



**ENDÜSTRİYEL ROBOT KOLU MODELİNİN
HEDEF KONUM EKLEM AÇILARININ
YAPICI SİNİR AĞI İLE KEŞTİRİMİ VE
KONTROLLÜ YÖRÜNGE UYGULAMASI**

FUAT ÖZÜDOĞRU

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ
ANA BİLİM DALI**

DR. ÖĞR. ÜYESİ MEHMET SERHAT CAN

Ocak - 2020

Her hakkı saklıdır

T.C.
TOKAT GAZİOSMANPAŞA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ENDÜSTRİYEL ROBOT KOLU MODELİNİN HEDEF KONUM EKLEM
AÇILARININ YAPICI SİNİR AĞI İLE KESTİRİMİ VE KONTROLLÜ YÖRÜNGE
UYGULAMASI

FUAT ÖZÜDOĞRU

TOKAT
Ocak - 2020

Fuat ÖZÜDOĞRU tarafından hazırlanan “**ENDÜSTRİYEL ROBOT KOLU MODELİNİN HEDEF KONUM EKLEM AÇILARININ YAPICI SİNİR AĞI İLE KESTİRİMİ VE KONTROLLÜ YÖRÜNGE UYGULAMASI**” adlı tez çalışmasının savunma sınavı 22 OCAK 2020 tarihinde yapılmış olup aşağıda verilen Jüri tarafından Oy Birliği ile Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Danışman

Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Serhat CAN
Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi

Üye

Prof. Dr. Ulaş EMİNOĞLU
Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi

Üye

Dr. Öğr. Üyesi Mehmet EKİCİ
Amasya Üniversitesi

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

ONAY

.....
Prof. Dr. Çetin ÇEKİÇ
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü
22/01/2020



TEZ BEYANI

Tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu tezin yazılmasında bilimsel ahlak kurallarına uyulduğunu, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezin içerdiği yenilik ve sonuçların başka bir yerden alınmadığını, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, tezin herhangi bir kısmının bu üniversite veya başka bir üniversitedeki başka bir tez çalışması olarak sunulmadığını beyan ederim.

Fuat ÖZÜDOĞRU

22 Ocak 2020

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ENDÜSTRİYEL ROBOT KOLU MODELİNİN HEDEF KONUM EKLEM AÇILARININ YAPICI SINIR AĞI İLE KESTİRİMİ VE KONTROLLÜ YÖRÜNGE UYGULAMASI

FUAT ÖZÜDOĞRU

TOKAT GAZİOSMANPAŞA ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

(TEZ DANIŞMANI: DR. ÖĞR. ÜYESİ MEHMET SERHAT CAN)

Endüstriyel robot kolunun uç işlevcisinin kartezyen koordinatlarda verilen bir noktadaki koordinatları ve robot kolunun uzunlukları kullanılarak, robotun eklem açılarının bulunması işlemi ters kinematik işlem olarak bilinir. Ters kinematik çözümler, özellikle çok eklemlili robotlarda, içerdiği matematiksel işlemlerden ötürü zorluklar içerir. Bu çalışmada, ters kinematik çözümler kullanılmadan, robot kolu son eklem açısı değerlerinin yapıcı sinir ağı (YSA) ile tahmin edilmesi amaçlanmıştır. Böylece ileri ve ters kinematik çözümlerden kaynaklanan sorun/zorluklar giderilmiştir. Çalışmada dört eklem ve bir tutucudan oluşan endüstriyel robot kolu modeli kullanılmıştır. Çalışmada geleneksel YSA ile Yapıcı YSA modelleri karşılaştırılmıştır. Geleneksel YSA modelinde 3 katmanlı yapı ve her katmanında 50 hücre kullanılmıştır. Yapıcı YSA modeli olarak piramit yapı tercih edilmiştir. Yapıcı YSA'nın eğitimi bir hücre ile başlamış, eğitim sırasında hedef eğitim regresyon değeri elde edilinceye kadar büyümüş ve 59 katmanda eğitimini tamamlamıştır. YSA eğitimlerinde 5000 adet eğitim verisi kullanılmıştır. Çalışmadaki testler, robot kolu uç işlevcisinin, robot kolu çalışma hacmi içerisinde verilen sabit noktalar için ve verilen yörüngelerin anlık koordinatları için olmak üzere iki senaryo ile gerçek zamanlı olarak gerçekleştirilmiştir. Her iki YSA modeli de eğitim seti haricinde verilen uç işlevci koordinatları için eklem açılarını yüksek oranda hesaplayabilmiştir. Böylece, ters kinematik denklemlerin kullanılmaması ve ters kinematik çözümlerde yaşanan problemler yaşanmamıştır.

2020, 74 SAYFA

ANAHTAR KELİMELELER: Yapıcı sinir ağı, endüstriyel robot kolu modeli, kontrollü yörünge uygulaması, ters kinematik analiz

ABSTRACT

MASTER THESIS

TARGET POSITION JOINT ANGLES OF INDUSTRIAL ROBOT ARM MODEL ESTIMATING BY USING CONSTRUCTIVE NEURAL NETWORK AND APPLICATION OF CONTROLLED TRAJECTORY

FUAT ÖZÜDOĞRU

**TOKAT GAZİOSMANPAŞA UNIVERSITY
GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES**

DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING

(SUPERVISOR:;) ASST. PROF. DR. MEHMET SERHAT CAN

The coordinate of the end function of the industrial robot arm at a given point in cartesian coordinates and the operation of the robot arm's joint angles and the working angles of the robot are known as kinematic processes. Inverse kinematic solutions, especially in multi-jointed robots, present difficulties due to the mathematical operations involved. In this direction, it is aimed to estimate the final joint angle values of the robot arm using the constructive neural network (CoANN) without inverse kinematic analysis. Thus, problems / difficulties arising from advanced and inverse kinematic solutions have been eliminated. In this study, industrial robot arm model consisting of four joints and one holder was used. CoANN models were compared to traditional artificial neural network (ANN). In the traditional ANN model contains a 3-layer structure and 50 cell per layer. CoANN model works prefer pyramid structure. The training of the CoANN started with a cell, and the training grew to reach the target training regression value and completed the training in 59 layers. 5000 training data is applied in ANN trainings. The tests in the study are for the given fixed points of the robot arm and for the instant coordination of the given trajectories. Both ANN models were able to compute a high degree of joint angles for the given end functional coordinates except for the training set. Thus, inverse kinematic equations were not used and problems experienced in inverse kinematic solutions were not experienced.

2020, 74 PAGE

KEYWORDS: Constructive neural network, industrial robot arm model, controlled trajectory application, inverse kinematic analysis

ÖNSÖZ

Değerli görüşleriyle, yüksek lisans tez çalışmamın ilk gününden bu yana desteğini esirgemeyen ve bana her konuda yardımcı olan danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Serhat CAN'a ve yüksek lisans tez çalışmama üniversite deney setlerini kullanmama müsaade ederek katkı sağlayan Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi'nde görevli Dr. Öğr. Üyesi Barış BORU hocama teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca bugüne kadar sevgi ve emeklerini esirgemeyen, desteklerini her zaman hissettiğim aileme sonsuz teşekkürlerimi bir borç bilirim.

Fuat ÖZÜDOĞRU

22 Ocak 2020

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	i
ABSTRACT.....	ii
ÖNSÖZ	iii
İÇİNDEKİLER	iv
SİMGE ve KISALTMALAR	vi
ŞEKİL LİSTESİ.....	ix
ÇİZELGE LİSTESİ.....	x
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ÖZETLERİ	4
3. KURAMSAL TEMELLER	11
3.1. Robotların Genel Özellikleri ve Sınıflandırılması	11
3.1.1 Tahrik sistemlerine göre robotlar	12
3.1.2. Koordinat sistemlerine göre robotlar	14
3.1.3. Robot tiplerine göre sınıflandırma	16
3.2. Robotlarda Kinematik Analiz.....	19
3.2.1. Düz (ileri) kinematik analiz ve ters (geri) kinematik analiz	20
3.3. Kontrollü Yörünge Planlaması.....	23
3.4. Yapay Sinir Ağları.....	24
3.4.1. Yapay sinir ağları ile hesaplamanın özellikleri.....	31
3.4.2. YSA'nın yapılarına göre sınıflandırılması	31
3.4.2. YSA'nın öğrenme algoritmalarına göre sınıflandırılması	33
3.4.3. Yapay sinir ağlarının avantajları ve dezavantajları.....	37
3.5. Yapıcı Sinir Ağları.....	38
4. MATERYAL ve YÖNTEM	41
4.1. Materyal.....	41
4.2. Yöntem.....	47
4.2.1. Robot kol ile matlab iletişimi	47
4.2.2. YSA eğitimi.....	48

5. BULGULAR.....	56
5.1. Kontrollü Yörünge Uygulaması	64
6. SONUÇ	71
7. KAYNAKLAR	72
8. ÖZGEÇMİŞ	74



SİMGELER ve KISALTMALAR

Kısaltmalar

Açıklama

BRA	İngiliz Robot Birliği
CoANN	Yapıcı Sinir Ağları
DH	Denavit-Hartenberg
DOF	Serbestlik Derecesi
EE	Bitiş Elemanı
İE	İşlem Elemanı
İEÇ	İşlem Elemanının Çıkışı
JIRA	Japon Endüstriyel Robot Birliği
LVQ	Doğrusal Vektör Parçalama
PE	Gizli Katman
PID	Oransal İntegral Türev Denetleyici
PTP	Noktadan Noktaya Hareket
RIA	Amerikan Robot Enstitüsü
SCARA	Seçici Serbest Esnemeli Robot Kolu
SE	Başlangıç Elemanı
YSA	Yapay Sinir Ağları

Simgeler

Açıklama

$a(i)$

Mafsal eksenlerinde ortak normalleri boyunca ölçülen en kısa mesafe

$a(t)$

Mafsal eksenleri arasındaki a ' ya dik bir düzlem üzerinde ölçülen açı

$d(i)$

Uzuv açıklığı

θ_1

Eklem açısı

L

Eklem boyu

x_T

Robotun x elemanının y elemanına göre konum ve oryantasyonunu gösteren transformasyon matrisi

$i \theta$

Uç işlevcisinin i_t anındaki konumu

X_i

Yapay sinir ağları için, i 'inci giriş değeri

W_{ij}

Yapay sinir ağları j 'inci elemandan i 'inci elemana bağlantı ağırlığı

TH

Toplam hata

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil

Sayfa

Şekil 1.1. Endüstriyel bir robot kolu (KUKA).....	1
Şekil 3.1. Kartezyen koordinat sistemi ve çalışma düzlemi	17
Şekil 3.2. Altı eksenli mafsallı robot	18
Şekil 3.3. Dört eksenli SCARA tipi robot	18
Şekil 3.4. Düz ve ters kinematik şematik gösterimi	22
Şekil 3.5. Biyolojik sinir sistemine ait şema.....	27
Şekil 3.6. Eşik sınır fonksiyonu grafiği	29
Şekil 3.7. Sigmoid fonksiyonu grafiği	29
Şekil 3.8. Tanjant hiperbolik fonksiyon grafiği.....	30
Şekil 3.9. Açık döngüye sahip (ileri) beslemeli ağ blok diyagram şeması ..	33
Şekil 3.10. Kapalı döngüye sahip (geri) beslemeli ağ blok diyagram şeması ..	34
Şekil 3.11. Ağın danışmanlı tipte öğrenme yapısı	35
Şekil 3.12. Ağın danışmansız tipte öğrenme yapısı	36
Şekil 3.13. Ağın takviyeli tipte öğrenme metodu yapısı.....	36
Şekil 3.14. Örnek bir Yapıcı YSA modeli	40
Şekil 4.1. Çalışmada kullanılan robot kolu.....	41
Şekil 4.2. Çalışmada kullanılan robot kolu çizimi, servo bilgileri ve eklem açıları gösterimi.....	42
Şekil 4.3. Robot kolu eklemlerindeki Dynamixel AX-12A servo motorları ..	43
Şekil 4.4. Çalışmada kullanılan OpenCM 9.04 mikrodenetleyicisi	46
Şekil 4.5. Çalışmanın şematik gösterimi	47
Şekil 4.6. Geleneksel YSA için farklı hücre sayılarına göre eğitim performans grafikleri (a) 10 hücreli (b) 20 hücreli (c) 30 hücreli (d) 40 hücreli (e) 50 hücreli	52
Şekil 4.7. Geleneksel YSA mimarisi.	52
Şekil 4.8. Çalışmanın yapıcı sinir ağı modeli	53
Şekil 4.9. Yapıcı YSA'nın eğitimi boyunca regresyon değişimi grafiği	54
Şekil 4.10. Yapıcı YSA'nın eğitiminde 59. Katmanın eğitime ait eğitim performans grafiği.....	55
Şekil 5.1. Eklem 1 için YSA ve Yapıcı YSA'lara ait test grafikleri.....	57
Şekil 5.2. Eklem 2 için YSA ve Yapıcı YSA'lara ait test grafikleri.....	59
Şekil 5.3. Eklem 3 için YSA ve Yapıcı YSA'lara ait test grafikleri.....	61
Şekil 5.4. Eklem 4 için YSA ve Yapıcı YSA'lara ait test grafikleri.....	63
Şekil 5.5. Adım aralığı 1, yarıçapı 10 cm, Z ekseninde 15 cm'de tanımlanmış yarım çember yörünge grafiği için uç işlevcinin konum grafikleri. (a) X eksenindeki konumu (b) Y eksenindeki konumu (c) Z eksenindeki konumu grafikleri.....	66
Şekil 5.6. Sinüs yörünge grafiği için uç işlevcinin konum grafikleri. Robot uç işlevcisinin; (a) X eksenindeki konumu (b) Y eksenindeki konumu (c) Z eksenindeki konumu grafikleri.....	68

Şekil 5.7. Sigmoid yörünge grafiği için uç işlevcinin konum grafikleri.
(a) X eksenindeki konumu (b) Y eksenindeki konumu
(c) Z eksenindeki konumu grafikleri..... 70



ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge

Sayfa

Çizelge 3.1. Bir sinir hücresinin yapısı ve YSA yapısı benzerlikleri	28
Çizelge 4.1. Dynamixel AX-12A EEPROM'un kontrol tablosu.....	44
Çizelge 4.2. Dynamixel AX-12A kontrol tablosu	45
Çizelge 4.3. YSA giriş ve hedef veri yapısında kullanılan değişkenler	49
Çizelge 5.1. Geleneksel YSA ile Yapıcı YSA'nın buldukları açılar ile referans açılar arasındaki ortalama karesel hata değerleri	64



1. GİRİŞ

Hızla gelişen teknoloji, küresel büyük üretimler, küreselleşme ve endüstriyel sanayilerde gerçekleşen ilerlemeler, insan gücü maliyetlerinin yükselmesi ile makineleşmeye duyulan ihtiyaç ve kalitenin artırılmasının amaçlanması insanları robotik teknolojileri kullanmaya mecbur hale getirmiştir. Endüstriyel robot kolları çağımızın üretim teknolojisinin en güçlü nesnesi haline gelmiştir. Robotik sistemlerin çok çeşitli kullanım sahaları olması nedeniyle robot kavramının tanımlanmasında bazı farklılıklar mevcuttur. Uluslararası tanınırlığı olan kuruluşlardan İngiliz Robot Birliği (BRA) ve Japon Endüstriyel Robot Birliği (JIRA) tarafından yayımlanan robot tanımlamalarında genellikle tanımlamaları yapılan robotların endüstri ve sanayide kullanılan robot tanımları olduğu görülmektedir. Robotik sistemlerin sanayi ve endüstride kullanılmasıyla alakalı olarak robot tanımı şu şekilde yapılmaktadır. *“Robotlar, çeşitli görevleri yapmak amacıyla farklı şekillerde programlaması yapılmış hareketlerle; nesnelerin, araçların, gereçlerin ya da özel tasarlanmış düzeneklerin bir yerden başka bir yere nakledilmesi için tasarlanmış çok işlevli bir uygulayıcıdır.”* (Alp, 2009).



Şekil 1.1. Endüstriyel bir robot kolu (KUKA)

Robotlar tiplerine göre sabit ve hareketli robotlar olmak üzere ikiye ayrılır. Hareketli robotların çalışma hacmi sabitlerinkine göre daha geniş olup görevleri ise sınırlı ve özel tanımlıdır. Sabit robot kollarının ise çalışma hacmi dardır, tekrarlayan ve hız gerektiren görevleri yerine getirirler. Endüstride daha çok gövdesi bir yere sabitlenmiş robot kolları kullanılmaktadır. Bu robot kolları eksenlerine göre üç, dört, beş, altı eksenli olarak çalışabilmektedir. Endüstride en çok altı eksenle çalışan robot kolları tercih edilmektedir. Tercihin sebebi x , y , z eksenlerinde düzlemsel ve döner hareketi yapabilmesindendir. Şekil 1.1’de endüstriyel bir robot kolu (manipülör) gösterilmektedir.

Robotun en son kısmını oluşturan ve uygulamanın gereksinimlerine göre asıl işi yapmakla görevli olan uzva son işlevci denilir. Son işlevci uygulamaya göre tutucu, punta, sprej boya, vantuz, delici gibi elemanları taşır. Robot eklem açılarından ve robot uzuvlarının parametrelerinden son işlevcinin x , y , z konumlarının bulunmasını sağlayan ifadeye düz (ileri) kinematik denklem, uç işlevcisinin x , y , z konumundan robot eklem açılarının bulunmasını sağlayan ifadeye de ters (geri) kinematik denklem adı verilir. Ters kinematik denklemlerde düz kinematik denklemlerde yapılan işlem basamaklarının tersine doğru yapılarak homojen dönüşüm matrisi ismi verilen matematiksel ifadeler ile oluşturulan ve parabolik denklemlerin çözülmesine ihtiyaç duyulmaktadır.

Düz kinematik ve ters kinematik analizler ciddi matematiksel işlem yükü getirmekte, olabilmekte ve üç boyutlu uzayda parabolik denklemlerin çözümünde problemler yaşanabilmektedir. Çok eklemlili robotlar yapıları itibariyle karmaşık yapıya sahiptirler. Bu sebeple çok eklemlili robotların ters kinematik çözümlerinde sonsuz sayıda çözüm bulunmaktadır. Ters kinematik denklemlerin çözümü için geometrik, iteratif ve cebirsel çözüm yaklaşımları kullanılmakla birlikte bu yöntemler bazı problemler içermektedir. Örneğin geometrik metotlarda her defasında en fazla üç eklemi dikkate almak gerekir. İteratif metotlar sadece tek bir noktaya yaklaşırlar ve bu nokta başlangıç noktasına bağlıdır. Cebirsel çözüm metotları ise kapalı form çözümleri garanti edemezler. Robot kolu çok karmaşık ise ters kinematik çözüm için bahsedilen bu yöntemler çok uzun zaman gerektirmektedir (Aksungur, 2009).

Yapay sinir ağıları (YSA), insan ve hayvanlarda bulunan sinir hücrelerinin çalışma biçiminden yola çıkarak oluşturulmuş çoğunlukla yazılım ve bazen de donanımsal yapılardır. Özellikle problem modelinin bilinmediği veya tam olarak ortaya koyulamadığı uygulamalar için etkili bir çözüm metodudur. Öğrenme yeteneğine sahiptir, ayrıca paralel çalışması sebebiyle hızlı çalışabilmektedir.

Bu çalışmada ters kinematik çözüm yöntemleri kullanılmadan, YSA kullanılarak dört eklemlili bir robot kolunun hedef konumundaki eklem açılarının tespit edilmesi amaçlanmıştır. Robot kolunun uç işlevcisinin çalışma uzayındaki x - z düzlemi ve x - y düzlemlerine dik olarak eğitilmesi ile verilen bir başlangıç noktasından verilen bir hedef noktasındaki robot kolunun eklemlerinin alacağı hedef eklem açıları YSA ve Yapıcı YSA ile bulunmuştur. Ayrıca robot kolu hareketi için bir yörünge tayin edilmiş ve robotun verilen iki nokta arasında kontrollü yörünge uygulaması gerçekleştirilmiştir.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

Khorasani ve Weng (1994), İleri Beslemeli Yapay Sinir Ağında Yapıcı Adaptasyon isimli çalışmalarında YSA'yı en iyi bir şekilde ayarlamak için iki tip algoritma önermişlerdir. Farklı durumları çalışmalarında denemişler, YSA'dan hem nöronları atmışlar hem de YSA'ya yeni nöron katarak, ağın hızını ve doğruluğunu arttırmayı hedeflemişlerdir. Önerilen algoritmaların kullanılması sonucunda elde edilen sonuçları çalışmalarına koyarak algoritmaları karşılaştırmışlar, sonuçları grafikler ile desteklemişlerdir. Çalıştıkları yeni tip algoritma ile YSA katmanlarının değiştirilmesi konusunda özgün bir çalışma ortaya koymuşlardır.

Cherif ve ark. (1995), bir robot kolunun hızlanma ve ivmelenme sırasında yaşanan problemini yapay sinir ağları ile ters kinematik analizden faydalanarak çözmüşler. YSA'da çok sayıda öğrenme algoritmasını denemişler en uygun sonucu Levanberg-Marquet algoritmasında almışlardır. Hız ve ivmelenmeyle ilgili olarak karşılaşılan sorunları performans fonksiyonunu değiştirerek çözmüşlerdir. Bu metotla az sayıda iterasyonla kesin sonuç elde etmişlerdir.

Öztemel (2003), kaleme aldığı Yapay Sinir Ağları'nın matlab toolbox çözümleri ve matlab kodları isimli eserinde YSA'nın ortaya çıkışını, geçmişten günümüze kadar olan gelişme sürecini ele almıştır. YSA'nın tarihi serüvenini, gelişimini, kronolojik olarak hangi uygulama alanlarında kullanıldığını anlatmıştır. Bilim adamlarının YSA'ya katkılarını anlatmış, YSA'nın geniş tanımını yapmış, öğrenmede kullanılan YSA algoritmalarını, ağ topolojilerini karşılaştırmalı olarak anlatmış, sınıflandırmış ve bunları ayrıntılı olarak açıklamıştır. Ayrıca Öztemel Matlab programında YSA'nın nasıl kullanıldığını basitten karmaşığa doğru giden örnek uygulamaları ile anlatmıştır.

Sağiroğlu ve ark. (2003), tarafından yazılan mühendislikte yapay zekanın uygulamaları: yapay sinir ağları isimli eserde YSA tanımı, tarihçesi, ortaya çıkış süreci anlatılmış, günümüzdeki uygulama alanları, YSA'da kullanılan algoritmalar, aktivasyon fonksiyonları, YSA'nın matematiksel hesaplamaları, uygulama alanları hakkında

bilgiler vermiştir. YSA ile yapay zekanın ortak yönlerini, uygulamalar üzerinde göstererek aktarmıştır.

Tombul ve Sarıtaş (2003), tarafından yapılan beş serbestlik derecesine sahip bir edubot robot kolunun ters (geri) kinematik denklemlerin hesaplamalarının yapılması ve yörünge kontrolü planlamasının yapılması konulu yüksek lisans tez çalışmasında beş eksenli bir edubot robot kolu üzerinde çalışmışlardır. Bu çalışmada, yörünge planlaması yapılırken YSA'dan faydalanılmıştır. Tersine yapılan kinematik denklem çözümünde robot kolunun uç işlevcisinin gideceği yerin pozisyon değerleri (x, y, z) ve robot elinin ilk konum pozisyonuna göre açısı (φ) giriş olarak verilmiştir. Eklem açılarının değerleri ($\theta_1, \theta_2, \theta_3, \theta_4$) ile ifade edilmiştir. Eklem açılarının hesaplanmasından sonra, robot kolunun amaçlanan hedefe hareketi esnasında eklem ve uzuv hareketlerinin uygun, salınımsız ve düzgün ve sabit hızla olabilmesi için de yörünge planlamasını uygulamışlardır. Robotun ters kinematik denkleminin bulunması ve izleyeceği güzergahın planlaması, Matlab programı vasıtasıyla gerçekleştirilmiştir. Robotun uzuv eklem açı değerlerinin, mafsalsal hız ve ivmelerinin zamana göre değişim grafikleri oluşturulmuş ve grafikler ile çalışmaya eklenmiştir. Elde edilen teorik verilerin uygulaması edubot robot kolu üzerinde denenmiş ve uygun sonuçlar alınmıştır.

Ma ve Khorasani (2004), kaleme aldığı regresyon problemlerine uygulanan yapıcı sinir ağları için yeni eğitim stratejileri adlı çalışmalarında YSA'da verimliliği arttırmak için uygulanan yapıcı sinir ağı algoritmasından bahsetmekte girişler tarafında ki eğitim verimliliğini artırmak ve daha iyi performans elde etmek için yapıcı öğrenme sürecinde hata sinyalini ölçeklendirerek bu sinyali tekrar sisteme eklemek suretiyle yeni bir tekniği önermişlerdir. Sayısal sonuçlar dikkate alındığında, önerilen stratejilerin literatürdeki diğer tekniklerle karşılaştırıldığında potansiyelinin ve avantajlarının fazla olduğunu göstermektedir. Eğitim performanslarının normal YSA'dan çok daha iyi olduğu görülmektedir.

Bingül ve Küçük (2005), yayınladıkları Robot Tekniği I adlı eserlerinde, robot ve robot kavramının ortaya çıkış sürecini, robot kollarının sınıflandırılmasını, robot kollarının çeşitlerini, robot kollarının düz ve ters kinematik analizlerinin hesaplanması üzerinde

durmuşlar, robot kollarının kinematik analizleri hakkında hesaplamalar sunmuşlar ve bunları örnek uygulamaları ile desteklemişlerdir.

Şahin (2006), tarafından yapılan yüksek lisans tez çalışmasında SCARA tipi bir robotun yörünge kontrolünü sağlamak amacıyla YSA ve PID kontrol yöntemleriyle uygulama gerçekleştirilmiştir. Robot kolunun kinematik denklemler kullanılarak matematiksel modeli elde edilmiştir. Çalışmada üç serbestliğe sahip Scara tipi bir manipülatörün uç işlevcisinin YSA tekniği ile kontrolü uygulanmıştır. Öncelikle robotun matematiksel denklemlerini elde etmiştir. Robot kolunun kontrolünün sağlanmasında Matlab Simulink yazılımı kullanılmış ve dört farklı yol alma fonksiyonu sistemde giriş olarak kullanılmıştır. Matematiksel denklemler kullanılarak elde edilen servo motor momentleri sistem modeline negatif etki olarak girmiş ve farklı sayıda girdi fonksiyonlarının kullanılmasıyla bulunan sistemin verdiği cevaplar hedeflenen çıkış yörüngesi üzerinde bulunan sonuçlar gözlemlemesi yapılmış, elde edilen sonuçlar çalışmaya eklenmiştir.

Öztürk (2007), yaptığı yüksek lisans tez çalışmasında SCARA tipi bir manipülatörün yapay sinir ağları ile eğitilmesi üzerinde durmuştur. Biri dönme hareketi yapan ve biri de doğrusal hareket yapan eklemlere sahip üç serbestlik derecesine sahip SCARA modeline bir robot kolunun ters (geri) kinematik denklem analizi yapılmıştır. Robot kolunun çalışacağı bölgeye engel yerleştirilmiş, robot kolunun yaptığı hareketler kaydedilmiş, eklemlerin aynı bölgelere denk gelip gelmediğini gözlemlemişlerdir. Yapılan bu çalışmalar neticesinde robot kolunun döneceği yön ve güzergah tespit edilmiştir. Robot kolunun hedef pozisyon bilgileri ve engelin pozisyon bilgileri gelişigüzel seçilen iki bin adet YSA eğitim örneği oluşturularak kullanılmış ve işlemi tüm örneklerle uygulamışlardır. Sonuç olarak bulunan hedefin ve engelin pozisyon bilgileri değerlerini YSA için giriş verilerini oluşturmuş, hesaplanan uzuv eklem açı değerleri de çıkış veri setini oluşturmuştur. YSA’da geri yayılım ağı eğitimi için kullanılmıştır. YSA aktivasyon fonksiyonu olarak da sigmoid fonksiyonu tercih etmişlerdir. Geri yayılım ağının bu çalışmada sunduğu avantaj YSA ve genetik algoritma ile iyileştirme yöntemini kullanarak ağırlık ve moment değerlerini güncellemesi olmuştur. Hata değerinin kabul edilebilir duruma ulaşması ile ağı eğitimi

tamamlamışlardır. Hedeflenen ve YSA ile hesaplanan değerlerin bulunması için karşılaştırma grafiklerinin çizilmesi ile çıkan sonuçların olumlu olduğu belirlenmiştir.

Yıldırım (2008), yaptığı çalışmada altı serbestlik dereceli bir robot manipülatörün deneysel olarak kinematik analizi, yapay sinir ağlarının farklı algoritmaları kullanılarak araştırılmıştır. Robotun bir parçayı belirlenen bir yörüngede taşınması esnasında, en uygun yapay sinir ağı tipi tespit edilmiştir. Yapay sinir ağı eğitiminde Ağ, Batch Backprop, Online Backprop, Delta-Bar-Delta, QuickProp ve RPROP öğrenme algoritmaları ile eğitilmiş, elde ettiği sonuçlarda çalışmada kullandığı ağ tiplerini eğitmek için en iyi algoritmanın QuickProp Algoritması olduğu anlaşılmıştır.

Aksungur (2009), yaptığı yüksek lisans tez çalışmada üç serbestlik dereceli bir robotun matematiksel modelini ters kinematik denklemlerden faydalananarak oluşturmuştur. Robot kolu kontrolü için YSA ve genetik algoritma kullanarak engelli ortamda pozisyon bilgileri bilinen engele çarpmadan yörünge planlaması üzerinde çalışmıştır. Robotun çalışma alanına engel yerleştirerek hareket grafiğini çizmiş, çarpışma olup olmadığını gözlemlemiş ve robot kolunun hareket serbestliği ve dönme yönü belirlemiştirler. Hedef ve engel pozisyon bilgileri rasgele olarak belirlenen iki bin adet örnek oluşturarak belirlenmiş ve her örneğe uygulanmıştır.

Daya ve ark. (2010), Robotikte Ters Kinematik Problemi İçin Sinir Ağı Mimarisinin Uygulanması konulu makalesinde Bu makale, 2 veya daha yüksek dereceli robot manipülatörleri için ters kinematik problemini çözmek için 6 alt sinir ağından oluşan sinir ağı mimarisi önermektedirler. Ters kinematik yerine kullanılan sinir ağları, geri yayılma eğitim algoritmasında olan çok katmanlı algılayıcıdır. Bu yaklaşım, robotlarda ters geometrik modeller uygulamasını kullanırken karşılaşılan algoritmanın ve hesaplamanın karmaşıklığını azaltacaktır. Elde edilen sonuçlar önerilen yaklaşımın etkinliğini kanıtlamak için sunulurlar ve analiz edilirler.

Yazar (2010), tarafından yapılan üç eksenli robot kolu tasarımı ve uygulaması isimli yüksek lisans tez çalışmada endüstriyel üretim bantlarında; tutma, yerleştirme, parça değiştirme, kesme, şekil verme, yüzey kaplama, montaj ve kontrol gibi işleri hatasız ve

hızlı bir şekilde yapan robot kolları üzerine bir araştırma yapmış, araştırmalar doğrultusunda örnek bir üç eksenli robot kolu tasarımı gerçekleştirmiştir. Robot kolunun hareket planı üç eksenli kol için ileri ve ters kinematik denklemler ile elde etmiştir. Diğer robot kolu uygulamalarından farklı olarak açısal göstergelerin mekaniksel olarak tasarımını gerçekleştirmiş, dışarıdan sağlanan omuz bölgesine ait açısal kontrol de hassasiyetle sağlanması yapılmıştır. Robot kolu hareketlerinin kontrolü 8051 mikrodenetleyicisinin assembly dilinde programlanması ile gerçekleştirilmiştir.

Alp (2012), tarafından yapılan genel amaçlı robot kolu tasarımı isimli yüksek lisans tez çalışmasında üç ekleme ve bir adet uç işlevcisine sahip bir robot kolunu ele almıştır. Robot kolunun matematiksel modelini ters kinematik denklemlerden faydalanarak oluşturmuştur. Robot koluna insansı el hassasiyeti kazandırmak amacı ile ivme ölçer sensörler yerleştirilmiş. Bu sensörler yerden gönderilen komutlarla yönlendirilen, Mikrodenetleyici olarak PIC ile kontrol edilen servo motor sürücü kartı tasarımı yapılmıştır. Robot manipülatörün tasarımı için Dassault Systems firmasından üretilen Solidworks programı kullanmıştır. Bu prototipler yüksek yatırım maliyetleri ile yapılması durumunda protez olarak kullanılabilecek ve insan el hassasiyetini sağlayabilecektir.

Berki (2013), tarafından yapılan yapay sinir ağları ile robot kolu kontrolü isimli yüksek lisans tez çalışmasında robot kolu mekanik tasarımını yapmış tasarımda dikkat edilmesi gereken noktaları vurgulamış ve farklı kontrol sistemleri ile kontroller yaparak oluşturulan sistemler ile elde edilen sonuçları karşılaştırmıştır. Tasarlanan robot kolunun matematiksel ifadesinin çıkarılması için ters kinematik denklemlerden faydalanmış ve bu ifadeleri kullandığı kontrol sistemlerinde kullanmıştır. Robot kolunun kontrolünü Matlab ve simulink yardımıyla yapmış, TMS320F28335 işlemcisinin programlanması ve bir yapay sinir ağı ile robot kolunun kontrolü üzerinde çalışmıştır.

Dokuzlu (2015), yaptığı yüksek lisans tez çalışmasında 4 serbestlik dereceli robot kolunun kinematik denklemlerini elde etmiş ve örnek olarak sağlık bakanlığının bir projesinde kullanılan fizik tedavi aşamasında kullanılan iyileştirme robot kolunu ele

almıştır. Dört serbestlik derecesine sahip, beş eklemlili olan bu iyileştirme robot kolunun birbirine paralel iki parmağa sahip bir uç işlevcisine sahiptir. En uzun erişim mesafesi 40-50 cm'dir. Bu çalışmada amaçlanan, ileri (düz) ve ters (geri) kinematik modeli, YSA ile eğitilerek geometrik ve sayısal çözümlemenin sebebiyet verdiği çoklu sonuç bulma sorununu ortadan kaldırmaktır.

Almusawi ve ark. (2016), tarafından yapılan robot kolunun ters kinematik çözümünde yeni bir yapay sinir ağı yaklaşımı isimli araştırma makalesinde YSA mimarisine dayanan robotik kol için yeni bir ters kinematik çözümü sunmuşlardır. Robotik kolun hareketi YSA kinematiği tarafından kontrol edilmektedir. Ters kinematik için yeni bir yapay sinir ağı yaklaşımı önerilmektedir. Önerilen YSA'nın yeniliği, robotik kolun mevcut eklem açıları yapılandırma geri bildiriminin yanı sıra YSA'nın giriş verilerinde istenen pozisyon ve oryantasyonun dahil edilmesidir. Geleneksel YSA'da ise sadece istenen pozisyona ve oryantasyona sahip olmaktadır. Çalışmada, bir uç işlevcili altı serbestlik dereceli Denso robot kolu YSA tarafından kontrol etmişlerdir. Kapsamlı deneysel sonuçlar, robotik hareket kontrolünde önerilen yaklaşımın uygulanabilirliğini ve verimliliğini kanıtladığını ortaya koymuştur. YSA'da eklem açılarının mevcut yapılandırmasının dahil edilmesi, eklem açıları çıktısının YSA tahmininin doğruluğunu önemli ölçüde artırdığını görmüşlerdir.

Arserim ve ark. (2016), yaptıkları yüksek lisans tez çalışmasında 5 Serbestlik Derecesine sahip bir robot kolunun ters (geri) kinematik probleminin yapay sinir ağı ile çözülmesini gerçekleştirmişlerdir. Bu amaç doğrultusunda beş dönel eklemlili SCORBOT-ER VPlus robotu kolu kullanılmışlar. Bu robot kolunun, sabitlendiği masa üzerindeki nesneleri alabilmesi için deneysel olarak koordinat verileri toplanmış, veri seti oluşturulmuş ve bu verilerle robot kolunun taban, omuz ve dirsek eklem açılarını bulmak için YSA benzetimi MATLAB R2008A yazılımında oluşturmuşlardır. Oluşturulan bu YSA'ların çıkışları gerçek verilerle karşılaştırıldığında sonuçların uyumlu olduğunu gözlemlemişlerdir.

Mary (2017), sanal gerçeklikle hesaplamalı zeka temelli robot kolu kontrolü isimli doktora tez çalışmasında robot manipülatörün yörünge izleme denetimi üzerinde

durmuştur. Ters kinematik denklemlerden faydalanan robot kolunun matematiksel modelini elde etmiştir. Ters kinematikte, kapalı devre stratejisine dayanan iki yöntem sunmuştur. İlk yöntem oransal türevsel (PD) benzeri bulanık denetimciye dayanırken ikinci yöntem tekillik sorununu çözen bir gürbüz yöntem tasarlayarak kayar kipli denetimin (SMC) etkinliğini ortaya koymuştur. Farklı kartezyen yörüngeler kullanılarak önerilen yöntemlerin etkinliği hem iki eklemlili robot hem de dört serbestlik dereceli robotlar için denenmiştir. Tüm önerilen teoremler ve metodolojiler serbestlik derecesi sayısından bağımsız genel robot manipülatörü için de ele almıştır. Benzetim sonuçları önerilen yöntemlerin başarımını toplam hata, bozuculara ve belirsizliklere karşı gürbüzlük ve yörünge izleme performansı bakımından karşılaştırmalı biçimde ortaya koymuştur

Çabuk ve ark. (2018), tarafından yapılan yedi eklemlili altı serbestlik derecesine sahip bir aydınlatma robot kolunun yapay sinir ağları ile ters (geri) kinematik denklem çözümü ve uyarlanması konulu yüksek lisans tez çalışmasını yapmışlardır. Çalışmada aydınlatma robotu olarak ifade ettikleri bu robot bir mekanizma vasıtasıyla bir odanın tavanına sabitlenip takılmış kartezyen robot şeklinde ki bir robotu ifade etmektedir. Tıbbi operasyon yapılan alanda sadece istenilen alanın aydınlatılması için kendiliğinden bu bölgenin ışıklandırılması görevini icra etmesi istenmektedir. Aydınlatma için kullanılan robot kolu bilgisayar ortamında ki tasarım programında tasarlanmış olup Matlab Simulink programına yüklenmiştir. Bu amaç doğrultusunda kullanılan YSA modeli uygulaması Matlab Simulink programı ortamında gerçekleştirilmiştir. Ortaya çıkan sonuçların grafiksel olarak desteklenmesi sağlanmıştır. Bulunan sonuçların vermiş olduğu verilere göre, tasarlanan ve bilgisayarlı ortamda canlandırılan modelin kabul edilebilir sonuçlar verdiği gözlemlenmiş ve ameliyathane gibi ortamlar için uygun olduğu belirtilmiştir.

3. KURAMSAL TEMELLER

3.1. Robotların Genel Özellikleri ve Sınıflandırılması

Robot kelimesini ilk olarak Çekya asıllı filozof, oyun ve roman yazarı Karel Capek tarafından 1922 yılında (Rossum'un Evrensel Robotları) isimli oyunun içerisinde ifade edilmiştir. Robot kelimesi Çek dilinde “Robotnik” olarak geçmekte ve “işçi” veya “esir” anlamına gelmektedir (Bingöl, 2005).

Robotlar için kullanılan *“Bir operatörün ve iş yapıcının sahip olduğu çeşitli reflekslerini veya zekâsını kullanışını ifade eden basit bir uygulamasıdır”* denilebilmektedir. Robotlar çalışma alanı içerisinde çevreleriyle ve nesnelerle sürekli etkileşim ve iletişim kurmak zorundalardır. Bu temanın sağlanması için yapılacak işin önceden belirlenerek robota öğretilmesi ile gerekmektedir. Günümüzde robotlar, gelişen sanayiye ayak uydurmakta zorlanan işçi sınıfının alternatifleri haline gelmişler ve insan sağlığı için tehlikeli bölgelerde görev alabilmektedirler. Bunun başlıca üç nedeni vardır (Bingöl, 2005);

1. Verimlilik,
2. Kalite,
3. Hassas ve tekrarlanabilir.

Robotlar, çeşitli malzemeleri, parçaları, takımları veya özel aletleri, bir dizi görevin gerçekleştirilmesi için, programlanabilir hareketler boyunca taşıyabilecek şekilde tasarlanabilir ve yeniden programlanabilir eyleyiciler olarak da tanımlanabilirler (Bingöl, 2005).

Günümüzde robot tanımı üzerinde dünyada kesin olarak bir fikir birliği sağlanamamıştır. ABD ve Avrupa ülkeleri, robot tanımlamalarında, bir robotun üç niteliğe sahip olması gerektiği fikrine sahiptirler. Bu nitelikler;

1. Eyleyici olarak çalışma, yani nesne ve cisimlerin yerini değiştirebilme ve üzerlerinde işlem yapabilme (Bingöl, 2005),
2. Programlanabilme, yani benzer türdeki, çeşitli işlemleri yapabilme yeteneęi (Bingöl, 2005),
3. Algılama sistemi ile çevre koşullarına göre düşük düzeyde karar verebilme olanağı (Bingöl, 2005).

Amerikan Robot Topluluęu ve İngiliz Robot Birliği tanımlamalarına göre, algılama sistemi olmayan yapıya robot denmemelidir. İlk iki şartı yerine getirebilen yapıya programlanabilir manipölator veya kısaca manipölator, algılama sistemine de sahip olan manipölatore de robot denmektedir. Japonlar ise, robot tanımlamalarında ilk iki şartın yeterli olduğunu düşünmektedirler (Bingöl, 2005).

Asimov, 1939-40 yıllarında yazdığı romanında üç temel fikir olarak robotların sahip olması gereken fonksiyon ve sınırları şöyle tanımlamaktadır:

1. *Bir robot, canlılara zararı olmamalı, canlılara zarar gelmesine göz yummamalıdır.*
2. *İlk kuralda ifade edilen durumla çelişmediği her zaman bir robot daima insanlardan aldığı talimatları yerine getirmelidir.*
3. *İlk ve ikinci kurallara uyulduğu durumlarda bir robot kendini, kendisine zarar ve hasar verebilecek her türlü hareketlerden korumayı amaçlamalıdır.*

Robotlar kendi aralarında özelliklerine göre sınıflandırılmaktadırlar. Aşağıda en çok yapılan sınıflandırma örnekleri verilmektedir (Bingöl, 2005).

3.1.1. Tahrik sistemlerine göre robotlar

Robotun önemli sistemlerinden biri olan tahrik sistemi, robot hareketini sağlamakla görevlidir. Robotun çalışacağı alana ya da robota gerekli olan güce göre tahrik sistemleri üçe ayrılmaktadır. Genellikle sanayide büyük üretim yapılan yerlerde kullanılan bu sistemler, hidrolikle çalışan sistem, elektrikle çalışan sistem ve pnömatikle çalışan sistemdir.

Hidrolikle çalışan sistemler, hidrolik sıvısı ile tahrik edilir. Bu sisteminin kullanılmasının ana nedeni robota büyük hız ve güç vermek istenmesindendir. Bu sistemler, robota ait mafsalların iki türde doğrusal eklem hareketi ve dairesel eklem hareket etmesini sağlayacak şekilde oluşturulmaktadır. Hidrolikle çalışan sistemlerin dezavantajı ise robotun fazla yer işgal etmesi olarak gösterilebilir. Ayrıca, hidrolik yağ sızarak ciddi kirlenme problemi de oluştururlar. Yüksek güçlü sistemler olduğundan dolayı bu sistem birçok sanayi robotunda kullanılmaktadır. Kimyasal madde kullanan örneğin boyama tabancası gibi ortamda uçucu ve yanıcı gazların yoğun bulunduğu ve dolayısıyla yangın çıkma ihtimalinin yüksek olduğu uygulamalarda, elektrik tahriği yerine hidrolik robotlar kullanılmaktadır.

Elektrikli sistemler, hidrolik sistemler ile karşılaştırıldığında, daha az güç sağlarlar. Bu yüzden elektrik tahrikli robotlar daha çok orta ve küçük ölçekli güç gerektiren uygulamalarda kullanılmaktadır. İlave olarak bu sistemler daha yüksek doğruluklu pozisyon kontrol işlevi ve bu sebeple daha iyi tekrarlayabilme kabiliyetine sahiptirler. Ayrıca, kullanımları hidrolik robotlara göre daha temizdir. Sanayide yaygın olarak bu tip robotlar kullanılmaktadır. Bu tip robotların eyleyicileri (aktüatör) çoğunlukla servo motor yapısındadır. Servo sistemli robotların en önemli özelliği sistem ile robot arasında geri besleme döngülerine sahip olmasıdır ve bu sebeple çok yüksek doğrulukta pozisyon kontrol imkanı sağlamaktadırlar.

Pnömatik sistem genellikle daha küçük güç gerektiren robot uygulamalarında kullanılır. Bu robotlar daha düşük eklem açısı hareketlerine sahiptir ve malzemeleri seri üretim alanlarında bir yerden alma ve başka bir yere nakletmek amacıyla kullanılmaktadır. Yapılan işlemler genellikle basit ve kısa süreli işlemler için kullanılmaktadır. Pnömatik güç, doğrusal veya dairesel eklemler için kullanılabilir. Pnömatik robotlar, elektrikli veya hidrolik robotlara göre mali açıdan daha ucuzdur. Genellikle, pnömatik robotlar mekaniksel ve fiziksel olarak her bir eksen için sabit tanımlı işlemler yaparlar (Bingöl, 2005).

3.1.2. Koordinat sistemlerine göre robotlar

Koordinat sistemlerine göre robotlar dörde ayrılmaktadır:

1. Kartezyen koordinatlı,
2. Silindirik koordinatlı,
3. Küresel koordinatlı,
4. Döner koordinatlı.

Kartezyen koordinata sahip bir robot sistemi, bu sistemde çalışan bütün robot eklem uzuv hareketlerinde, eklemler ve uzuvlar birbirlerine dik açılı şekilde iki pozisyonda çalışacak şekilde olmaktadır. Bu tasarım en kısıtlı hareket serbestine sahip robot tasarım şekli olarak bilinmektedir. Yüzey montajı, yüzey delme, punto atma, çizgi çizme gibi uygulamalar için kartezyen konfigürasyonlu robotlar tercih edilmektedir. Hareketli kısımların eklemleri x , y ve z üç boyutlu koordinat sisteminde eklemlerine göre birbirlerine paralel olacak şekilde hareket etmektedirler. Robotlar üç boyuta sahip dikdörtgenler prizmasının içinde yer değiştirebilmekte her eklem birbirine dik şekilde bağlanmaktadır. Bir kartezyen koordinata sahip sistemde, merkezin yeri, ilk iki eklem bağlantısının birleşme yerinin merkezi olmakta bunun için ilk iki eklem önem arz etmektedir. Merkez sadece kendisine doğru yapılan hareketlerde çalışır, diğer durumlarda yerinde sabit kalmaktadır. Bu durumda robotun merkez noktası değişmez. Çalışma bölgesinde robot x yönünde ki düzlem bir sütuna doğru döndürülürse, bu x düzlemi robotun fiziksel özelliklerinden dolayı daima aynı kolona doğru yönelmektedir, robotun programı yapılırken dönme hareketini yaptığı yönde problem oluşmamaktadır. Tüm bu verilmiş olanlar bir robot fiziksel donanımı için de yer pozisyon koordinatları olarak bilinmektedir (Arserim, 2016).

Silindirik harekete sahip koordinat sisteminde çalışan silindirik robotlar, bir yatak boyunca dönebilme ve öbür eklemleri taşıma görevi olan gövdenin sahip olduğu özellikleri barındırırlar. Yapılan bu hareket düşey eksen ve gövde eksen olarak düşünüldüğünde silindirik olarak sağlanmaktadır. Bu nedenle çalışan düzlem içerisinde kalan robot gövdesinin uzanamayacağı, robotun eklemlerini oluşturan gövdenin kapladığı hacim kadar bir bölge oluşmaktadır. Ancak mekanik ve fiziksel özellikleri

nedeniyle gövde 360° dönme hareketini yapamamaktadır. Silindirik koordinat sisteminde zemine dik olan eksenler boyunca silindirik hareketlerde ve eklemler üzerinde öteleme hareketi yapılır iken ilgili eksene düşey benzer bir eksen de ötelenme görevi yapılmış olmaktadır. Yatak etrafında dönme bölgesindeki mekaniksel ve fiziksel engellerden dolayı silindirik biçiminde üç boyutlu bir çalışma hacminin oluşması beklenir ancak bu bölgelerde ki hareket sınırlılığı nedeniyle silindirik yapısı tamamlanamamaktadır. Zemine varabilmenin istendiği durumlarda robot kolu bir bölgeye yerleştirilmek istenmektedir. Ancak bu durumlarda bile varılabilecek en yüksek uzunluk azalmaktadır. Radyal hareketlerinden dolayı, silindirik koordinata sahip robotlar taşıma, puntolama, kalıpcılık gibi çeşitli alanlarda kullanılabilmektedir. Bu türde ki robot kolları programlanabilir olduğu için diğer robotlara nazaran karışık değildir. Kartazyen koordinatta çalışan robotların sahip olduğu kayar malzemelerin tozlanmadan ve paslanmadan korunması gerekmektedir. Silindirik robotlar genellikle kendi eksenleri etrafında $300-310^\circ$ 'lik bir açı ile dönebilmektedir. Geri kalan 60° 'lik açı alanı ise robotun etrafında güvenli bir bölge oluşturmak için kullanılmaktadır ve ölü alan olarak adlandırılmaktadır (Arserim, 2016).

Küresel bir koordinat sisteminde çalışan robotlar ise sayısal olarak ifade edecek olursak iki adet dairesel hareket yapan ve bir adet de doğrusal ekseninde çalışan olmasından dolayı üç adet eksenden oluşmaktadır. Küresel koordinat sisteminin tarihsel açıdan özelliği ise en eski koordinat sistemlerinden biri olarak bilinmesidir ve çok amaçlı, birçok uygulama potansiyeline sahip özelliğinin yanı sıra ilk üretim ve montajlama açısından son derece kolaylık sağlamasıyla bilinmektedir (Arserim, 2016).

Temelde yatay ve düşeyde dönme olmak üzere iki hareketten oluşan küresel koordinat sisteminde üç numaralı eklemin hareketi ise doğrusal (eklemin ileriye ve geriye hareketlenmesi) hareketidir. Hareketi doğrusal olarak yapan kartezyen koordinatla çalışan robotlardan herhangi bir koordinatta hareketi gibi davranış göstermektedir. Koldaki eksenlerden biri doğrusal harekete sahipken bunu destek veren diğer eksenlerden biri taban alanına düşey eksen boyunca diğeri ise bu ekleme düşey ve tabana paralel eksen boyunca dönme hareketi yapabilmektedir. Öteleme hareketi yapan

eklemin ulaşabileceği asgari uzunluğun yetersiz olmasından dolayı zemine ulaşması mümkün olmamaktadır.

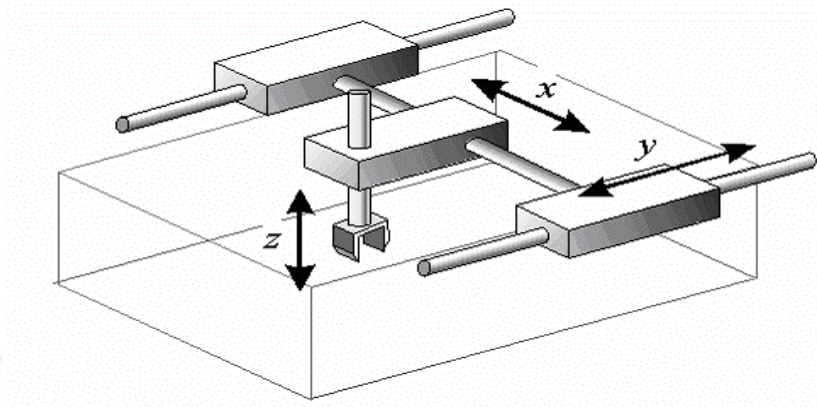
Döner koordinat sisteminde ise robot bir iş yaptığı sırada dairesel hareketli eklem ve uzuvlar ile bağlantı oluşturuyorsa bu özellikte ki robotlara döner eklemlili koordinat sistemli robotlar denmektedir. Robot kolunun eklem ve uzuv bağlantı noktaları robot gövdesi üzerine etrafında dönme hareketi yapabilecek şekilde montaj işlemi yapılmıştır ve robotun güç aldığı destekleme yerleri birbirlerini andıran iki ayrı bölümü taşımaktadır. Dönme yapan eklem ve uzuv parçaları yatay ve dikey olacak şekilde monte edilebilir ancak 360° dönme sağlanamamaktadır ama bu kayıplar en düşük seviyeye indirilebilir. Bu türde ki robotlarda robot kolun çalışmasını gözlemlemek zordur. Çalışma alanındaki pozisyonlara farklı farklı yörüngelerle ulaşılmaktadır. Buna göre çalışma sisteminin değerlerinin en avantajlı olduğu güzergahın seçilmesinde fayda vardır. Döner koordinata sahip robotlarda denetim işlemleri karmaşık olabilmektedir. Dolayısıyla denetim sistemi donanımının da bu karışık durumu karşılayabilecek özelliklere sahip olması gerekmektedir. Dahası bu tip robotların eklem mafsallarında sızdırmazlık kolay bir şekilde sağlanır (Bingöl, 2005; Arserim, 2016).

3.1.3 Robot tiplerine göre sınıflandırma

Robotlar tiplerine göre robotlar, kartezyen, mafsallı ve Scara (serbest esnemeli seçici robot kolu) olarak sınıflandırılabilir.

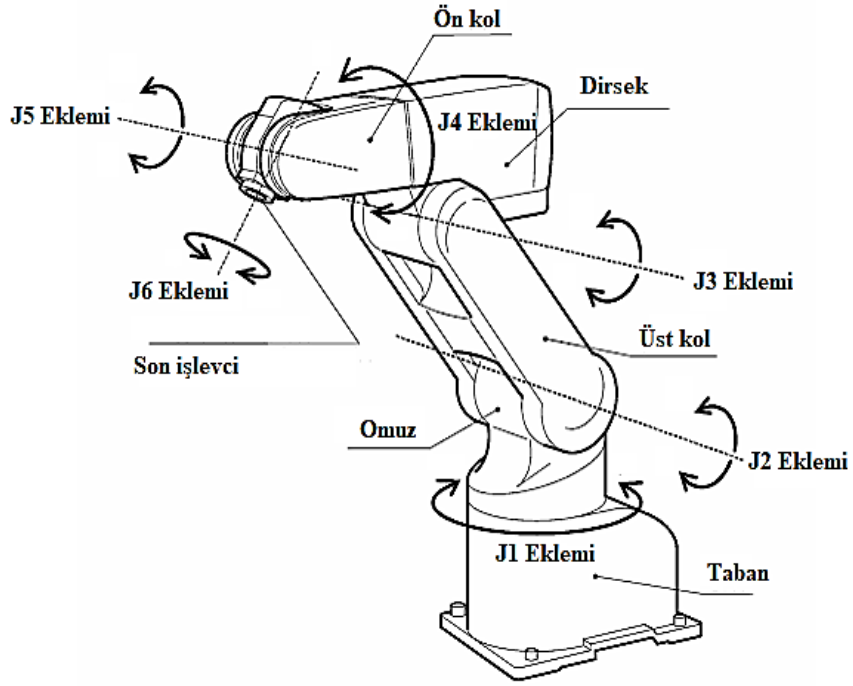
Kartezyen özelliğinde bir koordinat sisteminde çalışan tüm robot eksen hareketleri 90°'lik açıyla dik olarak birbirlerinin hareketini sağlamaktadırlar.. Şekil 3.1'de bir kartezyen robotun koordinat sistemi ve çalışma düzlemi gösterimi verilmiştir. Bu türün robotları, genellikle özel tanımlı görevlerde sınırlandırılmaktadır. Robot, sürekli bir yol boyunca, köprülü sistem ve raylı sistem vasıtası ile daha çok fonksiyonellik kazanabilmektedir. Montajı asılarak yapılan bu robotlar birkaç fonksiyon sayesinde birçok istasyona hizmet verilebilmektedir. Robotun yüksek bir noktaya asılmasıyla birlikte, zeminde daha fazla boş alan elde etmiş olabilmektedir. Kartezyen robotlar

özellikleri ve tasarımları sayesinde diğer tip robotlara göre yüksek ve hızlı bir yapıya sahiptir (Bingöl, 2005; Arserim, 2016).



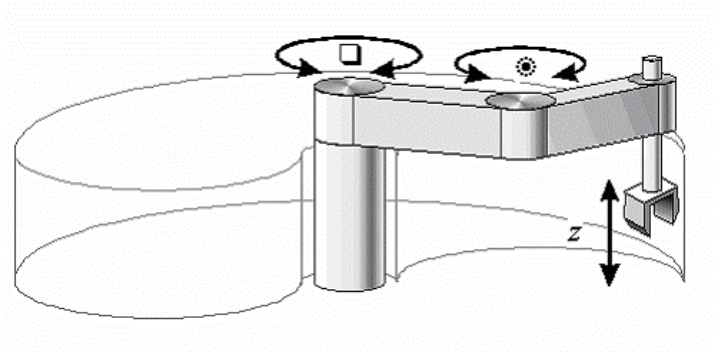
Şekil 3.1. Kartezyen koordinat sistemi ve çalışma düzlemi (Anonim-1, 2019)

Mafsallı robotlar, tasarım ve geliştirmesi insan kolundan ilham alınarak imal edilmiştirler. Uzun eklemli eksenlere sahip robotlar yaptıkları işlere göre, insan ve diğer canlıların kolların yapabileceği görevlerinde ki başarıları ve sanayide bu görevlerin verilmesi amacı ile geliştirilmiş ve üretilmişlerdir. Kol eklemine sahip robotlar, insan uzuvlarında olan tüm hareket kabiliyetine ve duyarlılığa sahiptirler. Farklı görevlerde insan kolunu taklit eder böylece personel çalıştırmanın zor olduğu pozisyonlarda kullanılabilir. Kol, dirsek ve omuz eklemine sahip robotlar her bir eklemden kolaylıkla hareketi edebilirler. Bu türde ki robotların altı eksenin üç adeti kol hareketi, dirsek ve omuz hareketi için, diğerleri ise bilek hareketleri için kullanılmaktadır. İnsanın sahip olduğu uzuv yeteneklerinin yapabileceği çok sayıda çeşitliliğe sahip görevleri sağlayabilmektedir. Bu özellikleri kullanılan pozisyonların apsis sisteminden (döner apsis sisteminden) kaynaklanmaktadır. Bu apsis sisteminin sahip olduğu omuz, dirsek ve bilek bağlantıları vardır. Bu bağlantı biçiminin robot koluna kazandırdığı olumlu yönler çalışma bölgesinde ki her pozisyona kolaylıkla varabilmesidir. Robotun çalışma bölgesi yatayda ve düşeyde dik olacak şekilde bulunması sonucunda elde edilmektedir (Bingöl, 2005; Arserim, 2016).



Şekil 3.2. Altı eksenli mafsallı robot (Anonim-1, 2019'dan değiştirilerek alınmıştır)

SCARA tipi robotlar 1970li yıllardan sonra Japonya'da endüstriyel bir kuruluş olan şirketler birliği ve bir takım bilim insanı tarafından Japonya'da Yamanashi isimli üniversitede geliştirilmiştir. Scara diye bilinen bu robot kolu tipi, çok hızlı tekrar kabiliyetine ve hıza sahip olan bir robot çeşidi olarak nitelendirilebilir.



Şekil 3.3. Dört eksenli SCARA tipi robot (Anonim-1, 2019)

Şekil 3.3'te dört eksenli SCARA türünde bir robota ait çizim şeması verilmektedir. Bu robotun üç önemli genel özelliğe sahip olduğu söylenebilir:

1. Hassasiyet,
2. Yüksek hız,

3. Kolay montaj.

Bu robot genel olarak düşey ekseninde çevresinde dönme yapabilen iki veya üç uzuv kol bölümünden meydana gelmektedir. Bir numaralı eksen, robota ana dönmeyi veren eksen, iki numaralı eksen robot kolunun erişebileceği uzaklığı değiştirilebilir özelliğine sahip eksen, üç numaralı eksen doğrusal dikey eksen ve dört numaralı eksen ise dönen kol bileği hareket etmektedir (Bingöl, 2005; Arserim, 2016).

3.2. Robotlarda Kinematik Analiz

Bir robotun koluna ait görev ve iş planlaması, yörünge hesabı yapılması, mekanik, dinamik ve durağan denetim sorunları düşünüldüğü zaman ilk gereksinim olan durum, robot kolunun kinematik analizinin oluşturulduğu ve bundan elde edilen sonuç ile gerekli olan kinematik, fiziksel ve kontrol ilişkilerinin analizini oluşturulmasıdır. Robot kollarının birbirleri arasındaki kinematik ilişkileri, iki farklı yönde oluşturulur, ilki robot uç işlevcisinin yere göre pozisyon ve yönelimini mafsalları ve eklem değişkenleri ilişkilerinden belirleyen "düz (ileri) kinematik" analizleridir. Diğer ise robot uç işlevcisinin tabana göre verilen pozisyon ve yönelmesini sağlayan uzuv ve eklem değişkenlerini tespit eden "ters (geri) kinematik" analizleridir. Ters (geri) kinematik problemlerin çözüm aşaması robot kolun sahip olduğu serbestlik derecesiyle ve fiziksel yapısına (dönme ve kayma hareketi yapan eklemlerinin sayısına ve yerleşmesine) bağlılığından dolayı genelde doğrusal olmayan parabolik birbiriyle ilişkili denklemlerin çözülmesini kapsamaktadır. Robot kolun uzuv ve mafsallarının birbiriyle olan bağlantısı rijit maddelerin açık döngü sistemli kinematik bir düğüm olarak kabul edilmektedir. Düğümün bir tarafı zemine bağlı iken diğer tarafı ise son elemana bağlıdır. Sonuç olarak bu modelin uzuv ve eklem hareketi her bir eklem uzvunun diğeriyle olan hareketlerinin integralinden oluşturulmaktadır. Bundan dolayı ilk olarak yapılması gereken bir rijit maddenin uzay boşluğunda ki pozisyonunu ve gittiği yönün bilinmesi ile rotasyon matrisi ve yer değiştirme vektörü oluşturulmalıdır. Bu matrisler ve vektörleri ilişkilendirmek için literatürde homojen (eşit dağılmış) dönüşüm (çevirme) matrisi diye bilinen matrisler kullanılmaktadır (Bingöl, 2005).

3.2.1. Düz (ileri) kinematik analiz ve ters (geri) kinematik analiz

Robotik biliminde düz (ileri) kinematik analizler robot kolunun eklem uzuv değişken değerlerinin verilmesi ile robot uç işlevcisinin pozisyonunu ve gideceği koordinatı bulmak diye ifade edilebilir. Robotun mafsalsal açı ve uzuv parametreleri ile robot kolunun uç işlevcisinin koordinat bilgilerini hesaplamaya yarar. Eklem ve uzuv parametreleri, eklem döne hareketi yapması durumunda uzuvlar arasında kalan açı değeri, eklem kayma hareketi yapması durumunda uzuv uzama miktarını ifade eder. İleri kinematik analizde en çok kullanılan yöntemler dönüşüm matrisleri ile uç işlevcisinin bilgilerinin hesaplamaları yapılabilmektedir.

Düz (ileri) kinematiklerde yapılan işlemlerin tersi biçimde yapılan işlemler robotik biliminde ters (geri) kinematikler olarak bilinir ve verilen uç işlevcisinin pozisyonunu ve gideceği koordinat için gerekli uzuv eklem değişken değerlerini bulmak geri kinematik analizi ifade eder. Ters (geri) kinematik uygulamalarında ise ileri (düz) kinematiklerin geriye doğru işlem yapılması biçiminde ve homojen dönüşüm matrisleriyle oluşturulan doğrusal sonuç vermeyen denklemlerin bulunması gerekmektedir. Ters kinematik çözümlerinde sayısal yaklaşım ve kapalı form yaklaşımı olmak üzere iki farklı çözüm metodu vardır (Tombul, 2003; Bingöl, 2005).

Sayısal yaklaşım, bu çözüm tipinde robot kol uzuvlarının diferansiyel denklemlerin eşitliği ile ve eklemlerin ve uzuvların parametrelerinin ilk değerlerinden faydalanarak eklemlerin ve uzuvların değişkenlerinin sayısal biçimdeki ifadesini bulmayı sağlar (Tombul, 2003; Bingöl, 2005). Sayısal yaklaşım metodu zamana bağlı olmadığından dolayı endüstriyel robot uygulamalarında kullanılamaz (Dokuzlu, 2015).

Bir diğer yaklaşım ise kapalı formdur. Bu yaklaşım homojen dönüştürme matrislerinden bulunan sonuçlara bağlı olarak genel eklem uzuv değişkenlerinin çözümünü bulmayı sağlamaktadır. Dolayısıyla çok süratli yapılan hesaplamalardan kaynaklanan çevrim içi robot kolu uygulamalarında süratli bir yaklaşım sağlamaktadır. Bu nedenle çoklu çözümlerin olduğu durumlarda bu sonuçlardan yalnızca bir tanesini seçmek ve çözüm

karmaşasını ortadan kaldırmak mümkündür. Kapalı tipte ki form yaklaşımında cebirsel ve geometrik yaklaşım olarak ikiye ayrılabilir.

Cebirsel (matematiksel) türü yaklaşımda ise robot kolunun parametre değerleri ve eklem uzuv açısı değişkenleri arasında ki matematiksel ilişkilerden yararlanılmaktadır. Genellikle ters yönelim kinematiğinin çözümünde tercih edilmektedir.

Geometrik türü yaklaşım burada robot kolunun duruş pozisyonuna bağlı olduğundan oluşan geometrik yapıdan yararlanılmaktadır. Bu yaklaşım tipi ters pozisyonda ki konum kinematiklerinin sonucunu bulmada tercih edilmektedir. Geometrik yaklaşımda robot kolunun eklem açısı değerlerini veren $\theta_1, \theta_2, \theta_3, \theta_4$ denklemleri aşağıdaki şekilde bulunmaktadır (Dokuzlu, 2015).

$$\begin{aligned} dp &= [px \ py \ pz] \\ \theta_1 &= \text{atan2}(py, px) \end{aligned} \quad (3.1)$$

$$\theta_2 = \text{acos}(pzd) \quad (3.2)$$

$$Va = [px \ py \ pz]$$

$$A' = \begin{bmatrix} \cos(\theta_1) \cdot \cos(\theta_2) & -\sin(\theta_1) \\ \sin(\theta_1) \cdot \cos(\theta_2) & \cos(\theta_1) \\ -\sin(\theta_2) & 0.002 \end{bmatrix}$$

$$A = \text{pinv}(A')$$

$$B = A \cdot Va$$

$$B = [\cos(\theta_3) \sin(\theta_3)]$$

$$\theta_3 = \text{atan2}(B(2)B(1)) \quad (3.3)$$

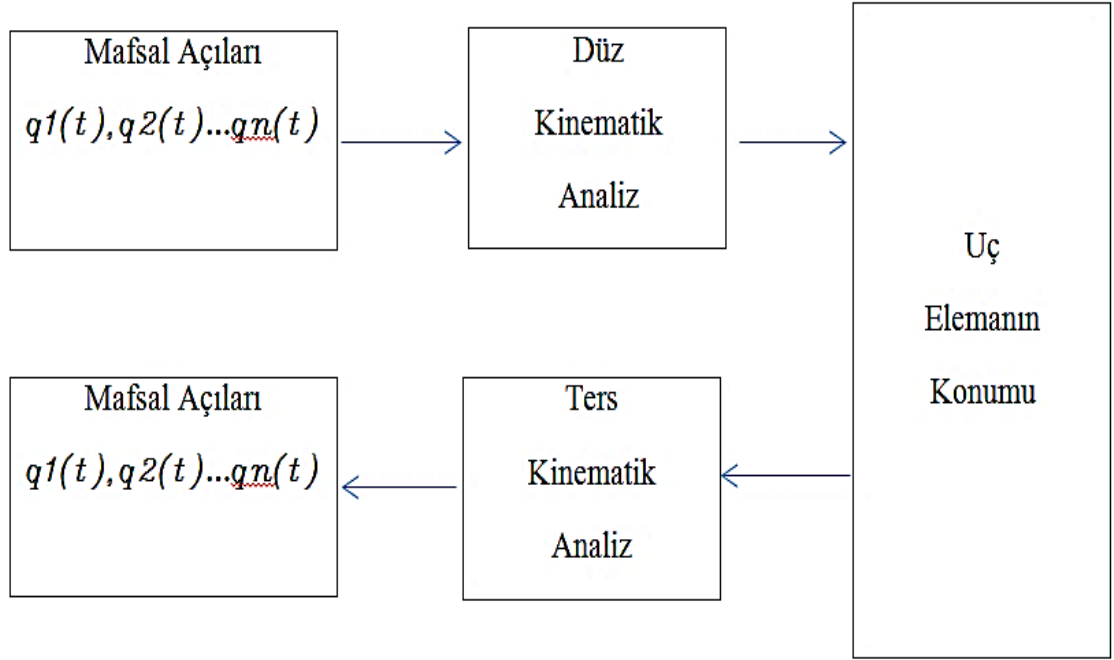
$$a_2 = \text{acos}((d^2 + L_2^2 - L_1^2) \div 2 \times d \times L_2)$$

L_1 (1.eklem ile 2.eklem arasındaki uzunluk) ve L_2 (2.eklem ile 3.eklem arasındaki uzunluk) eşit alındığında;

$$a_2 = \text{acos}(d_2 * L_2)$$

$$a_1 = \text{asin}(L_2 \cdot \sin(a_2) / L_1)$$

$$\theta_4 = a_1 + a_2 \quad (3.4)$$



Şekil 3.4. Düz ve ters kinematik şematik gösterimi

Yukarıda da anlatıldığı gibi düz kinematik ve ters kinematik analizlerin çok ciddi bir matematiksel işlem yükü olabilmekte ve fazla cevaplı olabilmektedir. Üç boyutlu uzayda parabolik denklemlerin çözümünde de uç işlevcisinin istenilen koordinata gitmesinde problemler yaşanabilmektedir. Ayrıca uç işlevcisinin hedef takibi uygulaması için ve engelsiz hedef planlama uygulamaları için uygun bir yöntem olarak görülmemektedir. Uç işlevcisinin istenilen milimetrik koordinattan sapması endüstriyel dünyada hiç istenmeyen bir durumdur. Düz kinematik ve ters kinematik analizlerin en önemli eksikliklerinden biri ise geri beslemesinin olmaması, yeniden öğrenmeyi gerçekleştirememesidir. Bu zorluklardan kurtulmanın bir yolu YSA'dır. Çünkü YSA ile robot kolu yeniden öğrenme ile ilgili pozisyona gidebilecektir. Yapıcı YSA ile yeniden öğrenme yapılabilecek uç işlevcisinin en iyi yaklaştığı noktada pozisyon tekrar eğitilerek hedeflenen noktaya ulaşmakta ve bu şekilde yörünge planlaması yapılmış olmaktadır. Düz kinematik ve ters kinematik analizlerde sonradan oluşan durumlar, engeller düşünülemeyeceği için robot kolunun herhangi bir olumsuz durumda kaza yapması ve kaza kırma uğraması kaçınılmaz olacaktır.

3.3. Kontrollü Yörünge Planlaması

Robot kolunun uç işlevcisinin, ilk pozisyonundan hedef pozisyonuna varıncaya kadar izleyeceği güzergah boyunca yol değişimini ve dönme yerleri belirleyen pozisyonlar kümesine yörünge denmektedir. Robotik sistemlerde uç işlevcinin istenilen pozisyona konumlandırılması robotun en temel problemlerinden biri olarak değerlendirilmektedir. Robot ilk pozisyonundan son konumuna doğrudan gidemez. Bunun sebebi her eklem hareket ekseninin farklılığı, hızlarının farklılığı veya çevredeki bir takım engellerden kaynaklanır. Bu sebeple robotun istenilen konuma ulaşabilmesi için belirli ara noktalardan geçen bir yörünge planlaması yapılmasına ihtiyaç duyulmaktadır. İzlenecek olan yoldaki ara noktalar robotun hızı, gidilecek mesafe, ivme gibi değişkenlere göre belirlenmektedir. Hareketin aktivitesine göre, yörünge planlaması bir noktadan diğer noktaya hareket ve devamlı yol hareketi şeklinde olmaktadır (Şahin, 2006; Şekerci, 2010).

Sürekli yol hareketinde, bütün uzuv eklem değişkenlerinin eklem uzuv hareketlerinin aynı zamanlı tamamlanabilmesi için enterpolasyon yöntemi uygulanarak hedef noktaları kabul edilmektedir. Bu bakımdan önceden ayarlanmış eklem hareketi sağlanmaktadır. Malzeme taşınması ve kaynak yapan endüstriyel robot kolları devamlı yol (güzergâh) hareketlerine örnek olarak gösterilebilir. Devamlı yol hareketlerinde bilinen bir güzergâh üzerinde çoğunlukla sabit hız, sıfır ivme, devamlı bir hareket olduğu söylenebilir. Bazı uygulama alanlarında noktadan diğer bir noktaya hareket ile devamlı yol hareketi birleştirilip ikisinin kesişimi bir hareket yapmakta mümkündür.

Bir noktadan başka bir noktaya hareket türünde, güzergâhın son hali tanımlanmış olabilir ama hareketin biçimi ve zamana bağlı ayarlaması yapılmaz. Bir koordinattan diğer koordinata hareketin belirlenmesi için üç metot bulunmaktadır. Bunlar sıralı yapılan eklem hareketi, koordinesi yapılmamış uzuv ve eklem hareketi ve koordinesi yapılmış uzuv eklem hareketi olarak ifade edilmektedir.

Sıralı yapılan eklem hareketinde ise diğer tüm eklemlerin sabitlenip yalnızca bir ekleme hareket verilmesi şeklinde oluşmaktadır. Bu türde ki harekette endüstriyel bir robotun

kontrol aşamasında hız olarak kolaylaştırmalar sağlayabilmekte ancak hareketin süresinin uzamasına neden olmaktadır. Koordinesi yapılmamış uzuv ve eklem hareketinde, eklemlerin ve uzuvların arasında yapılan hareketin ayarlaması olmadığından dolayı robotun uç işlevicinin son noktasının, geçiş pozisyonları arasındaki güzergâhının ve hızlanmasının belirlenmesi zor olmaktadır. Koordinesi yapılmış uzuv ve eklem hareketinde bir noktadan diğer noktaya hareketin en çok kullanılan türü olarak ifade edilmektedir (Şahin, 2006; Şekerci, 2010).

Paralel robotlarda eklemler arası koordinasyon sağlanmaz ise robotun montajını patlatma riski ortaya çıkmaktadır. Bu yüzden tüm eklemler için hareket belirlenen orantılarda olması gerekmektedir. Robotun eklemlerinin belirlenen noktalar dizinde zamanın bir fonksiyonu olacak şekilde aktif eklemler hareketlendirilmiş ve tüm eklemlerin aynı orantıda ilerlemeleri arzu edilmektedir. Yörünge planlaması fonksiyonları için bu orantı dönel eklemler için açı orantısı, prizmatik eklemler için ise kol uzunluğunun orantısı olmaktadır.

Noktadan noktaya planlanan yörünge planlamasında ilgili noktalar zamanın bir fonksiyonu olarak belirtilmektedir. Eklem uzayında yörünge planlaması üçüncü veya daha yüksek derecen polinomlar ile ifade edilmektedir (Yazar, 2010).

Yukarıdaki ifadeler ek olarak, konumun birinci dereceden türevi hızı vermekte ve hızın devamlı ve ivmenin sıfır olmasını sağlamaktadır. Hareketin bir ilk noktası ve bir son noktası olduğundan hızın başlangıçta ve bitiş noktasında ki değerleri sıfır olmalıdır.

3.4. Yapay Sinir Ağları

YSA diye kısaltılan yapay sinir ağları doğrusal olmayan çok sayıda giriş ve çıkışa sahip sistemler için giriş ve çıkış arasında bağlantı kurar ve eş zamanlı çalışan nesnelerden oluşan bir sinir ağı sistemine denir. YSA oluşturulurken canlıların sahip olduğu biyolojik sinir ağlarının çalışma prensibinden esinlenerek ortaya çıkan ağ mekanizmasında YSA parametreleri arasındaki ilişki ile ortaya çıkan ağ topolojisi YSA'nın yapacağı işlem ve işlevini belirlemeye yardımcı olur. YSA'da ağırlıklar

değiştirilmesi ile belirli girişlere karşılık olarak istenen hedef verilerini elde etmek mümkün olmaktadır. YSA yapısı üç ana bölüme ayrılabilir. Bunlar; girdi bloğu, gizli bloğu ve çıktı bloğudur. Girdi bloğundaki değerler, gizli bloğundaki değerlerin farklı tipte ki öğrenme algoritmalarıyla öğrenmesi sonucu çıkış verilerinde ki değerler ile eşlenecek şekilde verilir (Çabuk, 2018).

YSA, canlıların beyninin yapısından faydalananarak oluşturulmuş bilgi ve verinin işleme yöntem ve modellerine verilen addır. Geçmişten günümüze yapılan çalışmalarda yüzden fazla YSA modeli olduğu tahmin edilmektedir. Bir takım bilim insanlarına göre canlı beyninin düşünme, anımsama ve sorunları çözebilme yeteneklerini bilgisayar ortamında yapay olarak çalışmasını amaçlamışlardır. Bazı araştırma ve geliştirme üzerine çalışanlar ise beyin hücre fonksiyonlarını kısmen veya tamamen yerine getiren model oluşturma konusunda çalışmalar yapmışlardır (Öztemel, 2003).

Yapay sinir ağlarının sahip olduğu öğrenme özelliği sayesinde bilim insanlarının dikkatini üzerine çekmeyi başarmıştır. Bu nedenle herhangi bir durum hakkında ki giriş ve çıkışlar arasındaki ilişkiyi doğrusal olup olmadığına bakılmaksızın mevcut bulunmakta olan örnek verilerden öğrenmeyi yaparak daha önceki örnek verilerde bulunmayan olayları, verilen test örneklerinden benzetim yapılarak ilgili durumun sonuçlar üretebilmesi nedeniyle YSA'daki yapay zeki davranış durumunun da temellerini oluşturmaktadır. Bazı bilim insanları, elektronik olarak öğrenebilmenin ve zeka halinin her bir özelliklerinin canlandırılmasında bilgisayar sistemlerinin nasıl aktif görev alabileceğini, 1956'da düzenlemiş oldukları yapay zeka konferansında ele almışlardır (Öztemel, 2003; Öztürk, 2007).

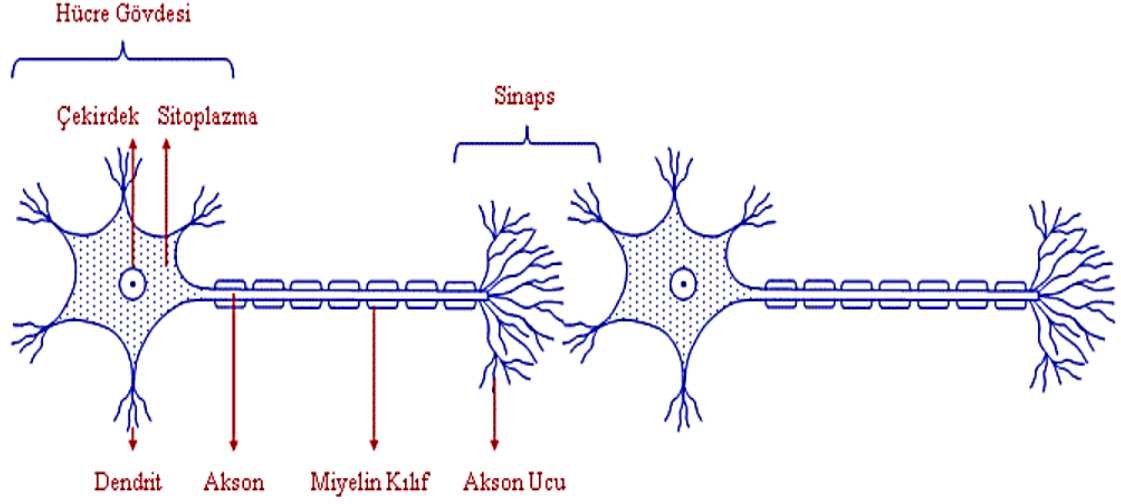
Daha sonrasında ki gelişme ise 1959'da Stanford üniversitesinde yaşanmış, Bernard Widrow isimli bilim adamı basit sinir hücresi benzeri elemanlara dayandığı ve "ADALINE" (Uyarlanabilir Doğrusal Sinir Hücresi: Adaptive Linear Neuron) olarak adlandırılan bir uyarlanabilir doğrusal eleman geliştirmeyi başarmıştır. ADALINE ve çoklu tabakalı biçimi olan "MADALINE" (Çoklu Uyarlanabilir Doğrusal Sinir hücresi) ses sinyalinin tanımlama, karakter tahmini, hava durumu tahmini gibi uygulamalar için kullanılmaya başlanmıştır. Bununla birlikte yapay sinir ağları ilk kez gerçek bir

probleme uygulanmış ve test edilmiştir. Daha sonraki gelişme Helsinki Teknik Üniversitesi'nden Teuvo Kohonen isimli bilim adamı ile 1970'li yılların başlarında uyarlanabilir öğrenme ve tümleşik hafızalar üzerine temel çalışmalarda bulunmuş ve bu çalışmalar ile danışmanı olmayan öğrenme metodunun ilerlemesine katkı sağlamıştır.

Minsky ve Papert'in yapmış olduğu çalışmalar sonucunda ortaya çıkardığı Perseptron isimli kitaplarında, yapay sinir ağlarının gelecek vaat etmediğini belirtmeleri, birçok araştırmacı ve bilim insanın bu alanda çalışmaktan uzak durmasına ve ilerlemenin yavaşlamasına sebebiyet verdiği içi olumsuz etkilemiştir. YSA üzerine çalışmaya devam eden Grossberg isimli bilim adamı, yapay sinir ağları modellerini yapılandırmak ve sinir hücresi verilerinin kullanılması hafıza ve algılama için yapay sinir ağları tabanında mekanizmaların gelişmesi belirgin sonuçlar ve eşitliklerle birleşen bir model için ilişkilendirdiği kural üzerinde çalışmaya karar vermiştir.

Bir sonraki gelişme 1982 yılında moleküler biyoloji sisteminden beyin kuramcılık yapısına geçmeye karar veren bir model, Caltech Üniversitesi fizikçi bilim insanı Hopfield tarafından ortaya atılmıştır. Kendi adıyla bilinen bir ağ yapısı mevcuttur ve uygulama alanlarında kullanılmıştır. 1987 yılına gelindiğinde ilk defa yapay sinir ağı bilgi şöleninden sonra, yapay sinir ağları uygulamaları hızla yaygınlaşmaya başlamıştır. Bu günlerde, yapay sinir ağları ile ilgili araştırma ve geliştirmelerde bulunan çok sayıda bilim insanı ve araştırma grupları mevcuttur (Öztemel, 2003; Öztürk, 2007).

Biyolojik nöron yapısı diye adlandırılan ve biyolojik sinir sisteminde devamlı olarak veriyi alan, veriyi yorumlayan ve yorumladıktan sonra olası sonuç veren beyin yapısının sahip olduğu üç katmana sahip bir sistem mekanizması olarak bilinmektedir. Bilgiyi alan sinirler organizmanın içinden veya dışarıdan algıladıkları verileri elektriksel sinyallere çevirerek beyne iletmekle görevlendirilmişlerdir. Tepki sinir hücreleri ise beyinin ürettiği elektriksel sinyalleri çıktı olarak uygun verilere dönüştürme görevleri vardır. Şekil 3.5'te biyolojik bir sinir sistemine ait blok şema bulunmaktadır (Öztemel, 2003).



Şekil 3.5. Biyolojik sinir sistemine ait şema (Anonim-2, 2019)

Sinir sistemi hücrelerine nöron denmektedir. Nöronlar, genellikle beyinde olmak üzere insan vücudunun sisteminin temel birimini ifade eder ve temelde üç bölümden oluşmaktadır. Bunlar:

- Hücre gövdesi (cell body)
- Hücre gövdesine giriş yapan sinyal alan lifler (dendrit)
- Hücre gövdesinden çıkış yapan sinyal aktarıcı lifler (axon).

Yapay sinir ağları canlı beyinlerinin çalışması örnek alınarak geliştirilmiştir ve sinir sistemi hücresinin yapısı ile yapay sinir ağı yapısı arasında yapısal olarak bir takım benzerlikler bulunmaktadır. Bu benzerlikler Çizelge 3.1’de verilmektedir.

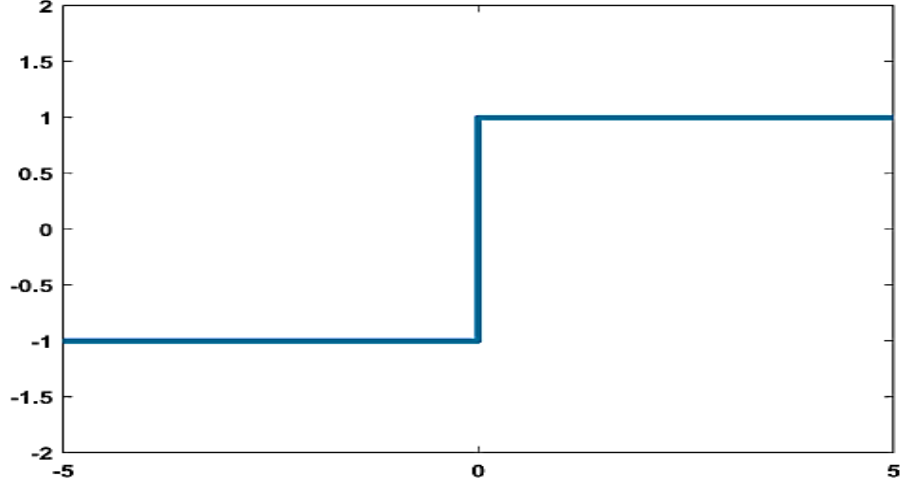
Çizelge 3.1. Bir sinir sistemi hücresinin yapısı ve yapay sinir ağı yapısı benzerliği

Sinir sistemi	YSA
Neron	İşlem birimi
Dentrit	Toplam fonksiyon
Biyolojik hücre gövdesi	Transfer fonksiyon
Aksonlar	Eleman Çıkışı
Sinapslar	Ağırlıklar

Çizelgede sinir sistemi hücre yapısı verilmektedir. Dendrit diye bilinenler bölge hücrelerinden gelen sinyalleri alır ve ana gövdeye ulaştırmak ile görevlidirler. Her bir nöron dendritler aracılığıyla bölgede diğer birçok nöronlardan gelen sinyal ve işaretleri alma ve birleştirme görevini icra eden basit mikro birimini ifade eder. Bir nöronun çıkış yolu ayrıştırıldığında bir birleşim aracılığıyla diğer nöronlarla toplanmasıyla oluşmuştur. Bu birleşim uçlarındaki veri alışverişi kimyasal olarak gerçekleşir ve sinyalin miktarı, eleman çıkışı tarafından bırakılan sinyallerin büyüklüğüne bağlı olarak aktarılmaktadır ve toplama fonksiyonları aracılığıyla alım yapılır. Bu büyüklük, beyin öğrenirken neyin düzenlemeye girdiğini belirtmektedir. Bu ağırlıklar beynin sahip olduğu temel zeka mekanizmasına dayanarak işlem birimi içerisindeki verinin işlenmesi ile birleştirilmektedir (Öztemel, 2003; Öztürk, 2007).

Doyumlu – doğrusal aktifleşme fonksiyonunda hücreye yapılan net girişin doğrudan hücrenin çıktısı olarak verilmesini sağlar. Doğrusal aktivasyon fonksiyonunun grafiği Şekil 16’ da gösterilmektedir. Doyumlu ve doğrusal aktivasyon fonksiyonları çalışma bölgesi aktif olduğunda doğrusal hareket eder ve hücreye girişin belirli bir değeri aşmasını müteakip hücrenin çıkışını doyum noktasına götürmektedir.

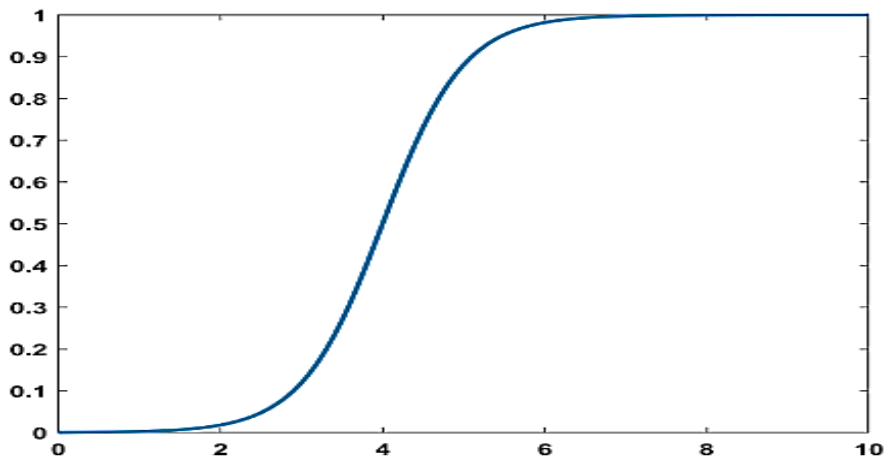
Eşik sınır fonksiyonu bilinen eşik aktifleşme fonksiyonu, mantıksal çıkış vermekte ve sınıflandırıcı ağda tercih edilmektedir. Şekil 3.6’da grafiği gösterilmektedir (Öztemel, 2003; Öztürk, 2007).



Şekil 3.6. Eşik sınır fonksiyonu grafiği

Sigmoid fonksiyonu, bu fonksiyonun aktif bölgesinin, 0.2 ile 0.8 arasında olduğu bilinmekte ve literatürde tek kutuplu aktivasyon fonksiyonu olarak da ifade edilmektedir. Sigmoid fonksiyonu doğrusal ve sürekli olmayan, türevi alınabilir fonksiyon olmasından dolayı parabolik problemlerin çözümünde kullanılan YSA'da genellikle tercih edilmektedir. Sigmoid fonksiyonu denkleminde ve grafiği Şekil 3.7'de verilmektedir (Öztemel, 2003; Öztürk, 2007).

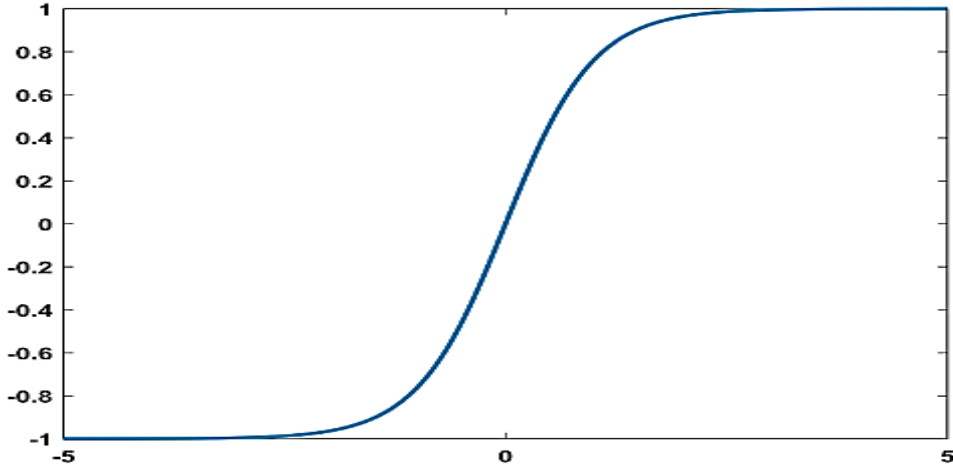
$$Y = 1/(1 + e^{(-\sum X_i W_i - \theta_i)}) \quad (3.5)$$



Şekil 3.7. Sigmoid fonksiyonu grafiği

Tanjant hiperbolik fonksiyon bipolar (çift kutuplu) özelliği olan fonksiyon olan tanjant hiperbolik fonksiyon, YSA uygulamalarında çok tercih edilen aktifleşme

fonksiyonlarının başında gelmektedir. Bu fonksiyon kullanıldığında nöronun aktifliği -1 ile 1 arasında değişiklik gösterir. Giriş uzayının genişletilmesinde etkili bir aktifleşme fonksiyonu olarak kullanılmaktadır. Grafiği Şekil 3.8’de gösterilmektedir (Öztemel, 2003; Öztürk, 2007).



Şekil 3.8. Tanjant hiperbolik fonksiyon grafiği

Bir YSA modelinin temel birimlerinden biri, işlem elemanı olarak kabul edilir. Bu nedenle girdi verileri dış kaynaklardan alınanlardan veya diğer işlem elemanlarından elde edilen işaretlerden oluşmaktadır. Bunlar kaynak olarak güçlü işaret veya düşük genlikte işaret olabileceğinden dolayı ağırlıkları da farklılık göstermektedir (Öztemel, 2003; Öztürk, 2007).

YSA’da giriş verilerine ilk olarak toplama fonksiyonları uygulaması yapılır ve her işlem elemanının çıkış değeri;

$$İEÇ = a_0 + \sum_{i=1}^N x_i w_i - \phi_i \quad (3.6)$$

olarak bulunmaktadır. Burada x_i ’in i ’inci girişi, w_j ’un j ’inci elemandan i ’inci elemana bağlantı ağırlığını ve ϕ eşik değerini gösterir. Daha sonrasında çıkış değerleri sigmoid fonksiyonuna öğrenme eğrisinde uygulama yapılır ve sonuç bulunur. Sonuçta çıkış değeri;

$$\text{Çıkış} = 1/(1 + e^{-\Omega_i}) \quad (3.7)$$

bulunmaktadır. Son zamanlarda ki uygulamalarda, en çok sigmoid veya hiperbolik tanjant fonksiyonu değerlendirilmektedir. Bu işlemci elemanın çıkış veri değeri diğer nöronların giriş veya ağına çıkış veri değeri olabilmektedir (Öztemel, 2003; Öztürk, 2007).

3.4.1. Yapay sinir ağları ile hesaplamaların özellikleri

Yapay sinir ağlarının hesaplamalardaki doğruluğu yakalaması, paralel ve düzenli dağıtılmış yapısından, eğitimi düzgün bir şekilde alabilme ve genelleme yapabilme özelliklerinden almaktadır. Genelleştirme, eğitimi düzgün bir şekilde alabilme veya öğrenme süresince kullanılmayan veri girişleri için de yapay sinir ağlarının uygun tepkiler üretmesi olarak tanımlanmaktadır. Bu özellikleri ile yapay sinir ağları karışık ve çözümü zor problemleri de sonuca ulaştırabilme yeteneğine sahip olduğu söylenebilir. Nesneleri veriye dönüştürme, sinyal işleme, sistem tanımlaması yapma ve denetleme gibi birçok uygulama bölgesinde yapay sinir ağları, belirtilen özellikleri sebebiyle başarılı sayılabilirler (Öztemel, 2003; Öztürk, 2007).

Lineer (Doğrusal) olmama YSA'nın nöronu olan hücreler lineer değildir. Bu sebeple hücrelerin bir araya gelmesi ile ortaya çıkan YSA'da lineer olmamaktadır ve bilinen bu özellikleri sayesinde tüm ağa yayılma göstermiştir. Bu özelliği ile YSA, lineer olmayan karışık problemlere çözüm getirmiştir.

Öğrenebilme, gerçekte öğrenmeyle ilgili bahsedilen, bilinen problemdeki giriş-çıkış ilişkisini en güzel ifade edecek uygun değer ağırlıkları bulunmalıdır. Problemlerden elde edilen örneklerden faydalanılarak alakalı problemi kendisine uygulanan öğretim metotları ile örneklerden öğretmeye çalışmaktadır. Soruna farklı bir çözüm getirmektedirler.

Genelleştirebilme özelliği yapay sinir ağları, ilgilendiği öğrenme problemini eğitim aşamasında karşılaşılmayan test verileri için belirlenen dürtüyü oluşturma yeteneğine

sahip bir ağıdır. Ağ hesaplamada hafızalar birleşik olmaktadır. Başka bir deyişle eğitim almış ağa girişin yalnızca bir tarafı verildiğinde ağın hafızasından girişe yakın değeri seçilerek bütün giriş verilerini alıp kabul etmektedir ve bu duruma elverişli çıktı parametresi üretilmektedir. Veriler yapay sinir ağına bozuk veya daha önce öğretilmediği halde verilse de ağ uygun en iyi olabilecek çıkışı sağlayacaktır. Böyle özelliklere YSA'nın genelleştirme özelliği denmektedir.

Ağa uyarlanabilirlik YSA ağırlıklarına uygulanmakta olan soruna göre değiştirilebilmektedir. Şöyle ki, belli bir sorunu çözebilmek amacı doğrultusunda öğretilen yapay sinir ağı, sorunda ki değişimlere göre yeniden eğitim sağlayabilmektedir. Değişimlerin sürekli olduğu durumlarda ise eş zamanlıda eğitime devam edebilmektedir. Bu gibi özellikleri ile yapay sinir ağları, uyarlanabilir alanlarda aktif olarak kullanılmaktadır.

Dağıtılmış tümleşik hafızada YSA'nın olmazsa olmaz özelliklerinden biri bilgiyi depolamasıdır. Ağ hesaplamalarında bilgi ve veriler ağırlıkların üzerinde paylaştırılmaktadır. Bağlantıların sahip olduğu ağırlıkları sinirsel ağın hafıza birimleridir. Bu gibi ağırlıklar ağın o anda bilgiyi ya da uygulanan örneklerden alınan öğrenilmiş olunan davranışı vermektedirler. Bu veriler ve bilgiler ağdaki ağırlıkların üzerine dağıtılmaktadırlar.

Yapay sinir ağına uygulanan bilgi ve veriler parçalı, eksik, bozulmuş veya daha önce öğrenilmemiş olsa da ağa kabul edilebilecek en olası çıkışı üretmek için eğitime devam edecektir. Bu özelliğe genelleme özelliği denmektedir.

Hata toleransı YSA'da geleneksel yöntemlere göre hatayı en düşük seviyede tutma yetenekleri gelişmiştir.

Paralel (eş zamanlı) işlem yapabilme YSA eş zamanlı işlem yapabilmesinin avantajıyla ölçeği büyük bütünleşmiş devre yapısı ile gerçekleyebilmektedir. Böyle bir özellik sayesinde yapay sinir ağlarının süratli bilgi ve veri işleme yeteneğini ve örnekleri ayırt

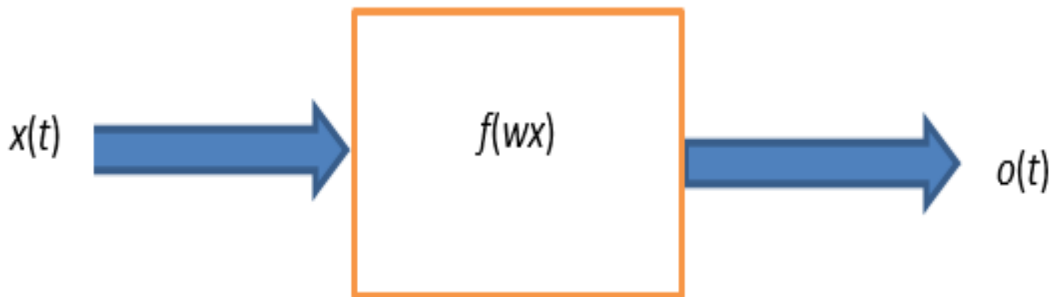
etme, sinyal işleme, bilgilendirme ve kontrol gibi gerçek zaman uygulamalarında kullanımını yükseltmiştir.

3.4.2 Yapay sinir ağlarını sınıflandırma

YSA'nın herhangi bir nöral hücresi arasındaki ilişkinin yapısı ağın yapı mimarisini belirlemeye yarar. Amaçlanan hedefe varabilmek için bağlantı noktalarının nasıl değiştirilmesi gerektiğini öğretme algoritmaları ile tarafından belirlenebilir. Kullanılan öğrenme ve öğretme kurallarına bakılarak hata değerini azaltacak biçimde ağın ağırlıklarının değiştirilmesi sağlanabilir. YSA yapı mimarilerine veya algoritmalarının eğitime tipine göre sınıflandırılabilirler (Öztemel, 2003; Öztürk, 2007).

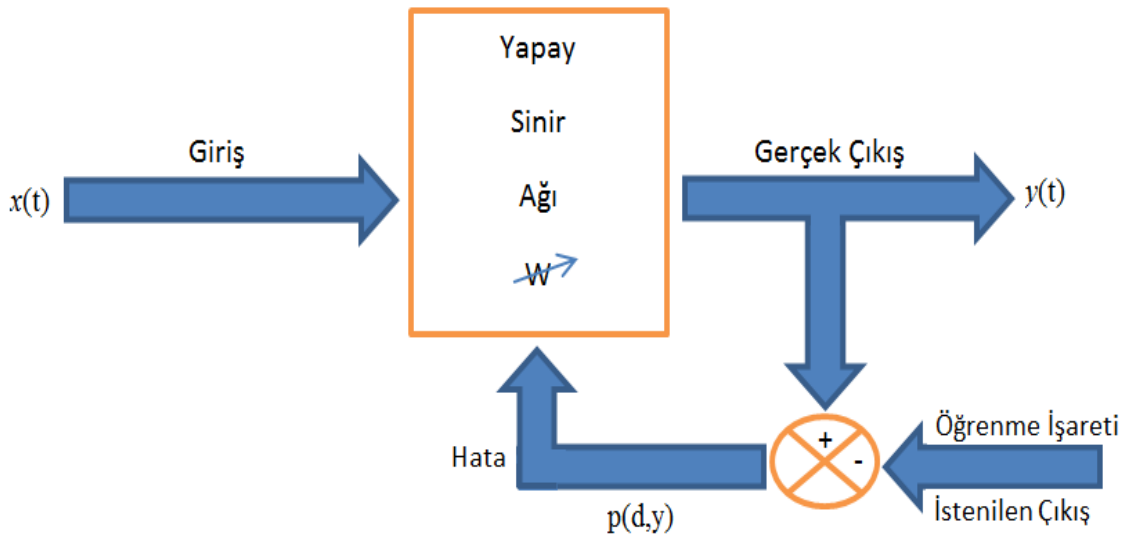
YSA'nın yapılarına göre sınıflandırıldığında açık döngüye sahip (ileri) beslemeli ağlar ve kapalı döngüye sahip (geri) beslemeli ağlar olarak iki şekle ayrılabilirler:

Açık döngüye sahip (ileri) beslemeli ağlar YSA'da işlem elemanları genellikle katman katman ayrılmışlardır. Sinyaller, girdi katmanından çıktı katmanına doğru tek taraflı bağlantılar ile aktarılmaktadır. İşlemci elemanlar bir katman noktasından diğer bir katman noktasına iletişim kurarken, benzer blok içerisinde bağlantıları bulunmamaktadır. Şekil 3.9 ileri beslemeye sahip ağ için blok diyagram şeması göstermektedir. İleri (Düz) beslemeye sahip ağlara örnek olarak çok katmanlı tipte algılayıcı ve doğrusal vektör parçalama ağları örnek olarak verilebilir.



Şekil 3.9. Açık döngüye sahip (ileri) beslemeli ağlar için blok diyagram şeması

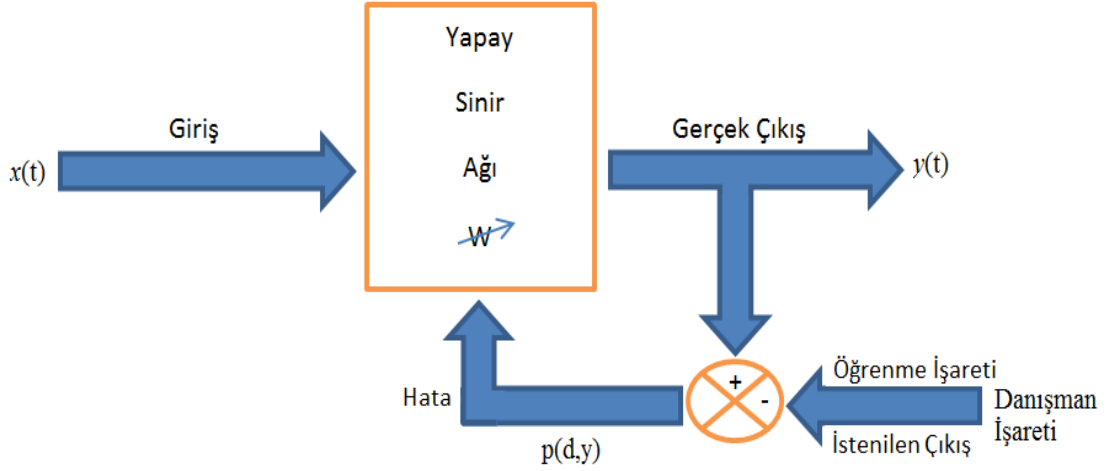
Kapalı döngüye sahip (geri) beslemeli ağlarda ise sinir ağları dinamik ve değişken bir hafızaya sahiptirler ve anlık çıkış, hem o anki çıkış hem de önceki girdileri cevap olarak vermektedirler. Bu nedenle genellikle tahmin uygulamalarında kullanıldığı söylenebilir. Bu türde ki ağlarda çeşitli problemlerin tahmininde yüksek oranda başarı göstermişlerdir. Bu türde ki ağlara örnek Houptfield, Düzenleyici Harita, Elmann ve Jordan ağları gösterilebilmektedir. Şekil 3.10'da geri beslemeye sahip ağ için blok diyagram şeması gösterilmektedir.



Şekil 3.10. Kapalı döngüye sahip (geri) beslemeli ağlar için blok diyagram şeması

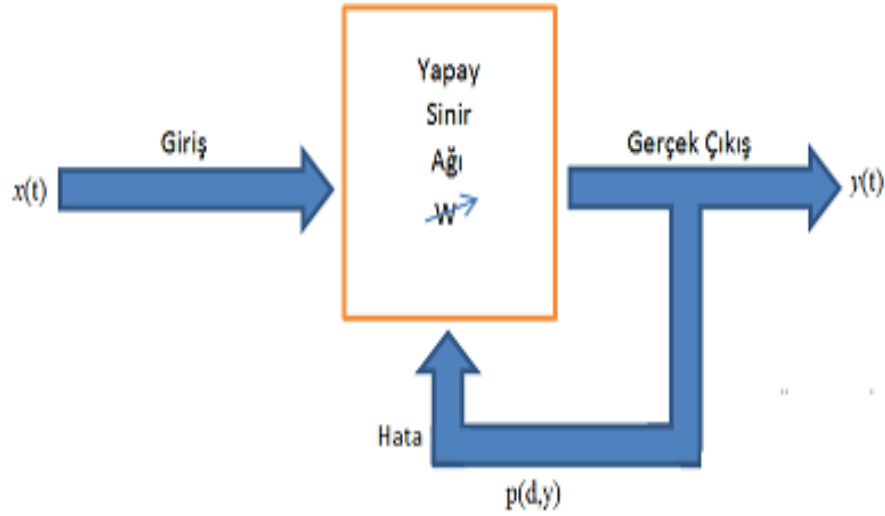
YSA'nın öğrenme algoritmalarına göre sınıflandırıldığında üç öğrenme metodundan ve bunların uygulandığı değişik öğrenme ilkelerinden söz edilebilmektedir. Bu öğrenme ilkeleri şu şekilde açıklanabilir:

Ağın danışmanlı öğrenmesi türünde ki öğrenme modelinde, yapay sinir ağlarının çıkışın doğru noktası gösterilir ve arzulanan ile gerçek sonuç arasındaki fark ile işlem elemanlarının arasında ki birleşimlerinin ağırlığını iyi ve uygun sonuca varabilmek için daha sonradan düzenleme yapılabilir. Bu nedenle danışmanla çalışan eğitim algoritmasının bir eğitmene veya danışmana gereği olmaktadır. Whidrow ve Hopf isimli bilim adamlarının icat ettiği delta isimli kural ve Rummelhart ve McClelland'ın geliştirdiği delta isimli kural veya ters yayılım algoritması danışmanlı eğitim tipindeki algoritmalara örnek oluşturmaktadır (Öztemel, 2003; Öztürk, 2007).



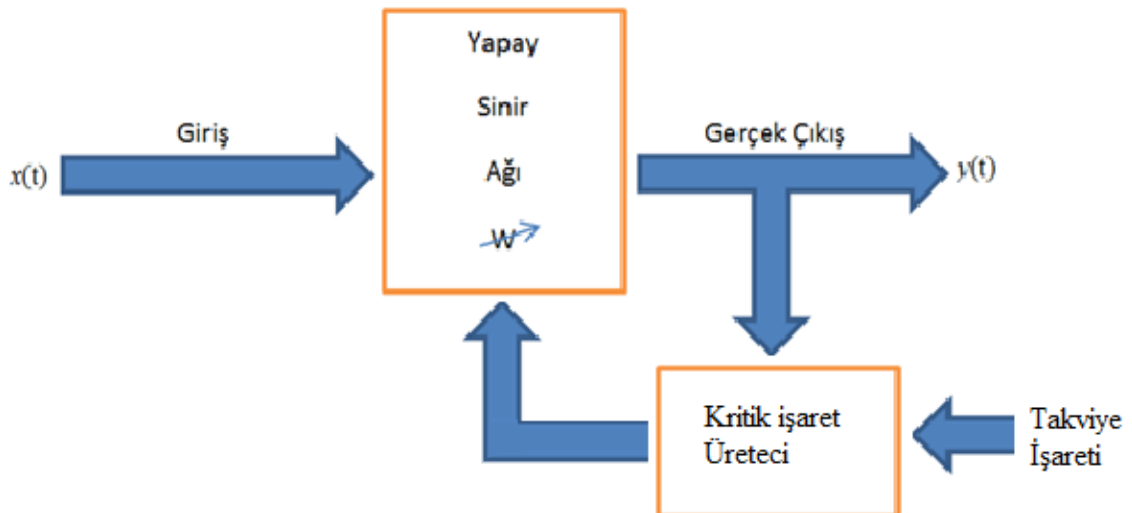
Şekil 3.11. Ağın danışmanlı tipte öğrenme yapısı

Ağın danışmansız öğrenmesinde ise giriş verisine uygulanan örneklerden, bulunan çıktı bilgilerine, ağın sınıflandırılması ilke ve kuralının kararını kendi geliştirip verebilmektedir. Böyle tipteki eğitim algoritmalarında, hedeflenen çıktı değerlerinin bilinmesi ihtiyacı olmamaktadır. Ağa eğitim boyunca yalnızca girdi veri bilgileri verilmekte, ağ sonrasında iletişim ağırlıklarını, benzer özelliklerini gösterdiğinden grafikler oluşturarak ayarlama yapılmaktadır. Grossberg tarafından geliştirilen Adaptif Rezonans Teorisi veya Kohonen isimli bilim adamı tarafından geliştirilen SOM adı verilen öğrenme algoritması danışmansız öğrenmeye örnek oluşturmaktadır (Öztemel, 2003; Öztürk, 2007).



Şekil 3.12. Ağın danışmansız tipte öğrenme yapısı

Takviyeli tipte öğrenme türünde danışmanlı tipte ki öğrenmeye yakındır. Denetimsiz öğrenme algoritmasında, hedeflenen ve istenilen çıktının bilinmesine ihtiyaç duyulmamaktadır. Hedeflenen çıktıyı verebilmek için eğitmenin yerine yapay sinir ağına çıkış sinyali verilmemekte fakat elde edilen çıkışın verilen girişe karşılık durumunu değerlendirmeye alan bir karşılaştırma kullanılmaktadır. İyileştirme problemlerini çözebilmek için Hinton ve Sejnowski isimli bilim insanlarının geliştirdiği Boltzmann kuralı takviyeli öğrenmeye örnek olarak verilebilmektedir (Öztemel, 2003; Öztürk, 2007).



Şekil 3.13. Takviyeli tipte öğrenme yapısı

3.4.3. YSA'nın avantajları ve dezavantajları

YSA'ları diğer metotlardan ve istatistiki metotlardan ayıran avantajlarını şöyle sıralandırmak mümkündür (Öztemel, 2003; Öztürk, 2007).

Genelleme, YSA'nın öğrenmeye sahip olmasının önemli olumlu tarafı eğitilmiş ağ yapısının az bilinen veya yanlış bilinen veriler ile doğru çözümlere varabilmesindendir.

Yanlışlık toleransına sahip olma geleneksel bilgisayarların yapısı gereği sistemsel oluşabilecek yanlışlara karşı oldukça duyarlıdır. Sistemde meydana gelebilecek en küçük bir hata sonuca ulaşmada veya çözümlerde büyük veri hatalarına sebep olmaktadır.

Uyumlu çalışabilme YSA'nın sahip olduğu özelliklerden biridir ağın öğrenim haricinde ki kullanma aşamasında daha önce eğitilmemiş durumları öğrenebilmekte veya uyumlu çalışabilme yeteneğine sahip olmasıdır.

Paralel (aynı anda) çalışabilme, YSA'daki bütün işlem elemanlarına anlık çalıştıklarından dolayı eğitim esnasında süratli sonuçlar üretebilmektedirler.

Hiçbir olasılığa ihtiyacı olmaması YSA yazılımında elemanların ve verilerin yapay sınır ağının öğretiminde kullanıldığı için ihtiyaç olan bir varsayıma denk gelinmemektedir.

YSA'nın yukarıda ki olumlu yönleri haricinde bir takım uygulamalar için uyumsuz olumsuz yönleri de olmaktadır. Aşağıda verilen bu eksiklikler YSA'nın eksikliğidir.

Doğru sonucu bulamama (sonuca varamama) YSA'nın uygulama alanına uygulanabileceği ve her durumda doğru sonucu yüksek yüzde ile ulaşacak bir özelliğe sahip olduğunu düşünmek yanlış olur. Bazı alanlarda da ağın eğitimi imkansız olmakta, mümkün olamamakta ve doğru sonuca ulaştıramamaktadır.

Açıklama eksikliğinin bulunması sayısal metotlar ile birlikte problemin olduğu bölgeye ilişkin açıklanabilir ve göreceli parametreler üretmesinden dolayı yapay sinir ağlarının sahip olduğu ağırlıkların yorumlanma durumu bulunmamakta ve kestirimi mümkün olmamaktadır. Bu yüzden yapay sinir ağında bulunan sonuçlardan ortaya çıkan modelin açıklama eksikliği bulunmaktadır (Öztemel, 2003).

3.5. Yapıcı Sinir Ağları

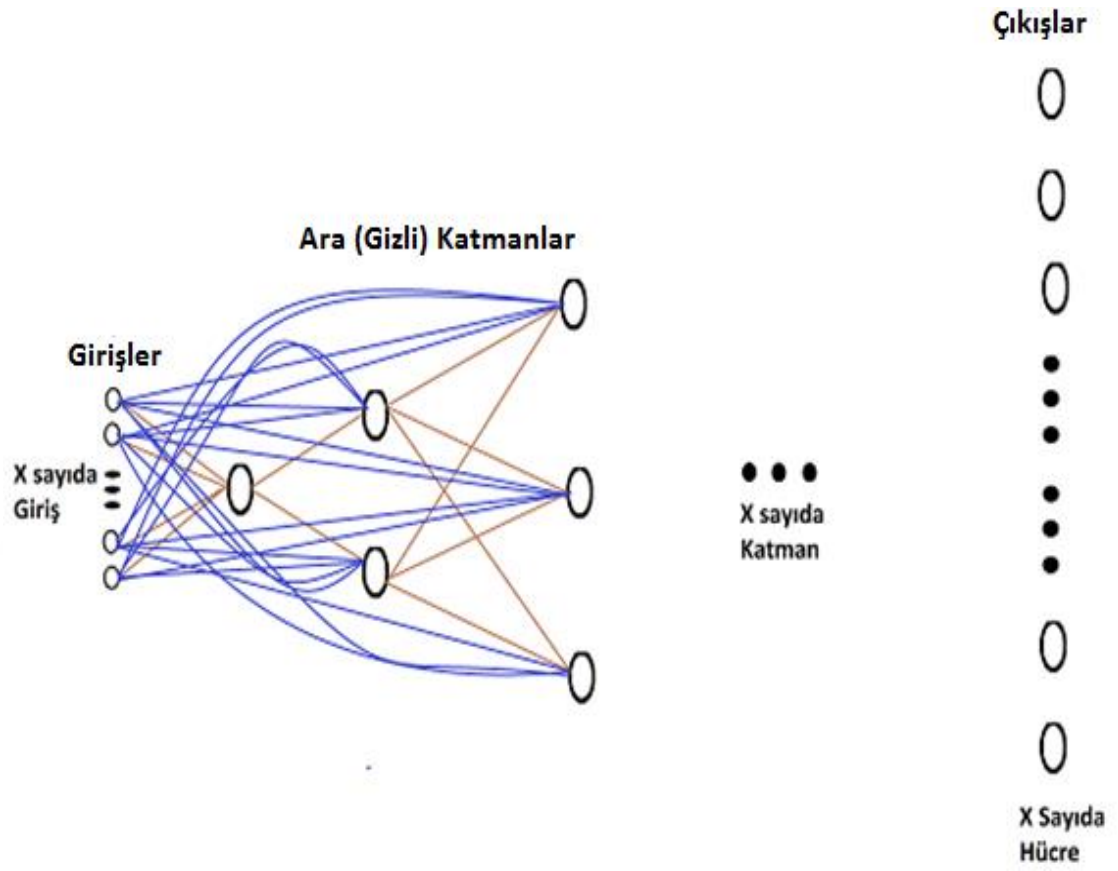
Yapıcı Sinir Ağları (Constructive Neural Networks: CoANN), eğitim geliştikçe ağ model ve yapısını geliştiren ve eğitim esnasında kendi kendine uygun boyutta bir ağ üreten algoritma grubuna denmektedir. Yapıcı Sinir Ağlarında kullanılan öğrenme algoritmalarına yapıcı algoritmalar denmektedir. Yapıcı algoritmalar küçük bir hücre ve katman modeliyle eğitime başlar ve verilen probleme uygun bir şekilde eğitim sırasında katmanlar, düğümler ve bağlantılar ekleyerek çalışmasını sürdürür. Eğitim süreci öğrenme algoritması çözümün doğruya yakın bir duruma gelene kadar devam eder. Yapıcı algoritmaları kullanmak için altı önemli neden aşağıda verilmiştir (Ma, 2004).

- YSA topolojilerinin alanını keşfetme esnekliği, sinir ağının sahip olduğu işlem elemanı ve katmanlarda değişiklik yapma imkanı sunduğundan dolayı kapalı çevrim mantığı bulunmakta, giriş verilerini eğitimin her aşamasında sürdürme ve eğitim alanını keşfetme olanağı sunmaktadır.
- Eğitim görevinin içsel karmaşıklığını azaltma potansiyeli, sinir ağının sahip olduğu nöron ve katmanlarda değişiklik yapma imkanı sunduğundan dolayı eğitimde gereksiz olan, sonuca ulaştırmayacak işlem elemanı ve katmanların eğitimden atılması ile zamandan tasarruf sağlar ve karmaşıklığı azaltır.
- Eğitim esnasında beklenen olay karışıklığının azaltılması ve öğrenme esnasında beklenmeyen ve doğru olmayan durumları öğrenmeye katmaz ve karışıklığı azaltır.
- Performans ölçütleri arasındaki değişimler, performans olarak sistemi zorlamaz daha erken sürede öğrenme yapabilir ve performanstan kazanç sağlar.
- Önceden bilginin katılması, sıradan YSA'ların aksine önceden bilgi eklemesi yapılabilmekte ve sonuca daha hızlı ve doğru bir şekilde ulaştırabilmektedir.

- Çalışma boyunca öğrenme gerçekleştirilmesi, sinir ağının sahip olduğu nöron ve katmanlarda değişiklik yapma imkanı sunduğundan dolayı öğrenme devam ederken de değişiklik yapma imkanı sunmaktadır.

Yapıcı algoritmalarda her gizli düğüm ilavesinden sonra ortaya çıkan ağı eğitmenin çeşitli yolları bulunmaktadır. Bunlar iki genel yöntemle sınıflandırılabilirler. Birincisi, yeni bir gizli düğüm eklendikten sonra tüm ağı eğitilmesinden ibaret olmaktadır. İkincisi, yeni eklenen bir düğümün eğitimidir ve geriye kalan ağırlıklar durmuş halde beklemektedir. Yeni bir gizli düğüm ekleme yöntemi, birçok yapıcı algoritma boyunca standart olmaktadır ve genel olarak, hata belirli bir süre boyunca belirlenen bir miktarı karşılayamadığında yeni bir gizli düğüm eklemek veya yerel bir minimum gibi bazı kriterler için test yapmaktan oluşmaktadır. Ağ inşaatını durdurmak, belirli bir problem için en iyi modeli bulmakla eşdeğer olmaktadır ve bu nedenle erken durma gibi teknikler de kullanılabilmektedir (Ma, 2004).

Bu çalışmada, Yapıcı YSA kullanılarak robot kolunun kontrollü yörünge uygulaması ve robot kolunun kontrolünü sağlamak üzere gerekli programlama algoritması oluşturulmuştur. Sistemin çalışması için YSA için giriş değerleri olan hedef ve engel koordinatlarının yazılı olduğu sütunlar kullanılmıştır. YSA ile elde edilen motor açısı denklemlerinden yukarıdaki yöntem ve metotlar kullanılarak robot kolunun istenilen pozisyona gitmesi sağlanmaktadır. YSA'nın oluşturulması, oluşturulmuş YSA'nın eğitilmesi ve denemesi süreçleri aşamasında Matlab R2017b yazılımı üzerinde gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.14. Örnek bir Yapıcı YSA modeli

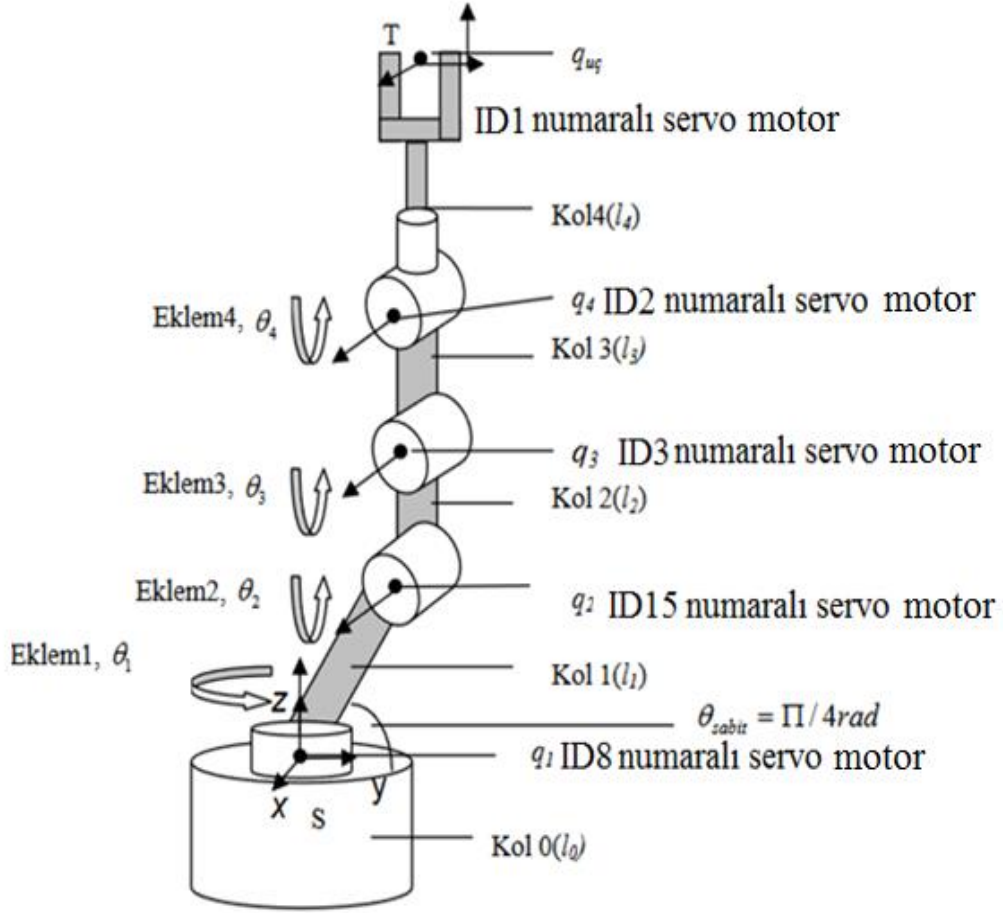
4. MATERYAL ve YÖNTEM

4.1. Materyal

Çalışmada kullanılan robot kolu Şekil 4.1’de verilmiştir. Robot kolunun serbest cisim gösterimi ise Şekil 4.2’de görüldüğü gibidir. Serbest cisim gösteriminde ID8 numaralı servo motor eklem-1’i temsil etmektedir. ID15 numaralı servo motor eklem-2’yi, ID3 numaralı servo motor eklem-3’ü, ID2 numaralı servo motorda eklem-4’ü, ID1 numaralı servo motor uç işlevcisini temsil etmektedir. Robot kolu dört eklemden hareket yapabilmektedir ve üç serbestlik derecesine sahiptir.



Şekil 4.1. Çalışmada kullanılan robot kolu



Şekil 4.2. Çalışmada kullanılan robot kolu serbest cisim gösterimi, servo bilgileri ve eklem açıları gösterimi (26'dan değiştirilerek alınmıştır)

Robot kolunun eklem hareketlerini sağlamak üzere, her bir eklemden Dynamixel markalı AX-12A modelinde servo motorları bulunmaktadır. Dynamixel servo motorları küçük güçlü robotik uygulamalarda ve endüstriyel alanlarda sıklıkla kullanılmaktadır. Şekil 4.3'de gösterilen Dynamixel AX-12A servo motor içerisinde kontrol kartı bulunan veri okuma ve yazma imkanı sunan gelişmiş bir motordur. Çizelge 4.1 ve Çizelge 4.2'de bu motorun sahip olduğu özellikler verilmiştir.



Şekil 4.3. Robot kolu eklemlerindeki Dynamixel AX-12A servo motorları

AX-12A motorların temel bazı özellikleri aşağıdaki gibidir;

- | | |
|----------------------------|----------------------------|
| -Ağırlık:54.6 gr | -Hassasiyet:0.29 derece |
| -Tork:1.5 N.m (12V, 1.5A) | -Dönme açısı: 0-300 derece |
| -Boyut: 32mm X 50mm X 40mm | -Voltaj: 9-12 V |

AX-12A, binary 0-1023 arasında istenilen dereceye gidebilmektedir. 300 derece/1023 dönüşümü ile 0.29 derece hassasiyetine sahiptir. Dynamixel AX-12A servo motorları, tek hat üzerinden motor parametrelerinin tümüne erişebilme imkanı sunmasıdır. Motor tork, hız, pozisyon, PID kontrolörün K_p , K_i , K_d değerleri, tek hat kablo erişimi ile okunabilmekte ve bu gibi önemli motor kontrol parametreleri değiştirilebilmektedir. Örneğin, iletişim hızı, saat yönünde veya tersi yönde dönme sınırı ayarı yapabilmek, motor sıcaklık değerini okuma, motorun çalışma voltajını sınırlandırabilme gibi özellikleri hem motordan okuma yapabilmek hem de motora yazabilmek olanağı sunmaktadır. Dynamixel AX-12A servo motorun komut seti aşağıdaki Çizelge 4.1’de verilmiştir.

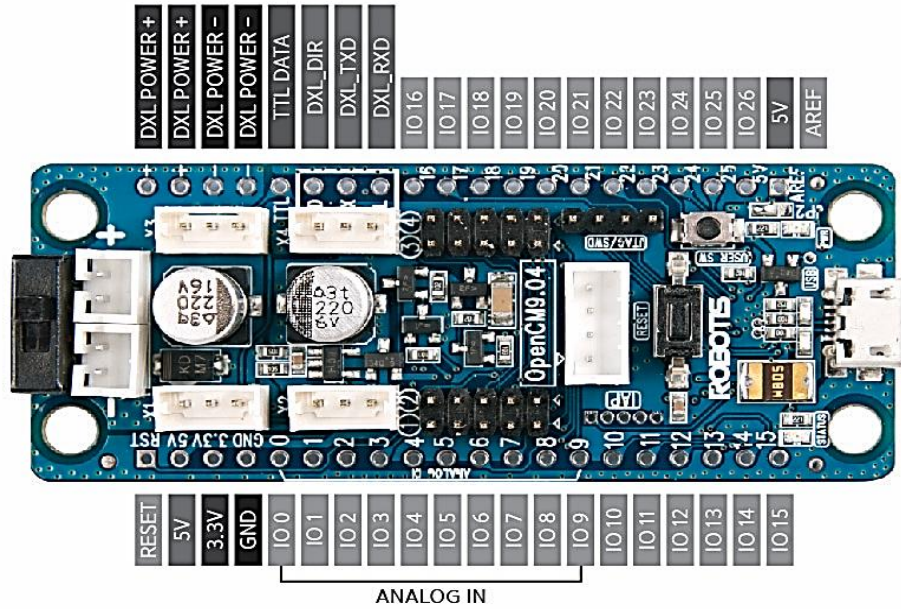
Çizelge 4.1. Dynamixel AX-12A EEPROM'un kontrol tablosu

Adres	Boyut (Byte)	Veri İsmi	Açıklamalar	Erişim	Başlangıç Değeri
0	2	Model Number	Model Numarası	okuma	12
2	1	Firmware Version	Sürüm versiyonu	okuma	-
3	1	ID	DYNAMIXEL ismi	okuma+yazma	1
4	1	Baud Rate	İletişim hızı	okuma+yazma	1
5	1	Return Delay Time	Cevap verme süresi	okuma+yazma	250
6	2	CW Angle Limit	Saat yönü dönme sınırı	okuma+yazma	0
8	2	CCW Angle Limit	Saat tersi yönü dönme sınırı	okuma+yazma	1023
11	1	Temperature Limit	Maximum iç sıcaklık sınırı	okuma+yazma	70
12	1	Min Voltage Limit	Minimum giriş voltaj sınırı	okuma+yazma	60
13	1	Max Voltage Limit	Maximum giriş voltaj sınırı	okuma+yazma	140
14	2	Max Torque	Maximun moment	okuma+yazma	1023
16	1	Status Return Level	Durumu seçme	okuma+yazma	2
17	1	Alarm LED	Alarm göstergesi	okuma+yazma	36
18	1	Shutdown	Kapatma hata bilgisi	okuma+yazma	36

Çizelge 4.2. Dynamixel AX-12A kontrol tablosu

Adres	Size	Veri Adı	Açıklama	Erişim	Giriş
	(Byte)				Değeri
24	1	Torque Enable	Motor Torku Açma/Kapama	okuma+yazma	0
25	1	LED	Durum göstergesi açma/kapama	okuma+yazma	0
26	1	CW Compliance Margin	Saat yönü dönme işaretleyici	okuma+yazma	1
27	1	CCW Compliance Margin	Saat tersi yönü dönme işaretleyici	okuma+yazma	1
28	1	CW Compliance Slope	Saat yönü dönme slope	okuma+yazma	32
29	1	CCW Compliance Slope	Saat tersi yönü dönme slope	okuma+yazma	32
30	2	Goal Position	Hedef pozisyon	okuma+yazma	-
32	2	Moving Speed	Çalışma hızı	okuma+yazma	-
34	2	Torque Limit	Tork sınırı	okuma+yazma	
36	2	Present Position	Anlık pozisyonu	okuma	-
38	2	Present Speed	Anlık hızı	okuma	-
40	2	Present Load	Anlık yük	okuma	-
42	1	Present Voltage	Anlık voltaj	okuma	-
43	1	Present Temperature	Anlık sıcaklık	okuma	-
44	1	Registered	Giriş kayıtlanması durumu	okuma	0
46	1	Moving	Hareket durumu	okuma	0
47	1	Lock	EEPROM'u kilitleme	okuma+yazma	0
48	2	Punch	Minimum eşik değeri	okuma+yazma	32

Şekil 4.4’te servo motora erişim için kullanılan OpenCM-9.04 kontrol kartı gösterilmektedir. OpenCM-9.04 kontrol kartı ARM Cortex-M3 32bit CPU temelli Dynamixel motorlarını bağlamak ve kontrol etmek için kullanılan bir kontrol kartıdır (ANONİM-3). Bu kontrol kartı ile aynı anda 4 ayrı kanal üzerinden uygulamanın türüne göre farklı sayılardaki Dynamixel servo motorlara erişim yapılabilir. Kartın 26 adet giriş-çıkış yapılabilir uçları bulunmakta bunların ilk 10 tanesi analog giriş olarak atanabilmektedir. Ayrıca yapılacak uygulamaya göre 3.3V, 5V, 12V besleme seçenekleri bulunmaktadır



Şekil 4.4. Çalışmada kullanılan OpenCM 9.04 mikrodnetleyicisi

Çalışmada Matlab ile OpenCM-9.04 kontrol kartı arasındaki iletişimi Matlab R2017b programı ile sağlanmıştır. Bu yolla robotun tüm eklemlerdeki AX-12A servo motorların mevcut açı değerleri okunmuş, dönmeleri gereken açı değerleri ayarlanabilmiştir.

4.2.2. YSA eğitimi

YSA'nın öğretilmesi için ihtiyaç duyulan başlangıç ve hedeflenen son konum veri kümeleri robot kolunun uç işlevcisi ile bir noktadan başka bir noktaya taşınması ile oluşturulmuştur. Matlab ortamında hazırlanan bir program ile robotun götürüldüğü noktalardaki eklem açı değerleri Şekil 4.5'te verilen bağlantı yolu ile doğrudan servo motorlardan alınmıştır. Götürülen noktalardaki son işlevcinin kartezyen koordinat sistemindeki x , y ve z konumları servo motorlardan alınan mafsallık açı değerleri ve mafsallar arasındaki uzunluk değerlerinin kullanıldığı Denavit - Hartenberg (DH) matrisi kullanılarak ileri kinematik çözümü ile elde edilmiştir. YSA eğitim performansları oluşturulan eğitim verilerinin sayılarıyla direkt olarak alakalı olduğundan dolayı eğitim veri setinin fazla sayıda olmasına özen gösterilmiştir.

Robot kolu ile yapılan çalışmada sırasıyla uç işlevcisinden robot kolu tabanına doğru ID1, ID2, ID3, ID15 ve ID8 numaralı servo motorlar kullanılmıştır. Tutucu olarak çalışan ve hedef bulmada herhangi bir görevi bulunmayan ID1 numaralı servo motor YSA eğitiminde kullanılmamıştır. YSA eğitim giriş parametreleri 10 veriden oluşmaktadır. Bunların 4'ü robot kolunun başlangıç konumunun eklem açıları (Eklem-1, Eklem-2, Eklem-3 ve Eklem-4), 3'ü robot kolunun başlangıç konumunun x , y , z koordinatı ve kalan 3 tanesi de hedef konumunun x , y , z koordinatıdır. Çıkış ise 4 veriden oluşmaktadır. Bunlar hedef konumunu Eklem-1, Eklem-2, Eklem-3 ve Eklem-4 açı değerleridir. YSA eğitimi için aşağıdaki giriş veri çıkış yapısı kullanılmıştır.

$$G=[p_1; p_2; p_3; p_4; k_1; k_2; k_3; k_4; k_5; k_6]$$

$$H=[h_1; h_2; h_3; h_4]$$

Yukarıdaki YSA giriş veri yapısındaki ifadeler Çizelge 4.3'de verilmiştir.

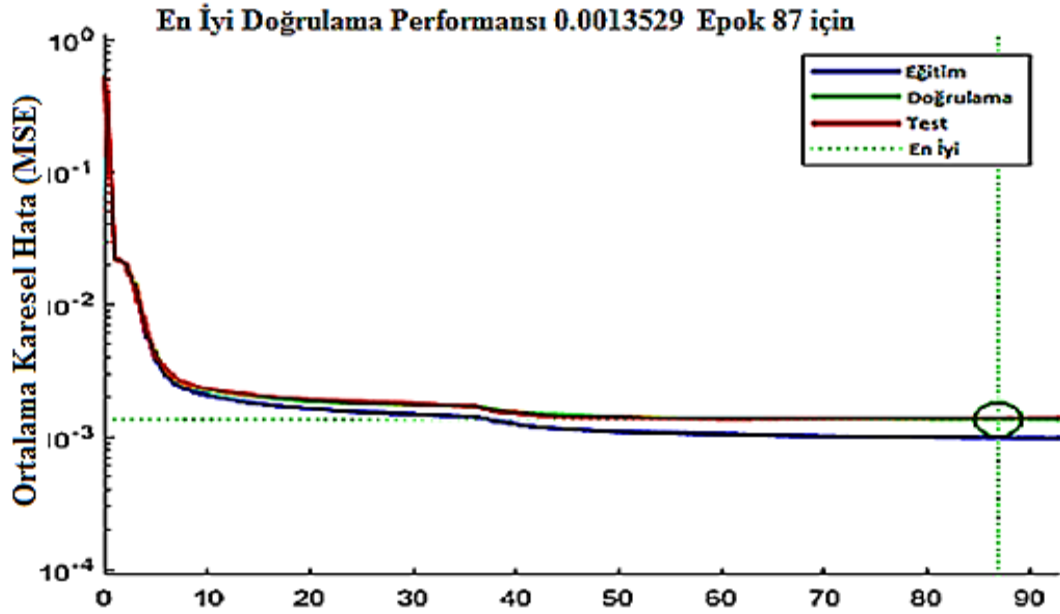
Çizelge 4.3. YSA giriş ve hedef veri yapısında kullanılan değişkenler

G	YSA giriş seti
p_1	1. eklem başlangıç noktasındaki açı değeri
p_2	2. eklem başlangıç noktasındaki açı değeri
p_3	3. eklem başlangıç noktasındaki açı değeri
p_4	4. eklem başlangıç noktasındaki açı değeri
k_1	Uç işlevcinin başlangıç noktasındaki x koordinat değeri
k_2	Uç işlevcinin başlangıç noktasındaki y koordinat değeri
k_3	Uç işlevcinin başlangıç noktasındaki z koordinat değeri
k_4	Uç işlevcinin hedef noktasındaki x koordinat değeri
k_5	Uç işlevcinin hedef noktasındaki y koordinat değeri
k_6	Uç işlevcinin hedef noktasındaki z koordinat değeri
H	YSA hedef seti
h_1	1. eklem hedef noktasındaki açı değeri
h_2	2. eklem hedef noktasındaki açı değeri
h_3	3. eklem hedef noktasındaki açı değeri
h_4	4. eklem hedef noktasındaki açı değeri

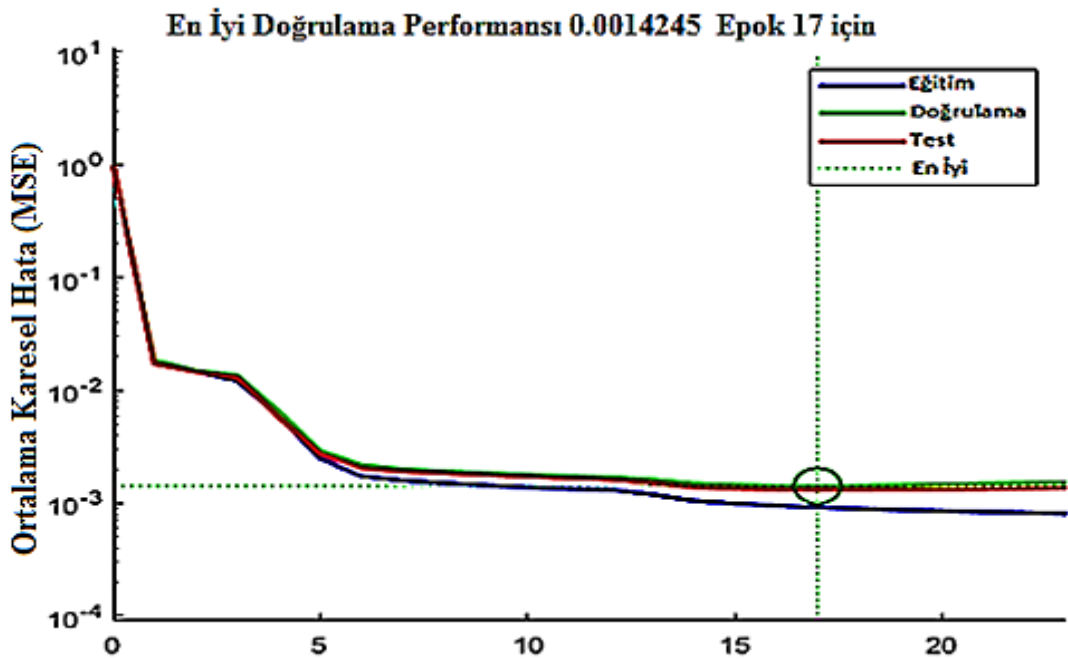
Geleneksel YSA için 3 katmanlı mimari kullanılmıştır. Gizli katmanlarda aktivasyon fonksiyonu olarak tanjant sigmoid fonksiyonu kullanılmış, öğrenme fonksiyonu olarak Levanberg ve Marquardt isimli geri yayımlı algoritması seçilmiştir. Uygulama kullanılan verilerin %70 öğretim, % 15 doğrulama , %15 ise sisteme sorulan testler için kullanılmıştır.

Geleneksel YSA mimarisinin her bir katmanındaki hücre sayısı deneme yanılma yöntemi ile belirlenmiştir. Bunun için öncelikle her katmanda 10 hücre kullanılmıştır. Daha sonra katmandaki hücre sayısı 10’ar artırılarak eğitim performans değeri ve eğitim regresyon grafiği izlenerek sıralı YSA eğitimleri gerçekleştirilmiştir. Uygulanan bu sıralı eğitim denemeleri sonunda performans ve regresyon değerinin 10^{-3} gibi bir limit değerinde eğitimin en iyi değerini bulduğu ve daha ileriye gidemediği gözlemlenmiştir. Bu noktada katmandaki hücre artışı durdurularak nihai mimariye karar verilmiştir.

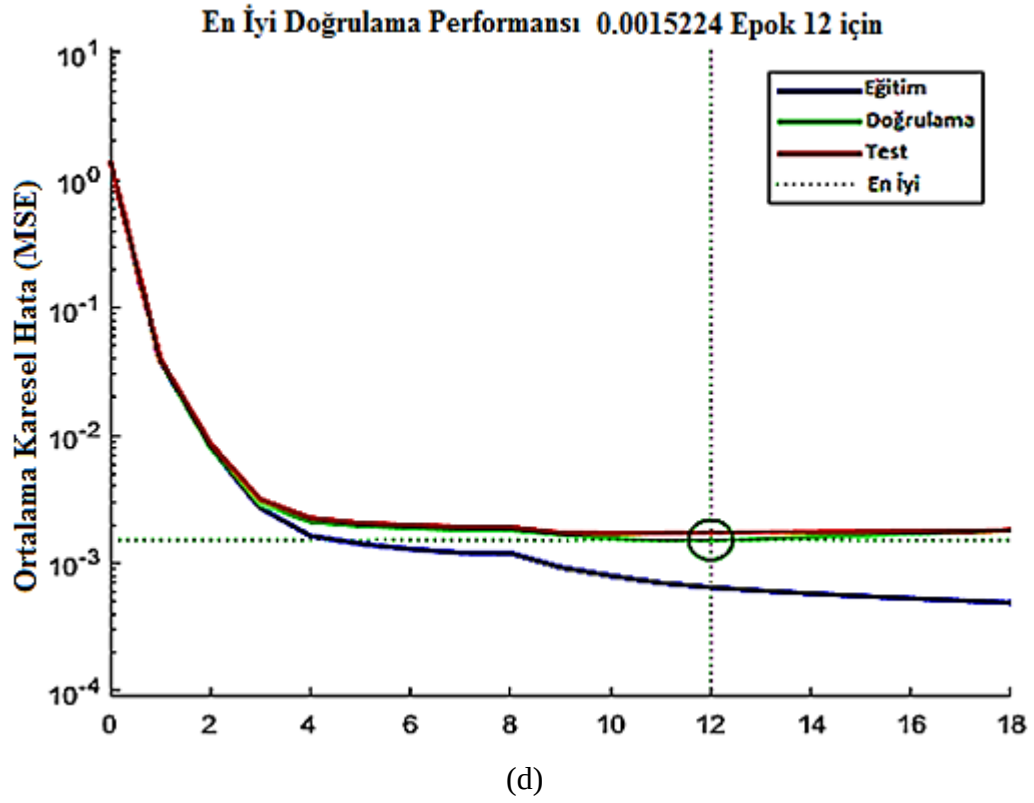
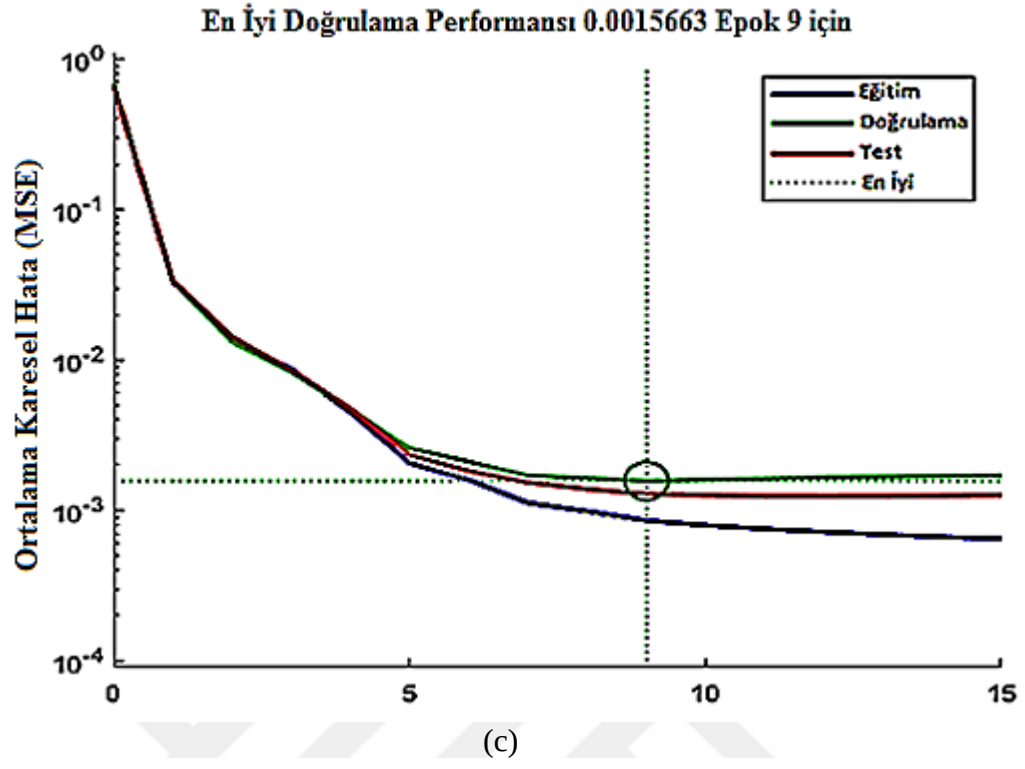
Sonuçta geleneksel YSA için katmanların her biri 50 hücre olan 3 gizli katmanlı, toplamda 150 hücreden oluşan YSA modeli belirlenmiştir. Şekil 4.6'da uygun YSA mimarisinin belirlenmesi aşamasında katmanlardaki hücre sayısındaki artışa göre eğitim performansları gösterilmiştir.

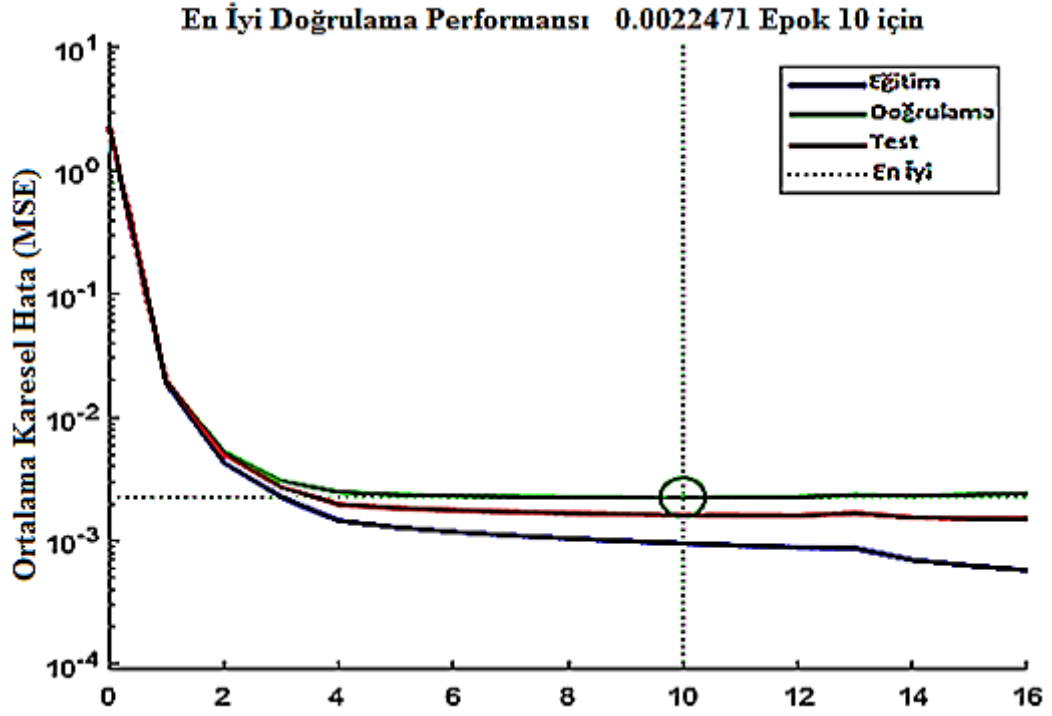


(a)



(b)

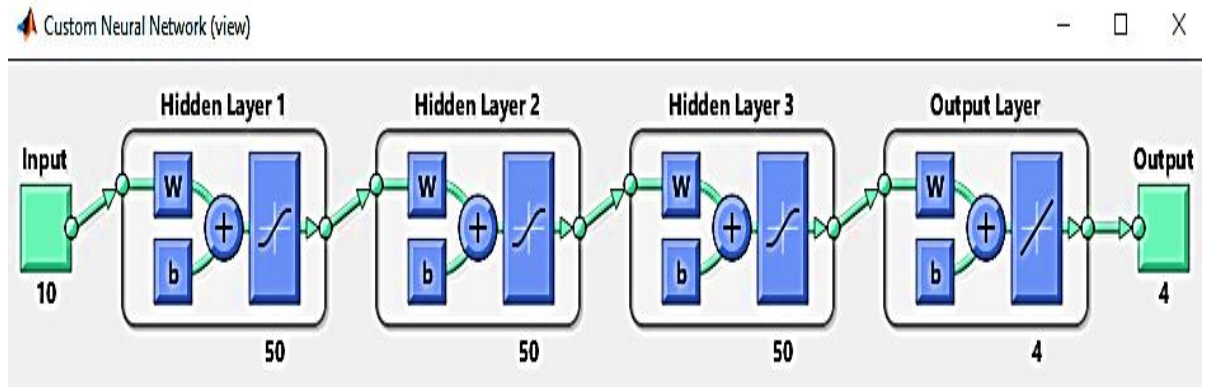




(e)

Şekil 4.6. Geleneksel YSA için farklı hücre sayılarına göre eğitim performans grafikleri
(a) 10 hücreli (b) 20 hücreli (c) 30 hücreli (d) 40 hücreli (e) 50 hücreli

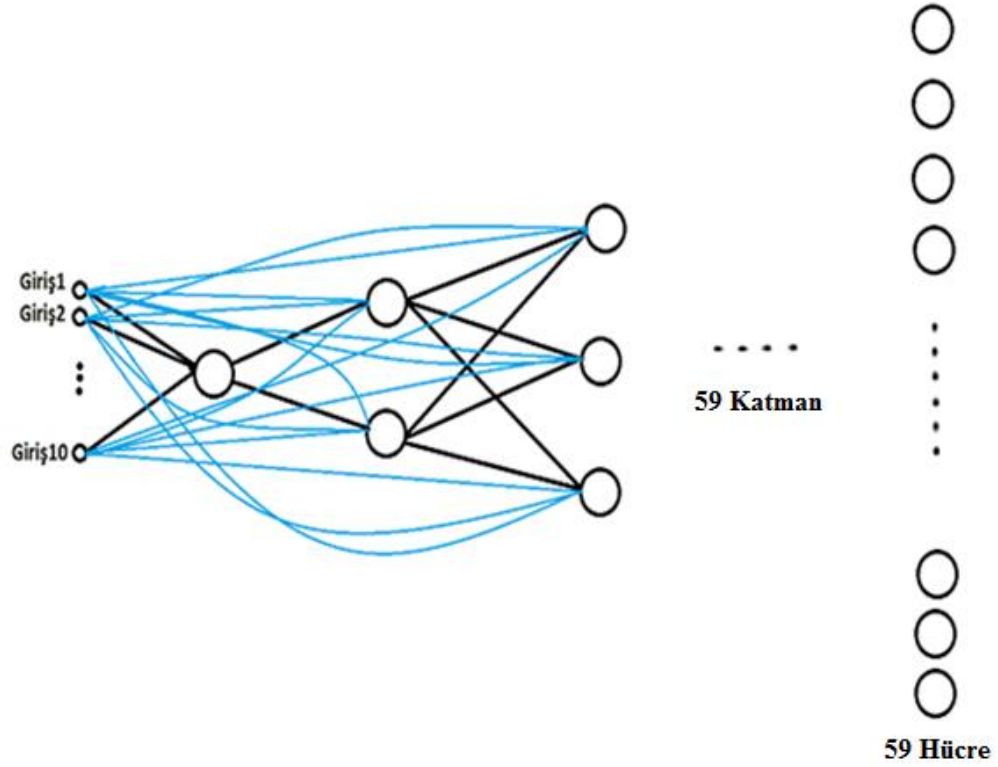
Geleneksel YSA mimarisinin nihai hali aşağıdaki Şekil 4.7’de görülmektedir.



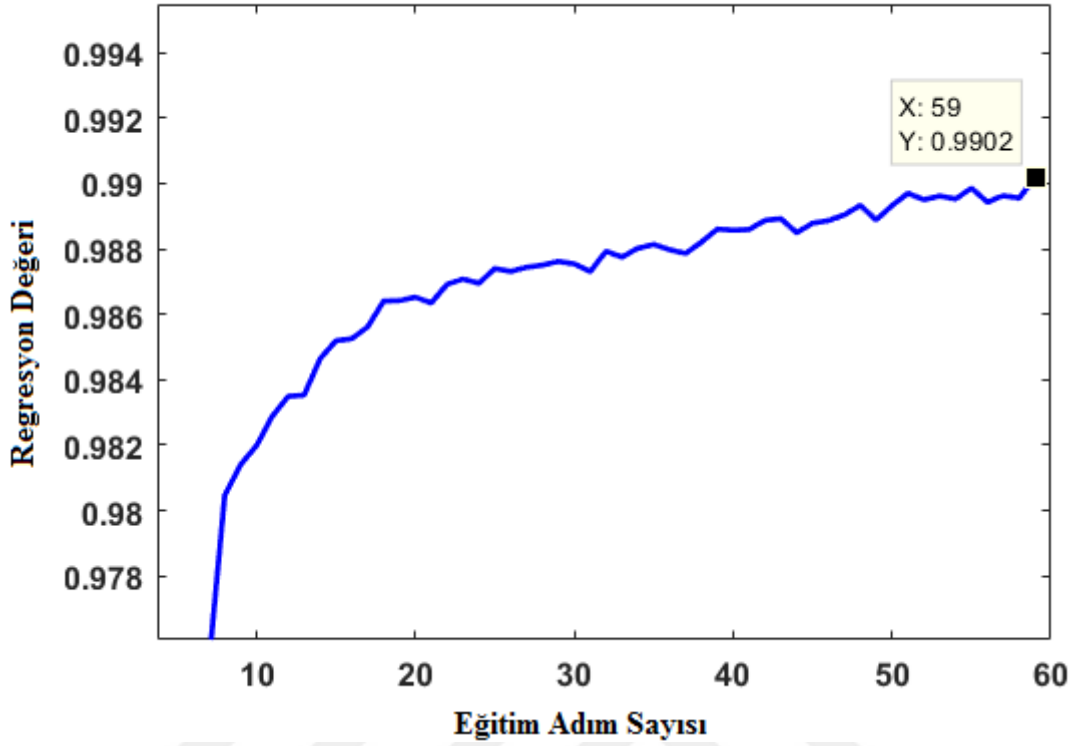
Şekil 4.7. Geleneksel YSA mimarisi

Çalışmada Yapıcı YSA için piramit modeli seçilmiştir. Bu modelde ağ tek bir hücre ile başlamakta ve bir sonraki adımda bir önceki adımın bir fazlası olacak şekilde ağa yeni katman eklenmektedir. Eğitim sürecine, eğitimi durdurma kriterine ulaşıncaya kadar devam etmektedir. Her bir eğitim adımında, bir önceki ağ korunmakta yani eğitime

dahil edilmemektedir. Eklenen her katmanın giriş verisi olarak ilk katmana uygulanan temel girişleri ile bir önceki katmanın çıkışları uygulanmaktadır. Böylece giderek büyüyen bir piramit benzeri ağ ortaya çıkmaktadır. Eğitimi durdurma kriteri olarak maksimum katman sayısı, maksimum regresyon/performans değeri gibi farklı faktörler kullanılabilir. Bu çalışmada eğitimi durdurma kriteri olarak regresyon değeri kullanılmıştır ve eşik değeri olarak 0.99 seçilmiştir. Yani regresyon değeri 0.99 olana kadar ağ büyümeye devam etmektedir. Çalışmada ağın büyümesi 59 hücrede son bulmuştur. Çalışmada elde edilmiş Yapıcı YSA mimarisi Şekil 4.8’de gösterilmiştir.

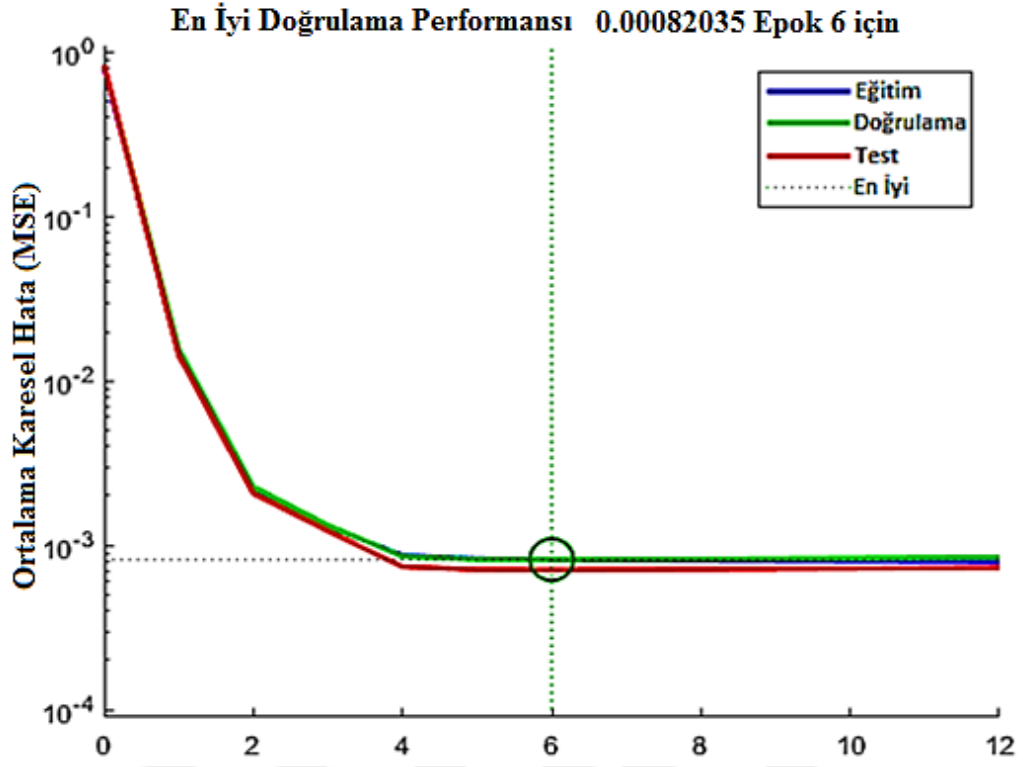


Şekil 4.8. Çalışmanın yapıcı sinir ağı modeli



Şekil 4.9. Yapıcı YSA'nın eğitimi boyunca regresyon değişimi grafiği

Yapıcı YSA modelinin eğitimi sırasında elde edilen regresyon değişimi grafiği Şekil 4.9'da sunulmuştur. Şekilde adım sayısı, eğitim süresince ağı eklenen katman sayısını ifade etmektedir. Şekilden de görüleceği gibi her adımda ağı hücre eklenmesi ile eğitim regresyon değeri de artmaktadır. 59. Katmanda regresyon değeri 0.9902 değerine ulaşmıştır. Bu durumda Yapıcı YSA'nın eğitimi durdurulmuştur. Yapıcı YSA'nın eğitimi sırasındaki son 59. katmanın eğitim performans grafiği Şekil 4.10'da verilmiştir.



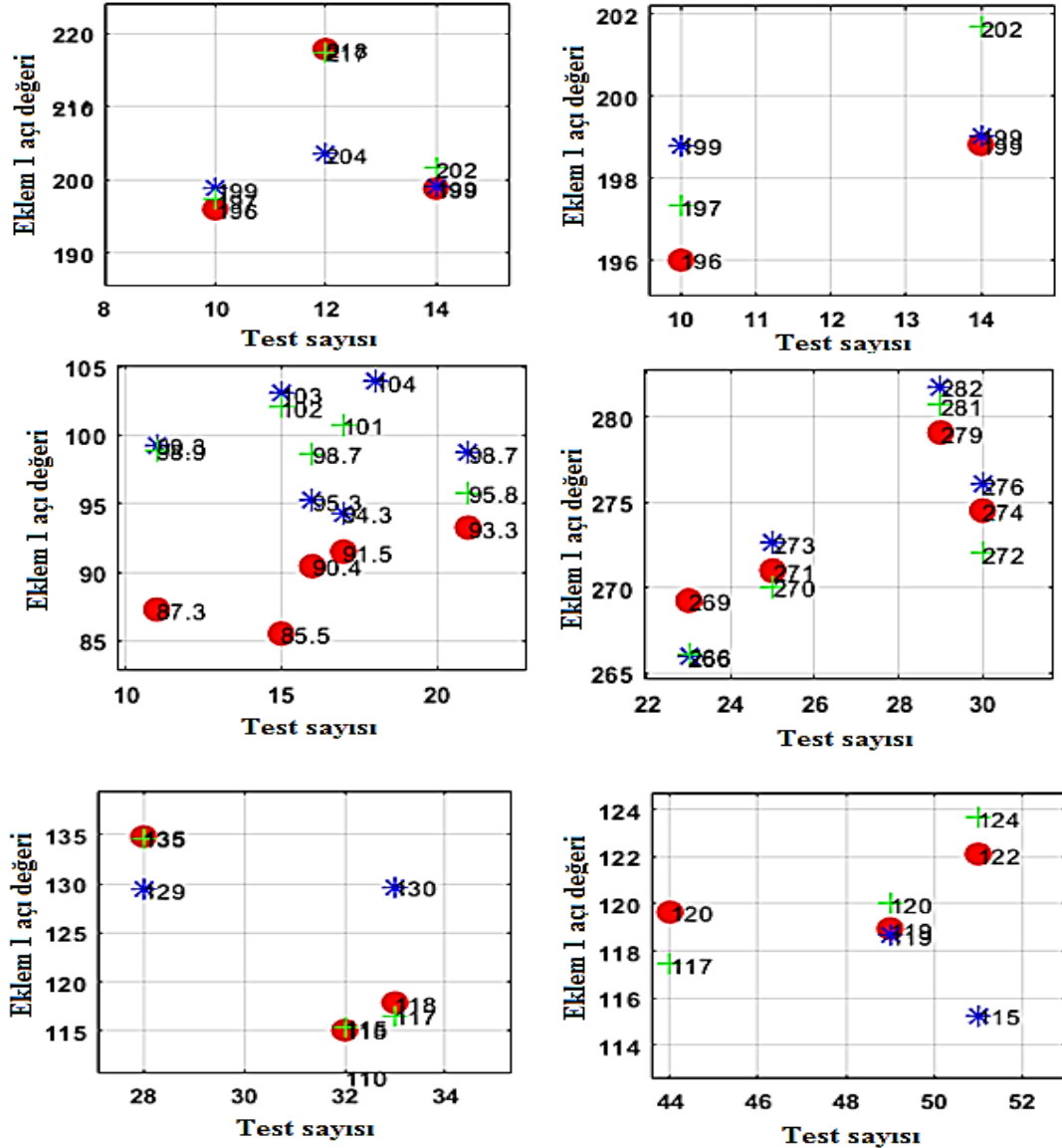
Şekil 4.10. Yapıcı YSA'nın eğitiminde 59. Katmanın eğitimine ait eğitim performansı grafiği

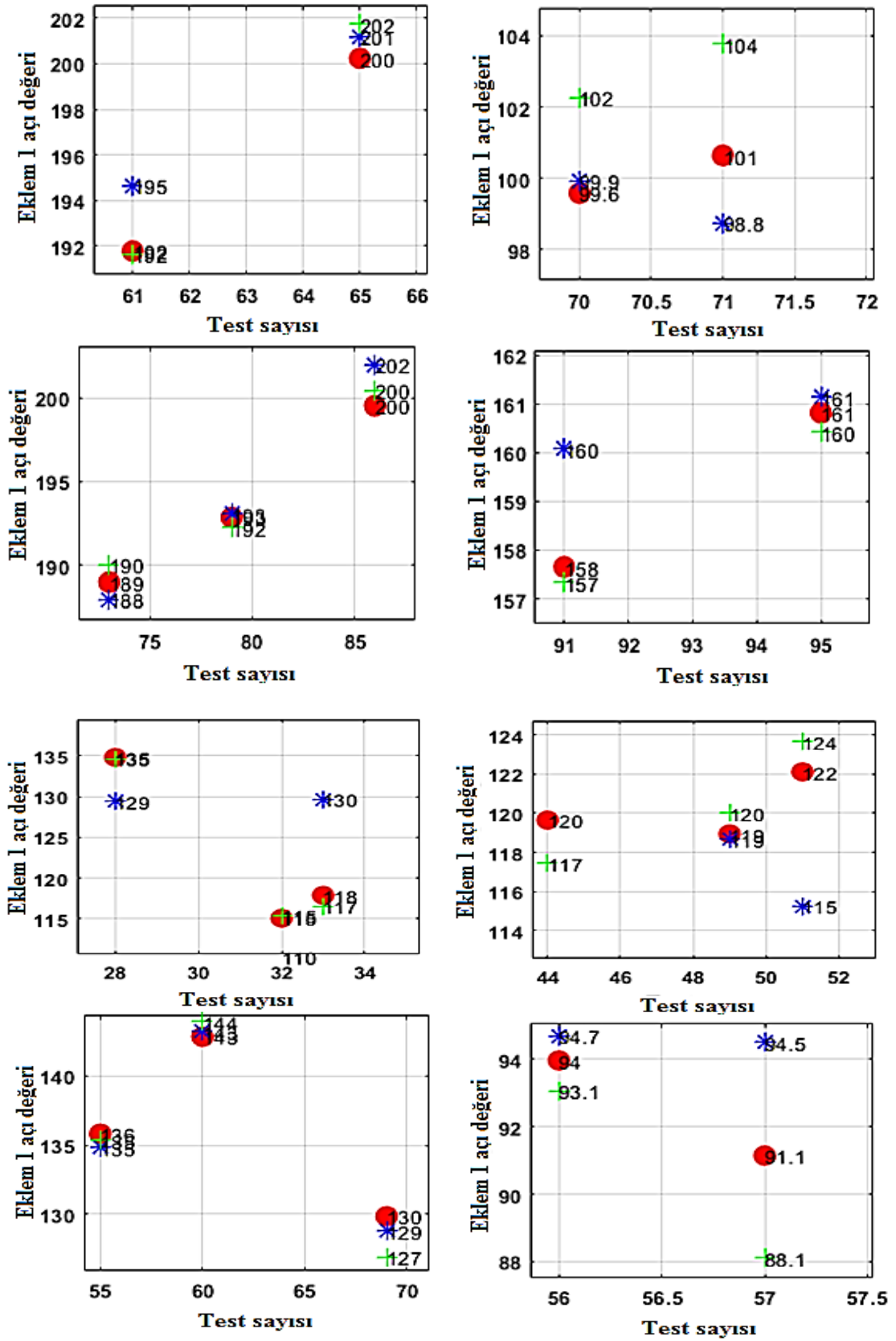
Şekil 4.10 incelendiğinde, Yapıcı YSA modeli ile eğitim performans değerinin 10^{-3} 'ün biraz altına kadar düştüğü ve eğitim performans, doğrulama ve test grafiklerinin birbirlerini çok yakından izlediği görülmektedir. Geleneksel YSA'nın eğitim sürecini gösteren Şekil 4.6'da eğitim performansının 10^{-3} 'ün biraz yukarısında kaldığı ve eğitim performans, doğrulama ve test grafiklerinde, Şekil 4.10'a göre, daha çok ayrılmalar olduğu görülmektedir. Ayrıca Şekil 4.10'un Şekil 4.6'ya göre Yapıcı YSA'da epok sayısının da daha düşük olduğu sonucuna ulaşılmaktadır.

5. BULGULAR

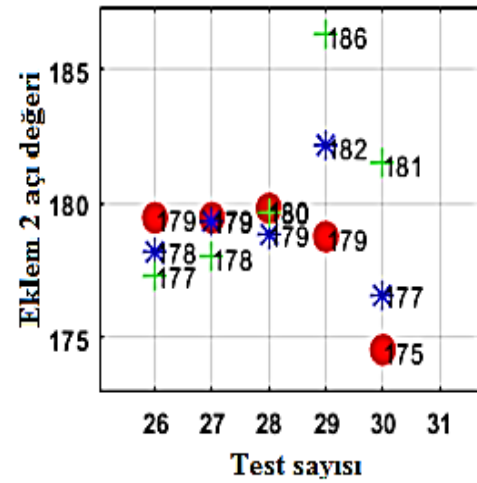
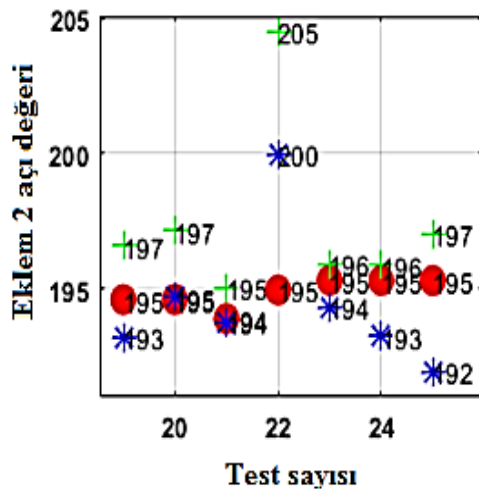
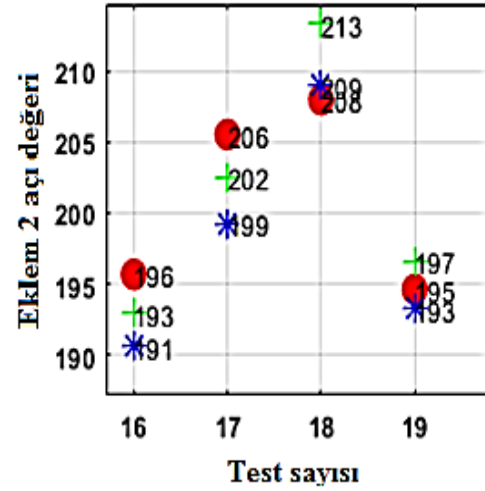
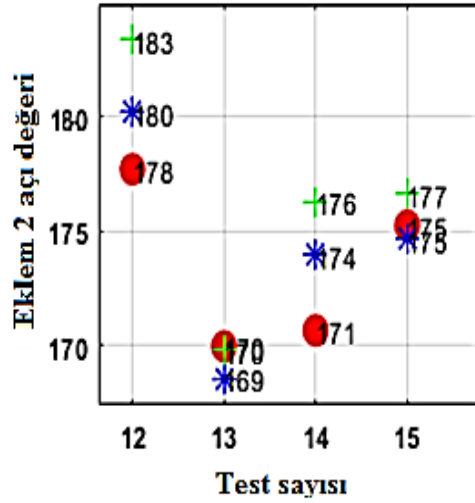
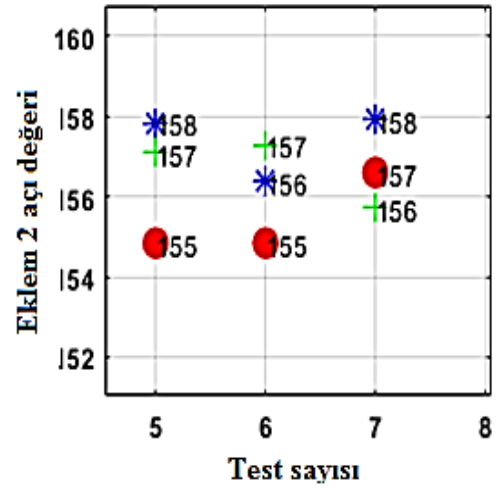
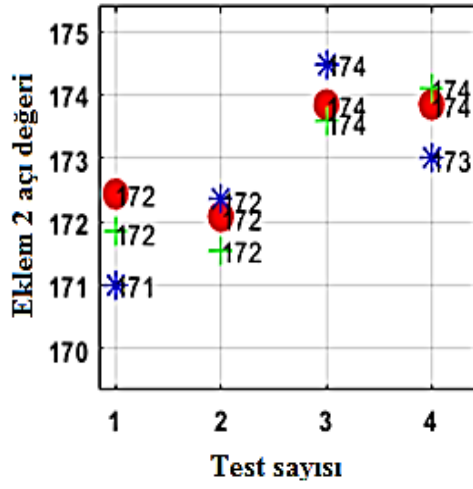
Bu kısımda, önceki bölümlerde sunulan materyal ve metotlar kullanılarak tezde önerilen yöntemin test çalışmaları sunulmaktadır. Test çalışmaları, robot kolu tutucusunun çalışma hacmi içinde verilen rasgele nokta koordinatları için ve verilen yörüngeler üzerindeki yörünge takibi şeklinde düzenlenmiştir.

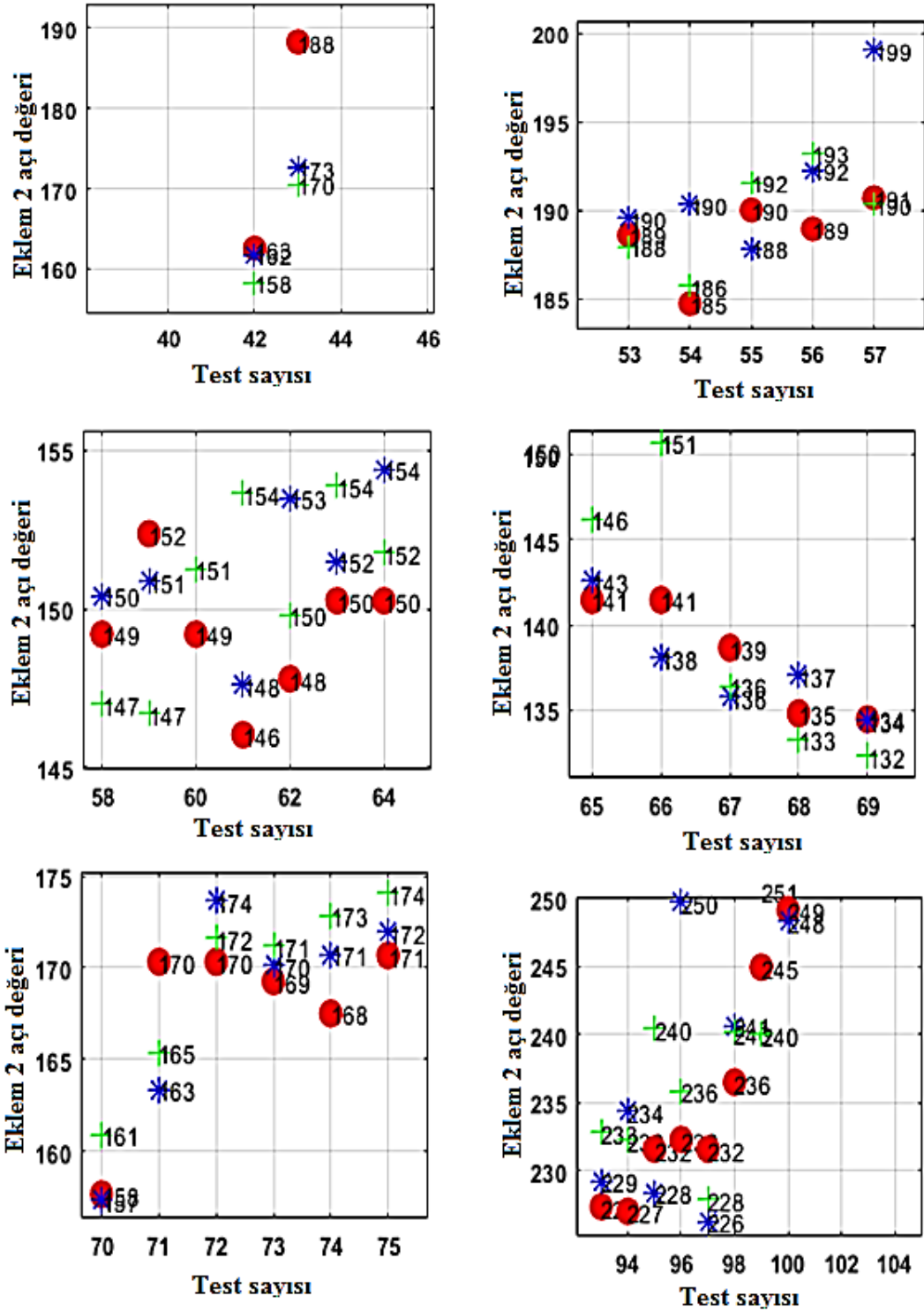
Yapıcı YSA modeli ile geleneksel YSA eğitim performanslarını karşılaştırabilmek için eğitim setinde kullanılmayan harici 100 adet veri kullanılarak testler yapılmıştır. Elde edilen sonuçlardan bazıları aşağıdaki grafiklerde sunulmuştur.



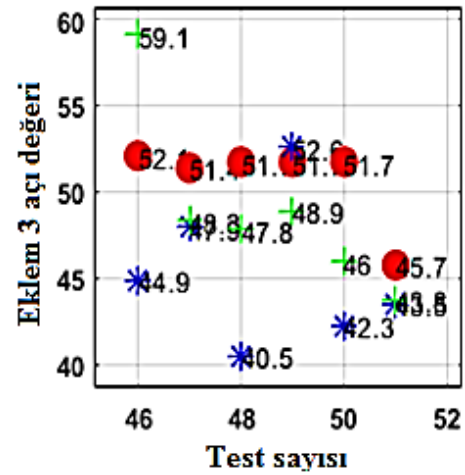
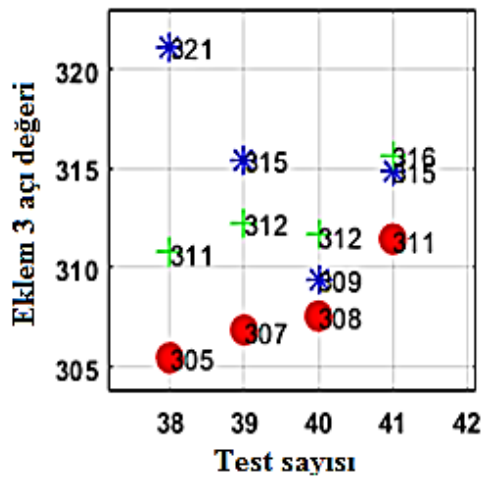
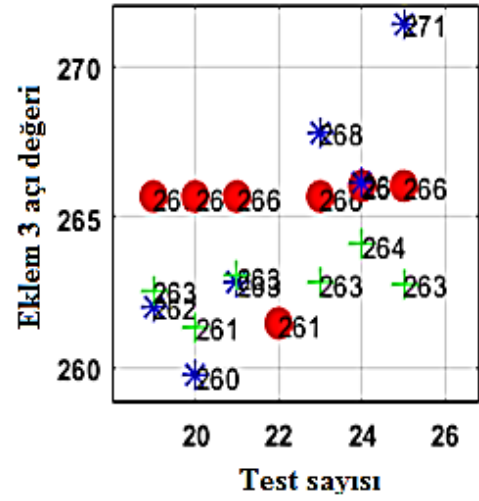
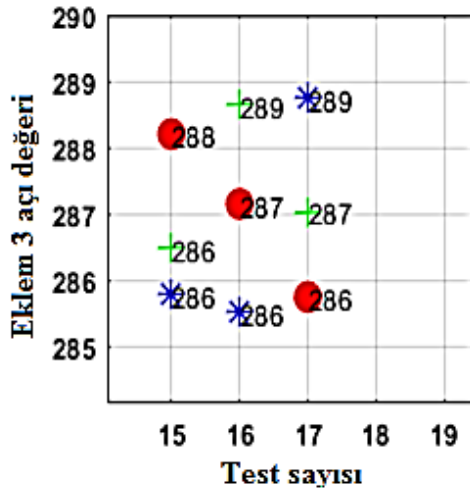
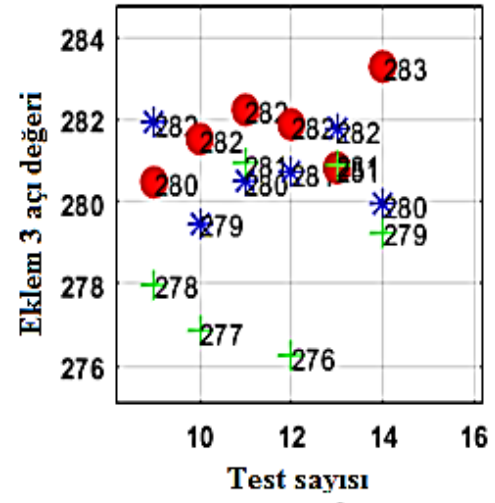
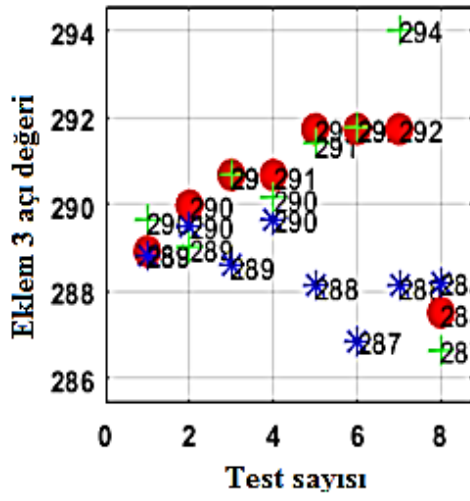


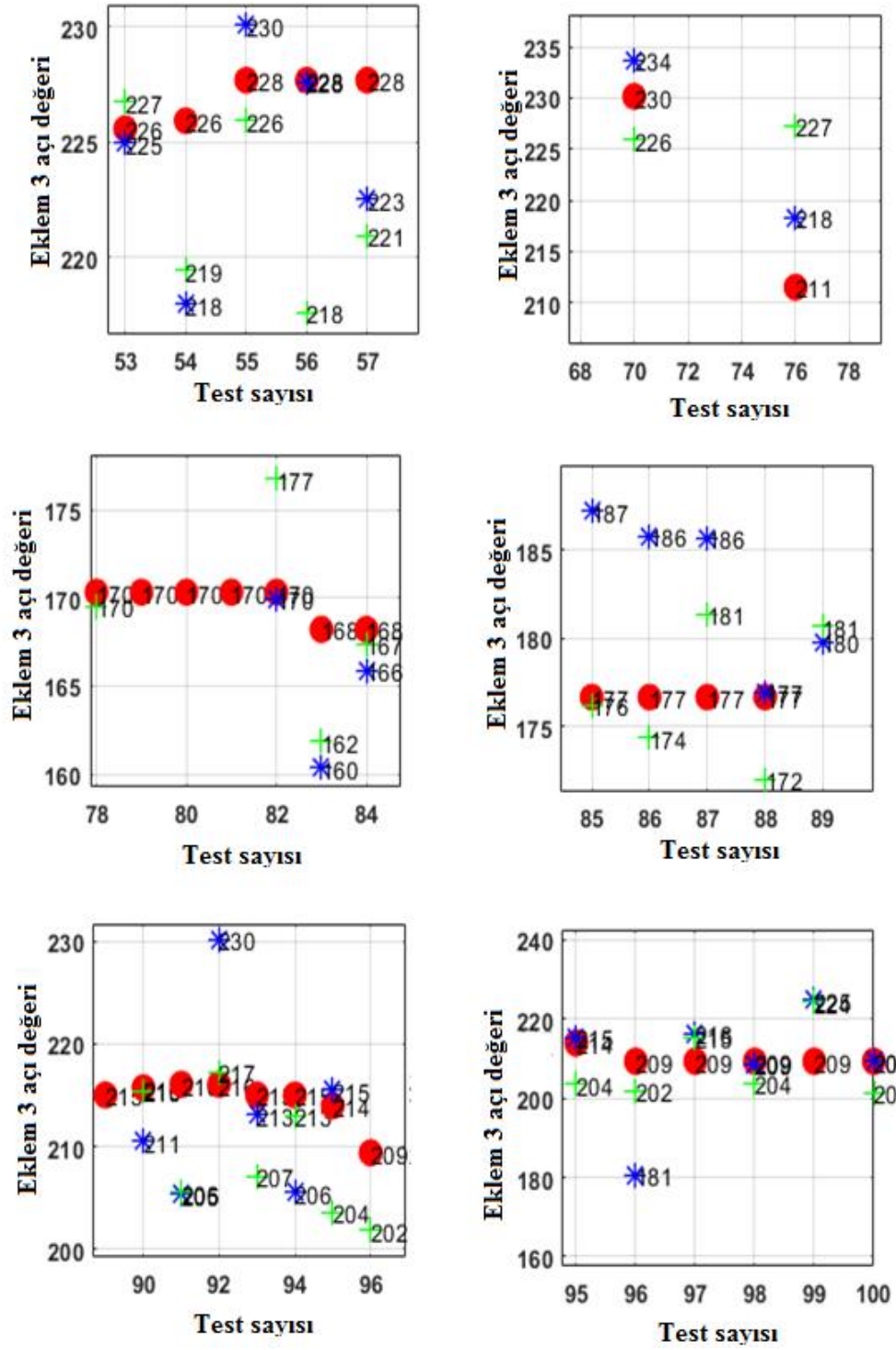
Şekil 5.1. Eklem 1 için geleneksel YSA ve Yapıcı YSA'lara ait test grafikleri



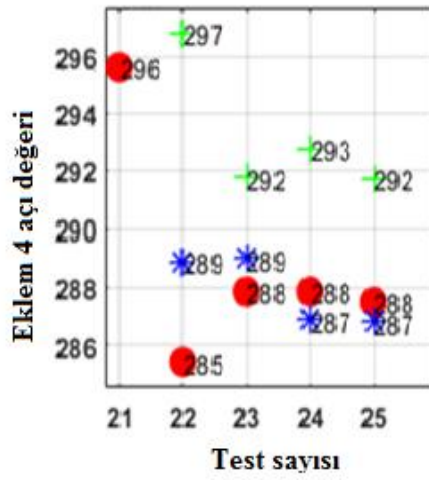
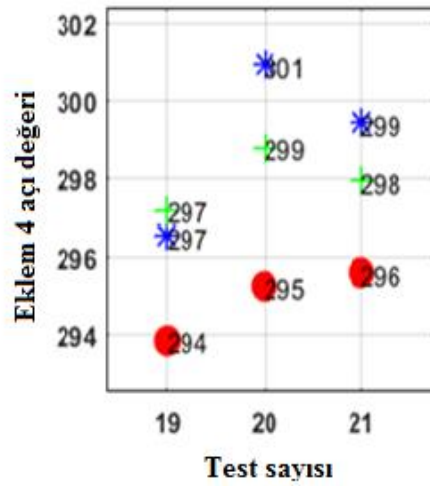
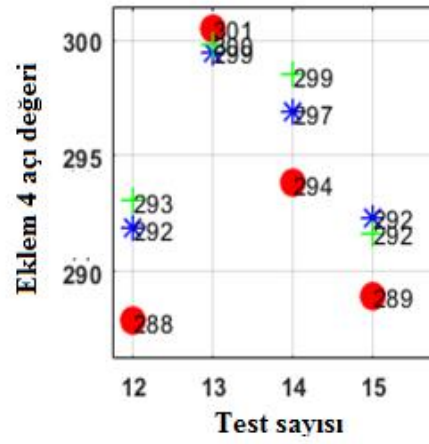
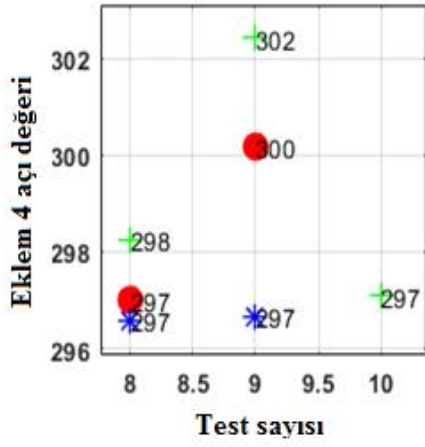
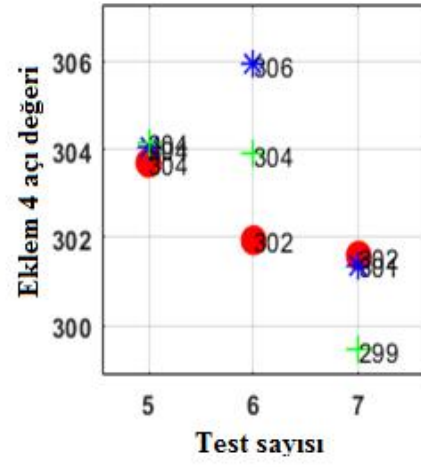
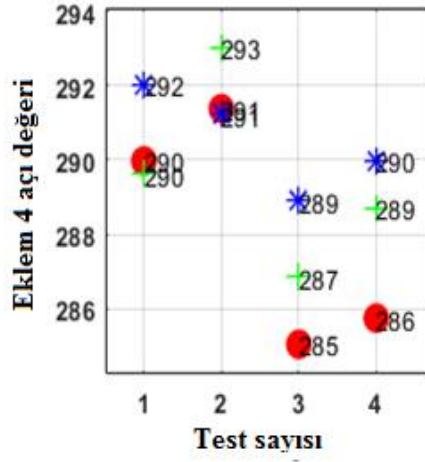


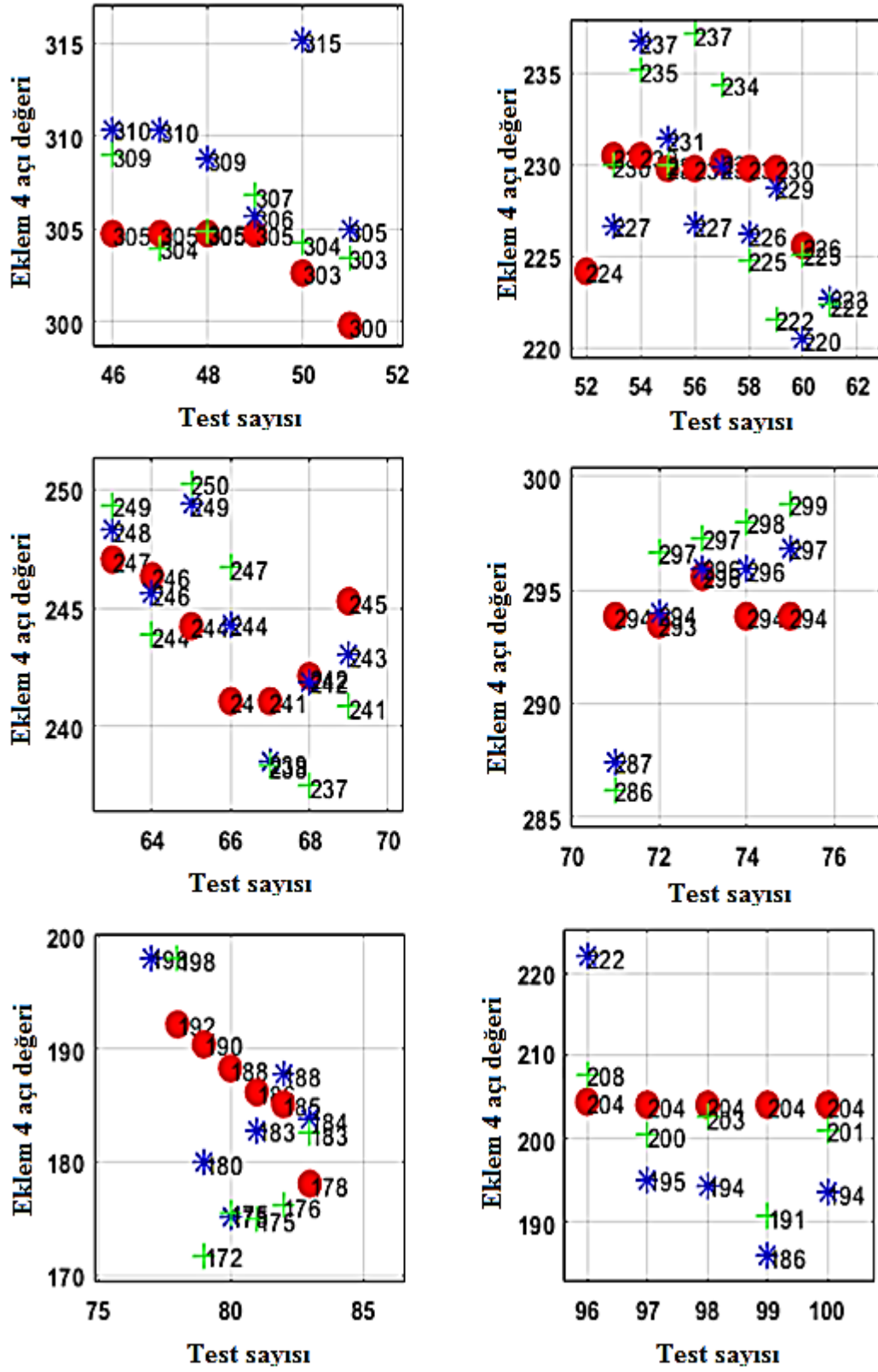
Şekil 5.2. Eklem 2 için geleneksel YSA ve Yapıcı YSA'lara ait test grafikleri





Şekil 5.3. Eklem 3 için geleneksel YSA ve Yapıcı YSA'lara ait test grafikleri





Şekil 5.4. Eklem 4 için geleneksel YSA ve Yapıcı YSA'lara ait test grafikleri

Şekil 5.1, 5.2, 5.3 ve 5.4’de eklem-1, 2, 3 ve 4’deki 100’er örnek ile oluşturulmuş test grafikleri görülmektedir. Yeşil renk Yapıcı YSA’nın, mavi renk geleneksel YSA’nın kırmızı renk referansın eklem açısı değerlerini göstermektedir. Grafikler incelendiğinde bazı örneklerde Yapıcı YSA daha başarılı olurken bazı örneklerde ise geleneksel YSA’nın daha başarılı olduğu görülmektedir. Geleneksel YSA ve Yapıcı YSA’nın tahmin ettiği açı değerleri ile referans açı değerleri arasındaki ortalama karesel hata (MSE) değeri aşağıdaki tabloda verilmiştir.

Çizelge 5.1. Geleneksel YSA ile Yapıcı YSA’nın buldukları açılar ile referans açıları arasındaki ortalama karesel hata değerleri

	Eklem 1	Eklem 2	Eklem 3	Eklem 4
YSA	69.8021	49.7510	139.1192	59.3763
Yapıcı YSA	65.6593	30.8246	107.2806	48.8226

Çizelge 5.1’den de görüldüğü gibi Yapıcı YSA’nın tahmin oranı geleneksel YSA’nın tahmin oranına göre daha yüksek ve ortalama karesel hata değeri daha düşüktür.

5.1 Kontrollü Yörünge Uygulaması

Yapıcı YSA modeli ile geleneksel YSA eğitim performanslarını gerçek zamanlı olarak robot kolu üzerinde karşılaştırmak için sırasıyla yarım çember, sigmoidal ve sinüs fonksiyonlarıyla oluşturulmuş referans yörüngeler verilmiş ve robot kolu uç işlevcisinin bu yörüngeyi izlemesi izlenmiştir. Takip eden şekillerde gerçek zamanlı test sonuçları sunulmuştur. Yukarıdaki sonuçlara göre, geleneksel ve yapıcı YSA verilen referans açı değerine yakınsamakta ve değişken bir açı hatası kapsamaktadır. Buda, robotun verilen bir yörüngeyi takip etmesi durumunda bir yörünge takip hatasına sebep olacaktır. Çalışmada bu hatayı yok etmek için yörünge anlık x , y ve z koordinat değerleri ile robot uç işlevcisinin x , y , z konumları arasındaki farkı alınarak hata değeri bulunmuş ve aşağıda verilen ifadeler kullanılarak yörünge kontrolü gerçekleştirilmiştir. Yörünge kontrolünde robot eklem motorlarının hız kontrolü yapılmamış, motorların tümü sabit ve eşit hızlarda çalıştırılmıştır. Yörünge kontrol ifadeleri aşağıdaki gibidir.

Eklem 1 için;

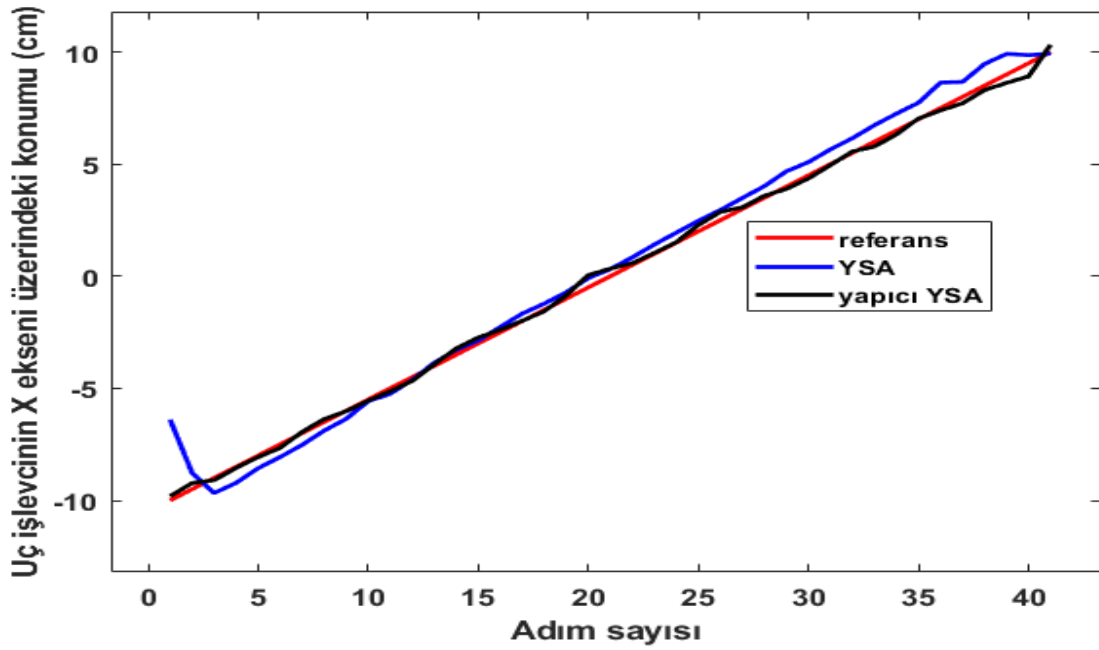
$$u(n) = yu(n) + 0.5 * \sum_{i=1}^n (e_i x + e_i y) \quad (5.1)$$

Eklem 2, 3 ve 4 için;

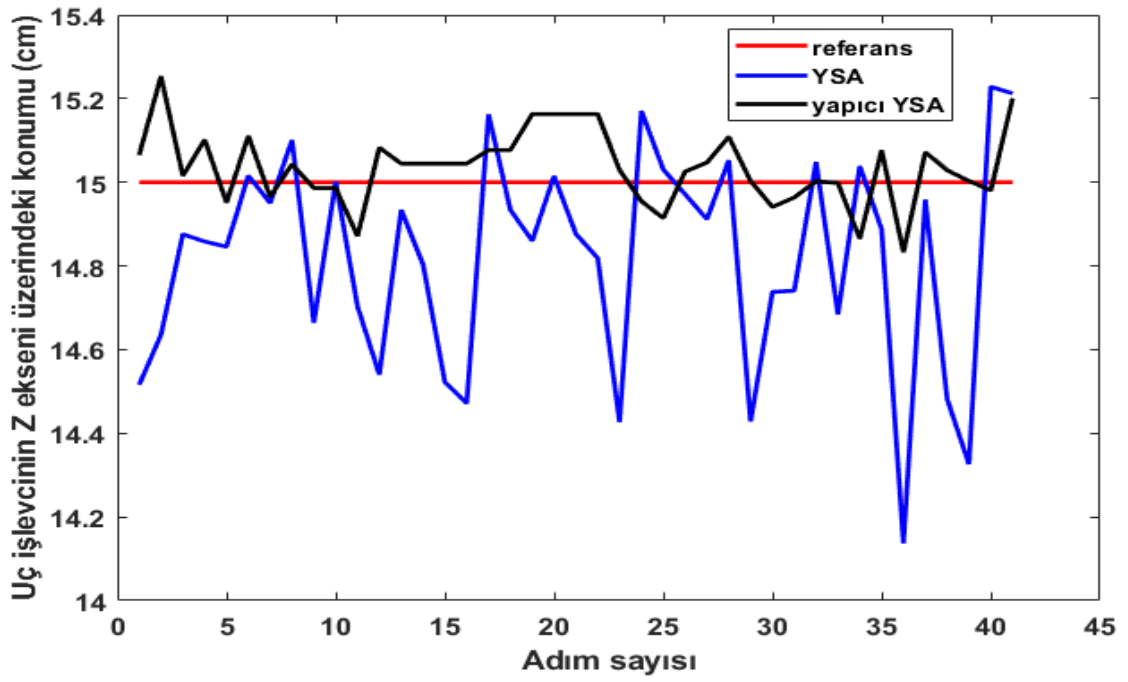
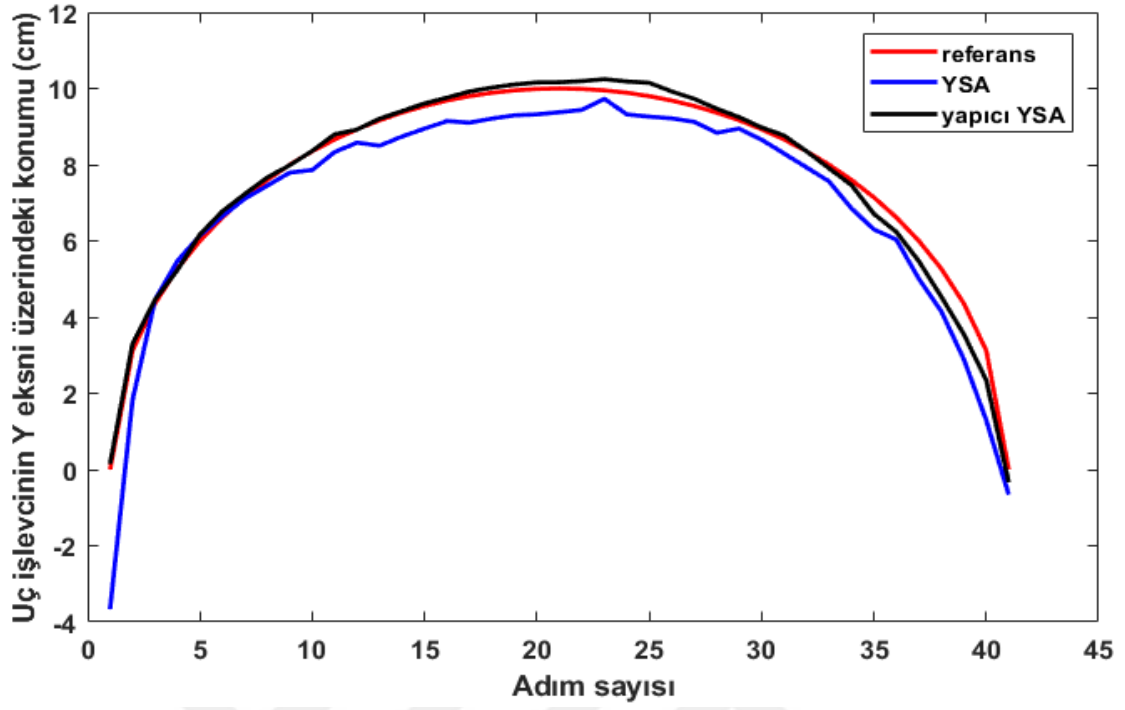
$$u(n) = yu(n) + 0.5 * \sum_{i=1}^n (0.01 * e_i x + 0.3 * e_i y + e_i z) \quad (5.2)$$

Denklem 5.1 ve Denklem 5.2’de $u(n)$ eklem motoruna uygulanan kontrol işaretini, $yu(n)$ YSA’nın bulduğu açılı değerini, 0.5 integral sabitini, $e_i x$ x koordinatındaki hatayı, $e_i y$ y koordinatındaki hatayı göstermektedir. Denklem 5.1’de Z eksenindeki hata kullanılmamasının sebebi, Eklem 1’in Z eksenindeki harekete etkisi olmamasındandır.

İlk olarak uç işlevcinin Z ekseninde zeminden 15 cm yukarıda olan yarıçapı 10 cm olan bir yarım çember yörüngesini izlemesi amaçlanmıştır.



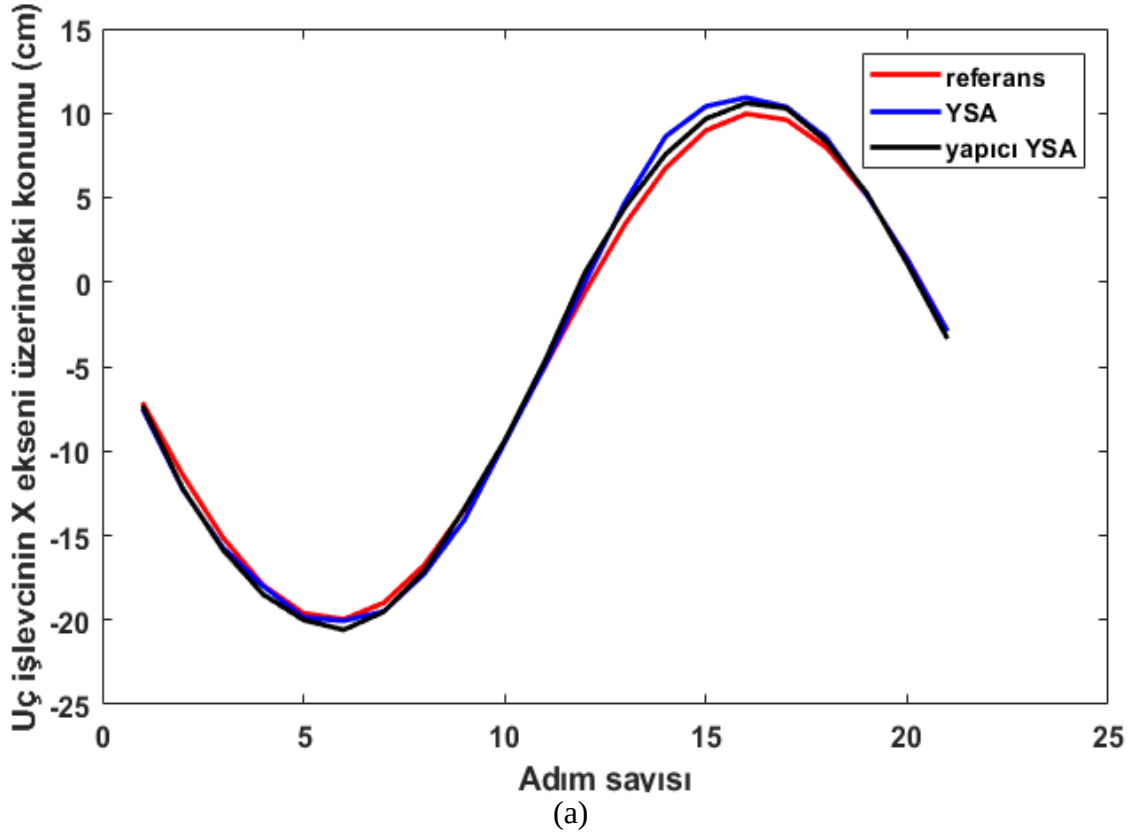
(a)

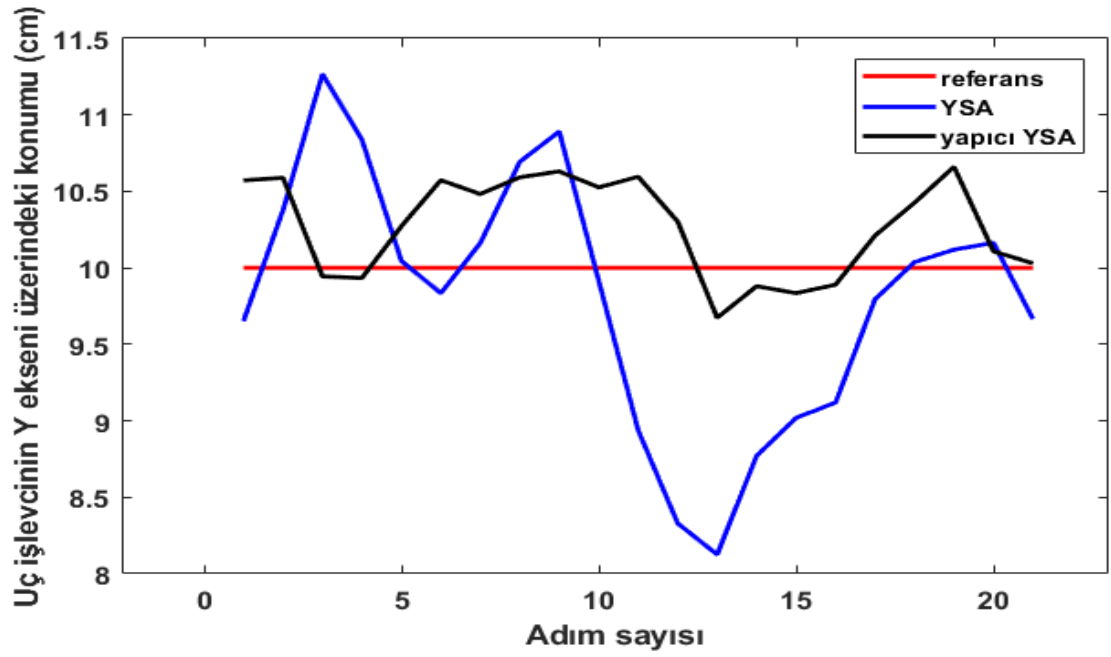


Şekil 5.5. Yarıçapı 10 cm, Z ekseninde 15 cm’de tanımlanmış yarım çember yörünge grafiği için uç işlevcinin konum grafikleri. Robot uç işlevcisinin; (a) X eksenindeki konumu (b) Y eksenindeki konumu (c) Z eksenindeki konumu

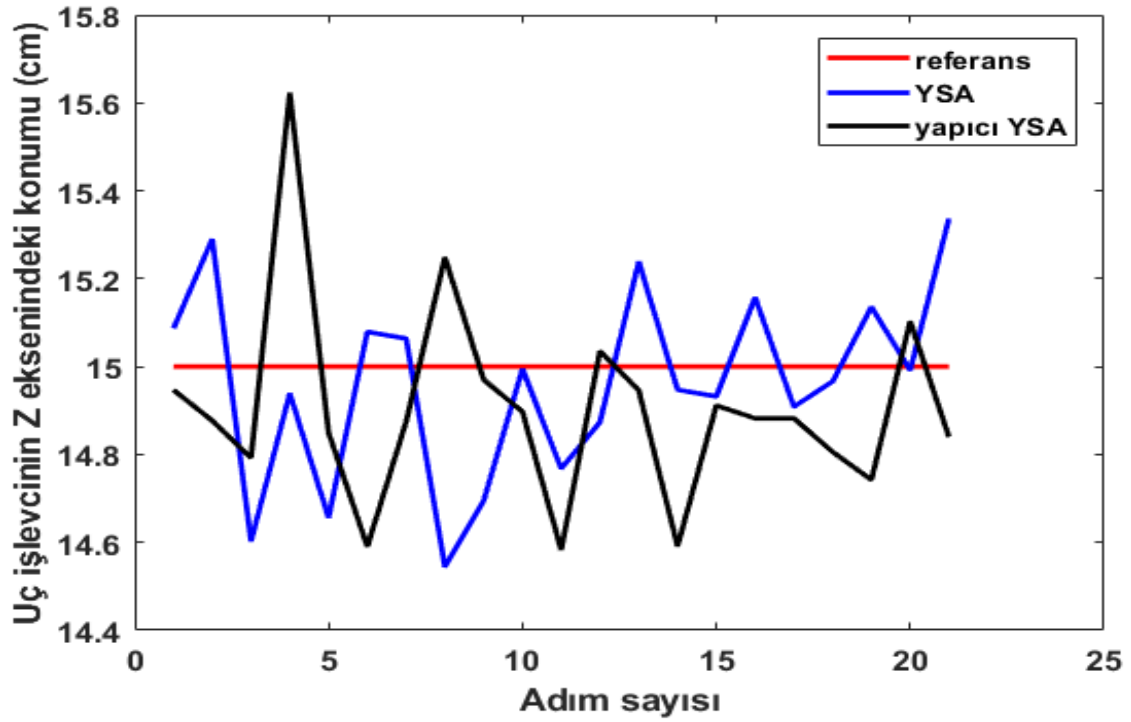
Şekil 5.5’de görüldüğü gibi uç işlevci iki YSA modeli ile X, Y ve Z eksenlerinde verilen yörüngeyi izleyebilmektedir. Üç eksen de önerilen Yapıcı YSA modeli, geleneksel YSA modeline göre daha az hata ile yörüngeyi takip edebilmektedir.

İkinci test uygulamasında referans eğri sinüs fonksiyonu kullanılarak oluşturulmuştur. Önceki uygulamadan farklı olarak, bu uygulamada uç işlevcinin Y ve Z koordinatlarının değişmeden sabit kalması, buna karşın X ekseninde bir sinüs çizmesi amaçlanmıştır. Şekil 5.6’da görüldüğü gibi geleneksel YSA ve Yapıcı YSA modeli verilen yörüngeyi az hata ile izleyebilmişlerdir. Sinüs eğrisinin dönüm noktalarında robot kolunun mekanik kusurlarından kaynaklanan hata oranları görülmektedir.





(b)

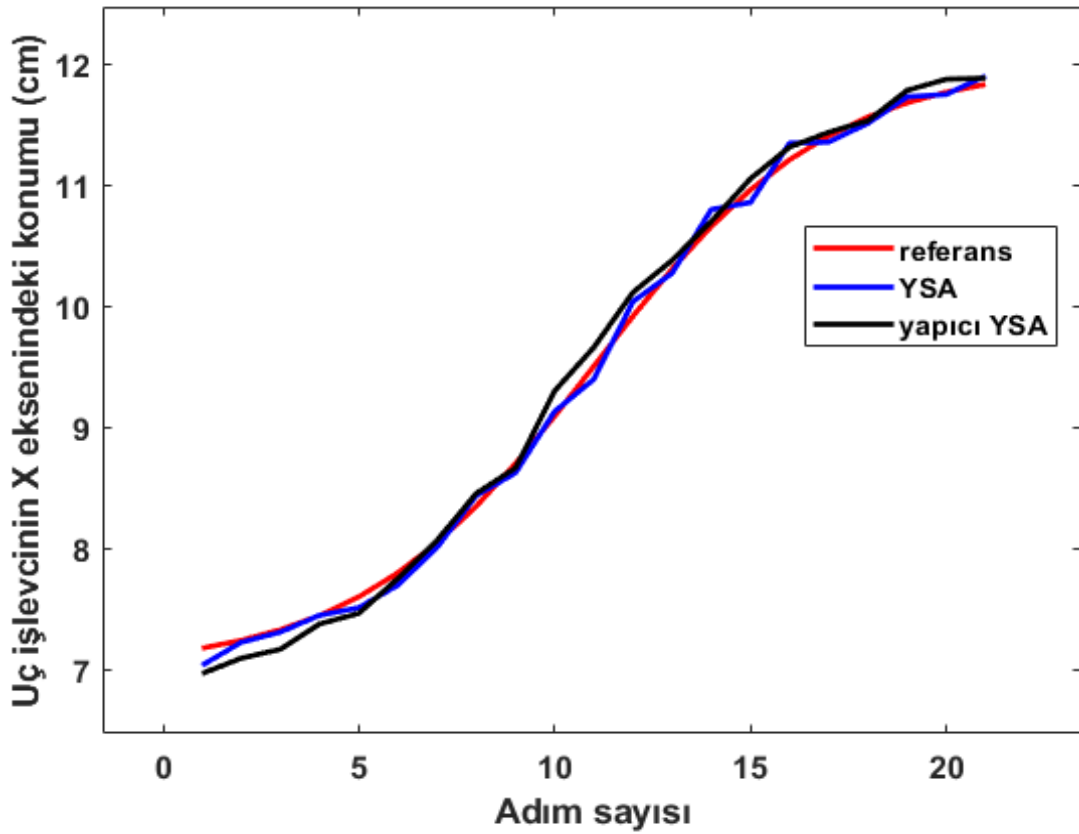


(c)

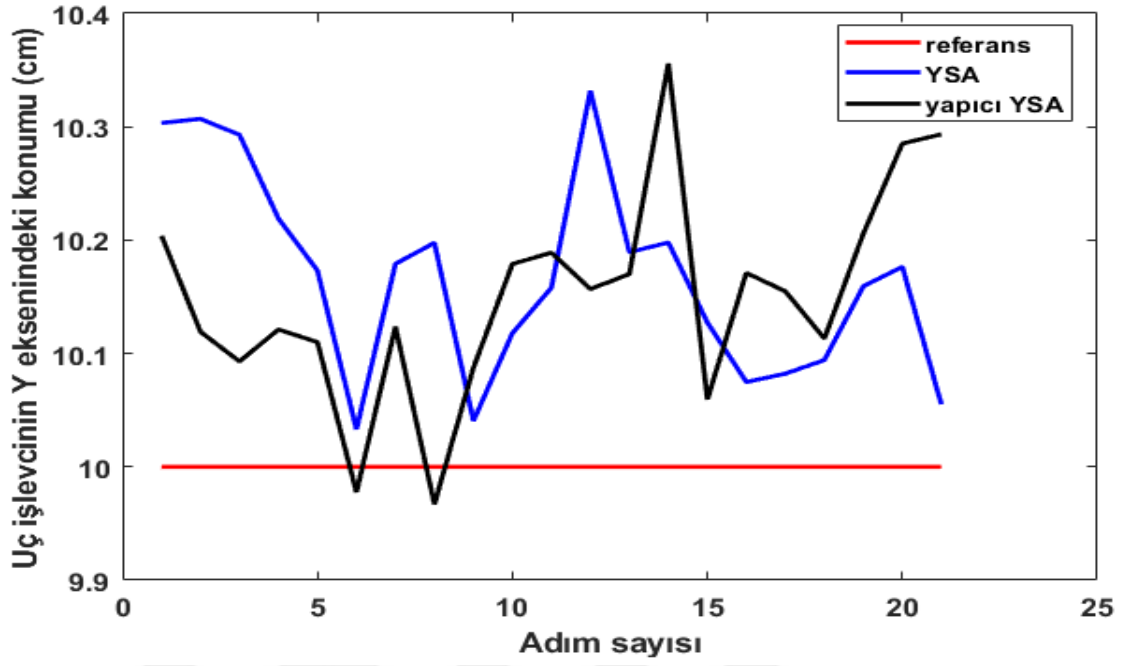
Şekil 5.6. Sinüs yörünge grafiği için uç işlevcinin konum grafikleri. Robot uç işlevcisinin; (a) X eksenindeki konumu (b) Y eksenindeki konumu (c) Z eksenindeki konumu

Şekil 5.6 (b)'de robot uç işlevcisinin Y eksenindeki konum değişimi görülmektedir. Burada Yapıcı YSA'da hata oranı yaklaşık 2.5 mm iken, geleneksel YSA'da hata oranı daha değişken ve daha yüksektir. Şekil 5.6 (c)'de robot uç işlevcisinin Z eksenindeki konum değişimi gösterilmiştir. Burada geleneksel YSA'nın hata oranı yaklaşık 0.2 mm'dir. Yapıcı YSA'da ise hata oranı daha yüksek ve yaklaşık 3 mm'dir.

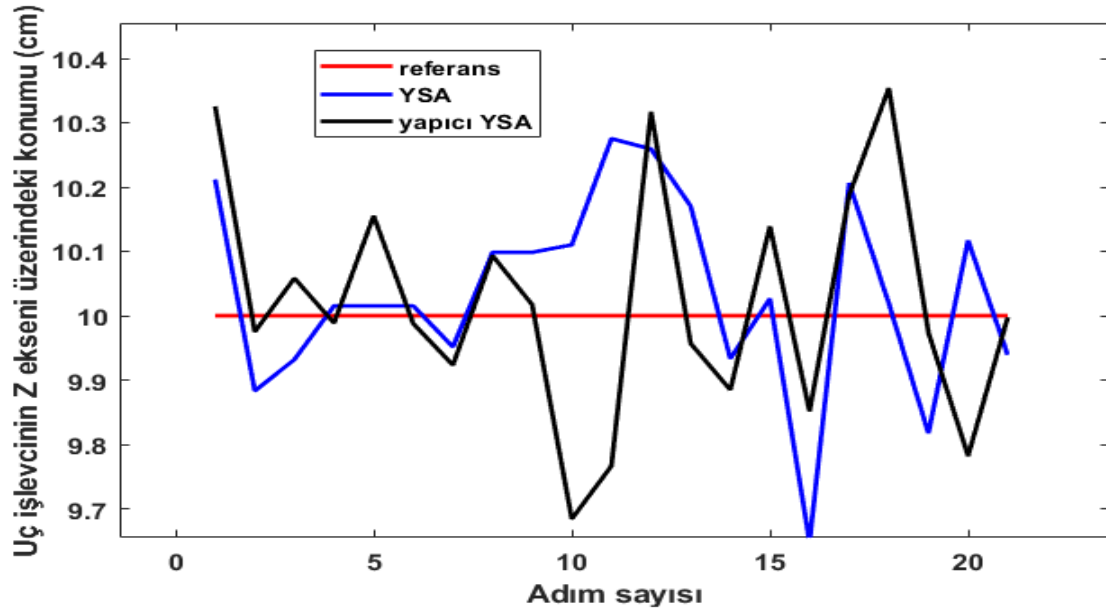
Üçüncü test uygulaması olarak, referans eğri olarak birçok robot yörünge takibi uygulamasında kullanılan sigmoid fonksiyonu kullanılmıştır. Önceki uygulamaya benzer olarak, bu uygulamada uç işlevcinin Y ve Z koordinatlarının değişmeden sabit kalması, buna karşın X ekseninde bir sigmoidal bir yörünge çizmesi amaçlanmıştır. Şekil 5.7'den de görüldüğü gibi geleneksel YSA ve Yapıcı YSA modeli verilen yörüngeyi az hata ile izleyebilmişlerdir.



(a)



(b)



(c)

Şekil 5.7. Sigmoid yörünge grafiği için uç işlevcinin konum grafikleri. Robot uç işlevcinin; (a) X eksenindeki konumu (b) Y eksenindeki konumu (c) Z eksenindeki konumu

Şekil 5.7 (b)'de robot uç işlevcinin Y eksenindeki konum değişimi görülmektedir. İki YSA modeli için hata oranları aynı ve ortalama 2 mm'dir ve burada bir kalıcı durum hatası meydana gelmiştir. Şekil 5.7(c)'de robot uç işlevcinin Z eksenindeki konum değişimi gösterilmiştir. Burada iki YSA için hata oranı yaklaşık 3 mm'dir.

6. SONUÇ

Bu çalışmada dört eksenli endüstriyel bir robot kolunun hedef noktasındaki eklem açılarının YSA ile bulunmasına yönelik çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Böylece ters kinematik denklemler kullanılmamış ve ters kinematik denklemlerin çözümünden doğabilecek problemler ortadan kaldırılmıştır.

Çalışmada geleneksel YSA ile Yapıcı YSA modelleri karşılaştırılmıştır. Geleneksel YSA modelinde 3 katmanlı yapı ve her katmanında 50 hücre kullanılmıştır. Yapıcı YSA modeli olarak piramit yapı tercih edilmiştir. Yapıcı YSA'nın eğitimi bir hücre ile başlamış, eğitim sırasında hedef eğitim regresyon değeri elde edilinceye kadar büyümüş ve 59 katmanda eğitimini tamamlamıştır. YSA eğitimlerinde 5000 adet eğitim verisi kullanılmıştır. Her iki YSA modeli de eğitim seti haricinde verilen uç işlevci koordinatları için eklem açılarını yüksek oranda hesaplayabilmiştir. Böylece, ters kinematik denklemlerin kullanılmamış ve ters kinematik çözümlerde yaşanan problemler yaşanmamıştır.

Çalışmada YSA tabanlı ters kinematik denklem çözümünde Yapıcı YSA'nın kullanılması çalışmanın özgün kısmıdır. Çalışmada kullanılan Yapıcı YSA modeli bir hücre ile eğitime başlamakta ve hedef regresyon değerine ulaşılan kadar eğitim devam etmektedir. Hedef regresyon değeri elde edildiğinde eğitim durmaktadır. Böylece ağ gerekli olan en uygun mimariyi oluşturabilmektedir. Bu ise geleneksel YSA modellerindeki başlangıçta bilinmeyen katman sayısı, hücre sayısı gibi parametreler için bir alternatif çözüm yolu olmaktadır.

Çalışmada kullanılan 4 eksenli robot bir model niteliğindedir ve gerek mekanik bileşenlerindeki olumsuzluklar, gerekse eklemlerdeki servo motorların hassasiyetlerinin düşük olması bir dezavantajdır ve bu durum çalışmanın zayıf yönleridir. Önerilen Yapıcı YSA modelinin gerçek bir endüstriyel robot kolu üzerinde denenmesi, önerilen yöntemin başarımını göstermekte faydalı olacaktır. Ayrıca bu çalışmada 5000 eğitim verisi kullanılmıştır. Eğitim setindeki veri sayısının artırılması önerilen yöntemin başarımını daha da arttırabilecektir.

7. KAYNAKLAR

- Almusawi A. R. J. L., Dölger C. ve Kapucu S., 2016. A New Artificial Neural Network Approach in Solving Inverse Kinematics of Robotic Arm. Research Article, University of Baghdad, Baghdad.
- Alp O. E., 2009. Genel Amaçlı Robot Kolu Tasarımı. (Yüksek Lisans Tezi), Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Aksungur S., 2009. Üç Serbestlik Dereceli Bir Robotun Yapay Sinir Ağları ve Genetik Algoritma Kullanılarak Engelli Ortamda Çarpışmasız Yörünge Planlaması. (Yüksek Lisans Tezi), Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Arserim M.A., 2016. Demir Y. Fırat, Robot Kol Açılarının Yapay Sinir Ağı Kullanılarak Bulunması. (Lisans Tezi), Dicle Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Diyarbakır.
- Bayrak A., 2007. Beş Eksenli Bir Robot Kolunun Simülasyonu ve Kontrolü. (Yüksek Lisans Tezi), Fen Bilimleri Enstitüsü, Gazi Üniversitesi, Ankara.
- Berki K., 2013. Yapay Sinir Ağları ile Robot Kolu Kontrolü. (Yüksek Lisans Tezi), Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Bingöl, Z. ve Küçük, S. Robot Tekniğı-I, Birsan Yayınevi, İstanbul, s 1-17 23-59, 2005.
- Çabuk N., Bakırcıoğlu V., 2018. Altı Serbestlik Dereceli Bir Aydınlatma Manipülatörünün Yapay Sinir Ağları Temelli Ters Kinematik Çözümü ve Benzetimi. , Fen Bilimleri Dergisi, Aksaray Üniversitesi Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, 1-(1), 3-44.
- Daya B., Khawandi S., Akoum M., E. S., 2010. Robotikte Ters Kinematik Problemi İçin Sinir Ağı Mimarisinin Uygulanması. (Yüksek Lisans Tezi) Institute of Technology, Lebanese University, Saidia, Lebanon.
- Dereli,S., KÖKER R., 2017. 7-DOF Seri Robotun Ters Kinematik Çözümünde Eğitim Amaçlı Kullanılan Çok Katmanlı Yapay Sinir Ağıının Tasarlanması ve Sonuçların Analizi. Gaziosmanpaşa Bilimsel Araştırma Dergisi (GBAD), 6-(1), 60-71.
- Dokuzlu S., 2015. 4 Serbestlik Dereceli Robot Kolu Kinematik Denklemlerinin Destek Vektör Makinası ile Çözümü. (Yüksek Lisans Tezi), İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Duran, M. A., 2007. Puma Tipi Bir Manipülatörün Kontrolü. (Yüksek Lisans Tezi), Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Khorasani, K., Ma L. 2004. Facial expression recognition using constructive feedforward neural networks, IEEE Transactions on Systems, Man, And Cybernetics. Part B: Cybernetics, 34 (3), 1588-1595.
- Ma L. ve Khorasani, K., 2003. A New Strategy For Adaptively Constructing Multilayer Feedforward Neural Networks, Neurocomputing, 51-(1), 361- 385.
- Mary, Ali H., 2017. Sanal Gerçeklikle Hesaplamalı Zeka Temelli Robot Kolu Kontrolü. (Doktora Tezi), Gaziantep Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gaziantep.
- Öztemel, E., Yapay Sinir Ağları, Papatya Yayınları, s 1-162, 2003.
- Öztürk, S., 2007. Scara Tipi Robotun Yapay Sinir Ağları İle Eğitilmesi. (Yüksek Lisans Tezi), Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.

- Şahin, Y., 2006. Scara Tipi Bir Robotun Yörünge Kontrolünde PID Kontrol Uygulaması. (Yüksek Lisans Tezi), Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Şekerci F.B., 2010. 5 Eksenli Robotun Hareket Kontrolünün Yazılımı ve Uygulaması. (Yüksek Lisans Tezi), Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Tombul T. S., Sarıtaş M., 2003. Beş Eksenli Bir Edubot Robot Kolunda Ters Kinematik Hesaplamalar ve Yörünge Planlaması. Gazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi, 1-(18), 145-167.
- Yazar M. N, 2010. Üç Eksenli Robot Kolu Tasarımı ve Uygulaması. (Yüksek Lisans Tezi), Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Van.
- Yeniçeri R., 2009. Yol Bulma Uygulamaları İçin Bir Hücresel Yapay Sinir Ağının Sayısal Tasarımı Ve Uygulanması.(Yüksek Lisans Tezi), İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Yıldırım M., 2008. Altı Serbestlik Derecesine Sahip Bir Robotun Yapay Sinir Ağı İle Yörünge Analizi. (Yüksek Lisans Tezi), Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri.
- Weng W., Khorasani K., 1994. Structure Adaptation in Feed-Forward Neural Networks. IEEE International Conference on Neural Networks, 3-(1) 1403-1408. Orlando, Florida.
- ANONİM-1 <http://malteperobotik.blogspot.com/2011/12/endustriyel-robotkollar>. Html internet sitesi (17.11.2019)
- ANONİM-2 <https://medium.com/@yasinguzel/yapay-zeka-ders-notlar%C4%B1-03-biyolojik-sinir-sistemi-ve-yapay-sinir-a%C4%9F%C4%B1-h%C3%BC-6555add68d80> internet sitesi (09.12.2019)
- ANONİM-3 <https://www.robotsepeti.com/openm904-c-denetleyici> internet sitesi (21.12.2019)

8. ÖZGEÇMİŞ

1992 yılında Bursa'nın Yenişehir ilçesinde doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Bursa'da tamamladıktan sonra 2010 yılında Sakarya Üniversitesi Mekatronik Mühendisliği bölümünü kazandı. 2014 yılında üniversite eğitimini tamamladı. 2016 yılında Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Mekatronik Mühendisliği Anabilim Dalı'nda başladığı yüksek lisans eğitimini 2019 yılında halen devam ettiği Gaziosmanpaşa Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı'na yatay geçiş ile taşımıştır.

