

**T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**TAŞIT YOL YÜKLERİNİN YAPAY SİNİR AĞLARI UYGULAMALARI İLE
MODELLENMESİ**

BERK ÖZOĞUZ

**DOKTORA TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ENERJİ PROGRAMI**

**DANIŞMAN
PROF. İRFAN YAVAŞLIOĞLU**

İSTANBUL, 2016

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**TAŞIT YOL YÜKLERİNİN YAPAY SİNİR AĞLARI UYGULAMALARI İLE
MODELLENMESİ**

Berk ÖZOĞUZ tarafından hazırlanan tez çalışması 09.02.2016 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **DOKTORA TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Prof. İrfan YAVAŞLIOL
Yıldız Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Prof. İrfan YAVAŞLIOL
Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Muammer ÖZKAN
Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Murat EREKE
İstanbul Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Cem SORUŞBAY
İstanbul Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Tarkan SANDALCI
Yıldız Teknik Üniversitesi

ÖNSÖZ

Bu doktora çalışması Prof. İrfan YAVAŞLIOL yürütücülüğünde, Yıldız Teknik Üniversitesi'nde gerçekleştirilmiştir. Beraber çalıştığımız süreçte verdiği sonsuz destekten ötürü kendisine müteşekkirim.

Aynı zamanda tez çalışmasının ana fikrinin olgunlaştırılmasında ve tezin başlangıcında desteğini esirgemeyen hocamız Yrd. Doç. Dr. Erdem UZUNSOY'a teşekkürü bir borç bilirim.

Doktora çalışmam süresince verdiği fikirler ile kaybettiğim yönümü bulmamı sağlayan değerli hocam ve dostum Yrd. Doç. Dr. Burak OLGUN'a; ayrıca tüm doktora öğrenimim boyunca verdikleri karşılıksız destek nedeniyle dostlarım Doç. Dr. Alp Teknin ERGENÇ, Yrd. Doç. Dr. Levent YÜKSEK ve Yrd. Doç. Dr. Orkun ÖZENER'e emeklerinden dolayı teşekkür ederim.

Son olarak, doktora tezi çalışması boyunca benden desteklerini esirgemeyen eşime ve aileme teşekkür ederim.

Şubat, 2016

Berk ÖZOĞUZ

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ	vii
KISALTMA LİSTESİ.....	viii
ŞEKİL LİSTESİ.....	ix
ÇİZELGE LİSTESİ	xii
ÖZET	xiii
ABSTRACT.....	xv
BÖLÜM 1	
GİRİŞ	1
1.1. Otomotiv Sektörünün Tanımı	1
1.1.1. Dünyada Otomotiv Sektörü	1
1.1.2. Türkiye’de Otomotiv Sektörü.....	2
1.1.3. Otomotiv Sektöründe Ürün Geliştirme Süreci	3
1.1.4. Araçların Yapısal Dayanım Özelliği	4
1.1.4.1. Yapısal Dayanım Özelliğinin Doğrulanması	4
1.1.4.2. Doğrulama Amacıyla Kullanılan Yöntemler ve Örnek Çalışmalar	5
1.2. Doktora Tezinin Amacı	27
1.3. Hipotez	28
BÖLÜM 2	
YAPAY SİNİR AĞLARI TEORİSİ.....	29
2.1. Biyolojik Sinir Ağı	29
2.2. Yapay Sinir Ağı	30
2.3. YSA’nın Tarihi.....	31
2.4. Yapay Sinir Ağı Metodunun Uygulama Alanları	33
2.5. Yapay Sinir Hücresi Modeli	34
2.6. Yapay Sinir Ağlarının Yapısı	36
2.7. Yapay Sinir Ağlarının Sınıflandırılması.....	38
2.7.1. YSA’ların Öğrenme Algoritmalarına Göre Sınıflandırılması	38
2.7.1.1. Danışmanlı Öğrenme	39
2.7.1.2. Danışmansız Öğrenme	39
2.7.1.3. Takviyeli Öğrenme	39
2.7.2. YSA’ların Ağ Yapısına Göre Sınıflandırılması	40

2.7.2.1.	İleri Beslemeli Ağlar	40
2.7.2.2.	Geri Beslemeli Ağlar	40
2.7.3.	Öğrenme Kurallarına Göre Sınıflandırılması	40
2.7.3.1.	Çevrimiçi Öğrenme Kuralı	40
2.7.3.2.	Çevrimdışı Öğrenme Kuralı	41
2.8.	Yapay Sinir Ağı Modelleri	41
2.8.1.	Basit Algılayıcı Modeli (Perceptron).....	41
2.8.2.	ADALINE ve MADALINE Modeli	42
2.8.2.1.	ADALINE Modelinin Yapısı.....	42
2.8.2.2.	MADALINE Modelinin Yapısı	42
2.8.3.	Çok Katmanlı Algılayıcı Modeli (ÇKA)	43
2.8.4.	Doğrusal Vektör Parçalama Modeli	44
2.8.5.	Radyal Tabanlı Fonksiyon Ağı (RTFA)	45
2.8.6.	Adaptif Rezonans Teorisi Modeli (ART)	45
2.8.7.	Elman Modeli.....	46
2.8.8.	Diğer YSA Modelleri	47
2.9.	YSA'nın Kurulum Aşamaları	47
2.9.1.	Ağ Yapısının Belirlenmesi.....	48
2.9.2.	Eğitim Algoritmasının Seçilmesi.....	48
2.9.3.	Katman ve Nöron Sayılarının Belirlenmesi.....	49
2.9.4.	Transfer Fonksiyonlarının Seçilmesi.....	49
2.9.5.	Normalizasyon	49
2.9.6.	Performans Fonksiyonlarının Seçilmesi	50
BÖLÜM 3		
YSA MODELİ ve DETAYLARI.....		51
3.1.	Çok Katmanlı Algılayıcı Modelinin Tanımı.....	51
3.2.	Çok Katmanlı Algılayıcı Modelinin Yapısı	51
3.3.	Çok Katmanlı Algılayıcı Modelinin Öğrenme Kuralı ve Eğitim Algoritması.....	53
3.4.	Çok Katmanlı Algılayıcıların Öğrenme Performansı ve Ezberleme Riski ...	56
3.5.	Çok Katmanlı Algılayıcıların Tasarım İyileştirmeleri	57
3.5.1.	Kullanılacak Modelleme Türü ve Eğitim Algoritması	57
3.5.2.	Girdi Veri Setindeki Örneklerin Seçilmesi	57
3.5.3.	Kullanılacak Verilerin Ölçeklendirilmesi.....	57
3.5.3.1.	İstatistiksel Normalizasyon	58
3.5.3.2.	Min-Maks Normalizasyonu	58
3.5.3.3.	Medyan Normalizasyonu	59
3.5.3.4.	Sigmoid Normalizasyonu.....	59
3.5.4.	Öğrenme Katsayısı ve Momentum Tercihi.....	59
3.5.5.	Durdurma Kriterinin Belirlenmesi	60
3.5.6.	Ağ Topolojisi	61
3.5.7.	Ağın Büyütülmesi veya Budanması	61
3.6.	Geliştirilen Çok Katmanlı Algılayıcı Modelinin Özellikleri	61
3.6.1.	Problemin Tanımı.....	61
3.6.2.	Yol Verisi Toplama Prosesinin YSA Kullanımı İle İyileştirilmesi	63
3.6.3.	Veri Setlerinin Oluşturulması	64
3.6.4.	Ağ Yapısının Oluşturulması	67
3.6.5.	Ağın Eğitilmesi	69

3.6.5.1. Levenberg-Marquardt Algoritması.....	69
3.6.5.2. Ağ Parametreleri	70
BÖLÜM 4	
KULLANILAN ÖLÇÜM EKİPMANLARI VE YOL VERİLERİNİN TOPLANMASI	71
4.1. Test Pisti, Test Aracı ve Tekerlek Kuvvet Sensörleri.....	71
4.1.1. Test Pisti.....	71
4.1.2. Test Aracı	72
4.1.3. Tekerlek Kuvvet Sensörü (TKS)	72
4.2. Yol Yüğü Verilerini Toplanması	74
4.2.1. Test Aracının Yükleme Koşulu.....	74
4.2.2. Test Aracına Yerleştirilen Ölçüm Ekipmanları	74
4.2.3. Kanal Listesi	74
4.2.4. Test Prosedürü ve Kullanılan Yollar	75
BÖLÜM 5	
SONUÇLAR VE TARTIŞMA	77
5.1. Yol Yüğü Verisi Ölçüm Sonuçları	77
5.2. YSA Model Sonuçları.....	83
5.3. Ölçüm ve Model Çıktılarının Karşılaştırılması	89
5.4. Hasar Değerlerinin Jenerik Yükleme Metotları ile Hesaplanması	94
BÖLÜM 6	
SONUÇ ve ÖNERİLER	97
KAYNAKLAR	99
ÖZGEÇMİŞ	103

SİMGE LİSTESİ

A	Çıktı veri seti
E	Hata değeri
F_x	Doğrusal eksenli kuvvet [N]
F_y	Yanal eksenli kuvvet [N]
F_z	Dikey eksenli kuvvet [N]
fnl	Final veri seti
M_x	Devrilme momenti [Nm]
M_y	Eğilme momenti [Nm]
M_z	Burulma momenti [Nm]
P	Girdi veri seti
R	Pearson çarpım-moment korelasyon katsayısı
Q	Veri matrisi satır sayısı
T	Hedef veri seti
tr	Eğitim veri seti
ts	Test veri seti
W	Ağ bağlantı ağırlığı
α	Momentum katsayısı
λ	Öğrenme katsayısı
Φ	Eşik değeri

KISALTMA LİSTESİ

ART	Adaptif rezonans teorisi modeli
BDM	Bilgisayar destekli mühendislik
ÇDS	Çoklu cisim dinamik simülasyonu
ÇKA	Çok katmanlı algılayıcı
ÇSS	Çevresel sinir sistemi
DVP	Doğrusal vektör parçalama modeli
KOH	Karekök ortalama hata
MSS	Merkezi sinir sistemi
OKH	Ortalama karesel hata
OMH	Ortalama mutlak hata
ÖHA	Özörgütlemeli harita ağları
PHY	Potansiyel hasar yoğunluğu
RTFA	Radyal tabanlı fonksiyon ağı
SAA	Sportif arazi aracı
SDE	Serbestlik derecesi
THK	Toplam karesel hata
TKS	Tekerlek kuvvet sensörü
YSA	Yapay sinir ağı

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1. 1 Dünya motorlu taşıt üretim adetleri[2]	2
Şekil 1. 2 Türkiye otomotiv sanayii üretim adetleri[1].....	3
Şekil 1. 3 a-Sonlu elemanlar analizi sonrasında aracın ön bölümünde belirlenen kritik noktalar, b-Statik analiz sonucunda aracın ön bölümünde tespit edilen yüksek gerilim noktaları[14]	8
Şekil 1. 4 a-Dinamik yorulma analizi sonucunda belirlenen riskli nokta, b-Statik analizler yardımıyla parça üzerinde yapılan değişiklikler[14]	8
Şekil 1. 5 6 SDE tam taşıt test sistemi modeli[15]	9
Şekil 1. 6 a-Sol ön rotül bağlantısı doğrusal eksenli kuvvet değerleri, b-Sol ön yay dikey eksenli yer değiştirme değerleri, c-Sol ön amortisör üst bağlantı noktası dikey eksenli ivme değerleri[15]	10
Şekil 1. 7 Fiziksel ve sanal taşıt testlerinde belirlenen sağ ön tekerlek dikey eksenli kuvvet değerlerinin karşılaştırılması[17]	11
Şekil 1. 8 İkinci sol gövde bağlantı noktası için ölçülen ve hesaplanan dikey eksenli kuvvetlerin karşılaştırılması[20].....	13
Şekil 1. 9 Sağ arka tekerlek için pistte yapılan ölçümler ve simülasyon sonucunda elde edilen kuvvet değerlerini karşılaştırması[22]	14
Şekil 1. 10 Laboratuvar test düzeneği. Araç yoldan toplanan verileri laboratuvar ortamında uygulayacak olan 4 servo-hidrolik aktüvatör üzerine yerleştirilmiştir[25]	15
Şekil 1. 11 Toplanan test pisti verileri ile test düzeneği çıktılarının karşılaştırılması[25]	15
Şekil 1. 12 Ölçülen ve hesaplanan hasar değerlerinin karşılaştırması ve hata grafikleri[27]	17
Şekil 1. 13 Seçilmiş süspansiyon ve direksiyon sistemi elemanları üzerinde oluşan hasar değerleri için hedef ve test senaryosu sonuçlarının karşılaştırması[28]	20
Şekil 1. 14 Gerçek zamanlı Hibrit simülasyon sistemi[32]	22
Şekil 1. 15 Sıralı Hibrit simülasyon sistemi[32]	22

Şekil 1. 16 a- Şasi üzerindeki #2 numaralı noktada ölçülen ve YSA ile elde edilen gerinim değerlerinin karşılaştırılması, b- Şasi üzerindeki #1 numaralı noktada ölçülen ve YSA ile elde edilen gerinim değerlerinin karşılaştırılması[36]	25
Şekil 1. 17 Nokta kaynaklarının deneysel ömür sonuçlarının YSA çıktıları ile karşılaştırılması[37].....	26
Şekil 1. 18 Deneysel parçaların ölçülen ve hesaplanan ömür değerleri[38]	27
Şekil 2. 1 Biyolojik Sinir Hücresi[45].....	30
Şekil 2. 2 Yapay Nöronun Temel Yapısı.....	35
Şekil 2. 3 YSA’larda en çok tercih edilen transfer fonksiyonları[44]	36
Şekil 2. 4 Genel YSA Yapısı	37
Şekil 2. 5 İleri beslemeli YSA blok yapısı	38
Şekil 2. 6 Geri beslemeli YSA blok yapısı.....	38
Şekil 2. 7 Basit algılayıcı modelinin yapısı	41
Şekil 2. 8 ADALINE modelinin yapısı	42
Şekil 2. 9 İki proses elemanından oluşan MADALINE modelinin yapısı	43
Şekil 2. 10 Çok katmanlı algılayıcı modelinin yapısı	43
Şekil 2. 11 DVP modelinin yapısı.....	44
Şekil 2. 12 ELMAN modelinin yapısı.....	46
Şekil 3. 1 Çok katmanlı algılayıcı modelinin yapısı	52
Şekil 3. 2 Geri Yayımlı Hata Sinyali Akışı	55
Şekil 3. 3 16 Numaralı pist için geliştirilen ağ topolojisi.....	68
Şekil 4. 1 Test Pistinin Krokisi	72
Şekil 4. 2 Test aracının temsili bir resmi	72
Şekil 4. 3 Kistler S625-2000 Tekerlek Kuvvet Sensörü	73
Şekil 4. 4 Kullanılan örnek yol profilleri	76
Şekil 5. 1 Ön tekerlek merkezi dikey eksenli yer değiştirme.....	78
Şekil 5. 2 Ön aks dikey eksenli yer değiştirme	79
Şekil 5. 3 Sağ ön akson doğrusal eksenli ivme	79
Şekil 5. 4 Sağ ön akson yatay eksenli ivme	80
Şekil 5. 5 Sağ ön akson dikey eksenli ivme	80
Şekil 5. 6 Sağ ön teker doğrusal eksenli kuvvet	81
Şekil 5. 7 Sağ ön teker yanal eksenli kuvvet	82
Şekil 5. 8 Sağ ön teker dikey eksenli kuvvet	82
Şekil 5. 9 11-[10]-3 Topolojisine sahip modelin 16 numaralı pist eğitim performansı ...	84

Şekil 5. 10 11-[10]-3 Topolojisine sahip modelin 16 numaralı pist için sağ ön teker doğrusal eksenli kuvvet çıktı performansı	85
Şekil 5. 11 11-[10]-3 Topolojisine sahip modelin 16 numaralı pist için sağ ön teker yanal eksenli kuvvet çıktı performansı	85
Şekil 5. 12 11-[10]-3 Topolojisine sahip modelin 16 numaralı pist için sağ ön teker dikey eksenli kuvvet çıktı performansı	86
Şekil 5. 13 11-[100]-3 Topolojisine sahip modelin 16 numaralı pist için eğitim performansı	87
Şekil 5. 14 11-[100]-3 Topolojisine sahip modelin 16 numaralı pist için sağ ön teker doğrusal eksenli kuvvet çıktı performansı	87
Şekil 5. 15 11-[100]-3 Topolojisine sahip modelin 16 numaralı pist için sağ ön teker yanal eksenli kuvvet çıktı performansı	88
Şekil 5. 16 11-[100]-3 Topolojisine sahip modelin 16 numaralı pist için sağ ön teker dikey eksenli kuvvet çıktı performansı	88
Şekil 5. 17 16 Numaralı pistte sağ ön teker doğrusal eksenli teker kuvveti için ölçüm ve YSA çıktıların karşılaştırılması	90
Şekil 5. 18 16 Numaralı pistte sağ ön teker yanal eksenli teker kuvveti için ölçüm ve YSA çıktılarının karşılaştırılması	90
Şekil 5. 19 16 Numaralı pistte sağ ön teker dikey eksenli teker kuvveti için ölçüm ve YSA çıktılarının karşılaştırılması	91
Şekil 5. 20 TYS’de tanımlanan 5 farklı yükleme durumu	95

ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 1. 1 Sanal ve fiziksel yöntemlerle belirlenen kritik noktalardaki ömür değerleri[25]	16
Çizelge 1. 2 Sanal ve fiziksel yöntemlerle belirlenen kritik noktalardaki ömür değerleri[29]	20
Çizelge 2. 1 YSA modellerinin kullanım amaçları	48
Çizelge 2. 2 Eğitim algoritmaları ve uygulama alanları	48
Çizelge 2. 3 YSA modellerinde kullanılan performans fonksiyonları.....	50
Çizelge 3. 1 Çıktı veri seti	64
Çizelge 3. 2 7 Kanallı girdi veri seti	65
Çizelge 3. 3 11 Kanallı girdi veri seti	66
Çizelge 3. 4 Girdi verilerinin gruplandırılması	67
Çizelge 3. 5 YSA modelinin tasarım parametreleri	70
Çizelge 4. 1 Kistler S625-2000 TKS Teknik Özellikleri[56]	73
Çizelge 4. 2 Özet Kanal Listesi.....	74
Çizelge 5. 1 Ağır yükleme şartı altında pistlerden yapılan ölçümler	78
Çizelge 5. 2 Ağ topolojileri ve performansları.....	89
Çizelge 5. 3 16 Numaralı pist için PHY sonuçlarının karşılaştırılması	92
Çizelge 5. 4 Tüm pistler için PHY sonuçlarının karşılaştırılması	92
Çizelge 5. 5 Tüm pistler için PHY sonuçlarının karşılaştırılması	95

TAŞIT YOL YÜKLERİNİN YAPAY SİNİR AĞLARI UYGULAMALARI İLE MODELLENMESİ

Berk ÖZOĞUZ

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı
Doktora Tezi

Tez Danışmanı: Prof. İrfan YAVAŞLIOĞLU

Günümüz rekabet şartlarında otomotiv sektörünün değişen müşteri beklentilerine mümkün olan en kısa zamanda ve geniş ürün çeşitliliği sunarak karşılık verebilmesi gerekmektedir. Buna bağlı olarak ürün geliştirme süreçlerinin basit ve verimli hale getirilmesi ihtiyacı doğmuştur. Bu durum sektörün test ve prototip maliyetlerini düşürecek, iş gücü ve zaman ihtiyacını azaltacak teknolojilere olan ilgisini arttırmıştır. Yapısal dayanım testleri bu metotların uygulandığı süreçlerin başında gelmektedir. Bu çalışmanın amacı yapay sinir ağları (YSA) uygulamasını kullanarak aracın yapısal dayanım performansını etkileyen kritik yol yüklerini kolay, ucuz ve hızlı bir şekilde tespit edilmesine imkân vermektir.

Çalışma kapsamında hafif ticari sınıfındaki bir araç ile test pistindeki farklı yollardan yol verisi toplanmıştır. Devam eden süreçte bu verilerin bir kısmı ile eğitilen ileri beslemeli çok katmanlı algılayıcı modeli kurulmuştur. Bu YSA modelinin daha önce görmediği yollar için ivme ve yerdeğiştirme gibi elde edilmesi kolay ve ucuz olan verileri kullanarak taşıta etki eden yol yüklerini öngörebilmesi amaçlanmıştır. Doğrusal, yanal ve dikey kuvvet eksenleri için tüm pistlerin ortalama Pearson çarpım-moment korelasyon katsayısı (R) değerleri sırasıyla 0,92 , 0,89 ve 0,95 olmuştur. Test pisti üzerinden ölçülen ve YSA modeli ile hesaplanan kuvvet verilerinin hasar etkileri potansiyel hasar yoğunluğu yöntemi ile karşılaştırılmıştır.

Model çıktılarında yapısal dayanım testlerinde ve analizlerinde baskın etkiye sahip bileşen olan dikey eksenli kuvvet girdilerdeki (F_z) ortalama hata değeri %16,6 olarak hesaplanmıştır. Bu durum başta dikey eksenli kuvvet girdileri olmak üzere her üç eksen için de kabul edilebilir hata oranları içerisinde öngörüler yapılabildiğini göstermektedir. Bu çalışmada açıklanan yaklaşım sayesinde minimum veri kanalı kullanılarak müşteri kullanımını ifade edecek çok sayıdaki bilginin öngörülebileceği gösterilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Otomotiv, Ürün geliştirme, Yapay sinir ağları, Taşıt yol yükleri, Yapısal dayanım



**MODELLING VEHICLE ROAD LOAD DATA WITH NEURAL NETWORK
APPLICATIONS**

Berk ÖZOĞUZ

Department of Mechanical Engineering
PhD. Thesis

Adviser: Prof. İrfan YAVAŞLIOL

Automotive industry must meet the customer expectations in the shortest time with in a wide product range in order to meet today's increasing competition conditions. In parallel with this necessity; product development processes should be simplified and become more efficient. In this case; methodologies; which decrease the testing, prototype and labor costs and shorten the product development process; becomes popular for automotive industry.

Structural durability tests are one of the critical verification processes that these new methodologies can be implemented. Aim of this study is to define the road load data which directly effects the durability performance of a vehicle in a short, basic and easy way by using neural network methodology. Within the scope of this study; road load data were collected from several different tracks of a proving ground by a light commercial vehicle. A feedforward multilayer perceptron model was created which was trained with a portion of RLD that collected from proving ground.

Target is to make this neural network model capable of predicting the wheel forces by using acceleration and displacement data as an input. At the end of training and optimisation process; artificial neural network model was able to predict the wheel forces in longitudinal, lateral and vertical axis with a correlation coefficient of 0,94 , 0,89 ve 0,95 respectively. Collected and predicted forces were also compared in terms of damage effect by using potential damage intensity. Obtained Error is only %16,6 for vertical axis forces which are dominant at full chassis fatigue tests and analysis. With the help of ANN methodology it will be possible to acquire critical road load data by using simple input information.

Key words: Automotive industry, Product development, Neural network, Road load data, Structural durability



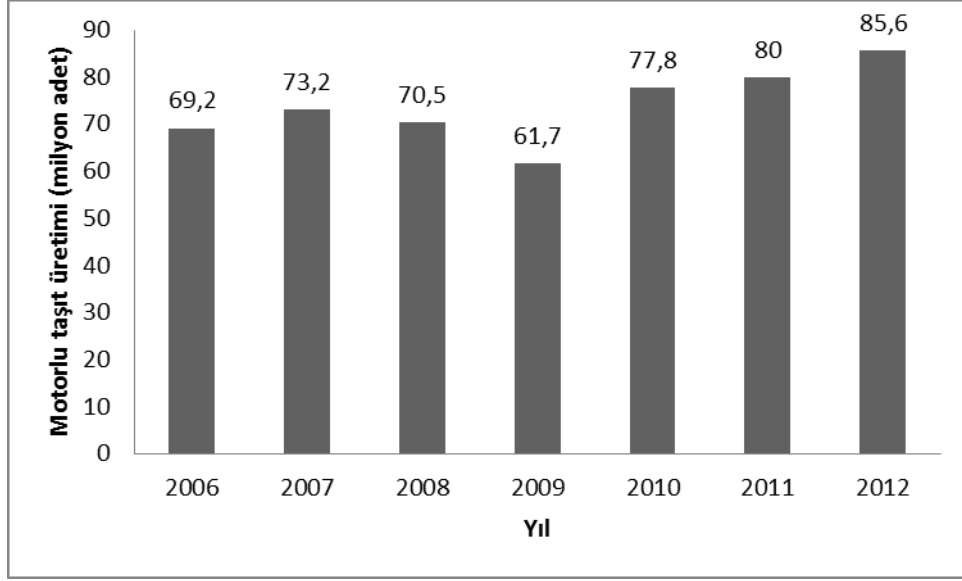
1.1. Otomotiv Sektörünün Tanımı

Otomotiv endüstrisi, motorlu karayolu taşıtlarının üretildiği ana sanayi ve bu ana sanayinin belirlediği teknik şartnamelere uygun orijinal ya da eşdeğer sistem, alt-sistem ve parçalar üreten yan sanayi kollarının tümünü kapsayan bir ana sanayi grubudur. Otomotiv endüstrisi tüm dünyada yaygın, hızla gelişen ve sürekli olarak değişim içerisinde olan bir sektördür. Bu yapıyla otomotiv sanayii, tüm sanayileşmiş ülkelerde ekonominin ana bileşenlerinden biri olarak görülmektedir. Otomotiv endüstrisi, demir-çelik, petrokimya gibi temel sanayi dallarının başlıca alıcısı ve bu sanayilerdeki teknolojik gelişme ve derinleşmenin de sürükleyicisidir[1].

1.1.1. Dünyada Otomotiv Sektörü

Otomotiv sektöründe Ar-Ge ve üretim kapsamında yıllık 85 Milyar Avro'luk yatırım harcaması gerçekleştirilmekte ve yatırım yapılan ülkelere 433 Milyar Avro'nun üzerinde vergi geliri sağlanmaktadır. Otomotiv sektörünün yaklaşık 2 Trilyon Avro yıllık cirosu bulunmaktadır. Dünya ekonomisi ölçeğinde bu kadar büyük bir paya sahip olan sektör 8 milyondan fazla doğrudan istihdama sahiptir. Bu rakam dünya imalat sektörü istihdamının yüzde 5'inden daha fazladır. Dünya otomotiv sektöründe dolaylı istihdam ile birlikte 50 milyondan fazla kişinin istihdam edildiği tahmin edilmektedir[2].

Dünya otomotiv endüstrisinde küresel ölçekte 20 ülkede faaliyet gösteren yaklaşık 50 adet motorlu taşıt üreticisi firma bulunmaktadır. Üretim genel olarak otomobil ve ticari araç olarak sınıflandırılmaktadır[1]. Şekil 1.1'de 2006–2012 yılları arasında dünyadaki motorlu taşıt üretim adetleri verilmiştir. 2011 yılında ise dünya otomotiv sanayi, 80 milyon adet üretim seviyesini aşmıştır[2].



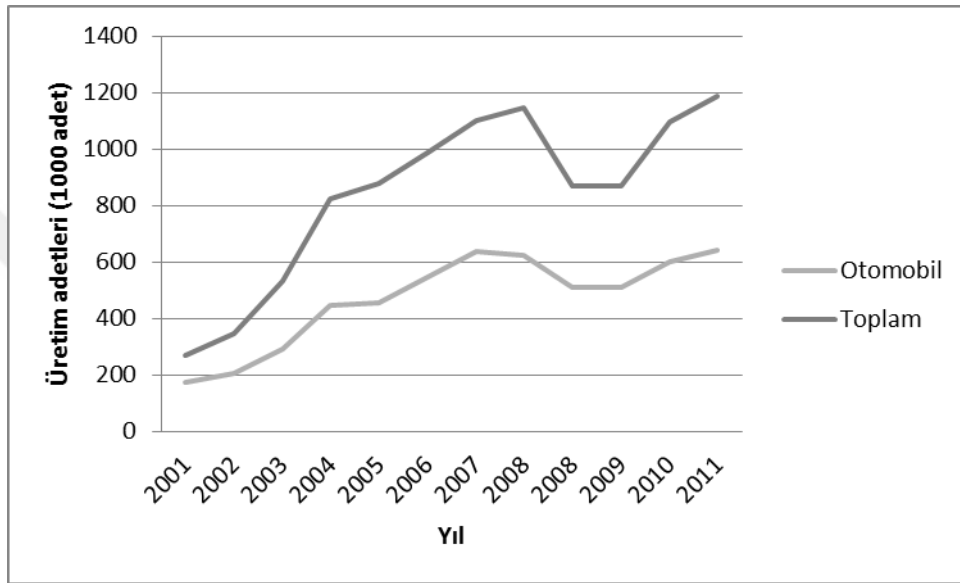
Şekil 1. 1 Dünya motorlu taşıt üretim adetleri[2]

1.1.2. Türkiye’de Otomotiv Sektörü

Türkiye’de otomotiv sektörü üretim faaliyetlerine 1950’lerin ortalarında başlamış ve 1960’ların ortalarından itibaren hız kazanmıştır. İlk montaj hattı 1954’te silahlı kuvvetlere araç temini için kurulmuş, 1955’te kamyon ve 1963’te otobüs montajına başlanmış, takip eden üç yıl içinde de binek otomobil üreten montaj fabrikaları (Tofaş-Fiat, OYAK-Renault, Otosan-Ford) imalata geçmiştir. 1966’da ise otomotiv endüstrisi kendi modellerinin montajına başlamış ve Otosan tarafından o dönemlerin otomobili Anadol üretilmiştir. İki büyük otomobil üreticisi Tofaş ve OYAK-Renault, İtalyan ve Fransız lisanslarıyla 1971’de imalat hatlarını kurmuşlardır[3]. Sektör, 1990’lı yıllarda ihracata yönelik rekabetçi bir nitelik kazanmış ve 1990’lı yılların sonlarına doğru Türkiye’de dünyanın önde gelen otomotiv firmalarının Türk ortaklarla kurdukları tesislerle birlikte önemli bir konum elde etmiştir[2].

Günümüzde Türkiye otomotiv endüstrisinin motorlu taşıt üretimindeki kapasitesi incelendiğinde, farklı üretim kapasitelerine sahip 13 firmanın toplam kapasitesinin yaklaşık 1,5 milyon adet/yıl olduğu görülmektedir. Türk otomotiv endüstrisi 1963 yılında 11 bin adet motorlu taşıt üreterek faaliyete başlamış, 1976 yılına kadar üretimini sürekli artırarak 146 bin üretim rakamına ulaşmıştır. 1993 yılına gelindiğinde 453 bin üretim seviyesi ile 2000 yılı öncesi en yüksek değerine ulaşmıştır[1].

Türk otomotiv endüstrisi 1994–2002 yılları arasında yaşanan kriz ve çöküş döneminden sonra büyük ölçekte üretimlerin yapıldığı 6 yıllık istikrarlı bir artış dönemine girmiş ve 2008 yılında geçmişinin en yüksek üretim rakamı olan 1,15 Milyon adet üretim rakamına ulaşmıştır. 2009 yılına bakıldığında ise yaşanan küresel kriz nedeni ile üretimde ani bir düşüş yaşanmış ancak otomotiv sanayi 2010 yılında bu krizin etkilerinden sıyrılabilmiştir. Otomotiv endüstrisinin 2000 yılı sonrası üretim rakamları ve üretim artış eğrisi Şekil 1.2’de gösterilmektedir[1].



Şekil 1. 2 Türkiye otomotiv sanayii üretim adetleri[1]

1.1.3. Otomotiv Sektöründe Ürün Geliştirme Süreci

Otomotiv sektörü önceki bölümlerde açıklandığı gibi hem Türkiye’de hem de diğer gelişmiş ülkelerde büyük yatırımların yapıldığı ve yüksek ciro değerlerine ulaşılan bir sektördür. Bu durumun devamlı olabilmesi için otomotiv sektörü değişen müşterileri ihtiyaçlarını, beklentilerini ve pazar eğilimlerini karşılayabilecek yeni ürünler sunmayı temel amaç olarak görmektedir. Buna bağlı olarak ürün geliştirme süreçlerine tüm dünyada büyük önem verilmektedir.

Bir araç geliştirme sürecinin ilk aşaması müşterinin ve pazarın ihtiyaç duyduğu yeni aracın hem tasarım hem de teknik özellikler yönünden tanımlanmasıdır. Yeni tasarlanacak aracın temel araç özelliği (taşıt dinamiği, gürültü ve titreşim, performans, yakıt ekonomisi, dayanıklılık, güvenlik vb.) hedefleri müşterilerin beklentilerine uyumlu olarak belirlenmelidir. Araç seviyesinde belirlenen bu hedefler önce sistem daha

sonrasında da parça seviyesine indirgenerek beklenti ve ihtiyaçlarla uyumlu tasarımların yapılması amaçlanır. Oluşan tasarımlar parça seviyesinden araç seviyesine kadar farklı testlere (bilgisayar destekli analiz yöntemleri, fiziksel laboratuvar testleri, saha ve yol testleri) tabi tutularak performansları ölçülür ve gerekli görülen geliştirmeler, iyileştirmeler yapılarak tasarım son haline ulaştırılır. Üretilcek araçların tasarım ve geliştirme aşamaları uzun, zahmetli ve maliyetli süreçlerdir. Özellikle ürün tasarım onayı için yapılan testler hem yüksek maliyetli hem de uzun süreli olmaktadır[4].

1.1.4. Araçların Yapısal Dayanım Özelliği

Bir araç tasarımının gerçekleştirilmesinde ürün ömrünün belirlenmesi veya biçilen ömür hedefi süresince bütün fonksiyonlarını yerine getirmesi o üründen istenilen en temel özelliktir[4].

Tasarımların yapısal dayanım performansını belirleyen dört temel parametre vardır. Bunlar; yükleme koşulu, tasarım/geometri, malzeme özellikleri ve imalatıdır[4]. Hem iyi bir yapısal dayanım performansı elde edebilmek hem de rekabet edebilir bir tasarıma sahip olabilmek için bu parametrelerin etkin ve verimli şekilde bir araya getirildiği tasarımlara ihtiyaç duyulmaktadır.

Günümüzde daha hafif tasarımlara ihtiyaç duyulması, maliyetlerin düşürülmesi, tasarım sürecinin kısaltılarak ürünlerin en kısa sürede piyasaya sunulma ihtiyacı gibi eğilimlere bağlı olarak parça ve sistemlerin yapısal dayanım performanslarının değerlendirilmesi otomotiv sektörü için daha önemli bir konu haline gelmiştir[5].

1.1.4.1. Yapısal Dayanım Özelliğinin Doğrulanması

Bir araç için en basit ve temel ömür testi aracın gerçek saha ve kullanım koşullarında hedef olarak belirlenen süre veya mesafe boyunca kullanılmasıdır. Ancak bu şekilde yürütülecek bir doğrulama çalışması oldukça maliyetli, süre olarak uzun ve tekrarlanabilirliği hemen hemen imkânsız bir süreçtir[4]. Bu yöntem ile yapılacak bir doğrulama, tasarımdaki muhtemel sorunların tespit edilmesini geciktirecek ve gerekli tasarım değişikliklerinin, ürün piyasaya sürülmeden önce yapılmasına imkân tanımayacaktır. Bu nedenle geliştirilmesi yapılan araçların yapısal dayanım

performansları hızlandırılmış doğrulama metotları ile test edilmelidir. Bu amaçla yürütülen doğrulama metotları iki ana grupta toplanabilir;

1. Deneysel metotlar
2. Nümerik metotlar

Her iki ana grupta da temel amaç parça, sistem veya araçların gerçek kullanım koşulları ile uyumlu yükleme koşulları altında test veya analiz edilmeleri ve bu sayede yapısal dayanım performanslarının ölçülebilmesidir.

Geçmiş yıllarda yapısal dayanım performansı temel olarak test pistlerinde yürütülen araç seviyesi fiziksel deneyler ile doğrulanmaktaydı. Bu genelde pahalı ve zahmetli bir süreçtir. Zira bu testler yüksek işletme maliyetleri (pist ve atölye harcamaları, yakıt maliyetleri, mavi ve beyaz yaka personel giderleri gibi) ve uzun çalışma saatleri gerektiren metotlardır. Bu hususlara ek olarak böyle bir doğrulama metodunun uygulanması için ilk fiziksel prototipin üretilmesinin beklenmesi gerekmektedir. Bu da muhtemel tasarım hatalarının geç fark edilmesi riskini beraberinde getirmektedir.

Son yıllarda ürün geliştirme sürecindeki doğrulama faaliyetlerinde laboratuvar testlerinin ve sanal ortamda yürütülen analiz ve benzetimlerin kullanım oranları artmıştır[5]. Bir tasarım sürecinin doğruluk ve kalitesi ilerleyen aşamalarda ihtiyaç duyulan tasarım değişikliklerinin ne kadar az olduğu ile ifade edilebilir[6]. Sanal ortamlarda yapılan analiz ve tasarım doğrulama teknikleri muhtemel sorunların araç seviyesi testlere gerek olmadan erken tasarım fazlarında fark edilmelerini sağlayarak sürecin kalitesinin artmasına imkân tanımaktadır.

1.1.4.2. Doğrulama Amacıyla Kullanılan Yöntemler ve Örnek Çalışmalar

Tüm sektörlerde olduğu gibi otomotiv sektöründe de tasarım ve ürün geliştirme süreçlerinin kısaltılması bununla birlikte maliyetlerin mümkün olduğu kadar düşürülmesi hedeflenmektedir[4]. Bu amaçla test maliyetlerinin, prototip sayılarının, gerekli personelin ve harcanan sürenin azaltılması; uygulanan test prosedürlerinin basitleştirilmesi ve tüm bu sürecin ihtiyaçlara kısa sürede cevap verecek hale getirilmesi üreticilerin ve araştırmacıların ortak hedefi haline gelmiştir. Son dönemde bu amaçla yapılan çalışmalardan bazıları bu bölümde özetlenmiştir.

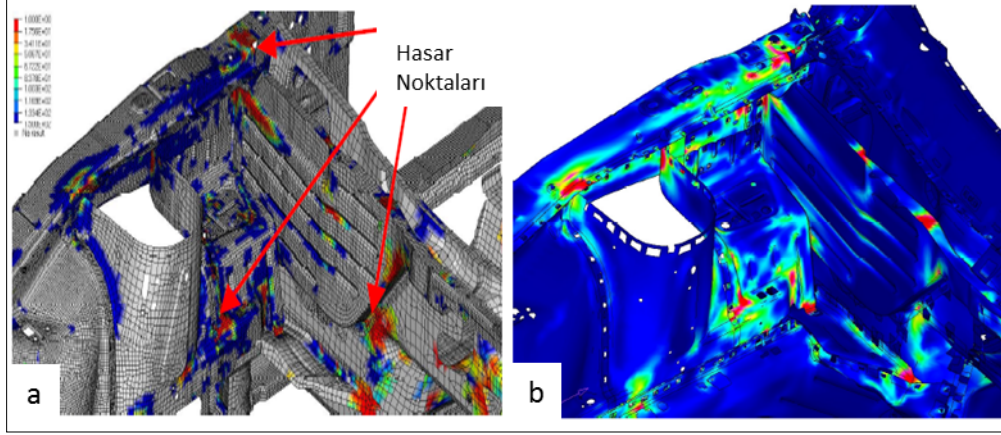
Araç tasarım ve geliştirme sürecinde düşünülen tasarım değişikliklerinin etkilerinin kısa sürede değerlendirilebilmesine imkân tanıyan sanal doğrulama metotları otomotiv sektöründe sıklıkla başvurulmuş yöntemler arasındadır. Cosme ve arkadaşlarının [7] yapmış oldukları çalışmada bilgisayar destekli tasarım ve mühendislik yazılımları (Pro/Engineer[8], MSC.ADAMS[9], ANSYS[10]) bir arada kullanılarak bir ağır ticari araç şasisinde yapılan tasarım değişikliklerinin etkileri simüle edilmiştir. Araç; esnek şasi modeli ile modellenmiş ve bozuk zemin yapısına sahip yol modeli ile koşturulan simülasyonlar sonucunda şasiye etki eden kuvvetler tespit edilmiştir. MSC ADAMS simülasyonu sonucunda elde edilen kuvvet çıktıları ANSYS'e transfer edilerek sonlu elemanlar analizi koşturulmuş ve bu sayede gerilim değerleri elde edilmiştir. Geliştirilen şasi travers tasarımı sayesinde gerilme değerlerinin kritik noktalarda %25 oranında düştüğü görülmüştür. İlgili çalışmada mevcut yazılımların uygun şekilde bir arada kullanılmaları sayesinde tasarım değişikliklerinin hızlı ve basit bir şekilde değerlendirilmelerinin mümkün olduğu gösterilmiştir.

Cosme ve arkadaşlarının yaptıkları çalışmada esnek şasi modeli ile rijit şasi modeli kullanılması durumunda elde edilecek sonuçlar da karşılaştırılmıştır. Rijit şasi modeli kullanılarak koşturulan simülasyonlar sonucunda süspansiyon sistemi elemanlarına etki eden yol yüklerinin esnek şasi modeline göre 2-3 kat daha yüksek çıktığı görülmüştür. Yapının esnekliğinin doğru bir şekilde modellenmesi hem sürüş hem de dayanım analizlerinde kritik bir önem taşımaktadır. Benzer şekilde Deakin ve arkadaşları da yaptıkları çalışmada [11] esnek modellemeye olanak tanıyan ADAMS-Flex[12] yazılımı kullanarak oluşturdukları taşıt modeli ile taşıtlarının sahip olması gereken burulma sertliği değerini tespit etmişlerdir.

Araçların gövde/şasi burulma sertliklerinin tespiti için yapılan testler yorulma testlerine kıyasla görece daha basit testlerdir. Bu sayede maliyet ve zaman tasarrufu sağlayarak tasarım değişiklikleri hakkında hızlı geri bildirimlerde bulunmaya imkân tanımaktadırlar. Vidal & Palma [13] yaptıkları çalışmada yol simülatöründe koşturulan yapısal dayanım testi sonucunda oluşan yorulma değerleri ile gövde burulma testi sonucunda oluşan yorulma miktarı arasındaki korelasyonu incelemişlerdir. Bu amaçla ilk olarak sanal ortamda uygulanan bir burulma testi ile sonlu elemanlar yöntemi kullanarak gövde üzerinde gerilmelerin yoğunlaştığı kritik noktaları belirlemişlerdir.

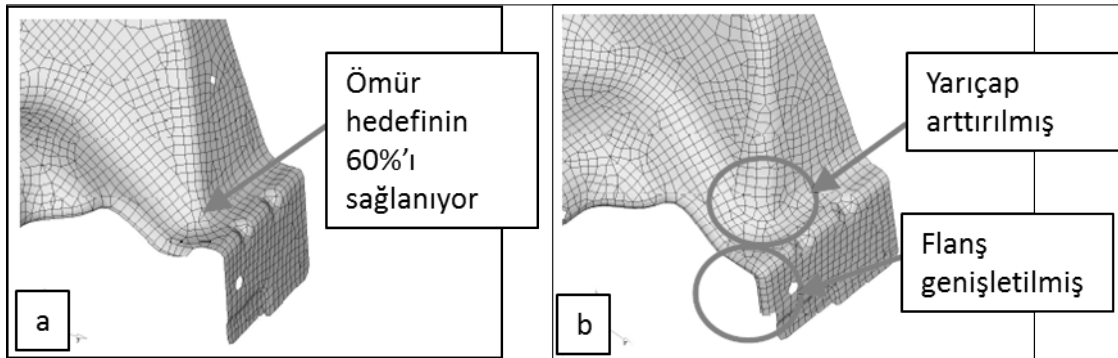
Sonrasında prototip gövde üzerinde bu noktalara gerinim ölçerler yerleştirilmiştir. Bunlara ek olarak sönümleyici bağlantı noktalarına ivme ölçerler ve tekerlekler üzerine deplasman ölçerler yerleştirilmiştir. Bu araç ile iki farklı yol tipinde ve iki farklı yükleme koşulu altında yol yükü verileri toplanmıştır. Yapılan iterasyonlar ile toplanan bu yüklerin yol simülatöründe ve burulma testinde yeniden oluşturulması sağlanmıştır. Dayanım testi ve burulma testi sırasında araç gövdesi üzerinde oluşan toplam hasarın analizi yapılmıştır. Gövde üzerinde belirlenmiş olan kritik noktalarda 12000 kilometrelik dayanım testi sonucunda oluşacak hasar miktarının eş değerinin burulma testinde yaratılabilmesi için $5,78 \times 10^5$ çevrim sayısına ihtiyaç duyulduğu görülmüştür. Yaptıkları kabullere göre burulma testi 13 gün sürecektir. 20 gün de tamamlanan yol simülatörü testine göre önemli bir zaman ve maliyet tasarrufu sağlandığı görülmüştür.

Potukutchi ve arkadaşları [14] rekabetin arttığı otomotiv endüstrisinde pistlerde yapılan uzun araç testlerine ve zahmetli sonlu eleman modellemelerine alternatif olabilecek bir metot üzerinde çalışmışlardır. Amaçları hızlı ve kolay bir statik yükleme koşulu ile yapısal problemlerin çıkabileceği noktaları tespit edebilmektir. Bu sayede fiziksel araç testleri öncesi gerekli tasarım değişikliklerinin yapılabilmesi mümkün olacaktır. Bu amaçla oluşturdukları bir model sayesinde örnek taşıt için toplanmış yol verilerini analiz ederek aracın ön bölgesine etki eden burulma, dikey eğilme ve yanal eğilme momenti değerlerini belirlemişlerdir. Tüm bu değerler arasında burulma momentinin uygulandığında en yüksek gerilme değerlerini veren parametre olduğu görülmüş ve karşılaştırma için bu parametre seçilmiştir. Detaylı bir sonlu elemanlar tam taşıt modeli hazırlayarak mevcut yol verilerinin kullanıldığı bir tam gövde yorulma analizi koşturmuşlardır. Aracın ön bölümünde görülen problemlili bölgeler; sadece maksimum burulma momenti değerinin girdi olarak kullanıldığı statik analiz sonucunda elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Her iki analiz sonucunda da yüksek gerilim değerlerine sahip noktaların birbirleri ile uyumlu oldukları Şekil 1.3'de gösterilmiştir.



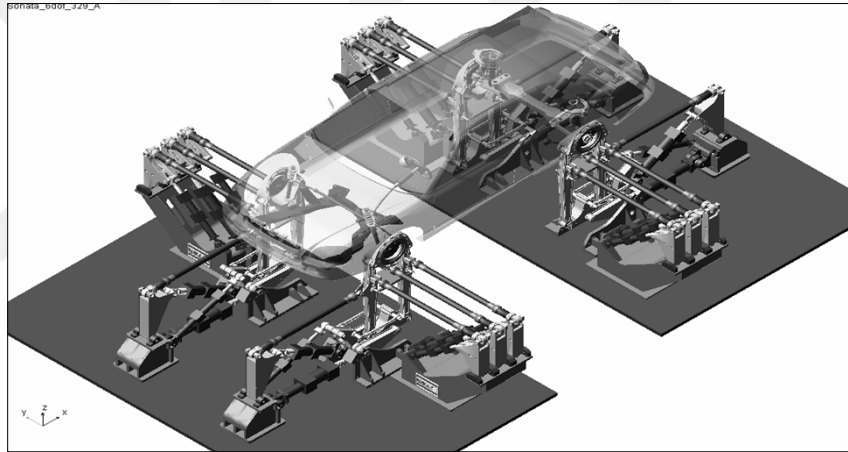
Şekil 1. 3 a-Sonlu elemanlar analizi sonrasında aracın ön bölümünde belirlenen kritik noktalar, b-Statik analiz sonucunda aracın ön bölümünde tespit edilen yüksek gerilim noktaları[14]

Bu çalışmada elde ettikleri yüksek uyum sonrasında örnek bir uygulamaya gitmişleridir. Sonlu elemanlar gövde modeli ve test pistinin tüm yollarından toplanmış verileri içeren bir girdi dosyası kullanılarak koşturulan dinamik yorulma analizi sonucunda Şekil 1.4-a'da gösterilen noktanın belirlenen ömür hedefinin %60'nı sağlayabildiği görülmüştür. İlgili yol verisi analiz edildiğinde aracın ön kısmına etki eden maksimum burulma momentinin 27.729 Nm olduğu belirlenmiştir. Bu moment değeri ile yaptıkları statik analizler sonucunda sorunlu bölge üzerinde tasarım değişikliklerine gidilmiş ve stres değeri Şekil 1.4-b'de gösterildiği gibi 719 MPa'dan 660 MPa'a indirilmiştir. Bu değişiklikler sonlu elemanlar modeline yansıtılmış ve tekrarlanan dinamik yorulma analizi sonucunda gerekli ömür hedefinin sağlandığı görülmüştür. Tercih edilen bu basit iterasyon metodu sayesinde %50 zaman tasarrufu sağlanmıştır.

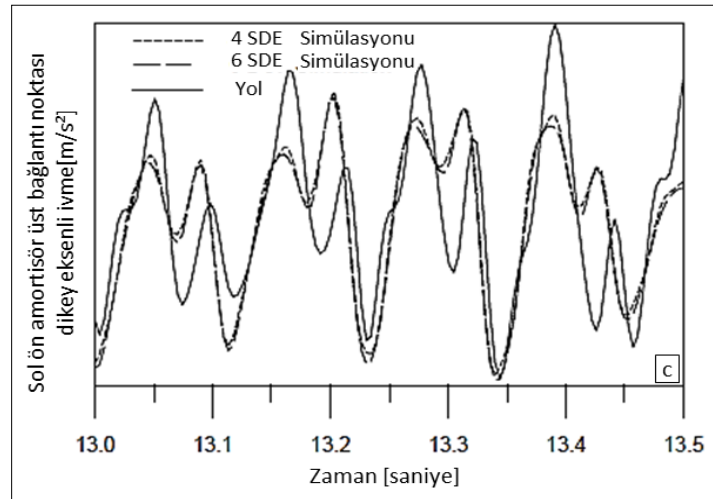
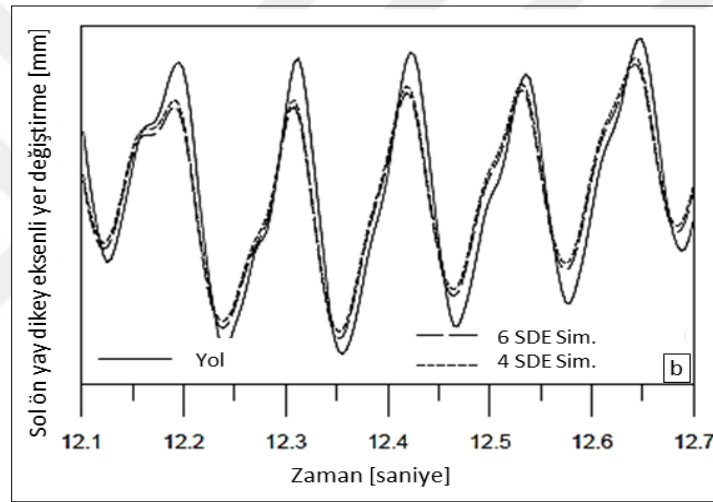
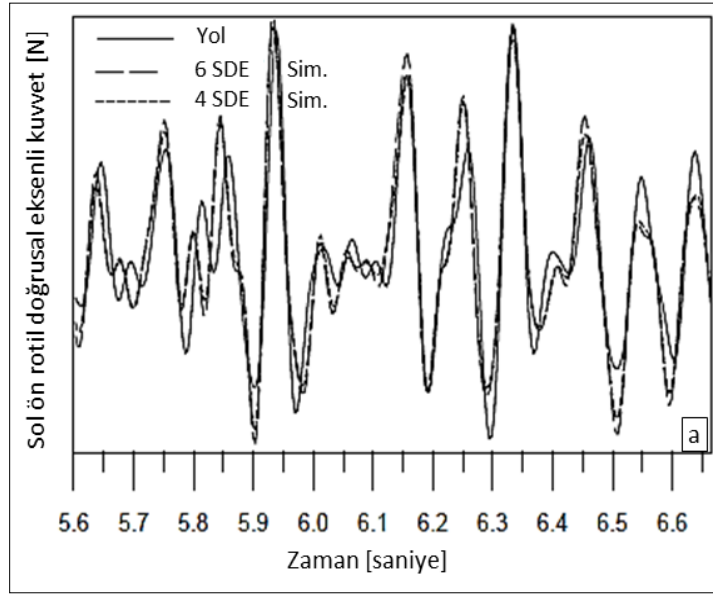


Şekil 1. 4 a-Dinamik yorulma analizi sonucunda belirlenen riskli nokta, b-Statik analizler yardımıyla parça üzerinde yapılan değişiklikler[14]

Bilgisayar destekli analiz yöntemleri ile fiziksel test yöntemlerini bir arada kullanmaya yönelik bir diğer çalışmada ise You & Joo [15] yol simülatörü test düzeneğini bilgisayar ortamında modelleyerek sanal ortama taşımışlardır. Bu sayede prototip aracın bulunmadığı erken tasarım evrelerinde hem parça hem de araç seviyesi dayanım doğrulamalarının sağlıklı bir şekilde yapılmasını hedeflemişlerdir. İlk olarak tekerlek kuvvet sensörleri (TKS), ivme ölçerler ve deplasman ölçerler ile donatılmış bir binek otomobil ile iki farklı yol profilinden yol verisi toplanmıştır. Sonrasında biri 4 serbestlik derecesine (SDE) sahip ($F_{x,y,z}$, M_y) diğeri de 6 SDE'e sahip ($F_{x,y,z}$, $M_{x,y,z}$) iki farklı test düzeneği ADAMS/Car[16] yazılımı kullanılarak modellemiştir. Tam araç modelleri Şekil 1.5'de gösterildiği gibi bu sanal test düzeneği ile birleştirilerek sanal dayanım testlerinin koşturulması amaçlanmıştır. Test düzeneği modelindeki aktüvatörler kuvvet ve/veya deplasman kontrollü olarak işletilebilmektedirler.



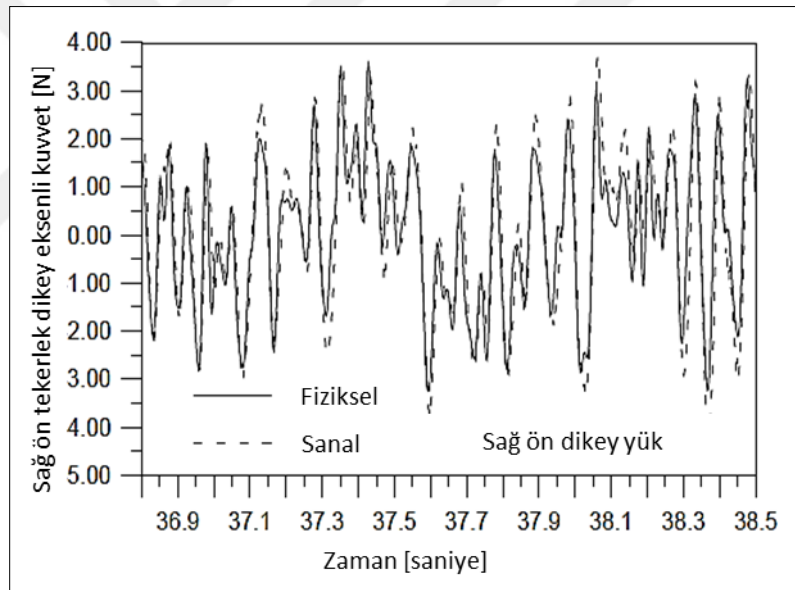
Şekil 1. 5 6 SDE tam taşıt test sistemi modeli[15]



Şekil 1. 6 a-Sol ön rotül bağlantısı doğrusal eksenli kuvvet değerleri, b-Sol ön yay dikey eksenli yer değiştirme değerleri, c-Sol ön amortisör üst bağlantı noktası dikey eksenli ivme değerleri[15]

Kurdukları sanal test düzeneği modelinin çıktıları ile yol testi sırasında araç süspansiyon sistemi üzerindeki farklı noktalardan toplanan kuvvet, ivme ve yerdeğiştirme verilerini karşılaştırmışlardır. Her iki yöntemle elde edilen sonuçların uyumu Şekil 1.6'da gösterilmiştir. Korelasyon ve karşılaştırma çalışmasının yapıldığı tüm veri kanalları için 6 SDE'li modelin daha iyi olduğu görülmüştür. 4 SDE'li model dikey ve doğrusal yüklerde uyumlu sonuçlar verirken sistem kısıtlarından dolayı yanal yüklerde zayıf bir uyuma sahip olduğu görülmüştür.

Laboratuvar test düzenekleri ile sanal test düzeneklerinin performanslarının karşılaştırıldığı bir başka çalışmada da Joo ve arkadaşları [17] 4 SDE'li bir yol simülatörü ile gerçekleştirilen testleri; aynı düzeneğin ADAMS programı kullanılarak modellenmiş sanal versiyonuna taşımışlardır. Sonuç olarak dikey eksenli tekerlek kuvvetlerinin ve ivme değerlerinin uyum içinde olduğu Şekil 1.7'de gösterilmiştir.



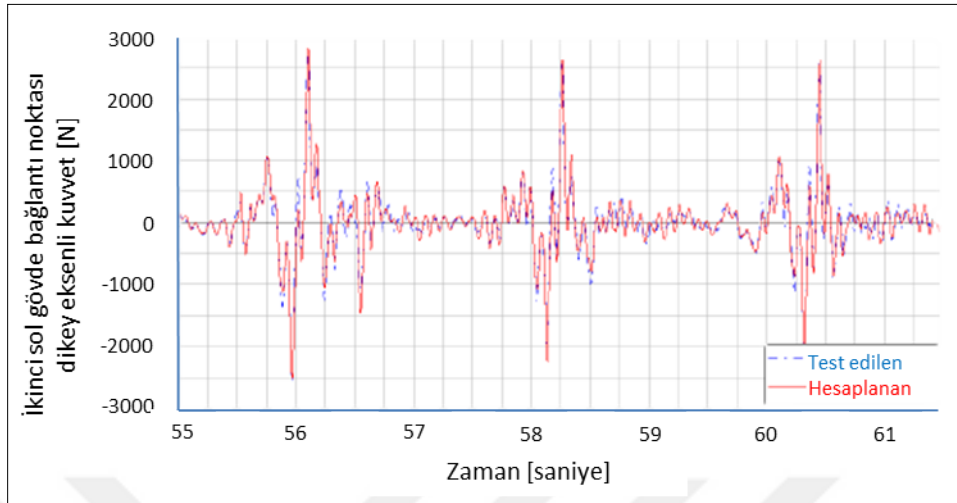
Şekil 1. 7 Fiziksel ve sanal taşıt testlerinde belirlenen sağ ön tekerlek dikey eksenli kuvvet değerlerinin karşılaştırılması[17]

Laboratuvar testlerinde girdi olarak kullanılacak yol verilerinin TKS'ler ile elde edildiği bir başka çalışma Devarajan ve Dodds [18] tarafından yapılmıştır. Çalışma kapsamında TKS ile toplanan yol verileri 3 SDE'li ($F_{x,y,z}$) test düzeneğinde girdi olarak kullanılmış ve bir binek aracın ön süspansiyon sistemi için yorulma testi koşturulmuştur. Laboratuvar testi ve yol testi sonucunda sisteminin kritik noktalarında ulaşılan hasar değerlerinin birbirleri ile uyumlu çıktıkları görülmüştür.

Ensor ve arkadaşları [19] düşük üretim hacmine sahip bir spor otomobilin arka süspansiyon sisteminin yapısal dayanım performansının doğrulamasını sanal test düzeneği kullanarak gerçekleştirmişlerdir. Bu amaçla aracın arka süspansiyon sistemini ve test düzeneğini ADAMS/Car yazılımı kullanarak sanal ortamda modellemişlerdir. Buna paralel olarak binek otomobiller için oluşturulmuş test prosedürü spor bir araç için yeniden düzenlenmiştir. TKS ile donatılmış prototip araç belirlenen bu yeni prosedüre göre test pistinde koşturulmuş ve gerekli yol verileri toplanmıştır. Bu verilerin işlenmesi ile sanal test düzeneğinin girdisini oluşturacak veri dosyası oluşturulmuştur. Modellenen arka süspansiyon sistemi elemanları, sanal test düzeneğinde yol yüklerine tabii tutulmuş ve her bir bileşenin lokal sonuçları sonlu elemanlar modeli kullanılarak gerilim ve gerinim değerlerine dönüştürülmüştür. Malzeme bilgileri ve yol veri dosyasının tekrar sayısı kullanılarak yorulma/ömür değerlerine ulaşılmıştır. Sanal ortamda oluşturulan test düzeneğinin güvenilirliğini karşılaştırmak amacıyla benzer bir düzenek laboratuvar ortamında da kurularak aynı test fiziksel olarak gerçekleştirilmiştir. Fiziksel test sonucunda alt salıncak kolunda 1,7 ömür sonunda kırılma yaşanmıştır. Sanal test düzeneği ile elde edilen sonuçlarda da aynı noktalarda benzer bir süre sonunda kırılma yaşanacağı hesaplanmıştır.

Cao ve arkadaşları [20] sportif arazi aracı (SAA) tipi bir araçta şasi gövde bağlantılarına gelen yükleri hibrit yük yaklaşımı ve sonlu elemanlar yöntemlerini bir arada kullanarak tespit etme yoluna gitmişlerdir. Bu amaçla tekerleklerle ve gövde şasi bağlantılarına monte edilmiş yük sensörleri ile donatılmış örnek bir araç ile test pistinden yol verisi toplamışlardır. Çalışmanın birinci aşamasında hibrit yük yaklaşımını kullanarak şasi bağlantılarına gelen yol yüklerini belirlemişlerdir. Bu amaçla tekerleklerle etki eden yol yüklerinin girdi olarak kullanıldığı bir ADAMS taşıt simülasyonu hazırlanmış ve bu simülasyon sonucunda şasi bağlantı noktalarına etki eden yükler elde edilmiştir. Çalışmanın ikinci aşamasında elde edilen bu yükler sonlu elemanlar yöntemi ile modellenmiş olan gövde ve şasi modeline uygulanmış ve MSC.NASTRAN[21] yazılımı kullanılarak yapılan analiz sonucunda gövde bağlantı noktalarına etki eden yükler tespit edilmiştir. Ölçülen ve hesaplanan gövde bağlantı noktası yüklerinin karşılaştırması Şekil 1.8’de gösterilmiştir. Sonuçların temel olarak uyumlu oldukları görülmüştür. Genelde hesaplanan değerlerin ölçülenlerin altında kaldığı görülmüştür. Bu çalışmada motor ve

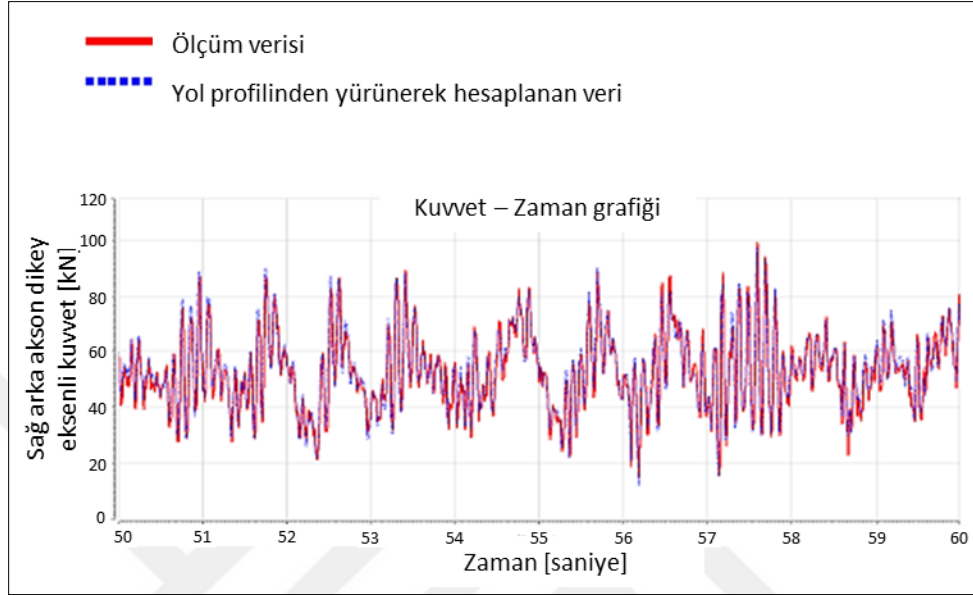
aktarma organlarının bağlantılarından şasiye etkiyen yükleri hesaba katılmamıştır. Sonuçlar arasındaki farkın büyük oranda bu kabulden kaynaklandığı belirtilmiştir.



Şekil 1. 8 İkinci sol gövde bağlantı noktası için ölçülen ve hesaplanan dikey eksenli kuvvetlerin karşılaştırılması[20]

Araç ömür testlerindeki en önemli hususların başında kullanılan test metodunun gerçek kullanım koşulları ve müşteri beklentileri ile uyumlu olarak oluşturulan bir test senaryosuna dayanıyor olması gelmektedir. Backer ve arkadaşları [22] yaptıkları çalışmada bilgisayar destekli analiz yöntemlerini kullanarak yeni tasarlanan bir yolcu otobüsünün yorulma/ömür hesaplamalarını yapmak için gerekli yüklerin tespit edilme sürecini incelemişlerdir. Bu amaçla ilk olarak kullanıcı profili, müşteri beklentileri ve market koşulları anketler yardımı ile belirlenmiştir. Belirlenen bu koşullara uygun ve farklı yol tipleri içeren (%10 otoyol, %50 şehirlerarası yol, %15 bozuk yol, %25 şehir içi yollar) 1000km’lik bir rota üzerinden ivme ve gerinim ölçerler ile donatılmış tam yüklü bir otobüs yardımıyla yol verisi toplanmıştır. Bu veriler 1.000.000 kilometreye genişletilmiştir. Sonrasında bir önceki aşamada kullanılan araç ile (ek olarak TKS’ler ile donatılmıştır) yüksek yapısal hasar etkisine sahip yollar içeren ticari bir test pistinde (IDIADA[23], İspanya) yol verisi ölçümleri yapılmış ve yürütülen müşteri korelasyonu çalışması sonucunda bu pist için müşteri kullanım profilini yansıtacak bir test senaryosu oluşturulmuştur. Oluşturulan senaryonun sanal ortama aktarılması sürecinde hibrit yol modeli kullanılmıştır. Bu işlemde ölçülen dikey teker kuvvetleri kullanılarak lastik temas yüzeyinin dikey eksenli yer değiştirme değerleri hesaplanmıştır. Çalışmada sadece dikey eksenli sertlik ve sönümlleme değerleri ile oluşturulan basit bir tekerlek modeli

kullanılmıştır ve bu model yatay ve doğrusal eksenlerdeki hesaplamalar için yetersiz kalmıştır. Bu benzetimler ticari bir program olan LMS Virtual Lab[24] kullanılarak yapılmıştır. Bu amaçla araç gövdesi, motor, ön ve arka süspansiyon sistemleri ve lastikler sanal ortamda modellenmiştir.



Şekil 1. 9 Sağ arka tekerlek için pistte yapılan ölçümler ve simülasyon sonucunda elde edilen kuvvet değerlerini karşılaştırması[22]

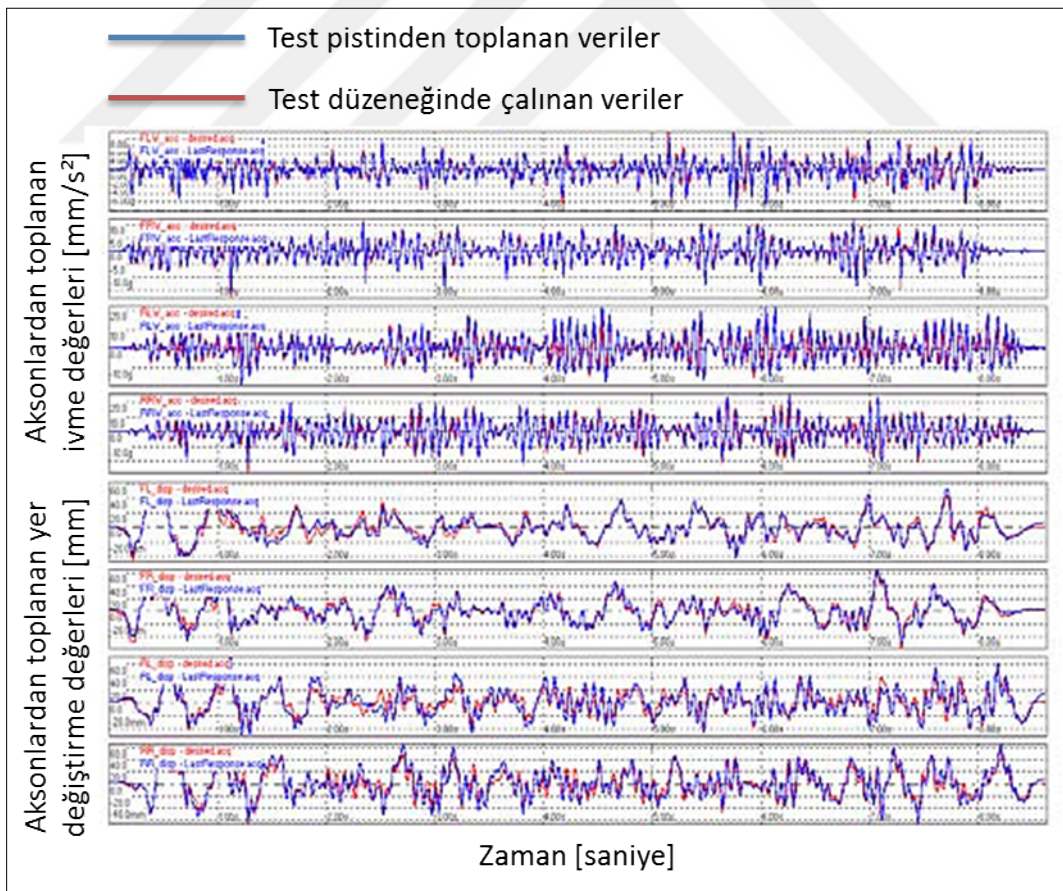
Şekil 1.9'da pistte yapılan ölçümler ve simülasyon sonucunda elde edilen kuvvet değerlerinin karşılaştırması verilmiştir. Sonuçların uyumlu olduğu görülmüştür. Gelişmiş lastik/tekerlek modellerinin kullanılmasının daha gerçekçi sonuçların alınabilmesini sağlayacağı belirtilmiştir. Hibrit yol metodu sayesinde elde edilen yükleme dosyaları fiziksel prototipin bulunmadığı erken tasarım evrelerinde, test pisti olmayan veya ürününü farklı pistlerde de görmek isteyen üreticilere tasarımlarını değerlendirme imkânı vermektedir.

Lin ve arkadaşları [25] araç yol testleri, laboratuvar testleri ve bilgisayar ortamında yapılan analizlerin bir arada kullanıldığı bir yaklaşım kullanarak yapısal dayanım analizleri üzerine bir çalışma yürütmüşlerdir. Çalışmanın ilk aşamasında yol yükleri belirlenmiştir. Bu amaçla 20 farklı sensörün (ivme ölçer, deplasman ölçer ve gerinim ölçer) yerleştirildiği araç 4 farklı yol profilinde önceden belirlenen hızlara göre koşturulmuştur. Ardından aynı araç Şekil 1.10'da gösterilen ve birbirinden bağımsız 4 piston sayesinde aracın tekerleklerine dikey eksenli yol girdileri aktarabilen laboratuvar

test düzeneğine yerleştirilmiştir. Toplanan yol verileri test düzeneğinin girdisi olarak kullanılmış ve oluşturulan kontrol sistemi sayesinde araç üzerinden benzer ivme ve yerdeğiştirme çıktıları alınması sağlanmıştır. Şekil 1.11'deki ilk dört grafik ivme, son dört grafik yerdeğiştirme değerleri arasındaki uyumu göstermektedir.



Şekil 1. 10 Laboratuvar test düzeneği. Araç yoldan toplanan verileri laboratuvar ortamında uygulayacak olan 4 servo-hidrolik aktüvatör üzerine yerleştirilmiştir[25]



Şekil 1. 11 Toplanan test pisti verileri ile test düzeneği çıktılarının karşılaştırılması[25]

Sonrasında detaylı bir tam araç modeli oluşturulmuştur. Fiziksel testler ile belirlenmiş olan yerdeğiştirme değerleri araç modeline girdi olarak verilerek gerilim/gerinim analizlerinin yapılmasında kullanılmış ve gövde üzerindeki kritik lokasyonlar tespit edilmiştir. Sonlu eleman analizleri sonucunda elde edilen gerinim değerleri kullanılarak yorulma analizleri ve ömür hesapları yapılmıştır. Çizelge 1.1’de paylaşılan sonuçlara göre belirlenen kritik noktalarda BDM modellerinin birçok durumda fiziksel testler ile uyumlu ömür değerlerini verdikleri görülmüştür.

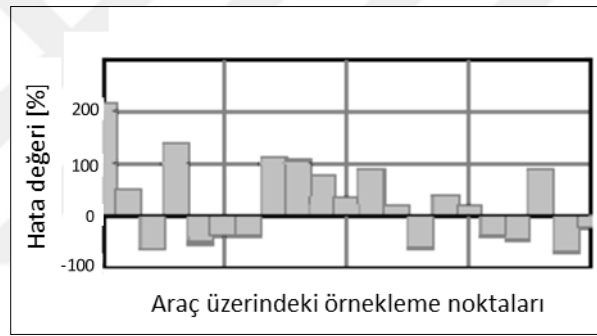
Çizelge 1. 1 Sanal ve fiziksel yöntemlerle belirlenen kritik noktalardaki ömür değerleri[25]

Lokasyon	BDM sonucu ulaşılan ömür değeri / Fiziksel test sonucu elde edilen ömür değeri
C-sütunu üst köşesi	1,3
A-sütunu alt köşesi	—
D-sütunu iç yüzeyi	3,5
Yaprak yay braket	1,5
Gövde traversi	1,2

Wannenburg ve arkadaşları [26] eşdeğer statik yükleme adını verdikleri metodu kullanarak özellikle üretim adetleri düşük özel araçların tasarımı sırasında iş gücü, zaman ve maliyet kazancı sağlayabilecek basit bir ömür hesabı yöntemi geliştirmeyi amaçlamışlardır. Otomotiv endüstrisinde yaygın olarak kullanılan gerinim-ömür metodu ve dinamik sonlu elemanlar analizlerinin birlikte kullanıldığı yaklaşımın aksine sınırlı verilerle yürütülen gerilim-ömür hesaplarını ve statik sonlu elemanlar analizlerini kullanmışlardır.

Örnek uygulama çift amaçlı olarak tasarlanan (hem sıvı yükleri taşıyabilen bir tanker, hem de genel kargo yüklerini taşımakta kullanılan bir treyler olarak tasarlanmıştır) bir çekici treyler üzerinde yapılmıştır. Araç yapısını karakterize edecek ana kırılgan yerleştirilen gerinim ölçerler yardımıyla 30’dan fazla gerinim kanalından veri toplanmıştır. Buna paralel olarak yapının detaylı bir sonlu elemanlar modeli oluşturulmuştur. Ön treyler şasi flanşına yerleştirilen sensörün ölçtüğü eğilme gerilmesi örnek olarak seçilerek “yorulma etkisi eşdeğer statik yüklemenin” hesaplanmasında kullanılmıştır. İlk olarak eş değer stres aralığı değeri 15,5 MPa olarak hesaplanmıştır. Eş değer stres aralığı değeri belli sayıda tekrarlandığında ilgili kırılgan ömrü boyunca maruz

kalacağı hasara eşit bir hasar etkisi bırakan girdi değeri olarak tanımlanmıştır. Bu çalışmada belirlenen tekrar sayısı 2 milyon çevrimdir. Bu tekrar sonucunda ulaşılan hasar değeri 2 milyon kilometrelik seyir sonunda ulaşılan hasara eş değer olacaktır. 1 g'lık dikey eksenli yükleme sonucunda ilgili kirişte oluşan gerilme değeri 25 MPa olarak statik sonlu elemanlar analizi ile hesaplanmıştır. Bu iki değerlerin oranları eş değer statik yükleme değeri olarak tanımlanmıştır ($15,5 / 25 = 0,62$). Eşdeğer statik yükleme şartı altında oluşan stres değerlerinin 2 milyon kilometrelik araç ömrü boyunca 2 milyon kere tekrarlandığı öngörülmüştür. Veri toplanan her nokta için ölçüm verileri kullanılarak hesaplanan hasar değerleri ile eş değer statik yükleme metodu kullanılarak yapılan hasar hesapları arasındaki fark %30'u aşmamıştır. Sınırlı veriler ve statik analizler kullanılarak güvenilir öngörüler yapmanın mümkün olduğu sonucuna varılmıştır.



Şekil 1. 12 Ölçülen ve hesaplanan hasar değerlerinin karşılaştırması ve hata grafikleri[27]

Andrew Halfpenny ve arkadaşları [27] “Durability Transfer Concept” ismini verdikleri metod ile araç üzerindeki kritik lokasyonlarda oluşacak hasarları araç yapısındaki bazı temel noktalardan (örneğin aks) alınacak ivme ölçümleri ile öngörebilmişlerdir. Bu amaçla askeri bir arazi aracı kullanılarak farklı seyir ve yük koşulları altında test pisti üzerinden ivme (araca etki eden genel yük karakterini karakterize edebilecek temel noktalardan) ve gerinim (hasar öngörüsü yapılmak istenen kritik noktalardan) verileri toplanmıştır. Toplanan ivme değerlerinden önce yerdeğiştirme ardından gerilim-ömür eğrisi yaklaşımı kullanılarak hasar değerlerine ulaşılmış ve hasar-frekans eğrileri elde edilmiştir. Benzer bir işlem gerinim verisi toplanmış noktalar için de yapılmış ve hasar değerleri hesaplanmıştır. Takip eden aşamada toplanan ivme değerleriyle elde edilen nisbi hasar spektrumu ile incelenen parçalarda oluşacak hasar değerleri arasında bir

transfer fonksiyonu kurulmuştur. Belirlenen transfer fonksiyonunun doğrulanması için yürütülen testlerde aracın sol ön tekerlek merkezine yerleştirilen sensör ile 3 eksenli ivme verisi ve rot kolu üzerine yapıştırılan gerinim ölçerler ile de gerinim değerleri ölçülmüştür. Transfer fonksiyonu kullanılarak hesaplanan hasar değerleri ile gerinim ölçümleri sayesinde elde edilen hasar değerlerinin karşılaştırması Şekil 1.12’de gösterilmiştir.

İlgili çalışmada öngörülen ve gerçekleşen hasar değerleri arasındaki oranın 2 faktör olması durumu (0,5-2) “mükemmel uyum”, 3 faktör olması durumu (0,3-3) “iyi uyum”, 10 faktör olması durumu (0,1-10) “kabul edilebilir” olarak belirlenmiştir. Yapılan 42 denemenin hemen hepsinde 2 faktör şartı sağlanmıştır. Sadece 3 test için “iyi ve kabul edilebilir uyum” değerleri alınmıştır.

Test pistlerinde yürütülen doğrulama çalışmaları aracın yapısal dayanım performansını belirlemenin en verimli yollarının başında gelmektedir. Burada dikkat edilmesi gereken nokta test pistinde uygulanan prosedürün hasar etkisinin hedef müşteri kullanım karakteri ile uyumlu olmasıdır. Halfpenny ve Pompetzki [28] çalışmalarında bu amaçla kullanılan test prosedürü optimizasyon tekniklerini incelemişlerdir. Çalışma kapsamında iki optimizasyon algoritması kullanılmıştır. Bunlardan ilki olan “best fit” çözümü; mümkün olan en iyi pist ve araç koşulu tercihleri ile hedef müşteri/kullanım koşullarına en yakın test pisti prosedürünün oluşturulmasını sağlarken; diğer yöntem olan “track optimized” çözümünde ise en az tekrar sayısı ile müşteri/kullanım koşullarını temsil edebilecek en kısa süreli prosedürün elde edilmesi amaçlanmaktadır.

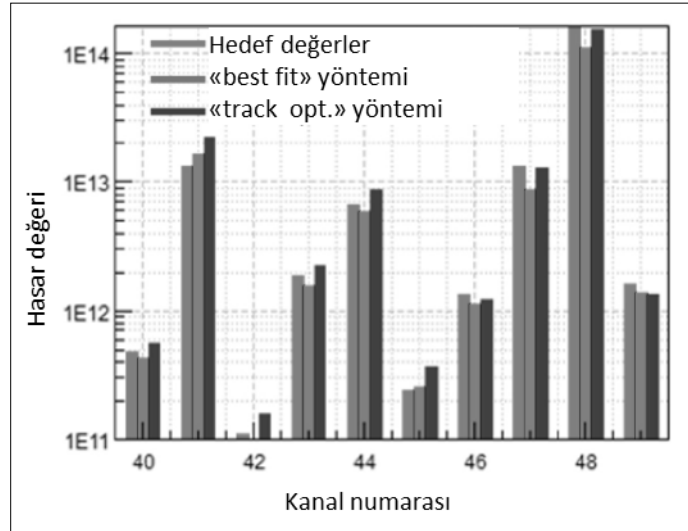
Çalışmada kullanılacak veriler; üç eksenli ivmeölçerler, teker hareketlerini karakterize edebilecek deplasman ölçerler ve bazı süspansiyon, direksiyon ve şasi sistemi elemanlarına yerleştirilen gerinim ölçerler ile donatılmış bir kamyon ile Kuzey Amerika’da bulunan bir test pistinden toplanmıştır. Bu noktada yazar tarafından dikkat çekilen konu yol yüzeyi ve oluşan hasar arasındaki korelasyonun her parça için farklı olacağıdır. Bu nedenle tek bir parça üzerinden toplanan veriler kullanılarak yapılan optimizasyon çalışmasının aracın gelen karakterini temsil etmekten uzak olacağı belirtilmiştir. Burada yapılması önerilen aracı yol profilini ölçebilen tek bir sensör gibi görmek ve enstrumantasyonu buna göre yapmaktır. TKS’lerin kullanılması bu ihtiyacı en iyi şekilde karşılayacak yöntem olarak görülse de özellikle uzun ölçüm sürelerinde

pratik olmayan pahalı bir yöntem olduğu paylaşılmıştır. Bu nedenle ilgili çalışmada tekerlek merkezlerine yerleştirilmiş 3 yönlü ivme ölçerler kullanılmıştır.

Optimizasyon işlemleri zaman serisi veriler üzerinden değil bu verilerin indirgenmiş formatları üzerinden yapılmıştır. Buradaki amaç mevcut veriyi gerekli bilgileri ve karakteristik özelliklerini koruyacak şekilde sıkıştırmak olarak belirtilmiştir. Çalışma kapsamında bu amaçla kullanılan birçok metot incelenmiştir. Dikey eksenli süspansiyon sistemi hareketlerini karakterize etmekte düzey eksen kesme ve yağmur akışı döngü sayımı sayma yöntemleri tercih edilmiştir. TKS'lerden ve gerinim ölçerlerden toplanan verilerin işlenmesinde en iyi sonuçları yine yağmur akışı döngü sayımı sayma yöntemi vermiştir.

Çalışmanın son bölümünde referans alınan parçalar için müşteri kullanım koşulları altında ve oluşturulmuş optimize test senaryoları sonucunda oluşacak hasar değerleri Şekil 1.3'de gösterildiği şekilde karşılaştırılmıştır. Hasar değerlerinin son derece uyumlu olduğu görülmüştür. Belirli parçalara dayanılarak değil aracın genel parametrelerine bağlı kalınarak yapılan optimizasyon işleminin aracın genel karakteristiğini ifade edebildiğini; bu sayede belirli bir parça değerlendirildiğinde istenen doğrulukta sonuçlar alınabildiği görülmüştür.

Taşıtlar tasarım ömürleri boyunca yol yüzeyi, manevralar ve güç-aktarma sistemleri kaynaklı titreşimlere maruz kalırlar. Bu koşulları temsil eden test prosedürlerine göre toplanan yol verilerinin bir kısmı hasar etkisi olmayan düşük genlikte çevrimlerden oluşmaktadır. Londhe ve arkadaşlarının bu çalışmasında [29] hasar etkisi sınırlı olan kısımların ölçülmüş yol verilerinden çıkarılması ve bu sayede hem kısaltılmış hem de gerçekçi veri setlerinin elde edilmesi için izlenecek yöntem tanımlanmıştır.



Şekil 1. 13 Seçilmiş süspansiyon ve direksiyon sistemi elemanları üzerinde oluşan hasar değerleri için hedef ve test senaryosu sonuçlarının karşılaştırması[28]

Çalışma kapsamında ivme ölçerler, deplasman ölçerler ve gerinim ölçerler ile donatılmış bir taşıt ticari bir test pistinin 4 farklı pistinde 3 farklı yükleme koşulu (yüksüz, yüklü, aşırı yüklü) altında koşturulmuştur. Toplanan gerinim verileri ve malzeme özellikleri kullanılarak ömür-yorulma analizi yapılmış ve yapının yorulmasına neden olmayan bölümler çıkartılmıştır. Bu işlem sonunda orijinal veri seti ve kısaltılmış veri setinin frekans dağılımlarının uyumlu olması gerektiği belirtilmiştir. Bu çalışmada yüksek frekans değerleri aynı kalırken düşük frekans değerlerinde %10'luk kabul edilebilir bir fark olduğu görülmüştür. Sonuçlar Çizelge 1.2'de özetlenmiştir.

Çizelge 1. 2 Sanal ve fiziksel yöntemlerle belirlenen kritik noktalardaki ömür değerleri[29]

	Toplan veri süresi (sn.)	Kısaltılmış veri süresi (sn.)	Korunan hasar oranı	Korunan süre oranı
Aşırı Yüklü	7426	3684	%96	50,38
Yüklü	7021	4022	%96	42,70
Yüksüz	5691	3505	%96	38,40

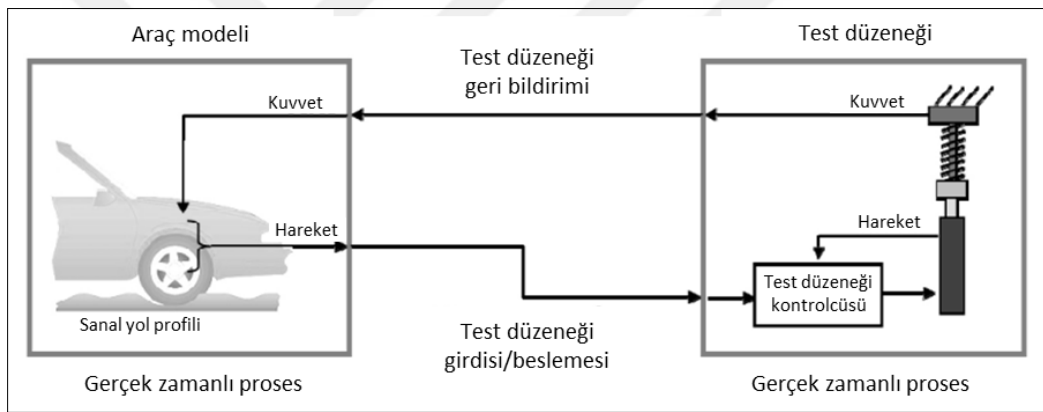
Çoklu cisim dinamik simülasyonları (ÇDS) taşıtların yapısal dayanım performanslarının sanal olarak belirlenmesinde sıkça kullanılan yöntemlerden biridir. Taşıtların yapısal dayanımları, ÇDS sonucunda elde edilen kuvvetlerin girdi olarak kullanıldığı bir ömür/yorulma çözücüsü (yazılımı) kullanılarak hesaplanabilir. Ancak Tiwari ve Dubey [30] tüm bu süreçte sadece sonlu elemanlar analiz yöntemlerini kullanarak benzer öngörülerde bulunmayı hedeflemişlerdir. Bu yönetime göre 6x4 bir ağır ticari aracın şasi

ve kabin elemanlarının esnek sonlu elemanlar modeli kurulmuştur. Esnek modelleme sayesinde şasi, süspansiyon elemanları ve kabinin tüm modlarının yakalanabilmesi sağlanmıştır. Çalışmada kullanılmak üzere araç aksları üzerinden dikey eksenli ivme ve belirlenen kritik lokasyonlardan gerinim verileri toplanmıştır. Daha sonrasında toplanan ivme değerlerinden yerdeğiştirme değerleri hesaplanmıştır. Yoldan toplanan yerdeğiştirme verileri ve Nastran yazılımı kullanılarak sonlu elemanlar analizi koşturulmuştur. Analiz sonuçları araç üzerindeki kritik noktalardan toplanan ivme, yerdeğiştirme ve gerinim verileri ile karşılaştırılmış; yeterli korelasyon seviyesi için model üzerinde gerekli ayarlamalar yapılmıştır. Sonuçta test ve simülasyon sonuçları arasında %85-90 oranında yüksek bir uyum değerine ulaşılmıştır. Sonlu elemanlar modelinden elde edilen gerilim-zaman verileri kullanılarak HBM.nCode[31] yazılımı kullanılarak yorulma analizi yapılmıştır. Bu sayede elde edilen sanal sonuçlar ve test verileri ile ulaşılan hasar değerleri arasındaki ortalama korelasyon faktörü 1,84 olarak hesaplanmıştır. Bunun fiziksel anlamı sonlu elemanlar analizi yoluyla bulunan yorulma değerlerinin fiziksel sonuçlara oranla ortalama 1,84 kat daha yüksek olduğudur. Bu ortalama değer taşıt yapısı üzerinden veri toplanmamış noktalar için geçerli bir ömür/yorulma öngörüsü yapılmasına olanak verdiği belirtilmiştir.

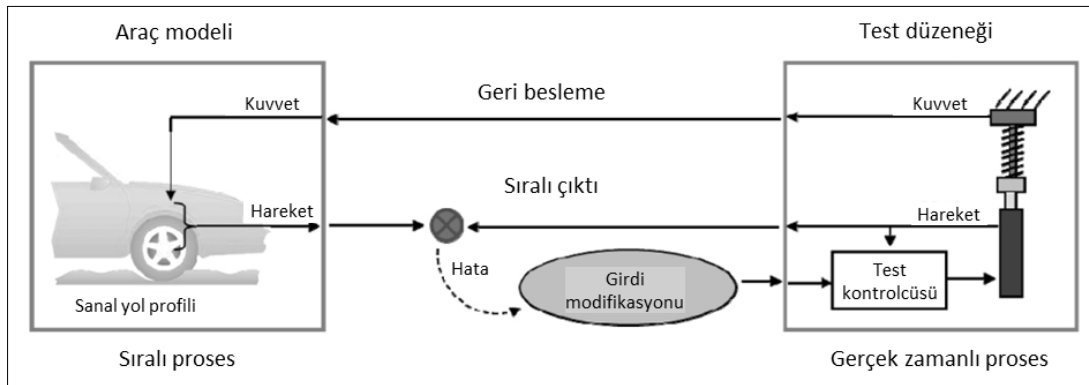
Sanal test yöntemleri fiziksel prototiplerin mevcut olmadığı erken geliştirme evrelerinde tasarımın doğrulanmasına olanak vermektedir. Ancak doğrusal olmayan malzeme özellikleri gösteren lastik, amortisör, motor takozu ve benzeri kauçuk elemanlar gibi modellenmesi zor sistemlerde bu yaklaşım yetersiz kalabilmektedir. Hibrit simülasyon metodu fiziksel ve sanal parçaları bir arada kullanır. Modellemesi zor olan parçalar laboratuvar ortamında test edilirken bu testlerin çıktıları sanal modele girdi olarak verilir ve doğruluk seviyesi yükseltilmiş bir karma simülasyon sistemi kurulmuş olur. You ve Fricke [32] çalışmalarında iki farklı hibrit simülasyon yaklaşımı kullanmışlardır.

Bunlardan ilki olan “mechanical hardware in the loop” (mHIL) yaklaşımında gerçek zamanlı araç dinamiği simülasyonlarındaki bazı elemanların sanal olarak modellenmesi yerine fiziksel prototiplerinin kullanılması yoluna gidilmiştir. Yöntemin temeli modellenmesi zor olan elemanların fiziksel olarak test edilmesi ve sistemin geri kalanının modellenmesi fikrine dayanmaktadır. mHIL yaklaşımının kullanıldığı örnek bir

uygulama MTS firması tarafından geliştirilen “dörtlü amortisör” sistemidir. Bu sistemde dört adet amortisör fiziksel test setine bağlanmışlardır. Taşıt modelinde amortisörler tek eksenli bir kuvvet girdisi olarak modellenmişlerdir. Amortisör test setinin girdisi sanal taşıt modelinden hesaplanan yerdeğiştirme değerleridir. Bu yerdeğiştirme girdileri sonucunda test setlerinde ölçülen kuvvetler amortisörleri temsil edecek şekilde tekrar taşıt modeline girdi olarak gönderilir. Benzer ikinci bir uygulama çeyrek taşıt modeli için de tekrarlanmıştır. Bu yaklaşımda simülasyonun gerçek zamanlı olarak koşturulması bazı yazılımsal ve donanımsal kısıtlamalara neden olmuştur. Çözüm hızının düşmemesi adına detaylı taşıt modelleri ve gelişmiş tekerlek modelleri kullanılmamıştır. Bu ve benzeri basitleştirmeler nedeniyle sürüş konforu ve yapısal dayanım analizleri için gereken frekans bandında gerekli doğruluk seviyesinde sonuçlar almak mümkün olmamıştır.



Şekil 1. 14 Gerçek zamanlı Hibrit simülasyon sistemi[32]



Şekil 1. 15 Sıralı Hibrit simülasyon sistemi[32]

You ve Fricke bu kısıtlamaları gidermek adına “hybrid system response convergence” (HSRC) tekniğini geliştirmişlerdir[32]. Bu yöntem hibrit sistemdeki hareket

denklemlerini çözmek için iteratif bir yaklaşım kullanmaktadır. Bu iterasyonlarda fiziksel ve sanal sistemlerin çıktıları dinamik bir dengeye ulaşana kadar fiziksel sistemin girdileri üzerinde değişiklikler yapılmaktadır. Bu amaçla sanal ve fiziksel sistemleri sırayla çözmekte bu nedenle de gerçek zamanlı çözümlemelere göre daha uzun işlem zamanı gerektirmektedir. Uzun işlem zamanına rağmen bu yaklaşım sayesinde daha karmaşık sistemleri modelleyebilmenin ve sonuçlarını yapısal dayanım değerlendirmelerinde kullanmanın mümkün olduğu belirtilmiştir.

HSRC teknolojisinin kullanıldığı bir başka çalışma da Fricke ve Frost 'un [33] AUDI firmasıyla yeni geliştirilen A5 modelinin tasarımı sırasında yürüttükleri işbirliği sonucunda ortaya çıkmıştır. Bu çalışma kapsamında MTS 329 yol simülatörü sistemi üzerine yerleştirilen Audi A5 Coupe aracı ile standart bir ADAMS simülasyonunun bir arada kullanıldığı hibrit simülasyon metodu kullanılmıştır. ADAMS simülasyonunda F-tire tekerlek modeli ve AUDI'e ait dijital yol bilgileri kullanılmıştır. Fiziksel A5 prototipi ve F-tire modelinden oluşan hibrit sistem sayesinde elde edilen tekerlek yükleri diğer üç yöntem ile elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmışlardır. Bu yöntemler sırasıyla fiziksel araç ile toplanan yol yükü verileri, farklı fakat aynı sınıftaki başka bir araç (2005 model Audi A5 kullanılmıştır) ile toplanan yol yükü verileri ve tamamen sanal taşıt modeli kullanılarak elde edilen yol yükü verileri olarak paylaşılmıştır. Sonuçlar hibrit simülasyon metodu ile elde edilen yüklerin yol ölçümleri ile uyumlu olduklarını ve tam analitik yöntemlerden ve başka araçlar ile toplanan yol yüklerinden daha doğru sonuçlar verdiğini göstermiştir.

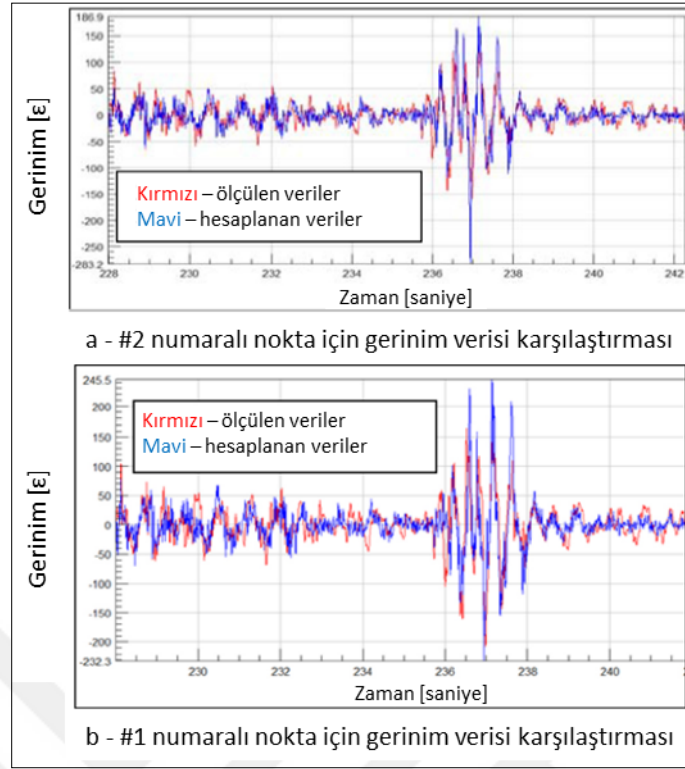
Parçaların ömürlerini öngörmekte kullanılan birçok hesaplama yöntemi mevcuttur. Bu analitik metotlar genel olarak yapının maruz kaldığı kuvvetlerin neden oldukları gerilim değerleri ile ilgili parçanın dayanımının karşılaştırılmasına dayanmaktadırlar. Bu metotların uygulanmasında; hasar değeri Palmgren-Miner[34] kuralına uygun olarak doğrusal birikimli hasar teorisine uygun olarak değerlendirilmektedir. Hasar değerlerinin ön görülmesinde kullanılabilecek bir alternatif metot da yapay sinir ağlarıdır (YSA). Marquardt ve Zenner [35] yaptıkları çalışmada YSA metodunu kullanarak ilgili malzemeler için yorulma hesapları yapmışlar ve bunları klasik analitik yöntemlerle karşılaştırmışlardır. Bu amaçla değişken yükleme koşulları altında yapılmış 825 farklı deney verisi kullanılmıştır. Bu deneylerde başta çelik, dökme demir ve

alüminyum alaşımları olmak üzere birçok farklı malzeme türü kullanılmıştır. Bu veri setlerinin bir kısmı sinir ağının eğitimde kullanılırken kalan kısmı sinir ağının performansının denenmesinde kullanılmıştır. Girdi olarak malzemelerin SN eğrisini ve yükleme spektrumlarını karakterize edecek 11 farklı parametre kullanılmıştır. Çıktı olarak kullanılacak karakteristik değer hasar için gerekli olan tekrar sayısının yarısı olarak alınmıştır. Parça ömrünün tespitinde kullanılan yöntemlerin doğrulukları D oranı ile ifade edilmiştir. D oranı deneyler sonucunda belirlenen yükleme çevrimi sayısının analitik yöntemler sonucunda hesaplanan çevrim sayısına oranı olarak ifade edilmiştir. YSA kullanılarak elde edilen değerler ile Palmgren-Miner metodundan geliştirilmiş üç farklı yöntemin çıktıları karşılaştırılmıştır. Sonuçlar YSA'ların Palmgren-Miner ve buradan türetilmiş diğer analitik yaklaşımların yerine kullanılabileceğini göstermiştir.

Daha önce incelenen çalışmaların hemen hepsinde araçların erken tasarım fazlarında kullanılacak yol yükü verilerinin tespitinin zorluğu vurgulanmıştır. Buna ek olarak yol yükü verilerinin toplanmasının zor, maliyetli ve zaman alan bir çalışma olduğu bilinmektedir. Sivakumar ve arkadaşlarının yaptıkları çalışmada [36] araç şasisinin çeşitli noktalarında oluşan gerinimlerin YSA uygulaması kullanılarak öngörülebilmesi amaçlanmıştır.

Çalışma kapsamında iki tekerlekli bir aracın şasisi üzerindeki dokuz farklı noktadan ivme, yerdeğiştirme ve gerinim değerleri toplanmıştır. Bu araç kullanılarak farklı yol, zemin ve yükleme koşulları altında kısa süreli veriler kaydedilmiştir. Toplanan ivme ve yerdeğiştirme değerleri girdi olarak YSA'a verilmiş ve çıktı olarak kritik noktalardaki gerinim değerlerinin alınması amaçlanmıştır. Şekil 1.16'da şasi üzerindeki farklı noktalar için YSA kullanılarak hesaplanan ve ölçüm ile elde edilen gerinim değerlerinin karşılaştırması verilmiştir. Grafiklerin uyumlu olduğu görülmektedir.

Gerinim değerleri kullanılarak ölçüm yapılan dokuz farklı nokta için ömür hesabı yapılmıştır. Çalışma sonucunda YSA ile elde edilen yüklerin gerçeği yansıtmakta oldukça başarılı oldukları görülmüştür. Bu yöntem ile hesaplanan hasar değerleri ile yoldan toplanan verilerle bulunan hasar değerleri arasındaki farkın %15'den az olduğu görülmüştür.



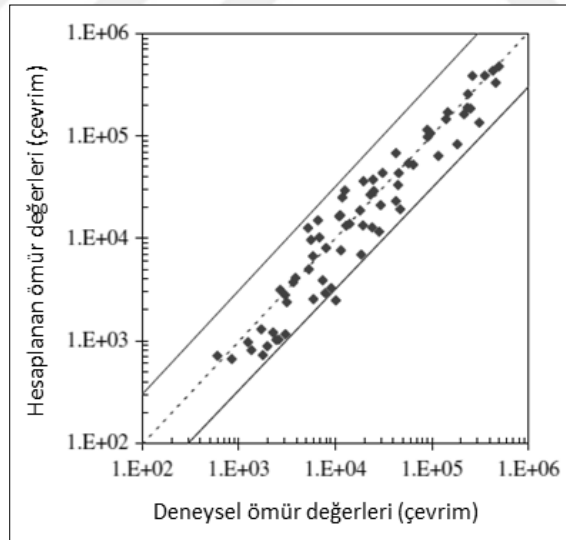
Şekil 1. 16 a- Şasi üzerindeki #2 numaralı noktada ölçülen ve YSA ile elde edilen gerinim değerlerinin karşılaştırılması, b- Şasi üzerindeki #1 numaralı noktada ölçülen ve YSA ile elde edilen gerinim değerlerinin karşılaştırılması[36]

Nokta kaynakların mukavemeti araçların yapısal dayanımını doğrudan etkileyen bir parametredir. Kaynak dolgu çapı, sac kalınlığı, numune genişliği gibi geometrik parametreler, malzeme özellikleri ve yükleme koşulları nokta kaynağının ömrünü doğrudan etkilemektedir. Birçok araştırmacı yukarıda açıklanan parametreler ile kaynak ömrü arasındaki ilişkiyi ifade ederek öngörülerde bulunabilmek amacıyla çeşitli analitik ve ampirik modeller oluşturmuştur. YSA uygulaması da bu gibi modellenmesi zor durumların ifadesinde kullanılan bir yöntemdir. Park ve Kang bu çalışmalarında [37] R-oranı, yükleme açısı, kaynak dolgu çapı ve yükleme aralığı gibi parametreler kullanarak kaynak ömrünü hesaplayabilecekleri bir ileri beslemeli YSA oluşturmuşlardır.

Nokta kaynakların ömrünü öngörebilmek amacıyla kurulan bu YSA'da dört farklı parametre girdi olarak kullanılmıştır; nokta kaynak çapı, yük genliği, yükleme açısı, R-oranı. YSA'nın geliştirilmesinde yüksek dayanımlı çelikten (410 MPa akma dayanımı) imal edilmiş numunelerin kullanıldığı 140 adet yorulma testi sonucu kullanılmıştır. Numunelerin kalınlık ve genişlikleri tüm denemelerde aynı tutulmuştur. Numunelerde kullanılan nokta kaynak çapları 5,4 ve 8 mm 'dir. 30°, 50° ve 90° 'lik üç farklı yükleme

açısı kullanılmıştır. Her açı için üç farklı ortalama yükleme (1110 N, 2220 N, 3340 N) değeri 0 – 0,76 arasındaki R-oranları ile uygulanmıştır. Yük genlikleri 445 N ile 3336 N arasındadır. Deneyler nokta kaynaklar ayrılana veya aşırı deformasyona uğraya kadar devam ettirilmiştir. Girdi olarak kullanılan tüm parametreler 0-1 aralığında normalize edilmiştir.

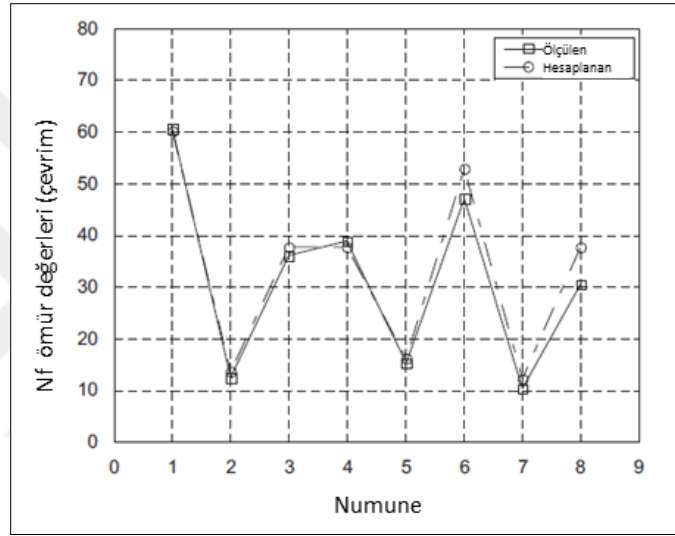
Veri setinin yarısı (70 deneme) YSA'nın eğitiminde diğer yarısı ise YSA performansının test edilmesinde kullanılmıştır. YSA 'nın girdi katmanında her bir parametreyi temsilen 4 adet hücre bulunmaktadır. Gizli katmandaki hücre sayısı çeşitli denemelerden sonra karesel hataların toplamını minimize edecek şekilde 5 olarak belirlenmiştir. Çıktı katmanı toplam yorulma ömrünü verecek şekilde tek bir hücreden oluşmuştur. Eğitimi tamamlanan YSA daha önce görmediği 70 set veri ile test edilmiştir. Şekil 1.17 deneyler sonucunda elde edilen ömür değerleri ile YSA tarafından hesaplanan ömür değerlerinin karşılaştırmasını göstermektedir. Noktalı çizgi deneysel sonuçlar ile hesapla bulunan sonuçlar arasındaki mükemmel korelasyonu göstermektedir. Sürekli çizgiler faktör 3 çizgileridir. İlgili çalışmanın sonucu olarak YSA'nın nokta kaynaklarının ömürlerini kabul edilebilir bir doğrulukta öngörebildiği belirtilmiştir.



Şekil 1. 17 Nokta kaynaklarının deneysel ömür sonuçlarının YSA çıktıları ile karşılaştırılması[37]

YSA yönteminin malzeme yorulmalarının modellenmesi ve hesaplanmasında kullanılması inşaat mühendisliği branşında da sıkça başvurulan bir yöntem olmaya başlamıştır. Abdalla ve Hawileh [38] inşaatların güçlendirilmesinde kullanılan çelik

çubukların düşük çevrimli yorulma ömürlerini YSA ile modellemeyi amaçlamışlardır. Çelik çubuklar üzerinde farklı yükleme koşulları için düşük çevrimli yorulma deneyleri yapılmıştır. Bu veriler YSA'nın eğitiminde (854 veri seti) ve testinde (8 veri seti) kullanılmıştır. Ağın girdileri olarak maksimum çekme gerinimi ve gerinim oranı; çıktısı olarak ise kırılmanın yaşandığı çevrim sayısı alınmıştır. Ağın test edilmesi için kullanılan 8 veri seti için ortalama karekök hatası 0,0428 , korelasyon katsayısı 0,9869 olarak hesaplanmıştır. Deneyler sonucunda elde edilen ömür değerleri ile hesaplamalar sonucunda bulunan sonuçlar Şekil 1.18'de karşılaştırılmıştır. Sonuçlar YSA modelinin uyumunun yüksek olduğunu göstermektedir.



Şekil 1. 18 Deneysel parçaların ölçülen ve hesaplanan ömür değerleri[38]

1.2. Doktora Tezinin Amacı

Üretilen araçların tasarım ve geliştirme aşamaları uzun, zahmetli ve maliyetli süreçlerdir. Özellikle tasarım onayı için yürütülen fiziksel testler hem yüksek maliyetli hem de uzun süreli işlemlerdir. Yeni geliştirilen bir araç için en basit ve en güvenilir ömür testi aracın gerçek saha ve kullanım koşullarında, hedeflenen kullanım süresi veya mesafesi kadar kullanılmasıdır. Ancak bu şekilde yürütülecek bir doğrulama çalışması yüksek maliyetli, uzun süreli ve tekrarlanamaz olacaktır. Bu nedenle geliştirilmesi yapılan araçların yapısal dayanım performansları hızlandırılmış doğrulama metotları ile test edilmelidir. Bu amaçla kullanılan sanal ve fiziksel doğrulama metotlarının hemen hepsi taşıta etki eden yol yüklerinin belirlenmesini gerekli kılmaktadır.

Bu süreçte sınırlı işlem zamanı, erken tasarım dönemi için bazı yük kabullerinin yapılması zorunluluğu, prototip taşıt ile test alanlarında ve pistlerinde yol verisi toplama çalışmalarının oldukça maliyetli ve zaman alan işlemler olması gibi birçok zorlukla karşılaşılmaktadır. Bu sıkıntılardan yola çıkılarak geliştirme sürecinin erken safhalarında daha sağlıklı yol yükü tahminleri yapabilmek için bir metoda sahip olunması, tasarım değişikliklerine hızlı bir şekilde geri bildirimde bulunacak bir proses oluşturulması ve mevcut araçtan toplanan veriyi farklı modellere ya da versiyonlara uygun şekilde adapte edecek bir yöntem oluşturulması gerekliliği açık bir şekilde görülmektedir.

Taşıt geliştirme sürecinde ihtiyaç duyulan yol yükü verilerinin elde edilmesi sürecindeki zorlukları en aza indirerek, tasarım ve geliştirme sürecini kısaltmak ve aynı zamanda erken tasarım fazındaki yol yükü tahmin yeteneklerinin geliştirilerek fiziksel test ve ölçümlere olan ihtiyacın en aza indirilmesi amaçlanmaktadır.

Doktora çalışmasında taşıt tasarım ve geliştirme çalışmaları sırasında belirleyici ve kritik etkilere sahip yol yükü değerlerinin bazı tasarım ve işletme parametrelerinden hareketle tahmin edilmesini sağlayacak olan bir modellemenin, YSA teknolojisi kullanılarak geliştirilmesi hedeflenmektedir.

1.3. Hipotez

Taşıt tasarım ve geliştirme çalışmaları sırasında belirleyici ve kritik etkilere sahip taşıt yol yükü değerlerinin bazı tasarım ve işletme parametrelerinden hareketle öngörülebilmesini sağlayacak olan bir modellemenin, Yapay sinir ağları uygulamaları kullanılarak geliştirilmesi ve bunların fiziksel tekerlek yük sensörü ölçümlerinin uygunluğunun belirlenmesi bu çalışmanın temel hedefidir.

YAPAY SİNİR AĞLARI TEORİSİ

Bu bölümde, YSA teknolojisi hakkındaki temel teorik bilgiler açıklanmıştır. İnsanoğlunun düşünme ve öğrenme yeteneklerinin detaylarını anlamak ve bunun benzerini yapabilecek bilgisayar sistemleri yaratabilmek özellikle gelişen teknoloji ve artan bilgisayar kullanımı ile önemli bir araştırma konusu haline gelmiştir. Bu amaçla tasarlanmış bilgisayarların düşünme yeteneğine sahip olmaları yapay zekâ kavramı ile ifade edilmektedir.

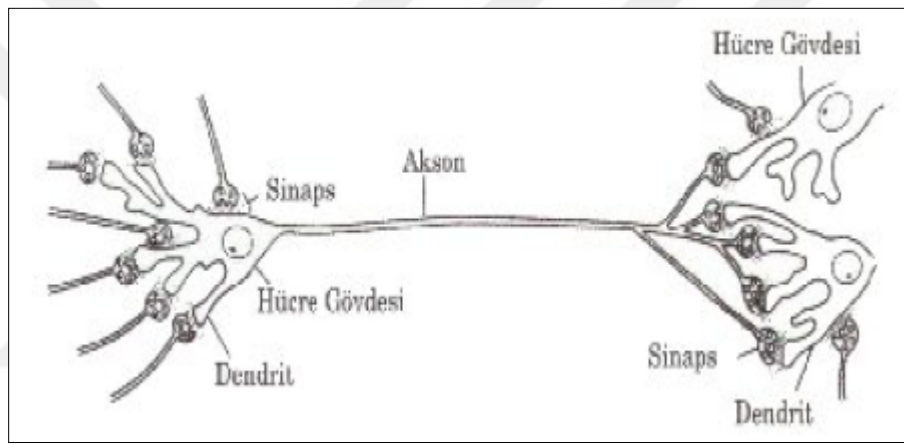
Yapay zekâ çalışmaları sonucunda ortaya çıkan çalışma alanlarından en önde gelenleri YSA teknolojisi, bulanık öğrenmeler mantığı, zeki etmenler, uzman sistemler ve genetik algoritma şeklinde sıralanabilir[39]. YSA temelde biyolojik sinir sistemlerinin çalışma prensibini taklit etmeyi amaçlar[40]. Bu şekilde, YSA teknolojisi bir bilgisayar sistemine insanoğluna özgü deneyerek öğrenme yeteneğini kazandırabilmektedir. YSA'lar gerçek dünyaya ait neden sonuç ilişkilerini tanımlayabilir; sınıflandırma, öngöründe bulunma, gruplama/kümeleme, fonksiyon uydurma gibi fonksiyonları yerine getirebilirler[38]. YSA'lar sağladıkları bu özellikler ile tıp, mühendislik, satış ve pazarlama, finans gibi birçok alandaki problemlerin çözümünde kullanılmaktadırlar[36].

2.1. Biyolojik Sinir Ağı

Biyolojik sinir sistemi veya sinir ağı, hayvanların organizma içinden veya dış ortamlardan gelen uyarıları algılamasını sağlayan, bilgi elde eden ve elde edilen bilgiyi işleyen, vücut içerisinde hücreler ağı sayesinde sinyallerin farklı bölgelere iletimini sağlayan, organların, kasların aktivitelerini düzenleyen bir sistemdir. Sinir sistemi iki bölümden oluşur. Merkezi sinir sistemi (MSS) ve çevresel sinir sistemi (ÇSS). MSS, beyin

ve omurilikten oluşur. ÇSS, MSS'yi vücudun diğer tüm kısımları ile bağlayan uzun sinir ağlarından oluşur[41].

Sinir hücresi merkezi sinir sisteminin temel işlem elemanıdır[42]. İnsan beyni yaklaşık olarak 10^{11} sinir hücresi içermektedir ve bu hücreler arasındaki veri iletimi sağlayan yaklaşık 10^{15} bağlantı bulunmaktadır[43]. Sinir hücresi; dendrit, çekirdek, akson ve bağlantı veya sinaps olmak üzere 4 bileşenden meydana gelir. Dendritler, çekirdeğin uzantıları şeklindedir ve girdi kanalları olarak işlev görürler. Bu girdi kanalları diğer sinir hücrelerinin sinapsleri üzerinden girdilerini alırlar. Çekirdek gelen bu sinyalleri zaman içerisinde işler. Bu işlenmiş değer bir çıktıya dönüştürüldükten sonra akson ve sinapsler aracılığı ile diğer sinir hücrelerine iletilir[44].



Şekil 2. 1 Biyolojik Sinir Hücresi[45]

İnsan beyninin çok sayıda sinaps bağlantısından oluştuğu düşünülürse son derece karmaşık bir yapı olduğu anlaşılır. Diğer taraftan bir sinir hücresinin tepki hızı, günümüz bilgisayarlarına göre oldukça yavaş olmakla birlikte duyuşal bilgileri son derecede hızlı değerlendirebilmektedir. Bu nedenle insan beyni; öğrenme, birleştirme, uyarılma ve genelleştirme yeteneği sayesinde son derece karmaşık, doğrusal olmayan ve paralel dağılmış bir bilgi işleme sistemi olarak tanımlanabilir.

2.2. Yapay Sinir Ağı

YSA'lar insan beyninin yapısından ve işleyiş prensibinden esinlenerek oluşturulmuşlardır[46]. YSA uygulaması temel olarak örneklerden ve yaşanan tecrübelerden öğrenebilen ve genelleme yeteneğine sahip bir yapay zekâ uygulamasıdır[47]. Bu özelliği sayesinde karmaşık problemlere anlamlı sonuçlar

üretebilirler. YSA'lar çok boyutlu ve doğrusal olmayan bağıntılar kurabilen, öğrenebilen matematiksel yapılardır[40]. İnsan beynine göre çok daha basit bir yapıları vardır. Daha az bileşenden oluşurlar ve daha basit işlemler yapabilirler[48]. Sistemin temel işlem elemanı nörondur. Nöronlar çevreden veya bir başka nörondan girdi sinyallerini alan ve bir çıktı üreten doğrusal olmayan elemanlardır. YSA'lar tamamen veya kısmen birbirlerine bağlanmış çok sayıda yapay sinir hücresinden oluşurlar[48].

İnsanoğlu öğrenme sürecini doğumundan ölümüne kadar yaşadığı deneyimlemelere dayandırır. Yaşanan tecrübeler sonucunda sinir sistemindeki sinaptik bağlantılar sürekli bir gelişim ve değişim gösterir. YSA'lar da nöronlar arasındaki bağlantıları tıpkı insanoğlu gibi bir deneyimleme süreci sayesinde oluşturur. Kullanılan birçok farklı eğitim algoritmasıyla YSA'nın girdiler ve çıktılar arasındaki ilişkiyi öğrenmesi sağlanır. Bu süreçte nöronlar arasındaki bağlantılar beklenen çıktı değerine ulaşacak şekilde ayarlanır. Bu amaçla yapılan işlem nöronlar arasındaki bağlantı ağırlıklarının optimum sonucu verecek şekilde ayarlanmasıdır. Bu sayede ağ eğitilmiş olur. Eğitilmiş bir YSA yeni ve hiç karşılaşmadığı girdilere önceki tecrübelerine dayanarak mantıklı cevaplar/çıktılar verebilmektedir. Bir ağın performansı, hedeflenen ve elde edilen çıktı arasındaki farktan hareket edilerek ifade edilir.

YSA 'ları oluşturan çok sayıda işlem elemanının her biri çözülmesi istenen problemin belli bir bölümünden sorumludur. Tek bir elemanın yaptığı iş oldukça basittir. Sistemin gücü bir araya gelmiş işlem elemanlarının arasındaki kuvvetli bağlantılardan gelmektedir.

2.3. YSA'nın Tarihi

İnsan beyninin nasıl çalıştığı tarih boyunca merak edilen bir konu olmuştur. İnsanoğlu eski zamanlardan beri insan beyni ve sinir sisteminin detaylarını anlamaya çalışarak insanın düşünebilme yeteneğinin taklit edilebilmesinin peşinden koşmuştur. Antik Yunan düşünürleri olan Plato ve Aristoteles geliştirdikleri teorilerle insan beyni ve düşünebilme yeteneğini açıklamayı amaçlamışlardır[42].

İnsan beyninin karmaşık ve üstün özellikleri modern çağlarda da bilim adamlarının ilgisini çekmiş ve nörobiyoloji popüler bir araştırma alanı olmuştur. Bu alandaki

gelişmelere paralel olarak insan beyninin matematiksel olarak modellenenebilmesi üzerine yürütülen çalışmalar YSA biliminin doğmasını sağlamıştır.

Genel anlamada YSA, beynin bir işlevini taklit etmek için tasarlanan matematiksel bir modeldir. Öğrenme, bilgi toplama ve genelleme yeteneğine sahiptir. 1940'lı yıllardan sonra YSA için yapılan çalışmalar mühendislik uygulamalarına doğru kaymaya başlamıştır. İlk YSA modeli 1943 yılında McCulloch ve Pitts tarafından oluşturulmuştur[49]. Tanımladıkları yapay sinir hücresi ile mantıksal ifadelerin formüle edilebileceğini göstermişlerdir. 1954 yılında Farley ve Clark tarafından rassal ağlar ve adaptif tepki üretme kavramları ortaya atılmıştır. Devam eden süreçte bu çalışmalar ilettilmiş ve 1958 yılında Rosenblatt tarafından algılayıcı modeli (perceptron) oluşturulmuştur. Bu daha sonraki dönemde geliştirilecek ve YSA için devrim niteliğinde olacak çok katmanlı algılayıcıların temelini oluşturan bir çalışma olmasından ötürü önemlidir[39]. Stanford Üniversitesinde Widrow ve Hoff 1960 yılında ADALINE modelini ortaya atmışlardır. Bu Rosenblatt'ın yaklaşımı ile benzer niteliklerde fakat farklı öğrenme yöntemi kullanan bir modeldir.

1969 yılında Minsky ve Pappert yazdıkları kitapta YSA'ların doğrusal olmayan problemlere çözüm üretemediğini iddia etmişlerdir. Buna kanıt olarak da meşhur XOR probleminin çözülmemesini göstermişlerdir. Bu önemli sonuç sonrasında YSA çalışmalarına yönelik araştırmalar hem ilgi hem de kaynak kaybına uğramıştır; bu alana yönelik bir önyargı oluşmuştur[44].

İlgi ve kaynağın azaldığı bu dönemde bazı araştırmacılar çalışmalarına devam etmişlerdir. Bunların sonucu olarak 1972 yılında birbirlerinden bağımsız olarak Kohonen ve Anderson çağrışimli bellek kavramını ortaya atmışlardır. Bu yaklaşım sonraki dönemde geliştirilecek olan öğretmensiz öğrenme yönteminin temelini oluşturmuştur[39].

1980'li yıllarda Rumelhart, Parker ve Werbos tarafından yürütülen farklı çalışmalar sonucunda çok katmanlı algılayıcı modeli ortaya atılmıştır. Bu YSA açısından son derece önemli bir gelişme olmuştur. Bu sayede tek katmanlı algılayıcıların çözemediği XOR problemi çözülmüş ve YSA'nın doğrusal olmayan ilişkileri modelleyebildiği görülmüştür. Bu gelişme YSA'a olan ilginin yeniden artmasını sağlamıştır.

Diğer alanlarda sağlanan teknolojik gelişmeler YSA alanının ilerlemesine destek olmuştur. Bilgisayar teknolojisinin ilerlemesi, donanımların kapasite ve hızlarının artması bu alandaki yeni çalışmalar için ihtiyaç duyulan ortamı sağlamaktadır. YSA günümüzde artık teorik ortamda yürütülen bir dal olmaktan çıkmış ve oluşturulan modellerin günlük hayatta insanlık amacıyla kullanıldığı bir mühendislik uygulamasına dönüşmüştür.

2.4. Yapay Sinir Ağı Metodunun Uygulama Alanları

YSA'lar günümüzde özellikle çözümü zor, karmaşık ve doğrusal olmayan ilişkiler barındıran problemlerde başvurulan bir çözüm metodu olarak karşımıza çıkmaktadır. İncelenen verilerdeki genel trendi ve yapıyı en iyi tanımlayan yöntem olmaları dolayısıyla, tahmin ve öngörü işlemleri için çok uygundurlar. YSA'nın temel yetenekleri şöyle sıralanabilir:

- Tahmin/Öngörü yapma
- Sınıflandırma
- Veri yorumlama
- Veri ilişkilendirme
- Veri filtreleme

YSA'lar birçok farklı alanda uygulanabildiğinden bütün uygulama alanlarını hakkında örnek vermek zor olmakla birlikte genel bir sınıflandırma ile YSA'nın aşağıdaki amaçlarla kullanıldığını söylenebilir[42].

- Arıza Analizi ve Tespiti; bir sistemin, cihazın ya da elemanın düzenli (doğru) çalışma şeklini öğrenen bir YSA yardımıyla bu sistemlerde meydana gelebilecek arızaların tanımlanma olanağı vardır.
- Finans alanında; finansal ve ekonomik öngörülerin ve analizlerin yapılmasına imkân tanımaktadır.
- Tıp Alanında; EEG ve ECG gibi tıbbi sinyallerin analizi, kanserli hücrelerin analizi, protez tasarımı gibi alanlarda uygulama yeri bulmuştur.

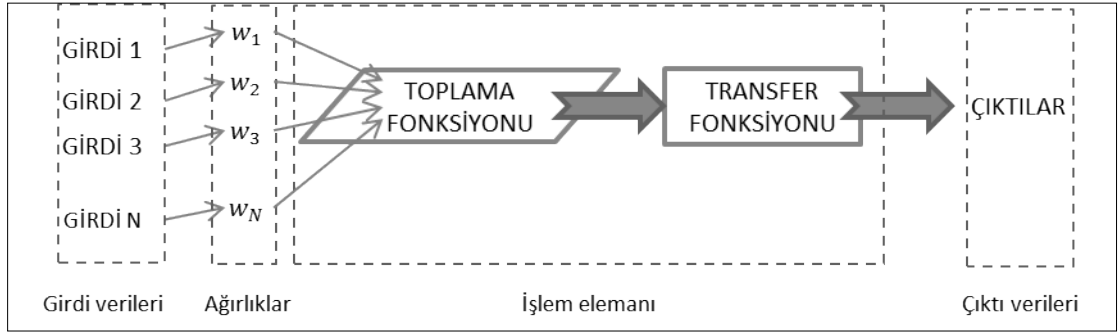
- Savunma Sanayi; silahların otomasyonu ve hedef izleme, nesneleri/görüntüleri ayırma ve tanıma gibi alanlara uygulanmıştır.
- Üretim; üretim sistemlerinin optimizasyonu, ürün analizi ve tasarımı, ürünlerin kalite analizi ve kontrolü, planlama ve yönetim analizi gibi alanlara uygulanmıştır.
- Otomasyon ve Kontrol; uçaklarda otomatik pilot sistemi, ulaşım araçlarında otomatik yol bulma, robot sistemlerin kontrolü, doğrusal olmayan sistem modelleme ve kontrolü, elektrikli sürücü sistemlerin kontrolü gibi yaygın bir uygulama yeri bulmuştur.

YSA'lar, daha önce kendilerine tanımlanmamış veriler hakkında genelleme yapabilme yeteneğine sahiptirler. Fiziksel işleyişin tanımlanamadığı veya modellemesinin çok karmaşık olduğu durumlarda tahmin ve modelleme amacıyla kullanılabilirler. Ayrıca konuşma, yazı, karakter, fotoğraf tanımlama işlemleri gibi uygulama alanları da bulunmaktadır.

2.5. Yapay Sinir Hücresi Modeli

YSA'nın temelde insan sinir sistemini kopyalamaya çalıştığı önceki bölümlerde belirtilmişti. Ancak bu yöntem henüz insan beyninin yetenek ve kapasitesine yaklaşımdan çok uzaktır. Mevcut durumda insan beyninin sadece temel çalışma prensibinin ve basit yeteneklerinin modellenmesi mümkün olabilmektedir.

Bu amaçla kullanılan temel işlem birimi nörondur. Nöronlar oluşturdukları bağlantılar ile katmanlar halindeki YSA'ları meydana getirirler. Biyolojik sinir hücresinden esinlenerek oluşturulan yapay nöronunun temel yapısı Şekil 2.2'de gösterilmiştir. Nörona birden fazla girdi olabilmektedir. Bu girdi değerlerin her biri bir bağlantı ağırlığıyla çarpılmaktadır. Bu ağırlıklar $w(i)$ ile gösterilmiştir. En basit yapıda, bu çarpımlar toplanır ve bir transfer fonksiyonuna gönderilerek sonuç üretilir. Bu sonuç daha sonra bir çıktıya dönüştürülür. Bu temel prensip birçok farklı toplama fonksiyonu, transfer fonksiyonu ve ağ yapısı kullanılarak uygulanabilir[44] .

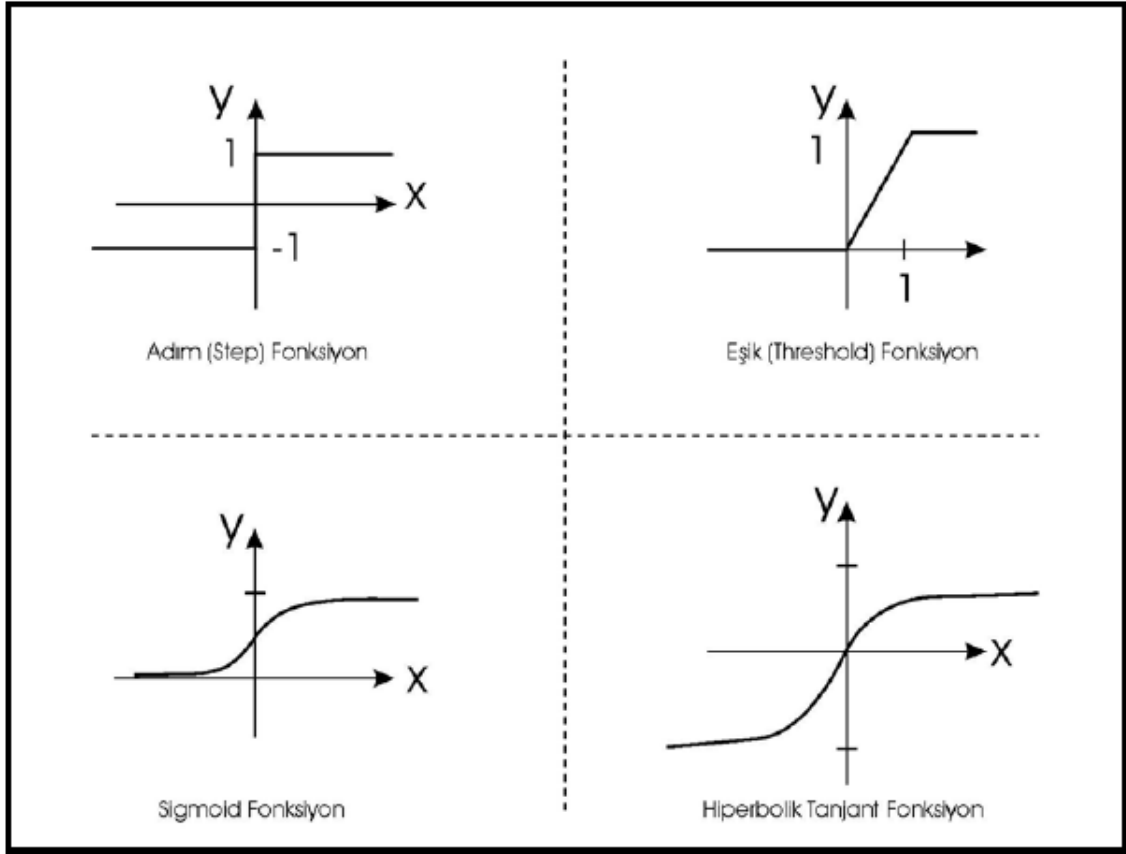


Şekil 2. 2 Yapay Nöronun Temel Yapısı

Girdilerin her biri başlangıçta rastgele bir $w(i)$ değeri ile ağırlıklandırılır. Sonrasında uygulanan eğitim algoritmasına göre bu ağırlıklar ayarlanır ve optimum sonucu alacak şekilde değiştirilir. Bu ayarlama sonucunda bazı girdiler diğerlerine göre daha baskın hale gelebilirler. Bu girdiler çıktı üzerinde daha etkilidirler; bunu eğitim süreci sonunda aldıkları $w(i)$ değeri belirler.

Birleştirme fonksiyonu, bir hücreye gelen net girdiyi hesaplayan bir fonksiyondur ve genellikle net girdi, girişlerin ilgili ağırlıkla çarpımlarının toplamıdır. Birleştirme fonksiyonu, ağ yapısına göre maksimum alan, minimum alan ya da çarpım fonksiyonu olabilir.

Birleştirme fonksiyonu çıktısı transfer fonksiyonuna gönderilir. Hücre modellerinde, hücrenin gerçekleştireceği işleve göre çeşitli tipte transfer fonksiyonları kullanılabilir. Tercih edilecek transfer fonksiyonu modellenmesi istenen ilişkinin doğrusal olup olmamasına göre değişiklik gösterir. Yaygın olarak kullanılan transfer fonksiyonları step, sigmoid ve hiperbolik tanjant fonksiyonlardır[44]. YSA da en yaygın kullanılan transfer fonksiyonları Şekil 2.3’de gösterilmiştir.

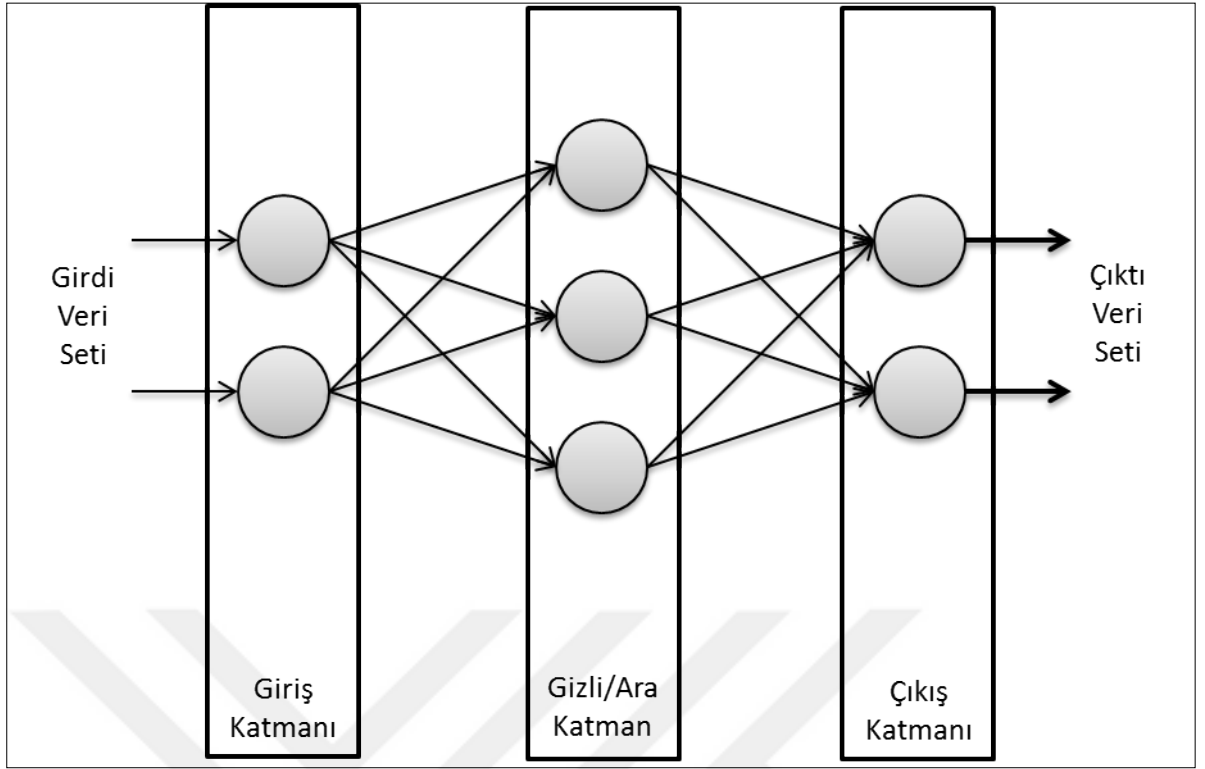


Şekil 2. 3 YSA’larda en çok tercih edilen transfer fonksiyonları[44]

Son aşamada transfer fonksiyonun çıktısı çıktı katmanındaki nöronlara ulaşır. Bu veri olduğu gibi dışarı verilebileceği gibi bazı durumlarda çıktı nöronunda bir transfer fonksiyonuna daha tabii tutulabilir.

2.6. Yapay Sinir Ağlarının Yapısı

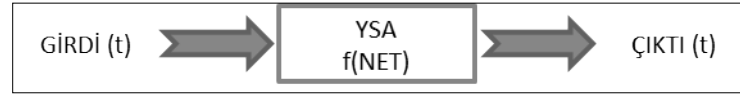
Daha önceki bölümlerde belirtilmiş olduğu gibi insanoğlunun sinir sistemi çok sayıda nöron ve nöral bağlantı içermektedir. YSA uygulamasında bu sayılara ulaşılmasa da mevcut nöronlar belli bir düzen içerisinde görevlerine göre gruplandırılarak YSA yapılarını oluşturmaktadırlar. Tek tabaka veya tek nörondan oluşan YSA’ların mantıklı sonuçlar üretebildiği durumlar olsa da genel uygulamada YSA yapıları çok katmanlı olarak oluşturulmaktadır. Bu yapı Şekil 2.4’de gösterildiği gibi girdi katmanı, gizli katmanlar ve çıktı katmanı olarak 3 temel katmandan oluşmaktadır[50]. Girdi ve çıktı katmanları dış dünya veya diğer sinir ağı sistemleri ile iletişimi sağlarken, gizli katmandaki nöronlar verinin işlendiği ve mantıklı çıktıların üretildiği bölümü oluştururlar.



Şekil 2. 4 Genel YSA Yapısı

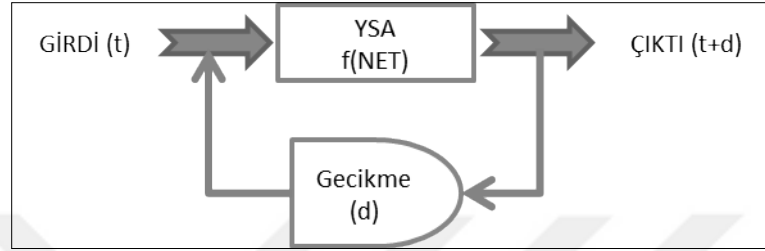
Girdi katmanı dışarıdan sisteme gelen girdi verilerini almakla görevli nöronları içermektedir. Bu katmanda bulunan nöronların sayısı girdi sayısından az olmamalıdır. Bu katmanda sisteme alınan veriler üzerinde herhangi bir işlem uygulanmaz; oldukları gibi gizli katmandaki nöronlara iletilirler. Gizli katmandaki nöronlar diğer iki katmandaki nöronların aksine birden fazla katmanda gruplandırılabilirler. Bu katmanlardaki nöronlar ağ dışındaki bir sistemle bağlantılı olamazlar. Aldıkları veriyi işledikten sonra çıktıyı kendilerinden sonra gelen katmana iletirler. Gizli katmanda kaç adet nöron bulunması gerektiğini ve bunların kaç katmanda gruplanması gerektiği belirleyen bir kural bulunmamaktadır. Bu çözülmeye çalışılan probleme, içinde bulunulan duruma göre değişiklik göstermektedir. Çıktı katmanındaki nöronlar ise çıktıları dış dünyaya iletirler. Bu katmanda beklenen çıktı sayısı kadar nöron bulunmalıdır.

YSA yapıları “ileri beslemeli ağlar” ve “geri beslemeli ağlar” olarak iki temel gruba ayrılır[51]. İleri beslemeli yapıya (Şekil2.5) sahip ağlar birbirlerine seri şekilde bağlı katmanlardan oluşurlar ve nöronlar arasında bir geri besleme bağlantısı içermezler. Verilerin sürekli ileri katmanlara doğru akması sürecin daha hızlı tamamlanarak çıktıların kısa sürede alınabilmesine imkân tanır.



Şekil 2. 5 İleri beslemeli YSA blok yapısı

Geri beslemeli ağlarda ise nöronlar kurdukları geri bildirim bağlantıları ile bir döngü oluştururlar. Şekil2.6'da gösterilen yapı çıktıların ileri beslemeli yapıya göre daha yavaş alınmasına neden olmaktadır.



Şekil 2. 6 Geri beslemeli YSA blok yapısı

2.7. Yapay Sinir Ağlarının Sınıflandırılması

Birbirinden farklı özellikler taşıyan çok sayıda YSA çeşidi mevcuttur. Bu ağlardan her birinin kendisine özgü avantajları ve dezavantajları bulunmaktadır. Kullanılması gereken ağ çeşidi hakkında kesin bir doğru yoktur. Değişen ihtiyaçlara göre kullanılması gereken ağ çeşidi de değişiklik göstermektedir. YSA'lar temel olarak üç farklı kıstasa göre sınıflandırılabilirler. Bunlar sırasıyla öğrenme yöntemi, ağın yapısı ve kullanılan veri tipidir.

2.7.1. YSA'ların Öğrenme Algoritmalarına Göre Sınıflandırılması

Ağ yapısı oluşturulduktan sonra yapılması gereken işlem ağın eğitilmesidir. Eğitim süreci ağdaki sinir hücrelerinin parametrelerinin ayarlandığı ve bu sayede ağın kendisinden beklenen görevi yerine getirebilmesini sağlayan bir algoritma olarak tanımlanır[51]. YSA'larda öğrenme girdiler ve çıktılar arasındaki ilişkilere göre bağlantı ağırlıklarının değiştirilmesi ile gerçekleşmektedir. İlk ağırlık değerleri rastgele belirlenir ve art arda yinelenen eğitim çevrimleri sonunda son değerlerine gelirler. Bu insanoğlunun olayları deneyimleyerek öğrenme mekanizmasının bir kopyasıdır.

Eğitim işleminde kullanılan veri kümesi eğitim veri seti veya eğitim veri kümesi olarak isimlendirilir. Ağın istenen yakınsamayı yapabilmesi için yeterli eğitim verisine ihtiyaç vardır. Ağın girdiler ile çıktılar arasındaki ilişkiyi öğrenmesine yetecek kadar eğitim

verisi yoksa veya girdi olarak kullanılan veriler çıktıları ifade etmekte yetersiz ise ağ istenen seviyede yakınsayamaz.

2.7.1.1. Danışmanlı Öğrenme

YSA'ların eğitiminde kullanılan ilk algoritma çeşidi danışmanlı öğrenme algoritmasıdır. Bu algoritmanın uygulanması için bir eğitim seti tanımlanır. Eğitim seti içerisinde girdi verileri ve bu girdilere karşı gelen çıktı değerleri bulunmalıdır. Ağa tanıtılan girdi verilerine karşılık olarak hangi çıktıyı vermesi gerektiği gösterilir. Hedeflenen çıktı değeri ile ağın verdiği çıktı seti arasındaki fark hata olarak isimlendirilir. Amaç bu hataya göre ağırlıkları yeniden düzenlemektir. Optimum sonuçlara ulaşılan kadar hataya bağlı olarak ağırlıkların yeniden düzenlenmesi döngüsel olarak devam ettirilir. Hedeflenen hata değerlerine inildiğinde iterasyon durdurulur. Widrow-Hoff tarafından geliştirilen delta kuralı ve Rumelhart ve McClelland tarafından geliştirilen genelleştirilmiş delta kuralı veya geri yayılım algoritması danışmanlı öğrenme algoritmalarına örnek olarak verilebilir.

2.7.1.2. Danışmansız Öğrenme

Bu süreçte sistemin öğrenmesine yardımcı olan bir danışman yoktur. Danışmansız öğrenmede ağa sadece girdiler verilir. Ağın ulaşması gereken hedef çıktılar ağa tanıtılmaz. Sistemin kendisine sunulan girdiler arasındaki ilişkileri kendi kendisine öğrenmesi beklenir. Bu genelde sınıflandırma problemlerinin çözümünde kullanılabilen bir öğrenme stratejisidir. Sistemin öğrenmesi bittikten sonra YSA çıktıları belli parametrelere göre sınıflandırmıştır ancak bu sınıfların ne anlama geldiğini bilmemektedir. Hangi kategorinin neyi gösterdiği kullanıcı tarafından belirlenmelidir. Bu işleme etiketlendirme ismi verilmektedir.

Grossberg tarafından geliştirilen adaptif rezonans teorisi ağları (ART) ve Kohonen tarafından geliştirilen özörgütlemeli harita ağları (ÖHA) öğrenme algoritması olarak danışmansız öğrenme algoritmalarını kullanan modellere örnek olarak verilebilir.

2.7.1.3. Takviyeli Öğrenme

Takviyeli öğrenme algoritması, hedeflenen çıkış verisinin bilinmesine gerek duymaz. Takviyeli öğrenme yöntemi danışmanlı öğrenme yöntemine benzetmekle birlikte, ağa hedef çıktılar yerine, ağın çıktılarının ne ölçüde doğru olduğunu belirten bir skor veya

derece bildirilir. Optimizasyon problemlerini çözmek için Hinton ve Sejnowski'nin geliştirdiği Boltzmann kuralı veya GA takviyeli öğrenmeye örnek olarak verilebilirler.

2.7.2. YSA'ların Ağ Yapısına Göre Sınıflandırılması

YSA'lar yapılarına göre ileri beslemeli ve geri beslemeli olarak iki temel gruba ayrılırlar.

2.7.2.1. İleri Beslemeli Ağlar

İleri beslemeli ağlarda nöronlar katmanlar şeklinde gruplandırılır. Veriler giriş katmanından çıkış katmanına tek yönlü bir akış ile iletilirler. Bir katmanın çıktısı bir sonraki katmanın girdi verilerini oluşturur. Giriş katmanı aldığı verileri işlemeden gizli katmana aktarır. Veriler gizli katmanlarda ve çıkış katmanında işlenerek son halini alır ve dış ortamla paylaşılır. Bir katmandaki nöronlar bir diğer katmandaki nöronlar ile bağlantı kurarlar. Bu yapı aynı katman içerisindeki nöronlar arasında bir döngü oluşturacak bağlantı şekillerini içermez. İleri beslemeli ağlara örnek olarak çok katmanlı algılayıcılar (ÇKA) ve doğrusal vektör parçalama modeli (DVP) ağları verilebilir. Bu ağlar doğrusal olmayan sürekli fonksiyonları yakınsamakta başarılıdır.

2.7.2.2. Geri Beslemeli Ağlar

Geri beslemeli ağlarda ileri beslemeli ağlardan farklı olarak döngü oluşturacak bağlantı tipleri bulunmaktadır. Bu yapılarda veriler sadece ilerleme yönünde değil aynı zamanda geri besleme yönünde de akarlar. Geri beslemeli ağlarda en az bir nöronun çıktısı kendisine, bir başka nörona veya giriş katmanına geri besleme olarak bağlanmalıdır. Geri besleme bağlantıları sadece aynı katman içerisindeki nöronlar arasında değil, katmanlar arasında da yapılabilir. Bu yapılar özellikle zaman serili verilerin tahmininde başarılıdır. Bu ağ yapılarına örnek olarak Elman, Jordan ve ÖHA ağları verilebilir.

2.7.3. Öğrenme Kurallarına Göre Sınıflandırılması

Öğrenme algoritmalarının hepsi iki temel uygulama kuralına göre kullanılmaktadırlar.

2.7.3.1. Çevrimiçi Öğrenme Kuralı

Çevrimiçi öğrenme kuralına göre kurulmuş YSA'lar gerçek zamanlı olarak çalışabilmektedirler. Bu tipteki YSA'lar bir taraftan kurulma amaçları olan fonksiyonu yerine getirebilirken bir taraftan da öğrenmeye devam etmektedirler. ART ağları bu kurala uygun işlemektedirler.

2.7.3.2. Çevrimdışı Öğrenme Kuralı

Çevrimdışı öğrenme kuralına göre kurulmuş YSA'lar kullanıma alınmadan önce eğitilirler. Bu tipteki YSA'lar kullanıma alındıktan sonra öğrenme prosesleri devam etmemektedir. Kullanım şartları değiştiğinde veya ağıın öğrenmesi gereken yeni ilişkiler olduğunda; YSA kullanımdan çıkartılarak yeniden eğitilmelidir. YSA eğitiminde yaygın olarak kullanılan Delta öğrenme kuralı bu yaklaşıma bir örnek olarak verilebilir.

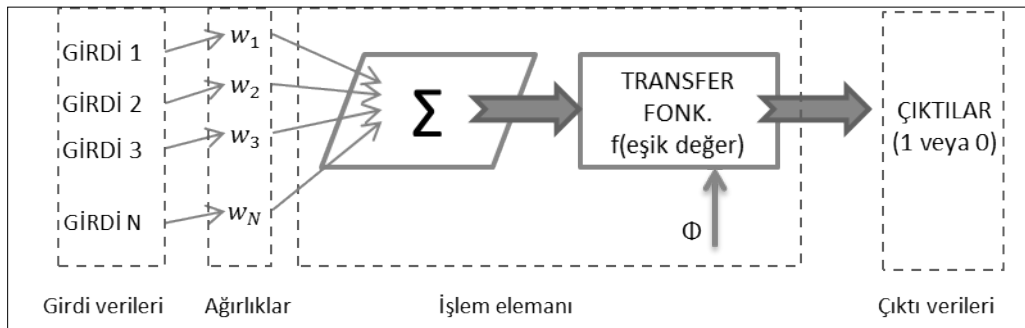
2.8. Yapay Sinir Ağı Modelleri

Ağ mimarisi, kullanılan transfer fonksiyonları, tercih edilen öğrenme algoritmaları, kullanılan öğrenme kuralları ve daha birçok değişken üzerinde yapılan değişiklikler sonucunda birçok farklı YSA modeli oluşturulmuştur. Bu bölümde yaygın biçimde kullanılan bazı modeller incelenmiştir.

2.8.1. Basit Algılayıcı Modeli (Perceptron)

Basit algılayıcı modeli 1958 yılında Rosenblat tarafından geliştirilmiştir. Sınıflandırma amacıyla kurulan bu model daha sonra farklı amaçlarla geliştirilen YSA modelleri için temel oluşturmuştur.

Basit algılayıcı modeli tek bir sinir hücresinden oluşmaktadır. Bu sinir hücresi birden fazla girdiyi alarak transfer fonksiyonuna uygun olarak işler ve bir çıktı üretir. Girdilere karşı ulaşılması gereken çıktı değerleri ağa tanıtılır ve kendi çıktısını bu hedef veri seti ile karşılaştırması istenir. Girdilere atanmış ağırlıklar değiştirilerek hata değerlerini en aza indirilmesi hedeflenir. Basit algılayıcı modeli transfer fonksiyonu olarak eşik değer fonksiyonu kullanır. Ağ çıktı olarak 0 veya 1 değerlerini verir.



Şekil 2. 7 Basit algılayıcı modelinin yapısı

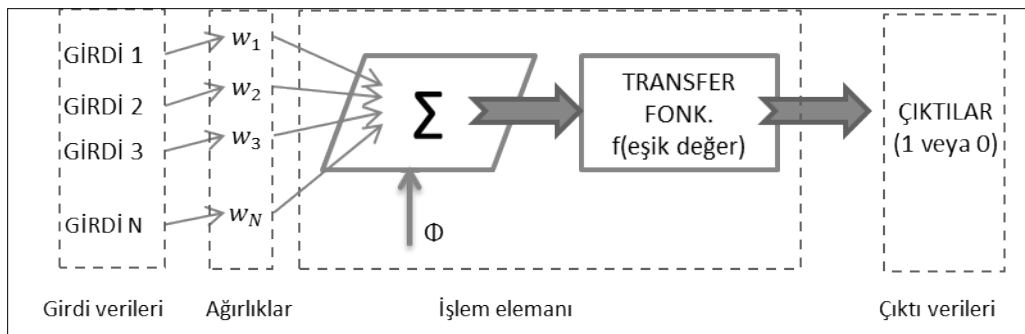
Basit algılayıcı modelleri doğrusal ilişkilerin ifade edilmesinde kullanılmaktadırlar. Fonksiyon olarak sınıflandırma işlemlerine uygundur. Doğrusal olmayan ilişkileri ifade edemezler. Bu yetersizlikleri XOR problemine çözüm üretememeleri ile kanıtlanmış olup bu çalışmanın yapıldığı dönemlerde YSA üzerine yapılan çalışmaların duraksamasına neden olmuştur.

2.8.2. ADALINE ve MADALINE Modeli

ADALINE 1959 yılında Widrow ve Hoff tarafından geliştirilmiş bir YSA modelidir. Yapısı temel olarak basit algılayıcı modele benzemekle birlikte öğrenme algoritmasında farklılıklar görülmektedir. MADALINE ağları birden fazla ADALINE ünitesinin genellikle iki katman şeklinde bir araya getirilmesi ile oluşturulur ve ADALINE ile aynı öğrenme algoritmasını kullanırlar.

2.8.2.1. ADALINE Modelinin Yapısı

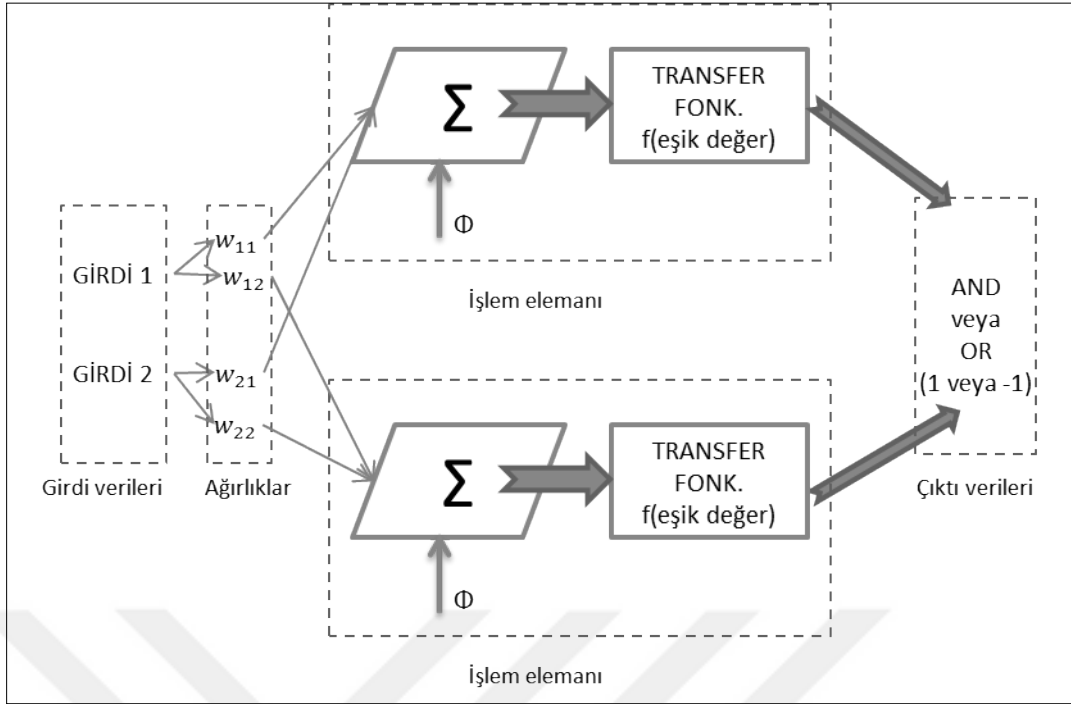
ADALINE ağları temelde tek bir proses elemanında oluşurlar. Bu özelliğe bağlı olarak basit algılayıcı modelinin yapısıyla benzerlik gösterirler. Sistem girdi veri setini (P) alarak transfer fonksiyonuna (F) uygun olarak işler ve bir çıktı seti (A) üretir. Her bir girdinin sonuç üzerindeki etkisini ağırlıklar (w_i) belirler. Çıktının sıfırdan farklı bir değer almasını eşik değeri (Φ) belirler.



Şekil 2. 8 ADALINE modelinin yapısı

2.8.2.2. MADALINE Modelinin Yapısı

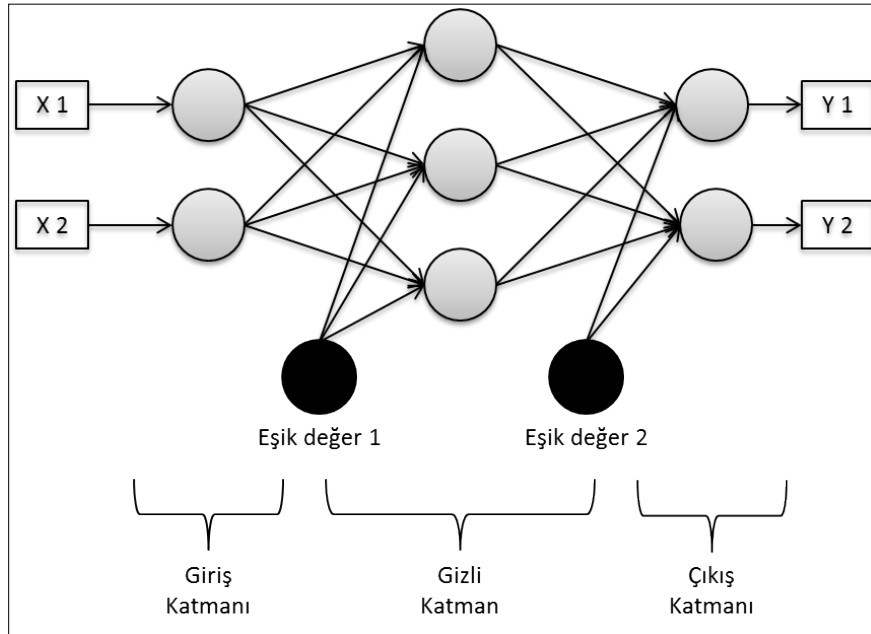
MADALINE ağları genel olarak iki katmandan oluşurlar. Her katmanda değişik sayıda ADALINE ünitesi bulunur. Şekil 2.9'da 2 ADALINE ünitesinden oluşmuş bir ağ yapısı gösterilmiştir.



Şekil 2. 9 İki proses elemanından oluşan MADALINE modelinin yapısı

2.8.3. Çok Katmanlı Algılayıcı Modeli (ÇKA)

ÇKA modeli günümüzde en yaygın kullanım alanı bulan YSA modelidir. Doğrusal olmayan durumlara çözüm getirebilme yetenekleri sayesinde YSA alanındaki çalışmaların yeniden hareketlenmesini sağlamışlardır. Çok katmanlı algılayıcılar hakkında daha detaylı bilgi Bölüm.3'de verilmiştir.

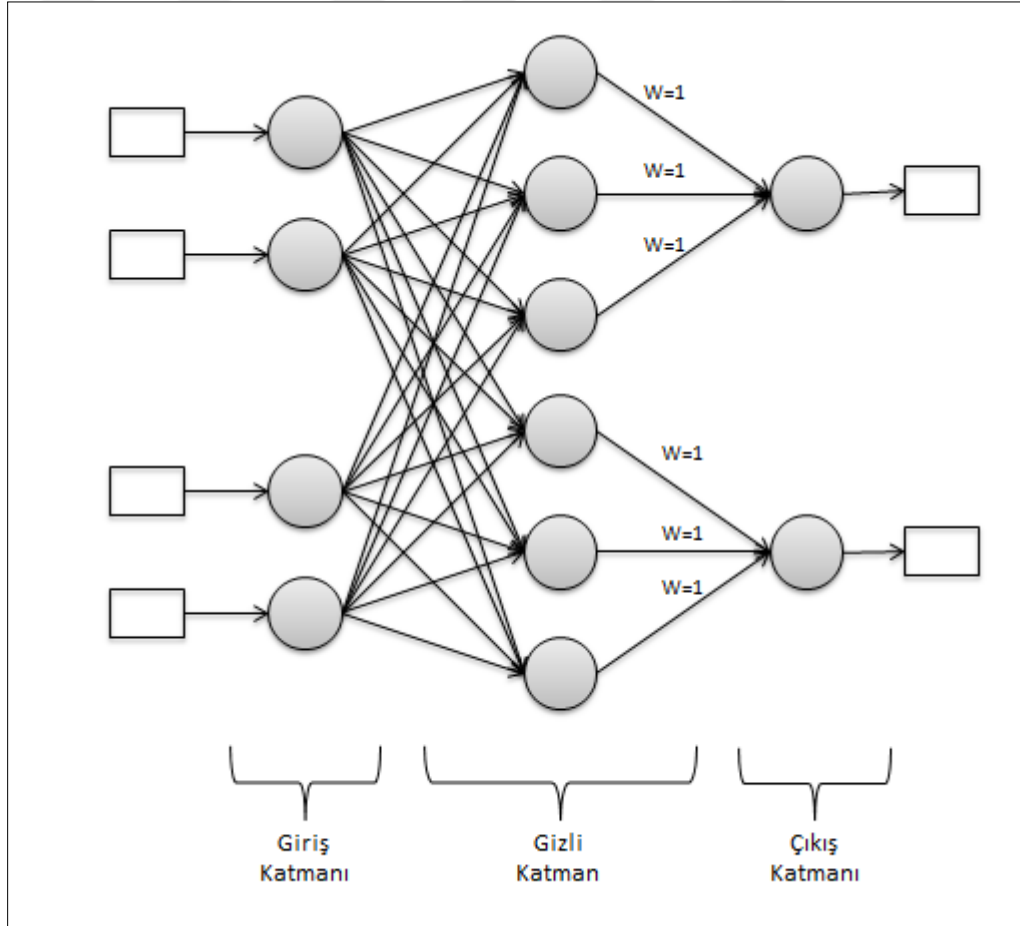


Şekil 2. 10 Çok katmanlı algılayıcı modelinin yapısı

2.8.4. Doğrusal Vektör Parçalama Modeli

Doğrusal vektör parçalama modeli olarak da ifade edilen DVP ağı 1984 yılında Kohonen tarafından geliştirilmiştir. Bu model destekleyici öğrenme yaklaşımını kullanmaktadır. Bu yaklaşım gereği hedeflenen çıktı değerleri ağı tanıtılmamaktadır. Bunun yerine ağıın üretmiş olduğu çıktının doğru veya yanlış olduğu belirtilir. Bu modelin temel felsefesi n boyutlu bir vektörü bir vektörler setine haritalamaktır.

Çok katmanlı algılayıcılarda olduğu gibi DVP modeli de 3 katmandan oluşur. Giriş katmanı çevreden gelen bilgilerin ağı sunulduğu katmandır ve bilgiler üzerinde herhangi bir işlem yapılmaz. Ara katmanın bir diğer ismi de Kohonen katmanıdır. Bu katmanda girdi veri setine en yakın olan ağırlık vektörü belirlenmektedir. Çıkış katmanında da sınıflandırma işlemi yapılarak girdinin ait olduğu sınıf belirlenir.



Şekil 2. 11 DVP modelinin yapısı

Diğer ağ yapılarına göre hızlı ve performanslarının yüksek olması bu modellerin tercih sebebi olmaktadır. DVP ağlarının temel geliştirme amacı sınıflandırma problemlerine

çözüm getirmektir. Farklı şekilleri, görüntüleri, nesneleri sınıflandırmak gibi mühendislik uygulamalarında kullanılmışlardır.

2.8.5. Radyal Tabanlı Fonksiyon Ağı (RTFA)

Radyal tabanlı fonksiyon ağı (RTFA) tasarımı çok boyutlu uzayda eğri uyurma yaklaşımıdır ve bu nedenle RTFA'nın eğitimi çok boyutlu uzayda eğitim verilerine en uygun yüzeyi bulma problemine dönüşür. RTFA'nın genellemesi ise test verilerini interpolate etmek amacıyla, eğitim sırasında bulunan çok boyutlu bir yüzeyin kullanılmasına eş değerdir[42].

RTFA ileri beslemeli YSA'lara benzer şekilde giriş katmanı, ara katman ve çıkış katmanından oluşur. Farklı olarak giriş katmanından ara katmana dönüşüm radyal tabanlı aktivasyon fonksiyonları ile doğrusal olmayan sabit bir dönüşümdür. Orta katmandan çıktı katmanına ise uyarlamalı ve doğrusal bir dönüşüm gerçekleştirilir.

2.8.6. Adaptif Rezonans Teorisi Modeli (ART)

ART ağları Grosberg'in 1976 yılında biyolojik beyin fonksiyonları üzerine yaptığı çalışmalar neticesinde ortaya çıkmıştır. Yapısal olarak insan beyninin davranışları ve sinir sistemi hakkındaki bulgular üzerine kurulmuştur. Sınıflandırma problemlerinde kullanılmak üzere geliştirilmiştir.

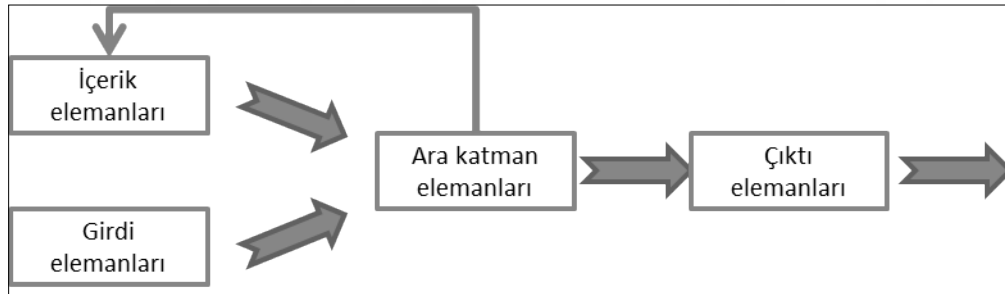
Yapısal olarak gösterim katmanı ve kategori katmanı olarak iki katmandan oluşurlar. Bu katmanlar arasında iki yönlü bağlantılar şeklinde ağırlık vektörleri bulunmaktadır. Bunların yanında bulunan oryantasyon modülü sunulan girdinin daha önceden öğrenilen sınıflardan herhangi birine uymaması durumunda yeni bir kategori oluşturulmasını sağlar.

ART modelinin farklı uygulamaları yapılmıştır. ART1 modeli geliştirilen ilk ağ modelidir. Bunun ardından ART2, ART3, Fuzzy ART ve ARTMAP gibi uygulamalar geliştirilmiştir. Bu modelde ağın birçok parametresi kullanıcı tarafından belirlendiğinden doğru yapının oluşturulması ancak uzun denemelerden sonra mümkün olabilmektedir. ART ağları özellikle endüstriyel sınıflandırma problemlerinde kullanılmaktadırlar.

2.8.7. Elman Modeli

Geri dönüşümlü YSA yapılarında proses elemanlarının çıktıları bir şekilde geri gönderilerek ağı yeniden girdi olarak sunulmaktadırlar. Bu karakter sayesinde zaman gecikmeleri veya sistemin bir önceki işlem anındaki durumu dikkate alınabildiğinden dinamik sistemlerin modellenmesinde avantaj sağlamaktadır. Elman modeli en temel geri dönüşümlü YSA uygulamasıdır.

Elman ağının yapısal olarak dört tip proses elemanı vardır; giriş elemanları, ara katman elemanları, çıkış elemanları, içerik elemanları. Giriş elemanları diğer modellerde olduğu gibi çevreden girdi veri setini alarak ağı iletir. Bu elemanların bilgiyi işleme fonksiyonları bulunmamaktadır. Ara katmandaki proses elemanları problemin karakterine göre doğrusal veya doğrusal olmayan transfer fonksiyonları kullanarak bilgileri işlerler. Çıkış katmanındaki elemanlar bilgileri dış dünya ile paylaşırlar. Doğrusal transfer fonksiyonları kullanarak bu bilgileri düzenlerler. İçerik elemanları ara katmandan çıkan çıktıları alarak yeniden ağı girdi olarak verilmelerini sağlarlar. Bu sayede bir önceki iterasyon değerlerini yeni başlayacak iterasyonda kullanmak üzere ağı hatırlatır.



Şekil 2. 12 ELMAN modelinin yapısı

Ara katman ile içerik katmanı arasındaki bağlantıların ağırlıkları sabittir. Eğitim prosesi sırasında değiştirilmezler. Bu özellik nedeniyle Elman ağı kısmi geri dönüşümlü ağ olarak isimlendirilir. Yapısındaki tüm bağlantıların eğitim prosesinde değiştirilebildiği geri dönüşümlü ağ tiplerine tam geri dönüşümlü ağlar denilir.

Bu ağ modelleri olayların zaman bağılı olarak değişimini, bugünkü durumdan hareketle gelecekteki durumunu öngörebilmekte kullanılırlar. Zaman bağılı dinamik sistemlerde geçmişteki bilgileri de kullanarak gelecek hakkında öngöründe bulunmakta kullanılırlar.

2.8.8. Diğer YSA Modelleri

1900'lü yılların ortalarında başlayan YSA çalışmaları günümüzde birçok farklı sektörde, birçok farklı amaçla kullanım alanı bulmaktadır. Sektörlerin ihtiyaçlarına, problemlerin karakterlerine göre birçok farklı YSA modeli kurulmuştur. Bunlar arasında en önde gelen modeller önceki bölümlerde açıklanmıştır. Bunlara ek olarak ağ yapılarında, transfer fonksiyonlarında, eğitim algoritmalarında ve benzeri birçok parametrede yapılan değişikliklerle çok farklı YSA modelleri oluşturulmuştur. Bunlar arasında yaygın olarak kullanılanlara örnek olarak Hopfield ağı, Kohonen ağı, counterpropagation, Cognitron ağı, ÖHA ve Boltzman makinesi verilebilir.

2.9. YSA'nın Kurulum Aşamaları

Bir YSA'nın oluşturulması sürecinde izlenmesi gereken aşamalar aşağıda tanımlanmıştır.

- Ağ mimarisinin belirlenmesi
- Katman sayılarının ve katmanlardaki nöron sayılarının belirlenmesi
- Kullanılacak transfer fonksiyonlarının seçilmesi
- Eğitim algoritmasının seçilmesi
- Eğitim ve test veri setinin belirlenmesi

Farklı türdeki problemleri başarılı bir şekilde modellemek için evrensel olarak uygulanabilecek tek bir YSA yapısı yoktur[52]. Yapılması gereken benzer çalışma örneklerindeki deneyimlerden faydalanılarak optimum tasarıma ulaşmak için ihtiyaç duyulan sürecinin kısaltılması olmalıdır.

Başarı kriteri tek başına ağın doğru sonuçlar üretmesi olarak görülmemelidir. Bunun yanında YSA'nın her defasında kararlı ve tutarlı sonuçlar üretebilmesi de önemlidir. Hedef bu parametreleri en iyi şekilde ayarlayarak; basit bir mimariye sahip ve en doğru sonuçları mümkün olan en kısa sürede verebilen YSA'ı tasarlamak olmalıdır. Gereksiz karmaşık yapılar öğrenme ve işlem süreçlerini uzatacağı gibi doğru sonuçlara ulaşılması yolunda da bir katkı sağlamayacaktır.

2.9.1. Ağ Yapısının Belirlenmesi

Bir YSA tasarım sürecinin ilk adımı kullanılacak ağ yapısının seçilmesidir. Bu karar çözüm aranan problemin karakterine göre verilmelidir. Mevcut YSA modellerinin her birinin güçlü ve zayıf özellikleri bulunmaktadır. Problemin karakteri ve çalışma şartları hangi modelin kullanılmasına uygun ise tasarım bu model üzerine oturtulmalıdır.

Belli başlı YSA modellerinin başarılı olacakları kullanım alanları Çizelge 2.1’de gösterilmiştir.

Çizelge 2. 1 YSA modellerinin kullanım amaçları

Kullanım Alanı	Ağın fonksiyonu	YSA Modeli
Tahmin	Girdi veri setine karşılık gelen uygun çıktı değerlerinin tahmin edilmesi	• ÇKA
Sınıflandırma	Girdi veri setinin taşıdığı bilgilere göre gerekli sınıflandırma işlemini yapmak	• DVP • ART • Counterpropagation
Veri şekillendirme	Eksik veya hatalı girdilerin tespit edilmesi	• Hopfield • Boltzman makinesi • BAM

2.9.2. Eğitim Algoritmasının Seçilmesi

Sinir ağlarının oluşturulmasında kullanılabilecek birçok eğitim algoritması bulunmaktadır. Bu algoritmalar Çizelge 2.2’de uygun oldukları uygulama alanlarına göre sınıflandırılmıştır[42].

Çizelge 2. 2 Eğitim algoritmaları ve uygulama alanları

Uygulama alanı	Algoritmalar
Öngörü yapma	• Geri yayılım • Delta bar delta • Genelleştirilmiş delta bar delta • Yönlendirilmiş rastsal tarama
Sınıflandırma	• Learning Vector Quantization • Counter propagation
Veri ilişkilendirme	• Hopfield • Boltzmann makinesi
Veri kavramlaştırma	• Adaptive Resonance Network • Self organizing map

2.9.3. Katman ve Nöron Sayılarının Belirlenmesi

Yapay sinir hücreleri belli bir düzen ve mimari altında bir araya gelerek YSA'ları oluştururlar. Bu düzen sırasıyla girdi katmanı, ara katman ve çıktı katmanı şeklinde kurulur. Ara katman temel olarak bilgilerin işlendiği bölümdür. Bu katman kendi içerisinde birden fazla katmana ayrılabilir. Ara katman sayısı problemin karakterine ve karmaşıklığına göre kullanıcı tarafından denemeler sonucunda belirlenir.

Girdi ve çıktı katmanlarında kullanılacak yapay sinir hücresi sayısı girdi ve çıktı veri setindeki parametre sayısına göre belirlenir. Ağın işlem gücünü doğrudan etkileyen değişken ara katmanlardaki proses elemanı sayısıdır. Burada doğru eleman sayısının belirlenmesinde izlenmesi gereken yol yine deneme yanılma yöntemidir. Katmanlarda bulunan sinir hücresi sayısının azaltılması ağın genelleme yeteneğini arttırırken aksi durum ağın ezberlemesine neden olabilir.

2.9.4. Transfer Fonksiyonlarının Seçilmesi

YSA hücrelerinde girdi verisini işleyerek çıktıyı oluşturan fonksiyonlar transfer fonksiyonu veya aktivasyon fonksiyonu olarak isimlendirilirler. YSA'larda birçok farklı transfer fonksiyonu tipi kullanılabilir. En çok tercih edilen fonksiyonlar arasında doğrusal transfer fonksiyonu, sigmoid transfer fonksiyonu, hiperbolik tanjant transfer fonksiyonu ve step (eşik) transfer fonksiyonu sayılabilir.

Doğrusal transfer fonksiyonu doğrusal nitelikteki problemlerin çözümünde ve çok katmanlı ağ yapılarının çıktı katmanlarında kullanılmaktadır. YSA'lar çoğunlukla doğrusal olmayan problemlerin çözümünde kullanılmaktadırlar. Bu amaçla en çok başvuru alan transfer fonksiyonları Sigmoid ve Hiperbolik tanjant fonksiyonlarıdır. Sigmoid transfer fonksiyonu YSA çıkış genliğini $[0,1]$ aralığında sınırlarken; Hiperbolik Tanjant fonksiyonu $[-1,1]$ aralığında çıktı değerleri vermektedir. Sınıflandırma problemlerinde tercih edilen Step fonksiyonları mantıksal çıkışlar veren transfer fonksiyonlarıdır.

2.9.5. Normalizasyon

Normalizasyon prosesi girdi veri setine uygulanan bir ön işlemdir. Bu işlem sayesinde ham veriler ağın eğitilmesinde kullanılmaya daha uygun bir formata getirilir. Bu YSA eğitim proseslerinin daha hızlı ve verimli yapılabilmesini sağlar.

Normalizasyon sürecinde yapılan uygulama girdi veri seti değerlerini belli bir aralıkta ölçeklendirmektir. Bu işlem veri seti içerisindeki değerlerin dağılımını daha düzenli bir hale getirir. Bu sayede veri seti içerisinde bulunabilecek aşırı büyük veya aşırı küçük değerlerin ağı yanlış yönlendirerek ağ performansının düşürülmesinin, eğitim sürecinin verimsizleşmesinin ve işlem sürelerinin uzamasının önüne geçilmiş olunur[49].

Literatürde birçok farklı normalizasyon tekniği mevcuttur. Bunlar arasında en çok bilinenleri Z-score normalizasyonu, min-maks normalizasyonu, medyan normalizasyonu ve sigmoid normalizasyonu olarak sıralanabilir.

2.9.6. Performans Fonksiyonlarının Seçilmesi

Bir YSA'nın kendisine sunulan örnekleri ne kadar öğrendiğinin ölçütü performans fonksiyonları sayesinde belirlenir. Eğitim algoritması ile hedeflenen ağın sadece kendisine tanıtılan örneklerle mantıklı ve doğru cevaplar vermesi değildir. Aynı zamanda hiç görmediği girdi verilerine karşı doğru, tutarlı ve kararlı sonuçlar verebilmesi beklenir. Bu amaçla eldeki verilerin bir kısmı ağın öğrenme performansını test etmek amacıyla kullanılır. YSA'nın performansı bu verilere karşı ürettiği sonuçların doğruluk oranı üzerinden ölçülür. Bu amaçla kullanılan performans fonksiyonları Çizelge 2.3'de gösterilmiştir.

Çizelge 2. 3 YSA modellerinde kullanılan performans fonksiyonları

Fonksiyon	Açıklama	Denklem
OMH	Ortalama mutlak hata	$\frac{1}{n} \sum_{k=1}^n t(k) - a(k) $
TKH	Toplam karesel hata	$\sum_{k=1}^n (t(k) - a(k))^2$
OKH	Ortalama karesel hata	$\frac{1}{n} \sum_{k=1}^n (t(k) - a(k))^2$
KOH	Karekök ortalama hata	$\sqrt{MSE(k)}$

YSA MODELİ ve DETAYLARI

Bu bölümde çalışma kapsamında kullanılan çok katmanlı algılayıcı modeli detaylı olarak açıklanacaktır.

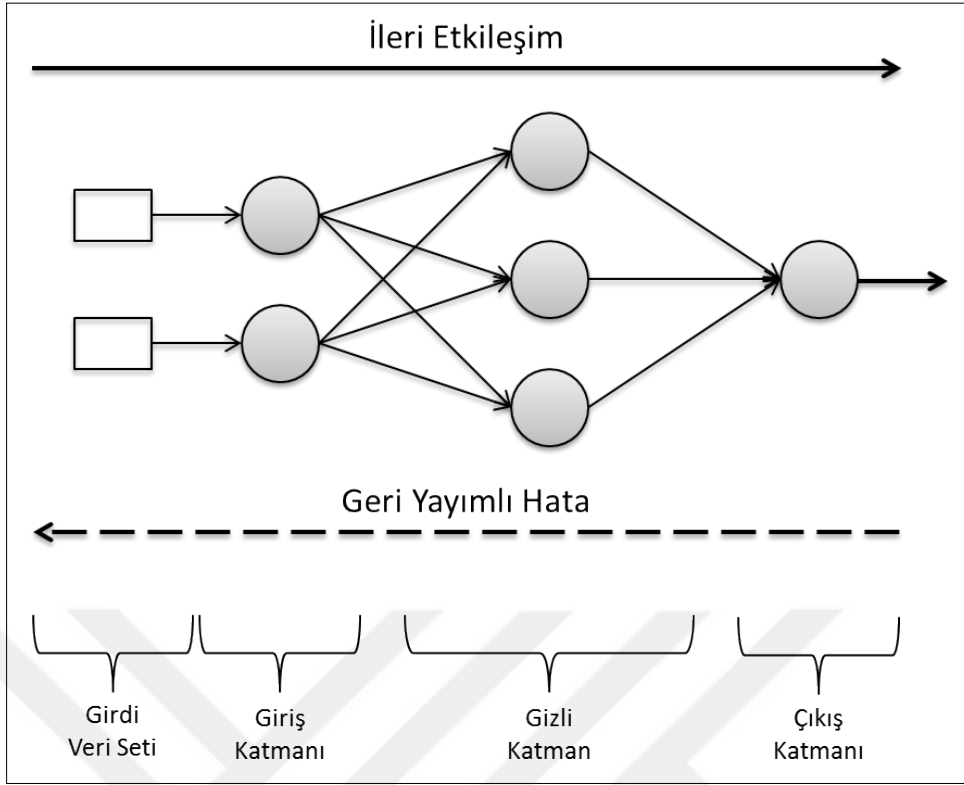
3.1. Çok Katmanlı Algılayıcı Modelinin Tanımı

Gündelik hayatta karşılaşılan problemlerin hemen hepsi doğrusal olmayan bir karaktere sahiptir. YSA teknolojisinin ilk geliştirdiği modeller olan basit algılayıcı ve ADALINE modelleri doğrusal olmayan ilişkileri ifade etmekte yetersiz kalmışlardır. Bu durum ilk olarak Minsky tarafından 1969 yılında yapılan bir çalışma sonucunda basit algılayıcıların XOR problemini çözmediğinin gösterilmesi ile ortaya atılmıştır. Bu zafiyet YSA'nın gündelik hayatta uygulama alanı bulamayacağı yargısı oluşturduğundan konu üzerine yürütülen çalışmaların durma noktasına gelmesine neden olmuştur.

XOR problemini çözmek amacı ile yapılan çalışmalar sonucunda çok katmanlı algılayıcı modeli geliştirilmiştir. Rumelhart ve ekibi tarafından geliştirilen bu model hata yayma modeli veya geriye yayım modeli olarak da isimlendirilir. Bu model sayesinde doğrusal olmayan ilişkilerin ifade edilmesi mümkün olmuştur. ÇKA modeli YSA'lara olan ilgiyi çok hızlı bir şekilde arttırmış ve YSA tarihinde yeni bir dönemin başlamasına neden olmuştur. Bu model günümüz mühendislik problemlerinin hemen hepsine çözümler üretebilecek yetkinliğe sahiptir[39].

3.2. Çok Katmanlı Algılayıcı Modelinin Yapısı

Standart bir geri yayımlı YSA yapısı 3 temel katmandan oluşur. İleri beslemeli bağlantılarla bağlanmış bu katmanlar sırasıyla; bir giriş katmanı, en az bir gizli katman ve bir çıkış katmanı olarak sıralanabilir.



Şekil 3. 1 Çok katmanlı algılayıcı modelinin yapısı

Şekil 3.1’de ileri beslemeli geri yayımlı bir ağın örnek yapısı gösterilmiştir. İlgili ağ yapısında bir giriş, bir gizli, bir çıkış katmanı bulunmaktadır. Katmanlardaki nöronlar daireler ile gösterilmiştir. Giriş katmanında girdi veri setindeki parametre sayısı kadar nöron bulunmalıdır. Gösterime göre giriş katmanında iki adet nöron bulunmaktadır. Bu sisteme iki farklı girdi verisinin tanıtılacağını gösterir. Girdi verileri giriş katmanında herhangi bir işleme tabii tutulmadan gizli katmana iletilirler. Giriş katmanındaki nöronlar gizli katmandaki tüm nöronlar ile bağlantılıdır.

Ağ modellerinde kullanılacak gizli katman sayısını ve bu katmanlarda bulunacak nöron adedini belirleyen kesin bir tasarım kuralı bulunmamaktadır. Örnek yapıda gizli katmanda üç adet nöron bulunmaktadır. Bu değer önceki deneyimlere ve denemeler sonucunda alınan sonuçlara dayanarak belirlenebilir. Gizli katmanda belirlenen transfer fonksiyonuna göre işlenen veriler çıkış katmanına aktarılır.

Çıkış katmanında modelden beklenen çıktı sayısı kadar nöron bulunmalıdır. Bu nöronlar kendilerinden bir önceki katmanda bulunan tüm nöronlar ile bağlantılıdır. Her eleman sadece bir çıktısı vardır. Örnek yapıda çıkış katmanında bir adet nöronun bulunması; YSA’nın dış dünya ile bir adet değişken çıktı verisi paylaşacağını gösterir.

3.3. Çok Katmanlı Algılayıcı Modelinin Öğrenme Kuralı ve Eğitim Algoritması

Çok katmanlı algılayıcı modelleri danışmanlı öğrenme stratejisine göre çalışırlar. Bu amaçla ağa hem girdi veri seti hem de çıktı değerleri tanıtılır ve aralarındaki ilişkiyi öğrenmesi beklenir.

Delta öğrenme kuralı; basit algılayıcı elemanların eğitimi sırasında mevcut hata değerlerini minimize etmek amacıyla ağırlıkları değiştirmekte kullanılan bir dereceli azaltma kuralıdır. Çok katmanlı algılayıcılarda kullanılan geri yayım algoritması bunun genelleştirilmiş bir uygulamasıdır.

Çıktı sonucunda oluşan hata sistemdeki tüm bağlantı ağırlıklarının bir fonksiyonu olarak görülür. Bu ağırlıklar başlangıçta rastgele belirlenir. Sonraki aşamada çıkış katmanından giriş katmanına doğru yeniden ayarlanarak toplam hatanın en aza indirilmesi amaçlanır. Hataya bağlı ağırlık ayarlamalarının geriye doğru yapılmasından ötürü geri yayılım ismi verilmiştir.

Geri yayım algoritması 3 temel aşamada gerçekleşmektedir:

- Öğrenme sürecinde sunulan girdilere karşın ağın verdiği çıktı değerlerinin ileri doğru hesaplanması.
- Gerçekleşen çıktı değerleri ile beklenen çıktı değerleri arasındaki farkı kullanarak hata miktarının belirlenmesi.
- Geriye doğru hesaplama ile bağlantı ağırlıklarının değiştirilerek hata miktarının azaltılması.

İleri doğru hesaplama sürecinde girdi veri setindeki bilgiler ($G=(g_1, g_2, \dots, g_k)$) ağa sunulur. Giriş katmanında herhangi bir işlem yapılmaz; veriler olduğu gibi ara katmana aktarılır. Girdi katmanındaki nöronun çıktısı P_k^i olarak ifade edilir.

$$G_k = P_k^i \quad (3.1)$$

Ara katmandaki her nöron girdi katmanındaki tüm nöronlar ile bağlantılıdır. Bu bağlantılar w_k değeri ile ağırlıklandırılmıştır. Bu ağırlıkların etkisi ile ara katmandaki nöronların net girdisi (NET_j^a) aşağıdaki şekilde ifade edilir.

$$NET_j^a = \sum_{k=1}^n w_{kj} P_k^i \quad (3.2)$$

Yukarıdaki ifadede w_{kj} k. girdi elemanı ile j. ara katman elemanı arasındaki bağlantının ağırlığını ifade etmektedir.

Ara katman elemanlarında NET girdi belirli transfer fonksiyonları ile işlenerek hesaplanır. Örnek işlemde sigmoid transfer fonksiyonun kullanılması durumunda çıktı değeri (3.3)'de ifade edildiği şekilde hesaplanacaktır.

$$A_j^a = \frac{1}{1 + e^{-(NET_j^a + \beta_j^a)}} \quad (3.3)$$

Burada β_j ara katmandaki j. elemana bağlı eşik değer elemanının ağırlığını gösterir. Çıktı katmanındaki tüm nöronlar yukarıda tarif edildiği şekilde kendilerine gelen bilgileri transfer fonksiyonlarına göre işleyerek çıktı veri setini oluştururlar. Bu aşamadan sonra sıra hatanın belirlenmesindedir. Ağa sunulan girdi setine karşılık beklenen çıktı T ($t_1, t_2, \dots t_k$) ile ifade edilir. Çıktı katmanının m. nöronunda oluşan hata değeri (E_m) ;

$$E_m = T_m - A_m \quad (3.4)$$

olarak ifade edilir. Sistemin toplam hatasının bulunması için tüm çıktı nöronlarının hatalarının toplanması gerekir. Negatif ve pozitif hata değerlerinin toplanması sonucunda toplam hatanın sıfır olmasını engellemek amacıyla Bölüm.2'de açıklanan performans fonksiyonları kullanılır.

Son aşamada farklı katmanlardaki j. ve m. nöron arasındaki bağlantı ağırlığının değişim miktarı $\Delta w_{jm}(k)$ hesaplanır.

$$\Delta w_{jm}(k) = \lambda \delta_m A_j + \alpha \Delta w_{jm}(k-1) \quad (3.5)$$

λ öğrenme katsayısıdır. Uygun öğrenme katsayısının belirlenmesi önemli bir sorun olabilmektedir. Düşük öğrenme katsayısı değerleri ile çalışan bir ağı eğitimi süreci oldukça uzun sürmektedir. Yüksek öğrenme katsayılarının seçilmesi bu sorunu ortadan kaldırır. Ancak yüksek öğrenme katsayıları ile eğitilen bir ağı çıktılar arasında ciddi

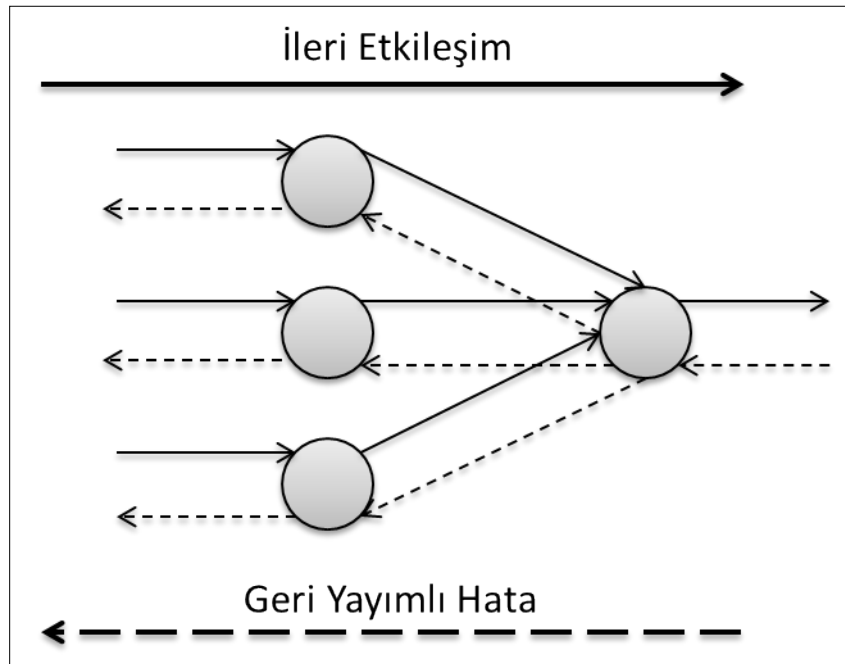
salınımlar olabilmektedir. Bu durumda ağ kararlı bir karakter sergileyemez. YSA'ların diğer birçok parametresinde de olduğu gibi bu değerin belirlenmesinde izlenecek bir kural yoktur. Genel olarak 0,01 ile 0,9 arasında değerler seçilmekle beraber farklı değerler karşısında ağın verdiği tepkiler izlenerek optimum performansa ulaşılması amaçlanmalıdır.

Momentum katsayısı (α) öğrenme süreci esnasında lokal bir optimum noktaya takılmasını engelleyerek daha düşük hata değerlerine ulaşılmasını sağlar.

Başarılı bir şekilde eğitilmiş geri yayılım YSA'lar daha önce hiç görmemiş oldukları girdi veri setlerine mantıklı cevaplar verebilmektedirler. Bu genelleme yeteneği ağın tüm olasılıkları temsil edebilen dengeli dağılımlı bir veri seti ile eğitilmesi durumunda birçok fonksiyonu yakınsayabileceği anlamına gelmektedir.

Eğitilmiş bir ağa yeni bir veri seti tanıtıldığında bilgi akışı sadece ileri etkileşim yönünde gerçekleşir. Bu süreçte geri yayım işlevi çalışmaz. YSA bu yönde önceki deneyimlerine dayanarak yeni veri seti için mantıklı bir sonuç üretmek çıktığı paylaşır. Bu yöndeki veri akışları Şekil 3.2'de düz çizgilerle gösterilmiştir.

Geri yayımlı hata süreci ağın eğitimi sırasında aktiftir. Bu süreçte hem ileri etkileşim yönünde hem de geri yayım yönünde bilgi akışı vardır. Hata sinyallerinin akış yolları Şekil 3.2'de kesikli çizgilerle gösterilmiştir.



Şekil 3. 2 Geri Yayımlı Hata Sinyali Akışı

Bu bölümde açıklanan eğitim döngüsü ağın öğrenmesi tamamlanıncaya kadar devam eder. Bunun göstergesi toplam hatanın belirlenen bir hedef değerin altına düşmesidir. Bu hedef değer eğitim algoritmasının sonlandırılması için bir durdurma kriteri olarak alınır. Hedeflenen hata değerlerine ulaşamaması durumunda kullanılan örnek girdi setinin, ağın topolojik yapısının (katman ve nöron sayılarının), kullanılan transfer fonksiyonlarının ve eğitim parametrelerinin yeniden değerlendirilerek iterasyonlara devam edilmesi önerilir. Çok katmanlı YSA'lar genelde doğrusal ve doğrusal olmayan her türlü hesaplamayı yaparak gerekli sonucu yakınsayabilecek kabiliyettedirler. Ancak yine de belirtilmelidir ki teorik olarak bu yeteneğe sahip ağların istenen doğruluk seviyesinde sonuçlar veremediği durumlar da olabilmektedir.

3.4. Çok Katmanlı Algılayıcıların Öğrenme Performansı ve Ezberleme Riski

Ağın performansını ölçmek için, eldeki veri havuzu üzerinden hem eğitimde kullanılacak hem de test esnasında kullanılacak örnek veri setleri belirlenir. Eğitim prosesi tamamlandıktan sonra ağa daha önce hiç görmediği test setindeki örnekler verilir. Ağın performansı bu görmediği örnekler karşısında ürettiği doğru cevapların oranı ile ölçülür.

$$P=D/T*100 \quad (3.6)$$

Burada D test setinden doğru olarak cevaplandırılan örnek sayısını, T test setinde bulunan toplam örnek sayısını, P ise performans oranını göstermektedir[39].

Burada kullanılacak bir başka ölçüt Pearson çarpım-moment korelasyon katsayısıdır (R)[53, 54]. Bu parametre iki rassal değişken arasındaki doğrusal ilişkinin yönünü ve gücünü belirtir. -1 ile +1 arasında bir değer alır. 0 doğrusal bir ilişkinin yani korelasyonun olmadığı durumu belirtir. -1 negatif korelasyon, +1 pozitif korelasyon durumudur. İki değişkenin kovaryansının yine bu değişkenlerin standart sapmalarının çarpımına bölünmesi ile bulunur.

$$R = \frac{Cov(X,Y)}{\sigma_X \cdot \sigma_Y}$$

(3.7)

Bazı durumlarda ağ eğitim veri setindeki girdilere yüksek doğruluk oranlarında cevap vermesine rağmen test setindeki girdilere doğru cevaplar üretememektedir. Bu durum ağın ezberlemesi olarak isimlendirilir. Ağ eğitim sürecinde kendisine gösterilen eğitim seti örnekleri dışında daha önce hiç görmediği yeni girdilere mantıklı cevaplar üretememektedir; bu da ağın temel tasarım fonksiyonunu yerine getiremediği anlamına gelir. Bu durumdaki bir ağ günlük kullanıma alınamaz, endüstriyel ihtiyaçlara karşılık vermez. Bu durumda bir sonraki bölümde tasarım iyileştirmeleri hakkında verilen tavsiyelerle ağın ezberlemesinin önüne geçilerek öğrenme performansının iyileştirilmesi yoluna gidilmelidir.

3.5. Çok Katmanlı Algılayıcıların Tasarım İyileştirmeleri

Bu bölümde ağ performansının iyileştirilmesi amacıyla YSA parametreleri üzerinde yapılabilecek bazı tasarım değişiklikleri açıklanmıştır.

3.5.1. Kullanılacak Modelleme Türü ve Eğitim Algoritması

Geri yayımlı eğitim algoritmasına sahip çok katmanlı algılayıcı modelleri genel olarak sınıflandırma, tahmin etme, yorumlama ve analiz etme alanlarında başarılı sonuçlar vermektedirler. Ancak gündelik hayatın ve endüstriyel uygulamaların gerektirdiği tüm problemlere mantıklı çözümler üretebileceklerinin bir garantisi yoktur. Uygulama alanına göre diğer YSA modellerinin kullanılması denenebilir.

3.5.2. Girdi Veri Setindeki Örneklerin Seçilmesi

Ağın performansını doğrudan etkileyen parametrelerden biri eğitim sürecinde kullanılan girdi veri setidir. Bu veri seti içerisinde yer alacak örneklerin çözüm aranan problemin genel karakterini ve içeriğini ifade edebilecek nitelikte olması gerekmektedir.

Bu aşamada düşülebilecek ilk hata örneklerin problem uzayının sadece bir bölümünü ifade edecek şekilde seçilmesidir. Bu ağın problemin genel içeriğini öğrenememesine neden olur. Sınırlı bir bölüm üzerinde bilgi sahibi olan ağ bu kısıtlı bilgi ile problem uzayının tamamı için geçerli olabilecek genellemeler yapamaz.

Düşülebilecek bir diğer hata ağın bir konu üzerine eğitilip başka bir konu üzerine mantıklı çıktılar vermesini beklemektir. Unutulmamalıdır ki YSA'lar daha önce eğitilmedikleri konu başlıklarında kullanılabilir sonuçlar üretemezler. Yetenekleri

eğitildikleri konu üzerinde daha önce görmedikleri örneklere verebildikleri geçerli cevaplar ile sınırlıdır.

3.5.3. Kullanılacak Verilerin Ölçeklendirilmesi

YSA'nın girdi ve çıktılarının ölçeklendirilmesi ağıın performansını doğrudan etkilemektedir. Ölçeklendirme, veri setindeki değerlerin dağılımını düzenli hale getirmektedir. Girdi veri seti içerisinde aşırı büyük veya küçük değerler görülebilir. Bunlar yanlışlıkla girdi setine girmiş olabilir. Net girdiler hesaplanırken bu değerler aşırı büyük veya küçük değerlerin doğmasına neden olarak ağı yanlış yönlendirebilirler. Bütün girdilerin belirli bir aralıkta (çoğunlukla 0-1) ölçeklendirilmesi hem farklı ortamlardan gelen bilgilerin aynı ölçek üzerine indirgenmesine hem de yanlış girilen çok büyük ve küçük değerlerin etkisinin ortadan kalkmasını sağlar[49].

3.5.3.1. İstatistiksel Normalizasyon

Veri setindeki her bir parametre için aritmetik ortalama ve standart sapma hesaplanır. Sonrasında aşağıdaki formüle göre ölçeklendirilir. Bu sayede verilerin daha dengeli bir dağılıma sahip olması sağlanır.

$$x' = \frac{x_i - \mu_i}{\sigma_i}$$

(3.8)

Bu formülde:

x' : normalize edilmiş veriyi

x_i : girdi değerini

μ_i : girdi veri setinin ortalamasını

σ_i : girdi veri setinin standart sapmasını

gösterir.

3.5.3.2. Min-Maks Normalizasyonu

Bu yöntem ile veriler doğrusal olarak en düşük değer 0, en yüksek değer 1 olacak şekilde 0-1 aralığında ölçeklendirilir.

$$x' = \frac{x_i - x_{min}}{x_{max} - x_{min}}$$

(3.9)

Bu formülde:

x' : normalize edilmiş veriyi

x_i : girdi değerini

x_{min} : girdi veri setinin en küçük değerini

x_{maks} : girdi veri setinin en büyük değerini

gösterir.

3.5.3.3. Medyan Normalizasyonu

Bu yöntem her değer için medyanı kullanarak ölçeklendirme yapar. Bu yaklaşım aşırı sapmalardan etkilenmez.

$$x' = \frac{x_i}{median(a_i)}$$

(3.10)

Bu formülde:

x' : normalize edilmiş veri

x_i : girdi değeri

a_i : girdi veri setinin medyanını

gösterir.

3.5.3.4. Sigmoid Normalizasyonu

Bu yöntem ile veriler 0 ile 1 veya -1 ile 1 arasında ölçeklendirilir. Bu yöntem için aşağıda açıklanan denklem kullanılabilir.

$$x' = \frac{e^{xi} - e^{-xi}}{e^{xi} + e^{-xi}}$$

(3.11)

Bu formülde:

x' : normalize edilmiş veri

x_i : girdi değerini

gösterir.

3.5.4. Öğrenme Katsayısı ve Momentum Tercihi

Öğrenme katsayısı ağıın eğitim sürecindeki her iterasyonda ağırlıkların değişim miktarını belirler. Buna bağlı olarak ağıın öğrenme performansı üzerinde doğrudan etkilidir. Öğrenme katsayısının küçük seçildiği durumlarda iterasyon başına sağlanan değişim miktarı azalacağından çözüme ulaşmak daha uzun bir işlem süresi gerektirecektir. Bunu engellemek amacıyla öğrenme katsayısının artırılması ağıın lokal çözümler arasında dolaşarak stabil bir öğrenme süreci yaşamasına mani olabilir.

Uygun öğrenme katsayısının belirlenmesinde geçerli bir kural yoktur. Bu nedenle kullanılacak değer denemeler sonucunda bulunabilir. Ulaşılan sonucun ideal değer olduğunun bir garantisi olamamaktadır. Öğrenme katsayısının eğitim sürecinde değiştirebilir olması bu sıkıntıyı azaltarak performansın iyileşmesini sağlayacaktır. Değişken öğrenme katsayısı hem öğrenme prosesini kararlı tutarken hem de mümkün olan en büyük değişim miktarını kullanmayı amaçlar. Bu ihtiyacı desteklemek amacıyla geliştirilmiş geri yayım eğitim algoritmaları (değişken öğrenme katsayılı geri yayım) bulunmaktadır.

Momentum kavramı yerel çözümlere takılmış ağıları bir sonraki çözüm noktasına yönlendirmek için geliştirilmiş bir yaklaşımdır. Bu amaçla bir önceki iterasyonda sağlanan değişimin bir miktarını bir sonraki denemedeki değişim miktarına ekleyerek ağıın bulunduğu lokal çözümden kurtularak bir sonraki olası çözüme ilerlemesine imkân verir. Momentumun da büyük veya küçük seçilmesinin etkileri öğrenme katsayısı ile benzerdir. Bu durum için de kullanılacak değer denemeler sonucunda ulaşılan performanslara göre seçilmelidir.

3.5.5. Durdurma Kriterinin Belirlenmesi

Ağıın eğitim prosesinin ne zaman, neye göre durdurulacağı da performans üzerinde önemli bir parametredir. Gereğinden fazla eğitilen bir ağıın en iyi çözüm noktasından

daha düşük doğruluk seviyesindeki çözüm noktalarına kayması ve bunun yanında işlem süresinin gereksiz yere uzaması mümkün olmaktadır.

Bu amaçla belirlenebilecek durdurma kriterlerinden ilki iterasyon sayısıdır. Bu durumda ağın eğitim prosesi daha önceden belirlenen bir hedef iterasyon sayısına ulaşıldığında durdurulur ve o anki mevcut sonuçlar geçerli olur. Hata grafiklerinin kararlı bir şekilde yatay seyretmeye başladığı noktalardan sonra eğitim durdurulabilir.

İkinci durdurma kriteri olarak hata değeri kullanılabilir. Hedeflenen bir toplam hata değerine ulaşıldığında veya altına inildiğinde eğitim prosesi durdurulur. Bu noktada eldeki tüm girdi veri setindeki performans gözlenmelidir. Sınırlı sayıdaki düşük hatalı örnek veya yüksek hata değeri veren 1-2 girdiye göre hareket edilmemelidir. Kabul edilebilir hata değerine problemin karakterine göre tasarımcı tarafından karar verilmelidir.

Bir diğer durdurma kriteri de eğitim süresi olabilir. Bu kriter yukarıda açıklanan diğer kriterlerle birlikte kullanılabilir. Hedeflenen hata değerine veya iterasyon sayısına belli bir süre içerisinde ulaşamaması durumunda eğitim prosesi kendiliğinden durdurulur ve mevcut değerler kullanılır.

3.5.6. Ağ Topolojisi

Çok katmanlı algılayıcılarda kullanılması gereken ara katman sayısını ve bu katmanlarda bulunması gereken nöron adedini belirleyen bir tasarım kuralı bulunmamaktadır. Bu tasarımcının tecrübe ve denemelerine göre şekillenebilecek bir konudur ve ağın performansı üzerinde doğrudan etkilidir. Bu nedenle farklı dizilim kombinasyonları üzerinde çeşitli denemeler yapılması mevcut sonuçları daha da iyileştirmek üzere yapılması gereken bir işlemdir. Eldeki ağ yapısını büyüterek veya küçülterek daha iyi sonuçlara ulaşmak mümkün olabilecektir.

3.5.7. Ağın Büyütülmesi veya Budanması

Çok katmanlı algılayıcı yapısı büyütülerek veya budanarak (küçültülerek) performansın iyileştirilmesi mümkün olabilir. Bu sayede eksik sayıdaki nöronların tamamlanması veya fazla nöronlardan kurtulması sağlanır.

Bu amaçla izlenebilecek iki yaklaşım bulunmaktadır. Bunlardan ilki küçük bir ağdan başlanarak her denemede nöron sayısının artırılması ve bu sayede ağın

büyütülmesidir. Bir diğer yaklaşım belli büyüklükteki bir ağ yapısından başlanarak eğitim iterasyonları sonucunda nöronları azaltarak ağın küçülmesini sağlamaktır.

3.6. Geliştirilen Çok Katmanlı Algılayıcı Modelinin Özellikleri

Bu bölümde çalışma kapsamında kullanılan çok katmanlı algılayıcı modelinin tasarım amacı, tasarım süreci ve seçilen tasarım parametreleri açıklanacaktır.

3.6.1. Problemin Tanımı

Yeni bir taşıtın tasarım sürecinin sonucunda ulaşılabilecek yapısal dayanım performansını belirleyen dört parametre [4] bulunmaktadır. Bunlar:

1. Yükleme durumu
2. Ürünün geometrisi
3. Malzeme özellikleri
4. İmalat yöntemleri ve kalitesi

şeklinde sıralanabilir. Bu dört parametrenin optimum şekilde bir araya getirilerek kullanıcıların beklentilerini karşılayabilecek bir tasarıma ulaşılması hedeflenmelidir.

İlgili tasarım müşteri kullanımına sunulmadan önce birçok fonksiyon açısından test edilir. Yapısal dayanım özelliği müşteri memnuniyeti ve beklentilerinin karşılanması açısından oldukça önemli bir konu başlığı olduğundan uzun ve detaylı bir doğrulama süreci gerektirmektedir.

Bu amaçla yürütülen doğrulama metotları iki ana grupta toplanabilir;

1. Deneysel metotlar
2. Nümerik metotlar.

Her iki ana grupta da temel amaç prototip parça, sistem veya araçların gerçek kullanım koşulları ile uyumlu yükleme koşulları altında test veya analiz edilmeleri ve bu sayede yapısal dayanım performanslarının ölçülebilmesidir.

Bu noktada taşıta etki eden yükleme koşullarının tespiti oldukça kritik bir önem arz etmektedir. Zira bu yüklerin gerçek kullanım koşullarını temsil etmemesi durumunda yürütülen bilgisayar destekli analiz çalışmaları, laboratuvar ortamında yürütülen testler ve bu yüklere dayanarak geliştirilen test prosedürleri gerçekçi birer doğrulama

çalışması olarak kullanılamayacaktır. Bu durum firma için iki farklı açıdan sorunlar yaratabilecektir.

İlk olası senaryo doğrulama çalışmalarında kullanılan yüklerin gerçek hayatta karşılaşılan kullanım koşullarının neden olduğu yıpranma ve hasar değerlerinin altında kalması durumudur. Böyle bir durumda araç müşteri tarafından gerçek kullanım koşullarında kullanıldığında/çalıştırıldığında birçok yapısal problem ve arıza ile karşılaşılacak ve bu da firmaya müşteri şikâyeti ve itibar kaybı olarak geri dönecektir.

İkinci senaryoda analiz ve test sırasında kullanılan doğrulama yüklerinin gerçek şartlardan çok daha yüksek ve zorlu olması durumudur. Bu gereğinden fazla hasar etkisi demektir. Bu yanlıştın sonucu olarak araç gerekenden daha dayanıklı tasarlanır. Buna bağılı olarak gereksiz malzeme kullanımı, ağırlık ve maliyet artışları, yakıt tüketimi ve performans değerlerinde kötüleşme gibi sonuçlar ortaya çıkar ve ürün piyasadaki rekabet şansını kaybeder.

Yukarıda açıklanan tüm bu nedenlerden dolayı yol yüklerinin belirlenmesi araç tasarımı sürecinde önemli bir yer almaktadır. Ancak bu işlem ciddi bir iş yükü ve maliyeti de beraberinde getirmektedir. Benzer bir çalışmanın kapsam ve maliyetini belirleyecek parametreler aşağıda sıralanmıştır.

- Araç ihtiyacı
- Toplanılacak kanal sayısı
- Toplanılacak veri tipi (kuvvet, ivme, yer değıştirme vb.)
- Veri toplanılacak ortam (kamuya açık yollar, test pistleri vb.)
- Kullanılacak ekipman
- İnsan gücü (mühendis, teknisyen ve şoför desteğı)
- Diğer (sarf malzeme, yakıt, lojistik, seyahat, konaklama vb.)

Çalışma kapsamında YSA teknolojisi kullanılarak kanal sayısı, veri tipi ve kullanılacak ekipman ihtiyacı gibi kalemlerde iyileştirme sağlanarak ihtiyaç duyulan sürenin kısaltılması ve buna bağılı olarak iş yükü ve maliyet kalemlerinin azaltılması

hedeflenmektedir. Bu sayede daha fazla araç tipi için yol yükü verilerinin toplanması çalışmaları desteklenebilecektir.

3.6.2. Yol Verisi Toplama Prosesinin YSA Kullanımı İle İyileştirilmesi

Yapısal dayanım çalışmaları sırasında en sık başvurulanan yol yükü tipleri kuvvet, gerinim, ivme ve yer değiştirme olarak sıralanabilir. Kuvvet bilgisi hem bilgisayar ortamında yürütülen nümerik doğrulama analizlerinde hem de fiziksel doğrulama testlerinde gerekli hasar değerlerine ulaşmada kullanılan temel girdidir.

Araç üzerine etki eden kuvvet verisinin toplanması için bu amaçla tasarlanmış özel yük hücreleri veya gerinim ölçerler ile donatılmış parçalar kullanılmaktadır. Araç sistemlerinin kritik bağlantı noktalarına yerleştirilen (örneğin süspansiyon elemanlarının bağlantı noktaları) yük hücreleri ilgili noktalar için doğrudan kuvvet verisi alınmasına imkân verirler. Ancak birçok noktadan benzer bilgilere ihtiyaç duyulması durumunda yüksek bir maliyet kalemi oluşturmaktadır. Ayrıca aracın orijinal yapısına müdahale edilerek monte edildiklerinden her durumda kullanılmaları mümkün olmamaktadır. Gerinim ölçer uygulamaları yük hücrelerine oranla daha az maliyetli olmakla birlikte ciddi bir ön çalışma gerektirmektedirler. Gerinim ölçerlerin ilgili parçaya monte edilmesi spesifik bir teknik bilgi gerektirir. Ayrıca gerinim ölçerler ile donatılmış bir parçaya etki eden kuvvetin bulunabilmesi için ilgili parçanın araca montajından önce bir yük kalibrasyonu işlemi yapılmalıdır. Bu işlemlerin hepsi iş gücü ve zaman ihtiyaçlarını arttırmaktadırlar.

YSA teknolojisinin yol verilerinin toplanması sürecinde kullanılması ile toplanması daha az zahmetli ve maliyeti daha düşük olan veri tipleri ile (ivme, hız vb.) taşıta etki eden kuvvet verilerinin öngörülebilmesi hedeflenmiştir. Bu sayede hem sanal hem fiziksel doğrulama çalışmaları için kritik öneme sahip kuvvet bilgileri daha kolay ve ucuz şekilde elde edilebilecektir. Bu uygulama aynı zamanda toplanılacak toplam veri miktarını ve kanal adedini de azaltacaktır. Toplam kanal listesinden kuvvet kanalları çıkartılabilecektir. Bu sayede aracın enstrumentasyonu için harcanan süre kısılacak ve ihtiyaç duyulan veri kaydedici kapasitesi azalacaktır. YSA uygulaması firmanın yol verisi toplama prosesinde kullandığı en komplike ve maliyetli donanım olan TKS kullanım ihtiyacını da azaltacaktır.

3.6.3. Veri Setlerinin Oluşturulması

İlgili YSA modelinin kullanılma amacı taşıtın maruz kaldığı yol yüklerinin öngörülebilmesidir. Bu amaçla YSA modelinin vermesi hedeflenen çıktı verileri olarak taşıt tekerleklerine etki eden kuvvet değerleri alınmıştır. TKS ile yapılan ölçümler ve YSA hesaplamaları taşıtın dört tekerleği için de yapılmış ancak bu çalışmadaki analiz ve değerlendirmeler yalnızca sağ ön tekerlek için elde edilen ağ çıktıları üzerinden yapılmıştır. Yol yükü verilerinin toplanma süreci Bölüm.4’de detaylı olarak açıklanmıştır. Çıktı veri seti 3 kanaldan oluşmaktadır. Bu kanallar Çizelge 3.3’de gösterilmiştir.

Çizelge 3. 1 Çıktı veri seti

Kanal Numarası	Açıklama	Birim	Detay
# 2	Sağ ön teker doğrusal kuvvet	N	F_x
# 4	Sağ ön teker yanal kuvvet	N	F_y
# 6	Sağ ön teker dikey kuvvet	N	F_z

Çalışmanın hedefine ulaşabilmesi için girdi veri seti belirlenirken göz önünde bulundurulması gereken iki temel husus bulunmaktadır. Bunlar:

1. Seçilecek girdi kanallarının problemi ve istenilen çıktı kanallarını temsil edebilecek nitelikte olmaları.
2. TKS kullanımına göre zaman ve maliyet tasarrufu sağlayacak özellikte olmaları.

İlk gerek şart incelendiğinde taşıt tekerlerinde oluşan kuvvetler üzerinde etken parametrelerin girdi veri setinde bulundurulması gerektiği görülmektedir. Örneğin aracın rengi veya egzoz çıkış sıcaklığı tekere etki eden kuvvetler üzerinde doğrudan etkili parametreler değildir. Bu açıdan bakıldığında bir girdi olarak kullanılmalarına ihtiyaç yoktur. Taşıtın işletme şartlarını ve yol yüzeyinin taşıt üzerinde oluşturduğu etkileri yansıtabilecek girdi kanalları seçilmelidir. Girdi veri setinin belirlenmesinde göz önünde bulundurulması gereken ikinci durum kullanılacak kanalların kolay ölçülebilir nitelikte olmalarıdır. İvme ve yer değiştirme ölçümleri bu gerekleri karşılamaktadırlar. Hem ihtiyaç duyulan ölçüm cihazları görece olarak ucuz hem de taşıt üzerine uygulamaları son derece kolaydır. Bu durum aracın enstrumentasyon sürecini kısaltırken maliyetleri de düşürmektedir. Bunun yanında aracın elektronik motor işletme sistemi dâhilinde var olan CAN sistemi üzerinden alınan bilgiler fazladan bir

enstrumentasyona gerek kalmadan bazı kullanım bilgilerinin elde edilmesine olanak verir. Çalışma kapsamında mevcut olan 105 kanal ölçüm verisi arasında yukarıda açıklanan özellikleri sağlayan 7 kanal YSA modelinin girdi parametreleri olarak seçilmiştir. Kanal listesi Çizelge 3.4’de gösterilmiştir. Aynı amaçla 11 kanaldan oluşan alternatif bir girdi veri seti daha tanımlanmıştır. Her iki durumun YSA performansı üzerindeki etkileri Bölüm 5’de karşılaştırmalı olarak incelenecektir.

Çizelge 3. 2 7 Kanallı girdi veri seti

Kanal Numarası	Açıklama	Birim	Detay
# 50	Sağ ön akson ivme doğrusal	g	a_x
# 52	Sağ ön akson ivme yatay	g	a_y
# 54	Sağ ön akson ivme dikey	g	a_z
# 85	Direksiyon açısı	° derece	
# 95	Araç hızı	Km/h	CAN
# 101	Motor hızı	d/d	CAN
# 102	Motor torku	Nm	CAN

Çizelge 3. 3 11 Kanallı girdi veri seti

Kanal Numarası	Açıklama	Birim	Detay
# 41	Sol ön tekerlek merkezi dikey eksenli yer değiştirme	mm	d_{LH}
# 42	Sağ ön tekerlek merkezi dikey eksenli yer değiştirme	mm	d_{RH}
# 45	Ön aks sol dikey eksenli yer değiştirme	mm	d_{LH}
# 46	Ön aks sağ dikey eksenli yer değiştirme	mm	d_{RH}
# 50	Sağ ön akson ivme doğrusal	g	a_x
# 52	Sağ ön akson ivme yatay	g	a_y
# 54	Sağ ön akson ivme dikey	g	a_z
# 85	Direksiyon açısı	° derece	
# 95	Araç hızı	Km/h	CAN
# 101	Motor hızı	d/d	CAN
# 102	Motor torku	Nm	CAN

Çok katmanlı algılayıcı modelinin eğitim prosesi öncesinde eldeki girdi verileri 3 alt gruba ayrılmıştır. Bunlar:

- Eğitim seti
- Test seti

- Final seti

Eğitim seti ağın eğitilmesi prosesinde kullanılmıştır. Çıktı sonuçlarının doğruluğuna göre bağlantı ağırlıklarının güncellenmesi işlemi gerçekleştirilmiştir. Test setindeki veriler eğitim prosesi tamamlanmadan ağa gösterilmez. İşlem tamamlandıktan sonra ağın hiç görmediği örneklerle karşı verdiği çıktıların doğruluğunu gözlemlemek için kullanılır.

Bu sayede farklı model ve topolojilerin performansları karşılaştırılabilir. Final seti tüm bu işlemler boyunca ağa gösterilmez ve nihai ağ yapısının sınanması amacıyla saklanır.

Veri toplama işleminin detayları Bölüm 4’de açıklanmakla birlikte özetle 12 farklı pistten 205 Hz örnekleme frekansı ile veri toplanmıştır. Pistlerin her birinin uzunlukları farklı olduğundan toplam veri miktarı da farklılık göstermektedir.

Bu durumda girdi verilerinin sınıflandırılması yüzde değerler üzerinden ifade edilmiştir. Her bir pist için mevcut verilerin girdi veri grupları arasındaki dağılımı Çizelge 3.6’da verilmiştir.

Çizelge 3. 4 Girdi verilerinin gruplandırılması

Girdi veri grubu	Pay	Simge
Eğitim seti	%70	tr
Test seti	%20	tst
Final seti	%10	fnl

Her bir veri grubuna dâhil edilecek ölçüm noktalarının ilgili pistin genel karakterini yansıtacak özellikte olması gerekmektedir. Örneğin eğitim setinin tamamının pistin eğimsiz düz bölümlerinden veya test setinin tamamının tırmanma ve iniş bölümlerinden oluşması halinde ağın performansı düşecektir. Bu dağılımın geneli temsil edecek şekilde yapılması gerekir. Bu amaçla her bir pist için mevcut örnekleme noktası dizilerinden belli aralıklarla seçimler yapılarak ilgili veri grupları arasında tasnif edilmiştir. İlgili 10’lu dizi formülasyonu aşağıdaki gibidir.

$$tr = [1:10:Q, 3:10:Q, 5:10:Q, 7:10:Q, 9:10:Q] \quad (3.12)$$

$$tst = [4:10:Q, 10:10:Q] \quad (3.13)$$

$$fnl = [6:10:Q] \quad (3.14)$$

Q; veri matrisinin satır sayısını ifade etmektedir.

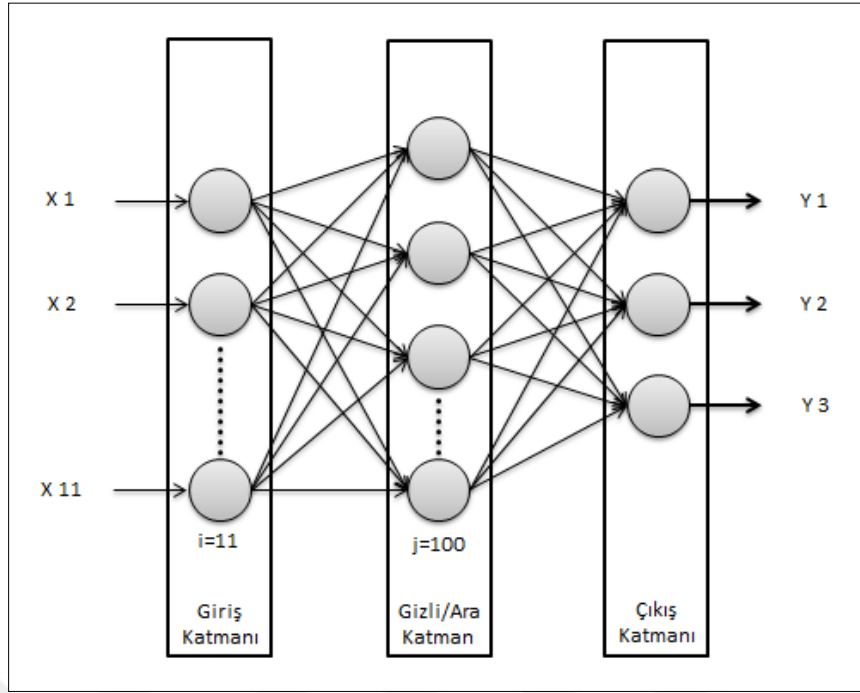
Veri toplanılan pistlerin hepsi farklı zemin yapılarına ve sürüş karakterlerine sahiptirler. Aynı pist içinde hızlandırılmış ömür testi şartlarını sağlayabilmek için kırıcı engellerle birlikte düzgün zemin yapılarına sahip bağlantı yolları da bulunmaktadır. Tüm bu şartlar veriler üzerinde normalizasyon işlemi uygulanmasını gerekli hale getirmektedir. Bu işlem ölçüm sistemi üzerinde oluşabilecek anlık hata sinyallerine karşı da ikinci bir koruma oluşturacaktır. Çalışma kapsamında kullanılan tüm verilere Min-Maks normalizasyon metodu uygulanmış bu sayede ilgili veriler 0-1 aralığında ölçeklendirilmiştir.

3.6.4. Ağ Yapısının Oluşturulması

Girdi veri setindeki parametrelerin sayısı giriş katmanındaki nöron sayısını belirlemektedir. 7 kanallı girdi setinin kullanılması durumunda 7, 11 kanallı girdi setinin kullanılması durumunda 11 nöronun bulunduğu bir giriş katmanı topolojisi oluşturulmalıdır. Ağdan beklenen çıktı sayısı 3 olduğundan çıktı katmanında 3 adet nöron bulunmaktadır.

Tek ara katmanlı ve çift ara katmanlı yapılar üzerinde denemeler yapılmıştır. Çift ara katman uygulaması ağ performansında fark edilir bir iyileşme sağlamamıştır. Ancak işlem sürelerini uzattığından bu yapıdan vazgeçilmiştir. Modelleme tek ara katmanlı yapı üzerinden yapılmıştır.

Ara katmanda kullanılacak nöron sayısının belirlenmesi için bilinen bir yöntem bulunmamaktadır. Bu nedenle 5 nöronlu yapılar temel alınarak ağ performansına göre ağın büyütülmesi metodu izlenmiştir. Bu metot her pist için farklı sonuçlar vermiştir. Buna göre gizli katmanda 10 ila 100 arasında nöron bulunduran yapılar elde edilmiştir. Süreç sonunda elde edilen ağ topolojilerine örnek olarak 16 numaralı pist için geliştiren ağın yapısı Şekil 3.3'de gösterilmiştir. 11 girdi parametresi nedeniyle giriş katmanında 11 nöron bulunmaktadır. Ara katmanda 100 işlem elemanı kullanılmıştır. Çıkış katmanında 3 nöron üzerinden 3 farklı çıktı verisi alınmaktadır. Bu yapı 11-[100]-3 şeklinde gösterilmiştir. Tasarım sürecinin detayları ve sonucunda ulaşılan ağ topolojileri Bölüm.5'de detaylı olarak açıklanmıştır.



Şekil 3. 3 16 Numaralı pist için geliştirilen ağ topolojisi

Yürütülen çalışmanın hemen hemen bütün aşamaları doğrusal olmayan ilişkiler içerdiğinden ara katmandaki işlem elemanlarında doğrusal olmayan sigmoid transfer fonksiyonu (tansig) kullanılmıştır. Çıkış katmanının da ise doğrusal bir transfer fonksiyonu (purelin) kullanılmıştır.

3.6.5. Ağı Eğitilmesi

3.6.5.1. Levenberg-Marquardt Algoritması

Levenberg-marquardt algoritması Newton metoduna bir yaklaşım olup, Newton metodunun hızıyla, adım düşme metodunun sağlamlığının bileşkesidir[55]. $E(W)$ 'nin bir amaç fonksiyonu olduğu düşünülürse m tane hata terimi için $e_i^2(w)$ aşağıda verilmiştir.

$$E(w) = \sum_{i=1}^m e_i^2(w) = \|f(W)\|^2 \quad (3.15)$$

Bu eşitlikte $e_i^2(w) = (y_i - y_{di})^2$ dir. y_{di} , i nöronunun arzulanan çıkısını, y_i ise aynı nöronunun asıl çıktısını temsil etmektedir. Burada, amaç fonksiyonu olan “ $f(\cdot)$ ” fonksiyonunun Jacobiyeninin “ J ” nin, w noktasında bilindiği kabul edilir. Levenberg-Marquardt algoritması kullanılarak yeni ağırlık vektörü w_{k+1} , bir önceki ağırlık vektörü w_k dan aşağıdaki gibi elde edilmektedir.

$$w_{k+1} = w_k + \delta w_k \quad (3.16)$$

δw_k ise şu şekilde ifade edilmektedir.

$$\delta w_k = - (J_k^T f(w_k) (J_k^T J_k + \lambda I)^{-1} \quad (3.17)$$

Levenberg-Marquardt algoritması aşağıdaki adımlardaki gibi özetlenebilir.

Adım 1: $E(w_k)$ yı hesapla.

Adım 2: λ için küçük bir değer ile başla ($\lambda=0.01$)

Adım 3: δw_k için çöz ve $E(w_k + \delta w_k)$ 'yı hesapla.

Adım 4: Eğer $E(w_k + \delta w_k) \geq E(w_k)$ ise,

λ 'yı 10'un katsayısı ile arttır ve 3.adıma git.

Adım 5: Eğer $E(w_k + \delta w_k) \leq E(w_k)$ ise,

λ 'yı 10'un katsayısı ile azalt, $w_k : w_k \leftarrow w_k + \delta w_k$ yı güncelle ve 3.adıma git.

Hedef çıkışı hesaplamak için bir ÇKA'nın LM algoritması kullanarak eğitilmesi, ağırlık dizisi w_0 a bir başlangıç değerinin atanması ile başlar ve hataların karelerinin toplamı e_i^2 'nin hesaplanmasıyla devam eder. Her e_i^2 terimi, hedef çıkış (y) ile gerçek çıkış (y_d) arasındaki farkın karesini ifade eder. Bütün veri seti için e_i^2 hata terimlerinin tamamının elde edilmesiyle, ağırlık dizileri 1. Adımdan 5.adıma kadar olan LM adımlarının uygulanmasıyla adapte edilir[39].

3.6.5.2. Ağ Parametreleri

Her bir pist için kurulan YSA modellerinin hepsi 500 eğitim iterasyonu sonucunda eğitim setine ortalama $R=0,91$ korelasyon katsayısına ulaşarak cevap vermişlerdir. Ağın gerçekten öğrenip öğrenmediği test setindeki verilerin ağa sorulması ile kontrol edilmiştir. Kurulan YSA modellerinin temel yapısal tasarım ve eğitim parametreleri Çizelge 3.7'de verilmiştir.

Çizelge 3. 5 YSA modelinin tasarım parametreleri

Eğitim algoritması	Levenberg-Marquardt
Normalizasyon	Min.-Maks.

İterasyon sayısı (epoch)	500
Hedef hata	$1e^{-5}$
Maks. işlem süresi	600 sn
μ başlangıç değeri	0,001
μ artış değeri	10
μ azaltma değeri	0,1
Transfer fonksiyonu (ara katman)	tansig
Transfer fonksiyonu (gizli katman)	purelin
Performans fonksiyonu	OKH



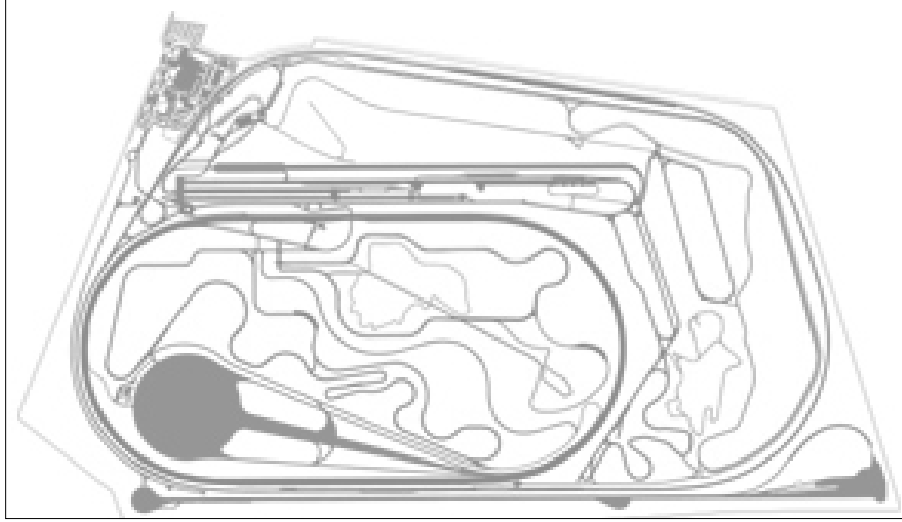
KULLANILAN ÖLÇÜM EKİPMANLARI VE YOL VERİLERİNİN TOPLANMASI

Doktora çalışması kapsamında kullanılan taşıt yol yükleri Avrupa’da bulunan bir test pisti üzerinde yapılan ölçümler sonucunda elde edilmiştir. İlgili test pistinin ve çalışmalar esnasında kullanılan ölçüm ekipmanlarının özellikleri ile birlikte bu süreçte izlenen süreç aşağıdaki başlıklar altında özetlenmiştir.

4.1. Test Pisti, Test Aracı ve Tekerlek Kuvvet Sensörleri

4.1.1. Test Pisti

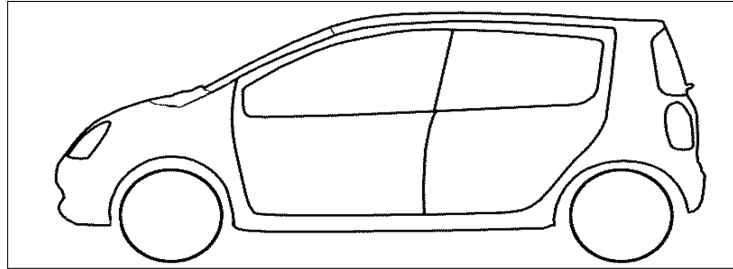
Test pistlerinin temel amacı araç testlerini kamuya açık yollardan kontrollü ve güvenli bir test ortamı sağlayan özel alanlara taşımaktır. Bu amaçla test pistleri farklı müşteri kullanım koşullarını temsil edebilecek çok sayıda farklı yol ve zemin yapısına sahip bölümlerden oluşmaktadır. Çalışmada kullanılan yol verileri de yukarıda açıklanan amaçlarla Belçika’da kurulmuş olan bir test pistinden toplanmıştır. Tesisin toplam pist uzunluğu 80km’dir. Tüm yıl boyunca farklı araç tipleri üzerinde 6.000.000 km test yapılmaktadır. Tesiste bulunan farklı özelliklerdeki yollar sayesinde araçların yapısal dayanım, korozyon, gürültü ve titreşim, taşıt dinamiği, motor ve fren performansı gibi birçok özelliği prototip araçlar üzerinden test edilebilmektedir.



Şekil 4. 1 Test Pistinin Krokisi

4.1.2. Test Aracı

Yol yüklerinin toplanması sırasında kullanılan test aracı hafif ticari araç sınıfındadır. İlgili test aracının biri yolcu (kombi) diğeri de yük (van) taşımak üzerine tasarlanmış iki adet versiyonu bulunmaktadır. Yük taşımak amacıyla tasarlanan versiyon daha zorlayıcı işletme ve yükleme koşullarına sahip olduğundan çalışma bu versiyon üzerinde yapılmıştır. Bu aracın iç mimarisi önde sürücü ve yolcu koltukları, arkada ise yükleme alanı bulunacak şekilde oluşturulmuştur. Arka bölümde ikinci sıra koltuk bulunmamaktadır. İlgili prototip araçta 1.6 lt'lik bir Diesel motor kullanılmıştır.



Şekil 4. 2 Test aracının temsili bir resmi

4.1.3. Tekerlek Kuvvet Sensörü (TKS)

TKS'ler yol yüzeyinden taşıt tekerine etki eden kuvvet ve momentlerin 3 ekseninde ölçülmesinde kullanılmaktadır. İlgili ölçüm elemanı taşıtın orijinal lastik/jant kompleksinin yerine takılarak kullanılır. Taşıtın normalde yapabileceği her türlü manevraya olanak tanıyacak şekilde tasarlanmıştır. Karbon fiber, alüminyum ve çelik kullanılarak imal edilen parçalardan oluşmaktadır. Tasarım ve malzeme seçiminde

maksimum dayanım performansının yanında aracın orijinal tekerlek ağırlığına mümkün olduğunca yaklaşmak da amaçlanmaktadır. Farklı taşıt tiplerinde kullanılmak üzere farklı TKS modelleri bulunmaktadır. Binek otomobillere uygun modeller genellikle karbon fiber ve alüminyumdan üretilirken, yüksek aks yüklerine sahip ağır ticari araçlara uygun modellerde malzeme olarak çelik tercih edilmektedir.



Şekil 4. 3 Kistler S625-2000 Tekerlek Kuvvet Sensörü

Çalışmada kullanılan Kistler markalı RoaDyn S625-2000 model TKS 14-18'' jant ölçülerine sahip binek ve hafif ticari araçlar için uygundur[56]. İçeriğinde 4 adet yük hücresi bulunmaktadır. Kablosuz veri aktarımı teknolojisine sahiptir. Çalışmalar sırasında taşıtın her bir tekerine monte edilmek üzere toplamda 4 adet TKS kullanılmıştır.

Çizelge 4. 1 Kistler S625-2000 TKS Teknik Özellikleri[56]

Ölçüm aralığı - F_x	± 20 kN
Ölçüm aralığı - F_y	± 15 kN
Ölçüm aralığı - F_z	± 20 kN
Ölçüm aralığı - M_x	± 4 kNm
Ölçüm aralığı - M_y	± 4 kNm
Ölçüm aralığı - M_z	± 4 kNm
Ağırlık (jant dâhil)	10 kg
Koruma seviyesi (toz & su)	IP64
Çalışma sıcaklığı (Al parçalar)	< 120 °C
Çalışma sıcaklığı (CF parçalar)	< 110 °C
Gürültü	Maks. %2
Sıfır kayması	$\leq 0,5$ %FSO
Span kayması	$\leq 0,5$ %FSO

4.2. Yol Yüğü Verilerini Toplanması

Çalışma kapsamında kullanılacak yol yükleri Türkiye otomotiv sektöründe faaliyet gösteren bir firmanın yeni hafif ticari araç geliştirme programı kapsamında toplanmıştır. Bu veriler tasarlanan aracın yapısal dayanım performansının doğrulandığı bilgisayar destekli analizlerde ve laboratuvar ortamında yürütülen fiziksel test süreçlerinde kullanılmışlardır.

4.2.1. Test Aracının Yükleme Koşulu

Yük taşımak amacıyla tasarlanan bu araç üzerinden iki farklı yükleme koşulu altında veri toplanmıştır. Bu yükleme şartları çalışmanın kalan bölümünde hafif yükleme koşulu ve ağır yükleme koşulu olarak anılacaktır. Her iki yükleme koşulu da araç sistemlerinin müsaade ettiği teknik limitler içerisinde. Ancak yükleme koşullarının detayları firmanın yıllara dayanan bilgi birikiminin ve yapılan müşteri korelasyonu çalışmalarının bir sonucu olduğundan saklı tutulmuştur.

4.2.2. Test Aracına Yerleştirilen Ölçüm Ekipmanları

Test aracı yol verilerinin toplanması amacıyla birçok farklı sensör ile donatılmıştır. Araç üzerindeki sensörler arasında en kritik öneme sahip donanım TKS'dir. Toplamda 4 adet Kistler S625 TKS ile aracın tüm tekerleklerine etki eden kuvvet ve moment girdileri her üç eksen için de eş zamanlı olarak ölçülmüştür. Bu sistemler sayesinde araca etki eden yol yükleri direkt olarak tekerlek merkezinden ölçülebilmektedir. Güvenilir ve tekrarlanabilir ölçüm proseslerine imkân tanır.

Bunun dışında araç şasisi, güç aktarma organları ve süspansiyon sistemi elemanları üzerindeki farklı noktalara ivme, yer değiştirme ve kuvvet sensörleri yerleştirilerek kritik noktalar üzerinden yol verileri toplanmıştır.

4.2.3. Kanal Listesi

Ölçümler sırasında toplamda 105 kanal veri 205 Hz örnekleme frekansı ile kaydedilmiştir. Özet kanal listesi Çizelge 4.2'de listelenmiştir.

Çizelge 4. 2 Özet Kanal Listesi

Kanal Numarası	Açıklama	Birim	Detay
# 1 – 40	TKS ölçüm kanalları	N Nm	F_x, F_y, F_z M_x, M_y, M_z

Çizelge 4. 2 Özet Kanal Listesi (devamı)

Kanal Numarası	Açıklama	Birim	Detay
# 41 – 44	Tekerlek merkezi dikey eksenli yer değiştirme	mm	
# 45 – 48	Aks dikey eksenli yer değiştirme	mm	
# 49 – 60	Akson ivme	g	a_x, a_y, a_z
# 61 – 82	Motor ve şanzıman kulaklarından ivme	g	a_x, a_y, a_z
# 83 – 84	Tahrik şaftı tork	Nm	
# 85	Direksiyon açısı	° derece	
# 86 – 87	Tekerlek açısı	° derece	
# 88 – 89	Rotil eksenel kuvvet	N	
# 90 – 93	Ön salıncak kuvvet	N	
# 94	Arka burulma çubuğu yanal ivme	g	
# 95- 105	CAN	–	Motor hızı, motor torku, taşıt hızı, ortam sıcaklığı vb.

4.2.4. Test Prosedürü ve Kullanılan Yollar

Yol yükü verileri müşteri beklentilerine ve gerçek kullanım şartlarına uygun geliştirilmiş bir test prosedürü kullanılarak Belçika'daki test pistinden toplanmıştır. Otomobil üreticileri test prosedürlerini yürütülen müşteri araştırmaları sonucunda yapılan saha çalışmaları ve ölçümleri sonucunda oluşturmaktadırlar. Oluşan bu prosedürlerin değişen pazar şartları ve müşteri beklentilerine göre güncellenmesi şarttır. Tüm bu çalışmalar büyük zaman ve yatırım gerektirmektedir. Bu nedenle benzer test prosedürlerinin detayları firmalar tarafından gizli tutulmaktadır. Gerçek kullanım şartları ile uyumlu bu prosedürler sayesinde ürünler müşteri beklentilerine uyumlu bir şekilde geliştirilebilmektedirler.

Verilerin toplandığı test pistindeki yollar farklı yüzey kalitesi ve profillerinden oluşmaktadır. Zorlu seyir koşulları oluşturan bu yüzey ve profiller hızlandırılmış ömür testlerinin yapılmasına olanak tanımaktadırlar. Bu sayede araçların yapısal dayanım doğrulamaları çok daha kısa süreler içerisinde tamamlanabilmektedir. Bu süre sonunda aracın öngörülen ömrüne eşdeğer hasar etkisi oluşturulabilmektedir.



Şekil 4. 4 Kullanılan örnek yol profilleri

Toplamda 13 farklı pistten, prosedürde belirtilen seyir hızlarında ve iki farklı yükleme koşulu altında veri toplanmıştır. Her pistten en az 3 geçiş yapılarak istatistiksel olarak daha doğru sonuçlara ulaşılması hedeflenmiştir. Daha önceki tecrübelerden hareketle özellikle düzensiz zemin profiline sahip yollarda bu sayı 10'a çıkartılarak daha kararlı sonuçlar alınması hedeflenmiştir. Çalışma sonunda 105 kanaldan yaklaşık 500 Mb'lık yol verisi kaydedilmiştir. Elde edilen bu yüksek hacimli ham verinin üzerinde öncelikle hassas bir kontrol yapılarak elektronik ve elektriksel donanım kaynaklı bozulmalar temizlenmiştir. Sonrasında bu veriler YSA modeline uygulanabilecek nihai hale getirilmiştir.

SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Test pisti üzerindeki çalışmalar sonucunda elde edilmiş olan ölçüm verileri ve bu değerlerle uyumlu sonuçlar vermesi beklenen YSA modelinin çıktıları bu bölümde irdelenmiştir. Son kısımda benzer alternatif yöntemler YSA ile kıyaslanmıştır.

5.1. Yol Yüğü Verisi Ölçüm Sonuçları

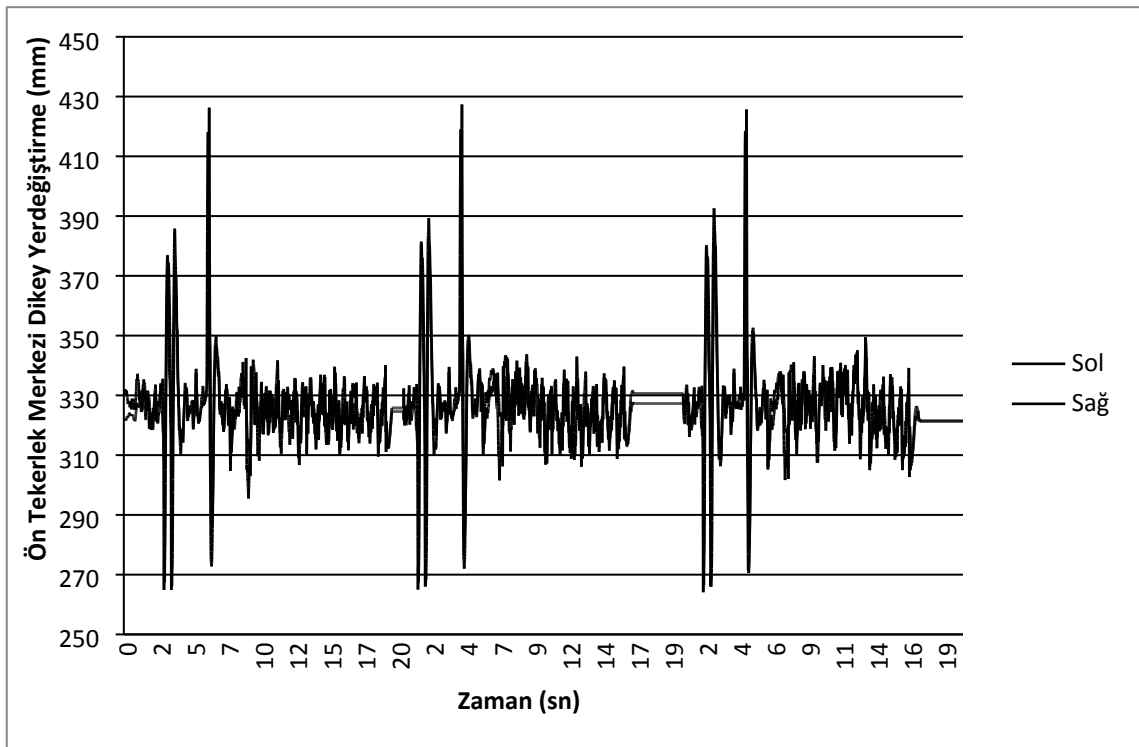
Farklı yüzey profillerine sahip 13 çeşit yoldan test prosedüründe belirtilen seyir ve yükleme koşullarına uygun olarak veri toplanmıştır. Sonuçların analiz edildiği bu bölümde ağır yükleme şartı altında toplanan yol yüğü verileri değerlendirilmiştir. Her pist için yapılan ölçümlerin detayları Çizelge 5.1’de verilmiştir.

1 numaralı pistte yapılan ölçümler statik şart altında yapılmıştır. Burada amaçlanan duran bir taşıta çeşitli direksiyon girdileri verilerek özellikle ön süspansiyon ve direksiyon sistemi elemanlarına gelen kuvvet girdilerinin belirlenmesidir. Test prosedürü kapsamındaki bu pist statik karakteri gereği YSA modellemesine uygun olmadığından değerlendirme kapsamından çıkartılmıştır.

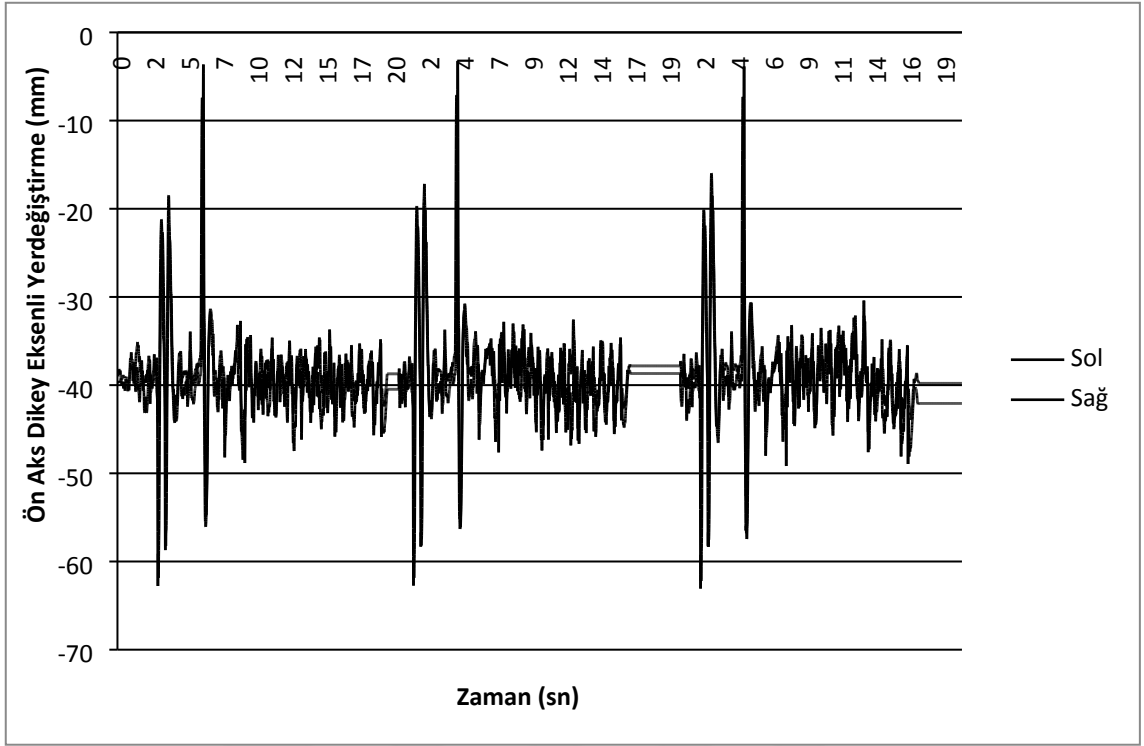
Araç üzerinden 105 farklı kanaldan veri toplanmıştır. Bu bölümde YSA modelinin eğitimde kullanılacak olan girdi ve çıktı veri setleri dâhilindeki veri kanalları üzerinde durulmuştur. Diğer kanallar bu bölümdeki analizlerin dışında tutulmuştur. Girdi veri setini oluşturan 11 kanal (Bakınız Çizelge 3.5) ilgili test pistlerinin her biri için kaydedilmiştir. Aşağıda örnek olarak 16 numaralı pist için toplanmış bazı yol verileri paylaşılmıştır.

Çizelge 5. 1 Ağır yükleme şartı altında pistlerden yapılan ölçümler

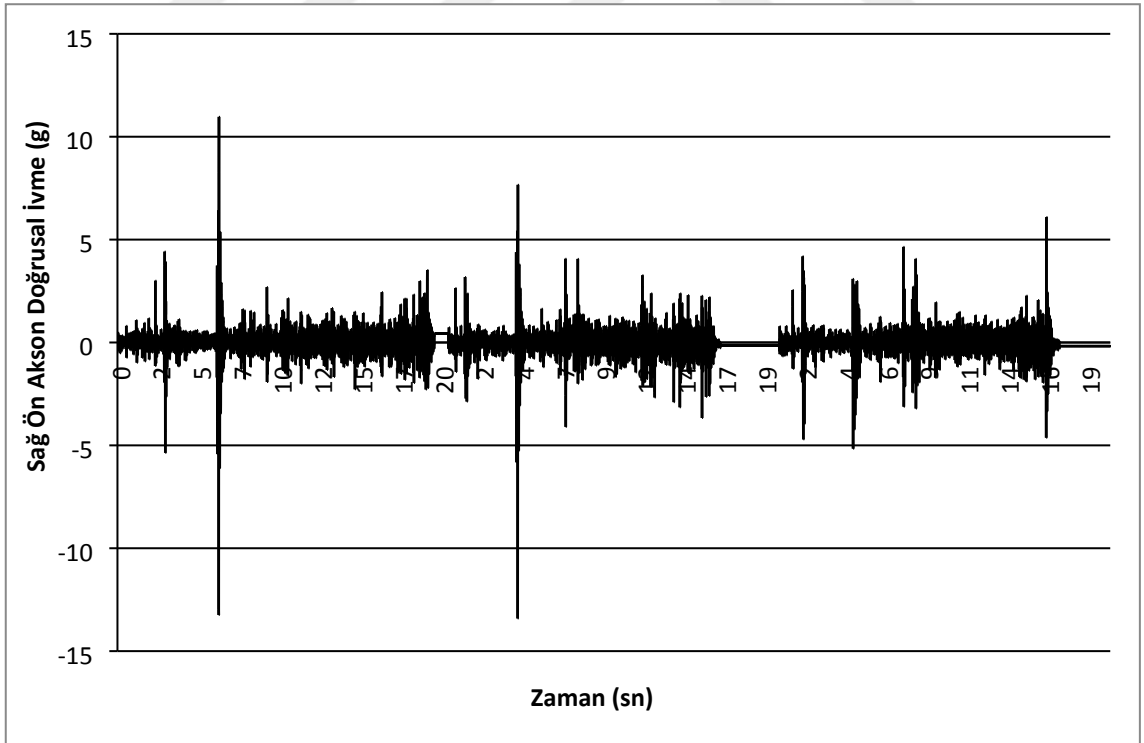
Pist Numarası	Tur Sayısı	Ölçüm Süresi (sn/1 tur)	Pist Numarası	Tur Sayısı	Ölçüm Süresi (sn/1 tur)
Pist #1	3	30	Pist #9	3	20
Pist #2	3	70	Pist #10	3	20
Pist #4	2	10	Pist #11	2	10
Pist #5	10	50	Pist #12	3	30
Pist #6	3	60	Pist #14	3	20
Pist #7	3	10	Pist #16	3	20
Pist #8	3	30			



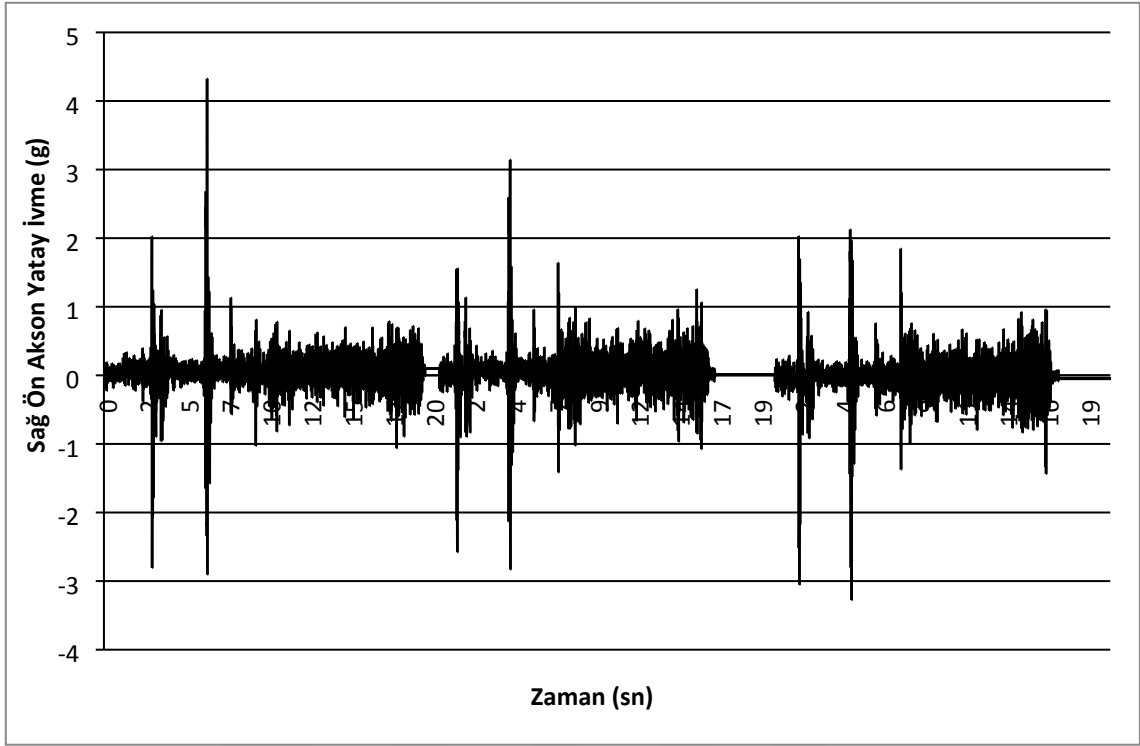
Şekil 5. 1 Ön tekerlek merkezi dikey eksenli yer değiştirme



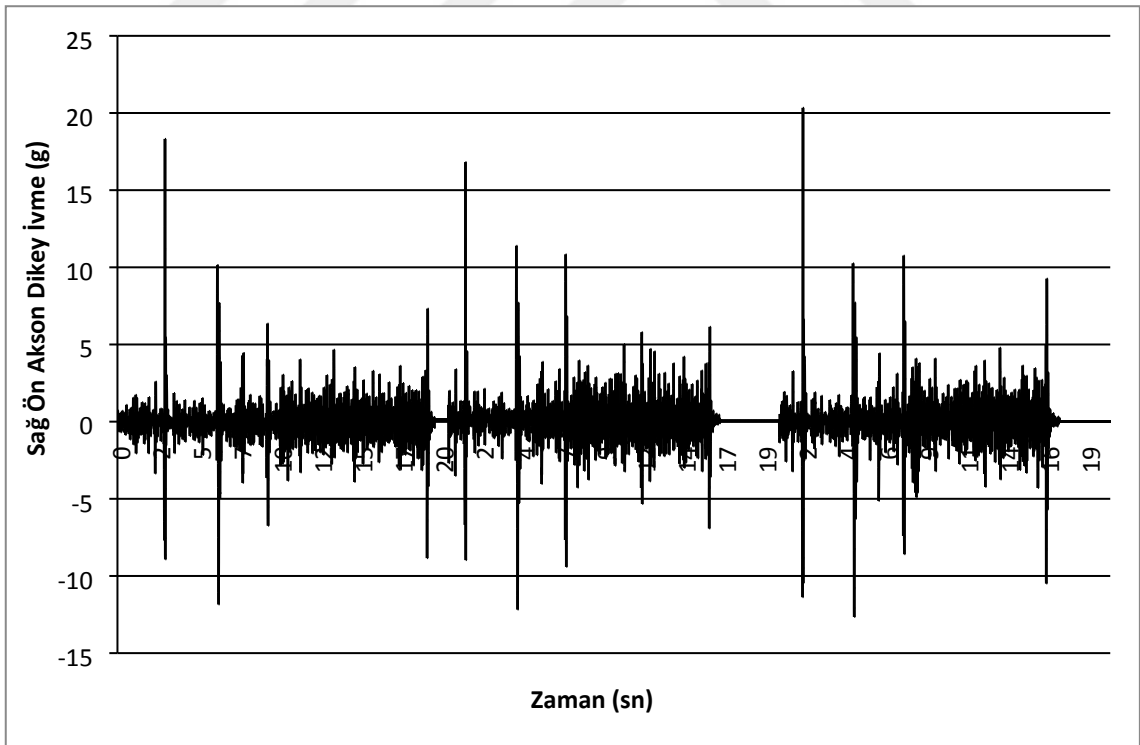
Şekil 5. 2 Ön aks dikey eksenli yer değıştirme



Şekil 5. 3 Sağ ön aksın doğrusal eksenli ivme



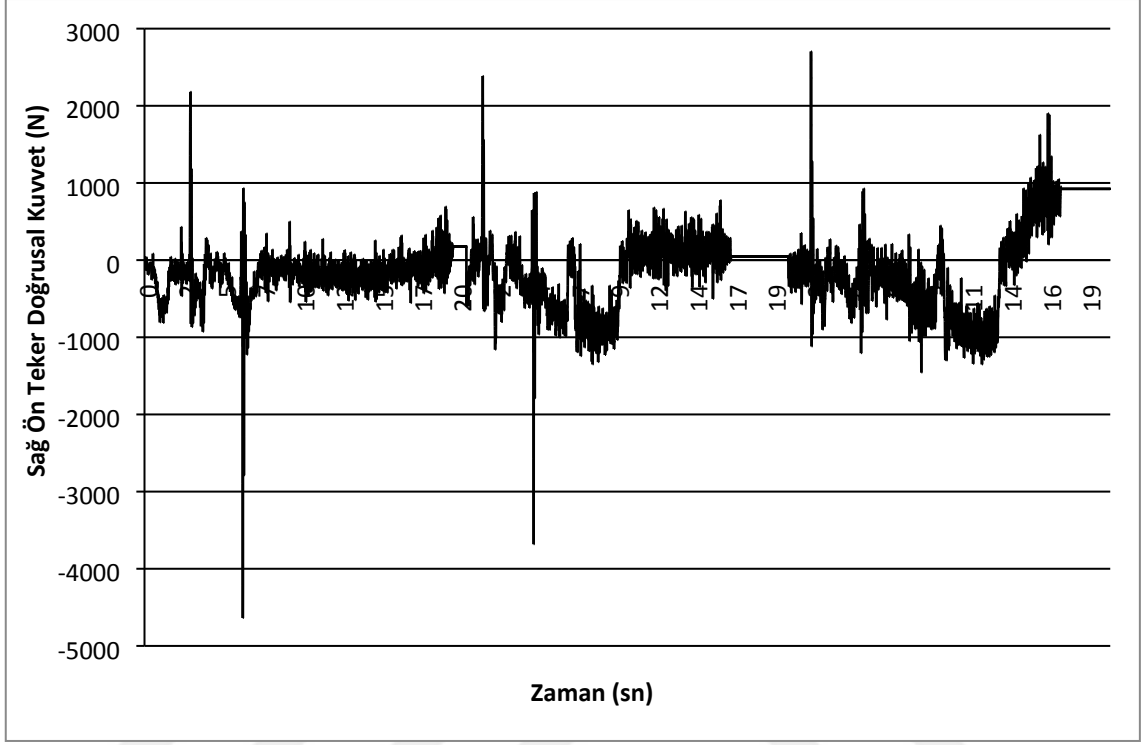
Şekil 5. 4 Sağ ön aksın yatay eksenli ivme



Şekil 5. 5 Sağ ön aksın dikey eksenli ivme

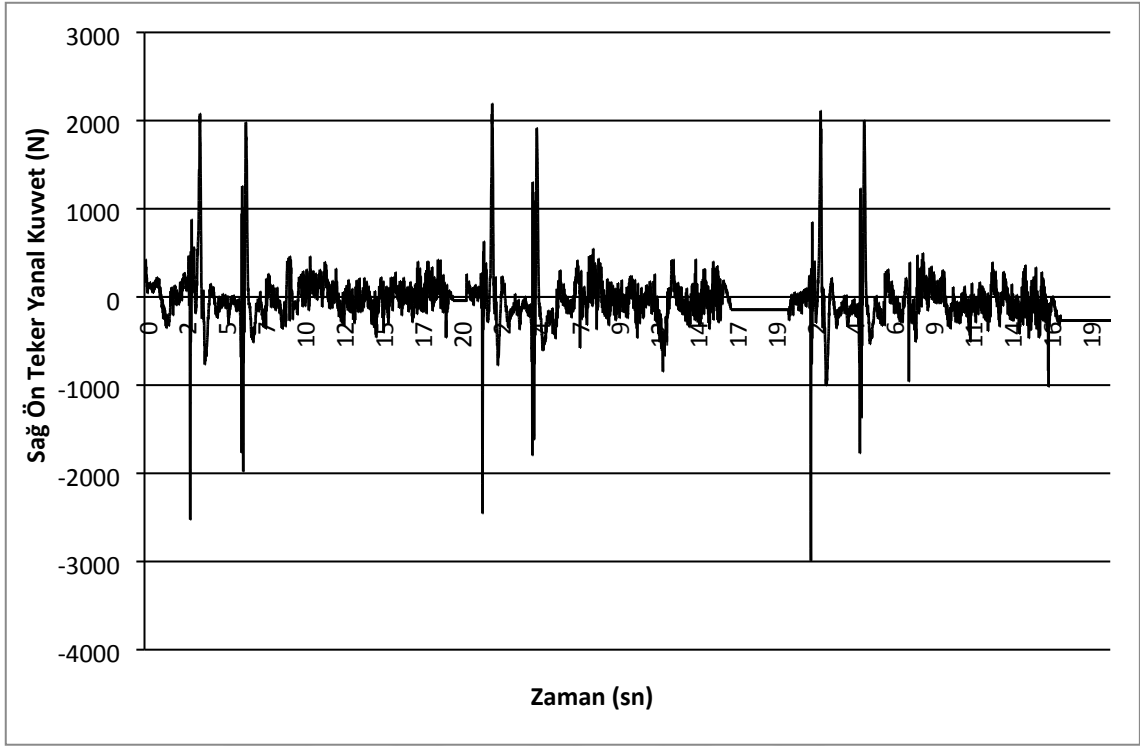
Çalışmanın temel hedefi taşıta etki eden tekerlek yüklerinin YSA modeli tarafından öngörülebilmesidir. Bu amaçla TKS ile toplanan yol verileri çıktı veri seti (Bakınız Çizelge

3.3) olarak kullanılmışlardır. 16 numaralı pist için toplanmış örnek yol yükü verileri aşağıda paylaşılmıştır.

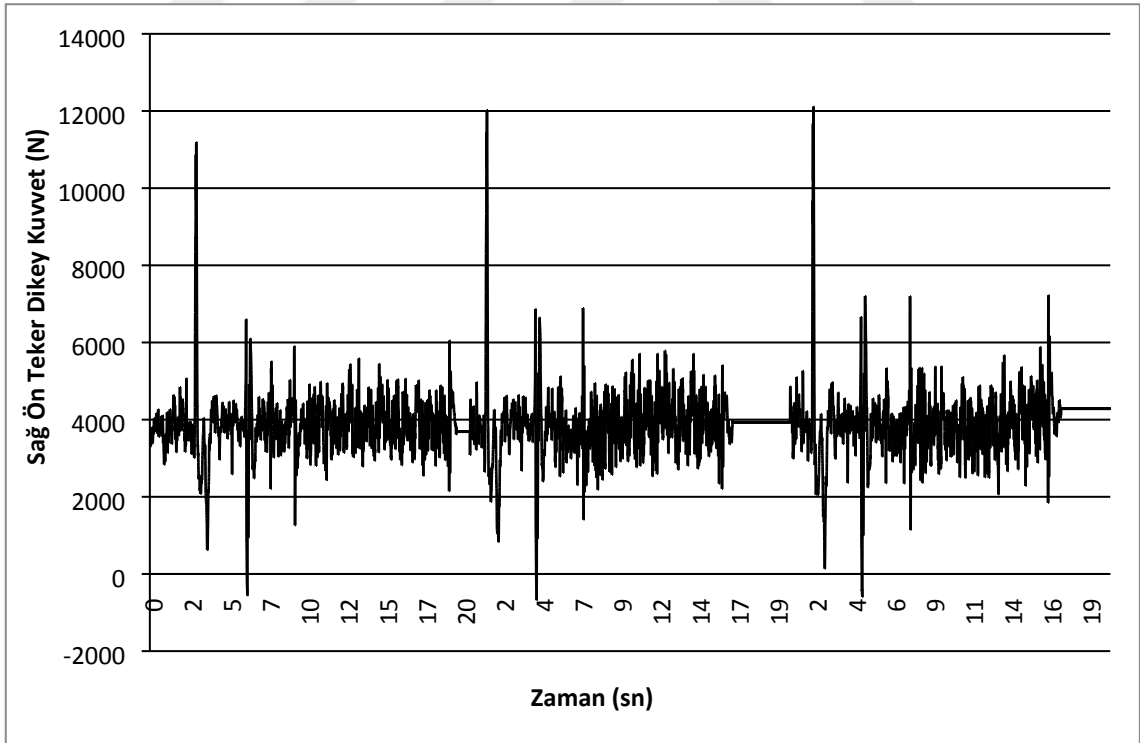


Şekil 5. 6 Sağ ön teker doğrusal eksenli kuvvet

Girdi ve çıktı veri setlerine örnek olarak verilmiş 16 numaralı pist veri grafiklerinde; pist üzerinde yapılan 3 geçiş sırasında toplanılan veriler seri halde verilmiştir. Benzer proses diğer pistler için de tekrarlanmıştır. Bir sonraki bölümde fiziksel olarak toplanmış bu veriler ile eğitilmiş YSA performansları irdelenecektir.



Şekil 5. 7 Sağ ön teker yanal eksenli kuvvet



Şekil 5. 8 Sağ ön teker dikey eksenli kuvvet

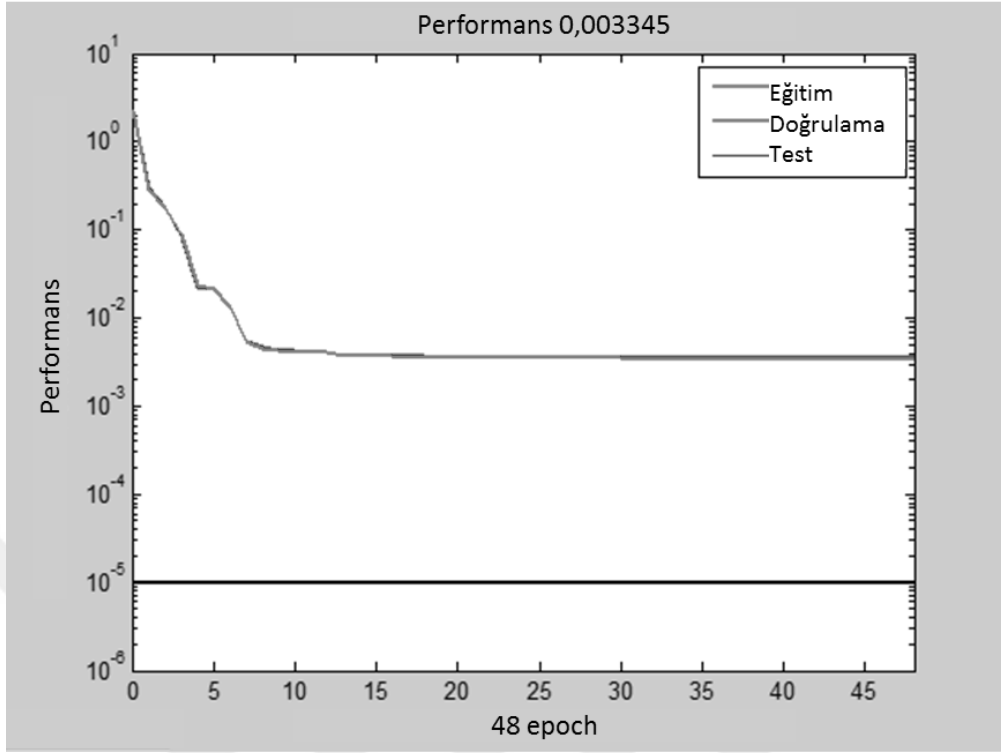
5.2. YSA Model Sonuçları

Bu bölümde çalışma kapsamında kurulan geri beslemeli çok katmanlı algılayıcı YSA modelinin performansı 16 numaralı pist verileri üzerinden açıklanmıştır.

Oluşturulan YSA modelinin temel tasarım parametreleri Çizelge 3.7’de gösterildiği şekilde seçilmiştir. Ara katmanda kullanılacak nöron sayısı ağın büyütülmesi yaklaşımı ile belirlenmiştir. İlk iterasyonlara 7 kanallı girdi veri seti ve 10 nöronlu ağ yapılarından başlanmıştır. İlgili topoloji 7-[10]-3 şeklinde ifade edilebilir. Hedef 0,80 ve üzerinde korelasyon katsayısı değerlerine ulaşabilen ağ yapıları oluşturmak olarak belirlenmiştir.

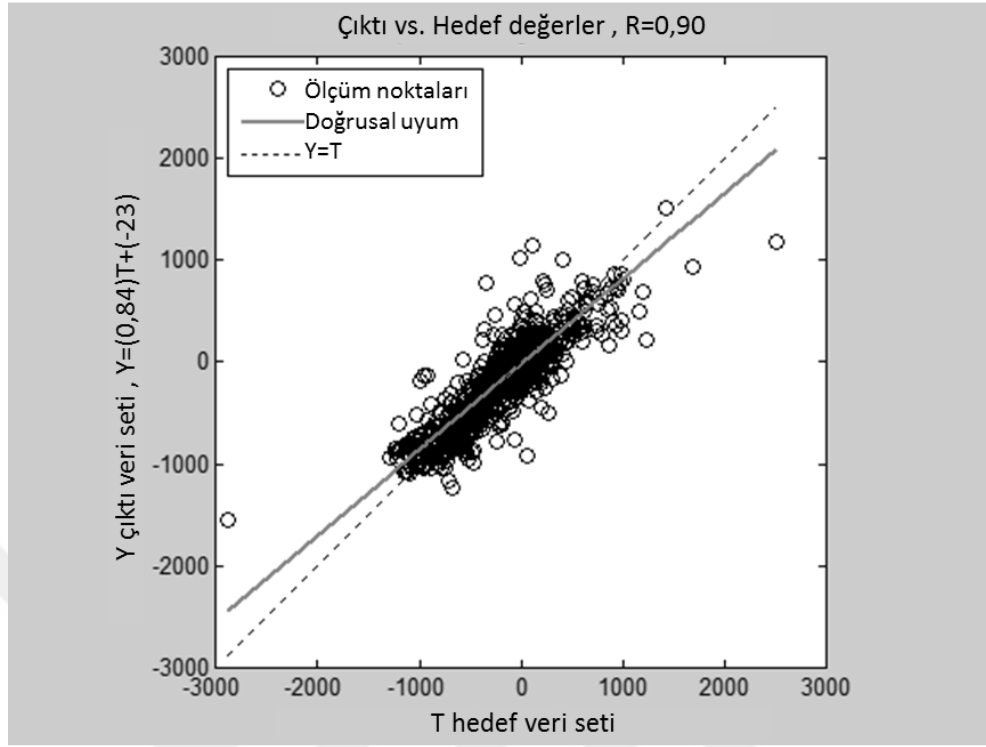
7-[10]-3 topolojisi hedeflenen korelasyon değerlerine ulaşamamıştır. F_x , F_y ve F_z için elde edilen korelasyon katsayısı değerleri sırasıyla 0,89 , 0,47 ve 0,62’dir. Yetersiz bulunan bu sonuçlar nedeniyle ağ topolojisinin büyütülmesi yoluna gidilmiştir ve sırasıyla 7-[20]-3, 7-[50]-3, 7-[100]-3 yapıları denenmiştir. Ara katmandaki nöron sayılarının arttırılması korelasyon katsayısı değerlerini iyileştirmiştir. 7-[100]-3 yapısı kullanıldığında sağ ön teker doğrusal kuvvet (F_x) değeri için 0,93 korelasyon değerine ulaşılmıştır. Ancak F_y ve F_z için bu değer 0,73 ile sınırlı kalmıştır. 100’ün üzerinde proses elemanı içeren topolojilerde işlem süreleri aşırı uzama eğilimine girmişlerdir. Bu nedenle ağın daha fazla büyütülmesi yerine 11 kanallı girdi veri setinin kullanılması uygun görülmüştür. Girdi parametrelerinin arttırılması ağın öngörü yeteneğini arttıracığından korelasyon katsayısı sonuçları üzerinde olumlu bir etki sağlayacaktır.

16 numaralı pist için oluşturulan 11 girdi kanallı YSA modeli üzerindeki iterasyonlara 11-[10]-3 topolojisi kullanılarak başlanılmıştır. Eğitim sürecini görselleştiren grafik Şekil 5.9’da paylaşılmıştır. Burada eğitim ve test veri setlerinin performansları görülmektedir. Grafik kararlı bir eğilim göstermiştir. Ortalama karesel hata değeri 10 iterasyon içinde hızlı bir düşüş göstermiş ancak devam eden süreçte yatay bir seyir izlemiştir. Sonuç olarak performans $okh=0,003345$ değerine ulaşılmıştır.

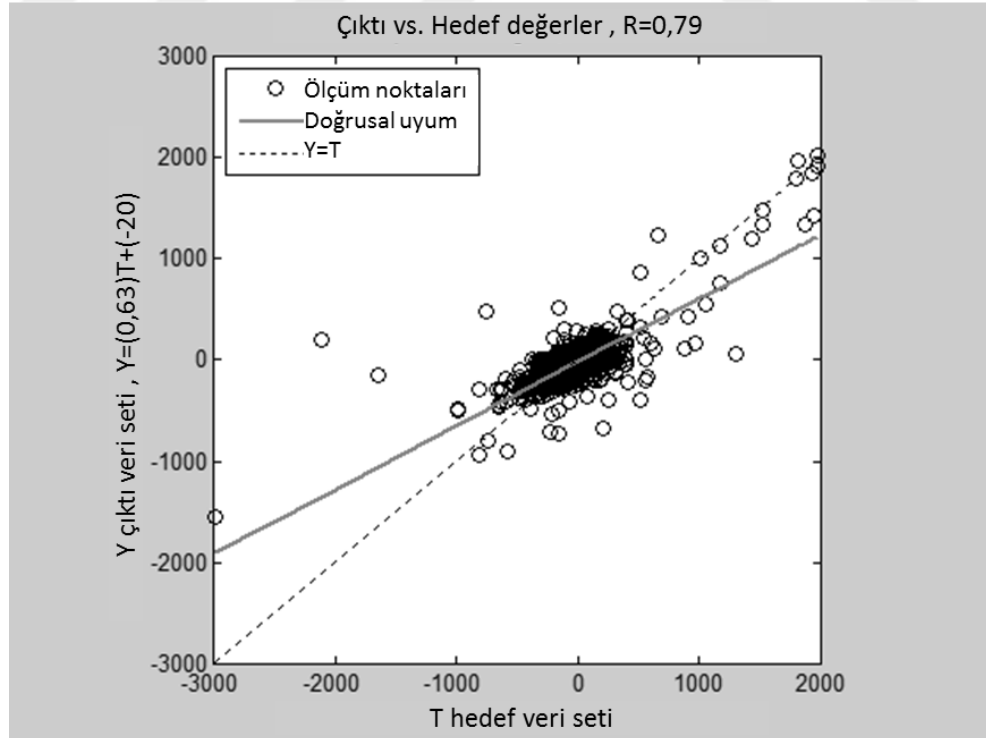


Şekil 5. 9 11-[10]-3 Topolojisine sahip modelin 16 numaralı pist için eğitim performansı ilgili eğitim prosesi tamamlandıktan sonra final veri seti ağa girdi olarak sunulmuştur. Bu set dâhilindeki veriler eğitim prosesinde ağa gösterilmemiştir. Bu sayede eğitilmiş ağın ilk defa gördüğü veriler karşısında nasıl bir performans sergilediği ölçülebilmektedir.

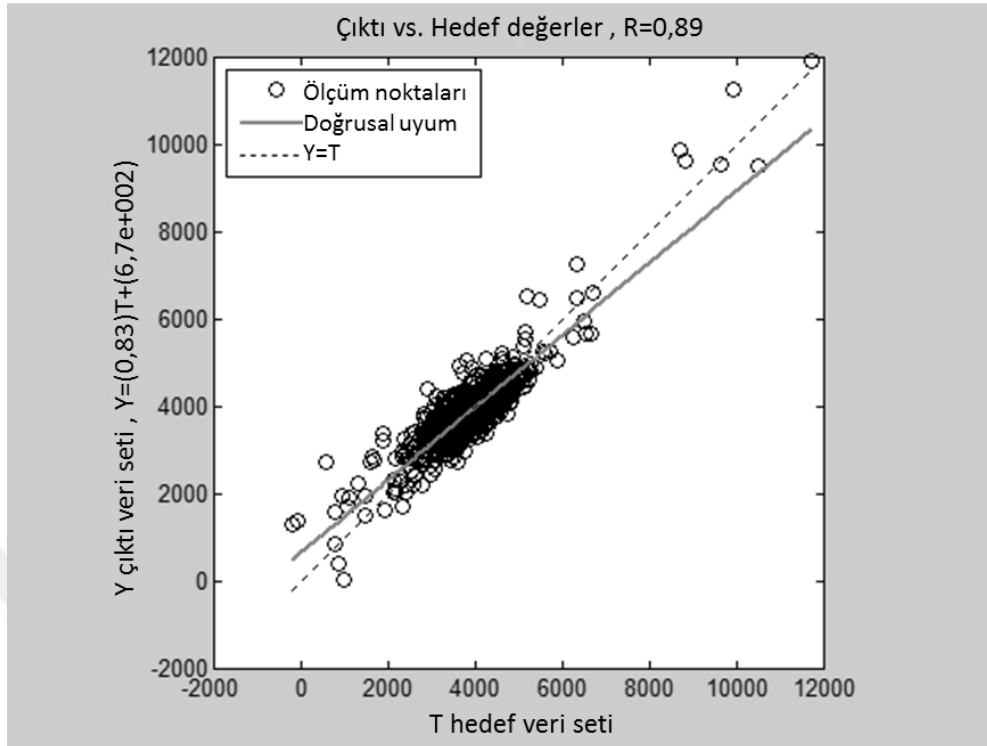
Ağın final setindeki girdileri kullanarak sağ ön teker kuvvetlerini öngörebilmesi hedeflenmektedir. Eğitilmiş ağ bu girdiler ile koşturulmuş ve kuvvet çıktıları alınmıştır. Şekil 5.10 & 11 & 12 'de gösterildiği gibi F_x , F_y ve F_z için ulaşılan korelasyon katsayıları sırasıyla 0,90 , 0,79 ve 0,89'dur. İterasyon sürecinin başında hedef olarak belirlenen 0,80 korelasyon değeri mevcut ağ topolojisi ile sağlanmıştır. Ancak ağ performansının daha da iyileştirilmesi amacıyla ağ topolojisi üzerindeki iterasyonlara devam edilmiştir.



Şekil 5. 10 11-[10]-3 Topolojisine sahip modelin 16 numaralı pist için sağ ön teker doğrusal eksenli kuvvet çıktı performansı



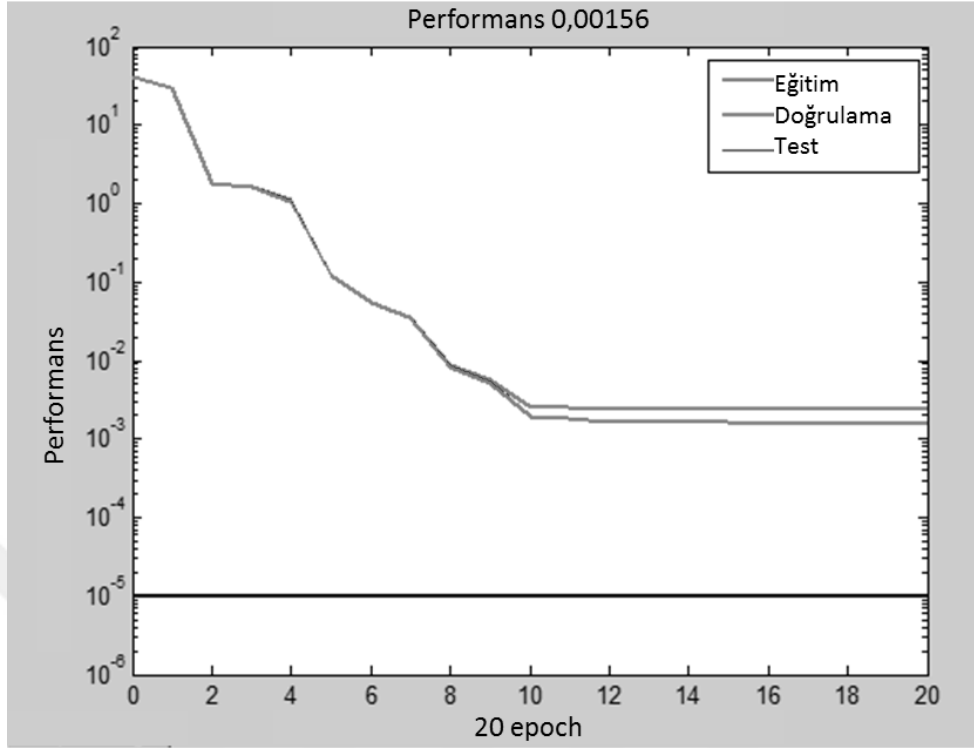
Şekil 5. 11 11-[10]-3 Topolojisine sahip modelin 16 numaralı pist için sağ ön teker yanal eksenli kuvvet çıktı performansı



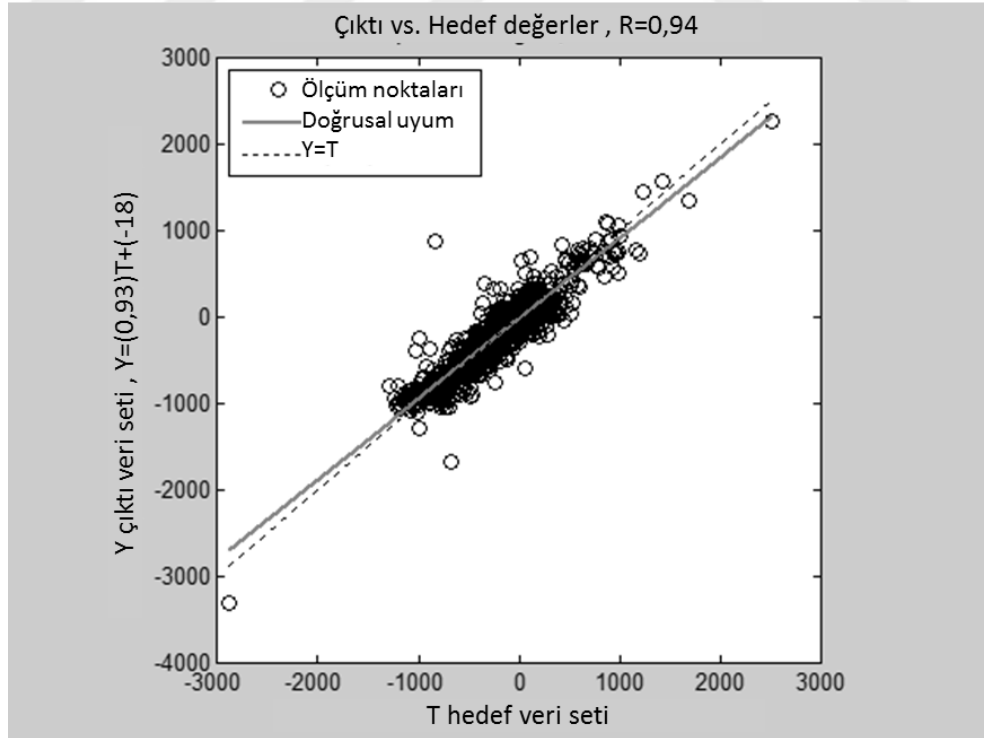
Şekil 5. 12 11-[10]-3 Topolojisine sahip modelin 16 numaralı pist için sağ ön teker dikey eksenli kuvvet çıktı performansı

Ağ performansının iyileştirilmesi amacıyla yürütülen topoloji büyütme iterasyonları sonucunda ulaşılan yapı 11-[100]-3 şeklinde ifade edilebilir. Bu topolojiye sahip modelin eğitim performansı Şekil 5.13’de verilmiştir. Ortalama karesel hata değeri 0,0015’e gerilemiştir. Hata değeri 10 nöronlu ara katman yapısına göre %55 azalmıştır.

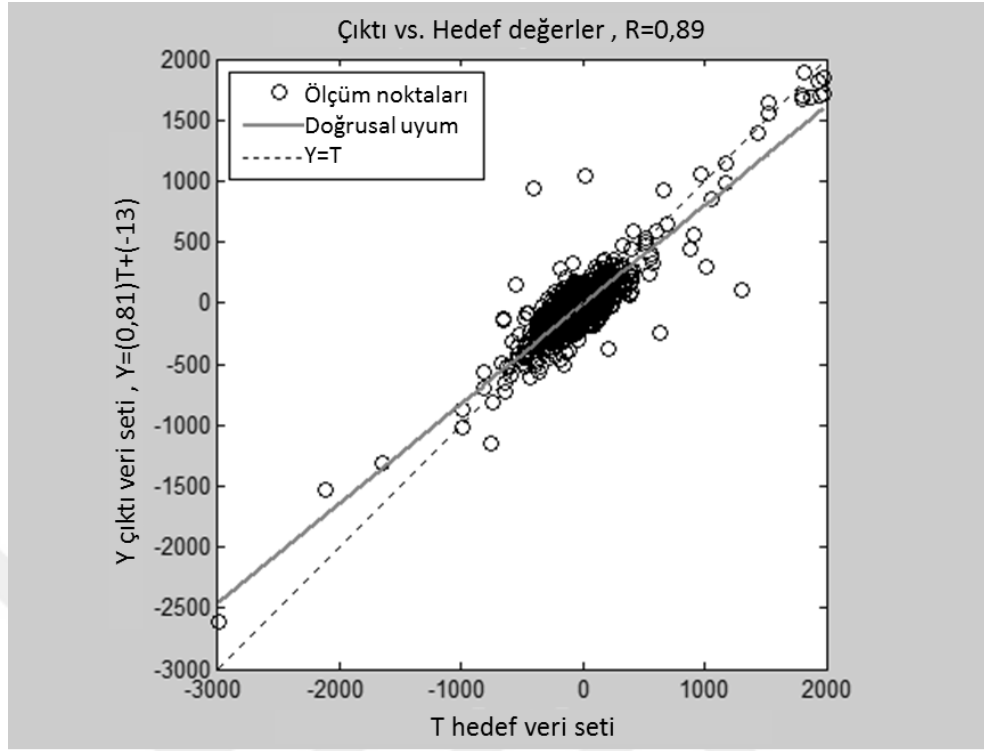
Ağın final setindeki girdileri kullanarak sağ ön teker kuvvetlerini için oluşturduğu çıktılar Şekil 5.13 & 14 & 15’de gösterilmiştir. F_x , F_y ve F_z için ulaşılan korelasyon katsayıları sırasıyla 0,94, 0,89 ve 0,92’dir. Ulaşılan bu korelasyon katsayısı değerlerinden sonra eğitim parametreleri ve ağ topolojisi üzerine yapılan iterasyonlarda dikkate değer iyileşmeler sağlanamamıştır. 11-[100]-3 yapısı hem beklenen performans değerlerini karşıladığı hem de makul işlem sürelerine sahip olmasından ötürü kullanılacak ağ yapısı olarak tercih edilmiştir.



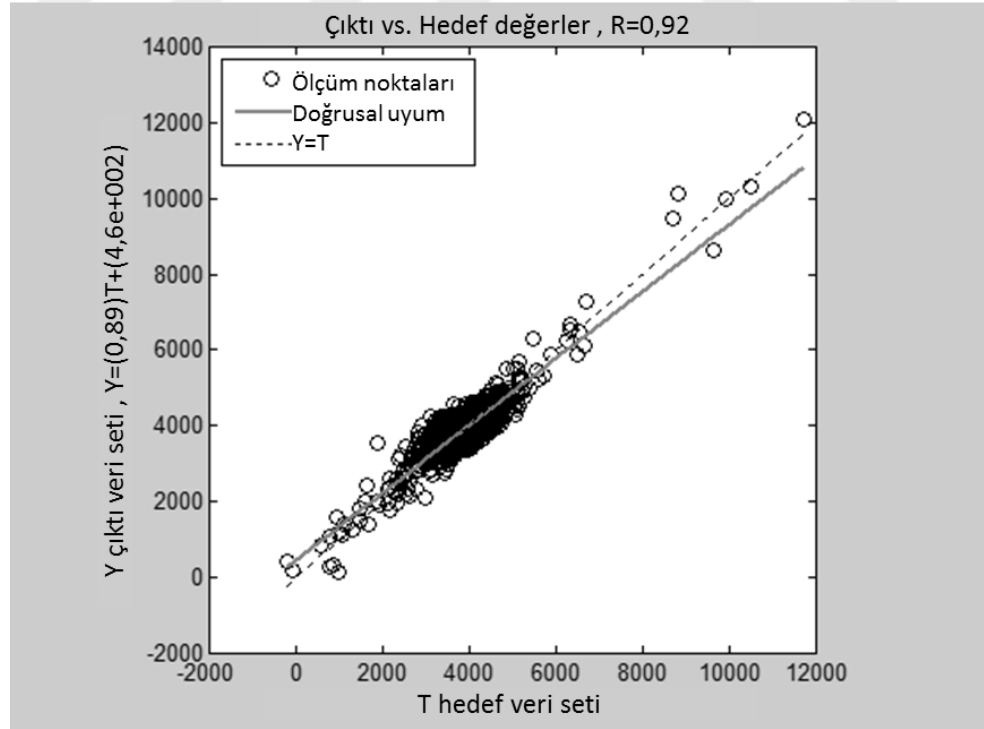
Şekil 5. 13 11-[100]-3 Topolojisine sahip modelin 16 numaralı pist için eğitim performansı



Şekil 5. 14 11-[100]-3 Topolojisine sahip modelin 16 numaralı pist için sağ ön teker doğrusal eksenli kuvvet çıktı performansı



Şekil 5. 15 11-[100]-3 Topolojisine sahip modelin 16 numaralı pist için sağ ön teker yanal eksenli kuvvet çıktı performansı



Şekil 5. 16 11-[100]-3 Topolojisine sahip modelin 16 numaralı pist için sağ ön teker dikey eksenli kuvvet çıktı performansı

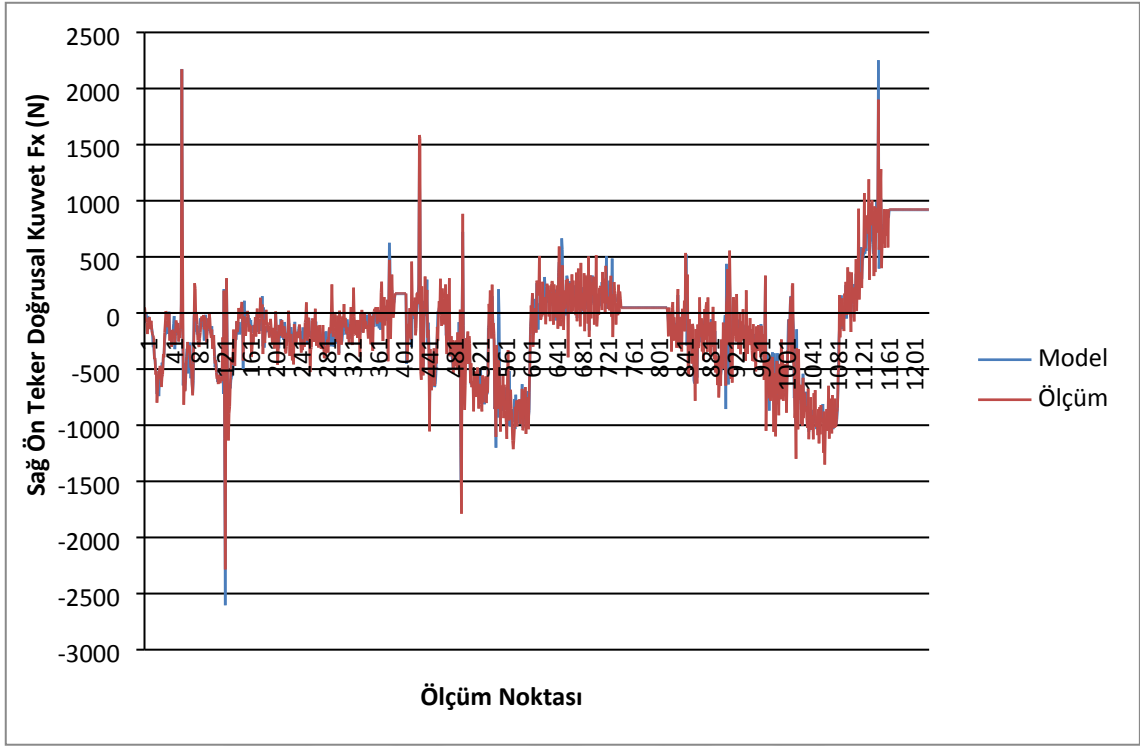
Ağ topolojisi üzerindeki benzer iterasyon süreçleri diğer pistler için de yapılmıştır. Bu iterasyonlar sonucunda hem arzu edilen korelasyon seviyesine ulaşılması ($>0,80$) hem de makul işlem zamanlarına sahip basit topolojiler kullanılması amaçlanmıştır. Tüm pist verileri için elde edilen hata ve korelasyon değerleri Çizelge 5.2’de paylaşılmıştır. Geliştirilen ağların çok büyük bir kısmında istenilen korelasyon hedeflerinin üzerinde değerler elde edildiği görülmektedir.

Çizelge 5. 2 Ağ topolojileri ve performansları

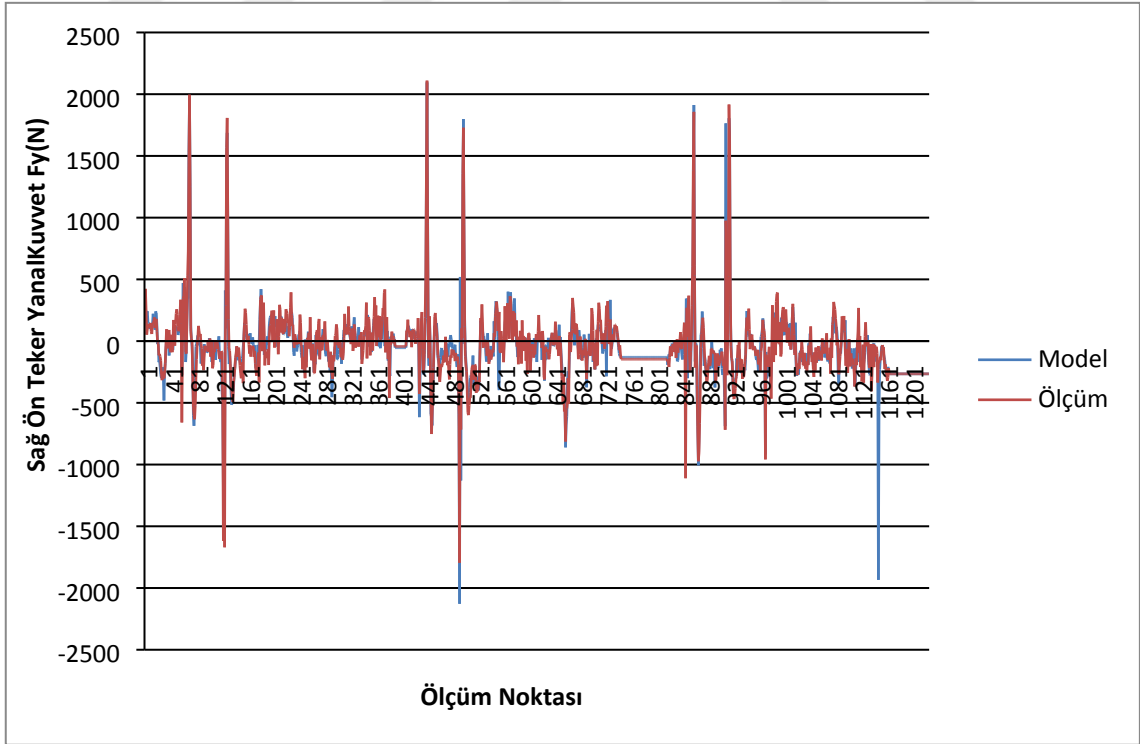
Pist No	Ağ Topolojisi	okh	R_{Fx}	R_{Fy}	R_{Fz}
Pist #2	11-[10]-3	0,002	0,97	0,99	0,99
Pist #4	11-[100]-3	0,0043	0,97	0,87	0,94
Pist #5	11-[100]-3	0,002	0,97	0,69	0,92
Pist #6	11-[100]-3	0,007	0,92	0,93	0,93
Pist #7	11-[20]-3	0,00084	0,92	0,95	0,96
Pist #8	11-[100]-3	0,001	0,97	0,98	0,99
Pist #9	11-[100]-3	0,001	0,97	0,98	0,97
Pist #10	11-[100]-3	0,005	0,88	0,84	0,93
Pist #11	11-[100]-3	0,0023	0,8	0,79	0,94
Pist #12	11-[100]-3	0,001	0,96	0,96	0,99
Pist #14	11-[100]-3	0,001	0,82	0,83	0,91
Pist #16	11-[100]-3	0,001	0,94	0,89	0,92

5.3. Ölçüm ve Model Çıktılarının Karşılaştırılması

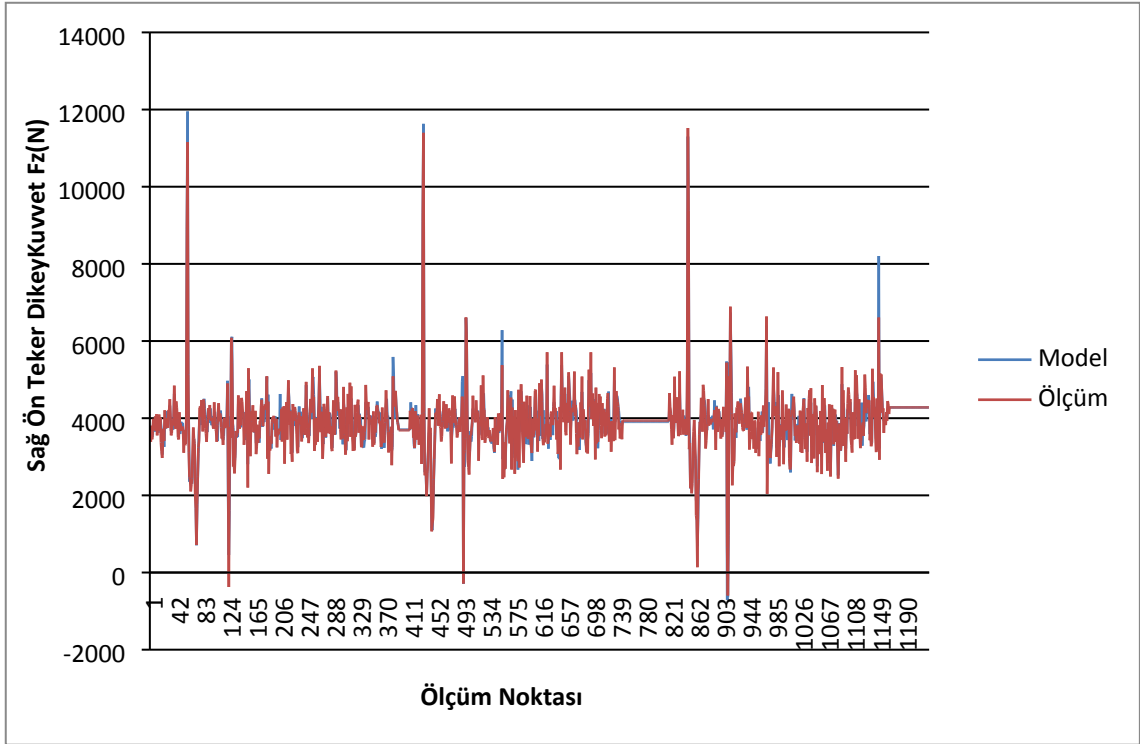
Ölçümler esnasında elde edilmiş olan yol yükü verileri ve YSA simülasyonlarından elde edilen kuvvet çıktıların karşılaştırılması bu bölümde daha detaylı bir şekilde yapılmıştır.



Şekil 5. 17 16 Numaralı pistte sağ ön teker doğrusal eksenli teker kuvveti için ölçüm ve YSA çıktıların karşılaştırılması



Şekil 5. 18 16 Numaralı pistte sağ ön teker yanıl eksenli teker kuvveti için ölçüm ve YSA çıktıların karşılaştırılması



Şekil 5. 19 16 Numaralı pistte sağ ön teker dikey eksenli teker kuvveti için ölçüm ve YSA çıktılarının karşılaştırılması

YSA modelinin doğrulamasını yapabilmek amacıyla eğitim ve test veri setleri içerisinde yer almayan ölçüm noktalarından oluşan bir final veri seti oluşturulmuştur. Bu setteki veriler YSA'a daha önce hiçbir aşamada gösterilmemiştir. Bu sayede ağın ilk defa karşılaştığı veriler karşısındaki genelleme yeteneği gözlemlenebilecektir. Bir önceki bölümde de belirtildiği üzere 16 numaralı pist örneğinde taşıt sağ ön teker F_x , F_y ve F_z kuvvetleri için korelasyon katsayısı değerleri sırasıyla 0,94, 0,89 ve 0,92 olarak bulunmuştur. Bu değerler yapılan modellemenin genel olarak yüksek bir korelasyon değerine sahip olduğunu göstermektedir. Şekil 5.17-18-19'da paylaşılan grafikler de bu uyumu doğrular niteliktedirler. Her üç eksen için ölçülen kuvvet değerleri ile YSA modeli vasıtasıyla elde edilen değerler arasında iyi bir uyum olduğu görülmektedir.

Ölçülen ve hesaplanan kuvvet değerlerinin birbirleri ile görsel olarak benzer eğilimlerde ve değerlerde olmaları yapılan modellemelerin yeterli olduğunun kesin bir göstergesi olarak görülmemelidir. Bilindiği üzere kuvvet-zaman grafiklerindeki yüksek kuvvet değerleri parça ve sistemler üzerinde oluşan hasar değerleri üzerinde belirleyici bir etkiye sahiptirler. Veriler arasındaki genel uyumun yanı sıra uç değerlerin de belli bir

uyum içerisinde olması yapılacak ömür/hasar hesaplarının doğruluğu açısından kritik öneme sahiptir. Bu amaçla ilgili kuvvet verileri potansiyel hasar yoğunluğu (PHY) metodu [57] üzerinden karşılaştırılmışlardır. PHY iki farklı kuvvet-zaman veri setinin oluşturdukları hasar etkileri açısından karşılaştırılmasına imkân veren bir metottur. Bunun için ilgili parçanın geometrisinin bilinmesine veya detaylı bir sonlu elemanlar modeline ihtiyaç duyulmaz. Veri setleri görece olarak birbirleri ile mukayese edilebilir (bir veri setinin diğerine göre daha yüksek hasar etkisine sahip olduğu şeklinde) ancak mutlak bir hasar/ömür değerine ulaşamaz. Böyle bir ihtiyaç varsa sonlu elemanlar yöntemini kullanan bilgisayar destekli analiz yöntemlerine başvurulması tavsiye edilir. 16 numaralı pist için yapılan PHY hesaplamalarının sonuçları Çizelge 5.3’de verilmiştir. Bu hesaplamada fiziksel ölçümle elde edilen kuvvet verileri ile YSA modeli tarafından hesaplanan kuvvet değerlerinin hasar etkileri karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırma her bir eksen için ayrı ayrı yapılmaktadır.

Çizelge 5. 3 16 Numaralı pist için PHY sonuçlarının karşılaştırılması

	PHY Hasar Değerleri		% Hata
	Model çıktıları	Ölçüm sonuçları	
F_x için	0,255	0,241	% 5,809
F_y için	0,224	0,313	% 28,435
F_z için	4,558	4,961	% 8,123

Öngörülen ve ölçülen verilerden hareketle hesaplanan hasar değerleri arasındaki oran her üç eksen için de 2 faktör (0,5-2) şartını sağlamaktadır. Bu durum mükemmel uyum olarak ifade edilebilir[27],[28]. Özellikle x-ekseni ve z-ekseni için elde edilen hata değerleri %10’nun altında çıkmıştır. Bu iki eksenin tam gövde yorulma analizlerindeki hasar değerleri üzerinde baskın olan girdiler olduğu düşünüldüğünde modelin doğruluk seviyesi oldukça yeterlidir. Diğer tüm pistler için yapılan PHY hesaplamalarının sonuçları Çizelge 5.4’de paylaşılmıştır.

Çizelge 5. 4 Tüm pistler için PHY sonuçlarının karşılaştırılması

		PHY Hasar Değerleri		% Hata
		Model çıktıları	Ölçüm sonuçları	
Pist # 2	F_x için	0,390	0,480	18,750
	F_y için	7,450	8,600	13,372
	F_z için	2,710	3,370	19,585

Çizelge 5. 4 Tüm pistler için PHY sonuçlarının karşılaştırılması (devamı)

		PHY Hasar Değerleri		% Hata
		Model çıktıları	Ölçüm sonuçları	
Pist #4	F _x için	0,150	0,149	0,671
	F _y için	0,040	0,052	23,077
	F _z için	1,700	1,780	4,494
Pist #5	F _x için	17,436	18,035	3,321
	F _y için	0,089	0,173	48,555
	F _z için	14,979	16,981	11,790
Pist #6	F _x için	1,128	2,134	47,142
	F _y için	0,210	0,459	54,248
	F _z için	38,852	49,211	21,050
Pist #7	F _x için	1,466	1,005	45,871
	F _y için	0,212	0,211	0,474
	F _z için	1,109	1,467	24,404
Pist #8	F _x için	0,480	0,504	4,762
	F _y için	0,380	0,366	3,825
	F _z için	6,577	6,816	3,506
Pist #9	F _x için	0,963	0,920	4,674
	F _y için	0,062	0,050	24,000
	F _z için	2,360	2,347	0,554
Pist #10	F _x için	4,417	5,019	11,994
	F _y için	0,676	0,737	8,277
	F _z için	9,158	8,805	4,009
Pist #11	F _x için	0,721	0,483	49,275
	F _y için	0,083	0,079	5,063
	F _z için	4,890	5,610	12,834
Pist #12	F _x için	0,245	0,354	30,791
	F _y için	0,331	0,317	4,416
	F _z için	0,901	0,932	3,326
Pist #14	F _x için	0,096	0,157	38,854
	F _y için	0,017	0,015	13,333
	F _z için	4,087	3,936	3,836

Çizelge 5.4’de her bir pist için paylaşılan hasar değerleri bu pistlerde atılan tek bir tur sonucunda elde edilen verilerin hasar etkilerini ifade etmektedir. Oysa asıl önemli olan test prosedüründe belirtilen tur sayılarının tamamı sonucunda oluşan nihai hasar içeriğidir. Bu amaçla yukarıda belirtilen pistlerden test prosedüründe belirtilen tur sayısı kadar geçilmesi durumunda oluşan toplam hasar sonuçları karşılaştırılmalıdır. Toplam hasar sonuçlarına bakıldığında YSA ile elde edilen verilerin oluşturduğu toplam hasar değerleri ölçülen verilerin oluşturduğu hasar etkisinin altında kalmaktadır. Hasar değerleri arasındaki hata oranları X, Y ve Z eksenleri için sırasıyla %6,9 , %15,5 ve %16,6 ‘dır.

5.4. Hasar Değerlerinin Jenerik Yükleme Metotları ile Hesaplanması

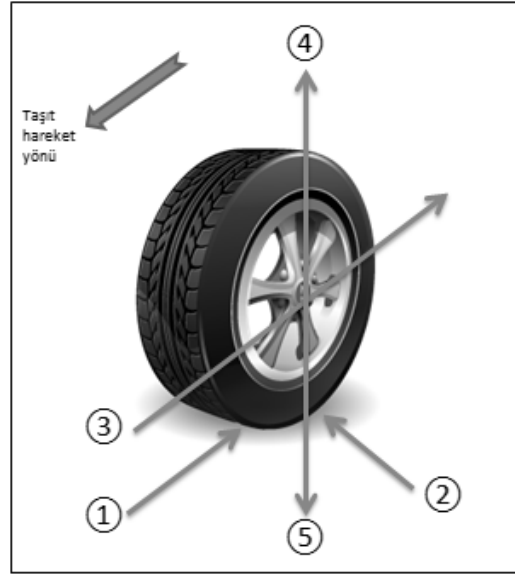
Ürün geliştirme sürecinde taşıt özelliklerinin netleşmediği, tasarım detaylarının tam olarak belli olmadığı ve prototip parça ve araçların henüz üretilmediği erken tasarım aşamalarında tasarımcı ve mühendisler yol gösterecek jenerik dayanım yüklerine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu yükler sayesinde ilk hesaplama ve tasarımların yapılması mümkün olmaktadır. Bu algoritma ve sistemler hızlı, ucuz ve pratik olarak elde edilen yükleme değerleri kullanılarak gerekli dayanım öngörülerinin yapılabilmesine olanak vermektedirler. Sağladıkları bu avantajlar açısından sonuçları bir önceki bölümde incelenen YSA modeline benzerlik göstermektedirler.

Sektörde faaliyet gösteren bir otomotiv firmasının geliştirdiği Jenerik Tasarım Yükleri Sistemi (TYS) bu bölümde incelenmiştir. Firma geliştirdiği bu jenerik yüklemeleri global ürün geliştirme prosesinde kullanmaktadır. YYS ile elde edilen sonuçlar YSA modeli ile karşılaştırılmıştır.

YYS'nin amacı bir araca etki eden temel yol yüklerini genelleştirilmiş bir algoritma ile ifade edilebilmektir. Bu sayede erken tasarım fazında kullanılabilecek bir yükleme referansı oluşturmaktadır. Yapılan farklı tasarımlar bu referans yükleme sistemi üzerinden değerlendirilerek tasarımda sağlanan gelişmeler pratik olarak izlenebilmektedir.

YYS beş farklı yükleme durumu için taşıta etki eden kuvvetleri ve bunların bir taşıt ömrü boyunca tekrar sayılarını tasarımcıya sağlamaktadır. YYS'de tanımlanan yükleme tipleri aşağıdaki gibidir:

1. Teker temas noktasına doğrusal kuvvet (x)
2. Teker temas noktasına yanal kuvvet (y)
3. Teker merkezine doğrusal kuvvet (x)
4. Tekerin/Süspansiyonun dikey eksenli sıkışma hareketi (z)
5. Tekerin/Süspansiyonun dikey eksenli açılma hareketi ($-z$)



Şekil 5. 20 TYS’de tanımlanan 5 farklı yükleme durumu

Her bir yükleme durumu için taşıta etki eden yük parametrik bir sinüs eğrisi şeklinde tanımlanmıştır. Aracın statik durumdaki aks/teker yükü kullanılarak bu eğrilerden kuvvet salınımlarının hesaplanması sağlanmaktadır. TYS ticari bir firmanın bilgi birikimi sonucu oluşturulan bir sistem olduğundan detayları bu çalışmada paylaşılamamaktadır.

TYS sisteminde tanımlanmış kuvvetlerin hasar etkileri TKS ile yoldan toplanan verilerin hasar etkileriyle ve YSA modelinin verdiği çıktı verilerinin hasar etkileri ile karşılaştırılmıştır. Bu üç farklı metot ile elde edilen verilerin PHY hesaplamalarının sonuçları Çizelge 5.5’de paylaşılmıştır.

Çizelge 5. 5 Tüm pistler için PHY sonuçlarının karşılaştırılması

	TYS PHY Sonuçları	TKS PHY Sonuçları	TYS / TKS Oranı	YSA / TKS Oranı
F_x	35,557	177,248	4,985	0,930
F_y	10,952	54,437	4,970	0,844
F_z	137,725	378,014	2,745	0,837
Ortalama	184,234	609,700	3,309	0,870

Jenerik Tasarım Yükleri Sistemi (TYS) kullanılarak hesaplanan hasar değerlerinin araç üzerinden ölçülen verilerle elde edilen hasar değerlerine kıyasla ortalama 3,3 kat daha yüksek olduğu görülmüştür. Bu durum TYS kullanılarak tamamlanan bir erken tasarım fazı sonunda oluşan parça ve sistemlerin ihtiyaç duyulunun üzerinde dayanıklı

yapılmasına neden olacaktır. Bu fazladan malzeme kullanımı, ağırlık ve maliyet artışını beraberinde getirir. Aracın ilerleyen geliştirme aşamalarında bu ilk tasarımların optimize edilmesi için yeni iterasyonların yapılması gerekli olacaktır. YSA modeli TYS'e oranla ölçülen değerlere çok daha yakın sonuçlar alınmasını sağlamıştır. Bu sayede ilk fazdan itibaren gerçek kullanım koşulları ile uyumlu bir tasarım ve geliştirme sürecinin yürütülmesine olanak sağlayacaktır.



BÖLÜM 6

SONUÇ ve ÖNERİLER

Tüm sektörlerde olduğu gibi otomotiv sektöründe de ürün tasarımlarının piyasanın genel ihtiyaçlarını, rekabet şartlarını ve müşteri beklentilerini karşılayabilecek şekilde yapılması aynı zamanda da tasarım ve geliştirme süreçlerinin kısaltılması ve maliyetlerin mümkün olduğu kadar düşürülmesi hedeflenmektedir.

YSA uygulaması kullanarak yürütülen bu çalışmanın temel amacı; elde edilmesi kolay, ucuz ve hızlı olan verilerden hareket edilerek aracın yapısal dayanım performansını belirleyen kritik yol girdilerinin tespit edilmesidir. Önceki bölümlerde yapılan karşılaştırmalar kurulan modellerin ölçülen yol verileri ile son derece uyumlu çıktılar üretebildiğini göstermiştir. Elde edilen sonuçlar Pearson çarpım-moment korelasyon katsayısı (R) üzerinden değerlendirildiğinde tüm pistlerin minimum 0,80 korelasyon değeri hedefini sağlamış olduğu görülmektedir. Doğrusal, yanal ve dikey kuvvet eksenleri için tüm pistlerin ortalama korelasyon katsayısı değerleri sırasıyla 0,92 , 0,89 ve 0,95 olmuştur.

Ölçülen ve hesaplanan kuvvet verileri arasındaki uyuma ek olarak bu verilerin hasar değerleri üzerindeki etkileri de karşılaştırılmıştır. PHY uygulaması ile yapılan bu karşılaştırmaların sonucunda doğrusal eksenli kuvvet girdilerinin (F_x) neden olduğu toplam hasar etkilerindeki ortalama hata oranı %6,9 olarak hesaplanmıştır. Aynı değer yanal kuvvetler (F_y) için %15,5 'dir. Yapısal dayanım testlerinde ve analizlerinde en baskın etkiye sahip bileşen olan dikey eksenli girdilerdeki (F_z) ortalama hata değeri ise %16,6 'dir. Bu oldukça düşük bir hata oranıdır.

Bu durum başta dikey eksenli kuvvet girdileri olmak üzere her üç eksen için de kabul edilebilir hata oranları içinde öngörüler yapılabildiğini göstermektedir. Bu çalışmada açıklanan yaklaşım sayesinde minimum veri kanalı kullanılarak müşteri kullanımını ifade edecek çok sayıdaki bilginin öngörülebileceğı gösterilmiştir. Araç üzerinden toplanacak veri kanallarının minimize edilmesi ürün geliştirme süreçlerinde harcanan zaman ve maliyet değerlerinin düşürülmesine imkân tanıyacaktır. Elde edilen bu kazançlar sayesinde yapılması zor ve masraflı olan uzun süreli yol yükü verisi ölçümleri yapılabilecektir.



KAYNAKLAR

- [1]T.C. Sanayi ve Ticaret Bakanlığı Sanayi Genel Müdürlüğü, (2011). T.C. Türkiye Otomotiv Sektörü Strateji Belgesi ve Eylem Planı 2011-2014, Ankara.
- [2]T.C. Bilim Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı Sanayi Genel Müdürlüğü, (2012). Otomotiv Sektörü Raporu 2012/2, Ankara.
- [3]Görener, A. ve Görener, Ö., (2008). "The Contributions of Automotive Industry In Turkish Economy and Sectoral Expectances About The Future", Journal of Yaşar University, 3(10): 1213-1232.
- [4]Bayram, T. ve Koyuncu, M. L., (2008). "Traktör Saha Testinin Laboratuarda Hızlandırılmış Olarak Gerçekleştirilmesi", Otekon 2008 4. Otomotiv Teknolojileri Kongresi, Uludağ Üniversitesi, 01-04 Haziran 2008, Bursa.
- [5]Berger, C. , Eulitz, K. G. , Heuler, P. , Kotte, K. L. , Naundorf, H. , Schuetz, W. , Sonsino, C. M. , Wimmer, A. ve Zenner, H., (2002). "Betriebsfestigkeit in Germant – An Overview", International Journal of Fatigue, 24(2002): 603-625.
- [6]Haiba, M. , Barton, D. C. , Brooks, P. C. ve Levesley, M. C., (2002). "Review of Life Assessment Techniques Applied to Dynamically Loaded Automotive Components", Computers and Structures, 80(2002): 481-494.
- [7]Cosme, C. , Ghasemi, A. ve Gandevia, J., (1999). "Application of Computer Aided Engineering in The Design of Heavy Duty Truck Frames", Society of Automotive Engineers, SAE:1999-01-3760.
- [8]PTC Corporate , Pro/Engineer , <http://www.ptc.com/product/creo/proengineer> , 10 Mayıs 2015.
- [9]MSC Software Corporation , ADAMS , <http://www.mscsoftware.com/product/adams> , 10 Mayıs 2015.
- [10]ANSYS Inc. , ANSYS , <http://www.ansys.com/Products/Simulation+Technology/Structural+Analysis/ANSYS+Mechanical> , 10 Mayıs 2015.
- [11]Deakin, A. , Crolla, D. , Ramirez, J. P. ve Hanley, R., (2000). "The Effect of Chassis Stiffness on Race Car Handling Balance", Society of Automotive Engineers, SAE:2000-01-3554.
- [12]MSC Software Corporation , ADAMS/Flex , <http://www.mscsoftware.com/Flexible-Multibody-Systems-Adams> , 10 Mayıs 2015.

- [13]Vidal, F. A. C. ve Palma E. S., (2001). "Fatigue Damage on Vehicle's Body Shell: A Correlation Between Durability and Torsion Tests", Society of Automotive Engineers, SAE:2001-01-1100.
- [14]Potukutchi, R. , Pal, K. , Agrawal, H. ve Perumalswami, P., (2006). "Practical Approach for Fast Durability Analysis and Iterations", Society of Automotive Engineers, SAE:2006-01-0784.
- [15]You, S. ve Joo, S. G., (2006). "Virtual Testing and Correlation with Spindle Coupled Full Vehicle Testing System", Society of Automotive Engineers, SAE:2006-01-0993.
- [16]MSC Software Corporation , ADAMS/Car , <http://www.mscsoftware.com/products/adamscar> , 10 Mayıs 2015.
- [17]Joo, S. G. , You, S. , Albright, J. ve Leser, C., (2003). "Integration of Physical and Virtual Tools for Virtual Prototype Validation and Model Improvement", Society of Automotive Engineers, SAE:2003-01-2813.
- [18]Devarajan, G. ve Dodds, C. J., (2008). "Suspension Testing Using Wheel Forces on A 3 DOF Road Load Simulator", Society of Automotive Engineers, SAE:2008-01-0223.
- [19]Ensor, D. , Cook, C. ve Birtles, M., (2005). "Optimising Simulation and Test Techniques for Efficient Vehicle Durability Design and Development", Society of Automotive Engineers, SAE:2005-26-042.
- [20]Cao, C. , Ghosh, S. , Rao, R. ve Medepalli, S., (2005). "Truck Body Mount Load Prediction from Wheel Force Transducer Measurements", Society of Automotive Engineers, SAE:2005-01-1404.
- [21]MSC Software Corporation , NASTRAN , <http://www.mscsoftware.com/products/msc-nastran> , 10 Mayıs 2015.
- [22]Backer, M. , Möller, R. , Kienert, M. , Bayram, B. , Özkaynak, M. U. ve Yaman, H., (2007). "Load Identification for CAE Based Fatigue Life Prediction of A New Bus Type", Society of Automotive Engineers, SAE:2007-01-4281.
- [23]Applus IDIADA Proving Ground Spain , http://www.applusidiada.com/en/activity/Proving_ground-1328274726564 , 10 Mayıs 2015.
- [24]Siemens PLM Software , LMS Virtual Lab , http://www.plm.automation.siemens.com/en_us/products/lms/virtual-lab/index.shtml , 10 Mayıs 2015.
- [25]Lin, S. H. , Cheng, C. G. , Liao, C. Y. ve Shan, Y. F., (2007). "CAE Analyses for Suspension System and Full Vehicle Under Durability Road Load Conditions", Society of Automotive Engineers, SAE:2007-01-1649.
- [26]Wannenburg, J. , Heyns, P. S. ve Raath, A. D., (2009). "Application of a Fatigue Equivalent Static Load Methodology for The Numerical Durability Assessment of Heavy Vehicle Structures", International Journal of Fatigue, 31(2009): 1541-1549.
- [27]Halfpenny, A. , Hussain, S. , McDougall, S. ve Pompetzki, M., (2010). "Investigation of The Durability Transfer Concept for Vehicle Prognostic Applications", NDIA 2010

Ground Vehicle Systems Engineering and Technology Symposium, National Defense Industrial Association, 17-19 August 2010, Dearborn, Michigan.

[28]Halfpenny, A. ve Pompetzki, M., (2011). "Proving Ground Optimization and Damage Correlation with Customer Usage", Society of Automotive Engineers, SAE:2011-01-0484.

[29]Londhe, A. , Kangde, S. ve Karthikeyan, K., (2011). "Deriving The Compressed Accelerated Test Cycle from Measured Road Load Data", Society of Automotive Engineers, SAE:2012-01-0063.

[30]Tiwari, S. ve Dubey, A., (2011). "FEA Based Durability Evaluation of HD Tipper Chassis and Cab Through Correlated Transient and Fatigue Analysis", Society of Automotive Engineers, SAE:2011-26-0013.

[31]HBM Inc. , nCode , <http://www.ncode.com/en/products/> , 10 Mayıs 2015.

[32]You, S. S. ve Fricke, D., "Advances of Virtual Testing and Hybrid Simulation in Automotive Performance and Durability Evaluation", (2011). Society of Automotive Engineers, SAE:2011-01-0029.

[33]Fricke, D. ve Frost, M., "Development of A Full Vehicle Hybrid Simulation Testing Using Hybrid System Response Convergence (HSRC)", (2012). Society of Automotive Engineers, SAE:2012-01-0763.

[34]Ariduru, S., (2004). Fatigue Life Calculation by Rainflow Cycle Counting Method, Master Thesis, Middle East Technical University, Ankara.

[35]Marquardt, C. ve Zenner, H., (2005). "Lifetime Calculation Under Variable Amplitude Loading with The Application of Artificial Neural Networks", International Journal of Fatigue, 27(2005): 920-927.

[36]Sivakumar, B. , Anoop, P. P. , Ravindra, V. K. ve Sasun, C., (2012). "Accurate Estimation of Time Histories for Improved Durability Prediction Using Artificial Neural Networks", Society of Automotive Engineers, SAE:2012-01-0023.

[37]Park, J. M. ve Kang, H. T., (2007). "Prediction of Fatigue Life for Spot Welds Using Back Propagation Neural Networks", Materials and Design, 28(2007): 2577-2584.

[38]Abdalla, J. A. ve Hawileh, R., (2011). "Modeling and Simulation of Low Cycle Fatigue Life of Steel Reinforcing Bars Using Artificial Neural Networks", Journal of The Franklin Institute, 348(2011): 1393-1403.

[39]Öztemel, E., (2006). Yapay Sinir Ağları, Papatya Yayıncılık Eğitim, Türkiye.

[40]Marquardt, C. ve Zenner, H., (2004). "Lifetime Calculation Under Variable Amplitude Loading with The Application of Artificial Neural Networks", International Journal of Fatigue, 27(2005): 920-927.

[41]Acar, A., (2015). Nörolojiye Giriş-Ders notu, Dicle Üniversitesi Tıp Fakültesi, Diyarbakır.

[42]Saraç, T., (2004). Yapay Sinir Ağları, Seminer Projesi, Gazi Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü Ana Bilim Dalı, Ankara.

- [43]Kasabov, N. K., (1996). Foundations of Neural Networks, Fuzzy sysems and Knowledge Engineering, The MIT Press, Massachusetts.
- [44]Yurtoğlu, H., (2005). Yapay Sinir Ağları Metodolojisi ile Öngörü Modellemesi: Bazı Makroekonomik Değişkenler İçin Türkiye Örneği, Uzmanlık Tezi, Devlet Planlama Teşkilatı Ekonomik Modeller ve Stratejik Araştırmalar Genel Müdürlüğü, Ankara.
- [45]Erdem, O. A. ve Uzun, E., (2005). "Turkish Times New Roman, Arial and Handwriting Characters Recognition by Neural Network", Journal of Fac. Eng. Arch. Gazi University, 20(2005): 13-19.
- [46]Lolas, S. ve Olatunbosun, O. A., (2008). "Prediction of Vehicle Reliability Performance Using Artificial Neural Networks", Expert Systems with Applications, 34(2008): 2360-2369.
- [47]Rafiq, M. Y. , Bugmann, G. ve Easterbrook, D. J., (2001). "Neural Network Design for Engineering Applications", Computers and Structures, 79(2001): 1541-1552.
- [48]Pujol, J. C. F. ve Pinto, J. M. A., (2011). "A Neural Network Approach to Fatigue Life Prediction", International Journal of Fatigue, 33(2011): 313-322.
- [49]Yavuz, S. ve Deveci, M., (2012). "The Effect of Statistical Normalization Techniques on The Performance of Artifical Neural Network", Journal of Faculty of Economics and Administrative Sciences Erciyes University, 40(2012): 167-187.
- [50]Wu, J. D. ve Liu, J. C., (2011). "Development of A Predictive System for Car Fuel Consumption Using An Artificial Neural Network", Expert Systems with Applications, 38(2011): 4967-4971.
- [51]Dreyfus, G., (2005). Neural Networks Mehodology and Applications, Springer, Germany.
- [52]Harun, M. I., Hoon, K. N., Cheen, W. Q. ve Suyin, G., (2011). "Artificial Neural Networks Modelling of Engine Out Responses for Diesel Engine Fuelled with Biodiesel Blends", Applied Energy, 2011.08.027.
- [53]Akbıyık, C., (2015). İstatistik 1-Ders notu, Erciyes Üniversitesi Eğitim Fakültesi, Kayseri.
- [54]Tarkun, E. T., (1996). "Alternatif Korelasyon Teknikleri ", M. Ü. Atatürk Eğitim Fakültesi Eğitim Bilimleri Dergisi, 8(1996): 237-249.
- [55]Bulucu, U. ve Kavas, A., (2007). "Kablosuz Ağ Kapsaması için YSA (Yapay Sinir Ağ) Modeli Kullanılarak Propagasyon Kayıplarının Hesaplanması", 3. İletişim Teknolojileri Ulusal Sempozyumu, 18-19 Ekim 2007, Ankara.
- [56]Kistler Instruments, Kistler RoaDyn S625 System 2000 , http://www.kistler.com/tr/en/applications/automotive-research-test/vehicle-dynamics-durability/durability-testing/products/#roa_dyn-s625-system-2000-9266a1 , 10 Mayıs 2015
- [57]HBM nCode International, (2008). GlyphWorks 5.0 Userguide, U.S.A.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı :Berk ÖZOĞUZ
Doğum Tarihi ve Yeri :18.11.1983 İstanbul
Yabancı Dili :İngilizce
E-posta :berkozoguz@yahoo.com

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Y. Lisans	Makine Mühendisliği Enerji Makineleri	Yıldız Teknik Üniversitesi	2007
Lisans	Makine Mühendisliği	Yıldız Teknik Üniversitesi	2005
Lise	Fen Bilimleri	FMV Nişantaşı Işık Lisesi	2001

İŞ TECRÜBESİ

Yıl	Firma/Kurum	Görevi
2011-devam ediyor	Ford Otosan A.Ş.	Araç Dayanım Ekip Lideri
2010-2011	Ford Otosan A.Ş.	Ürün Geliştirme Müh. Yapısal Dayanım Ekibi
2005-2010	Yıldız Teknik Üniversitesi	Araştırma Görevlisi

YAYINLARI

Makale

B.,ÖZOĞUZ, (2008). “Türkiye Kara Yollarında Oluşan Emisyon Miktarının Belirlenmesi ve Emisyon Azaltım Senaryoları”, Sigma Journal of Engineering and Natural Sciences, Vol:26, Issue:3, p:198-205.

M., ÖZKAN, B., ÖZOĞUZ, O., ÖZENER, (2009). “Modelling The Effects On Fuel Costs When Farmers Produce Their Own Biodiesel Fuel”, 3rd International Symposium On Environment, Athens, 22-25 May 2008, Environmental Engineering and Management, p:67-76, ISBN: 978-960-6672-58-3.

M., ÖZKAN, O., ÖZENER, B., ÖZOĞUZ, L., YÜKSEK, (2009). “Comparison Of Fuel Consumption And Emissions Of An Urban Bus Fuelled With Diesel And Biodiesel”, 3rd International Symposium On Environment, Athens, 22-25 May 2008, Environmental Engineering and Management, p:49-66, ISBN: 978-960-6672-58-3.

L., YÜKSEK, H., KALELİ, O., ÖZENER, B., ÖZOĞUZ, (2009). “The Effect and Comparison of Biodiesel-Diesel Fuel on Crankcase Oil, Diesel Engine Performance and Emissions”, 11th International Conference on Tribology – SERBIATRIB’09, FME Transactions, Vol:37, Number:2, p:91-97.