



T.C.
KONYA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ



**YAPAY ZEKA TABANLI KATLANIR BOMLU
VİNÇ GÜVENLİK ASİSTANI**

Kerim KARAGÖZLER

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Nisan-2023
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

Kerim KARAGÖZLER tarafından hazırlanan “YAPAY ZEKA TABANLI KATLANIR BOMLU VİNÇ GÜVENLİK ASİSTANI” adlı tez çalışması 06/04/2023 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği / oy çokluğu ile Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Başkan

Doç. Dr. Kemal TÛTÛNCÛ

.....

Danışman

Doç. Dr. Murat CEYLAN

.....

Üye

Dr. Öğr. Üyesi Mücahid BARSTUĞAN

.....

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Saadettin Erhan KESEN
Enstitü Müdürü

Bu tez çalışması, KOSGEB tarafından [30-11-2021/6815] numaralı “YAPAY ZEKA TABANLI KATLANIR BOMLU VİNÇ GÜVENLİK ASİSTANI” isimli proje ile desteklenmiştir. Tez kapsamında, Türk Patent ve Marka Kurumu’na [2023/003781] numarası ile patent başvurusu yapılmıştır.

TEZ BİLDİRİMİ

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

DECLARATION PAGE

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

Kerim KARAGÖZLER

Tarih:06.04.2023

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

YAPAY ZEKA TABANLI KATLANIR BOMLU VİNÇ GÜVENLİK ASİSTANI

Kerim KARAGÖZLER

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

Danışman: Doç. Dr. Murat CEYLAN

2023, 61 Sayfa

Jüri

**Doç. Dr. Murat CEYLAN
Doç. Dr. Kemal TÜTÜNCÜ
Dr. Öğr. Üyesi Mücahid BARSTUĞAN**

Günümüzde kaldırma yükleme makineleri, üretim ve lojistik ağının omurgasını oluşturmaktadır. Kaldırma ve yükleme makinelerinin yakın çevresi tehlikeli bölge olarak nitelendirilen, iş kazası risklerinin yüksek olduğu yerlerdir. Operatörlük kurslarında yapılan araştırmalarda iş makinesi operatörlerinin %15'i asgari lise mezunu iken, %75'inin ilk okul mezunu olduğu tespit edilmiştir. Türkiyede yıllık ortalama 1153 ölümlü iş kazası olmaktadır. Bu kazaların %26'sı inşaat sektöründe yaşanmaktadır. Kaldırma yükleme makinelerinin kapasitesinin doğru kullanımı kaza oranlarının düşürülmesi için önem arz etmektedir. Kazaların önlenmesi için makineler üzerinde, operatör kullanımı limitleyen, sadece güvenli hareketlere izin veren, elektronik kontrol sistemleri kullanılmaktadır. Moment kontrol adı verilen bu güvenlik sistemleri, yükün güvenli bir şekilde kaldırılıp uzağa taşınmasını sağlamaktadır.

Bu çalışmada, geleneksel moment kontrol sistemlerindeki çözümlerden farklı olarak, yapay zeka tabanlı yük limitleme sistemi önerilmiştir. Çalışma için araç üstü tek katlanır bomlu, 35 tonluk mobil hidrolik vinç üzerine, eğim, basınç, uzunluk sensörleri yerleştirilmiştir. Daha sonra vinç ile 6 farklı test yükünün kaldırılması, indirilmesi, uzatılması ve geri çekilmesi esnasında oluşan anlık değerler kaydedilmiştir. Toplamda 30779 veri, 50ms periyotlarla, 2 aylık çalışma ile toplanmıştır. Dijital ortama aktarılan saha verileri, test ağırlıklarının kaldırılması ve uzatılması üzerine iki ayrı veri seti olarak gruplanmıştır. Veri setlerinde, kayıt sıklığı yüzünden tekrar eden veriler ve test operatöründen kaynaklanan sarsıntı verileri filtrelenmiştir. Her iki veri setinde de basınç ve yük tahmini için farklı giriş parametrelerine sahip, 4 adet uygulama modeli oluşturulmuştur. Normalize edilen veri setleri ile Çoklu Doğrusal Regresyon, K-En Yakın Komşu, Yapay Sinir Ağları, Yinelenen Durum Ağı yapıları eğitilmiş ve test edilmiştir.

Mobil vince ait veri seti kullanılarak, yapay zeka modelleri ile anlık yük ve basınç tahmini gerçekleştirilmiştir. Yinelenen Durum Ağı ile önceki çalışma verileri öğretilerek, gelecek çalışma verileri tahmin edilmiştir. Elde edilen sonuçlar moment kontrol algoritmasına eklenmiş ve makine güvenlik sistemi daha stabil hale getirilmiştir. Sayısal ortamda elde edilen sonuçların uygulaması için bilgisayar ortamında eğitilen modellerin test edilebileceği gömülü devre tasarımı yapılmıştır. Tasarlanan devre de 4 farklı yaklaşımla Yapay Sinir Ağı Modeli çalıştırılmış ve başarılı sonuçlar elde edilmiştir. Tek ara katmana sahip 30 iterasyon ile çalıştırılan YSA modelinden, %98,3 doğrulukla tahmin yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Katlanır Bomlu Mobil Vinç, Moment Kontrol, Yapay Zeka ve Kontrol, Yük Limitleme, Gömülü Sistem.

ABSTRACT

MS THESIS

ARTIFICIAL INTELLIGENCE BASED KNUCKLE-BOOM CRANE SAFETY ASSISTANT

Kerim KARAGÖZLER

**Konya Technical University
Institute of Graduate Studies
Department of Electrical-Electronic Engineering**

Advisor: Assoc. Prof. Dr. Murat CEYLAN

2023, 61 Pages

Jury

**Assoc. Prof. Dr. Murat CEYLAN
Assoc. Prof. Dr. Kemal TÜTÜNCÜ
Asst. Prof. Mücahid BARSTUĞAN**

Today, lift-loading machines form the backbone of the production and logistics network. The immediate surroundings of the lifting and loading machines are the places that are considered as dangerous areas and where the risks of work accidents are high. In the studies conducted in the operatorship courses, it has been determined that 15% of the construction equipment operators are at least high school graduates, while 75% of them are primary school graduates. In Turkey, an average of 1153 fatal occupational accidents occur annually. 26% of these accidents occur in the construction industry. The correct use of the capacity of lifting loading machines is important for reducing accident rates. In order to prevent accidents, electronic control systems are used on the machines that limit operator usage and allow only safe movements. These safety systems, called moment control, ensure that the load is safely lifted and transported away.

In this study, unlike the solutions in traditional torque control systems, an artificial intelligence based load limiting system is proposed. Inclination, pressure and length sensors are placed on a 35 ton mobile hydraulic crane with a single folding boom on the vehicle for operation. Then, instantaneous values were recorded during the lifting, lowering, extension and retraction of 6 different test loads with the crane. In total, 30779 data were collected in 50ms periods, over 2 months of work. The field data transferred to the digital environment were grouped as two separate datasets on lifting and extending test weights. In the datasets, repetitive data due to recording frequency and shaking data from the test operator were filtered out. In both data sets, 4 application models with different input parameters were created for pressure and load estimation. Multiple Linear Regression, K-Nearest Neighbor, Artificial Neural Networks, Recurrent State Network structures were trained and tested with normalized data sets.

Using the data set of the mobile crane, instantaneous load and pressure estimation was carried out with artificial intelligence models. By teaching previous study data with Recurrent State Network, future study data were predicted. The obtained results have been added to the torque control algorithm and the machine safety system has been made more stable. For the application of the results obtained in the digital environment, an embedded circuit design has been made in which the models trained in the computer environment can be tested. Artificial Neural Network Model was run with 4 different approaches in the designed circuit and successful results were obtained. The prediction was made with an accuracy of 98.3% from the ANN model, which was run with 30 iterations with a single middleware.

Keywords: Knuckle-Boom Mobile Crane, Moment Control, Artificial Intelligence and Control, Load Limiting, Embedded System.

ÖNSÖZ

Bu çalışma, yaşanan iş kazalarını önlemek ve mobil hidrolik makine üreticilerine farklı kazanımlar sağlamak için yapılmıştır.

Tez çalışmamın planlanmasında ve gerçekleştirilmesinde ilgi ve desteğini esirgemeyen, bilgi ve tecrübeleri ile çalışmama ışık tutan danışmanım Doç. Dr. Murat Ceylan'a, Konya Teknik Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektrik Elektronik Mühendisliği öğretim üyelerine, saha verilerinin toplanmasında yardımcı olan MPG firmasına, projenin sahada uygulamasını gerçekleştiren Elfatek Elektronik yönetici ve çalışanlarına, KOSGEB Proje Destekleme Programına teşekkür ederim.

Tüm eğitim hayatım boyunca benden maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen her zaman yanımda olan sevgili eşim ve aileme teşekkürlerimi bir borç bilirim.

Kerim KARAGÖZLER
KONYA-2023

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
ÖNSÖZ	vi
İÇİNDEKİLER	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR	viii
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	3
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	7
3.1. Veri Setinin Tanıtılması.....	8
3.2. Yük ve Basınç Tahmininde Kullanılan Yöntemler.....	15
3.2.1. Çoklu Doğrusal Regresyon (ÇDR).....	17
3.2.2. K-En Yakın Komşu Sınıflandırması (K-EYK).....	22
3.2.3. Yapay Sinir Ağı (YSA).....	29
3.2.4. Yinelene Durum Ağı (YDA)	32
4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....	36
4.1. Yükün Kaldırılması Durumunda Basınç ve Yük Tahmini	36
4.1.1. Basınç Tahmini	36
4.1.2. Yük Tahmini	36
4.2. Yükün Uzatılması Durumunda Basınç ve Yük Tahmini	37
4.2.1. Basınç Tahmini	37
4.2.2. Yük Tahmini	37
4.3. Derin Yinelene Durum Ağı ile Basınç Tahmini ve Kontrol Sistemine Adaptasyonu	38
4.4. Farklı İterasyon ve Katman Sayılarına Göre YSA Modelinin Çalıştırılması	40
4.5. K-En Yakın Komşu Modelinin Farklı K Sayılarına Göre Çalıştırılması.....	42
4.6. Vinç Güvenlik Asistanı İçin Gömülü Sistem Tasarımı	44
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	48
5.1 Sonuçlar	48
5.1.1 ÇDR ile Elde Edilen Sonuçlar	48
5.1.2 K-EYK ile Elde Edilen Sonuçlar	48
5.1.3 YSA ile Elde Edilen Sonuçlar	49
5.1.4 Derin YDA ile Elde Edilen Sonuçlar.....	49
5.1.5 Gömülü Sistem Donanımı ile Elde edilen Sonuçlar	49
5.2 Öneriler	50
KAYNAKLAR	52

SİMGELER VE KISALTMALAR

Kısaltmalar

ÇDR	: Çoklu Doğrusal Regresyon
K-EYK	: K-En Yakın Komşu
PL	: Performance Level (Performans Seviyesi)
SD	: San-Disk (Sd Kart)
YDA	: Yinelenen Durum Ağı
YMS	: Yük Moment Sınırlayıcı
YSA	: Yapay Sinir Ağı
VDA	: Voltaj Doğru Akım



1. GİRİŞ

Tarihte M.Ö. 8000 yıllarında, insanlık göçebe hayattan yerleşik düzene geçmesi tarım ve inşaat sektörü için bir başlangıç oldu. Daha sonra toplumlar arasında alışveriş ve kabileler arası anlaşmazlıklarla, taşımacılık ve savunma alanlarında ilerlemeler kaydedildi. Geçen yıllar boyunca insan gücünün yetmediği işler için alet, ekipmanlar geliştirildi. Ağır taşların kaldırılması için hayvan kullanımı yaygınlaştı. Daha sonra sanayi devrimi ile sektörlerdeki büyük işler için makine kullanımı kaçınılmaz oldu. İnşaat sahaları ise makine kullanımının çok yoğun olduğu alanlardır. Dünyada inşaat sektöründe gelen ilk 3 ülke, sırası ile Çin, Türkiye, İtalya'dır (Ekşinat, 2011).

Türkiyede 2012 yılı itibari ile yaklaşık olarak 65000 adet iş makinesinin olduğu tahmin edilmektedir (Pehlivan, 2017). Üretim olarak 2012 yılında 12750 adet iş ve inşaat makinesi satışı yapılmıştır (IMDER 2016). Araç üstü vinç imalatı alanında ülkemizde yaklaşık 50 firma çalışıyor, bunun 30 tanesi Konya'da bulunuyor (Kütükçü 2019). Yoğun makineleşme ile beraber iş kazaları da kaçınılmaz olmuştur. Türkiye'de yıllık ortalama 1153 ölümlü iş kazasının 300'ü inşaat alanlarında olmaktadır (Çavuş, 2016). İnşaat alanlarındaki 300 adet ölümlü kazanın %26'sı ise iş ve inşaat ekipmanlarından kaynaklanmaktadır (Çavuş, 2016). Tüm sektörlerde incelenen 5239 ölümlü iş kazasının %8,6'sı yapı makineleri kazasından kaynaklanmaktadır (Çavuş, 2016). Türkiyede yıllık ortalama iş makinesi kazalarından 206 insan hayatını kaybetmektedir.

İnşaat sahalarında ya da endüstride kullanılan kaldırma yüklemeye makineleri kazaların büyük bir çoğunluğu ise makineler üzerindeki emniyet sistemlerinin devre dışı bırakılması, yanlış çalışması ya da doğru kullanılmamasından kaynaklanmaktadır. Kaldırma yüklemeye makinelerinin bir parçası olan mobil vinçler kullanılan yük limitleme sistemlerine genel olarak moment kontrol sistemi denmektedir. Bu sistemler makinelerin kapasitelerinin doğru kullanımı için operatörü bilgilendiren sistemlerdir. Yapılan araştırmalarda iş makinesi operatörlerinin %85'inin ilk öğretim mezunu geriye kalan %15'lik kısmın ise lise mezunu olduğu tespit edilmiştir (Pehlivan 2017). Diğer taraftan kazaların yaşanmaması için vinç işletmeleri büyük kapasiteli makineleri sahaya göndermektedir. Bu durumda ise aşırı büyük kapasiteli makineler ile küçük işlerin yapılmasından dolayı iş maliyeti aşırı artmakta ve üreticilere yansımaktadır.

Mobil vinçlerde kapasitenin etkin kullanımı için moment kontrol sistemleri uzunluk, basınç, açı gibi sensörlerden gelen bilgilere göre anlık kapasitenin ne kadarını

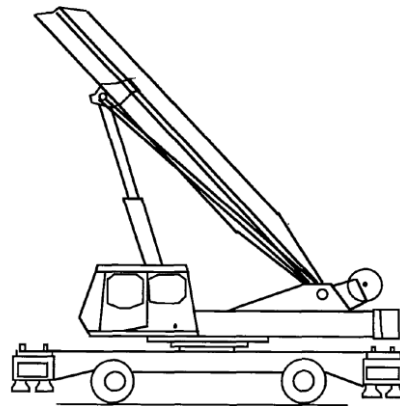
kullanması gerektiğini hesaplayıp operatöre bilgi vermektedir. Mobil vinçler bir araç üzerine montaj edilmektedir. Araç marka modellerine göre araç ağırlıkları değişkenlik göstermektedir. Dolayısıyla aynı kapasiteli makinenin farklı araçların üzerine montajında stabilite farklılıkları ortaya çıkmaktadır. Stabilite, makinenin yükün kaldırılması ya da uzatılması esnasında, ağırlık merkezinin yer değişim miktarıdır. Yer değişim miktarı ne kadar az ise stabilitesi o kadar iyi demektir. Stabilitesi iyi olan makinelerin devrilmesi zordur. Kaldırılan yük uzatıldıkça makinelerin ağırlık merkezi de kaymaktadır. Mobil vinçler kaldırdığı yükü 360° tek tur ya da sonsuz olarak da hareket ettirebilmektedir. Dönüş esnasında her açıda kaldırma kapasitesi aynı değildir. Mobil vinçler çalışmaya başlamadan önce dengeleme mesnet ayakları açılıp basılmak sureti ile çalışmak için emniyetli hale getirilmektedir. Bu dengeleme ayaklarının tam açılmaması yükün uzatılacağı uzaklığı etkilemektedir. Yükün gereğinden fazla uzatılmasıyla makine stabilitesi, limit stabilite değerini geçeceğinden devrilecektir. Buradaki sınır değerinde bir eşik aralığı vardır. Makine üreticilerinin toleranslarına göre farklılık göstermektedir. Bu eşik değerinde, devrilmeden önce makine dengeleme ayaklarının bir ya da birkaçı yerden kesilmektedir. İyi bir moment kontrol sisteminde dengeleme ayaklarının yere basıp basmadığı kontrol edilmektedir. Burada anlatıldığı üzere Makinelerdeki moment kontrol sistemlerinde birçok opsiyonlar bulunmaktadır. Bu çalışmada veri toplanan makinenin opsiyonları üçüncü bölümde anlatılmıştır. Anlatılan özelliklerin hepsi ağırlığın bilinmemesi ya da anlık ağırlığın kapasitenin ne kadarını kapsadığının net bilinmemesinden kaynaklanmaktadır.

Ağırlığın bilinmesi için kontrol sistemindeki karar verme yapısına ilave bir girdi ile moment kontrol sistemi performansı incelenmiştir. Çalışmada klasik moment sistemlerinin karar verme yapısına, ilave bir girdi olarak yapay zeka tabanlı tahmin sistemi eklenmiştir. Tahmin için sahadan toplanan verilerin çoklu doğrusal regresyon, K-En yakın komşu ve yapay sinir ağı modelleri üzerindeki performansları karşılaştırılmıştır.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Kaldırma yükleme makinelerin birçok çeşidi bulunmaktadır. Farklı makinelerin farklı yük limitleme sistemleri vardır.

Balkan (1995) çalışmasında mobil bir vincin devrilmemesi için yük limitleme sistemi tasarımı üzerine temel çalışmalar yapmıştır. Çalışmasında tek kaldırma silindirli, uzatma ve dönüş hareketlerine sahip, teleskobik mobil bir vinç moment kontrol sistemi üzerinde çalışmıştır. Şekil 2.1'de üzerinde çalışma yapılan mobil test vincinin figürü vardır.

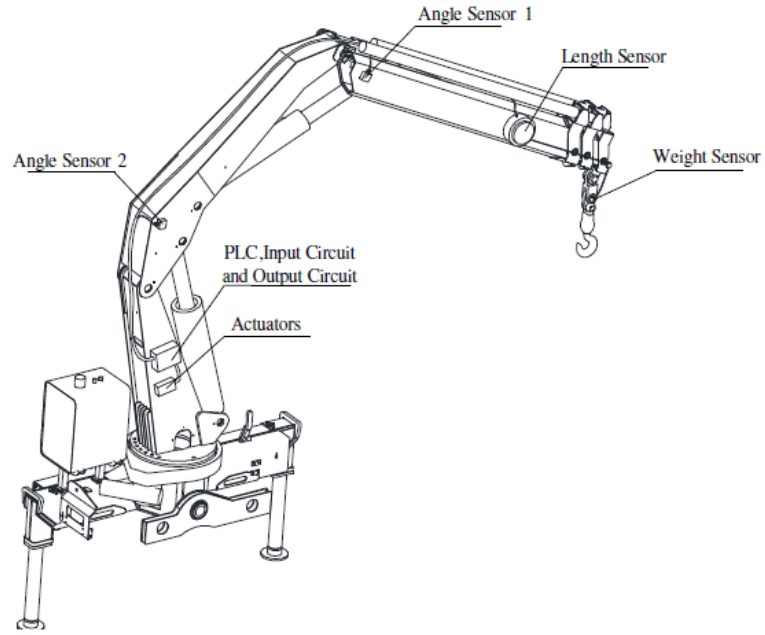


Şekil 2.1. Balkan (1995) çalışmasında kullanılan test vinci

Kaldırma silindirine bağlanan sensör ile yükün kaldırma silindirine yaptığı basınç etkisi ölçülmüştür. Uzatma bomlarının açıklığı ölçülerek yükün merkezden ne kadar uzakta olduğu ölçülmüştür. Kaldırma bomu üzerine açı sensörü bağlanarak yükün kaldırıldığı açı ölçülmüştür. Anlık ölçülen basınç, yükün yaklaşık değeri hesaplanmıştır. Anlık ölçülen bom açısı ve uzunluk ile hesaplanan yükün hangi mesafeye erişebildiğine bakılmıştır. Kontrol sistemi bu karşılaştırma işlemini sürekli olarak yapmaktadır. Makinenin devrilmemesi için hesaplanan yük belirli tolerans ile yapılmıştır. Temel moment kontrol sisteminin özellikleri ortaya konularak kaldırılan bir yükün erişebildiği emniyetli mesafe hesaplanmıştır. Yalnız buradaki hesaplar tek kaldırma silindirine sahip mobil vinç için yapılmıştır.

Song (2014) çalışmasında Şekil 2.2'de görülen katlanır bomlu, araç üzerine monte edilebilen mobil hidrolik vinç sistemini incelemiştir. İki adet dengeleme ayağına sahip mobil vincin kontrol sistemi için PLC kullanılmıştır. Vinç bomlarının uç kısmına kanca ile mapa arasına yük hücresi takılarak kaldırılan yükün ağırlığı ölçülmüştür. Hareketli bomların pozisyon bilgisi için iki adet açı sensörü kullanılmıştır. Uzunluk

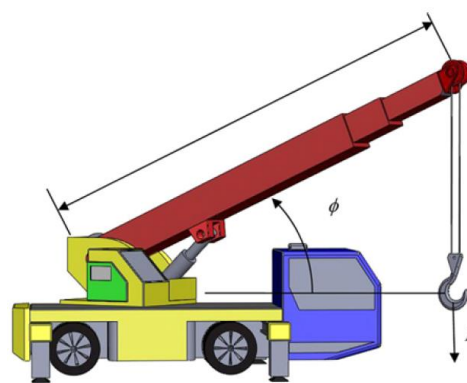
sensörü ile teleskobik uzatma bomlarının yükü merkezden ne kadar uzağa taşıdığı ölçülmüştür.



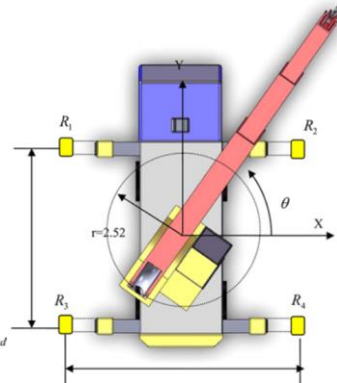
Şekil 2.2. Song (2014) çalışmasında kullanılan vinç modeli

Şekil 2.2'deki mobil vinç için PLC sistemi kanca ucundan anlık yükü ölçüp, makine kapasitesinin istenen açı ve uzunlukta olup olmadığını sürekli olarak kontrol etmektedir. Anlık yükün kapasite yüküne gelmesi durumunda operatör uyarılır. Riskli çalışma durumuna operatör hareket etmek istese bile PLC sistemi hidrolik kontrol bloğundaki gücü keserek operatörün sadece güvenli hareketleri yapmasına izin vermektedir.

Jeng (2014) Şekil 2.3'te örnek vinç modelinin yandan görünümü, Şekil 2.4'te ise vinç modelinin üstten görünümü vardır.



Şekil 2.3. Yan görünüm



Şekil 2.4. Üstten görünüm

Araç üstüne monte edilen tek kaldırma silindirli teleskobik bomlu vinç ve benzerleri üzerinde çalışılmıştır. Şekil 2.4'te bakıldığında dengeleme ayakları $R1$, $R2$, $R3$ ve $R4$ 'ün mesafelerinin farklı uzunlukta olabildikleri gösterilmiştir. Buradaki moment kontrol sistemi, dengeleme ayaklarının yere uygulamış oldukları kuvvet dağılımlarını ölçüp, araç stabilitesini hesaplayan bir kontrol sistemi vardır. Operatör ile moment kontrol sistemi arasında bilgilendirme ekranı tasarlanmıştır. Operatör böylelikle uyarı ve kritik çalışma durumlarını ekran dan takip edebilmektedir.

Fang (2017)'de ise teleskobik bomlu mobil vincin yük kaldırma esnasında emniyetli çalışabilmesi için moment kontrol sistemi üzerine çalışma yapmıştır. Diğer kontrol sistemlerinden farklı olarak rüzgâr gülü eklemiştir.

Red (2018)'de ise denge ayakları üzerinde stabilite değişimi üzerine moment kontrol çalışması yapılmıştır. Çalışma esnasında üç adet patent başvurusu yapılmıştır. Denge ayaklarındaki kuvvet ölçümü ve bu kuvvetin değişim hızına göre sonuçlar üretmektedir.

Noh (2020) Şekil 2.5'te görülen Ford Cargo markalı araç üzerine yapılmış, tek mafsallı, mobil hidrolik vinç üzerinde, düşük maliyetli moment kontrol çalışması yapmıştır.



Şekil 2.5. Soo-Hoon (2020) çalışmasında kullanılan vinç modeli

Şekil 2.5'teki sistemde yükün kaldırılması ve indirilmesi esnasında, kaldırma silindirdeki hidrolik basınç ölçülmektedir. Kaldırılan yükün bom açısına olan grafiğinde bom uzunluğuna göre limit bir değer verilmektedir. Anlık değer, basınç açısı grafiğindeki, limit değere geldiğinde operatörün riskli çalışma hareketleri engellenmektedir.

Moi (2020) çalışmasında, mobil hidrolik vinçteki bom yüzeylerine gerinim ölçer bağlamak suretiyle moment kontrol sistemi tasarlanmıştır.

Yapılan araştırmalarda farklı moment kontrol sistem tasarımlarına rastlanmıştır. Yapay zeka tabanlı moment kontrol sistemi örnek bir model çalışmasıdır. Bu model farklı sistemler içinde analiz edilerek uygulanabilir.

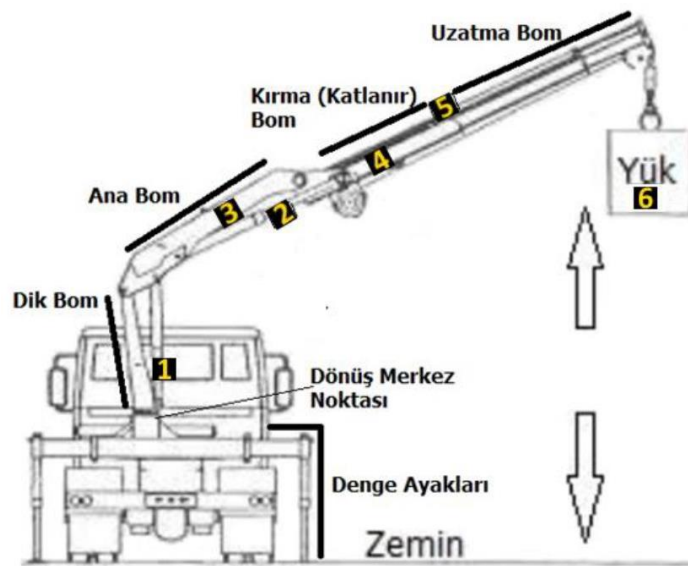


3. MATERYAL VE YÖNTEM

Literatürdeki çalışmalar incelendiğinde moment kontrol sistemlerinde, yük hücresi-gerinim ölçme yöntemi, basınç-açı-uzunluk yöntemi, denge ayakları baskı yöntemi kullanılmaktadır. Bu çalışmada yapay zeka modelinin basınç-açı-uzunluk verileri kullanılarak moment kontrol üzerindeki etkisi incelenmiştir. İlerleyen bölümlerde anlatılan farklı verileri kullanarak oluşturulan moment kontrol sistemlerinde de benzer yapay zeka modeli uygulanabilir.

Basınç-açı-uzunluk yöntemi maliyet avantajından dolayı sıklıkla kullanılan bir yöntemdir. Dezavantajı ise yük hücresi kullanılmadığından yükün net değerinin bilinmemesidir. Rüzgâr, mekanik salınımlar, operatör el melekeleri gibi dış etkilerde anlık yük değeri de etkilenmektedir. Kaldırılan yük uzunluk ve açığa göre hidrolik silindirde bir basınç oluşturmaktadır. Bu basınç aralıklı limit basınç değerleri ile karşılaştırılarak operatörün çalışma kapasitesi hesaplanmaktadır. Operatör ekranında kapasite kullanımı ve aşımı gösterilmektedir. Risk durumlarında operatör sesli ve görsel olarak uyarılmaktadır.

Mobil hidrolik vinçlerin performans kriteri, minimum makine ağırlığıyla yükün maksimum mesafeye emniyetli götürülmesidir. Mobil hidrolik teleskobik vinçler EN13000 (TSE 2015), katlanır bomlu vinçler EN12999 (TSE 2010) standardına göre tasarlanmaktadır. Katlanır bomlu makinelerin güvenlik seviyesi PS-c'dir (TSE EN13849 2016).



Şekil 3.1. 115TM Test Vinci

Şekil 3.1’de üzerinde çalışma yapılan 35 tonluk, araç üstüne montajlı mobil hidrolik vinç görülmektedir.

Şekil 3.1’deki tanımlamalar;

1- Dik bom ile Ana bom arasındaki hidrolik kaldırma silindiridir. Bundan sonra Kaldırma silindiri olarak anılacaktır.

2- Ana bom ile Kırma bom arasındaki hareket silindiridir. Kırma mafsalının katlanması için kullanılır. Kısaca kırma silindiri olarak anılacaktır.

3- Ana bom üzerine bağlanan eğim sensörüdür. Kaldırma silindirinin hareketi esnasında ana bomda oluşan eğim ölçer.

4- Kırma bom üzerine bağlanan eğim sensörüdür. Kırma silindirinin hareketi esnasında kırma bomda oluşan eğim ölçer.

5- Uzatma bomlarının ne kadar açıldığını ölçen uzunluk sensörüdür.

6- Kanca ucuna bağlanan yükür.

Şekil 3.1’deki makine çalışmaya başlamadan önce, ön ve arka kısımda bulunan toplam 4 adet dengeleme ayakları açılır ve basılır. Makine üzerindeki kaldırma ve kırma silindirleri ile kanca ucundaki yükü aşağı ve yukarı hareket ettirebilmektedir. Dönüş merkez noktası ile kaldırılan yük 360° sonsuz tur olarak döndürülebilmektedir. Uzatma bomlarında iç içe geçmiş teleskobik bomlar ile kaldırılmış olan yük, merkezden uzak mesafeye taşınmaktadır.

3.1. Veri Setinin Tanıtılması

Veri seti, EN12999 standardına tabi, MPG A.Ş. firmasının 35 tonluk, 115TM modeli olan makine üzerinde iki aylık çalışma sonucunda elde edilmiştir. Veriler Konya 2.Organize Sanayi Bölgesi MPG A.Ş. test sahasında 2016 yılı Temmuz Ağustos aylarında alınmıştır. Şekil 3.1’de testin yapıldığı makinenin iki boyutlu çizimi vardır.

Verileri toplamak ve geri bildirim vermek için operatör kabini içerisine ekran yerleştirilmiştir. Şekil 3.2’de çalışmada kullanılan Parker firmasının IQAN-MDL2 isimli 7” ekranı görülmektedir. Testler esnasında mobil vinç hareketlerini kontrol etmek amacıyla kabin içerisinde Şekil 3.3’te görülen IQAN-LC5 isimli operatör tutamağı (joystick) kullanılmıştır. Ekran ile Şekil 3.4’de görülen canbus hattındaki sensörlerin verileri her 50ms’de bir okunarak cihaz hafızasına kaydedilmiştir. Daha sonra cihaz hafızasındaki veriler, bilgisayar bağlanarak Excel ortamına aktarılmıştır.



Şekil 3.2. IQAN-MDL2 (Ekran)



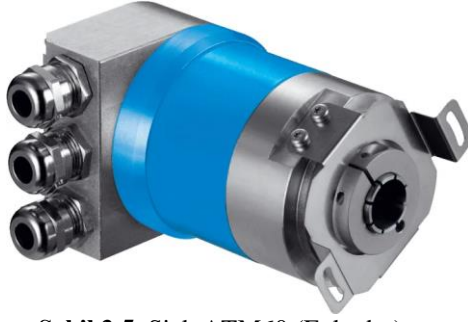
Şekil 3.3. IQAN-LC5 (Joystick)

Makine üzerine yerleştirilen sensörler, Canopen DS301 protokolünde, 250kbps veri hızında, canbus hat topolojisi olacak şekilde birbirlerine bağlanmıştır. Yoğun veri trafiğinde veri kaybının ve hataların minimum olması için yıldız topoloji bağlantısı yerine hat tipi bağlantı seçilmiştir (Karagözler 2022). Oluşturulan hat topoloji bağlantısının başına ve sonuna Şekil 3.4’te “A” ve “B” olarak görülen 120ohm’luk sonlandırma dirençleri takılmıştır.



Şekil 3.4. Sensör yerleşim topolojisi

Vinç dönüş merkezinin hangi pozisyonda olduğunu anlamak için döndürme hidro motorunun dişlisine Şekil 3.5’te görülen Sick ATM60 marka canopen, mutlak, çok turlu enkoder bağlanmıştır. Dönüş dişli oranı enkoder turuna oranlanarak vincin 0-360° arasında hangi pozisyonda olduğu belirlenmiştir. Ana bom ve kırma bom yüzeyine, Şekil 3.6’da görülen Siko IK360 tek eksen, 0-360° canbus çıkışlı eğim ölçer bağlanarak bomların eğimleri ölçülmüştür. Araç kasa bölümü yüzeyinde, Şekil 3.7’de görülen Turck B2N45H markalı, iki eksen, 0,01° hassasiyetli, canopen çıkışlı, eğim ölçer kullanılmıştır. Eğim sensörleri yerçekimine karşı olan eğimi ölçmektedir. Şase eğim sensörü ile ana bom eğim sensörü arasındaki eğim farkı, ana bom açısını vermektedir.



Şekil 3.5. Sick ATM60 (Enkoder)



Şekil 3.6. SIKO IK360 (Eğim ölçer)

Ana bom ile kırma bom arasındaki eğim farkı, iki mafsal arasındaki açığı vermektedir. Test yapılan yer düzlemi iki eksende $0,5^\circ$ 'den küçük olduğu için eğim sensörü verileri açıya çevrilmeden kullanılmıştır.



Şekil 3.7. Turck B2N45H (Eğim ölçer)

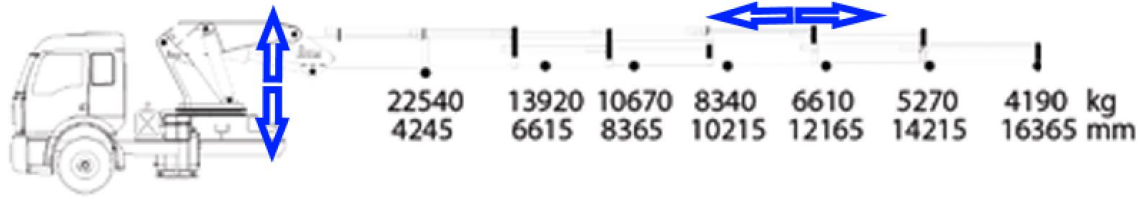


Şekil 3.8. Trafag CMP 8270 (Basınç sensörü)

Kaldırma ve kırma silindirlerinde, Şekil 3.8'de görülen Trafag CMP 8270 marka, 0-600bar ölçme aralığına sahip, canopen çıkışlı basınç sensörü kullanılmıştır. Araç şanzımandan aldığı gücü pompaya aktaran Power Take Off (PTO) üzerine, endüktif sensör bağlanarak pompa devri ölçülmektedir. PTO dişli oranı ve şanzıman dişli oranlarından motor devir hızı hesaplanmıştır. IQAN XA2 uzak giriş-çıkış modülü ile endüktif sensör okunarak, canbus hattına bilgi olarak gönderilmiştir. Kırma bom üzerindeki, teleskobik bomların açılma mesafesi, kablo tamburu içine montaj edilmiş, canopen çıkışlı enkoder ile ölçülmüştür. Burada ölçülen bom açıklığı, kırma bom açıklığı ile toplanarak toplam mafsal uzunluğu hesaplanmıştır. Daha sonra ana bom ve kırma bom açılarından kanca ucundaki yükün merkeze olan dikey ve yatay uzaklığı bulunmuştur.

Sensör yerleşimleri yapıldıktan sonra ağırlıkları önceden bilinen altı farklı yük, Şekil 3.9'da üreticinin ağırlıklar için müsaade ettiği emniyetli maksimum uzaklıkta,

kaldırma ve indirme hareketi yapılarak 50ms periyotlarla sensör verileri kaydedilmiştir. Daha sonra altı farklı yük ana bom ve kırma bom yatay olacak şekilde, makine kapasitesinin izin verdiği uzaklığa kadar, tek tek uzatılıp çekilmiştir. Uzatma ve çekme esnasındaki anlık sensör verileri, 50ms'lik periyotlarla kaydedilmiştir.



Şekil 3.9 Vinç yük diyagramı.

Şekil 3.9'da test yapılan vincin, ağırlığı uzatabileceği maksimum uzaklık gösterilmiştir. Test yapılan ağırlıklar 4500kg, 5160kg, 6520kg, 8360kg, 10240kg, 19240kg dır. Test ağırlıkları, saç plakaların kübik şekilde kaynatılıp, içerisine kum doldurulması ile elde edilmiştir.

Çizelge 3.1. Ağırlıkların farklı hareketlerine göre elde edilen veri kayıt sayıları

Ağırlıklar		4500Kg	5160Kg	6520Kg	8360Kg	10240Kg	19240Kg
Kaldırma	Süre (sn)	60,35	77,6	82,85	74,2	71,45	100,2
	Adet	1207	1552	1657	1484	1429	2004
İndirme	Süre (sn)	52,3	46,1	36,85	46,1	43,9	97,75
	Adet	1046	922	737	922	878	1955
Uzatma	Süre (sn)	101,85	94,6	91,4	63,85	51,4	21,65
	Adet	2037	1892	1828	1277	1028	433
Çekme	Süre (sn)	85,5	69,55	60,95	43,05	50,6	14,9
	Adet	1710	1391	1219	861	1012	298

Çizelge 3.1'de altı farklı ağırlığın, kaldırma, indirme, uzatma, çekme, esnasında alınan ham veri kayıtları ve süreleri vardır. Toplamda testler esnasında 30779 kere 50ms'lik periyotlarla Şekil 3.4'te gösterilen sensörlerin verileri kaydedilmiştir. Kayıtlar aralıksız olarak düşünüldüğünde toplan kayıt süresi 25,6 dakikadır. Her yükün tek tek kancaya bağlanması, sökülmesi, kayıt başlatma, bakım, güvenlik kontrolü vs. gibi süreler eklendiğinde, günlük 9 saatlik mesai çalışması ile iki aylık sürede saha verileri toplanmıştır.

Bu çalışmada, 6 farklı ağırlığın kaldırılması ve uzatılması esnasında elde edilen veriler ile yapay zeka modelleri çalıştırılmıştır. Kaldırma hareketleri boyunca 9333 adet,

uzatma hareketi boyunca 8495 adet ham veri, ön işlemler için bom çekme ve bom indirme verilerinden ayrılmıştır.

Çizelge 3.2. 4500Kg uzatılması esnasında alınan veriler.

Veri No	Süre Sn	Şase Eğim [°]				Kırma Bom bar [°]			Ana Bom bar [°]		Motor Devir [rpm]	Dönüş Açısı [°]
		X+	X-	Y+	Y-	Uzunluk	Basınç	Eğim	Basınç	Eğim		
1	0	0,4	0	0	0,66	0	145	7,41	109	34,69	806	187
2	0,05	0,4	0	0	0,66	0	145	7,41	109	34,71	805	187
3	0,1	0,4	0	0	0,68	0	145	7,41	109	34,71	807	187
.
.
2237	111,8	0,85	0	0	0,61	1154	210	5,55	195	33,55	818	187
2238	111,9	0,88	0	0	0,61	1154	210	5,52	195	33,55	820	187

Çizelge 3.2’de 4500Kg için yükün uzatılması esnasındaki verilerin kayıt tablosu paylaşılmıştır. Çalışmada farklı yapay zeka modelleri ile uzatma ve kaldırma verileri kullanılarak basınç ve ağırlık tahmini yapılmıştır. Uzatma için altı farklı yükün verileri alt alta birleştirilmiştir. Kaldırma için altı farklı yükün verileri alt alta eklenmiştir.

Elde edilen ham veriler, yapay zeka modelleri ile eğitilmeden önce veri ön işleme yapılmıştır. Verilerde, kayıt başlangıcında oluşan bekleme kaynaklı sabit veriler silinmiştir. Kayıt başladıktan sonra silindir basınçları yük değerine eşit olduktan sonra hareket başlamıştır. Basıncın harekete dönüşüne kadar oluşan yükselme zamanından kaynaklı veri kayıtları temizlenmiştir. Üzerinde çalışılan 35 tonluk vinç maksimum 82° dereceye kadar hareket edebilmektedir. Kaldırma hareketi 82°’ye ulaştığında ana bom son noktadaki dayama parçasına basmakta ve hidrolik pompa ayarlandığı maksimum basınca ulaşmaktadır. Maksimum mesafede, yüksek pompa basıncı kaynaklı veriler temizlenmiştir. Kaldırma hareketi esnasında özellikle ağır yüklerde, test operatörünün yükü sallaması sebebiyle oluşan değişken basınç verileri elimine edilmiştir.

Kule dönüş hareketi sabit olduğu için ilgili veri sütunu kaldırılmıştır. Motor devrinin tüm parametreler için aynı (+-25rpm) olduğu için yer verilmemiştir. Testler esnasında, 10240Kg ve 19240Kg ağırlıkları ile çalışılırken şase düzleminin ortalama 0,6° esnediği gözlemlenmiştir. Bu esnemenin basınç etkisi (2-3 bar) göz ardı edilmiştir. Test zemininin 0,5°’den küçük olmasından dolayı şase eğimleri ihmal edilmiştir. Test ağırlıkları arttıkça hacimleri de artmaktadır. Bu sebeple, test ağırlıklarının kaldırma esnasında teleskobik uzatma bomlarına temas edebileceğinden, bütün yükler 82°’ye

kaldırılmamıştır. Test ağırlığının değeri arttıkça kaldırılabilir eğim de azalmıştır. Kayıt edilen parametrelerdeki ondalıklı sayılar (virgülden sonraki iki basamak) tam sayıya yuvarlanmıştır. Kayıt zamanının 50ms'ye olduğu için saniyede 20 kez kayıt alınmıştır. Mobil hidrolik vinçlerin hareket hızları düşük olduğundan tekrar eden veriler tespit edilerek çıkarılmıştır.

Çizelge 3.3. Kaldırma hareketi ön işleme yapılmış veri

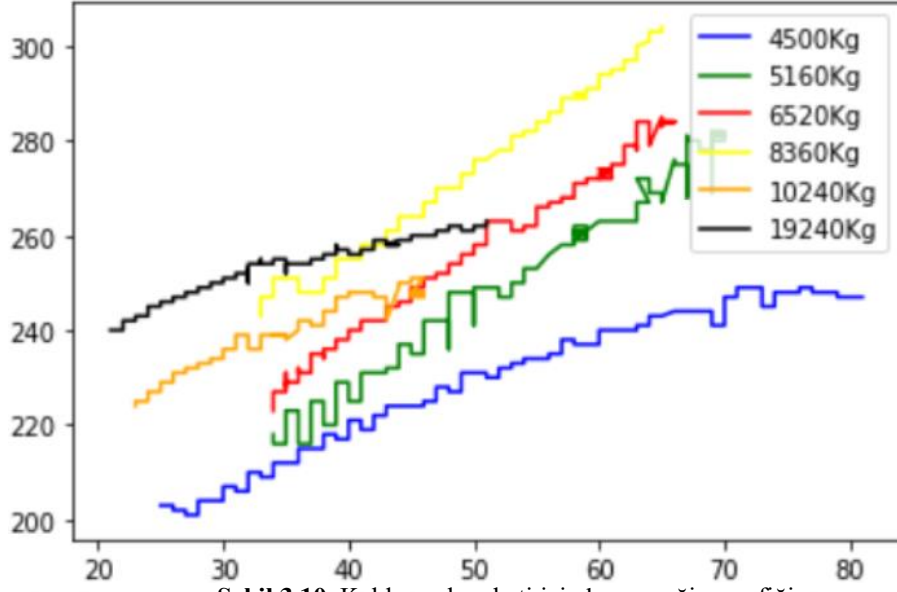
Veri No	Kırma Bom			Ana Bom		Ağırlık (Kg)
	cm	bar	[°]	bar	[°]	
	Uzunluk	Basınç	Eğim	Basınç	Eğim	
0	1158	204	5	203	25	4500
18	1158	204	5	203	26	4500
19	1158	206	5	202	26	4500
.
.
5993	0	201	23	262	51	19240
6025	0	201	23	263	51	19240

Veri ön işlemeden sonra, elde edilen veriler ile ilgili nihai durum, kaldırma hareketi için Çizelge 3.3'te, uzatma hareketi için Çizelge 3.4'te gösterilmiştir.

Çizelge 3.4. Uzatma hareketi ön işleme yapılmış veri

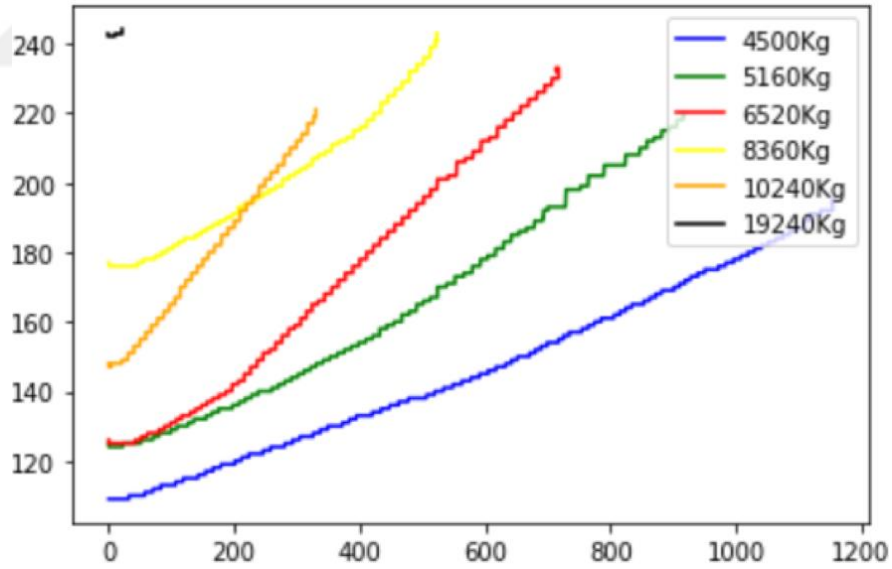
Veri No	Kırma Bom			Ana Bom		Ağırlık (Kg)
	cm	bar	[°]	bar	[°]	
	Uzunluk	Basınç	Eğim	Basınç	Eğim	
0	0	145	7	109	34	4500
22	0	144	7	109	34	4500
30	1	144	7	109	34	4500
.
.
8605	20	217	5	243	33	19240
8615	20	218	5	244	33	19240

Şekil 3.10'da kaldırma hareketi için alınan verilerin grafiksel gösterimi yer almaktadır. Grafikte yatay sütun derece cinsinden ana bom eğimini, dikey sütun bar cinsinden basınç değerlerini göstermektedir.



Şekil 3.10. Kaldırma hareketi için basınç-eğim grafiği

Şekil 3.11’de uzatma hareketi için alınan verilerin grafiksel gösterimi yer almaktadır. Grafikte yatay sütun derece cinsinden ana bom eğimini, dikey sütun bar cinsinden basınç değerlerini göstermektedir.

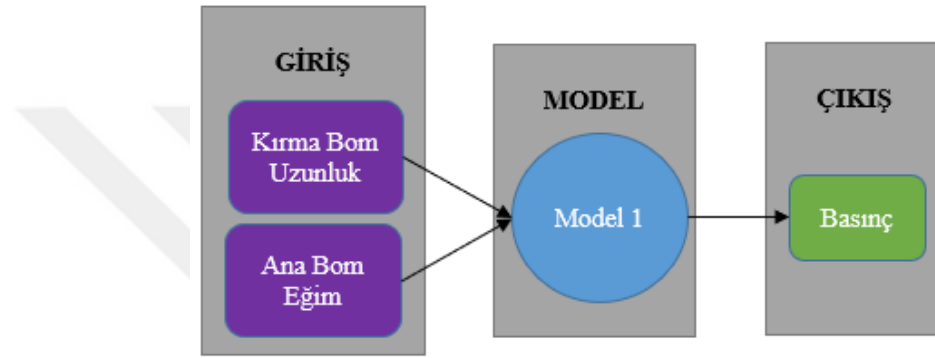


Şekil 3.11. Uzatma hareketi için basınç-eğim grafiği

Elde edilen veriler, kaldırma ve uzatma veri seti olarak iki kısma ayrılmıştır.

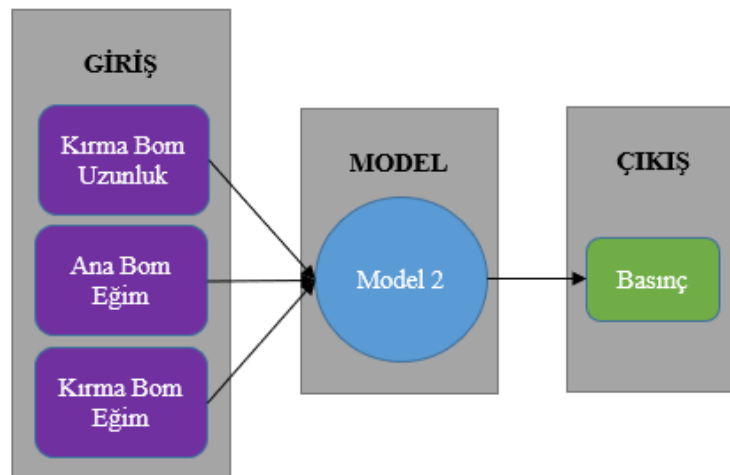
3.2. Yük ve Basınç Tahmininde Kullanılan Yöntemler

Moment kontrol sistemlerinde yükün bilinmesi gerekmektedir. Ağırlık, hidrolik silindir basınçları ile doğru orantılıdır. Dolayısıyla ağırlık yerine limit basıncının bilinmesi de moment kontrol algoritması için çözüm oluşturacaktır. Bu sebeple kaldırma ve uzatma veri setleri için hem basınç tahmini hem de ağırlık tahmini yapılmıştır. Yapay zeka modelleri için aşağıda ifade edilen 4 farklı yaklaşım hem kaldırma veri seti hem de uzatma veri seti için uygulanmıştır.



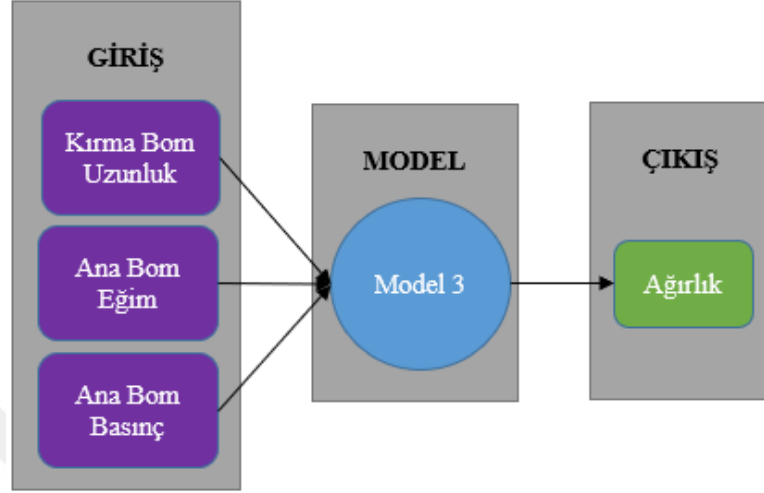
Şekil 3.12. Birinci yaklaşım

Birinci yaklaşımda, Şekil 3.12’de görüldüğü gibi kırma bom uzunluğu ve ana bom eğim parametreleri modele giriş olarak verilmiş, çıkış olarak basınç değeri tahmin edilmiştir.



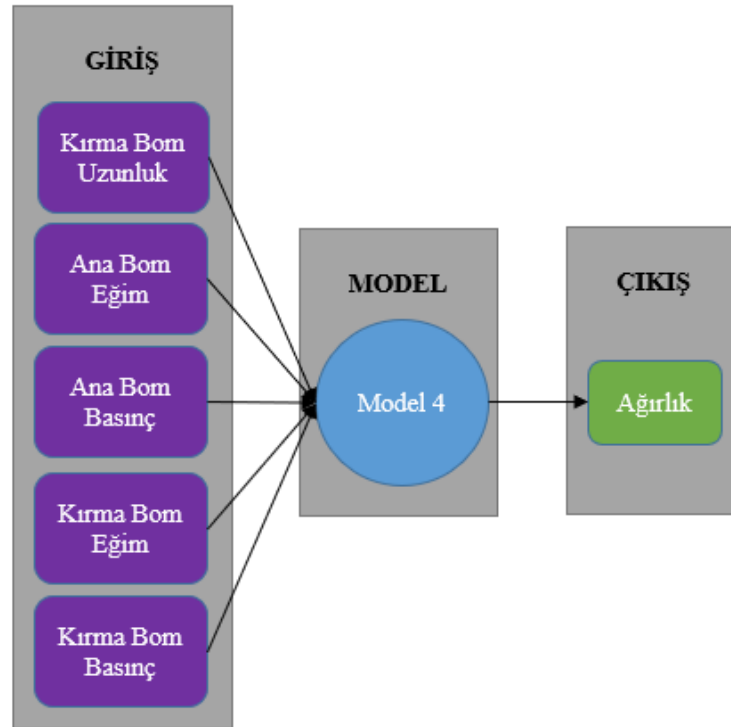
Şekil 3.13. İkinci yaklaşım

İkinci yaklaşımda, kırma bom uzunluğu, ana bom eğim ve ana bom basınç parametreleri modele giriş olarak verilmiştir. Birinci yaklaşımda olduğu gibi basınç değeri tahmin edilmiştir (Şekil 3.13).



Şekil 3.14. Üçüncü yaklaşım

Şekil 3.14'te ağırlığın tahmin edilmesini amaçlayan üçüncü yaklaşım yer almaktadır. Bu yaklaşımda kırma bom uzunluğu, ana bom eğim ve ana bom basınç parametreleri modele giriş olarak verilmiştir.



Şekil 3.15. Dördüncü yaklaşım

Tez çalışmasında gerçekleştirilen dördüncü yaklaşımda ise ağırlık tahmini için Şekil 3.15'te kırma bom uzunluğu, ana bom eğimi, ana bom basıncı, kırma bom eğim ve kırma bom basınç parametreleri verilmiştir. Bu dört yaklaşımda kaldırma ve uzatma veri setleri için, python jupyter notebook ortamında yapay zeka modelleri eğitilmiştir.

3.2.1. Çoklu Doğrusal Regresyon (ÇDR)

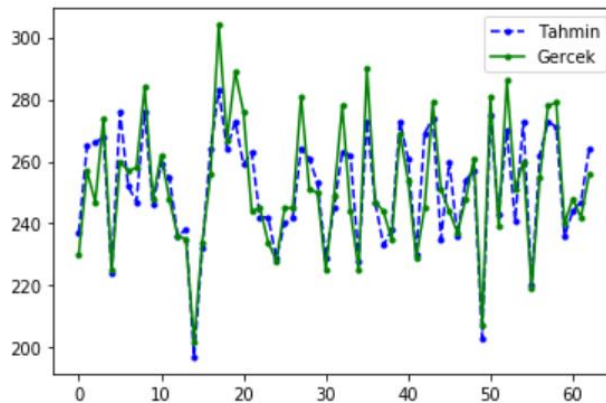
Bir sonuca karşılık, onu etkileyen ikiden fazla bağımsız değişken kullanılarak yapılan istatistiksel hesaplama Çoklu Doğrusal Regresyon denilmektedir. Doğrusal regresyon Eşitlik 3.1'de verildiği şekilde tanımlanmıştır.

$$Y=a+bX \quad (3.1)$$

Eşitlik 3.1'de Y çıkış olan bağımsız değişkeni, X ise giriş parametresi olan bağımlı değişkeni ifade etmektedir. Eğer doğrusal regresyon birden fazla bağımlı giriş parametresi içeriyorsa buna çoklu doğrusal regresyon denilmektedir. Çoklu doğrusal regresyon Eşitlik 3.2'de verildiği şekilde tanımlanmıştır.

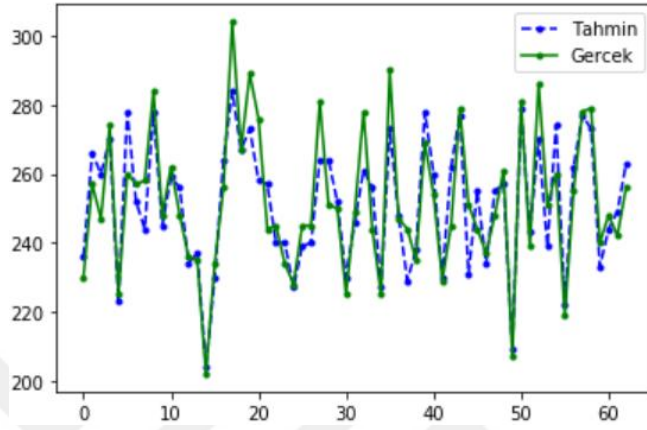
$$Y=a+b_1X_1+b_2X_2+b_3X_3\dots \quad (3.2)$$

Eşitlik 3.2'de Y çıkış olan bağımsız değişkeni, $X_1 X_2 X_3$ ise giriş parametresi olan bağımlı değişkeni ifade etmektedir. Modele verilen bağımlı değişkenlere karşı bağımsız değişken tahmin edilir. Bu tahmin etme işleminde a ve b değerleri hesaplanır.



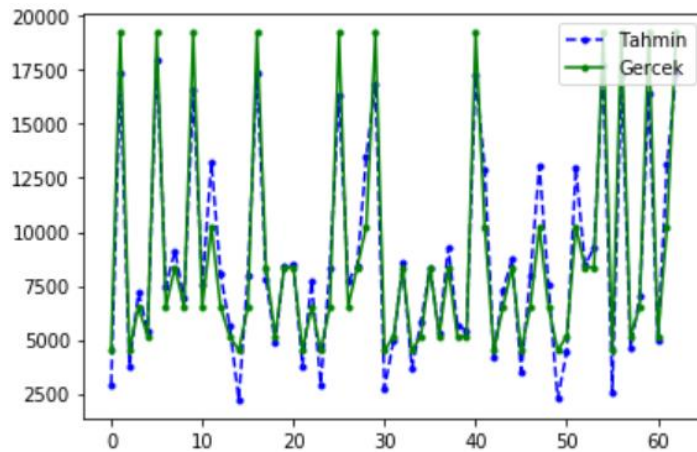
Şekil 3.16 Kaldırma veri seti ÇDR için Model 1

Kaldırma veri seti Şekil 3.12'deki birinci uygulama modeline çoklu doğrusal regresyon yöntemi ile uygulandığında, Şekil 3.16'daki sonuç elde edilmiştir. Yatay eksen veri seti içinden rastgele seçilen verilerin sırasını göstermektedir. Düşey eksen hidrolik silindir basıncını bar cinsinden göstermektedir. Uygulama modeli 1 için ÇDR ile tahmin yapıldığında, ortalama karesel hata 96 olarak elde edilmiştir.



Şekil 3.17 Kaldırma veri seti ÇDR için Model 2

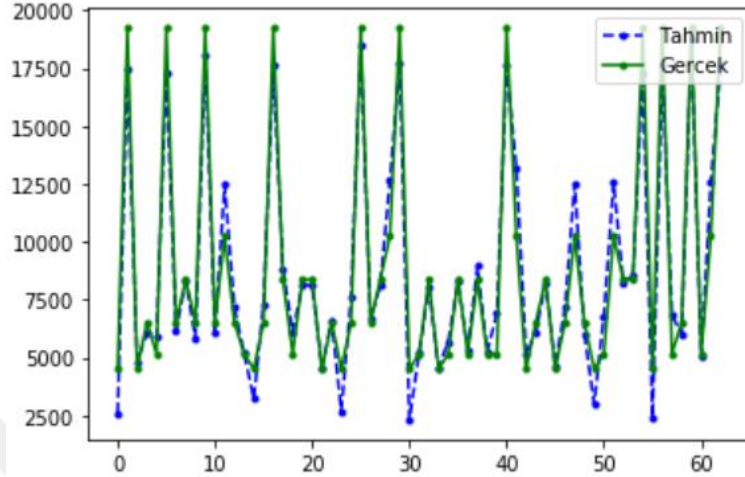
Kaldırma veri seti Şekil 3.13'teki ikinci uygulama modeline çoklu doğrusal regresyon yöntemi ile uygulandığında, Şekil 3.17'deki sonuç elde edilmiştir. Yatay eksen veri seti içinden rastgele seçilen verilerin sırasını göstermektedir. Düşey eksen hidrolik silindir basıncını bar cinsinden göstermektedir. Uygulama modeli 2 için ÇDR ile tahmin yapıldığında, ortalama karesel hata 88 olarak elde edilmiştir.



Şekil 3.18 Kaldırma veri seti ÇDR için Model 3

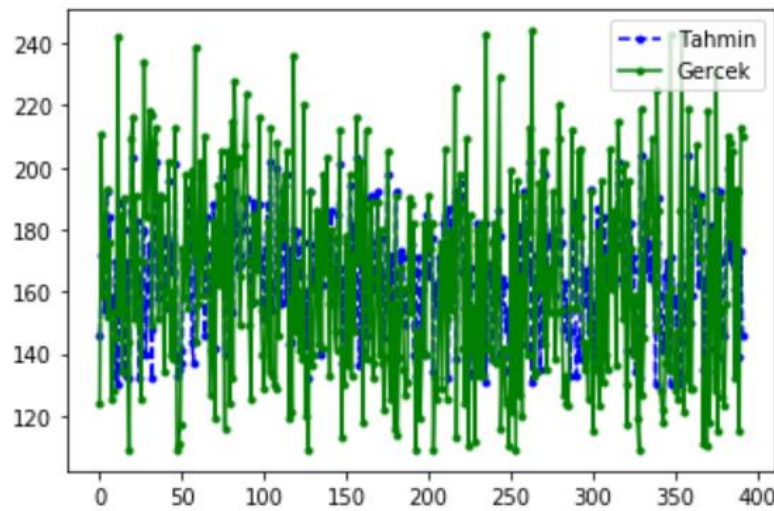
Kaldırma veri seti Şekil 3.14'teki üçüncü uygulama modeline çoklu doğrusal regresyon yöntemi ile uygulandığında, Şekil 3.18'teki sonuç elde edilmiştir. Yatay

eksen veri seti içinden rastgele seçilen verilerin sırasını göstermektedir. Düşey eksen ağırlığı kg cinsinden göstermektedir. Uygulama modeli 3 için ÇDR ile tahmin yapıldığında, ortalama karesel hata 2358524 olarak elde edilmiştir.



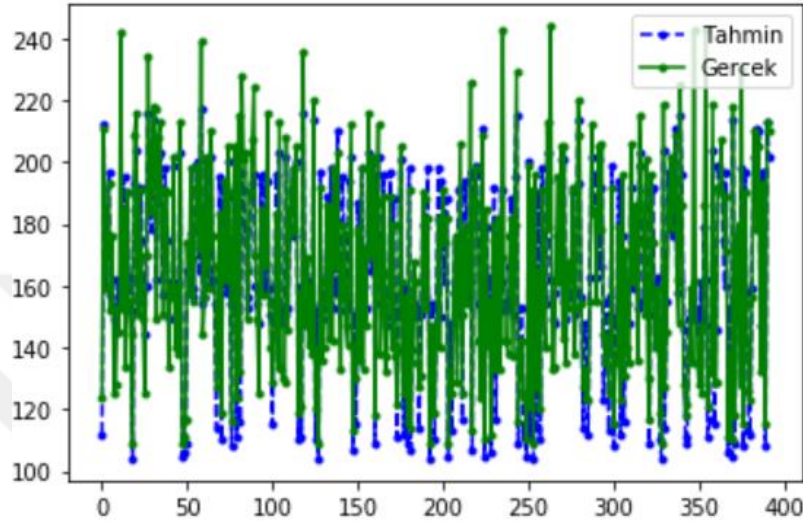
Şekil 3.19 Kaldırma veri seti ÇDR için Model 4

Kaldırma veri seti Şekil 3.15'teki dördüncü uygulama modeline çoklu doğrusal regresyon yöntemi ile uygulandığında, Şekil 3.19'daki sonuç elde edilmiştir. Yatay eksen veri seti içinden rastgele seçilen verilerin sırasını göstermektedir. Düşey eksen ağırlığı kg cinsinden göstermektedir. Uygulama modeli 4 için ÇDR ile tahmin yapıldığında ortalama karesel hata, model 3'te elde edilen hata değeri ile aynı 2358524 olarak elde edilmiştir.



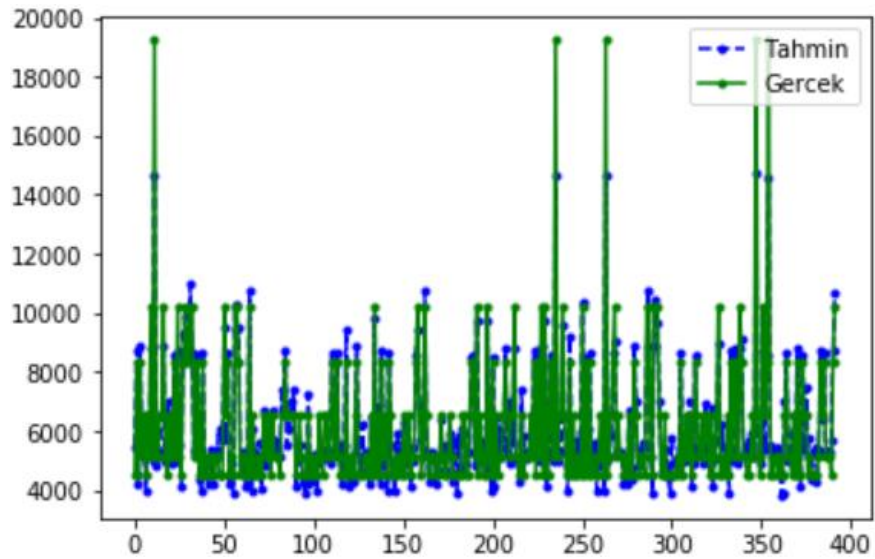
Şekil 3.20 Uzatma veri seti ÇDR için Model 1

Uzatma veri seti Şekil 3.12'deki birinci uygulama modeline çoklu doğrusal regresyon yöntemi ile uygulandığında, Şekil 3.20'deki sonuç elde edilmiştir. Yatay eksen veri seti içinden rastgele seçilen verilerin sırasını göstermektedir. Düşey eksen hidrolik silindir basıncını bar cinsinden göstermektedir. Uygulama modeli 1 için ÇDR ile tahmin yapıldığında, ortalama karesel hata 750 olarak elde edilmiştir.



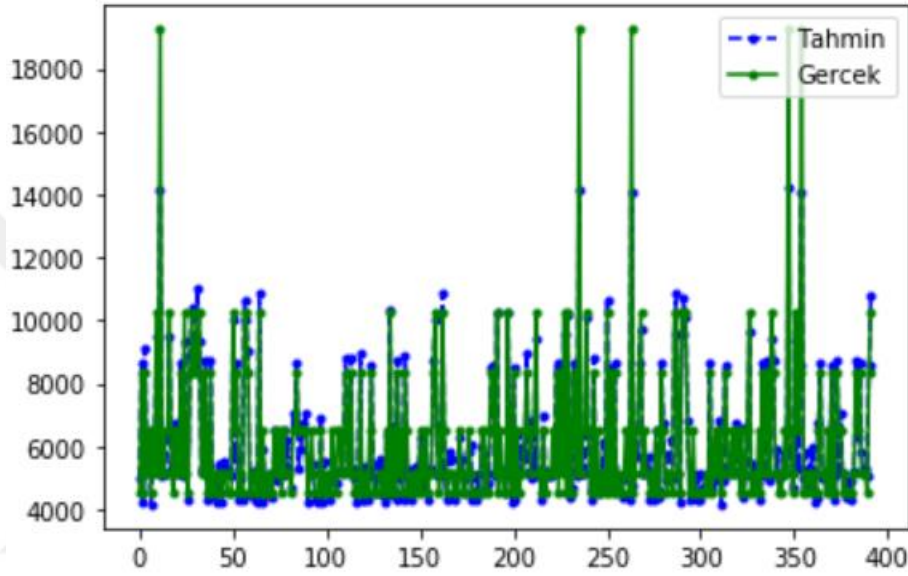
Şekil 3.21 Uzatma veri seti ÇDR için Model 2

Uzatma veri seti Şekil 3.13'teki ikinci uygulama modeline çoklu doğrusal regresyon yöntemi ile uygulandığında, Şekil 3.21'deki sonuç elde edilmiştir. Yatay eksen veri seti içinden rastgele seçilen verilerin sırasını göstermektedir. Düşey eksen hidrolik silindir basıncını bar cinsinden göstermektedir. Uygulama modeli 2 için ÇDR ile tahmin yapıldığında, ortalama karesel hata 222 olarak elde edilmiştir.



Şekil 3.22 Uzatma veri seti ÇDR için Model 3

Uzatma veri seti Şekil 3.14'teki üçüncü uygulama modeline çoklu doğrusal regresyon yöntemi ile uygulandığında, Şekil 3.22'deki sonuç elde edilmiştir. Yatay eksen veri seti içinden rastgele seçilen verilerin sırasını göstermektedir. Düşey eksen ağırlığı kg cinsinden göstermektedir. Uygulama modeli 3 için ÇDR ile tahmin yapıldığında, ortalama karesel hata 746812 olarak elde edilmiştir.



Şekil 3.23 Uzatma veri seti ÇDR için Model 4

Uzatma veri seti Şekil 3.15'teki dördüncü uygulama modeline çoklu doğrusal regresyon yöntemi ile uygulandığında, Şekil 3.23'teki sonuç elde edilmiştir. Yatay eksen veri seti içinden rastgele seçilen verilerin sırasını göstermektedir. Düşey eksen ağırlığı kg cinsinden göstermektedir. Uygulama modeli 4 için ÇDR ile tahmin yapıldığında ortalama karesel hata, model 3'te elde edilen hata değeri ile aynı 746812 olarak elde edilmiştir.

Çizelge 3.5 Kaldırma-uzatma veri setleri için hata karşılaştırmaları

	Basınç Tahmini		Ağırlık Tahmini	
	Ortalama Karesel Hata		Ortalama Karesel Hata	
	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4
Kaldırma	96	88	2358524	2358524
Uzatma	22	11	590	590

Kaldırma ve uzatma veri setlerinde dört farklı uygulama modeli için çoklu doğrusal regresyon analizi yapıldığında, Çizelge 3.5'teki ortalama karesel hatalar elde edilmiştir. Kaldırma ve uzatma veri setleri için Model 3 ve Model 4'te elde edilen ağırlık hata değerleri aynı bulunmuştur. Model 4'te Model 3'e göre ilave olarak giriş kırma bom eğimi ve kırma bom basıncı eklenmesi sonucu etkilememiştir.

3.2.2. K-En Yakın Komşu Sınıflandırması (K-EYK)

Yaygın olarak bilinen, temel sınıflandırma modellerindendir. K-En Yakın Komşu (K-EYK) algoritması, gerçekleştiriminin basit ve kolay, öğrenme sürecinin güçlü ve kullanışlı olmasından dolayı sınıflandırmada yaygın biçimde kullanılmaktadır (Taşçı 2016). K-En Yakın Komşu modeli daha önce elde edilen verileri inceleyerek, yeni veriyi uygun kümeye atayan bir sınıflandırma algoritmasıdır. K-EYK algoritması sisteme yeni gelen verinin, k adet yakın komşularını bulur. Yeni eklenen verinin önceki verilere olan yakınlığı hesaplanır. Bu hesaplamada genellikle Öklid uzaklığı kullanılır.



Şekil 3.24 İki nokta arasındaki uzunluk

K-EYK modelinde yeni eklenen noktanın komşu noktalara olan uzaklığı Şekil 3.24'te görüldüğü üzere hipotenüs uzunluğu ile bulunabilmektedir. Hipotenüs uzunluğu için Eşitlik 3.3'teki ifade kullanılmaktadır.

$$(a, b) = \sqrt{(a_1 - b_1)^2 + (a_2 - b_2)^2} \quad (3.3)$$

İfadede yer alan a ve b düzlemde yer alan verileri ifade etmektedir. Bu verilerin düzlemdeki koordinatı a_1 , a_2 ve b_1 , b_2 olarak ifade edilmektedir. Bu hesaplama K-EYK modelinin basit çalışma mantığının anlaşılması içindir. Modelde tanımlanan K değerine göre birden fazla yakın komşu uzaklıkları hesaplanarak yeni noktasın

tanımlanacağı bölge belirlenmiş olur. Birden fazla uzaklık hesaplaması için Eşitlik 3.4 kullanılır. Bu eşitlik ise veri kümesinde birden fazla noktanın (x_i, y_i) uzaklıklarının hesaplamasını ifade etmektedir.

$$\left(\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - y_i)^2} \right) \quad (3.4)$$

Uzaklık hesaplamalarında diğer bir yöntem Minkowski uzaklığıdır. Minkowski uzaklığı Eşitlik 3.5'e göre hesaplanır.

$$\left(\sum_{i=1}^n |x_i - y_i|^p \right)^{1/p} \quad (3.5)$$

Minkowski uzaklığı p 'nin farklı değerleri için uzaklık tanımlamaları yapmaktadır. Minkowski ölçütünün $p=2$ olduğu özel durumu Öklid uzaklığını $p=1$ olduğu özel durumu Manhattan uzaklığını ve $n \rightarrow \infty$ olduğu özel durum Chebyshev uzaklığını vermektedir (Taşçı 2016).

Diğer bir uzaklık ölçüt hesaplaması için Manhattan uzaklık hesaplaması kullanılır. Manhattan uzaklık hesaplamasında iki nokta arasındaki farkların, mutlak değerlerinin toplamı alınır. Manhattan uzaklık ölçütü Eşitlik 3.6'daki denklem ile hesaplanır. Denklemden

$$\left(\sum_{i=1}^n (x_i - y_i)^2 \right) \quad (3.6)$$

İfadesi ile Chebyshev uzaklığı, iki nokta arasındaki uzaklık farkının toplamının, mutlak değerinin, maksimum olduğu durumdur. Chebyshev uzaklığı Eşitlik 3.7'ye göre hesaplanabilir. Minkowski uzaklığındaki değerlerin sonsuza gitmesiyle oluşan özel bir durumdur.

$$\lim_{p \rightarrow \infty} \left(\sum_{i=1}^n |x_i - y_i|^p \right)^{1/p} = \max_{i=1}^n |x_i - y_i| \quad (3.7)$$

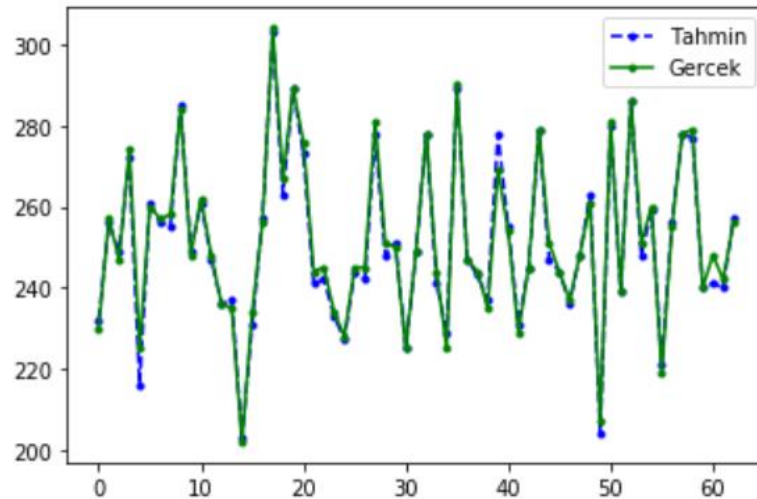
Dilca (Distance Learning in Categorical Attribute) uzaklığının (Eşitlik 3.8) diğer ölçüm metotlarına göre iki aşamalı bir yapısı vardır. Öncelikle belirsizlik katsayısı Eşitlik 3.8’de verildiği gibi hesaplanır. Burada SU simetrik belirsizlik katsayısını, IG bilgi kazancını (X ve Y öz niteliklerinin entropi toplamı) ifade etmektedir.

$$SU = 2 \times \left[\frac{IG}{H(Y) + H(X)} \right] \quad (3.8)$$

Daha sonra noktalar arası uzaklık Eşitlik 3.9’daki denklem ile bulunur. Eşitlikteki P ’ler sınıflandırmadaki noktaları sembolize etmektedir.

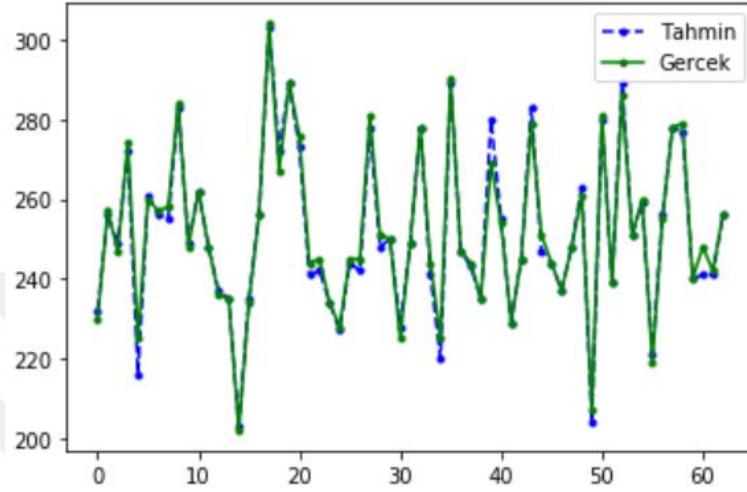
$$d(x_i, y_i) = \sqrt{\sum_{Y \in (X)} \sum_{y_k \in Y} (P(x_i|y_k) - P(x_j|y_k))^2} \quad (3.9)$$

Burada, x_i ve y_i incelenmekte olan özneliğin aldığı değer çiftleri ve $x_i, x_j \in X$ dir. Her bir Y bağlam özneliği için x_i ve x_k değerlerine dayalı koşullu olasılık hesaplanıp ardından Öklid uzaklığı alınmaktadır (Taşçı 2016). Kaldırma veri seti Şekil 3.12’deki birinci uygulama modeline K-En Yakın Komşu yöntemi ile uygulandığında, Şekil 3.25’teki sonuç elde edilmiştir. Yatay eksen veri seti içinden rastgele seçilen verilerin sırasını, dikey eksen ise hidrolik silindir basıncını bar cinsinden göstermektedir. Uygulama modeli 1 için K-EYK ile tahmin yapıldığında, ortalama karesel hata 6,6 olarak elde edilmiştir.



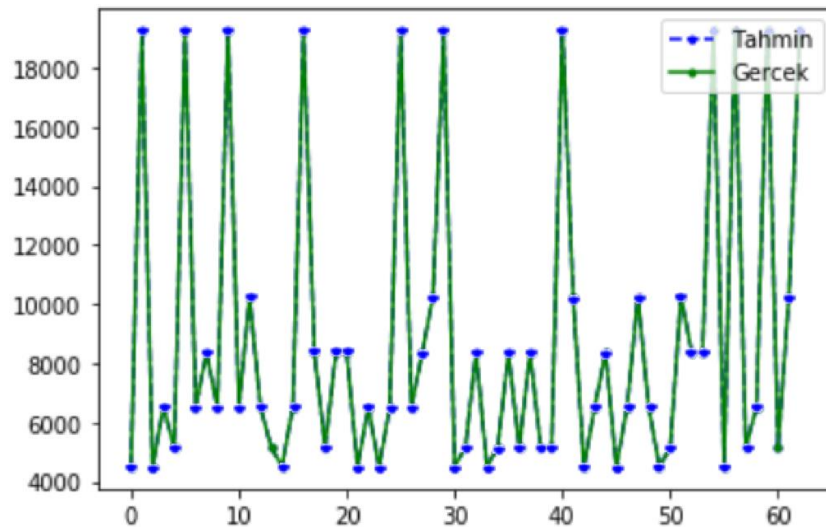
Şekil 3.25 Kaldırma veri seti K-EYK için Model 1

Kaldırma veri seti Şekil 3.13'teki ikinci uygulama modeline K-En Yakın Komşu yöntemi ile uygulandığında, Şekil 3.26'daki sonuç elde edilmiştir. Yatay eksen veri seti içinden rastgele seçilen verilerin sırasını, düşey eksen ise hidrolik silindir basıncını bar cinsinden göstermektedir. Uygulama modeli 2 için K-EYK ile tahmin yapıldığında, ortalama karesel hata 7,5 olarak elde edilmiştir.



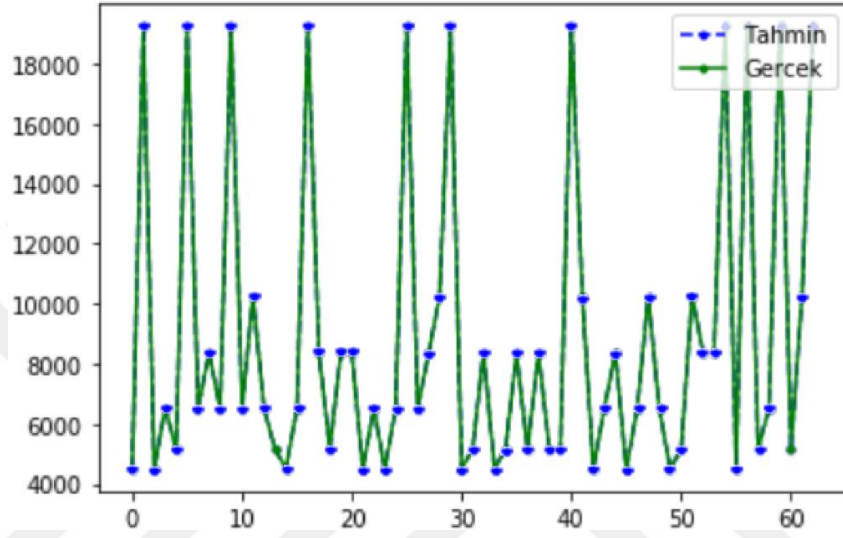
Şekil 3.26 Kaldırma veri seti K-EYK için Model 2

Kaldırma veri seti Şekil 3.14'teki üçüncü uygulama modeline K-En Yakın Komşu yöntemi ile uygulandığında, Şekil 3.27'deki sonuç elde edilmiştir. Yatay eksen veri seti içinden rastgele seçilen verilerin sırasını, düşey eksen ise ağırlığı kg cinsinden göstermektedir. Uygulama modeli 3 için K-EYK ile tahmin yapıldığında, ortalama karesel hata 0 olup, sınıflama doğruluk oranı %100 olarak elde edilmiştir.



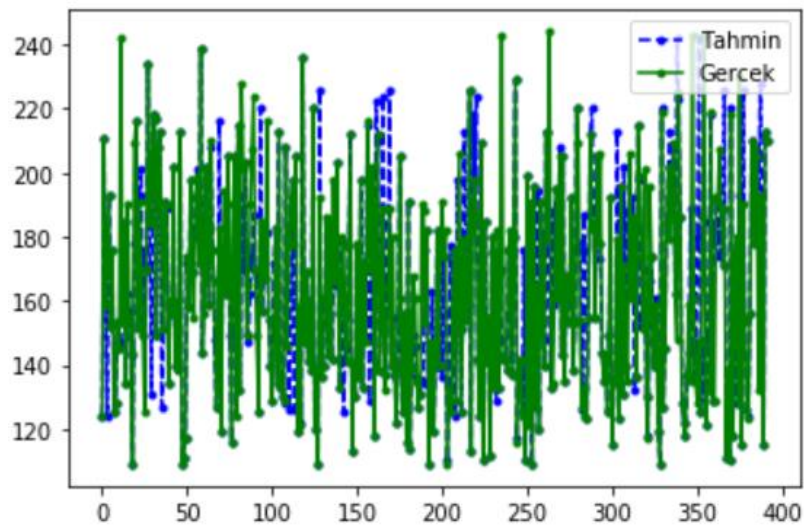
Şekil 3.27 Kaldırma veri seti K-EYK için Model 3

Kaldırma veri seti Şekil 3.15'teki dördüncü uygulama modeline K-En Yakın Komşu yöntemi ile uygulandığında, Şekil 3.28'deki sonuç elde edilmiştir. Yatay eksen veri seti içinden rastgele seçilen verilerin sırasını, dikey eksen ise ağırlığı kg cinsinden göstermektedir. Uygulama modeli 4 için K-EYK ile tahmin yapıldığında, ortalama karesel hata 0 olarak elde edilmiştir. Bu uygulamada da sınıflama doğruluk oranı %100'dür.



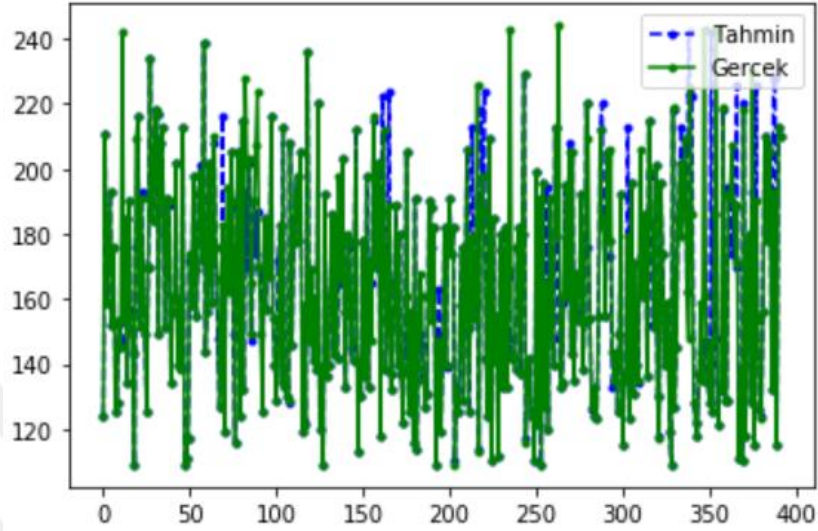
Şekil 3.28 Kaldırma veri seti K-EYK için Model 4

Uzatma veri seti Şekil 3.12'deki birinci uygulama modeline K-En Yakın Komşu yöntemi ile uygulandığında, Şekil 3.29'daki sonuç elde edilmiştir.



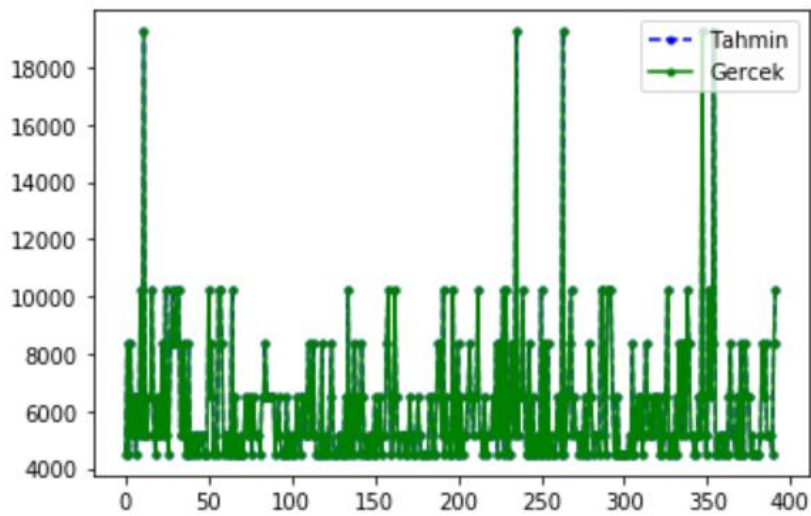
Şekil 3.29 Uzatma veri seti K-EYK için Model 1

Yatay eksen veri seti içinden rastgele seçilen verilerin sırasını, düşey eksen ise hidrolik silindir basıncını bar cinsinden göstermektedir. Uygulama modeli 1 K-EYK ile tahmin yapıldığında, ortalama karesel hata 519 olarak elde edilmiştir.



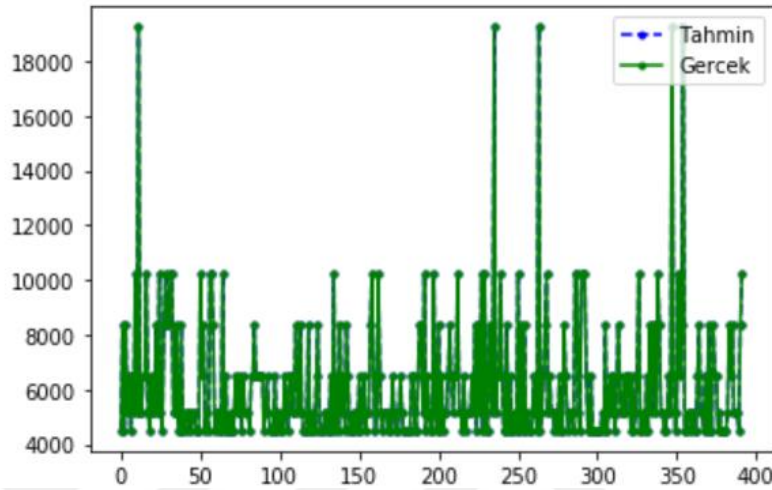
Şekil 3.30 Uzatma veri seti K-EYK için Model 2

Uzatma veri seti Şekil 3.13'teki birinci uygulama modeline K-En Yakın Komşu yöntemi ile uygulandığında, Şekil 3.30'daki sonuç elde edilmiştir. Yatay eksen veri seti içinden rastgele seçilen verilerin sırasını, düşey eksen ise hidrolik silindir basıncını bar cinsinden göstermektedir. Uygulama modeli 2 için K-EYK ile tahmin yapıldığında, ortalama karesel hata 259 olarak elde edilmiştir.



Şekil 3.31 Uzatma veri seti K-EYK için Model 3

Uzatma veri seti Şekil 3.14'teki birinci uygulama modeline K-En Yakın Komşu yöntemi ile uygulandığında, Şekil 3.31'deki sonuç elde edilmiştir. Yatay eksen veri seti içinden rastgele seçilen verilerin sırasını, dikey eksen ise ağırlık değerini kg cinsinden göstermektedir. Uygulama modeli 3 için K-EYK ile tahmin yapıldığında, ortalama karesel hata 0 olup, sınıflama doğruluk oranı %100' olarak elde edilmiştir.



Şekil 3.32 Uzatma veri seti K-EYK için Model 4

Uzatma veri seti Şekil 3.15'teki birinci uygulama modeline K-En Yakın Komşu yöntemi ile uygulandığında, Şekil 3.32'deki sonuç elde edilmiştir. Yatay eksen veri seti içinden rastgele seçilen verilerin sırasını, dikey eksen ise ağırlık değerini kg cinsinden göstermektedir. Uygulama modeli 4 için K-EYK ile tahmin yapıldığında, ortalama karesel hata 0 olup, bu uygulamada da sınıflama doğruluk oranı %100 olarak elde edilmiştir.

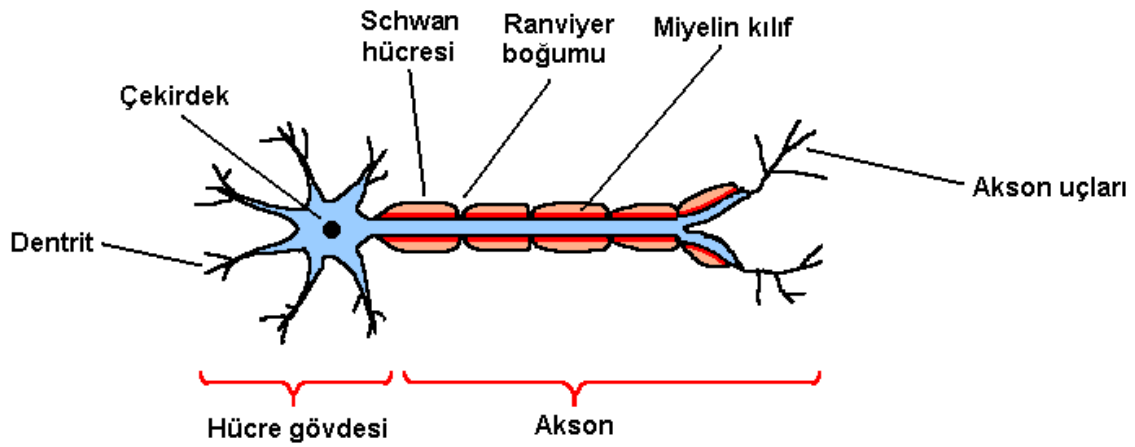
Çizelge 3.6 Kaldırma-Uzatma veri setleri için hata karşılaştırmaları

	Basınç Tahmini		Ağırlık Tahmini	
	Ortalama Karesel Hata		Ortalama Karesel Hata	
	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4
Kaldırma	6,60	7,50	0	0
Uzatma	519	259	0	0

Kaldırma ve uzatma veri setleri dört farklı uygulama modeli için K-En Yakın Komşu analizi yapıldığında, Çizelge 3.6'daki ortalama karesel hata elde edilmiştir.

3.2.3. Yapay Sinir Ağı (YSA)

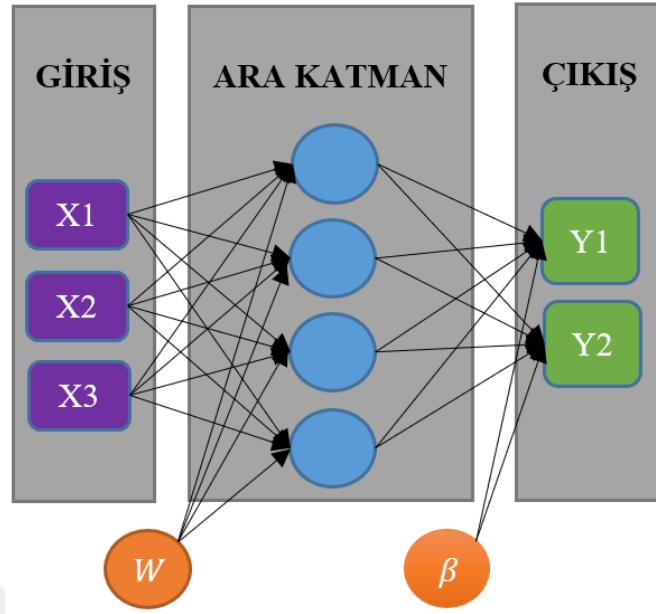
YSA, insan beyninin özelliklerinden olan öğrenme, öğrendiği bilgilerden yeni bilgiler türetebilme ve karar verme gibi yetenekleri, dışarıdan herhangi bir yardım olmaksızın, kendi başına gerçekleştirmeye çalışan yaklaşımlardır (Çelebi 2020). YSA'lar çalışma prensibi olarak insan beynindeki nöronların çalışma yapısına benzemektedir. İlk YSA modeli Warren McCulloch ve Walter Pitts tarafından 1946 yılında ortaya atılmıştır (Çelebi 2020). YSA çalışmaları ile birlikte bilgisayarla görü üzerindeki çalışmalarda yoğunlaşmıştır. İnsan beynindeki öğrenme yetisinin sayısal ortamda gerçekleştirilmesi için yapay sinir ağları geliştirilmiştir.



Şekil 3.33 Sinir hücre yapısı

İnsan beyin yapısından esinlenen yapay zeka sistemleri, beyindeki sinir hücrelerinin modellenmesidir. Şekil 3.33'te insan beyninin genel bir sinir hücresinin yapısı gösterilmiştir. Sinir hücresi yapısında, ince kılcacal uçlara Dentrit, uzun boğumlu kısımlara Akson denilmektedir. Hücre üzerinde sayıca fazla olan dentritler sadece bir aksone bağlanmaktadır. Dentritler hücrenin giriş katmanı gibidir. Etrafındaki sinyalleri alıp aksonlara iletirler. Aksonlar aldığı sinyali başka hücrelere, kaslara ya da organlara iletmektedir.

Biyolojik olarak, bulunduğumuz ortamdaki, ses, görüntü gibi bilgiler duyu organları vasıtası ile nöronlara iletilir. Nöronlara iletilen bu veriler sonucunda beyin bir eylem başlatır. Bu sebeple, uzun süre aynı ortamda, aynı şartlarda olan kişilerin benzerlikleri artmaktadır. Biyolojik olarak nöronlara bir veri girişi ve bu girişi yorumlayan bir yapı ile beraber bir sonuç elde edilmektedir. İnsan beyninden modellenen yapay sinir ağlarında da giriş, çıkış ve ara katman bulunmaktadır.



Şekil 3.34 Yapay sinir ağı yapısı

Şekil 3.34’te genel bir yapay sinir ağı yapısı gösterilmiştir. Sinir ağı giriş, ara katman ve çıkış olmak üzere üç bölümden oluşmaktadır. Yapıdaki X1, X2, X3 girişleri, Y1 ve Y2 çıkışları temsil etmektedir. W nöronlara atanan ağırlıkları, β çıkışa atanan bias değerini göstermektedir. Giriş katmanındaki tüm girişler bilgiyi ara katmandaki tüm nöronlara iletmektedir. Ara katmandaki bilgi de çıkış katmanındaki birimlere iletilmektedir. Giriş katmanındaki tek bir girişin ara katmandaki bir nörona veri iletimi Eşitlik 3.10’daki şekilde hesaplanır.

$$Y = w \times x + \beta \quad (3.10)$$

Bu denklemde tek bir girişin tek bir nöron için olan bağlantısı matematiksel olarak gösterilmiştir. Ara katmandaki tek bir nörona tüm girişlerden Eşitlik 3.10’da verilen hesaplama verileri aktarılır. Nörona gelen tüm verilerin matematiksel olarak gösterimi ise Eşitlik 3.11’de verilmiştir.

$$\sum_i w_i \times x_i + \beta \quad (3.11)$$

Eşitlik 3.11’de verilen i giriş katmanındaki parametreleri göstermektedir. Nöronlarda toplanan bilgiler çıkış katmanına iletilirken bir aktivasyon fonksiyonuna tabi tutulur. Step, sigmoid, relu, tanh gibi farklı aktivasyon fonksiyonları bulunmaktadır

(Çelebi 2020). Ara katmandaki nöronların sayısı, bağlantı şekli ve aktivasyon fonksiyonu sistem performansını etkileyen parametrelerdir.

Kaldırma ve uzatma veri seti ile çalışırken aşağıdaki parametreler, Model 1, Model 2, Model 3, Model 4 için sabittir.

- Python jupyter notebok ortamında keras kütüphanesi kullanılmıştır.
- Ara katmanda 6 nöron kullanılmıştır.
- Modelde 32 iterasyon uygulanmıştır.

Çizelge 3,7’de kaldırma ve uzatma veri setleri ile YSA uygulamasının tahmin süreleri yer almaktadır. Yapılan testlerde, uzatma veri seti tahmin sürelerinin kaldırma veri seti tahmin sürelerinden daha hızlı olduğu gözlemlenmiştir.

Çizelge 3.7 Kaldırma-Uzatma veri setleri için tahmin süreleri.

	Tahmin Süresi (us)			
	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4
Kaldırma	63	73	48	79
Uzatma	23	33	32	26

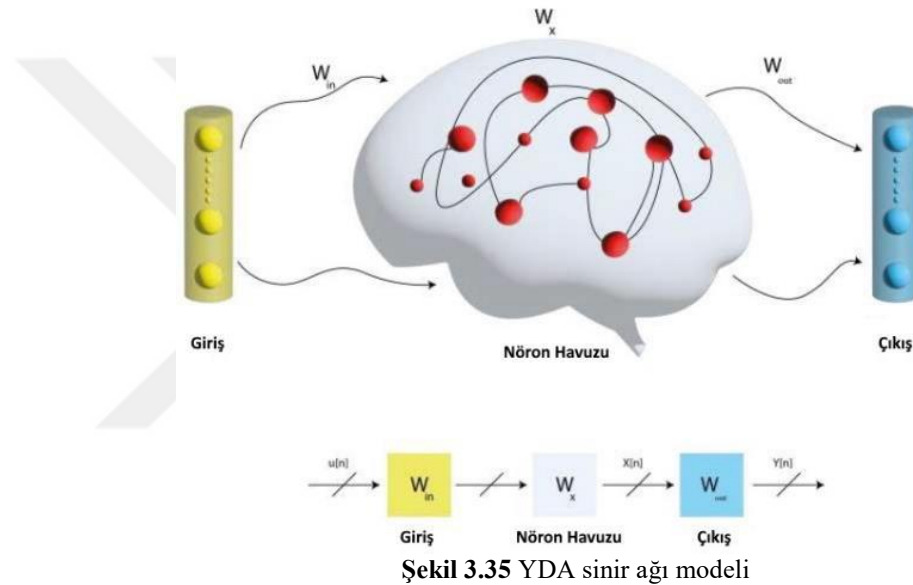
Kaldırma ve uzatma veri setlerinde dört farklı uygulama modeli için yapay sinir ağı kullanıldığında, Çizelge 3.8’deki ortalama mutlak yüzdesel hata değerleri elde edilmiştir.

Çizelge 3.8 Kaldırma-Uzatma veri setleri için elde edilen mutlak hatalar.

	Basınç Tahmini Mutlak Hata (%)		Ağırlık Tahmini Mutlak Hata (%)	
	Kaldırma	99,70	98,30	99,93
Uzatma	97,8	17,5	77,8	21,9

3.2.4. Yinelenen Durum Ağı (YDA)

Yapay zeka çalışmalarında, mevcut verilerden gelecek verilerin tahmini için genellikle RNN (Recurrent Neural Network) tabanlı, zamanla bağlantısı olan LSTM (Long Short-Term Memory), ESN (Echo State Neural Network) gibi nöron modelleri tercih edilmektedir (Karagözler 2021). Yinelenen Durum Ağı genellikle zamana bağlı verilerin tahminlerinde kullanılmaktadır. Diğer modellerde olduğu gibi YDA modelinde de giriş, ara katman ve çıkış katmanı vardır. Şekil 3.35'te genel bir YDA yapısı verilmiştir.



YDA yapısında diğer modellerden farklı olarak ara katmanda simetrik dizilim yoktur. Nöron bağlantıları rastgele yapılmaktadır. Klasik sinir ağlarındaki gibi bir geri yayılım yoktur. Geri besleme sadece çıkış katmanı üzerinde yapılmaktadır. Dolayısıyla bu modeldeki işlem gücü azalmaktadır. Az işlem gücü ile hızlı cevap alınırken, güç tüketimi de düşmektedir. Dolayısıyla batarya gerektiren zamana bağlı tahmin uygulamaları için tercih edilebilmektedir. Bu modelin dezavantajı, model çalıştırıldığında nöron havuzu rastgele dizilim ile bağlantı yapmaktadır. Dolayısıyla tekrar eğitimlerde farklı sonuçlar alınabilmektedir.

Giriş ve nöron havuzundaki nöronların ağırlık hesaplamaları Eşitlik 3.12'de gösterilmiştir. u yinelenen durum ağı girişlerini, W_{in} giriş katmanı ile nöron havuzu

arasındaki ağırlık matrisini, W_x havuzdaki nöronların ağırlıklarını gösteren matrisi, f_{res} ise nöron havuzunun aktivasyon fonksiyonunu ifade etmektedir.

$$x[n + 1] = f_{res}(w_{in}u[n + 1] + w_xu[n]) \quad (3.12)$$

Nöron havuzunun çıkışı, yani W_{out} Eşitlik 3.13'e göre hesaplanır (Karagözler 2021).

$$w_{out} = (YX')(XX')^{-1} \quad (3.13)$$

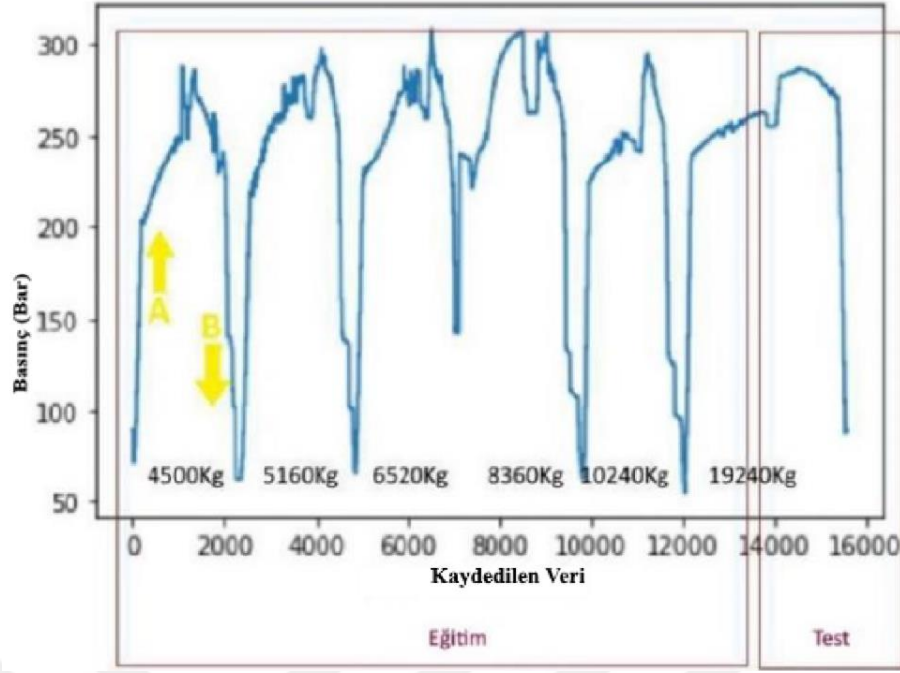
Burada Y tüm eğitim sonuçlarının yer aldığı matrisi ifade ederken X ise nöron havuzundaki tüm sonuçları ifade eden bir matristir. YDA yapısındaki nöron havuzunun sayısının artırılarak birbirine bağlanması sonucunda derin YDA modeli elde edilir. Şekil 3.36'da derin YDA modelinin yapısı verilmiştir.



Şekil 3.36 Derin YDA ağı modeli

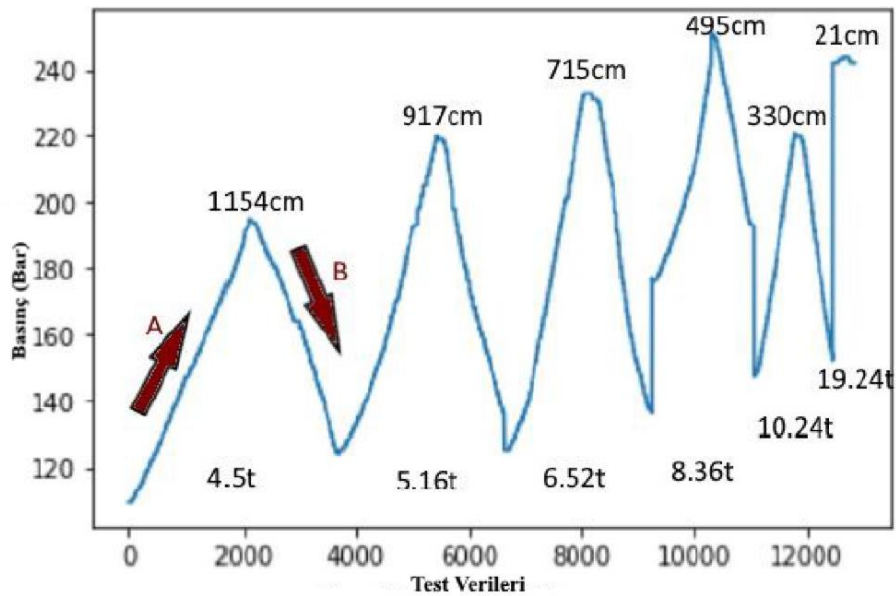
Derin YDA modelindeki nöron havuzlarında geri yayılım söz konusu değildir. Sadece çıkış ile son nöron havuzu arasında geri yayılım vardır. Çalışmada giriş ve çıkış arasına 100 adet nöron havuz bağlantısı eklenmiştir. Çalışma python jupyter notebook platformu üzerinde yapılmıştır.

Kaldırma veri setindeki altı farklı yükün kaldırılıp indirilmesindeki basınç parametreleri uç uca eklendiğinde Şekil 3.37'deki grafik elde edilmiştir. Grafiğin yatay ekseni 50ms'lik periyotlarla alınan verinin sırasını göstermektedir. Düşey sütun ise kaldırma indirme hareketleri sırasında, kaldırma silindirinde ki basınç değerini ifade etmektedir. Altı farklı yükün verileri birleştirilerek, 15793 adet basınç verisinin grafiği elde edilmiştir. Toplam test zamanı 13.1 dakikadır. Grafikteki verinin %80'i eğitim, %20'si test olacak şekilde zaman ekseni boyunca ayrılmıştır.



Şekil 3.37 Yükleri kaldırma hareketinde elde edilen eğitim ve test verileri.

Uzatma veri setindeki altı farklı yükün uzatılıp çekilmesindeki basınç parametreleri birleştirilerek Şekil 3.38'deki grafik elde edilmiştir. Grafiğin yatay eksenini 50ms'lik periyotlarla alınan verinin sırasını göstermektedir. Düşey sütun ise uzatma çekme hareketleri sırasında, kaldırma silindiri içindeki basınç değerini ifade etmektedir. Altı farklı yükün verileri birleştirilerek, 12786 adet veri için toplam test zamanı 10.6 dakikadır. Grafikteki verinin %80'i eğitim, %20'si test olacak şekilde zaman eksenini boyunca ayrılmıştır.



Şekil 3.38 Yükleri uzatma hareketinde elde edilen eğitim ve test verileri.

Grafikteki kırmızı A ile işaretli ok uzatma sırasındaki, kırmızı B ile işaretli ok çekme sırasındaki basınç değerlerini göstermektedir. Uzatma çekme esnasında, test ağırlıkları makine kapasitesinin izin verdiği maksimum uzaklığa götürülmüştür. Grafikteki çizimlerin üst uç kısmına, yükün cm cinsinden dönüş merkezinden ne kadar uzağa götürülebildiği gösterilmiştir. Her bir yükün tepe noktası eşik değeridir. Tepe değeri ilgili yük için sınır noktasıdır. Sınır noktasının geçilmesi durumunda, makine stabilitesi bozulacağından devrilme ya da bom mafsallarında deformasyon oluşacaktır. Bu grafik, moment kontrol yük limitlemesi için ağırlık yerine basınç kullanımını gösteren bir örnektir.

Şekil 3.37’de verilen grafikte, veri setinin %80’lik eğitim kısmı derin YDA modeline uygulanmıştır. Derin YDA modeli eğitim verisi ile eğitildikten sonra geri kalan %20’lik test verisi tahmin edilmiştir. Model sonucu ve performans karşılaştırmaları tezin 4. ve 5. Bölümlerinde incelenmiştir.

4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

Uygulamada altı farklı yükün kaldırılması ve uzatılması sonucunda elde edilen veri setleri için tahmin performansları ayrı ayrı incelenmiştir.

4.1. Yükün Kaldırılması Durumunda Basınç ve Yük Tahmini

Kaldırma veri seti için basınç ve yük tahmini 3 farklı model için ayrı ayrı değerlendirilerek karşılaştırılmıştır.

4.1.1. Basınç Tahmini

Kaldırma veri seti ile yapılan çalışmada basınç değeri, Çoklu Doğrusal Regresyon, K-En Yakın Komşu ve Yapay Sinir Ağı modelleri ile tahmin edilerek Çizelge 4.1 elde edilmiştir. Çizelgedeki Yaklaşım 1, Şekil 3.12'deki uygulama modelini, yaklaşım 2 ise Şekil 3.13'deki uygulama modelini ifade etmektedir. ÇDR ve K-EYK modelleri ortalama karesel hatayı göstermektedir. YSA ortalama mutlak hata yüzdesini göstermektedir.

Çizelge 4.1 Kaldırma veri seti basınç tahmini

Yöntem	Yaklaşım 1	Yaklaşım 2
ÇDR	96	88
K-EYK	6,6	7,5
YSA	%99,7	%98,3

4.1.2. Yük Tahmini

Kaldırma veri seti ile yapılan çalışmada yük değeri, Çoklu Doğrusal Regresyon, K-En Yakın Komşu ve Yapay Sinir Ağı modelleri ile tahmin edilerek Çizelge 4.2 elde edilmiştir. Çizelgedeki Yaklaşım 2, Şekil 3.14'teki uygulama modelini, yaklaşım 3 ise Şekil 3.15'teki uygulama modelini ifade etmektedir. ÇDR ve K-EYK modelleri

ortalama karesel hatayı göstermektedir. YSA ortalama mutlak hata yüzdesini göstermektedir.

Çizelge 4.2 Kaldırma veri seti yük tahmini

Yöntem	Yaklaşım 3	Yaklaşım 4
ÇDR	2358524	2358524
K-EYK	0	0
YSA	%99,99	%99,93

4.2. Yükün Uzatılması Durumunda Basınç ve Yük Tahmini

Uzatma veri seti için basınç ve yük tahmini 3 farklı yöntemle ayrı ayrı değerlendirilmiş ve sonuçlar karşılaştırılmıştır.

4.2.1. Basınç Tahmini

Uzatma veri seti ile yapılan çalışmada basınç değeri, Çoklu Doğrusal Regresyon, K-En Yakın Komşu ve Yapay Sinir Ağı modelleri ile tahmin edilerek Çizelge 4.3 elde edilmiştir. Çizelgedeki Yaklaşım 1, Şekil 3.12’teki uygulama modelini ifade etmektedir. Yaklaşım 2 ise Şekil 3.13’teki uygulama modelini ifade etmektedir. ÇDR ve K-EYK modelleri ortalama karesel hatayı göstermektedir. YSA ortalama mutlak hata yüzdesini göstermektedir.

Çizelge 4.3 Uzatma veri seti basınç tahmini

Yöntem	Yaklaşım 1	Yaklaşım 2
ÇDR	22	11
K-EYK	519	259
YSA	%97,8	%17,5

4.2.2. Yük Tahmini

Uzatma veri seti ile yapılan çalışmada basınç değeri, Çoklu Doğrusal Regresyon, K-En Yakın Komşu ve Yapay Sinir Ağı modelleri ile tahmin edilerek Çizelge 4.4 elde edilmiştir. Çizelgedeki Yaklaşım 3, Şekil 3.14’teki uygulama modelini, yaklaşım 4 ise

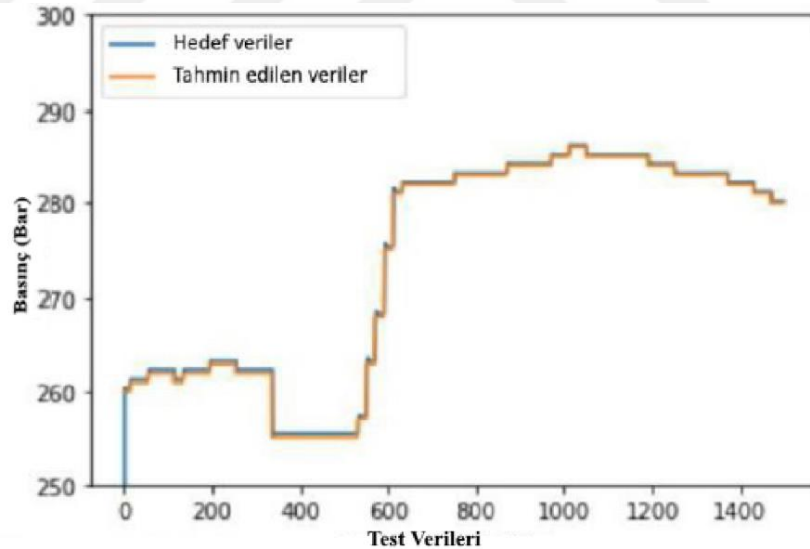
Şekil 3.15'teki uygulama modelini ifade etmektedir. ÇDR ve K-EYK modelleri ortalama karesel hatayı göstermektedir. YSA ortalama mutlak hata yüzdesini göstermektedir.

Çizelge 4.4 Uzatma veri seti yük tahmini

Yöntem	Yaklaşım 3	Yaklaşım 4
ÇDR	590	590
K-EYK	0	0
YSA	%77,8	%21,9

4.3. Derin Yinelenen Durum Ağı ile Basınç Tahmini ve Kontrol Sistemine Adaptasyonu

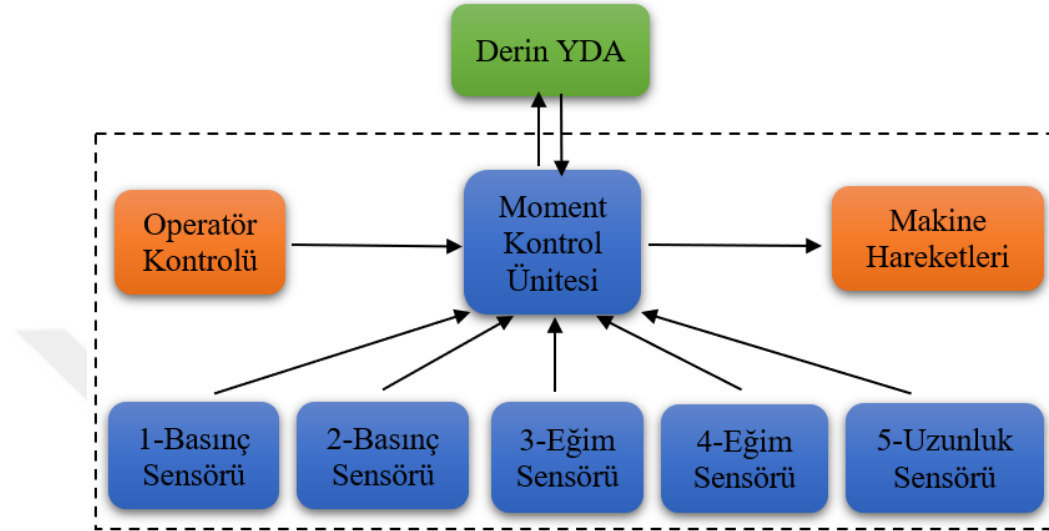
Derin Yinelenen Durum Ağı ile altı farklı yükün kaldırılıp indirilmesi esnasında ki basınç değerleri kaydedilmiş ve tahmin sonucu paylaşılmıştır. Derin YDA kullanılarak Şekil 4.1'de test değerleri tahmin grafiği gösterilmiştir.



Şekil 4.1 Derin YDA tahmin sonucu

Şekil 4.1'deki yatay eksen 50ms periyotta alınan veri sırasını, dikey sütun ise kaldırma silindirin de oluşan basıncı bar cinsinden göstermektedir. 14293 adetlik veri ile eğitim yapıldıktan sonra, 1500 adetlik veri için tahmin yapılmış ve 0,34 bar ortalama hata değeri elde edilmiştir. Yani 11,9 dk'lık çalışma sonunda gelecek 75 sn'lik çalışmaya ait basınç değerleri tahmin edilmiştir.

Şu ana kadar literatürdeki moment kontrol sistemlerinin hepsi anlık kapasitenin limit kapasitesinden büyük olup olmadığına bakmaktadır. Derin YDA ile sonraki basınç değerleri tahmin edilerek, tez çalışmasında kullanılan olası kaza ortaya çıkmadan önce bilgilendirme yapılmaktadır.



Şekil 4.2 Derin YDA eklenmiş moment kontrol yapısı

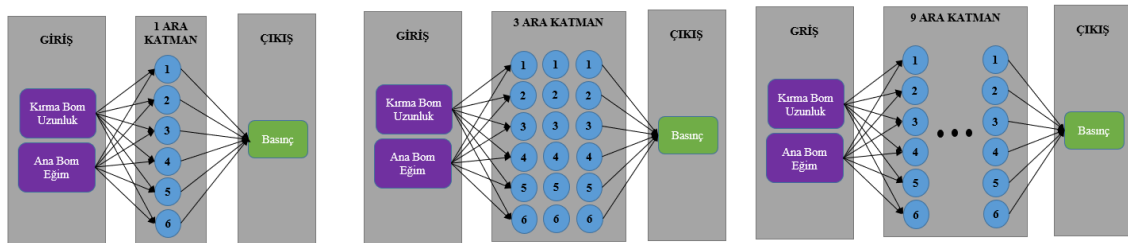
Şekil 4.2’de kesikli çizgili alanda genel bir moment kontrol sistemi bileşenleri yer almaktadır. Moment kontrol ünitesi sensörlerden verileri toplayarak anlık makine kapasite kullanımı belirler. Operatör kontrol birimi makine hareket istemini moment kontrol ünitesine iletir. Moment kontrol birimi, anlık makine kapasitesi limit kapasitesine ulaştığında, operatörün moment arttırıcı, riskli hareketlerine izin vermez. Eğer operatör hareket istemi moment azaltıcı yönde ise operatör hareketlerine izin verilir. İzin işlemi verildikten sonra moment kontrol birimi makine hareket birimine bilgi göndererek geçerli makine hareketi, güvenli bir şekilde sağlanır. Bir hareket yapıldığında, yükün döndürme merkezine olan dik uzaklığı, azaltıyorsa moment azaltıcı, arttırıyorsa moment arttırıcı harekettir. Örneğin Bom uzatmak moment arttırıcı bir harekettir. Yükün dik merkeze olan uzaklığını arttırmaktadır. Bom kaldırma ve indirme hareketlerinde, bom eğimlerinin pozitif ve negatif olduğu iki durum söz konusudur. Eğer bom eğimleri pozitif ise kaldırma hareketinde, yükün merkeze olan uzaklığı azalacağından moment azaltıcı harekettir. Eğer bom eğimi negatif ise önceki durumun tam tersi olarak, yükün yere indirilmesi, merkeze olan dik uzaklığı azaltacağından moment azaltıcı harekettir. Buraya kadarki kısım klasik moment kontrol algoritmasının genel yapısının açıklamasıdır.

Şekil 4.2'deki Derin YDA modülü sisteme eklendiğinde, moment kontrol ünitesi anlık makine kapasitesini hesapladığı sensör verilerini YDA modülüne gönderir. YDA modülü daha önceden eğitilmiş olan modeli kullanarak gelen verileri bu model ile analiz edip moment kontrol birimine sürekli olarak ileri zamanlı anlık basınç tahminlerini iletir. Böylece moment kontrol birimi kaza ya da riskli çalışma bölgesine gelmeden operatör istemci birimine geri bildirimde bulunur.

Sesli ya da görsel geri bildirim alan operatörde farkındalık oluşturularak operatörün daha dikkatli olması sağlanır. Böylece güvenlik seviyesi artırılmış olur. Moment kontrol ünitesi riskli çalışmayı önceden algıladığı zaman operatör hareket istemlerini emniyet açısından yavaşlatabilir.

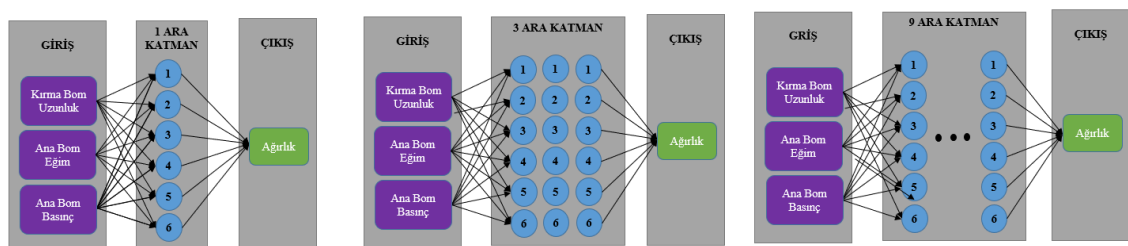
4.4. Farklı İterasyon ve Katman Sayılarına Göre YSA Modelinin Çalıştırılması

Bölüm 3.1'de anlatılan kaldırma veri seti, dört farklı yaklaşımla YSA uygulanmıştır. Model 1 ve Model 2 de basınç tahmini yapılırken Model 3 ve Model 4'te ağırlık tahmini yapılmıştır.



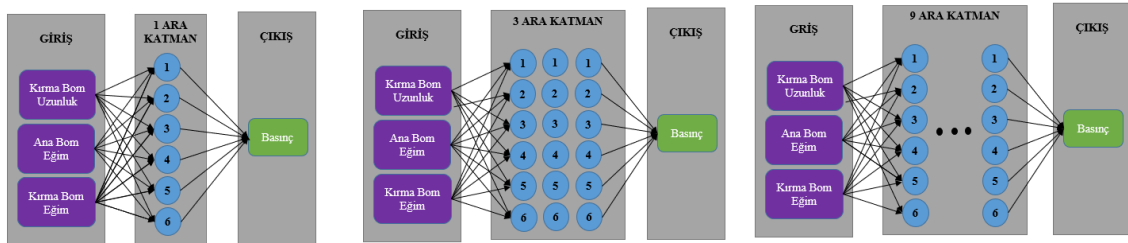
Şekil 4.3 Model 1

Şekil 4.3'te iki giriş bir çıkışlı YSA içeren Model 1 görülmektedir. Bu modelden 1, 3 ve 9 ara katmana sahip 3 farklı uygulama gerçekleştirilmiştir. Her katmanda 6 nöron kullanılmıştır. Her bir model üzerinde 30, 300 ve 3000 iterasyon koşturulmuştur.



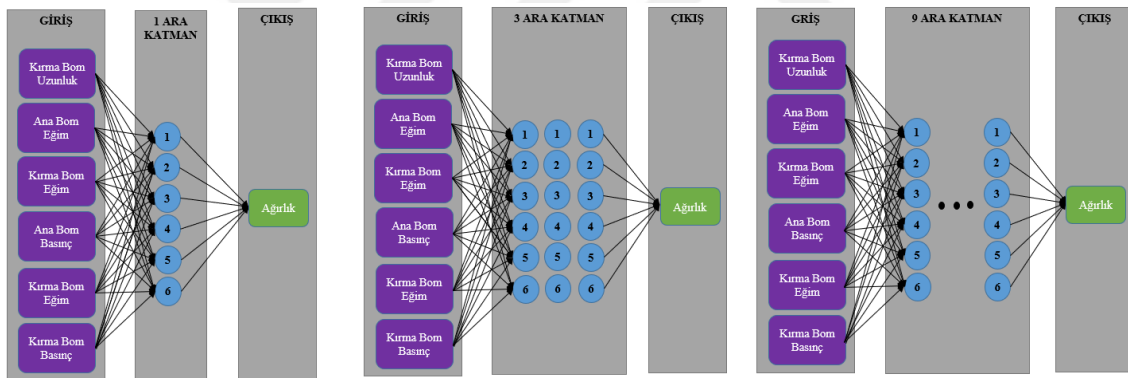
Şekil 4.4 Model 2

Şekil 4.4'te üç giriş bir çıkışlı YSA içeren Model 2 görülmektedir. Bu modelden 1, 3 ve 9 ara katmana sahip 3 farklı uygulama gerçekleştirilmiştir. Her katmanda 6 nöron kullanılmıştır. Her bir model üzerinde 30, 300 ve 3000 iterasyon koşturulmuştur.



Şekil 4.5 Model 3

Şekil 4.5'te üç giriş bir çıkışlı YSA içeren Model 3 görülmektedir. Bu modelden 1, 3 ve 9 ara katmana sahip 3 farklı uygulama gerçekleştirilmiştir. Her katmanda 6 nöron kullanılmıştır. Her bir model üzerinde 30, 300 ve 3000 iterasyon koşturulmuştur.



Şekil 4.6 Model 4

Şekil 4.6'da beş giriş bir çıkışlı YSA içeren Model 4 görülmektedir. Bu modelden 1, 3 ve 9 ara katmana sahip 3 farklı uygulama gerçekleştirilmiştir. Her katmanda 6 nöron kullanılmıştır. Her bir model üzerinde 30, 300 ve 3000 iterasyon koşturulmuştur.

Çizelge 4.5'te dört modelin farklı ara katman ve farklı iterasyonlardaki sonuçları gösterilmiştir. Bu sonuçların eğitim ve tahmin esnasındaki işlem süreleri Çizelge 4.6'da gösterilmiştir. Eğitim de en uzun süre Model 4'ün 9 ara katmanla 3000 iterasyonla eğitilmesinde 156 sn olarak ölçülmüştür. En kısa eğitim süresi Model 1'in 1 ara katman ile 30 iterasyon sonunda 1,9 sn olarak ölçülmüştür. Modeller eğitildikten sonra tahmin minimum 3,1 ms 11,3 ms arasında ölçülmüştür.

Çizelge 4.5 YSA Tahmin sonuçları

Ara Katman	İterasyon	Basınç Tahmini Mutlak Hata (%)		Ağırlık Tahmini Mutlak Hata (%)	
		Model 1	Model 2	Model 3	Model 4
1	30	97,30	94,80	99,88	98,96
1	300	7,26	9,61	99,9	43,3
1	3000	78,50	2,90	5,06	1,8
3	30	17,78	99,78	99,96	74,32
3	300	3,12	3,05	22,18	99,92
3	3000	3,01	2,94	52,2	0,2
9	30	10,50	99,70	31,17	49,05
9	300	6,30	3,16	1,63	0,9
9	3000	78,5	78,51	50,23	0,99

Çizelge 4.6 YSA Eğitim ve tahmin süreleri

Ara Katman	İterasyon		Zaman (Saniye)			
			Model 1	Model 2	Model 3	Model 4
1	30	Eğitim	1,9	2,06	2,05	2,14
		Tahmin	0,0065	0,0049	0,0053	0,0049
1	300	Eğitim	11,24	11,39	11,5	11,59
		Tahmin	0,0059	0,0073	0,0059	0,007
1	3000	Eğitim	95,27	96,83	101,09	101,72
		Tahmin	0,0035	0,0031	0,0042	0,0087
3	30	Eğitim	2,28	2,42	2,61	2,68
		Tahmin	0,0049	0,0059	0,059	0,0048
3	300	Eğitim	12,51	12,63	12,87	13,01
		Tahmin	0,0079	0,0079	0,0061	0,0042
3	3000	Eğitim	109,26	110,72	115,61	118,05
		Tahmin	0,0041	0,0076	0,0059	0,0065
9	30	Eğitim	3,77	4,18	4,04	4,39
		Tahmin	0,0087	0,0069	0,0069	0,0089
9	300	Eğitim	16,44	16,17	17,12	18,71
		Tahmin	0,0079	0,007	0,0099	0,0089
9	3000	Eğitim	131,15	142,57	155,18	156,34
		Tahmin	0,0059	0,0077	0,0113	0,0064

4.5. K-En Yakın Komşu Modelinin Farklı K Sayılarına Göre Çalıştırılması

Bölüm 3'te anlatılan 4 farklı yaklaşımla kaldırma veri seti 3, 30 ve 300 komşuluk değerleri için çalıştırıldığında Çizelge 4.7'deki değerler elde edilmiştir. Model 1 ve Model 2, basınç tahmininde K=30'dan itibaren ciddi sapmalara sahiptir. Model 3, Model 4 ağırlık tahmininde K=3 ve K=30 için en iyi performansı sergilerken K=300 için büyük bir osilasyon ortaya çıkmıştır.

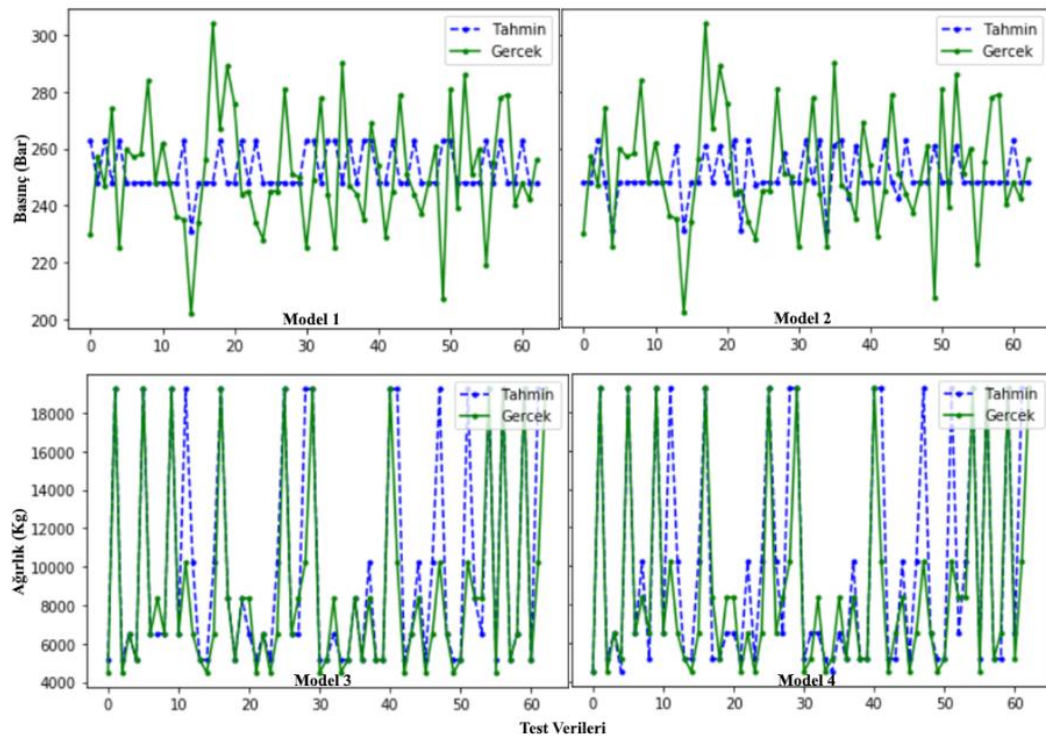
Çizelge 4.7 Farklı K değerleri için K-EYK sonuçları

Komşu (K)	Basınç Tahmini Ortalama Kareysel Hata		Ağırlık Tahmini Ortalama Kareysel Hata	
	Mode 1	Mode 2	Mode 3	Mode 4
3	6,60	7,50	0	0
30	27,36	31,41	0	0
300	539,38	420,05	9049873	9971377

Çizelge 4.8’de ise farklı K değerleri uygulamasındaki eğitim ve tahmin süreleri verilmiştir. Modellerin eğitim süreleri 1,01 ms ile 3,98 ms’ye arasında değişmiştir.

Çizelge 4.8 Farklı K Değerleri için eğitim ve tahmin süreleri

Komşu (K)	Uygulama	Zaman (ms)			
		Mode 1	Mode 2	Mode 3	Mode 4
3	Eğitim	1,01	3	2	2,1
	Tahmin	3,98	3,01	2	2,99
30	Eğitim	1,52	2	1,99	1,99
	Tahmin	2,99	3,99	2,99	3,99
300	Eğitim	2,01	1,98	2	1,99
	Tahmin	6,93	5,98	4,98	6,98

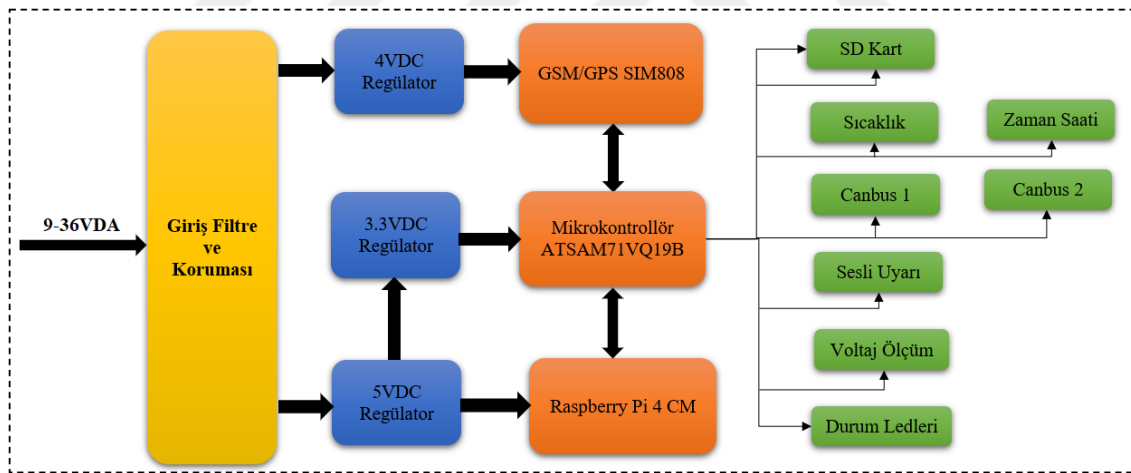


Şekil 4.7 K=300 için tahmin sonuçları

Şekil 4.7’de $K=300$ komşuluk değeri için sonuçlar paylaşılmıştır. Sol üstte Model 1, sağ üstte Model 2, sol altta Model 3, sağ altta Model 4 yer almaktadır. Model 3 ve Model 4’te ağırlık tahmini yapılmıştır. Düşey eksen kg cinsinden ağırlığı göstermektedir. Model 1 ve Model 2’de basınç tahmini yapılmıştır. Dikey eksenler bar cinsinden basıncı göstermektedir. Dört modelde de grafiklerdeki yatay eksen modellere uygulanan test verilerinin sıralamasını göstermektedir. Bölüm 3.2.2’de yer alan $K=30$ değerleri ile kıyaslandığında, $K=300$ için tahmini gösteren kesikli mavi çizginin, gerçek değer olan noktalarla örtüşmediği gözlemlenmiştir.

4.6. Vinç Güvenlik Asistanı İçin Gömülü Sistem Tasarımı

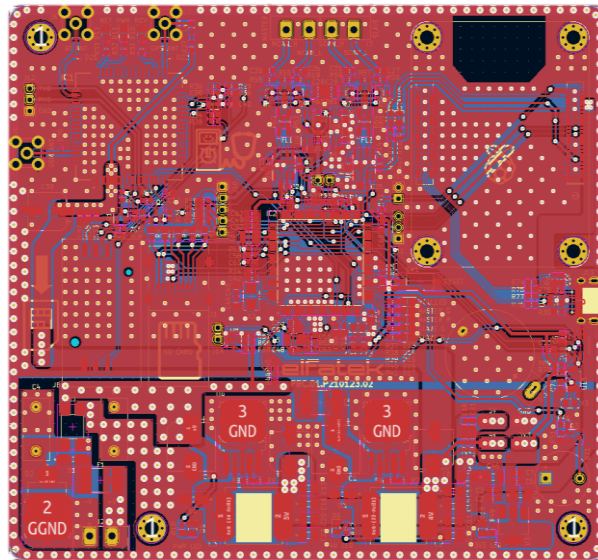
Bilgisayar ortamında eğitilen modellerin uygulaması için yüksek işlem gücüne ihtiyaç vardır. Gömülü tasarımda tahmin işlemi için “Raspberry Pi 4 Compute Module”, tahmin sonucunun çevre birimlerin iletişimi için ATSAMV71Q19B 32bitlik bir mikrokontrolör kullanılmıştır.



Şekil 4.8 Gömülü sistem blok şeması

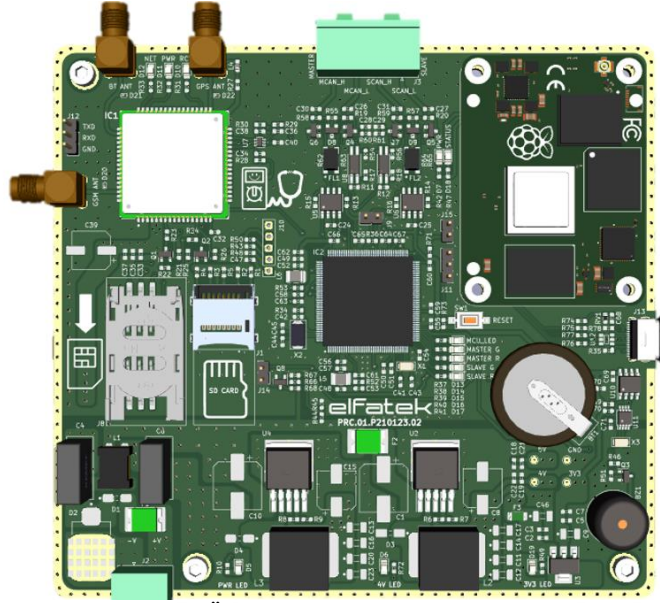
Şekil 4.8’de uygulaması yapılan sistemin blok şeması vardır. Moment kontrol sistemi, kamyon üzerine montaj edilen mobil vinçler için kullanımı yasal zorunluluktur (TSE EN12999). Kamyonlar büyüklüklerine göre tek akülü ya da çift akülü olmaktadır. Bu yüzden giriş gerilimi iş makinelerinde 12-24V olarak tanımlanmaktadır. Otomotiv sektöründe ise bu aralık 9-36VDA olarak tercih edilmektedir. Devre girişinde ters polarizasyon koruması, yük boşalması, aşırı sıcaklık, aşırı akım ve anlık yüksek gerilim koruması vardır. Korumalardan sonra hattaki gürültülerin bastırılması için ortak mod pi

filtresi kullanılmıştır. Filtreden geçen DA besleme kaynağı, üç farklı regülatör ile 5V, 4V ve 3,3V'ta çevrilmiştir. Sim808 modülü ile kart üzerindeki veriler sms ve TCP-IP ile farklı bir noktaya aktarmak içindir. Raspberry Pi CM4 modülü eğitilmiş modelin çalıştırıldığı işlem birimidir. Raspberry ve SIM808 modülleri mikrokontrolöre Rs232 ile bağlanmaktadır. ATSAMV71Q19B 32 bitlik kontrolör 300Mhz osilatör frekansı ile çalıştırılmıştır. Büyük veri transferinde enerji kesintisi vb. durumlardan dolayı verilerin kaybolmaması için öncelikle SD karta kayıt yapılmaktadır. Güvenlik amacıyla TMP75AQDRQ1 ile ortam sıcaklığı ölçülmüştür. Zaman saati için PCF85363ATT/AJ kullanılmıştır. Sıcaklık ve zaman saati I2C iletişim protokolü üzerinden çalıştırılmıştır. Moment kontrol sistemindeki diğer bileşenler için canbus kanalları kullanılmaktadır. Şekil 4.2'de verilen Moment Kontrol Ünitesi ile canbus hattı üzerinden haberleşme yapılmıştır. Durum ledleri ve sesli uyarı, çalışma esnasında devre üzerinden geri besleme almak için eklenmiştir. Besleme voltajının güvenli seviyede olduğunu algılamak için mikrokontrolör analog/dijital çevirici girişi kullanılmıştır. SD karta yazma-okuma esnasında, besleme voltajının kesilmesi dosya yapısının bozulmasına sebep olmaktadır. Besleme voltajının ölçülmesi ile voltaj düşüşü algılanarak SD kart işlemleri iptal edilerek güvenli okumaz yazma işlemi sağlanmıştır.



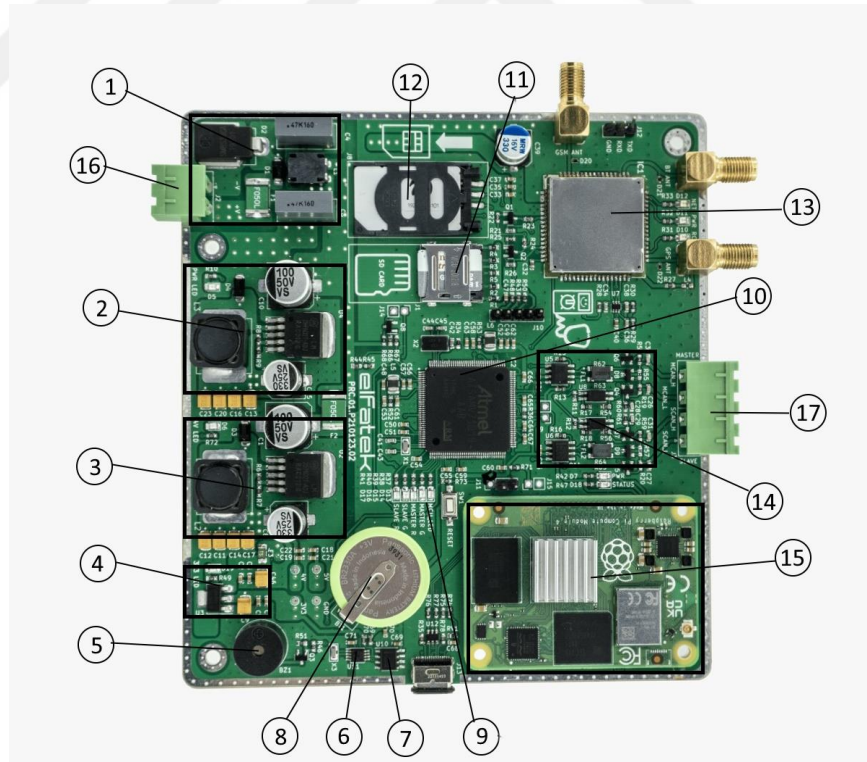
Şekil 4.9 Baskı devre tasarımı

Şekil 4.9'da uygulama devresinin baskı devre tasarımı vardır. Devre iki katmanlı olarak KiCad programının 6.0.7 versiyonu kullanılarak tasarlanmıştır.



Şekil 4.10 Üç boyutlu PCB tasarımı

Şekil 4.10'da ise tasarımı yapılan uygulama devresinin KiCad programı üzerindeki üç boyutlu tasarımı yer almaktadır.



Şekil 4.11 Dizilmiş baskı devre

Tasarlanan devre elemanları dizildikten sonraki baskı devrenin fotoğrafı Şekil 4.11'de gösterilmiştir.

Şekil 4.11'deki tanımlamalar;

- 1- Giriş filtre ve koruma devresi
- 2- Raspberry pi 4 modülü için 5VDA regülatör devresi.
- 3- SIM808 için 4VDA regülatör devresi.
- 4- ATSAMV71 mikrokontrolör için 3,3VDA regülatör devresi.
- 5- Sesli uyarı buzzer
- 6- Zaman saati PCF85363ATT/AJ
- 7- Sıcaklık sensörü TMP75AQDRQ1
- 8- Zaman saati için Li-on pil BR-2330A/HDN
- 9- Durum gösterge ledleri
- 10- Mikrokontrolör ATSAMV71Q19B
- 11- Sd kart
- 12- Gsm Sim kart
- 13- SIM808 Gsm/Gps modülü
- 14- Canbus kanalları
- 15- Raspberry pi 4 modülü
- 16- Giriş besleme soketi
- 17- Canbus bağlantı soketi

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1 Sonuçlar

Sonuçlar bölümü dört farklı model için ayrı ayrı ele alınmıştır. Modeller üzerinde ki karşılaştırmalar, Çizelge 4.1, Çizelge 4.2, Çizelge 4.3 ve Çizelge 4.4'e bakarak yorumlanmıştır.

5.1.1 ÇDR ile Elde Edilen Sonuçlar

Çoklu doğrusal regresyon ile basınç tahmininde, yük tahmininden daha iyi sonuçlar elde edilmiştir. Basınç tahmini içerisinde de uzatma verileri üzerinde kaldırma veri setine göre daha iyi sonuç elde edilmiştir. Bu modelde en iyi sonuç, 11 bar ortalama karesel hata değeri olarak elde edilmiştir. Bu değer moment kontrol sistemi için kabul edilebilir sınırdadır değildir.

ÇDR veri tahminleri, dört farklı yaklaşım için incelendiğinde, Model 2'de her zaman Model 1'den daha iyi sonuç elde edilmiştir. Bu sebeple Model 2'de Model 1'e göre ilave kırma bom eğim verisinin kullanımı tahmin performansını iyileştirmiştir.

Buna karşılık uygulama Modeli 3, Model 4 için sisteme eklenen kırma bom eğim ve kırma bom basınç parametreleri ÇDR ile yük tahmininde, sonucu değiştirmemiştir.

5.1.2 K-EYK ile Elde Edilen Sonuçlar

K-EYK bir sınıflandırma algoritmasıdır. Kaldırma veri seti basınç sınıflandırmasında ÇDR'ye göre çok daha iyi sonuçlar alınmıştır. Uzatma veri seti basınç sınıflandırmasında ise ÇDR'ye göre 23 kat daha kötü sonuç elde edilmiştir. Çalışılan veri setinde 6 farklı ağırlık değeri sınıflandırılırken, 220 adet basınç verisi sınıflandırılmıştır. Bu sebeple K-EYK modelinde yük sınıflandırması, basınç sınıflandırmasından daha iyi sonuç vermiştir. Uzatma veri seti basınç tahminleri kabul edilebilir seviyede olmadığı tespit edilirken, Model 2'de Model 1'e göre ilave eklenen kırma bom eğim parametresi ile hatalı tahmin değerlerinin yarı yarıya azaldığı gözlemlenmiştir.

Hem kaldırma hem uzatma veri setindeki verilerle, uygulama modeli 3 ve 4'e göre, yük tahmini yapıldığında, K-EYK algoritması %100 doğrulukla ağırlıkları sınıflandırmıştır.

5.1.3 YSA ile Elde Edilen Sonuçlar

Kaldırma veri seti için hem basınç hem yük tahmininde YSA dört farklı uygulama modelinde de en az %98 doğruluk oranı ile tahmin yapmıştır. Basınç tahmininde uygulama modeli 2'de sisteme eklenen kırma bom eğimi ile tahmin sonucu %99,7'den %98,3'e düşmüştür. Aynı durum uygulama modeli 4'te 3'e göre ilave eklenen kırma bom eğim, kırma bom basınç parametreleri ile tahmin sonucu %99,99'dan %99,93'e düşmüştür. Hata farkları küçük de olsa modele yeni eklenen giriş parametreleri tahmin doğruluğunu düşürmüştür.

Uzatma veri seti basınç tahminini uygulama modeli 1 için (%97,8) daha iyi yaparken uygulama modeli için (%17,5) kötü sonuç elde edilmiştir. Model 3 ve 4 içinde %77,8 %21,9 değerleri ile iyi bir tahmin sonucu elde edilememiştir.

5.1.4 Derin YDA ile Elde Edilen Sonuçlar

Derin YDA diğer modellere göre farklı bir uygulama yaklaşımı tercih edilmiştir. Diğer modellerde anlık tahmin yapmaya çalışırken zaman serisi ile ileri zamanlı basınç tahmini yapılmıştır. Bu tahminde 0,34 bar ortalama hata ile moment kontrol için kabul edilebilir seviyede bir tahmin yapılmıştır. Operatör el meleke kabiliyeti ya da rüzgâr etkisi ile bile hidrolik silindirlere zaman zaman 1-2 barlık dalgalanma olabilmektedir. Test ortamında 10240 kg ve 19240 kg ile büyük yarıçaplarla çalışırken şase esnemesinden dolayı yaklaşık 2 barlık dalgalanma görülmüştür. Bu yüzden 0,34 bar ortalama kabul edilebilir seviyededir.

5.1.5 Gömülü Sistem Donanımı ile Elde edilen Sonuçlar

Bilgisayar ortamında yapılan eğitim ve tahmin iterasyonları Windows 10 işletim sistemine sahip, Intel Core i7-6700 2.6GHz, 24GB Ram olan bir bilgisayarda çalıştırılmıştır. Gömülü sistem üzerindeki uygulamalar Raspbian işletim sistemine sahip, ARM-Cortex 1.5GHz, 4GB RAM olan bir Raspberry modülü üzerinde test

edilmiştir. Karşılaştırmalar Bölüm 4.4'te gösterilen 4 farklı model üzerinde yapılmıştır. Ara katman sayısı 1 olan ve 30 iterasyon için Şekil 5.1'deki sonuç elde edilmiştir.

Ara Katman		Zaman (Sn)				
		Model 1	Model 2	Model 3	Model 4	
Bilgisayar	1	Eğitim	1,9	2,06	2,05	2,14
		Tahmin	0,0065	0,0049	0,0053	0,0049
	3	Eğitim	2,28	2,42	2,61	2,68
		Tahmin	0,0049	0,0059	0,059	0,0048
	9	Eğitim	3,77	4,18	4,04	4,39
		Tahmin	0,0087	0,0069	0,0069	0,0089
Raspberry	1	Eğitim	60728	51741	103665776	103549464
		Tahmin	0,0097	0,009	0,009	0,0099
	3	Eğitim	14426	12968	98810888	90772184
		Tahmin	0,0045	0,0043	0,0095	0,0087
	9	Eğitim	613	63577	32682656	29645132
		Tahmin	0,0008	0,0099	0,0052	0,0049

Şekil 5.1 Bilgisayar ve Raspberry karşılaştırması (30 iterasyon için)

Şekil 5.1 incelendiğinde Raspberry tarafında eğitim yapmak oldukça zaman almaktadır. Bu sebeple işlemler bilgisayarda eğitildikten sonra Raspberry üzerinde çalıştırılmıştır. Bilgisayar ortamında eğitilen veriler pickle kütüphanesi ile binary dosyaya çevrilmiştir. Daha sonra Raspberry üzerinde binary dosyası tekrar pickle kütüphanesi ile okunmuştur (Ak, 2023). Okunan bu dosya eğitilmiş modelin matematiksel karşılığı olduğu için tahmin işlemlerinde milisaniye mertebesinde hesaplama yapılmıştır.

5.2 Öneriler

Yapay zeka tabanlı bir sistemi moment kontrol sistemine dahil etmek için klasik moment kontrol sisteminin çalışması iyi bilinmelidir. Yapay zeka modellerine gereksiz verilerin sunulması yanlış sonuçlar çıkaracak ve sistemin kararsız çalışmasına neden olacaktır. Uygulama yapılacak makine iyi tanınmalıdır. Makinenin kinematik olarak bazı pozisyonları alamayacaktır. Bu durumda yapay zeka modellerine bu verilerin sunulması yine hatalı çalışmaya sebep olmaktadır. Bu sebeple veri girişlerinde limitlemeler olmalıdır. Örneğin test edilen makine kaldırma bomu en yüksek 82°'ye erişebilmektedir. Bu sebeple daha büyük eğim değerlerinin girilmemesi gerekir.

Buradaki çalışma araç üstüne monteli mobil hidrolik bir vinç için yapılmıştır. Benzer metot ve yöntemler farklı iş makineleri ile denenerek farklı sonuçlar türetilir.

Bu konuda çalışmak isteyenler zaman serileri ile YSA modellerini kombine çalıştırarak farklı sonuçlar elde edebilirler. Bu çalışmada yapay zeka ile moment kontrol sistemine dahil edilebilecek anlık bir tahmin üzerine çalışırken, ileri zamanlı tahmin ile yük limitleme sistemine farklı bir çözüm geliştirilmiştir. İleri zamanlı tahminler ile farklı iş makineleri içinde yakıt verimliliği, hareket osilasyonlarının sönümlenmesi gibi farklı konularda çalışmalar yapılabilir.

Uygulama devresi tasarımında doğrusal regresyon kullanacak araştırmacılar bir işletim sistemi yerine yüksek tabanlı mikrokontrolör kullanabilir.



KAYNAKLAR

- Ak, Y. E., 2023 [online] <https://ai.yemreak.com/veri-bilimi/pickle> [Ziyaret Tarihi: 21 Ocak 2023]
- Balkan, Tuna, "A moment limiter for mobile cranes." *International Journal of Heavy Vehicle Systems* 2.2 (1995): 174-183.
- Çavuş, Taçgın, (2016). Investigation of the reasons for the accidents in the construction sector in Turkey. *Academic Platform Journal of Engineering and Smart Systems IV-II* (2016) 13-24.
- Çelebi, Mehmet, Kompleks değerli yapay sinir ağları için yeni aktivasyon fonksiyonlarının tanımlanması. MS thesis. Konya Teknik Üniversitesi, 2020.
- Eşkinat, Rana, and Filiz Tepecik. "İNŞAAT SEKTÖRÜNE KÜRESEL BAKIŞ." *Afyon Kocatepe Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi* 14.1 (2012): 25-41.
- Fang, Yihai, and Yong Kwon Cho. "Effectiveness analysis from a cognitive perspective for a real-time safety assistance system for mobile crane lifting operations." *Journal of Construction Engineering and Management* 143.4 (2017): 05016025.
- IMDER, Türkiye İş Makinaları Distribütörleri ve İmalatçıları Birliği. (2016). *Avrasya'nın Üretim ve Teknoloji Üssü Türkiye Oluyor*. Erişim Tarihi: 09.02.2017, <http://www.imder.org.tr/sektor-hakkinda.aspx>.
- Jeng, Shyr-Long, Chia-Feng Yang, and Wei-Hua Chieng. "Outrigger force measure for mobile crane safety based on linear programming optimization#." *Mechanics Based Design of Structures and Machines* 38.2 (2010): 145-170.
- Karagözler, Kerim, Süleyman. Canan, and Murat. Ceylan. (2021) "Application Example of Deep Echo State Neural Networks Case Study: Prediction of Mobile Hydraulic Crane's Pressure and ECU Temperatures."
- Karagözler, Kerim, Süleyman. Canan, and Murat Ceylan., (2022). Mobil Hidrolik Vinçlerde Yapay Zeka Tabanlı Kaza uyarı Sistemi. 4. International Congress on Engineering Sciences and Multidisciplinary Approaches 03-05 November Istanbul
- Karagözler, Kerim, Furkan Yeşil, and Süleyman Canan. "Mobil Hidrolikte Canbus,(CANOPEN & CANJ1939)." IX. Ulusal Hidrolik Pnömatik Kongresi. 16-19 Kasım İzmir
- Kütükcü, Memiş., 2019. Sektörümüz Ülkeye Katma Değer Sağlıyor. *Moment-expo Dergisi* 64. Sayı 2019

- Moi, Torbjørn, Andrej Cibicik, and Terje Rølvåg. "Digital twin based condition monitoring of a knuckle boom crane: An experimental study." *Engineering Failure Analysis* 112 (2020): 104517.
- Noh, Soo-Hoon, et al. "Economical Auto Moment Limiter for Preventing Mobile Cargo Crane Overload." *Sensors* 20.21 (2020): 6355.
- Pehlivan, Mustafa, Batuhan Özakın, and Abdülvahap Çakmak. "Türkiye’de İş Makineleri Operatörlüğü Programının Önemi ve Geleceği." *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 8.Özel (Special) 1 (2017): 140-145.
- Red’kin, A. V., et al. "Comprehensive mobile crane control and safety system." *International Conference "Actual Issues of Mechanical Engineering"*(AIME 2018). Atlantis Press, 2018.
- Song, Kun, and Yao Feng Xue. "Design of control system for knuckle boom crane." *Applied Mechanics and Materials*. Vol. 624. Trans Tech Publications Ltd, 2014.
- Taşcı, Erdal, and Aytuğ Onan. "K-en yakın komşu algoritması parametrelerinin sınıflandırma performansı üzerine etkisinin incelenmesi." *Akademik Bilişim* 1.1 (2016): 4-18.
- TSE, EN13000, EN12999, EN13849 [online] <https://intweb.tse.org.tr/> [Ziyaret Tarihi: 21 Ocak 2023]