

**MOTORLU TAŞITLARDA YAVAŞLATICI ETKİLERİNİN DENEYSEL
ANALİZİ VE YAPAY SİNİR AĞLARI İLE MODELLENMESİ**

Mehmet ERDEM

**DOKTORA TEZİ
KAZALARIN ÇEVRESEL VE TEKNİK ARAŞTIRMASI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**Mayıs 2007
ANKARA**

Mehmet ERDEM tarafından hazırlanan MOTORLU TAŞITLARDA YAVAŞLATICI ETKİLERİNİN DENEYSEL ANALİZİ VE YAPAY SİNİR AĞLARI İLE MODELLENMESİ adlı bu tezin Doktora tezi olarak uygunluğunu onaylarım.

Prof. Dr. Duran ALTIPARMAK
Tez Yöneticisi

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Kazaların Çevresel ve Teknik Araştırması Anabilim Dalında Doktora tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan : Prof.Dr. Alim IŞIK
Üye : Prof.Dr. Duran ALTIPARMAK (Danışman)
Üye : Prof.Dr. Mehmet EROĞLU
Üye : Doç.Dr. Şeref SAĞIROĞLU
Üye : Doç.Dr. Atilla KOCA
Tarih :18/05/2007

Bu tez, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygundur.

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada orijinal olmayan her türlü kaynağa eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Mehmet ERDEM

**MOTORLU TAŞITLARDA YAVAŞLATICI ETKİLERİNİN DENEYSEL
ANALİZİ VE YAPAY SİNİR AĞLARI İLE MODELLENMESİ
(Doktora Tezi)**

Mehmet ERDEM

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
Mayıs 2007**

ÖZET

Ağır taşıtların servis frenleri, uzun mesafeli yokuş aşağı inişlerde taşıtı kontrol altında tutmak için kullanıldığında aşırı bir yükü karşı karşıya kalırlar. Bunun sonucunda disk-balata (veya kampana-balata) arasında ortaya çıkan ısı, sürtünme katsayısının düşmesine yol açar. Ağır taşıt kazalarının önemli nedenlerinden birisi olan bu durum, “fading” olarak bilinen fren etkinliği kaybıdır. Servis frenlerini aşırı yükten korumak ve bu olumsuzluğu ortadan kaldırmak için servis freni yerine sürtünmesiz bir sistem olan yavaşlatıcı (retarder) kullanılması problemin en önemli çözüm yollarından biridir.

Bu deneysel çalışmada, yük ve yolcu taşıma amaçlı ağır taşıtlarda kullanılan elektromanyetik bir yavaşlatıcının taşıt hareketine ve fren güvenliğine etkileri incelenmiştir.

Çalışmanın deneysel boyutu iki aşamadan oluşmaktadır. Birinci aşamada; elektromanyetik yavaşlatıcının, eğimli bir yolda, değişik yük ve hız şartlarında taşıtın fren sistemi üzerindeki etkileri incelenmiştir. İkinci aşamada ise; aynı taşıtın değişik fren disk sıcaklıklarındaki fren

etkinliğini belirleyebilmek amacıyla durma mesafesi deneyleri yapılmıştır.

Çalışmanın model oluşturma aşamasında ise Yapay Sinir Ağları (YSA) metodu kullanılmıştır. Yapılan yol deneylerinin sonuçlarından yararlanılarak, fren disk sıcaklığı, taşıt ağırlığı, taşıt hızı, yavaşlatıcı torku, durma mesafesi, pedal kuvveti gibi parametreleri tahmin edebilen yksek performanslı 8 farklı model geliştirilmiştir.

Deney sonuçları, yavaşlatıcı donanımına sahip olmayan taşıtların, fren etkinliği kaybı ve kaza riski taşıdığını ortaya koymuştur. Geliştirilen modellerin performans ve çeşitliği, meydana gelmiş bir kazanın oluş biçimini tahmin etmede de (Accident Reconstruction) kullanılabileceğini gstermiştir.

Bilim kodu : 708.3.026
Anahtar kelimeler : Ağır taşıt kazaları, yavaşlatıcılar, yol deneyleri,
yapay sinir ağları
Sayfa adedi : 186
Danışman : Prof. Dr. Duran ALTIPARMAK

**EXPERIMENTAL ANALYSIS AND ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS
MODELLING OF RETARDER EFFECTS IN MOTOR VEHICLES**

(Ph.D. Thesis)

Mehmet ERDEM

**GAZİ UNIVERSITY
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY**

May 2007

ABSTRACT

Foundation brakes of heavy-duty vehicles while descending downhill and applying the brakes continuously to control the vehicle are subject to coercion. In this case, temperature of the friction materials in brake system significantly increases. This causes to decrease friction coefficient of disc-pad (or drum-pad). One of the reasons of heavy vehicle accidents is inefficiency of the brakes known as “fading”. In order to keep the servis brake from overheating and solve fading problem an auxiliary system known as retarder can be used.

In this experimental study, functions of an electromagnetic retarder used in transportation vehicles and its effects on a vehicle behaviour and brake efficiency were investigated.

Experimental aspect of the study has been divided into two sections. In the first section; stopping distance tests were carried out to evaluate the break efficiency of the same vehicle at different brake disc temperatures.

In the modeling section of the study, Artificial Neural Networks (ANN) method was used. Using the data obtained from road test results, 8

different high performance ANN models which predict parameters like disc temperature, vehicle mass, vehicle velocity, retarder torque, stopping distance and pedal force have been developed.

Test results show that the vehicles without retarder have the risk of accident and brake fading. The high performance models developed can also be use to predict vehicle accident reconstruction.

Science code : 708.3.026
Key words : Heavy-duty vehicle accidents, retarders, road tests, artificial neural networks
Page number : 186
Adviser : Prof. Dr. Duran ALTIPARMAK

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca değerli yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren danışman hocam Sayın Prof.Dr. Duran ALTIPARMAK'a teşekkür ederim. Birikim ve önerilerinden sürekli destek aldığım hocalarım Doç.Dr. Atilla KOCA ve Doç.Dr. Şeref SAĞIROĞLU'na, sık sık bilgi ve deneyimlerinden faydalandığım Yrd.Doç.Dr. Hüseyin BAYRAKÇEKEN ve Arş.Gör. Mesut DÜZGÜN'e, yol deneylerinin yapılmasında sağladığı lojistik destekten dolayı Frenteknik A.Ş. Şirket Müdürü Sayın Alpay LÖK'e, deney pisti konusunda gereken desteği sağlayan Kütahya Hava Er Eğitim Tugay Komutanlığına teşekkür ederim. Ayrıca, bu çalışma süresince manevi desteklerini esirgemeyen anneme ve babama, kendilerine yeterince zaman ayıramadığım halde, gösterdikleri sevgi ve destekle daha da güçlü olmamı sağlayan eşim Meryem, kızlarım İrem ve Meltem'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT	vi
TEŞEKKÜR	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ÇİZELGELERİN LİSTESİ	xvi
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	xvii
RESİMLERİN LİSTESİ	xxiii
SİMGELER VE KISALTMALAR	xxiv
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR ÖZETİ	9
2.1. Taşıt Donanımları İle İlgili Çalışmalar.....	9
2.2. Yapay Sinir Ağları (YSA) İle Konu Hakkında Yapılan Çalışmalar.....	12
3. TAŞIT AKTİF GÜVENLİK SİSTEMLERİ VE YAVAŞLATICILARIN ETKİLERİ	15
3.1. Aktif Güvenlik Sistemleri.....	16
3.1.1. Kilitleme önleyici fren sistemi (ABS).....	16
3.1.2. Elektronik fren gücü dağıtım sistemi (EBD)	16
3.1.3. Yük kontrollü fren gücü dağıtım sistemi (LSPV)	17
3.1.4. Panik fren destek sistemi (BAS).....	18
3.1.5. Patinaj (Çekiş) kontrol sistemi (ASR)	18
3.1.6. Savrulma kontrol sistemi (ESP).....	19
3.2. Motorlu Taşıtlarda Kullanılan Yavaşlatıcılar ve Etkileri	20

	Sayfa
3.2.1. Hidrodinamik yavaşlatıcı	23
3.2.2. Elektromanyetik yavaşlatıcı	29
3.2.3. Yavaşlatıcı kullanımının getirdiği avantajlar	34
3.2.4. Yavaşlatıcı kullanırken dikkat edilecek hususlar	35
4. MATERYAL VE METOT	37
4.1. Deney Prosedürlerinin ve Matrislerin Oluşturulması	37
4.2. Deneylerden Önce Yapılan Hazırlıklar	38
4.3. Deney Ekipmanlarının Özellikleri	39
4.3.1. Deney taşıtı	39
4.3.2. Eğimli yol güzergahı	40
4.3.3. Düz yol pisti	41
4.3.4. Coğrafi konum belirleme (GPS) cihazı	41
4.3.5. Kızılötesi termocouple	42
4.3.6. Pedal kuvvetini sınırlayıcı aparat	42
4.3.7. Dijital ekranlı pedal kuvveti sensörü	44
4.3.8. Optik sensör	44
4.3.9. Sensör bağlantı aparatı	45
4.3.10. Veri toplama ünitesi	45
4.3.11. Yük materyali	45
5. YOL DENEYLERİNİN YAPILMASI VE DENEY SONUÇLARININ TARTIŞILMASI	47
5.1. Eğimli Yol Deneylerinin Yapılışı	47
5.2. Eğimli Yol Deneylerinden Elde Edilen Bulgular	48

	Sayfa
5.2.1. Taşıt ağırlığının fren disk sıcaklık değişimine etkisi	48
5.2.2. Yavaşlatıcı kullanımının fren disk sıcaklık değişimine etkisi.....	50
5.2.3. Taşıt hızının yavaşlatıcı absorbe kapasitesine etkisi	52
5.2.4. Yavaşlatıcıda görülen sıcaklık değişimleri	52
5.3. Fren Etkinliği Deneylerinin Yapılışı.....	54
5.4. Fren Etkinliği Deneylerinden Elde Edilen Bulgular	55
5.4.1. Fren pedalına uygulanan kuvvetin durma mesafesine etkisi	55
5.4.2. Fren disk sıcaklığındaki artışın durma mesafesine etkisi.....	58
5.4.3. Taşıt ağırlığının durma mesafesine etkisi	63
6. YAPAY SİNİR AĞLARI İLE MODEL OLUŞTURMA.....	65
6.1. Yapay Sinir Ağları (YSA)	65
6.1.1. Yapay nöron	66
6.1.2. Aktivasyon fonksiyonları	67
6.1.3. YSA'ların yapılarına göre sınıflandırılması.....	68
6.1.4. YSA'ların öğrenme algoritmalarına göre sınıflandırılması	70
6.1.5. YSA'ların üstünlükleri	75
6.1.6. YSA'nın mühendislik uygulamaları.....	76
6.1.7. Modelde YSA kullanımının gerekçesi	78
6.2. Eğimli Yolda Fren Disk Sıcaklığı Tahmini İçin YSA Modelinin Geliştirilmesi	78
6.2.1. Veri setinin oluşturulması	79

	Sayfa
6.2.2. Eğitim ve test setlerinin elde edilmesi	86
6.2.3. Verilerin normalizasyonu	86
6.2.4. Ağ mimarisi ve öğrenme algoritmasının seçimi	87
6.2.5. Ağ performansı	93
6.3. Eğimli Yolda Yavaşlatıcı Torku Tahmini İçin YSA Modelinin Geliştirilmesi	94
6.3.1. Veri setinin oluşturulması	94
6.3.2. Eğitim ve test setlerinin elde edilmesi	95
6.3.3. Verilerin normalizasyonu	95
6.3.4. Ağ mimarisi ve öğrenme algoritması seçimi.....	95
6.3.5. Ağ performansı	96
6.4. Eğimli Yolda Taşıtlı Ağırlığı Tahmini İçin YSA Modelinin Geliştirilmesi	99
6.4.1. Veri setinin oluşturulması	99
6.4.2. Eğitim ve test setlerinin elde edilmesi	99
6.4.3. Verilerin normalizasyonu	99
6.4.4. Ağ mimarisi ve öğrenme algoritması seçimi.....	100
6.4.5. Ağ performansı	101
6.5. Eğimli Yolda Taşıtlı Hızı ve Yavaşlatıcı Torku Tahmini İçin YSA Modelinin Geliştirilmesi.....	103
6.5.1. Veri setinin oluşturulması	104
6.5.2. Eğitim ve test setlerinin elde edilmesi	104
6.5.3. Verilerin normalizasyonu	104
6.5.4. Ağ mimarisi ve öğrenme algoritması seçimi.....	104

	Sayfa
6.5.5. Ağ performansı	106
6.6. Eğimli Yolda Taşıtl Ağırlığı ve Taşıtlın Katettiğı Mesafe Tahmini İçin YSA Modelinin Geliştirilmesi	109
6.6.1. Veri setinin oluşturulması	109
6.6.2. Eğitim ve test setlerinin elde edilmesi	110
6.6.3. Verilerin normalizasyonu	110
6.6.4. Ağ mimarisi ve öğrenme algoritması seçimi.....	110
6.6.5. Ağ performansı	112
6.7. Düz Yolda Durma Mesafesi Tahmini İçin YSA Modelinin Geliştirilmesi	115
6.7.1. Veri setinin oluşturulması	115
6.7.2. Eğitim ve test setlerinin elde edilmesi	116
6.7.3. Verilerin normalizasyonu	116
6.7.4. Ağ mimarisi ve öğrenme algoritması seçimi.....	116
6.7.5. Ağ performansı	117
6.8. Durma Mesafesi Bilinen Taşıtlın Frenleme Öncesi Hızının Tahmini İçin YSA Modelinin Geliştirilmesi	120
6.8.1. Veri setinin oluşturulması	120
6.8.2. Eğitim ve test setlerinin elde edilmesi	120
6.8.3. Verilerin normalizasyonu	120
6.8.4. Ağ mimarisi ve öğrenme algoritması seçimi.....	120
6.8.5. Ağ performansı	122
6.9. Frenleme Anında Uygulanan Pedal Kuvvetinin Tahmini İçin YSA Modelinin Geliştirilmesi	124
6.9.1. Veri setinin oluşturulması	125

	Sayfa
6.9.2. Eğitim ve test setlerinin elde edilmesi	125
6.9.3. Verilerin normalizasyonu	125
6.9.4. Ağ mimarisi ve öğrenme algoritması seçimi.....	125
6.9.5. Ağ performansı	127
7. SONUÇ VE ÖNERİLER	130
KAYNAKLAR	134
EKLER	141
EK-1 Eğimli yol deneyleri için hazırlanan deney matrisi.....	142
EK-3 Fren etkinliği deneyleri için hazırlanan deney matrisi.....	143
EK-3 Bir ağda geriyayılımlı bir algoritmanın uygulanması	144
EK-4 Disk son sıcaklığı tahmini için geliştirilen YSA'nın normalizasyon kodları.....	145
EK-5 Disk son sıcaklığı tahmini için geliştirilen YSA'ların test setine verdiği cevaplar	147
EK-6 Disk son sıcaklığı tahmini için geliştirilen YSA'nın sorgu kodları	148
EK-7 Yavaşlatıcı torku için geliştirilen YSA'nın normalizasyon kodları	149
EK-8 Yavaşlatıcı torku tahmini için geliştirilen YSA'ların test setine verdiği cevaplar	151
EK-9 Yavaşlatıcı torku tahmini için geliştirilen YSA'nın sorgu Kodları	153
EK-10 Taşıtlı ağırlığı tahmini için geliştirilen YSA'nın normalizasyon kodları	154
EK-11 Taşıtlı ağırlığı tahmini için geliştirilen YSA'ların test setine verdiği cevaplar	156
EK-12 Taşıtlı ağırlığı tahmini için geliştirilen YSA'nın sorgu kodları	157
EK-13 Taşıtlı hızı ve yavaşlatıcı torku tahmini için geliştirilen YSA'nın normalizasyon kodları	158
EK-14 Taşıtlı hızı ve yavaşlatıcı torku tahmini için geliştirilen farklı YSA konfigürasyonlarının performansları.....	160
EK-15 Taşıtlı hızı ve yavaşlatıcı torku tahmini için geliştirilen YSA'ların test setine verdiği cevaplar (Taşıtlı hızı)	161
EK-16 Taşıtlı hızı ve yavaşlatıcı torku tahmini için geliştirilen YSA'ların test setine verdiği cevaplar(Yavaşlatıcı torku)	163
EK-17 Taşıtlı hızı ve yavaşlatıcı torku tahmini için geliştirilen YSA'nın sorgu kodları	165
EK-18 Taşıtlı ağırlığı ve taşıtlı katettiği mesafe tahmini için geliştirilen YSA'nın normalizasyon kodları	166

Sayfa

EK-19	Taşıt ağırlığı ve taşıtın katettiği mesafe tahmini için geliştirilen farklı YSA konfigürasyonlarının performansları	168
EK-20	Taşıt ağırlığı ve taşıtın katettiği mesafe tahmini için geliştirilen YSA'nın test setine verdiği cevaplar (Taşıt ağırlığı)	169
EK-21	Taşıt ağırlığı ve taşıtın katettiği mesafe tahmini için geliştirilen YSA'nın test setine verdiği cevaplar (Taşıtın katettiği mesafe)	171
EK-22	Eğimli yolda taşıt ağırlığı ve katedilen mesafe tahmini için geliştirilen YSA'nın sorgu kodları	173
EK-23	Durma mesafesi tahmini için geliştirilen YSA'nın normalizasyon kodları	174
EK-24	Durma mesafesi tahmini için geliştirilen YSA modellerinin test setine verdiği cevaplar	175
EK-25	Durma mesafesi tahmini için geliştirilen YSA'nın sorgu kodları	176
EK-26	Frenleme öncesi taşıt hızının tahmini için geliştirilen YSA'nın normalizasyon kodları	177
EK-27	Frenleme öncesi taşıt hızının tahmini için geliştirilen YSA modellerinin test setine verdiği cevaplar	178
EK-28	Frenleme öncesi taşıt hızının tahmini için geliştirilen YSA'nın sorgu kodları	179
EK-29	Frenleme anında uygulanan pedal kuvvetinin tahmini için geliştirilen YSA'nın normalizasyon kodları	180
EK-30	Frenleme anında uygulanan pedal kuvvetinin tahmini için geliştirilen YSA modellerinin test setine verdiği cevaplar	181
EK-31	Frenleme anında uygulanan pedal kuvvetinin tahmini için geliştirilen YSA'nın sorgu kodları	182
EK-32	Fren disk sıcaklığı ve durma mesafesi tahmini için geliştirilen YSA modellerinin birlikte çalışması için geliştirilen sorgu kodları	183
ÖZGEÇMİŞ	185

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge		Sayfa
Çizelge 3.1.	Yavaşlatıcı kullanımının parça değişim periyodu ve servis dışı kalma süresi bakımından değerlendirilmesi	34
Çizelge 4.1.	Yol deneylerinde kullanılan ekipman ve yol şartları	39
Çizelge 4.2.	Deney taşıtının teknik özellikleri	40
Çizelge 6.1.	Bir test verisinin işlenmeden önceki hali	79
Çizelge 6.2.	Verinin işlenmiş hali	80
Çizelge 6.3.	Disk son sıcaklığı tahmini için geliştirilen farklı YSA konfigürasyonlarının performansları	92
Çizelge 6.4.	Yavaşlatıcı torku tahmini için geliştirilen farklı YSA konfigürasyonlarının performansları	97
Çizelge 6.5.	Taşıtların ağırlığı tahmini için geliştirilen farklı YSA konfigürasyonlarının performansları	101
Çizelge 6.6.	Taşıtların hızı ve yavaşlatıcı torku tahmini için geliştirilen "vr15" ağırlığının performans değerleri	106
Çizelge 6.7.	Taşıtların ağırlığı ve taşıtların kat ettiği mesafe tahmini için geliştirilen "ms14" ağırlığının performans değerleri	112
Çizelge 6.8.	Durma mesafesi tahmini için geliştirilen farklı YSA konfigürasyonlarının performansları	118
Çizelge 6.9.	Taşıtların ilk hızı tahmini için geliştirilen farklı YSA konfigürasyonlarının performansları	122
Çizelge 6.10.	Pedal kuvveti tahmini için geliştirilen farklı YSA konfigürasyonlarının performansları	127

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 3.1. Elektronik fren gücü dağıtım sistemi basınç dağıtımı.....	17
Şekil 3.2. Yokuş aşağı inişte kinetik ve potansiyel enerji	21
Şekil 3.3. Hidrodinamik yavaşlatıcının temel parçaları.....	24
Şekil 3.4 Hidrodinamik yavaşlatıcıyı oluşturan parçalar.....	24
Şekil 3.5. Hidrodinamik yavaşlatıcının çalışma prensibi	25
Şekil 3.6. Hat dışına montaj (offline)	26
Şekil 3.7. Eksenden montaj (inline).....	27
Şekil 3.8. Hidrodinamik yavaşlatıcının bağımsız montaj kurulumu	27
Şekil 3.9. Yavaşlatıcı kumandasının görünüşü	28
Şekil 3.10. Hidrodinamik yavaşlatıcının kumanda akışı	28
Şekil 3.11. Yavaşlatıcının fren pedalıyla kumanda edilmesi	29
Şekil 3.12. Elektromanyetik yavaşlatıcının kısımları	30
Şekil 3.13. Elektromanyetik yavaşlatıcının kesiti.....	31
Şekil 3.14. Elektromanyetik yavaşlatıcının şanzıman arkasına montajı.....	32
Şekil 3.15. Elektromanyetik yavaşlatıcının kardan miline montajı	32
Şekil 3.16. Elektromanyetik yavaşlatıcının el ile kumandası.....	33
Şekil 3.17. Yavaşlatıcı kademesine bağlı olarak elde edilen fren torqları	33
Şekil 5.1. 40 km/h sabit hızla, servis freni ile inişte yüke bağlı olarak fren disk sıcaklıklarında görülen değişim	49
Şekil 5.2. 30 km/h sabit hızla, yavaşlatıcı ile inişte yüke bağlı olarak fren disk sıcaklıklarında görülen değişim	50

Şekil	Sayfa
Şekil 5.3. Yavaşlatıcısız inişlerde fren disk sıcaklık değişimi (Yüklü)	50
Şekil 5.4. 30 km/h sabit hızda yüklü konfigürasyonda yavaşlatıcı ve yavaşlatıcısız inişte fren disk sıcaklıklarındaki değişim.....	51
Şekil 5.5. Taşıt hızı-yavaşlatıcı absorbe kapasitesi ilişkisi.....	52
Şekil 5.6. Yavaşlatıcı sıcaklığının taşıtın yük konfigürasyonuna bağlı değişimi	53
Şekil 5.7. Yavaşlatıcı sıcaklığının yavaşlatıcı kademesine bağlı değişimi.....	53
Şekil 5.8. Fren pedal kuvvetinin durma mesafesine etkisi (Disk sıcaklık ortalaması 60 °C)	56
Şekil 5.9. Fren pedal kuvvetinin durma mesafesine etkisi (Disk sıcaklık ortalaması 173 °C)	57
Şekil 5.10. Fren pedal kuvvetinin durma mesafesine etkisi (Disk sıcaklık ortalaması 268 °C)	58
Şekil 5.11. Yüklü konfigürasyonda fren disk sıcaklığının artışına bağlı olarak değişen durma mesafesi değerleri (Fp=450 N)	59
Şekil 5.12. Yüklü konfigürasyonda fren disk sıcaklığının artışına bağlı olarak değişen durma mesafesi değerleri (Fp=260 N).....	59
Şekil 5.13. Yüklü konfigürasyonda fren disk sıcaklığının artışına bağlı olarak değişen durma mesafesi değerleri (Fp=120 N).....	60
Şekil 5.14. Yüksüz konfigürasyonda fren disk sıcaklığının artışına bağlı olarak değişen durma mesafesi değerleri (Fp=450 N)	61
Şekil 5.15. Yüksüz konfigürasyonda fren disk sıcaklığının artışına bağlı olarak değişen durma mesafesi değerleri (Fp=260 N)	62
Şekil 5.16. Yüksüz konfigürasyonda fren disk sıcaklığının artışına bağlı olarak değişen durma mesafesi değerleri (Fp=120 N)	63

Şekil	Sayfa
Şekil 5.17. Taşıtl ağırlığının durma mesafesine etkisi ($F_p=450$ N)	63
Şekil 5.18. Taşıtl ağırlığının durma mesafesine etkisi ($F_p=260$ N)	64
Şekil 5.19. Taşıtl ağırlığının durma mesafesine etkisi ($F_p=120$ N)	64
Şekil 6.1. p girişli bir yapay nöronun grafik gösterimi	66
Şekil 6.2. Sigmoid fonksiyon.....	67
Şekil 6.3. Tanjant hiperbolik fonksiyon	68
Şekil 6.4. İleri beslemeli ağ blok diyagramı	69
Şekil 6.5. Geri beslemeli ağ blok diyagramı	70
Şekil 6.6. Danışmanlı öğrenme yapısı.....	71
Şekil 6.7. Danışmansız öğrenme yapısı.....	71
Şekil 6.8. Takviyeli öğrenme yapısı	72
Şekil 6.9. Çok katmanlı perseptron (MLP) yapısı	73
Şekil 6.10. Yavaşlatıcının şaft hızına bağlı tork eğrileri.....	82
Şekil 6.11. Yavaşlatıcının 1. kademesinde şaft hızına bağlı olarak oluşan tork değerlerinin eğri denklemi (0-900 d/d).....	82
Şekil 6.12. Yavaşlatıcının 1. kademesinde şaft hızına bağlı olarak oluşan tork değerlerinin eğri denklemi (901-4000 d/d).....	83
Şekil 6.13. Yavaşlatıcının 2. kademesinde şaft hızına bağlı olarak oluşan tork değerlerinin eğri denklemi (0-600 d/d).....	84
Şekil 6.14. Yavaşlatıcının 2. kademesinde şaft hızına bağlı olarak oluşan tork değerlerinin eğri denklemi (601-1000 d/d).....	84
Şekil 6.15. Yavaşlatıcının 2. kademesinde şaft hızına bağlı olarak oluşan tork değerlerinin eğri denklemi (1001-4000 d/d).....	85
Şekil 6.16. Disk son sıcaklığı tahmini için geliştirilen YSA mimarisi.....	87
Şekil 6.17. Matlab NN Toolbox genel görünümü.....	88

Şekil	Sayfa
Şekil 6.18. NN Toolbox ile ağ konfigürasyonlarının belirlenmesi	89
Şekil 6.19. NN Toolbox ile tasarlanan YSA'nın genel görünümü	89
Şekil 6.20. NN Toolbox ile tasarlanan YSA'nın eğitilmesi	90
Şekil 6.21. Eğitilen YSA'nın performans grafiği	90
Şekil 6.22. Ağ değerleriyle hedeflenen değerlerin lineer regresyonla karşılaştırılması (Eğitim seti)	91
Şekil 6.23. Ağ değerleriyle hedeflenen değerlerin lineer regresyonla karşılaştırılması (Test seti)	91
Şekil 6.24. Disk son sıcaklığı tahmini için geliştirilen "n29" ağının deney sonuçları ile karşılaştırılması	94
Şekil 6.25. Yavaşlatıcı torku tahmini için geliştirilen YSA'nın mimarisi	96
Şekil 6.26. Yavaşlatıcı torku tahmini için geliştirilen "r8" ağının öğrenme performansı	97
Şekil 6.27. "r8" ağı çıkışlarının eğitim ve test verileri için lineer regresyon yaklaşımıyla karşılaştırılması a) eğitim seti, b) test seti.....	98
Şekil 6.28. Yavaşlatıcı torku tahmini için geliştirilen "r8" ağının deney sonuçları ile karşılaştırılması	98
Şekil 6.29. Taşıtlı ağırlığı tahmini için geliştirilen YSA mimarisi.....	100
Şekil 6.30. Taşıtlı ağırlığı tahmini için geliştirilen "m9" ağının öğrenme performansı	102
Şekil 6.31. "m9" ağı çıkışlarının eğitim ve test verileri için lineer regresyon yaklaşımıyla karşılaştırılması a) eğitim seti, b) test seti.....	102
Şekil 6.32. Taşıtlı ağırlığı tahmini için geliştirilen "m9" ağının deney sonuçları ile karşılaştırılması	103
Şekil 6.33. Taşıtlı hızı ve yavaşlatıcı torku tahmini için geliştirilen YSA mimarisi	105

Şekil	Sayfa
Şekil 6.34. Taşıt hızı ve yavaşlatıcı torku tahmini için geliştirilen “vr15” ağının öğrenme performansı	106
Şekil 6.35. “vr15” ağının taşıt hızı çıkışlarının eğitim ve test verileri için lineer regresyon yaklaşımıyla karşılaştırılması a) eğitim seti, b) test seti	107
Şekil 6.36. “vr15” ağının yavaşlatıcı torku çıkışlarının eğitim ve test verileri için lineer regresyon yaklaşımıyla karşılaştırılması a) eğitim seti, b) test seti.....	107
Şekil 6.37. Taşıt hızı ve yavaşlatıcı torku tahmini için geliştirilen “vr15” ağının deney sonuçları ile karşılaştırılması (Taşıt hızı)	108
Şekil 6.38. Taşıt hızı ve yavaşlatıcı torku tahmini için geliştirilen “vr15” ağının deney sonuçları ile karşılaştırılması (Yavaşlatıcı torku).....	109
Şekil 6.39. Taşıt ağırlığı ve katedilen mesafe tahmini için geliştirilen YSA mimarisi	111
Şekil 6.40. Taşıt ağırlığı ve katedilen mesafe tahmini için geliştirilen “ms14” ağının öğrenme performansı	112
Şekil 6.41. “ms14” ağının taşıt ağırlığı çıkışlarının eğitim ve test verileri için lineer regresyon yaklaşımıyla karşılaştırılması a) eğitim seti, b) test seti.....	113
Şekil 6.42. “ms14” ağının katedilen mesafe çıkışlarının eğitim ve test verileri için lineer regresyon yaklaşımıyla karşılaştırılması a) eğitim seti, b) test seti.....	113
Şekil 6.43. Taşıt ağırlığı ve katedilen mesafe tahmini için geliştirilen “ms14” ağının deney sonuçları ile karşılaştırılması (Taşıt ağırlığı).....	114
Şekil 6.44. Taşıt ağırlığı ve katedilen mesafe tahmini için geliştirilen “ms14” ağının deney sonuçları ile karşılaştırılması (Katedilen mesafe).....	115
Şekil 6.45. Durma mesafesi tahmini için geliştirilen YSA mimarisi	117
Şekil 6.46. Durma mesafesi tahmini için geliştirilen “f7” ağının öğrenme performansı	118

Şekil	Sayfa
Şekil 6.47. “f7” ağı çıkışlarının eğitim ve test verileri için lineer regresyon yaklaşımıyla karşılaştırılması a) eğitim seti, b) test seti.....	119
Şekil 6.48. Durma mesafesi tahmini için geliştirilen “f7” ağının deney sonuçları ile karşılaştırılması	119
Şekil 6.49. Taşıt ilk hızı tahmini için geliştirilen YSA mimarisi	121
Şekil 6.50. Taşıt ilk hızı tahmini için geliştirilen “h7” ağının öğrenme performansı	123
Şekil 6.51. “h7” ağı çıkışlarının eğitim ve test verileri için lineer regresyon yaklaşımıyla karşılaştırılması a) eğitim seti, b) test seti.....	123
Şekil 6.52. Taşıt ilk hızı tahmini için geliştirilen “h7” ağının deney sonuçları ile karşılaştırılması	124
Şekil 6.53. Pedal kuvveti tahmini için geliştirilen YSA mimarisi	126
Şekil 6.54. Pedal kuvveti tahmini için geliştirilen “p9” ağının öğrenme performansı	127
Şekil 6.55. “p9” ağı çıkışlarının eğitim ve test verileri için lineer regresyon yaklaşımıyla karşılaştırılması a) eğitim seti, b) test seti.....	128
Şekil 6.56. Pedal kuvveti tahmini için geliştirilen “p9” ağının deney sonuçları ile karşılaştırılması	129

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 4.1. Deney taşıtı	39
Resim 4.2. Eğimli yol deneylerinin uygulandığı yol güzergahı	40
Resim 4.3. Düz yol pisti	40
Resim 4.4. GPS cihazı.....	41
Resim 4.5. Kızılötesi Termocouple.....	41
Resim 4.6. Pedal kuvvetini sınırlayıcı aparat	42
Resim 4.7. Pedal kuvveti sınırlayıcı aparatın fren pedalına montajı	42
Resim 4.8. Dijital ekranlı pedal kuvveti sensörü.....	43
Resim 4.9. Optik sensör	43
Resim 4.10. Sensör bağlantı aparatı	44
Resim 4.11. Veri toplama ünitesi.....	44
Resim 4.12. Deneylerde kullanılan yük materyali (25 kg'lık kömür torbası)	45
Resim 5.1. Termocouple ile disk sıcaklığı ve yavaşlatıcı sıcaklığının ölçülmesi	46
Resim 5.2. Deney ekipmanlarının deney taşıtına montajı	54

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış bazı simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklama
E_b	Frenleme enerjisi, Nm
F	Aktivasyon fonksiyonu
F_p	Pedal kuvveti, N
h	Yokuş aşağı inişte kaybedilen irtifa, m
i_D	Diferansiyel transmisyon oranı
k	Dönen kütleler için düzeltme faktörü
m	Taşıtın kütlesi, kg
ms	Milisaniye
n	Çıkış sayısı
n_s	Şaft dönüş hızı, d/d
p	Nöron giriş sayısı
r_w	Tekerlek yarı çapı, m
t_i	Hedef çıkış
td_i	YSA'nın çıkışını ifade eder.
V_a	Taşıt hızı, m/s
V	Taşıt hızı, km/h
V_t	Tekerlek çevresel hızı, m/s
V_1	Taşıt ilk hızı, m/s
V_2	Taşıt son hızı, m/s

Simgeler	Açıklama
W	Taşıt ağırlığı, N
w	Ağırlıklar
w_{ij}	j'inci elemandan i'inci elemana bağlantı ağırlığı
x	YSA girişleri
x_i	YSA'nın i'inci girişi
y	YSA çıkışı
η	Öğrenme katsayısı
α	Momentum katsayısı
δ_j	Ara veya çıkış katındaki herhangi bir j nöronuna ait faktör
μ	Lastik-yol yüzeyi sürtünme katsayısı
λ	Kayma, %
θ_i	Eşik değeri

Kısaltmalar	Açıklama
ABS	Kilitleme önleyici fren sistemi
ASR	Çekiş (Patınaj) kontrol sistemi
BAS	Panik fren destek sistemi
BG	Beygir gücü
CAN	Denetleyici alan ağı
EBD	Elektronik fren gücü dağıtım sistemi
ESP	Savrulma kontrol sistemi

Kısaltmalar**Açıklama****GPS**

Coğrafi konum belirleme

LSPV

Yük kontrollü fren gücü dağıtım sistemi

MSE

Hata kareleri ortalaması

NN

Sinir ağı

TCS

Çekiş kontrol sistemi

YSA

Yapay sinir ağları

1. GİRİŞ

Trafik kazaları sadece ülkemizin sorunu olmayıp, modern hayatla iç içe olan her toplumun yaşadığı bir gerçektir. Problemin bir başka boyutu ise bu sorunla başa çıkmada ülkeler ve toplumlar arasında farklılıklar olmasıdır. Trafik kazalarıyla ilgili çeşitli ülkelere ait veriler incelendiğinde ortaya çıkan kaza ve ölüm sayılarına ilişkin rakamlar bu farklılığı pekiştirecek niteliktedir. 2004 yılı verilerine göre 100 000 araca düşen ölü sayısı ülkemizde 41 iken, araç sayısı bizden 5 kat fazla olan Almanya'da 12, araç sayısı 8 kat fazla olan Japonya'da ise 11'dir [1]. Üstelik bu ülkelerin tamamında kazalardaki ölüm istatistikleri, ülkemizdeki uygulamadan farklı olarak kaza mahallindeki yaralıların 30 gün süreyle takip edilmesiyle elde edilmektedir. Türkiye'de ise sadece olay yerinde ölen kazazedeler istatistiklere yansımaktadır [2].

Başka bir bakış açısı da trafikte dolaşan araçların türleri ile ilgilidir. Türkiye'deki araçların içerisinde otomobil oranı %51,79 iken bu oran İngiltere, Fransa, Hollanda, İsveç ve Belçika'da %80'in üzerindedir. Ülkemizde şehirlerarası yolcu ve yük taşımacılığında ulaştırma alt sistemlerinin dağılımı incelendiğinde, yolcu taşımacılığında %95,02 oranında karayolu ulaşımının tercih edildiği görülmektedir. Bu oran yük taşımacılığı için %91,38'dir [1].

Trafik kazaları, sürücü, taşıt ve çevreye bağlı faktörlerin etkileşimiyle oluşan kompleks olaylardır [3]. Kazalara neden olan kusurlar incelendiğinde büyük oranda sürücü faktörünün ön plana çıktığı görülmektedir. Araç kusurları ve yol kusurları istatistiklerde %1'in altındaki değerlerle ifade edilmektedir. Ülkemizde trafik kazalarının gerçek nedenlerini olay yerinde belirleyebilecek yetişmiş insan gücü bulunmamaktadır. Kaza mahalline gelen bilirkişi olay yerinde yaptığı incelemeler ve şahitlerin görüşü çerçevesinde kusur dağılımını belirlemektedir. Burada da sürücü faktörü ön plana çıkmakta, araç ve yol gibi kusurlar çok düşük mertebelerde seyretmektedir.

Gelişmiş ülkelerde kazalara neden olan faktörlerin dağılımı, ülkemizdeki

oranlardan çok daha farklı seyretmektedir. Birçok Avrupa ülkesinde gerek araç kusurları, gerekse yola bağlı kusurlar ortalama %10 düzeyinde istatistiklere yansımaktadır. Ayrıca kazalara neden olan faktörlerin etkileşimli analizi yapılmamaktadır. Zira bir kazanın nedeni sadece sürücünden ya da sadece yol kusurundan kaynaklanmayabilmekte, bunların birkaçında görülen aksaklıkların biraraya gelmesi kazaya neden olabilmektedir. Amerika Birleşik Devletleri'nde yapılan bir araştırmaya göre, kazalara neden olan faktörlerin etkileşimli incelenmesinde, tek başına sürücü faktörünün %57 olduğu, yol kusurunun %3 ve araç kusurunun da %2 olduğu belirtilmiştir. Ancak bu kusurların etkileşimli olarak ele alınmasıyla yol kusurlarının %34, araç kusurlarının da %12 oranında dolaylı olarak kazaya neden olan faktör olduğu gözlemlenmiştir [4].

Ülkemizde meydana gelen kazaların karakteristik özelliğine bakıldığında yük ve yolcu taşıyan ağır taşıtların önemli bir payı olduğu görülmektedir. 2002 yılında meydana gelen toplam 65 850 ölümlü ve yaralanmalı kazanın 8 816 adedi (%13,4) ağır tonajlı araçların (kamyon+çekici+tanker) karıştığı kazalardır. 4 146 kişi olan toplam ölü sayısının 505'i (%12,2) bu kazalarda yaşamını kaybedenlerden oluşmaktadır. Otobüs kazalarının sayısı ise 3 768 olup (%5,7) bu kazalarda da 258 kişi (%6,2) yaşamını kaybetmiştir. Bir başka ifadeyle ağır tonajlı araçlarla, otobüslerin karıştığı ölümlü ve yaralanmalı kazaların oranı yaklaşık %20, bu kazalarda hayatını kaybedenlerin tüm ölenlere oranı da %18,4'tür [5]. Yük ve yolcu taşıyan ticari taşıtların karıştıkları kazaların minimize edilmesi, özellikle ülkemizin trafik güvenliği açısından önem kazanmaktadır.

Taşıt odaklı kazalarda, kazanın gerekçesi olarak akla ilk gelen unsur taşıtın güvenlik donanımlarıdır. Bu donanımların içerisinde de en önemlisi fren sistemidir. Taşıtın mekanik aksamalarında görülen kusurların neden olduğu kazalara yönelik yapılan araştırmalarda, lastik ve fren kusurları en önemli iki faktör olarak ortaya çıkmaktadır [6]. Alman taşıt teknik denetim kurumu Dekra'nın 1984-1991 yılları arasını kapsayan araştırmasında, kazaya karışan

toplam 4 537 adet ticari taşıtın teknik sorunlar nedeniyle kazalardaki sorumluluğu detaylı olarak incelenmiştir. Yapılan incelemede, kazaya karışan ticari taşıtların dolaylı ya da dolaysız olarak %29 oranında teknik eksikliklerden dolayı kazaya neden olduğu görülmüştür. Araştırma, fren sistemindeki teknik sorunların ticari taşıtlarda %71, römorklarda ise %57 oranında kazaya etken olan faktör olduğunu göstermiştir [7].

Gelişen teknolojiyle birlikte günümüz taşıtlarında konforun yanı sıra hız ve ağır ticari taşıtlardaki yük kapasitesi sürekli olarak artmakta, bu durum da etkili ve güçlü fren sistemlerinin geliştirilmesi ihtiyacını doğurmaktadır. Taşıtların frenleri seyir halindeki taşıtın hızını kontrol etmek ve etkili bir durma sağlayabilmek açısından yol güvenliğine doğrudan etki etmektedir [8].

Karayolu taşıtlarında kullanılan fren sistemleri üç temel fonksiyonu yerine getirmektedir. Bunlar [9,10];

- Taşıtın yavaşlatılması veya durdurulması,
- Taşıtın kinetik enerjisini (yokuş aşağı inişlerde) kontrol ederek belirli hızlarda seyrinin sağlanması,
- Duran bir taşıtın yerinde sabit tutulmasıdır.

Hareket halindeki bir motorlu taşıt, kütlesi ve hızının karesiyle değişen kinetik enerjiye ve bazı durumlarda konumu itibarıyla potansiyel enerjiye sahiptir. Frenleme süresince bu enerji, fren sürtünme elemanları ve tekerleklerde ısı enerjisine dönüşür. Frenleme esnasında taşıtın kararlılığını koruması, frenleme ve pedal kuvveti değişimleri, durma mesafesi, tekerlek-yol etkileşimi, fren elemanlarında aşınma gibi faktörler tasarımcıların dikkate alınması gereken önemli hususlardır [9].

Fren sisteminin etkinliği ve frenleme performansı taşıtın durma mesafesi ile ifade edilen önemli bir göstergedir. Frenleme performansına etki eden

başlıca faktörler; taşıt ağırlığı, fren sisteminin dizaynı, fren hidrolik ve mekanik aksamının durumu, fren sistemini etkileyebilecek çevre şartları, yol şartları, lastiklerin durumu, tekerlek ve yol yüzeyi arasındaki sürtünme ve tutunma katsayısı olarak sıralanabilir [11,12].

Taşıtın frenleme performansını doğrudan etkileyen diğer bir faktör ise fren sistemi elemanlarının sıcaklığındaki artıştır. Frenleme anındaki yüksek sıcaklık, kampana-balata (veya disk-balata) arasında ani sürtünme kaybına (fading), erken aşınmaya, fren sıvısının buharlaşmasına, yataklarda aşınmaya, termal çatlaklara ve vibrasyona neden olabilir [13-15].

Fren kampana ve disklerinin sıcaklığı ağır ticari taşıtlar için kritik bir değerdir. Nitekim sıcaklık, frenleme etkinliğini doğrudan etkileyen bir faktördür. Sıcaklık etkisi, aşırı ısınmada daha büyük önem taşır ve bunun sık tekrar etmesi fren diskleriyle balatalar arasındaki tutunma ilişkisini azaltarak tehlikeye sokar. Bu olgu 'fading' olarak adlandırılır. Taşıtın güvenli bir şekilde seyri ve kontrolü için fren sisteminin etkinliğinin önemi tartışılmaz bir gerçektir. Frenleme kabiliyetinin azalması ya da tümüyle ortadan kalkması ağır ticari taşıtlar için büyük bir kaza riski oluşturur [16].

Fren disk sıcaklığındaki artışa bağlı olarak fren etkinliğinin kaybolmasına ilişkin literatürde birbirine yakın eşik değerler yer almaktadır. Satapathy ve arkadaşları, etkinlik kaybını 'yük fadingi', 'hız fadingi' ve 'sıcaklık fadingi' olarak kategorize edip, sıcaklık fadinginin disk frenlerde 370 °C'den itibaren önemli ölçüde kendini göstereceğini ifade etmişlerdir [17]. Bijwe ve arkadaşları 300-400 °C arasındaki sıcaklık değerlerine yükselen fren disklerinin etkinlik kaybına neden olabileceğini vurgulamışlardır [18]. Aleksendric ve Duboka ise 400 °C civarındaki sıcaklıkların eşik değer olduğunu, disk sıcaklıklarının 600 °C'yi aşması halinde fren diski ile balata arasındaki sürtünme katsayısının büyük ölçüde azalması nedeniyle fren etkinliğinin kaybolacağını savunmuştur [19]. Benzer sıcaklık eşik değerlerini telaffuz eden Lingman da 900 °C'ye ulaşan disk sıcaklıklarının balatanın

yanmasına neden olacağını belirtmiştir [20].

Konuyla ilgili yapılan bazı deneysel çalışmalarda, disk sıcaklıklarındaki küçük çaplı artışların bile disk ve balata arasındaki sürtünme etkinliğinin kaybolduğuna işaret etmektedir. İlm ve arkadaşları, farklı uygulama koşullarında bir yolcu taşıtının fren diski ile balatası arasındaki sürtünme kuvvetini ölçmek amacıyla kinetik enerji simülasyonu oluşturarak bir test donanımı tasarlamışlardır. Yaptıkları ölçümler neticesinde, disk yüzey sıcaklığı 150 °C iken sürtünme katsayısının 0,55 olduğunu, 250 °C'ye yükselen disk yüzey sıcaklığında ise sürtünme katsayısının 0,23 olduğunu gözlemlemişlerdir. Çalışmanın sonucu olarak [21]:

- Disk yüzey sıcaklığının sürtünme katsayısı üzerinde büyük etkisi olduğu ve yüzey sıcaklığı arttıkça sürtünme katsayısının düştüğü,
- Disk ile sürtünen materyal arasında oluşan sıcaklığın çoğunlukla yüke bağlı olduğu, yük arttıkça disk ile balata arasındaki sıcaklığın da arttığı,
- Fren balatasının davranışının taşıt hızına, yüke ve frenin uygulandığı andaki sıcaklığa bağlı olduğu ifade edilmiştir.

Ağır tonajlı araçların karıştıkları kazalar, basın yayın organlarında genellikle fren patlaması ya da aracın freninin boşalması şeklinde tanımlanmakta ve bu tür haberlerle sık sık karşılaşılmaktadır.

Yük ve yolcu taşıyan ağır tonajlı taşıtlarda fren donanımlarının yetersiz gelmesi ve zaman zaman işlevlerini yerine getirememesinin başlıca nedenleri aşağıdaki gibi sıralanabilir [22-24]:

- Yük taşımacılığının % 91,38 düzeyinde karayoluyla yapılıyor olması,
- Ülkemiz coğrafyasının doğal bir sonucu olarak ağır taşıtların uzun süre eğimli yollarda seyrediyor olması,
- Bilinçsizce yapılan tonaj artırımları,

- Gerek aracın gerekse fren sisteminin bakımlarının eksik ya da bilinçsizce yapılıyor olması,
- Araçların büyük bir kısmında yavaşlatıcı (retarder) donanımının yer almaması ve bütün yükün servis frenlerinde toplanması,
- Etkin bir taşıt teknik denetim sisteminin bulunmaması,
- Niteliksiz sürücü seçimi.

Bir ağır yük taşıtıyla yokuş aşağı seyreden sürücü öncelikle uygun bir iniş hızına karar vermelidir. Söz konusu hızı sağlayabilmesi ve koruyabilmesi için uygun vites değişiminin yanısıra, mevcut fren sistemiyle birlikte araçta yer alan motor freni veya retarder gibi yavaşlatıcı donanımları etkin bir şekilde kullanılmalıdır. Sürücünün, aracın tam ağırlığı, fren disklerinin sıcaklığı ile araç ve çevre hakkında önemli bilgilere hemen hemen hiç sahip olmaması önemli bir problemdir. Sürücünün aşırı hız seçmesiyle birlikte, servis frenine fazla yüklenmesi sonucu fren disklerinde aşırı ısınma meydana gelmekte ve bu faktöre bağlı olarak kazalar oluşmaktadır [25].

Ana fren sistemi (servis freni), bir aracı belli bir durma mesafesinde ve ortalama fren ivmesiyle durdurmak üzere tasarlanmıştır. Servis fren sisteminin özellikle ticari taşıtları yokuş aşağı yavaşlatmak için kullanılması aracın ağırlığına bağlı olarak frenlerin aşırı ısınmasına neden olmaktadır. Bu durumda frenler soğuk duruma göre çok zayıflayabilmektedir. Servis frenlerinin bu yükünü azaltmak amacıyla motorlu taşıtlarda fren sisteminin tamamlayıcısı olarak kullanılan yavaşlatıcılar (retarder), aracın kinetik enerjisinin bir bölümünü absorbe ederek bu işlevi üstlenmektedir [22].

Taşıt donanımları ile ilgili yapılan çalışmalar daha çok binek taşıtlar üzerine odaklanmış olup, ağır taşıtlar üzerine fazla çalışma yapılmamıştır. Bu tür taşıtlar, kinetik enerjilerinin fazla oluşu, tekerlek sayılarının ve tekerlek başına düşen ağırlık değişiminin fazla olması gibi nedenlerden dolayı binek taşıtlardan farklılık göstermektedir. Bu tür taşıtların kinetik enerjisini servis

frenlerine ulaşmadan absorbe edecek ilave donanımların bulunması kaçınılmazdır.

Bu çalışmada, servis frenlerinin yükünü hafifletmek amacıyla ticari taşıtlarda kullanılan elektromanyetik ve hidrodinamik yavaşlatıcıların fonksiyonları ve taşıt üzerindeki etkileri incelenmiştir.

Çalışmanın deneysel boyutu iki aşamadan oluşmaktadır. Bunlardan ilki, bir hafif ticari taşıtın 6 km uzunluğundaki %8 eğimli bir yolda, taşıt hızı, taşıtın ağırlığı, yavaşlatıcının devrede olup olmaması, eğimli yolda katettiği mesafe gibi değişkenlerin, taşıtın servis frenlerine olan etkisini analiz etmeye yöneliktir.

Deneysel çalışmanın ikinci aşaması, düz yolda fren etkinliği deneyleridir. Fren disklerindeki sıcaklık artışının taşıtın frenleme performansına etkisi, durma mesafesi kriteriyle ölçülmüştür. Ayrıca, fren pedalına uygulanan kuvvetin, taşıt ağırlığının ve taşıt hızının durma mesafesine etkileri de aynı deneylerde gözlemlenebilmiştir. Yavaşlatıcı kullanmadan yokuş aşağı seyreden taşıtın fren disklerindeki sıcaklık artışının taşıtın frenleme performansını olumsuz etkilediği yapılan deneysel çalışmayla kanıtlanmıştır.

Çalışmanın model oluşturma boyutunda Yapay Sinir Ağları (YSA) metodu kullanılmıştır. Bunun gerekçesi, YSA'ların, geleneksel yöntemlerle hesaplanamayan, bilinen bir çözüm yöntemi olmayan problemlerin çözümünde kullanılan ve insan beyninin işleyişini taklit ederek çözüm arayışına giren yaklaşımlar olmasıdır.

Yol deneylerinden elde edilen verilerden faydalanarak YSA ile 8 farklı tahmin modeli geliştirilmiştir. Bunlardan 5'i eğimli yol deneylerinin verilerinden faydalanılarak, 3'ü ise fren etkinliği deneylerine ait verilerden geliştirilmiştir. Bu modeller;

- Eğimli yolda fren disk sıcaklığı tahmin modeli
- Eğimli yolda yavaşlatıcı torku tahmin modeli
- Eğimli yolda taşıt ağırlığı tahmin modeli
- Eğimli yolda taşıt hızı ve yavaşlatıcı torku tahmin modeli
- Eğimli yolda taşıt ağırlığı ve taşıtın katettiği mesafenin tahmin modeli
- Durma mesafesi tahmin modeli
- Durma mesafesi bilinen taşıtın frenleme öncesi hızını tahmin modeli
- Frenleme anında uygulanan pedal kuvveti tahmin modelidir.

Ayrıca, birden fazla modelin kombine tahminler üretebilmesi için Matlab ortamında kodlar yazılmıştır.

Yavaşlatıcıların, özellikle ağır taşıt kazalarını önlemedeki rolünün belirlenme kriteri, taşıtın frenleme performansındaki değişim olarak karşılaştırılmıştır. Frenleme performansının en önemli göstergesi durma mesafesidir. Seyir halindeki bir taşıtın ani bir frenleme ihtiyacı hissettiği anda gerektiği mesafede duramaması kazaların başlıca nedenleri arasındadır. Yavaşlatıcılar ise, taşıtın servis frenlerinin soğuk ve işletmeye hazır halde bulunmalarını sağlayan donanımlardır. Yapılan yol deneylerinde yavaşlatıcı donanımına sahip olan taşıtın 80 km/h ilk hızla yapılan durma mesafesi ölçümlerinde %17 oranında daha iyi bir frenleme performansı ortaya koyduğu gözlemlenmiştir.

YSA ile geliştirilen modellerin performans ve çeşitliliği sayesinde, meydana gelmiş bir kazanın oluş biçimini tahmin edebilmek (Accident Reconstruction) amacına yönelik önemli bir adım atılmıştır.

2. LİTERATÜR ÖZETİ

2.1. Taşıt Donanımları İle İlgili Çalışmalar

Motorlu taşıtlardaki aktif güvenlik donanımlarının taşıt üzerindeki etkileri ile ilgili birçok çalışma yapılmıştır.

Kober ve Hirschberg, devrilme şeklinde gerçekleşen ağır taşıt kazalarında, taşıta yüklenen yükün miktarı ve taşıt üzerindeki dağılımının başlıca etken olduğunu savunmuşlardır. Ağır taşıtların devrilme kazalarında diğer taşıtlara oranla çok daha önemli bir paya sahip olduğunu ve bu kazaların gerek ölüm ve yaralanma, gerekse trafik akışına engel olması nedeniyle azaltılmasının önemine değinmişlerdir. Taşıta yüklenen yükün miktarı, ağırlık merkezine göre homojen dağılımı ve yükün boyutlarının bir denetim altında olmamasının, taşıt dinamiği açısından risk teşkil edeceği vurgulanmış, bu şartlardaki bir taşıtı kullanan sürücünün potansiyel olarak kaza riski taşıdığı dile getirilmiştir. Taşıt üzerine entegre edilebilecek bir yük tanımlama sistemi sayesinde yükleme tarzı ve miktarının taşıtı devrilme riskine sokup sokmadığının belirlenmesinin mümkün olacağını ifade etmişlerdir. Sistemin, taşıtın aktif sürüş güvenliğine iki türlü katkısı olacağı savunulmuştur. Bunlardan ilki, yükleme miktarının ve tarzının taşıtın denge limitlerini zorlayacak seviyeye gelip gelmediği hakkında sürücüyü bilgilendiren ve yükleme süresince de aktif olan yaklaşımdır. İkincisi ise, yük miktarının ve dağılımının, ileri teknoloji sürücü asistanı veya geliştirilmiş taşıt dinamik kontrolü sistemlerine direk veri transferi yapabiliyor olmasıdır [26].

Artus ve arkadaşları, yapmış oldukları çalışmada ağır ticari taşıtlarda güvenlik ve performansın fren disklerinin sıcaklığına bağlı olduğunu vurgulamışlardır. Fren disklerinde oluşan ısıyı tahmin etmeye yönelik geliştirdikleri algoritma sayesinde elde edilen değerlerle, yol testi yaparak elde ettikleri değerler arasında paralellik olduğunu ifade etmişlerdir [27].

Scott ve arkadaşları, yoldan çıkma şeklinde gerçekleşen ticari taşıt kazalarının nedenlerini araştırmaya yönelik yaptıkları çalışmada, bu tür kazaların, taşıtın hızını kontrol etme yeteneğinin kaybolması, aşırı hız yüzünden virajda yoldan çıkma ve daha yavaş seyreden bir başka taşıta arkadan çarpma şeklinde gerçekleştiğini belirtmişlerdir. Dik eğimli ve uzun yokuşlardan inerken fren etkinliğinin kaybının ısınma, fren sisteminin tasarımı, sürtünen materyallerin özellikleri, dayanıklılık ve frenlerin bakımı gibi çoklu etkilere bağlı olduğunu dile getirmişler, bakımsız ya da bakım sınırına gelmiş frenlerin, bakımlı frenlere nazaran hiç ısınmadan ya da hafif ısındığında bile etkinliğini kaybedebileceğini ifade etmişlerdir. Yollarda yaşanabilecek kontrol kaybı olaylarının anlaşılmasında uygulanabilecek yeni fren performansı test verileri elde ederek, ısınma ve frenin bakımının fren verimliliğine etkilerini gösteren 'Brake Designer' adını verdikleri analitik bir bilgisayar yazılımı kullanmışlardır. Ayrıca, frenlerin ısınma oranının kullanıma bağlı bir fonksiyon olduğunu, kamyonun hızı, yükü, vites seçimi, motor freni ve yavaşlatıcı kullanımından etkilendiğini ifade etmişlerdir [28].

Janson ve arkadaşları, eğimli yolların dizaynı ile kamyon kazalarının oranı arasındaki ilişkiyi araştırmışlardır. Yaptıkları çalışmanın neticesinde kamyon kazalarının sıklığı ve oranıyla rampa tipi arasında kayda değer bulgular elde etmişler, eğimli yolların dönemeçli kesimlerinde özellikle devrilme şeklindeki kamyon kazalarının artışına dikkat çekmişlerdir. Bu tür yol kesimlerinde görülen kamyon kazalarının tüm eğimli yol kazalarına oranla en büyük paya sahip olduğunu iddia etmişlerdir [29].

Akiyama, Japonya'da özellikle 8 ton ve üzeri azami yüklü ağırlığa sahip olan kamyonların karıştığı kazaların nedenlerini ve bunların önlenmesine yönelik gelecekte uygulanabilecek güvenlik önlemlerini araştırmıştır. Bu tür araçların karıştığı kazalarda özellikle yolcu taşıtlarının ve yayaların ön plana çıktığına dair istatistiksel verilere değinerek, çarpışma önleyici ön uyarı sistemlerinin ve gece aydınlatmalarının bu tür kazaların azaltılmasında etkili olabileceğini savunmuştur [30].

Nakao ve arkadaşları, taşıtın dört tekerleğinden elde edilen rotasyonel bilgiyi kullanarak taşıtın lastikleri ile yol yüzeyi arasındaki sürtünme seviyelerinin belirlenmesine yönelik yaptıkları çalışmada, yol yüzeyinin gerçek zamanlı kayganlık seviyesini tespit etmenin mümkün olduğunu belirtmişlerdir. Yüksek μ değerine sahip yol yüzeyinde seyrederken μ -s'nin eğimini bulup, bunu referans değeri olarak belirlenmiş ve ardından bu referans değerinin aracın o anda hareket etmekte olduğu yol yüzeyinin μ -s eğimiyle eş zamanlı olarak karşılaştırılmış ve referans değerinin otomatik olarak güncellenmesiyle lastiğin aşınmasına bağlı değişiklikleri görmek mümkün olmuştur [31].

Arpat, yük ve yolcu taşıyan araçların günümüz teknolojisine paralel olarak hız ve yük kapasitesindeki artışına dikkat çekerek daha etkin fren sistemlerine ihtiyaç duyulduğunu vurgulamıştır. Özellikle şehir içinde dur kalk trafiğine maruz kalan belediye otobüslerinin balata aşıntısı ve fren etkinliği kaybına uğradığını belirterek, biri kampanalı, diğeri diskli olmak üzere iki farklı araç için ısı analiz hesaplamaları yapmıştır. Ayrıca, bir şehiriçi otobüsle yol deneyleri yaparak elde ettiği sonuçları teorik sonuçlarla karşılaştırmış, balata aşıntısının azaltılmasına yönelik önerilerde bulunmuştur [32].

Bayrakçeken, fren performansını etkileyen faktörleri incelemek amacıyla geliştirdiği test cihazında frenleme kuvvet dağılımlarını belirleme ve analiz etme imkanı bulmuştur. Ayrıca frenlenmiş tekerlek davranışları ile ilgili geliştirdiği matematiksel modelle deney sonuçlarının uyum içerisinde olduğunu ortaya koymuştur [33].

Altıparmak, ticari taşıtlarla başlayan ve binek otomobillerinde de hızla yaygınlaşan Kilitleme Önleyici Fren Sistemi (ABS), Patinaj Kontrol Sistemi (ASR) ve retarder gibi aktif güvenlik donanımlarının taşıt hareketleri üzerindeki etkilerini incelemiştir. Özellikle kaygan ve ıslak yol şartlarında etkili bir yavaşlama, ivmelenme ve durmanın büyük önem taşıdığını vurguladığı çalışmasında, bu donanımların hayati önem taşıdığını dile getirmiştir [34].

Çakır, ülkemizde ve dünyada otomobil teknolojisindeki gelişmeleri ve trafik kazalarını incelemiş ve önemli bir kısmının araçlarda meydana gelen bazı teknik arızalar da dahil olmak üzere ağırlıklı olarak insan faktörüne dayandığı kanısına varmıştır. Ulaşım riskleri azaltmak için taşıtlardaki yasa ve yönetmeliklerin zorunlu kıldığı minimum donanımlardan ziyade, aktif ve pasif güvenlik donanımlarının ön plana çıkarılmasının önemini vurgulamıştır [35].

Önhon, ABS testleri hakkında kapsamlı bir araştırma yapmış, taşıtlara sonradan adapte edilen mekanik ABS'nin mukayesesini yapmak amacıyla, en çok uygulanan iki araç üzerinde yapılan testler sonucunda, durma mesafesini %30 oranında kısalttığı iddia edilen sistemin bu hedefi gerçekleştiremediğini tespit etmiştir [36].

Çavdar, taşıtlarda bulunan aktif ve pasif güvenlik sistemlerini incelediği çalışmada, bu sistemlerin Türkiye'de meydana gelen kazalardaki paylarını ve her sistemin puanlamasını yapmıştır. Ayrıca bu sistemlerin taşıt tasarımı bakımından önemini de vurgulamıştır [37].

Fillikçioğlu, fren balatalarının frenleme kuvvetine etkisini çeşitli firmalara ait balatalarla deneysel olarak incelemiştir. Periyodik bakım süresi geçen ve kullanılmaya devam edilen balataların et kalınlığının azalmasının frenleme kuvvetini azalttığı ve kaza riskini artırdığını vurgulamıştır [38].

2.2. Yapay Sinir Ağları (YSA) İle Konu Hakkında Yapılan Çalışmalar

Farklı disiplinlerde uygulama alanı bulan YSA'lar, taşıt donanımları ile ulaşım ve trafik problemlerinin çözümünde de yerini almıştır. Konu ile ilgili bazı literatür örnekleri aşağıdaki verilmiştir:

Matusko ve arkadaşları, taşıtın lastikleri ile yol yüzeyi arasında oluşan sürtünme kuvvetinin ABS, Çekiş Kontrol Sistemi (TCS) gibi birçok aktif güvenlik donanımına sahip araçlar için büyük önem taşıdığını belirttikleri

çalışmalarında, lastik-yol sürtünme kuvvetini tahmin etmeye yönelik bir Yapay Sinir Ağları (YSA) modeli geliştirmişlerdir. Geliştirilen modelde araç hızı ve tekerlek çevresel hızını değişken parametreler olarak kullanmışlar ve buna bağlı olarak lastik-yol sürtünme kuvvetini tahmin etmeyi amaçlamışlardır. Simülasyon sonuçlarının, model parametrelerindeki çok hızlı değişimleri karşılayabildiğini, ancak modelin olası dezavantajının parametrelerdeki özel değişimler hakkında bilgi verememesi olduğunu vurgulamışlardır [39].

Schoredl ve Zang, taşıt hızı tahmininin ileride geliştirilecek ileri güvenlik sistemleri için önemli bir materyal olacağını vurgulayarak, yapay sinir ağları tekniğiyle taşıt hızı tahmini içeren bir çalışma yapmışlardır [40].

Escalera ve arkadaşları, yaptıkları çalışmada akıllı araçlar için trafik işareti algılama ve analizi üzerine bir çalışma yapmışlar ve oluşturdukları YSA modeliyle çeşitli nedenlerle zarar görmüş ya da pozisyonu değişmiş trafik ve yol işaretlerinin sınıflandırılmasını ve tanınmasını sağlamışlardır. Oluşturulan sistem sadece trafik ve yol işaretlerini tanımakla kalmamış, aynı zamanda işaretlerin durum ve şartları hakkında bilgi vermiştir [41].

Mussone ve arkadaşları, Milan kentindeki araç kazalarının analizi amacıyla geliştirdikleri YSA modeliyle kavşak yoğunluğu ve kavşağın nasıl düzenlendiğine bağlı olarak kaza indeksleri oluşturmuşlardır. Ayrıca yayaya çarpma şeklinde meydana gelen kazaların çoğunun sinyalizasyonla edilmemiş kavşaklarda gece meydana geldiğini saptamışlardır [42].

Tong ve Hung, sinyalizasyon kavşaklardaki araç akışının YSA ile modellenmesi üzerine yaptıkları çalışmada, geri yayılım algoritması kullanarak elde ettikleri modelin, araç akış ilerlemesi üzerine makul tahminler üretebileceğini ortaya koymuşlardır [43].

Wei, yaptığı çalışmada, karayolu rampa sayım kontrollerinde YSA modeli oluşturmuş, oluşturulan modelin karayolu trafiği operasyonlarında kullanılması halinde başarılı sonuçlar vereceği ve farklı uygulamalarda kullanılabileceği sonucuna varmıştır [44].

Dougherty ve Cobbett, kısa dönemli trafik akış tahminlerinde geri yayımlı YSA modeli oluşturmuşlar, araç hızlarının tahmininde düşük başarılı sonuçlar elde etmişlerdir. Buna neden olarak da düşük akış koşullarında yavaş hareket eden araçları göstermişlerdir [45].

3. TAŞIT AKTİF GÜVENLİK SİSTEMLERİ VE YAVAŞLATICILARIN ETKİLERİ

Trafik kazaları, karayolunda seyir halinde olan bir ya da birden fazla taşıtın karıştığı, ölüm, yaralanma veya maddi hasarla sonuçlanan olaylardır. Bir başka ifadeyle, nedeni ne olursa olsun trafik kazaları taşıtlarla yapılmaktadır. Her ne kadar ülkemizde kazalara neden olan kusurların dağılımında taşıt faktörü %1'in altındaki değerlerle anılsa da, bu değerlendirmelerin daha hassas yapıldığı ülkelerde taşıt güvenliğine ve taşıt odaklı kazaların azaltılmasına yönelik teknoloji geliştirme çalışmalarına büyük önem verilmektedir. Bu faaliyetlerdeki temel amaç, kazaların en büyük kaynağı olan sürücülerin yapmış oldukları hataları, taşıt güvenlik donanımları yardımıyla kapatmaya çalışmaktır [46,47].

Taşıt güvenlik sistemleri, herhangi bir kaza ihtimali öncesinde, kazanın oluşumunu önleme görevi yapan 'Aktif Güvenlik Sistemleri' ve kazanın oluşumundan sonra ölüm ve yaralanma risklerini en alt düzeye indirmeyi hedefleyen 'Pasif Güvenlik Sistemleri' olarak sınıflandırılır [48-51].

Aktif güvenlik sistemleri, sürüş emniyetini artırarak sürücüye yardımcı olan akıllı sistemlerdir. Bu sistemler, algılayıcıları yardımıyla araç ve yolun durumunu öğrenerek elde ettikleri verilere kendi algoritmalarını uygularlar ve gerektiğinde karar verme mekanizmalarını çalıştırıp taşıt donanımlarına müdahale ederler. İnsan beyninden daha hızlı karar verebilen bu sistemler şimdilerde sürücülere yardım ediyor görünse de yavaş yavaş onların yerini almaktadırlar [46].

Bu bölümde, olası bir kazayı önceden önlemeyi hedefleyen aktif güvenlik sistemleri ve yavaşlaticılar anlatılmıştır.

3.1. Aktif Güvenlik Sistemleri

Aktif güvenlik donanımlarının başlıca fonksiyonları, emniyetli frenleme, taşıt kararlılığı ve emniyetli manevra kabiliyeti olarak sıralanabilir. Her türlü yol ve sürüş şartlarında hareket halindeki bir taşıtın fren sistemi ve yardımcı sistemlerinde aranan üç özellik;

- Taşıtın kararlı, düzgün hareketi (doğrusal harekette veya dönüş sırasında),
- Direksiyon kontrolü,
- Frenlemeden sonra kısa mesafede duruş olarak sıralanabilir.

Bu özelliklerin sağlanabilmesi, taşıtın frenlenmesi anında tekerleklerin kilitlememesine, ivmelenme sırasında ise patinajın önlenmesine bağlıdır. Taşıtın fren sistemi, özellikle kaygan yol şartlarında mümkün olduğunca kısa bir mesafede durmasını sağlamalı, frenleme süresince de taşıt kararlılığını koruyabilmelidir [52].

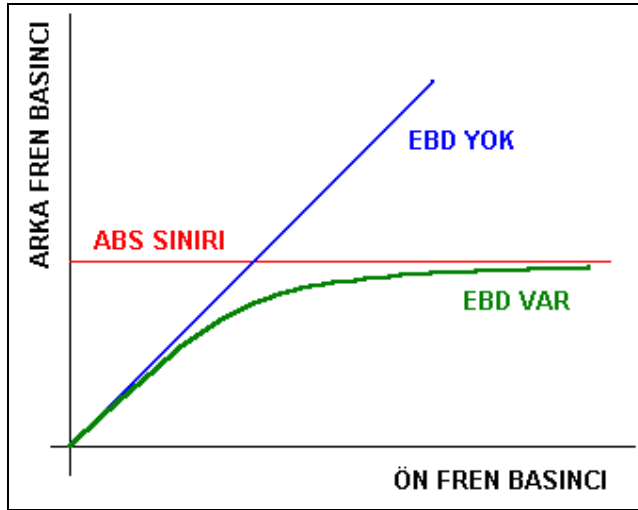
3.1.1. Kilitleme önleyici fren sistemi (ABS)

Kilitleme önleyici fren sistemi (ABS), birçok yeni nesil taşıtta sert frenleme anında direksiyon hakimiyetini korumak ve bazı yol yüzey şartlarında durma mesafesini azaltmak amacıyla kullanılmaktadır. Yapılan çalışmalar sistemin, lastik-yol yüzeyi arasındaki sürtünme katsayısının düşük olduğu durumlarda durma mesafesinin kıaldığını, virajlarda yapılan frenlemelerde taşıtın doğrusal kararlılığını koruduğunu ve özellikle buzlu zeminlerde optimum yavaşlama ivmesi ve direksiyon kabiliyeti sağladığını göstermiştir [53-55].

3.1.2. Elektronik fren gücü dağıtım sistemi (EBD)

Frenleme sırasında taşıt üzerinde ileri yönde bir kuvvet oluşmaktadır.

Süspansiyon sistemi üzerine etki eden bu kuvvet, taşıtın ön kısmının yere yaklaşmasına ve arkasının ise yukarıya kalkmasına neden olmakta, yani ön lastikler üzerindeki yük artarken arka lastikler üzerindeki yük azalmaktadır. Frenleme ne kadar sert olursa ön/arka tekerlekler arasındaki bu yük farkı da o oranda artmaktadır. Fren basıncı her iki aksa aynı oranda dağıtıldığında ise arka tekerlekler üzerindeki düşük yük nedeniyle arka tekerlekler ön tekerleklerden daha önce kızaklar, ya da arka aks ABS donanımı daha erken devreye girer. EBD ise fren basıncını bu yük dengesizliğini ortadan kaldıracak şekilde ön ve arka akslara dağıtır (Şekil 3.1). Yani sert frenleme esnasında ön aksda daha çok, arka aksda daha az fren gücü elde edilmektedir. Bu sayede arka tekerleklerin kızaklama ihtimali azaltılmış olur [37].



Şekil 3.1. Elektronik fren gücü dağıtım sistemi basınç dağıtımı [37]

3.1.3. Yük kontrollü fren gücü dağıtım sistemi (LSPV)

Yük kontrollü fren gücü dağıtım sistemi, yalnız başına veya EBD sistemiyle birlikte kullanılan benzer bir fren gücü oranlama sistemidir. Bu sistem, frenleme anındaki dinamik yük değişiminin ötesinde, taşıtın boş veya dolu olmasından kaynaklanan statik yükü (dingil ağırlığı) de göz önüne alarak fren

gücünü dağıtır. Böylece özellikle taşıtın yüksüz olduğu durumlarda arka frenlerin kızaklama riski en aza indirilmektedir [37,56].

3.1.4. Panik fren destek sistemi (BAS)

Yapılan kaza analizlerinde, çoğu sürücünün bir panik anında hızla tepki vererek frene bastığı, ancak özellikle deneyimsiz sürücülerin tereddüt geçirerek pedala yeterli kuvveti uygulayamadığı ortaya çıkmıştır. Sürüş simülatörleriyle yapılan deneylerde de benzer sonuçlar elde edilmiştir. Önlerine aniden engeller çıkarılan erkek ve bayan sürücülerin % 90'ı frene yeterli şiddette basmakta çok geç kalmaktadırlar. Bu durumda ise tekerleklere azami fren gücü uygulanamamakta ve ABS devreye girmemektedir. Gerek standart ve gerekse takviyeli (servo) fren donanımlarında tekerleklere uygulanan basınç, sürücünün fren pedalına yaptığı basınçla doğru orantılıdır. BAS, sürücünün fren pedalına ani olarak bastığını algıladığı andan itibaren tekerleklere azami fren basıncını uygulamaktadır. Bu durumda mevcut ABS donanımı devreye girerek lastiklerin bloke olmasını önlemekte, böylece hem direksiyon hâkimiyetinin devamını sağlamakta, hem de aracın en az süre ve mesafede durmasını temin etmektedir [46,56].

3.1.5. Patinaj (Çekiş) kontrol sistemi (ASR)

Kilitleme önleyici fren sistemi (ABS), Elektronik fren gücü dağıtımı (EBD) ve Panik fren destek sistemi (BAS) gibi sistemler fren güvenliğini artırma yönünde geliştirilmiş Aktif Güvenlik Sistemleri olup, sürücü frene bastığında devreye giren donanımlardır. Bunlara ek olarak, ABS temeli üzerinde geliştirilen ek elemanlarla aracın dinamik kararlılığını sağlayan komple sistemler geliştirilmiştir. Patinaj önleme sistemi bunlardan birisi olup, sürücü gereğinden fazla gaza bastığında taşıtın patinaj yapmasını engelleyerek kararlılığını korumasını sağlamaktadır [57].

3.1.6. Savrulma kontrol sistemi (ESP)

Alman Sigortacılar Birliğinin Münih'te yaptırdığı bir araştırmada, ölümlerle sonuçlanan kazaların %30 ile %40'ının, aracın savrulması nedeniyle meydana geldiği tespit edilmiştir. Buna göre araç sürücüsü, aşırı hız nedeniyle virajı alamamakta veya bir tehlike anında direksiyonu hızla çevirdiğinden taşıtın hâkimiyetini kaybetmekte, bunun sonucu olarak şarampole yuvarlanmakta veya bariyerlere çarpmaktadır. Daha kötü senaryolarda ise araç kontrolden çıktıktan sonra karşıdan gelen araca önden ve/veya yandan çarpmaktadır. Ölümler de en çok yandan çarpma sonrası görülmektedir. Bu araştırma sonucunda varılan nokta, her türlü yol ve sürüş şartlarında aracın dinamik kararlılığını sağlayacak bir elektronik sistemin geliştirilmesi olmuştur.

2002 yılı içerisinde Almanya'da yolcu taşıtlarının karıştığı ölümcül kazaların yaklaşık %25'i sürücünün dikkatsizliği sonucu kontrolünü kaybetmesine bağlı olarak sabit cisme (direk, ağaç vs.) çarpma şeklinde meydana gelen kazalardır. 1995 yılından itibaren binek taşıtlarda pahalı bir donanım olması gerekçesiyle opsiyonel olarak sunulmaya başlanan savrulma kontrol sisteminin (ESP), 2004'den itibaren yaygın kullanımıyla birlikte bu tür kazalarda %50 dolayında bir azalma olduğu gözlemlenmiştir [58].

Kilitleme önleyici fren sistemi (ABS) frenleme güvenliği elemanı, çekiş kontrol sistemi de (ASR) hızlanma kontrol donanımı olarak nitelendirilirse, savrulma kontrol sistemi için "Yönlenme Kontrol Sistemi" tabiri kullanılabilir. ABS donanımının sadece frene basıldığında, çekiş kontrol sisteminin ise gaza basılmasıyla devreye girmesine karşılık, savrulma kontrol sistemi her an aktif olan ve sürekli sürücü hareketleriyle aracın tepkisini ölçen bir sistemdir ve hem ABS, hem de ASR'nin işlevlerini içermektedir. Savrulma kontrolünün temelinde, sürücünün davranışlarıyla aracın hareketinin karşılaştırılması yatmaktadır. Eğer araç, savrulursa savrulma kontrol sistemi derhal devreye girerek tekerleklerin yeniden rotasına gelmesini sağlar. Savrulmanın sebebi

de yine yol-lastik sürtünmesinin açılmasıdır; ancak buradaki fark, kuvvetin yönüdür. Bloke olma durumunda etki eden kuvvetin ileri yönde, patinaj durumunda ise geri yönde olmasına karşılıklı, viraj dönerken oluşan kuvvet, merkezkaç kuvvetidir ve yana doğrudur. Merkezkaç kuvveti, araç hızının karesiyle orantılı olduğundan, yapılması gereken eylem, araç hızının azaltılmasıdır. Bunun için savrulma kontrol sistemi motor kumanda sistemine Denetleyici Alan Ağı (CAN) veri yolu aracılığıyla bilgi göndererek motor gücünün azaltılmasını sağlar. Ancak yavaş tepki gösteren bu yöntem dışında hızlı çalışan fren sisteminden de faydalanılır [59].

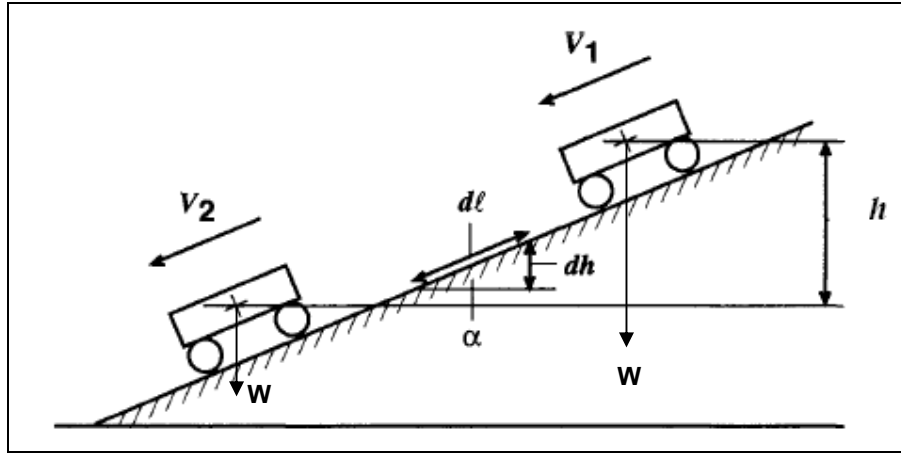
3.2. Motorlu Taıtlarda Kullanılan Yavalatıcılar ve Etkileri

Ticari taşıtların fren sistemlerinin etkin ve güvenilir olması, trafik kazalarının azaltılmasına yönelik alınan tedbirlerde kritik bir unsur olarak ön plana çıkmaktadır. Günümüz teknolojisine paralel olarak taşıt tasarımında yakıt ekonomisi, hız performansı ve yük kapasitesi açısından önemli ilerlemeler kaydedilmiş olmasına rağmen, taşıtın hızını kontrol etmek ve gerektiğinde en kısa mesafede durdurmak adına yapılan çalışmalar aynı paralellikte seyredememitir. Sürtünmeli fren sistemleri, acil frenleme durumlarında yüksek performans göstermekle birlikte, uzun süreli frenleme durumlarında yetersiz kalmaktadır [60,61].

Motorlu taşıtların fren sistemlerinin, ihtiyaç halinde taşıtın yavaşlatılması veya durdurulması, duran ya da park halinde bulunan taşıtın kendiliğinden harekete geçmesinin önlenmesi ve uzun süreli yoku aşağı inilerde taşıt hızının belirli değerlerde tutulması olmak üzere üç temel ihtiyaa cevap vermesi beklenir. Bunlardan ncs, ülkemiz coğrafi yapısının ağır taşıtlar açısından uzun süreli yoku aşağı hareketleri zorunlu kılması nedeniyle, özellikle şehirlerarası yollarda yk ve yolcu taşımacılığı açısından oldukça büyük önem taşımaktadır [62].

Uzun süreli yoku inen bir ağır taşıtın frenlenmek suretiyle sabit bir hızda

seyretmesi, işletme frenlerinin büyük bir zorlanmayla karşı karşıya kalmasına neden olur. Şekil 3.2’de gösterilen basit modelde olduğu gibi, bir taşıtın hızını artırmadan “h” düşey mesafesi kadar yokuş aşağı inmesi, bu mesafeye karşılık gelen potansiyel enerjinin kinetik enerjiye dönüşmesi, onun da fren sistemi tarafından ısı enerjisine dönüştürülüp sistemden atılması anlamına gelir. Bu ısı enerjisi ise fren donanımındaki sürtünen elemanların sıcaklığını önemli ölçüde artırmaktadır [62].



Şekil 3.2. Yokuş aşağı inişte kinetik ve potansiyel enerji [10]

Enerji dengesinden faydalanarak frenleme enerjisi;

$$E_b = W \cdot h + \frac{1}{2} k \cdot m (V_1^2 - V_2^2), \text{ Nm} \quad (3.1)$$

formülüyle ifade edilir. Burada;

W: Taşıt ağırlığı (N),

h: Yol eğiminden kaynaklanan potansiyel yükseklik (m),

k: Dönen kütleler için düzeltme faktörü,

m: Taşıtın kütlesi (kg),

V₁: Taşıt ilk hızı (m/s),

V₂: Taşıt son hızı (m/s)'dir.

Sabit hızda sürekli frenleme için Eş.3.1'de $V_1 = V_2$ olacağından;

$$E_b = W \cdot h, \text{ Nm} \quad (3.2)$$

şeklinde ifade edilir [10].

Yaklaşık 36 ton ağırlığındaki bir çekici kamyonun, %7 eğimli bir yolda 20 mph (32,2 km/h) sabit hızla sadece servis freni kullanılarak inişi esnasında fren disklerindeki sıcaklık artışı hesaplandığında, 1,6 km sonra 196 °C'ye, 3,2 km sonra 303 °C'ye ve 8. km'de ise 519 °C'ye ulaştığı görülmüştür. 315 °C'yi aşan sıcaklıklardan itibaren fren etkinliği kaybı başlamaktadır [10].

Uzun süreli yokuş aşağı frenlemenin yanı sıra, yoğun şehir trafiğinde sık sık dur-kalk manevraları yapan belediye otobüsü ve çöp kamyonu gibi ağır taşıtların frenleri de aşırı yük altında kalmaktadır. Bu olumsuzluklara ek olarak, ülkemizde sıkça rastlandığı gibi, taşıtın fren sistemi için öngörülen kapasitenin çok üzerinde yüklenerek trafiğe çıkarılması nedeniyle anılan zorlanmalar daha da artmakta, fren sistemleri talepleri karşılayamaz hale gelmekte ve buna bağlı olarak kazalar kaçınılmaz olmaktadır [22,62].

Ticari taşıtlarda servis frenlerini aşırı yükten korumak ve taşıtı daha emniyetli ve kararlı bir şekilde yavaşlatmak için çeşitli yavaşlatıcı sistemler kullanılmaktadır. Motor freni olarak adlandırılan, motor kompresyonu ve sürtünmelerin yavaşlatma etkisi de dahil olmak üzere 6 değişik yavaşlatıcı uygulaması mevcuttur. Bunlar [9]:

- Motor kompresyon yavaşlatıcısı
- Motor egzoz kompresyon yavaşlatıcısı (egzoz freni)
- Sıkıştırılmış hava yavaşlatıcısı
- Hidrodinamik yavaşlatıcı

- Elektromanyetik yavaşlatıcı
- Çok diskli, sürtünmeli tip yavaşlatıcıdır.

Bu bölümde, çalışmanın asıl konusu olan hidrodinamik ve elektromanyetik yavaşlatıcıların çalışma prensibi ve fonksiyonları açıklanmıştır.

3.2.1. Hidrodinamik yavaşlatıcı

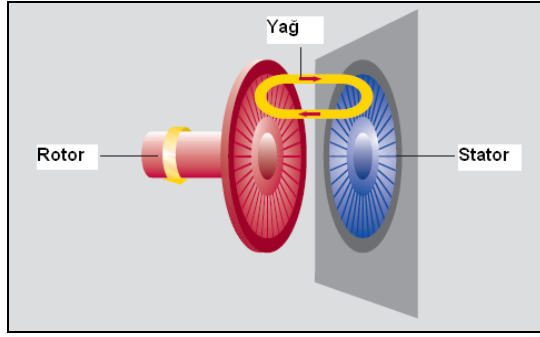
Amerika Birleşik Devletleri'nde (ABD) 1950'li yıllarda yaklaşık 10 000 tonluk yüklerin Rocky dağlarının üzerinden taşınabilmesi için uzunluğu 5 km'yi aşan tren katarlarının kullanılması gerekiyordu. Bu katarları hareket ettirebilmek için sayıları bazen 10'u bulan standart dizel lokomotifler kullanılıyordu. Başta Southern Pasific Demiryolları olmak üzere, nakliyeciler daha güçlü makineler kullanarak nakliye randımanını artırmayı hedeflemişlerdi. Bu görevi üstlenen Voith, 3000 kW gücündeki bir lokomotifin tahrik sistemini geliştirdi. Bununla birlikte eğimi zaman zaman %3'ü geçen uzun yokuş aşağı inişler için daha ekonomik ve güvenilir bir fren sisteminin geliştirilmesi ihtiyacı doğdu. Çalışma alanı hidrolik makineler olan Voith, fren ısını dışarı atabilen hidrodinamik bir fren sistemi geliştirdi. Böylece ağır katarları hemen hemen hiçbir aşınmaya yol açmaksızın yavaşlatmak ve kilometrelerce süren inişlerden sonra güven içinde vadilere indirebilmek mümkün hale geldi.

Setra otobüslerinin öncüsü olarak bilinen Kassbohrer Setra, bu gelişmeden haberdar olur olmaz Voith'e başvurarak, benzer bir sistemin otobüsler için de geliştirilmesini istedi. Böylece, ilk karayolu taşıtı için ek bir fren sistemi (yavaşlatıcı) üretilmiş oldu [63].

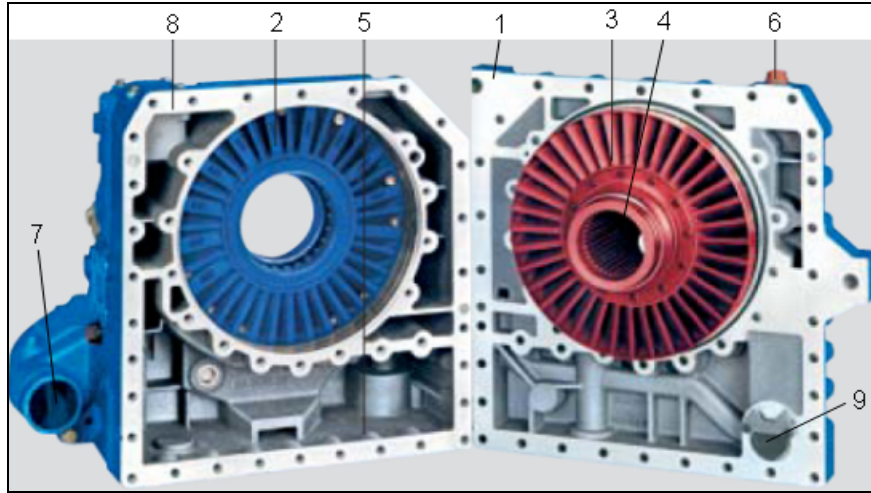
Hidrodinamik yavaşlatıcının çalışma prensibi

Hidrodinamik yavaşlatıcı yapısı itibariyle hidrodinamik kavramaya benzer. Rotor ve stator adı verilen özel açığa sahip iki adet döner kanatlı disk, karşı karşıya yerleştirilmiştir. Bunların arasında bulunan odacıkta yağ bulunur

Rotor taşıtın kardan miline, stator ise yavaşlatıcı gövdesine sabitlenmiştir. Şekil 3.3'de hidrodinamik yavaşlatıcının temel iki parçası olan rotor ve stator, Şekil 3.4'de ise yavaşlatıcıyı oluşturan parçalar görülmektedir.



Şekil 3.3. Hidrodinamik yavaşlatıcıların temel parçaları [63]

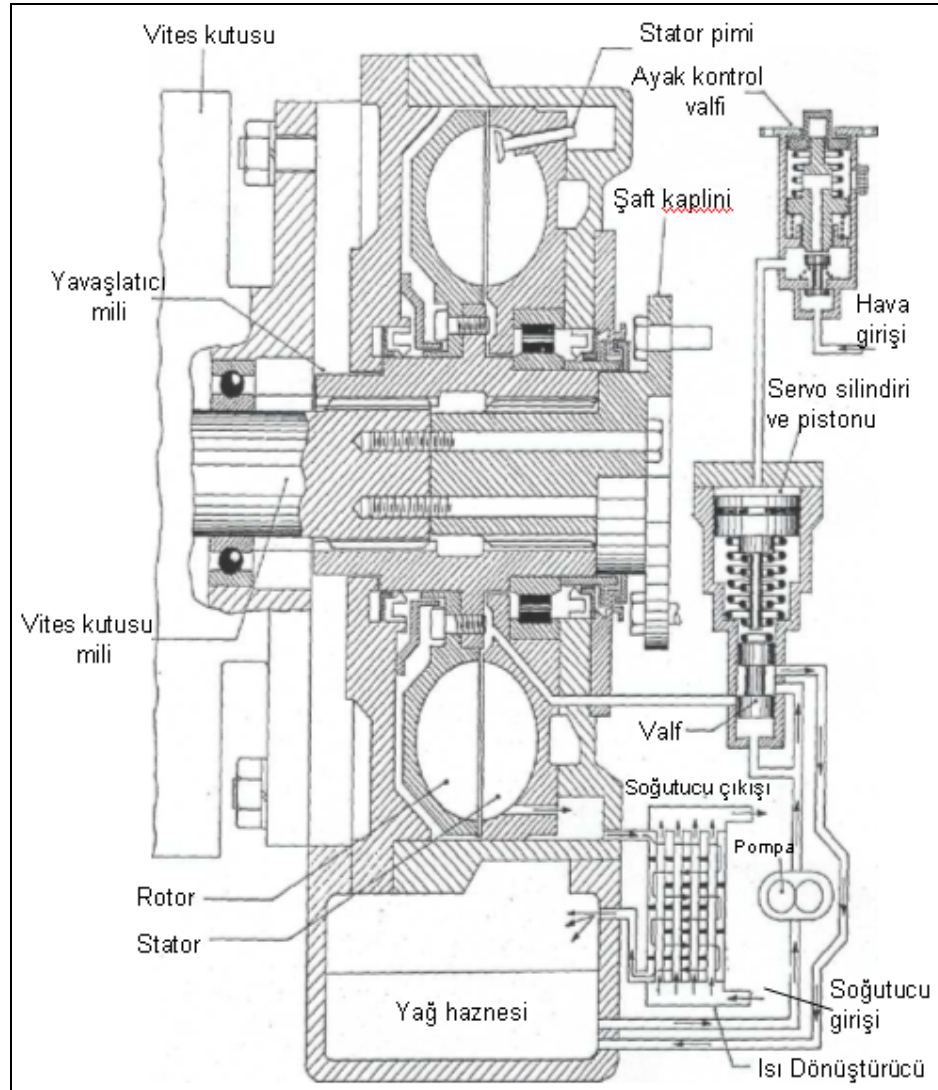


Şekil 3.4. Hidrodinamik yavaşlatıcıyı oluşturan parçalar [63]

1. Yavaşlatıcı kapağı
2. Stator
3. Rotor
4. Yavaşlatıcı mili
5. Yağ haznesi
6. Yağ tapası
7. Isı eşanjörü
8. Havalandırma boşluğu
9. Yağ haznesi kapağı

Yavaşlatıcı, ayak veya el il kumanda edilen bir valfin hareketiyle çalışmaya başlar (Şekil 3.5). Fren sisteminin yedek hava deposundan gelen basınçlı hava, servo pistonunun üst yüzeyine etki ederek, alt kısımdaki valf plancırını aşağı iter. Yağ pompasının bastığı basınçlı yağ, rotor ve stator arasına

dolmaya başlar. Kardan miliyle birlikte dönen rotorun hareket ettirdiği yağ, sabit stator kanatlarına çarparak tekerleklerin kinetik enerjisini absorbe eder ve bu enerji ısıya dönüşür.



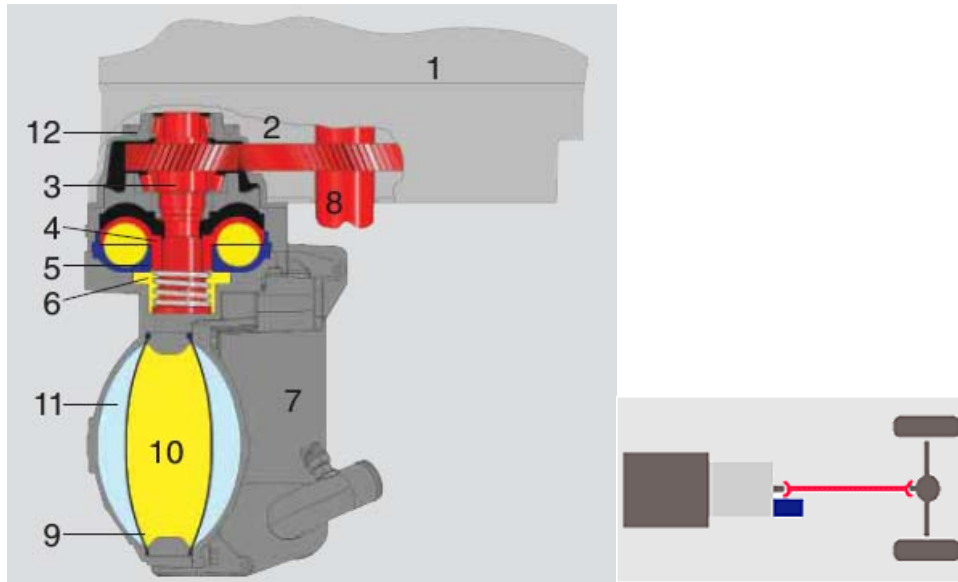
Şekil 3.5. Hidrodinamik yavaşlatıcının çalışma prensibi [9,64]

Rotor ve stator arasında oluşan frenleme torku, hızın karesi ile orantılı olarak artar. Bu aşırı tork artışı servo pistonun alt kısmındaki plancıra etki eden basıncın da artmasına yol açacağından, üstten etki eden hava basıncını yenerek yağ geri dönüş kanalını açar. Böylece frenleme torku kontrol edilmiş

olur. Yavaşlatıcının çalışması ile ortaya çıkan ısı, ısı eşanjörü ve motor soğutma sistemi aracılığıyla düşürülür [9].

Hidrodinamik yavaşlatıcının taşıta montajı

Hidrodinamik yavaşlatıcılar vites kutusu ile tahrik şaftı (kardan mili) arasına birkaç değişik şekilde yerleştirilebilir. Bunlardan ilki hat dışına montaj olarak bilinen uygulamadır. Yavaşlatıcının vites kutusu arkasına yerleştirilmesiyle şaft boyunda herhangi bir değişiklik olmaz. Yavaşlatıcının devir sayısı, tahrik dişlisi aracılığıyla şaft devir sayısının iki katına çıkarılabilir. Kullanılan yavaşlatıcının yağ beslemesi vites kutusundan bağımsızdır (Şekil 3.6).

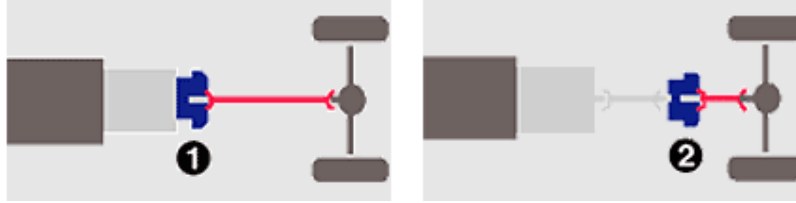


Şekil 3.6. Hat dışında montaj (offline) [63,65]

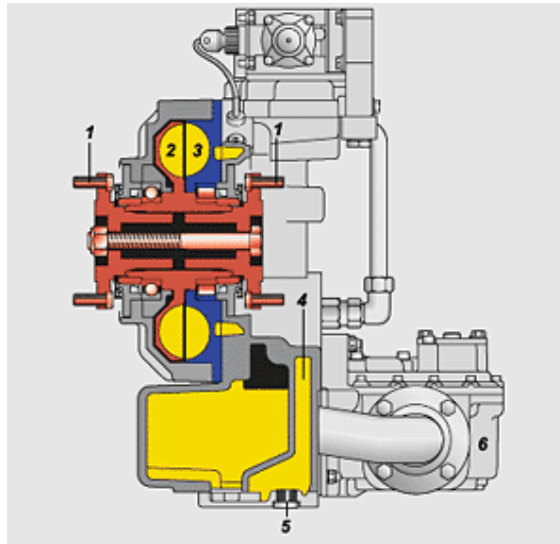
1. Şanzıman 2. Yüksek tahrik dişlisi 3. Tahrik mili 4. Rotor
5. Stator 6. Şanzımandan bağımsız yağ beslemesi
7. Çelik alaşımlı soğutma kazanı 8. Şanzıman ana mili
9. Diyafram 10. Yağ haznesi 11. Kumanda havası 12. Mil yatağı

Diğer bir montaj uygulaması ise eksenden montajdır. Eksenden montaj, vites kutusunun hemen arkasına direk yapılabildiği gibi, bağımsız olarak kardan miline de yapılabilir. Şekil 3.7’de eksenden montaj uygulamalarının şematik

görünümü, Şekil 3.8'de ise bu montaja uygun yavaşlatıcının kısımları görülmektedir.



Şekil 3.7. Eksenden montaj (inline) [63]



Şekil 3.8. Hidrodinamik yavaşlatıcının bağımsız montaj kurulumu [63]
 1. Kardan mili bağlantısı 2. Rotor 3. Stator 4. Yağ haznesi
 5. Yağ kanalı 6. Isı eşanjörü

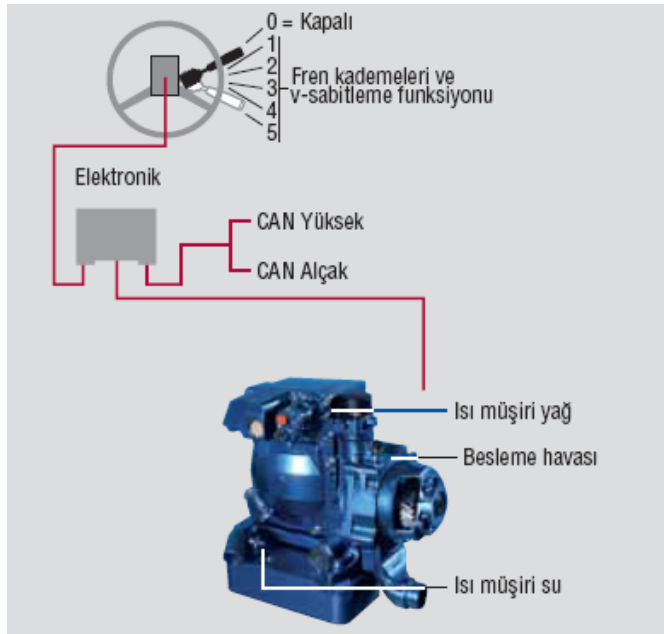
Hidrodinamik yavaşlatıcının kumanda edilmesi

Hidrodinamik yavaşlatıcılar genellikle direksiyonun sağ tarafında bulunan kademeli bir kolla çalıştırılır (Şekil 3.9). Yavaşlatıcının çalışması, sıkıştırılan yağın rotor ve stator arasına verilmesiyle başlar. Kademe şalterinin elektronik sinyali elektronik üniteye ulaşır ve bu bilgiler basıncı sağlayacak pnömatik oranı oluşturan oran ayarlayıcı süpap blokuna, buradan pnömatik birime göndererek ayar basıncını oluşturur. Bu ayar basıncı yağ haznesinden

gereken yağ miktarını rotor ve stator arasına pompalar ve bu yağ miktarı basınç gücüne göre fren torkunun yüksekliğini ayarlar (Şekil 3.10).



Şekil 3.9. Yavaşlatıcı kumandasının görünüşü

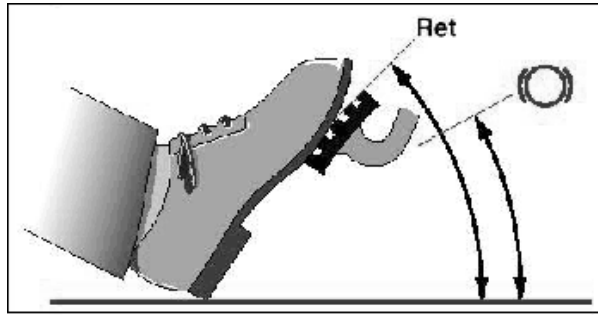


Şekil 3.10. Hidrodinamik yavaşlatıcının kumanda akışı [65]

Kol ile kumandada 5 kademe vardır. "0" pozisyonu yavaşlatıcının devre dışı olduğu pozisyonudur. Bundan itibaren ihtiyaca göre yavaşlatıcı torkunun

artırılabilceği kademeler sırasıyla yer alır. “1” pozisyonu aynı zamanda sabit hız kontrolü sağlar. Bu fonksiyonla yokuş aşağı inişlerde taşıtın sabit hızla kontrol altına alınabilmesi mümkündür.

Yavaşlatıcıya isteğe bağlı olarak fren pedalıyla kumanda etmek de mümkündür. Özellikle şehir içi trafikte sıkça dur-kalk yapan belediye otobüsü ve çöp kamyonu gibi ağır taşıtların yavaşlatılması için servis freni pedalının bir bölümü yavaşlatıcıyı kumanda eder (Şekil 3.11).



Şekil 3.11. Yavaşlatıcının fren pedalıyla kumanda edilmesi

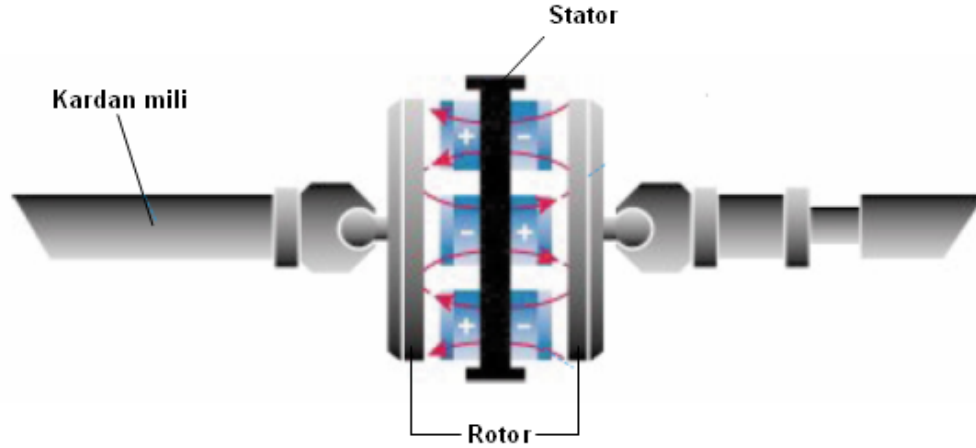
3.2.2. Elektromanyetik yavaşlatıcı

Elektromanyetik yavaşlatıcının tarihçesi

Fransız fizikçi Leon Foucault'un, 19. yüzyılın ortalarında keşfederek kendi adını verdiği manyetik akım teorisi, elektromanyetik yavaşlatıcının çalışma prensibinin temel dayanağı olmuştur. 1903 yılında Steckel isimli kaşif, elektromanyetik yavaşlatıcı sisteminin teorisi olan (eddy-current) girdap akımı çeviricisinin patentini almıştır. 1936 yılında Raoul Sarazin isimli kaşif, manyetik akım teorisine dayanan pratik bir sistemi ilke kez bir karayolu taşıtında ek bir fren sistemi olarak kullanmıştır. 1936-1950 yılları arasında Jourdein Monneret elektromanyetik sürtünmesiz fren sistemleri adı altında pazarlanan yavaşlatıcı, 1950 yılından itibaren Telma markası altında üretim ve pazarlamasına devam etmiştir [66].

Elektromanyetik yavaşlatıcının yapısı ve çalışma prensibi

Elektromanyetik yavaşlatıcı, kardan miline sabitlenmiş iki adet rotor ve şasiye sabitlenmiş bir adet statordan oluşur (Şekil 3.12).

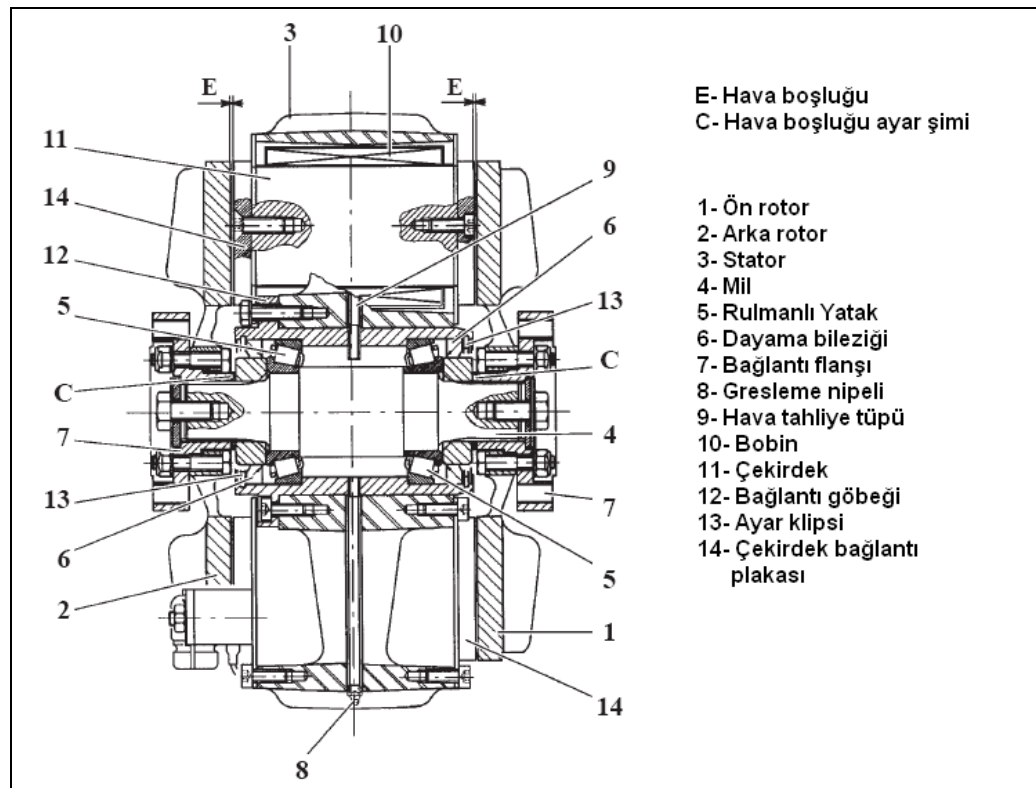


Şekil 3.12. Elektromanyetik yavaşlatıcının kısımları [67]

Elektromanyetik yavaşlatıcının çalışma prensibi, değişken şiddetteki bir manyetik alanın etkisindeki bir çelik kütle içerisinde akım oluşturma olarak özetlenebilir. Manyetik akı çizgileri boyunca oluşturulan bu akımlar Foucault (Fuko) Akımları olarak bilinmektedir. Pratikte stator tarafından sabit bir manyetik alan oluşturulmakta, bu alanın şiddetindeki değişim ise rotorla irtibatlandırılmış kütlelerin dönme hareketi yardımıyla sağlanmaktadır.

Kardan mili ile birlikte dönen rotorların arasına yerleştirilen stator, braketlerle şasiye sabitlenmiştir. Alternatif kutupları meydana getirecek olan sargılar stator üzerine monte edilmiştir. Yavaşlatıcı kolu devreye alındığında sargılar üzerinden akım geçer ve rotorlar üzerinde manyetik bir alan oluşur. Oluşan bu manyetik alanın yarattığı girdap akımları ve manyetik kuvvet rotor disklerini ve buna bağlı olarak dönen kardan milini yavaşlatır [22].

Elektromanyetik yavaşlatıcının devreye girmesi motora ek bir yük getirmez. Bu sistemler ihtiyaç duydukları gücü, taşıtın elektrik sisteminden alırlar. Bunu yaparken sistemin asıl fonksiyonunu etkilemeyecek şekilde, belirli sınırlar içerisinde karşılarlar. Ayrıca bu gücün kullanımı yavaşlama sırasında ve taşıt yalnızca kendi kütleli ataletinin etkisinde hareket ederken söz konusu olmaktadır. Şekil 3.13'de bir elektromanyetik yavaşlatıcının kesit resmi ve kısımlar görülmektedir.



Şekil 3.13. Elektromanyetik yavaşlatıcının kesiti [68]

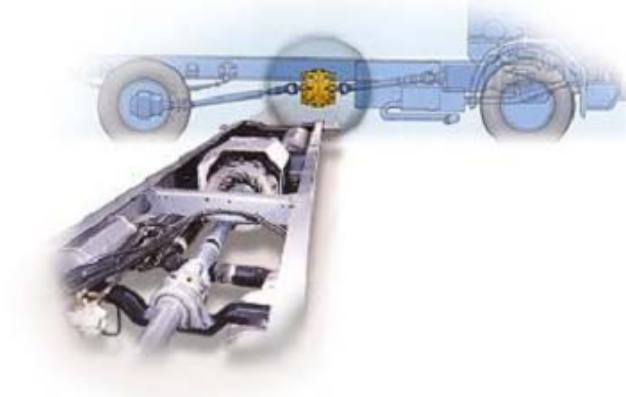
Elektromanyetik yavaşlatıcının taşıta montajı

Elektromanyetik yavaşlatıcılar, tatbik edilecekleri taşıtın özelliğine göre şanzıman/diferansiyel üzerine (Focal) veya kardan mili üzerine (Axial) olmak üzere iki türlü monte edilebilir.

Kısa kardan mili olan çekicilerde ve arkadan motorlu otobüs ve midibüslerde şanzımana montaj tercih edilir (Şekil 3.14). Bunun dışındaki taşıtlara ise kardan miline montaj uygulanır (Şekil 3.15).



Şekil 3.14. Elektromanyetik yavaşlatıcının şanzıman arkasına montajı [69]

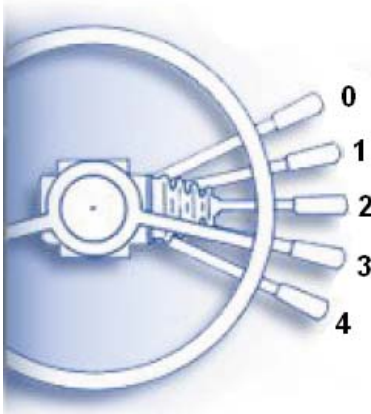


Şekil 3.15. Elektromanyetik yavaşlatıcının kardan miline montajı [69]

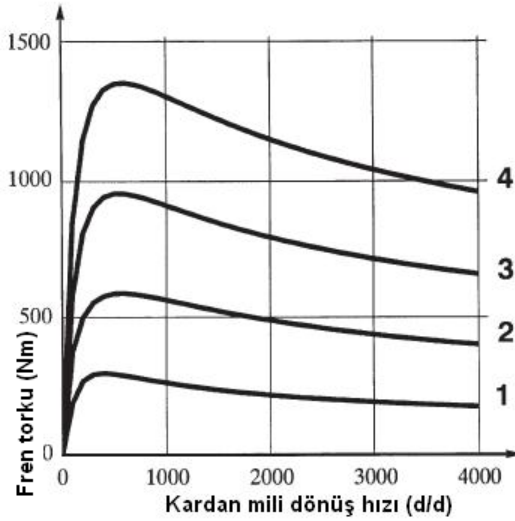
Elektromanyetik yavaşlatıcının kumanda edilmesi

Elektromanyetik yavaşlatıcılar da tıpkı hidrodinamik yavaşlatıcılar gibi gerek çalışma şartları, gerekse müşteri isteği göz önüne alınarak değişik şekillerde kumanda edilebilir. Bunlardan ilki elle kumandadır. Direksiyon simidinin alt kısmına ya da ön konsola yerleştirilen bir kol sayesinde yavaşlatıcı istenilen

kademede çalıştırılabilir (Şekil 3.16). Elektromanyetik yavaşlatıcılar genellikle devre dışı pozisyonu hariç 4 kademelidir. "0" pozisyonu yavaşlatıcının devre dışı olduğu pozisyonudur. Daha sonraki kademeler eşit olarak artan fren torkunu artırır. Elektromanyetik yavaşlatıcılar düşük devirlerde yüksek fren torku elde ederler (Şekil 3.17).



Şekil 3.16. Elektromanyetik yavaşlatıcının el ile kumandası



Şekil 3.17. Yavaşlatıcı kademesine bağlı olarak elde edilen fren torkları [70]

3.2.3. Yavaşlatıcı kullanımının getirdiği avantajlar

Yavaşlatıcı ile donatılmış taşıtların yatırım maliyeti biraz fazla olmakla birlikte, işletmecinin zaman içerisindeki ekonomik kazanımları bu farkı kısa sürede kapatabileceğini göstermektedir. Yavaşlatıcı kullanımı sayesinde servis frenlerinin yükü büyük ölçüde azaldığından fren sistemi elemanlarının aşınmaya bağlı değişim periyotları da uzamaktadır. Çizelge 3.1'de yavaşlatıcı donanımına sahip olan bir ticari taşıtın, yavaşlatıcısı olmayan bir taşıtla 600 000 km'lik bir kullanım periyodunda parça değişimi ve servis dışı kalma süresi bazında karşılaştırılması yer almaktadır.

Çizelge 3.1. Yavaşlatıcı kullanımının parça değişim periyodu ve servis dışı kalma süresi bakımından değerlendirilmesi [62]

Değişen Parçalar	Yavaşlatıcı VAR		Yavaşlatıcı YOK	
	Parça Değişimi (Km)	600 000 km'de değiştirilme sayısı	Parça Değişimi (Km)	600 000 km'de değiştirilme sayısı
Lastik	200 000	3	150 000	4
Balata ön	300 000	2	30 000	20
Balata arka	200 000	3	20 000	30
Kampana	600 000	1	150 000	4
Hizmet dışı		9 gün		58 gün

Çizelge incelendiğinde, yavaşlatıcısız bir taşıtın 600 000 km'lik bir kullanım sonucunda 20 kez balataları değişirken yavaşlatıcı kullanımında bu sayı sadece 2 olmuştur. Yavaşlatıcısız taşıt, sık tekrar eden bu parça değişimleri ve bakımlar yüzünden toplam 58 gün hizmet dışı kalırken, yavaşlatıcılı taşıtta sadece 9 günlük bir hizmet dışı zaman görülmektedir.

Yavaşlatıcı kullanımı sayesinde daha düzenli bir hız dağılım profili ortaya çıkacağından yakıt tüketimi düşük seyreder.

Yavaşlatıcı kullanımının getirdiği en büyük kazanım yol güvenliğine sağladığı

katkıdır. Yük ve yolcu taşımacılığı yapan ticari taşıtların fren sistemlerinin kapasitesinin sınırlı olması, özellikle ülkemizde taşıtların kapasitesinin üzerinde yüklenmesi, coğrafi yapıdan kaynaklanan yoğun eğimli yollar ve bilinçsiz sürücülerden kaynaklanan nedenlerle, fren sisteminin etkinliğinin kaybetmesi sonucu meydana gelen trafik kazalarına çokça rastlanmaktadır. Temel nedeni, aşırı kullanım sonucu ısınan fren sistemi elemanlarının sürtünme yeteneğini kaybetmesi olan bu kazaların önlenmesinde kilit donanım yavaşlatıcılarıdır. Yavaşlatıcılar, taşıtın kinetik enerjisinin büyük bir kısmını servis frenlerinin kullanımına gerek kalmaksızın absorbe ederek ısınmalarını önlerler. Bu sayede servis frenleri sürekli soğuk ve işletmeye hazır halde kalarak acil durumlarda taşıtı en kısa mesafede durdurabilirler.

Yavaşlatıcı donanımına sahip olan yolcu taşıtlarında seyahat konforu son derece yüksektir. Yolcular taşıtta ani ivmelenmeler olmayacağı için rahatsız olmazlar. Yavaşlatıcısı olan taşıtları kullanan sürücüler, gerektiğinde taşıtı etkin bir şekilde durdurabileceklerinin bilincinde olduklarından kendilerine olan güveni tamdır.

3.2.4. Yavaşlatıcı kullanılırken dikkat edilecek hususlar

Yavaşlatıcı donanımına sahip taşıt kullanan sürücülerin, kullanım sırasında bazı hususlara dikkat etmeleri gerekir. Bunlar şöyle sıralanabilir:

- Yavaşlatıcılar her hızda devreye alınabilir. Ancak, özellikle yüksek hızlarda yavaşlatıcı kolu aniden sonuna kadar çekilmemeli, kademeli olarak çekilip bırakılmalıdır. Bu sayede yavaşlatıcının soğumasına da izin verilmiş olur.
- Yavaşlatıcının kullanılmadığı durumlarda "0" pozisyonunda olmasına dikkat edilmelidir. Yavaşlatıcı devreye alındığında taşıtın gösterge panelinde sarı bir uyarı ışığı yanar. Sürücü farkında olmadan yavaşlatıcıyı gerekmediği halde devreye alırsa sistemin ısınması ve yakıt sarfiyatı söz konusu olur.

- Sürücü, ıslak veya buzlu zeminde yavaşlatıcıyı çok dikkatli kullanmaya ve kapasitesinin bir kısmından faydalanmaya özen göstermelidir.
- Park edilen taşıtta devreye alınan yavaşlatıcı el freni yerine kullanılmaz.

4. MATERYAL VE METOT

Yavaşlatıcıların kazaları azaltmaya yönelik etkilerini Yapay Sinir Ağları (YSA) ile modelleyebilmek için kapsamlı bir veri setine ihtiyaç duyulmuştur. Bu veri setini elde etmek için 2 aşamadan oluşan yol deneyleri yapılmıştır. Bunlar:

- Eğimli yol deneyleri
- Düz yolda fren etkinliği deneyleridir.

Eğimli yol deneylerinden amaç, %8 eğimli bir yolda 6 km'lik mesafe boyunca yokuş aşağı seyreden taşıtın, farklı hızlarda yüklü, yüksüz ve yarı yüklü konfigürasyonlarda, yavaşlatıcı devre dışıyken ve devredeyken fren disklerinde oluşan sıcaklıkları ölçmektir.

Düz yol fren etkinliği deneylerinde ise, disk sıcaklıklarındaki değişimin durma mesafesine etkilerini, taşıt hızı, taşıt ağırlığı ve uygulanan pedal kuvveti değişkenleriyle birlikte belirlemektir.

Yapılan iki aşamalı yol deneylerinden elde edilen verilerden faydalanılarak toplam 8 ayrı YSA modeli oluşturulmuştur. Bunlardan 5'i eğimli yol deneylerine ait deney verilerinden faydalanılarak oluşturulmuş, 3'ü için de fren etkinliği deneylerine ait verilerden faydalanılmıştır.

4.1. Deney Prosedürlerinin ve Matrislerin Oluşturulması

Deney prosedürleri ve deney matrisleri oluşturulurken öncelikle 71/320/AT Fren Tip Onay testleri yönergesindeki minimum şartların sağlanmasına özen gösterilmiştir. Bu çalışma için yapılan deneyler tip onay testleri olmayıp, bir veri seti oluşturmayı hedeflemektedir. Bu çerçevede, tip onay testleriyle ilgili prosedürlerde gösterilen değerlerin yanı sıra bunların altında ve üstünde değerlerde de deneyler yapılarak geniş bir veri seti oluşturulmuştur.

Eğimli yol deneyleriyle ilgili prosedür ve deney matrisi hazırlanırken 71/320/AT Fren Tip Onay testleri yönergesinin Tip-IIa testlerinden esinlenilmiştir. Tip-IIa testi, yüklü bir taşıtın %7 eğimli bir yolda 6 km boyunca servis freni kullanmaksızın 30 km/h sabit hızda yokuş aşağı indirilmesini içermektedir. Çalışma için yapılan yol deneylerinde, yönergede yer alan 30 km/h'lik hızın yanı sıra 20, 40 ve 50 km/h hız değerleri de uygulanmıştır. Yüklü konfigürasyonun yanı sıra, yarı yüklü ve yüksüz konfigürasyonlarda da deneyler yapılmıştır. Yol uzunluğunun 6 km olması sağlanmış, yapılan ölçümlerde ise yol eğimi %8 olarak hesaplanmıştır. Eğimli yol deneyleri için hazırlanan deney matrisi EK-1'de yer almaktadır.

Düz yol fren etkinliği deneyleri için yine 71/320/AT Fren Tip Onay Testleri yönergesindeki minimum şartlara uyulmuş, bunun yanında veri setini artırmak amacıyla çerçeve genişletilmiştir. Yönergenin Tip-0 ve Tip-I testlerinden esinlenerek oluşturulan deney prosedürüne göre 40, 60 ve 80 km/h olmak üzere 3 hız seçeneği, yüklü, yüksüz ve yarı yüklü olmak üzere 3 yük konfigürasyonu, 3 farklı pedal kuvveti seçeneği ve 3 farklı disk sıcaklık değeri uygulanmıştır. Bu deneyler için hazırlanan deney matrisi örnekleri EK-2'dedir.

4.2. Deneylerden Önce Yapılan Hazırlıklar

Eğimli yol deneyleri ve düz yol fren etkinliği deneyleri için gerekli olan ekip, ekipman ve arazi şartları için yapılan hazırlık çalışmalarının neticesinde Çizelge 4.1'de yer alan ekipmanlar temin edilmiştir.

Yol deneylerinde kullanılan deney taşıtı ve ölçüm cihazlarının büyük bir bölümü Frenteknik A.Ş. tarafından sağlanmıştır. Firma aynı zamanda bir test mühendisiyle çalışmaya destek vermiştir. Test mühendisi, deney ekipmanlarının taşıta montajının yanı sıra, yapılan bütün yol deneylerinde “test pilotu” olarak görev yapmıştır.

Çizelge 4.1. Yol deneylerinde kullanılan ekipman ve yol şartları

EKİPMAN	ÖZELLİKLERİ	KULLANILDIĞI DENEY	
		EĞİMLİ YOL	DÜZ YOL
Deney Taşıtı	Hafif ticari araç, elektromanyetik yavaşlatıcı donanımlı	X	X
Eğimli Yol Güzergahı	%8 eğime sahip ve 6 km uzunluğunda	X	
Düz Yol Pisti	Düz, kuru asfalt, trafiğe kapalı		X
Coğrafi Konum Belirleme (GPS) Cihazı	Hassas rakım ve mesafe ölçebilen (yolun eğimini ölçmek için)	X	
Laser Termocouple	Uzaktan hassas sıcaklık ölçebilen	X	X
Pedal Kuvveti Sınırlayıcı Aparat	Taşıtın fren pedalını 3 farklı kademede sınırlayabilen		X
Dijital Ekranlı Pedal Kuvvet Sensörü	Pedala uygulanan kuvveti ölçüp veri toplama ünitesine gönderen sensör		X
Optik Sensör	Taşıt hızı, durma mesafesi, ivme, zaman gibi verileri toplayıp, veri toplayıcı üniteye gönderen sensör		X
Sensör Bağlantı Aparatı	Deney ekipmanlarını taşıta uygun şekilde tespit edilmesini sağlayan aparat		X
Veri Toplama Ünitesi	Taşıt hızı, durma mesafesi, ivme, zaman gibi verileri bünyesinde toplayan ünite		X
Yük Materyali	Aracın yüklü ve yarı yüklü konfigürasyonlarda denenmesi için, her biri 25 kg ağırlığında kömür torbası	X	X

4.3. Deney Ekipmanlarının Özellikleri

4.3.1. Deney taşıtı

Yol deneylerinde deney taşıtı olarak Frenteknik A.Ş.'ye ait Mercedes Sprinter marka hafif ticari taşıt kullanılmıştır (Resim 4.1). Taşıtta opsiyonel olarak Telma AE 30-32 elektromanyetik yavaşlatıcı bulunmaktadır. Deney taşıtının teknik özellikleri Çizelge 4.2'de yer almaktadır.



Resim 4.1. Deney taşıtı

Çizelge 4.2. Deney taşıtının teknik özellikleri

Marka	Mercedes-Benz
Model	Sprinter 313 CDI
Cinsi	Yan Cam Glasvan Kamyonet
Motor Hacmi	2 148 cm ³
Motor Tipi	Turbo Intercooler
Silindir Sayısı	4
Motor Gücü	129 BG
Maksimum Tork	300 Nm
Maksimum Hız	150 km/h
Çekiş	Arka
Frenler Sistemi	Hidrolik, vakum takviyeli, ön ve arka disk
Boş Ağırlık	2 000 kg
Azami Yüklü Ağırlık(A.Y.A)	3 500 kg
Lastikler	GoodYear Cargo G24-Dört Mevsim 225/70 R15
Lastik Dış Derinliği	9 mm (Ölçülen)

4.3.2. Eğimli yol güzergahı

Eğimli yol deneyleri Kütahya şehir merkezi yakınındaki Hava Radar Mevzi Komutanlığı bölgesinde bulunan yolda yapılmıştır (Resim 4.2). Yaklaşık 10 km'lik güzergahın yol deneyi yapmaya elverişli 6 km'lik bölümünde Coğrafi Konum Belirleme (GPS) cihazından faydalanılarak hassas rakım ölçümleri yapılmış ve yolun ortalama eğimi %8 olarak hesaplanmıştır. Yol kuru asfalt zemine sahiptir.



Resim 4.2. Eğimli yol deneylerinin yapıldığı yol güzergahı

4.3.3. Düz yol pisti

Fren etkinliği deneyleri Kütahya Hava Er Eğitim Tugay Komutanlığı bünyesinde yer alan havaalanında yapılmıştır (Resim 4.3). Trafiğe kapalı olan pist kuru asfalt zemine sahiptir.



Resim 4.3. Düz yol deneylerinin yapıldığı pist

4.3.4. Coğrafi konum belirleme (GPS) cihazı

Eğimli yol deneylerinin yapıldığı güzergahın ortalama eğimini hesaplamak amacıyla Magellan marka bir GPS cihazından faydalanılmıştır (Resim 4.4).



Resim 4.4. Coğrafi konum belirleme (GPS) cihazı

4.3.5. Kızılötesi termocouple

Deneyler esnasında disk sıcaklıklarında ve yavaşlatıcıda görülen sıcaklık değişimlerini ölçmek amacıyla Flashpoint Fx200 tabanca termocouple kullanılmıştır (Resim 4.5). Kızılötesi prensiple çalışan cihaz tek dokunuşla uzaktan temassız ölçüm yapabilme özelliğine sahip olup, ölçüm aralığı $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ ile $900\text{ }^{\circ}\text{C}$ arasındadır.



Resim 4.5. Kızılötesi termocouple

4.3.6. Pedal kuvvetini sınırlayıcı aparat

Fren etkinliği deneylerinde farklı pedal kuvveti değerlerinin durma mesafesine etkilerini gözlemleyebilmek amacıyla bir pedal kuvveti sınırlayıcı aparat geliştirilmiştir (Resim 4.6).



Resim 4.6. Pedal kuvveti sınırlayıcı aparat

Fren pedalı tutucusuna rijit olarak monte edilen aparat, kayar mekanizmasının üzerindeki delikler ve bir pim sayesinde değişik kademelerde deneyler yapmaya imkan vermektedir. Yapılan deneylerde aparatın 3 farklı kademesi kullanılmıştır. Aparatın pedala montajının yapılmış hali Resim 4.7'de görülmektedir.



Resim 4.7. Pedal kuvveti sınırlayıcı aparatın fren pedalına montajı

Aparatın kalibrasyonu Frenteknik test laboratuvarında tamburlu fren test cihazı yardımıyla yapılmış ve kademeye karşılık gelen pedal kuvveti değerleri belirlenmiştir. Buna göre, sınırlayıcı aparatın 1. kademesinde 120 N, 2. kademesinde 260 N ve 3. kademesinde 450 N'luk bir kuvvet uygulandığı tespit edilmiştir.

4.3.7. Dijital ekranlı pedal kuvveti sensörü

Pedala uygulanan kuvveti ölçmek amacıyla kullanılan sensör, fren pedalına bir lastikle entegre edilmekte ve uygulanan pedal kuvvetini ölçerek veri toplama ünitesine göndermektedir. Aynı zamanda uygulanan pedal kuvvetini gösteren bir dijital ekranın da yer aldığı cihaz 0-150 daN ölçüm aralığında çalışmaktadır (Resim 4.8).



Resim 4.8. Dijital ekranlı pedal kuvveti sensörü

4.3.8. Optik sensör

Düz yol fren etkinliği deneylerinde, aracın hızı, durma mesafesi, ivme, zaman gibi verileri toplayıp, veri toplayıcı üniteye gönderen sensördür (Resim 4.9). Cihazın ölçüm sapması $\pm < 0,1$ 'dir. Yardımcı aparat ve bağlantı kollarıyla aracın sol yan kısmına rijit bir şekilde monte edilmiştir.



Resim 4.9. Optik sensör

4.3.9. Sensör bağlantı aparatı

Ekipmanları araca bağlamak için kullanılan aparatlardır (Resim 4.10).



Resim 4.10. Sensör bağlantı aparatı

4.3.10. Veri toplama ünitesi

Sensörlerin algılamış olduğu taşıt hızı, ivme, durma mesafesi, pedal kuvveti gibi verileri toplayarak elektronik ortamda kaydeden ve bilgisayara aktarabilme imkanı veren ünedir (Resim 4.11).



Resim 4.11. Veri toplama ünitesi

4.3.11. Yük materyali

Yol deneyleri esnasında değişik yük konfigürasyonlarını deneyebilmek amacıyla her biri 25 kg ağırlığında olan ve Resim 4.12'de gösterilen yük

materyalleri kullanılmıştır (Resim 4.12). Taşıtı yüklü konuma getirebilmek için 60 adet yük materyali yüklenmiş, yarı yüklü konfigürasyonda yapılan deneylerde ise 30 adet yükleme yapılmıştır.



Resim 4.12. Deneylerde kullanılan yük materyali (25 kg'lık kömür torbası)

5. YOL DENEYLERİNİN YAPILMASI VE DENEY SONUÇLARININ TARTIŞILMASI

Yol deneylerinin uygulanış sırası için belirlenen stratejide, eğimli yol deneylerine öncelik verilmiştir. Bunun nedeni, yavaşlatıcılı ve yavaşlatıcısız inişlerde fren disklerinde meydana gelecek sıcaklık değişimleri neticesinde elde edilecek olan verilerin, düz yol fren etkinliği deneyleri için değişken olarak kullanılacak olmasıdır.

5.1. Eğimli Yol Deneylerinin Yapılışı

Eğimli yol deneylerinde, %8 eğimli ve 6 km uzunluğundaki güzergahın başlangıcından itibaren sabit hızda seyreden taşıt, her 1 km'lik sektörlerde durdurularak, fren disklerindeki ve yavaşlatıcı yüzeyindeki sıcaklık değişimleri ölçülmüştür. Her yeni deneye başlamadan önce, fren disklerinin başlangıç sıcaklıklarının ortalama 60 °C'ye düşmesi için taşıt rüzgar alan bir yerde bekletilmiş ve termocouple ile ölçü alınarak bu değerler kaydedilmiştir. Ayrıca yavaşlatıcının başlangıç sıcaklığı da taşıtın altından ölçülmüştür (Resim 5.1).



Resim 5.1. Termocouple ile disk sıcaklığı ve yavaşlatıcı sıcaklığının ölçülmesi

Seri deneylere başlamadan önce, test pilotunun deney güzergahını tanıyarak olası bir kaza ihtimalini azaltmak ve taşıttaki elektromanyetik yavaşlatıcının etkilerini baştan görerek deneylerin seyrini buna göre belirlemek amacıyla ön deneyler yapılmıştır.

Yüksüz konfigürasyonda (2 000 kg) yapılan ön deneylerde, yavaşlatıcının 1. kademedede devreye alınmasıyla taşıtın kinetik enerjisinin büyük ölçüde sönümlendiği görülmüştür. 2. ve 3. kademelerde yavaşlatıcı taşıtı durma eğilimine sokmuştur. Bu sonuçların ışığında, seri deneylerin yüksüz konfigürasyonunda, sadece servis freni ve yavaşlatıcının 1. kademesinde deneyler yapılmış, yavaşlatıcının 2. ve 3. kademesinin denenmesine gerek görülmemiştir.

Yüklü konfigürasyondaki deneylerin yapılması için taşıta önceden hazırlanan yük materyalleri yüklenerek azami yüklü ağırlığa (3 500 kg) gelmesi sağlanmıştır. Yüklü konfigürasyonla seri deneylere başlamadan önce bir ön deney daha yapılmış ve yavaşlatıcının etkisi incelenmiştir. Yapılan ön deneyde, yavaşlatıcının 1. kademedede belirli bir etkiye sahip olduğu, 2. kademedede bu etkinin arttığı, 3. kademedede taşıtı durma eğilimine sürüklediği gözlemlenmiştir. Bu ön deneyin sonucuna bağlı olarak yüklü konfigürasyonda yavaşlatıcının 1. ve 2. kademeleri ile, sadece servis freni kullanılarak iniş deneyleri yapılmış, yavaşlatıcının 3. kademesinin denenmesine gerek görülmemiştir.

Son aşamada, taşıtın yükü yarıya indirilerek yarı yüklü konfigürasyonla (2 750 kg) deneyler yapılmış ve sıcaklık değişimleri kayıt altına alınmıştır.

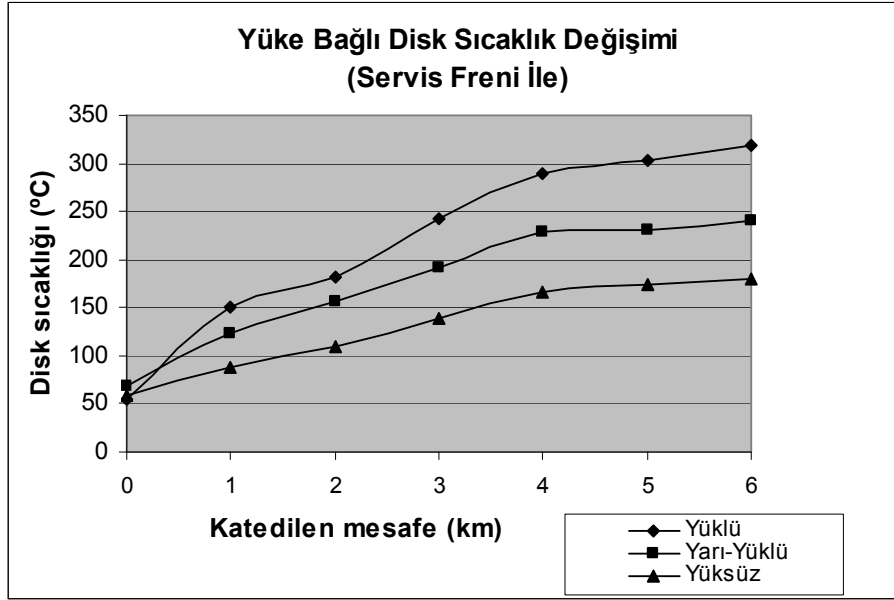
5.2. Eğimli Yol Deneylerinden Elde Edilen Bulgular

Yapılan yol deneylerinin tümünde taşıtın fren disklerinde görülen sıcaklık değişimleri her bir tekerlek için ayrı ayrı ölçülmüş ve kayıt altına alınmıştır. Sonuçların analizinde ve eğrilerin elde edilmesinde bu veriler dört aksın ortalaması alınarak uygulanmıştır.

5.2.1. Taşıt ağırlığının fren disk sıcaklık değişimine etkisi

Değişik yük konfigürasyonlarında yapılan eğimli yol deneylerinde, taşıtın

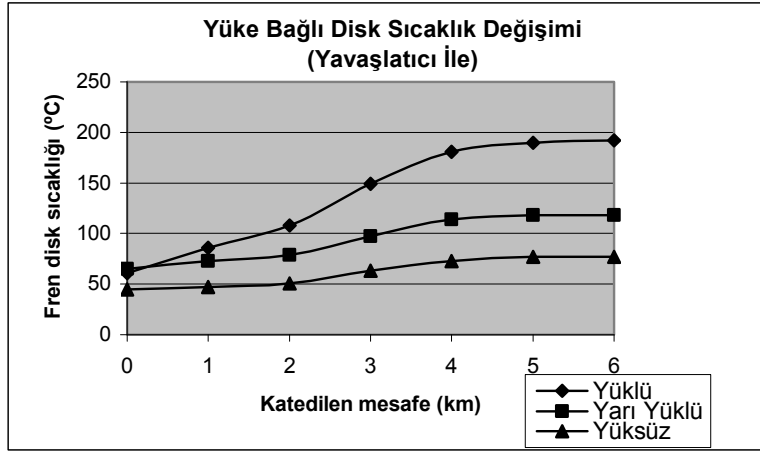
üzerinde bulunan yükün fren disk sıcaklıklarındaki artışı etkilediği görülmüştür. Şekil 5.1'de yavaşlatıcı devreye alınmaksızın yapılan deneyde, 40 km/h sabit hızla yokuş aşağı seyreden taşıtın, yüke bağlı olarak fren disklerindeki sıcaklık artışı görülmektedir.



Şekil 5.1. 40 km/h sabit hızla, servis freni ile inişte yüke bağlı olarak fren disk sıcaklıklarında görülen değişim

Yavaşlatıcının devreye alındığı deneylerde de taşıt ağırlığına bağlı olarak fren disk sıcaklıklarında artan bir eğilim görülmüştür (Şekil 5.2).

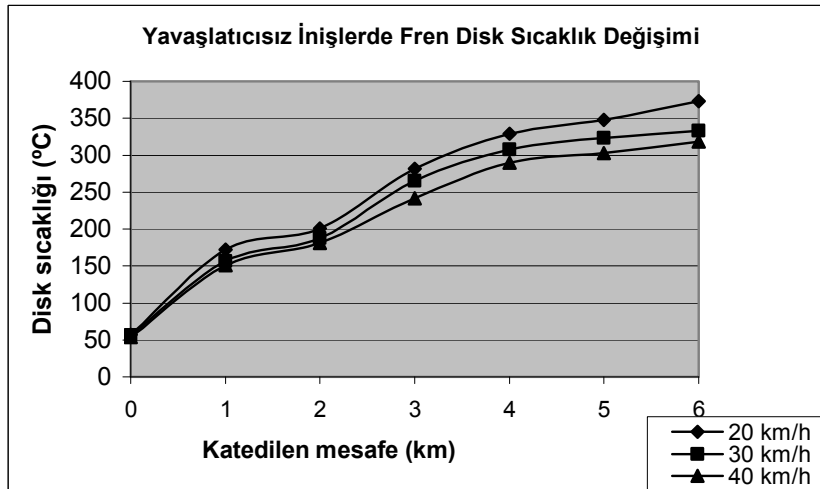
Grafik incelendiğinde, yavaşlatıcı kullanılmış olmasına rağmen fren disk sıcaklıklarında taşıtın ağırlığına bağlı olarak artışlar kaydedildiği görülmektedir. Bunun nedeni, taşıtın kinetik enerjisindeki artışın taşıt ağırlığıyla doğru orantılı olarak artmasıdır. Taşıt ağırlığı arttıkça frenleme esnasında absorbe edilmesi gereken kinetik enerji miktarı artmakta, buna bağlı olarak daha büyük bir fren gücüne ihtiyaç duyulmaktadır.



Şekil 5.2. 30 km/h sabit hızla, yavaşlatıcı ile inişte yüke bağlı olarak fren disk sıcaklıklarında görülen değişim

5.2.2. Yavaşlatıcı kullanımının fren disk sıcaklık değişimine etkisi

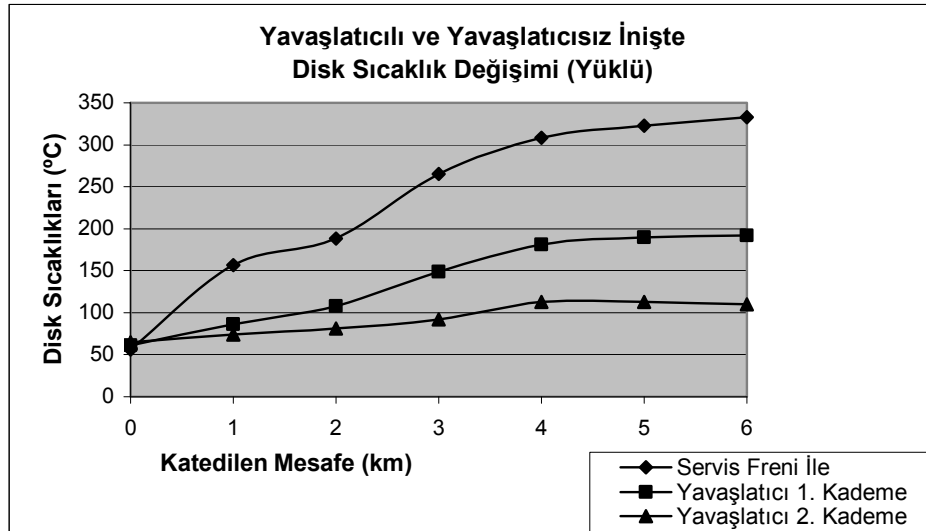
Yavaşlatıcının kullanılmadığı inişlerde, taşıtın bütün kinetik enerjisi servis frenleri aracılığıyla absorbe edildiği için fren disk sıcaklıklarında belirgin artışlar görülmüştür. Şekil 5.3'de, taşıt yüklü iken ve yavaşlatıcı devre dışı iken yapılan inişlerde görülen disk sıcaklık değişikliklerine ait eğriler yer almaktadır.



Şekil 5.3. Yavaşlatıcısız inişlerde fren disk sıcaklık değişimi (Yüklü)

Grafik incelendiğinde, yavaşlatıcı kullanımının yanı sıra, taşıt inişinde seçilen sabit hızın da sıcaklık artışına etkisi görülmektedir. 20 km/h sabit hızda seyreden taşıtın 6 km'lik iniş güzergahının sonunda disk sıcaklıklarının 373 °C'ye yükseldiği görülmüştür.

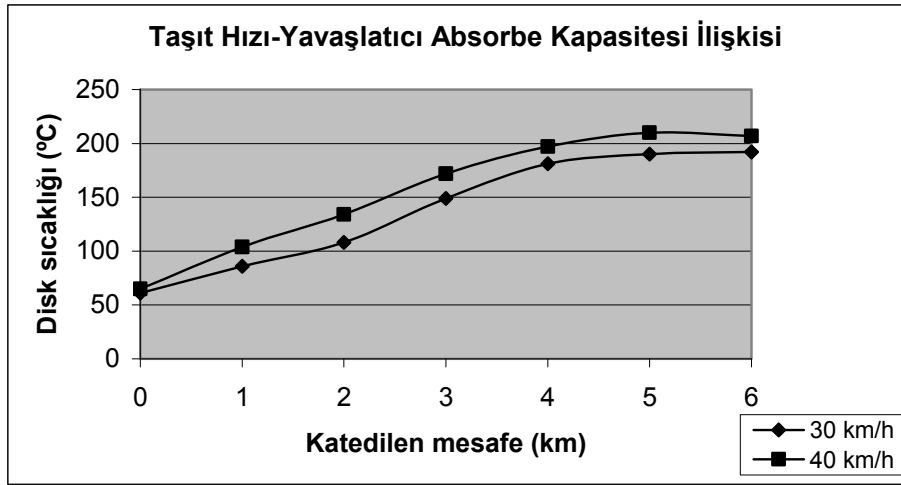
Yavaşlatıcı kullanılarak yapılan inişlerde, servis freni kullanımı azaldığından dolayı fren disklerindeki artış daha az miktarda gerçekleşmiştir. Şekil 5.4'de 30 km/h sabit hızda, yüklü konfigürasyonda yokuş aşağı indirilen taşıtın fren disklerindeki sıcaklık değişimi görülmektedir. Sadece servis freni kullanılıp, yavaşlatıcının devreye alınmadığı inişte, başlangıç sıcaklığı 56 °C olan fren diskleri, 6 km'lik güzergahın bitiminde 333 °C'ye yükselmiştir. Yavaşlatıcının 1. kademedede devreye alınmasıyla yapılan inişte, fren diskleri 61 °C'den 192 °C'ye yükselmiştir. 2. kademedede devreye alınan yavaşlatıcıyla yapılan inişte disk sıcaklıkları 65 °C'den 110 °C'ye yükselmiştir. Görüldüğü gibi, devreye alınan yavaşlatıcı, taşıtın kinetik enerjisinin büyük bölümünü absorbe ederek servis frenini işletmeye hazır halde tutmuştur.



Şekil 5.4. 30 km/h sabit hızda yüklü konfigürasyonda yavaşlatıcılı ve yavaşlatıcısız inişte fren disk sıcaklıklarındaki değişim

5.2.3. Taşıt hızının yavaşlatıcı absorbe kapasitesine etkisi

Yavaşlatıcı ile yapılan iniş deneylerinde, taşıt hızı ile yavaşlatıcının absorbe kapasitesi arasında ters orantı olduğu görülmüştür. Yavaşlatıcı 1. kademede iken 40 km/h hızla yapılan inişte disk sıcaklıklarındaki artış, aynı şartlarda yapılan 30 km/h hızdaki deneye oranla daha fazla görülmüştür (Şekil 5.5). Bunun nedeni, yavaşlatıcının düşük devirlerde daha yüksek frenleme torku üretmesinden kaynaklanmaktadır.

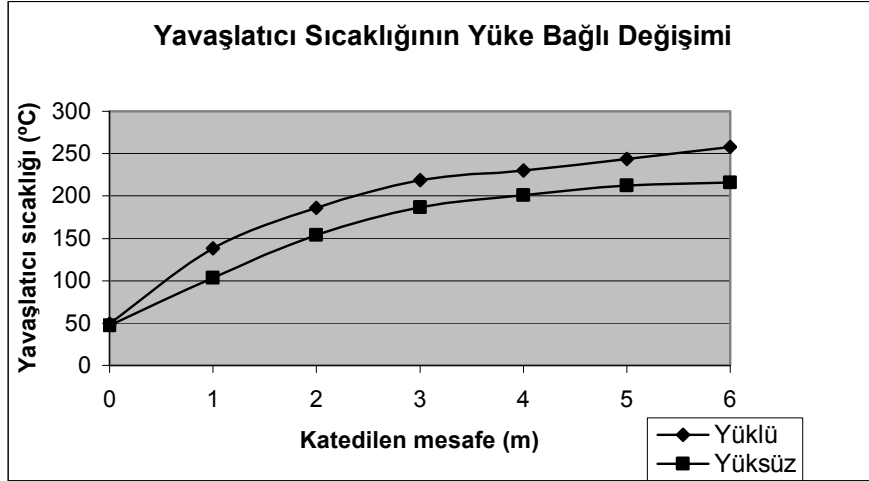


Şekil 5.5. Taşıt hızı-yavaşlatıcı absorbe kapasitesi ilişkisi

5.2.4. Yavaşlatıcıda görülen sıcaklık değişimleri

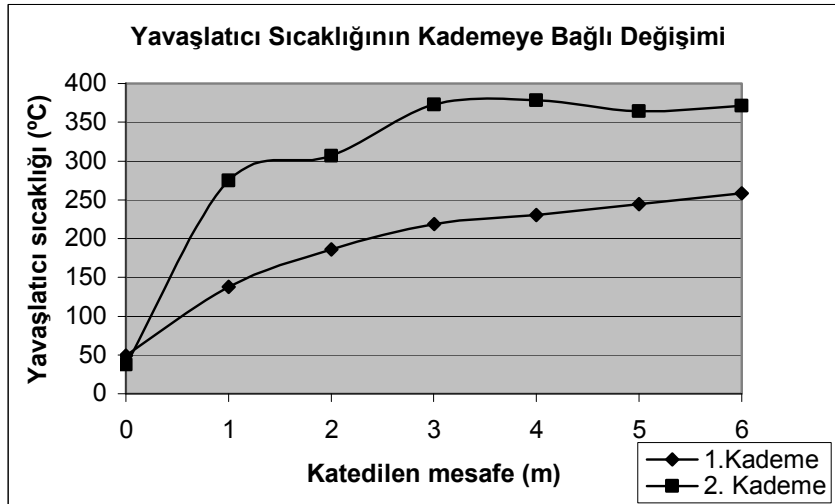
Yavaşlatıcının devrede olduğu eğimli yol deneylerinde, yavaşlatıcının sıcaklık değişimleri başlangıçtan itibaren her 1 km'lik sektörlerde ölçülmüştür. Yapılan ölçümlerde yavaşlatıcı sıcaklığının, kullanılan kademeye, hıza ve taşıtın yük konfigürasyonuna bağlı olarak değişiklik gösterdiği görülmüştür. Şekil 5.6'da yavaşlatıcı sıcaklığının yüke bağlı olarak değişimi görülmektedir. Taşıtı eğimli yol boyunca 30 km/h sabit hızda tutması için 1. kademede devreye alınan yavaşlatıcının, yüksüz konfigürasyonda 216 °C'ye çıktığı görülürken, yüklü konfigürasyonda bu artış 258 °C olarak görülmüştür. Bu farklılığın nedeni,

yavaşlatıcının absorbe ettiği kinetik enerjinin taşıt ağırlığına bağlı olarak farklılık göstermesidir.



Şekil 5.6. Yavaşlatıcı sıcaklığının taşıtın yük konfigürasyonuna bağlı değişimi

Yavaşlatıcı sıcaklığı, yavaşlatıcının devreye alındığı kademeye bağlı olarak da farklılık göstermiştir. Şekil 5.7’de, taşıtı 30 km/h sabit hızla yüklü durumda indirmek için devreye alınan yavaşlatıcının 1. ve 2. kademesindeki sıcaklık değişimleri görülmektedir.



Şekil 5.7. Yavaşlatıcı sıcaklığının yavaşlatıcı kademesine bağlı değişimi

Sıcaklık artışı yavaşlatıcının 2. kademesinde daha belirgin olmuştur. Yavaşlatıcı sıcaklığının kademeye bağlı olarak daha fazla artmasının nedeni, yavaşlatıcının kademeye karşılık gelen frenleme torkunu elde etmek için statora daha fazla akım göndermesi ve oluşan manyetik akımın rotorları daha fazla ısıtmasıdır.

5.3. Fren Etkinliği Deneylerinin Yapılışı

Fren etkinliği deneyleri için önceden planlanmış trafiğe kapalı piste ulaşıldıktan sonra deney ekipmanlarının deney taşıtına montajı yapılmıştır (Resim 5.2).



Resim 5.2. Deney ekipmanlarının deney taşıtına montajı

Başlangıçta deney taşıtı yüklü konfigürasyonda iken pisti tanımak ve bazı ön bulgular elde edebilmek amacıyla ön deneyler yapılmış, daha sonra seri deneylere geçilmiştir.

Önceden belirlenen deney prosedürü çerçevesinde yüklü, yüksüz ve yarı yüklü konfigürasyonlarda, 3 farklı disk sıcaklık eşliğinde ve pedal kuvveti sınırlayıcısının 3 değişik kademesinde toplam 60 adet durma mesafesi deneyi yapılmıştır.

Deneyler esnasında ölçülen disk sıcaklık değerleri taşıtta bulunan 3. bir kişi tarafından çizelgelere not edilmiş, ayrıca ivme, hız, durma mesafesi gibi değerler, veri toplama ünitesi tarafından kayıt altına alınmıştır.

Deneylerin yapılışına yüklü konfigürasyonla başlanmıştır. 71/320/AT Fren Tip Onay testleri yönergesinde 100 °C'nin altındaki disk sıcaklıkları "Soğuk Fren" bunun üstündeki sıcaklıklar ise "Sıcak Fren" olarak tanımlanmaktadır. Önceden hazırlanan deney prosedürü çerçevesinde önce soğuk frenlerle 40-60 ve 80 km/h hızlar için 3 farklı pedal kuvveti kademesinde durma mesafesi deneyleri yapılmıştır. Daha sonra taşıtın fren diskleri ortalama 180 °C'ye kadar ısıtılarak bir önceki deneyler tekrarlanmıştır. Son aşamada taşıtın fren diskleri ortalama 300 °C'ye kadar ısıtılarak durma mesafesi deneyleri tekrarlanmıştır. Fren disklerinin ısıtılması, taşıta uygulanan yoğun dur-kalk manevralarıyla sağlanmıştır.

Taşıtın yük konfigürasyonu yarı yüklü ve yüksüz olarak ayarlandıktan sonra yukarıdaki sıra takip edilmiş ve durma mesafesi deneyleri tamamlanmıştır.

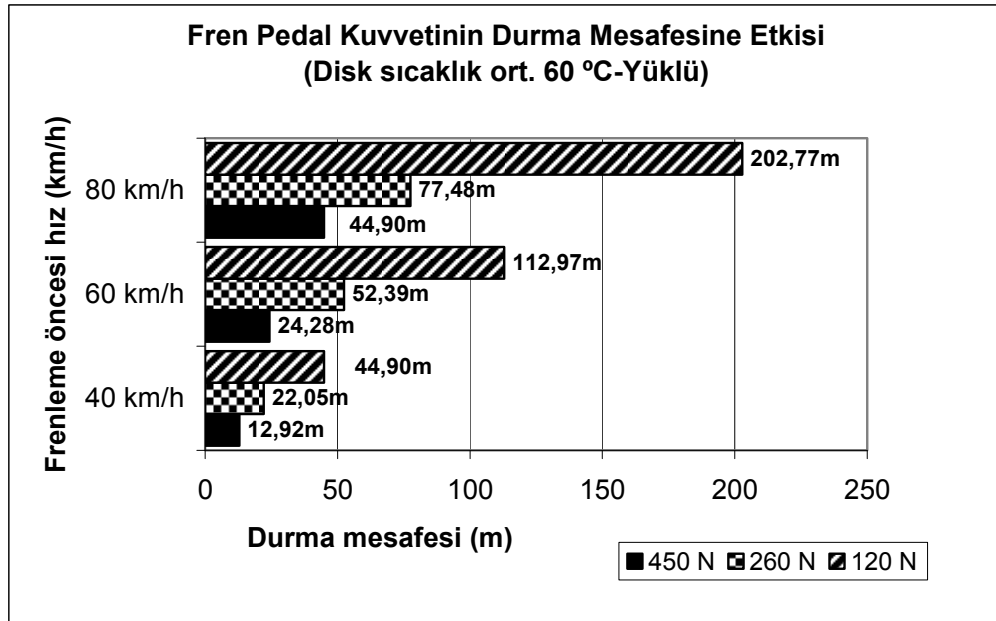
5.4. Fren Etkinliği Deneylerinden Elde Edilen Bulgular

Düz yol fren etkinliği deneylerinin uygulanışındaki temel amaç, eğimli yol deneylerinde görülen fren disk sıcaklıklarındaki yükselmenin, frenleme performansına etkilerini gözlemlemektir. Ayrıca bu deneylerde, pedal kuvvetinin ve taşıtın yük konfigürasyonunun durma mesafesine etkisi de ölçülmüştür.

5.4.1. Fren pedalına uygulanan kuvvetinin durma mesafesine etkisi

Fren pedalına uygulanan kuvvetin durma mesafesine etkisini belirleyebilmek amacıyla geliştirilen pedal kuvvetini sınırlayıcı aparat yardımıyla, 120 N, 260 N ve 450 N olmak üzere 3 farklı kademe de durma mesafesi deneyleri yapılmıştır. Şekil 5.8'de yer alan grafik, yüklü konfigürasyondaki taşıtın, farklı pedal kuvvetlerine bağlı olarak durma mesafesi değişimlerini göstermektedir. Grafikte gösterilen deneylerde taşıtın fren disklerinin ortalama sıcaklığı 60 °C olup (soğuk fren), frenleme öncesi taşıt hızları 40, 60 ve 80 km/h'dir. Frenleme anında uygulanan pedal kuvvetinin miktarının taşıtın durma

mesafesini doğrudan etkilediği görülmektedir. 80 km/h hızla giderken yapılan frenlemede, pedal kuvvetinin en büyük değerinde ve en küçük değerinde elde edilen durma mesafeleri arasındaki fark 157,87 m'dir. Bu durum, seyir esnasındaki bir tehlike anında sürücünün pedala basma kabiliyetinin önemini ortaya koymaktadır.

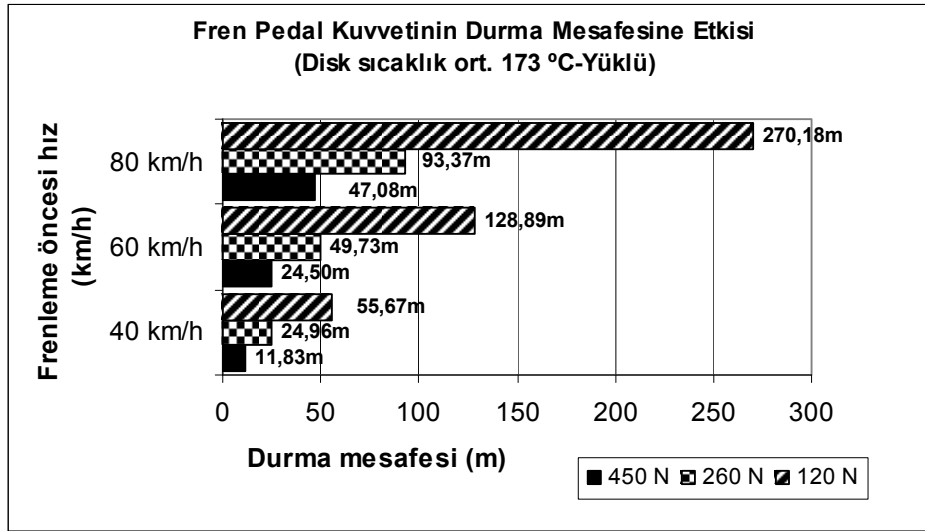


Şekil 5.8. Fren pedal kuvvetinin durma mesafesine etkisi
(Disk sıcaklık ortalaması 60 °C)

Uygulanan pedal kuvvetinin, taşıtın durma mesafesini etkilemesinin nedeni, pedal kuvvetinin şiddetine bağlı olarak balata ile disk arasında oluşan frenleme kuvvetidir. Uygulanan kuvvetin az olması, fren hidroliğine ve tekerlek fren sistemine giden kuvvetin de az olması anlamına gelmekte ve balata-disk arasındaki fren kuvvetinin düşük olmasına neden olmaktadır. Buna bağlı olarak yapılan frenlemenin zayıf olmasına ve durma mesafesinin uzamasına neden olmaktadır.

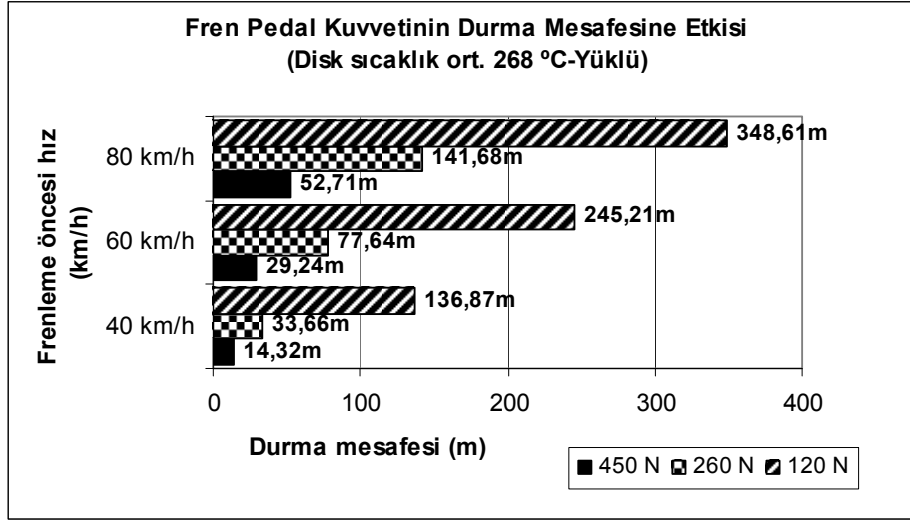
Pedal kuvvetinin durma mesafesine etkisi, sıcak frenlemede de aynı paralellikte seyretmektedir. Şekil 5.9'da fren disk sıcaklıklarının ortalama

173 °C olduğu deneylerde elde edilen durma mesafelerinin pedal kuvvetine bağlı olarak değişimi görülmektedir. Grafik incelendiğinde 120 N'luk minimum pedal kuvvetinin, 60 km/h hızla seyreden taşıtı ancak 128,89 m'de durdurabildiği görülürken, pedal kuvvetinin 450 N olduğu deneyde aynı hızda giden taşıt 24,5 m'de durabilmiştir.



Şekil 5.9. Fren pedal kuvvetinin durma mesafesine etkisi
(Disk sıcaklık ortalaması 173 °C)

Fren disk sıcaklıklarının en yüksek olduğu 300 °C'ye yakın değerlerde yapılan durma mesafesi deneylerinde, düşük şiddette uygulanan pedal kuvvetinin durma mesafesini diğer deneylere oranla daha çok artırdığı görülmektedir (Şekil 5.10). Bunun nedeni, fren disklerindeki sıcaklık artışı nedeniyle disk-balata arasında sürtünme katsayısının azalması ve taşıtın frenleme performansının buna bağlı olarak düşmesidir.

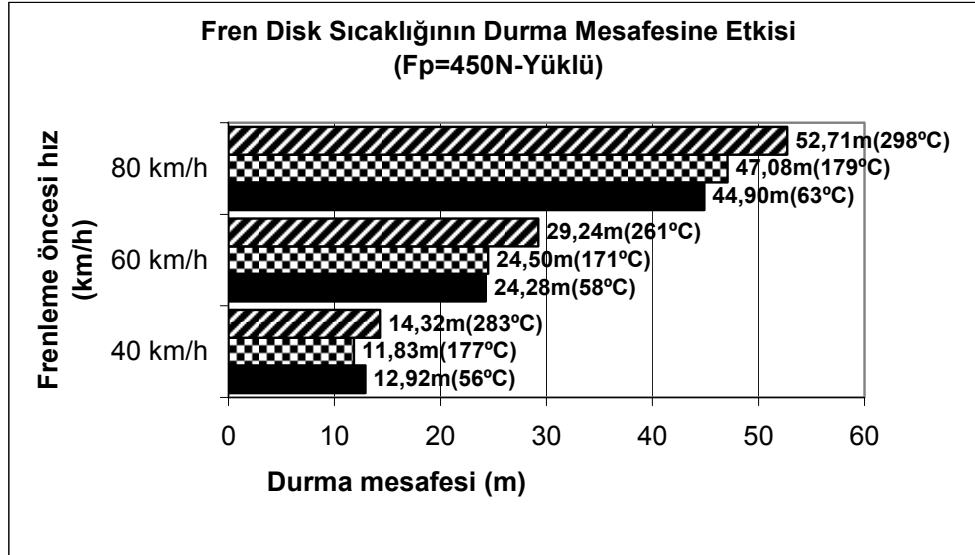


Şekil 5.10. Fren pedal kuvvetinin durma mesafesine etkisi
(Disk sıcaklık ortalaması 268 °C)

5.4.2. Fren disk sıcaklığındaki artışın durma mesafesine etkisi

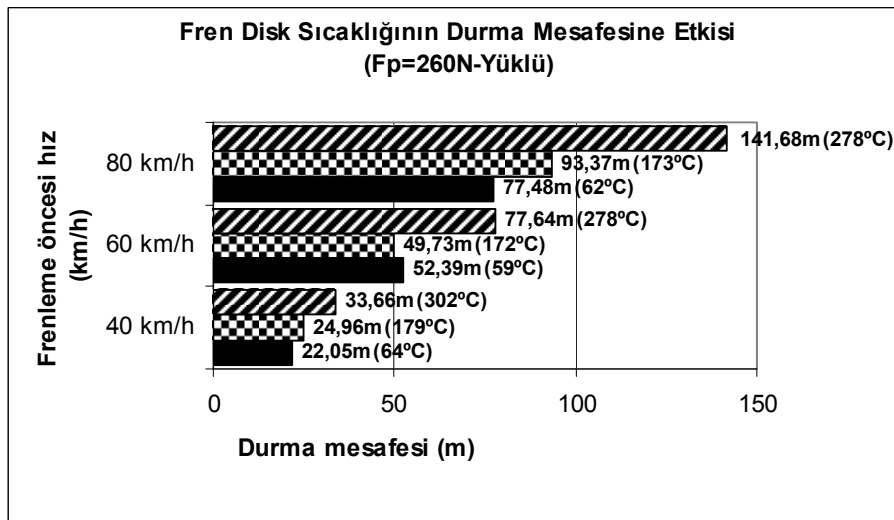
Fren etkinlik deneylerinin temel amaçlarından biri, fren disk sıcaklığına bağlı olarak durma mesafesinde görülen değişimleri analiz etmektir. Yapılan deneylerde, disk sıcaklıklarının artışına paralel olarak taşıtın durma mesafesinin de uzadığı görülmüştür. Şekil 5.11'de yer alan grafik incelendiğinde, taşıtın yüklü konfigürasyonunda ve frenleme anında uygulanan pedal kuvvetinin maksimum olduğu ($F_p=450$ N) deneylerde, fren disklerinin artan sıcaklığına bağlı olarak durma mesafesinin de arttığı görülmektedir.

Durma mesafesindeki artışın nedeni, disk yüzeylerindeki ısınmayla birlikte, balata-disk arasındaki sürtünme katsayısının düşmesidir. Fading olarak bilinen bu olgu, disk sıcaklığının daha büyük değerlerinde fren etkinliğinin tamamen kaybolmasına neden olmaktadır.



Şekil 5.11. Yüklü konfigürasyonda fren disk sıcaklığının artışına bağlı olarak değişen durma mesafesi değerleri ($F_p=450\text{ N}$)

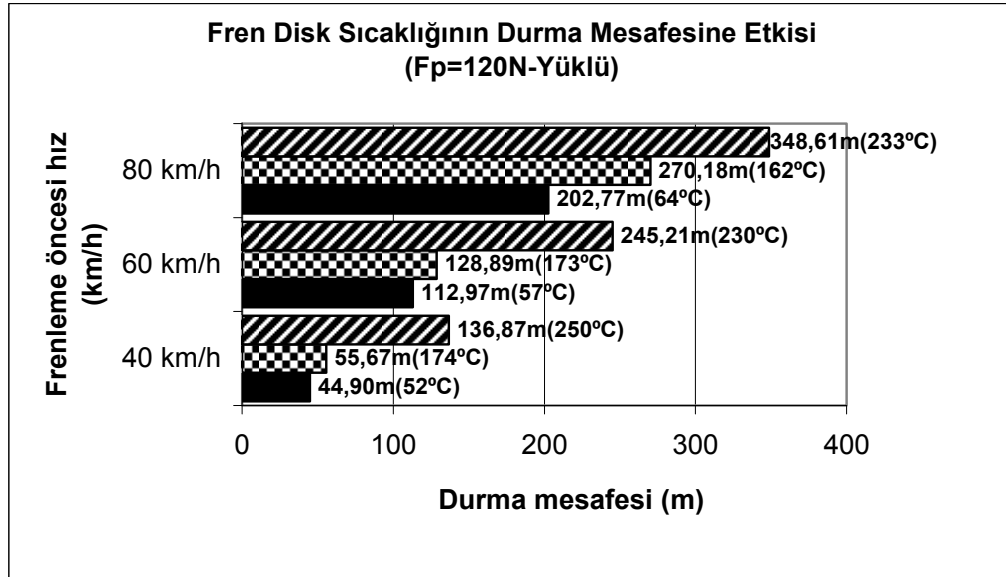
Disk sıcaklığının durma mesafesine etkisi, uygulanan pedal kuvvetinin şiddeti ile de ilgilidir. Şekil 5.12'de, bir önceki grafikte yer alan uygulamadan farklı olarak pedal kuvvetinin 260 N'a düşürüldüğü deneylerde elde edilen durma mesafelerinin karşılaştırılması yer almaktadır.



Şekil 5.12. Yüklü konfigürasyonda fren disk sıcaklığının artışına bağlı olarak değişen durma mesafesi değerleri ($F_p=260\text{ N}$)

80 km/h frenleme öncesi hızda, aynı pedal kuvveti uygulanarak yapılan deneylerde, fren disklerinin 278 °C olduğu sıcaklık değerinde ölçülen durma mesafesi, soğuk frenlemede (62 °C) ölçülen durma mesafesinin 1,83 katıdır. Benzer karşılaştırmalar diğer hız kademeleri için de söz konusudur.

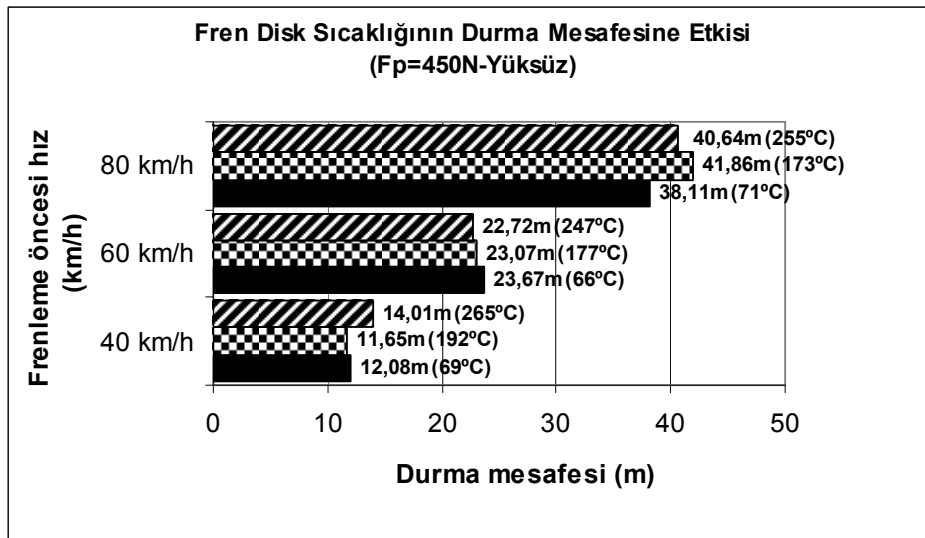
Uygulanan pedal kuvvetinin minimum değer olan 120 N'luk kademesinde yapılan deneylerde görülen durma mesafesi değişimi Şekil 5.13'de görüldüğü gibidir. Görüldüğü gibi fren disk sıcaklıklarındaki artış taşıtın frenleme performansını olumsuz yönde etkilemektedir. Ayrıca bu deneyler, artan disk sıcaklıkları ile birlikte, frenleme anında uygulanan pedal kuvvetinin şiddetinin azalmasının da taşıtın durma mesafesini artırdığını göstermiştir.



Şekil 5.13. Yüklü konfigürasyonda fren disk sıcaklığının artışına bağlı olarak değişen durma mesafesi değerleri (Fp=120 N)

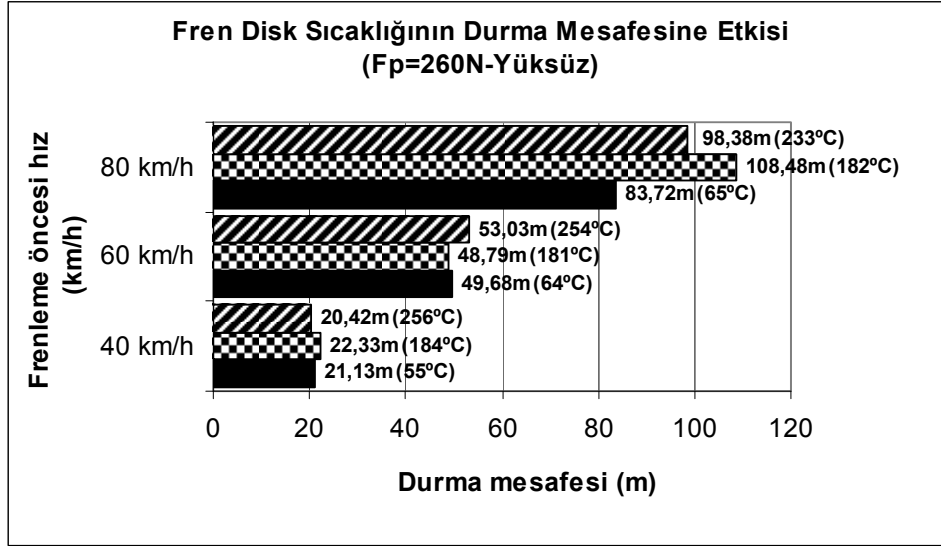
Taşıtın yüksüz konfigürasyonunda yapılan deneylerde, disk sıcaklığına bağlı durma mesafesi değişimleri Şekil 5.14'de görülmektedir. Grafik incelendiğinde, disk sıcaklığındaki artışların her hız kademesinde taşıtın durma mesafesini artırmadığı görülmektedir. 40 km/h hızda sıcak frenlemede taşıtın 2 m geç durduğu görülmekte, 60 km/h'lik ilk hızla yapılan deneylerde

ise durma mesafesinin soğuk frenlemeye yakın değerler sergilediği görülmektedir. 80 km/h'lik deneylerde ise sıcaklık değişimine bağlı olarak durma mesafesi artmakta, diskin en sıcak olduğu değerlerde ise azalma eğilimi görülmektedir. Bunun nedeni, yüksek hızdaki taşıtın fren disklerinin hıza bağlı olarak termal soğumaya geçmesi, taşıtın yükünün az olmasına bağlı olarak ortaya çıkan kinetik enerjinin de az olması ve uygulanan pedal kuvvetinin en büyük değerde olması olarak açıklanabilir.



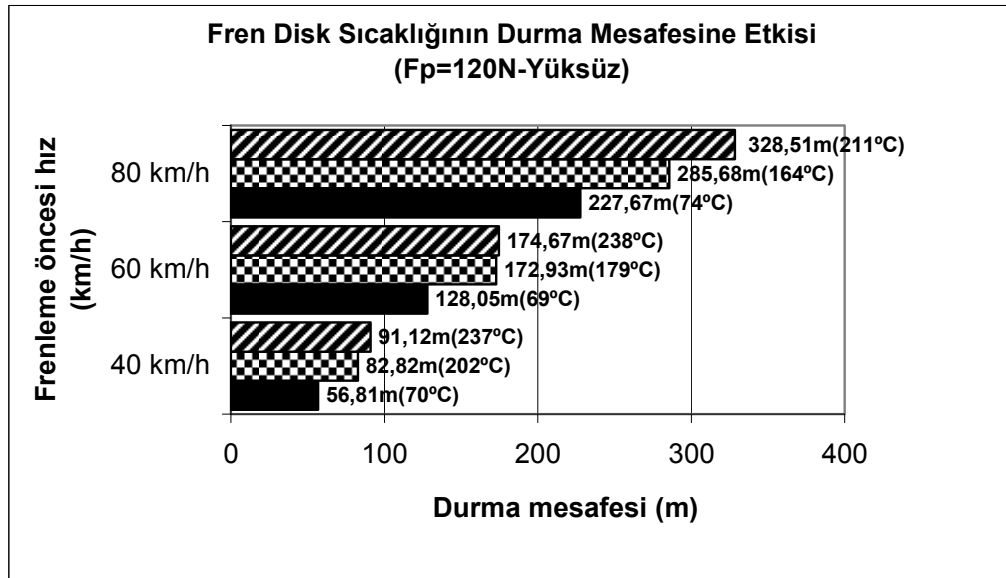
Şekil 5.14. Yüksüz konfigürasyonda fren disk sıcaklığının artışına bağlı olarak değişen durma mesafesi değerleri ($F_p=450\text{ N}$)

Şekil 5.15'de, yüksüz konfigürasyondaki taşıtın fren disklerindeki sıcaklık artışına bağlı olarak durma mesafelerindeki değişim, uygulanan 260 N'luk pedal kuvvetiyle değerlendirilmektedir. Bu deneylerde bir önceki grafikten farklı olarak, uygulanan pedal kuvvetinin düşük olması nedeniyle daha uzun durma mesafeleri ölçülmüştür.



Şekil 5.15. Yüksüz konfigürasyonda fren disk sıcaklığının artışına bağlı olarak değişen durma mesafesi değerleri ($F_p=260 N$)

Şekil 5.16'da, pedal kuvvetinin 120 N olarak uygulandığı deneylerin sonuçları görülmektedir. Grafikte görülen sonuçlar, düşük pedal kuvvetinin sıcaklık artışıyla birlikte taşıtın durma mesafesini artırdığını göstermektedir.

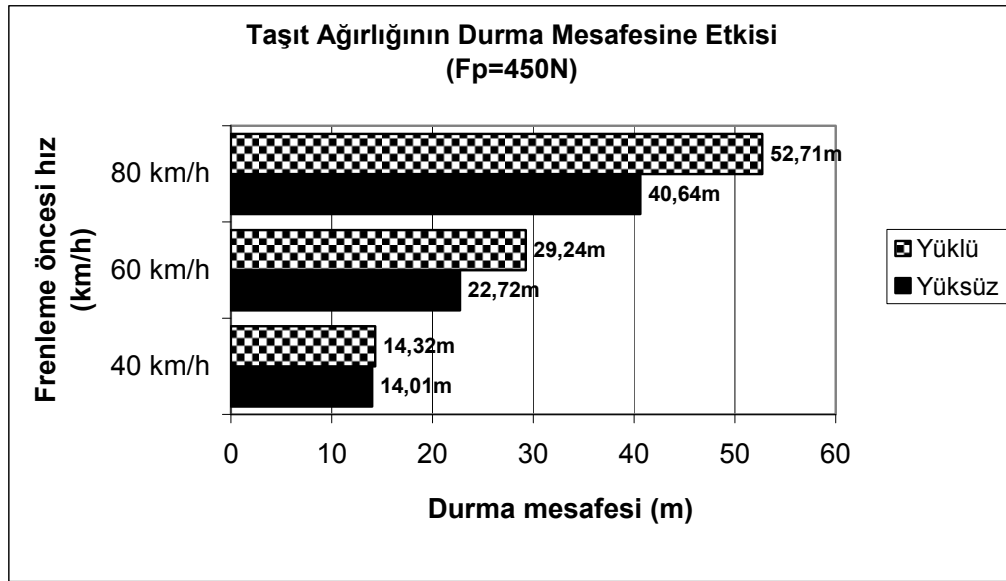


Şekil 5.16. Yüksüz konfigürasyonda fren disk sıcaklığının artışına bağlı olarak değişen durma mesafesi değerleri ($F_p=120 N$)

5.4.3. Taşıt ağırlığının durma mesafesine etkisi

Yapılan fren etkinliği deneylerinde, taşıtın yük konfigürasyonunun durma mesafesine etkileri de analiz edilmiştir. Şekil 5.17’de 450 N pedal kuvveti uygulanarak ortaya çıkan durma mesafesi değerlerinin taşıt ağırlığına bağlı olarak değişimi görülmektedir.

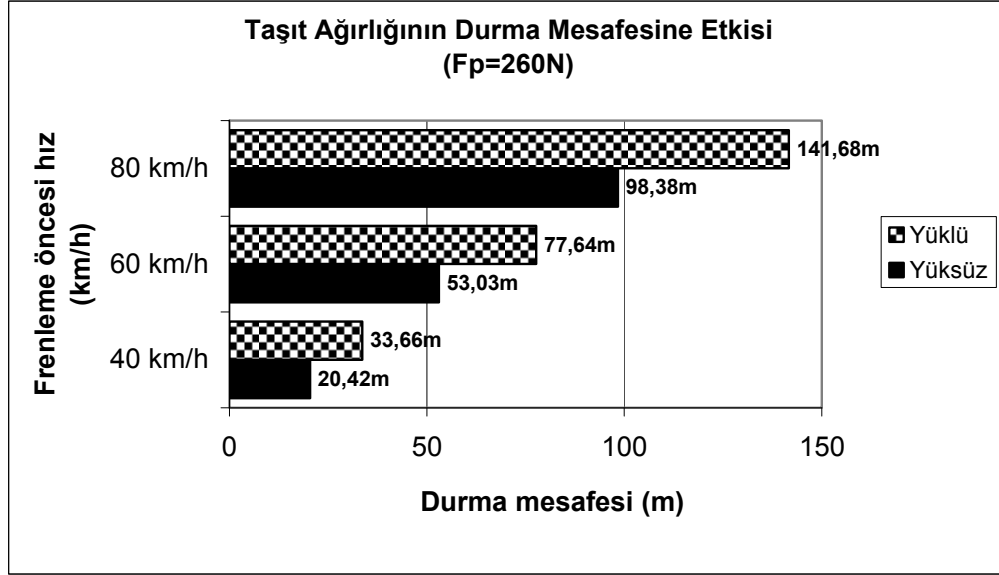
Taşıtın artan yük kapasitesinin durma mesafesini artırmasının nedeni, fren sistemi tarafından ısı enerjisine dönüştürülmesi gereken kinetik enerjinin, taşıtın ağırlığı ile doğru orantılı olarak artmış olmasıdır.



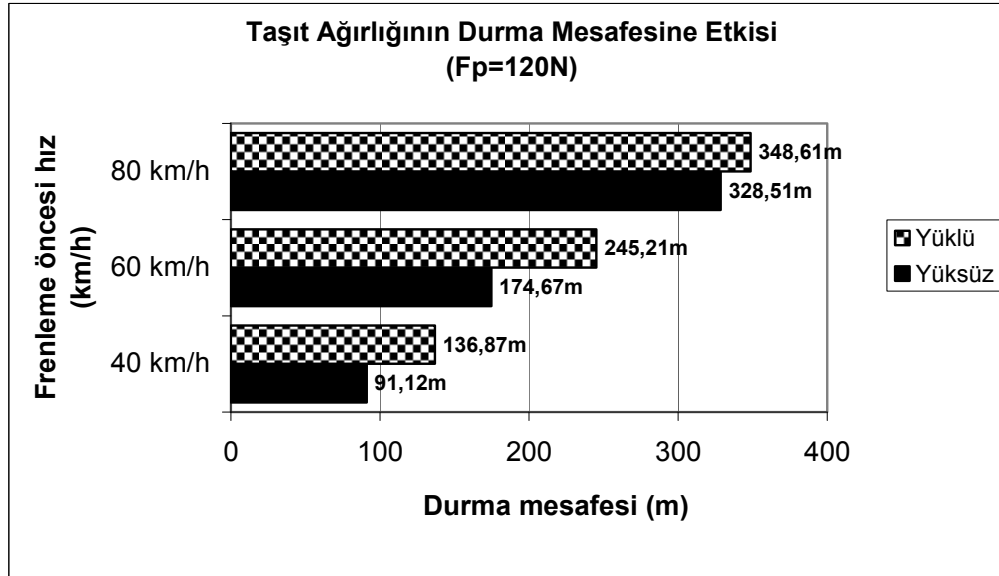
Şekil 5.17. Taşıt ağırlığının durma mesafesine etkisi ($F_p=450 N$)

Taşıt ağırlığının durma mesafesine etkisi, değişen pedal kuvveti değerlerinde de analiz edilmiştir. Şekil 5.18’de, pedal kuvvetinin 260 N uygulandığı durma mesafesi deneylerinde elde edilen sonuçların karşılaştırmalı grafiği yer almaktadır. Şekil 5.19’da ise 120 N olarak uygulanan pedal kuvveti ile elde edilen durma mesafelerinin taşıt ağırlığına bağlı olarak karşılaştırılması görülmektedir. Her iki grafikte de görüldüğü gibi, taşıtın ağırlığındaki artışlar,

uygulanan her pedal kuvvetinde taşıtın durma mesafesinde artışa neden olmuştur.



Şekil 5.18. Taşıt ağırlığının durma mesafesine etkisi ($F_p=260 N$)



Şekil 5.19. Taşıt ağırlığının durma mesafesine etkisi ($F_p=120 N$)

6. YAPAY SİNİR AĞLARI İLE MODEL OLUŞTURMA

Yapılan yol deneylerinden elde edilen verilerle Yapay Sinir Ağları (YSA) metodu kullanılarak toplam 8 farklı tahmin modeli geliştirilmiştir. Bunlardan 5'i eğimli yol deneylerinden elde edilen verilerle oluşturulurken, 3 tahmin modeli de fren etkinliği deney sonuçlarından faydalanılarak yapılmıştır. Ayrıca birden fazla YSA modelinin bir arada çalıştırılarak kombine tahminlerin yapılabilmesi için sorgu kodları yazılmıştır.

6.1. Yapay Sinir Ağları (YSA)

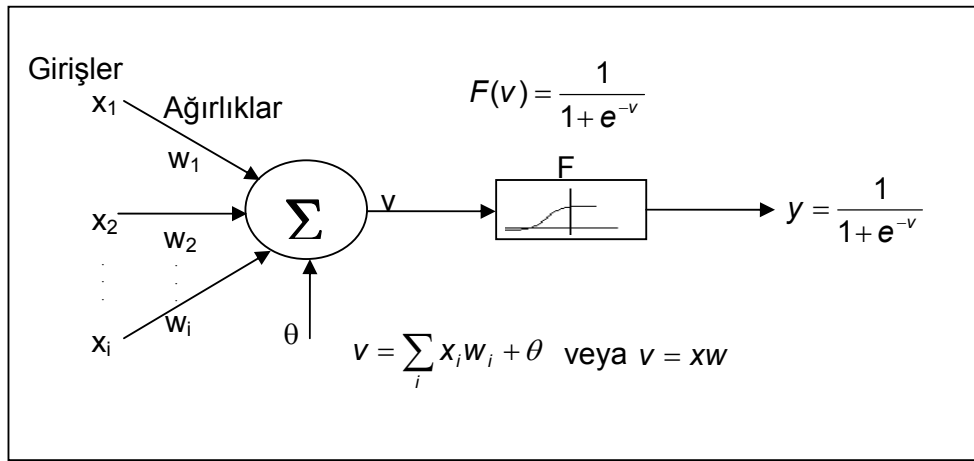
Yapay Sinir Ağları (YSA) insan beyninin işleyişini taklit ederek yeni sistem oluşturmaya çalışan yaklaşımlardır. Bütün YSA yapılarının esin kaynağı biyolojik sinir ağlarının işleyiş yöntemidir. Beynin işleyiş kuralları birçok YSA modelinin geliştirilmesinde kullanılmıştır [71-73].

YSA mühendislik alanında; imalat sanayinde, askeri proje uygulamalarında, endüstriyel ürün tasarımında, bilgi yönetiminde, tıp alanında; tıbbi görüntü işlemede, tıbbi tanı koymada, organ morfasyonlarının belirlenmesinde, biomedikal uygulamalarda, tarımsal alanda; toplam ürün rekoltesinin tahmininde, hayvancılık alanında; hayvan davranış modellerinin oluşturulmasında, askeri alanda; uzay ve havacılık sanayinde, yüzey modellemede kullanılmıştır.

YSA, bir sisteme ilişkin tek veya çoklu parametrelere bağlı olarak tanımlanan giriş verileri ile sistemin yine tek veya çoklu parametrelere bağlı olarak tanımlanabilen çıkışları arasında ilişki kurabilme yeteneğine sahiptir. Bu ilişkinin doğrusal bir formda olması zorunlu değildir. YSA'lar, çıkış değerleri bilinmeyen tanımlanmış sistem girişlerine uygun çıkışlar da üretebilirler [71].

6.1.1. Yapay nöron

YSA'lar, birbirine bağlı doğrusal ve/veya doğrusal olmayan birçok elemandan oluşurlar. Bir yapay nöron temel olarak girişler, ağırlıklar, toplama fonksiyonu, transfer fonksiyonu ve çıkış fonksiyonu olmak üzere beş kısımdan oluşur. Şekil 6.1'de p girişli n çıkışlı bir yapay nöronun detaylı gösterimi yer almaktadır.



Şekil 6.1. p girişli bir yapay nöronun grafik gösterimi

Şekilde x girişleri, y çıkışı, F fonksiyonu, p nöron giriş sayısını, n çıkış sayısını ve w ağırlıkları ifade eder. Girişler dış kaynaklardan veya diğer işlemci elemanlardan gelen işaretlerdir. Bu işaretler, kaynağına göre kuvvetli veya zayıf olabileceğinden ağırlıkları da farklıdır.

YSA'da girilen giriş değerine önce toplama fonksiyonu uygulanır ve her bir işlem elemanının çıkış değeri y'nin hesaplanması için öncelikle;

$$v = \sum_{i=1}^n x_i w_{ij} - \theta_i \quad (6.1)$$

bulunur. Burada;

x_i :i'inci girişı

w_{ij} :j'inci elemandan i'inci elemana bağlantı ağırlığını

θ_i : eşik değerini göstermektedir.

Bu çıkış değerleri sigmoid bir aktivasyon fonksiyonuna uygulanırsa çıkış değeri;

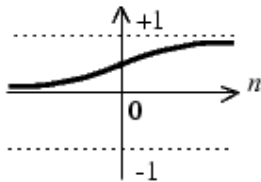
$$y = F(v) = \frac{1}{1 + e^{-v}} \quad (6.2)$$

eşitliği ile bulunur. Çıkış değerinin hesaplanması işlemci eleman çıkışında kullanılan sigmoid fonksiyona göre hesaplanmıştır. Bu işlemci elemanın çıkış değeri diğer işlemci elemanlarına giriş veya ağıın çıkış değeri olabilir [73].

6.1.2. Aktivasyon fonksiyonları

Aktivasyon ya da transfer fonksiyonları, hücreye gelen net girdiyi işleyerek hücrenin bu girdiye karşılık üreteceği çıktıyı belirler. YSA'larda kullanılacak aktivasyon fonksiyonlarının türevi alınabilir ve süreklilik arz etmesi gerekmektedir. YSA'nın kullanımın amacına uygun olarak tek veya çift yönlü aktivasyon fonksiyonları da kullanılabilir. Uygulamalarda en çok sigmoid ve tanjant hiperbolik aktivasyon fonksiyonu kullanılır [71,73].

Sigmoid aktivasyon fonksiyonu uygulamalarda en çok kullanılan fonksiyonlardan birisidir. Fonksiyonun davranışı Şekil 6.2'de verilmiştir.

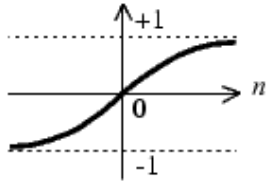


Şekil 6.2. Sigmoid fonksiyon

Bu fonksiyonun en aktif bölgesinin 0,2 ile 0,8 arasında olduğu bilinmektedir. Literatürde tek kutuplu aktivasyon fonksiyonu olarak da bilinen sigmoid fonksiyonun formülü aşağıdaki gibidir:

$$y = \frac{1}{1 + e^{-v}} \quad (6.3)$$

YSA uygulamalarında en çok kullanılan bir diğer aktivasyon fonksiyonu ise tanjant hiperbolik fonksiyonudur. Çift kutuplu fonksiyon olarak da bilinen fonksiyonun grafiği Şekil 6.3'de verilmiştir.



Şekil 6.3. Tanjant hiperbolik fonksiyon

Tanjant hiperbolik fonksiyonun formülü;

$$y = \frac{1 - e^{-2v}}{1 + e^{-2v}} \quad (6.4)$$

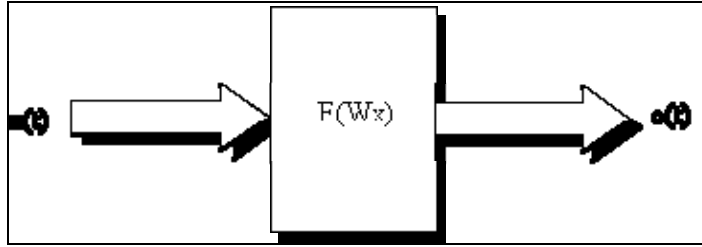
şeklindedir.

6.1.3. YSA'ların yapılarına göre sınıflandırılması

Yapay sinir ağları, yapılarına göre ileri beslemeli (feedforward) ve geri beslemeli (feedback) olmak üzere iki farklı yapıda incelenmektedir.

İleri beslemeli ağlar

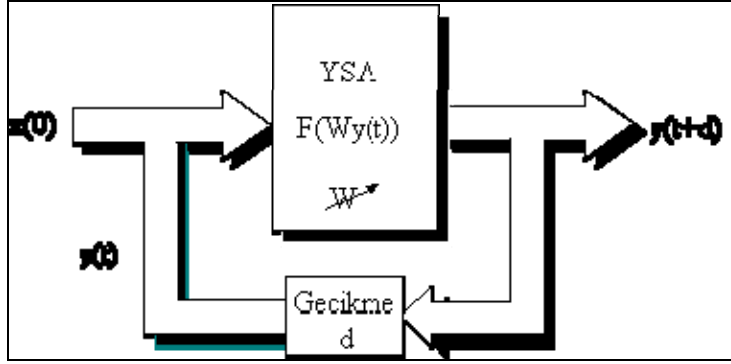
İleri beslemeli bir ağda yapay nöronlar genellikle katmanlara ayrılmışlardır. İşaretler, giriş katmanından çıkış katmanına doğru tek yönlü bağlantılarla iletilir. İşlemci elemanlar bir katmandan diğer bir katmana bağlantı kurarlarken, aynı katman içerisinde bağlantıları bulunmaz. Şekil 6.4'de ileri beslemeli ağ blok diyagramı gösterilmiştir. Çok katmanlı perseptronlar (multilayered perceptrons- MLP) ileri beslemeli ağlara örnek olarak verilebilir [71,74].



Şekil 6.4. İleri beslemeli ağ blok diyagramı [71]

Geri beslemeli ağlar

Bir geri beslemeli sinir ağı, çıkış ve ara katman çıkışların, giriş birimlerine veya önceki ara katmanlara geri beslendiği bir ağ yapısıdır. Böylece girişler hem ileri yönde hem de geri yönde aktarılmış olur (Şekil 6.5). Örnek olarak Hopfield, Elman ve Jordan ağlarının gösterilebileceği bu ağlar çeşitli tipteki zaman serilerinin tahmininde oldukça başarılı olmuşlardır [71].



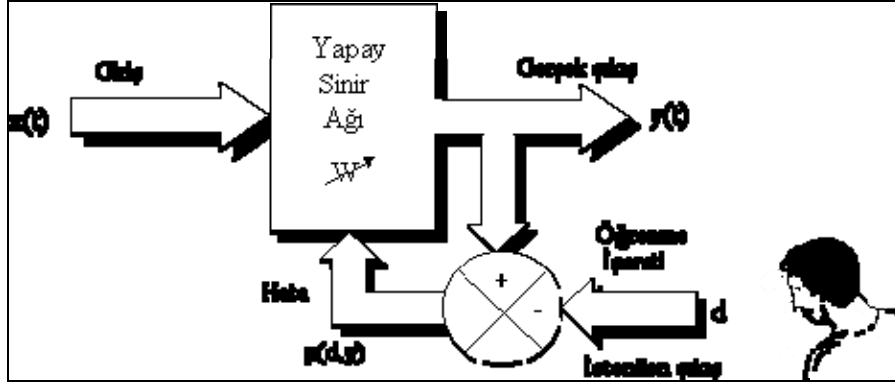
Şekil 6.5. Geri beslemeli ağ blok diyagramı [71]

6.1.4. YSA'ların öğrenme algoritmalarına göre sınıflandırılması

Öğrenme; gözlem, eğitim ve hareketin doğal yapıda meydana getirdiği davranış değişikliği olarak tanımlanmaktadır. O halde, birtakım metot, kural, metodoloji, algoritma, yaklaşım veya gözlem ile bir ağın ağırlıklarının bir probleme göre değiştirilmesi ile öğrenme sağlanır. Genel olarak üç öğrenme metodu ve bunların uygulandığı değişik öğrenme kurallarından söz edilebilir. Bu öğrenme yaklaşımları danışmanlı, danışmansız ve takviyeli öğrenmedir. ve kurallar, gözlem ve eğitime göre ağdaki ağırlıkların değiştirilmesi sağlanmalıdır. Bunun için genel olarak üç öğrenme metodundan ve bunların uygulandığı değişik öğrenme kurallarından söz edilebilir. Bu öğrenme kuralları aşağıda açıklanmaktadır.

Danışmanlı öğrenme (Supervised learning)

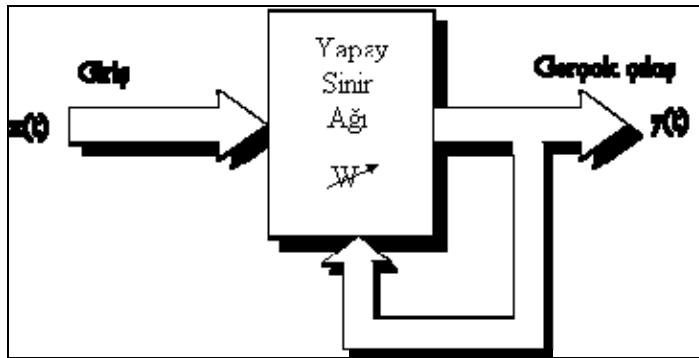
Danışmanlı öğrenmede, YSA'nın ne öğrenmesi gerektiği örnek bir çıkışla öğrenme aşamasında bildirilir. İstenilen çıkışla gerçek çıkış (ağ çıkışı) arasındaki farka (hataya) göre, nöronlar arası bağlantıların ağırlığı, en uygun çıkışı elde etmek için bir öğrenme algoritmasıyla düzenlenir. Danışmanlı öğrenme algoritmasının yapısı Şekil 6.6'da görülmektedir. Delta kuralı ve geriyayılım (backpropagation) algoritması danışmanlı öğrenme algoritmalarına örnek olarak verilebilir [71,73].



Şekil 6.6. Danışmanlı öğrenme yapısı [71]

Danışmansız öğrenme (Unsupervised learning)

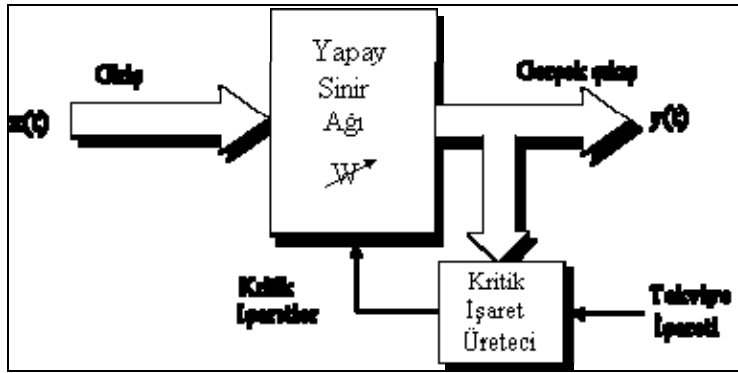
Girişe verilen örnekten elde edilen çıkış bilgisine göre ağ sınıflandırma kurallarını kendi kendine geliştirmektedir. Bu öğrenme algoritmalarında, istenilen çıkış değerinin bilinmesine gerek yoktur. Öğrenme süresince ağa sadece giriş bilgileri verilir. Uygulanan girişten faydalanılarak giriş verileri arasındaki matematiksel ilişkilere göre bağlantı ağırlıkları ayarlanır. Aynı özellikleri gösteren desenlerde aynı çıkışlar, farklı desenlerde ise yeni çıkışlar oluşturulur. Danışmansız öğrenme yapısı Şekil 6.7’de gösterilmiştir [71,73].



Şekil 6.7. Danışmansız öğrenme yapısı

Takviyeli öğrenme (Reinforcement learning)

Danışmanlı öğrenme algoritmasının özel bir formu olan takviyeli öğrenme yapısı Şekil 6.8'de verilmiştir. Bu algoritmada, giriş değerlerine karşı istenilen çıkış değerlerinin bilinmesine gerek yoktur. YSA'ya bir hedef verilmemekte, ancak elde edilen çıkışın verilen girişe karşılık uygunluğunu değerlendiren bir kriter kullanılmaktadır.



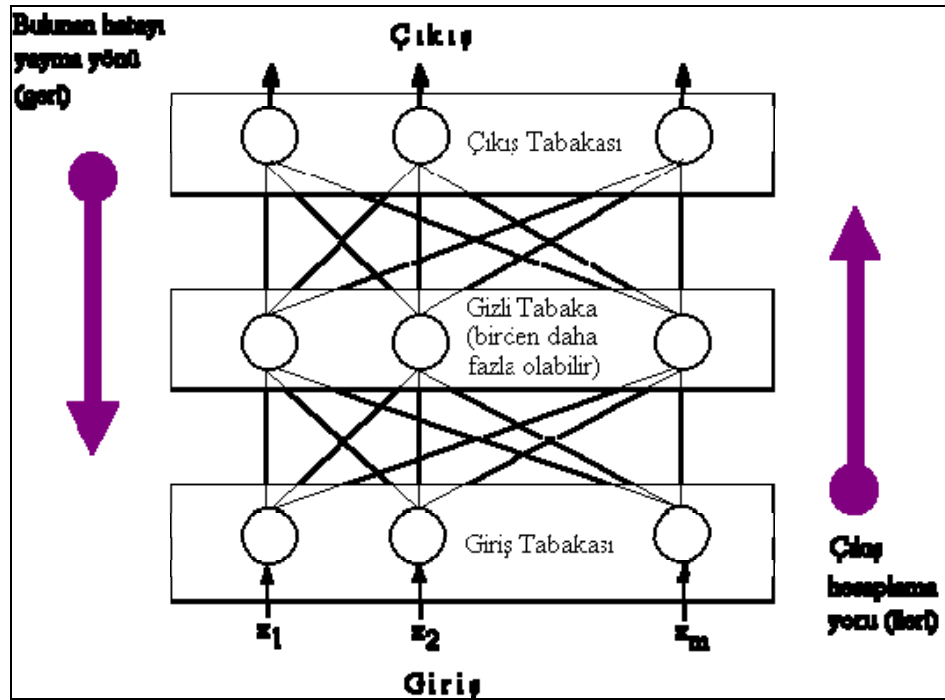
Şekil 6.8. Takviyeli öğrenme yapısı

Çok katmanlı perseptronlar (MLP)

Çok katmanlı bir perseptron sinir ağı modeli Şekil 6.9'da görülmektedir. Bu ağ modeli özellikle mühendislik uygulamalarında en çok kullanılan sinir ağı modeli olmuştur. Bir çok öğretim algoritmasının bu ağı eğitmede kullanılabilir olması, bu modelin yaygın kullanılmasının sebebidir. Bir MLP modeli, bir giriş, bir veya daha fazla ara katman ve bir de çıkış katmanından oluşur. Her katmanda bir veya daha fazla nöron bulunabilir. MLP'deki herhangi bir nöron çıkışı;

$$y_k = f\left(\sum_k w_k x\right) \quad (6.5)$$

ile hesaplanır. Bir katmandaki bütün işlem elemanları bir üst katmandaki bütün işlem elemanlarına bağlıdır. Bilgi akışı ileri doğru olup geri besleme yoktur. Bunun için ileri beslemeli sinir ağı modeli olarak adlandırılır. Giriş katmanında herhangi bir bilgi işleme yapılmaz. Buradaki işlem elemanı sayısı tamamen uygulanan problemler giriş sayısına bağlıdır. Ara katman sayısı ve ara katmanlardaki işlem elemanı sayısı ise, deneme-yanılma yolu ile bulunur. Çıkış katmanındaki eleman sayısı ise yine uygulanan probleme dayanılarak belirlenir [71,73].



Şekil 6.9. Çok katmanlı perseptron (MLP) yapısı [71]

MLP ağlarında ağa bir örnek uygulanır ve örnek neticesinde nasıl bir sonuç üretmesi gerektiği bildirilir. Bu aslında danışmanlı öğrenmenin tarifidir. Örnekler giriş katmanına uygulanır, ara katmanlarda işlenir ve çıkış katmanında da çıkışlar elde edilir. Kullanılan eğitim algoritmasına göre ağın çıkışı ile arzu edilen çıkış arasındaki hata tekrar geriye doğru yayılarak hata en aza düşüncüye kadar ağın ağırlıkları değiştirilir [71,75].

Geri yayılım algoritması (Backpropagation)

Anlaşılması kolay ve matematiksel olarak kolaylıkla ispatlanabilir olmasından dolayı birçok uygulamada yaygın olarak kullanılmış bir öğrenme algoritmasıdır. Bu algoritma hataları çıkıştan girişe (geriye) doğru azaltmaya çalışmasından dolayı geri yayılım ismini almıştır. Algoritmanın eğitme işlemini ve eğitmeden sonraki test işlemini nasıl yaptığını anlatan akış şeması EK-3'de verilmiştir.

Bu algoritma ile i ve j kat işlem elemanları arasındaki ağırlıklardaki $\Delta w_{ji}(t)$ değişikliği hesaplanır. Bu ifade,

$$\Delta w_{ji}(t) = \eta \delta_j x_i + \alpha \Delta w_{ji}(t-1) \quad (6.6)$$

olarak verilir. Burada;

η =öğrenme katsayısı,

α =momentum katsayısı,

δ_j = ara veya çıkış katındaki herhangi bir j nöronuna ait bir faktördür.

Çıkış katı için bu faktör aşağıdaki gibi verilir:

$$\delta_j = \frac{\partial f}{\partial \text{net}_j} (y_j^{(t)} - y_j) \quad (6.7)$$

Burada;

$\text{net}_j = \sum x_j w_{ji}$ ve $y_j^{(t)}$ ise j işlemci elemanının hedef çıkışıdır. Ara katlardaki nöronlar için ise bu faktör:

$$\delta_j = \left(\frac{\partial f}{\partial \text{net}_j} \right) \sum w_{qi} \delta_q \quad (6.8)$$

olarak verilir. Arakatlardaki nöronlar için herhangi bir hedef çıkış olmadığından, Eş. 6.7 yerine Eş. 6.8 kullanılır. Bu duruma bağlı olarak, çıkış katından başlayarak δ_j faktörü, bütün katlardaki nöronlar için hesaplanır.

Daha sonra Eş. 6.6'daki faktöre bağlı olarak bütün bağlantılar için ağırlıkların güncelleştirilmesi gerçekleştirilir.

Bu bir dereceli azalma algoritması olup, MLP yapılarını eğitmede kullanılan bir algoritmadır. Temelde istenilen çıkış ile ağ çıkışı arasındaki hatanın ağırlıklara bağlı olarak düşürülmesi prensibine dayanır [71].

6.1.5. YSA'ların üstünlükleri

Yapay sinir ağlarının klasik sistemlere göre üstünlükleri aşağıdaki gibi sıralanabilir [71,73]:

- *Doğrusal olmama*: Yapay nöronların lineer olmama özelliği YSA'nın birçok probleme uygulanabilmesine imkan verir.
- *Öğrenme*: YSA'ları diğer yaklaşımlardan ayıran temel özelliktir. YSA'nın problemi öğrenebilmesi için problemin giriş verilerine karşılık gelen çıkış verilerinin veya sadece giriş verilerinin olması gerekir. Giriş ve çıkış verileri ile tanımlanan öğrenme kümesi yeterli sayıda örnek içermelidir.
- *Genelleme yapma*: Eğitim sürecinin ardından, YSA eğitim kümesi dışındaki veriler için de çıkışlar üretebilir. YSA'nın ürettiği çıkışların kabul edilebilir düzeyde olup olmadığı test verilerinin çıkış değerleriyle YSA'nın çıkış değerlerinin karşılaştırılmasıyla tespit edilir.
- *Adaptasyon*: YSA'lar, tanımı ya da parametleri değişen problemlere veya sisteme uygun çözümler üretmek için yeniden eğitilebilir. Bu özellik YSA'nın

hedef tanıma, uyarlamalı örnek tanıma, sınıflandırma, işaret işleme, otomatik kontrol ve sistem kimliklendirme ve modelleme gibi alanlarda kullanımını sağlamıştır.

- *Veri işleme:* Biyolojik sistemlerde veri dağınık yapıda saklanır. YSA'da ise ağırlıklar üzerine paralel olarak dağıtılmış şekilde temsil edilmekte, korunmakta ve saklanmaktadır. Ağırlıklar herhangi bir anda YSA'nın problemle ilgili olarak sahip bulunduğu bilgiyi ifade eder. Yapay sinir ağlarında veri dağıtılmış birleşik hafıza yapısı kullanılır ve bilgi farklı formlara dönüştürülerek işlenebilir.
- *Hataya ve gürültüye karşı duyarlık ve tolerans:* YSA'nın genelleme yeteneği testlerle sınırlanır. Genelleme yeterli seviyede ise, giriş vektörünü tanımlayan parametrelerden bazılarının verilmemesi veya sağlanamaması durumunda veya ağırlıkların bazılarının bozularak kullanılamaz duruma gelmesi halinde kabul edilebilir doğrulukta çıkışlar üretebilir. Bu özellik, klasik hesaplama yöntemlerine göre YSA'nın önemli bir üstünlüğüdür.
- *Donanım:* YSA'lar, paralel yapısı nedeniyle büyük ölçekli entegre devre teknolojisi ile gerçekleştirilebilir. Bu özellik YSA'nın hızlı bilgi işleme yeteneğini ve örnek tanıma, işaret işleme, sistem kimliklendirme ve denetim gibi gerçek zamanlı uygulamalarında kullanımını artırır.
- *Hazır paket programlar:* YSA'ların farklı yapılarını içeren ve kolay temin edilebilen birçok yazılım geliştirilmiştir. Bu kolaylıklar YSA'nın cazibesini daha da artırmıştır.

6.1.6. YSA'nın mühendislik uygulamaları

YSA uygulamaları temel olarak tahmin, sınıflandırma, veri yorumlama, veri filtreleme ve veri ilişkilendirme olarak 5 sınıfa ayrıştırılabilir. Bunlardan

tahmin, uygulanan giriş değerlerinden bazı çıkış değerlerinin bulunmaya çalışılmasıdır. Hava durumu tahmini, kanser riskini belirleme bunlara örnek olarak verilebilir. Sınıflandırma, giriş değerleri kullanılarak sınıflandırmalar yapmaya yarar. Arıza teşhisi, karakter tanıma bu özelliğe örnek olarak verilebilir. Sınıflandırmaya benzer bir özellik olan veri ilişkilendirme, sınıflandırmanın yanı sıra, hatalı verileri de tanımlamaya yarar. Veri yorumlama, giriş verisindeki gruplar arasındaki ilişkileri analiz eder. Veri filtreleme ise, giriş sinyalleri arasındaki uygun olmayan verilerin ayıklanmasını sağlar [71,73].

YSA uygulamalarını birçok alanda görmek mümkündür. Bunlardan bazıları:

- Havacılık ve uzay alanında yüksek performanslı oto-pilot geliştirme çalışmalarında, uçuş kontrol sistemlerinde ve simülasyon cihazları,
- Otomotiv sektöründe oto-rehberlik uygulamaları geliştirme,
- Bankacılıkta kredi risk analizleri,
- Savunma sanayinde hedef tanıma, hedef izleme, silah oryantasyonu, sayısal görüntü işleme, veri kodlama ve sıkıştırma,
- Bilgisayar destekli görme, ses tanıma, sinyal işleme ve filtreleme,
- Tıpta teşhis ve bioistatistiksel ilişkilerin aranması,
- Robotikte, yüzey modellemede, yol ve hız tahmini,
- Coğrafi bilgi sistemlerinde hareketli cisimlerin izlenmesi, konum ve durumlarının tahmini,

- Meteorolojide hava tahmin algoritmalarının geliştirilmesi olarak sıralanabilir.

6.1.7. Modelde YSA'nın kullanım gerekçesi

Bu çalışmada elde edilen deney sonuçlarından geliştirilen modellerde YSA'nın tahmin özelliği kullanılmıştır. Modelde YSA kullanımının gerekçesi, YSA'yı diğer sistemlerden ayıran en önemli özellik olan karmaşık ve bir formülle ifade edilemeyen problemleri çözebilme yeteneğidir.

Sabit hızda yokuş aşağı seyreden bir ticari taşıtın, bu hızını koruyabilmesi için servis freni kullanması ya da yavaşlatıcıdan destek alması fren disk sıcaklıklarında değişime neden olur. Taşıt sadece servis freni kullanıyorsa disk sıcaklıkları hızla yükselecektir. Seyir esnasında fren disk sıcaklıklarının artışına neden olabilecek faktörler; taşıtın ağırlığı, ne kadar mesafede bir yokuş indiği, yokuşu hangi hızda indiği, yavaşlatıcının kullanılıp kullanılmadığı ve fren disklerinin ilk sıcaklığı olarak ön plana çıkmaktadır. Ancak, bu değişkenlerden hangisinin ne oranda disk sıcaklığını etkilediği bilinmemektedir.

Benzer şekilde, taşıtın düz yolda durma mesafesini etkileyen taşıt hızı, uygulanan pedal kuvveti, taşıtın ağırlığı ve fren disklerinin sıcaklığı gibi değişkenlerin her birinin ne kadar etkili olduğu bilinmemektedir. Yapılan yol deneylerinden elde edilen sonuçların işlenerek veriye dönüştürülmesi ve YSA'ya giriş değerleri olarak sunulmasıyla birlikte elde edilen yüksek performanslı tahmin modelleri YSA'nın üstünlüğünü ortaya koymuştur.

6.2. Eğimli Yolda Fren Disk Sıcaklığının Tahmini İçin YSA Modelinin Geliştirilmesi

Geliştirilen YSA modeli, %8 eğimli bir yolda yokuş aşağı seyreden taşıtın, hız, ağırlık, katettiği mesafe, yavaşlatıcı kullanıp kullanmadığı ve fren

disklerinin başlangıç sıcaklığı gibi değişkenlere bağlı olarak disk son sıcaklığını tahmin etme amacını içermektedir.

6.2.1. Veri setinin oluşturulması

Önceden hazırlanan deney matrisine göre yapılan yol deneyleri neticesinde elde edilen verilerin YSA modelinde kullanılabilmesi için bazı düzenlemeler yapılmıştır. Deneylerde ayrı ayrı ölçülen fren disk sıcaklıkları her tekerlek için farklı değerlerde olduğundan, her operasyon için dört fren diskinin ortalamasından oluşan tek bir sıcaklık değeri alınmıştır.

Veriler işlenirken, her 1 km'lik sektörlerde elde edilen disk sıcaklık değişimleri ayrı ayrı değerlendirilerek, ölçülen her sıcaklığın bir sonraki adımın ilk sıcaklığı olacak şekilde veriler ayrıştırılmıştır. Örneğin 30 km/h hızda, yüklü konfigürasyonda, yavaşlatıcı devre dışıyken yapılan ölçümlerde elde edilen değerler Çizelge 6.1'de yer almaktadır. Çizelge incelendiğinde, deney öncesi ortalama disk sıcaklıkları 56 °C olarak ölçülmüş ve taşıt 1. km'ye ulaştığında disk sıcaklıkları 157 °C'ye, 2. km'ye geldiğinde 188 °C'ye, 6. km'ye geldiğinde ise 333 °C'ye ulaşmıştır.

Çizelge 6.1 . Bir test verisinin işlenmeden önceki hali

Taşıt Hızı (km/h)	Taşıt Ağırlığı (kg)	Yavaşlatıcı Konumu	Disk Sıcaklıkları (°C)						
			0. km	1. km	2. km	3. km	4. km	5. km	6. km
30	3500	0	56	157	188	265	308	323	333

Taşıtın başlangıç disk sıcaklık değeri olan 56 °C'den itibaren 2. km'de ulaştığı disk sıcaklığı 188 °C'dir. Böylece 2 km seyreden taşıtın disk sıcaklık değişim değeri elde edilmiştir. Benzer şekilde taşıtın 3. km bitiminde ulaştığı disk sıcaklık değeri 265 °C'dir. O noktadan itibaren 2 km daha seyrettiğinde ölçülen disk sıcaklığı 323 °C'dir. Burada disk başlangıç sıcaklığı 265 °C ve katettiği mesafe 2 km olan taşıtın disk son sıcaklığı 323 °C olan bir başka veri

elde edilmiştir. Çizelge 6.1’de yer alan örnek verinin işlenmiş hali Çizelge 6.2’de görülmektedir.

Çizelge 6.2. Verinin işlenmiş hali

Taşıt hızı (km/h)	Taşıt Ağırlığı (kg)	Katedilen Mesafe (m)	Yavaşlatıcı Konumu (0-1-2)	İlk Sıcaklık (°C)	Son Sıcaklık (°C)
30	3500	1	0	56	151
30	3500	1	0	157	188
30	3500	1	0	188	265
30	3500	1	0	265	308
30	3500	1	0	308	323
30	3500	1	0	323	333
30	3500	2	0	56	188
30	3500	2	0	157	265
30	3500	2	0	188	308
30	3500	2	0	265	323
30	3500	2	0	308	333
30	3500	3	0	56	265
30	3500	3	0	157	308
30	3500	3	0	188	323
30	3500	3	0	265	333
30	3500	4	0	56	308
30	3500	4	0	157	323
30	3500	4	0	188	333
30	3500	5	0	56	323
30	3500	5	0	157	333
30	3500	6	0	56	333

Çizelgede görüldüğü gibi veri setinde 6 değişken yer almaktadır. Bunların içerisinde yer alan ve “Yavaşlatıcı Kademesi” olarak tanımlanan değişkenin, 0-1-2 değerlerini aldığı görülmektedir. Bunlardan “0” değeri deneyin yavaşlatıcı kullanılmadan, sadece servis freninden faydalanılarak yapıldığını ifade etmektedir. “1” değeri yavaşlatıcının 1. kademesinin devreye alındığını, “2” değeri ise yavaşlatıcının 2. kademesinde deneyin gerçekleştirildiğini ifade etmektedir. Ancak yavaşlatıcı, taşıt hızına bağlı olarak değişen her farklı şaft hızında, farklı tork değerleri üretmektedir. Bu gerekçeden dolayı yavaşlatıcı kademesi değişkeninin aldığı değerlerin YSA’ya sunulurken ‘ilgili kademeye karşılık gelen tork’ değerine dönüştürülmesi için bir veri işleme çalışması yapılmıştır.

Bu dönüşüm gerçekleştirilirken hedeflenen değer, taşıt “v” hızıyla giderken şaftın dönüş hızı olan “ns” değerine ulaşabilmektir. Bu aşamadan sonra ise yavaşlatıcının şaft hızı-tork eğrisine bağlı kalınarak geliştirilen eğri denklemlerinden faydalanılarak gereken tork değeri hesaplanabilecektir. Şaft hızını hesaplamakta kullanılan eşitlik:

$$n_s = \frac{i_D \cdot 2,653 \cdot V}{r_w} \quad (6.9)$$

şeklindedir. Burada;

n_s : şaft dönüş hızı (d/d)

i_D : diferansiyel transmisyon oranı (Deney taşıtı için $i_D=4,111$)

V : taşıt hızı (km/h)

r_w : tekerlek yarıçapı (m) (Deney taşıtı için $r_w=0,348$ m)

dır.

Örneğin, deney taşıtının $V=30$ km/h'lik hızı için şaft hızı;

$$n_s = \frac{(4,111) \cdot (2,653) \cdot (30)}{0,348} = 940,21 \text{ d/d}$$

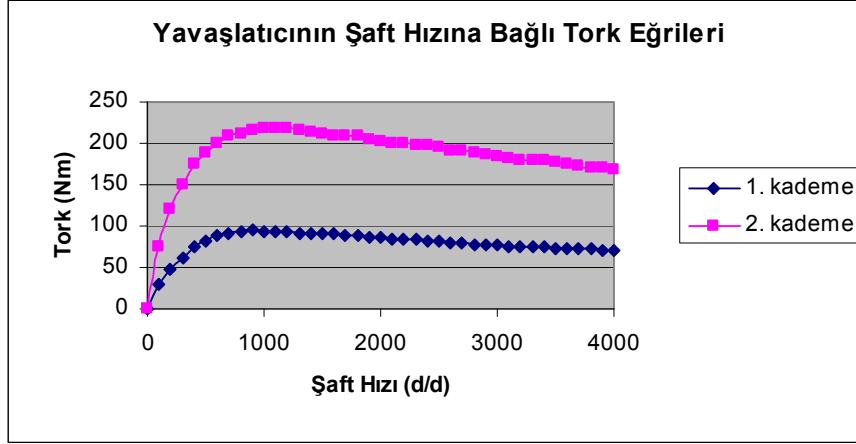
olarak hesaplanır.

Şaftın bu hızına karşılık gelen tork değerini hesaplamak için ilgili yavaşlatıcıya ait “Şaft Hızı-Yavaşlatıcı Torku” eğrisine ihtiyaç vardır. Söz konusu eğri Şekil 6.10’de yer almaktadır. Eğride yavaşlatıcının her iki kademesinde şaft hızına bağlı olarak değişen tork değerleri görülmektedir.

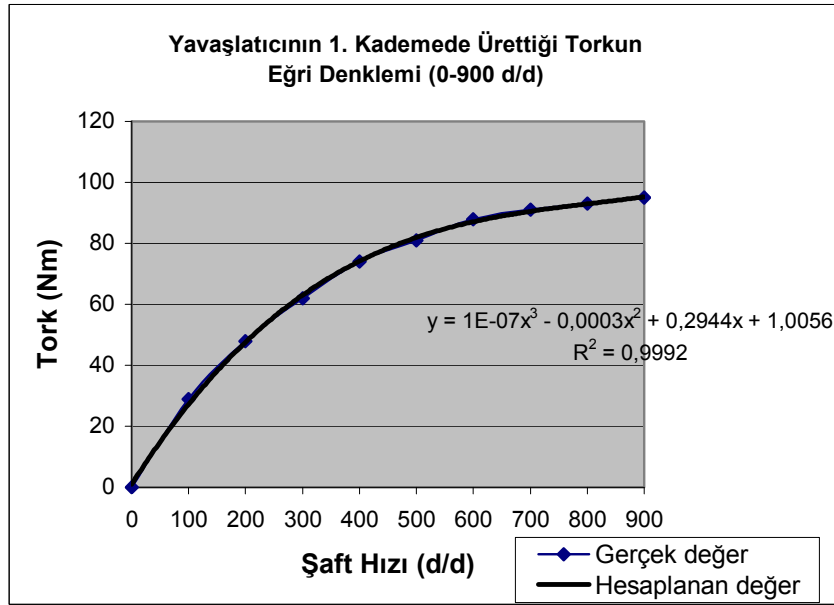
Her farklı şaft hızı için yavaşlatıcının ürettiği tork değerinin hesaplanabilmesi için bu eğrilerin denklemleri oluşturulmuştur (Şekil 6.11). Buna göre, yavaşlatıcının 1. kademesinde şaft hızının 900 d/d’ya kadar olan değerleri için tork değerlerini veren eşitlik:

$$y = 10^{-07}x^3 - 0,0003x^2 + 0,2944x + 1,0056 \quad (6.10)$$

şeklinde belirlenmiştir. Denklemin performans değeri $R^2 = 0,9992$ 'dir.



Şekil 6.10. Yavaşlatıcının şaft hızına bağlı tork eğrileri



Şekil 6.11. Yavaşlatıcının 1. kademesinde şaft hızına bağlı olarak oluşan tork değerlerinin eğri denklemi(0-900 d/d)

Aynı eğride şaft hızının 901-4000 d/d arasındaki değerleri için elde edilen eşitlik ise:

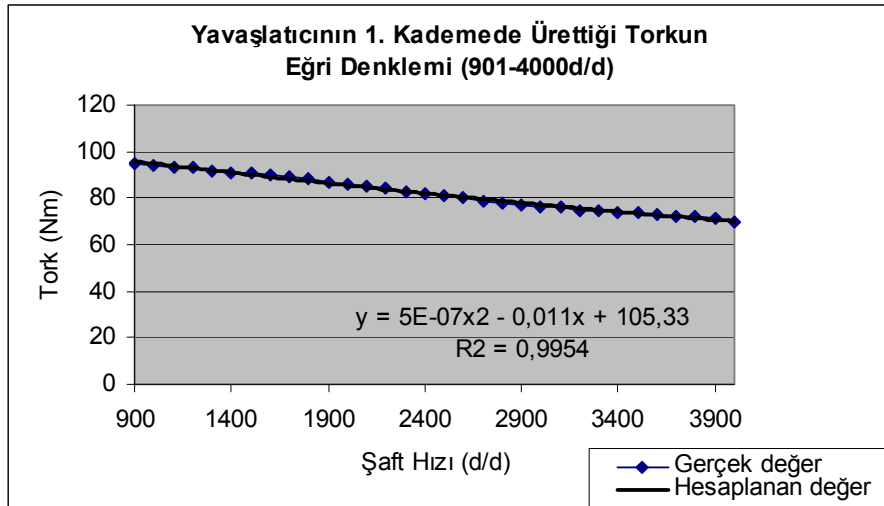
$$y = 5 \cdot 10^{-07}x^2 - 0,011x + 105,33 \quad (6.11)$$

şeklinde olup performans değeri $R^2=0,9954$ 'dir. Eğrinin ikinci parçası Şekil 6.12'de görülmektedir.

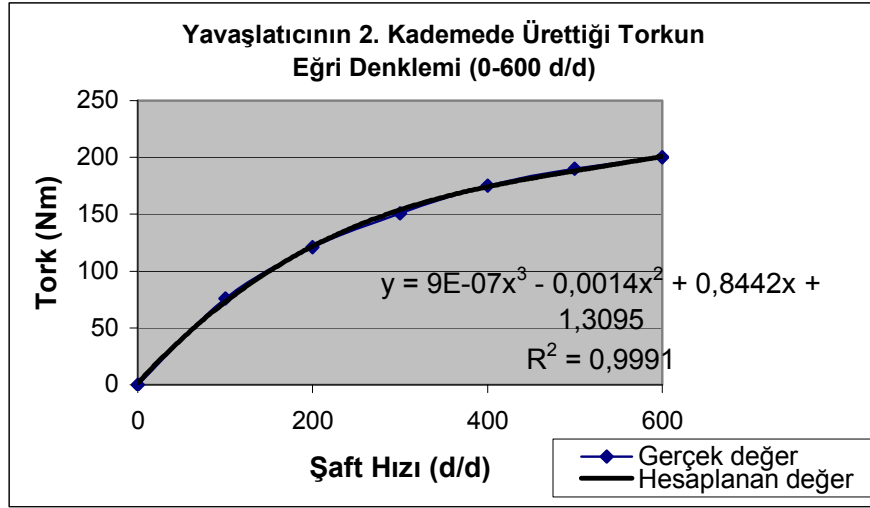
Yavaşlatıcının 2. kademesi için de eğri denklemleri aynı metotla geliştirilmiş, denklemlerin optimum değerleri verebilmesi için eğri 3 parçaya bölünmüştür. Buna göre, yavaşlatıcının 2. kademesinde 600 d/d'ya kadar olan şaft hızı değerleri için tork değerini veren eğri denklemi Şekil 6.13'de görüldüğü gibi:

$$y = 9 \cdot 10^{-07}x^3 - 0,0014x^2 + 0,8442x + 1,3095 \quad (6.12)$$

şeklinde olup, denklemin performansı $R^2 = 0,9991$ 'dir.



Şekil 6.12. Yavaşlatıcının 1. kademesinde şaft hızına bağlı olarak oluşan tork değerlerinin eğri denklemi (901-4000 d/d)

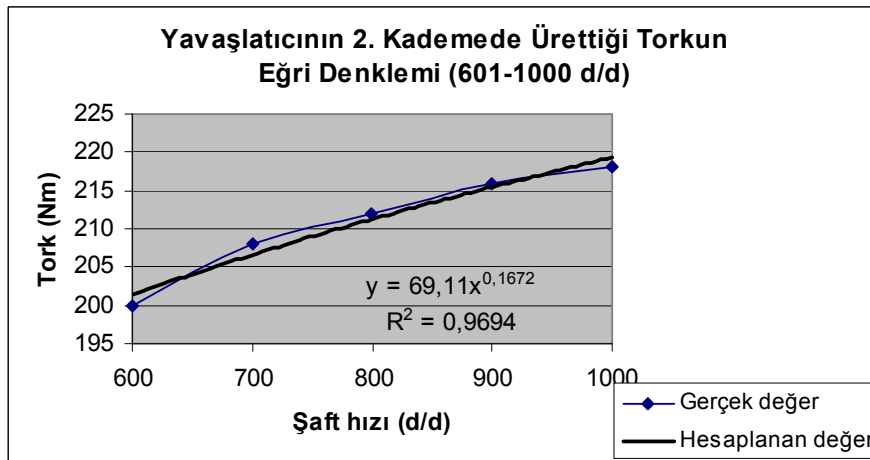


Şekil 6.13. Yavaşlatıcının 2. kademesinde şaft hızına bağlı olarak oluşan tork değerlerinin eğri denklemi(0-600 d/d)

Şaft hızının 601 ila 1000 d/d arasında aldığı değerler için oluşturulan eğri denklemi ise:

$$y = 69,11x^{0,1672} \quad (6.13)$$

şeklindedir. Denklem performans $R^2=0,9694$ 'dir (Şekil 6.14).

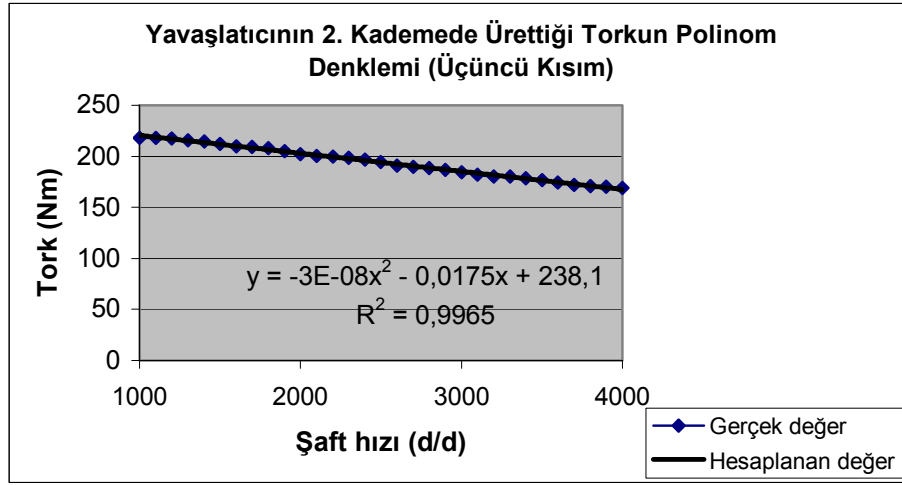


Şekil 6.14. Yavaşlatıcının 2. kademesinde şaft hızına bağlı olarak oluşan tork değerlerinin eğri denklemi (601-1000 d/d)

Şaft hızının 1001-4000 d/d arasındaki değerlerini veren eğri denklemi ise:

$$y = -3.10^{-08}x^2 - 0,0175x + 238,1 \quad (6.14)$$

ve performansı $R^2=0,9965$ 'dir (Şekil 6.15).



Şekil 6.15. Yavaşlatıcının 2. kademesinde şaft hızına bağlı olarak oluşan tork değerlerinin eğri denklemi(1001-4000 d/d)

Bu düzenlemelerin ışığında, daha önce taşıtın 30 km/h'lik hızı için hesaplanan 940,21 d/d'lık şaft hızının, yavaşlatıcının 0-1-2 kademeleri için hangi tork devrine karşılık geldiğini hesaplamak gerekirse:

Yavaşlatıcı kademesi=0 için tork=0 olacaktır. Yavaşlatıcının "0" kademesi, sadece servis freninin devrede olduğu konfigürasyon olup, herhangi bir tork değeri oluşması söz konusu değildir.

Yavaşlatıcı kademesi=1 için, $n_s=940,21$ olduğundan, Şekil 6.13'deki eğriden ve bu eğrinin denklemi olan $y=5.10^{-07}x^2-0,011x+105,33$ 'dan faydalanılacaktır. Denklemdaki "x" değişkeni şaft hızı(n_s) olduğundan, x yerine 940,21 konulduğunda yavaşlatıcı torku 95,43 Nm olarak hesaplanacaktır.

Eğer taşıt aynı hızda giderken yavaşlatıcının 2. kademesi devreye sokulursa bu kez Şekil 6.14'de yer alan $y=69,11x^{0,1672}$ şeklindeki eğri denkleminde yararlanılarak yavaşlatıcı torku 217,1 Nm olarak hesaplanır.

Yavaşlatıcı torkunun kademeye göre alacağı tork değerlerini içeren yukarıdaki toplam 5 denklem normalizasyon kodlarında yer alarak, YSA'ya verilerin bu kapsamda dönüştürülerek gönderilmesi sağlanmıştır.

6.2.2. Eğitim ve test setlerinin elde edilmesi

Deneylerden elde edilen veriler, Çizelge 6.2'de açıklanan prosedüre göre işlenerek toplam 270 satırlık bir veri seti elde edilmiştir. Bunlardan 240 adedi eğitim seti, 30 adedi ise test seti olarak alınmıştır. Test setinin oluşturulmasında eğitim setinin alt kümesi olan homojen bir set şeklinde olmasına dikkate edilmiştir.

6.2.3. Verilerin normalizasyonu

İşlenen veriler 0 ile 1 arasında normalize edilmiştir. Bunun için veri kümesinin içinde yer alan minimum ve maksimum değerler belirlenerek aşağıdaki eşitlik kullanılmıştır.

$$X_{yeni} = \frac{X - X_{min}}{X_{max} - X_{min}} \quad (6.15)$$

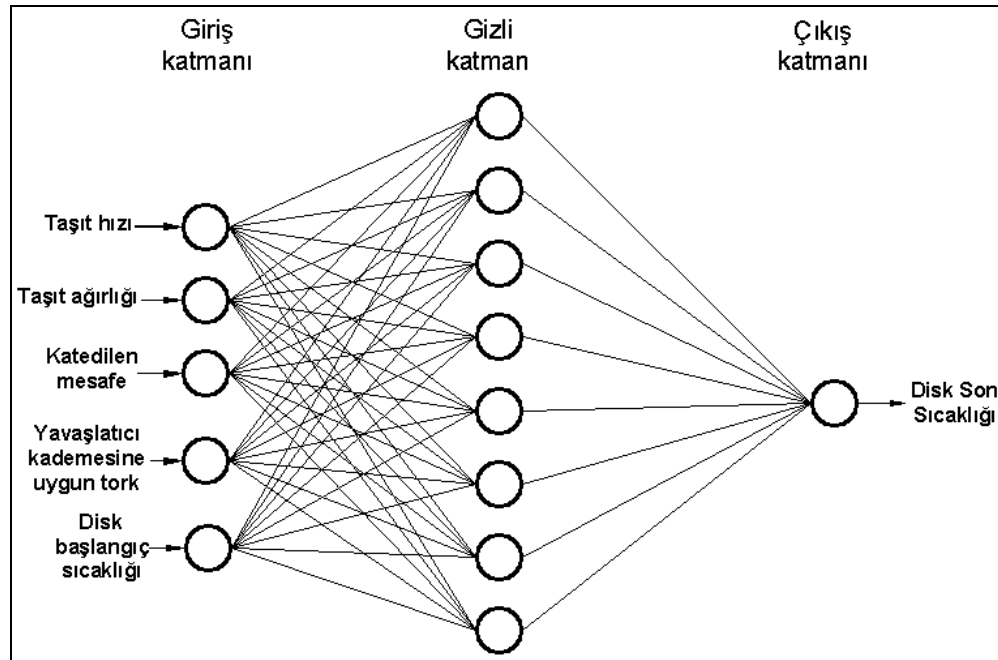
Bu yaklaşımla eğitim ve test setindeki bütün veriler Matlab ortamında yazılan kodlarla 0 ile 1 arasında normalize edilerek ağa sunulmuştur. Normalizasyon kodları EK-4'de yer almaktadır.

6.2.4. Ağ mimarisi ve öğrenme algoritması seçimi

Disk sıcaklığı tahmini için geliştirilen ağ modelinde 5 giriş ve 1 çıkış bulunmaktadır. Giriş katmanında;

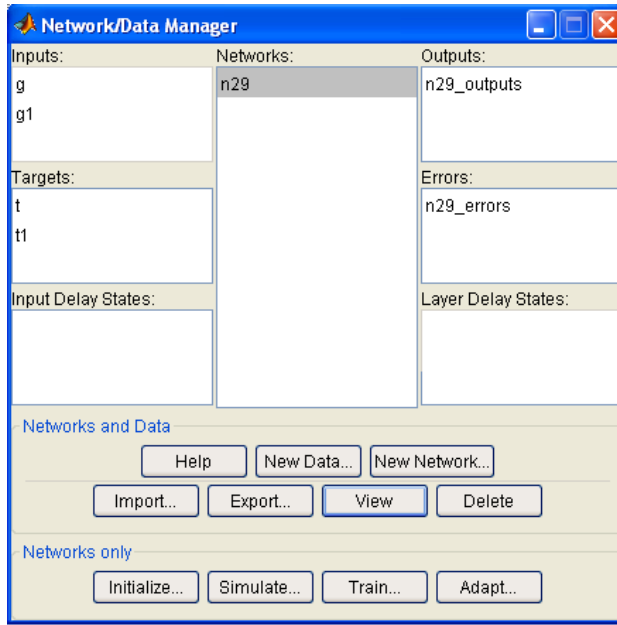
- Taşıt hızı
- Taşıt ağırlığı
- Eğimli yolda katedilen mesafe
- Yavaşlatıcı konumu
- Disk başlangıç sıcaklığı

değişkenleri yer almakta, çıkış katmanında ise “Disk Son Sıcaklığı” bulunmaktadır. Gizli katman sayısı ve gizli katmandaki nöron sayısının belirlenmesi için değişik alternatifler denenmiş ve gizli katmanında 7 nöron bulunan ağ mimarisi seçilmiştir (Şekil 6.16).



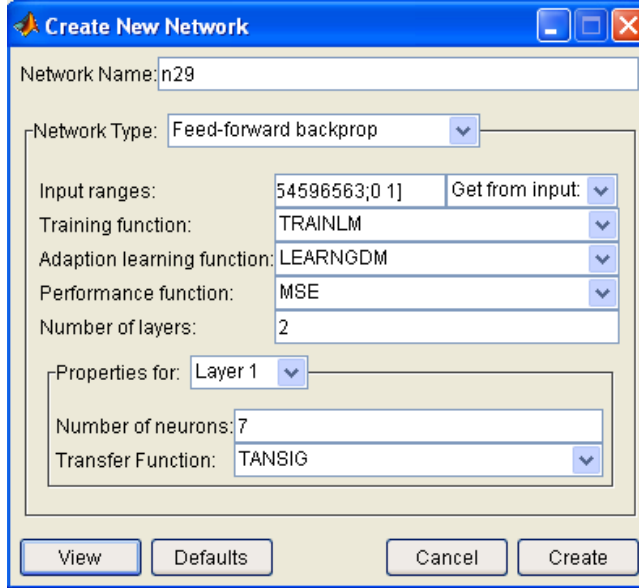
Şekil 6.16. Disk son sıcaklığı tahmini için geliştirilen YSA mimarisi

Çalışmada yer alan bütün YSA modellerinin hazırlanmasında Matlab NN Toolbox'tan faydalanılmıştır. NN Toolbox sayesinde, ağ konfigürasyonlarında çok hızlı değişiklikler yapılabilmekte, eğitilen ağın performans değerleri hızlı alınabilmekte ve performans grafikleri elde edilebilmektedir. Şekil 6.17'de NN Toolbox'ın genel görünümü yer almaktadır. Giriş değerleri ve hedeflenen değerlerin aktarılması ve ağa isim verilmesi bu aşamada gerçekleşmektedir.

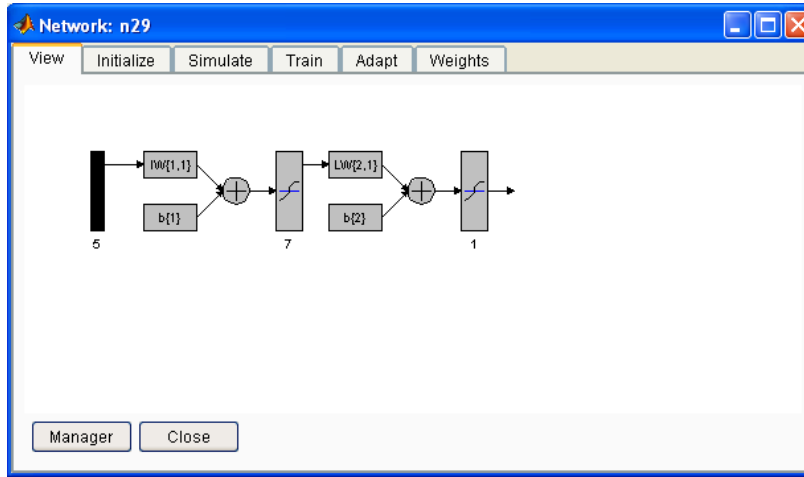


Şekil 6.17. Matlab NN Toolbox genel görünümü

Ağın konfigürasyonunu belirleme, gizli katman sayısı ve nöron sayılarını atama, öğrenme fonksiyonu, performans fonksiyonu ve transfer fonksiyonu gibi belirleyici değişkenlerinin oluşturulduğu aşama ise Şekil 6.18'de yer almaktadır. Ayrıca Şekil 6.19'de tasarlanan YSA'nın yapısı görüntülenebilmektedir.

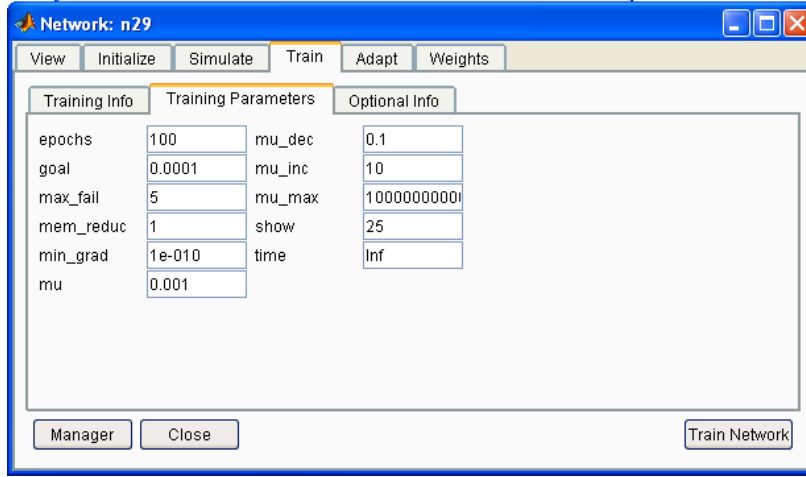


Şekil 6.18. NN Toolbox ile ağ konfigürasyonlarının belirlenmesi



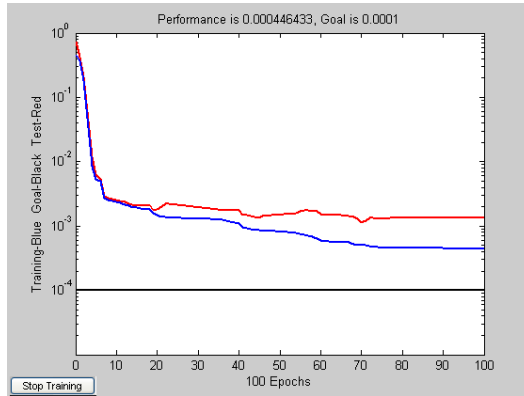
Şekil 6.19. NN Toolbox ile tasarlanan YSA'nın görünümü

Ağ eğitmek için gerekli olan epoch sayısı, hedef performans ve diğer seçeneklerin belirlenebileceği aşama ise Şekil 6.20'de yer almaktadır.



Şekil 6.20. NN Toolbox ile tasarlanan YSA'nın eğitilmesi

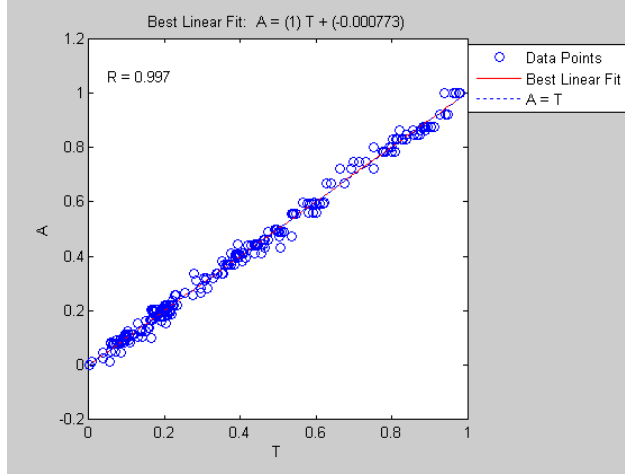
Ağın eğitimi, belirlenen epoch sayısının tamamlanmasıyla son bulur. Bu aşamada ağın yeterince eğitilip eğitilmediğinin kontrolü yapılır. Belirlenen epoch sayısı tamamlandığında toolbox Şekil 6.21'de görüldüğü gibi bir performans grafiği verir.



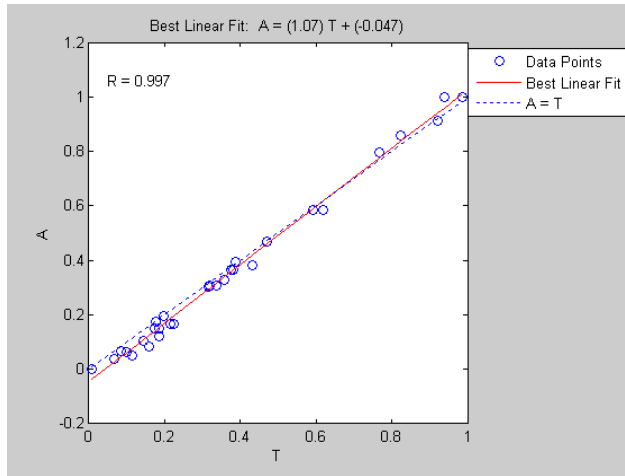
Şekil 6.21. Eğitilen YSA'nın performans grafiği

Grafikte yer alan yatay sabit çizgi, ağın öğrenmesi için konulan hedefi, diğer iki eğri ise eğitim ve test verilerine karşılık YSA'nın öğrenme performansının geldiği noktayı gösterir. Grafiğin en üst kısmında yer alan performans değeri ise, seçilen performans fonksiyonuna göre ağın öğrenme performansını gösterir.

Bunun dışında, eğitilmiş bir ağın, eğitim ve test verilerine bağlı olarak verdiği cevapları karşılaştırmak için Linear Regresyon analizi yapılabilir. Şekil 6.22 ve Şekil 6.23, sırasıyla eğitim ve test seti için ağ değerleriyle hedeflenen değerlerin karşılaştırılmasını göstermektedir.



Şekil 6.22. Ağ değerleriyle hedeflenen değerlerin lineer regresyonla karşılaştırılması (Eğitim seti)



Şekil 6.23. Ağ değerleriyle hedeflenen değerlerin lineer regresyonla karşılaştırılması (Test seti)

Disk son sıcaklığı tahmini için epoch bazlı, ileri beslemeli geri yayılım algoritması (Feed-forward backpropagation) içeren bir ağ yapısı

oluşturulmuştur. Ağın eğitilmesinde Levenberg-Marquardt öğrenme fonksiyonu kullanılmıştır. Transfer fonksiyonu olarak tanjant hiperbolik seçilmiştir.

İdeal YSA'yı oluşturabilmek için arakat nöron sayısı, epoch sayısı gibi değişkenler değiştirilerek Çizelge 6.3'de görüldüğü gibi toplam 20 farklı model oluşturulmuştur.

Çizelge 6.3. Disk son sıcaklığı tahmini için geliştirilen farklı YSA konfigürasyonlarının performansları

YSA	ARAKAT NÖRON SAYISI	TRANSFER FONKSİYONU	EPOCH SAYISI	AĞ PERFORMANSI			
				Lineer Regresyon (R)		Hata Kareleri Ortalaması(MSE) (R^2)	
				EĞİTİM	TEST	EĞİTİM	TEST
n21	3	Tanjant hiperbolik	100	0,99212	0,99377	0,99889	0,99807
n22			200	0,99215	0,99366	0,99889	0,99814
n23			300	0,99246	0,99477	0,99893	0,99838
n24			400	0,99217	0,99382	0,99889	0,99809
n25	5	Tanjant hiperbolik	100	0,99576	0,99541	0,99940	0,99833
n26			200	0,99373	0,99407	0,99911	0,99803
n27			300	0,99597	0,99592	0,99943	0,99841
n28			400	0,99673	0,99671	0,99954	0,99859
n29	7	Tanjant hiperbolik	100	0,99685	0,99697	0,99955	0,99867
n30			200	0,99707	0,99687	0,99958	0,99881
n31			300	0,99721	0,99522	0,99960	0,99862
n32			400	0,99737	0,99727	0,99963	0,99882
n33	9	Tanjant hiperbolik	100	0,99751	0,99724	0,99965	0,99874
n34			200	0,99842	0,99513	0,99978	0,99831
n35			300	0,99793	0,99604	0,99971	0,99854
n36			400	0,99811	0,99748	0,99973	0,99876
n37	11	Tanjant hiperbolik	100	0,99705	0,99427	0,99958	0,99866
n38			200	0,99841	0,99160	0,99977	0,99831
n39			300	0,99835	0,99700	0,99977	0,99880
n40			400	0,99835	0,99590	0,99977	0,99869

Oluşturulan ağların performans değerleri ve genelleme kabiliyeti dikkate alınarak 100 epoch'la eğitilen ve arakat nöron sayısı 7 olan "n29" ağı en uygun YSA olarak seçilmiştir.

6.2.5. Ağ performansı

YSA'nın öğrenme performansının sınanmasında, ileri beslemeli ağlarda sıkça kullanılan Hata Kareleri Ortalaması (MSE: Mean Square Error) performans fonksiyonu kullanılmıştır. Hata Kareleri Ortalaması;

$$MSE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (t_i - td_i)^2 \quad (6.16)$$

ile ifade edilir. Burada;

t_i : Hedef çıkışı,

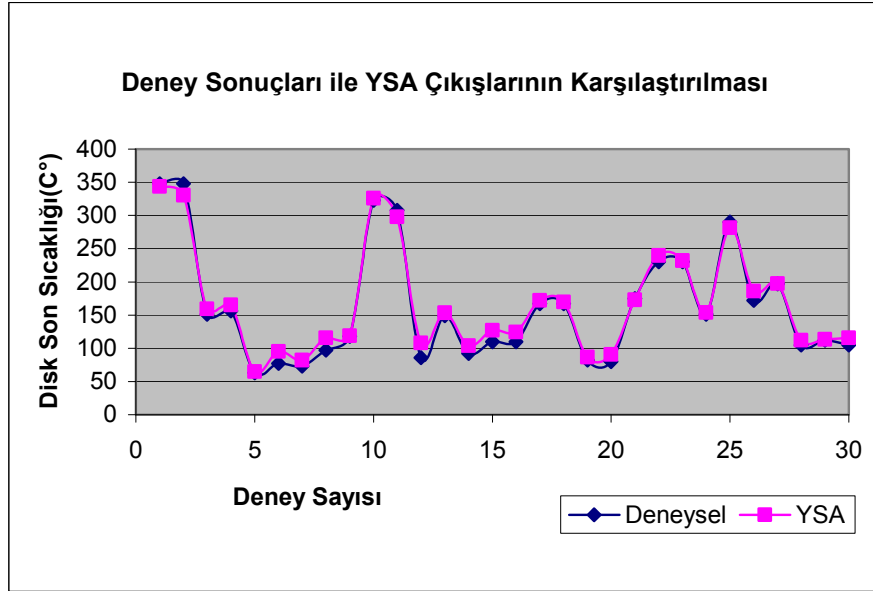
td_i : YSA'nın çıkışını ifade eder.

Ayrıca, eğitilmiş bir ağın çıkış değerleriyle hedeflenen değerler arasındaki uyumun sınındığı bir diğer performans fonksiyonu ise Lineer Regresyondur.

Seçilen "n29" ağının Hata Kareleri Ortalaması (R^2) değerleri eğitim seti için 0,99955 ve test seti için 0,99867 olarak bulunmuştur. Aynı ağın Lineer Regresyon analizi ile elde edilen Korelasyon Katsayısı (R) değerleri ise eğitim seti için 0,99685 ve test seti için 0,99697 şeklinde oluşmuştur. İdeal YSA modelini bulabilmek için denenen toplam 20 farklı YSA modelinin test setine verdiği cevapların yer aldığı çizelge EK-5'de yer almaktadır.

Şekil 6.24'de, "n29" ağının, test seti çıkışlarına verdiği cevapları içeren grafik yer almaktadır. Grafik incelendiğinde, ağ değerleriyle YSA çıkışları arasındaki uyumun başarılı olduğu görülmektedir.

Yokuş aşağı seyreden taşıtın farklı değişkenlere göre fren disk sıcaklığını tahmin etmek amacıyla geliştirilen "n29" ağının kullanımını kolaylaştırmak amacıyla Matlab ortamında hazırlanan sorgu kodları EK-6'da yer almaktadır.



Şekil 6.24. Disk son sıcaklığı tahmini için geliştirilen “n29” ağının deney sonuçları ile karşılaştırılması

6.3. Eğimli Yolda Yavaşlatıcı Torku Tahmini İçin YSA Modelinin Geliştirilmesi

Yavaşlatıcı torku tahmini için geliştirilen YSA modeli, %8 eğimli bir yolda iniş yapan bir taşıtın, hız, ağırlık, katettiği mesafe, disk başlangıç sıcaklığı ve disk son sıcaklığı değişkenlerinden yola çıkarak, bu iniş süresince yavaşlatıcı kullanıp kullanmadığı, kullandıysa hangi tork değerinde bir yavaşlatıcı kademesinden yararlandığı yönündeki tahmini içermektedir.

6.3.1. Veri setinin oluşturulması

Önceden hazırlanmış deney prosedürüne göre gerçekleştirilen yol deneylerinden elde edilen toplam 270 satırlık veri seti, bu modelin veri kaynağını oluşturmaktadır.

6.3.2. Eğitim ve test setlerinin elde edilmesi

Hazırlanan veri setinin 230 adedi eğitim seti olarak seçilmiş, kalan 40 veri ise test seti olarak ayrılmıştır.

6.3.3. Verilerin normalizasyonu

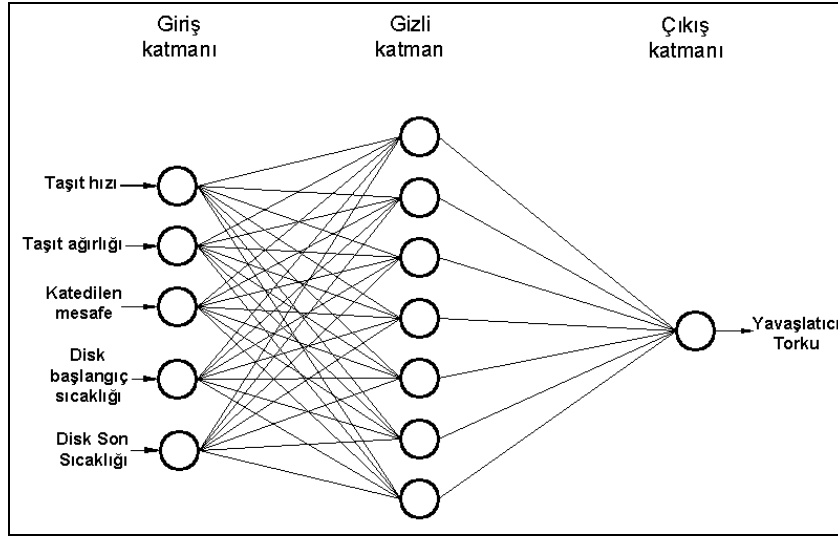
Eğitim ve test için ayrılan veri kümeleri 0 ile 1 arasında normalize edilmiştir. Veriler YSA'ya sunulurken Matlab ortamında normalizasyon kodları yazılmıştır. Normalizasyon kodları EK-7'de yer almaktadır.

6.3.4. Ağ mimarisi ve öğrenme algoritması seçimi

Yavaşlatıcı torku tahmini için geliştirilen ağ modelinde 5 giriş ve 1 çıkış bulunmaktadır. Giriş katmanında;

- Taşıt hızı
- Taşıt ağırlığı
- Eğimli yolda katedilen mesafe
- Disk başlangıç sıcaklığı
- Disk son sıcaklığı

değişkenleri yer almakta, çıkış katmanında ise Yavaşlatıcı Torku bulunmaktadır. Gizli katman sayısı ve gizli katmandaki nöron sayısının belirlenmesi için değişik alternatifler denenmiş ve gizli katmanında 7 nöronun yer aldığı ağ mimarisi seçilmiştir (Şekil 6.25).



Şekil 6.25. Yavaşlatıcı torku tahmini için geliştirilen YSA mimarisi

Yavaşlatıcı torku tahmini için epoch bazlı, ileri beslemeli geri yayılım algoritması (Feed-forward backpropagation) içeren bir ağ yapısı oluşturulmuştur. Ağın eğitilmesinde Levenberg-Marquardt öğrenme fonksiyonu kullanılmıştır. Transfer fonksiyonu olarak tanjant hiperbolik seçilmiştir.

Arakat nöron sayısı, epoch sayısı gibi değişkenlerin değiştirilmesiyle Çizelge 6.4'de görüldüğü gibi toplam 15 farklı model oluşturulmuştur. Oluşturulan ağların performans değerleri ve genelleme kabiliyeti dikkate alınarak 300 epoch'la eğitilen ve arakat nöron sayısı 7 olan "r8" ağı en uygun YSA olarak seçilmiştir.

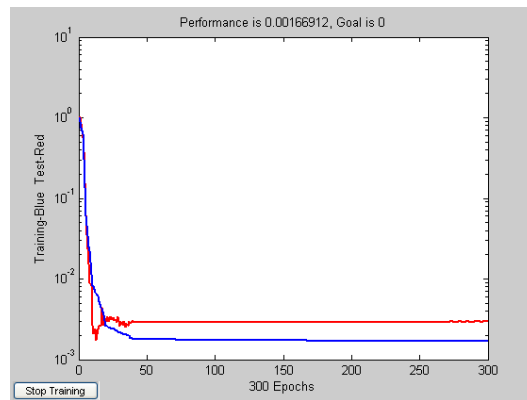
6.3.5. Ağ performansı

Yavaşlatıcı torku tahmini için geliştirilen "r8" ağının Hata Kareleri Ortalaması (R^2) değerleri eğitim seti için 0,99833 ve test seti için ise 0,99704 olarak görülmüştür. Aynı ağın Linear Regresyon analizi ile elde edilen Korelasyon Katsayısı (R) değerleri ise eğitim seti için 0,99268 ve test seti için 0,99122 şeklinde oluşmuştur. Ağın öğrenme performansının grafiksel görünümü

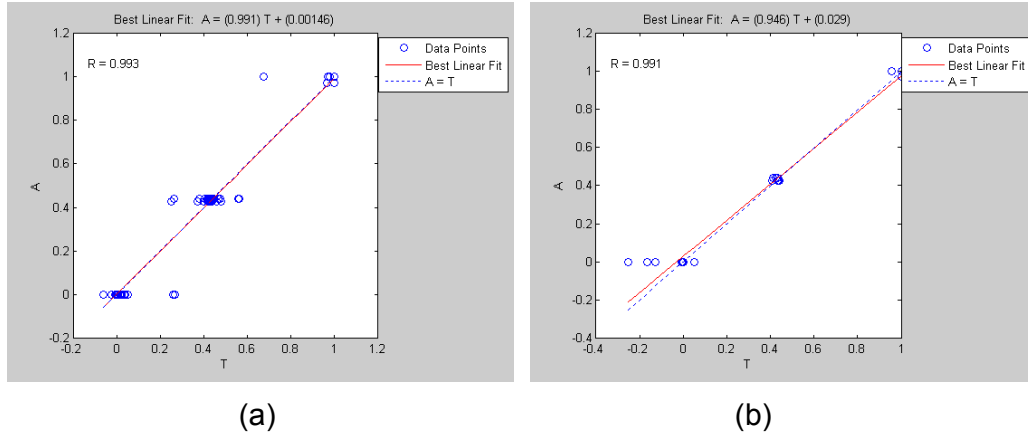
Şekil 6.26'de yer almaktadır. Eğitim ve test setleri ile ağ çıkışlarının lineer regresyon görünümü ise Şekil 6.27'de görülmektedir.

Çizelge 6.4. Yavaşlatıcı torku tahmini için geliştirilen farklı YSA konfigürasyonlarının performansları

YSA	ARAKAT NÖRON SAYISI	TRANSFER FONKSİYONU	EPOCH SAYISI	AĞ PERFORMANSI			
				Lineer Regresyon (R)		Hata Kareleri Ortalaması(MSE) (R^2)	
				EĞİTİM	TEST	EĞİTİM	TEST
r1	3	Tanjant hiperbolik	100	0,95929	0,99251	0,99092	0,99781
r2			300	0,97602	0,99341	0,99461	0,99821
r3			500	0,95653	0,98521	0,99026	0,99537
r4	5	Tanjant hiperbolik	100	0,98835	0,99706	0,99737	0,99919
r5			300	0,98103	0,98378	0,99573	0,99828
r6			500	0,98777	0,99268	0,99723	0,99800
r7	7	Tanjant hiperbolik	100	0,97365	0,99302	0,99407	0,99810
r8			300	0,99268	0,99122	0,99833	0,99704
r9			500	0,98699	0,98319	0,99704	0,99551
r10	9	Tanjant hiperbolik	100	0,98852	0,99272	0,99740	0,99792
r11			300	0,99329	0,99580	0,99847	0,99870
r12			500	0,99566	0,98717	0,99900	0,99604
r13	11	Tanjant hiperbolik	100	0,98414	0,99360	0,99642	0,99828
r14			300	0,99946	0,99886	0,99988	0,99967
r15			500	0,99418	0,99704	0,99868	0,99906



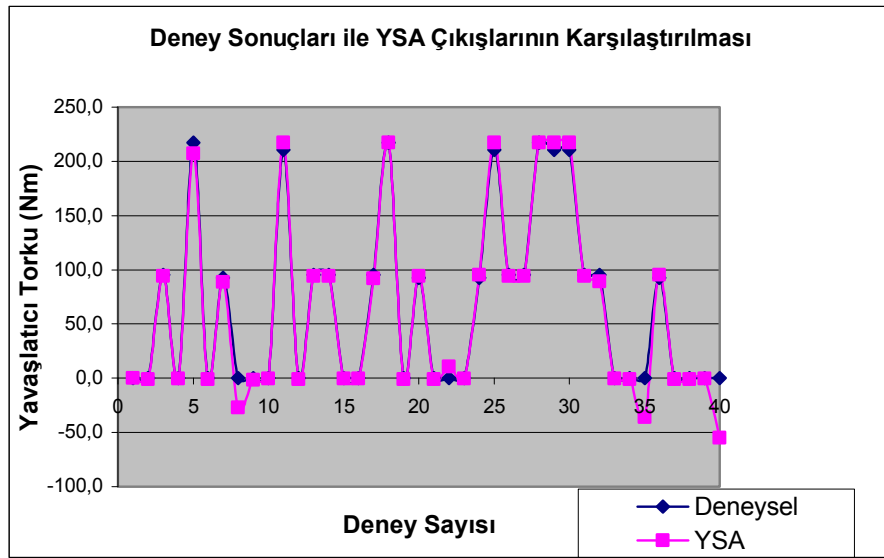
Şekil 6.26. Yavaşlatıcı torku tahmini için geliştirilen "r8" ağının öğrenme performansı



Şekil 6.27. “r8” ağı çıkışlarının eğitim ve test verileri için lineer regresyon yaklaşımıyla karşılaştırılması, a) eğitim seti, b) test seti

İdeal YSA modelini belirleyebilmek için denenen toplam 15 YSA modelinin test setine verdiği cevapların yer aldığı çizelge EK-8’de görülmektedir.

Şekil 6.28’de, “r8” ağının, test seti çıkışlarına verdiği cevapları içeren grafik yer almaktadır. Grafik incelendiğinde, ağ değerleriyle YSA çıkışları arasındaki uyumun başarılı olduğu görülmektedir.



Şekil 6.28. Yavaşlatıcı torku tahmini için geliştirilen “r8” ağının deney sonuçları ile karşılaştırılması

Yokuş aşığı seyreden taşıtın farklı değişkenlere göre yavaşlatıcı torqu değerlerini tahmin etmek amacıyla geliştirilen “r8” ağıının kullanımını kolaylaştırmak amacıyla Matlab ortamında hazırlanan sorgu kodları EK-9’da yer almaktadır.

6.4. Eğimli Yolda Taşıt Ağırlığı Tahmini İçin YSA Modelinin Geliştirilmesi

Taşıt ağırlığı tahmini için geliştirilen YSA modeli, %8 eğimli bir yolda yokuş aşığı iniş yapan taşıtın, hız, katettiğı mesafe, disk başlangıç sıcaklığı, disk son sıcaklığı ve yavaşlatıcı kademesi değişkenlerinden yola çıkarak, taşıtın ağırlığını tahmin etmeyi içermektedir.

6.4.1. Veri setinin oluşturulması

Bu modelin tasarlanmasında da diğer modellerde kullanılan 270 satırlık veri setinden faydalanılmıştır.

6.4.2. Eğitim ve test setlerinin elde edilmesi

Mevcut veri setinin 230 adedi eğitim seti olarak seçilmiş, kalan 40 veri ise test seti olarak ayrılmıştır.

6.4.3. Verilerin normalizasyonu

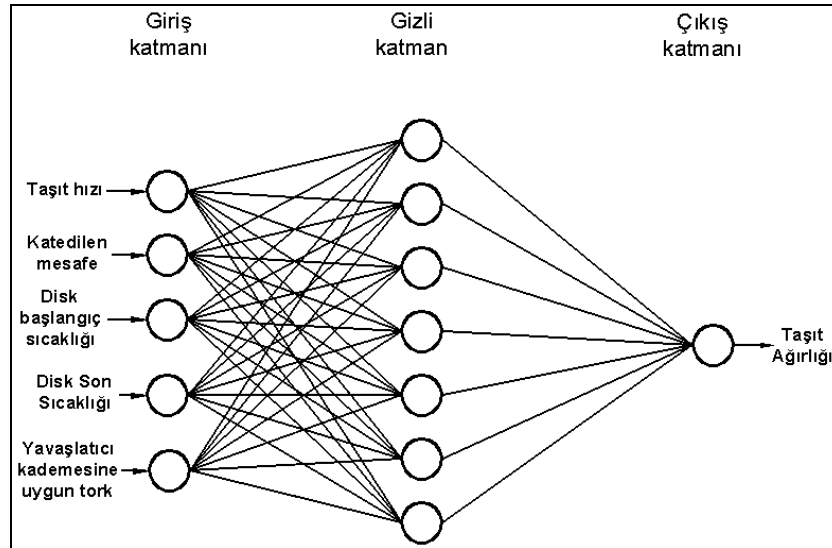
Eğitim ve test için ayrılan veri kümeleri 0 ile 1 arasında normalize edilmiştir. Veriler YSA’ya sunulurken Matlab ortamında normalizasyon kodları yazılmıştır. Normalizasyon kodları EK-10’da yer almaktadır.

6.4.4. Ağ mimarisi ve öğrenme algoritması seçimi

Yavaşlatıcı torku tahmini için geliştirilen ağ modelinde 5 giriş ve 1 çıkış bulunmaktadır. Giriş katmanında;

- Taşıt hızı
- Eğimli yolda katedilen mesafe
- Disk başlangıç sıcaklığı
- Disk son sıcaklığı
- Yavaşlatıcı kademesi

değişkenleri yer almakta, çıkış katmanında ise “Taşıt Ağırlığı” bulunmaktadır. Gizli katman sayısı ve gizli katmandaki nöron sayısının belirlenmesi için değişik alternatifler denenmiş, ve yapılan denemeler sonucunda Şekil 6.29’da şematik görünümü verilen ve gizli katmanında 7 nöron bulunan ağ mimarisi seçilmiştir.



Şekil 6.29. Taşıtların ağırlığı tahmini için geliştirilen YSA mimarisi

Taşıt ağırlığı tahmini için epoch bazlı, ileri beslemeli geri yayılım algoritması (Feed-forward backpropagation) içeren bir ağ yapısı oluşturulmuştur. Ağın eğitilmesinde Levenberg-Marquardt öğrenme fonksiyonu kullanılmıştır. Transfer fonksiyonu olarak tanjant hiperbolik seçilmiştir.

Arakat nöron sayısı, epoch sayısı gibi değişkenlerin değiştirilmesiyle oluşturulan toplam 9 farklı YSA modelinin performans detayları Çizelge 6.5'de yer almaktadır.

Oluşturulan ağların performans değerleri ve genelleme kabiliyeti dikkate alınarak 500 epoch'la eğitilen ve arakat nöron sayısı 7 olan "m9" ağı en uygun YSA olarak seçilmiştir.

Çizelge 6.5. Taşıt ağırlığı tahmini için geliştirilen farklı YSA konfigürasyonlarının performansları

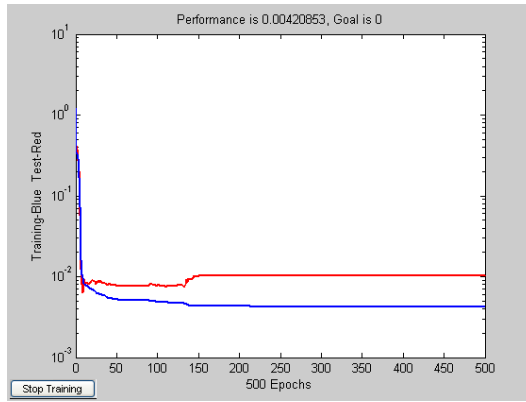
YSA	ARAKAT NÖRON SAYISI	TRANSFER FONKSİYONU	EPOCH SAYISI	AĞ PERFORMANSI			
				Lineer Regresyon (R)		Hata Kareleri Ortalaması(MSE) (R^2)	
				EĞİTİM	TEST	EĞİTİM	TEST
m1	3	Tanjant hiperbolik	100	0,98264	0,96307	0,99320	0,98529
m2			300	0,98130	0,98723	0,99266	0,99470
m3			500	0,98577	0,97160	0,99441	0,98798
m4	5	Tanjant hiperbolik	100	0,98360	0,97260	0,99357	0,98836
m5			300	0,98510	0,94708	0,99415	0,97893
m6			500	0,99093	0,96306	0,99643	0,98480
m7	7	Tanjant hiperbolik	100	0,98535	0,93878	0,99424	0,97299
m8			300	0,99168	0,78761	0,99673	0,96833
m9			500	0,98931	0,97516	0,99579	0,98957

6.4.5. Ağ performansı

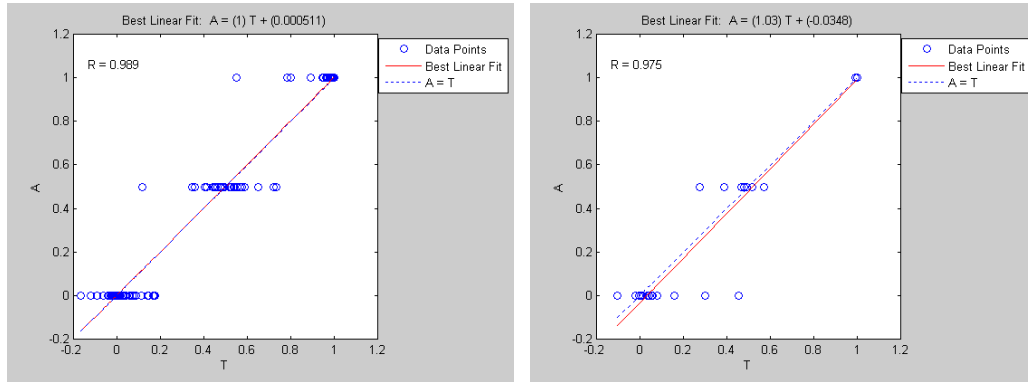
Taşıt ağırlığı tahmini için geliştirilen "m9" ağının Hata Kareleri Ortalaması (R^2) değerleri eğitim seti için 0,99579 ve test seti için ise 0,98957 olarak görülmüştür. Aynı ağın Lineer Regresyon analizi ile elde edilen Korelasyon

Katsayısı (R) değerleri ise eğitim seti için 0,98931 ve test seti için 0,97516 şeklinde oluşmuştur.

Ağın öğrenme performansının grafiksel görünümü Şekil 6.30'da yer almaktadır. Eğitim ve test setleri ile ağ çıkışlarının lineer regresyon görünümü ise Şekil 6.31'de görülmektedir.



Şekil 6.30. Taşıtlı ağırlığı tahmini için geliştirilen "m9" ağının öğrenme performansı



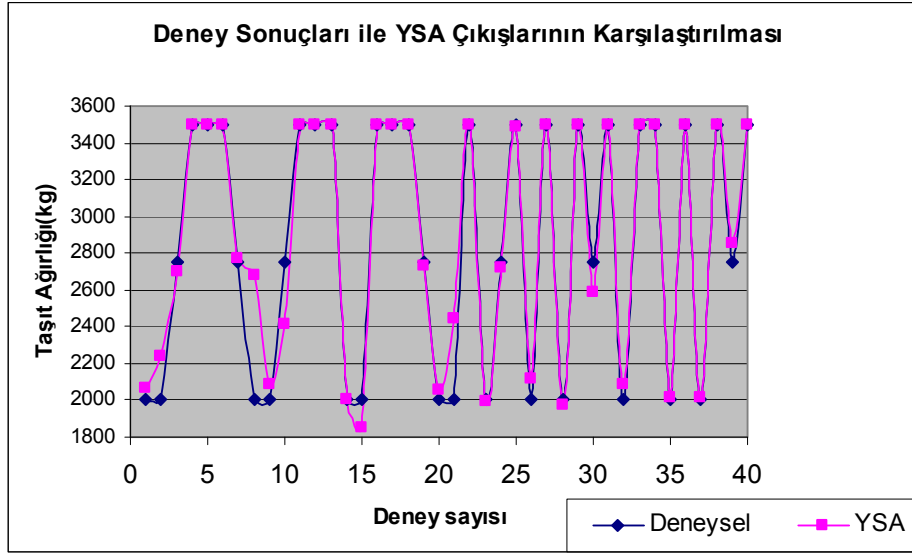
(a)

(b)

Şekil 6.31. "m9" ağı çıkışlarının eğitim ve test verileri için lineer regresyon yaklaşımıyla karşılaştırılması, a) eğitim seti, b) test seti

İdeal YSA modelini belirleyebilmek için denenen toplam 9 YSA modelinin test setine verdiği cevapların yer aldığı çizelge EK-11'de verilmiştir.

Şekil 6.32’de, “m9” ağıının, test seti çıkışlarına verdiği cevapları içeren grafik yer almaktadır. Grafik incelendiğinde, ağı değerleriyle YSA çıkışları arasında iyi bir korelasyon olduğu görülmektedir.



Şekil 6.32. Taşıt ağırlığı tahmini için geliştirilen "m9" ağıının deney sonuçları ile karşılaştırılması

Yokuş aşağı seyreden taşıtın farklı değişkenlere göre taşıt ağırlığını tahmin etmek amacıyla geliştirilen “m9” ağıının kullanımını kolaylaştırmak amacıyla Matlab ortamında hazırlanan sorgu kodları EK-12’de yer almaktadır.

6.5. Eğimli Yolda Taşıt Hızı ve Yavaşlatıcı Torku Tahmini İçin YSA Modelinin Geliştirilmesi

Tasarlanan YSA modeli, %8 eğimli bir yolda yokuş aşağı iniş yapan taşıtın, ağırlığı, katettiği mesafe, disk başlangıç sıcaklığı ve disk son sıcaklığı değişkenlerinden yola çıkarak, taşıtın iniş süresince yaptığı ortalama hızı ve yavaşlatıcı kullanıp kullanmadığını, yavaşlatıcı kullandıysa hangi tork değerinde olduğunu tahmin etmeyi içermektedir.

6.5.1. Veri setinin oluşturulması

Modelin tasarlanmasında yol deneylerinden elde edilerek işlenen toplam 270 satırlık veri setinden faydalanılmıştır.

6.5.2. Eğitim ve test setlerinin elde edilmesi

Mevcut veri setinin 230 adedi eğitim seti olarak seçilmiş, kalan 40 veri ise test seti olarak ayrılmıştır.

6.5.3. Verilerin normalizasyonu

Eğitim ve test için ayrılan veri kümeleri 0 ile 1 arasında normalize edilmiştir. Veriler YSA'ya sunulurken Matlab ortamında normalizasyon kodları yazılmıştır. Normalizasyon kodları EK-13'de yer almaktadır.

6.5.4. Ağ mimarisi ve öğrenme algoritması seçimi

“Taşıt Hızı” ve “Yavaşlatıcı Torku” tahmini için geliştirilen ağ modelinde 4 giriş ve 2 çıkış bulunmaktadır. Giriş katmanında;

- Taşıt ağırlığı
- Eğimli yolda katedilen mesafe
- Disk başlangıç sıcaklığı
- Disk son sıcaklığı

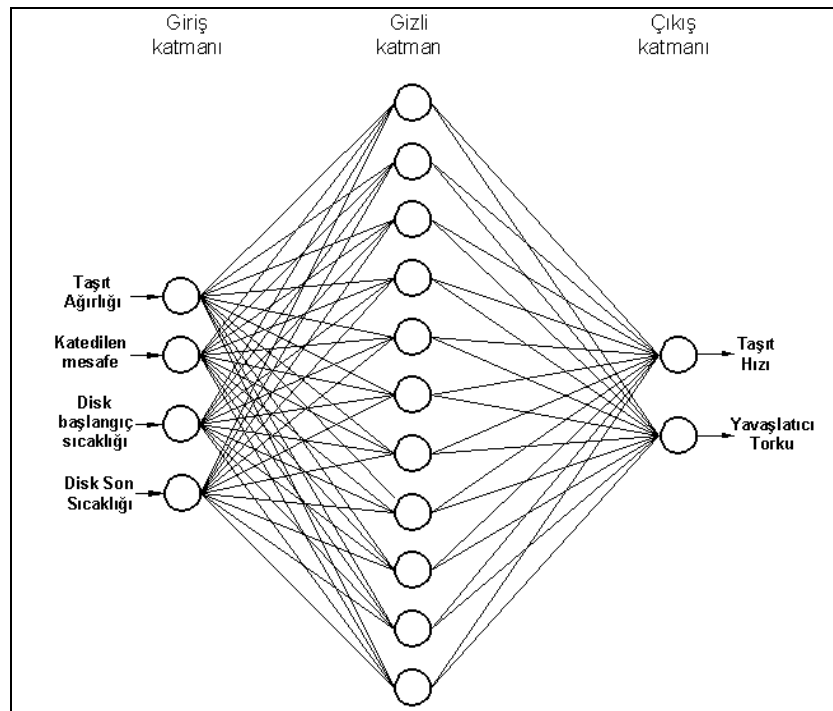
değişkenleri yer almakta, çıkış katmanında ise;

- Taşıt hızı
 - Yavaşlatıcı kademesi
- bulunmaktadır.

Gizli katman sayısı ve gizli katmandaki nöron sayısının belirlenmesi için değişik alternatifler denenmiş, yapılan denemeler sonucunda Şekil 6.33'de şematik görünümü verilen ve ara katmanında 11 nöron bulunan YSA mimarisi seçilmiştir.

İki çıkışlı YSA modeli için epoch bazlı, ileri beslemeli geri yayılım algoritması (Feed-forward backpropagation) içeren bir ağ yapısı oluşturulmuştur. Ağın eğitilmesinde Levenberg-Marquardt öğrenme fonksiyonu kullanılmıştır. Transfer fonksiyonu olarak tanjant hiperbolik seçilmiştir.

Arakat nöron sayısı, epoch sayısı gibi değişkenlerin değiştirilmesiyle oluşturulan toplam 15 farklı YSA modelinin performans detayları EK-14'de yer almaktadır. Oluşturulan ağların performans değerleri ve genelleme kabiliyeti dikkate alınarak 300 epoch'la eğitilen ve arakat nöron sayısı 11 olan "vr15" ağı en uygun YSA olarak seçilmiştir.



Şekil 6.33. Taşıt hızı ve yavaşlatıcı torku tahmini için geliştirilen YSA mimarisi

6.5.5. Ağ performansı

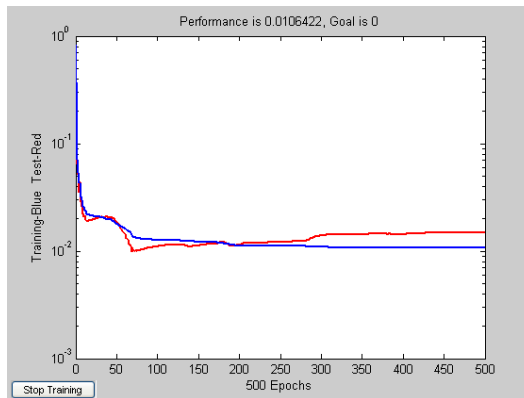
Taşıt hızı ve yavaşlatıcı torku tahmini için geliştirilen “vr15” ağının eğitim ve test setleri için Hata Kareleri Ortalaması (R^2) ve Lineer Regresyon analizi ile elde edilen Korelasyon Katsayısı (R) değerleri Çizelge 6.6’da görülmektedir.

Çizelge 6.6. Taşıt hızı ve yavaşlatıcı torku tahmini için geliştirilen “vr15” ağının performans değerleri

YSA	AĞ PERFORMANSI								AĞIN GENEL PERF. (MSE)
	TAŞIT HIZI				YAVAŞLATICI TORKU				
	Lineer Regresyon (R)		Hata Kareleri Ortalaması(MSE) R^2		Lineer Regresyon (R)		Hata Kareleri Ortalaması(MSE) R^2		
EĞİTİM	TEST	EĞİTİM	TEST	EĞİTİM	TEST	EĞİTİM	TEST		
vr15	0,84784	0,77459	0,98333	0,97304	0,97950	0,99032	0,99538	0,99736	0,98935

Çizelgede de görüldüğü gibi ağın genel performansına ait Hata Kareleri Ortalaması değeri $R^2=0,98935$ 'dir. Bu değer iki çıkışlı bir ağ yapısı için oldukça başarılı olduğu söylenebilir.

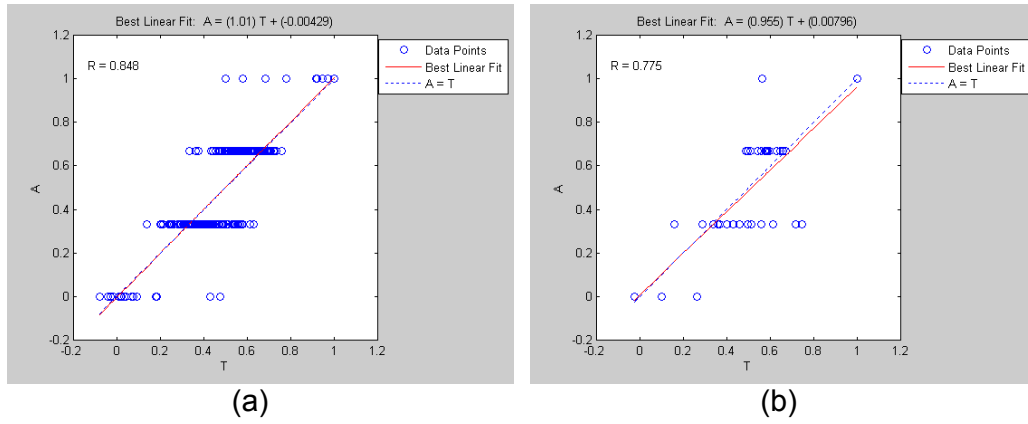
Seçilen YSA modelinin öğrenme performansının grafiksel görünümü Şekil 6.34’de yer almaktadır.



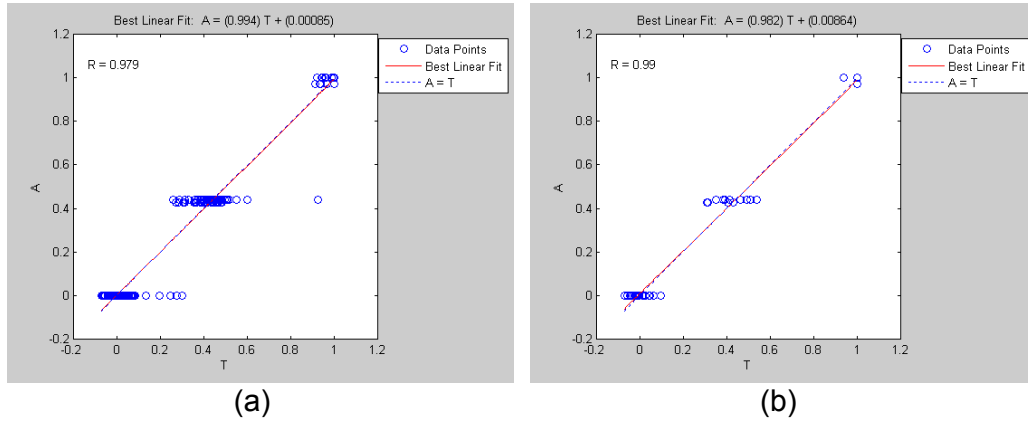
Şekil 6.34. Taşıt hızı ve yavaşlatıcı torku tahmini için geliştirilen “vr15” ağının öğrenme performansı

Eğitim ve test setleri ile ağ çıkışlarının taşıt hızı için lineer regresyon yaklaşımıyla karşılaştırılmasını içeren grafiksel görünüm Şekil 6.35'de görüldüğü gibidir.

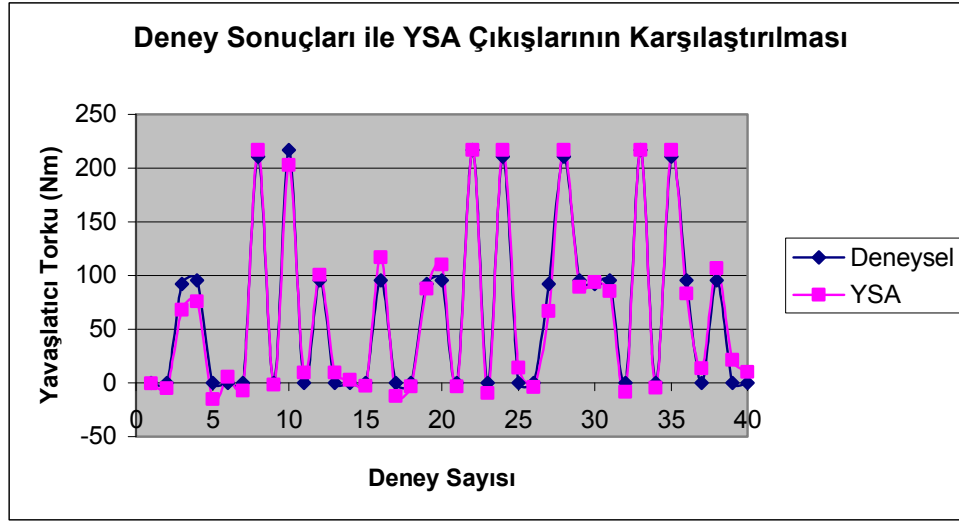
Ağın, yavaşlatıcı torkuna ait eğitim ve test setleri ile ağ çıkışlarının lineer regresyon yaklaşımıyla karşılaştırılmasını içeren grafiksel görünüm de Şekil 6.36'da yer almaktadır.



Şekil 6.35. "vr15" ağının taşıt hızı çıkışlarının eğitim ve test verileri için lineer regresyon yaklaşımıyla karşılaştırılması, a) eğitim seti, b) test seti



Şekil 6.36. "vr15" ağının yavaşlatıcı torku çıkışlarının eğitim ve test verileri için lineer regresyon yaklaşımıyla karşılaştırılması, a) eğitim seti, b) test seti



Şekil 6.38. Taşıt hızı ve yavaşlatıcı torku tahmini için geliştirilen “vr15” ağının deney sonuçları ile karşılaştırılması (Yavaşlatıcı torku)

Geliştirilen “vr15” modelinin kullanımı için Matlab ortamında hazırlanan sorgu kodları EK-17’de görülmektedir.

6.6. Eğimli Yolda Taşıt Ağırlığı ve Taşıtın Katettiği Mesafe Tahmini İçin YSA Modelinin Geliştirilmesi

%8 eğimli bir yolda yokuş aşağı seyreden taşıtın, taşıt hızı, yavaşlatıcı torku, disk başlangıç sıcaklığı ve disk son sıcaklığı değişkenlerinden yola çıkarak, taşıtın ağırlığını ve katettiği mesafeyi tahmin etmeyi amaçlayan bir YSA modeli geliştirilmiştir.

6.6.1. Veri setinin oluşturulması

Modelin tasarlanmasında yol deneylerinden elde edilerek işlenen toplam 270 satırlık veri setinden faydalanılmıştır.

6.6.2. Eğitim ve test setlerinin elde edilmesi

Mevcut veri setinin 230 adedi eğitim seti olarak seçilmiş, kalan 40 veri ise test seti olarak ayrılmıştır.

6.6.3. Verilerin normalizasyonu

Eğitim ve test için ayrılan veri kümeleri 0 ile 1 arasında normalize edilmiştir. Veriler YSA'ya sunulurken Matlab ortamında normalizasyon kodları yazılmıştır. Normalizasyon kodları EK-18'de yer almaktadır.

6.6.4. Ağ mimarisi ve öğrenme algoritması seçimi

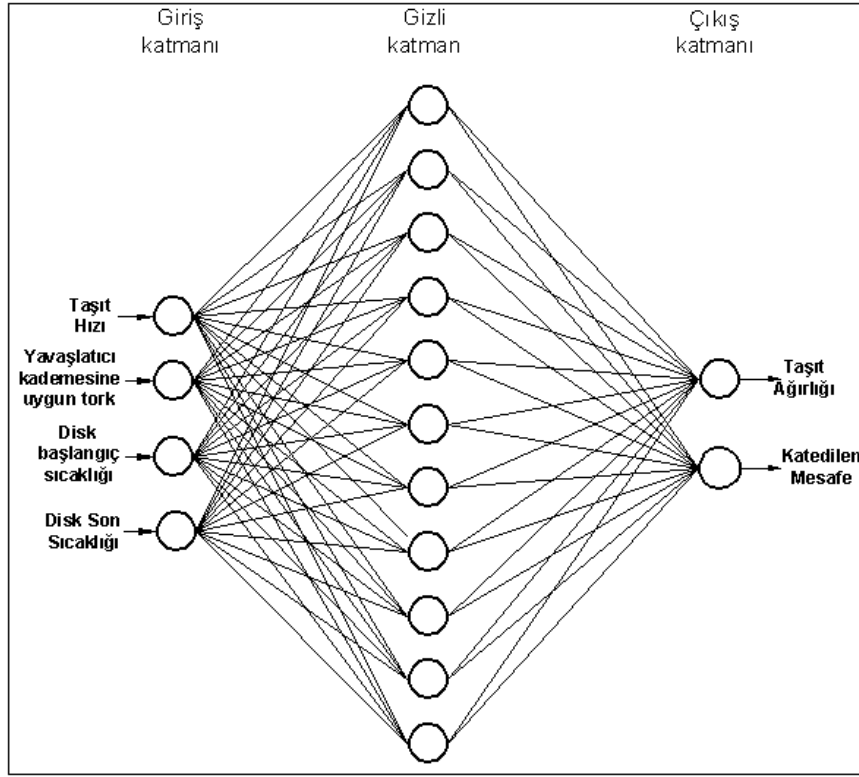
“Taşıt Ağırlığı” ve “Katedilen Mesafe” tahmini için geliştirilen ağ modelinde 4 giriş ve 2 çıkış bulunmaktadır. Giriş katmanında;

- Taşıt hızı
- Yavaşlatıcı torku
- Disk başlangıç sıcaklığı
- Disk son sıcaklığı

değişkenleri yer almakta, çıkış katmanında ise;

- Taşıt ağırlığı
 - Eğimli yolda katedilen mesafe
- bulunmaktadır.

Gizli katman sayısı ve gizli katmandaki nöron sayısının belirlenmesi için değişik alternatifler denenmiş, yapılan denemeler sonucunda Şekil 39'da şematik görünümü verilen ve ara katmanında 11 nöron bulunan YSA mimarisi seçilmiştir.



Şekil 6.39. Taşıtlı ağırlığı ve katedilen mesafe tahmini için geliştirilen YSA mimarisi

İki çıkışlı YSA modeli için epoch bazlı, ileri beslemeli geri yayılım algoritması (Feed-forward backpropagation) içeren bir ağ yapısı oluşturulmuştur. Ağın eğitilmesinde Levenberg-Marquardt öğrenme fonksiyonu kullanılmıştır. Transfer fonksiyonu olarak tanjant hiperbolik seçilmiştir.

Arakat nöron sayısı, epoch sayısı gibi değişkenlerin değiştirilmesiyle oluşturulan toplam 15 farklı YSA modelinin performans detayları EK-19'da yer almaktadır. Oluşturulan ağların performans değerleri ve genelleme kabiliyeti dikkate alınarak 300 epoch'la eğitilen ve arakat nöron sayısı 11 olan "ms14" ağı en uygun YSA olarak seçilmiştir.

6.6.5. Ağ performansı

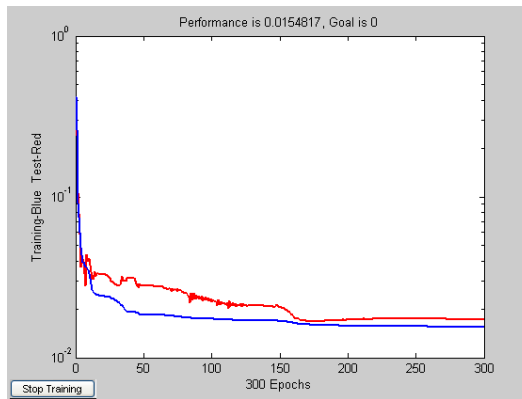
Taşıt ağırlığı ve katedilen mesafe tahmini için geliştirilen “ms14” ağının eğitim ve test setleri için Hata Kareleri Ortalaması (R^2) ve Lineer Regresyon analizi ile elde edilen Korelasyon Katsayısı (R) değerleri Çizelge 6.7’de görülmektedir.

Çizelge 6.7. Taşıt ağırlığı ve katedilen mesafe tahmini için geliştirilen “ms14” ağının performans değerleri

YSA	AĞ PERFORMANSI								AĞIN GENEL PERF. (MSE)
	TAŞIT AĞIRLIĞI				KATEDİLEN MESAFE				
	Lineer Regresyon (R)		Hata Kareleri Ortalaması(MSE) R^2		Lineer Regresyon (R)		Hata Kareleri Ortalaması(MSE) R^2		
ms14	EĞİTİM	TEST	EĞİTİM	TEST	EĞİTİM	TEST	EĞİTİM	TEST	
	0,96440	0,97997	0,98617	0,99098	0,89457	0,88450	0,98286	0,97445	0,98452

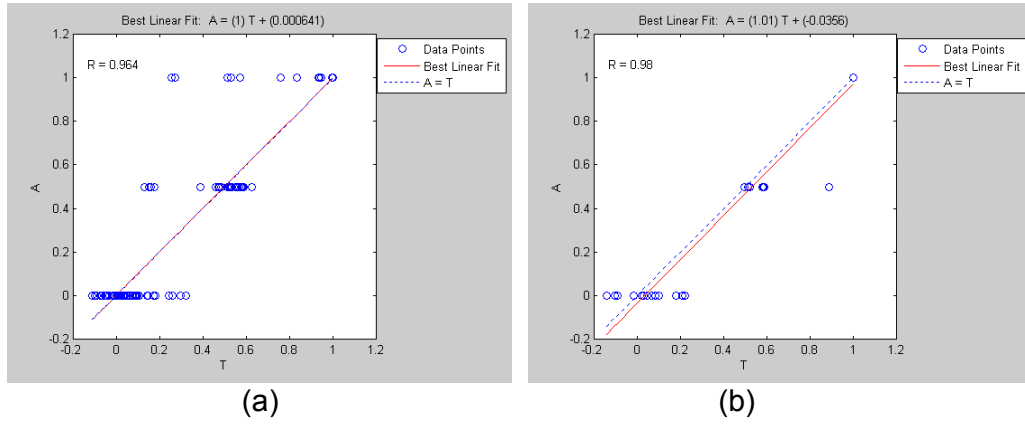
Çizelgede de görüldüğü gibi ağın genel performansına ait Hata Kareleri Ortalaması değeri $R^2=0,98452$ ’dir olup, iki çıkışlı bir ağ yapısı için oldukça başarılı bir performans elde edilmiştir.

Seçilen YSA modelinin öğrenme performansının grafiksel görünümü Şekil 6.40’da yer almaktadır.



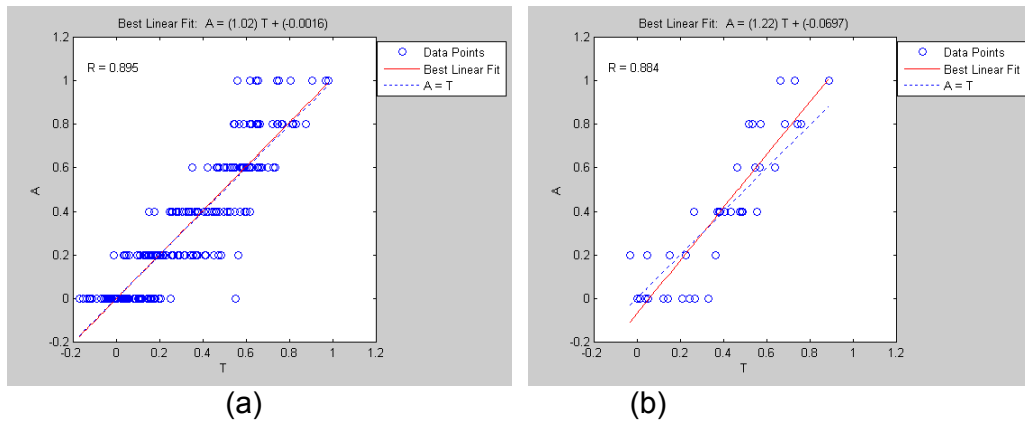
Şekil 6.40. Taşıt ağırlığı ve katedilen mesafe tahmini için geliştirilen “ms14” ağının öğrenme performansı

Eğitim ve test setleri ile ağ çıkışlarının taşıt ağırlığı için lineer regresyon yaklaşımıyla karşılaştırılmasını içeren grafiksel görünüm Şekil 6.41’de görüldüğü gibidir.



Şekil 6.41. “ms14” ağının taşıt ağırlığı çıkışlarının eğitim ve test verileri için lineer regresyon yaklaşımıyla karşılaştırılması, a) eğitim seti, b) test seti

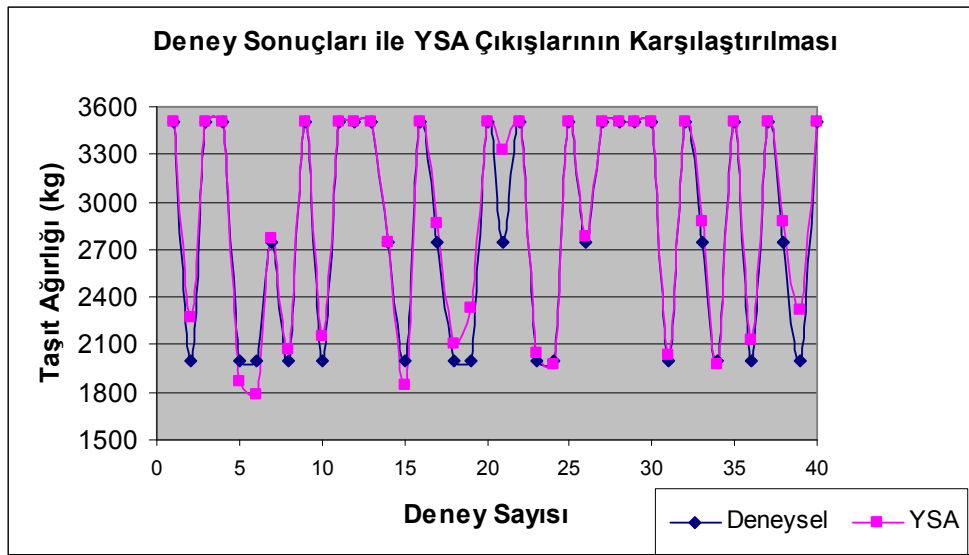
Katedilen mesafeye ait eğitim ve test setleri ile ağ çıkışlarının lineer regresyon yaklaşımıyla karşılaştırılmasını içeren grafiksel görünüm ise Şekil 6.42’de yer almaktadır.



Şekil 6.42. “ms14” ağının katedilen mesafe çıkışlarının eğitim ve test verileri için lineer regresyon yaklaşımıyla karşılaştırılması, a) eğitim seti, b) test seti

En uygun YSA modelini belirleyebilmek için denenen toplam 15 farklı YSA modelinin taşıt ağırlığına ait test setine verdiği cevapların yer aldığı çizelge EK-20’de, taşıtın eğimli yolda katettiği mesafeye ait test setine verdiği cevapların tablo görünümü ise EK-21’de yer almaktadır.

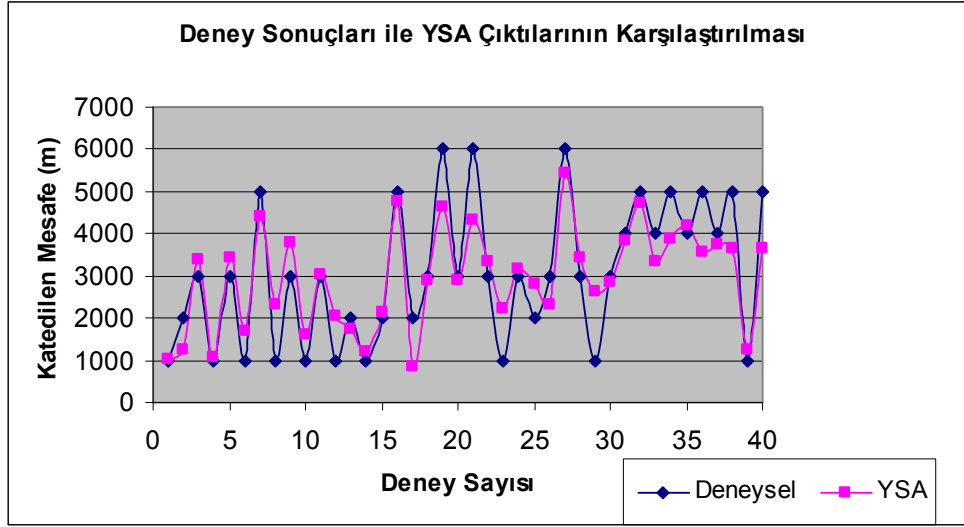
Şekil 6.43’de, “ms14” ağının, taşıt ağırlığına ait test seti çıkışlarına verdiği cevapları içeren grafik yer almaktadır.



Şekil 6.43. Taşıt ağırlığı ve katedilen mesafe tahmini için geliştirilen “ms14” ağının deney sonuçları ile karşılaştırılması (Taşıt ağırlığı)

Şekil 6.44’de ise aynı karşılaştırmanın katedilen mesafeye ait test seti çıkışlarına uygulandığı görülmektedir.

Her iki grafik de incelendiğinde, geliştirilen modelin gerek taşıt ağırlığı, gerekse taşıtın eğimli yolda katettiği mesafe tahmininde oldukça başarılı olduğu görülmektedir.



Şekil 6.44. Taşıtlı ağırlığı ve katedilen mesafe tahmini için geliştirilen “ms14” ağırlığın deney sonuçları ile karşılaştırılması (Katedilen mesafe)

Geliştirilen “ms14” modelinin kullanımı için Matlab ortamında hazırlanan sorgu kodları EK-22’de yer almaktadır.

6.7. Düz Yolda Durma Mesafesi Tahmini İçin YSA Modelinin Geliştirilmesi

Geliştirilen modelden amaç, düz yolda seyreden taşıtlın, hız, ağırlık, frenleme anında uygulanan pedal kuvveti ve fren diskinin sıcaklığı değişkenlerinden faydalanarak durma mesafesini tahmin etmeyi içermektedir.

6.7.1. Veri setinin oluşturulması

YSA modelinin tasarlanması için, önceden hazırlanan deney prosedürüne göre uygulanan fren etkinliği deneylerinden elde verilerden faydalanılmıştır. Düz yol fren etkinliği deneylerinde, 27 adet yüklü, 27 adet yüksüz ve 6 adet de yarı yüklü konfigürasyonda olmak üzere toplam 60 satırlık ölçüm yapılmıştır.

6.7.2. Eğitim ve test setlerinin elde edilmesi

Düz yol fren etkinliği deneylerinden elde edilen 60 satırlık veri setinin 48 adedi eğitim, kalan 12 adedi ise test seti olarak ayrıştırılmıştır.

6.7.3. Verilerin normalizasyonu

Eğitim ve test için ayrılan veri kümeleri 0 ile 1 arasında normalize edilmiştir. Veriler YSA'ya sunulurken Matlab ortamında normalizasyon kodları yazılmıştır. Normalizasyon kodları EK-23'de yer almaktadır.

6.7.4. Ağ mimarisi ve öğrenme algoritması seçimi

“Durma Mesafesi” tahmini için geliştirilen ağ modelinde 4 giriş ve 1 çıkış bulunmaktadır. Giriş katmanında;

- Taşıt hızı
- Taşıt ağırlığı
- Pedal kuvveti
- Disk sıcaklığı

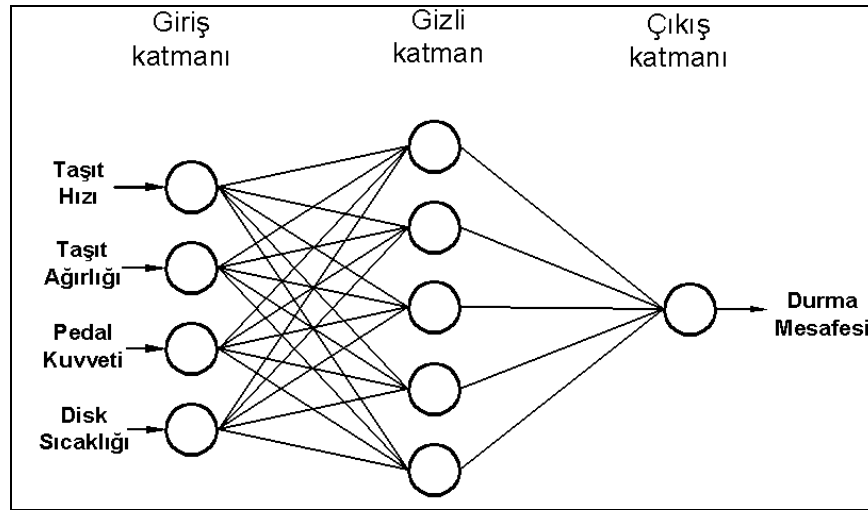
değişkenleri yer almakta, çıkış katmanında ise “Durma Mesafesi” bulunmaktadır.

Gizli katman sayısı ve gizli katmandaki nöron sayısının belirlenmesi için değişik alternatifler denenmiş, yapılan denemeler sonucunda Şekil 6.45'de şematik görünümü verilen ve ara katmanında 5 nöron bulunan YSA mimarisi seçilmiştir.

YSA'nın tasarımında ve eğitilmesinde epoch bazlı, ileri beslemeli geri yayılım algoritması (Feed-forward backpropagation) içeren bir ağ yapısı

oluşturulmuştur. Ağın eğitilmesinde Levenberg-Marquardt öğrenme fonksiyonu kullanılmıştır. Transfer fonksiyonu olarak tanjant hiperbolik seçilmiştir.

Arakat nöron sayısı, epoch sayısı gibi değişkenlerin değiştirilmesiyle oluşturulan toplam 15 farklı YSA modelinin performans detayları Çizelge 6.8'de görülmektedir. Tasarlanan toplam 15 YSA modeli içerisinde performans değerleri ve genelleme kabiliyeti dikkate alınarak 100 epoch'la eğitilen ve arakat nöron sayısı 5 olan "f7" ağı en uygun YSA olarak seçilmiştir.



Şekil 6.45. Durma mesafesi tahmini için geliştirilen YSA mimarisi

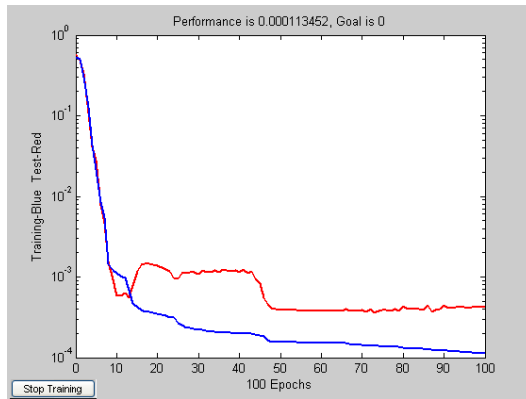
6.7.5. Ağ performansı

Taşıtın durma mesafesi tahmini için geliştirilen "f7" ağının Hata Kareleri Ortalaması (R^2) değerleri eğitim seti için 0,99989 ve test seti için ise 0,99958 olarak görülmüştür. Aynı ağın Lineer Regresyon analizi ile elde edilen Korelasyon Katsayısı (R) değerleri ise eğitim seti için 0,99920 ve test seti için 0,99080 şeklinde oluşmuştur. Oluşan bu değerler ağın iyi eğitildiğini ve

test verilerine oldukça yakın yaklaşım gösterdiğini ifade etmektedir. Ağın öğrenme performansının grafiksel görünümü Şekil 6.46'da yer almaktadır.

Çizelge 6.8. Durma mesafesi tahmini için geliştirilen farklı YSA konfigürasyonlarının performansları

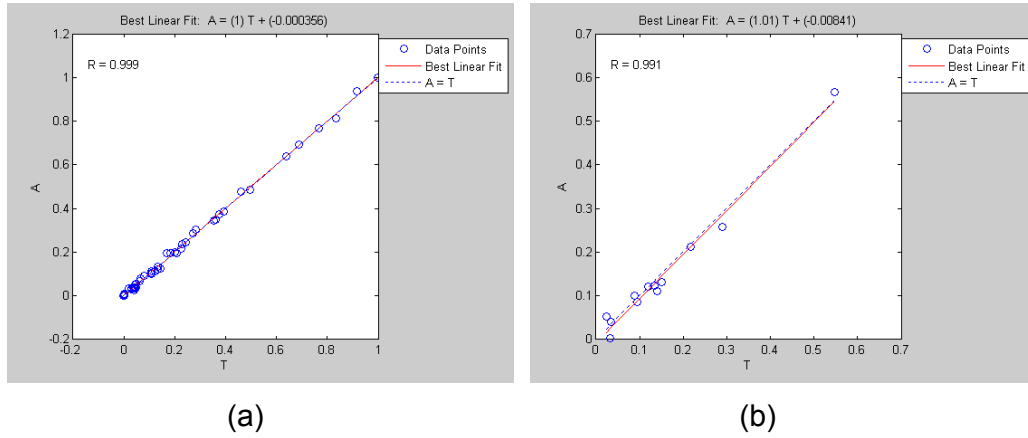
YSA	ARAKAT NÖRON SAYISI	TRANSFER FONKSİYONU	EPOCH SAYISI	AĞ PERFORMANSI			
				Lineer Regresyon (R)		Hata Kareleri Ortalaması(MSE) (R^2)	
				EĞİTİM	TEST	EĞİTİM	TEST
f1	3	Tanjant hiperbolik	100	0,9973	0,9920	0,99964	0,99951
f2			200	0,9937	0,9587	0,99915	0,99829
f3			300	0,9973	0,9921	0,99964	0,99950
f4	4	Tanjant hiperbolik	100	0,9982	0,9913	0,99977	0,99961
f5			200	0,9982	0,9767	0,99977	0,99901
f6			300	0,9974	0,9936	0,99966	0,99960
f7	5	Tanjant hiperbolik	100	0,9992	0,9908	0,99989	0,99958
f8			200	0,9982	0,9776	0,99976	0,99901
f9			300	0,9988	0,9877	0,99983	0,99940
f10	6	Tanjant hiperbolik	100	0,9996	0,9659	0,99994	0,99833
f11			200	0,9993	0,8656	0,99991	0,99829
f12			300	0,9998	0,8538	0,99997	0,99412
f13	7	Tanjant hiperbolik	100	0,9997	0,9478	0,99996	0,99789
f14			200	0,9930	0,9570	0,99906	0,99776
f15			300	0,9994	0,8582	0,99992	0,99436



Şekil 6.46. Durma mesafesi tahmini için geliştirilen "f7" ağının öğrenme performansı

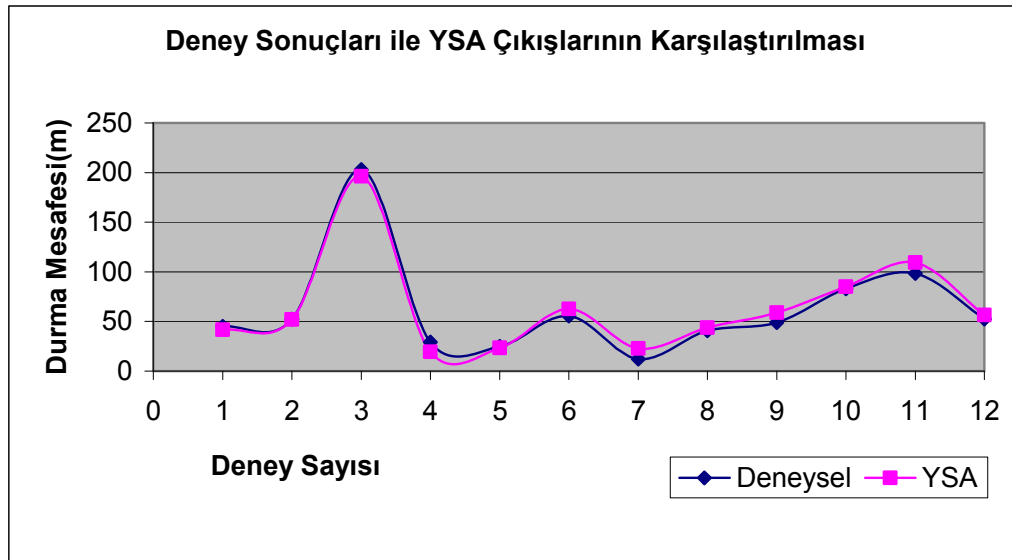
Eğitim ve test setleri ile ağ çıkışlarının lineer regresyon görünümü ise Şekil 6.47'de görülmektedir.

En uygun YSA modelini belirleyebilmek için denenen toplam 15 YSA modelinin test setine verdiği cevapların yer aldığı çizelge EK-24'de yer almaktadır.



Şekil 6.47. “f7” ağı çıkışlarının eğitim ve test verileri için lineer regresyon yaklaşımıyla karşılaştırılması, a) eğitim seti, b) test seti

Şekil 6.48'de, “f7” ağının test seti çıkışlarına verdiği cevapları içeren grafik yer almaktadır.



Şekil 6.48. Durma mesafesi tahmini için geliştirilen “f7” ağının deney sonuçları ile karşılaştırılması

Grafik incelendiğinde, geliştirilen modelin durma mesafesi tahmininde oldukça başarılı olduğu görülmektedir. Geliştirilen “f7” modelinin kullanımı için Matlab ortamında hazırlanan sorgu kodları EK-25’de verilmiştir.

6.8. Durma Mesafesi Bilinen Taşıtın Frenleme Öncesi Hızının Tahmini İçin YSA Modelinin Geliştirilmesi

Durma mesafesi, taşıt ağırlığı, frenleme anında uygulanan pedal kuvveti ve disk sıcaklığı değişkenlerinden faydalanılarak taşıtın ilk hızını tahmin etme amacı içeren bir model geliştirilmiştir.

6.8.1. Veri setinin oluşturulması

Modelinin tasarlanmasında önceden hazırlanan deney prosedürüne göre uygulanan fren etkinliği deneylerinden elde verilerden faydalanılmıştır.

6.8.2. Eğitim ve test setlerinin elde edilmesi

Fren etkinliği deneylerinden elde edilen 60 satırlık veri setinin 48 adedi eğitim, kalan 12 adedi ise test seti olarak ayrıştırılmıştır.

6.8.3. Verilerin normalizasyonu

Eğitim ve test için ayrılan veri kümeleri 0 ile 1 arasında normalize edilmiştir. Veriler YSA’ya sunulurken Matlab ortamında normalizasyon kodları yazılmıştır. Normalizasyon kodları EK-26’da yer almaktadır.

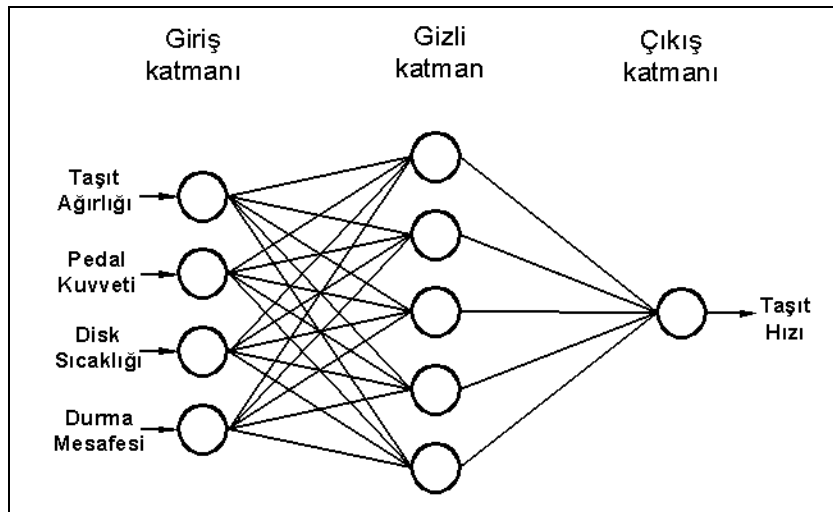
6.8.4. Ağ mimarisi ve öğrenme algoritması seçimi

“Taşıt İlk Hızı” tahmini için geliştirilen ağ modelinde 4 giriş ve 1 çıkış bulunmaktadır. Giriş katmanında;

- Taşıt ağırlığı
- Pedal kuvveti
- Disk sıcaklığı
- Durma mesafesi

değişkenleri yer almakta, çıkış katmanında ise “Taşıt Hızı” bulunmaktadır.

YSA mimarisinde yer alacak gizli katman sayısı ve gizli katmandaki nöron sayısının belirlenmesi için denenen alternatifler neticesinde ara katmanında 5 nöron bulunan YSA mimarisi seçilmiştir (Şekil 6.49).



Şekil 6.49. Taşıt ilk hızı tahmini için geliştirilen YSA mimarisi

YSA'nın tasarımında ve eğitilmesinde epoch bazlı, ileri beslemeli geri yayılım algoritması (Feed-forward backpropagation) içeren bir ağ yapısı oluşturulmuştur. Ağın eğitilmesinde Levenberg-Marquardt öğrenme fonksiyonu kullanılmıştır. Transfer fonksiyonu olarak tanjant hiperbolik seçilmiştir.

Arakat nöron sayısı, epoch sayısı gibi değişkenlerin değiştirilmesiyle oluşturulan toplam 15 farklı YSA modelinin performans detayları

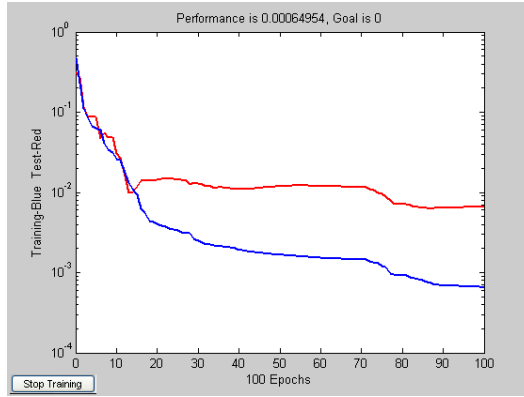
Çizelge 6.9'da görülmektedir. Tasarlanan toplam 15 YSA modeli içerinden performans değerleri ve genelleme kabiliyeti dikkate alınarak 100 epoch'la eğitilen ve arakat nöron sayısı 5 olan "h7" ağı en uygun YSA olarak seçilmiştir.

Çizelge 6.9. Taşıt ilk hızı tahmini için geliştirilen farklı YSA konfigürasyonlarının performansları

YSA	ARAKAT NÖRON SAYISI	TRANSFER FONKSİYONU	EPOCH SAYISI	AĞ PERFORMANSI			
				Lineer Regresyon (R)		Hata Kareleri Ortalaması(MSE) (R ²)	
				EĞİTİM	TEST	EĞİTİM	TEST
h1	3	Tanjant hiperbolik	100	0,98180	0,97307	0,99478	0,98890
h2			200	0,97985	0,92982	0,99454	0,97914
h3			300	0,97478	0,97440	0,99299	0,99123
h4	4	Tanjant hiperbolik	100	0,99073	0,96370	0,99728	0,98816
h5			200	0,98761	0,95470	0,99648	0,98635
h6			300	0,97957	0,97839	0,99441	0,99304
h7	5	Tanjant hiperbolik	100	0,99762	0,97788	0,99935	0,99317
h8			200	0,99650	0,97037	0,99902	0,99098
h9			300	0,99518	0,96139	0,99860	0,99815
h10	6	Tanjant hiperbolik	100	0,99275	0,95427	0,99795	0,98496
h11			200	0,99362	0,90413	0,99827	0,94706
h12			300	0,99225	0,93726	0,99775	0,97982
h13	7	Tanjant hiperbolik	100	0,99948	0,93879	0,99986	0,97708
h14			200	0,99746	0,88592	0,99930	0,95559
h15			300	0,99921	0,73281	0,99977	0,85502

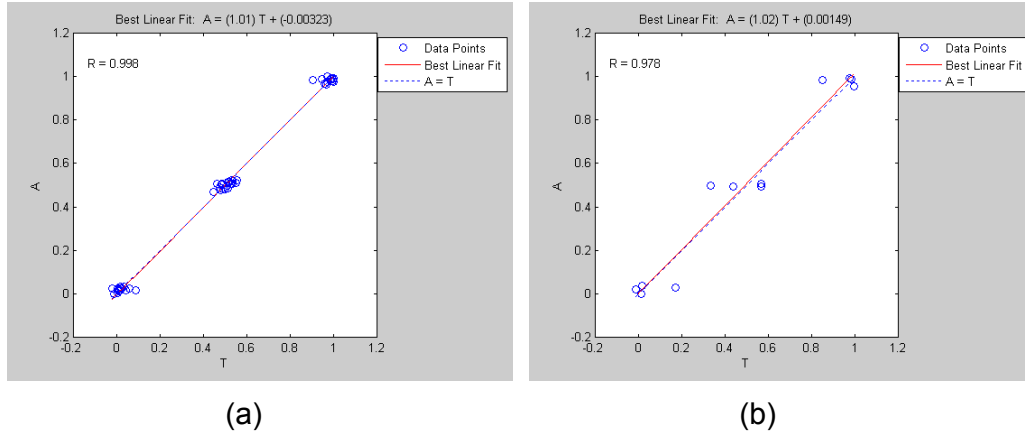
6.8.5. Ağ performansı

Taşıtın frenleme öncesi ilk hızının tahmini için geliştirilen "h7" ağının Hata Kareleri Ortalaması(R²) değeri eğitim seti için 0,99935 ve test seti için ise 0,99317 olarak görülmüştür. Aynı ağın Lineer Regresyon analizi ile elde edilen Korelasyon Katsayısı (R) değerleri ise eğitim seti için 0,99762 ve test seti için 0,97788 şeklinde oluşmuştur. Görülen performans değerleri, tasarlanan YSA'nın eğitim ve test verilerine yaklaşımının başarılı olduğunu ifade etmektedir. Ağın öğrenme performansının grafiksel görünümü Şekil 6.50'de yer almaktadır.



Şekil 6.50. Taşıt ilk hızı tahmini için geliştirilen “h7” ağıının öğrenme performansı

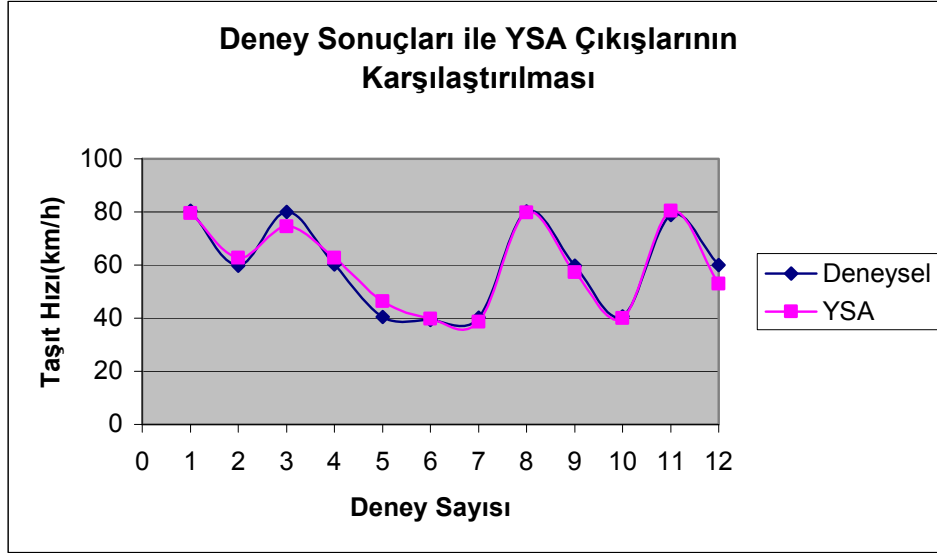
Eğitim ve test setleri ile ağ çıkışlarının lineer regresyon görünümü ise Şekil 6.51’de görülmektedir.



Şekil 6.51. “h7” ağı çıkışlarının eğitim ve test verileri için lineer regresyon yaklaşımıyla karşılaştırılması, a) eğitim seti, b) test seti

En uygun YSA modelini belirleyebilmek için denenen toplam 15 adet YSA modelinin test setine verdiği cevapların yer aldığı çizelge EK-27’de yer almaktadır.

Şekil 6.52’de, “h7” ağıının test seti çıkışlarına verdiği cevapları içeren grafik yer almaktadır.



Şekil 6.52. Taşıt ilk hızı tahmini için geliştirilen “h7” ağıının deney sonuçları ile karşılaştırılması

Grafik incelendiğinde taşıt ilk hızı tahmini için geliştirilen modelin oldukça başarılı olduğu görülmektedir. Geliştirilen “h7” modelinin kullanımı için Matlab ortamında hazırlanan sorgu kodları EK-28’de yer almaktadır.

6.9. Frenleme Anında Uygulanan Pedal Kuvvetinin Tahmini İçin YSA Modelinin Geliştirilmesi

Geliştirilen modelde, hızı, ağırlığı, fren disk sıcaklığı ve durma mesafesi bilinen taşıtın, frenlenmesi esnasında sürücü tarafından uygulanan pedal kuvvetinin tahmini amaçlanmıştır.

6.9.1. Veri setinin oluşturulması

Geliştirilecek bu model için de, durma mesafesi tahmini ve taşıt ilk hızı tahmini için tasarlanan modellerde kullanılan ve düz yolda fren etkinliği deneylerinden elde edilen veri seti kullanılmıştır.

6.9.2. Eğitim ve test setlerinin elde edilmesi

Ağın tasarımı için mevcut 60 verinin satırlık veri setinin 48 adedi eğitim, kalan 12 adedi ise test seti olarak ayrıştırılmıştır.

6.9.3. Verilerin normalizasyonu

Eğitim ve test için ayrılan veri kümeleri 0 ile 1 arasında normalize edilmiştir. Veriler YSA'ya sunulurken Matlab ortamında normalizasyon kodları yazılmıştır. Normalizasyon kodları EK-29'da yer almaktadır.

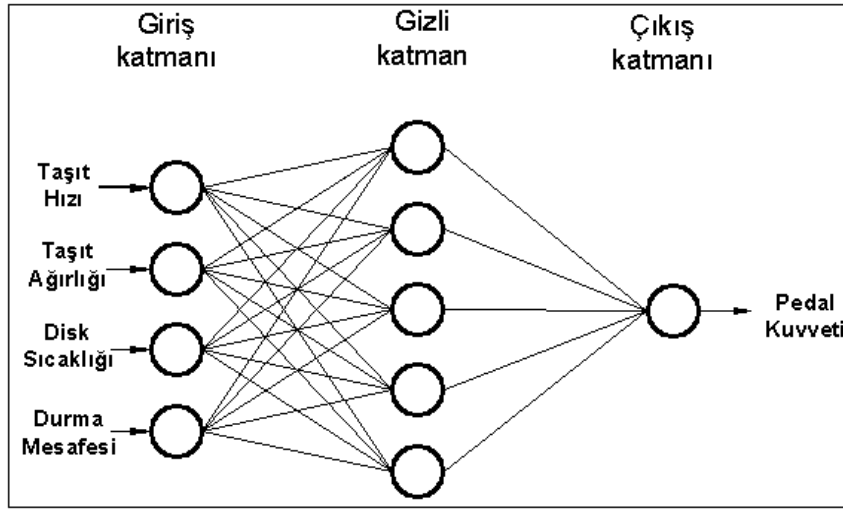
6.9.4. Ağ mimarisi ve öğrenme algoritması seçimi

“Pedal Kuvveti” tahmini için geliştirilen ağ modelinde 4 giriş ve 1 çıkış bulunmaktadır. Giriş katmanında;

- Taşıt hızı
- Taşıt ağırlığı
- Disk sıcaklığı
- Durma mesafesi

değişkenleri yer almakta, çıkış katmanında ise “Pedal Kuvveti” bulunmaktadır.

YSA mimarisinde yer alacak gizli katman sayısı ve gizli katmandaki nöron sayısının belirlenmesi için denenen alternatifler neticesinde ara katmanında 5 nöron bulunan YSA mimarisi seçilmiştir (Şekil 6.53).



Şekil 6.53. Pedal kuvveti tahmini için geliştirilen YSA mimarisi

YSA'nın tasarımında ve eğitilmesinde epoch bazlı, ileri beslemeli geri yayılım algoritması (Feed-forward backpropagation) içeren bir ağ yapısı oluşturulmuştur. Ağın eğitilmesinde Levenberg-Marquardt öğrenme fonksiyonu kullanılmıştır. Transfer fonksiyonu olarak tanjant hiperbolik seçilmiştir.

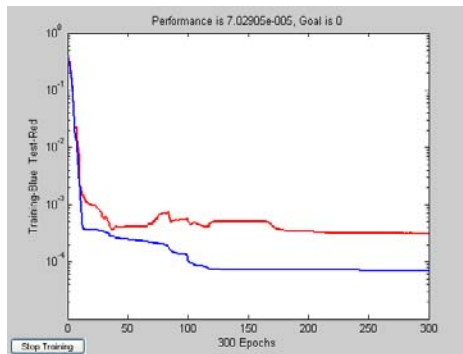
En uygun YSA'yı tasarlayabilmek için arakat nöron sayısı, epoch sayısı gibi değişkenlerin değiştirilmesiyle oluşturulan toplam 9 farklı modelin performans detayları Çizelge 6.10'da görülmektedir. Tasarlanan modeller içerisinde performans değerleri ve genelleme kabiliyeti dikkate alınarak 300 epoch'la eğitilen ve arakat nöron sayısı 5 olan "p9" ağı en uygun YSA olarak seçilmiştir.

Çizelge 6.10. Pedal kuvveti tahmini için geliştirilen farklı YSA konfigürasyonlarının performansları

YSA	ARAKAT NÖRON SAYISI	TRANSFER FONKSİYONU	EPOCH SAYISI	AĞ PERFORMANSI			
				Lineer Regresyon (R)		Hata Kareleri Ortalaması(MSE) (R^2)	
				EĞİTİM	TEST	EĞİTİM	TEST
p1	3	Tanjant hiperbolik	100	0,98446	0,94162	0,99478	0,98320
p2			200	0,99896	0,99081	0,99965	0,99698
p3			300	0,96177	0,90140	0,98714	0,97015
p4	4	Tanjant hiperbolik	100	0,97387	0,85874	0,99121	0,95279
p5			200	0,99745	0,97179	0,99914	0,99144
p6			300	0,99214	0,95500	0,99735	0,98511
p7	5	Tanjant hiperbolik	100	0,99588	0,97397	0,99861	0,99123
p8			200	0,99912	0,95991	0,99970	0,98510
p9			300	0,99979	0,99903	0,99993	0,99969

6.9.5. Ağ performansı

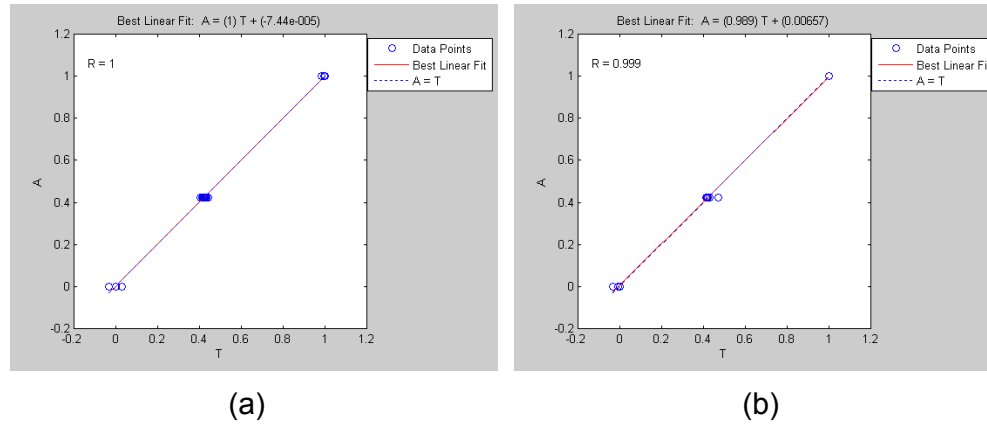
Frenleme anında sürücü tarafından uygulanan pedal kuvvetinin tahmini için geliştirilen “p9” ağının Hata Kareleri Ortalaması (R^2) değerleri eğitim seti için 0,99993 ve test seti için ise 0,99969 olarak görülmüştür. Aynı ağın Lineer Regresyon analizi ile elde edilen Korelasyon Katsayısı (R) değerleri ise eğitim seti için 0,99979 ve test seti için 0,99903 şeklinde oluşmuştur. Görülen performans değerleri, tasarlanan YSA'nın eğitim ve test verilerine yaklaşımının oldukça başarılı olduğunu ifade etmektedir. Ağın öğrenme performansının grafiksel görünümü Şekil 6.54'de yer almaktadır.



Şekil 6.54. Pedal kuvveti tahmini için geliştirilen “p9” ağının öğrenme performansı

Eğitim ve test setleri ile ağ çıkışlarının lineer regresyon görünümü ise Şekil 6.55’de görülmektedir.

En uygun YSA modelini belirleyebilmek için denenen toplam 9 adet YSA modelinin test setine verdiği cevapların yer aldığı izelge EK-30’da yer almaktadır.



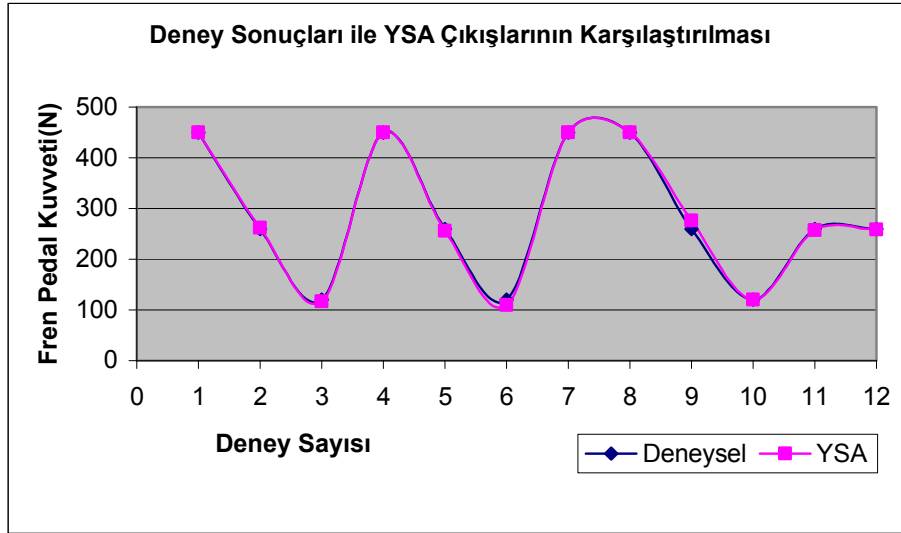
Şekil 6.55. “p9” ağı çıkışlarının eğitim ve test verileri için lineer regresyon yaklaşımıyla karşılaştırılması, a) eğitim seti, b) test seti

Şekil 6.56’da, “p9” ağının test seti çıkışlarına verdiği cevapları içeren grafik yer almaktadır. Grafik incelendiğinde uygulanan fren pedal kuvveti tahmini için geliştirilen modelin oldukça başarılı olduğu görülmektedir.

Geliştirilen “p9” modelinin kullanımı için Matlab ortamında hazırlanan sorgu kodları EK-31’de yer almaktadır.

Ayrıca, eğimli yolda taşıtın fren disk sıcaklığının tahmini için geliştirilen YSA modeli ile (n29 ağı), taşıtın durma mesafesinin tahmini için geliştirilen YSA modelinin (f7 ağı) kombine tahminler üretebilmesi için geliştirilen sorgu kodları EK-32’de yer almaktadır. Bu kodlar sayesinde, taşıtın eğimli yoldaki seyri esnasında hız, ağırlık, yavaşlatıcının kullanım durumu, taşıtın eğimli yolda katettiği mesafe ve fren disklerinin başlangıç sıcaklığına bağlı olarak

disklerin son sıcaklığı tahmin edilebilmekte, sonrasında aynı taşıtın değişen hızı ve uygulanan pedal kuvvetine bağlı olarak durma mesafesi sorgulanabilmektedir.



Şekil 6.56. Pedal kuvveti tahmini için geliştirilen “p9” ağıının deney sonuçları ile karşılaştırılması

7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, yük ve yolcu taşıyan ticari taşıtların normal servis fren sistemlerine ek olarak yavaşlatıcı kullanılmasının gerekçeleri ve taşıt üzerindeki etkileri deneysel olarak incelenmiştir. Ülkemizin coğrafi yapısının bir sonucu olarak yoğun eğimli yollarda seyir halinde bulunan ağır ticari taşıtların, sürekli frenleme sistemi olarak servis freni kullanmalarının olumsuz sonuçları, kapsamlı yol deneyleriyle ortaya konulmuştur.

Çalışmada yapılan sistematik yol deneyleri, fren etkinliği kaybı riskinin sadece ağır ticari taşıtlar için söz konusu olmadığını, hafif ticari taşıtların da risk altında olduğunu göstermiştir. Öğrenci servisi, ambulans, canlı yayın aracı gibi sürekli yüklü olarak kullanılan bu tür taşıtların güvenliği açısından servis frenine ek olarak yavaşlatıcı ile donatılmasının çok önemli ve etkili olduğu görülmüştür.

Eğimli yol deneylerinde, taşıtın yük konfigürasyonunun fren disk sıcaklığının artmasına yol açan önemli bir faktör olduğu tespit edilmiştir. 40 km/h sabit hızla %8 eğimli yolda 6 km boyunca servis frenleriyle iniş yapan taşıtın fren disk sıcaklıklarının, yüklü şartlarda 44 °C'den 318 °C'ye çıktığı görülürken, yüksüz taşıtta bu artış 50 °C'den 179 °C'ye ulaşacak şekilde gerçekleşmiştir. Bu bulgular, taşıt ağırlığına bağlı olarak artan kinetik enerjinin, taşıtın fren sisteminde oluşturduğu ısı enerjisinin olumsuz etkisinin göstergesidir. Bunun yanında, taşıtın ortalama hızı ve eğimli yolda servis freni kullanarak katedilen mesafe de fren disklerindeki sıcaklık artışının belirleyici faktörlerindedir.

Yavaşlatıcı kullanılarak yapılan deneylerde, taşıtın diğer değişkenlerindeki olumsuzluklara rağmen servis frenlerinin aşırı yorulmadığı ve fren sistemi elemanlarının ısınmadığı görülmüştür. 30 km/h sabit hızla yüklü taşıtla yapılan yokuş aşağı iniş deneyinde yavaşlatıcı devre dışı iken taşıtın fren diskleri 6 km'lik güzergahın sonunda 56 °C'den 333 °C'ye yükselirken, yavaşlatıcının aktif olduğu deneyde disk sıcaklıkları 65 °C'den 110 °C'ye

yükselmiştir. Yavaşlatıcı kullanıldığı durumlarda ortaya çıkan bu sonuç, servis frenlerinin her an işletmeye ve etkili frenlemeye hazır halde bulunduğunu göstermektedir.

Deney taşıtında bulunan elektromanyetik yavaşlatıcı 3-6 ton arası hafif ticari taşıtlar için önerilen ve son kademesinde 350 Nm frenleme torku üretebilen bir yavaşlatıcıdır. Taşıtın en büyük ağırlığı 3,5 ton olduğundan, hiçbir deneyde yavaşlatıcının 3. kademesinin kullanılmasına gerek kalmamıştır. Taşıtın yüksüz konumunda ise yavaşlatıcının 1. kademesi taşıtı yokuş aşağı inişte servis frenine ihtiyaç duyulmadan yavaşlatmaya yetmiştir.

Yavaşlatıcıların kazaları azaltmaya yönelik etkisinin araştırılmasındaki kriter, taşıtın frenleme performansındaki kayıp olarak tanımlanmıştır. Frenleme performansının en önemli göstergesi taşıtın durma mesafesi olduğundan, yol deneylerinin ikinci aşamasında fren etkinliği (durma mesafesi) deneyleri yapılmıştır. Fren etkinliği deneylerinde, fren disk sıcaklıklarındaki artışın taşıtın durma mesafesine olan etkisi araştırılmıştır. Bunun yanında fren pedalına uygulanan kuvvet, taşıtın yükü ve hızı gibi değişkenlerin de durma mesafesine etkileri ortaya konulmuştur.

Yapılan fren etkinliği deneyleri, fren sistemi elemanlarındaki sıcaklık artışının taşıtın durma mesafesini olumsuz etkilediğini göstermiştir. 80 km/h hızla yapılan durma mesafesi deneylerinde, 63 °C olan fren disk sıcaklığında taşıt 44,9 m'de dururken, disk sıcaklıklarının 298 °C olduğu deneyde durma mesafesi %17 oranında artarak 52,71 m olarak ölçülmüştür. Her iki deneyde de pedala maksimum kuvvet (450 N) uygulanmıştır.

Pedala uygulanan kuvvetin azalması, sıcaklık artışı ile birlikte durma mesafesini artırmıştır. Yukarıdaki deneyin, bir alt kademe olan 260 N'luk pedal kuvveti uygulanarak tekrarlanmasıyla ölçülen durma mesafeleri, 278 °C'lik sıcak frenlemede, 62 °C'lik soğuk frenlemeye oranla %82,8 daha fazladır.

Taşıtın ağırlığındaki artışa paralel olarak ölçülen durma mesafesi değerlerinde de artış kaydedilmiştir. En büyük pedal kuvveti (450 N) uygulanarak 60 km/h ilk hızla ve yüklü durumda yapılan frenlemede ölçülen durma mesafesi, aynı şartlarda denenen yüksüz taşıtın durma mesafesinden %29 daha fazladır. Bu kıyaslama 80 km/h ilk hız için yine %29 olarak ölçülmüştür. Pedal kuvvetinin 260 N'a düşürülmesiyle 80 km/h ilk hızla denenen yüklü taşıtın durma mesafesi, yüksüz taşıtın durma mesafesinden %44 daha fazla ölçülmüştür.

Çalışmanın model oluşturma aşamasında Yapay Sinir Ağları (YSA) metodu kullanılmıştır. Yol deneyi sonuçlarından elde edilen verilerden yararlanılarak toplam 8 farklı tahmin modeli geliştirilmiştir. Geliştirilen modeller, eğimli yolda taşıtın fren disklerinin ne kadar ısınacağını tahmin etmekle sınırlı olmayıp, taşıtın hızını, yavaşlatıcı kullanılıp kullanılmadığını, taşıtın ağırlığını ve eğimli yolda ne kadar yol kat ettiğini de tahmin edebilmektedir. Benzer şekilde, fren etkinliği deneylerine ait verilerden faydalanılarak geliştirilen YSA modelleri, taşıtın durma mesafesini, durma mesafesi bilinen taşıtın frenleme öncesi ilk hızını veya fren pedalına uygulanan kuvveti tahmin edebilme yeteneğine sahiptir. Bu bulgular meydana gelmiş bir kazayı, kaza mahallindeki bazı bilgilerden faydalanarak yeniden modelleyebilme (Accident Reconstruction) çalışmalarına ışık tutmaktadır.

Yük ve yolcu taşıyan ticari taşıtlarda servis frenlerinin yükünü azaltmak amacıyla kullanılması önerilen yavaşlatıcıların, kazaları azaltma adına önemli etkileri olduğu gerek yol deneyleri, gerekse oluşturulan YSA modellerinde ortaya çıkmıştır. Bunun yanında yavaşlatıcıların ekonomik açıdan yararları da göz ardı edilemez. Üretici firmanın bu yönde yaptığı araştırmaya göre, yavaşlatıcı donanımına sahip olan taşıtların balata, lastik, disk, kampana gibi parçalarının değişim sıklığı, yavaşlatıcısı olmayan taşıtlara göre olumlu yönde farklılık göstermektedir. Bu durum aynı zamanda taşıtın servis dışı kalma sürelerini de yavaşlatıcılı taşıt lehine etkilemekte ve kullanıcıya artı değer sağlamaktadır.

Bu çalışmanın daha geniş kapsamlısı, farklı araç türleriyle, farklı yük ve yol şartlarında yapılacak yol deneyleriyle geniş bir veri seti oluşturacak şekilde yapılabilir. Ancak, yol deneyleri son derece sistematik çalışılması gereken bir konu olmakla beraber, maliyet açısından da hayli külfet getirmektedir. Oluşturulacak daha büyük veri setleriyle, meydana gelmiş bir kazayı yeniden modelleme amacına yönelik kapsamlı çalışmalar yapılabilir.

KAYNAKLAR

1. T.C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı Karayolları Genel Müdürlüğü "Trafik Kazaları Özeti-2005", **Bakım Dairesi Başkanlığı Trafik Şubesi Müdürlüğü**, Ankara,1-16 (2006).
2. Işıldar, S., "Türkiye'deki trafik kazalarının son on yıllık değerlendirmesi ve iyileştirme önerileri", **TMMOB Makine Mühendisleri Odası Ankara Şubesi III. Ulaşım ve Trafik Kongresi**, Ankara, 11-29 (2001).
3. Liu, C., Chen, C., Subramanian, R., Utter, D., "Analysis of speeding-related fatal motor vehicle traffic crashes", **NHTSA Technical Report DOT HS 809 839**, Washington, USA, 2 (2005).
4. İyınam, A.F., İyınam, Ş., Ergün, M., "Kullanıcı Olarak İnsan Faktörünün Karayolu Güvenliği Üzerindeki Etkileri", **TMMOB Makine Mühendisleri Odası II. Ulaşım ve Trafik Kongresi**, Ankara, 251-262 (1999).
5. T.C. İçişleri Bakanlığı Emniyet Genel Müdürlüğü, "Trafik İstatistik Yıllığı 2002", **Trafik Hizmetleri Başkanlığı**, Ankara, 159,168,271 (2003).
6. Schoor, O., Niekerk, J., Grobbelaar, B., "Mechanical failures as a contributing cause to motor vehicle accidents-South Africa", **Accident Analysis and Prevention**, (33):713-721 (2001).
7. Lök, A., "Ticari taşıt kazalarında araç hatalarının etkisi ve özel olarak fren teknik noksanlarının incelenmesi", **Trafikte Güvenlik ve Çağdaş Uygulamalar Sempozyumu**, İzmir, 179-184 (1993).
8. Leeming, D.J., Hartley, R., "Heavy Vehicle Technology, 2nd Edition " **Hutchinson Education**, London, 183 (1981).
9. Altıparmak, D., "Fren Sistemleri", **ISBN 975-97419-0-3**, Ankara, 1-2, 40-41 (2005).
10. Limpert, R., "Brake Design And Safety, Second Edition" **Society of Automotive Engineers, Inc**, USA, 2, 114-115, 136-137 (1999).
11. Oppenheimer, P., "Comparing stopping capability of cars with and without antilock braking systems (ABS)", **SAE**, 880324, (1988).
12. Düzgün, M., Altıparmak, D., Bayrakçeken, H., "An experimental investigation of stopping distance of automobiles", **G.U. Journal of Science**, 18(1):153-165(2005).
13. Valvano, T., Lee, K., "An analytical method to predict thermal distorsion of brake rotor" , **SAE**, 2000-01-0445, (2000).

14. Qi, H.S., Day, A.J., "Investigation of disc/pad interface temperatures in friction braking", **Science Direct, Wear** (262):505-513, (2007).
15. Lee, K., "Numerical prediction of brake fluid temperature rise during braking and heat soaking", **SAE**, 1999-01-0483, (1999).
16. Artus, S., Cocquempot, V., Staroswiecki, M., Hayat, S., Covo, C., "Temperature estimation of CHV brake discs using an energy balance approach", **2004 IEEE Intelligent Transportation Systems Conference**, Washington D.C., USA, 390-395 (2004).
17. Satapathy, B.K., Bijwe, J., "Performance of friction materials based on variation in nature of organic fibres Part I. Fade and recovery behaviour", **Science Direct, Wear** (257):573-584, (2004).
18. Bijwe, J., Nidhi, Majumdar, N., Satapathy, B.K., "Influence of modified phenolic resins on the fade and recovery behavior of friction materials", **Science Direct, Wear** (259):1068-1078, (2005).
19. Aleksendric, D., Duboka, C., "Fade performance prediction of automotive friction materials by means of artificial neural Networks", **Science Direct, Wear** (262):778-790, (2007).
20. Lingman, P., "Integrated brake control, downhill driving strategies", Thesis for the Degree of Doctor of Philosophy, **Calmers University of Technology, Department of Applied Mechanics**, Göteborg, Sweden, 6 (2005).
21. IIm, A., Leung, P.S., Data, P.K., "Experimental investigations of disc brake friction", **SAE**, 2000-01-2778, (2000).
22. Kuralay, S., Yeşil, A., Topaç, M.M., "Yük ve Yolcu Taşıyan Araçlarda İşletme Yükünün ve Fren Patlaması Sonucu Oluşan Kazaların Azaltılması", **Toplumsal Bilinçlenme Sürecinde Trafik ve İnsan Sempozyumu**, Sakarya, 201-216 (2004).
23. Erdem, M., Çubuk, M.K., "Türkiye'de araç muayene sisteminin etkinliğini artırmaya yönelik bir model önerisi", **Trafik ve Yol Güvenliği Kongresi**, Ankara, 310-319 (2001).
24. Elvik, R., "The effect on accidents of technical inspections of heavy vehicles in Norway", **Accident Analysis and Prevention**, (34):753-762 (2002).

25. Lingman, P., Wahde, M. "Integrated retardation control using neural networks with genetic algorithms", **Proceedings of the 6th International Symposium of Advance Vehicle Control**, Hiroshima, (6):751-756 (2002).
26. Kober, W., Hirschberg, W., "On-board payload identification for commercial vehicles", **2006 IEEE Intelligent Transportation Systems**, Budapest, Hungary, 144-149 (2006).
27. Artus, S., Cocquempot, V., Hayat, S., Staroswiecki, M., Lraminat, D., Covo, C., "CHV's brake discs temperature estimation: results in open road tests", **2004 Proceedings of the 8th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems**, Vienna, Austria, 220-225 (2005).
28. Scott, J., Fay, R., Hoover, R., Deering, D., "Brake performance testing and truck runaway analysis", **SAE**, 2003-01-3396, (2003).
29. Janson, B., Awad, W., Robles, J., Kononov, J., Pinkerton, B., "Truck accident at freeway ramps: data analysis and high-risk site identification", **Journal of Transportation and Statistic**, January:77-92 (1998).
30. Akiyama, K., "Analysis of large truck accidents in Japan", **18th International Technical Conference on the Enhanced Safety of Vehicles (ESV)**, Nagoya, Japan, 243 (2003).
31. Nakao, Y., Kawasaki, H., Douglas, J.M., "Estimation of friction levels between tire and road", **SAE**, 2002-01-1198, (2002).
32. Arpat, S.K., "Minimization of the pad wear on both drum and disc brakes by thermal analysis", Master of Science Thesis, **Dokuz Eylul University Graduate School of Natural and Applied Sciences**, İzmir, 1-2(2001).
33. Bayrakçeken, H., "Motorlu taşıtlarda fren performans analizi ve geliştirilen test cihazında uygulaması", Doktora Tezi, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara, 128-133 (2002).
34. Altıparmak, D., "Karayolu taşıtlarında kullanılan teknik donanımın trafik kazalarını önlemedeki rolü", **TMMOB Makine Mühendisleri Odası II. Ulaşım ve Trafik Kongresi**, Ankara, 139-148 (1999).
35. Çakır, K.Ü., "Taşıt tekniği yönünden seyir güvenliği", Yüksek Lisans Tezi, **İstanbul Üniversitesi Adli Tıp Enstitüsü Fen Bilimleri Anabilim Dalı**, İstanbul, 91-93 (1998).

36. Önhon, Ö., "Motorlu taşıtlarda fren sistemlerinin incelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, **Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, İstanbul, 109-110 (1996).
37. Çavdar, A., "Otomobillerdeki aktif ve pasif güvenlik sistemlerinin taşıt güvenliği ve taşıt tasarımı bakımından incelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, **Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, İzmit, 16-18, 99-103 (2002).
38. Fillikçioğlu, C., "Taşıt frenlerinde balata çeşidinin çalışma şartlarının frenleme performansına etkileri", Yüksek Lisans Tezi, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara, 42-43(1998).
39. Matusko, J., Petrovic, I., Peric, N., "Application of the RBF neural networks for tire-road friction force estimation", **Industrial Electronics ISIE'03**, 701-706 (2003).
40. Schoredl, S., Zhang, W., "Predicting driving speed using neural networks", **Intelligent Transportation Systems, 2003 Proceedings IEEE**, (1):402-407 (2003).
41. Escalera, A., Armingol, J.M., Mata, M., "Traffic sign recognition and analysis for intelligent vehicles", **Image and Vision Computing**, (21):247-258 (2003).
42. Mussone, L., Ferrari, A., Oneta, M., "An analysis of urban collisions using an artificial intelligence model", **Accident Analysis and Prevention**, (31):705-718 (1999).
43. Tong, H.Y., Hung, W.T., "Neural network modeling of vehicle discharge headway at signalized intersection: model descriptions and results", **Transportation Research Part A**, (36):17-40 (2002).
44. Wei, C., "Analysis of artificial neural network models for freeway ramp metering control", **Artificial Intelligence in Engineering**, (15):241-252 (2001).
45. Dougherty, M.S., Cobbett, M.R., "Short-term inter-urban traffic forecasts using neural networks", **International Journal of Forecasting**, (13):21-31 (1997).
46. Düzgün, M., "Motorlu taşıtlarda kullanılan aktif güvenlik sistemleri ve trafik kazalarını azaltmadaki fonksiyonları", **II. Trafik Şurası**, Ankara, 181-197 (2004).

47. Çetinkaya, S., "Trafik güvenliği açısından taşıt güvenlik sistemleri", **Politeknik Dergisi**, Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Dergisi, 3(1):7-16 (2000).
48. Cheng, H., Zheng, N., MA, L., Qin, J., Zhang, X., "Vehicle active safety applications by fusing multiple-sensor for the springrobot system", **IEEE International Conference on Vehicular Electronics and Safety**, 155-160, (2005).
49. Werkmeister, K., Borchers, N., "A balanced active and passive safety concept for new vehicle generations", **18th International Technical Conference on the Enhanced Safety of Vehicles (ESV)**, Nagoya, Japan, 352 (2003).
50. Rohr, S.N., Lind, R.C., Myers, R.J., Bauson, W.A., Kosiok, W.K., Yen, H., "An integrated approach to automotove safety systems", **SAE**, 2000-01-0346, (2000).
51. Schoeneburg, R., Breitling, T., "Enhancement of active and passive safety by future pre-safe systems", **19th International Technical Conference on the Enhanced Safety of Vehicles (ESV)**, Washington, USA, 05-0080 (2005).
52. Altıparmak, D., Koca, A., "Taşıtlarda tekerlek kilitlemesi ve kaymasının durma mesafesi ve kararlılığa etkisi", **Teknoloji**, (1-2):47-58 (2001).
53. Lee, K., Jeon, J., Hwang, D., Kim, Y., "Performance evaluation of antilock brake controller for pneumatic brake system", **IEEE Industry Applications Conference**, (1):301-307, (2003).
54. Lennon, W.K., Passino, K.N., "Intelligent control for brake systems", **IEEE Transactions on Control Systems Technology**, 7(2):188-202, (1999).
55. Broughton, J., Baughan, C., "The Effectiveness of antilock braking systems in reducing accidents in Great Britain", **Accident Analysis and Prevention**, (34):347-355 (2002).
56. Çavdar, A., Bayrakçeken, H., "Otomobillerde kullanılan yardımcı fren sistemlerinin incelenmesi", **Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi**, (1):50-59 (2006).
57. Yasui, Y., Nitta, H., Yoshida, T., Hosome, T., Kawamura, K., "Experimental approach for evaluating tire characteristics and ABS performance", **SAE**, 2000-01-0110, (2000).

58. Rieger, G., Scheef, J., Becker, H., Stanzel, M., Zobel, R., "Active safety systems change accident environment of vehicles significantly-A Challenger for vehicle design", **19th International Technical Conference on the Enhanced Safety of Vehicles (ESV)**, Washington, USA, 05-0053 (2005).
59. Lie, A., Tingvall, C., Krafft, M., Kullgren, A., "The effectiveness of ESC (Electronic stability control) in reducing real life crashes and injuries", **19th International Technical Conference on the Enhanced Safety of Vehicles (ESV)**, Washington, USA, 05-0135 (2005).
60. Durizhinina, M., Stefanopoulou, A.G., "Speed control experiments for commercial heavy vehicles with coordinated friction and engine compression brakes", **Proceeding of the American Control Conference**, Anchorage, 2546-2551 (2002).
61. Kress, T., Kress, R., "A tool for downhill accident analysis and brake design evaluation", **International Journal of Vehicle Design**, 26 (4):361-373, (2001).
62. Kuralay, S., Yeşil, A., "Yolcu ve yük taşıyan araçlarda fren patlaması sonucu oluşan kazaların azaltılmasında teknoloji seçiminin önemi", **II. Trafik Şurası**, Ankara, 198-214 (2004).
63. Voithturbo, "Voith retarder, more safety-more business with voith retarders", **Cr 272 e**, Germany, 1-14 (1999).
64. Heisler, H., "Advanced vehicle technology", London, 482-485 (1989).
65. Voithturbo, "Voith retarder VR 115 HV for mercedes-benz actros, axor, atego", **G1819 d**, Germany, 1-2 (2004).
66. İnternet:Company/History, <http://www.telma.com/en/index.php> (2007).*
67. Telma, "Telma driver's manual", **TDM_9_1**, USA, 1-8 (2001).
68. Telma, "Telma technical specifications, AE 30-32 retarder", **OC442085/a**, 1-8 (2001).
69. İnternet: Products and Applications, <http://www.telma.co.uk> (2007).*
70. Telma, "telma technical specifications, AC 61-25 retarder", **OC442075**, 1-7 (2000).
71. Sağıroğlu, Ş., Beşdok, E., Erler, M., "Mühendislikte yapay zeka uygulamaları-I Yapay sinir ağları", **Ufuk Kitap Kırtasiye-Yayıncılık Tic. Ltd. Şti**, Kayseri, 23-103 (2003).

72. Kızılkın, Ö., Şencan, A., Yakut, A.K., "R410A soğutucu akışkanın termodinamik özelliklerinin yapay sinir ağları ile modellenmesi", **Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi**, 21(2):395-400 (2006).
73. Öztemel, E., "Yapay sinir ağları", **Papatya Yayıncılık**, İstanbul, 29-36, 48-58 (2003).
74. Fırat, M., Güngör, M., "Askı madde konsantrasyonu ve miktarının yapay sinir ağları ile belirlenmesi", **İMO Teknik Dergi**, 3267-3282 (2004).
75. Dirgenali, F., Kara, F., "Yapay sinir ağları ile dalgacık dönüşümü kullanarak damar sertliği hastalığının teşhisi", **Biyomedikal Mühendisliği Ulusal Toplantısı**, İstanbul, 201-205 (2005).

(*): Basılı kaynak bulunamadığından dolayı internet kaynağı tercih edilmiştir.

EKLER

EK-1 Eğimli yol deneyleri için hazırlanan deney matrisi

EĞİMLİ YOL DENEYLERİ (*)																												
DENEY NO	TAŞIT HIZI (km/h)	Konum	RETARDER						DİSK SICAKLIKLARI (°C)																			
			MESAFE-SICAKLIK DEĞİŞİMİ						ÖN AKS ORTALAMA						ARKA AKS ORTALAMA						DÖRT AKS ORTALAMA							
			0. km	1. km	2. km	3. km	4. km	5. km	6. km	0. km	1. km	2. km	3. km	4. km	5. km	6. km	0. km	1. km	2. km	3. km	4. km	5. km	6. km	0. km	1. km	2. km	3. km	4. km
1	20	0																										
2	30	0																										
3	40	0																										
4	50	0																										
5	20	1																										
6	30	1																										
7	40	1																										
8	50	1																										
9	20	2																										
10	30	2																										
11	40	2																										
12	50	2																										
13	20	3																										
14	30	3																										
15	40	3																										
16	50	3																										

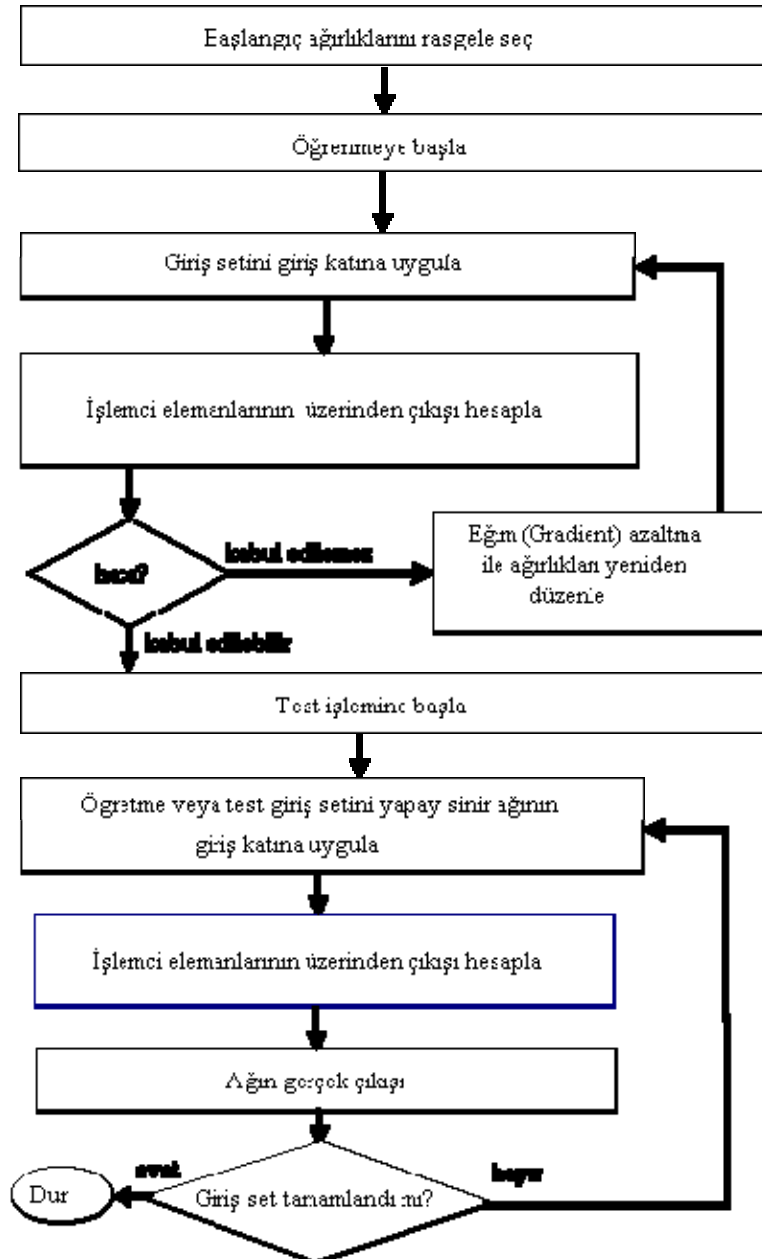
(*): Eğimli yol deneyleri, yüklü, yarı yüklü ve yüksüz şartlarda ayrı ayrı yapılmıştır.

EK-2 Fren etkinliği deneyleri için hazırlanan deney matrisi

DÜZ YOL DENEYLERİ (*) (FREN ETKİNLİĞİ)											
DENEY NO	TAŞIT HIZI (km/h)	PEDAL KUVVETİ(N)	DİSK SICAKLIKLARI(°C) (FRENLEME ÖNCESİ)			DURMA MESAFESİ (m)	İVME (m/s ²)		DİSK SICAKLIKLARI (°C) (FRENLEME SONRASI)		
			ÖN AKS ORTALAMA	ARKA AKS ORTALAMA	DÖRT AKS ORTALAMA		MFDD	a(v,s)	ÖN AKS ORTALAMA	ARKA AKS ORTALAMA	DÖRT AKS ORTALAMA
1	40	120									
2	60	120									
3	80	120									
4	40	260									
5	60	260									
6	80	260									
7	40	450									
8	60	450									
9	80	450									
10	40	120									
11	60	120									
12	80	120									
13	40	260									
14	60	260									
15	80	260									
16	40	450									
17	60	450									
18	80	450									
19	40	120									
20	60	120									
21	80	120									
22	40	260									
23	60	260									
24	80	260									
25	40	450									
26	60	450									
27	80	450									

(*): Düz yol deneyleri, yüklü, yarı yüklü ve yüksüz şartlar için tekrarlanmıştır.

EK-3 Bir ağda geriyayılımlı bir öğrenme algoritmasının uygulanması



EK-4 Disk son sıcaklığı tahmini için geliştirilen YSA'nın normalizasyon kodları

```

clear
clc
p= xlsread ('C:\MATLAB7\work\downhill\sonsicaklik1\legitim.xls');
ns=(p(:,1)*4.111*2.653)/0.348;
g(:,1)=(p(:,1)-20)/30;
g(:,2)=(p(:,2)-2000)/1500;
g(:,3)=(p(:,3)-1000)/5000;
k=240;
for m = 1:k
if p(m,4)==0
    g(m,4)=0;
else if p(m,4)==1 & ns(m)<=900
    g(m,4)=(1*10^(-07)*ns(m)^3)-
0.0003*ns(m)^2+0.2944*ns(m)+1.0056)/217.1;
    else if p(m,4)==1 & ns(m)>900
    g(m,4)=(5*10^(-07)*ns(m)^2)-0.011*ns(m)+105.33)/217.1;
    else if p(m,4)==2 & ns(m)<=600
    g(m,4)=(9*10^(-07)*ns(m)^3)-
0.0014*ns(m)^2+0.8442*ns(m)+1.3095)/217.1;
    else if p(m,4)==2 & 600<ns(m)<=1000
    g(m,4)=(69.11*ns(m)^(0.1672))/217.1;
    if p(m,4)==2 & ns(m)>1000
    g(m,4)=(-3*10^(-08)*ns(m)^2)-0.0175*ns(m)+238.1)/217.1;
    end
    end
    end
    end
    end
end
end
g(:,5)=(p(:,5)-40)/308;
t=(p(:,6)-47)/326;
g=g';
t=t';
p1= xlsread ('C:\MATLAB7\work\downhill\sonsicaklik1\test.xls');
ns1=(p1(:,1)*4.111*2.653)/0.348;
g1(:,1)=(p1(:,1)-20)/30;
g1(:,2)=(p1(:,2)-2000)/1500;
g1(:,3)=(p1(:,3)-1000)/5000;
k1=30;
for m1 = 1:k1
if p1(m1,4)==0
    g1(m1,4)=0;
else if p1(m1,4)==1 & ns1(m1)<=900

```

EK-4 (Devam) Disk son sıcaklığı tahmini için geliştirilen YSA'nın normalizasyon kodları

```

    g1(m1,4)=(1*10^(-07)*ns1(m1)^3)-0.0003*ns1(m1)^2)+
0.2944*ns1(m1)+1.0056)/217.1;
    else if p1(m1,4)==1 & ns1(m1)>900
        g1(m1,4)=(5*10^(-07)*ns1(m1)^2)-0.011*ns1(m1)+105.33)/217.1;
    else if p1(m1,4)==2 & ns1(m1)<=600
        g1(m1,4)=(9*10^(-07)*ns1(m1)^3)-
0.0014*ns1(m1)^2)+0.8442*ns1(m1)+1.3095)/217.1;
    else if p1(m1,4)==2 & 600<ns1(m1)<=1000
        g1(m1,4)=(69.11*ns1(m1)^(0.1672))/217.1;
    if p1(m1,4)==2 & ns1(m1)>1000
        g1(m1,4)=(-3*10^(-08)*ns1(m1)^2)-
0.0175*ns1(m1)+238.1)/217.1;
    end
    end
    end
    end
    end
    end
    end
    g1(:,5)=(p1(:,5)-45)/263;
    t1=(p1(:,6)-63)/285;
    g1=g1';
    t1=t1';

```

EK-5 Disk son sıcaklığı tahmini için geliştirilen YSA'ların test setine verdiği cevaplar

Sıra no	Deney Sonucu	YSA'nın Tahmini																			
		n21	n22	n23	n24	n25	n26	n27	n28	n29	n30	n31	n32	n33	n34	n35	n36	n37	n38	n39	n40
1	348	323	326	331	323	335	341	336	339	344	344	340	344	342	343	334	343	333	341	347	341
2	348	325	326	328	325	327	327	329	334	330	333	336	334	330	333	333	331	333	331	332	333
3	151	148	152	154	149	163	159	156	157	159	155	157	162	156	154	157	159	155	154	162	156
4	156	168	167	168	168	167	165	164	167	165	165	170	167	169	167	168	167	160	165	168	166
5	63	69	67	75	68	56	79	70	67	65	71	66	64	70	65	66	67	66	64	67	66
6	77	86	87	87	86	101	88	88	88	95	86	90	89	97	91	103	94	90	90	91	93
7	73	83	82	87	83	76	83	89	87	82	88	88	86	81	85	88	81	84	84	89	84
8	97	119	124	120	120	111	103	106	108	116	112	111	109	107	108	110	111	105	108	109	108
9	118	141	139	137	141	125	127	121	124	119	128	125	125	129	127	127	124	130	128	123	126
10	323	309	310	312	309	319	327	316	306	326	309	304	310	317	314	314	313	306	319	331	309
11	308	299	299	300	299	291	290	295	286	298	293	292	289	291	293	298	293	304	299	297	294
12	86	102	86	85	102	102	111	104	92	108	80	68	86	86	95	74	95	54	54	92	65
13	149	156	164	166	156	149	162	182	163	153	162	157	157	157	155	149	155	157	154	153	150
14	92	98	98	96	98	101	111	105	104	104	108	104	105	103	107	105	100	103	106	104	103
15	110	117	115	114	117	114	124	113	115	127	119	118	118	122	127	119	126	120	123	128	128
16	110	114	114	114	113	115	123	113	114	124	117	118	118	119	124	119	124	120	122	124	126
17	167	160	161	163	160	178	168	167	168	172	167	170	169	168	161	167	170	168	172	171	172
18	167	158	156	156	159	165	158	167	161	170	163	161	160	166	164	163	165	172	168	162	166
19	82	86	86	86	86	93	84	92	88	87	84	88	91	87	87	95	89	88	87	89	90
20	80	91	91	91	91	100	84	93	93	91	92	93	94	91	92	94	93	92	93	92	92
21	175	168	165	167	168	176	172	172	171	173	173	171	169	175	176	171	179	178	176	174	175
22	230	241	237	232	241	228	247	244	229	240	233	233	235	232	233	238	236	241	233	239	228
23	230	234	232	234	235	229	224	225	229	232	229	230	227	233	227	228	230	228	229	230	231
24	151	132	134	134	133	152	173	155	141	154	142	139	149	174	188	153	142	157	121	160	158
25	290	285	282	282	284	272	272	279	275	281	280	277	284	283	279	283	280	288	284	282	280
26	172	171	173	175	171	192	181	173	189	186	186	185	184	182	182	177	184	173	181	189	177
27	197	190	188	191	190	198	188	198	195	197	198	194	195	201	198	197	198	198	195	194	200
28	105	126	123	119	126	114	118	117	121	112	117	114	118	115	114	129	120	112	117	114	112
29	112	119	119	117	119	115	115	117	119	113	115	116	118	114	115	115	113	116	116	114	118
30	105	118	122	121	117	116	118	118	118	116	117	119	121	115	115	115	115	116	115	112	116

EK-6 Disk son sıcaklığı için geliştirilen YSA'nın sorgu kodları

```

clear
v=input ('TAŞIT HIZINI GİRİNİZ (km/h).....:');
m=input ('TAŞITIN YÜKLÜ AĞIRLIĞINI GİRİNİZ (kg).....:');
s=input ('EĞİMLİ YOL UZUNLUĞUNU GİRİNİZ (m).....:');
r=input ('YAVAŞLATICI KADEMESİNİ GİRİNİZ (0-1-2).....:');
t1=input('FREN DİSKİNİN BAŞLANGIÇ SICAKLIĞINI GİRİNİZ.....:');
ns=(v*4.111*2.653)/0.348;
if r==0
    tr=0;
else if r==1 & ns<=900
    tr=(1*10^(-07)*ns^(3)-0.0003*ns^(2)+0.2944*ns+1.0056)/217.1;
else if r==1 & ns>900
    tr=(5*10^(-07)*ns^(2)-0.011*ns+105.33)/217.1;
else if r==2 & ns<=600
    tr=(9*10^(-07)*ns^(3)-
0.0014*ns^(2)+0.8442*ns+1.3095)/217.1;
else if r==2 & 600<ns<=1000
    tr=(69.11*ns^(0.1672))/217.1;
if r==2 & ns>1000
    tr=(-3*10^(-08)*ns^(2)-0.0175*ns+238.1)/217.1;
end
end
end
end
end
end
end
end
v=(v-20)/30;
m=(m-2000)/1500;
s=(s-1000)/5000;
t1=(t1-40)/308;
g=[v m s tr t1];
g=g';
save g
load n29;
t2=sim(n29,g);
t2=((t2*326)+47);
DISK_SON_SICAKLIGI=t2
yt=tr*217.1;
YAVASLATICININ_UYGULADIGI_TORK=yt

```

EK-7 Yavaşlatıcı torku tahmini için geliştirilen YSA'nın normalizasyon kodları

```

clear
clc
p= xlsread ('C:\MATLAB7\work\downhill\retarder\legitim.xls');
ns=(p(:,1)*4.111*2.653)/0.348;
g(:,1)=(p(:,1)-20)/30;
g(:,2)=(p(:,2)-2000)/1500;
g(:,3)=(p(:,3)-1000)/5000;
g(:,4)=(p(:,4)-40)/308;
g(:,5)=(p(:,5)-47)/326;
k=230;
for m = 1:k
    if p(m,6)==0
        t(m)=0;
    else if p(m,6)==1 & ns(m)<=900
        t(m)=(1*10^(-07)*ns(m)^3-
0.0003*ns(m)^2+0.2944*ns(m)+1.0056)/217.1;
    else if p(m,6)==1 & ns(m)>900
        t(m)=(5*10^(-07)*ns(m)^2-0.011*ns(m)+105.33)/217.1;
    else if p(m,6)==2 & ns(m)<=600
        t(m)=(9*10^(-07)*ns(m)^3-
0.0014*ns(m)^2+0.8442*ns(m)+1.3095)/217.1;
    else if p(m,6)==2 & 600<ns(m)<=1000
        t(m)=(69.11*ns(m)^(0.1672))/217.1;
    if p(m,6)==2 & ns(m)>1000
        t(m)=(-3*10^(-08)*ns(m)^2-
0.0175*ns(m)+238.1)/217.1;
    end
    end
    end
    end
    end
    end
    end
g=g';
p1= xlsread ('C:\MATLAB7\work\downhill\retarder\test.xls');
ns1=(p1(:,1)*4.111*2.653)/0.348;
g1(:,1)=(p1(:,1)-20)/30;
g1(:,2)=(p1(:,2)-2000)/1500;
g1(:,3)=(p1(:,3)-1000)/5000;
g1(:,4)=(p1(:,4)-40)/308;
g1(:,5)=(p1(:,5)-47)/326;
k1=40;
for m1 = 1:k1
    if p1(m1,6)==0
        t1(m1)=0;
    end
end

```


EK-8 Yavaşlatıcı torku tahmini için geliştirilen YSA'ların test setine verdiği cevaplar

Sıra no	Deney Sonucu	YSA'nın Tahmini														
		r1	r2	r3	r4	r5	r6	r7	r8	r9	r10	r11	r12	r13	r14	r15
1	0,0	1,8	-3,1	7,1	3,3	-3,4	-0,3	3,5	0,2	-11,3	-1,2	-1,3	0,4	-1,7	0,1	-1,2
2	0,0	-2,1	-1,2	-4,4	-0,4	1,2	-1,4	-5,1	-1,2	1,6	6,8	4,9	15,8	-2,1	0,7	-0,6
3	95,4	80,7	88,9	68,8	94,6	107,6	93,9	76,7	94,1	76,7	104,0	99,7	121,1	95,2	96,5	94,3
4	0,0	8,6	0,9	15,7	2,1	-1,3	1,1	15,8	-0,3	-5,1	0,0	-0,5	0,4	-0,4	-0,5	-2,1
5	217,1	191,8	181,5	183,1	214,6	187,6	193,2	185,4	207,2	150,9	204,0	210,9	217,1	175,5	214,4	217,1
6	0,0	-3,9	-3,5	-9,9	-0,4	-5,0	-1,4	1,8	-1,2	-13,6	-7,3	4,2	1,1	0,6	-0,6	-1,3
7	92,3	72,2	76,8	60,9	87,3	70,0	88,6	66,9	88,8	83,7	72,3	82,7	63,8	80,7	88,0	90,2
8	0,0	7,7	-0,4	-3,1	0,2	1,1	-1,4	7,7	-27,3	-5,2	-2,1	3,9	0,1	-1,6	-0,2	0,4
9	0,0	-0,9	2,3	3,2	-0,4	-5,1	-1,4	3,1	-1,4	-5,7	-1,4	3,6	-2,3	-0,7	-0,6	-0,2
10	0,0	10,9	6,7	19,1	0,2	2,6	3,3	1,5	-0,3	17,2	3,3	2,0	0,4	2,2	2,7	-2,3
11	210,6	198,7	214,6	194,1	211,4	215,5	216,2	207,4	217,1	216,3	217,1	217,1	217,1	215,1	209,7	215,6
12	0,0	0,0	-1,7	-1,5	-0,4	2,8	-1,4	4,1	-1,2	-0,7	1,8	-1,5	-5,4	-3,0	0,7	-0,4
13	95,4	87,6	107,4	75,7	94,6	105,4	93,9	97,3	94,3	121,7	97,3	98,4	94,6	96,2	95,8	93,5
14	95,4	76,9	99,9	109,1	94,6	100,9	96,2	98,6	94,3	93,7	94,5	94,6	94,8	96,2	95,0	96,9
15	0,0	-5,7	-4,4	-1,3	3,0	-3,6	-0,5	1,4	-0,3	-6,9	-1,1	-1,3	0,4	-1,9	0,1	-1,4
16	0,0	-1,8	-0,8	4,7	0,1	-0,6	1,4	2,8	-0,3	-9,9	0,1	-0,5	0,4	-0,1	-0,7	0,0
17	95,4	107,3	94,6	111,3	131,7	95,3	105,0	108,4	92,1	112,6	148,4	137,6	90,7	107,0	116,9	131,6
18	217,1	208,1	214,9	196,5	217,1	216,3	217,1	208,1	217,1	216,3	217,1	217,1	217,1	216,5	216,1	217,1
19	0,0	-3,5	-3,6	-12,5	-0,4	-3,3	-1,4	1,6	-1,2	-10,6	-5,5	-3,3	1,5	0,9	-0,5	-1,4
20	92,3	94,2	86,0	88,9	94,6	94,1	93,9	101,0	94,3	89,9	94,5	93,2	84,8	91,9	93,2	93,0

EK-8 (Devam) Yavaşlatıcı torku tahmini için geliştirilen YSA'ların test setine verdiği cevaplar

Sıra no	Deney Sonucu	YSA'nın Tahmini														
		r1	r2	r3	r4	r5	r6	r7	r8	r9	r10	r11	r12	r13	r14	r15
21	0,0	-2,9	-3,8	-11,8	-0,4	-2,6	-1,4	2,5	-1,2	-5,6	-0,4	-3,7	1,6	0,5	-0,5	-0,8
22	0,0	4,7	0,1	-12,0	0,4	0,9	-1,4	-0,3	11,0	4,2	-0,7	-1,0	-8,3	-1,3	0,0	-0,1
23	0,0	3,3	5,2	11,8	-2,3	3,7	3,8	-10,0	-0,3	-7,1	2,8	2,3	0,4	3,0	0,4	-12,9
24	92,3	61,6	74,8	71,7	82,4	74,9	72,4	79,8	95,0	87,7	92,6	93,2	90,7	74,7	100,3	100,3
25	210,6	205,	216,1	199,2	214,6	216,8	217,1	212,2	217,1	216,1	217,1	216,9	217,1	216,9	211,7	213,7
26	95,4	102,	96,1	95,7	94,6	100,2	93,9	102,0	94,3	104,0	99,6	93,3	97,9	96,6	94,3	94,5
27	95,4	94,6	95,2	105,5	94,7	97,6	96,6	96,1	94,3	98,7	94,1	99,3	101,7	96,5	95,5	96,2
28	217,1	212,	216,4	200,5	217,1	217,0	217,1	214,4	217,1	216,8	217,1	217,1	217,1	217,0	216,3	217,1
29	210,6	209,	216,8	206,2	210,2	217,0	217,1	215,1	217,1	217,1	217,1	217,1	217,1	217,0	210,6	214,2
30	210,6	215,	217,1	210,4	211,5	217,1	217,1	217,1	217,1	217,1	217,1	217,1	217,1	217,1	214,1	217,1
31	95,4	117,	111,4	119,2	94,8	109,4	96,0	102,3	94,3	97,7	90,7	100,3	119,6	96,7	95,3	104,9
32	95,4	99,2	109,0	85,1	93,5	115,3	55,9	99,9	89,1	90,8	89,4	92,8	123,9	115,3	100,7	96,5
33	0,0	-9,5	-5,4	-6,3	2,3	-4,0	-0,8	-4,1	-0,3	10,2	-1,4	-0,7	0,4	-2,4	0,0	-1,1
34	0,0	-2,6	-3,7	-14,6	-0,4	-2,5	-1,4	1,9	-1,2	-8,5	2,3	4,0	-3,2	-1,3	-0,5	-1,1
35	0,0	-0,4	-0,6	-22,8	0,4	3,5	-1,4	-5,5	-36,0	17,1	1,8	-5,4	-62,6	-1,8	0,2	-3,3
36	92,3	92,7	115,0	81,6	94,2	109,3	122,5	97,6	95,5	104,5	96,6	103,3	90,7	110,8	94,8	95,8
37	0,0	0,0	-3,1	-9,1	-0,4	-0,6	-1,4	-6,8	-1,2	-0,4	0,1	3,4	-3,0	-0,8	-0,5	0,2
38	0,0	0,2	-3,1	-11,3	-0,4	-0,5	-1,4	14,7	-1,2	9,2	3,3	-0,1	0,2	-1,5	0,7	-0,1
39	0,0	-7,1	-3,0	-3,3	2,6	-2,5	0,2	0,7	-0,3	13,7	-0,3	-1,0	0,4	-1,7	-0,6	-1,9
40	0,0	0,5	0,1	14,1	-0,4	7,8	-1,4	-7,0	-55,1	21,2	3,6	-0,4	-2,2	-1,1	0,6	1,0

EK-9 Yavaşlatıcı torku tahmini için geliştirilen YSA'nın sorgu kodları

```
clear
v=input('TAŞIT HIZINI GİRİNİZ (km/h).....:');
m=input('TAŞITIN YÜKLÜ AĞIRLIĞINI GİRİNİZ (kg).....:');
s=input('EĞİMLİ YOL UZUNLUĞUNU GİRİNİZ (m).....:');
t1=input('FREN DİSKİNİN BAŞLANGIÇ SICAKLIĞINI GİRİNİZ.....:');
t2=input('FREN DİSKİNİN SON SICAKLIĞINI GİRİNİZ.....:');
v=(v-20)/30;
m=(m-2000)/1500;
s=(s-1000)/5000;
t1=(t1-40)/308;
t2=(t2-47)/326;
g=[v m s t1 t2];
g=g';
save g
load r8;
tr=sim(r8,g);
tr=tr*217.1;
YAVASLATICI_TORKU=tr
```


EK-11 Taşıtlı ağırlığı tahmini için geliştirilen YSA'ların test setine verdiği cevaplar

Sıra no	Deney Sonucu	YSA'nın Tahmini								
		m1	m2	m3	m4	m5	m6	m7	m8	m9
1	2000	2061	2019	2031	2270	2117	2081	1440	2012	2063
2	2000	2230	2177	2166	2407	2257	2369	2229	2070	2239
3	2750	2242	2503	3118	2623	2014	3338	2433	3018	2698
4	3500	3500	3500	3499	3500	3500	3500	3500	3500	3500
5	3500	3500	3499	3498	3500	3500	3500	3500	3500	3500
6	3500	3500	3499	3500	3500	3500	3500	3496	3500	3500
7	2750	2297	2549	2429	2407	2479	2325	2143	2493	2777
8	2000	2793	2013	2835	2604	2911	2729	2820	2851	2679
9	2000	2214	2118	2021	2046	2246	1824	2199	2044	2089
10	2750	2495	2701	2576	2565	2298	2533	2352	2262	2413
11	3500	3500	3496	3494	3498	3500	3500	3435	3500	3500
12	3500	3500	3498	3500	3500	3500	3500	3496	3500	3500
13	3500	3500	3500	3499	3500	3500	3500	3500	3500	3500
14	2000	1983	2009	2040	1975	2006	2007	1590	2003	2010
15	2000	2075	2188	2147	2158	2098	2120	2022	2165	1849
16	3500	3500	3499	3499	3500	3500	3500	3500	3500	3500
17	3500	3500	3431	3500	3500	3500	3500	3499	3500	3500
18	3500	3500	3495	3500	3500	3500	3500	3496	3500	3500
19	2750	2736	2585	2693	2738	2792	2739	2183	2546	2735
20	2000	1990	2029	2000	1954	2042	2018	2010	2003	2055
21	2000	1997	1923	2032	2441	2032	2155	2321	2040	2449
22	3500	3500	3498	3493	3498	3500	3500	3499	3500	3500
23	2000	2056	2019	1999	2015	1998	2003	2020	2012	1996
24	2750	2786	2697	2747	2736	2836	2816	2770	2591	2716
25	3500	3500	3480	3500	3500	3500	3500	3499	3500	3486
26	2000	1998	2040	2016	1957	2038	2030	2010	2003	2120
27	3500	3500	3487	3500	3500	3500	3500	3496	3500	3500
28	2000	2045	2091	2098	2052	2051	2000	1881	2000	1969
29	3500	3500	3495	3500	3500	3500	3500	3496	3500	3500
30	2750	2533	3042	2754	2679	2616	2574	2422	500	2583
31	3500	3500	3480	3500	3500	3500	3500	3496	3499	3500
32	2000	2001	2022	2020	1970	2043	2039	2011	2003	2083
33	3500	3500	3471	3500	3500	3500	3500	3496	3500	3500
34	3500	3500	3500	3500	3500	3500	3500	3500	3500	3500
35	2000	1997	2062	2023	1961	2073	2032	2010	2003	2019
36	3500	3500	3476	3476	3494	3500	3500	3450	3499	3500
37	2000	1990	2106	2122	2105	2077	2024	2032	1277	2019
38	3500	3500	3497	3500	3500	3500	3500	3499	3500	3500
39	2750	2820	3119	2931	2918	2975	2854	2753	500	2854
40	3500	3500	3484	3489	3499	3500	3500	3463	3500	3500

EK-12 Taşıt ağırlığı tahmini için geliştirilen YSA'nın sorgu kodları

```

clear
v=input('TAŞIT HIZINI GİRİNİZ (km/h).....:');
s=input('EĞİMLİ YOL UZUNLUĞUNU GİRİNİZ (m).....:');
t1=input('FREN DİSKİNİN BAŞLANGIÇ SICAKLIĞINI GİRİNİZ.....:');
t2=input('FREN DİSKİNİN SON SICAKLIĞINI GİRİNİZ.....:');
r=input('YAVAŞLATICI KADEMESİNİ GİRİNİZ (0-1-2).....:');
ns=(v*4.111*2.653)/0.348;
if r==0
    tr=0;
else if r==1 & ns<=900
    tr=(1*10^(-07)*ns^(3)-0.0003*ns^(2)+0.2944*ns+1.0056)/217.1;
else if r==1 & ns>900
    tr=(5*10^(-07)*ns^(2)-0.011*ns+105.33)/217.1;
else if r==2 & ns<=600
    tr=(9*10^(-07)*ns^(3)-
0.0014*ns^(2)+0.8442*ns+1.3095)/217.1;
else if r==2 & 600<ns<=1000
    tr=(69.11*ns^(0.1672))/217.1;
if r==2 & ns>1000
    tr=(-3*10^(-08)*ns^(2)-0.0175*ns+238.1)/217.1;
end
end
end
end
end
end
end
v=(v-20)/30;
s=(s-1000)/5000;
t1=(t1-40)/308;
t2=(t2-47)/326;
g=[v s t1 t2 tr];
g=g';
save g
load m9;
m=sim(m9,g);
m=(m*2000)+1500;
TASITIN_KUTLESİ=m

```

EK-13 Taşıt hızı ve yavaşlatıcı torku tahmini için geliştirilen YSA'nın normalizasyon kodları

```

clear
clc
p= xlsread ('C:\MATLAB7\work\downhill\vr\legitim.xls');
g(:,1)=(p(:,1)-2000)/1500;
g(:,2)=(p(:,2)-1000)/5000;
g(:,3)=(p(:,3)-40)/308;
g(:,4)=(p(:,4)-47)/326;
ns=(p(:,5)*4.111*2.653)/0.348;
tv=(p(:,5)-20)/30;
k=230;
for m = 1:k
    if p(m,6)==0
        tr(:,m)=0;
    else if p(m,6)==1 & ns(m)<=900
        tr(:,m)=(1*10^(-07)*ns(m)^3)-
0.0003*ns(m)^2+0.2944*ns(m)+1.0056)/217.1;
    else if p(m,6)==1 & ns(m)>900
        tr(:,m)=(5*10^(-07)*ns(m)^2-0.011*ns(m)+105.33)/217.1;
    else if p(m,6)==2 & ns(m)<=600
        tr(:,m)=(9*10^(-07)*ns(m)^3)-
0.0014*ns(m)^2+0.8442*ns(m)+1.3095)/217.1;
    else if p(m,6)==2 & 600<ns(m)<=1000
        tr(:,m)=(69.11*ns(m)^(0.1672))/217.1;
    if p(m,6)==2 & ns(m)>1000
        tr(:,m)=(-3*10^(-08)*ns(m)^2)-
0.0175*ns(m)+238.1)/217.1;
    end
    end
    end
    end
    end
    end
    end
    end
tr=tr';
t=[tv tr];
g=g';
t=t';
p1= xlsread ('C:\MATLAB7\work\downhill\vr\test.xls');
g1(:,1)=(p1(:,1)-2000)/1500;
g1(:,2)=(p1(:,2)-1000)/5000;
g1(:,3)=(p1(:,3)-40)/308;
g1(:,4)=(p1(:,4)-47)/326;
ns1=(p1(:,5)*4.111*2.653)/0.348;
tv1=(p1(:,5)-20)/30;

```


EK-13 (Devam) Taşıt hızı ve yavaşlatıcı torku tahmini için geliştirilen
YSA'nın normalizasyon kodları

```

k1=40;
for m1 = 1:k1
    if p1(m1,6)==0
        tr1(:,m1)=0;
    else if p1(m1,6)==1 & ns1(m1)<=900
        tr1(:,m1)=(1*10^(-07)*ns1(m1)^(3)-
0.0003*ns1(m1)^(2)+0.2944*ns1(m1)+1.0056)/217.1;
    else if p1(m1,6)==1 & ns1(m1)>900
        tr1(:,m1)=(5*10^(-07)*ns1(m1)^(2)-
0.011*ns1(m1)+105.33)/217.1;
    else if p1(m1,6)==2 & ns1(m1)<=600
        tr1(:,m1)=(9*10^(-07)*ns1(m1)^(3)-
0.0014*ns1(m1)^(2)+0.8442*ns1(m1)+1.3095)/217.1;
    else if p1(m1,6)==2 & 600<ns1(m1)<=1000
        tr1(:,m1)=(69.11*ns1(m1)^(0.1672))/217.1;
    if p1(m1,6)==2 & ns1(m1)>1000
        tr1(:,m1)=(-3*10^(-08)*ns1(m1)^(2)-
0.0175*ns1(m1)+238.1)/217.1;
    end
    end
    end
    end
    end
    end
    end
    tr1=tr1';
    t1=[tv1 tr1];
    g1=g1';
    t1=t1';

```

EK-14 Taşıt hızı ve yavaşlatıcı torku tahmini için geliştirilen farklı YSA konfigürasyonlarının performansları

YSA	ARAKAT NÖRON SAYISI	TRANSFER FONKSİYONU	EPOCH SAYISI	AĞ PERFORMANSI								AĞIN GENEL PERFORMANSI (MSE) (R ²)
				TAŞIT HIZI				YAVAŞLATICI TORKU				
				Lineer Regresyon (R)		Hata Kareleri Ortalaması (MSE) (R ²)		Lineer Regresyon (R)		Hata Kareleri Ortalaması (MSE) (R ²)		
				EĞİTİM	TEST	EĞİTİM	TEST	EĞİTİM	TEST	EĞİTİM	TEST	
vr1	3	Tanjant hiperbolik	100	0,50438	0,60932	0,95582	0,95639	0,95461	0,97791	0,98989	0,99405	0,9728
vr2			300	0,51302	0,58644	0,95634	0,95490	0,94349	0,97760	0,98750	0,99367	0,9719
vr3			500	0,53268	0,46360	0,95756	0,94400	0,94384	0,97651	0,98756	0,99322	0,9725
vr4	5	Tanjant hiperbolik	100	0,60871	0,68551	0,96270	0,96369	0,95849	0,99020	0,99073	0,99703	0,9767
vr5			300	0,65763	0,72255	0,96637	0,96752	0,96661	0,98473	0,99253	0,99584	0,9794
vr6			500	0,63400	0,72493	0,96456	0,96764	0,98055	0,99787	0,99562	0,99937	0,9800
vr7	7	Tanjant hiperbolik	100	0,70281	0,72853	0,97002	0,96681	0,96606	0,98986	0,99238	0,99716	0,9811
vr8			300	0,78127	0,63974	0,97691	0,96052	0,97662	0,99075	0,99469	0,99751	0,9858
vr9			500	0,74031	0,65699	0,97322	0,95961	0,98265	0,99860	0,99609	0,99961	0,9846
vr10	9	Tanjant hiperbolik	100	0,75141	0,65952	0,97420	0,96200	0,95731	0,97396	0,99047	0,99304	0,9823
vr11			300	0,74909	0,63455	0,97399	0,95966	0,97428	0,98980	0,99422	0,99716	0,9841
vr12			500	0,81404	0,70893	0,98001	0,96599	0,96604	0,99137	0,99239	0,99743	0,9862
vr13	11	Tanjant hiperbolik	100	0,79463	0,74047	0,97815	0,96961	0,97568	0,99359	0,99451	0,99824	0,9863
vr14			300	0,86457	0,72049	0,98504	0,96703	0,98374	0,99796	0,99633	0,99943	0,9906
vr15			500	0,84784	0,77459	0,98333	0,97304	0,97950	0,99032	0,99538	0,99736	0,9893

EK-15 Taşıt hızı ve yavaşlatıcı torku tahmini için geliştirilen YSA'ların test setine verdiği cevaplar (Taşıt hızı)

Sıra no	Deney Sonucu	YSA'nın Tahmini														
		vr1	vr2	vr3	vr4	vr5	vr6	vr7	vr8	vr9	vr10	vr11	vr12	vr13	vr14	vr15
1	20	20,7	21,3	33,4	18,5	20,6	22,1	23,1	22,2	20,8	19	25,3	21,9	23,4	26,2	27,9
2	30	34,9	34,7	33,5	35,1	35,7	35,3	34,7	36,1	37,5	31,1	35,8	29,6	33,5	29,7	35,4
3	40	35,2	35	34	34,7	37,7	34	34,1	32,7	35,8	34	36,2	35,9	36,1	34,7	35,2
4	30	35,2	35,1	34,9	34,5	40	32,5	33,9	32,3	33,8	33,6	34,3	34,6	33	37,4	36,7
5	40	34,8	34,7	33,5	35,1	35,6	35,1	35,5	36	37,5	31	38,4	31,7	36,8	36,9	37,3
6	30	30,9	34,7	33,5	31,4	30,1	28,3	30,8	29,8	30	32,5	31,6	30,6	31,4	34,4	33,7
7	40	34,9	34,7	33,5	35	35,5	35,1	34,4	36,4	37,5	31,1	35,7	32,1	34,7	31,2	34,9
8	50	36,7	36,8	35,7	37,9	43,4	39,3	35,5	39,3	36	38,7	38,1	39,6	39,8	40,2	50
9	20	20,4	21,2	33,4	17,9	20,2	21,5	22,2	20,2	19,6	19,1	18,9	20,3	19,6	20,1	19,3
10	30	36,7	36,9	36,1	38,6	41,3	39,3	37,2	42,7	35,8	37,9	38,4	35,6	38,1	39,3	38,4
11	40	34,9	34,8	33,6	39,7	35,8	40	40,9	40,4	37,5	39,6	41,4	41,3	41,6	41,9	39,3
12	30	35,4	35,2	34,2	34,6	33,7	37,6	35	36,5	35,2	34,7	38,1	35,9	38,5	35	36,7
13	40	34,8	34,7	33,5	36,5	35,5	39,1	38,5	39,2	37,5	37,9	34,6	38,9	37,5	36,8	36,7
14	30	34,9	34,8	33,6	35,1	35,6	35,3	34,5	36,1	37,5	31,7	33,1	31,8	30,2	26,9	33,7
15	20	20,2	21,2	24	16,5	19,6	20,5	22	22,8	19,6	19,5	21,6	20,9	20,2	20,4	23
16	30	35,8	35,6	35	30	23,4	31,9	30,4	35,8	34,7	36,1	32,2	30,3	34,5	31,5	30,1
17	40	34,8	34,7	33,5	35,2	35,7	35	35,9	36,1	37,5	39,3	36,5	38,6	38,4	41,1	36,3
18	30	32,7	34,6	33,4	34,7	32,2	30,8	32,3	27,7	29,1	35,8	27,2	32,1	31,2	28	28,6
19	40	35,4	35,3	35,6	34,6	36,3	33,8	34,9	37,3	35,1	34,7	38,6	34,5	38,6	40,3	37,6
20	30	35,7	35,6	27,8	35,4	35,3	32	32,9	34	28,7	33,8	29,8	38,7	30,4	31,1	24,8

EK-15 (Devam) Taşıt hızı ve yavaşlatıcı torku tahmini için geliştirilen YSA'ların test setine verdiği cevaplar (Taşıt hızı)

Sıra no	Deney Sonucu	YSA'nın Tahmini														
		vr1	vr2	vr3	vr4	vr5	vr6	vr7	vr8	vr9	vr10	vr11	vr12	vr13	vr14	vr15
21	40	34,7	34,7	33,4	35,7	35,6	40,7	39,2	36,8	29,1	37,8	32,2	40,1	36,9	34,5	37,6
22	30	37,2	37,4	36,3	38,5	36,5	39,4	36,3	42,1	36,8	41,1	41,6	38,4	37,9	39,8	41,4
23	40	34,8	34,7	33,5	35,2	35,7	35	34,7	36,3	37,5	32,7	37,3	36,3	38,1	38,7	37,6
24	50	37,1	37,3	36,2	38,4	43,1	39,4	36,1	42	37,9	40,1	40,6	40,9	40,5	42,8	50
25	40	34,9	34,7	33,5	40,3	35,8	39,2	38,4	39,3	37,5	39,5	40,5	42,2	42,4	39,9	39,7
26	30	34,3	34,6	26,4	26,6	34,3	28,3	31,3	30,2	20,8	29,4	37,7	27,9	30,7	30,8	32
27	40	35,3	35,1	33,9	34,5	35,6	36	38,1	35,9	35,6	32,5	36,2	33,2	37,1	38,4	37,8
28	50	36,9	37	36,4	38,5	35,6	39,4	36,4	34,9	35,9	38,5	36,8	33,2	31,7	34,6	36,8
29	30	35,4	35,5	30,6	34,6	32,5	32,9	35,4	27,2	28	31,4	27,6	32,7	30,5	28,9	30,8
30	40	35,3	35,3	34,1	38,6	35,5	38,5	39,8	36,3	35,2	40,5	35,5	37,1	39,2	42,9	40,1
31	30	35,6	35,7	34,7	29,9	31,8	31,9	30	35,4	35,1	36,3	30,5	29,5	29,8	29,4	32,9
32	40	34,8	34,7	36,3	35,3	35,8	35	36	35,3	37,2	39,1	36,5	39,1	38,8	43,8	38,9
33	30	37,6	37,7	36,8	39	35,8	39,4	37,9	40,8	37,2	40,6	42,1	36,6	37,3	37,3	42,4
34	40	34,8	34,7	33,5	35,3	35,7	35	36,7	36,3	37,4	40,5	32,5	41,2	38,8	35,2	34,6
35	50	37,8	37,9	37,3	39,3	43,9	39,4	41,1	39,3	38,3	39,4	40,8	37,1	38,2	38,7	50
36	30	35,5	35,9	35,2	28,8	31,9	31,9	28,8	35,6	34,6	36,7	31,9	28	29,5	29,8	34,9
37	40	34,8	34,7	34,8	41,5	35,8	38,9	38	37,7	35,9	40,4	43,4	42,4	41,4	39,8	37,3
38	30	35,4	35,4	34,3	38,1	35,4	35,3	28,7	32,7	35,4	35,2	34,3	29	32,2	29,2	30,8
39	40	34,8	34,7	34,8	41	35,8	39,5	41	37,7	35,9	40,4	45,7	42,2	43,2	43	36,3
40	30	34,8	34,7	29,3	35,3	35,7	34,6	34,9	32,1	32,3	33	37	32,9	28,9	22,4	31

EK-16 Taşıt hızı ve yavaşlatıcı torku tahmini için geliştirilen YSA'ların test setine verdiği cevaplar (Yavaşlatıcı torku)

Sıra no	Deney Sonucu	YSA'nın Tahmini														
		vr1	vr2	vr3	vr4	vr5	vr6	vr7	vr8	vr9	vr10	vr11	vr12	vr13	vr14	vr15
1	0,0	9,6	7,4	-1,0	-0,7	3,9	-0,8	0,3	-2,1	0,3	5,8	-3,8	-3,1	-0,4	0,9	-0,3
2	0,0	4,8	6,5	10,1	4,0	-2,2	-1,1	11,0	-0,2	-0,4	-13,7	0,3	2,3	-8,2	1,2	-4,9
3	92,3	47,6	46,6	49,4	57,5	65,8	68,1	66,3	88,4	73,7	57,6	75,8	53,3	62,0	69,6	67,9
4	95,4	58,4	59,3	60,7	78,4	53,2	92,2	79,5	91,3	91,8	67,7	95,8	62,2	82,0	93,2	76,1
5	0,0	-2,7	0,0	3,6	-3,0	-4,7	-1,1	1,3	-0,4	-0,4	-21,4	-2,4	0,7	-4,0	2,8	-15,4
6	0,0	3,5	2,1	5,8	6,0	6,3	-0,2	5,7	0,1	-0,3	0,7	-2,9	-1,7	-1,5	4,0	5,9
7	0,0	5,2	8,2	11,6	7,4	0,4	-1,1	10,9	0,3	-0,4	-10,7	-2,4	0,4	-6,9	2,7	-7,2
8	210,6	186,9	189,9	187,4	188,5	183,1	210,0	194,0	195,9	217,1	197,2	204,9	202,8	214,4	217,0	217,1
9	0,0	1,6	-1,7	-10,6	-7,5	-1,0	-0,9	-7,4	-3,6	0,4	-2,7	-1,2	-3,4	-1,5	-3,5	-1,9
10	217,1	187,6	193,3	190,7	193,3	192,7	210,0	192,8	196,0	217,1	199,1	205,9	194,5	206,2	215,0	202,9
11	0,0	9,2	10,7	14,4	-4,0	-0,1	-0,2	16,3	-2,1	-0,4	6,4	2,4	4,3	3,3	1,2	9,4
12	95,4	84,0	70,2	72,0	78,8	104,8	94,8	91,5	94,1	94,3	81,8	101,6	99,6	96,7	95,5	100,3
13	0,0	1,4	3,1	6,4	10,0	6,3	1,3	3,1	1,9	-0,4	-2,0	0,0	3,6	-3,4	-1,0	9,6
14	0,0	13,2	10,3	13,8	5,6	-1,8	-1,1	12,3	-0,2	-0,4	-4,3	3,8	6,8	-7,9	-2,7	2,9
15	0,0	-5,1	-7,0	-25,8	-15,3	-3,3	-1,0	-0,8	-4,8	-1,1	11,5	4,1	-4,6	5,6	-1,9	-2,6
16	95,4	125,5	114,6	113,9	109,4	113,4	95,8	99,5	99,2	94,3	131,2	90,5	99,7	104,8	94,9	116,7
17	0,0	3,1	0,7	4,0	-3,9	-5,2	-1,1	-5,4	-0,2	-0,4	12,8	-1,8	3,2	1,1	3,1	-12,2
18	0,0	-10,1	-9,0	-5,9	-4,0	-1,1	0,1	-3,1	-0,7	0,2	-14,0	-0,3	-2,2	-5,7	-2,0	-3,5
19	92,3	91,4	75,8	77,8	80,3	82,0	95,5	83,4	96,3	94,3	85,1	96,1	93,6	100,9	98,1	87,9
20	95,4	116,0	107,7	100,6	111,7	121,2	95,9	127,6	83,5	91,1	89,0	84,4	99,1	96,8	87,7	110,1

EK-16 (Devam) Taşıt hızı ve yavaşlatıcı torku tahmini için geliştirilen YSA'ların test setine verdiği cevaplar
(Yavaşlatıcı torku)

Sıra no	Deney Sonucu	YSA'nın Tahmini														
		vr1	vr2	vr3	vr4	vr5	vr6	vr7	vr8	vr9	vr10	vr11	vr12	vr13	vr14	vr15
21	0,0	-7,3	-4,0	-1,0	1,2	1,3	1,5	0,8	1,9	0,2	-9,0	1,7	-0,8	-6,4	-0,5	-3,5
22	217,1	206,5	203,6	201,3	206,7	214,9	210,1	208,9	208,4	217,1	207,6	214,5	209,5	216,6	217,1	217,1
23	0,0	1,7	-0,1	3,1	-3,5	-5,2	-1,1	-7,4	0,1	-0,4	-1,9	-5,6	-1,9	3,1	4,2	-9,8
24	210,6	202,9	201,5	199,3	203,6	208,2	210,1	207,6	205,3	217,1	205,2	212,9	212,2	216,9	217,1	217,1
25	0,0	6,8	5,1	8,3	-3,8	-1,0	-0,4	0,3	-1,2	-0,4	0,8	4,5	3,6	5,6	-4,1	14,2
26	0,0	-19,3	-16,3	-22,2	0,1	-5,2	-0,1	2,7	-0,8	-1,4	10,5	-2,2	-1,9	0,7	1,2	-3,9
27	92,3	61,7	55,4	56,1	66,2	58,2	79,3	70,8	77,8	82,0	47,7	71,3	71,8	69,2	89,4	67,1
28	210,6	199,2	193,9	190,8	197,7	210,7	210,1	201,3	202,0	209,9	198,0	208,8	188,5	200,7	210,9	217,1
29	95,4	104,6	95,8	90,2	98,5	109,6	95,7	91,3	88,4	91,5	77,0	98,4	109,8	89,5	90,9	89,3
30	92,3	79,1	75,0	74,2	96,5	99,5	96,7	89,8	126,9	94,3	93,4	109,0	88,4	101,5	91,8	93,6
31	95,4	128,6	122,8	121,0	95,5	95,7	95,8	100,2	101,1	94,6	132,7	121,1	100,2	104,2	93,4	85,4
32	0,0	5,1	0,4	5,3	-4,4	-5,3	-1,0	-11,9	-1,3	-0,6	11,7	-4,8	1,6	4,8	6,2	-8,4
33	217,1	212,0	208,6	206,6	211,2	216,7	210,1	211,4	210,5	217,1	209,7	215,8	211,3	216,8	217,1	217,1
34	0,0	3,6	5,1	8,0	-1,9	-4,2	0,3	-7,0	0,2	0,4	19,6	-0,5	6,6	7,8	-1,7	-4,4
35	210,6	213,4	210,6	208,9	212,6	216,6	210,1	212,7	210,1	217,1	210,2	215,7	213,8	217,0	217,1	217,1
36	95,4	129,7	141,2	138,5	109,4	120,2	95,8	109,5	106,3	95,0	146,8	138,6	104,7	108,4	93,3	82,9
37	0,0	-0,1	-2,9	0,8	-3,1	-3,2	-0,4	-9,6	-3,3	-1,4	12,3	0,4	1,1	1,9	-1,8	13,7
38	95,4	99,5	88,0	86,4	110,4	116,4	96,2	110,2	139,0	94,4	97,3	129,5	91,2	113,0	86,3	106,6
39	0,0	1,5	-2,5	1,2	4,5	-2,5	-0,3	-8,4	-2,8	-1,4	12,0	3,1	2,2	1,9	-0,7	21,3
40	0,0	7,2	7,2	3,5	0,5	-3,5	15,0	-9,2	-5,7	9,6	4,5	10,2	1,1	-8,4	-7,3	10,3

EK-17 Taşıt hızı ve yavaşlatıcı torku tahmini için geliştirilen
YSA'nın sorgu kodları

```
clear
m=input('TAŞITIN YÜKLÜ AĞIRLIĞINI GİRİNİZ (kg).....:');
s=input('EĞİMLİ YOL UZUNLUĞUNU GİRİNİZ (m).....:');
t1=input('FREN DİSKİNİN BAŞLANGIÇ SICAKLIĞINI GİRİNİZ.....:');
t2=input('FREN DİSKİNİN SON SICAKLIĞINI GİRİNİZ.....:');
m=(m-2000)/1500;
s=(s-1000)/5000;
t1=(t1-40)/308;
t2=(t2-47)/326;
g=[m s t1 t2];
g=g';
save g
load vr15;
t=sim(vr15,g);
v=t(1)*30+20;
TASIT_HIZI=v
r=t(2)*217.1;
UYGULANAN_TORK=r
```

EK-18 Taşıt ağırlığı ve taşıtın katettiği mesafe tahmini için geliştirilen
YSA'nın normalizasyon kodları

```

clear
clc
p= xlsread ('C:\MATLAB7\work\downhill\ms\egitim.xls');
ns=(p(:,1)*4.111*2.653)/0.348;
g(:,1)=(p(:,1)-20)/30;
k=230;
for m = 1:k
if p(m,2)==0
    g(m,2)=0;
else if p(m,2)==1 & ns(m)<=900
    g(m,2)=(1*10^(-07)*ns(m)^3-
0.0003*ns(m)^2+0.2944*ns(m)+1.0056)/217.1;
    else if p(m,2)==1 & ns(m)>900
    g(m,2)=(5*10^(-07)*ns(m)^2-0.011*ns(m)+105.33)/217.1;
    else if p(m,2)==2 & ns(m)<=600
    g(m,2)=(9*10^(-07)*ns(m)^3-
0.0014*ns(m)^2+0.8442*ns(m)+1.3095)/217.1;
    else if p(m,2)==2 & 600<ns(m)<=1000
    g(m,2)=(69.11*ns(m)^(0.1672))/217.1;
    if p(m,2)==2 & ns(m)>1000
    g(m,2)=(-3*10^(-08)*ns(m)^2-0.0175*ns(m)+238.1)/217.1;
    end
    end
    end
    end
    end
end
end
end
end
end
end
g(:,3)=(p(:,3)-40)/308;
g(:,4)=(p(:,4)-47)/326;
tm=(p(:,5)-2000)/1500;
ts=(p(:,6)-1000)/5000;
t=[tm ts];
g=g';
t=t';
p1= xlsread ('C:\MATLAB7\work\downhill\ms\test.xls');
ns1=(p1(:,1)*4.111*2.653)/0.348;
g1(:,1)=(p1(:,1)-20)/30;
k1=40;
for m1 = 1:k1
if p1(m1,2)==0
    g1(m1,2)=0;
else if p1(m1,2)==1 & ns1(m1)<=900

```


EK-18 (Devam) Taşıt ağırlığı ve taşıtın katettiği mesafe tahmini için geliştirilen YSA'nın normalizasyon kodları

```

    g1(m1,2)=(1*10^(-07)*ns1(m1)^3-
0.0003*ns1(m1)^2+0.2944*ns1(m1)+1.0056)/217.1;
    else if p1(m1,2)==1 & ns1(m1)>900
        g1(m1,2)=(5*10^(-07)*ns1(m1)^2-0.011*ns1(m1)+105.33)/217.1;
    else if p1(m1,2)==2 & ns1(m1)<=600
        g1(m1,2)=(9*10^(-07)*ns1(m1)^3-
0.0014*ns1(m1)^2+0.8442*ns1(m1)+1.3095)/217.1;
    else if p1(m1,2)==2 & 600<ns1(m1)<=1000
        g1(m1,2)=(69.11*ns1(m1)^(0.1672))/217.1;
    if p1(m1,2)==2 & ns1(m1)>1000
        g1(m1,2)=(-3*10^(-08)*ns1(m1)^2-
0.0175*ns1(m1)+238.1)/217.1;
    end
    end
    end
    end
    end
    end
    end
    end
    g1(:,3)=(p1(:,3)-40)/308;
    g1(:,4)=(p1(:,4)-47)/326;
    tm1=(p1(:,5)-2000)/1500;
    ts1=(p1(:,6)-1000)/5000;
    t1=[tm1 ts1];
    g1=g1';
    t1=t1';

```

EK-19 Taşıt ağırlığı ve taşıtın katettiği mesafe tahmini için geliştirilen farklı YSA konfigürasyonlarının performansları

YSA	ARAKAT NÖRON SAYISI	TRANSFER FONKSİYONU	EPOCH SAYISI	AĞ PERFORMANSI								AĞIN GENEL PERFORMANSI (MSE) (R ²)
				TAŞIT HIZI				YAVAŞLATICI TORKU				
				Lineer Regresyon (R)		Hata Kareleri Ortalaması (MSE) (R ²)		Lineer Regresyon (R)		Hata Kareleri Ortalaması (MSE) (R ²)		
				EĞİTİM	TEST	EĞİTİM	TEST	EĞİTİM	TEST	EĞİTİM	TEST	
ms1	3	Tanjant hiperbolik	100	0,89937	0,95261	0,96222	0,97157	0,71115	0,83049	0,95766	0,96045	0,9599
ms2			300	0,91323	0,94364	0,96718	0,97161	0,75600	0,73221	0,96330	0,94917	0,9652
ms3			500	0,90174	0,96209	0,96306	0,97735	0,63131	0,78565	0,94847	0,95492	0,9557
ms4	5	Tanjant hiperbolik	100	0,91685	0,95497	0,96848	0,97202	0,77407	0,78498	0,96565	0,95330	0,9670
ms5			300	0,91931	0,94667	0,96925	0,97678	0,79228	0,78187	0,96810	0,95528	0,9686
ms6			500	0,93280	0,91346	0,97432	0,96029	0,79849	0,69825	0,96895	0,94218	0,9716
ms7	7	Tanjant hiperbolik	100	0,94351	0,95084	0,97828	0,97638	0,83785	0,88735	0,97446	0,96968	0,9763
ms8			300	0,93231	0,96244	0,97415	0,97934	0,82715	0,85648	0,97293	0,96448	0,9735
ms9			500	0,94708	0,96247	0,97961	0,97966	0,84096	0,83834	0,97489	0,96648	0,9772
ms10	9	Tanjant hiperbolik	100	0,94457	0,95882	0,97869	0,97807	0,84865	0,86684	0,97601	0,96841	0,9773
ms11			300	0,94080	0,96056	0,97729	0,97930	0,86014	0,80743	0,97770	0,95802	0,9775
ms12			500	0,95906	0,97339	0,98404	0,98924	0,86182	0,85559	0,97795	0,97005	0,9810
ms13	11	Tanjant hiperbolik	100	0,94624	0,93949	0,97931	0,97361	0,84566	0,79202	0,97559	0,95786	0,9774
ms14			300	0,96440	0,97997	0,98617	0,99098	0,89457	0,88450	0,98286	0,97445	0,9845
ms15			500	0,96049	0,95579	0,98469	0,98149	0,88686	0,89139	0,98170	0,97693	0,9831

EK-20 Taşıt ağırlığı ve taşıtın katettiği mesafe tahmini için geliştirilen YSA'ların test setine verdiği cevaplar
(Taşıt ağırlığı)

Sıra no	Deney Sonucu	YSA'nın Tahmini														
		ms1	ms2	ms3	ms4	ms5	ms6	ms7	ms8	ms9	ms10	ms11	ms12	ms13	ms14	ms15
1	3500	3500	3500	3500	3500	3488	3500	3474	3496	3500	3482	3498	3500	3494	3500	3499
2	2000	2224	2365	2225	2233	2226	2319	2230	2427	2077	2262	2196	2367	2351	2270	1854
3	3500	3500	3500	3500	3500	3449	3500	3478	3500	3500	3494	3500	3500	3489	3500	3498
4	3500	3500	3498	3500	3500	3471	3500	3456	3497	3500	3492	3500	3500	3495	3500	3499
5	2000	2293	2141	2271	2503	2180	2158	2461	2387	2440	2453	2507	2184	2103	1863	2386
6	2000	2142	2077	2011	2081	1989	1991	1859	2086	1969	1973	1994	1570	1778	1788	1715
7	2750	3432	3280	3217	3103	3039	3163	2966	3085	2948	2872	2715	2762	2934	2769	2694
8	2000	2086	2223	2107	1973	2132	2202	2037	2071	2004	2016	2051	1989	2047	2071	1924
9	3500	3470	3415	3447	3474	3303	3500	3488	3499	3280	3495	3497	3399	3159	3500	3499
10	2000	2146	2109	2035	2479	2138	2132	2264	2252	2277	2307	2258	1781	2466	2153	2521
11	3500	3500	3500	3500	3500	3487	3500	3486	3500	3500	3489	3500	3500	3493	3500	3497
12	3500	3500	3500	3500	3500	3489	3500	3500	3500	3487	3500	3500	3442	3500	3500	3500
13	3500	3497	3488	3500	3486	3427	3500	3495	3500	3500	3499	3500	3500	3500	3500	3500
14	2750	2627	2718	2700	2890	3079	2666	2459	2337	2452	2506	2560	2851	2445	2743	2749
15	2000	2184	2134	2072	2093	2064	2010	1886	2107	2008	2015	2009	2035	1830	1849	1755
16	3500	3500	3500	3500	3500	3485	3500	3493	3500	3500	3494	3500	3500	3463	3500	3500
17	2750	2586	2675	2576	2586	2308	2635	3290	2591	2917	3105	2839	2968	3225	2869	2874
18	2000	2143	2122	2149	1957	2163	2111	1965	2050	1987	1980	1989	1790	2022	2100	2106
19	2000	2671	2869	2654	2742	2766	3500	2402	2249	2422	2427	2495	2413	2840	2330	2649
20	3500	3500	3495	3499	3481	3383	3500	3496	3500	3500	3499	3500	3500	3500	3500	3500

EK-20 (Devam) Taşıt ağırlığı ve taşıtın katettiği mesafe tahmini için geliştirilen YSA'ların test setine verdiği cevaplar
(Taşıt ağırlığı)

Sıra no	Deney Sonucu	YSA'nın Tahmini														
		ms1	ms2	ms3	ms4	ms5	ms6	ms7	ms8	ms9	ms10	ms11	ms12	ms13	ms14	ms15
21	2750	3480	3394	3332	3224	3056	3297	3126	3255	3110	3248	2851	2759	3117	3332	2482
22	3500	3500	3500	3500	3500	3493	3500	3500	3500	3491	3500	3500	3490	3500	3500	3500
23	2000	2154	2161	2153	2100	2013	2194	2011	2036	2230	2068	1992	1967	1891	2047	2012
24	2000	2259	1874	2298	2464	2016	1924	2488	2423	2464	2485	2521	1881	2133	1975	1923
25	3500	3488	3495	3485	3469	3487	3500	3500	3500	3499	3500	3500	3459	3500	3500	3500
26	2750	3048	3057	2980	2973	3011	2967	2737	2631	2699	2690	2711	2804	3010	2779	2740
27	3500	3500	3500	3500	3500	3470	3500	3497	3500	3500	3498	3500	3500	3484	3500	3490
28	3500	3499	3493	3496	3487	3464	3500	3500	3500	3494	3500	3500	3451	3500	3500	3500
29	3500	3486	3494	3484	3468	3488	3500	3500	3500	3499	3500	3500	3459	3500	3500	3500
30	3500	3499	3499	3496	3488	3485	3500	3500	3500	3499	3500	3500	3455	3500	3500	3500
31	2000	2320	2101	2312	2221	1971	2077	1936	2087	1996	1848	1917	2036	1898	2031	2102
32	3500	3500	3498	3499	3495	3471	3500	3500	3500	3496	3500	3500	3450	3500	3500	3500
33	2750	2980	2995	2992	3026	2901	2978	2750	2879	2912	2829	2971	2716	2839	2880	2948
34	2000	2494	2761	2527	2509	2768	2678	2651	2546	2618	2595	2658	2308	2677	1976	2659
35	3500	3500	3500	3500	3500	3492	3500	3500	3500	3490	3500	3500	3497	3500	3500	3500
36	2000	2423	2065	2428	2519	2188	2068	2577	2472	2545	2532	2620	2361	2139	2124	2010
37	3500	3497	3497	3488	3477	3484	3500	3500	3500	3499	3500	3500	3457	3500	3500	3500
38	2750	3015	2947	3012	3042	2865	2902	2767	2879	2912	2876	2952	2704	2806	2875	2839
39	2000	2016	1910	1951	1979	1731	2000	2161	2235	2193	2217	2105	2141	2191	2314	2237
40	3500	3500	3499	3500	3500	3454	3500	3500	3500	3459	3500	3500	3500	3494	3500	3500

EK-21 Taşıt ağırlığı ve taşıtın katettiği mesafe tahmini için geliştirilen YSA'ların test setine verdiği cevaplar
(Taşıtın katettiği mesafe)

Sıra no	Deney Sonucu	YSA'nın Tahmini														
		ms1	ms2	ms3	ms4	ms5	ms6	ms7	ms8	ms9	ms10	ms11	ms12	ms13	ms14	ms15
1	1000	1782	1831	830	2120	659	1596	952	1257	955	520	-1057	339	1149	1008	534
2	2000	1255	1422	1768	1450	1523	1707	994	727	1207	931	1068	976	957	1239	1895
3	3000	3519	4361	3678	3571	3273	4108	3109	2891	3146	3369	2716	3323	3603	3410	3187
4	1000	1411	1624	628	251	757	1567	1032	1128	779	1006	775	980	1474	1071	777
5	3000	2493	2705	2627	2734	2817	2733	2485	2622	2286	2341	2199	2679	3031	3416	2712
6	1000	1285	1374	1424	1332	2075	1844	1848	1578	1973	1852	1791	2621	1886	1714	1533
7	5000	4000	4198	4206	3327	3836	4133	4082	3669	4288	4176	4474	4401	3776	4417	4274
8	1000	1821	1506	2104	2437	2085	1100	2136	2291	2612	2184	2226	2266	2159	2340	2073
9	3000	3778	4217	3290	2502	3505	3577	2123	2523	4473	2641	3683	2572	4784	3775	3167
10	1000	1531	1376	1813	773	2195	1769	1530	1484	1539	1532	1589	2586	1128	1618	1118
11	3000	3181	2995	3697	3922	3268	2169	3159	3177	3510	3264	3848	3428	2436	3032	2858
12	1000	1642	1779	2388	1968	1615	1482	1461	1378	2161	1364	530	1176	1905	2055	1610
13	2000	1479	1563	1951	2187	2305	1618	1616	2080	1924	1842	1845	1797	1882	1749	1758
14	1000	1158	1406	842	530	1165	1790	1187	1542	1526	1356	1165	1216	1801	1191	1417
15	2000	1314	1377	1518	1816	2099	1849	2016	1910	2106	2080	2053	1987	2173	2135	1738
16	5000	5293	4996	5355	4872	5088	4637	4462	5322	5129	5099	5261	5233	4883	4785	4615
17	2000	2522	1785	2137	2561	3007	1828	1497	2437	1639	1445	1693	2125	1580	847	2369
18	3000	2845	2400	2346	3041	2970	2234	3034	3087	3197	3215	3212	3473	3037	2914	3470
19	6000	3670	2526	3578	2909	2742	1548	3741	3872	3820	4259	3821	4731	3250	4634	3708
20	3000	3598	4262	3644	3229	3641	4093	2678	2807	3048	2787	2637	3116	3084	2896	3059

EK-21 (Devam) Taşıt ağırlığı ve taşıtın katettiği mesafe tahmini için geliştirilen YSA'ların test setine verdiği cevaplar
(Taşıtın katettiği mesafe)

Sıra no	Deney Sonucu	YSA'nın Tahmini														
		ms1	ms2	ms3	ms4	ms5	ms6	ms7	ms8	ms9	ms10	ms11	ms12	ms13	ms14	ms15
21	6000	4046	4214	4320	3318	4076	4295	4102	3819	4473	3769	4539	4691	3876	4318	4737
22	3000	1917	1874	2530	1993	2251	1564	2178	1674	3829	1970	1164	1952	1626	3366	2565
23	1000	2107	2066	2033	1903	2455	1917	2241	2176	1705	2006	2235	2019	2297	2215	2172
24	3000	3084	4090	2967	3068	3078	3971	2736	2702	2533	2627	2432	3334	3261	3170	3853
25	2000	1978	1619	2581	1169	1525	797	2040	2194	1886	1952	1640	1934	2356	2807	1781
26	3000	2046	1487	2534	2685	2552	1989	2899	3403	2942	2805	3209	2897	2321	2309	2816
27	6000	5031	4726	5232	5278	5135	5015	5181	5597	5165	5201	5317	5265	5620	5423	5617
28	3000	3885	4247	3414	3789	3514	4505	3935	2660	3513	3382	3745	3502	3260	3439	4108
29	1000	1896	1597	2491	799	1334	662	1852	2026	1662	1849	1243	1834	2643	2646	1371
30	3000	2618	3967	3213	3595	3395	4264	2963	3016	3355	4059	4013	3144	3423	2859	4166
31	4000	2984	3680	2353	2898	3838	3728	3700	3358	3516	3979	4401	3631	3666	3836	3331
32	5000	4004	4293	3572	4177	4162	4778	4340	4362	4003	4144	3941	3932	4163	4712	4967
33	4000	2791	2453	2378	2896	2734	2314	3434	3200	3233	3452	2907	3952	3251	3323	2954
34	5000	3785	2520	3670	3617	2856	2619	3410	3004	3210	3339	3318	3364	3073	3859	3403
35	4000	2758	2462	2774	2794	2998	2393	3040	2829	4370	2752	2551	2850	2923	4196	4231
36	5000	3293	4135	3158	3337	3232	3998	3010	2950	2778	2862	2792	2897	3472	3581	4176
37	4000	2357	3577	3095	2965	2788	3713	3163	3242	3106	3149	3279	2627	3155	3733	3669
38	5000	2998	3374	2514	3080	3037	3475	3715	3432	3587	3703	3316	4103	3659	3658	3479
39	1000	1801	1391	1989	1674	2197	1769	1377	957	1551	1459	1470	1936	1345	1263	851
40	5000	3954	4309	3504	3956	4449	4301	4849	4288	4303	4508	3853	5055	4003	3662	4667

EK-22 Eğimli yolda taşıt ağırlığı ve katedilen mesafenin tahmini için geliştirilen YSA'nın sorgu kodları

```

clear
v=input('TAŞIT HIZINI GİRİNİZ (km/h).....:');
r=input('YAVAŞLATICI KADEMESİNİ GİRİNİZ (0-1-2).....:');
t1=input('FREN DİSKİNİN BAŞLANGIÇ SICAKLIĞINI GİRİNİZ.....:');
t2=input('FREN DİSKİNİN SON SICAKLIĞINI GİRİNİZ.....:');
ns=(v*4.111*2.653)/0.348;
if r==0
    tr=0;
else if r==1 & ns<=900
    tr=(1*10^(-07)*ns^(3)-0.0003*ns^(2)+0.2944*ns+1.0056)/217.1;
else if r==1 & ns>900
    tr=(5*10^(-07)*ns^(2)-0.011*ns+105.33)/217.1;
else if r==2 & ns<=600
    tr=(9*10^(-07)*ns^(3)-
0.0014*ns^(2)+0.8442*ns+1.3095)/217.1;
else if r==2 & 600<ns<=1000
    tr=(69.11*ns^(0.1672))/217.1;
if r==2 & ns>1000
    tr=(-3*10^(-08)*ns^(2)-0.0175*ns+238.1)/217.1;
end
end
end
end
end
end
end
end
v=(v-20)/30;
t1=(t1-40)/308;
t2=(t2-47)/326;
g=[v tr t1 t2];
g=g';
save g
load ms14;
t=sim(ms14,g);
m=(t(1)*1500)+2000;
TASIT_AGIRLIGI=m
s=(t(2)*5000)+1000;
KATEDILEN_MESAFE=s
tr=tr*217.1;
YAVASLATICI_TORKU=tr

```

EK-23 Durma mesafesi tahmini için geliştirilen YSA'nın normalizasyon kodları

```
p=xlsread('C:\MATLAB7\work\brake\legitim.xls');
g(:,1)=(p(:,1)-39.25)/41.44;
g(:,2)=(p(:,2)-2000)/1500;
g(:,3)=(p(:,3)-120)/330;
g(:,4)=(p(:,4)-52)/250;
t=(p(:,5)-11.65)/336.96;
g=g';
t=t';
p1=xlsread('C:\MATLAB7\work\brake\test.xls');
g1(:,1)=(p1(:,1)-39.25)/41.44;
g1(:,2)=(p1(:,2)-2000)/1500;
g1(:,3)=(p1(:,3)-120)/330;
g1(:,4)=(p1(:,4)-52)/250;
t1=(p1(:,5)-11.65)/336.96;
g1=g1';
t1=t1';
```


EK-24 Durma mesafesi tahmini için geliştirilen YSA'ların test setine verdiği cevaplar

Sıra no	Deney Sonucu	YSA'nın Tahmini														
		f1	f2	f3	f4	f5	f6	f7	f8	f9	f10	f11	f12	f13	f14	f15
1	44,9	46,23	41,07	46,16	34,31	34,55	43,05	41,65	36,37	49,12	40,10	50,61	42,15	36,82	45,03	47,06
2	52,39	50,13	26,83	50,11	44,24	50,95	41,62	51,88	48,39	47,63	42,21	43,93	31,81	36,26	31,47	41,91
3	202,8	205,7	180,9	206,1	205,3	192,2	216,7	196,3	196,6	202,1	162,4	226,9	143,3	179,8	208,4	139,1
4	29,24	29,08	19,92	29,23	24,57	16,05	30,43	19,41	40,00	25,18	30,04	102,5	33,66	20,13	24,62	43,14
5	24,96	28,17	27,04	28,11	28,78	21,06	22,41	23,30	25,00	25,55	25,36	66,03	43,82	18,06	41,94	22,56
6	55,67	66,36	83,32	66,37	63,39	69,53	55,34	62,69	65,45	55,68	67,98	134,6	94,43	60,04	87,29	91,43
7	12,08	12,28	15,33	12,22	16,37	24,87	13,79	22,76	15,90	11,25	11,71	17,24	44,32	24,64	8,81	12,59
8	40,64	50,39	49,53	50,38	47,28	51,36	49,36	43,64	48,00	43,09	45,88	43,39	46,90	50,00	50,13	67,38
9	48,79	58,74	47,21	58,81	55,87	66,66	54,38	59,04	51,66	48,33	45,86	62,10	36,45	74,67	59,01	60,22
10	82,82	80,23	87,96	80,25	80,19	85,12	78,19	85,10	74,34	83,11	84,44	91,96	85,99	101,9	71,19	60,10
11	98,38	116,4	96,47	116,5	103,9	110,2	101,5	109,3	127,8	115,1	115,4	107,9	124,0	121,5	128,3	110,8
12	52,67	50,49	38,10	50,52	62,64	52,51	43,77	56,64	52,16	74,49	58,87	67,33	69,06	44,92	46,61	29,69

EK-25 Durma mesafesi tahmini için geliştirilen YSA'nın sorgu kodları

```
clear
v=input ('TAŞIT HIZINI GİRİNİZ (km/h).....:');
m=input ('TAŞITIN YÜKLÜ AĞIRLIĞINI GİRİNİZ (kg).....:');
f=input ('PEDAL KUVVETİNİ GİRİNİZ (N).....:');
t=input ('FREN DİSK SICAKLIĞINI GİRİNİZ.....:');
v=(v-39.25)/41.44;
m=(m-2000)/1500;
f=(f-120)/330;
t=(t-52)/250;
g=[v m f t];
g=g';
save g
load f7;
sd=sim(f7,g);
sd=((sd*336.96)+11.65);
DURMA_MESAFESI=sd
```

EK-26 Frenleme öncesi taşıt hızının tahmini için geliştirilen YSA modelinin normalizasyon kodları

```
clear
clc
p=xlsread('C:\MATLAB7\work\brake\hiz\legitim.xls');
g(:,1)=(p(:,1)-2000)/1500;
g(:,2)=(p(:,2)-120)/330;
g(:,3)=(p(:,3)-52)/250;
g(:,4)=(p(:,4)-11.65)/336.96;
t=(p(:,5)-39.25)/41.44;
g=g';
t=t';
p1=xlsread('C:\MATLAB7\work\brake\hiz\test.xls');
g1(:,1)=(p1(:,1)-2000)/1500;
g1(:,2)=(p1(:,2)-120)/330;
g1(:,3)=(p1(:,3)-52)/250;
g1(:,4)=(p1(:,4)-11.65)/336.96;
t1=(p1(:,5)-39.25)/41.44;
g1=g1';
t1=t1';
```

EK-27 Frenleme öncesi taşıt hızı tahmini için geliştirilen YSA modellerinin test setine verdiği cevaplar

Sıra no	Deney Sonucu	YSA'nın Tahmini														
		h1	h2	h3	h4	h5	h6	h7	h8	h9	h10	h11	h12	h13	h14	h15
1	80,42	77,08	80,13	76,92	74,87	75,90	76,68	79,58	75,64	75,60	77,12	78,72	77,25	79,85	73,77	73,74
2	59,75	66,27	72,41	64,99	70,10	70,73	65,15	62,69	66,28	71,31	65,63	58,67	72,54	64,16	63,64	72,02
3	80,07	74,78	66,53	76,65	75,43	77,20	77,34	74,47	80,42	78,55	78,79	77,08	78,38	79,91	80,69	80,42
4	60,15	65,38	63,57	62,84	66,55	68,75	59,76	62,78	66,35	65,61	69,57	64,90	67,92	60,99	74,29	68,24
5	40,49	47,65	39,32	43,82	42,70	41,82	42,91	46,33	41,76	39,36	42,91	48,29	48,65	53,68	46,87	43,02
6	39,22	43,07	40,30	36,81	43,49	37,79	38,24	39,78	41,46	43,37	32,70	9,64	35,84	40,01	42,11	66,99
7	40,16	43,10	44,03	39,27	41,15	36,91	37,87	38,71	37,08	39,13	41,96	34,04	36,45	25,47	23,92	7,36
8	80,25	75,61	78,72	73,86	77,14	75,78	79,94	79,89	79,39	77,33	77,07	79,85	79,32	78,64	78,11	76,75
9	59,71	57,97	55,89	59,30	59,21	59,55	58,39	57,35	56,93	57,88	55,74	56,80	60,20	56,97	58,27	51,15
10	40,78	38,87	40,51	41,04	39,14	40,21	41,27	39,97	43,24	39,29	36,93	37,67	38,14	33,87	38,72	26,81
11	78,76	74,84	72,96	72,62	76,19	75,08	71,44	80,44	80,69	76,22	73,75	70,82	73,11	80,69	80,45	77,80
12	59,93	61,11	62,41	64,98	59,91	56,75	64,94	53,04	53,04	63,84	52,41	60,65	66,81	59,56	41,80	35,60

EK-28 Frenleme öncesi taşıt hızı tahmini için geliştirilen YSA'nın sorgu kodları

```
clear
m=input ('TAŞITIN YÜKLÜ AĞIRLIĞINI GİRİNİZ (kg).....:');
f=input ('PEDAL KUVVETİNİ GİRİNİZ (N).....:');
t=input ('FREN DİSK SICAKLIĞINI GİRİNİZ.....:');
sd=input ('DURMA MESAFESİNİ GİRİNİZ(m).....:');
m=(m-2000)/1500;
f=(f-120)/330;
t=(t-52)/250;
sd=(sd-11.65)/336.96;
g=[m f t sd];
g=g';
save g
load h7;
v=sim(h7,g);
v=(v*41.44)+39.25;
TASIT_ILK_HIZI=v
```

EK-29 Frenleme anında uygulanan pedal kuvvetinin tahmini için geliştirilen YSA'nın normalizasyon kodları

```
clear
clc
p=xlsread('C:\MATLAB7\work\brake\pedal\legitim.xls');
g(:,1)=(p(:,1)-39.25)/41.44;
g(:,2)=(p(:,2)-2000)/1500;
g(:,3)=(p(:,3)-52)/250;
g(:,4)=(p(:,4)-11.65)/336.96;
t=(p(:,5)-120)/330;
g=g';
t=t';
p1=xlsread('C:\MATLAB7\work\brake\pedal\test.xls');
g1(:,1)=(p1(:,1)-39.25)/41.44;
g1(:,2)=(p1(:,2)-2000)/1500;
g1(:,3)=(p1(:,3)-52)/250;
g1(:,4)=(p1(:,4)-11.65)/336.96;
t1=(p1(:,5)-120)/330;
g1=g1';
t1=t1';
```

EK 30 Frenleme anında uygulanan pedal kuvvetinin tahmini için geliştirilen YSA modellerinin test setine verdiği cevaplar

Sıra No	Deneysel Sonucu	YSA'nın Tahmini								
		p1	p2	p3	p4	p5	p6	p7	p8	p9
1	450	450,00	450,00	447,49	418,66	450,00	450,00	450,00	450,00	450,00
2	260	193,72	248,87	312,05	115,42	188,56	245,32	198,97	134,84	261,96
3	120	123,40	120,49	150,37	114,84	120,20	120,89	145,03	119,99	117,11
4	450	449,78	449,99	439,37	421,52	450,00	450,00	450,00	450,00	450,00
5	260	229,06	200,09	351,18	347,07	227,32	240,81	312,03	200,69	255,65
6	120	207,95	120,58	199,95	114,84	152,77	244,87	151,36	120,10	109,90
7	450	447,67	449,50	377,94	449,98	450,00	414,01	443,14	449,48	449,99
8	450	450,00	450,00	449,16	450,00	450,00	450,00	450,00	450,00	450,00
9	260	263,03	274,81	330,29	277,25	269,48	258,64	307,97	264,16	276,07
10	120	174,04	120,49	49,56	121,62	124,43	159,71	120,66	123,03	120,50
11	260	277,39	257,16	203,69	272,56	309,33	279,48	273,29	259,71	257,08
12	260	185,02	260,40	307,84	435,80	222,56	254,43	289,83	276,16	258,58

EK-31 Frenleme anında uygulanan pedal kuvvetinin tahmini için geliştirilen YSA modelinin sorgu kodları

```
clear
m=input ('TAŞITIN YÜKLÜ AĞIRLIĞINI GİRİNİZ (kg).....:');
v=input ('TAŞITIN İLK HIZINI GİRİNİZ (km/h).....:');
t=input ('FREN DİSK SICAKLIĞINI GİRİNİZ.....:');
sd=input('DURMA MESAFESİNİ GİRİNİZ(m).....:');
m=(m-2000)/1500;
v=(v-39.22)/41.44;
t=(t-52)/250;
sd=(sd-11.65)/336.96;
g=[m v t sd];
g=g';
save g
load p9;
f=sim(p9,g);
f=(f*330)+120;
UYGULANAN_PEDAL_KUVVETI=f
```


EK-32 Fren disk sıcaklığı ve durma mesafesi tahmini için geliştirilen YSA modellerinin birlikte çalışması için sorgu kodları

```

clear
v=input ('TAŞIT HIZINI GİRİNİZ (km/h).....:');
m=input ('TAŞITIN YÜKLÜ AĞIRLIĞINI GİRİNİZ (kg).....:');
s=input ('EĞİMLİ YOL UZUNLUĞUNU GİRİNİZ (m).....:');
r=input ('YAVAŞLATICI KADEMESİNİ GİRİNİZ (0-1-2).....:');
t1=input('FREN DİSKİNİN BAŞLANGIÇ SICAKLIĞINI GİRİNİZ.....:');
ns=(v*4.111*2.653)/0.348;
if r==0
    tr=0;
else if r==1 & ns<=900
    tr=(1*10^(-07)*ns^(3)-0.0003*ns^(2)+0.2944*ns+1.0056)/217.1;
else if r==1 & ns>900
    tr=(5*10^(-07)*ns^(2)-0.011*ns+105.33)/217.1;
else if r==2 & ns<=600
    tr=(9*10^(-07)*ns^(3)-
0.0014*ns^(2)+0.8442*ns+1.3095)/217.1;
else if r==2 & 600<ns<=1000
    tr=(69.11*ns^(0.1672))/217.1;
if r==2 & ns>1000
    tr=(-3*10^(-08)*ns^(2)-0.0175*ns+238.1)/217.1;
end
end
end
end
end
end
end
v=(v-20)/30;
m=(m-2000)/1500;
s=(s-1000)/5000;
t1=(t1-40)/308;
g=[v m s tr t1];
g=g';
save g
load n21;
t2=sim(n21,g);
t2=((t2*326)+47);
yt=tr*217.1;
v1=input ('TAŞITIN DURMA ÖNCESİ HIZINI GİRİNİZ (km/h).....:');
f=input ('UYGULANAN PEDAL KUVVETİNİ GİRİNİZ (N).....:');
v1=(v1-39.25)/41.44;
f=(f-120)/330;
t=(t2-52)/250;
g1=[v1 m f t];
g1=g1';

```

EK-32 (Devam) Fren disk sıcaklığı ve durma mesafesi tahmini için geliştirilen YSA modellerinin birlikte çalışması için sorgu kodları

```
save g1
load f1
sd=sim(f1,g1);
sd=((sd*336.96)+11.65);
DISK_SON_SICAKLIGI=t2
YAVASLATICININ_UYGULADIGI_TORK=yt
DURMA_MESAFESI=sd
```

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : ERDEM, Mehmet
 Uyuğu : T.C.
 Doğum tarihi ve yeri : 23.06.1968 Kütahya
 Medeni hali : Evli
 Telefon : 0(505) 491 77 46
 e-mail : meherdem@hotmail.com

Eğitim

Derece Tarihi	Eğitim Birimi	Mezuniyet
Yüksek Lisans	Gazi Ün. /Trafik Planlaması	2001
Lisans	Gazi Ün./Makine Eğitimi	1990
Lise	Endüstri Meslek Lisesi/Kütahya	1985

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
1990-1995	Göltepe End. Mes. Lisesi/İst.	Teknik Öğretmen
1995-2000	DPÜ	Uzman
2000-	DPÜ	Öğretim Gör.

Yabancı Dil

İngilizce

Yayınlar

- Sevim, Ş., **Erdem, M.**, "Otobüsçülük Sektörünün İnsan Gücü Kaynaklarının Meslek Yüksekokulunda Eğitilmesi" II.Ulaşım ve Trafik Kongresi, 01-02 Ekim 1999, ANKARA .
- Sevim, Ş., **Erdem, M.**, "Türkiye'de Sürücü Eğitiminin Etkinlik Analizi" Trafik 2000 Sempozyumu, 22-23 Mayıs 2000, SAMSUN.
- Erdem, M.**, Çubuk, M.K., "Türkiye'de Araç Muayene Sisteminin Etkinliğini Artırmaya Yönelik Bir Model Önerisi" Trafik ve Yol Güvenliği Kongresi, 25-27 Nisan 2001, ANKARA.
- Sevim, Ş., **Erdem, M.**, "Trafik Denetimine Farklı Bir Yaklaşım: İşletme Denetimi", Trafik ve Yol Güvenliği Kongresi, 25-27 Nisan 2001, ANKARA.

5. Sönmez, S., Sevim, Ş., **Erdem, M.**, “Bireylerde Oluşan Topluma ve Kanuna Karşı Hile Olgusunun Trafiğe Yansıması” Trafik ve Yol Güvenliği Kongresi, 25-27 Nisan 2001, ANKARA.
6. Çubuk, M.K., Türkmen, M., **Erdem, M.**, “Ankara’da Yapılan Ulaşım Planlaması Çalışmalarının Raylı Sistemler Bazında Değerlendirilmesi” Uluslararası 1. Trafik ve Yol Güvenliği Kongresi, 08-12 Mayıs 2002, ANKARA.
7. Sönmez, S., **Erdem, M.**, “Trafik Probleminde Çözümlemeye Yardımcı Bir Anahtar: İnternet Teknolojisi ve Elektronik Demokrasi” Uluslararası 1. Trafik ve Yol Güvenliği Kongresi, 08-12 Mayıs 2002, ANKARA.
8. Sönmez, S., **Erdem, M.**, “ Kentsel Yaşamda Trafik Olgusu: Bir Alan Araştırması(Kütahya Örneği), II. Trafik ve Yol Güvenliği Ulusal Kongresi, 7-9 Mayıs 2003, ANKARA.
9. **Erdem, M.**, Sönmez, S., “Kültür ve Kişilik Yapısının Trafiğe Olumsuz Yansıması: Trafik Sosyopatisi” Toplumsal Bilinçlenme Sürecinde Trafik ve İnsan Sempozyumu, 4-5 Mayıs 2004, SAKARYA.
10. Işık, A., **Erdem, M.**, “Türkiye’de Karayolu Trafik Kazalarına Etkili Faktörlerin Regresyon Analiziyle İncelenmesi” 2. Trafik Şurası, 21-22 Ekim 2004, ANKARA.
11. Gök, K., **Erdem, M.**, “Takım Uç Yarıçapının Kesici Takım ve Gerilmelerine Etkisinin Sonlu Elemanlar Yöntemi İle İncelenmesi” III. Ulusal Meslek Yüksekokulları Sempozyumu, 28-30 Eylül 2005, SDÜ Burdur Meslek Yüksekokulu, BURDUR.