



T.C.
KONYA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

AĞIR VASITA FREN SİSTEMLERİNDE
KULLANILAN ACİL DURUM VALFİNİN
DENEYSEL İNCELENMESİ VE
YAPAY SİNİR AĞI İLE MODELLENMESİ

İhsan ÇETİN

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Makina Mühendisliği Anabilim Dalı

Haziran-2025
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

İhsan ÇETİN tarafından hazırlanan “Ağır Vasıta Fren Sistemlerinde Kullanılan Acil Durum Valfinin Deneysel İncelenmesi ve Yapay Sinir Ağı ile Modellenmesi” adlı tez çalışması 20/06/2025 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Makina Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Başkan

Prof. Dr. Mete KALYONCU
Konya Teknik Üniversitesi

.....

Danışman

Dr. Öğr. Üyesi Muhammed Arif ŞEN
Konya Teknik Üniversitesi

.....

Üye

Dr. Öğr. Üyesi Hasan Hüseyin BİLGİÇ
Necmettin Erbakan Üniversitesi

.....

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Mevlüt UYAN
Enstitü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

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

DECLARATION PAGE

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

İhsan ÇETİN

20.06.2025

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

AĞIR VASITA FREN SİSTEMLERİNDE KULLANILAN ACİL DURUM VALFİNİN DENEYSEL İNCELENMESİ VE YAPAY SİNİR AĞI İLE MODELLENMESİ

İhsan ÇETİN

Konya Teknik Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Makina Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Muhammed Arif ŞEN

2025, 66 Sayfa

Jüri

Dr. Öğr. Üyesi Muhammed Arif ŞEN

Prof. Dr. Mete KALYONCU

Dr. Öğr. Üyesi Hasan Hüseyin BİLGİÇ

Acil durum valfinin, ağır vasıta araçlarında römorkların manuel veya yarı otomatik şekilde ani frenleme yapabilmesi amacıyla kullanılan pnömatik bir fren valfi olması sebebiyle, dinamik performansı ve tepki süresi kritik öneme sahiptir. Bu çalışma kapsamında, öncelikle konu ile ilgili literatürdeki örnek çalışmalar ve kapsamlı endüstriyel uygulamalar detaylı bir şekilde incelenmiş ve frenleme süresine etki etmesi beklenen valf dinamiğine ait yaylara ait katsayılar, basınç, debi gibi parametreler araştırılmıştır. Sistemin giriş parametreleri olarak emniyet yay katsayısı, çek valf yay katsayısı ve hortum çapı belirlenmiş, deneysel tasarım yöntemleri kullanılarak, sistem parametrelerinin frenleme tepki süresi üzerindeki etkisi incelenmiş ve tam faktöriyel bir deney tasarım oluşturulmuştur. Sistemin frenleme tepki süresini ölçmek amacıyla bir deney düzeneğini oluşturulmuş ve kapsamlı deneysel çalışmalar yürütülmüştür. Elde edilen deneysel verilerin regresyon analizi ile fren tepki süresine ait bir matematiksel model elde edilmiştir. Sistemin modelleme performansını geliştirmek amacıyla, deneysel verilerin yapay sinir ağı tabanlı modellenmesine yönelik çalışmalar yapılmıştır. Deneysel veri setinin farklı nöron sayıları, öğrenme algoritmaları ve eğitim-test-doğrulama yüzdeleri belirlenerek eğitilmesine yönelik modelleme çalışmaları gerçekleştirilmiş, daha az hata değerine sahip daha yüksek doğrulukta bir model araştırılmıştır. Elde edilen matematiksel ve yapay sinir ağı modellerinin, giriş parametrelerine bağlı olarak valf tepki süresini modelleme ve tahminleme performansları karşılaştırmalı olarak incelenmiş ve sayısal sonuçlar sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Ağır Vasıta, Acil Durum Valfi, Havalı Fren Sistemi, Matematiksel Modelleme, Yapay Sinir Ağı

ABSTRACT

MS THESIS

THE EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF EMERGENCY VALVE USED IN HEAVY VEHICLE BRAKE SYSTEMS AND MODELLING WITH ARTIFICIAL NEURAL NETWORK

İhsan ÇETİN

**Konya Technical University
Institute of Graduate Studies
Department of Mechanical Engineering**

Advisor: Asst. Prof. Dr. Muhammed Arif ŞEN

2025, 66 Pages

Jury

Asst. Prof. Dr. Muhammed Arif ŞEN

Prof. Dr. Mete KALYONCU

Asst. Prof. Dr. Hasan Hüseyin BİLGİÇ

Since the emergency valve is a pneumatic brake valve used for manual or semi-automatic sudden braking of trailers in heavy vehicles, its dynamic performance and response time are of critical importance. Within the scope of this study, firstly, sample studies in the literature and comprehensive industrial applications related to the subject were examined in detail and parameters such as coefficients, pressure, and flow rate belonging to the springs of the valve dynamics expected to affect the braking time were investigated. The safety spring coefficient, check valve spring coefficient and hose diameter were determined as the input parameters of the system, the effect of the system parameters on the braking response time was examined using experimental design methods and a full factorial experimental design was created. In order to measure the braking response time of the system, an experimental setup was created, and comprehensive experimental studies were carried out. A mathematical model of the braking response time was obtained by regression analysis of the obtained experimental data. In order to improve the modelling performance of the system, studies were carried out on artificial neural network-based modelling of experimental data. Modelling studies were carried out to train the experimental data set by determining different neuron numbers, learning algorithms and training-test-validation percentages, and a higher accuracy model with less error values was investigated. The performances of the obtained mathematical and artificial neural network models in modelling and estimating the valve response time depending on the input parameters were comparatively examined and numerical results were presented.

Keywords: Heavy Vehicle, Emergency Valve, Air Brake System, Mathematical Modelling, Artificial Neural Network,

ÖNSÖZ

Tez çalışmasının belirlenmesinde, planlanmasında ve yürütülmesinde rehberlik eden, bilgi ve birikimini esirgemedi her aşamada katkı sunan, tecrübelerinden fazlasıyla faydalandığım danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Muhammed Arif ŞEN'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Deney düzeneğinin oluşturulmasında desteğini esirgemeyen değerli iş arkadaşım Duran Arif GÖÇER'e, tecrübesinden yararlandığım Ar-Ge Merkezi yöneticisi Emre GÜL'e, sağladıkları imkânlardan dolayı Vaden Otomotiv A.Ş. firmasına teşekkür ederim.

En değerli eşim, oğlum, babaannem ve babama; her zaman yanımda oldukları ve desteklerini hiçbir zaman esirgemedikleri için sonsuz teşekkür ederim.

İhsan ÇETİN
KONYA-2025

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
ÖNSÖZ	vi
İÇİNDEKİLER	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR	viii
1. GİRİŞ	1
1.1. Tezin Amacı.....	2
1.2. Tezin Önemi	3
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	4
3. FREN SİSTEMLERİ VE ACİL DURUM VALFİ	14
3.1. Pnömatik Fren Sistemleri.....	15
3.2. Acil Durum Valfi	20
4. SİSTEM KURULUMU VE DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	23
4.1. Sistem Dinamiğine Ait Parametrelerin Belirlenmesi.....	23
4.2. Deney Düzenineğin Bileşenleri ve Kurulumu	30
4.3. Veri Setinin Elde Edilmesi	34
4.4. Deney Verilerin Varyans Analizi	35
4.5. Matematiksel Modelin Elde Edilmesi.....	39
5. SİSTEMİN YAPAY SİNİR AĞLARI TABANLI MODELLENMESİ	40
5.1. Yapay Sinir Ağı Elemanları.....	41
5.2. Yapay Sinir Ağı Mimarileri ve Öğrenme	44
5.3. Yapay Sinir Ağı ile Modelleme	47
6. ARAŞTIRMA SONUÇLARI.....	51
6.1. Deneysel Tasarım Analizine ait Sonuçlar.....	51
6.1. Yapay Sinir Ağı Modellerine ait Sonuçlar	52
7. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	61
KAYNAKLAR	63

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

ΔT	: Valfin frenleme tepki süresi
k_e	: Emniyet yay katsayısı/sabiti
k_c	: Çek valf yay katsayısı/sabiti
Q_h	: Bağlantı hortum çapı
x_i	: Girdi
W_n	: Ağırlıklar
b	: Bias (eğilim) değeri
$\sum$	: Girişlerin toplamını
n	: Veri sayısı
y_i	: Deneysel veri
$\bar{y}_i$	: Deneysel verinin ortalamasını
$\hat{y}_i$	: Tahmin edilen değer
R	: Korelasyon katsayısı
R^2	: Belirleme katsayısı
MSE	: Ortalama karesel hata
RMSE	: Ortalama karesel hatanın karekökü
mm	: Milimetre
$\emptyset$	: Çap
$^\circ$	: Derece
C	: Santigrat
ms	: Milisaniye
bar	: Basınç birimi
N	: Newton
s	: Saniye
α	: Parametre düzeyi
k	: Belirlenen parametre sayısı

Kısaltmalar

YSA	: Yapay Sinir Ağı / Artifical Neurol Network
PREV	: Acil Durum Valfi / Park Release Emergency Valve
MSE	: Ortalama Karesel Hata / Mean Squared Error
EBS	: Elektronik Frenleme Sistemi /Electronic Braking System
MLR	: Çoklu Doğrusal Regresyon / Multi Linear Regression
SVM	: Destek Vektör Makineleri
YBM	: Yapay Sinir Ağı Tabanlı Bulanık Mantık
LQR	: Doğrusal Kuadratik Denetleyici / Linear Quadritic Regulator
RSM	: Yüzey Yanıt Metodolojisi / Response Surface Methodology
ANFIS	: Uyarlamalı Ağ Tabanlı Bulanık Çıkarım/ Neuro-Fuzzy Inference System
YYY	: Yüzey Yanıt Yöntemi
S/N	: Sinyal/Gürültü Oranı

1. GİRİŞ

Teknolojinin hızlı gelişimiyle birlikte, araç güvenliği alanındaki ilerlemeler otomotiv endüstrisinin odak noktalarından biri haline gelmiştir. Sistemlerin teknolojiyle birleştirilerek sürekli iyileştirilmesi, yeni nesil güvenlik çözümlerinin tasarlanmasına olanak sağlamaktadır. Otomotiv alanındaki araştırmacılar, insan hayatını doğrudan etkileyen kazaların önüne geçebilmek ve sürüş güvenliğini daha da artırabilmek amacıyla, yapay zekâ yöntemleri ve yenilikçi teknolojiler üzerinde çalışmalarını devam ettirmektedir. Otomotiv sektöründe kaydedilen bu ilerlemeler, yolcu güvenliğine önemli katkılar sunmaktadır.

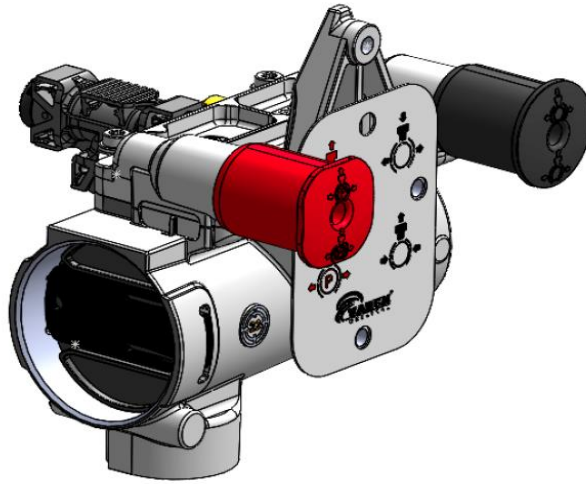
Fren sistemleri, araçların hız kontrolünü sağlamak ve güvenli bir hareket kontrolü gerçekleştirmek amacıyla kullanılan mekanik, hidrolik, elektromekanik ve pnömatik bileşenlerden oluşan, araç güvenliği için kritik yapılardır. Araçların toplam ağırlıklarının artması ve teknolojik gelişmelerle bağlı olarak hız limitlerinin yükselmesi, hidrolik fren sistemlerinin bazı durumlarda yetersiz kalmasına neden olabilmektedir. Özellikle yüksek hızlı hareket edebilen ağır vasıta araçlarda, daha dayanıklı ve etkili fren sistemlerine duyulan ihtiyaç giderek artmaktadır. Günümüzde bu gereksinimleri karşılamak için en güvenilir seçenek olarak pnömatik (havalı) fren sistemleri tercih edilmektedir. Havalı frenler, güçlü performansı, güvenilirliği ve sürekli yenilenebilir enerji kaynağı sağlayabilmesi sebebiyle ağır vasıtalar için ideal çözümler sunabilmektedir. Ağır vasıtaların havalı fren sistemlerinde meydana gelen arızalar, araçların güvenliğini ciddi oranda riske atabilmektedir. Araç hareket halinde iken oluşabilecek arızalar, sürücüsünün araç kontrolünü kaybetmesine yol açabilir. Bunun yanı sıra, araç durağan bir haldeyken de istem dışı bir hareket oluşması maddi hasarlara veya ölümlü kazalara neden olabilmektedir. Bu sebeple fren sistemlerinin tepki süresi hem sürücülerin hem de çevredeki diğer insanların güvenliği açısından hayati öneme sahiptir.

Bir insanın ani gelişen bir duruma tepki süresi genellikle 160-240 milisaniye (ms) aralığında olup, bu süre özellikle araçlarda acil frenleme durumunda oldukça önemlidir. Ani frenleme sırasındaki her milisaniye, aracın durma mesafesini doğrudan etkilediği için muhtemel kazaların önlenmesinde en belirleyici etken olabilmektedir. Bu nedenle, insanın tepki süresi de dikkate alınarak, fren sistemlerinin gecikmeleri en aza indirecek şekilde geliştirilmesi önemlidir. Bu alanda yapılan teorik ve deneysel çalışmaların artmasıyla, frenleme sistemlerinin performansları artırılabilir, daha güvenli, hızlı ve etkili çözümler sağlanabilecektir.

1.1. Tezin Amacı

Tez çalışması kapsamında Acil Durum Valfi (PREV) olarak adlandırılan valf sistemi ile ilgili kapsamlı ve güncel bir literatür taramasının yapılması, valfin tepki süresini etkileyen yay sabitleri, giriş-çıkış basınçları, debi gibi dinamik parametrelerin araştırılması, valfin frenleme süresini ölçmeye yönelik bir deney düzeneğinin tasarlanması ve kurulması, elde edilen veri setinin farklı yöntemler ile modelleme çalışmalarının gerçekleştirilmesi hedeflenmiştir. Elde edilen modellerin karşılaştırılması ve geliştirilmesi, bu sayede deneme ve test maliyetlerinin en aza indirilebilmesi amaçlanmaktadır.

Bu amaçla, öncelikle giriş parametrelerine bağlı olarak frenleme tepki süresine ait deneysel veriler ile sistemin varyans ve regresyon analizlerinin gerçekleştirilmesi, bir matematiksel denklemin elde edilmesi hedeflenmiştir. Sonrasında, YSA tabanlı modelleme çalışmaları ile matematiksel modelden daha yüksek performansa sahip bir modelin elde edilmesi hedeflenmiştir. Şekil 1.1’de Acil durum valfinin katı modeline ait bir görsel verilmiştir.



Şekil 1. 1. Acil Durum Valfi (Vaden Otomotiv)

Ayrıca, belirlenen giriş parametrelerinin frenleme tepki süresi üzerindeki etkilerinin, matematiksel model ile YSA modelinin tahmin performanslarının incelenmesi, YSA modellenmesinde belirlenen nöron sayısının, eğitim algoritmasının ve veri dağılım yüzdelilerinin model cevabı üzerindeki etkilerinin detaylı araştırılması hedeflenmiştir.

1.2. Tezin Önemi

Ağır vasıta araçlarına ait römorklarda araç üzeri sürüş pozisyonunda basınçlı hava hattının kopması veya kesilmesi durumunda acil durum valfi, römorkta bulunan imdatlı fren silindirlerindeki basınçlı havanın en kısa sürede tahliye edilmesini ve aracın fren yapmasını sağlar. Bu sayede olası kazaların önüne geçerek sürücünün ve çevredekilerin güvenliğini sağlar.

Ağır vasıta araçlardaki emniyet valf sistemleri, öngörülmeven durumlardaki ani basınç düşüşü nedeniyle oluşan kontrolsüz hareketleri önleyerek, aracın güvenli bir şekilde frenlenmesini sağlar. Bu sebeple, emniyet valfleri frenleme emniyeti bakımından önemli ve ekonomik değeri yüksek sistemlerdir.

Konu ile ilgili mevcut literatür çalışmalarının sınırlı olduğu, benzer çalışmaların genellikle sistemin mekanik tasarımı üzerine odaklandığı ve sınırlı sayıda deneysel çalışmalarının gerçekleştirildiği görülmektedir. Bu tez kapsamında, sistemin dinamik performansına yönelik kapsamlı deneysel çalışmaların yanı sıra, sistemin benzetimine de imkân sağlayabilecek farklı yöntemler ile modelleme çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda, elde edilen sonuçların sistem performansının daha etkin bir şekilde incelememesini ve değerlendirilmesine imkân sağlayabilecektir.

Valfin performansını etkileyebilecek parametrelerin ve sınırlarının net olarak belirlenmesi, tasarım süreçlerinin daha verimli ve kontrollü ilerlemesine olanak tanıyabilecektir. Deneysel çalışmalar neticesinde elde edilen tecrübe, benzer sistemlerin geliştirilmesinde de öngörü sağlayabilecektir.

Geliştirilen deney düzeneği sayesinde, sistem römorktan bağımsız bir ortamda test edilebilecek, frenleme tepki süresi başta olmak üzere birçok çıkış cevapları toplanabilecek, kayıt altına alınabilecek ve etkili analizler yapılabilecektir.

Tez çalışmasında elde edilen sonuçlar, otomotiv endüstrisindeki benzer sistemler ile ilgili yapılacak çalışmalara katkı sağlayabileceği düşünülmektedir. Tez kapsamında yapılan çalışmalar, benzer mühendislik problemlerine yönelik çözüm süreçlerine yardımcı olabilecek, yapay sinir ağı tekniklerinin mühendislik tasarımlarındaki rolüne katkı sağlayabilecektir.

Tez çalışması kapsamında sunulan teorik bilginin yanı sıra, uygulama çalışmalarında elde edilen sonuçlar, valfin tasarım ve imalat süreçlerinde daha düşük maliyet ile daha verimli yöntemlerin benimsenmesine katkı sağlayabilecektir.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Araştırmanın bilimsel temellerini oluşturmak amacıyla konu ile ilgili literatür taraması yapılmış, önceki çalışmalar incelenerek konunun bilimsel ve endüstriyel alandaki yeri hakkında bilgi edilmiştir. Tez konusu ve kapsamıyla ilgili literatürdeki çalışmalardan bazıları aşağıda detaylı şekilde açıklamıştır.

Lindemann ve diğ. (1997) yılındaki çalışmasında, elektronik frenleme sistemlerinin traktörler ve treylerler arasındaki uyumluluğunu incelemişlerdir. Traktör ve treyler arasındaki frenleme performansını ve güvenliğini iyileştirmek için bir elektriksel fren sistemi (EBS) tasarlanmışlar ve üretmişlerdir. Ayrıca, EBS'nin farklı araç türleriyle olan uyumluluğunu analiz etmişlerdir.

Zhang ve diğ. (1998) yaptıkları çalışmada, YSA'nın tahminleme süreçlerinde kullanımını detaylı bir şekilde incelemişlerdir. Araştırmada, YSA'nın doğrusal olmayan veri ilişkilerini öğrenme yeteneği sayesinde finans, ekonomi ve mühendislik gibi farklı alanlarda tahminleme başarısının yüksek olduğunu belirtmişlerdir. Ancak, YSA'nın başarılı sonuçlar verebilmesi için verinin ön işlenmesi, ağ mimarisi ve eğitim algoritmalarının en ideal şekilde belirlenmesi gerektiğini vurgulamışlardır.

Antony (2002) çalışmasında, deney tasarımı yaygın tercih edilen Taguchi yöntemlerinin iyileştirme ve süreç etkinliği açısından nasıl kullanılabileceğini incelemiş ve ürün kalitesinin artırılmasına yönelik bir araştırma tasarımı üzerine çalışma yapmıştır.

Bayır (2006) yüksek lisans tezinde, YSA tabanlı modelleme ile geleneksel Çoklu Doğrusal Regresyon (MLR) yöntemini karşılaştırılmalı olarak değerlendirmiştir. Geleneksel yöntemlere kıyasla, tahmin performansı açısından YSA'nın daha başarılı olabildiğini göstermiştir. Tahmin modellemesi konusunda YSA'nın etkinliğini ortaya koyarak, karar destek sistemleri ve veri analiz süreçlerine katkı sağlamıştır.

Bowlin ve diğ. (2006) havalı fren sistemleri üzerine yaptıkları çalışmada, fren sistemlerinin basınç kontrolüne yönelik bir program geliştirmeyi hedeflemişlerdir. Kamyon, otobüs ve römork gibi çoğunlukla ağır ticari araçlarda bulunan havalı fren sistemi için fren silindirlerindeki basınçlı havayı düzenleyen bir kontrol sistemi geliştirmişler ve test etmişlerdir.

Tuna (2006) çalışmasında, genel ağır vasıta fren sistemlerini ele almış ve TÜVTÜRK eğitim programları kapsamında kullanılan bir eğitim materyali sunmuştur. Çalışmada ağır vasıta fren sistemlerinin tasarımı, çalışma prensipleri ve uygulama alanları hakkında detaylı bilgilere yer vermiştir.

Avunç (2007) çalışmasında, ağır vasıta araçlar için tasarım kriterlerinin yalnızca fren sistemine ait elemanların kalitesine dayanmadığını, aynı zamanda araç güvenliği, seyir dinamiği ve kullanıcı beklentilerine uyum sağlaması gerektiğini vurgulamıştır. Çalışmada, iki dingilli bir araca üçüncü bir dingilin eklenmesinin EBS sistemi üzerindeki etkisini gözlemlemiş, fren performanslarını incelenmiş ve fren sisteminin tasarım sürecinde dikkate alınması gereken kriterleri belirtmiştir.

Erdem (2007) doktora tezinde, motorlu taşıtlarda yavaşlatıcı etkilerin deneysel analizi ve YSA ile modellenmesine yönelik çalışmalar yapmıştır. Elektromanyetik yavaşlatıcıların taşıt hareketine ve fren güvenliğine etkilerini incelemiştir. Eğimli bir yolda değişik yük ve hız şartlarında taşıt fren sistemindeki etkileri incelerken, taşıtın durma mesafesine ait deneyler yapmıştır. YSA metodu kullanılarak fren disk sıcaklığı, taşıt ağırlığı ve hızı, yavaşlatıcı tork, durma mesafesi ve pedal kuvveti gibi değerlerin modellenmesini ve tahminini incelemiştir.

Ramaratham (2008) doktora tezinde, pnömatik fren sistemlerinde kullanılan valflerin basınçlı hava sızıntıların frenleme performansı üzerinde nasıl etki edeceğini incelemiştir. Sistemin matematiksel modelinin oluşturulmasını ve elde edilen modeli geliştirmeyi amaçlamıştır. Önerdiği modelin, basınçlı hava sızıntı durumunda sistem performansının nasıl değiştiğini analiz etmiş ve deneysel doğrulama ile karşılaştırmıştır.

Asiltürk ve Çunkaş (2011) yaptıkları çalışmada, tornalama işlemi sırasında yüzey pürüzlülüğünün, kesme parametreleri (hız, ilerleme ve kesme derinliği) gibi faktörlere bağlı olarak nasıl değiştiğini gözlemlemişlerdir. Yüzey pürüzlülüğünü modellemek amacıyla YSA tabanlı modeller geliştirmişler, MLR yaklaşımı ile kapsamlı analizler gerçekleştirmişlerdir. Elde ettikleri modelleri, istatistiksel yöntemler ile karşılaştırmışlar ve YSA modelinin yüzey pürüzlülüğünü tahmin etmede MLR modeline göre daha yüksek doğruluk sağladığını belirtmişlerdir.

Elmas (2012) çalışmasında, destek vektör makineleri (SVM), MLR ve YSA modelleri ile finansal bir tahmin çalışması gerçekleştirmiştir. Ortalama mutlak hata, düzeltilmiş korelasyon katsayısı, hata kareleri ortalamasının karekökü, ortalama mutlak yüzde hata ve gibi performans değerleri kullanarak SVM ile yapılan tahminin YSA ve MLR'ye göre daha iyi sonuç verdiğini karşılaştırmalı olarak belirtmiştir.

Miller ve diğ. (2012) makale çalışmalarında, ağır vasıta araçlar için geliştirilmiş bir pnömatik fren sisteminin tasarımını ve test düzeneği üzerine deneysel çalışmalarını yapmışlardır. Tasarımını ve kurulumu gerçekleştirdikleri test sistemi ile araçların frenleme performanslarını arttırmaya yönelik çalışmalar yürütmüşlerdir.

Andrew, (2014) çalışmasında, kara taşıtlarının fren sistemleri üzerine kapsamlı bir inceleme sunmuştur. Çalışmasında fren sistemlerinin dinamiklerini, etkinliğini ve güvenlik yönlerini anlatmıştır. Çalışmanın mühendisler, araştırmacılar ve otomotiv sektörü profesyonelleri için değerli bir kaynak olabileceğini belirtmiştir.

Bilgiç (2014) yüksek lisans tez çalışmasında, kararsız ve doğrusal olmayan yapısıyla ters sarkaç sisteminin kontrol teorilerinin uygulanabilirliği üzerine incelemeler yapmıştır. Ters sarkacın kontrolünün iyileştirilmesine yönelik genelleşmiş kontrol uygulamalarından farklı olarak Bulanık Mantık Tabanlı Yapay Sinir Ağı (YBM) kontrolcü tasarımı gerçekleştirilmiştir. Gerçek zamanlı doğrusal arabalı ters sarkacın denge kontrolü için Linear Quadratic Regulator (LQR) kontrolcü tasarlamış ve performansını karşılaştırmıştır. Sistemin matematiksel modelini ve kontrol tekniklerini detaylı şekilde incelemiştir. Çalışmada, gelişmiş yazılımlar kullanılarak YBM kontrolcüsü eğitilmiş, kontrolcülerin deneysel ve simülasyon sonuçları değerlendirmiş ve grafiklerle sunmuştur.

Selvaraj ve diğ. (2014), ağır vasıta araçlarda kullanılan pnömatik fren sistemlerinin modellenmesi ve simülasyonu üzerine bir araştırma çalışması sunmuşlardır. Fren sistemlerinin dinamik performansını anlamak ve optimize etmek amacıyla simülasyon araçları ile modelleme çalışmaları yapmışlardır. Pnömatik fren sistemlerinin özelliklerinin matematiksel modellenmesi için öneriler vermişlerdir.

Kaplan (2014) ağır vasıta araçlarda kullanılan pnömatik fren sisteminin genel yapısına yönelik bir yüksek lisans tezi sunmuştur. Sistemde kullanılan çeşitli valflerin çalışma prensiplerini ve bu sistemlerin etkinliğini incelemiştir. Çalışmasında, valflerin güvenlik testlerinin yüksek doğrulukta yapılabilmesi için geliştirilmiş bir fren panosu tasarlamış ve üretmiştir. Pnömatik fren sisteminin yükler altında verdiği tepkileri incelemiştir, fren sistemlerinin performansını artırmak için gerekli yenilikler ve karşılaşılan sorunları aktarmış ve bu sistemlerin trafik güvenliğine olan etkilerini incelemiştir.

Mert ve Arat (2014) yaptıkları çalışmada, alüminyum ve çelik malzemelerin ısı transfer katsayılarının YSA modeli kullanılarak tahmin edilmesine yönelik bir çalışma sunmuşlardır. Farklı çalışma koşullarında ısı transfer karakteristiklerini analiz etmek için YSA'nın eğitim modelini kullanmışlardır. Modelin, deneysel verilerden elde edilen sonuçlara dayanarak ısı transfer katsayılarını doğru şekilde tahmin edebilme yeteneğinin olduğunu belirtmişleridir. YSA'nın geleneksel hesaplama yöntemlerine göre daha hızlı ve yüksek doğrulukta tahminler üretebildiğini karşılaştırmalı olarak sunmuşlardır.

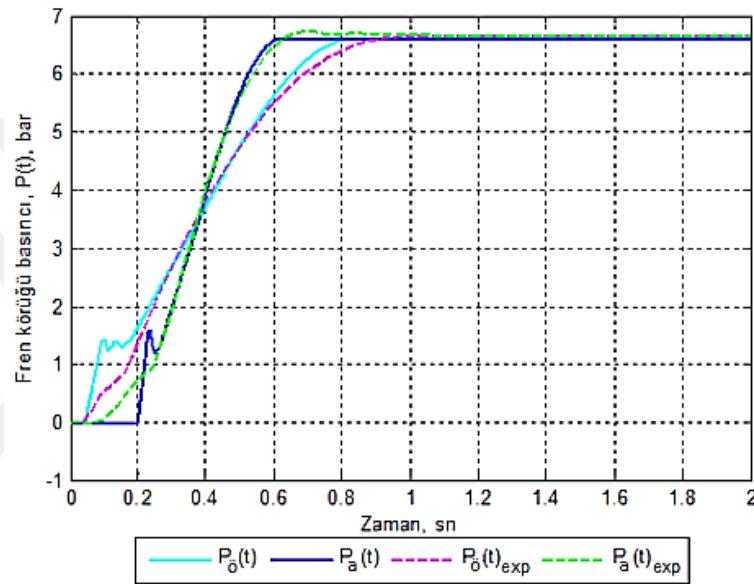
Sarve ve diğ. (2015) yaptıkları çalışmada, susam yağı kullanılarak ultrason destekli biyodizel üretimini incelemişlerdir. Araştırmacılar, biyodizel üretim verimliliğini artırmak ve süreci optimize etmek amacıyla iki farklı tahmin yöntemi olan Yanıt Yüzey Metodolojisi (RSM) ve YSA modellerini karşılaştırmışlardır. Ultrason teknolojisinin reaksiyon süresini kısaltarak dönüşüm verimini artırdığı analiz etmişlerdir. Farklı çalışma koşulları altında biyodizel verimliliğinde YSA'nın tahmin doğruluğunun RSM'e göre daha yüksek olduğunu gözlemlemişlerdir. Böylece, YSA'nın biyodizel üretim süreçlerinde daha etkili bir modelleme yöntemi olabileceği belirtmişlerdir.

Keskenler ve Keskenler (2017) çalışmalarında, YSA'nın tarihçesini ve gelişimini sade bir dil kullanarak anlatmışlardır. YSA'nın ilk ortaya çıkışından günümüze kadar olan tüm evrimini, biyolojik sinir ağları ile benzerliğini, bu süreçteki önemli kilometre taşlarını ve avantajlarını ve dezavantajlarını karşılaştırmalı olarak anlatmışlardır. Yaptıkları çalışmada, YSA'nın temel prensipleri, farklı yapı ve mimarilerinin modellerinin ve algoritmaların gelişimi hakkında bilgilere yer vermişlerdir.

Şenol (2017) yüksek lisans tez çalışmasında, rüzgâr enerjisi gibi yenilenebilir enerji kaynaklarının daha verimli değerlendirilmesi amacıyla, veri analizi ve tahmin süreçlerinde YSA'nın sağladığı yüksek doğruluk ve hesaplama avantajlarını incelemiştir. Çalışmada, rüzgâr hızına ve diğer meteorolojik faktörlere dayalı olarak enerji üretim potansiyelini öngören bir model geliştirilmiş, tahmin edilen sonuçlarla elde edilen verilerin uyumluluğu test edilmiştir. Bu yöntemin rüzgâr enerjisi yatırımlarında daha güvenilir kararların alınmasına katkı sağlayabileceğini belirtilmiştir.

Hosseini ve diğ. (2018) yaptıkları çalışmada, konik oluklu yataklarda minimum hızı tahmini için çeşitli YSA modelleri kullanmışlardır. Gözeneksiz çekme borulu yataklar üzerinde yapılan analizde, gaz yoğunluğu, gaz viskozitesi, partikül çapı, partikül yoğunluğu, koni açısı, nozul çapı, statik yatak yüksekliği, tüp uzunluğu, taşıma yüksekliği ve tüp çapı gibi altı boyutsuz değişken model girdisi olarak tanımlamışlardır. Çalışmada, toplamda 1004 veri kullanıldığını ve verilerden 572 adedi ile modelin eğitiminin gerçekleştirdiğini belirtilmiştir. Eğitimde kullanılmayan 432 adet veri ise, modelin tahminlemesinde kullanılmıştır. Çeşitli eğitim algoritmaları içinde, Bayesian regresyon algoritması ile eğitilen modelin tahmin başarısının daha yüksek olduğunu belirtmişlerdir.

Güteryüz ve Başer (2018) çalışmalarında, 4x4 ağır hizmet araçlarında kullanılan pnömatik fren sisteminin tepki süresini kontrol edebilmek için sistem parametrelerini belirlemişler ve serbest cisim diyagramlarını oluşturmuşlardır. Yaptıkları çalışmada, Matlab/Simulink yazılımı kullanılarak matematiksel model elde etmişler ve deneysel doğrulama gerçekleştirmişlerdir. Çalışmanın amacına ulaşması için genel bir matematiksel model önerilmiş, havalı fren sisteminin pnömatik ve mekanik alt bileşenleri detaylı şekilde incelenmiştir. Şekil 2.1’de çalışmadaki fren körüğü basıncının zamana bağlı değişimine ait bir grafik verilmiştir.



Şekil 2.1. Fren körüğü basıncı (Güteryüz ve Başer, 2018)

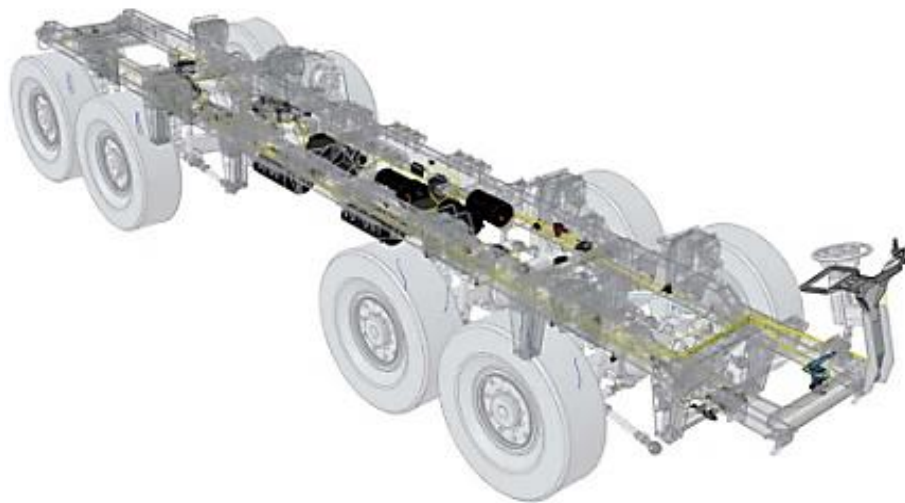
Kurt (2018) yapmış olduğu doktora tezinde, istatistiksel süreç kontrolünü istatistiksel kalite kontrol kartları ile YSA tabanlı modellemeyi birlikte kullanarak analiz etmişlerdir. Endüstriyel bir işletmede kaliteyi iyileştirmek ve maliyetleri azaltmak amacıyla çeşitli yöntemlerin nasıl entegre edilebileceği araştırmayı hedeflemiştir. Çalışmada, kontrol kartları ve YSA'nın birlikte kullanılarak, süreçlerin daha verimli yönetilmesi, hataların daha hızlı tespit edilmesi ve ölçüm maliyetlerinin azaltılması amacıyla YSA tabanlı tahminleme yapılmış ve elde edilen sonuçlar incelemiştir.

Arbabzadeh ve diğ. (2019) çalışmalarında, sürücü tepki sürelerini etkileyen faktörleri belirlemek amacıyla doğal sürüş verilerini analiz ederek, gerçeğe yakın bir yaklaşım geliştirmişlerdir. Çalışmada, sürücü davranışları ve çevresel koşullar detaylı bir şekilde değerlendirilmiş, bu veriler doğrultusunda tepki sürelerini tahmin edebilen bir regresyon modeli oluşturulmuştur.

Noor ve diğ. (2019) çalışmasında, endüstriyel üretime ait bir veri setinin yapay sinir ağı ile modellenmesine yönelik yürüttükleri çalışmalarında en uygun gizli nöron sayısını belirlemeyi amaçlamışlardır. Gizli nöron sayısının çok fazla olması aşırı öğrenmeye neden olurken, az olması verinin yeterince öğrenilmemesine yol açtığını belirtmişlerdir. İdeal bir nöron sayısı belirlemek için farklı sayılarda nöron ile modelleme ve analiz çalışmaları gerçekleştirmişlerdir. Elde edilen hata ve korelasyon sonuçlarını karşılaştırmalı grafikler şeklinde sunmuşlar, nöron sayısına göre modelleme performansını detaylı değerlendirmişlerdir.

Freddi ve Salmon (2019) çalışmalarında, Taguchi tarafından geliştirilen deneysel tasarım yöntemlerine yönelik detaylı açıklamalar sunmuştur. Mühendislik tasarımlarında kalite ve güvenilirlik konularını ele almışlardır. Sistemin çeşitli giriş değişkenlerine karşı hassasiyetini en aza indirmeyi amaçlamışlardır. Ayrıca, Taguchi yönteminin diğer tasarım yöntemleriyle nasıl entegre edilebileceğini ve bu yöntemin mühendislik tasarımlarında nasıl uygulanabileceğini de incelemişlerdir.

Vatansever (2019) tez çalışmasında, Şekil 2.2’de gösterilen dört akslı bir ağır vasıta araç fren sisteminin tasarım ve analizine yönelik çalışmalar gerçekleştirmiştir. Sistemin matematiksel modellemesi için motor freni ve retarder bileşenleri dikkatle hesaplanarak standartlara uygun parametreler seçilmiştir. Çalışmalar sonucunda aracın daha güvenli hale getirildiği, başlangıç koşullarına kıyasla yaklaşık %40 oranında iyileşme sağlandığı ve emniyet katsayısı değeri yükseltildiği, yapılan iyileştirmeler sayesinde aracın toplam azami ağırlığını daha da arttırılabilir hale gelebileceği belirtilmiştir.



Şekil 2.2. Dört akslı bir ağır vasıta araç ve fren sistemi (Vatansever, 2019)

Günyeli (2019) tez çalışmasında, ağır vasıta ticari araçlarda pnömatik fren sistemlerinde kullanılan bir el freni valfini incelemiş ve geliştirilmesi için bir yöntem önermiştir. Frenlemede elektrikli tahrikli manuel bir fren sistemi kullanıldığı ve pnömatik fren sisteminin ise buna yardımcı veya destekleyici olan ikincil fren sistemi olarak çalıştığı belirtilmiştir. Önerilen yaklaşım sayesinde pnömatik el freni valfinin ve elektrikli park freninin birleştirilebildiği bir sistem geliştirilmiş ve basınçlı fren sistemleri ile birlikte kullanılabilecek tek tuşlu bir el freni sisteminin prototipinin üretimi gerçekleştirilmiştir.

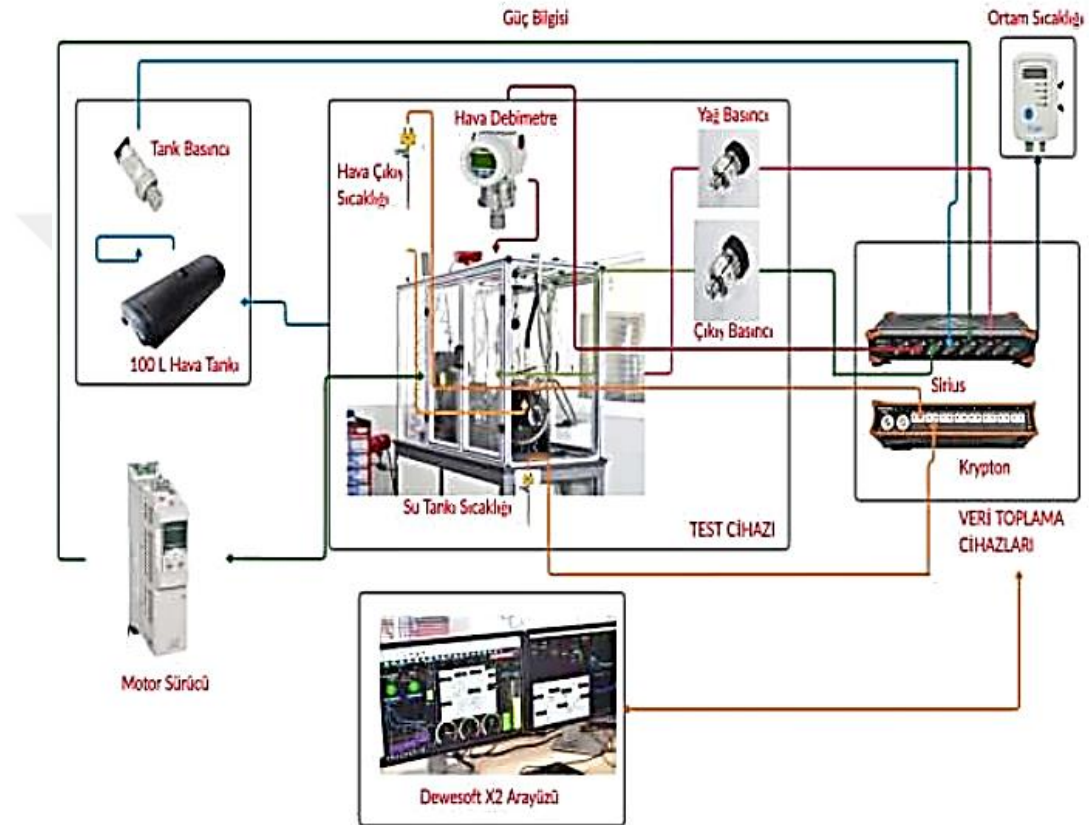
Raveendran ve diğ. (2019) çalışmalarında, ağır vasıta araçlarında fren körüğündeki pistonun hareketinin YSA tabanlı modellemesi ile tahmin edilmesi üzerine bir çalışma yapmışlardır. Çalışmada, havalı fren sisteminin performansının düşmesini önlemek, araç güvenliğini artırarak tehlikeli durumların önüne geçmek için düzenli bakım ve denetim gerektiğini belirtilmişlerdir. Çalışmada, veriler geri beslemeli YSA mimarisi kullanılarak eğitilmiş ve havalı fren sistemi basıncının ölçülmesiyle, pistonun hareketinin tahmin edilmesi üzerine modeller geliştirmişlerdir. Manuel ayarlayıcı için %98,17 doğruluk ve otomatik ayarlayıcı için %100 doğruluk elde edildiğini gözlemlemişlerdir.

Lopes (2020) yapmış olduğu tez çalışmasında, ağır yük taşıyan demiryolu araçları için fren sistemlerinin performansını ve güvenliğini artırmayı hedeflemiştir. YSA modelleri kullanılarak otomatik fren sistemlerinin modellenmesi ve bu sistemlerin çeşitli çalışma koşullarında davrandığının analizine yönelik çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Bu yöntemle, mevcut fren sistemlerine kıyasla daha hızlı tepki veren, daha güvenilir ve güvenli fren sistemleri oluşturulabileceğini belirtmişlerdir.

Tekdoğan (2020) çalışmasında, çevre dostu çözümler geliştirmek amacıyla dizel motorlarda emisyonların ve performansın değişimini incelemiş, motorun yanma sürecine etkilerinin analizini gerçekleştirmiştir. Motor testleri sonucunda karbon monoksit ve hidrokarbon gibi zararlı gazların azaldığı, ancak karbondioksit ve azot oksitlerin arttığı gözlemlemiştir. Deneysel veriler YSA ile modellenerek, emisyon miktarının tahminlemesine yönelik çalışmalar gerçekleştirmiştir.

Tekeş ve Şener (2020) yaptıkları çalışmada, ağır vasıta sürücülerinin güvenli sürüşlerini etkileyen faktörleri kapsamlı bir şekilde incelemişlerdir. Yazarlar, ağır vasıtaların çalışma koşulları, sürücü yorgunluğu, alkol kullanımı ve madde kullanımı, fiziksel sağlık ve sürücünün psikolojisi gibi çeşitli etkenler hakkında bilgiler sunmuşlardır.

Gül (2020) çalışmasında, ağır vasıta hava kompresörlerinde meydana gelebilecek arızaların tespiti amacıyla çalışmalar yapmıştır. Şekil 2.3’de gösterilen deney düzeneğinden elde edilen veriler ile makine öğrenmesi yöntemleri kullanılarak verilerin kapsamlı analizlerini gerçekleştirmiştir. Ağır vasıta hava kompresörlerinde meydana gelebilecek arızaların önceden tespit edilmesine ve gerekli bakım işlemlerinin zamanında yapılmasına yönelik makine öğrenmesi algoritmaları önermiştir.



Şekil 2.3. Arızı tespiti amacıyla geliştirilen bir kompresör deney düzeneği (Gül, 2020)

Bilgiç ve Mert (2021) yaptıkları çalışmada, uzun dalga radyasyonunun tahmin edilmesi için farklı modelleme tekniklerini birbiri ile karşılaştırmalı olarak incelemişlerdir. Atmosferdeki uzun dalga radyasyonu, iklim değişikliği ve enerji dengesi açısından kritik bir faktör olduğunu analiz etmişlerdir. Çalışmada, çeşitli istatistiksel ve makine öğrenimi yöntemleri kullanılarak tahmin modelleri oluşturmuşlardır. Meteorolojik veriler kullanılarak farklı tahmin tekniklerinin doğruluğu test etmişlerdir. Sonuçlar, makine öğrenimi algoritmalarının geleneksel yöntemlere kıyasla daha yüksek doğruluk sağladığını ifade etmişlerdir.

Özçelik (2021) yüksek lisans tez çalışmasında, ağır vasıta araçların fren sistemleri için dört yollu emniyet valfi için bir test cihazının tasarımını, gerçekleştirilmesini ve uygulamasını sunmuştur. Manuel olarak gerçekleştirilen dört yollu emniyet valfi kontrolünü otomatik bir sistemle test etmeyi amaçlamıştır. Geliştirilen test cihazı sayesinde, kontrol süresi en az 90 saniye azaltılmış ve ölçüm doğruluğunun artışı gözlemlenmiştir.

Sevim ve diğ. (2021) yaptıkları çalışmada, farklı uçucu kül türleri içeren çimento esaslı kompozitlerin basınç dayanımını tahmin etmek amacıyla makine öğrenme teknikleri kullanmışlardır. Öncelikle, 8 farklı uçucu kül içeren toplam 196 test numunesi üretilmiş ve mekanik testler gerçekleştirmişlerdir. Ardından, YSA ve Uyarlamalı Ağ Tabanlı Bulanık Çıkarım Sistemleri (ANFIS) ile tahmin modelleri oluşturulmuş ve deneysel elde edilen verilerle karşılaştırmışlardır. Yapılan deneysel çalışma sonucunda, ANFIS modelinin tahmin doğruluğunun daha yüksek olduğunu ve uçucu kül içeriğinin basınç dayanımı üzerinde belirgin bir etkiye sahip olduğunu gözlemlenmiştir. Çalışma, bu tür tahmin modellerinin deney maliyetlerini azaltarak mühendislik süreçlerinde daha verimli kararlar alınmasını sağlayabileceğini belirtmişlerdir.

Aydiner (2022) tezinde, ağır vasıta hava kompresörünün performansını artırmak için matematiksel modelleme ve optimizasyon tekniklerini kullanarak kapsamlı bir çalışma gerçekleştirmiştir. Elde ettiği deneysel verileri kullanarak, kompresörün giriş ve çıkış değerlerini arasında bir denklem kurmak amacıyla, sistemin matematiksel modelini oluşturmuşlardır. Çalışmada, enerji verimliliğini artırmak, maksimum hava debisini elde etmek, doldurma süresini minimize etmek ve yüksek hava basıncını sağlamak gibi hedefler doğrultusunda kompresörün çalışma parametrelerini optimize ettiğini ifade etmiştir.

Göçer, (2022) yüksek lisans tez çalışmasında, ağır vasıtalar için otomatikleştirilmiş manuel şanzıman sistemlerinin parametre optimizasyonu incelemiş ve yakıt tüketimine olan etkilerini analiz etmeyi amaçlamıştır. Çalışmada, şanzıman kontrol stratejileri, vites geçiş algoritmaları ve yakıt verimliliği arasındaki ilişki detaylı bir şekilde ele alınmıştır. Ayrıca, farklı sürüş koşulları altında yapılan simülasyonlar ile yakıt tasarrufu sağlayabilecek en uygun parametrelerin belirlenmesi amaçlanmıştır. Çalışmanın sonunda, otomatikleştirilmiş manuel şanzımanların parametrelerinin optimize edilmesiyle %27 oranında yakıt tasarrufu sağlanabildiğini belirtmiştir.

Soudagar ve Tota (2022) çalışmalarında, ticari araçlarda kullanılan elektro-pnömatik park fren sistemlerinin modellenmesi ve bu sistemlerdeki park freninin haznesi içindeki basıncın gerçek zamanlı olarak tahmin edilmesini hedeflemişlerdir. Fren sistemlerinin güvenilirliği araç güvenliği için kritik olduğundan, park fren haznesi içindeki basıncı gerçek zamanlı olarak tahmin eden bir model geliştirmişlerdir.

Aykan ve diğ. (2023) çalışmalarında, traktör-römork kombinasyonlarının farklı çalışma koşullarında fren performansını değerlendirmişlerdir. Çeşitli frenleme modları ve römork yüklerini test ederek, frenleme verimliliği ve yavaşlama oranlarını belirlemişlerdir. Çeşitli frenleme modları ve römork yüklerinin frenleme performansı üzerindeki etkilerini ortaya koymuş ve en iyi frenleme performansı için önerilerde bulunmuşlardır. Çalışma sonuçlarının tarım araçlarının güvenliği ve verimliliği açısından önemli katkılar sağlayabileceğini belirtmişlerdir.

Karagöz (2024) yüksek lisans tez çalışmasında, AISI 316Ti paslanmaz çeliğin frezelemesi sırasında kullanılan soğutma/yağlama tekniklerinin ve kesme parametrelerinin güç tüketimi, yüzey pürüzlülüğü, kesme sıcaklığı, takım aşınması ve titreşim üzerindeki etkilerini araştırmıştır. Yapılan çalışmada, Yanıt Yüzey Yöntemi (YYY), YSA ve ANFIS gibi modern modelleme teknikleri kullanılarak elde edilen sonuçların tahmin yeteneği ve model doğruluğu açısından karşılaştırılarak, işleme süreçlerine etkileri detaylı bir şekilde sunulmuştur.

Öztemur (2024) yüksek lisans tez çalışmasında, ağır ticari araçların fren körüğünde korozyon oluşumunu azaltmak için havalandırma tekniğinin geliştirilmesini araştırmıştır. Önerilen yöntem sayesinde düşük basınçlı havanın yönlendirerek korozif maddelerin fren körüğüne girişinin engellenmesi ve imdatlı fren tarafı yayın kullanım ömrünü arttırması amaçlandığı ifade edilmiştir. Korozyonun oluşumuna etki eden durumlar incelenmiş, önerilen havalandırma tekniğinin korozyon önleme konusunda oldukça etkili olduğunu ve fren performansını iyileştirebildiğini gözlemlemiştir.

Küstük (2025), nano silisyum dioksit (SiO_2)'nin yağlama ve soğutma sıvısı olarak kullanımı incelemiş ve tribolojik performansı artırmayı hedeflemiştir. Deneyler, AISI 1040 malzemeden hazırlanan numuneler üzerinde gerçekleştirmiştir. Farklı sıvıların tribolojik etkilerini ölçmek amacıyla, su, bor yağı ve nano silisyum dioksit içeren karışımlar ile deney etmiştir. Deneysel tasarımda, tam faktöriyel deney tasarımı ile farklı yükler ve hız parametreleri ile denemeler yapmıştır. Sonuç olarak, nano (SiO_2) katkısının tribolojik performansı artırma kabiliyetine sahip olduğu belirlemiş ve yağlama ile aşınma direncine yönelik iyileştirmeler sağladığı gözlemlemiştir.

3. FREN SİSTEMLERİ VE ACİL DURUM VALFİ

Fren sistemleri, aracın hızını azaltmak, belirli bir hızdayken tamamen durdurmak ve hareketsiz halde olduğu yerde sabit kalmasını sağlamak için kullanılan temel bir mekanizmadır. Yokuş aşağı inişlerde, taşıtın kontrolsüz hızlanmasını önleyerek düşük bir hızda güvenli bir şekilde ilerlemesini sağlamak da fren sisteminin önemli görevlerinden biridir. Fren sistemleri dört ana kategoriye ayrılır; mekanik, hidrolik, elektrik ve pnömatik fren sistemidir. Bu farklı fren türleri, taşıtların yapısal özellikleri ve ihtiyaçlarına göre geliştirilerek sisteme entegre edilmektedir. (Kaplan, 2014).

Mekanik fren sistemleri, kullanıcının pedal veya butona uyguladığı fren kuvvetini mekanik parçalar aracılığıyla tekerleklerle ileterek, aracın hızının düşürmesini veya tamamen durmasını sağlar. Motosiklet veya bisiklet gibi araçların fren sistemlerinin tasarımlarında mekanik yapılar tercih edilmektedir.

Elektrikli fren sistemleri, sensörler ve kablolar aracılığıyla araçtaki kontrol ünitesine bağlanarak, sürücünün pedala uyguladığı kuvvetin şiddeti ve frekansı sistem tarafından analiz edilir ve ani fren ihtiyacı olup olmadığı belirlenir. Bu verilere dayanarak, her tekerlek için uygun fren kuvveti hesaplanır ve fren mekanizmasına iletilir. Elektrik sisteminde bir arıza meydana gelirse, yedek güvenlik mekanizması olarak hidrolik fren sistemi devreye girerek aracın güvenli şekilde durmasını sağlar.

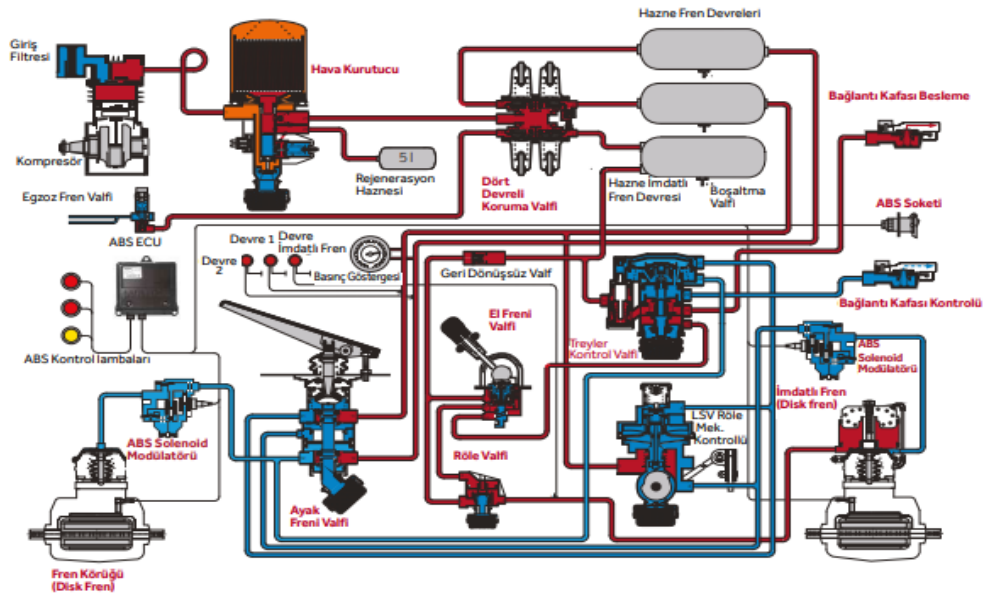
Hidrolik fren sistemi, sürücünün fren pedalına uyguladığı kuvveti mekanik kaldıraç prensibi ile artırarak fren merkezine iletir. Bu sistem, Pascal Kanunu temelli hidrolik sıvıyı fren hattı boyunca ileterek tekerlek silindirlerine yönlendirir. Böylece, fren balataları ve diskler üzerinde etkili bir baskı oluşur, aracın güvenli bir şekilde yavaşlamasını veya durmasını sağlar. Hidrolik frenler, güçlü ve hassas frenleme performansı sunarak otomotiv sektöründe yaygın olarak kullanılır.

Havalı fren sistemi, araç hızlarının ve ağırlıklarının teknoloji ilerledikçe artmasıyla, ağır hizmet tipi araçlarda büyük frenleme kuvvetlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Hidrolik gibi akışkan sistemler, yenilenebilir olmaması sebebiyle herhangi bir arıza durumunda fren özeliğini kaybeder ve görevini yerine getiremez. Bunun için yenilenebilir enerji kaynağı olan pnömatik fren sistemi tercih edilmektedir. Kompresör sayesinde fren sistemi sürekli bir enerji depolanmaktadır. Güvenli ve etkili bir frenleme süreci için, fren pedala basıldığında anlık olarak devreye girerek aracı yavaşlatır veya durdurur. Ayrıca kompresör, fren sisteminin dışında bulunan ve basınçlı hava gerektiren şanzıman, debriyaj ve süspansiyon gibi bileşenlerinde çalışmasına olanak sağlar. (Tuna, 2006).

3.1. Pnömatik Fren Sistemleri

Fren sisteminde, araç motorunun çalışmasıyla birlikte kompresör basınçlı hava üretmeye başlar, tanklara basınçlı havayı biriktirir. Bu tanklarda, sistemin basınç seviyesi emniyet supabı, basınç düzenleyici ve basınç valfi gibi bileşenler aracılığıyla ayarlanır, kontrol edilir. Hava tanklarındaki basınç beş barın altında düştüğünde, araç hareket edemez konumdadır. Aracın hareketine devam edebilmesi için hava tanklarındaki basıncın sistemin alt çalışma basıncına ulaşması gerekir (Tenşi, 2013).

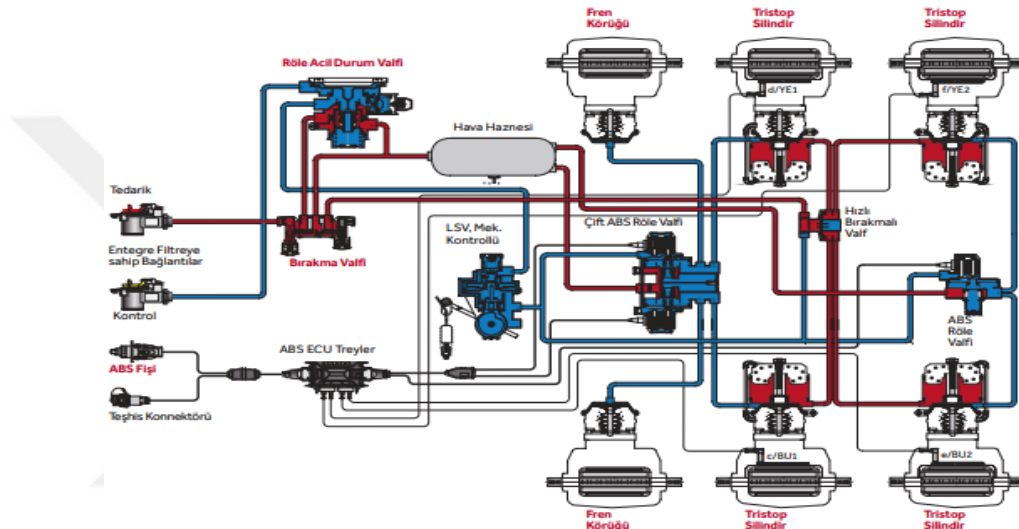
Frenlemenin gerçekleşmesi için sürücü fren pedalına bastığında, basınçlı havanın oluşturduğu itme kuvveti fren pabuçlarını kampanaya doğru hareket ettirir. Frenleme sona erdiğinde, fren silindirlerindeki basınçlı hava hızla tahliye edilir. Basınçlı havanın etkisi ortadan kalkınca, yay mekanizması devreye girerek tekerlek fren mekanizmasının serbest kalmasını sağlar. Böylece sistem, bir sonraki frenleme için tekrar hazır hale gelir.



Şekil 3.1. Ağır vasıta çekiciye ait pnömatik fren sistemi (ProVia)

Benzer şekilde, sürücü el fren valfini hareket ettirdiğinde, yay üzerindeki kuvveti destekleyen basınçlı hava tahliye edilir, böylece yay harekete geçerek diyaframı açar ve araç tamamen hareketsiz hale gelir. El fren valfi ters yönde hareket ettirildiğinde, basınçlı hava yeniden fren silindirine dolarak yayı eski konumuna sıkıştırır. Bu sayede diyafram üzerindeki yay kuvveti yenilir ve el freni devre dışı bırakılır. Bu mekanizma, aracın güvenli bir şekilde sabitlenmesini sağlarken, gerektiğinde tekrar hareket ettirilmesine olanak tanır (Tenşi, 2013).

Yeni nesil römork çeken araçlarda, çekici ile römork arasındaki pnömatik fren bağlantısı, iki ayrı hat üzerinden sağlanır, bunlar sarı kaplin bağlantısı ve kırmızı kaplin bağlantısı olarak tanımlanır. Bu bağlantılar, fren sisteminin güvenli ve verimli çalışmasını sağlamanın yanı sıra sürücünün kontrolünü artıran kritik bileşenlerdir. Bir römork fren sisteminin genel çalışma şeması Şekil 3.2 de verilmiştir. Sistemde hava sızıntısı olması durumunda, hava tankındaki basınç tamamen düştüğünde fren silindirindeki yay basıncı devreye girer ve frenleme mekanizmasını otomatik olarak etkinleştirerek emniyeti sağlamış olur (Tenşi, 2013).



Şekil 3.2. Ağır vasıta römorka ait pnömatik fren sistemi (ProVia)

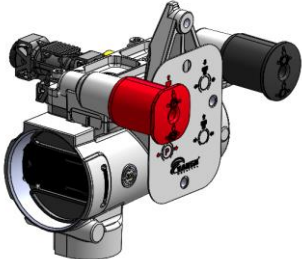
Ağır vasıta araçlarının havalı fren sistemlerinde kullanılan genel bileşenler ve özelliklerine ait açıklamalar Çizelge 3.1’de birlikte verilmiştir.

Çizelge 3.1. Pnömatik fren sistemlerinin genel bileşenleri

Bileşenler	Özellikleri
Kompresör 	Kompresör, çevreden aldığı havayı sıkıştırarak bir tankta depolamak ve basınçlı hava üretimi sağlamak amacıyla kullanılan temel bir bileşendir. Havalı fren sistemlerinde yaygın olarak kullanılan pistonlu kompresörler, çalışma prensibi açısından içten yanmalı motorlarla benzerlik gösterir. Sistem, hava basıncını 16 bar seviyesine kadar yükseltebilmektedir (Kaplan,2014).

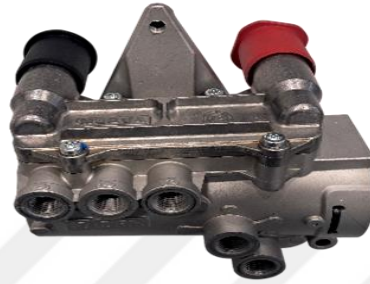
Hava Kurutucu 	Hava kurutucu, kompresör ile tank arasında yer alır ve sisteme gönderilen su buharını, yağ buharını ve nemli havayı filtreleyip dışarı atarak tanklara ulaşmasını engeller. Fren sisteminde oluşabilecek riskleri ortadan kaldırır. Basınçlı havayı nemden arındırır, bu sayede sistem içerisindeki yağlayıcı maddelerin kaybı önlenir, kullanım ömrünü uzatır ve sistem bileşenlerinin ömrünün uzamasını sağlar (Elmas, 2021).
Basınç Limitleme Valfi 	Basınç limitleme valfleri, sistemde aşırı basınç oluştuğunda veya vakum etkisi nedeniyle basınç dengesizliği meydana geldiğinde bunu düzenleyerek enerji kaybını önler ve aşırı ısınmayı engeller. Valf, sistem basıncını belirlenen üst sınırdan tutarak devredeki bileşenlerin dengeli ve güvenli bir şekilde çalışmasını sağlar. Eğer basınç gereğinden fazla artar ise, fazla havayı tahliye ederek sistemin güvenliğini sağlar (Kaplan, 2014).
Hava Tankı 	Hava tankı, kompresörlerin sıkıştırarak basınçlandırdığı havayı depolamak için kullanılmaktadır (Göçer, 2022). Sistemdeki basınçlı hava sıkışma ve ısınmaya bağlı olarak yoğunlaşır, suya dönüşür. Bu durum frenleme performansını olumsuz yönde etkiler ve sisteme hasar verir. Hava tankları, bu problemi önlemek için yoğunlaşan sıvıyı toplar. Supap pimi çekildiğinde, biriken su dışarı atılarak sistemin düzgün ve verimli şekilde çalışması sağlanır (Kaplan, 2014).

• Devre Koruma Valfi 	Devre Koruma Valfi, basınçlı havayı dört alt devreye dağıtarak sistemin düzenli çalışmasını sağlar. Hava, servis freninin ön ve arka akslarına taşınır. Genel fren sisteminin yansıra süspansiyon, şanzıman, debriyaj gibi ek sistemlere de hava sağlar (Özçelik, 2021).
• El Fren Valfi 	El fren valfi, aracın park fren sistemini kontrol eder. Sürücü tarafından manuel olarak hareket ettirildiğinde, fren silindirlindeki basınçlı havanın tahliye edilmesini sağlar ve yay mekanizmasının devreye girerek aracın sabitlenmesine yardımcı olur. Valf aksi yönde çalıştırıldığında ise, sistemde basınçlı hava tekrar devreye girerek yayı geri eski konumuna hareket etmesini sağlar ve fren mekanizmasını serbest bırakarak aracın hareket etmesine olanak tanır (Kaplan, 2014).
• Fren Pedal valfleri 	Fren pedal valfi, pedalın basılma miktarına göre basınçlı havayı ön ve arka tekerlekler için ayrı ayrı fren hatlarına dağıtır. Pedaldan gelen basınçlı hava, ön aks röle valfine yönlendirilir ve bu süreçte ana valfin pistonu açılarak fren körüklerinin devreye girmesi sağlanır (Kaplan, 2014).
• Röle Valfi 	Röle valfi, elektrik devrelerindeki röleler gibi çalışır; ancak burada elektrik yerine hava basıncı kullanılır. Sürücü fren pedalına bastığında, ayrı bir hava hattı ile röle valf hemen devreye girer. Ana valf açılarak tekerlek fren sistemine basınçlı hava aktarılır. Fren pedalına basılma anı ile valfin çalışması arasındaki gecikmeyi en aza indirir. Böylece fren pedalı ve tekerlek frenini kontrol eden valf senkronize bir şekilde, gecikme olmadan çalışır (Moody, 2007).

Römork Kontrol Valfi 	Römork kontrol valfi, fren hattı kopması veya yırtılması durumunda devreye girerek römorkun servis freninin yönetimini gerçekleştirir. Bu süreçte kısıyıcı valf, römork kontrol valfinin hızla tepki vermesini sağlayarak römorkun güvenli bir şekilde frenlenmesine yardımcı olur (Tuna, 2006).
Sarı ve Kırmızı Kaplin 	Sarı kaplin, sürücü ayak frenine bağlı olup yalnızca servis freni devreye girdiğinde basınçlı hava iletimini sağlar. Fren kullanılmadığında hat hava içermez ve sistem pasif durumda kalır. Kırmızı kaplin ise, çekici araçtan gelen sürekli basınçlı hava akışını römorktaki hava tanklarını beslemek için kullanır. Bu kesintisiz hava akışı, römorkun fren sisteminin her zaman hazır durumda olmasını sağlar.
Acil Durum Valfi 	Acil durum valfi, römorkun güvenli frenlemesinden ve emniyetinden sorumlu özel geliştirilmiş bir pnömatik valftir. Fren hattındaki hava akışının kesilmesi durumunda tanklardaki depolanan basınçlı hava, valfin ikinci giriş hattını besler ve imdatlı fren körüklerinin kontrolsüz bir şekilde fren yapmasını önleyerek olası kazaların önüne geçer. Valfin çalışma prensibi bölüm 3.2’de detaylı izah edilmiştir.
Fren Körüğü 	Fren körüğü, pnömatik fren sistemlerinde hava basıncını mekanik harekete çevirerek frenleme kuvvetini sağlayan temel bir bileşendir. Fren kuvveti uygulandığında genişleyerek fren mekanizmasını harekete geçirir ve tekerleklerin güvenli bir şekilde durmasını sağlar. Düzenli bakım gerektirerek hava kaçaqlarının önlenmesi ve sistemin verimli çalışması sağlanmalıdır (Kaplan, 2014).

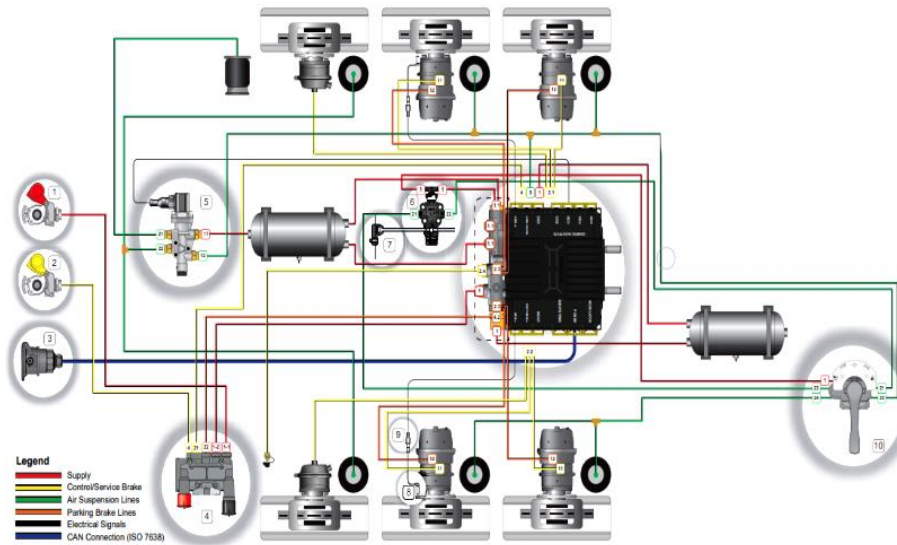
3.2. Acil Durum Valfi

Bu tez kapsamındaki deneysel çalışmalar Vaden Otomotiv A.Ş. firması bünyesinde yapılmıştır, firmada üretilen ve yaygın kullanılan bir acil durum valfi belirlenmiştir. Çalışmada kullanılan valfin görseli Şekil 3.3’de verilmiştir. Şekildeki kırmızı buton el frenini etkinleştirmek için, siyah buton ise treyler araç çekilmediğinde otomatik olarak freni bırakmak için kullanılmaktadır.



Şekil 3.3. Deneysel çalışmalarda kullanılan acil durum valfine ait görsel (Vaden)

Acil durum valfinin araç ile bağlantı şeması Şekil 3.4’de verilmiştir. Acil durum esnasında birinci giriş hattında (1-1) herhangi bir kopukluk, kaçak, arıza olması veya sistemin 2.5 bar (± 0.50) bar altına düşmesi durumunda ürünün iç mekanizmasında bulunan emniyet yayı, sistem basıncını yenerek pistonunun hareketini sağlar. Böylece valf mümkün olan en hızlı şekilde tepki vererek frenleme yapar. Sistemin frenleme performansı, valfin tepki verme süresine doğrudan bağlıdır.

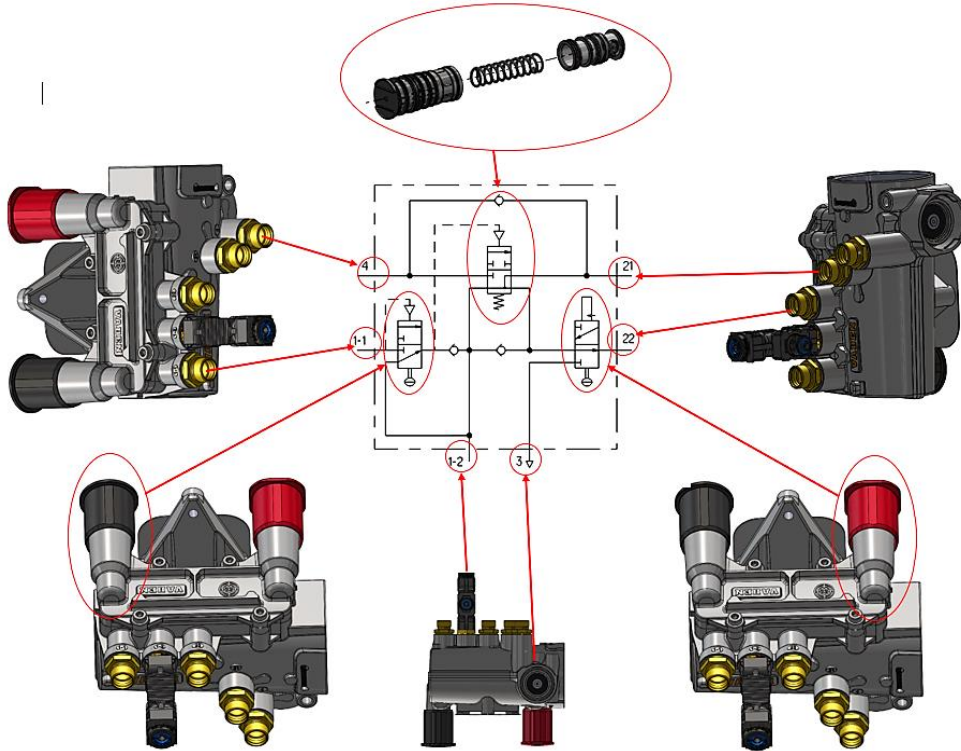


Şekil 3.4. Acil durum valfinin araç ile bağlantı şeması (WABCO)

Kompresörden gelen basınçlı hava Şekil 3.5’de gösterilen birinci giriş hattından (1-1) valfe, T bağlantı sayesinde tek hattan bağlanır ve ikinci giriş hattı (1-2) da buradan beslenir. Basınçlı hava, (1-1) hattından çek valf yayını kaldırarak sisteme giriş yapar ve (1-2) hattından da bağlantı sayesinde basınçlı havanın geçişi gerçekleşir. Siyah buton üzerinden gelen basınçlı hava otomatik şekilde siyah butonu hareket ettirerek, ileri yönde konumunu değiştirir ve pistonun konumu açık pozisyona geçer ve gövdenin içerisine hava girişi sağlanır. Basınçlı hava, emniyet yayı kuvvetini yenerek, basınçlı hava birinci çıkış hattından (2-1) çıkışa yönlendirilir. (1-2) hattı sayesinde ikinci çıkış hattı (2-2) sürekli basınçlı hava ile beslenerek frenleme boşa çıkarılır. Bu sayede araç sürüş pozisyonuna konumunda bulunur.

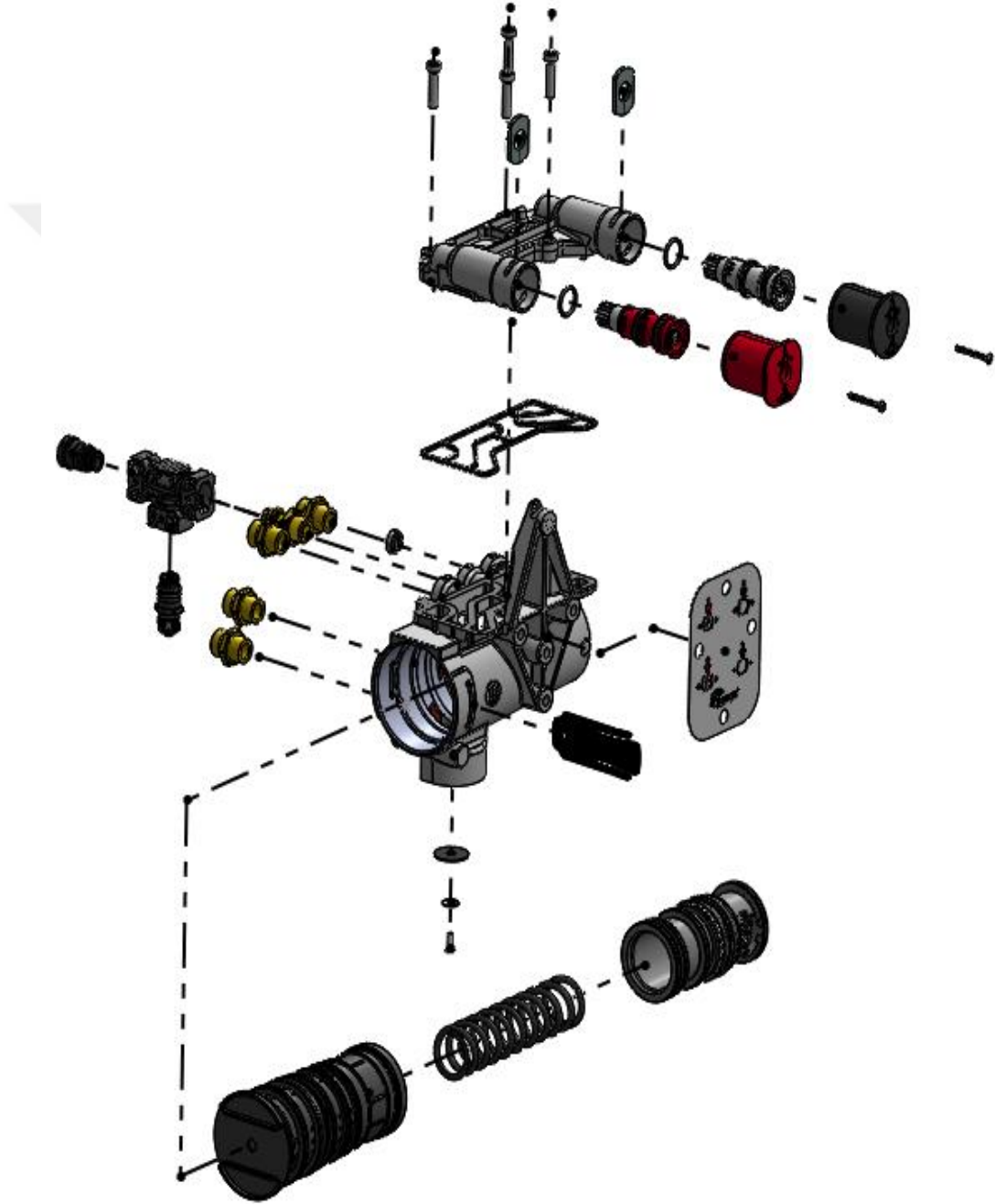
Şoför, sürüş anında fren yapmak istediği zaman fren pedalına basarak, ayak freninden gelen basınçlı hava kontrol giriş hattından (4) sisteme girer ve (2-1) çıkış hattına yönlendirilerek aracın yavaşlamasını veya durmasını sağlar.

Acil durum anında (1-1) hattındaki hava koptuğu esnada emniyet yayı geri konumuna gelir. Bu esnada araç (1-2) hattından sistemi devam ettirir araç güvenli alana çekilinceye kadar gerekli basınçlı hava buradan sağlanır. Bu aradaki geçiş süresi, yani acil durum valfinin tepki süresi, frenleme açısından çok önemli olduğu için yüksek doğrultu ve hayatiyetle deneysel olarak ölçülmesi gerekir.



Şekil 3.5. Acil durum valfinin pnömatiske şeması

Valf bileşenlerinin demontaj işlemine ait görseli Şekil 3.6’da sunulmuştur. Deneysel çalışmalarda valf içerisindeki bileşenlerin değiştirilmesini standart hale getirmek amacıyla bu görsel kullanılmıştır. Demontaj sırasında, bileşenlerin her biri dikkatli bir şekilde çıkarılır ve hiçbir parçanın hasar görmemesine dikkat edilir. Valfin demontaj görüntüsü, bileşenlerin yerleşimini ve bağlantı noktalarını ayrıntılı bir şekilde göstererek, ürünün içyapısının ve çalışma prensibinin anlaşılmasını kolaylaştırır.



Şekil 3.6. Acil durum valfin demontaj edilmiş katı modeli

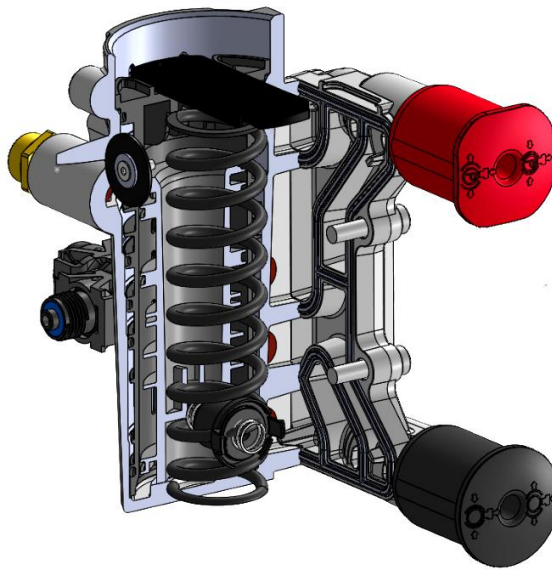
4. SİSTEM KURULUMU VE DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu bölümde, valf dinamiğine ait parametrelerinin belirlenmesi, deney düzeneğinin bileşenlerinin tanıtımı ve kurulması detaylı olarak sunulmuştur. Deneysel çalışmaların doğru ve güvenilir sonuçlar verebilmesi amacıyla, seçilen ekipmanların teknik özellikleri, kullanım amaçları ve işlevleri açıklanmıştır. Çalışmaların bilimsel bir altyapıda yürütülmesi amacıyla, sistemin çalışma prensipleri ile deneysel çalışmaların yürütülmesini sağlayan temel unsurlar açıklanmıştır.

4.1. Sistem Dinamiğine Ait Parametrelerin Belirlenmesi

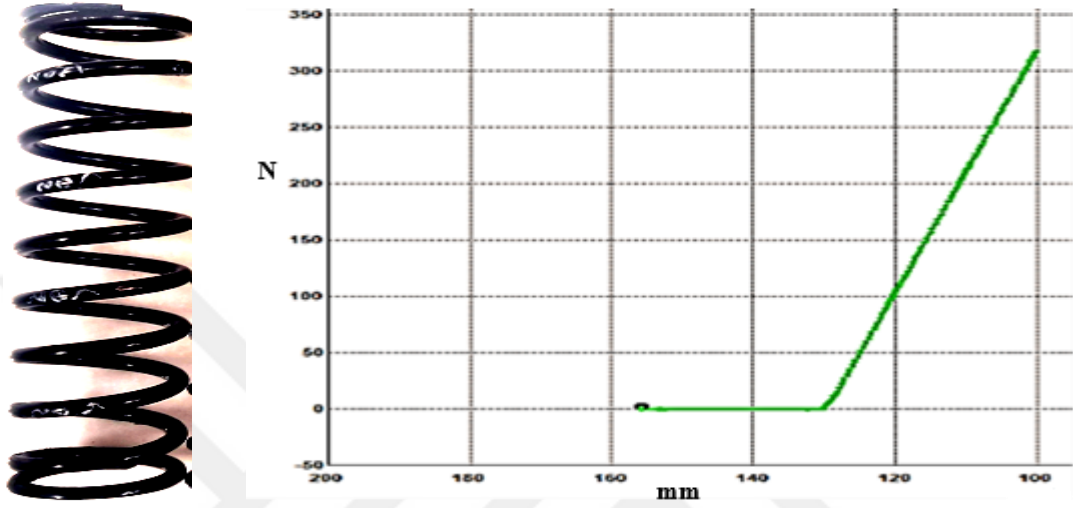
Emniyet valfinin tepki süresine belirgin oranda etki eden üç adet valfe bileşeni giriş parametresi olarak belirlenmiştir. Bunlar sırasıyla; emniyet yay katsayısı, çek valf yay katsayısı ve bağlantıların hortum çapıdır,

Emniyet yay katsayısı (k_e), kompresörden gelen basınçlı havanın sistemde 3.5 ± 0.5 bara yükseldiğinde, emniyet yayı plastik iç pistonu hareket ettirerek imdatlı fren körüğüne hava akışını sağlar. Valfin yönlendirdiği basınçlı hava, imdatlı fren körüğünün yay kuvvetini yenerek aracı sürüş pozisyonuna hazır hale getirir. Valfin olası arızalarında, hava akışının sağlanamadığı ve basıncın 2,50 bar altına düştüğü acil durumlarda piston ilk konumuna geri gelir. Sistem maksimum 8,50 bar basınçta çalışmaktadır. Emniyet yayının Şekil 4.1’de katı modeline ait görsel verilmiştir.



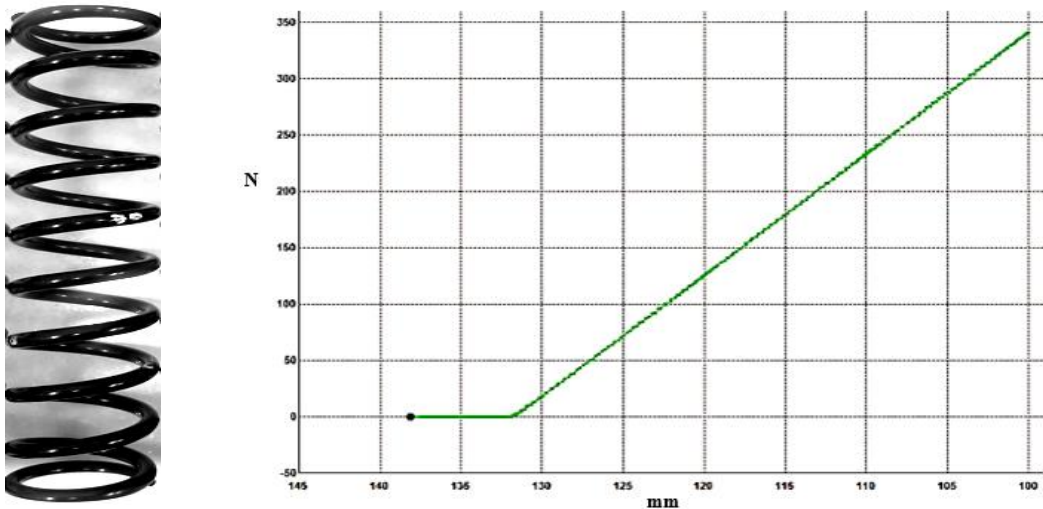
Şekil 4.1. Emniyet yayının katı modeline ait görsel

Toplamda beş farklı emniyet yayı belirlenmiştir. 1 numaralı emniyet yayının dış çapı Ø34,00 mm, tel çapı Ø4,10 mm olup, yüzeyi taşlanmıştır. Yaya düşeyde tam boyu 130,20 mm'den 100 mm'ye kadar yer değiştirme uygulandığında yayın 325 N değerinde bir tepki kuvveti verdiği ölçülmüş ve yay sabiti $k_{e1} = 10,75 \text{ N/mm}$ olarak hesaplanmıştır. Şekil 4.2'de k_{e1} yayına ait görsel ve kuvvet-yer değiştirme grafiği verilmiştir.



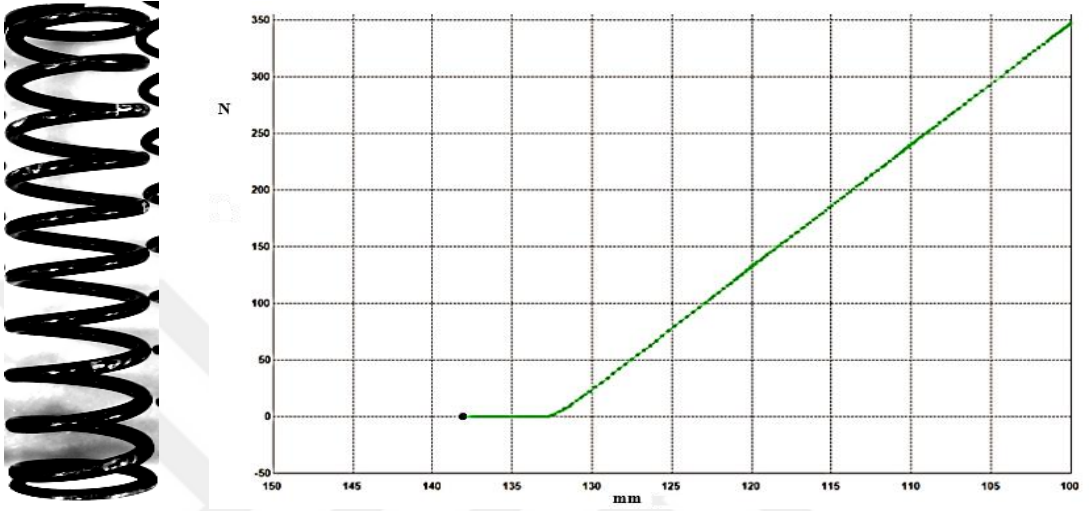
Şekil 4.2. k_{e1} yayına ait görsel ve kuvvet-yer değiştirme grafiği

2 numaralı emniyet yayının dış çapı Ø34,10 mm, tel çapı Ø4,00 mm olup, yüzeyi taşlanmıştır. Yaya düşeyde tam boyu 132,00 mm'den 100 mm'ye kadar yer değiştirme uygulandığında yayın 345,50 N değerinde bir tepki kuvveti verdiği ölçülmüş ve yay sabiti $k_{e2} = 10,80 \text{ N/mm}$ olarak hesaplanmıştır. Şekil 4.3'de k_{e2} yayına ait görsel ve kuvvet-yer değiştirme grafiği verilmiştir.



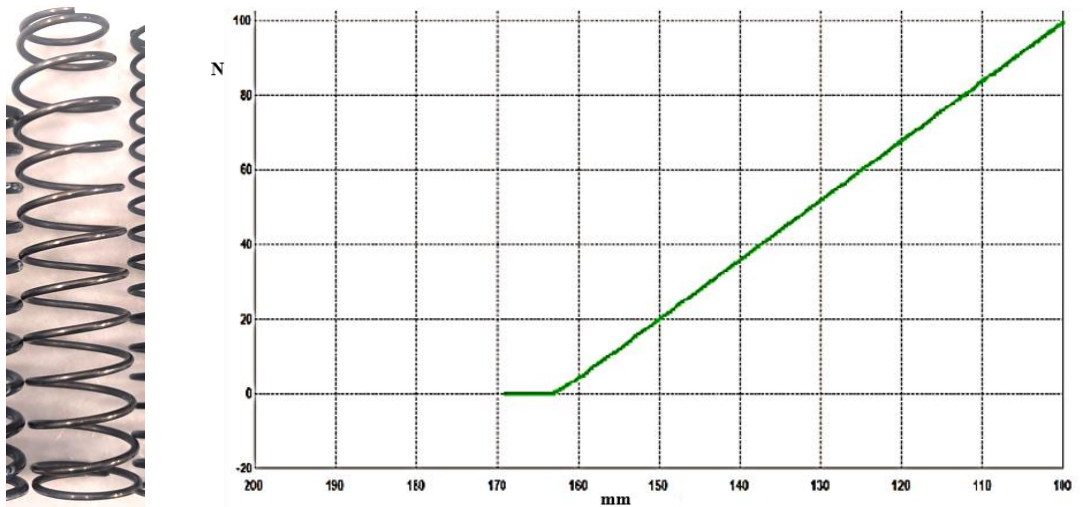
Şekil 4.3. k_{e2} yanına ait görsel ve kuvvet-yer değiştirme grafiği

3 numaralı emniyet yayının dış çapı $\varnothing 34,00$ mm, tel çapı $\varnothing 4,05$ mm olup, yüzeyi taşlanmıştır. Yaya düşeyde tam boyu 133,00 mm'den 100 mm'ye kadar yer değiştirme uygulandığında yayın 353,10 N değerinde bir tepki kuvveti verdiği ölçülmüş ve yay sabiti $k_{e3} = 10,70$ N/mm olarak hesaplanmıştır. Şekil 4.4'de k_{e3} yayına ait görsel ve kuvvet-yer değiştirme grafiği verilmiştir.



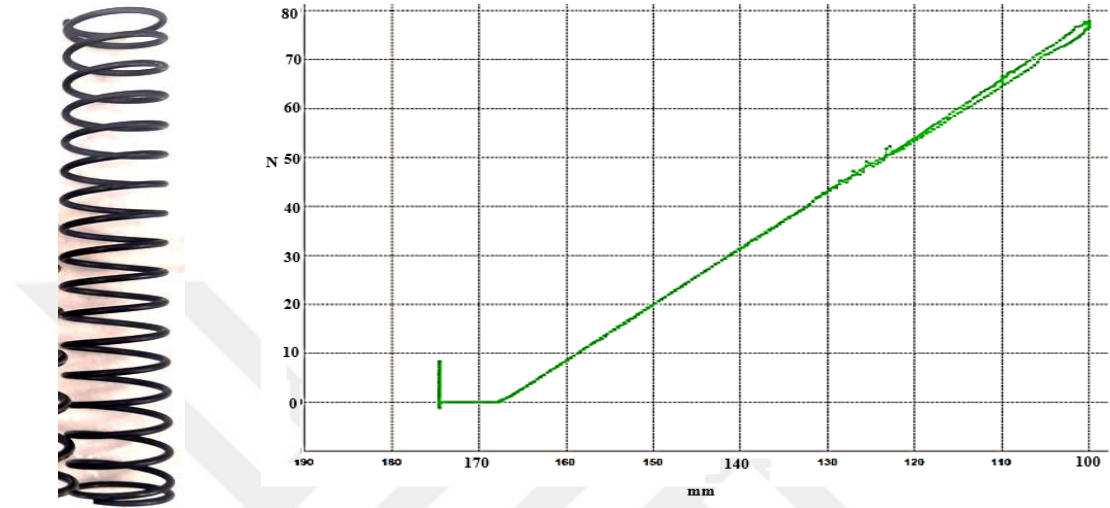
Şekil 4.4. k_{e3} yayına ait görsel ve kuvvet-yer değiştirme grafiği

4 numaralı emniyet yayının dış çapı $\varnothing 35,75$ mm, tel çapı $\varnothing 2,85$ mm olup, yüzeyinde taşlama yoktur. Yaya düşeyde tam boyu 163,00 mm'den 100 mm'ye kadar yer değiştirme uygulandığında yayın 100,80 N değerinde bir tepki kuvveti verdiği ölçülmüş ve yay sabiti $k_{e4} = 1,60$ N/mm olarak hesaplanmıştır. Şekil 4.5'de k_{e4} yayına ait görsel ve kuvvet-yer değiştirme grafiği verilmiştir.



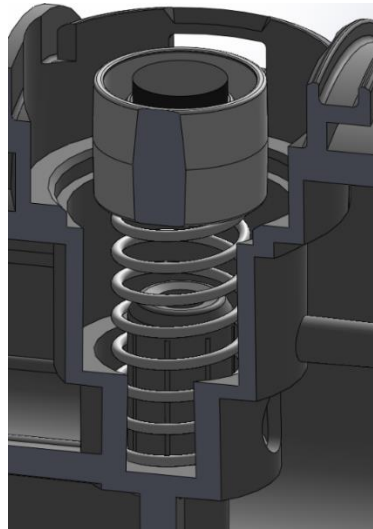
Şekil 4.5. k_{e4} yayına ait görsel ve kuvvet-yer değiştirme grafiği

5 numaralı emniyet yayının dış çapı $\varnothing 26,30$ mm, tel çapı $\varnothing 2,30$ mm olup, yüzeyi taşlanmıştır. Yaya düşeyde tam boyu 165,00 mm'den 100 mm'ye kadar yer değiştirme uygulandığında yayın 78,00 N değerinde bir tepki kuvveti verdiği ölçülmüş ve yay sabiti $k_{e5} = 1,20$ N/mm olarak hesaplanmıştır. Şekil 4.6'de k_{e5} yayına ait görsel ve kuvvet-yer değiştirme grafiği verilmiştir.



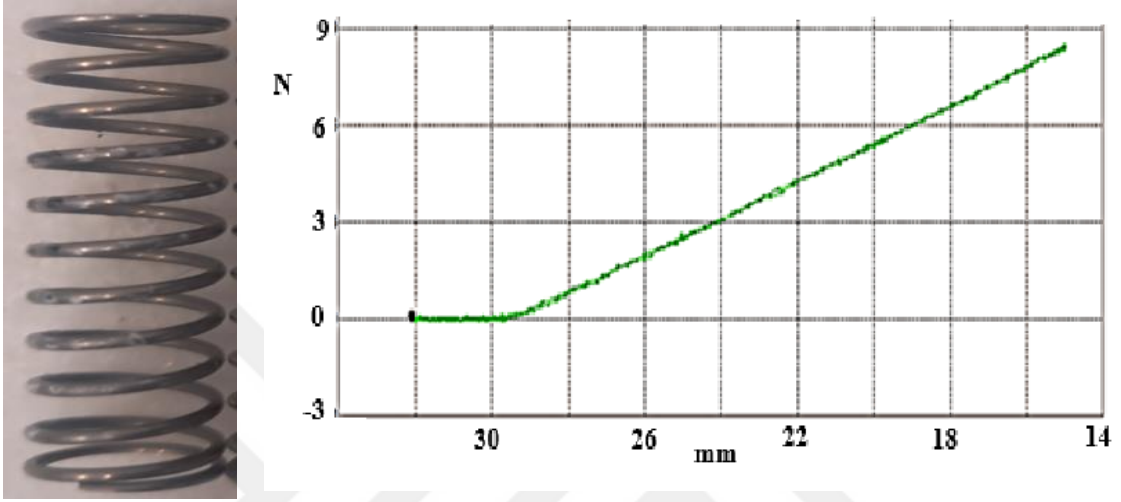
Şekil 4.6. k_{e5} yayına ait görsel ve kuvvet-yer değiştirme grafiği

Çek valf yay katsayısı (k_c), giriş hattındaki basınçlı havanın olası arızalardaki kesilme durumlarında çek valf pistonunun hareketini denetleyerek, giriş hattını kapatmasını ve sistem içerisinde basınçlı havanın sızdırmazlığını sağlamaktadır. Şekil 4.7'de katı modeline ait bir görsel verilmiştir.



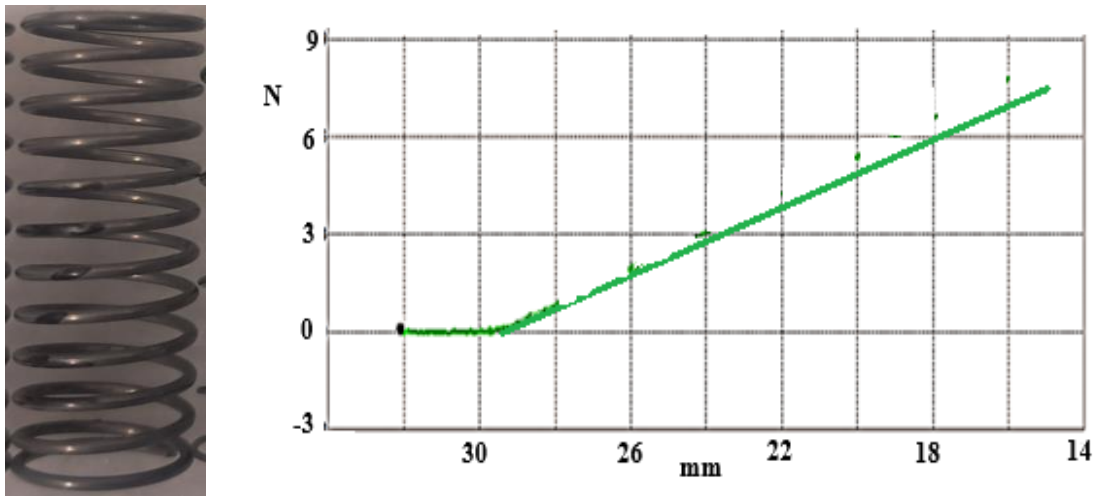
Şekil 4.7. Çek valf yayının katı modeline ait görsel

Toplamda beş farklı çek valf yayı belirlenmiştir. 1 numaralı çek valf yayının dış çapı Ø11,10 mm, tel çapı Ø0,90 mm olup, yüzeyi taşlanmıştır. Yaya düşeyde tam boyu 29,70 mm'den 15 mm'ye kadar yer değiştirme uygulandığında yayın 8,80 N değerinde bir tepki kuvveti verdiği ölçülmüş ve yay sabiti $k_{ç1} = 0,60$ N/mm olarak hesaplanmıştır. Şekil 4.8'de $k_{ç1}$ yayına ait görsel ve kuvvet-yer değiştirme grafiği verilmiştir.



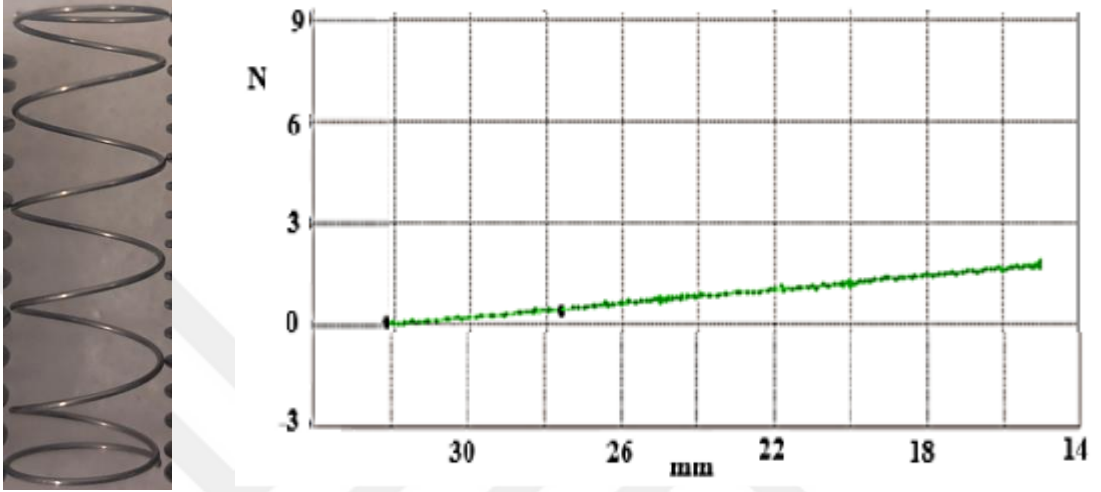
Şekil 4.8. $k_{ç1}$ yayına ait görsel ve kuvvet-yer değiştirme grafiği

2 numaralı çek valf yayının dış çapı Ø11,15 mm, tel çapı Ø0,90 mm olup, yüzeyi taşlanmıştır. Yaya düşeyde tam boyu 30,60 mm'den 15 mm'ye kadar yer değiştirme uygulandığında yayın 7,80 N değerinde bir tepki kuvveti verdiği ölçülmüş ve yay sabiti $k_{ç2} = 0,50$ N/mm olarak hesaplanmıştır. Şekil 4.9'da $k_{ç2}$ yayına ait görsel ve kuvvet-yer değiştirme grafiği verilmiştir.



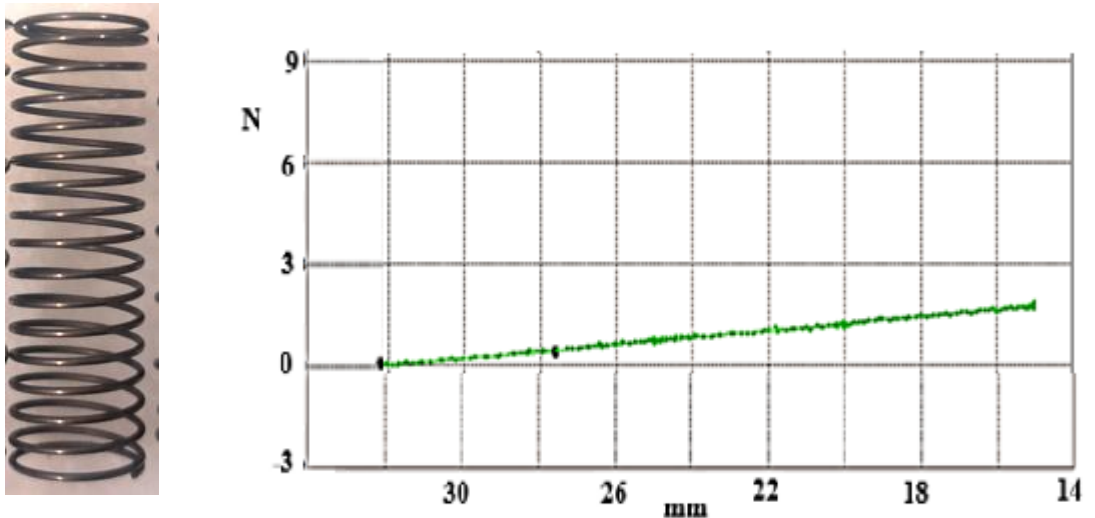
Şekil 4.9. $k_{ç2}$ yayına ait görsel ve kuvvet-yer değiştirme grafiği

3 numaralı çek valf yayının dış çapı $\varnothing 10,80$ mm, tel çapı $\varnothing 0,50$ mm olup, yüzeyde taşlanma yoktur. Yaya düşeyde tam boyu 32,60 mm'den 15 mm'ye kadar yer değiştirme uygulandığında yayın 1,75 N değerinde bir tepki kuvveti verdiği ölçülmüş ve yay sabiti $k_{\zeta 3} = 0,10$ N/mm olarak hesaplanmıştır. Şekil 4.10'da $k_{\zeta 3}$ yayına ait görsel ve kuvvet-yer değiştirme grafiği verilmiştir.



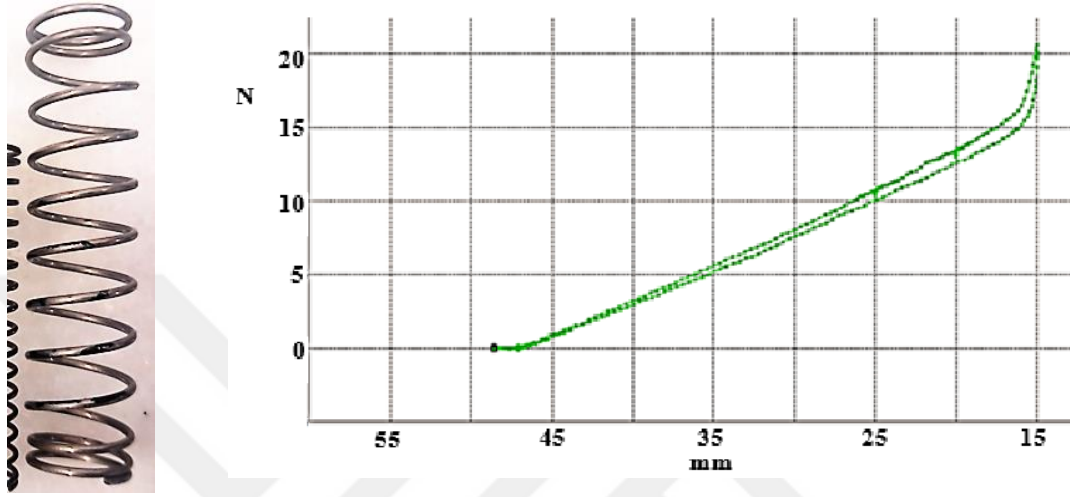
Şekil 4.10. $k_{\zeta 3}$ yayına ait görsel ve kuvvet-yer değiştirme grafiği

4 numaralı çek valf yayının dış çapı $\varnothing 10,50$ mm, tel çapı $\varnothing 0,60$ mm olup, yüzeyde taşlanma yoktur. Yaya düşeyde tam boyu 33,50 mm'den 15 mm'ye kadar yer değiştirme uygulandığında yayın 2,65 N değerinde bir tepki kuvveti verdiği ölçülmüş ve yay sabiti $k_{\zeta 4} = 0,08$ N/mm olarak hesaplanmıştır. Şekil 4.11'de $k_{\zeta 4}$ yayına ait görsel ve kuvvet-yer değiştirme grafiği verilmiştir.



Şekil 4.11. $k_{\zeta 4}$ yayına ait görsel ve kuvvet-yer değiştirme grafiği

5 numaralı çek valf yayının dış çapı $\varnothing 11,50$ mm, tel çapı $\varnothing 0,85$ mm olup, yüzeyi taşlanmıştır. Yaya düşeyde tam boyu 47,00 mm'den 15 mm'ye kadar yer değiştirme uygulandığında yayın 22,40 N değerinde bir tepki kuvveti verdiği ölçülmüş ve yay sabiti $k_{\zeta 5} = 0,70$ N/mm olarak hesaplanmıştır. Şekil 4.12'de $k_{\zeta 5}$ yayına ait görsel ve kuvvet-yer değiştirme grafiği verilmiştir.



Şekil 4.12. $k_{\zeta 5}$ yayına ait görsel ve kuvvet-yer değiştirme grafiği

Kullanılan yayların kuvvet-yer değiştirmeleri arasında ilişkinin ölçüldü ve yay sabitlerinin hesaplandığı test cihazına ait görsel Şekil 4.13'de verilmiştir. Bu cihaz, belirlenmiş parametredeki farklı yapıdaki yayların, deplasman değerine göre kuvvet değerinin gözlemlenmesi amacıyla kullanılmıştır. Ölçüm cihazından elde edilen kuvvet-yer değiştirme değerleri sayısal ve grafiksel olarak sunulmuştur.



Şekil 4.13. Yay sabiti ölçüm cihazı (Vaden Otomotiv)

Bağlantı hortumları (Q_h), otomotiv sektöründe kullanılan bağlantı hortum çapları, genellikle hortumların dayanıklılığını ve performansını belirlemek için önemlidir. Bu hortumlar, fren sistemleri ve diğer mekanik bileşenler arasında bağlantı sağlamak için kullanılır. Genel olarak, otomotiv sektöründe kullanılan hortum çapları 3/16 inç ile 2 inç arasında değişebilir. Basıncın iletiminin debi ile doğru orantılı olduğu için, debinin önemli bir parametre olduğu düşünülmektedir. Bağlantı hortumuna ait örnek bir görsel Şekil 4.14’de verilmiştir.



Şekil 4.14. Ölçüleri Ø6-Ø16 mm arası değişen sarmal hortum (WABCO)

Pnömatik hortumlar genellikle poliüretan ve poliamid malzemeden üretilir ve yüksek esnekliği sayesinde dar alanlarda rahatlıkla kullanılabilir. Maksimum çalışma basıncı malzemeye bağlı olarak 6-10 bar arasında değişirken, sıcaklık dayanımı ise -20°C ila +60°C aralığında olabilir. Bu özellikleriyle havalı fren mekanizmalarında güvenle kullanılabilir. Deneysel çalışmalar için, iç çapları Ø6 mm, Ø8 mm, Ø10 mm, Ø12 mm ve Ø16 mm olan, 1,5 m uzunluğunda toplamda beş farklı hortum belirlenmiştir.

Valf parametrelerine ait değerlerin belirlenmesinde; yaygın kullanılır olması, erişilebilirliğinin yüksek olması, deney düzeneğine kolay bağlanabilmesi ve düşük maliyetli olması gibi etkenler göz önüne alınmıştır

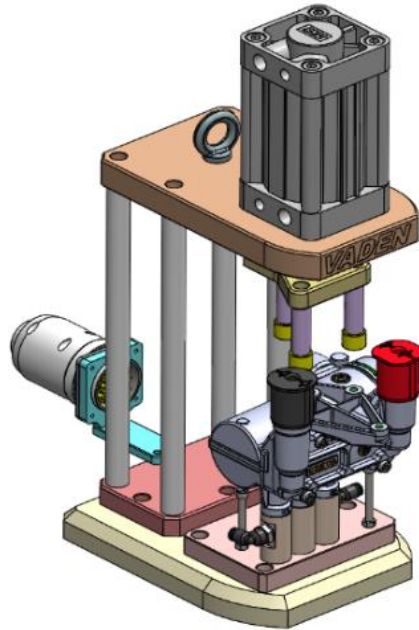
4.2. Deney Düzeneğinin Bileşenleri ve Kurulumu

Deney düzeneği, acil durum valfinin ani tepki süresini basınç farkına bağlı olarak manuel ve otomatik olarak ölçebilmek için tasarlanmıştır. Pano üzerindeki analog ve dijital göstergeler yardımıyla basınç değerleri sürekli gözlemlenebilir. Kontrol panosundaki elektronik donanımlar üzerinden test sırasında basınç verilerini okuma, kaydetme ve eyleyiciyi denetleme işlemleri gerçekleştirilebilir. Ayrıca, bu işlemler dokunmatik ekran üzerinden kolayca ayarlanabilir. Deney düzeneğine ait genel bir görsel Şekil 4.15’de verilmiştir.



Şekil 4.15. Deney düzeneğine ait genel görünüm

Deney düzeneğindeki valfin bağlandığı fikstürüne ait katı modeli Şekil 4.16’da sunulmuştur. Güvenlik amacıyla, bağlantı düzeneği iki elle düğmeye basılarak çalıştırılacak şekilde, emniyet kurallarına uygun olarak tasarlanmıştır. Fikstür sayesinde, giriş ve çıkış bağlantılarında Ø6-Ø16 mm çapındaki hortumların takılması ve test edilmesi mümkün hâle getirilmiştir.



Şekil 4.16. Deney düzeneği fikstürüne ait katı model

Deney düzeneğinde kullanılan temel bileşenlerine ait görseller ve genel özelliklerine ait açıklamalar Çizelge 4.1’de aktarılmıştır.

Çizelge 4.1. Deney düzeneğine ait temel bileşenler ve özellikleri

Bileşen	Özellikleri
Programmable Logic Controller (PLC) 	PLC, selenoid valflerin açılıp, kapanma sırasını, pnömatik silindirlerin açılma sırasını ve test edilecek ürününe havanın girişini ve tahliyesini sağlayan ve selenoid valfin kontrol sırasını programlayarak yöneten bir bileşendir (Elmas, 2022).
Kontrol Paneli 	Kontrol paneli, PLC ve diğer kontrol sistemleriyle uyumlu çalışarak veri görselleştirme, kontrol ve izleme işlevlerini sağlar.
Dijital Basınç Göstergesi 	Basınç göstergesi, sistem basıncının hassas ve kontrollü bir şekilde ayarlanması ve izlenmesi, sistemin güvenli bir şekilde çalışmasını sağlamak için kullanılan, belirleyici bileşenlerden birisidir, basıncı bar olarak gösterir.
Basınç Sensörü 	Basınç sensörü, ortam basıncını ölçmek ve bu bilgiyi kullanılabilir bir elektronik sinyale dönüştürmek için kullanılan bir bileşendir. Temel işlevi, uygulanan basınç miktarını algılamak ve bunu elektriksel bir sinyal olarak iletmektir.

Solenoid Valf (2/2) 	Solenoid yön kontrol valfi, deney cihazındaki testi başlatmak için iki el aktif basılı çalışan butonların yön kontrollerini sağlamak için kullanılır. Deney cihazı emniyeti için iki yönlü ve iki konumlu (2/2), tek bobinli, yay geri tepmeli solenoid valf tercih edilmiştir.
Solenoid Valf (5/2) 	Solenoid yön kontrol valfi, deney cihazındaki pnömatik pistonların yön kontrollerini sağlamak için kullanılır. Beş yönlü ve iki konumlu (5/2), otomatik bobin kontrollü, yay geri tepmeli solenoid valf tercih edilmiştir.
Pnömatik Piston 	Pnömatik silindirlerin bağlı olduğu hat basıncı maksimum 8 bar olarak belirlenmiştir. Piston çapı 80 mm, piston uzunluğu, deney cihazının geometrisine bağlı olarak 50 mm olarak belirlenmiştir.
DEWE-43A 	Deneylerden elde edilen sinyal verilerinin yüksek hassasiyetle ölçülmesi ve Dewesoft yazılımıyla haberleşmesi amacıyla kullanılır. Bu yöntem, deney sonuçlarının doğru ve güvenilir bir şekilde analiz edilmesini sağlar (Gül, 2020).

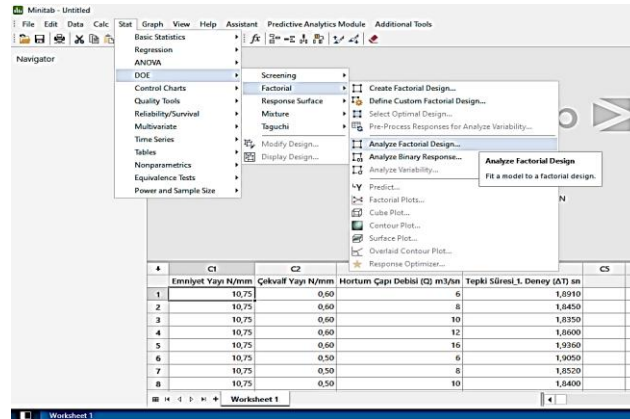
4.3. Veri Setinin Elde Edilmesi

Veri toplama ve işleme süreçlerinde, DEWESOFT firmasına ait donanım ve yazılım kullanılmıştır. Deney düzeneğinde, sistem giriş basıncı, sistem çıkış basıncı, tepki süresi gibi verilerin ölçümü için Dewe-43 modülü kullanılmıştır. Bu modüle bağlanan sensörler aracılığı ile ölçümler anlık olarak yapılmakta ve Şekil 4.17’de görüldüğü gibi veri toplama ve işleme yazılımı ekran ara yüzü aracılığıyla kayıt altına alınmaktadır. Deney sonrasında kayıt üzerindeki verilerden grafikler oluşturulabilmekte ve veriler ölçülebilmektedir. Deneysel çalışmalar kapsamında elde edilen veriler kayıt altına alınarak deneysel tasarım ve modelleme çalışmalarında kullanılmıştır.



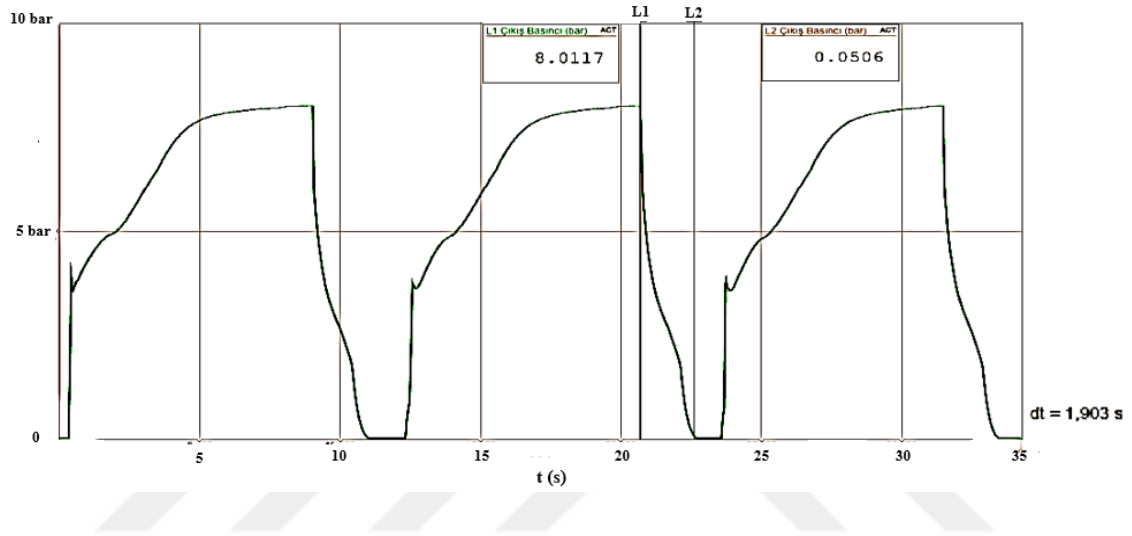
Şekil 4.17. Veri toplama ve işleme yazılımına ait ekran görüntüsü

Deneysel tasarım çalışmalarında kullanılan Minitab, deneysel verileri çeşitli istatistiksel yöntemlerle hızlı ve etkili şekilde analiz etmeyi sağlayan, grafiksel çıktılar sunabilen bir yazılım programıdır. Şekil 4.18’de deneysel verilerin analizine ait bir ekran görüntüsü verilmiştir.



Şekil 4.18. Deneysel tasarım yazılımı ekranına ait görüntü

Veri toplama ve işleme süreçlerinde, sensörler den gelen yüksek çözünürlükteki veriler gerçek zamanlı olarak işlenmiş ve detaylı grafiksel analizler yapılmıştır. Örnek bir deneyden elde edilen valf tepki süresinin zaman bağılı değişimini veren bir grafik Şekil 4.19’da gösterilmiştir. Grafikte valfin basınçlı havaya etkisinde açılıp kapanma hareketinde ait tepki süreleri görülmektedir. Yatay eksen süreyi (saniye), dikey eksen ise basıncı (bar) temsil eder. Basıncın 8,0117 bardan (L1) 0,0506 bara (L2) ani düştüğündeki zaman farkı ($\Delta t = 1.903$ s) valfin tepki süresine ait değer olarak ölçülmektedir.



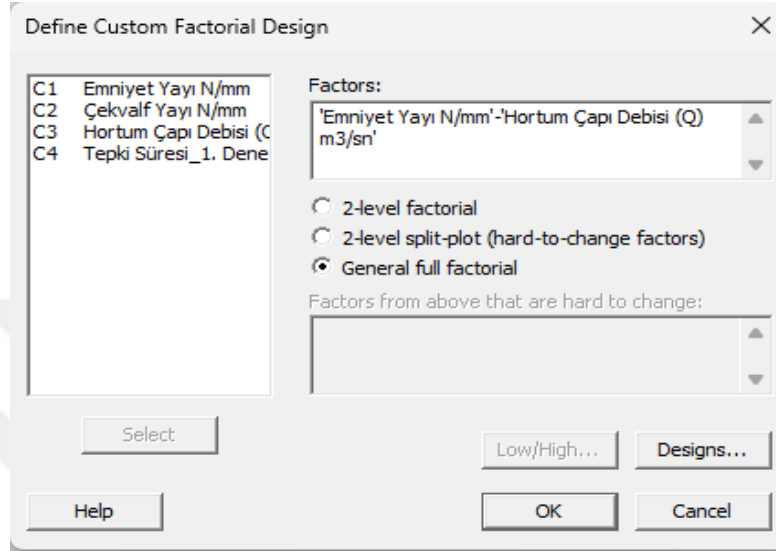
Şekil 4.19. Bir deneyin valf tepki süresi grafiği

4.4. Deney Verilerin Varyans Analizi

Deneyisel çalışmalar, sistemin giriş ve çıkış parametreleri arasında tam faktöriyel bir tasarım metodu kullanılarak gerçekleştirilmiş ve geniş bir veri seti oluşturulmuştur. Bu yöntem, deneyisel tasarımın kapsamını genişleterek daha güvenilir sonuçlar elde etmeyi sağlar, tüm verilerin değerlendirilmesine ve daha kapsamlı bir analiz yapılmasına olanak sunar (Jankovic, 2021). Tam faktöriyel tasarım yöntemine göre üç parametrelili ve beş seviyeli toplamda 125 adet deney gerçekleştirmiştir. Elde edilen 125 adet deney verisinden 110 tanesi regresyon analizinde matematiksel modelin elde edilmesi amacıyla kullanılmış, kalan 15 veri ise modelin tahmin performansını değerlendirmek üzere ayrılmıştır. Tam faktöriyel tasarımına ait genel formülasyonu Denklem 4.1’de verilmiştir. Burada; a , parametre seviyesi, k , seçilen parametre sayısı, n , deney sayısıdır.

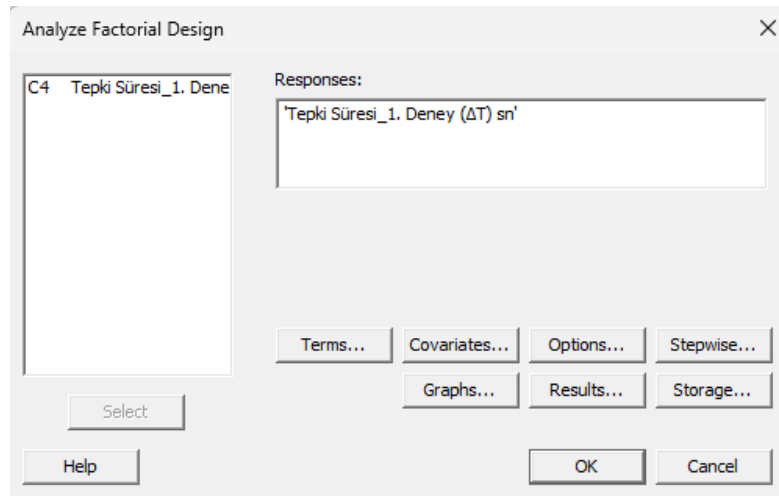
$$n = a^k \quad (4.1)$$

Tam faktöriyel tasarımda girdi parametreleri, deneyin hedefleri, sistemin özellikleri ve sonuçlar üzerindeki potansiyel etkilerine göre dikkatlice belirlenir. Bu tasarım, her bir girdinin farklı seviyelerinin tüm olası kombinasyonlarını inceleyerek deneysel sonuçları daha derinlemesine anlamayı sağlar. Şekil 4.20’de girdi parametrelerine ait bir görsel verilmiştir.



Şekil 4.20. Giriş Parametreleri

Tam faktöriyel tasarımda çıkış parametreleri, deneyi gerçekleştirdikten sonra ölçülen veya gözlemlenen sonuçları ifade eder. Çıkış parametreleri, deneyde kullanılan faktörlerin ve seviyelerin etkilerini değerlendirmekte önemli bir role sahiptir. Bu parametreler, deneyin hedeflerine bağlı olarak değişkenlik gösterebilir. Şekil 4.21’de çıktı parametrelerine ait bir görsel verilmiştir.



Şekil 4.21. Çıkış Parametreleri

Deney sonuçlarından elde edilen tepki sürelerine ilişkin tam faktöriyel tasarım modeline ait varyans analiz sonuçları Çizelge 4.2’de sunulmuştur. Varyans analizi, istatistiksel bir yöntem olup, bir veya birden fazla parametre arasındaki ortalamaların anlamlı bir farklılık gösterip göstermediğini belirlemek için kullanılır. Deney parametrelerinin ve seviyelerinin istatistiksel olarak anlamlı olduğunu belirten R-Sq değeri %99,98 oranında gerçekleşmiştir, bu değer verilerin birbiri ile büyük oranda uyumlu ve anlamlı olduğunu göstermektedir.

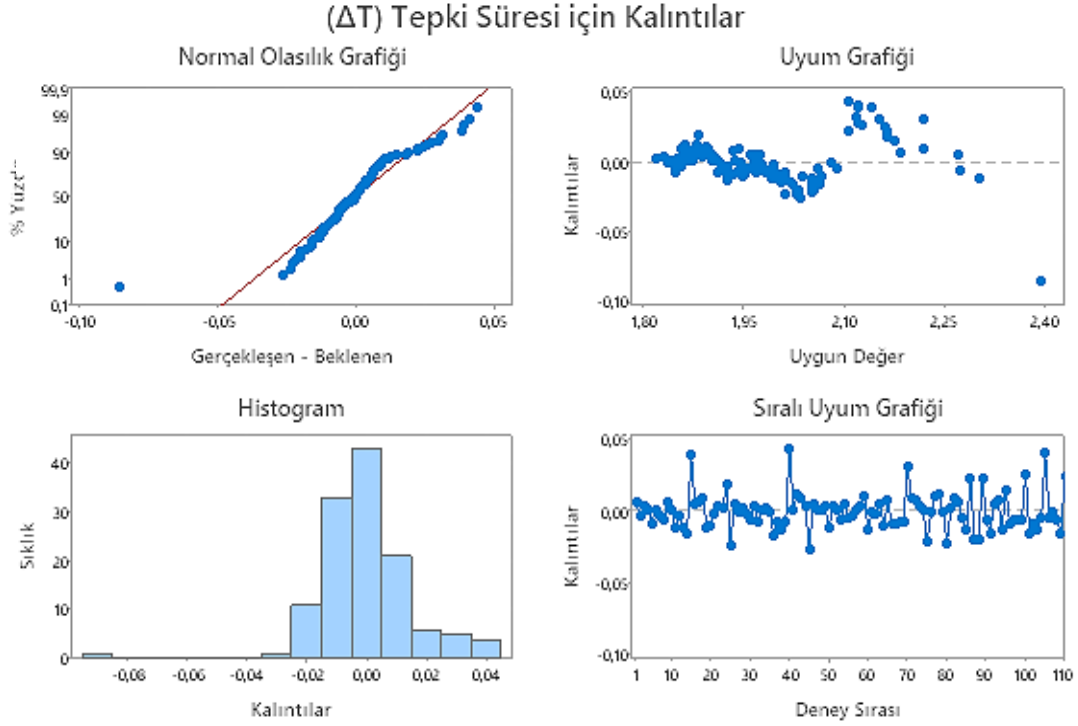
Etki oranları analiz edildiğinde, %33,33 oran ile valf tepki süresine en etkili parametrenin k_e olduğu anlaşılmıştır. k_c ve Q_h ‘nin etkiler ise, sırasıyla % 29,41 ve % 31,73 olarak gerçekleşmiştir. Parametrelerin tek başına çıkış üzerindeki etkilerine ve kendi aralarında ikili/üçlü etkileşimlerini bakıldığında, belirlenen parametrelerini ve elde edilen deneysel verilerin istatistiksel olarak anlamlı ve uygun olduğu gözlemlenmiştir.

P değerleri incelendiğinde, tüm değerler için 0,05 değerinden küçük olması, bu parametrelerin tepki süresi üzerinde istatistiksel olarak etkin olduğunu göstermiştir. F oranları incelendiğinde k_e , k_c ve Q_h değişkenlerin çok yüksek F değerine sahip olduğu anlaşılmaktadır ve bu da güçlü bir etkiye işaret etmektedir. Hata etki oranı ise %0,02 gibi düşük bir değeri gösterdiği için modelin güvenilir olduğunu anlaşılmaktadır.

Çizelge 4.2. Tam faktöriyel tasarım modeli varyans analizi sonuçları

Parametre	Serbestlik Derecesi (DF)	Etki Oranı %	Kareler Toplamı (SS)	Kareler Ortalaması (MS)	F Oranı (a=%5)	P Değeri
Model	124	99,98%	4,92036	0,039680	10264,35	0,0012
k_e	4	33,33%	1,64044	0,410111	106085,79	0,0031
k_c	4	29,41%	1,44732	0,361829	93596,58	0,0275
Q_h	4	31,73%	1,56133	0,390332	100969,55	0,0078
$k_e k_c$	16	1,22%	0,05997	0,003748	969,58	0,0091
$k_e Q_h$	16	1,19%	0,05863	0,003664	947,91	0,0277
$k_c Q_h$	16	1,13%	0,05575	0,003484	901,35	0,0043
$k_e k_c Q_h$	64	1,97%	0,09692	0,001514	391,72	0,0397
Hata	250	0,02%	0,00097	0,000004		
Toplam	374	100,00%				

Tepki süresi için hata kalıntı grafikleri, regresyon analizinde modelin doğruluğunu ve tahmin edilen değerlerin hata dağılımını incelemek için kullanılan grafiklerdir. Şekil 4.22’de verilen hata kalıntı grafikleri, modelin sistematik hatalar içerip içermediğini istatistiksel olarak nasıl dağıldığını göstermektedir.



Şekil 4.22. Hata kalıntıları (beklenen-gerçekleşen) grafiği

Normal olasılık grafiği, kalıntıların normal dağılıma uyup uymadığını kontrol eder. Düz bir çizgi üzerinde noktaların yaklaşık olarak yer aldığı gözlemlenmiştir, bu da modelin normal dağılıma uygun olduğunu göstermiştir.

Uyum grafiği, tahmin edilen değerlerle olan ilişkisini gösterir. Artıklar sıfır etrafında rastgele dağılmış gibi görünüyor. Bu, modelin veriyi iyi bir şekilde uyardığını ve sistematik bir hata olmadığını gözlemlenmiştir.

Artıkların frekans dağılımını gösteren histogram, sıfır etrafında simetrik bir yapı sergiliyor. Bu durum, artıkların normal dağılıma uygun olduğunu ve büyük bir sapma olmadığını göstermiştir.

Sıralı uyum grafiği, artıkların gözlem sırasına göre nasıl değiştiği analiz edilir. Artıklar sıfır etrafında rastgele bir şekilde dağılmış gibi görünüyor ve belirgin bir örüntü bulunmuyor. Bu, artıkların zaman veya gözlem sırasına bağlı olmadığını, bağımsız olduğunu göstermiştir.

4.5. Matematiksel Modelin Elde Edilmesi

Bağımlı değişkenin bir veya daha fazla bağımsız değişkenle nasıl etkileşimde bulunduğunu anlamak için kullanılan regresyon analizi istatistiksel bir teknik olarak öne çıkmaktadır. Bu yöntem, değişkenler arasındaki ilişkiyi matematiksel bir modelle ifade ederek gelecekteki tahminler yapmaya yardımcı olur. Matematiksel modelleme, bir sistemin davranışını anlamak ve tahmin etmek için sistemin doğrusal veya doğrusal olmayan denklemlerle formüle edilmesidir. Deneysel verilerin regresyon analizinden elde edilen, acil durum valfi tepki süresinin emniyet yay katsayısı, çek valf yay katsayısı ve hortum çapına bağlı matematiksel formülasyonu Denklem 4.2’de verilmiştir.

$$\begin{aligned} \Delta T = & 2,8477 - 0,2430 k_e - 0,4733 k_c - 0,09110 Q_h + 0,01888 k_e^2 \\ & + 0,2344 k_c^2 + 0,004645 Q_h^2 + 0,01017 k_e k_c \\ & + 0,000008 k_e Q_h + 0,00441 k_c Q_h - 0,000791 k_e k_c Q_h \end{aligned} \quad (4.2)$$

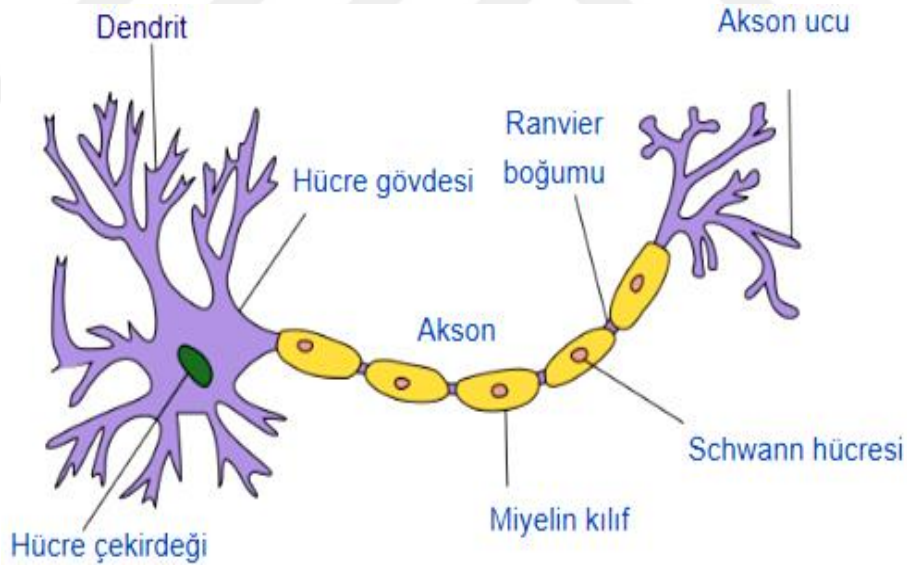
Modellerin performanslarının değerlendirmesinde, belirleme katsayısı (R^2), ortalama karesel hata ve karekökü (MSE, RMSE) değerleri yaygın olarak kullanılan yöntemlerdir. Belirleme katsayısı, bir modelin gerçek sonucu tahmin etmede kullanılan temel bir istatistiksel bir ölçüdür ve 1’e yakın olması model performansının yüksek olduğunu göstermektedir ve bağıntısı Denklem 4.3’de verilmiştir. Modelin tahmin başarısını belirlemede önemli diğer istatistiksel yöntem olan ortalama karesel hata ve karekökü, hatanın daha belirgin gözlenmesine yardımcı olur, bağıntısı Denklem 4.4’de verilmiştir. Burada; n veri sayısını, y_i deneysel veriyi, $\bar{y}_i$ ise deneysel verinin ortalamasını, $\hat{y}_i$ tahmin edilen değeri ifade etmektedir.

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y}_i)^2} \quad (4.3)$$

$$RMSE = \sqrt{MSE} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2} \quad (44)$$

5. SİSTEMİN YAPAY SİNİR AĞLARI TABANLI MODELLENMESİ

Yapay sinir ağları insan beyninin çalışma prensibinden esinlenerek geliştirilmiş, karmaşık problemlerin çözümüne yönelik güçlü bir yapay zekâ teknolojisidir. Bu sistem, biyolojik sinir sistemini taklit eden yapay nöronlardan oluşur ve büyük veri setlerini analiz ederek öğrenme, tahmin ve sınıflandırma gibi işlevler sunar (Öztemel, 2003). Giriş katmanı, gizli katmanlar ve çıkış katmanından oluşan YSA, doğrusal olmayan ilişkileri modelleyebilme kabiliyeti sayesinde mühendislik, tıp, finans ve tarım gibi birçok alanda etkili bir araçtır. (Zhang, 1998). YSA'nın öğrenme süreci, veri setlerinden aldığı girdilerle parametrelerini optimize etmesi ve öğrendiği bilgileri kullanarak tahminlerde bulunması şeklinde gerçekleşir. Özellikle karmaşık problemleri anlamlandırma konusundaki başarısı, modern çağın büyük veri sorunlarına çözüm sunarak farklı sektörlerde geniş bir uygulama alanı bulmasını sağlamaktadır. Bu sebeple, Yapay sinir ağları gelecekte çok daha fazla uygulama alanlarında kritik roller üstlenmeye devam edecektir (Keskenler ve Keskenler, 2017).



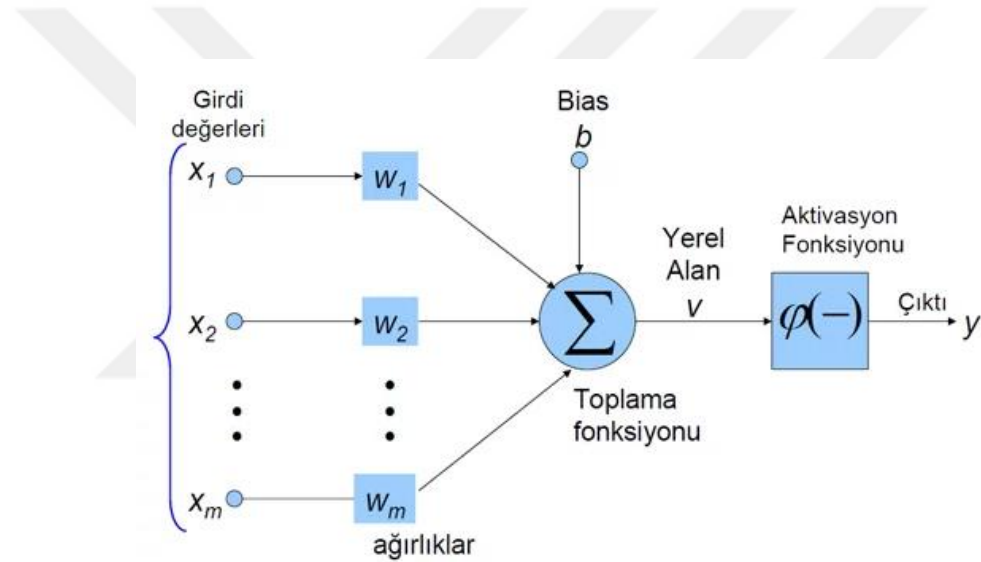
Şekil 5.1. Biyolojik Sinir Ağı modeli (Kurt, 2018)

YSA, karmaşık veri ilişkilerini öğrenme ve tahmin yapma konusunda güçlüdür. Avantajları arasında, doğrusal olmayan ilişkileri modelleyebilmesi, büyük veri setlerinde yüksek performans göstermesi ve otomatik öğrenme yeteneği bulunur. Dezavantajları ise, aşırı uyum riski, yüksek hesaplama maliyeti ve açıklana bilirliliğinin sınırlı olmasıdır (Sönmez Çakır, 2020).

5.1. Yapay Sinir Ağı Elemanları

Biyolojik ağlarda, sinir ağları olduğu gibi YSA'nın da sinir hücreleri mevcuttur ve biyolojik sinir ağlarının modellenmesi ile elde edilir. Temel bir sinir ağı mimarisi birbiriyle ilişkili çok sayıda nöronlardan meydana gelmektedir. Bu nöronlar bilgileri alıp, çeşitli işlevler için çıktı üretirler. Genel itibariyle insan beyninin çalışma şekline benzer olarak geliştirilmiş bir yöntemdir. Biyolojik sinir ağları ile aralarında benzerlik bulunmaktadır (Sönmez Çakır, 2020).

Genel bir YSA yapısında; girdiler, ağırlıklar, toplama fonksiyonu, aktivasyon fonksiyonu ve çıktı olmak üzere toplamda beş temel eleman vardır. Şekil 5.2'de ileri beslemeli, tek katmanlı genel bir sinir ağı modeli gösterilmiştir (Haykin, 1999).



Şekil 5.2. Genel yapay sinir ağı modeli (Keskenler ve Keskenler, 2017)

Girdi katmanı (X_i), elde edilen deney verilerinin yapay sinir ağına giriş yaptığı ilk katmandır. Girdi katmanındaki nöronların sayısı, giriş parametrelerinin çokluğuna, boyutuna ve içerdiği özelliklerine bağlıdır. Bu katman, ağın temel işleyişinin başlangıcını oluşturur ve ağın geri kalan kısmını beslemek için giriş verisini hazırlar (Şenol, 2017).

Ağırlıklar (W_n) giriş verisinin önemini ve nöron üzerindeki etkisini gösterir. Ağırlıklar, bir nörondan diğerine veri iletiminde kullanılan değerlerdir ve ağın öğrenme sürecinde optimize edilerek modelin doğruluğunu artırır. Veriler, ağırlıklarla çarpılarak bir nörona taşınır ve bu değerler, girdi verisinin ağda nasıl bir etki yapacağını belirler. (Sönmez Çakır, 2020).

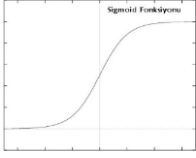
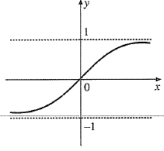
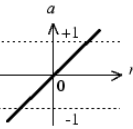
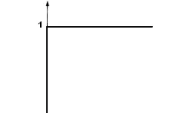
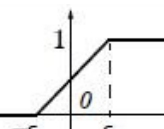
Toplama fonksiyonu, her bir nöronun giriş bilgilerini alarak bu girdileri ağırlıklarla çarpma işlemi gerçekleştirip topladığı matematiksel bir işlemdir. Bu işlem, nöronun aktivasyon fonksiyonuna gönderilecek toplam girdi değerini belirlenir (Kurt, 2018). Temel toplama fonksiyonları ve açıklamaları Çizelge 5.1’de verilmiştir. Burada; W_i : her bir girdiye ait ağırlık değeri, X_i : girdi verisi, b : bias (sapma) değeri, $\sum$: girişlerin toplamını ifade eder.

Çizelge 5.1. Toplama fonksiyonları (Kurt, 2018; Öztemel, 2003)

Net Girdi	Açıklama
Toplam $Net = \sum_{i=1}^N X_i * W_i$	Ağırlık değerleri girdi değerleriyle çarpılarak, elde edilen sonuçlar toplanır, böylece Net girdi değeri hesaplanır.
Çarpım $Net = \prod_{i=1}^N X_i * W_i$	Ağırlık değerleri girdi değerleriyle çarpılarak, elde edilen değerlerin birbirleri ile tekrar çarpılır ve Net girdi değeri bulunur.
Maksimum $Net = \max(X_i * W_i)$	Ağırlık değerleri, girdi değerleriyle çarpıldıktan sonra elde edilen sonuçlar karşılaştırılır ve en büyük değer Net girdi olarak kabul edilir.
Minimum $Net = \min(X_i * W_i)$	Ağırlık değerleri, girdi değerleriyle çarpıldıktan sonra elde edilen sonuçlar arasından en küçük değer Net girdi olarak kabul edilir.
Çoğunluk $Net = \sum_{i=1}^N Sgn(X_i * W_i)$	N adet girdi ile ağırlıklar çarpıldıktan sonra elde edilen sonuçlar pozitif ve negatif değerlere ayrılır. Ardından, pozitif olanların ve negatif olanların sayısı belirlenir. Bu iki gruptan daha büyük olanın değeri, Net girdi olarak kabul edilir.
Kümülatif Toplam $Net = Net(eski) + \sum_{i=1}^N X_i * W_i$	Hücreye gelen girdiler, ilgili ağırlıklarla çarpılarak toplandıktan sonra, önceki hücre bilgileriyle yeni hesaplanan girdi değerleri birleştirilerek Net girdi değeri belirlenir.

Aktivasyon fonksiyonunun genel amacı, doğrusal olmayan ilişkileri öğrenmek ve modelin karmaşık problemleri çözme özelliğinin artırmaktır (Kurt, 2018). Temel aktivasyon fonksiyonları Çizelge 5.2’de verilmiştir.

Çizelge 5.2. Aktivasyon fonksiyonları (Sönmez Çakır, 2020; Öztemel, 2003).

Aktivasyon Fonksiyonu	Aktivasyon Formülü	Açıklama
 Sigmoid Fonksiyonu	$F(Net) = \frac{1}{1+e^{-Net}}$	Sigmoid fonksiyonu, hem doğrusal hem de doğrusal olmayan fonksiyonlar için dengeli çıktılar üretmek modelleme yapmaya olanak sağlar. Bu fonksiyon, ağırlıklı ortalama değerlerini 0 ile 1 arasında bir değere dönüştürerek veriyi belirli bir aralığa sıkıştırır.
 Tanjant Fonksiyonu	$F(Net) = \frac{e^{Net} - e^{-Net}}{e^{Net} + e^{-Net}}$	Tanjant fonksiyonunda, girdi değerleri öncelikle -1 ile 1 aralığında normalize edilerek ölçeklendirilir. Bu işlem, verinin belirli bir aralıkta sıkıştırılmasını ve modelin daha dengeli çalışmasını sağlar.
 Doğrusal Fonksiyon	$F(Net) = A * Net$ (A sabit bir sayı)	Modelin doğrusal olduğu durumlarda tercih edilir ve toplama fonksiyonundan elde edilen sonuç, belirli bir katsayı ile çarpılarak hesaplanır.
 Step Fonksiyonu	$F(Net) = \begin{cases} 1 & \text{if } Net > \text{Değer} \\ 0 & \text{if } Net \leq \text{Değer} \end{cases}$	Gelen Net Girdi, belirlenen bir eşik değerine göre değerlendirilir. Eğer Net Girdi eşik değerinin üzerinde ise çıktı 1, eşik değerinin altında ise çıktı 0 olarak belirlenir.
 Rampa Fonksiyonu	$F(Net) = \begin{cases} 0 & \text{if } Net \leq 0 \\ Net & \text{if } 0 < Net < 1 \\ 1 & \text{if } Net \geq 1 \end{cases}$	Gelen girdiler 0’dan küçük veya eşit olduğunda çıktı 0; 1’den büyük veya eşit olduğunda çıktı 1 olarak belirlenir. Eğer girdi değeri 0 ile 1 arasında ise, çıktı doğrudan girdi değeri olur.

Çıktı katmanı, gizli katmanlardan gelen bilgileri işler ve problemin türüne uygun bir çıktı üretir. Çıktı katmanı, sınıflandırma, tahmin veya regresyon gibi farklı görevlerde kritik bir rol oynar (Kurt, 2018).

5.2. Yapay Sinir Ağı Mimarileri ve Öğrenme

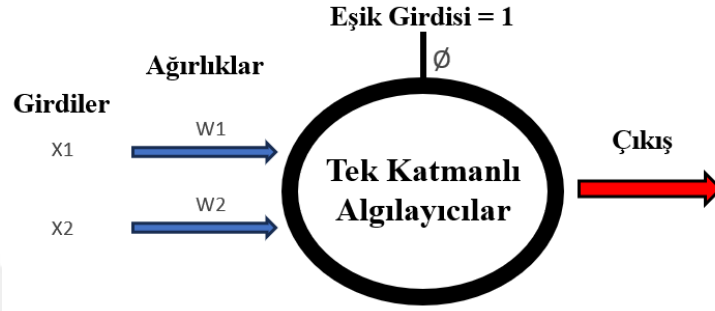
Öğrenme, çevremizdeki dünyayı anlamamızı sağlayan bir süreçtir ve bu süreç, gözlem, eğitim ve hareket yoluyla ortaya çıkan davranış değişiklikleriyle kendini gösterir. Genel olarak, bir sistemin veya bireyin belirli bir problem doğrultusunda bilgi edinmesi, çeşitli metotlar, algoritmalar ve yaklaşımlar sayesinde gerçekleşir (Erdem, 2007). Öğrenmenin danışmalı, danışmansız ve takviyeli olmak üzere üç temel yöntemi vardır.

Danışmalı öğrenme, en yaygın kullanılan öğrenme yöntemlerinden biridir. Doğru cevapların bulunduğu veri setleri kullanılarak yapılan yönlendirilmiş öğrenme sürecidir. Danışmansız öğrenme, verilerdeki kalıpları ve yapıları keşfetmeye odaklanır, herhangi bir önceden belirlenmiş doğru cevap olmadan öğrenme sağlanır. Bu yöntemin temel amacı, veriler arasındaki gizli ilişkileri ortaya çıkarmaktır. Takviyeli öğrenme ise, bir sistemin deneme-yanılma yöntemiyle en iyi stratejiyi öğrenmesini sağlayan bir makine öğrenmesi tekniğidir. Sistem, bir çevre ile etkileşime girer ve yaptığı eylemler sonucunda ödülleri veya cezalar alır. Amaç, uzun vadede en yüksek ödülü getiren stratejiyi geliştirmektir (Şenol, 2017).

Çizelge 5.3. YSA eğitim algoritmaları (Sönmez Çakır, 2020)

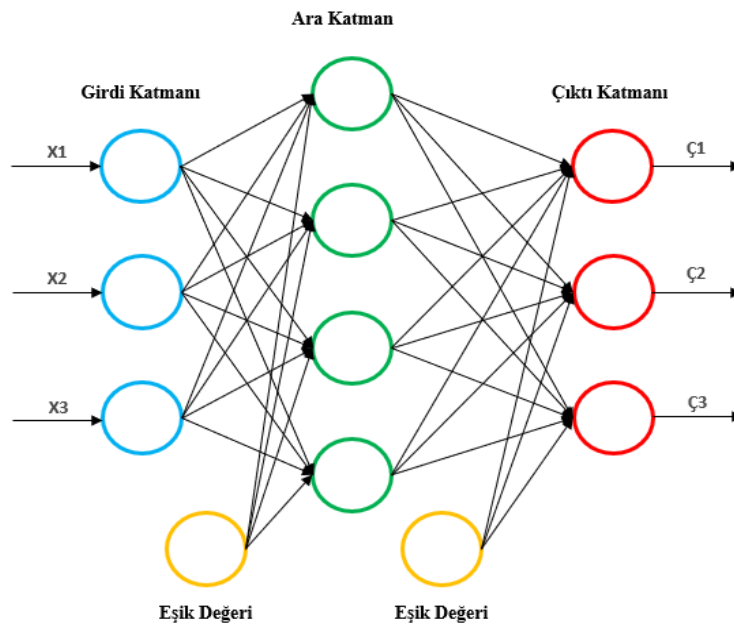
Yazılım Kodu	Algoritma Adı	Özellikleri
trainlm	Levenberg-Marquardt	Doğrusal olmayan en küçük kareler problemlerini çözmek için kullanılan bir optimizasyon yöntemidir. Yapay sinir ağlarının eğitiminde yaygın olarak kullanılan bu yöntem, özellikle hızlı yakınsama ve kararlılık gerektiren durumlarda tercih edilir.
trainbfg	BFGS quasi-Newton	Türev tabanlı optimizasyon problemlerinde kullanılan etkili bir algoritmadır.
trainrp	Resilient Backpropagation	Gradyan büyüklüğüne bağlı olarak öğrenme oranını dinamik olarak ayarlar, böylece daha stabil bir eğitim süreci sağlar.
trainsgc	Scaled-Conjugate Gradient	Doğrusal olmayan optimizasyon problemlerini çözmek için tasarlanmıştır ve ikinci türev bilgisi gerektirmeden hızlı bir yakınsama sağlar.
traincgf	Fletcher-Powell Conjugate Gradient	Gradyan inişine kıyasla daha hızlı ve stabil bir eğitim süreci sunar. Büyük ölçekli veri setlerinde daha iyi performans gösterebilir.
traincgb	Powell-Beale Conjugate Gradient	Doğrusal olmayan optimizasyon problemlerinde kullanılan bir türev tabanlı eniyileme algoritmasıdır.
trainoss	One-Step Secant Backpropagation	Aşırı öğrenme riskini azaltarak daha doğru ve genelleştirilmiş tahminler sağlayabilir.
traingdx	Variable Learning Rate Gradient Descent	Adaptif öğrenme oranı kullanarak ağırlık ve bias değerlerini günceller.

Tek katmanlı algılayıcılar, yapay sinir ağlarının en temel ve en yaygın kullanılan yapılarından biridir. Şekil 5.3’de gösterilen model 1950’lerde Frank Rosenblatt tarafından geliştirilmiştir. Tek katmanlı algılayıcılar, doğrusal olarak ayrılabilir problemlerin çözümünde kullanılmaktadır. Bu ağ, yalnızca bir giriş katmanından ve bir çıkış katmanından oluşur ve herhangi bir gizli katman içermez (Sönmez Çakır, 2020).



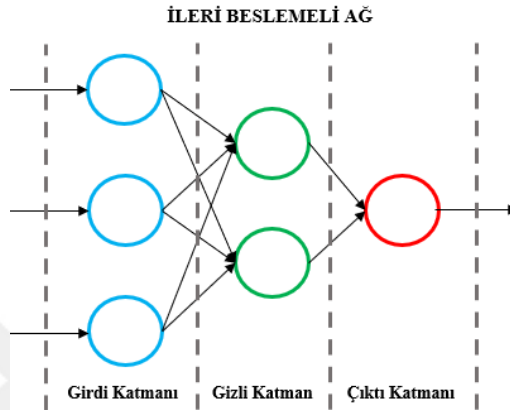
Şekil 5.3. Tek Katmanlı Algılayıcılar

Çok katmanlı algılayıcılar, yapay sinir ağların da doğrusal olmayan problemleri çözmek için tasarlanmış, birden fazla katmana sahip gelişmiş bir modeldir. Tek katmanlı algılayıcıların sınırlamalarını aşmak üzere geliştirilmiş olan bu yapılar, doğrusal olmayan ilişkilerin öğrenilmesi ve daha karmaşık problemlerin çözümü için oldukça etkili bir araçtır. Şekil 5.4’de gösterilen çok katmanlı algılayıcılar, giriş katmanı, gizli katman ve çıkış katmanlarından oluşur (Sönmez Çakır, 2020).



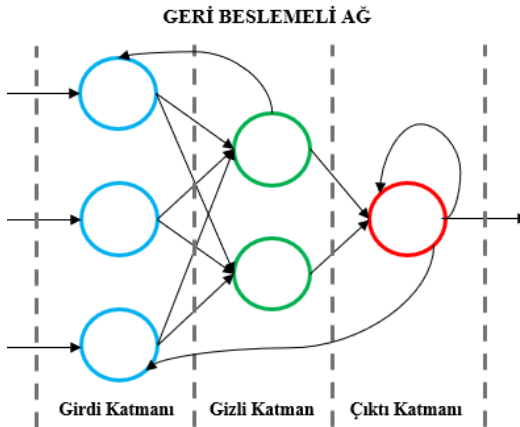
Şekil 5.4. Çok Katmanlı Algılayıcılar

İleri beslemeli yapay sinir ağı, en temel ve en yaygın kullanılan YSA mimarilerinden biridir. Şekil 5.5’de gösterilen bu ağılar, veri akışı giriş katmanından başlayarak bir veya daha fazla gizli katmandan geçer ve çıkış katmanına iletilir. Veri, sadece ileri yönde hareket eder ve herhangi bir geri besleme veya döngü kullanılmaz. Bu yapı, sistemin matematiksel olarak daha basit ve kararlı bir şekilde çalışmasını sağlamaktadır (Erdem, 2007).



Şekil 5.5. İleri beslemeli yapay sinir ağı

Geri Beslemeli yapay sinir ağı, ileri beslemeli ağlardan farklı olarak, önceki girdilere bağlı çıktılar üreten ve veri üzerinde döngüsel bağlantılar içeren YSA mimarileridir. Şekil 5.6’da gösterilen bu ağılar, özellikle zaman serileri, dil işleme ve ardışık veri analizi gibi zamana bağlı olayları ve geçmiş bilgileri içeren problemler için geliştirilmiştir. Temel farkı, verinin yalnızca girişten çıkışa doğru akmadığı, aynı zamanda önceki adımlardan elde edilen bilgilerin geri beslenerek modele dâhil edilmesidir (Erdem, 2007).

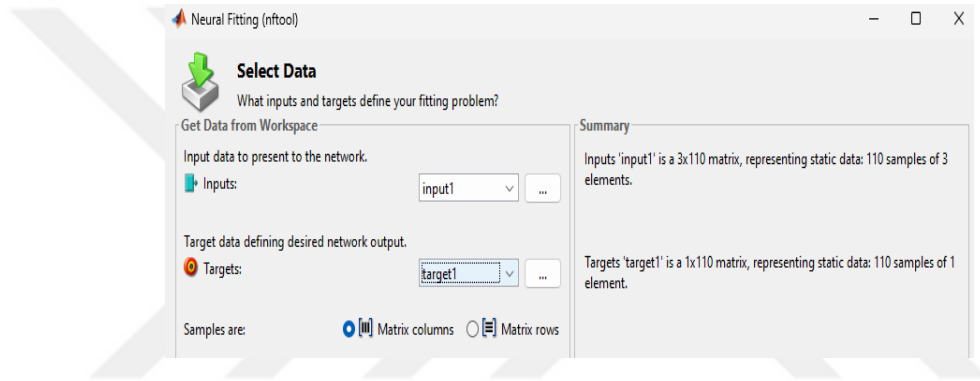


Şekil 5.6. Geri beslemeli yapay sinir ağı

5.3. Yapay Sinir Ağı ile Modelleme

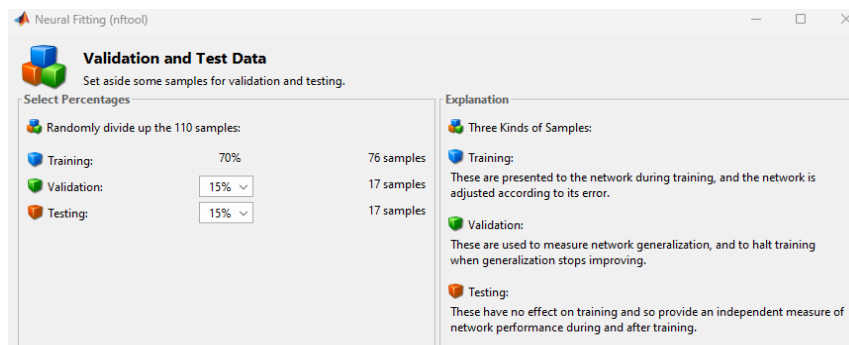
Yapay sinir ağı tabanlı modelleme çalışmalarında verilerin eğitime yönelik birçok kullanılan yazılım ve araçlar mevcuttur. Bu yazılımları, kullanıcıların kod geliştirmesine veya görsel ara yüz üzerinden sinir ağı tasarlamasına olanak tanıyabilir. Bu çalışma kapsamında yapılan eğitimlerde Matlab yapay sinir ağı araçları kullanılmıştır.

YSA modellemesi için gerekli giriş ve çıkış verilerini belirlenmesinde; 125 deney verisinden 110 tanesi eğitim, doğrulama ve test verisi olarak kullanılmıştır. Eğitimde kullanılmayan 15 adet deney veri ise tahminleme verisi olarak ayrılmıştır. Bu verilerin tanımlanmasına ait görsel Şekil 5.7’de verilmiştir.



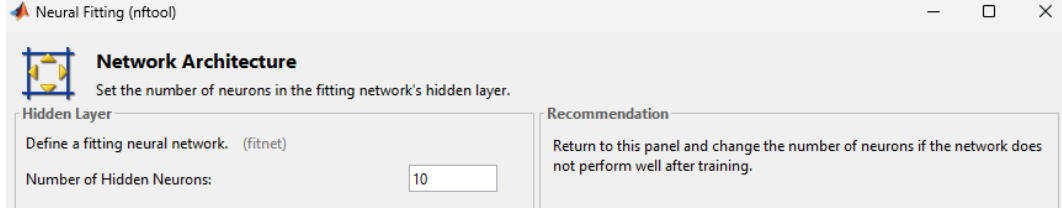
Şekil 5.7. Giriş ve çıkış verilerin tanımlanması

YSA modeli oluştururken eğitim, doğrulama ve test veri oranları genellikle veri setinin büyüklüğü, model karmaşıklığı ve problem türüne göre seçilir. Şekil 5.8’de verilen görselde öncelikle, veri seti için yaygın tercih edilen YSA parametreleri ile eğiterek bir ön modelleme gerçekleştirilmiştir. Ön modelleme için verilerin dağılımda, %70 eğitim, %15 doğrulama ve %15 test oranları tercih edilmiştir. Bu değerler problemin gereksinimlerine göre çeşitli yüzdelik dilimler halinde uyarlanabilmektedir.



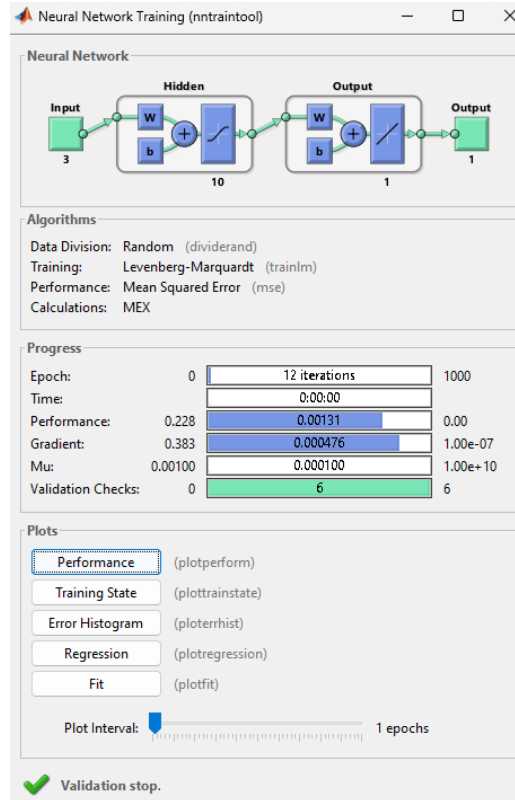
Şekil 5.8. Eğitim, doğrulama ve test yüzdelerinin belirlenmesi

Yapay sinir ağlarında gizli katmanlar, giriş ve çıkış katmanları arasında yer alır ve verilerdeki karmaşık ilişkileri öğrenmekten sorumludur. Şekil 5.9'da görüldüğü gibi, gizli katman sayısı 1 olarak ve gizli katmanın nöron sayısı 10 olarak belirlenmiştir.



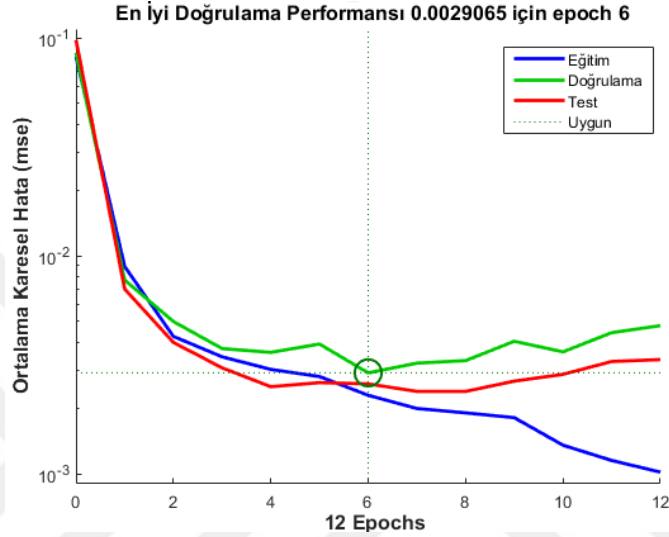
Şekil 5.9. Gizli katmandaki toplam nöron sayısının belirlenmesi

Benzer şekilde eğitim algoritması olarak, yaygın kullanılan Levenberg-Marquardt (trainlm) algoritması ve performans kriteri olarak ortalama karesel hata (MSE) belirlenmiştir. Elde edilen ön modelin girdi katmanı 3 nöron, gizli katmanı 10 nöron ve çıktı katmanı 1 nöron oluşturmaktadır. Eğitim süreci boyunca iterasyonda (epoch) sayısı 12 olarak gerçekleşmiştir. Eğitimin gradyan değeri 0.383 olarak gerçekleşmiş ve Mu değeri ise 0.00100 olarak gerçekleşmiştir. Eğitim süreci sonuçlarına ait görsel Şekil 5.10'de sunulmuştur.



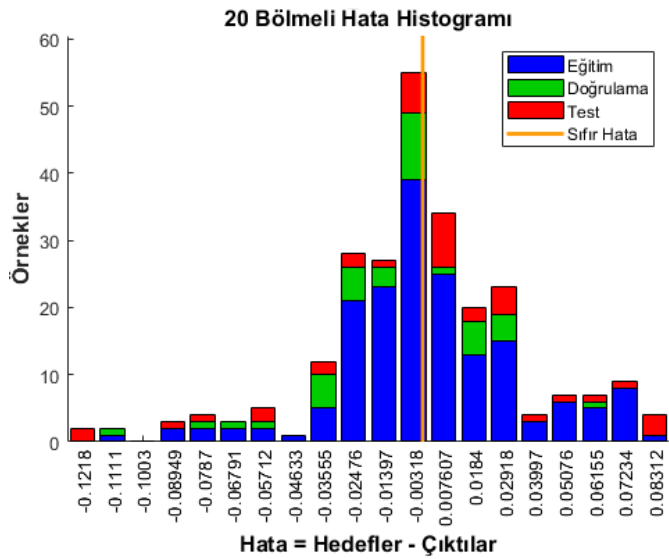
Şekil 5.10. Eğitim sürecine ait sonuçlar

Şekil 5.11’de yer alan grafik incelendiğinde; eğitimi 12 iterasyon boyunca sürdürdüğü, eğitim-doğrulama-test hata değerlerinin 6. iterasyonda birbirine en yakın seviyede olduğu görülmektedir. Eğitim sürecinin istikrarlı bir şekilde ilerlemiş, ancak 6. iterasyondan sonra doğrulama hatasında artış gözlemlenmiştir. Bu durum modelin doğrulama verisi üzerindeki genelleme kabiliyetinin azalmaya başladığını ve aşırı öğrenme eğilimine girdiğini göstermektedir.



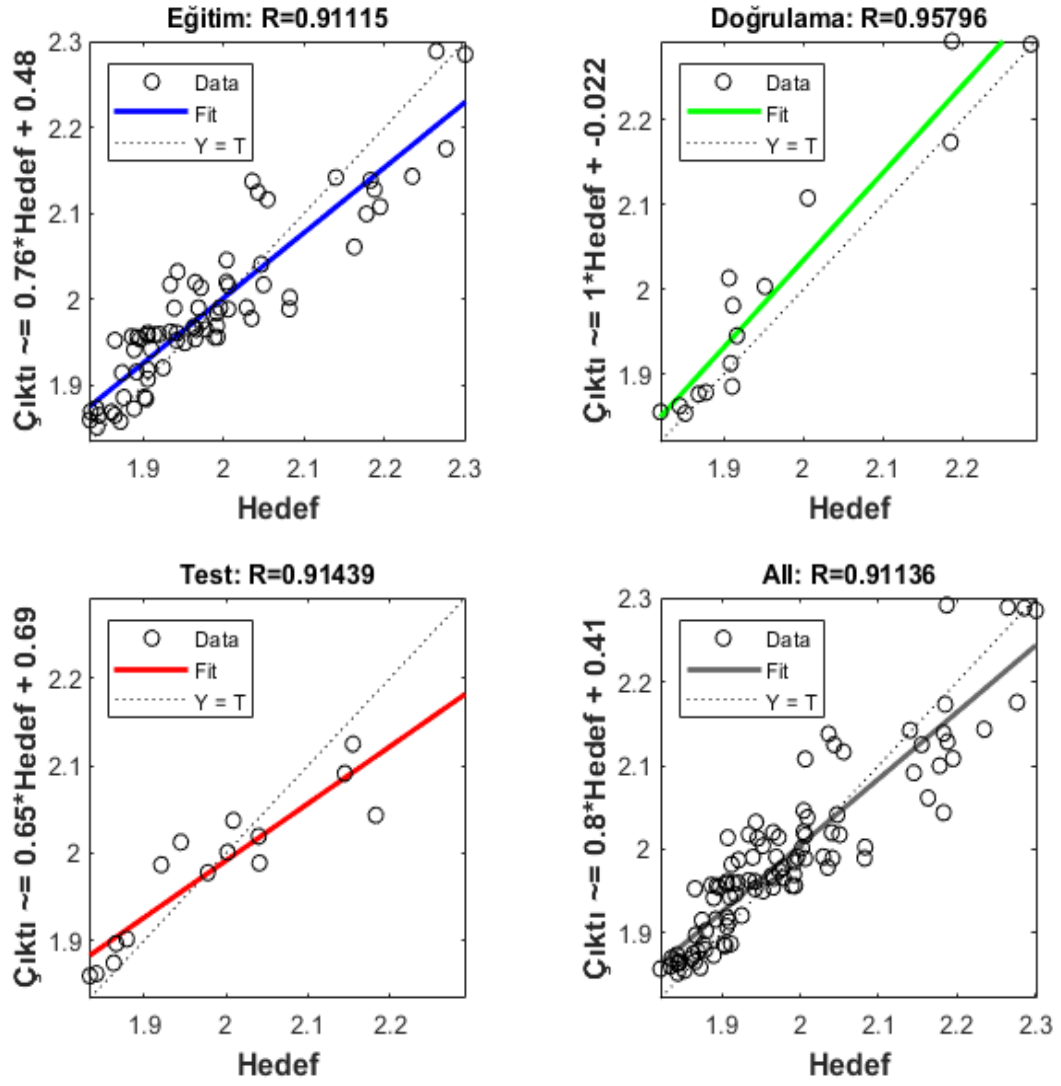
Şekil 5.11. Eğitim performansına ait grafik

Şekil 5.12’de eğitim sürecine ait hata histogram grafiği verilmiştir. Hataların çoğunluğunun sıfıra yakın yoğunlaşmıştır, bu durum eğitimin hedef değerlerine uygun başarılı bir şekilde gerçekleştiğini göstermektedir.



Şekil 5.12. Hata histogram grafiği

Şekil 5.13’de görülebileceği üzere, tüm veri seti için korelasyon değeri 0.91136 olarak gerçekleşmiştir. Eğitim-test-doğrulama için ise korelasyon değerleri 0.91 ile 0.96 arasında gerçekleşmiştir.



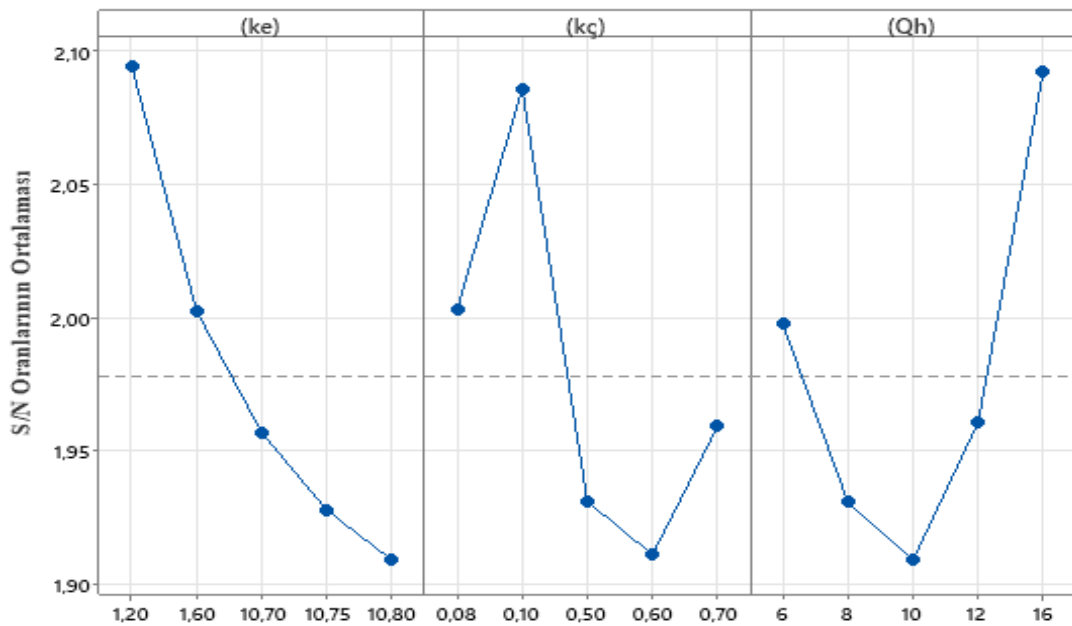
Şekil 5.13. Eğitim-test-doğrulama ve tüm verinin eğitim sonuçları

6. ARAŞTIRMA SONUÇLARI

Bu bölümde, öncelikle çalışma kapsamında gerçekleştirilen deneysel uygulamalardan elde edilen verilere dayalı analiz sonuçlarına yer verilmiştir. Deneysel tasarım sürecinde, tepki süresini (ΔT) etkileyen parametrelerin belirlenmesi amacıyla yapılan Sinyal/Gürültü (S/N) oranı analizine ait sonuçlar sunulmuştur. Farklı parametre seviyelerinin sistem performansı üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir. Devamında, farklı eğitim algoritmaları, nöron sayıları ve eğitim-test-doğrulama yüzdeleri kullanılarak önceki bölümde elde edilen valfin tepki süresine ait yapay sinir ağı ile modelinin geliştirilmesine ve tahmin yeteneğinin güçlendirilmesine yönelik kapsamlı çalışmalar gerçekleştirilmiştir.

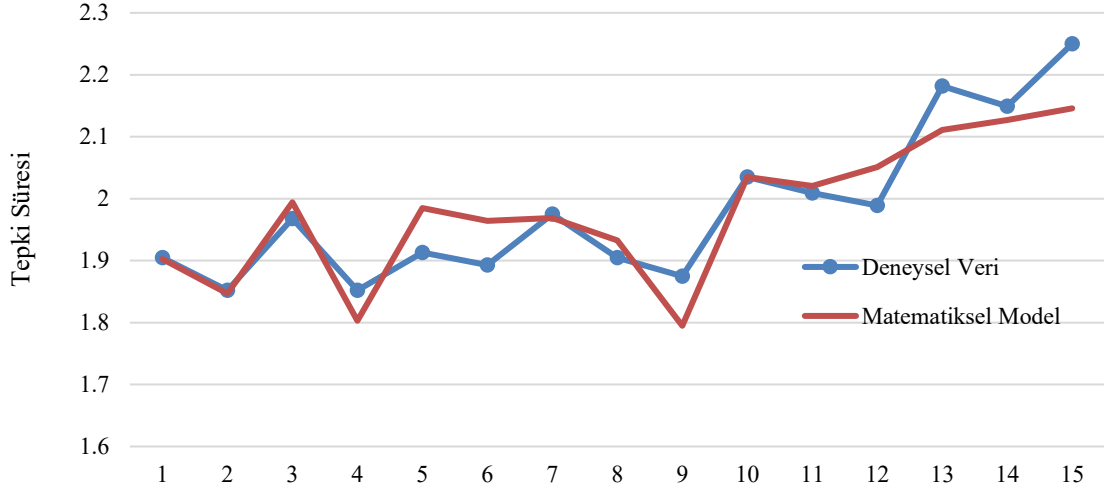
6.1. Deneysel Tasarım Analizine ait Sonuçlar

Sinyal/Gürültü (S/N) oranlarının ortalaması grafiği, minimum tepki süresi değerini sağlayabilecek parametreleri belirlemek etmek amacıyla kullanılmıştır. Her bir parametrelerin (k_e , k_c ve Q_h) için belirlenen beş farklı seviyenin tepki süresi üzerindeki performanslarının belirlenmesi gözlemlenmiştir. Bu verilere ilişkin grafik Şekil 6.1’de verilmiştir. S/N grafiğine göre tepki süresinin minimum olduğu konfigürasyonda ($k_e=10,80$, $k_c=0,60$ ve $Q_h=10$) tepki süresi değeri $\Delta t=1,820$ s olarak hesaplanmıştır.



Şekil 6.1. Parametrelerin tepki süresine etkilerine ait S/N grafiği

Matematiksel modelden elde edilen sonuçlar ve deneysel veriler arasındaki uyum Şekil 6.2’de ki grafikte karşılaştırmalı olarak sunulmuştur. Grafik incelendiğinde, matematiksel model cevabının deneysel veriler ile belli orada uyum sağladığı, ancak genel itibariyle sistemin tanımlanmasında yeterli olamadığı anlaşılmaktadır.



Şekil 6.2. Deneysel veriler ile matematiksel model cevabının karşılaştırılması

Genel olarak, üç parametre ve beş farklı seviye ile tam faktöriyel olarak yapılan deneyler sonucu veri seti başarıyla oluşturulmuştur, elde edilen matematiksel modelin temel düzeyde bir performansa sahip olduğu ancak geliştirilmesi gerektiğini anlaşılmıştır.

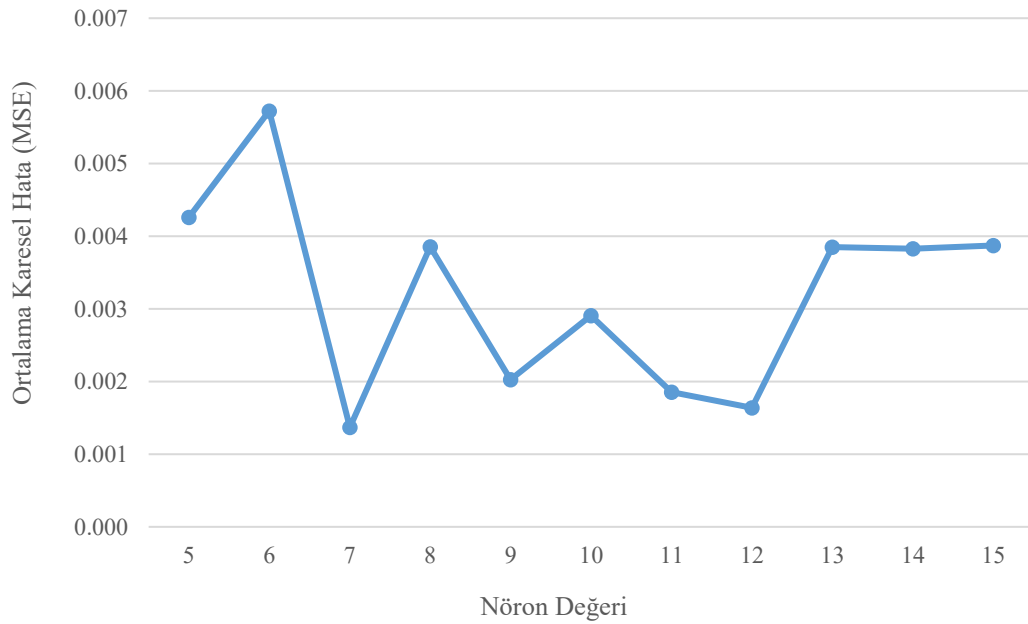
6.1. Yapay Sinir Ağı Modellerine ait Sonuçlar

Önceki bölümde yapay sinir ağı ile yapılan ön modelleme çalışmasına ait sonuçları geliştirmeye yönelik kapsamlı modelleme çalışmaları gerçekleştirilmiştir. İlk modellemelere benzer şekilde; 125 adet verinin, 110 tanesi eğitim, doğrulama ve test için kullanılmıştır. Geri kalan 15 adet veri ise modelin tahminleme için ayrılmıştır. Eğitimler ileri beslemeli ağ yapısında, gizli katman için *tanjant sigmoid*, çıkış katmanı için ise *purelin* transfer fonksiyonları belirlenerek gerçekleştirilmiştir. Öncelikle, veri dağılımları ve eğitim algoritması sabit tutularak, gizli katmandaki nöron sayısının model performansı üzerinde etkisi araştırılmış ve en uygun nöron sayısı belirlenmiştir. Parametrelerinden eğitim yüzdeleri %70 eğitim, %15 doğrulama ve %15 test olarak, eğitim algoritması olarak Levenberg-Marquardt olarak belirlenmiştir. Farklı nöron sayıları ile yapılan eğitimlerden elde edilen sonuçlar Çizelge 6.1’de verilmiştir.

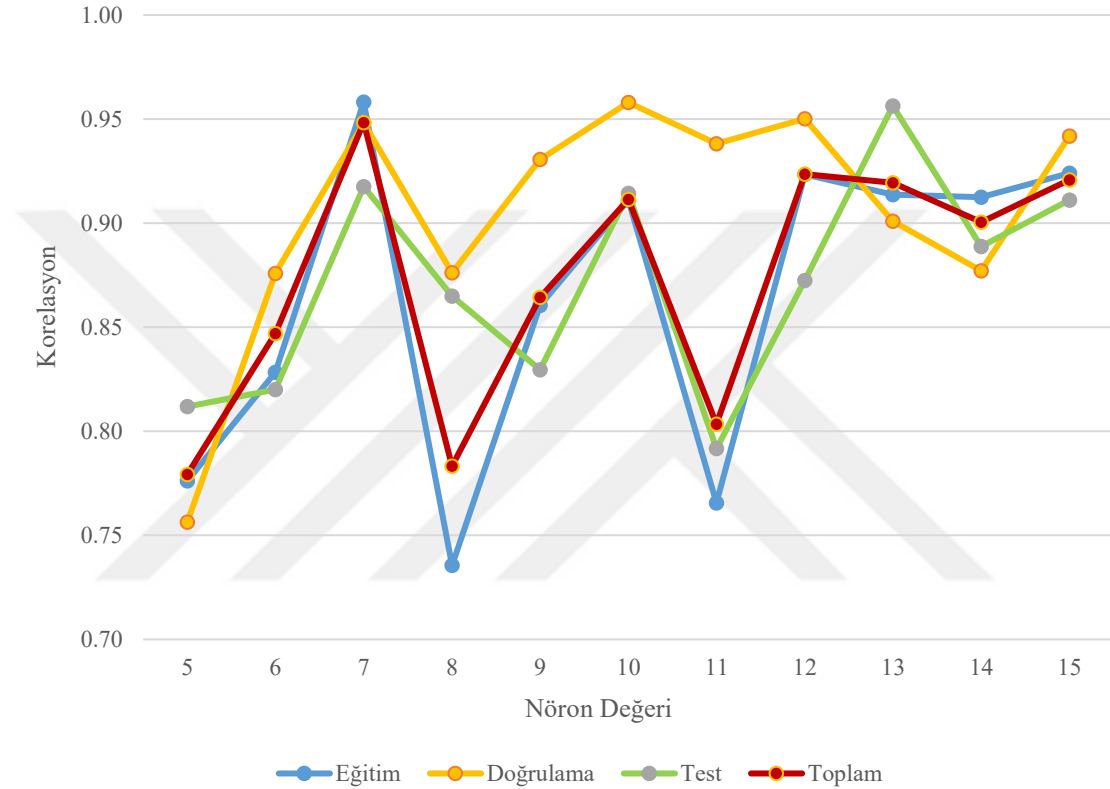
Çizelge 6.1. Gizli katman nöron değerine göre eğitim sonuçları

Nöron Sayısı	Korelasyon				Ortalama Karesel Hata	İterasyon (Epoch)
	Eğitim	Doğrulama	Test	Toplam		
5	0,77619	0,75632	0,81182	0,77931	0,0042611	2
6	0,82828	0,87582	0,82002	0,8469	0,0057245	6
7	0,95822	0,94819	0,91757	0,94835	0,0013696	22
8	0,73555	0,87615	0,86493	0,78332	0,0038561	2
9	0,86046	0,93055	0,82958	0,86436	0,0020271	2
10	0,91115	0,95796	0,91439	0,91136	0,0029065	6
11	0,76564	0,93811	0,79168	0,8035	0,0018545	1
12	0,92344	0,95021	0,87245	0,92361	0,0016395	4
13	0,91376	0,90094	0,95632	0,91936	0,0038481	3
14	0,91244	0,87714	0,88875	0,90055	0,0038271	4
15	0,92398	0,94187	0,91108	0,92077	0,0038725	3

Gizli katman nöron sayısına bağlı olarak Çizelge 6.1 incelendiğinde, en yüksek korelasyona ve en düşük hata değerini sağlayan nöron değerinin 7 olduğu belirlenmiştir. Nöron sayılarının bağlı ortalama karesel hata sonuçlarına ait grafik Şekil 6.3’de verilmiştir.

**Şekil 6.3.** Gizli katman nöron sayısına göre ortalama karesel hata değişimi

Nöron değerlerine göre değişen korelasyon grafiği incelendiğinde, modelin farklı nöron sayılarındaki performansının değişkenlik gösterdiği görülmektedir. Özellikle 7 nöron değerlerinde eğitim, doğrulama, test ve toplam veri setleri için %91'in üzerinde yüksek bir korelasyon sağlanarak en iyi performans elde edilmiştir. Buna karşın, 8 ve 11 nöron değerlerinde ise eğitim performansın minimum olduğu gözlemlenmiştir. Gizli katman nöron sayısı ve eğitim verisi arasındaki ilişki grafiği Şekil 6.4'de verilmiştir.



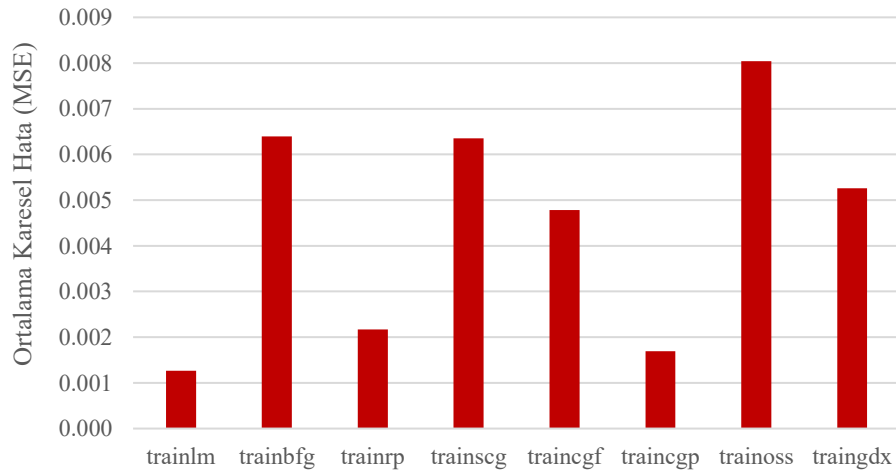
Şekil 6.4. Gizli katman nöron sayısına göre korelasyon değişimi

En uygun nöron sayısının belirlenmesinin ardından, eğitim algoritmalarının modelleme performansına etkisini araştırmak amacıyla, Levenberg-Marquardt algoritmasından farklı olarak toplamda yedi algoritma (*BFGS quasi - Newton, Resilient Backpropagation, Scaled-Conjugate Gradient, Fletcher-Powell Conjugate Gradient, Powell-Beale Conjugate Gradient, Variable Learning Rate Gradient Descent, Variable Learning Rate Gradient Descent*) ile veri seti ayrı ayrı eğitilmiştir. Bu eğitimlerde, nöron sayısı için belirlenen en uygun 7 nöron sayısı kullanılmış, veri dağılımları ise benzer şekilde, %70 eğitim, %15 doğrulama ve %15 test olacak şekilde belirlenmiştir. Eğitim algoritmalarına göre yapılan eğitimlerden elde edilen sonuçlar Çizelge 6.2'de verilmiştir.

Çizelge 6.2. Eğitim algoritmasına göre eğitim sonuçları

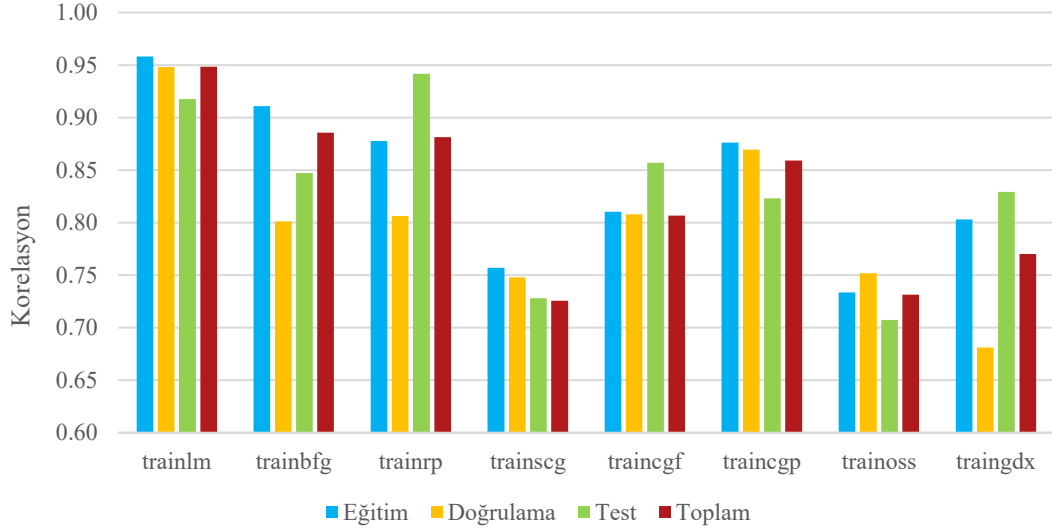
Eğitim Algoritması	Korelasyon				Ortalama Karesel Hata	İterasyon (Epoch)
	Eğitim	Doğrulama	Test	Toplam		
trainlm	0,95822	0,94819	0,91757	0,94835	0,0013696	22
trainbfg	0,91089	0,80104	0,84724	0,88557	0,00639510	39
trainrp	0,87758	0,80650	0,94150	0,88117	0,00217140	12
trainscg	0,75684	0,74790	0,72818	0,72569	0,00635360	5
traincgf	0,81017	0,80797	0,85686	0,80678	0,00478570	6
traincgp	0,87612	0,86932	0,82305	0,85919	0,0039719	18
trainoss	0,73347	0,75179	0,70736	0,73124	0,00803760	15
traingdx	0,80310	0,68112	0,82934	0,77008	0,00525780	155

Sonuçlar incelendiğinde, diğer algoritmaların *Levenberg-Marquardt* algoritmasına göre daha yüksek hata değerleri ile daha düşük performansa sahip olduğu anlaşılmıştır. Eğitim algoritmaları ile ortalama karesel hata arasındaki ilişkiye ait sonuç grafiği Şekil 6.5’de verilmiştir.



Şekil 6.5. Eğitim algoritmalarına göre ortalama karesel hata değişimi

Şekil 6.6’da verilen eğitim algoritmasına göre korelasyon değişim grafiği incelendiğinde, modelin farklı eğitim algoritmalarında performansın değiştiği görülmektedir. Özellikle *trainlm* eğitim, doğrulama, test ve toplam veri setleri için yaklaşık 0.94’in üzerinde yüksek korelasyon ve düşük hata değeri sağlanarak yüksek performans gösterdiği anlaşılmıştır. En düşük performans gösteren algoritma ise *traincgp* olarak gözlemlenmiştir.



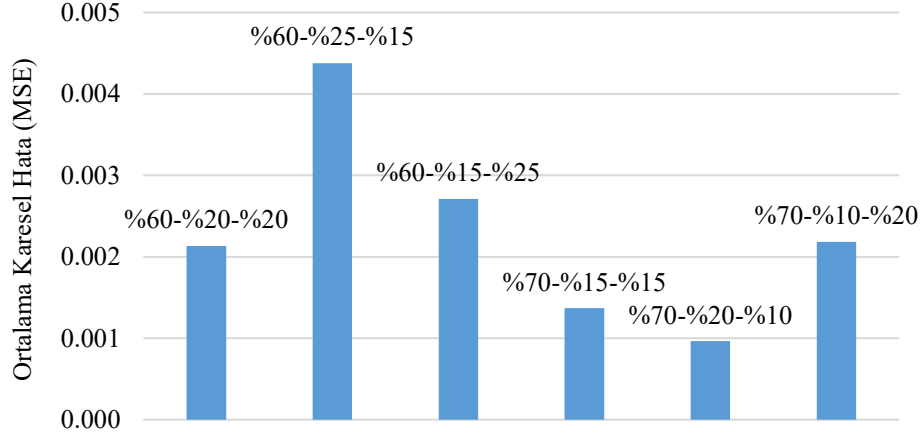
Şekil 6.6. Eğitim algoritmasına göre korelasyon değişimi

Son olarak, veri dağılımlarının etkisini araştırma ve modele performansı daha ilüştirebilmek amacıyla, bertilen en uygun nöron sayısı ve eğitim algoritmasını kullanarak farklı veri dağılım yüzdeleri ile ayrı ayrı eğitimler gerçekleştirilmiştir. Toplamda altı farklı eğitim-test-doğrulama dağılım yüzdesi belirlenmiş ve eğitimler sonucunda farklı veri dağılım yüzdelerine ait korelasyon ve ortalama karesel hata değerleri Çizelge 6.3’de verilmiştir.

Çizelge 6.3. Verilerin dağılım yüzdelerine göre eğitim sonuçları

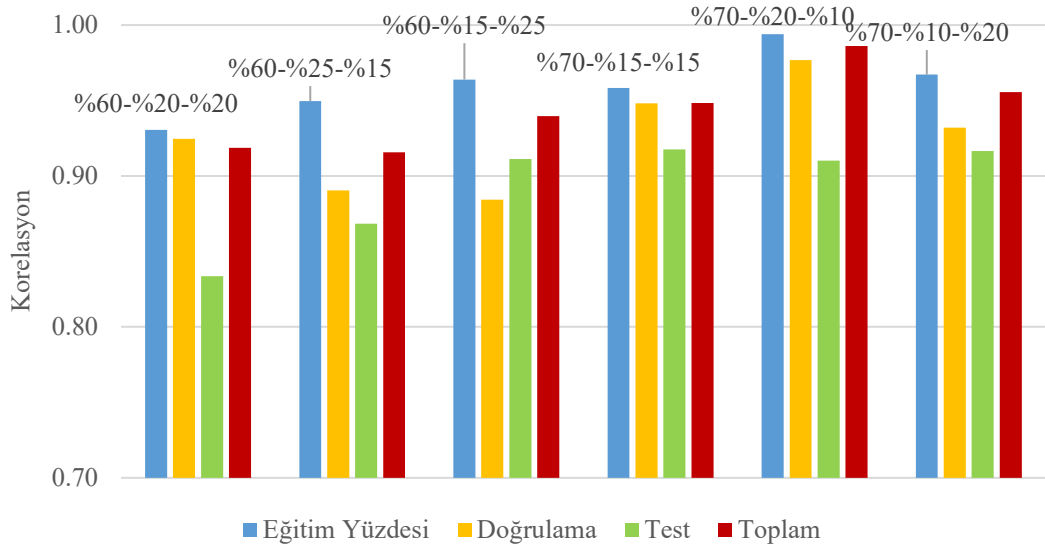
Eğitim Oranı	Korelasyon				Ortalama Karesel Hata	İterasyon (Epoch)
	Eğitim	Doğrulama	Test	Toplam		
%60-%20-%20	0,93052	0,92451	0,83363	0,91876	0,00213160	5
%60-%25-%15	0,94953	0,89035	0,86829	0,91576	0,00437740	17
%60-%15-%25	0,96385	0,88439	0,91114	0,93957	0,00270990	13
%70-%15-%15	0,95822	0,94819	0,91757	0,94835	0,0013696	22
%70-%20-%10	0,99386	0,97672	0,91007	0,98609	0,00071302	48
%70-%10-%20	0,96713	0,93203	0,91660	0,95564	0,00218560	34

Veri dağılım yüzdelerine göre elde edilen sonuçlar incelendiğinde, en düşük hatanın, %70 eğitim, %20 doğrulama ve %10 test dağılımlarında gerçekleştiği görülmüştür. Dağılım yüzdeleri ile ortalama karesel hata arasındaki ilişkiyi gösteren grafik Şekil 6.7’de verilmiştir.



Şekil 6.7. Dağılım yüzdelere göre ortalama karesel hata değişimi

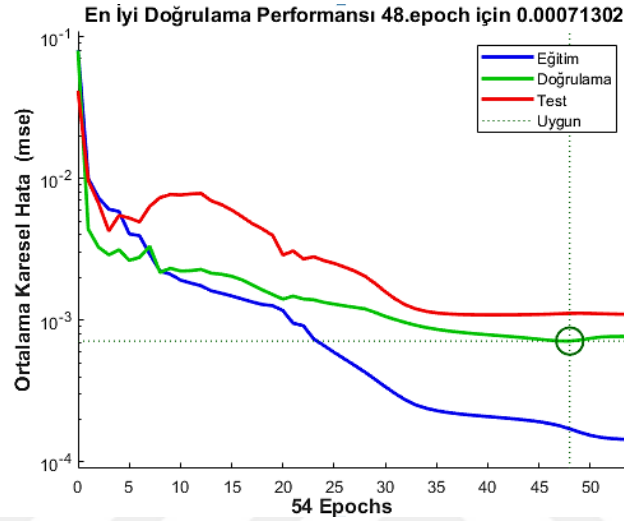
Veri dağılım yüzdelere göre korelasyon grafiği Şekil 6.8 incelendiğinde, Özellikle %70-%20-%10 eğitim-doğrulama-test ve toplam veri setleri için yaklaşık 0.98'in üzerinde yüksek bir korelasyon değeri ve düşük ortalama karesel hata değeri sağlanabildiği anlaşılmıştır.



Şekil 6.8. Veri dağılımı yüzdelere göre korelasyon değişimi

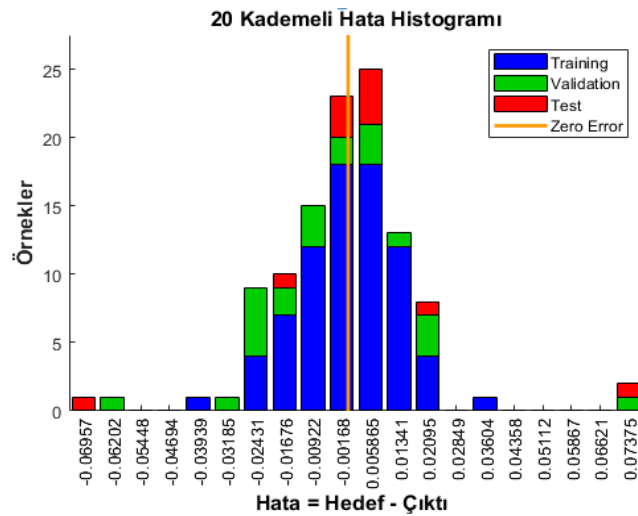
Elde edilene modellerin performansları, en yüksek korelasyon ve en düşük oranda ortalama karesel hata değerleri dikkate alınarak belirlenmiştir. Bu sonuçlara göre; verilerin %70 eğitim, %20 doğrulama ve %10 test olarak dağıtılarak 7 adet gizli katman nöron sayısı ve *Levenberg-Marquardt (trainlm)* algoritması ile yapılan eğitim sonucu elde edilen model diğerlerine kıyasla daha yüksek performans sağlayabilmektedir.

Şekil 6,9'da yer alan en yüksek performanslı modele ait grafikten anlaşılacağı üzere, eğitim süresinde 54 iterasyon gerçekleşmiş ve en iyi doğrulama performansı 48. iterasyonda 0,000713 ortalama karesel hata değeriyle elde edilmiştir. Eğitim hatası sürekli olarak azalırken, doğrulama ve test hataları belli bir hata değerinde kalmıştır. Bu durum eğitimin 48. iterasyonda sonra aşırı öğrenmeye başladığını göstermektedir.



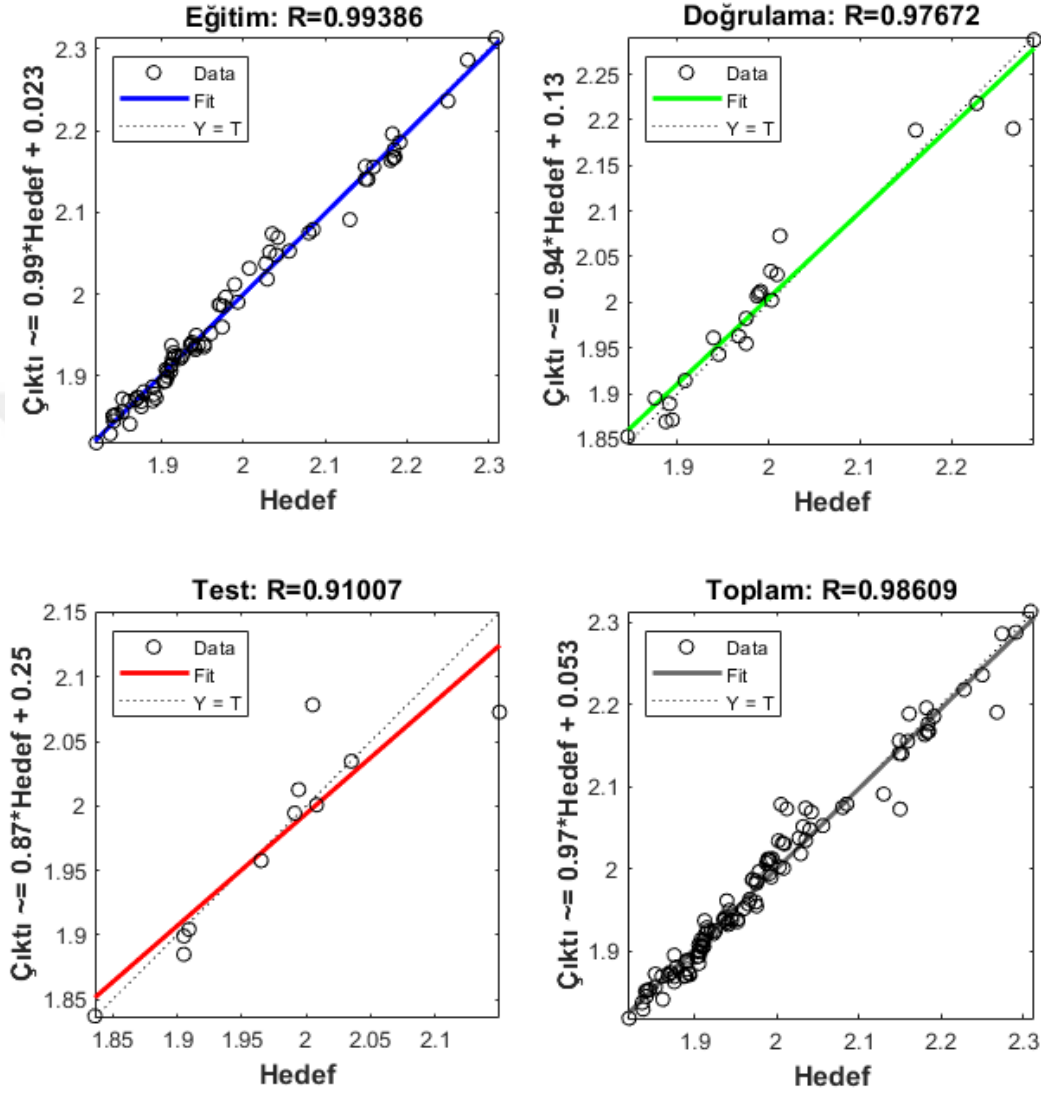
Şekil 6.9. Eğitim performansına ait grafik

Modelin çıktılar ile hedef değer arasındaki hata değerlerine görselleştiren hata histogram grafiği Şekil 6.10'de verilen grafik veriştir. Hataların dağılımı hangi aralıkta ve sıklıkta meydana geldiğini göstermektedir. Grafikte sıfır hatayı gösteren turuncu çizgi referans noktasıdır. Hataların çoğunluğunun sıfırın etrafında gerçekleşmiş olması modelin iyi performansa sahip olduğunu belirtmektedir.



Şekil 6.10. Hata histogram grafiği

Son olarak, Şekil 6.11’de verilen modellemeye ait korelasyon grafiği incelendiğinde, korelasyon değerlerinin eğitim verisi için 0.99386, doğrulama verisi için 0.97672, test verisi için 0.91007 ve tüm veri seti için 0.98609 olarak gerçekleştiği anlaşılmaktadır.



Şekil 6.11. Eğitim-test-doğrulama ve tüm verinin eğitim sonuçları

Modelleme çalışmalarının sonucunda elde edilen matematiksel modeli ile yapay sinir ağı modelinin performanslarını karşılaştırmalı olarak değerlendirebilmek amacıyla tahminleme çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Her iki model için de benzer şekilde, eğitim verileri (110 adet) ve daha önce eğitimde kullanmayan veriler (15 adet) girilerek modellerin tahminleme sonuçları elde edilmiştir. Modellere ait tahminleme sonuçları ile gerçek deneysel sonuçlar yaygın kullanılan istatistiksel yöntemlere göre kıyaslamalı olarak değerlendirilmiştir. Modellerin tahminleme performanslarını gösteren R^2 , MSE ve RMSE hesaplanmış ve Çizelge 6.4’de sunulmuştur.

Tahminleme sonuçları incelendiğinde, yapay sinir ağı modelinin matematiksel modele kıyasla daha yüksek R^2 değeri ile daha düşük hata değerlerinde bir tahminleme sağlayabildiği anlaşılmaktadır. Ayrıca, her iki modelde de benzer şekilde, eğitimde kullanılmayan verilerin tahminleme başarısı, eğitim verilerin tahminleme başarısına oldukça yakın olduğu anlaşılmıştır.

Çizelge 6.4. Matematiksel model ve YSA modele ait performans değerleri

		R^2	MSE	RMSE
Matematiksel Model	Eğitim verileri ile tahminleme	0,81712	0.00255	0,05055
	Eğitimde kullanılmayan veriler ile tahminleme	0,80945	0.00273	0.05227
Yapay Sinir Ağı Modeli	Eğitim verileri ile tahminleme	0,98364	0.00029	0.01702
	Eğitimde kullanılmayan veriler ile tahminleme	0.96351	0,00049	0.02213

7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Acil durum valfi, ağır vasıta araçlarının römorklarında manuel veya yarı otomatik şekilde ani frenleme yapabilmesi amacıyla kullanılan pnömatik bir fren valfidir. Bu nedenle, dinamik performansı ve tepki süresi kritik bir öneme sahiptir. Bu çalışma kapsamında, öncelikle literatürdeki ilgili araştırmalar ve endüstriyel uygulamalar detaylı bir şekilde incelenmiştir. Frenleme süresine etkisi olması beklenen valf dinamiğine ait yay sabitleri, basınç ve debi gibi parametreler araştırılmıştır. Giriş parametreleri olarak emniyet yay sabiti, çek valf yay sabiti ve hortum çapı belirlenmiş, deneysel tasarım yöntemleri kullanılarak sistem parametrelerinin frenleme tepki süresi üzerindeki etkisi analiz edilmiştir. Bu doğrultuda tam faktöriyel bir deney tasarımı oluşturulmuştur.

Sistemin frenleme tepki süresini ölçmek amacıyla bir deney düzeneği oluşturulmuş ve kapsamlı deneyler yürütülmüştür. Elde edilen deneysel veriler, varyans analizi ile birbirleri üzerindeki etkileri ve anlamlılıkları incelenmiş ve sonrasında regresyon analizi uygulanarak fren tepki süresine ait bir matematiksel model geliştirilmiştir. Modelin performansını artırmak amacıyla, sistemin yapay sinir ağı ile modellenmesine yönelik çalışmalar yürütülmüştür. Deneysel veri seti üzerinden, farklı nöron sayıları, öğrenme algoritmaları ve eğitim-test-doğrulama yüzdeleri belirlenerek eğitimler gerçekleştirilmiş ve daha düşük hata değerleriyle yüksek performanslı bir model araştırılmıştır. Elde edilen matematiksel modeli ve yapay sinir ağı modeli tahminleme performansları açısından karşılaştırmalı olarak incelenmiş ve istatistiksel sonuçlar sunulmuştur.

Acil durum valfinin deneysel performansının araştırılması ve valf tepki süresinin modellenmesine yönelik çalışmalarından elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde;

- Deneysel çalışmaların, belirlenen parametrelerin tam faktöriyel deneysel tasarımı ile kurulan deney düzeneğinde başarılı bir şekilde gerçekleştirdiği, elde edilen deneysel veriler ile yapılan varyans analizlerinde her üç parametrenin de valf tepki süresi üzerinde yaklaşık %30 oranlarında etkili olduğu görülmüştür. Deneysel verilerin regresyon analizinde elde edilen matematiksel modelin belli oranda başarılı olduğu ancak farklı gelişmiş yöntemler ile modelleme başarısının artırılabilceği anlaşılmıştır
- Valf tepki süresini daha yüksek bir performansa modellemek amacıyla farklı öğrenme algoritmaları, gizli katman nöron sayısı ve eğitim-doğrulama-test yüzdeleri ile eğitimlerde öncelikle gizli katman nöron sayısına göre modelin

performansı incelenmiş ve 7 adet nöron ile yapılan eğitimden elde edilen modelin diğerlerine göre daha düşük bir hata MSE ve daha yüksek bir korelasyon değeri belirlenmiştir.

- Belirlenen ideal nöron sayısı ile farklı eğitim algoritmalarının modelin performansına etkisi araştırılmıştır. Toplamda 8 farklı eğitim algoritması kullanılmıştır. Levenberg-Marquardt algoritması ve 7 adet nöron sayısı ile yapılan eğitimden elde edilen modelin diğerlerine göre daha düşük bir hata ve daha yüksek bir korelasyon değeri sağlayabildiği görülmüştür.
- Belirlenen ideal nöron sayısı ve eğitim algoritması kullanılarak, verilerin eğitim-doğrulama-test için 6 farklı dağılım yüzdelerinin model performansına etkisi araştırılmıştır. Dağılım yüzdelerinin sırası ile %70-%20-%10 olduğu eğitiminin diğerlerine kıyasla daha düşük bir hata ve daha yüksek korelasyon değeri sağlayabildiği görülmüştür.
- Modelleme çalışmalarının devamında eğitimde kullanılan ve kullanılmayan veriler ile tahminleme çalışmaları yapılmıştır. Bu sonuçlardan yapay sinir ağı modelinin, matematiksel modele kıyasla, yaklaşık %20 daha yüksek bir R^2 değerleri sağlayabildiği, MSE ve RMSE hata değerlerinde daha düşük hata değerleri ile daha yüksek bir performans gösterebildiği anlaşılmıştır.

Genel itibariyle, bu çalışma kapsamında elde edilen sonuçların benzer sistemlerde kullanılan çeşitli valflerin araştırılması ve analizinde yönelik yapılacak çalışmalara katkı sağlayabileceği ön görülmektedir. Sonraki deneysel çalışmalarda, daha düşük tepki süresi elde etmek amacıyla, diğerlerine kıyasla valf tepki sürecine etkisi daha belirgin olan emniyet yayı için farklı katsayı değerleri ile daha kapsamlı deneylerin yapılabileceği öngörülmektedir. Yapılan çalışmaların devamında, sıcaklık ve basınç gibi farklı parametreler eklenerek farklı deneysel çalışmaların gerçekleştirilebileceği ve bu sayede elde edilebilecek daha geniş bir veri seti ile yapay sinir ağları ve/veya daha gelişmiş modelleme teknikleri ile modelleme çalışmalarının gerçekleştirilebileceği düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

- Andrew, J. D., & Bryant, D., 2014, Braking of Road Vehicles, Butterworth-Heinemann is an imprint of Elsevier, *Waltham, MA 02451, USA*, 1-548.
- Antony, J., 2002, Taguchi methods of experimental design for continuous improvement of process effectiveness and product quality, *In Understanding, Managing and Implementing Quality* (pp. 103-124). Routledge.
- Arbabzadeh, N. Jafari, M. Jalayer, M. Jiang, S. & Kharbeche, M., 2019, A hybrid approach for identifying factors affecting driver reaction time using naturalistic driving data, *Transportation research part C: emerging technologies*, 100, 107-124.
- Asiltürk, I., & Çunkaş, M., 2011, Modeling and prediction of surface roughness in turning operations using artificial neural network and multiple regression method. *Expert Systems with Applications*, 38 (5), 5826-5832.
- Avunç, T. (2007), Ağır ticari taşıtların fren sistemleri tasarımı, (Yüksek Lisans Tezi), *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 22-80.
- Aydiner, M. Ş. (2022), Bir Ağır Vasıta Hava Kompresörünün Modellenmesi ve Performans Optimizasyonu, (Yüksek Lisans Tezi), *Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü*, Konya, 32-66.
- Aykan, H., Çarman, K., Canlı, E., & Ekinci, Ş., (2023), Evaluation of Tractor-Trailer Combination Braking Performance in Different Operating Conditions. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 27(2), 219-225.
- Bayır, F. (2006), Yapay sinir ağları ve tahmin modellemesi üzerine bir uygulama. (Yüksek Lisans Tezi), *İstanbul Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü*, İstanbul, 16-88.
- Bilgiç, H. H. (2014), Doğrusal arabalı ters sarkacın dengelenmesi için Yapay Sinir Ağı Tabanlı Bulanık Mantık kontrolcü tasarımı, (Yüksek Lisans Tezi), *Mustafa Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Hatay, 15-28.
- Bilgiç, HH, & Mert, İ., (2021), Gelen uzun dalga radyasyonunun tahmini için farklı tekniklerin karşılaştırılması. *Uluslararası Çevre Bilimi ve Teknolojisi Dergisi*, 18, 601-618.
- Bowlin, C. L., Subramanian, S. C., Darbha, S., & Rajagopal, K. R., 2006, Pressure control scheme for air brakes in commercial vehicles. In *IEEE Proceedings-Intelligent Transport Systems*, Vol. 153, No. 1, 21-32. IET Digital Library.
- Elmas, F. M. M. (2021), Ağır vasıta hava kurutucu test düzeneği tasarımı ve kurutucu çalışma performansının ölçülmesi, (Yüksek Lisans Tezi), *Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya, 45-76.

- Elmas, M. (2012), Destek vektör makineleri ile fiyat tahminleri ve kuyumculuk sektöründe bir uygulama, (Yüksek Lisans Tezi), *İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 20-40.
- Erdem, M. (2007), Motorlu taşıtlarda yavaşlatıcı etkilerinin deneysel analizi ve yapay sinir ağları ile modellenmesi, (Doktora Tezi), *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 65-127.
- Ertabak, D., & Altunay, H., 2022, İplik Dayanımını Etkileyen Süreç Parametrelerinin Taguchi Yöntemi ile Optimizasyonu, *AINTELIA Science Notes Journal*, 1(1).
- Freddi, A., & Salmon, M., 2019, Introduction to the Taguchi method. *Design principles and methodologies: from conceptualization to first prototyping with examples and case studies*, 159-180.
- Göçer, D. A. (2022), Ağır vasıtalarda otomatikleştirilmiş manuel şanzımana ait parametrelerin optimizasyonu ve yakıt tüketimine etkileri, (Yüksek Lisans Tezi), *Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya, 63-76.
- Gül, E. (2020), Ağır vasıta hava kompresörü arızalarının makine öğrenmesi yöntemleri kullanılarak analizi, (Yüksek Lisans Tezi), *Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü*, Konya, 24-50.
- Güteryüz, İ. C., & Başer, Ö., 2018, 4x4 Ağır hizmet araçları için pnömatik fren sistemi tepki süresinin bilgisayar destekli olarak hesaplanması ve deneysel doğrulanması, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 24(8), 1409-1417.
- Günyeli, T. (2019), Ağır ticari araçlarda el freni devresinin elektriksel ve pnömatik sinyal ile birlikte kontrolü, (Yüksek Lisans Tezi), *İstanbul Üniversitesi Cerrahpaşa Lisansüstü Eğitim Enstitüsü*, İstanbul, 13-42.
- Haykin, S., 1999, Neural Networks- A comprehensive Foundation, *Prentice Hall*, 2. Edition, New Jersey.
- Hosseini, S.H., Rezaei, M.J., Bag-Mohammadi, M., Altzibar, H., ve Olazar, M., 2018, Smart models to predict the minimum spouting velocity of conical spouted beds with non-porous draft tube, *Chemical Engineering Research and Design*, 331-340.
- Jankovic, A., Chaudhary, G., & Goia, F., 2021, Designing the design of experiments (DOE)–An investigation on the influence of different factorial designs on the characterization of complex systems. *Energy and Buildings*, 250, 111298.
- Kaplan, S. (2014), ağır vasıta havalı fren sistemleri, standart testleri ve güvenlik kriterleri yönünden değerlendirilmesi, (Yüksek Lisans Tezi), *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 18-38.
- Karagöz, C. (2024) YYY, YSA ve ANFIS kullanılarak AISI 316TI paslanmaz çeliğin frezelenmesinde soğutma/yağlama tekniklerinin ve kesme parametrelerinin işleme performansına etkilerinin araştırılması ve modellenmesi, (Yüksek Lisans Tezi), *Karabük Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü*, Karabük, 32-63.

- Keskenler, M. F., & Keskenler, E. F., 2017, Geçmişten Günümüze Yapay Sinir Ağları ve Tarihçesi. *Takvim-i Vekayi*, 5(2), 8-18.
- Küstük, İ. (2025), Nano Silisyum Dioksit Kolloidal Süspansiyonunun Tribolojik Performans Ajanı Olarak Kullanılabilirliğinin İncelenmesi, (Yüksek Lisans Tezi), *Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü*, Konya, 30-52.
- Kurt, R. (2018), İstatiksel süreç kontrolünde shewhart, cusum ve ewma kontrol kartları ile yapay sinir ağlarının bütünleşik kullanımı: bir orman endüstri işletmesinde uygulama, (Doktora Tezi), *Bartın Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Bartın, 52-65.
- Lindemann, K., Petersen, E., Schult, M., & Korn, A., 1997, EBS and tractor trailer brake compatibility, *SAE transactions*, 684-692.
- LOPES, P. F., 2020, Neural network modelling of automatic brake systems for heavy haul railway vehicles, (Yüksek Lisans Tezi), *Universidade Estadual De Campinas Faculdade de Engenharia Mecanica*, Campinas, 127-170.
- Mert, I., & Arat, H. T., 2014, Prediction of heat transfer coefficients by ANN for aluminum & steel material, *International Journal* 5.2: 2305-1493.
- Miller, J. I., Henderson, L. M., & Cebon, D., 2013, Designing and testing an advanced pneumatic braking system for heavy vehicles, *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: J. of Mech. Engineering science*, 227(8), 1715-1729.
- Noor, A. Z. M., Fauadi, M. H. F. M., Jafar, F. A., & Bakar, M. H. A., 2019, Optimal number of hidden neuron identification for sustainable manufacturing application. *Int J Recent Technol Eng*, 8(2), 2447-2453.
- Özçelik, A. (2021), Ağır vasıta fren sistemleri için dörtyollu emniyet valfi test cihazı tasarımı, gerçekleştirilmesi ve uygulaması, (Yüksek Lisans Tezi), *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya, 82-108.
- Öztemel, E. (2003), Yapay sinir ağları (1.Baskı). İstanbul: *Papatya yayıncılık*.
- Öztemur, R. (2024), Ağır ticari araçların fren körüğündeki korozyon oluşumunun azaltılmasında dahili havalandırma tekniği uygulaması, (Yüksek Lisans Tezi), *Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 12-18.
- PROVIA, 2024, <https://provia-auto.com/> [Ziyaret Tarihi: 28.05.2025].
- Ramaratham, S., 2008, A mathematical Model for air brake systems in the presence of leaks, (Master's Thesis), *Texas A&M University*, Texas, 3-20.
- Raveendran, R., Suresh, A., Rajaram, V., & Subramanian, S. C., 2019, Artificial neural network approach for air brake pushrod stroke prediction in heavy commercial road vehicles, *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D: Journal of Automobile Engineering*, 233(10), 2467-2478.

- Sarve, Shriram, A., Sonawane, S. and Varma, M. N. 2015, Ultrasound assisted biodiesel production from Sesame (*Sesamum indicum* L.) oil using Barium hydroxide as a heterogeneous catalyst: Comparative assessment of prediction abilities between Response surface methodology (RSM) and Artificial neural network (ANN), *Ultrasonics Sonochemistry*, 26(1), 218-228.
- Selvaraj, M., Gaikwad, S., & Suresh, A. K., 2014, Modeling and simulation of dynamic behavior of pneumatic brake system at vehicle level, *SAE*, Technical Paper.
- Sevim, U. K., Bilgic, H. H., Cansiz, O. F., Ozturk, M., & Atis, C. D., 2021, Compressive strength prediction models for cementitious composites with fly ash using machine learning techniques, *Construction and Building Materials*, 271, 121584.
- Soudagar, I. A. K., & Tota, P. D., 2022, Modelling and simulation of electro-pneumatic parking brake system for real time estimation of pressure inside parking brake chamber, (Master's Thesis), Sweden, 8-20.
- Sönmez Çakır, F. 2020, YAPAY SİNİR AĞLARI- *Matlab Kodları ve Matlab Toolbox Çözümleri*. Nobel Akademik Yayıncılık, 3.Basım.
- Şenol, Ü., & Musayev, Z., 2017, Rüzgar Enerjisinden Elektrik Üretiminin Yapay Sinir Ağları İle Tahmini. *Bilge Uluslararası Fen ve Teknoloji Araştırmaları Dergisi*, 1(1), 23-31.
- Tenşi, İ. (2013), Ağır vasıta fren sistemleri ve standard testleri, (Yüksek Lisans Tezi), *Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri*, Kocaeli, 11-55.
- Tekdoğan, R. (2020), Bir dizel motorda zeolit maddesinin emisyon ve performans üzerine etkisinin yapay sinir ağları (YSA) ile araştırılması, (Yüksek Lisans Tezi), *Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Elazığ, 24-50.
- Tekeş, B., & Şener, Ö., 2020, Ağır Vasıta Sürücülerinin Güvenli Sürüşlerini Etkileyen Faktörler: Bir Derleme Çalışması. *Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 22(1), 263-282.
- Tuna, Ş. 2006, Ağır vasıta fren sistemleri, TÜVTÜRK eğitim dokümanları öğrenci ders dökümü, İstanbul, 1-65.
- VADEN ORIGINAL, 2025, <https://vaden.com.tr/tr/>, [Ziyaret Tarihi: 28.05.2025].
- Vatansever, Y. (2019), Dört akslı bir ağır hizmet aracına ait fren sisteminin bilgisayar destekli tasarım ve analizi, (Yüksek Lisans Tezi), *Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İzmir, 20-40.
- WABCO, 2025, https://www.wabco-customercentre.com/catalog/tr_TR, [Ziyaret Tarihi: 29.04.2025].
- Zhang, G., Patuwo, B.E., & Hu, M.Y., 2018, Forecasting with artificial neural networks: the state of the art, *Int. Journal of Forecasting*, 14(1), 35-62.