir. Özellikle rüzgâr gibi gücü doğa koşullarına bağlı olarak sürekli değişiklik gösteren kaynakların oluşmasına etken olan parametrelerin sürekli izlenerek, ileri tarihli doğru güç üretim tahminlerini yapmak, depolanamayan bu enerjinin verimli kullanılmasına büyük katkı sağlayacaktır.

Bu çalışmada da, İzmir ili Aliğa ilçesinin geçmişte yapılan gözlem ve ölçümlerin sonunda ortaya konulan enerji potansiyelinin verimli bir şekilde kullanılması için YSA yöntemi kullanılarak bir tahminleme araştırması yapılmıştır.

Araştırmada Petkim RES sahasında kurulu olan Alstom ECO 110 rüzgâr türbininin, 2018 yılına ait, elde edilen güç verileri ve MBM'den alınan, 2018 yılına ait, meteorolojik verilerden faydalanılarak YSA modelleri geliştirilmiştir. Geliştirilen modellerden çizelge 5.1.'de verilen 5, 4, 3, 2 ve 1 parametre girişli modellerinin üretilen rüzgâr gücü değerlerini 0,99 oranında yüksek doğrulukla tahmin edebildiği görülmüştür. Özellikle sadece rüzgâr hızına bağlı tahmin kullanılmasının çok pratik bir yöntem olacağı öngörülebilir.

Çizelge 5.1. 5, 4, 3, 2 ve 1 parametre girişli modellerden en iyi sonucu veren modeller

MODEL ADI	GİRİŞLER				ÇIKIŞ	TRAIN	VALIDATION	TEST	ALL	
M5	Cp	U	T	A	P(BASINÇ)	Pout	0,99985	0,99984	0,99984	0,99985
M4.1	Cp	U	T	P(BASINÇ)		Pout	0,99985	0,99984	0,9998	0,9999
M3.8	Cp	U	T			Pout	0,99981	0,99979	0,99980	0,99980
M2.5	Cp	U				Pout	0,99926	0,99926	0,99923	0,99926
M1.1	U					Pout	0,99832	0,99812	0,99833	0,99829

Araştırmanın sonunda bu modellerden 1 girişli modelin matematiksel modeli çıkartılarak uygulaması yapılmıştır. Araştırma sonunda ayrıca, bölgedeki rüzgâr hızı esme süreleri hesaba katılarak üretilen rüzgâr enerjisi tahminlemesi de yapılmıştır.

Geliştirilen bu modeller ve araştırma çıktısı olan matematiksel modeller ile bölgenin rüzgâr gücü ve rüzgâr enerji potansiyeli tahmin edilerek etkin kullanıma yönelik bir planlamaya gidilebilecektir.

Geliştirilen bu tür modeller sayesinde, enerji üreticileri enerji planlamalarını daha sağlıklı yapmak için bu tür modellerden faydalanabilecektir. İleriki çalışmalarda YSA eğitim seti daha da genişletilerek daha iyi eğitilmiş modeller ve daha yüksek oranlı doğru tahminler yapılabilecektir.

Araştırmada elde edilen bulgular sadece Alstom ECO 110 rüzgâr türbini için geçerli olduğundan, bu çalışma modeli ülkenin diğer bölgelerindeki diğer rüzgâr türbinleri için ayrı ayrı yapılmalıdır.

KAYNAKLAR

- Anonim (2012). <http://www.tureb.com.tr/yayinlar/wind-business-in-turkey> (Erişim Tarihi: 02.01.2019)
- Anonim (2015). <http://www.izto.org.tr/tr/izmir-enerji> (Erişim Tarihi: 05.04.2019)
- Anonim (2016). http://www.emo.org.tr/ekler/f236bbe59930b1c_ek.pdf?dergi=1035 (Erişim Tarihi: 03.03.2019)
- Anonim (2017). <https://www.facebook.com/SOCARTR/posts/1367840823328480/> (Erişim Tarihi: 02.01.2019)
- Anonim (2018 a). <http://www.yegm.gov.tr/yenilenebilir.aspx> (Erişim Tarihi: 03.12.2018)
- Anonim (2018 b). https://www.mgm.gov.tr/FILES/haberler/2010/rets-seminer/2_Mustafa_CALISKAN_RITM.pdf (Erişim Tarihi: 05.02.2019)
- Anonim (2018 c). <https://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Ruzgar> (Erişim Tarihi: 05.01.2019)
- Anonim (2018 d). http://www.yegm.gov.tr/yenilenebilir/ruzgar-ruzgar_enerjisi.aspx (Erişim Tarihi: 03.12.2018)
- Anonim (2018 e). <http://nenmore.blogspot.com/2010/05/power-giant-builds-tex-wind-plant.html> (Erişim Tarihi: 05.12.2018)
- Anonim (2018 f). <https://en.wind-turbine-models.com/turbines/792-alstom-eco-110> (Erişim Tarihi: 05.11.2018)
- Anonim (2018 g). <http://www.yegm.gov.tr/YEKrepa/IZMIR-REPA.pdf> (Erişim Tarihi: 03.12.2018)
- Anonim (2019 a). <https://www.epdk.org.tr/Detay/DownloadDocument?id=5ksf9ErIf10=> (Erişim Tarihi: 03.02.2019)
- Anonim (2019 b). <http://www.tarikuzgun.com/kategori/endustriyel-1#lg=1&slide=16> (Erişim Tarihi: 05.01.2019)
- Anonim (2019 c). <https://www.google.com/maps/place/Alia%C4%9Fa%2F%C4%B0zmir/@38.8228851,26.9448708,22106m/data=!3m1!1e3!4m5!3m4!1s0x14ba259c9b90eabb:0x7910193dab414d7b!8m2!3d38.8211393!4d27.0558707> (Erişim Tarihi: 02.01.2019)
- Anonim (2019 d). <https://www.mgm.gov.tr/FILES/genel/sss/temelformuller.pdf> (Erişim Tarihi: 08.01.2019)

- Artar, H. (2005). *Gökçeada Rüzgâr Enerji Potansiyelinin İncelenmesi ve Enerji Dönüşüm Analizi*. (Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü)
- Bilgili, M. (2007). *Predictions of Wind Speed And Wind Power Potential Using Artificial Neural Networks*. (Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü)
- Cantürk, S. (2018). *Bir Rüzgâr Çiftliğinden Yapay Sinir Ağlarıyla Kısa Süreli Elektrik Üretim Tahmini*. (Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü)
- Catalão, J.P.S., Pousinho, H.M.I., Mendes, V.M.F. (2010). Short-Term Wind Power Forecasting in Portugal by Neural Networks and Wavelet Transform. *Renewable Energy*, 36(4), 1245-1251. doi:10.1016/j.renene.2010.09.016
- Çetin, N.S. (2006). *Şebeke Bağlantısız Pm Generatörlü Rüzgâr Türbinlerinin YSA ile Sistem Optimizasyonu*. (Doktora Tezi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü)
- Fadare, D.A. (2009). The Application of Artificial Neural Networks to Mapping of Wind Speed Profile for Energy Application in Nigeria. *Applied Energy*, 87(3), 934-342. doi:10.1016/j.apenergy.2009.09.005
- Grassi, G., Vecchio, P. (2009). Wind Energy Prediction Using a Two-Hidden Layer Neural Network. *Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation*, 15(9), 2262-2266. doi:10.1016/j.cnsns.2009.10.005
- Hung, L.D., Kha, P.C., Trang, N.T.T., Tu, B.T. (2012). *Parameter Extraction and Optimization Using Levenberg-Marquardt*. 2012 Fourth International Conference on Communications and Electronics, August 01-03, Browse Conferences, 434-437.
- İlkiliç, C. (2011). Wind Energy and Assessment of Wind Energy Potentialın Turkey. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(2), 1165-1173. doi:10.1016/j.rser.2011.11.021
- Karabacak, K. (2016). *Rüzgâr-Fotovoltaik Hibrit Güç Sistemlerinin Yapay Sinir Ağları ile Kontrolü*. (Doktora Tezi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü)
- Li, S. (2003). Wind Power Prediction Using Recurrent Multilayer Perceptron Neural Networks. *2003 IEEE Power Engineering Society General Meeting*, 4, 2325-2330. doi.org/ 10.1109/PES.2003.1270992
- Liu, H., Tian, H., Li, Y., Zhang, L. (2014). Comparison of Four Adaboost Algorithm Based Artificial Neural Networks in Wind Speed Predictions. *Energy Conversion and Management*, 92, 67-81. doi.org/10.1016/j.enconman.2014.12.053

- Mabel, M.C., Fernandez, E. (2009). Estimation of Energy Yield From Wind Farms Using Artificial Neural Networks. *IEEE Transactions on Energy Conversion*, 24(2), 459-464. doi.org/ 10.1109/TEC.2008.2001458
- Mert, İ. (2018). *Hatay Bölgesi Rüzgâr Enerjisi Potansiyelinin Olasılık Dağılımları ve Yapay Sinir Ağları ile Modellenmesi*. (Doktora Tezi, İskenderun Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü)
- Methaprayoon, K., Yingvivatanapong C., Lee W.J., Liao J.R. (2007). An Integration of ANN Wind Power Estimation into Unit Commitment Considering The Forecasting Uncertainty. *IEEE Transactions on Industry Applications*, 43(6), 1441-1448. doi.org/ 10.1109/TIA.2007.908203
- Müller, M.F. (1993). A Scaled Conjugate Gradient Algorithm for Fast Supervised Learning. *Neural Networks*, 6(4), 525-533. doi.org/10.1016/S0893-6080(05)80056-5
- Ramasamy, P., Chandel, S.S., Yadav, A.K. (2015). Wind Speed Prediction in The Mountainous Region of India Using an Artificial Neural Network Model. *Renewable Energy*, 80, 338-347. doi.org/10.1016/j.renene.2015.02.034
- Saray, U. (2012). *Rüzgâr Potansiyelinin Yapay Sinir Ağlarıyla Analizi ve Uygulaması*. (Yüksek Lisans Tezi, Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü)
- Suri, F.M. (2017). *Signal Classification Using Bayesian Regularization and LM Algorithm*. 2017 IEEE International Conference on Signal Processing, Informatics, Communication and Energy Systems, August 08-10, Browse Conferences. 1-6.
- Şenol, Ü. (2017). *Rüzgâr Enerjisi ve Rüzgâr Enerjisi Potansiyelinin Yapay Sinir Ağları Yöntemiyle Tahmini*. (Yüksek Lisans Tezi, Bozok Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü)
- Yaniktepe B., Savrun M., Koroglu T. (2013). Current Status of Wind Energy and Wind Energy Policy in Turkey. *Energy Conversion and Management*, 72, 103-110. doi.org/10.1016/j.enconman.2012.08.028
- Yeh, W.C., Yeh, Y.M., Chang, P.C., Ke, Y.C., Chung, V. (2013). Forecasting Wind Power in the Mai Liao Wind Farm Based on the Multi-Layer Perceptron Artificial Neural Network Model with Improved Simplified Swarm Optimization. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 55, 741-748. doi.org/10.1016/j.ijepes.2013.10.001
- Yeşilnacar, Y.O. (2011). *Bilecik İlinin Yapay Sinir Ağları İle Rüzgâr Hızı, Basınç ve Sıcaklık Tahmini*. (Yüksek Lisans Tezi, Bilecik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü)

Yıldız, C. (2016). *Yapay Sinir Ağlarıyla Yapılmış Rüzgâr Hızı Tahmin ve Gözlem Serilerinden Enerji Üretim Hesabı Karşılaştırması*. (Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Enerji Enstitüsü)

Zorlu, E. (2015). *İç Anadolu Bölgesi için Modern Kontrol Yöntemleri ile Rüzgâr Hızı Tahmini. Kırşehir Bölgesi Örneği*. (Yüksek Lisans Tezi, Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü)



ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Taha ELMACI
Doğum Yeri ve Yılı : İzmir, 1982
Medeni Hali : Evli
Yabancı Dili : İngilizce, Almanca
E-posta : ephesusefe35@gmail.com



Eğitim Durumu

Lise : Bornova Anadolu Lisesi, 2001
Lisans : KTÜ, Mühendislik Fakültesi, Elektrik Elektronik Müh.

Mesleki Deneyim

TEENERJİ Mühendislik & Danışmanlık 2018-..... (halen)