



**T.C.**  
**KONYA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ**  
**LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**



**İÇME SUYU ARITMA TESİSLERİNDE**  
**KULLANILAN MOTORLARIN YAPAY SİNİR**  
**AĞLARI İLE KONTROLÜ**

**Oğuzhan ERDOĞAN**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Ocak-2023**  
**KONYA**  
**Her Hakkı Saklıdır**

## TEZ KABUL VE ONAYI

Oğuzhan ERDOĞAN tarafından hazırlanan “İçme Suyu Arıtma Tesislerinde Kullanılan Motorların Yapay Sinir Ağları ile Kontrolü” adlı tez çalışması 19/01/2023 tarihinde aşağıdaki jüri üyeleri tarafından oy birliği ile Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

### Jüri Üyeleri

### İmza

#### Başkan

Doç. Dr. Mümtaz MUTLUER

.....

#### Danışman

Doç. Dr. Nurettin ÇETİNKAYA

.....

#### Üye

Doç. Dr. Bayram AKDEMİR

.....

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Saadettin Erhan Kesen  
Enstitü Müdürü

## TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

## DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

Oğuzhan ERDOĞAN

Tarih: 19.01.2023

## ÖZET

### YÜKSEK LİSANS TEZİ

## İÇME SUYU ARITMA TESİSLERİNDE KULLANILAN MOTORLARIN YAPAY SINIR AĞLARI İLE KONTROLÜ

Oğuzhan ERDOĞAN

Konya Teknik Üniversitesi  
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü  
Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Nurettin ÇETİNKAYA

2023, 69 Sayfa

#### Jüri

Doç. Dr. Mümtaz MUTLUER  
Doç. Dr. Nurettin ÇETİNKAYA  
Doç. Dr. Bayram AKDEMİR

İçme suyu tarihin her döneminde olduğu gibi günümüz için de çok önemlidir. Tarihin eski dönemlerinde medeniyet su yataklarının çevresinde kurulmuştur. Günümüzde ise barajlar sayesinde su belirli bölgelerde tutulup çeşitli arıtma işlemlerinden geçerek çeşmelerimize gelmektedir.

Bu çalışmada Konya'nın içme suyu ihtiyacının büyük bölümünü karşılayan Mavi Tünel İçme suyu arıtma Tesisinde suyun hangi aşamalardan geçerek nasıl arıtıldığı ve suyun kullanıma hazır gelmesinde elektrik motorlarının özelliklerinden bahsedilmiştir.

Elektrikli motorlar hayatımızın her alanında mevcut bulunmaktadır. Sincap kafesli asenkron motorlar dünyada en yaygın kullanılan motor türüdür. İçme suyu arıtma tesislerinde en çok bu motor tipini görmemiz kaçınılmazdır.

Asenkron motorun değişken karakteristik özellik ve karmaşık yapısı sebebiyle endüstriyel uygulamalarda algılayıcı kontrolü belirli bir seviyeyi geçememiştir. Bu olumsuz durumu kaldırmak amacıyla pek çok akademik çalışma yapılmıştır.

Bu tez çalışmasında Mavi Tünel İçme suyu arıtma tesisinde kullanılan motorlardan herhangi birisini rastgele seçip, sürücü yardımıyla gerilim ve frekans değerleri değiştirilerek motorun hız ölçümü yapılmış olup, Yapay Sinir Ağları için eğitim verileri elde edilmiştir. Daha sonra eğitim verilerinin içinden olan ve eğitim verilerinin dışında olan değerlerle birlikte aynı şekilde sürücü yardımıyla gerilim ve frekans değerleri değiştirilerek hız ölçümü testi yapılmıştır. En sonunda eğitim verileri ile birlikte MATLAB'de Yapay Sinir Ağları eğitilmiştir. Giriş değerleri olarak gerilim, frekans verileri kullanılmıştır. Bu değerlere göre Yapay Sinir Ağlarında simülasyonu yapılmıştır. Yapılan test sonucu elde edilen gerçek sonuçlar ile simülasyonların sonucu kıyaslanmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Algılayıcı Hız Kontrolü, Arıtma, Asenkron motor, İçme Suyu Arıtma, Sincap Kafesli, Yapay Sinir Ağları

## ABSTRACT

### MS THESIS

# CONTROL OF MOTORS IN DRINKING WATER TREATMENT PLANTS USING ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS

Oğuzhan ERDOĞAN

Konya Technical University  
Institute of Graduate Studies  
Department of Electrical and Electronics Engineering

Advisor: Assoc. Prof. Dr. Nurettin ÇETİNKAYA

2023, 69 Pages

#### Jury

Assoc. Prof. Dr. Mümtaz MUTLUER  
Assoc. Prof. Dr. Nurettin ÇETİNKAYA  
Assoc. Prof. Dr. Bayram AKDEMİR

Drinking water is very important today as it has been at all times in history. In ancient times, civilization was built around water beds. Today, thanks to dams, water is kept in certain regions and enters our wells through various purification processes.

In this study, it is mentioned that the Blue Tunnel Drinking Water Treatment Plant, which provides a large part of Konya's drinking water needs, how the water is purified through which stages and the functions of electric motors to make the water ready for use.

Induction motors are present in every aspect of our lives. The squirrel cage asynchronous motor is the most commonly used type of motor in the world. It is inevitable that we see this type of motor most often in drinking water treatment plants.

Due to the variable characteristics and complex structure of the induction motor, its sensorless control could not exceed a certain level in industrial applications. Many academic studies have been conducted to eliminate this negative situation.

In this study, the motor speed was measured by randomly selecting one of the motors used in the Blue Tunnel drinking water treatment plant and changing the voltage and frequency values using the driver, and training data for the artificial neural networks were obtained. Then, the speed was measured by changing the voltage and frequency values with the help of the driver, along with the values inside the training data and outside the training data. Finally, the artificial neural networks were trained in MATLAB using the training data. Voltage, frequency, and both voltage and frequency data were used as input values. Simulations were performed. The results of the simulations were compared with the actual results obtained from the test. It was found that they were very close to the actual values.

**Keywords:** Artificial Neural Networks, Drinking Water Treatment, Induction Motor, Sensorless Speed Control, Squirrel Cage, Treatment

## ÖNSÖZ

Yüksek lisans tez çalışmalarım süresince değerli bilgileri ve kıymetli katkılarıyla beni yönlendiren danışmanım Konya Teknik Üniversitesi Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü Öğretim Üyesi Sn. Doç. Dr. Nurettin Çetinkaya'ya, sabırla bana bu süreçte her zaman destek çıkan Dr. Öğr. Üyesi Kemal Erdoğan, Arş. Gör. Ender Kurnaz, Fuat Yalınız, Mehmet Orakçı ve lisans hayatımdan beri yanımda olan kıymetli hocam Öğr. Gör. Dr. Mustafa Aydeniz'e çok teşekkür ederim. Ve bugünlere gelmemde her türlü emeği olan, maddi ve manevi desteğini esirgemeyen aileme, bana her zaman eğitimin öneminden bahsederek teşvik eden rahmetli dedem Mustafa Alpoğuz'a ve her zaman bana destek olan sevgili eşim Nazlıcan'a teşekkürü bir borç bilirim.

Oğuzhan ERDOĞAN  
KONYA-2023

# İÇİNDEKİLER

<b>ÖZET .....</b>	<b>iv</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>v</b>
<b>ÖNSÖZ.....</b>	<b>vi</b>
<b>İÇİNDEKİLER .....</b>	<b>vii</b>
<b>SİMGELER VE KISALTMALAR.....</b>	<b>ix</b>
<b>1. GİRİŞ .....</b>	<b>1</b>
<b>2. KAYNAK ARAŞTIRMASI.....</b>	<b>2</b>
<b>3. MATERYAL VE YÖNTEM.....</b>	<b>6</b>
3.1. Asenkron Motor ve Kontrol Yöntemleri .....	6
3.1.1. Asenkron motorun çalışma prensibi .....	6
3.1.2. Asenkron motorun kontrolündeki sorunlar .....	7
3.1.3 Asenkron motorun kontrol yöntemi.....	8
3.1.3.1 Skaler kontrol yöntemleri.....	8
3.1.3.2 Vektörel kontrol yöntemleri.....	9
3.1.3.2.1 Doğrudan alan yönlendirmeli vektör kontrolü.....	9
3.1.3.2.2 Dolaylı alan yönlendirmeli vektör kontrolü.....	11
3.2 İçme Suyu Arıtma Tesisi .....	12
3.2.1 Giriş yapısı .....	13
3.2.2 Giriş havalandırma ünitesi .....	13
3.2.3 Hızlı karıştırıcı ünitesi.....	14
3.2.4 Yavaş karıştırıcı ünitesi.....	15
3.2.5 Durultucu ünitesi.....	15
3.2.6 Filtre ünitesi .....	16
3.2.7 Klor ünitesi.....	17

3.2.8 Çamur yoğunlaştırma ve susuzlaştırma ünitesi.....	18
3.3 Yapay Sinir Ağları .....	18
3.3.1 Yapay sinir ağlarının avantajları .....	19
3.3.2 Yapay sinir ağlarının dezavantajları .....	19
3.3.3 Yapay sinir ağlarında aktivasyon fonksiyonları .....	20
3.3.4 Tek katmanlı ağlar .....	22
3.3.5 Çok katmanlı ağlar .....	22
3.3.6 İleri beslemeli ağlar.....	23
3.3.7 Geri beslemeli ağlar .....	24
3.3.8 Hatanın geriye yayılım algoritması.....	25
3.3.9 On-line öğrenme .....	26
3.3.10 Off-line öğrenme.....	27
3.3.11 YSA'ların kullanım alanları.....	27
<b>4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA .....</b>	<b>29</b>
4.1. Gerilim Girdili YSA'nın Test Sonuçları.....	33
4.2 Frekans Girdili YSA'nın Test Sonuçları .....	36
4.3 Gerilim ve Frekans Girdili YSA'nın Test Sonuçları .....	39
<b>5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER .....</b>	<b>43</b>
5.1 Sonuçlar .....	43
5.2 Öneriler .....	46
<b>KAYNAKLAR .....</b>	<b>48</b>
<b>EKLER .....</b>	<b>51</b>



## SİMGELER VE KISALTMALAR

### Simgeler

%	: Yüzde
A	: Amper
d/d	: Devir / Dakika
e	: Euler Sayısı
F(x)	: Fonksiyon
Hz	: Hertz
n	: Testi Yapılan Veri Sayısı
n <sub>r</sub>	: Rotorun Devri
n <sub>s</sub>	: Statorun Devri
O	: Ölçülen Gerçek Değer
P	: Yapay Sinir Ağlarının Değeri
s	: Kayma
V	: Volt
W	: Watt

### Kısaltmalar

AC	: Alternatif Akım
AI	: Yapay Zeka
ANFIS	: Uyarlamalı Ağ Tabanlı Bulanıklık Çıkarma Sistemi
BLDC	: Fırçasız Doğru Akım Motoru
Bondgraf	: Bağ grafiği
ÇKA	: Çok Katmanlı Ağ
DC	: Doğru Akım
DGM	: Darbe Genişlik Modülü
DSP	: Sayısal İşaret İşleticisi
EMK	: Elektro Motor Kuvveti
IC	: Akıllı Kontrol
MAE	: Ortalama Mutlak Hata
MATLAB	: Matrix Laboratory
MRAS	: Model Referans Adaptif Sistemi
MSE	: Ortalama Hatanın Karesi
RMSE	: Hata Karelerinin Ortalamasının Karekökü
RTYSA	: Radyal Tabanlı Yapay Sinir Ağları
UVDGM	: Uzay Vektör Darbe Genişlik Modülü
VCD	: Vektörel Kontrol Sürücüsü
VFD	: Değişken Frekanslı Sürücü
YSA	: Yapay Sinir Ağları

## 1. GİRİŞ

Elektrik makinalarına dayalı sistemlerin yaşantımızda olmazsa olmaz bir konumda olduğu kaçınılmazdır. Günlük yaşantımızda arıtma tesisleri, taşıtlar, savunma sanayi, endüstriyel tesisler, evimizdeki elektrikli cihazlar gibi her alanda karşımıza çıkmaktadır. Gezegenimizdeki tüketilen elektriğin yarısının elektrikli motorlar tarafından tüketildiği varsayılmaktadır (Maheswaran ve ark., 2012).

Asenkron motorun patenti ilk olarak 1888 yılında Nikola Tesla tarafından alınmıştır. Daha sonraki yıllarda alınan verimi arttırmak için çalışmalar devam etmiştir.

Sincap kafesli asenkron motorlar, çoğu ortamda uyum sağlayarak çalışabilme durumu, fiyatının uygunluğu ve bakımı az olduğu için en çok tercih edilen motor çeşidi olmuştur.

Hayatımızda bulunan en temel ihtiyaçlardan birisi de kesinlikle sudur. İrmaklardan ya da göllerden evimizin çeşmesine gelen su bir takım arıtma işlemlerinden geçerek kullanılabilir hale gelmektedir. Bu arıtmalar İçme suyu arıtma tesislerinde yapılmaktadır.

İçme suyu arıtma tesislerinde suyun arıtılma işlemleri için çeşit çeşit üniteler mevcuttur. Her ünitenin suyun arıtmasında farklı bir görevi bulunmaktadır. Bütün ünitelerde farklı görevler için asenkron motorlar kullanılır. Dayanıklı yapıları sebebiyle genellikle sincap kafesli asenkron motorlar tercih edilir.

Günümüze kadar motorlarda algılayıcı kullanmadan kontrol edebilmek için pek çok çalışma yapılmıştır. Bu çalışmalarda Yapay Sinir Ağları (YSA) çok popüler olarak kullanılan bir yöntemdir.

Bu tez çalışmasında Konya Mavi Tünel İçme Suyu Arıtma Tesislerinde kullanılan sincap kafesli asenkron motorlardan birisi rastgele seçilmiş olup YSA kullanılarak algılayıcısız hız kontrolü yapılmıştır. Öncelikle eğitim düzeneği oluşturulup 862 tane gerilim değerleri ve frekans değerlerine göre motorun hızının değişimi takometre kullanılarak ölçülmüştür ve eğitim verileri elde edilmiştir. Daha sonra 120 tane test verisi belirlenip ölçümleri yapılmış olup YSA'da bu eğitim verilerine göre oluşturulmuştur. Eğitilen YSA'yı giriş verilerini gerilim, frekans, hem gerilim hem frekans olarak belirleyip üçü için de ayrı ayrı çıkış verisi olarak hız ölçümü yapılmıştır.

## 2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Önceki dönemlerde endüstriyel uygulamalarda hızın sabit olmaması lazım olan durumlar için doğru akım (DC) motorları tercih ediliyordu. Fakat DC motorlarda komütatör ve fırça bulunması sebebiyle bazı olumsuz durumları vardır. Bu durumlardan dolayı düzenli bakıma ihtiyaçları vardır ve her türlü çalışma ortamında kullanılmamaktadır. Komütatörün içeriği sebebiyle yüksek hızlarda çalışması olası bir durum değildi. Bu olumsuz durumlar karşısında alternatif akım (AC) motorları kullanımı farklı bir seçenek olmuştur. Ucuz, basit ve dayanıklı yapısı özellikleri ile tercih sebebi olmuştur. DC motorları ile AC motorlarının ebatları yönünden kıyasladığımız zaman AC motorları daha hafif ve verimli olduğu görüldü (Vas, 1998).

AC sistemlerde sincap kafesli asenkron motor üretim bedeli yönünden öncelikli tercih sebebi olmuştur. Farklı güçlerde sade ve dayanıklı yapısı ile fiyatı en uygun motor olmuştur. Fakat sincap kafesli asenkron motorun hız kontrolü DC motorlar ile karşılaştırıldığında lineer olmayan yapısı sebebiyle kontrol yöntemleri karmaşık bir durum olmuştur. Lineer olmayan bu durumdan kurtulmak için başka kontrol algoritmaları araştırılmıştır. Hasse (1969) ve Blaschke (1972) tarafından öne sürülen alan yönlendirmeli vektör kontrolü ile bu olumsuz durum giderilmeye başlamıştır.

Shyu ve ark. (1998) araştırmalarında dolaylı alan yönlendirmeli asenkron motor için YSA ile hız kontrolü tanıtmıştır. Sistemdeki değişkenlerin sabit olmaması sebebiyle belirsizlikler ile bozuları tahmin etmek için bir gözlemci kullanmıştır.

Kontrol sistemlerinin mimarisinde kayda değer sorunlardan birisi de sistem mimarisinde belirsizliklerin bulunmasıdır. Geri beslemeli kontrol ifadesi Zames (1963) ve Kalman (1964) tarafından öne sürülmüştür.

Bilgisayar kolundaki gelişmelerle birlikte uygun fiyatlı veri saklama ve hızlı geri cevap verme özelliklerinden dolayı bilgisayar bazlı kontrol sistemleri geliştirilmiştir. Özellikle mühendislerin zorlu şartlar altında kontrol edilmesi gereken sistemleri önce bilgisayarda simülasyonunu yapmaları genellikle kullandıkları metottür. Bu tarz durumlarda ekonomik şartlardan dolayı düzeneğin çalışmasındaki olumsuz koşulları engellemek ve cihazın kararsızlığa gitmesini engellemek için off-line kontrol yapılabilir (De Moura Oliveira, 1998).

YSA hakkında yapılan araştırmalar 1949 yılındaki D.O.Hebb aracılığıyla geliştirilen ilk öğrenme kuralına kadar uzanır. Geri yayılma yönteminin 1986 yılında takdim edilmesiyle YSA ile kontrol teorisi, ses tanımlama, robotik, finans tahlili gibi farklı konularda başarılı sonuçlar ortaya çıkmıştır (Arslan, 1999).

Hunt ve ark. (1992) lineer olmayan sistemlerin biçimlendirilmesi, programlanması için geliştirilen YSA sistemleri hakkında çalışma yapmıştır.

Psaltis ve ark. (1988) çok katmanlı sinir ağları ile farklı türlerde tanıma ve kontrol biçimleri önermişlerdir. Denetçiyi eğitmek için genelleştirilmiş ters öğrenme ve özelleştirilmiş ters öğrenme isimli iki metot sunmuşlardır. Eğitime veriminin artırılması için bu iki metotla beraber off-line olarak gerçekleştirilmesiyle bir sonuca ulaşılmıştır (Üstün, 2001).

Narendra ve Parthasarthy (1990) çok katmanlı YSA ile kontrol yöntemleri hakkında çeşitli araştırmalar yapmıştır. Doğrusal olmayan hareketli sistemlerin tanınmasında YSA'nı uygulanabileceğini sunmuşlardır. Katsayı değişkenlerini ayarlanması için statik ve dinamik geriye yayılma metotları hakkında araştırmalar yapmıştır.

Yan ve Li (1997) geri beslemeli, ileri beslemeli ve öğrenmeli bir denetim sistemi tasarlamıştır. Bu sistemde ileri besleme bölümünde yapının tersini biçimlendirmek için geri beslemeli bir ağ kullanmıştır.

Uygur (2002) Neuro-Fuzzy metodunu kullanarak asenkron motorda hız kontrolü yapmıştır. Neuro-Fuzzy metotlarının motor üzerindeki hız kontrolü için verimliliğini araştırmıştır.

Valdez ve Romero (2004) bulanık sinirsel ağı ile asenkron motorda moment kontrol sistemini sadeleştirmek için uygulamıştır. Tavsiye edilen bu akıllı sistemin sadece basit matematiksel formlarla değil, çok çabuk tork ve akı cevapları karakterize olduğunu belirten simülasyonları tanıtmıştır.

Dandıl (2004) yaptığı araştırmada vektör denetimli asenkron motorun hız kontrolü için hızdaki yanlışlıklarının integralini giriş parametresi şeklinde kullanarak sinirsel bulanık denetleyici programlamıştır. Çeşitli çalışma şartlarında yapılan araştırmalarla bu denetim yapısının başarılı olduğunu sunmuştur.

Zorlu (2004) yaptığı araştırmasında YSA kullanarak AC fırçasız servomotorun algılayıcısız hız kontrolünü sağlamıştır. Bu motorların geri besleme cihazları ile çalışması durumundan kaynaklanan maaliyet artışı ve sistemin daha kompleks olması gibi dezavantajların önüne geçmiştir.

Çelik (2004) araştırmasında asenkron motor sürücülerinde uygulanan Darbe Genişlik Modülasyonu (DGM) metotlarının sürücü çalışmasına tesirini gözlemlemiştir. Asenkron motorda v/f hız kontrolünü yaparak uzay vektör darbe genişlik modülasyonunun (UVDGM) gerçek bir sistem için diğer tasarımlarla farkını göstermiştir.

Aydeniz (2005) yaptığı araştırmasında sincap kafesli asenkron motorun algılayıcısız hız kontrolünde yeni bir algoritma geliştirilmesini hedeflemiştir. Sincap kafesli asenkron motorların geri besleme cihazları kullanılmasında hem maliyet artışını engellemek hem de sistemde basitleşmeyi sağlamak için çalışmıştır. Luenberger gözlemleyicisi ve kayan kipli yöntemini kullanarak elde ettiği sonuçlarda algılayıcı sistemlere çok yakın sonuçlarla başarıya ulaşmıştır.

Dede (2008) araştırmasında dolaylı vektör kontrollü asenkron motorun kontrolünde algılayıcısız hız kestirimci olarak YSA ile çalışmıştır. Sayısal İşaret İşlemcili (DSP) uygulama düzeneği çalışmalar yapıp YSA hız öngörücünün kestirimlerinde başarılı olduğu sonucuna varmıştır.

Demirtaş (2009) çalışmasında asenkron motorda alan yönlendirmeli hız kontrolünde DSP temelli bir denetleyici ile kayan kip kontrol hakkında araştırma yapmıştır. Bu çalışmada kayan kip metodu genetik algoritma ile en uygun şekilde sokularak deneylere sokulmuştur. Gerçekleştirilen bu metodun kompleks ve lineer olmayan sistemlerde iyi bir netice elde etmiştir.

Poyraz (2011) araştırmasında skaler hız kontrolü ve dolaylı rotor akısı yönlendirmeli hız kontrolü metoduyla çalıştırılan asenkron motorun hız kontrol sisteminin matematiksel tasarımını yapmıştır. Bu metotta sabit olmayan hız ve yük momenti karşısında asenkron motorun devamlı ve değişken pozisyonları için kıyaslama yaparak performanslarını analiz etmiştir.

Brandstetter (2014) araştırmasında algılayıcıya gerek kalmadan YSA ile hız kontrolünü hedeflemiştir. YSA ile akım ve gerilim giriş değerlerine göre motorun hızını tahmin edilebilir yapmıştır.

Kılıç (2017) çalışmasında üç fazlı sincap kafesli asenkron motorun hız kontrolünü başarmıştır. Üç fazlı eviricinin anahtarlanmasında UVDGM tekniği ile yapmıştır. Sürücünün çalışma verimini arttırmak için Radyal tabanlı yapay sinir ağları (RTYSA) temelli çalışma model referans adaptif hız kontrol yöntemi ile hız kontrol algoritması geliştirmiştir.

Hussain ve ark. (2018) araştırmalarında doğrudan tork kavramalı motorda tork, akı, hız kestirimini görmek için YSA'dan faydalanarak algılayıcısız algılama için bir metot sunmuşlardır. Bu metotta motordan alınan veriler kullanılarak YSA tabanlı tahminleyici ile tork, hız, akı kestirimini sağlamıştır.

Bir başka çalışmada İlahi Bakhsh ve ark. (2018) pozisyon kestirimi metotlarından model referans adaptif sistem (MRAS), YSA ve uyarlamalı ağ tabanlı bulanıklık çıkarım sistemi (ANFIS) ile algılayıcısız konumun kestirimini yapmak

istemilerdir. MATLAB/SIMULINK'te simülasyonu yapıp üç metotta farklı farklı kıyaslanmıştır. ANFIS metodunun diğer metotlara göre daha başarılı olduğu sonucuna varılmıştır.

Rifan ve ark. (2019) fırçasız algılayıcısız bir şekilde fırçasız doğru akım motorlarının (BLDC) yük değişikliklerini kestirimini ve bu kestirimin sonuçlarını gerçek sonuçlara daha yakın bulmayı hedeflemiştir. Bu hedef doğrultusunda kalman filtresi kullanmışlardır. Bu çalışmada hızın ve bozulmaların kestirimi için yalnızca terminal gerilimine ve akımına gerek duyulmuştur. Araştırmanın sonunda YSA tabanlı algılama ile algılayıcı algılama kıyaslanmıştır.

Gamazo-Real ve ark. (2022) durum ve hız bilgilerini algılayıcısız kestirimini yapabilmek için giriş değişkeni olarak faz voltajı bir metot sunmuştur. Araştırmalarında YSA'dan yararlanmışlardır. Sundukları bu metot ile algılayıcı tabanlı sonuçları kıyasladıklarında hızdaki salt hatanın 22 rpm olduğunu belirtmiştir.

Polat (2022) çalışmasında sensörsüz algılama için YSA'dan faydalanarak algılayıcı maliyetinden kurtulmayı hedeflemiştir. Bondgraf (Bağ grafiği) modeli MATLAB/SIMULINK'te modelini oluşturmuştur. İlk aşamada YSA ile eğitilen ağırlık ve gerçek ağırlık değerlerini ikinci aşamada ise YSA ile eğitilen ağırlık akım değerleri ile gerçek akım değerlerini karşılaştırmıştır. Araştırmasının sonucunda anlık tork kestirimine ulaşmıştır.

### 3. MATERYAL VE YÖNTEM

#### 3.1. Asenkron Motor ve Kontrol Yöntemleri

Asenkron motorlar elektrik enerjisini mekanik enerjiye dönüştürmemiz için kullandığımız bir cihazdır. Asenkron motor olarak isimlendirdiğimiz yapı lineer olmayan, hareketli ve kompleks bir yapıdır (Holtz, 1993). Çalışması için AC kaynak olması yeterlidir. Bu sebepten tek uyarımlıdır. Stator hızı rotor hızından büyük olan makinelere asenkron motor denir (Çolak, 2008).

##### 3.1.1. Asenkron motorun çalışma prensibi

3 fazlı, 2 kutuplu asenkron motora uygulanan şebeke gerilimi sonucunda statordan geçen AC akım 3 fazlı dönence yörüngelerini oluşturur. Stator hareketsiz pozisyonundadır. Bu sebepten dolayı döner alanlar rotordan endüksiyon akımı geçmesine neden olur. Bu akımlar rotorun kutup yörüngelerini meydana getirir. Benzer kutupların birbirlerini itmesi, ayrı kutupların birbirini çeker. Bu itme kuvvetlerinin ortaya çıkardığı döndürme momenti rotorun döner alan doğrultusunda döndürür.

Rotorun devri arttıkça, endüklenen elektro motor kuvveti (EMK) ve endüksiyon akımları azalır. Bu sebepten rotoru çeviren moment durgunlaşır. Bu nedenden rotorun devir sayısında yükseliş görülmez. Yüksüz çalışan bir motorda rotorun devir sayısı senkron devir sayısına yaklaşır ama asla eşit olamaz. Eşit olduğunu düşünürsek stator döner alanı rotor çubuklarını kesemez ve akımın geçmemesine sebep olur. Bu yüzden rotorun kutup alanları meydana gelmemiş olur. Ve rotor dönmez. Bu sebepten motorun momentini saptamada en önemli etken kayma kavramıdır. Rotor devrinin senkron devrinden geride kalmasına “Kayma” denir. Kayma formülü ve rotor ile stator arasındaki devir ilişkisi Eşitlik (3.1) ve Eşitlik (3.2)’ de gösterilmiştir (Aydeniz, 2005).

$$\%s = \frac{ns - nr}{ns} .100 \quad (3.1)$$

$$nr = (1-s) . ns \quad (3.2)$$

denklemleriyle gösterilir.

Eşitlik (3.1)’den de anlaşılacağı üzere senkron devir sayısı ile rotor devir sayısı aynı olamaz. Senkron devrinin rotor devrinden daha fazla olduğu için kaymanın sıfırdan farklı olacağını ispatlar. Senkron hız ile rotor hızının arasındaki fark azaldığı zaman rotorun dönmesini sağlayan akım değeri azalacaktır (Aydeniz, 2005). Bu sebepten rotorun dönme hızı azalmaya geçecektir.

### 3.1.2. Asenkron motorun kontrolündeki sorunlar

Asenkron motorların konum denklemlerinde hızın ve durum parametresi olarak akı bileşenlerinin çarpımı lineer olmayan bir biçim olduğunu gösterir. Bu sebeple denklemlerin çözümlerine bilinen analitik metotlarla ulaşılamaz (Aydeniz, 2005).

Bununla birlikte denklemlere bakıldığı zaman, her bir durum parametresi değerlerinin kendisi de dahil bütün durum parametreleri ile ilişkili olduğu gözükmemektedir. Yüksek ölçekli karşılıklı bağımlılık nedeniyle, sistemin analizi oldukça kompleks bir hal almıştır (Holtz, 1993). Hızın sıfırdan başlayarak nominal değerinin üzerinde çalıştığı zaman yapı bileşenleri normal durumlara göre daha farklı bir karakteristik özellik sergiler. Hızın sıfıra yaklaştığı zamanlarda akım ve akı bileşenleri hızdan serbest olarak değişir.

Akı genliği referans değeri çoğu zaman değişken değildir. Ancak motorun kalkışı esnasında akı genliği sıfırdan nominal değerine çıkar. Bu aralıkta motorun ürettiği momentum ve akım, gerilim gibi elektriksel kalemlerde büyük değerli ve hızlı değişiklikler gözlemlenir. Bu durumda motorun denetimini sağlamak zorlaşır

Asenkron motorunun stator direnci, motorun performansı sıcaklık değişimleri veya eskime nedeniyle değişebilir. Stator sargılarındaki dengesiz voltajlar, motorun düzensiz bir hızda çalışmasına neden olur ve bu da motorun kontrolünde sorunlar ortaya çıkarır.

Rotor çubuklarında ya da uç halkalarındaki bir arıza, motorun düzensiz bir hızda çalışmasına neden olur. Bu durumdan dolayı motorun kontrolünde sorunlara yol açabilir. Rotorun hız kestirimini yapmak için rotor doğrudan kontrolöre bağlı değil ve konum sensörleri de olmazsa, kestirimi yapmak zor olur. Rotor hızını tahmin etmenin bir yolu, kodlayıcı gibi bir hız sensörünün kullanılmasıdır. Ancak bu maliyetli olabilir ve belirli uygulamalarda pratik olmayabilir.

Asenkron motorlar, aşırı ısınma, sargı arızası ve yatak arızası gibi çeşitli arıza türlerine eğilimlidir. Motorun hasar görmesini önlemek ve sorunsuz çalışmasını sağlamak için sağlam bir koruma ve arıza tespit sistemine sahip olması önemlidir. Voltaj düşüşleri, harmonikler ve voltaj dengesizliği gibi güç kalitesi sorunları asenkron motoru etkiler. Bu sorunlar, motorun kontrolü ve performansı ile ilgili problemler ortaya çıkarabilir.

Asenkron motorunun parametreleri, üretim toleransları, sıcaklık değişiklikleri ve eskime nedeniyle önemli ölçüde değişebilir. Bu sebepler, motoru doğru bir şekilde modellemeyi ve etkili bir şekilde kontrol etmeyi zorlaştırabilir. Asenkron motorlar, kontrol sistemlerinin performansında etkili olan iletişim ve algılama ile ilgili sorun neden oluşturabilecek elektriksel gürültü ve parazit üretebilir.



### 3.1.3 Asenkron motorun kontrol yöntemi

Asenkron motorlar genellikle hız ve tork gereksinimlerinin değiştiği uygulamalarda kullanılır. Motorun hızı kontrol edilerek sistemin enerji verimliliği artırılabilir. Bazı uygulamalarda, güvenliği sağlamak için motorun hızını sınırlamak gerekebilir. Örneğin, bir konveyör sisteminde, konveyörün çok hızlı hareket etmesini ve potansiyel olarak kazalara neden olmasını önlemek için motorun hızını kontrol etmek gerekli olabilir. Takım tezgahları veya robotik gibi bazı uygulamalarda, motorun hızını yüksek hassasiyetle kontrol etmek gerekir. Doğru kontrol yöntemi kullanılarak istenilen hıza ulaşmak ve bunu sürdürmek mümkündür. Genel olarak, bir asenkron motorunun hızının kontrol edilme, sistemin enerji verimliliğini, güvenliğini, hassasiyetini ve süreç kontrolünü iyileştirmek için önemlidir.

Önceki dönemlerde hız kontrolü için stator gerilimi, stator sargısının kutup çifti, stator frekansı ya da rotor direncinin değiştirilmesiyle yapılıyordu. Ancak günümüzde gelişen teknoloji ile birlikte sabit olmayan hızlardaki tahrik sistemlerinde iki temel metot kullanılmaktadır.

#### 3.1.3.1 Skaler kontrol yöntemleri

Skaler kontrol, motora uygulanan voltajın frekansını ve büyüklüğünü ayarlayarak asenkron motorun hızını kontrol etme yöntemidir. Motorun hızını kontrol etmek için uygulanan voltajın frekansının değiştirilmesi prensibine dayanır.

Skaler kontrol sisteminde motora uygulanan gerilim ve frekans oranı ( $V/f$ ) sabit tutulur. Motora uygulanan gerilimin, dalga boyunun frekansı ayarlanarak değiştirilir. Gerilimin frekansı düşürülerek motorun hızı düşürülebilir, frekansı artırılarak motorun hızı artırılabilir. Bu, motora uygulanan voltajın frekansını kontrol etmek için kullanılan değişken frekanslı sürücü (VFD) kullanılarak gerçekleştirilir.

Skaler kontrol tipik olarak, yükü sürmek için gereken torkun geniş bir hız aralığında nispeten sabit olduğu pompalar ve fanlar gibi sabit tork yükü uygulamaları için kullanılır. Ayrıca, yükü sürmek için gereken torkun motorun hızına göre değiştiği konveyörler ve kırıcılar gibi değişken torklu yük uygulamalarında da kullanılır.

Bu yöntem, asenkron motorun hızını kontrol etmenin basit ve ucuz bir yöntemidir. Ancak tüm uygulamalar için uygun değildir. Bu yöntemin yüksek hassasiyetli kontrol gerektiren, yük ya da hızdaki hızlı değişiklikleri içeren uygulamalar için verimli olmadığı görülmüştür. Vektörel kontrol yöntemlerinin bu uygulamalarda daha verimli olduğu gözlemlenmiştir.

### 3.1.3.2 Vektörel kontrol yöntemleri

Alan yönelimli kontrol olarak da bilinen vektörel kontrol, stator akımının büyüklüğünü, uygulanan gerilimi ve faz açısını kontrol ederek bir asenkron motorun hızını ve torkunu kontrol etme yöntemidir. Bu yöntemde, stator akımı iki bileşene ayrılır: Tork üreten bileşen

Akı üreten bileşendir.

Tork üreten bileşen, yükü sürmek için gereken torku üretmekten sorumluyken akı üreten bileşen, rotoru döndüren manyetik alanı üretmekten sorumludur.

Vektörel kontrolü uygulamak için, stator akımının büyüklüğünü ve faz açısını istenen hız ve yük koşullarına göre gerçek zamanlı olarak değiştirmek için vektör kontrol sürücüsü (VCD) kullanılır. VCD, rotorun hızını ve konumunu ölçmek için sensörlerle birlikte kullanır. Bilgiyi, istenen hız ve torku elde etmek için gereken stator akımının uygun büyüklüğünü ve faz açısını hesaplamak için kullanır.

Bu yöntemde asenkron motorda bulunan akı vektörlerinin tercih edilmesine göre üç farklı biçimde aşağıdaki yöntemlerle yapılmaktadır.

Stator akısı yönlendirmeli kontrol

Rotor akısı yönlendirmeli kontrol

Mıknatıslanma akısı yönlendirmeli kontroldür.

Bu yöntemler arasında temel olarak bir yoktur. Tercih edilen akı yönlendirmesine göre motorun vektörel olarak matematiksel olarak eşitliği hazırlanır ve tercih edilen akı üzerinden hesaplamalar olur (Aydeniz, 2005).

Vektörel yöntemlerde stator akımı D ve Q eksenine bileşenlerine ayrılır. D-Q eksenine temelli kontrol yöntemleri, vektörel kontrol yöntemleri olarak da bilinir. Bu yöntemler ikiye ayrılır. Bunlar;

Doğrudan alan yönlendirmeli vektör kontrolü

Dolaylı alan yönlendirmeli vektör kontrolü

#### 3.1.3.2.1 Doğrudan alan yönlendirmeli vektör kontrolü

Doğrudan Alan Yönelimli Kontrol, asenkron motorunun hızını ve torkunu kontrol etmek için kullanılan bir yöntemidir. Bu yöntem ilk kez F. Blaschke uygulanmıştır. Bu kontrol yönteminin uygulanması akı vektörünün direkt ölçümü ya da tahmini üzerindedir.

Ölçüm metodunda rotor akısı vektörü, hava aralığı akısının statorun yapısına özel olarak hazırlanmış sensörler sayesinde ölçümü yapılır (Aydeniz, 2005).







Giriş Yapısında basınç kırıcılar ile önce basıncı kırılarak Konya'nın anlık tüketimindeki olan debiye oransal vana ile giriş debisi ayarlanarak Giriş Havalandırma ünitesine akar. Giriş havalandırma ünitesinde su kaskat (merdiven) tipi havalandırma yapısında oksijenlendirilerek Hızlı Karıştırıcı ünitesine iletilir. Bu üniteye ön klorlama işlemi yapılır.

Hızlı Karıştırıcı Ünitesinde, suyun giriş bulanıklığının yüksek olması durumunda demir üç klorür dökülmesi ile suyun içindeki istenmeyen maddelerin bir yerde toplanması sağlanır. Su buradan Yavaş Karıştırıcı Ünitesine gönderilir.

Yavaş Karıştırıcı Ünitesinde polielektrolik ilave edilerek Hızlı Karıştırıcıda toplanan parçacıkların daha büyük bir şekilde toplanmasını sağlar.

Lamella tipi durultucular ile çöktürme işlemi yapılarak su filtre bölümüne iletilir. Çöken maddeler Çamur Sıyırıcı Motoru ile Çamur Susuzlaştırma Ünitesine iletilir.

Filtre Bölümünde suyun içindeki mikroorganizmaların filtrasyonu sağlanır. Kirlenen havuzlar yıkanır.

Artırılmış Su deposunda filtrelenmiş temiz suyun klorlama işlemi yapılarak kendi cazibesi şebekeye gider.

Çamur Susuzlaştırma ünitesinde çamurun su kısmı ayrılarak çamur kısmı atık olarak tesisten uzaklaştırılır.

### **3.2.1 Giriş yapısı**

Kaynaktan içme suyu arıtma tesisine getirilen suyun tesise girmeden önce kontrolü, ölçülmesi ve dağıtılması, ham suyun fazla basıncının kırılması, suyun akışının düzenlendiği üniteye. Tesisin olağan üstü bir durumda devre dışı kalmasını gerektiren bir durum söz konusu olduğu (yangın, deprem vb.) zaman gelen ham suyun sadece ön klorlama yapılarak direkt şebekeye su vermesini sağlayacak by-pass hattı mevcuttur.

### **3.2.2 Giriş havalandırma ünitesi**

3 farklı havalandırma çeşidi vardır. cazibe ile çalışan, püskürtücü ile çalışan, basınçlı hava ile havalandıran havalandırıcılardır (Çakmakçı ve ark., 2013).

Havalandırmanın amacı, ham suyun daha verimli bir şekilde arıtılması ve sudaki kokuların giderilmesidir.

Şekil 3.5'te Mavi Tünel İçme Suyu Arıtma Tesisi Giriş Havalandırma Ünitesinin resmi sunulmuştur.



Şekil 3.5. Mavi Tünel İçme Suyu Arıtma Tesisi Giriş Havalandırma Ünitesi

### 3.2.3 Hızlı karıştırıcı ünitesi

Suyun içinde bulunan askıdaki parçacıkların çökmesini sağlamak için kimyasal maddelerin suya eklendiği ve homojen olarak dağıldığı yapıdır. Şekil 3.6'da Hızlı Karıştırıcı Ünitesinin resmi yer almaktadır.



Şekil 3.6. Mavi Tünel İçme Suyu Arıtma Tesisi Hızlı Karıştırıcı Ünitesi

### 3.2.4 Yavaş karıştırıcı ünitesi

Yumaklaştırma işlemini yapabilmek amacıyla kullanılan kimyasal maddelerin suya karıştırılmasından sonra yumak oluşumu için yavaş karıştırma işleminin yapılması gerekir. Yardımcı kimyasal madde olarak anyonik polielektrolit ilave edilir. Bu işlem parçacıkların birleştirilmesi için ya da büyüklüklerinin artması için gerçekleştirilir. Şekil 3.7’de Yavaş Karıştırıcı Ünitesinde kullanılan motor ve redüktörünün resmi sunulmuştur.



Şekil 3.7. Mavi Tünel İçme Suyu Arıtma Tesisi Yavaş Karıştırıcı Redüktörü

### 3.2.5 Durultucu ünitesi

Durultma işlemi iki farklı yöntemle yapılır. Basit durultma ve karıştırma sürecinden sonra yapılan durultmadır.

Basit Durultma yöntemi suyun bulanıklığının az olduğu bölgelerde uygulanır. Kimyasal madde kullanılmaz. Yavaş karıştırıcı oluşan parçacıklar bu üniteye durultma (çökertme) işlemi yapılarak sıyrıcı ünitesine yardımıyla oluşan çamurlar Çamur Yoğunlaştırma ve Susuzlaştırma ünitesine gönderilir. Su ise filtrasyon işlemi için filtre bölümüne aktarılır. Şekil 3.8’de Yavaş Karıştırıcı ve Durultucu Yapısı gösterilmiştir.





Şekil 3.8. Mavi Tünel İçme Suyu Arıtma Tesisi Yavaş Karıştırıcı ve Durultucu Yapısı

### 3.2.6 Filtre ünitesi

Filtrasyon işlemi suyun gözenekli bir yapıdan geçirilmesidir. Bu işlemin yapılma sebebi bakteri gibi gözle görülemeyecek canlıların su içindeki varlığının azaltılması için yapılır. Filtreler belirli bir süre filtrasyon yaptıktan sonra bu işlemi yapamayacak duruma gelir. Bunun sebebi filtre havuzlarının kirlenmesidir. Bu havuzlardaki filtreler geri yıkama işlemi ile temizlenir (Çakmancı ve ark., 2013). Kirlenen filtre havuzlarının önce suyu boşaltılır. Sonrasında kompresör ile basınçlı hava verilerek sudaki kirletici maddeler yüzeye çıkartılır. Daha sonra hava ve su beraber verilerek su taşması sağlanır. En son sadece su verilerek temizlenmesi sağlanır. Şekil 3.9'da Filtre Ünitesi Havuzlarının resmi yer almaktadır.



Şekil 3.9. Mavi Tünel İçme Suyu Arıtma Tesisi Filtre Ünitesi Havuzları

### 3.2.7 Klor ünitesi

Tesis içinde kullanılacak suyun ön klorlama ve şebekeye gönderilen su da olası bir bakteriyel üreme olmaması için son klorlamanın yapılması için klorların depolandığı bölümdür. Klorlar gaz halindedir. Klor tankı borularında olası hava koşullarında donma yapmaması için sargılı elektrikli rezistanslarla sürekli belirli bir sıcaklığın üstünde olması sağlanır.



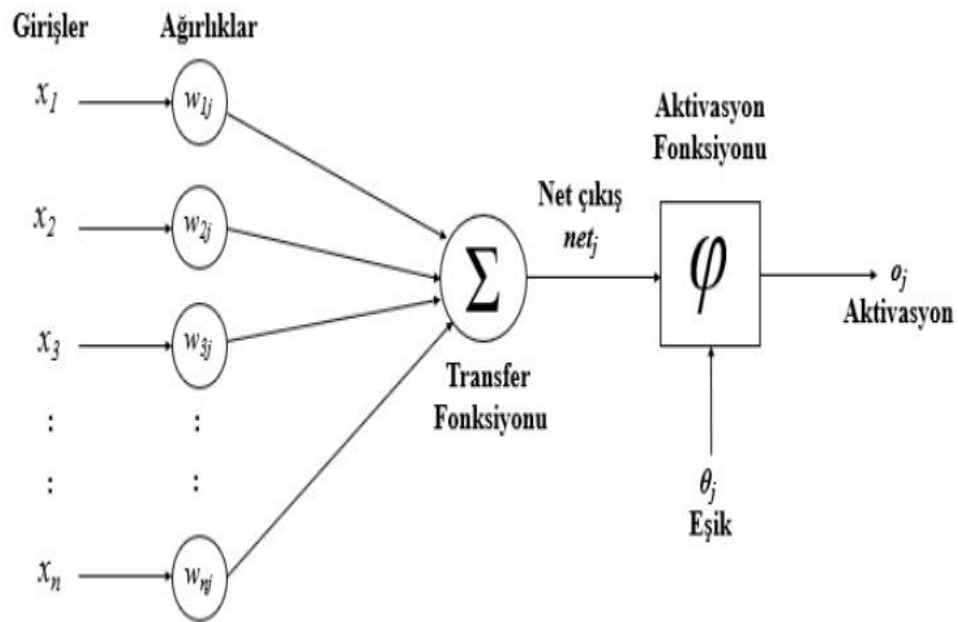
Şekil 3.10. Mavi Tünel İçme Suyu Arıtma Tesisi Klor Ünitesi

### 3.2.8 Çamur yoğunlaştırma ve susuzlaştırma ünitesi

Durultucuların dip noktasına çöken ve filtre geri yıkama suyu toplama havuzundan gelen çamurlar bir toplama havuzunda toplanır ve burada çökeltme işlemine konulur. Çamur toplama havuzlarının dibinde biriken çamur uygun ekipmanlarla çamurun içindeki su ile ayrılır. Susuz kalan çamur tesisten uzaklaştırılır.

### 3.3 Yapay Sinir Ağları

YSA insan beyninin öğrenme sisteminden yola çıkılarak tasarlanmış bir tür makine öğrenimi algoritmasıdır. YSA insan beynini referans alarak, genelleme yaparak sonuca ulaşabilir. YSA'lar yapılan incelemeleri, araştırmaları ve tecrübelerden faydalanarak giriş ve çıkıştaki sonuçlara göre bilgi kümeleri tarafından eğitilir. Eğitilmiş olan YSA genellemeler yapar, mevcut bilgileri arasında bağlantı kurar. Bu bağlantıya göre anlamlı tahminlerde bulunur. Şekil 3.11'de YSA yapısı gösterilmiştir (Uslu, 2016)



Şekil 3.11 YSA yapısı

Girişler YSA hücrelerine gelen veriler. Bu veriler yapısında bulunan ağırlıklar aracılığıyla hücreye alınması sağlanır. Ağırlıklar ( $w$ ), belirtilen giriş verisinin hücre için etkisini tanımlar. Transfer fonksiyonu hücrelere gelen net verinin ölçümünü yapan fonksiyondur. Çoğu zaman gelen net veri girişler ve ağırlıkların çarpımına eşittir. Aktivasyon fonksiyonu öğrenme eğrisi olarak da bilinir.

Lineer olmayan aktivasyon fonksiyonu, transfer fonksiyonundan alınan verileri bir işlemde geçirerek hücre çıkışını tanımlar. YSA'ların yapısında net çıkışı arttıran ya da azaltan, +1 ya da -1 değerleri arasında olan eşik değeri mevcuttur.

YSA'lar bilgileri işleyen ve ileten birbirine bağlı nöron katmanlarından oluşur. Bu nöronlar, modelin performansını optimize etmek için eğitim sırasında ayarlanan ağırlıklarla birbirine bağlanır. Modelin doğruluğunu artırmak için nöronlar arasındaki bağlantıları ayarlayan büyük miktarda veri ve algoritmalar kullanılarak eğitilir. Bu eğitim süreci, modelin tahminleri ile eğitim verilerindeki bilinen çıktılar arasındaki hatayı en aza indiren bir optimizasyon algoritması kullanılarak yapılır.

YSA'lar, girdi ve çıktı arasındaki karmaşık, doğrusal olmayan ilişkileri yönetebilir. Bu durum YSA'ları, girdi ve çıktı arasındaki ilişkinin basit olmadığı görüntü veya konuşma tanıma işlemleri için kullanışlı hale getirir.

Ağın iç işleyişi her zaman şeffaf olmadığından YSA'ları yorumlamak zor olabilir. Bu, modelin belirli bir tahmine veya karara nasıl ulaştığını anlamayı zorlaştırabilir.

### 3.3.1 Yapay sinir ağlarının avantajları

Verilerden öğrenme yeteneği: YSA'lar büyük miktarda veriden öğrenebilir ve bu öğrenmeye dayalı kararlar veya tahminler yapabilir. Her görev için açık programlama gerektirmezler ve yeni verilere ve durumlara uyum sağlayabilirler.

Uyarlanabilirlik: YSA'lar son derece uyarlanabilir, yani çok çeşitli görevleri öğrenebilir ve gerçekleştirebilirler. Ayrıca, yapılandırılmış veya yapılandırılmamış veriler gibi farklı veri türlerinden öğrenmek üzere eğitilebilirler.

Genelleştirme: YSA'lar, öğrenmelerini yeni verilere genelleştirerek onları yeni, görünmeyen verilere dayalı kararlar veya tahminler vermenin önemli olduğu işlemler için çok uygun hale getirir.

Yüksek performans: YSA'lar, karmaşık görevleri yüksek doğrulukla gerçekleştirebilir ve bu da onları birçok uygulama için popüler bir seçim haline getirir.

Kullanım kolaylığı: YSA'ların uygulanması nispeten kolaydır ve çeşitli algoritmalar ve teknikler kullanılarak eğitilebilir. Bu, onları makine öğreniminde güçlü bir geçmişi olmayanlar kullanıcılar için erişilebilir kılar.

Çok yönlülük: YSA'lar, görüntü ve konuşma tanıma, doğal dil işleme ve kontrol sistemleri gibi çok çeşitli uygulamalarda kullanılabilir. Ayrıca hem yapılandırılmış hem de yapılandırılmamış veriler gibi çeşitli veri türlerini işleyebilirler.

### 3.3.2 Yapay sinir ağlarının dezavantajları

**Karmaşıklık:** YSA'ların tasarımı ve eğitimi, özellikle çok sayıda katman veya çok sayıda nöron gerektiren görevler için karmaşık olabilir. Bu karmaşıklık, ağın nasıl karar verdiğini anlamayı ve sorunları ayıklamayı zorlaştırabilir.

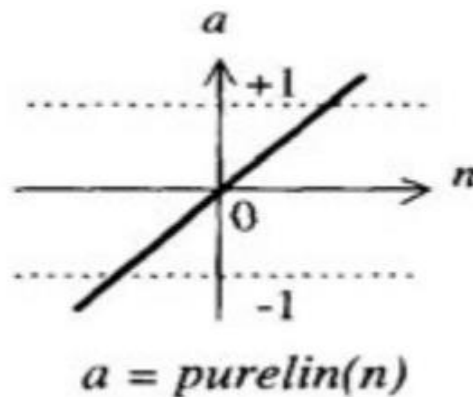
**Başlangıç koşullarına duyarlılık:** YSA'lar ağırlıkların ve yanlılıkların başlangıç koşullarına duyarlı olabilir, yani bu değerlerdeki küçük değişiklikler ağın çıktısında büyük değişikliklere neden olabilir. Bu, sonuçların yeniden üretilmesini zorlaştırabilir ve ayrıca ağın yetersiz yapılandırılmalarda takılıp kalmasına neden olabilir.

**Yorumlanabilme eksikliği:** YSA'lar her zaman yorumlanabilir değildir, bu da öğrendikleri ilişkileri ve kalıpları anlamayı zorlaştırabilir. Bir modelin neden belirli kararlar veya tahminler verdiğini anlamak önemli olduğunda bu bir sorun olabilir.

**Veri gereksinimleri:** YSA'lar, öğrenmek ve iyi performans göstermek için büyük miktarda veri gerektirir. Bu durum, sınırlı verinin olduğu koşullarda veya gerçek zamanlı karar vermeyi gerektiren uygulamalar için zor olabilir.

### 3.3.3 Yapay sinir ağlarında aktivasyon fonksiyonları

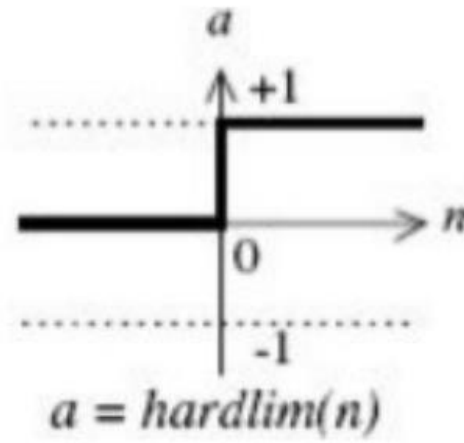
Aktivasyon fonksiyonları nöronun tepkisini tanımlayan en önemli faktörlerden birisidir. Aktivasyon fonksiyonu giriş Şekil 3.12 de gösterildiği gibi net çıkış fonksiyonuna uygulanır. YSA'larda en fazla kullanılan 4 aktivasyon fonksiyonu Şekil 3.12-3.15'te sunulmuş (Tatar, 2007). Eşitlik denklemleri 3.3 – 3.6 numaralı eşitlikte gösterilmiştir



Şekil 3.12. Birim Fonksiyonu

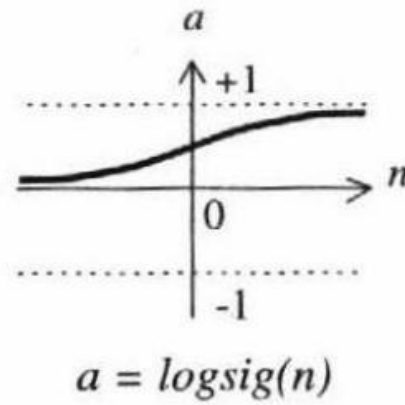
$$F(x) = x \text{ Birim Fonksiyonu}$$

(3.3)



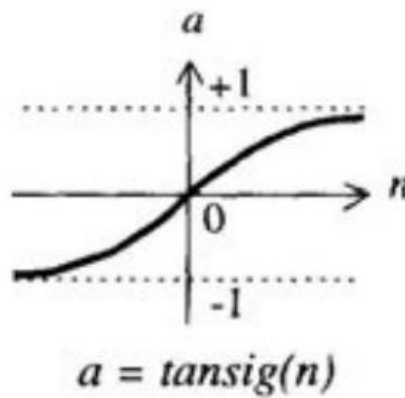
Şekil 3.13. Basamak Fonksiyonu

$$F(x) = \begin{cases} 1, & x > 0 \\ 0, & x \leq 0 \end{cases} \text{ Basamak Fonksiyonu} \quad (3.4)$$



Şekil 3.14. Sigmoid Fonksiyonu

$$F(x) = \frac{1}{1+e^{-x}} \text{ Sigmoid Aktivasyon Fonksiyonu} \quad (3.5)$$

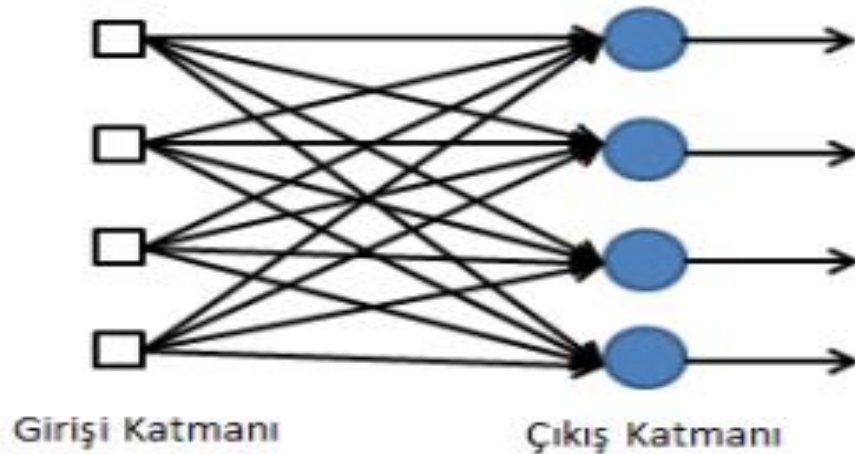


Şekil 3.15 Hiperbolik Tanjant Fonksiyonu

$$F(x) = \frac{e^x - e^{-x}}{e^x + e^{-x}} \text{ Hiperbolik Tanjant Fonksiyonu} \quad (3.6)$$

### 3.3.4 Tek katmanlı ağlar

Tek bir katmanı olan YSA'dır. Aktivasyon fonksiyonu olarak çoğunlukla basamak fonksiyonundan yararlanır. Bu yapıda giriş değerleri ile ağırlıklar çarpılarak toplanır. Çıkan sonuca aktivasyon fonksiyonu uygulanır. Elde edilen çıkış değeri 0 ya da 1 olur. Sonraki aşamada bulunan çıktı değeri ile hedeflenen çıktı değeri arasında farkı bulunur. Bulunan fark, öğrenme oranı ve giriş değerleri ile çarpılarak ağırlık değerlerine ilave edilir. Bu şekilde ağırlığın güncellenmesi ile beraber öğrenme işlemi uygulanır (Öztemel, 2012). Burada işlem giriş katmanından çıkış katmanı yönünde ileri yönlüdür. Şekil 3.16'da tek katmanlı ileri beslemeli YSA yapısı sunulmuştur (Şalvarcı, 2017).

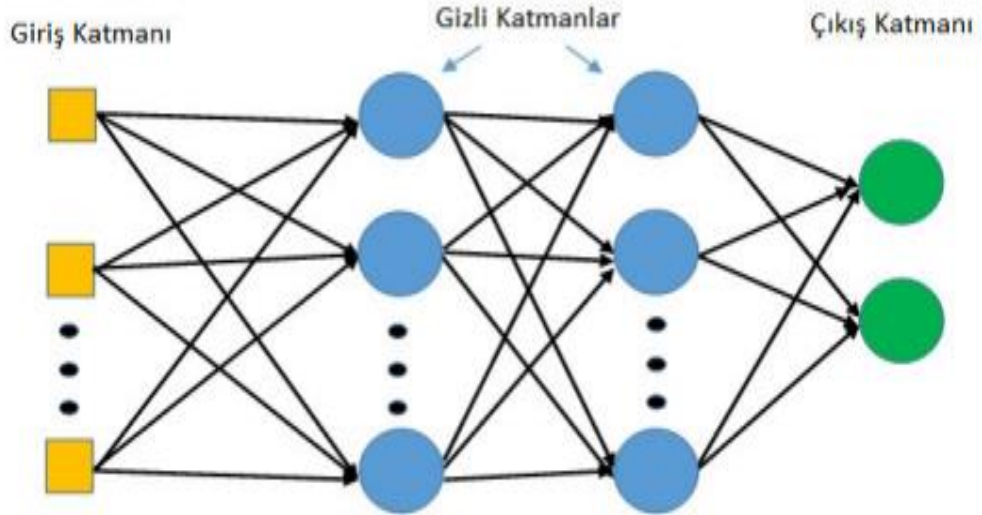


Şekil 3.16. Tek katmanlı ileri beslemeli YSA yapısı

### 3.3.5 Çok katmanlı ağlar

Lineer olmayan sorunlarda Çok Katmanlı Ağlar (ÇKA) daha kullanışlıdır. Tek katmanlı ağlar genellikle VE, VEYA gibi uygulamalarda kullanılırken XOR gibi lineer olmayan uygulamalarda elverişli olmazlar (Budak, 2020). Çok katmanlı bir ağın temel yapısı, bir girdi katmanı, bir veya daha fazla gizli katman ve bir çıktı katmanından oluşur. Girdi katmanı girdi verilerini alır ve gizli katmanlar bu verileri işler ve nihai çıktıyı üreten çıktı katmanına iletir. Gizli katmanlar, girdi veya çıktı katmanlarına doğrudan bağlı olmadıkları ve ara işlemleri dış dünya tarafından görülmediği için gizli olarak adlandırılır.

Gizli katmanda ne kadar nöron olacağı veya ne kadar gizli katman olacağına dair bir kesinlik yoktur, deneme yanılma metodu ile ayarlanır. Buradaki YSA'da uygulamalar giriş katmanının çıkış katmanına doğrudan doğruya ileri yönlüdür (Öztemel, 2012). Şekil 3.17'de çok katmanlı ileri beslemeli YSA yapısı yer almaktadır (Şalvarcı, 2017)

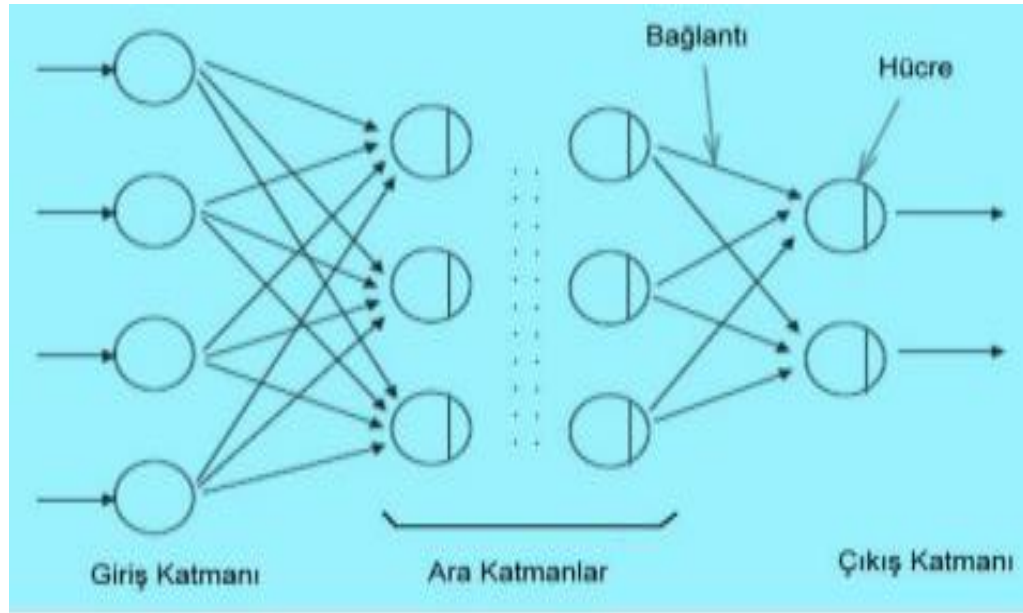


Şekil 3.17. Çok katmanlı ileri beslemeli YSA yapısı

### 3.3.6 İleri beslemeli ağlar

Bir ileri beslemeli sinir ağı, düğümler arasındaki bağlantılarda döngü içermeyen, birbirine bağlı bir dizi düğümden oluşan bir yapay sinir ağı türüdür. Bilgiler, ağ boyunca, geri döngü olmadan, giriş katmanından çıkış katmanına tek bir yönde iletilir. Bir ileri beslemeli ağda, giriş katmanı gelen girdi verilerini alarak doğrudan gizli katmana iletir. Daha sonra bu veriler dönüştürülüp işlendiği bir veya daha fazla gizli katmandan geçirilir. Son gizli katmanın çıktısı, ağın son çıktısını üreten çıktı katmanına iletilir. İleri beslemeli ağlar, tahmin edilen çıktı ile gerçek çıktı arasındaki hatayı en aza indirmek için düğümler arasındaki bağlantıların ağırlıklarını ayarlamak üzere çeşitli optimizasyon algoritmaları kullanılarak eğitilebilir. Bu ağlarda en çok tercih edilen algoritma geriye yayılım öğrenme algoritmasıdır (Budak, 2020). Şekil 3.18 de ileri beslemeli YSA yapısı yer almaktadır (Budak, 2020).

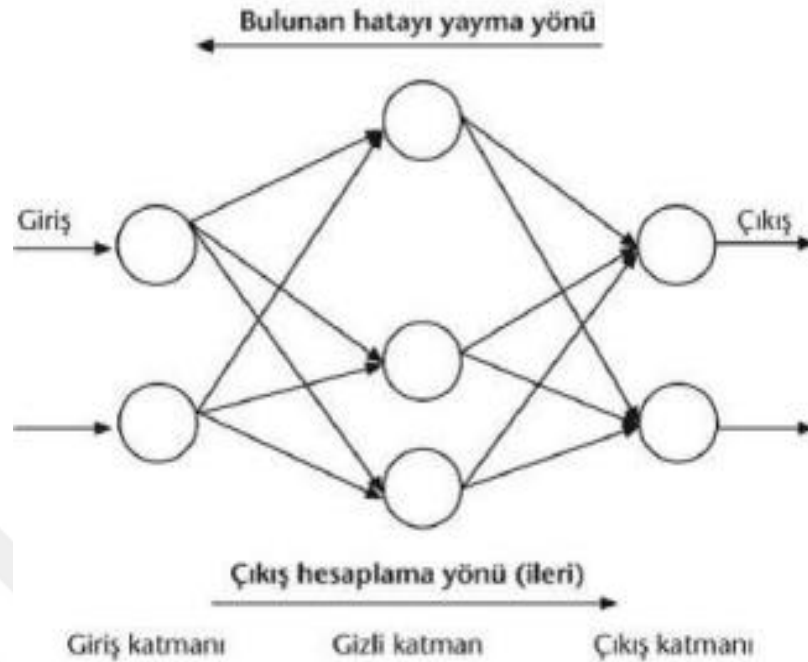




Şekil 3.18. İleri beslemeli YSA yapısı

### 3.3.7 Geri beslemeli ağlar

Yapay sinir ağlarında, bir geri bildirim ağı, ağın çıktısının girdiye geri beslendiği ve ağın bir çıktı üretmeden önce girdiyi birden çok kez işlemesine izin veren bir ağ mimarisi türüdür. Bu tarz YSA'lar lineer olmayan dinamik bir yapıya sahiptir. İki ana geri bildirim ağı türü vardır. Bunlar tekrarlayan sinir ağları ve tekrarlamayan sinir ağlarıdır. Tekrarlayan bir geri besleme ağında, çıktı her zaman adımında girdiye geri beslenir ve ağın girdiyi belirli bir sürede birçok kez işlemesine izin verir. Diğer taraftan, tekrarlamayan geri besleme ağları, her adımda çıktıyı girdiye geri beslemez. Bunun yerine, çıktı, yalnızca girdi belirli sayıda işlendikten veya belirli bir koşul karşılandıktan sonra girdiye geri beslenir. Şekil 3.19'da geri beslemeli YSA yapısı yer almaktadır (Budak, 2020).



Şekil 3.19. Geri beslemeli YSA yapısı

### 3.3.8 Hatanın geriye yayılım algoritması

Geri yayılım, yapay sinir ağlarını, özellikle çok katmanlı ileri beslemeli sinir ağlarını eğitmek için kullanılan bir algoritmadır. Derin öğrenme modellerini eğitmek için yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir.

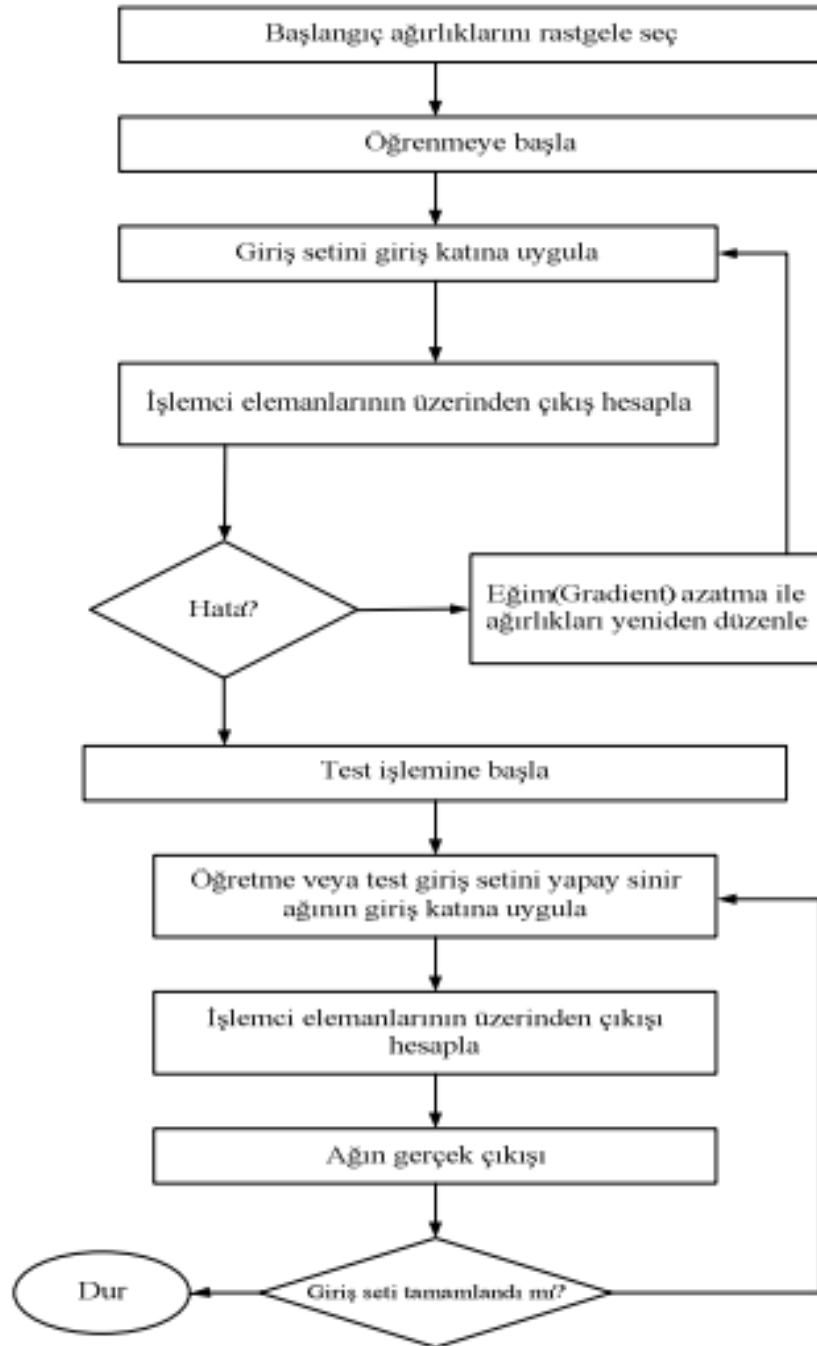
Geri yayılımın amacı, ağın tahmin edilen çıktısı ile gerçek hedef çıktısı arasındaki hatayı en aza indirmek için sinir ağının ağırlıklarını ve eşik değerlerini ayarlamaktır. Bu, ağdaki her bir ağırlığa ve sapmaya göre kayıp fonksiyonunun gradyanını hesaplayarak ve bu gradyanı, gradyanın zıt yönündeki ağırlıkları ve sapmaları güncellemek için kullanarak yapılır. Bu işlem veri kümesindeki her eğitim örneği için hata en aza indirilene kadar tekrarlanır.

Geri yayılım algoritması, ilk olarak, giriş verilerinin ağ boyunca yayıldığı ve çıkışın hesaplandığı ağ üzerinden ileri geçiş yaparak çalışır. Tahmin edilen çıktı ile hedef çıktı arasındaki hata daha sonra hesaplanır. Ardından, algoritma, çıkış katmanından başlayarak ve gizli katmanlardan giriş katmanına doğru geriye doğru ilerleyerek ağ üzerinden geriye doğru bir geçiş gerçekleştirir. Geriye geçiş sırasında algoritma, ağdaki her ağırlık ve sapmaya göre kayıp fonksiyonunun gradyanını hesaplar. Bu, gradyanın kendisinden sonra gelen katmanlardaki ağırlıkların ve sapmaların gradyanları kullanılarak hesaplanmasına izin veren zincir kuralı kullanılarak yapılır. Son olarak ağırlıklar, güncellemenin boyutunu belirleyen gradyan ve bir öğrenme hızı parametresi

kullanılarak güncellenir.

Bu işlem veri kümesindeki her eğitim örneği için hata en aza indirilene kadar tekrarlanır.

Şekil 3.20’de işlem şeması gösterilmiştir (Zorlu, 2004).



Şekil 3.20. Geriye yayılım algoritması işlem şeması

### 3.3.9 On-line öğrenme

On-line öğrenme, bir modelin yeni veriler kullanılabilir hale geldikçe gerçek zamanlı olarak eğitildiği ve güncellendiği bir makine öğrenimi türüdür.

Model bir veri akışı ile beslenir ve model, her veri noktası işlendikten sonra parametrelerini günceller. Bu durum, modelin sürekli olarak yeni veriler elde edildikçe öğrenmesini ve uyum sağlamasını sağlar. Gerçek zamanlı veri akışları gibi verilerin sürekli değiştiği durumlarda ya da modelin dış dünyayla etkileşime girdiği durumlarda, sürekli olarak öğrenmesi ve uyum sağlamasını gerektiren uygulamalarda yararlıdır. Bu tarz öğrenme daha kompleks sistemlerde kullanılır.

### 3.3.10 Off-line öğrenme

Toplu öğrenme olarak da bilinen off-line öğrenme, bir modelin sabit bir veri kümesi üzerinde eğitildiği ve ardından veri kümesi değiştirilene kadar güncellenmediği bir makine öğrenimi türüdür. Off-line öğrenmede, model sabit bir veri kümesi üzerinde eğitilir ve modelin değişkenleri, tahmin edilen çıktı ile gerçek hedef çıktı arasındaki hataya dayalı olarak eğitim sürecinde güncellenir. Eğitim tamamlandıktan sonra, veri kümesi değiştirilene veya model yeniden eğitilene kadar model güncellenmez.

### 3.3.11 YSA'ların kullanım alanları

YSA'lar çok çeşitli amaçlarla farklı alanlarda kullanılabilirler. Bunların bazıları aşağıda sıralanmıştır.

**Öneri sistemleri:** YSA'lar, bir kullanıcının geçmiş davranışlarına dayanarak hangi ürün veya içerikle ilgilenebileceğini tahmin etmek için kullanılabilir.

**Finans:** YSA'lar, hisse senedi fiyatlarını tahmin etmek veya hileli finansal işlemleri tespit etmek için kullanılabilir.

**Sağlık:** YSA'lar hasta sonuçlarını tahmin etmek, hastalıkları teşhis etmek ve potansiyel ilaç hedeflerini belirlemek için kullanılabilir.

**Robotik:** YSA'lar, robotların hareketlerini kontrol etmek ve yeni ortamları öğrenmelerini ve bunlara uyum sağlamalarını sağlamak için kullanılabilir.

**Görüntü ve video tanıma:** YSA'lar, bir fotoğraftaki yüzleri tanımlama veya bir videodaki yayaları algılama gibi, görüntülerdeki ve videolardaki nesnelere sınıflandırmak ve tanımlamak için kullanılabilir.

**Dolandırıcılık tespiti:** YSA'lar, finansal işlemlerde veya diğer alanlarda hileli faaliyetleri belirlemek için kullanılabilir.

**Konuşma tanıma:** YSA'lar, konuşulan kelimeleri metne dönüştürmek için kullanılabilir ve bu da sesli komutları kullanarak bilgisayarlarla etkileşimi mümkün kılar.

Regresyon: YSA'lar, girdi verilerine dayalı olarak sürekli bir değeri tahmin etmek için kullanılabilir. Örneğin, özelliklerine göre bir evin fiyatını tahmin etmek için veya davranışlarına göre bir müşterinin ayrılma olasılığını tahmin etmek için kullanılabilirler.



#### 4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

Bu bölümde, Mavi Tünel Seçme İçme Suyu Arıtma Tesislerinde kullanılan sincap kafesli asenkron motorlardan herhangi birisinin seçimi rastgele yapılarak, Delta marka VFD tipli bir sürücü yardımıyla motorun skaler kontrolü sağlanmıştır, motorun hızı takometre ile gerilimi multimetre ile ölçülmüştür. Bu tez çalışmasında kullanılan eğitim ve test düzeneğinde elde edilen verilerin alınmasını sağlayan ekipmanların görselleri (4.1) - (4.3) numaralı şekillerde gösterilmiştir.



Şekil 4.1. Eğitim ve test verilerindeki kullanılan ekipmanlar



Şekil 4.2. Kullanılan asenkron motorun motor etiketi



Şekil 4.3. Hız ölçümünde kullanılan takometre

Motorun gerilimi 430 V'dan itibaren 0,5 V azaltılıp 0 V'a kadar hangi frekans ve hız değerinde olduğu tespit edilerek YSA için eğitim verileri hazırlanmıştır. Elde edilen eğitim verileri EK-1'de sunulmuştur. Eğitim verileri elde edildikten sonra MATLAB/nntool üzerinden 3 farklı YSA'nın eğitimi yapılmıştır.



YSA'lar teste sokulmadan önce, test değerlerinin gerçek ölçümleri yapıldıktan sonra YSA sonuçları ile kıyaslanmıştır.

Test değerlerinin gerçek ölçümleri Çizelge 4.1'de sunulmuştur.

**Çizelge 4.1.** Test Değerlerinin Gerçek Ölçümleri

Gerilim (V)	Frekans (hz)	Gerçek hız değerleri (d/d)
400,8	43	1309
400,5	42,9	1309
400,2	42,6	1307
399,9	42,6	1306
399,6	42,5	1301
399,3	42,5	1298
399	42,3	1293
398,7	42,3	1290
398,4	42,3	1288
398,1	42,2	1285
397,8	42,1	1281
397,5	42,1	1279
397,2	42,1	1278
396,9	42	1276
396,6	41,9	1275
396,3	41,8	1273
396	41,8	1272
395,7	41,7	1270
395,4	41,7	1269
395,1	41,6	1267
394,8	41,6	1266
394,5	41,4	1263
394,2	41,2	1261
393,9	41,2	1259
393,6	41,2	1257
393,3	41,1	1255
393	41,1	1252
392,7	41,1	1251
392,4	41,1	1250
392,1	41	1248
391,8	41	1247
391,5	40,9	1244
391,2	40,8	1241
390,9	40,8	1240
390,6	40,7	1238
390,3	40,6	1236
359,7	33,6	1003
330,3	28,3	844
260,7	17,8	493
199,7	10,5	154

180,4	8,3	117
119,1	3,2	87
114,6	2,6	78
108,1	2,4	70
103,7	2,4	70
99,2	2,3	65
93,8	2,1	58
84,4	1,8	45
83,6	1,6	40
82,4	1,5	34
48,8	1,5	34
29,4	1,4	0
22,3	1,4	0

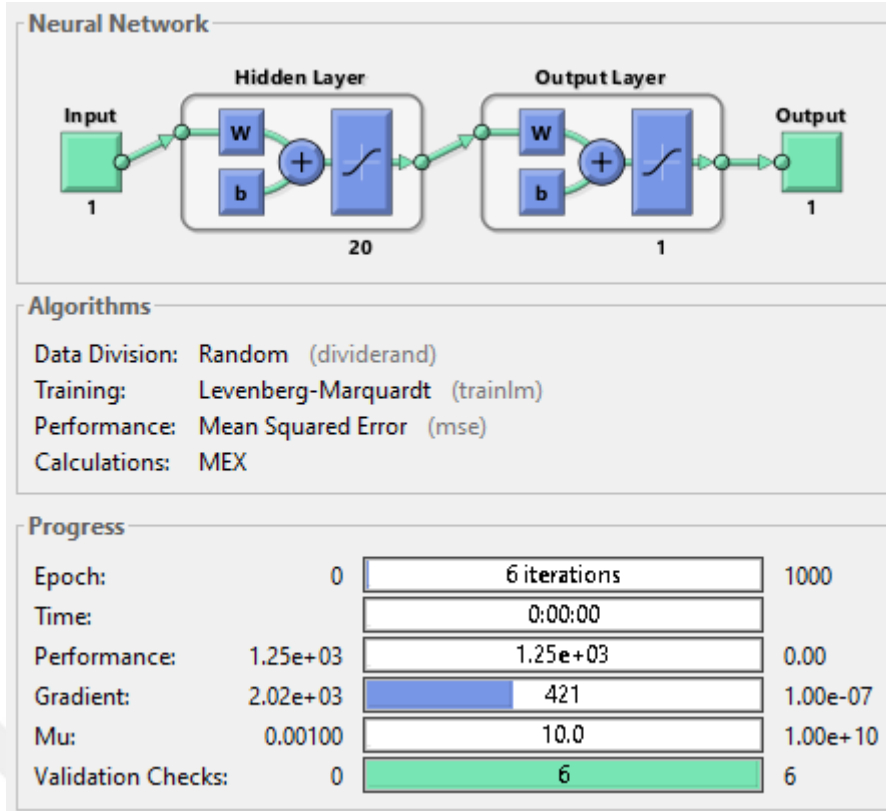
#### 4.1. Gerilim Girdili YSA'nın Test Sonuçları

Bu testimizde eğitim verilerimize göre girdi olarak sadece gerilim (V) kullanılmış olup YSA'nın eğitimi yapılmıştır. Yapay sinir ağlarının eğitim parametreleri Çizelge 4.2'de gösterilmiştir.

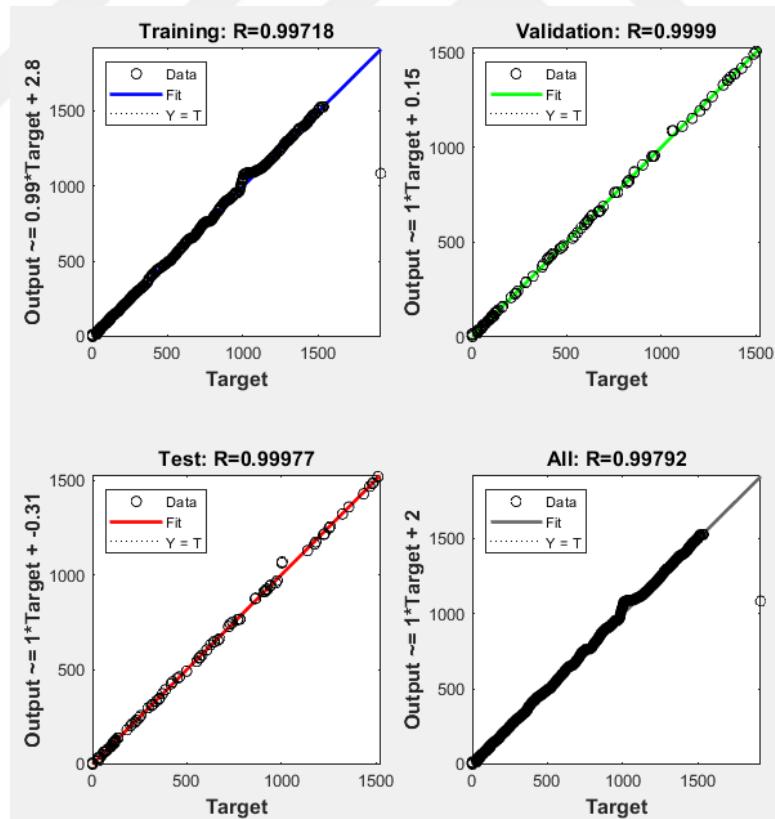
**Çizelge 4.2.** Yapay Sinir Ağı Eğitim Parametreleri

Yapay Sinir Ağı Parametreleri	
Ağ Tipi	İleri beslemeli geri yayımlı
Transfer fonksiyonu	TANSIG
Performans Fonksiyonu	MSE
Adaptif Öğrenme Fonksiyonu	LEARNGDM
Eğitim Fonksiyonu	TRAINLM
Hücre Sayısı	20
Öğrenme Oranı	% 70
Doğrulama Oranı	% 15
Test Oranı	% 15

Çizelge 4.2'ye göre eğitilen yapılan YSA, daha sonra simülasyona girmiştir. Şekil 4.4'te MATLAB/nntool ile tasarlanan yapısı ve Şekil 4.5'te eğitim, onaylama, test ve tüm verilerini bir arada bulunduran ve MATLAB/nntool çıktısı olan regresyon grafikleri verilmiştir.



Şekil 4.4. Seçilen ağın MATLAB/ntool ile tasarlanan yapısı



Şekil 4.5 Eğitim, onaylama, test ve tüm verilerin MATLAB/ntool çıktısı regresyon grafikleri

Simülasyon sonuçları ile gerçekte ölçülen hız değerlerinin sonuçları karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırma Çizelge 4.3'te sunulmuştur.

**Çizelge 4.3.** Gerçek ölçümler ile yapay sinir ağı simülasyonu çıktı değerleri karşılaştırılması

Gerçek hız değerleri (d/d)	YSA simülasyonu sonunda çıkan hız değeri(d/d)	Yüzdesele Farkı (%)
1309	1312,085225	0,120532017
1309	1308,968199	0,281055399
1307	1299,489553	0,28895109
1306	1299,489553	0,372934927
1301	1296,28195	0,150720677
1298	1296,28195	0,08071451
1293	1289,809974	-0,144549521
1290	1289,809974	-0,216214704
1288	1289,809974	-0,210613488
1285	1286,561297	-0,283234272
1281	1283,317235	-0,434791611
1279	1283,317235	-0,430257439
1278	1283,317235	-0,347372674
1276	1280,08656	-0,343173379
1275	1276,875221	-0,260495516
1273	1273,685836	-0,256607291
1272	1273,685836	-0,174109871
1270	1270,518163	-0,170505426
1269	1270,518163	-0,088158398
1267	1267,370065	-0,084806656
1266	1267,370065	-0,00257606
1263	1261,120226	-0,078617953
1261	1254,912146	-0,075762579
1259	1254,912146	-0,073053262
1257	1254,912146	-0,070479279
1255	1251,817752	-0,068029259
1252	1251,817752	-0,145615828
1251	1251,817752	-0,063452216
1250	1251,817752	0,018750072
1248	1248,727483	0,020958478
1247	1248,727483	0,103284815
1244	1245,640065	0,025223102
1241	1242,554488	-0,053246405
1240	1242,554488	0,029394367
1238	1239,469923	0,031489286
1236	1236,385649	0,033615807
1003	1003,542008	-0,394551822
844	837,301011	0,037096449
493	492,5786868	-0,006552478
154	152,1251235	0,562666126
117	117,677661	0,027308928
87	78,48958288	10,12000744
78	66,29299959	9,272108035
70	61,37624531	20,63208929
65	58,601275	19,68522962
58	52,10233597	20,7370575

45	38,81444707	24,72687549
40	27,15027467	16,69258639
34	20,82903637	11,25628274
0	14,68416831	$\infty$

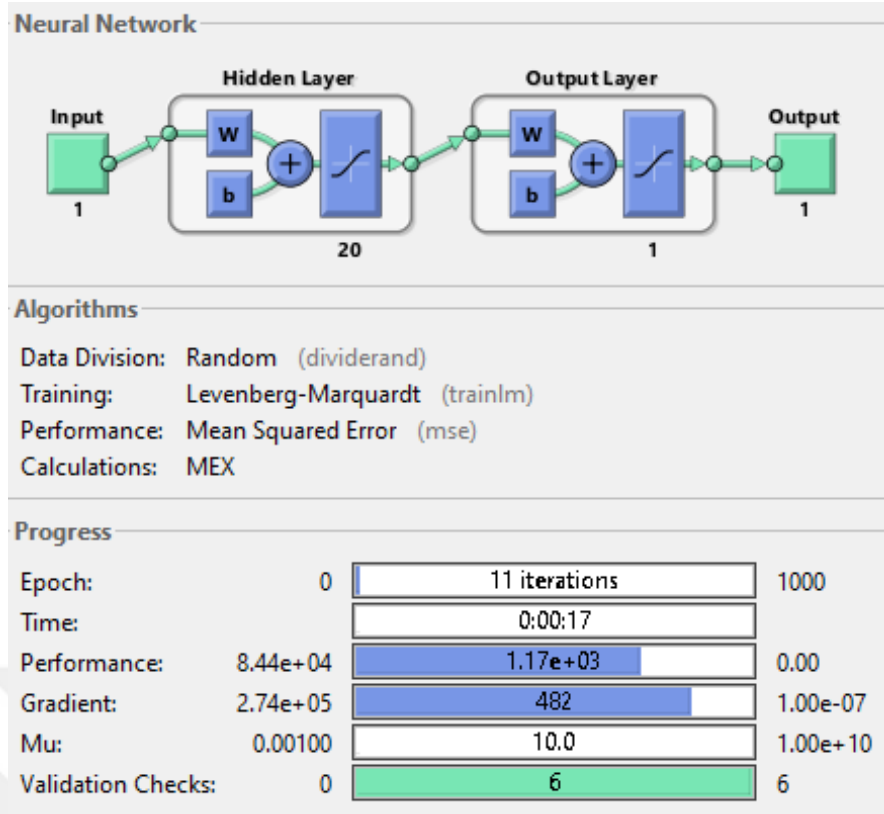
## 4.2 Frekans Girdili YSA'nın Test Sonuçları

Bu testimizde eğitim verilerimize göre girdi olarak sadece frekans (hz) kullanılmış olup YSA'nın eğitimi yapılmıştır. Yapay sinir ağlarının eğitim parametreleri Çizelge 4.4'de gösterilmiştir.

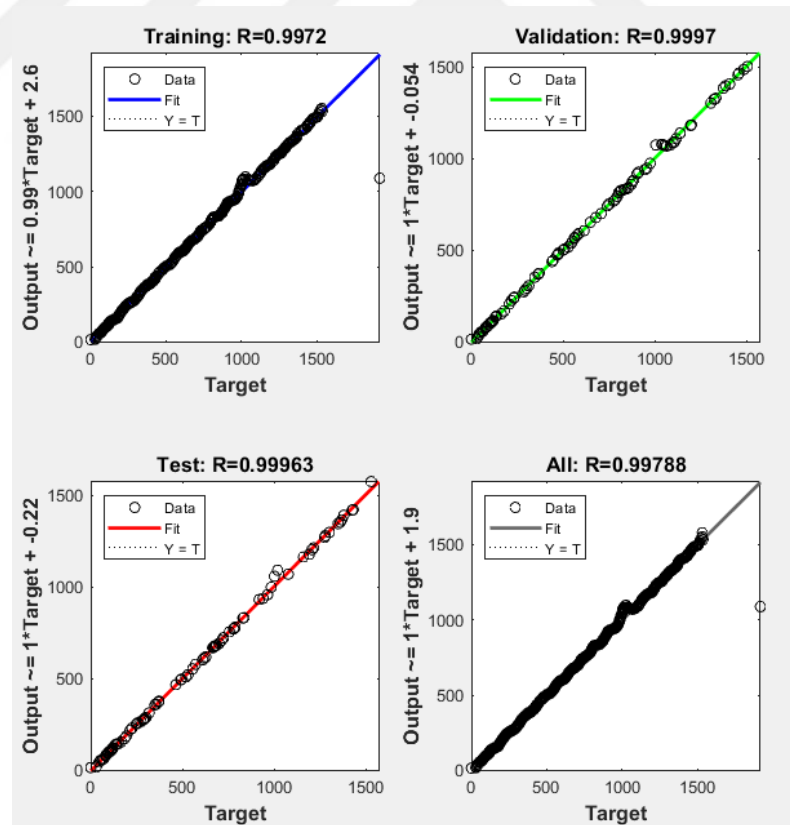
**Çizelge 4.4.** Yapay Sinir Ağı Eğitim Parametreleri

<b>Yapay Sinir Ağı Parametreleri</b>	
Ağ Tipi	İleri beslemeli geri yayımlı
Transfer fonksiyonu	TANSIG
Performans Fonksiyonu	MSE
Adaptif Öğrenme Fonksiyonu	LEARNGDM
Eğitim Fonksiyonu	TRAINLM
Hücre Sayısı	20
Öğrenme Oranı	%70
Doğrulama Oranı	%15
Test Oranı	%15

Çizelge 4.4'e göre eğitilen yapılan YSA, daha sonra simülasyona girmiştir. Şekil 4.6'da MATLAB/nntool ile tasarlanan yapısı ve Şekil 4.7'de eğitim, onaylama, test ve tüm verilerini bir arada bulunduran ve MATLAB/nntool çıktısı olan regresyon grafikleri verilmiştir.



Şekil 4.6. Seçilen ağıın MATLAB/ntool ile tasarlanan yapısı



Şekil 4.7. Eğitim, onaylama, test ve tüm verilerin MATLAB/ntool çıktısı regresyon grafikleri

Simülasyon sonuçları ile gerçekte ölçülen hız değerlerinin sonuçları karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırma Çizelge 4.5'te sunulmuştur.

**Çizelge 4.5** Gerçek ölçümler ile yapay sinir ağları simülasyon çıktı değerleri karşılaştırılması

Gerçek hız değerleri (d/d)	YSA simülasyon sonunda çıkan hız değeri(d/d)	Yüzdesel Farkı (%)
1309	1312,085225	-0,235693264
1309	1308,968199	0,002429375
1307	1299,489553	0,574632524
1306	1299,489553	0,49850284
1301	1296,28195	0,362647996
1298	1296,28195	0,132361358
1293	1289,809974	0,24671511
1290	1289,809974	0,014730726
1288	1289,809974	-0,140525903
1285	1286,561297	-0,121501712
1281	1283,317235	-0,180892655
1279	1283,317235	-0,337547687
1278	1283,317235	-0,41605907
1276	1280,08656	-0,320263338
1275	1276,875221	-0,147076184
1273	1273,685836	-0,053875585
1272	1273,685836	-0,132534292
1270	1270,518163	-0,040800207
1269	1270,518163	-0,119634565
1267	1267,370065	-0,029207946
1266	1267,370065	-0,108219959
1263	1261,120226	0,148834056
1261	1254,912146	0,482779851
1259	1254,912146	0,324690542
1257	1254,912146	0,166098164
1255	1251,817752	0,253565539
1252	1251,817752	0,014556511
1251	1251,817752	-0,065367904
1250	1251,817752	-0,145420198
1248	1248,727483	-0,058291912
1247	1248,727483	-0,13853112
1244	1245,640065	-0,131838026
1241	1242,554488	-0,125260934
1240	1242,554488	-0,206007112
1238	1239,469923	-0,118733699
1236	1236,385649	-0,031201393
1003	1003,542008	-0,054038642
844	837,301011	0,793719081
493	492,5786868	0,085459061
154	152,1251235	1,217452282
117	117,677661	-0,579197465
87	78,48958288	9,782088644
78	66,29299959	15,00897488
70	61,37624531	12,31964955
65	58,601275	9,844192315
58	52,10233597	10,16838626
45	38,81444707	13,74567317

40	27,15027467	32,12431331
34	20,82903637	38,73812833
0	14,68416831	$\infty$

### 4.3 Gerilim ve Frekans Girdili YSA'nın Test Sonuçları

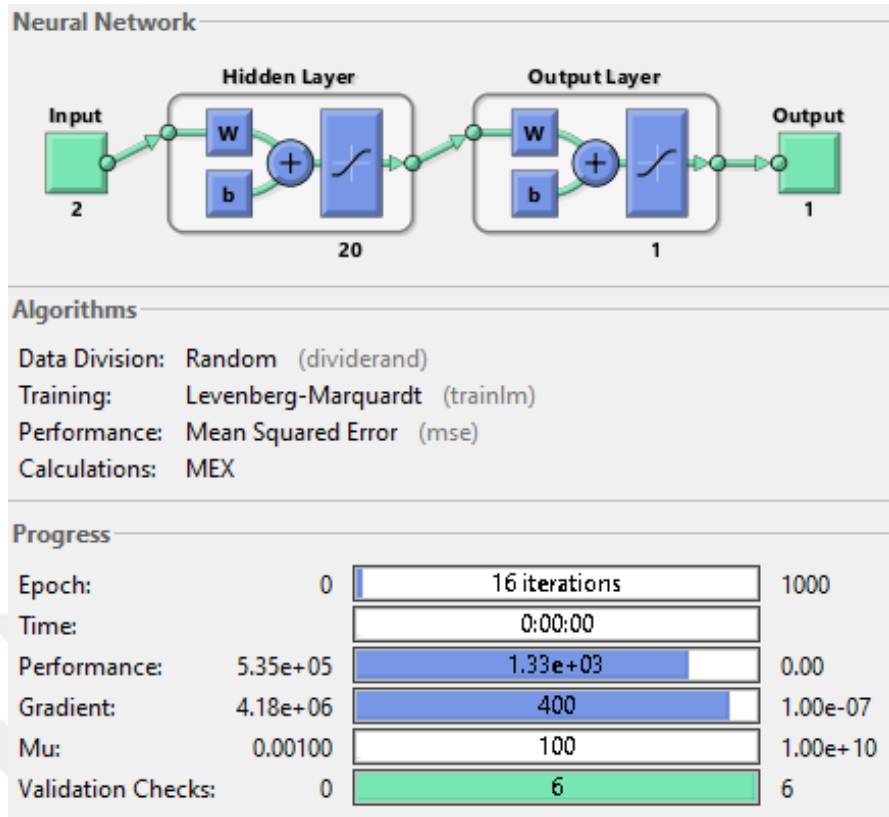
Bu testimizde eğitim verilerimize göre girdi olarak gerilim (V) ve frekans (hz) kullanılmış olup YSA'nın eğitimi yapılmıştır. Yapay sinir ağlarının eğitim parametreleri Çizelge 4.6'da gösterilmiştir.

**Çizelge 4.6.** Yapay Sinir Ağı Eğitim Parametreleri

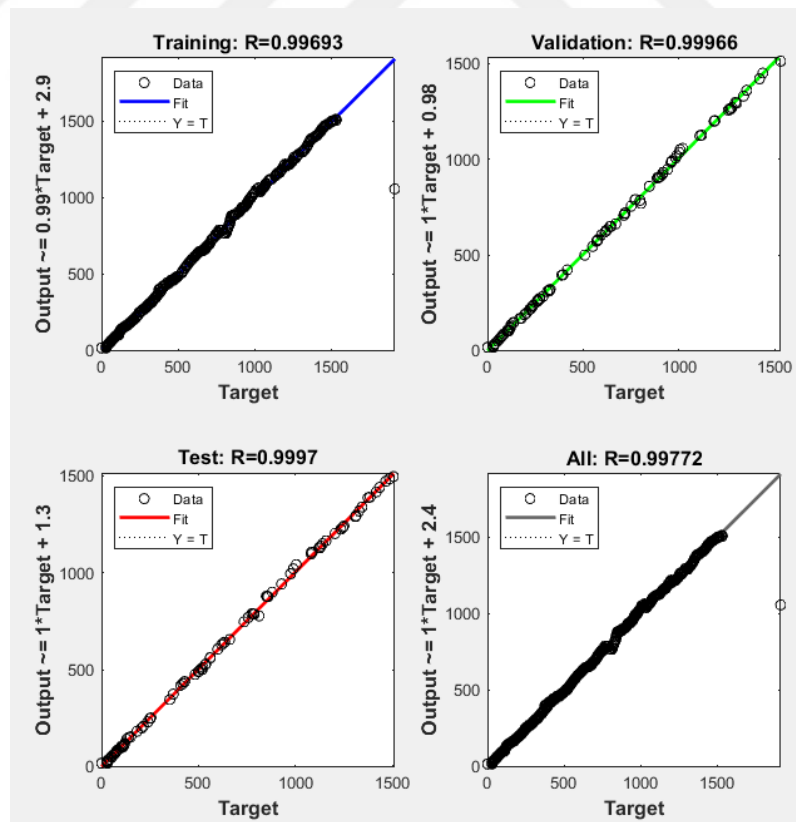
<b>Yapay Sinir Ağı Parametreleri</b>	
Ağ Tipi	İleri beslemeli geri yayımlı
Transfer fonksiyonu	TANSIG
Performans Fonksiyonu	MSE
Adaptif Öğrenme Fonksiyonu	LEARNGDM
Eğitim Fonksiyonu	TRAINLM
Hücre Sayısı	20
Öğrenme Oranı	%70
Doğrulama Oranı	%15
Test Oranı	%15

Çizelge 4.6'ya göre eğitilen yapılan YSA, daha sonra simülasyona girmiştir. Şekil 4.8'de MATLAB/nntool ile tasarlanan yapısı ve Şekil 4.9'da eğitim, onaylama, test ve tüm verilerini bir arada bulunduran ve MATLAB/nntool çıktısı olan regresyon grafikleri verilmiştir.





Şekil 4.8. Seçilen ağın MATLAB/ntool ile tasarlanan yapısı



Şekil 4.9. Eğitim, onaylama, test ve tüm verilerin MATLAB/ntool çıktısı regresyon grafikleri

Simülasyon sonuçları ile gerçekte ölçülen hız değerlerinin sonuçları

karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırma Çizelge 4.7’de sunulmuştur.

**Çizelge 4.7.** Gerçek ölçümler ile yapay sinir ağları simülasyon çıktı değerleri karşılaştırılması

Gerçek hız değerleri (d/d)	YSA simülasyon sonunda çıkan hız değeri(d/d)	Yüzdesel Farkı (%)
1309	1308,026296	0,074385353
1309	1305,607384	0,259176198
1307	1301,304143	0,435796284
1306	1299,852857	0,470684739
1301	1297,513775	0,267965021
1298	1296,087997	0,147303788
1293	1292,8759	0,009597832
1290	1291,413947	-0,109608258
1288	1289,995135	-0,154901786
1285	1287,659253	-0,206945764
1281	1285,335583	-0,33845299
1279	1283,923427	-0,384943437
1278	1282,554275	-0,356359554
1276	1280,205574	-0,329590473
1275	1277,868134	-0,224951649
1273	1275,541222	-0,199624627
1272	1274,159342	-0,169759589
1270	1271,823929	-0,143616418
1269	1270,465751	-0,115504386
1267	1268,121034	-0,088479417
1266	1266,786205	-0,062101504
1263	1263,456544	-0,036147618
1261	1260,268818	0,057984296
1259	1258,819796	0,01431326
1257	1257,411016	-0,032698132
1255	1255,082814	-0,006598729
1252	1253,696005	-0,135463638
1251	1252,349505	-0,107874116
1250	1251,043544	-0,083483525
1248	1248,663504	-0,05316539
1247	1247,378703	-0,03036913
1244	1244,983202	-0,079035541
1241	1242,590913	-0,128196056
1240	1241,307044	-0,105406754
1238	1238,897408	-0,072488519
1236	1236,489224	-0,039581195
1003	1005,045747	-0,203962831
844	843,1325923	0,102773424
493	491,4487206	0,314661134
154	153,9992647	0,000477447
117	116,1378948	0,736842073
87	78,14850377	10,1741336

78	67,85495529	13,00646757
70	60,08058238	14,1705966
65	52,09724783	19,85038796
58	45,70185554	21,20369734
45	36,46005007	18,9776665
40	32,61663068	18,45842329
34	30,47680064	10,36235106
0	13,87214341	$\infty$

---



## 5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

### 5.1 Sonuçlar

Yapılan bu araştırma yaşantımızda her gün ihtiyacımızı duyduğumuz içme suyunun arıtıldığı içme suyu arıtma tesislerinde kullanılan motorların kontrol yöntemlerinden bahsedilmiştir. Kullanılan motorların YSA ile algılayıcısız hız kontrolünü sağlamak üzere deneyler yapılmıştır.

Literatürde motorların algılayıcısız hız kontrolünü sağlamak için birçok metot kullanılmıştır. Yapılan bu araştırmaların incelenmesi sonucunda içme suyu arıtma tesislerinde kullanılan motorlardan herhangi birisinin rastgele seçilimi yapılarak VFD tipli sürücü yardımıyla motorun skaler olarak kontrolü sağlanmıştır. Kullanılan motorun etiket değerine ölçüme 50 Hz ve 430 V'dan başlayarak 0,5 V kademe kademe düşürülerek ve o voltajda çalışmasında denk gelen frekansı kontrol edilmiştir. Bu kontrol yöntemi ile motor kontrol edilirken takometre ile motorun hız ölçümü yapılarak, motorun YSA ile algılayıcısız hız kontrolünü sağlamak adına YSA eğitimi için veriler hazırlanmıştır.

Motorun skaler kontrol yöntemi uygulamasında, literatürde daha önceki çalışmalarda önerildiği gibi vektörel kontrol yönteminin daha verimli olacağı görülmüştür. Skaler kontrol yönteminde motorun devri çok düşük seviyelere geldiğinde elde edilen verilerin, yüksek devirli çalışmasına göre daha az verimli olduğu gözlemlenmiştir.

YSA eğitim verileri oluşturulduktan sonra, üç farklı girdisi olan YSA modellenmesi yapılmıştır. Girdi olarak sinir ağlarından birincisinde sadece gerilim, ikincisinde sadece frekans, üçüncü sinir ağında ise gerilim ve frekans seçilmiştir. YSA'ların simülasyonları yapılmadan önce ölçülmesi istenen değerlerin gerçek ölçümü yapılmıştır.

Yapılan simülasyonları sonucunda gerilim ve frekans girdili olan YSA'nın diğer YSA'lara göre gerçeğe daha yakın sonuçlar verdiği görülmüştür. Skaler kontrol yönteminden dolayı motorun düşük devirli çalışmasında alınan düşük verim YSA sonuçlarına yansıdığı görülmüş ve motorun düşük devirli değerlerinde yüzdesel olarak daha çok yanıldığı tespit edilmiştir. Çizelge 5.1 ve Çizelge 5.2'de modellenen üç farklı YSA'nın gerçek sonuçlarına göre karşılaştırılması ve yüzdesel olarak ne kadar uzakta olduğunun karşılaştırılması verilmiştir.

**Çizelge 5.1. Gerçek Hız Değerleri ile YSA'ların Hız ölçümleri**

Gerçek hız değerleri (d/d)	Gerilim Girdili YSA'nın hız değerleri (d/d)	Frekans Girdili YSA'nın hız değerleri (d/d)	Gerilim ve Frekans Girdili YSA'nın hız değerleri (d/d)
1309	1312,085225	1312,085225	1308,026296
1309	1308,968199	1308,968199	1305,607384
1307	1299,489553	1299,489553	1301,304143
1306	1299,489553	1299,489553	1299,852857
1301	1296,28195	1296,28195	1297,513775
1298	1296,28195	1296,28195	1296,087997
1293	1289,809974	1289,809974	1292,8759
1290	1289,809974	1289,809974	1291,413947
1288	1289,809974	1289,809974	1289,995135
1285	1286,561297	1286,561297	1287,659253
1281	1283,317235	1283,317235	1285,335583
1279	1283,317235	1283,317235	1283,923427
1278	1283,317235	1283,317235	1282,554275
1276	1280,08656	1280,08656	1280,205574
1275	1276,875221	1276,875221	1277,868134
1273	1273,685836	1273,685836	1275,541222
1272	1273,685836	1273,685836	1274,159342
1270	1270,518163	1270,518163	1271,823929
1269	1270,518163	1270,518163	1270,465751
1267	1267,370065	1267,370065	1268,121034
1266	1267,370065	1267,370065	1266,786205
1263	1261,120226	1261,120226	1263,456544
1261	1254,912146	1254,912146	1260,268818
1259	1254,912146	1254,912146	1258,819796
1257	1254,912146	1254,912146	1257,411016
1255	1251,817752	1251,817752	1255,082814
1252	1251,817752	1251,817752	1253,696005
1251	1251,817752	1251,817752	1252,349505
1250	1251,817752	1251,817752	1251,043544
1248	1248,727483	1248,727483	1248,663504
1247	1248,727483	1248,727483	1247,378703
1244	1245,640065	1245,640065	1244,983202
1241	1242,554488	1242,554488	1242,590913
1240	1242,554488	1242,554488	1241,307044
1238	1239,469923	1239,469923	1238,897408
1236	1236,385649	1236,385649	1236,489224
1003	1003,542008	1003,542008	1005,045747
844	837,301011	837,301011	843,1325923
493	492,5786868	492,5786868	491,4487206
154	152,1251235	152,1251235	153,9992647
117	117,677661	117,677661	116,1378948
87	78,48958288	78,48958288	78,14850377
78	66,29299959	66,29299959	67,85495529
70	61,37624531	61,37624531	56,68363842
65	58,601275	58,601275	52,09724783

58	52,10233597	52,10233597	45,70185554
45	38,81444707	38,81444707	36,46005007
40	27,15027467	27,15027467	32,61663068
34	20,82903637	20,82903637	30,47680064
0	14,68416831	14,68416831	13,87214341

**Çizelge 5.2. YSA'ların Gerçek Değerlerine Olan Yüzdesel Farkı**

Gerilim Girdili Olan YSA'nın Yüzdesel Farkı	Frekans Girdili Olan YSA'nın Yüzdesel Farkı	Gerilim ve Frekans Girdili Olan YSA'nın yüzdesel farkı
---	---	--

0,120532017	-0,235693264	0,074385353
0,281055399	0,002429375	0,259176198
0,28895109	0,574632524	0,435796284
0,372934927	0,49850284	0,470684739
0,150720677	0,362647996	0,267965021
0,08071451	0,132361358	0,147303788
-0,144549521	0,24671511	0,009597832
-0,216214704	0,014730726	-0,109608258
-0,210613488	-0,140525903	-0,154901786
-0,283234272	-0,121501712	-0,206945764
-0,434791611	-0,180892655	-0,33845299
-0,430257439	-0,337547687	-0,384943437
-0,347372674	-0,41605907	-0,356359554
-0,343173379	-0,320263338	-0,329590473
-0,260495516	-0,147076184	-0,224951649
-0,256607291	-0,053875585	-0,199624627
-0,174109871	-0,132534292	-0,169759589
-0,170505426	-0,040800207	-0,143616418
-0,088158398	-0,119634565	-0,115504386
-0,084806656	-0,029207946	-0,088479417
-0,00257606	-0,108219959	-0,062101504
-0,078617953	0,148834056	-0,036147618
-0,075762579	0,482779851	0,057984296
-0,073053262	0,324690542	0,01431326
-0,070479279	0,166098164	-0,032698132
-0,068029259	0,253565539	-0,006598729
-0,145615828	0,014556511	-0,135463638
-0,063452216	-0,065367904	-0,107874116
0,018750072	-0,145420198	-0,083483525
0,020958478	-0,058291912	-0,05316539
0,103284815	-0,13853112	-0,03036913
0,025223102	-0,131838026	-0,079035541
-0,053246405	-0,125260934	-0,128196056
0,029394367	-0,206007112	-0,105406754
0,031489286	-0,118733699	-0,072488519
0,033615807	-0,031201393	-0,039581195
-0,394551822	-0,054038642	-0,203962831
0,037096449	0,793719081	0,102773424

-0,006552478	0,085459061	0,314661134
0,562666126	1,217452282	0,000477447
0,027308928	-0,579197465	0,736842073
10,12000744	9,782088644	10,1741336
9,272108035	15,00897488	13,00646757
14,55038918	12,31964955	14,1705966
20,63208929	12,31964955	19,02337368
19,68522962	9,844192315	19,85038796
20,7370575	10,16838626	21,20369734
24,72687549	13,74567317	18,9776665
16,69258639	32,12431331	18,45842329
3,999721567	38,73812833	10,36235106
$\infty$	$\infty$	$\infty$

Ortalama Mutlak Hata (MAE) Eşitlik denklemi (5.1)'de gösterilmiştir.

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |O_i - P_i| \quad (5.1)$$

Gerilim girdili YSA'nın MAE'si = 0,028746

Frekans girdili YSA'nın MAE'si = 0,013969

Hem gerilim hem frekans girdili YSA'nın MAE'si = 0,024192

Hata karelerinin ortalamasının karekökü (RMSE) Eşitlik denklemi (5.2)'de gösterilmiştir.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (O_i - P_i)^2} \quad (5.2)$$

Gerilim girdili YSA'nın RMSE'si = 9,941984

Frekans girdili YSA'nın RMSE'si = 10,03941

Hem gerilim hem frekans girdili YSA'nın RMSE'si = 9,95074

## 5.2 Öneriler

Bu tez kapsamında Mavi Tünel İçme Suyu Arıtma Tesisinde kullanılan motorun Skaler kontrolü yapıp, YSA yardımıyla motorun algılayıcısız hız kontrolü üzerine incelemeler yapılmıştır. Skaler kontrol yönteminde çalışan motorun yüksek devirlerde ya da tam yükteki devrinde alınan verim göz önünde bulundurularak yüksek devirlerde çalışması gereken ya da hız aralığı çok fazla olmayan sistemlerde bu kontrol sistemi kullanılabilir. Ama hız daha fazla olan ya da düşük frekansta çalışması gereken sistemlerde vektörel kontrol yöntemi sayesinde daha fazla verim alınabilir.

Yaşayan tüm varlıkların en temel ihtiyacı olan suyun, arıtılıp kullanılmasını sağlayan içme suyu arıtma tesisleri kesintisiz hizmet vermektedir. Bu tesislerde çeşitli üniteler bulunup farklı güçlerde motorlar kullanılmaktadır. Kullanılan motorların hız

ölçümü sağlamak için YSA'lar ile algılayıcısız hız ölçümü yapılabilir. Bu ölçümler sayesinde algılayıcılardan kaynaklanan arıza vb. durumların önüne geçilip, daha uzun ömürlü ve daha az dışa bağlı bir sistem olarak işletilmesi sağlanabilir.

Bu araştırma için modellenmesi sağlandıktan sonra simülasyonu yapılan üç farklı YSA'nın sonuçlarına göre, birden fazla girdi kullanılarak gerçeğe daha yakın sonuç alınabilir. Gerçeğe daha yakın sonuçlar alabilmek için, YSA'ların öğrenmeleri adına olabildiğince fazla veri kullanılabilir.





## KAYNAKLAR

- Arslan, H. (1999). YSA ile Robotlarda Hareket Kontrolü. *Doktora Tezi*. İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Aydeniz, M. (2005). Asenkron Motorların Algılayıcısız Hız Kontrolünde Yeni Bir Algoritmanın Geliştirilmesi ve Uygulanması. *Doktora Tezi*. İstanbul: Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Blaschke, F. (1972). The Principle of Field Orientation as Applied to The New Transvektor. *Siemens Review*, 217-220.
- Brandstetter, P. (2014). Sensorless Control of DC Drive Using Artificial Neural Network. *Acta Polytechnica Hungarica*, 11(10), 5-20.
- Budak, S. (2020). Karma İletim Hatlarında Mesafe Koruma Rölesi Çalışmasının İncelenmesi ve Çalışma Başarımlarının Yükseltmesi. *Yüksek Lisans Tezi*. Konya : Konya Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Çakmakçı, M., Özkaya, B., Yetilmezsoy, K. ve Demir, S. (2013). *Orman Ve Su İşleri Bakanlığı Su Yönetimi Genel Müdürlüğü Su Arıtma Tesislerinin Tasarım ve İşletme Esası*. Türkiye: Orman ve Su İşleri Bakanlığı.
- Çelik, H. (2004). Uzay Vektör Darbe Genişlik Modülasyonu ile Üç Fazlı Asenkron Motorun Hız Kontrolü. *Yüksek Lisans Tezi*. Elazığ : Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Çolak, İ. (2008). Üç Fazlı Asenkron Motorlara Giriş. İ. Çolak içinde, *Asenkron Motorlar* (s. 15). Seçkin Yayıncılık.
- Dandıl, B. (2004). Sinirsel Bulanık Denetleyicilerle Asenkron Motorun Dayanıklı Hız Denetimi. *Doktora Tezi*. Elazığ: Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- De Moura Oliveira, P. (1998). Evolutionary Design of Process Control Systems. *Ph.D. Thesis*. University of Salford, Department of Aeronautical and Mechanical Engineering.
- Dede, M. (2008). Vektör Kontrollü Asenkron Motorun Hızının Yapay Sinir Ağları ile Tahmini. *Yüksek Lisans Tezi*. Afyon: Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Demirtaş, M. (2009). DSP-based Sliding Mode Speed Control of Induction Motor Using Neuro-Genetic Structure. *Expert Systems with Applications* 36 (3), 5533-5540.
- Gamazo-Real, J.C., Martinez-Martinez, V. ve Gomez-Gill, J. (2022). *ANN-Based Position And Speed Sensorless Estimation for BLDC Motors*. Measurement: Journal of the International Measurement Confederation: <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2021.110602> adresinden alındı
- Hasse, K. (1969). About the Dynamics of Adjustable-speed Drives with Converterfed. *Ph.D. Dissertation*. Germany: Darmstadt Technische Hochschule.
- Holtz, J. (1993). The Induction Motor-A Dynamic System. *Proc.IEEE 20th. International Conference on Ind. Elec. Cont. And Instr. IECON'94, ISBN: 0-7803-1328-3, Vol.1*, (s. 1-6,5-9). Bologna: İtalya.
- Hunt, K.J., Sbarboro, D., Zbikowski, R. ve Gawthrop, P.J. (1992). Neural Networks for Control Systems: A Survey. *Automatica*, 1083-1122.
- Hussain, S., Khan, H. ve Bazaz, M.A. (2018). *Neural Network Observer for Sensorless Direct Torque Controlled Induction Motor Drive*. Ieeexplore.Ieee.Org: <https://doi.org/10.1109/PEEIC.2018.8665540> adresinden alındı
- İlahi Bakhsh, F., Hassan, M., Tabrez, M., Shamganth, K. ve Al-Ghnimi, S. (2018). *A Comparative Simulation Study of Different Sensorless Permanent Magnet*

- Synchronous Motor Drives Using Neural Network and Fuzzy Logic*.  
Content.Iospress.Com: <https://doi.org/10.3233/JIFS-169801> adresinden alındı
- Kalman, R. (1964). When is a Linear Control System Optimal? *ASME Transactions*, 51-60.
- Kılıç, E. (2017). Sanayi Tipi Üç Fazlı Asenkron Motor İçin Uzay Vektör Darbe Genişlik Modülasyonu Kullanan Yapay Sinir Ağları Temelli Hız Kontrol Sistemi Tasarımı. *Doktora Tezi*. Kahramanmaraş: Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Maheswaran, D., Kailas, K.K.J., Rangraj, V. ve Kumar, W.A., (2012). Energy Efficiency in Electrical Systems. *IEEE International Conference on Power Electronics, Drives and Energy Systems (PEDES)* (s. 1-6). Bengaluru,Karnataka;Hindistan: Curtin Resarch Publications.
- Narendra, K.S., Parthasarthy, K., (1990). Identification and Control of Dynamical Systems Using Neural Networks. *IEEE, Transactions on Neural Networks*, 4-27.
- Öztemel, E. (2012). *Yapay Sinir Ağları*. içinde İstanbul: Papatya Yayıncılık.
- Polat, D. (2022, Nisan). DC Motorlarda Yapay Sinir Ağı ile Tork Kestirimi. *Yüksek Lisans Tezi*. Konya: Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Poyraz, G. (2011). Üç Fazlı Asenkron Motorun Skaler ve Vektörel Hız Denetimi. *Yüksek Lisans Tezi*. Düzce: Düzce Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Psaltis, D., Sideris, A. ve Yamamura, A.A., (1988). A Multilayered Neural Network Control. *IEEE Control Systems Magazine*, 17-21.
- Rifan, M., Yusivar, F., Kusumoputro, B., (2019). *Sensorless-BLDC Motor Speed Control With Ensemble Kalman Filter And Neural Network*. Mev.Lipi.Go.Id, 10, 1-6. : <https://doi.org/10.14203/j.mev.2019.v10.1-6> adresinden alındı
- Shyu, K.K., Shieh, H.J. ve Fu, S.S., (1998). Model Reference Adaptive Speed Control for. *IEEE Transactions on Industrial*, 180-182.
- Şalvarcı, Ü. (2017). Yüksek Lisans. *Yapay Sinir Ağları Kullanarak Görüntü İşlemeye Dayalı Ağırlık Tahmini*. Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Tatar, A. (2007). İletim Sistemlerinde Yapay Sinir Ağları ile Mesafe Koruması Uygulaması. *Yüksek Lisans Tezi*. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Uslu, M. (2016). *Kod5.org*. <http://kod5.org/yapay-sinir-aglari-ysa-nedir/> adresinden alındı
- Uygur, A. (2002). Bir Asenkron Motor Hız Denetim Sisteminin Neuro-Fuzzy. *Yüksek Lisans Tezi*. Kahramanmaraş: Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Üstün, S. (2001). Asenkron Motorun DSP Temelli Kontrolünde Yapay Sinir Ağları ve Genetik Algoritmalar Kullanılarak PI Katsayılarının Optimizasyonu. *Doktora Tezi*. YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Valdez, M.G., Romero, D.R., (2004). Improvement of an Induction Motor Drive-based Direct Torque Control Strategy Using A Neuro-fuzzy Controller. In: *Electrical and Electronics Engineering. 2004.(ICEEE). 1st International Conference on* (s. 439-444). IEEE.
- Vas, P., Stronach, A.F, Neutroth, M. (1995). A fuzzy-controlled speed-sensorless induction motor drive with flux estimators. *Electrical Machine and Drives, 1995. Seventh International Conference on (CONF. PUBL. NO. 412)*, 11-13.
- Vas, P. (1998). *Sensorless Vector and Direct Torque Control*. New York: Oxford University Press.
- Yan, L., Li, C.J., (1997). Robot Learning Control Based on Recurrent Neural Network Inverse Model . *Journal of Robotic Systems* , Vol. 14, 3., 199-212.

- Zames, G. (1963). Functional Analysis Applied To Non-Linear Feedback Systems. *IEEE Transactions on Circuits Theory*, 392 - 404.
- Zorlu, S. (2004). YSA Kullanılarak Fırçasız Servomotorun Algılayıcısız Hız Kontrolünün Gerçekleştirilmesi. *Doktora Tezi*. İstanbul: Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.



**EKLER**

Gerilim (V)	Frekans (hz)	Hız (d/d)
430,5	50	1530
430	49,8	1530
429,5	49,7	1525
429	49,6	1534
428,5	49,5	1515
428	49,3	1510
427,5	49,2	1509
427	49,1	1505
426,5	48,8	1502
426	48,7	1500
425,5	48,6	1498
425	48,5	1490
424,5	48,4	1485
424	48,3	1480
423,5	48,2	1478
423	48,1	1470
422,5	48	1466
422	47,8	1459
421,5	47,7	1456
421	47,6	1454
420,5	47,5	1452
420	47,4	1450
419,5	47,3	1442
419	47,2	1437
418,5	47,1	1434
418	47	1434
417,5	46,9	1433
417	46,8	1431
416,5	46,7	1425
416	46,6	1421
415,5	46,5	1419
415	46,3	1416
414,5	46,2	1412
414	46,1	1408
413,5	45,9	1403
413	45,8	1399
412,5	45,7	1390
412	45,6	1385
411,5	45,4	1380
411	45,2	1374
410,5	45	1369

410	44,8	1368
409,5	44,7	1365
409	44,6	1364
408,5	44,5	1360
408	44,4	1356
407,5	44,3	1352
407	44,3	1349
406,5	44,2	1346
406	44,1	1343
405,5	44	1341
405	43,9	1336
404,5	43,8	1334
404	43,6	1333
403,5	43,5	1328
403	43,4	1325
402,5	43,3	1323
402	43,2	1318
401,5	43,1	1314
401	43	1312
400,5	42,9	1309
400	42,6	1306
399,5	42,5	1301
399	42,3	1293
398,5	42,3	1288
398	42,2	1285
397,5	42,1	1279
397	42	1276
396,5	41,9	1275
396	41,8	1272
395,5	41,7	1269
395	41,6	1267
394,5	41,4	1263
394	41,2	1259
393,5	41,2	1257
393	41,1	1252
392,5	41,1	1250
392	41	1248
391,5	40,9	1244
391	40,8	1240
390,5	40,7	1238
390	40,6	1234
389,5	40,5	1231
389	40,4	1229
388,5	40,3	1223
388	40,1	1220
387,5	40	1218

387	39,9	1215
386,5	39,7	1211
386	39,7	1206
385,5	39,6	1204
385	39,2	1200
384,5	39,1	1195
384	39	1191
383,5	39	1187
383	38,9	1182
382,5	38,9	1180
382	38,8	1177
381,5	38,7	1175
381	38,6	1170
380,5	38,5	1166
380	38,5	1164
379,5	38,3	1160
379	38,1	1157
378,5	38	1152
378	37,9	1148
377,5	37,8	1143
377	37,7	1140
376,5	37,6	1138
376	37,5	1133
375,5	37,4	1130
375	37,4	1126
374,5	37,2	1121
374	37,1	1117
373,5	37	1111
373	36,8	1108
372,5	36,7	1100
372	36,6	1093
371,5	36,5	1090
371	36,4	1086
370,5	36,2	1082
370	36,2	1081
369,5	36,1	1077
369	36	1072
368,5	36	1070
368	35,9	1068
367,5	35,8	1065
367	35,7	1063
366,5	35,6	1060
366	35,5	1056
365,5	35,4	1052
365	35,3	1049
364,5	35,2	1042

364	35,2	1040
363,5	35,1	1037
363	34,3	1026
362,5	34,2	1025
362	34,1	1019
361,5	33,9	1915
361	33,8	1011
360,5	33,7	1005
360	33,7	1004
359,5	33,6	1002
359	33,5	1001
358,5	33,4	1000
358	33,3	997
357,5	33,2	992
357	33,1	989
356,5	33	987
356	32,9	984
355,5	32,9	982
355	32,8	980
354,5	32,7	978
354	32,6	975
353,5	32,4	970
353	32,3	964
352,5	32,2	962
352	32,1	961
351,5	32	958
351	32	957
350,5	31,9	954
350	31,8	951
349,5	31,8	950
349	31,7	949
348,5	31,6	946
348	31,5	943
347,5	31,4	940
347	31,3	937
346,5	31,2	934
346	31	928
345,5	30,9	926
345	30,8	918
344,5	30,7	917
344	30,6	916
343,5	30,5	915
343	30,5	912
342,5	30,4	907
342	30,3	904
341,5	30,2	903

341	30,1	902
340,5	30	900
340	29,9	899
339,5	29,8	893
339	29,7	890
338,5	29,6	887
338	29,5	885
337,5	29,4	880
337	29,4	878
336,5	29,3	875
336	29,2	874
335,5	29,1	872
335	29	870
334,5	28,9	864
334	28,8	860
333,5	28,8	858
333	28,7	857
332,5	28,6	856
332	28,5	853
331,5	28,4	850
331	28,3	847
330,5	28,3	845
330	28,3	844
329,5	28,2	841
329	28,2	839
328,5	28,2	838
328	28,2	836
327,5	28,1	832
327	28,1	830
326,5	28,1	825
326	28	821
325,5	28	819
325	28	817
324,5	27,9	813
324	27,9	811
323,5	27,8	809
323	27,7	806
322,5	27,6	804
322	27,5	801
321,5	27,4	799
321	27,3	797
320,5	27,1	796
320	27	794
319,5	26,9	790
319	26,8	788
318,5	26,7	785



318	26,6	782
317,5	26,5	778
317	26,4	775
316,5	26,3	772
316	26,2	770
315,5	26,1	769
315	26	767
314,5	26	766
314	25,9	763
313,5	25,8	761
313	25,7	759
312,5	25,6	756
312	25,5	756
311,5	25,5	753
311	25,4	751
310,5	25,3	750
310	25,1	747
309,5	25,1	746
309	25	741
308,5	24,9	735
308	24,9	732
307,5	24,8	728
307	24,7	728
306,5	24,6	726
306	24,5	723
305,5	24,4	720
305	24,4	719
304,5	24,3	716
304	24,2	714
303,5	24,2	713
303	24,1	711
302,5	24	708
302	24	707
301,5	23,9	703
301	23,8	700
300,5	23,8	697
300	23,7	694
299,5	23,6	692
299	23,5	690
298,5	23,5	689
298	23,4	687
297,5	23,4	686
297	23,3	683
296,5	23,2	680
296	23,2	678
295,5	23,2	677

295	23,1	674
294,5	23	670
294	22,9	670
293,5	22,8	669
293	22,7	665
292,5	22,7	665
292	22,6	663
291,5	22,5	660
291	22,5	658
290,5	22,4	655
290	22,3	652
289,5	22,2	649
289	22,1	645
288,5	21,9	642
288	21,8	638
287,5	21,7	636
287	21,7	635
286,5	21,6	633
286	21,5	629
285,5	21,4	627
285	21,3	625
284,5	21,3	624
284	21,2	619
283,5	21,1	618
283	21,1	615
282,5	21	614
282	20,9	613
281,5	20,8	610
281	20,8	608
280,5	20,7	605
280	20,7	603
279,5	20,6	599
279	20,5	594
278,5	20,4	594
278	20,3	590
277,5	20,3	587
277	20,2	585
276,5	20,1	582
276	20	579
275,5	19,9	576
275	19,8	574
274,5	19,8	571
274	19,7	569
273,5	19,6	564
273	19,5	561
272,5	19,5	560

272	19,4	558
271,5	19,3	556
271	19,3	554
270,5	19,2	552
270	19,1	549
269,5	19	545
269	19	544
268,5	18,9	541
268	18,8	538
267,5	18,7	534
267	18,6	532
266,5	18,6	530
266	18,5	528
265,5	18,4	526
265	18,4	523
264,5	18,3	521
264	18,2	519
263,5	18,2	512
263	18,1	508
262,5	18	503
262	17,9	500
261,5	17,9	498
261	17,8	495
260,5	17,7	491
260	17,7	488
259,5	17,6	483
259	17,5	480
258,5	17,5	476
258	17,4	474
257,5	17,3	471
257	17,3	467
256,5	17,2	464
256	17,2	460
255,5	17,1	455
255	17,1	453
254,5	17	449
254	16,9	445
253,5	16,8	440
253	16,8	437
252,5	16,7	430
252	16,7	428
251,5	16,6	426
251	16,5	424
250,5	16,5	423
250	16,4	419
249,5	16,3	417

249	16,3	416
248,5	16,2	409
248	16,2	404
247,5	16,1	402
247	16,1	401
246,5	15,9	398
246	15,8	394
245,5	15,7	389
245	15,7	387
244,5	15,6	386
244	15,5	381
243,5	15,6	377
243	15,6	376
242,5	15,4	372
242	15,3	370
241,5	15,2	370
241	15,2	368
240,5	15,1	363
240	15	360
239,5	14,9	358
239	14,9	355
238,5	14,8	352
238	14,8	350
237,5	14,7	345
237	14,6	341
236,5	14,5	337
236	14,5	335
235,5	14,4	330
235	14,3	329
234,5	14,3	327
234	14,2	323
233,5	14,2	321
233	14,1	319
232,5	14,1	318
232	14	314
231,5	14	312
231	13,9	308
230,5	13,9	306
230	13,8	302
229,5	13,7	300
229	13,7	299
228,5	13,6	294
228	13,6	292
227,5	13,5	291
227	13,5	289
226,5	13,4	286

226	13,4	285
225,5	13,3	282
225	13,3	280
224,5	13,3	279
224	13,2	274
223,5	13,2	271
223	13,1	269
222,5	13,1	267
222	13	263
221,5	13	262
221	12,9	260
220,5	12,9	258
220	12,8	255
219,5	12,8	253
219	12,8	252
218,5	12,7	249
218	12,7	247
217,5	12,5	241
217	12,5	240
216,5	12,4	238
216	12,4	235
215,5	12,3	232
215	12,3	231
214,5	12,2	228
214	12,1	226
213,5	12,1	225
213	12	220
212,5	12	218
212	11,9	215
211,5	11,8	211
211	11,8	209
210,5	11,7	206
210	11,7	205
209,5	11,6	202
209	11,6	200
208,5	11,5	197
208	11,5	196
207,5	11,4	193
207	11,4	193
206,5	11,3	190
206	11,3	188
205,5	11,2	185
205	11,2	183
204,5	11,1	180
204	11,1	180
203,5	10,9	177

203	10,9	175
202,5	10,8	170
202	10,8	168
201,5	10,7	163
201	10,7	162
200,5	10,6	158
200	10,6	157
199,5	10,4	151
199	10,4	150
198,5	10,3	147
198	10,3	145
197,5	10,2	142
197	10,2	141
196,5	10,1	139
196	10,1	137
195,5	10	135
195	10	135
194,5	10	134
194	9,9	132
193,5	9,9	131
193	9,8	130
192,5	9,8	130
192	9,6	128
191,5	9,6	127
191	9,5	125
190,5	9,5	124
190	9,4	122
189,5	9,4	122
189	9,3	122
188,5	9,3	122
188	9,2	120
187,5	9,2	120
187	9,1	120
186,5	9,1	120
186	9	120
185,5	9	120
185	8,9	120
184,5	8,8	120
184	8,8	120
183,5	8,7	119
183	8,7	119
182,5	8,6	119
182	8,6	119
181,5	8,4	119
181	8,4	119
180,5	8,3	119

180	8,3	117
179,5	8	117
179	8	117
178,5	7,9	117
178	7,9	117
177,5	7,8	117
177	7,8	117
176,5	7,7	116
176	7,7	116
175,5	7,6	116
175	7,6	116
174,5	7,5	116
174	7,4	116
173,5	7,3	114
173	7,2	114
172,5	7,1	114
172	7	114
171,5	6,9	114
171	6,8	114
170,5	6,7	113
170	6,6	113
169,5	6,5	113
169	6,4	113
168,5	6,3	113
168	6,2	113
167,5	6,1	111
167	6	111
166,5	5,9	111
166	5,8	111
165,5	5,7	111
165	5,6	111
164,5	5,5	110
164	5,4	110
163,5	5,3	110
163	5,2	110
162,5	5,1	110
162	5	109
161,5	5	109
161	5	109
160,5	5	109
160	5	109
159,5	5	109
159	5	109
158,5	5	109
158	5	109
157,5	5	109

157	5	109
156,5	5	109
156	4,9	107
155,5	4,9	107
155	4,9	107
154,5	4,9	107
154	4,9	107
153,5	4,9	107
153	4,9	107
152,5	4,9	107
152	4,9	107
151,5	4,9	107
151	4,8	104
150,5	4,8	104
150	4,8	104
149,5	4,8	104
149	4,8	104
148,5	4,8	104
148	4,8	104
147,5	4,8	104
147	4,8	104
146,5	4,7	102
146	4,7	102
145,5	4,7	102
145	4,7	102
144,5	4,7	102
144	4,7	102
143,5	4,7	102
143	4,7	102
142,5	4,7	102
142	4,7	102
141,5	4,7	102
141	4,6	102
140,5	4,6	102
140	4,6	102
139,5	4,6	102
139	4,6	102
138,5	4,6	102
138	4,5	100
137,5	4,5	100
137	4,5	100
136,5	4,5	100
136	4,5	100
135,5	4,5	100
135	4,4	98
134,5	4,4	98



134	4,4	98
133,5	4,4	98
133	4,4	98
132,5	4,4	98
132	4,3	96
131,5	4,3	96
131	4,3	96
130,5	4,3	96
130	4,1	95
129,5	4,1	95
129	4,1	95
128,5	4,1	95
128	4,1	95
127,5	4	92
127	4	92
126,5	4	92
126	3,9	88
125,5	3,9	88
125	3,9	88
124,5	3,9	88
124	3,6	84
123,5	3,6	84
123	3,6	84
122,5	3,6	84
122	3,6	84
121,5	3,3	81
121	3,3	81
120,5	3,3	81
120	3,3	81
119,5	3,2	77
119	3,2	77
118,5	3,2	77
118	3,2	77
117,5	2,9	73
117	2,9	73
116,5	2,9	73
116	2,9	73
115,5	2,9	73
115	2,9	73
114,5	2,6	70
114	2,6	70
113,5	2,6	70
113	2,5	66
112,5	2,5	66
112	2,5	66
111,5	2,5	66

111	2,5	66
110,5	2,4	60
110	2,4	60
109,5	2,4	60
109	2,4	60
108,5	2,4	60
108	2,4	60
107,5	2,4	60
107	2,4	60
106,5	2,4	60
106	2,4	60
105,5	2,4	60
105	2,4	60
104,5	2,4	60
104	2,4	60
103,5	2,4	60
103	2,3	52
102,5	2,3	52
102	2,3	52
101,5	2,3	52
101	2,3	52
100,5	2,3	52
100	2,3	52
99,5	2,3	52
99	2,3	52
98,5	2,3	52
98	2,3	52
97,5	2,3	52
97	2,3	52
96,5	2,1	45
96	2,1	45
95,5	2,1	45
95	2,1	45
94,5	2,1	45
94	2,1	45
93,5	2,1	45
93	2,1	45
92,5	2,1	45
92	2,1	45
91,5	2,1	45
91	2	40
90,5	2	40
90	2	40
89,5	2	40
89	2	40
88,5	2	40

88	1,8	37
87,5	1,8	37
87	1,8	37
86,5	1,8	37
86	1,8	37
85,5	1,8	37
85	1,8	37
84,5	1,8	37
84	1,8	37
83,5	1,6	30
83	1,5	30
82,5	1,5	30
82	1,5	30
81,5	1,5	30
81	1,5	30
80,5	1,5	30
80	1,5	30
79,5	1,5	30
79	1,5	30
78,5	1,5	30
78	1,5	30
77,5	1,5	30
77	1,5	30
76,5	1,5	30
76	1,5	30
75,5	1,5	30
75	1,5	30
74,5	1,5	30
74	1,5	30
73,5	1,5	30
73	1,5	30
72,5	1,5	30
72	1,5	30
71,5	1,5	30
71	1,5	30
70,5	1,5	30
70	1,5	30
69,5	1,5	30
69	1,5	30
68,5	1,5	30
68	1,5	30
67,5	1,5	30
67	1,5	30
66,5	1,5	30
66	1,5	30
65,5	1,5	30

65	1,5	30
64,5	1,5	30
64	1,5	30
63,5	1,5	30
63	1,5	30
62,5	1,5	30
62	1,5	30
61,5	1,5	30
61	1,5	30
60,5	1,5	30
60	1,5	30
59,5	1,5	30
59	1,5	30
58,5	1,5	30
58	1,5	30
57,5	1,5	30
57	1,5	30
56,5	1,5	30
56	1,5	30
55,5	1,5	30
55	1,5	30
54,5	1,5	30
54	1,5	30
53,5	1,5	30
53	1,5	30
52,5	1,5	30
52	1,5	30
51,5	1,5	30
51	1,5	30
50,5	1,5	30
50	1,5	30
49,5	1,5	30
49	1,5	30
48,5	1,5	30
48	1,5	30
47,5	1,5	30
47	1,5	30
46,5	1,5	30
46	1,5	30
45,5	1,5	30
45	1,5	30
44,5	1,5	30
44	1,5	30
43,5	1,5	30
43	1,5	30
42,5	1,5	30

42	1,5	30
41,5	1,5	30
41	1,5	30
40,5	1,5	30
40	1,5	30
39,5	1,5	30
39	1,5	30
38,5	1,5	30
38	1,5	30
37,5	1,5	30
37	1,5	30
36,5	1,5	30
36	1,5	30
35,5	1,5	30
35	1,5	30
34,5	1,5	30
34	1,5	30
33,5	1,5	30
33	1,5	30
32,5	1,5	30
32	1,5	30
31,5	1,5	30
31	1,5	30
30,5	1,5	30
30	1,5	30
29,5	1,4	0
29	1,4	0
28,5	1,4	0
28	1,4	0
27,5	1,4	0
27	1,4	0
26,5	1,4	0
26	1,4	0
25,5	1,4	0
25	1,4	0
24,5	1,4	0
24	1,4	0
23,5	1,4	0
23	1,4	0
22,5	1,4	0
22	1,4	0
21,5	1,4	0
21	1,4	0
20,5	1,4	0
20	1,4	0
19,5	1,4	0

19	1,4	0
18,5	1,4	0
18	1,4	0
17,5	1,4	0
17	1,4	0
16,5	1,4	0
16	1,4	0
15,5	1,4	0
15	1,4	0
14,5	1,4	0
14	1,4	0
13,5	1,4	0
13	1,4	0
12,5	1,4	0
12	1,4	0
11,5	1,4	0
11	1,4	0
10,5	1,4	0
10	1,4	0
9,5	1,4	0
9	1,4	0
8,5	1,4	0
8	1,4	0
7,5	1,4	0
7	1,4	0
6,5	1,4	0
6	1,4	0
5,5	1,4	0
5	1,4	0
4,5	1,4	0
4	1,4	0
3,5	1,4	0
3	1,4	0
2,5	1,4	0
2	1,4	0
1,5	1,4	0
1	1,4	0
0,5	1,4	0
0	1,4	0

---