

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**MEKANİK SÜSPANSİYONLU KAMYONLAR İÇİN OTOMATİK DİNGİL
İNDİRME SİSTEMİ ALTYAPISININ OLUŞTURULMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Osman Uğur ACAR

Kontrol ve Otomasyon Mühendisliği Anabilim Dalı

Kontrol ve Otomasyon Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Erdinç ALTUĞ

EKİM 2013

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**MEKANİK SÜSPANSİYONLU KAMYONLAR İÇİN OTOMATİK DİNGİL
İNDİRME SİSTEMİ ALTYAPISININ OLUŞTURULMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Osman Uğur ACAR
(504101122)**

Kontrol ve Otomasyon Mühendisliği Anabilim Dalı

Kontrol ve Otomasyon Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Erdinç ALTUĞ

EKİM 2013

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 504101122 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi **Osman Uğur ACAR**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “**MEKANİK SÜSPANSİYONLU KAMYONLAR İÇİN OTOMATİK DİNGİL İNDİRME SİSTEMİ ALTYAPISININ OLUŞTURULMASI**” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Doç. Dr. Erdinç ALTUĞ**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Leyla GÖREN**
İstanbul Teknik Üniversitesi

.....
Prof. Dr. Levent GÜVENÇ
Okan Üniversitesi

Teslim Tarihi : **03 Mayıs 2013**
Savunma Tarihi : **22 Ekim 2013**

ÖNSÖZ

00905.STZ.2011–1 numaralı SANTEZ projesine katkılarından dolayı Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı'na, Ford Otomotiv Sanayi A.Ş.'ne ve laboratuvar kullanımı ve diğer konularda yardımlarını esirgemeyen İstanbul Okan Üniversitesi'ne teşekkür ederim.

Yollarımızın kesiştiği andan itibaren bilgilerini benimle paylaşmaktan çekinmeyen, fikirleriyle bakış açımı genişletip zenginleştiren ve tez çalışmam süresince sabırla desteklerini sürdüren Prof. Dr. Levent GÜVENÇ ve Doç. Dr. Erdinç ALTUĞ hocalarıma ayrıca teşekkürlerimi sunarım.

Ekim 2013

Osman Uğur ACAR
(Mekatronik Mühendisi)

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	v
İÇİNDEKİLER	vii
ŞEKİL LİSTESİ.....	x
ÖZET.....	xiii
SUMMARY	xv
1 GİRİŞ	1
2 KÜTLE VE BOYUTLAR YÖNETMELİĞİ Hata! Yer işareti tanımlanmamış.	
3 OTOMATİK DİNGİL İNDİRME SİSTEMİ	5
3.1 Mevcut Çözümler.....	6
3.2 Önerilen Çözümler	8
4 OTOMATİK DİNGİL İNDİRME SİSTEMİNİN GENEL YAPISI	11
4.1 Dingil İndirme Sistemi	12
4.2 Dingil Yüklerinin Belirlenmesi.....	13
4.2.1 Gerinim ölçer (strain gauge)	14
4.2.2 Yük hücresi (load cell)	15
4.2.3 Yer değiştirme sensörleri	16
4.2.3.1 Elektronik kontrollü havalı süspansiyon sensörü (wabco ecas sensör).....	16
4.2.3.2 Seviye belirleme sensörü (Knorr Bremse Elc level sensor).....	17
4.3 Algoritma	17
5 DENEYSEL SİSTEM ALTYAPISI	23
5.1 Elektronik Donanım Altyapısı	23
5.1.1 Elektronik denetleyici birimi.....	23
5.1.1.1 Elektronik kontrol birimi (OpenECU)	23
5.1.1.1 Mikrodenetleyici tabanlı kontrol devresi	24
5.1.2 Yardımcı elektronik devreler	25
5.1.2.1 Frekans ölçer devre	25
5.1.2.2 Yetkilendirme devresi	26
5.2 Yazılım Altyapısı	27
5.2.1 Proteus.....	27
5.2.2 CCS C derleyici	28
5.2.3 Visual Basic 6.0	29
5.2.4 ATI Vision	31
5.2.5 MATLAB/Simulink	32
6 DENEYSEL ÇALIŞMA	33
6.1 Veri Toplama Prosedürü	34
6.2 TruckMaker Yazılımı Üzerinden Veri Toplama ve Değerlendirme İşlemi	36
6.2.1 Veri toplama işlemleri.....	37
6.2.2 Veri analizi ve değerlendirme	42
6.3 Algoritma Testi	44

7 SONUÇLAR VE ÖNERİLER	57
KAYNAKLAR.....	59
ÖZGEÇMİŞ.....	61

KISALTMALAR

EU	: European Commision
ECU	: Electronic Control Unit
TCS	: Traction Control System
CAN	: Controlled Area Network
CCP	: CAN Calibration Protocol
ECAS	: Electronically Controlled Air Suspension
EKHS	: Elektronik Kontrollü Havalı Süspansiyon

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 3.1 : P200M Proviso Plus.....	7
Şekil 3.2 : Otomatik dingil kaldırma kontrol kiti(Automatic lift axle control kit).....	8
Şekil 3.3 : Patenti alınmış bir sisteme ait dingil indirme mekanizması	8
Şekil 3.4 : Tandem yapıya sahip mekanik süspansiyon	9
Şekil 4.1 : Otomatik dingil indirme sisteminin genel yapısı	11
Şekil 4.2 : Havalı süspansiyon yapısına bir örnek	12
Şekil 4.3 : Gerinim ölçerin dingil üzerindeki konumu.....	14
Şekil 4.4 : Yük Hücresi	15
Şekil 4.5 : Elektronik kontrollü havalı süspansiyon (EKHS) sensörü yapısı.....	16
Şekil 4.6 : Seviye belirleme sensörü yapısı.....	17
Şekil 4.7 : 8x2 konfigürasyona sahip bir kamyon.....	18
Şekil 4.8 : Ağırlık koşullarına göre dingil konfigürasyonları	19
Şekil 4.9 : Durum Geçiş Diyagramı	19
Şekil 4.10 : Otomatik dingil indirme sisteminin akış diyagramı.....	21
Şekil 5.1 : Open ECU kontrol birimi.....	24
Şekil 5.2 : Mikrodenetleyici tabanlı veri toplama ve test devresi	25
Şekil 5.3 : Frekans ölçer devre	25
Şekil 5.4 : Sürücü yetkilendirme ve güç devresi - şema	26
Şekil 5.5 : Sürücü yetkilendirme ve güç devresi	27
Şekil 5.6 : Mikrodenetleyici tabanlı kontrol devresinin tasarım ve üretim aşamaları	28
Şekil 5.7 : CCS C derleyicisinden bir ekran görüntüsü.....	29
Şekil 5.8 : Veri toplama yazılımının giriş ekranı	30
Şekil 5.9 : Veri toplama yazılımının arayüzü.....	30
Şekil 5.10 : ATI Vision OpenECU bağlantısı	31
Şekil 5.11 : MATLAB/Simulink ortamından bir görüntü.....	32
Şekil 6.1 : Araç üzerinde temsili sensör yerleşimleri.....	33
Şekil 6.2 : Ağırlık pedlerinin araçtaki yerleşimleri	34
Şekil 6.3 : Veri toplama ve ilişkilendirme prosedürü.....	35
Şekil 6.4 : Çeşitli ağırlık senaryoları ve uygulamadan bir örnek resim	36
Şekil 6.5 : Arka aks yapısından toplanan verilerdeki histeresiz eğrisi	36
Şekil 6.6 : MATLAB/Simulink ortamında TruckMaker üzerinden veri toplanması	38
Şekil 6.7 : MATLAB/Simulink simulasyonuna Joystick girişlerinin dahil edilmesi	38
Şekil 6.8 : Joystick verilerinin TruckMaker giriş parametrelerine dönüştürülmesi ...	39
Şekil 6.9 : Simulasyon giriş bilgilerinin TruckMaker'a aktarılması	39
Şekil 6.10 : TruckMaker yazılımında yük yerleştirilmesi ve koordinat sistemi	40
Şekil 6.11 : TruckMaker'dan Simulink ortamına veri aktarılması.....	41
Şekil 6.12 : TruckMaker'dan alınan verilerin kayıt altına alınması.....	41
Şekil 6.13 : Dingil 1'e ait sanal test verileri ve eğri modellemesi	42
Şekil 6.14 : Dingil 2'e ait sanal test verileri ve eğri modellemesi	43
Şekil 6.15 : Dingil 3'e ait sanal test verileri ve eğri modellemesi	43
Şekil 6.16 : Dingil 4'e ait sanal test verileri ve eğri modellemesi	43
Şekil 6.17 : Algoritma test ortamı	44

Şekil 6.18 : Simulasyon sonucu	45
Şekil 6.19 : Simulasyon sisteminin genel şeması	46
Şekil 6.20 : Otomatik dingil indirme sistemi algoritmasının test edildiği Simulink diyagramı.....	46
Şekil 6.21 : Joystick girişlerinin simulasyon için anlamlı verilere dönüştürülmesi...	47
Şekil 6.22 : Yük ve dingil konumları ile ilgili bilgilerin Simulink ortamından TruckMaker ortamına aktarılması	47
Şekil 6.23 : TruckMaker parametrelerinin Simulink ortamına aktarılması	48
Şekil 6.24 : Simulasyon verilerinin kaydedilmesi	49
Şekil 6.25 : Algoritmada kullanılacak verilerin mikrodenetleyiciye gönderilmesi ...	49
Şekil 6.26 : Mikrodenetleyici devresinden Simulink ve TruckMaker yazılımlarına komut gönderilmesi.....	50
Şekil 6.27 : TruckMaker simulasyon test parkuru	51
Şekil 6.28 : Aracın zamana bağlı hız ve ağırlık bilgileri.....	51
Şekil 6.29 : TruckMaker simulasyonu sırasında üretilen komut ve sinyal bilgileri...	52
Şekil 6.30 : Sinyal ve komut durumları – Bölüm 1.....	53
Şekil 6.31 : Sinyal ve komut durumları – Bölüm 2.....	54
Şekil 6.32 : Sinyal ve komut durumları – Bölüm 3.....	55

MEKANİK SÜSPANSİYONLU KAMYONLAR İÇİN OTOMATİK DİNGİL İNDİRME SİSTEMİ ALTYAPISININ OLUŞTURULMASI

ÖZET

Aşırı ve/veya yanlış yüklenmiş bir ağır yük taşıtının karayollarına ve köprü geçitlerine zarar verdiği ve ömrünü kısalttığı bilinmektedir ve bu durum bir çok araştırmanın sonucunda da ispatlanmıştır. Dingil yükleriyle ilgili her ne kadar karayolları üzerinde denetim noktaları oluşturulsa da ağır taşıtların tamamının denetlenmesi mümkün olmamaktadır. Ağır taşıt sürücülerinin bilinçlendirilmesi ve yasal yaptırımlarla yaşanabilecek olumsuzlukların büyük bir kısmının azaltılabilecek olması ile birlikte dingillere düşen yüklerin kullanıcı inisiyatifine bırakılması olası sorunları da hiç kuşkusuz beraberinde getirecektir. Bu gibi sebeplerden dolayı kamyonlarda dingil ağırlıklarını düzenleyecek sistemlerin bulunmasının bir ihtiyaç haline geldiği düşünülmektedir. Avrupa Komisyonu tarafından hazırlanan Kütle ve Boyutlar yönetmeliği ile ilişkili olarak ülkemizde 2014 yılında, kamyonlarda otomatik dingil indirme sistemlerinin bulunmasının yasal bir zorunluluk haline gelmesi beklenmektedir. Otomatik dingil indirme sistemlerinin ana amacı dingillere düşen yükleri düzenleyerek, dingil yüklerinin yasal sınırların altında kalmasını sağlamaktır. Otomatik dingil indirme sistemi, dingillere düşen yükleri kullanıcıdan bağımsız olarak düzenler. Yasal sınırlara göre düzenlenmiş bir otomatik dingil indirme sisteminin kullanıcı hatalarını ve ihmallerini en aza indirmesi beklenebilir.

Otomatik dingil indirme sisteminin dünya genelinde birçok uygulaması vardır. Yaygın olmasından dolayı genellikle havalı süspansiyona sahip sistemlerde uygulanmaktadır. Havalı süspansiyonu oluşturan bileşenlerin yapısal özelliklerinin hesaplanabilir ve tahmin edilebilir bir karakteristiğe sahip olması otomatik dingil indirme sistemlerinin uygulanabilirliğini artırmakta ve var olan sistemlere uyarlanabilmesini kolaylaştırmaktadır. Mekanik süspansiyona sahip kamyonlarda ise durum biraz daha farklıdır. Bu tip süspansiyona sahip kamyonlarda yük taşıma kapasitesinin yüksek olmasından ve dayanıklılığından dolayı üst üste dizilmiş yaprak yaylardan oluşan bir yapı yaygın olarak kullanılmaktadır. Ağır yük altında çalışacak dingillere yakın konumlandırılan bir başka dingil, farklı yol koşullarında yük dağılımının daha orantılı yapılabilmesi için terazi benzeri bir yapıyla süspansiyon yapısına dahil olabilir. Bu şekilde oluşan bir süspansiyon sisteminin sahip olduğu karakteristik, bir otomatik dingil indirme sisteminin sahip olması gereken en kritik özelliklerden biri olan ağırlık tahmin mekanizmasını olumsuz etkilemektedir. Bu durum, mekanik süspansiyona sahip araçlarda otomatik dingil indirme sistemi uygulamasının bulunmamasını açıklayabilir.

Türkiye'nin de dahil olduğu bir çok ülkede, mekanik süspansiyonlu araçların kullanımı daha yaygın olduğundan böyle bir sistemin hayata geçirilmesi hem stratejik açıdan hem de ticari açıdan büyük önem kazanmaktadır. Bu çalışmada mekanik süspansiyona sahip kamyonlar için otomatik dingil indirme sistemi altyapısı oluşturulmuş, simülasyon ve donanım içeren simülasyon gerçekleştirilmiş ve 8x2S dingil düzenine prototip araç üzerinde uygulaması yapılmıştır.

Otomatik dingil indirme sisteminin deneysel altyapısını oluşturmak için gerçek test prosedürlerinin benzetimi simulasyon ortamında hazırlanmıştır. Uygulamada yapılabilecek veri toplama ve değerlendirme işlemleri bilgisayar ortamında hazırlanan simulasyon ile yapılmış, algoritma testleri de burada elde edilen ve değerlendirilen verilerden yola çıkılarak donanım içeren çevrim uygulamasıyla hazırlanan simulasyon ortamında gerçekleştirilmiştir. Otomatik dingil indirme sisteminin prototip araca entegre edilebilmesi için gerekebilecek veri toplama yazılımı, yardımcı elektronik devreler gibi bazı ek bileşenler de çalışmaya paralel olarak tasarlanmış ve birbirine entegre edilmiştir. Bu çalışmanın birden çok disiplini bir araya getirmesi ve otomatik dingil indirme sisteminin mekanik süspansiyona sahip kamyonlara uygulanabilirliğini göstermesi açısından ileride yapılabilecek çalışmalar için faydalı olabileceği göz önünde bulundurulabilir.

DEVELOPMENT OF AUTOMATIC AXLE DROP SYSTEM FOR TRUCKS WITH MECHANICAL SUSPENSION

SUMMARY

In our country and all over the world, highway has a great portion on transportation. Highway is an expensive investment and being protected is important with regard to security and comfort. Deterioration of highways leads to loss of comfort and safe, besides its economical cost. The vehicles loaded inaccurately and/or transporting heavy load are remarkable factor over deterioration of highways. Overloading these vehicles lead to excessive pressure over unit area of the road and eventually deterioration. To give an example, there exists a study about lowering legal limit of the axles from 13t to 11.5t that may increase durability of the highways up to 32%.

Mass and Dimension Policy with number of 1230/2012 published by European Commission(EC) is expected to be a legal obligation in our country. Mass and Dimension Policy which will come into force in our country in 2014, is a regulation taking into consideration safe and environmentally sensitive driving for heavy-duty commercial vehicles. This regulation brings regulations and restrictions to axle loads with respect to dimensions and number of axles of the heavy-duty vehicles. In same regulation, there are some definitions and restrictions for lift axle, as well. Mass and Dimension Policy aims to prevent tire wear when the vehicle is unloaded or lightly loaded and mechanical deformation when the vehicle is fully-loaded besides decreasing deterioration of highways. According to this regulation, maximum load quantity of each axle is limited moving the appropriate liftable axle automatically to shift self position in order to obtain acceptable load distribution as an obligation.

In the transportation systems having more than two axles, number of axle brings additional cruise cost when the vehicle is unloaded or lightly loaded while increasing cargo capacity. For this reason some manufacturers have presented a system called Lift Axle for the transportation systems like heavy trucks, tractors and trailers. Thus on unnecessary conditions, driver can prevent extra tire wear and fuel consumption caused by friction by lifting related axle(s). However, letting only the driver to control the system may leads to defective usage in some conditions. Some drivers do not drop the axle(s) even weights of the fixed axles exceed limits specified by related policies. Overloading trucks leads to deformation over chassis as well as wearing out suspension system. As a result of that mechanic deformations on the system and deterioration of highways might increase. A similar circumstance can occur by result of inaccurate or unbalanced loading. In this condition, weight of the fixed axles may exceed limits although total weight is under the specified limits. Automatic axle drop system is designed in order to eliminate these negations and aims providing the axle loads are under the specified limits by taking control of the system from driver except some conditions.

Moving the axles automatically with respect to load condition yields to prevents mistakes caused by user. For instance, some drivers do not drop available axles despite load quantity is more than specified value, by asserting tire wear and fuel consumption. This leads danger in mechanical manner and creates concern about cruise safety. Considering the mass and dimensions policy, liftable axles can be lifted position only when the vehicle is unloaded or lightly loaded except on slippery surfaces. This implementation reduce fuel consumption and emission value while

prevent tire wear. Likewise, appropriate liftable axles should be lowered (unlifted) position according to load distribution when the vehicle is loaded so that load quantity of each axles will be in the safety limit. Thus, deterioration of highways can also be reduced while mechanical deformation is reduced, thereby loss of comfort and safe due to deterioration can be reduced.

Lift axle system comprises air compressor, air bags, valves and some mechanical coupling elements. In such a this system, air compressor provides pressured air to air bags in order to push or pull the axle so that positioning in lifted or lowered condition. Valves control the air flow between air bag and air compressor and also air exhausted from air bag. Mechanical elements are inserted appropriately so that the system works properly.

The user controls this system by controlling valve with a dedicated button which sends to valve convenient electrical signal. Automatic drop axle system steps in at this point to maintain working of the system automatically. Automatic drop axle system includes a controller which decides to whether the axle(s) is required to drop, or not. This decision stage needs to axle loads be calculated. Axle loads can be obtained easily by air pressure of the pneumatic system of trucks having air suspension system. . However this is different in trucks with mechanical suspension. Weight information can be obtained from sensors such as strain gauge, force sensor and some kind of displacement sensors. But these sensors give indirect information and need to extra calculation to implement to the system. Displacement sensors are cheaper than the others but more difficult to calculation because axles are related with other ones and all affected by displacement of chassis.

There are some applications for the systems having pneumatic suspension; however a solution does not exist in mass production for heavy trucks with mechanical suspension. In this study, realizing an application of the Automatic Drop Axle System for heavy trucks with mechanical suspension is aimed.

Automatic Drop Axle System can be applied to trucks with pneumatic suspension easily because of behaviour and characteristics of the components forming pneumatic system. Due to having calculable and predictable structure of the pneumatic suspensions, applicability and adaptivity of the automatic drop axle system is considerably high. On the contrary, circumstances are quite different on trucks with mechanical suspension. The trucks having such this suspension system leaf springs and its derivatives are used commonly because of durabilities and higher capacities. An another axle located nearly with the axle working under heavy load conditions can be included with a libra structure in order to achieve well balanced load distribution. The characteristic of the suspension system such a this structure has negative effect over weight prediction which is one of the most critical properties of the automatic drop axle system. This may be explain the reason why automatic drop axle system does not exist on trucks with mechanical suspension all over the world.

In many countries including Turkey, trucks with mechanical suspension are commonly used widespread area so that implementing a system such an automatic drop axle system to trucks having mechanical suspension getting more importance in terms of both commercial and strategic manner.

In this study, a background of automatic drop axle system for trucks with mechanical suspension was constituted, simulation and simulation with hardware in the loop (HIL) system was realized and implemented on a prototype truck having 8x2S axle structure.

In order to constitute experimental background of the automatic drop axle system, a simulation has been prepared to simulate real test procedure. In order to estimate the weights of the axles from displacements of the axles with respect to chassis, it is needed to obtain test data comprising displacements and weights of the axles on some different conditions. Desired test data is getting while loading the vehicles with load having variable weight, recording the amount of displacement of each axle. Data acquisition and evaluation which can be implemented with on prototype vehicle, has realized with a simulation prepared on computer environment. Quantity and coordinates of the load are entered to simulation as input, then axle weights of the vehicle are taken as output from the simulation.

Data acquisition software has been developed to get test data from the prototype vehicle. In order to implement automatic drop axle system to prototype vehicle some electronical circuit including microcontroller and auxillary electronical circuits have been developed and integrated each other correspondingly.

Algorithm has tested with hardware in the loop simulation with data acquisited from results of these simulations. Simulations has been realized with MATLAB/Simulink and TruckMaker software cooperating with a dedicated development electronical circuit. TruckMaker is a vehicle simulation program and used to model the truck all of the aspects, including kinematics and dynamical model besides some environmental details. In test simulation, TruckMaker provides real-time data from the selected vehicle to Simulink and then microcontroller respectively. Simulink is used to modelling vehicle parameters, taking external inputs from a signal resource like a joystick and communicate with TruckMaker software and microcontroller circuit.

A racecourse has created on TruckMaker in order to test the automatic drop axle algorithm providing rules of Mass and Dimension Policy. Algorithm has tested with hardware in the loop system comprising a microcontroller and joystick. Load conditions and some signals such as button signal of the axles controlling by the driver in real systems has simulated with joystick inputs. Dedicated microcontroller unit decides the axle position(s) of the vehicle considering data getting from TruckMaker through Simulink.

In the light of the results obtained from this study, it may be said that an automatic axle drop system can be implemented to trucks with mechanical suspension and adapt to various heavy vehicles having different mechanical structures.

1. GİRİŞ

Ülkemizde ve dünya genelinde karayollarının ulaşımındaki ve yük taşımacılığındaki payı oldukça yüksektir[1]. Karayolları pahalı bir yatırımdır ve korunması ekonomi açısından olduğu kadar güvenlik ve konfor açısından da önemlidir. Karayollarını yıpratıcı etmenlerin başında ağır yük taşıyan ticari araçlar gelmektedir. Bu araçların aşırı ya da yanlış yüklenmesi sonucunda dingil başına düşen ağırlıkların artması, birim alan başına düşen kuvvetin nominal değerlerin üzerine çıkmasına dolayısıyla yolların yıpranmasına neden olmaktadır. Değerlendirme ölçütü olarak hacim ve ağırlık değerleri kullanılmakla birlikte hacim - dingil sayısı, ağırlık da - dingil ağırlığı olarak ele alınmaktadır. Örneğin izin verilen dingil ağırlığının 13 tondan 11,5 tona düşürülmesi durumunda yolların ömrünün %32'ye varan oranda artabileceği sonucuna ulaşan bir çalışma mevcuttur[2]. Dingil yükleriyle ilgili her ne kadar karayolları üzerinde denetim noktaları oluşturulsa da ağır taşıtların tamamının denetlenmesi mümkün olmamaktadır. Ağır taşıt sürücülerinin bilinçlendirilmesi ve yasal yaptırımlarla yaşanabilecek olumsuzlukların büyük bir kısmının azaltılabilecek olması ile birlikte dingillere düşen yüklerin kullanıcı inisiyatifine bırakılması olası sorunları da hiç kuşkusuz beraberinde getirecektir. Bu gibi sebeplerden dolayı kamyonlarda dingil ağırlıklarını düzenleyecek sistemlerin bulunmasının bir ihtiyaç haline geldiği düşünülmektedir.

Avrupa Komisyonu'nun hazırlamış olduğu ve 2014 yılından itibaren ülkemiz tarafından da uygulamaya konulacak olan 1230/2012 (EU) sayılı Kütle ve Boyutlar yönetmeliği (Mass and Dimensions Policy), dingillere düşen yükler ve aracın boyutlarına göre izin verilen maksimum yüklerle ilgili düzenlemeler getirmiştir. Aynı yönetmelikte kaldırılabilen dingiller için de tanımlamalar ve sınırlamalar getirilmiştir. Kütle ve Boyutlar yönetmeliği, karayollarının yıpranma hızını azaltmanın yanı sıra araç boşken gereksiz lastik aşınmalarının; araç doluyken ise mekanik deformasyonlarının önüne geçmeyi amaçlar.

Avrupa Komisyonu tarafından hazırlanan Kütle ve Boyutlar yönetmeliği ile ilişkili olarak ülkemizde 2014 yılında, kamyonlarda otomatik dingil indirme sistemlerinin bulunmasının yasal bir zorunluluk haline gelmesi beklenmektedir. Otomatik dingil indirme sistemlerinin ana amacı dingillere düşen yükleri düzenleyerek, dingil yüklerinin yasal sınırların altında kalmasını sağlamaktır. Otomatik dingil indirme sistemi, dingillere düşen yükleri kullanıcıdan bağımsız olarak düzenler. Yasal sınırlara göre düzenlenmiş bir otomatik dingil indirme sisteminin kullanıcı hatalarını ve ihmallerini en aza indirmesi beklenebilir.

1.1 Tezin Amacı

Avrupa Komisyonu tarafından düzenlenen 1230/2012 sayılı Kütle ve Boyutlar yönetmeliği taşıtların dingil yapıları ve bu yapılara göre taşıyabileceği ağırlıklar konusunda düzenlemeler getirmiştir. Aynı düzenlemede dingil ağırlıklarının otomatik olarak düzenlenmesi de ele alınmıştır. Bu düzenlemeden ağır yük taşıyan kamyonlar doğrudan etkilenmektedir. Kamyonların halihazırda sahip olduğu dingil hareket mekanizmalarının kullanıcının inisiyatifinden çıkarılarak otomatikleştirilmesinin zorunlu hale getiren bu yönetmelik 2014 yılından itibaren Türkiye’de de zorunlu hale gelecektir. Otomatik dingil indirme sistemlerinin dünya genelinde bir çok  rneği bulunmaktadır ancak seri üretimde bu uygulamaların tamamının havalı süspansiyona sahip kamyonlarda olduğu görülmektedir. Kütle ve Boyutlar yönetmeliği bu düzenlemenin bütün kamyonlarda uygulanmasını zorunlu kıldığından mekanik süspansiyona sahip kamyonlar için de böyle bir çalışma yapılması gerektiği ortaya çıkmaktadır.

Otomatik dingil indirme sisteminin, havalı süspansiyona sahip kamyonlardaki uygulamaları, süspansiyon yapısını oluşturan bileşenlerin karakteristiğinin daha doğrusal ve tahmin edilebilir olmasından dolayı mekanik süspansiyonlu kamyonlara göre daha kolaydır.

Bu çalışmada, bilgisayar ortamında hazırlanan test ortamı ve simulasyonlar aracılığıyla otomatik dingil indirme sisteminin mekanik süspansiyona sahip kamyonlarda uygulanabilirliğini göstermek amaçlanmıştır.

Simulasyonlar sistemin algoritma yapısı Kütle ve Boyutlar Yönetmeliği’nin gerektirdiği koşullar da dikkate alınarak kurgulanmış ve uygulanmıştır.

1.2 Kütle ve Boyutlar Yönetmeliği

Ağır yük taşımacılığının yoğun bir şekilde kullanıldığı karayollarında aşırı yüklemeden dolayı meydana gelen yıpranma, ülke ekonomisine zarar vermesinin yanı sıra yapılan yolculukların da güvenlik ve konfor kaybına uğramasına yol açmaktadır. Avrupa Ekonomik Topluluğu tarafından hazırlanan Kütle ve Boyutlar yönetmeliği, güvenli ve çevreye duyarlı sürüş için ağır ticari taşıtlara belirli düzenlemeler getirmiştir. Bunların başında dingil başına düşen yük miktarını sınırlamak gelmektedir.

Aracın aşırı yüklenmesi, sürekli kullanımda araç üzerinde mekanik deformasyona neden olmakta ve süspansiyon sisteminin ömrünün kısalmasına yol açmaktadır. Bu da kullanıcıya aşırı yük taşımanın maliyeti hatta daha fazlası olarak geri dönmektedir.

2014 yılından itibaren ülkemizde de uygulamaya konulacak olan 1230/2012 (EU) sayılı Kütle ve Boyutlar yönetmeliği aynı zamanda, kaldırılabilen dingiller için de bir düzenleme sunmuştur. Bu düzenleme, dingillere düşen yk dağılımlarına göre hareketli (kaldırılabilen) dingillerin otomatik olarak konum değiştirerek, yük dağılımının belirlenen sınırlar içerisinde kalmasının sağlanmasını zorunlu hale getirmektedir.

Dingillerin yüke bağlı olarak otomatik hareket etmesi, kullanıcı kaynaklı hataların önlenmesini sağlayacaktır. Örneğin bazı sürücüler, lastiklerin aşınmasını ne sürerek araç yüklü olmasına rağmen gerekli dingilleri indirmemektedir. Bu da mekanik anlamda tehlike arz etmekte ve yol güvenliği konusunda da endişe yaratmaktadır.

Kütle ve Boyutlar yönetmeliğine göre yalnızca araç boşken hareket edebilen dingiller havada olmalıdır. Bu uygulama gereksiz lastik aşınmalarını önlerken yakıt tüketimini ve emisyon değerlerini azaltarak evre için olumlu etkiler yaratmaktadır. Araç dolu olduğunda ise hareket edebilen dingiller yk dağılımına göre yere indirilmelidir. Bu sayede dingil başına düşen yükler daha dengeli olacak ve güvenlik sınırlarının altında kalacaktır. Dingillerin zerine düşen yüklerin belirlenen sınırların altında kalması sayesinde mekanik deformasyon en aza indirilirken karayollarının yıpranma miktarı azaltılabilecek, dolayısıyla yıpranmadan kaynaklı güvenlik ve konfor kayıpları en aza indirilebilecektir.

2. OTOMATİK DİNGİL İNDİRME SİSTEMİ

Kamyon, tır ve benzerleri gibi çok dingilli yük taşıma sistemlerinde dingil sayısı, taşınmak istenen yük miktarına ve cinsine göre belirlenmektedir. Ticari faaliyette bulunulan ülkenin yönetmeliklerinde belirtilen dingil başına düşen yasal sınırlar da önemli bir etkidir. Dingil sayısının fazla olması taşıma kapasitesini artıracığı için ticari anlamda daha ekonomik olacaktır. Ancak dingil sayısı ikiden fazla olan sistemlerde ek dingil sayısı araç yüklü durumdayken taşıma kapasitesini artırdığı gibi; araç boş ya da az yüklü olduğunda fazladan seyahat maliyeti olarak dönmektedir. Bu yüzden çok dingilli taşıma sistemlerinde hareketsiz dingillerin yanı sıra hareket edebilen dingiller de bulunabilir. Böylece ihtiyaç olmayan dingiller kaldırılarak gereksiz lastik aşınmaları ve yakıt tüketimindeki sürtünme kaynaklı artışlar engellenebilir. Ancak sistemin çalışması sürücünün inisiyatifinde olduğundan sistemin her zaman ideal koşullarda çalışması mümkün olmamaktadır.

Bazı sürücüler, dingil ağırlıkları yönetmeliklerde belirtilen yasal sınırları geçmesine rağmen yakıt tüketimini ve lastik aşınmalarını öne sürerek ilave dingilleri indirmemektedir. Bu durum sabit dingillere aşırı yük binmesine yol açmaktadır. Bunun iki açıdan olumsuz etkisi vardır. Birincisi, dingil ağırlıkları üretim sırasında belirtilen, güvenli bir şekilde taşıyabileceği ağırlığın üzerine çıkabilir ve mekanik açıdan yıpranmaya sebebiyet verebilir; dingil ya da makasta kırılma, bükülme gibi sonuçlar doğurabilir. Bunlara ek olarak aşırı yüklenmiş bir aracın fren mesafesi normalden çok daha fazla olacaktır. Freni yeterli etkiyi sağlamayan bir araçta daha sık ve sürekliliği fazla fren kullanımı fren sisteminin aşırı ısınmasına ve ömrünü normal süreden önce tamamlamasına neden olacaktır. Bu da sürüş güvenliğinin tehlikeye atılması anlamına gelmektedir. Ayrıca bu durum sürücüye tamir ya da bakım masrafı olarak geri döner. İkincisi, karayollarının yıpranması konusudur. Aşırı yüklenen bir taşıma aracının karayollarına hasar verdiği bilinmektedir[2]. Yasal sınırlar belirlenirken karayollarının birim alan başına düşen taşıma kapasitesi göz önünde bulundurulmaktadır. Bu sınırların aşılması karayollarının yıpranma miktarını

ve hızını yükseltmekte dolayısıyla ülke ekonomisi açısından kayıp oluşmasına neden olmaktadır.

Aracın dengesiz yüklenmesi de benzer sonuçlara yol açmaktadır. Araç yükü yasal sınırların altında olsa bile dengesiz ve yanlış yüklemekten dolayı bazı dingillere düşen ağırlıklar yasal sınırların ve mekanik sınırların üzerine çıkabilmektedir. Bu ve benzeri durumları önlemek için daha önce de bahsedildiği gibi, Avrupa Ekonomik Topluluğu tarafından Kütle ve Boyutlar Yönetmeliği hazırlanmıştır. Ülkemizde üretilen araçlar için de geçerli olması beklenen bu yönetmelik, belirli dingil kombinasyonları ve yapıları için düzenlemeler getirmiştir. Bunlardan biri de kaldırılabilir dingiller için getirilen düzenlemedir.

Kaldırılabilen dingiller için getirilen düzenleme, sistemin belirli durumlar haricinde sürücünün kontrolünden çıkartılıp otomatik hale getirilmesini de kapsamaktadır. Otomatik dingil indirme sistemlerinde temel amaç dingillere düşen yükleri düzenleyerek yasal sınırların altında kalmasını garanti etmektir.

Otomatik dingil indirme sisteminin etkin bir şekilde çalışabilmesi için dingil yüklerinin güvenilir ve doğru bir şekilde belirlenmesi gerekmektedir. Böylece sistem gerekli durumlarda doğru sonuçlar verecek ve belirtilen yönetmeliklere uygun olarak çalışması garanti edilebilecektir. Bir sonraki bölümde bu konu daha detaylı olarak anlatılacaktır.

2.1 Mevcut Çözümler

Otomatik dingil indirme sistemi konusunda birçok patent başvurusu yapılmış aynı zamanda bu sistem birçok üretici firma tarafından ticarileştirilmiştir. Patenti alınan bir sistem, havalı süspansiyonlara sahip iki dingil ya da daha fazla dingil içeren araçlar için tasarlanmış ve dingil ağırlıklarına bağlı olarak kaldırılabilir dingilleri kontrol etmeyi amaçlamaktadır[4]. Sistemde dingillere doğrudan müdahale yetkisi verilmesinin yanı sıra yoldaki engebelerden kaynaklı olarak sistemin yanlış karar vermesini önlemek amacıyla gecikmeli olarak komut üreten bir yapı eklenmiştir. Yine patenti alınmış başka bir sistemde otomatik dingil kaldırma sistemi ve modülü anlatılmaktadır[5]. Modül, aracın kontak sinyalinin de dikkate almaktadır. Araç geri yönde harekete geçmek üzere hazırlandığında ise kaldırılabilir dingillerden kendinden yönlendirilebilir olanını geçici olarak havaya kaldırmakta ve böylece

hareket kabiliyetini artırmaktadır. Sistem kontrol modülünün yanısıra hava akışını kontrol eden valfler ve sisteme gerekli havayı sağlayan hava tankını da içermektedir.

Otomatik dingil kaldırma sistemi olarak da adlandırılabilen bu sistemlerin kamyon, çekici ve treyler için bazı ticarileştirilmiş çözümleri de mevcuttur. Şekil 3.1’de görülen sistem mekanik süspansiyonlu kamyonlar için üretilen sistemlere bir örnektir[6]. Sistem yalnızca bir adet yardımcı dingil yerleşimine sahip kamyonlar için tasarlanmıştır. 60 km/sa hızının üzerine çıktığında güvenlik nedeniyle dingil mekanizmasını kilitlemektedir. Maksimum yük bilgisini gösteren led, sıcaklık bilgisini ölçen sensör ve hava basınç göstergesi de sistemin bileşenleri arasında yer almaktadır. Sistem, dingillere düşen ağırlığı gerinim ölçer yardımıyla tespit etmektedir.



Şekil 2.1 : P200M Proviso Plus.

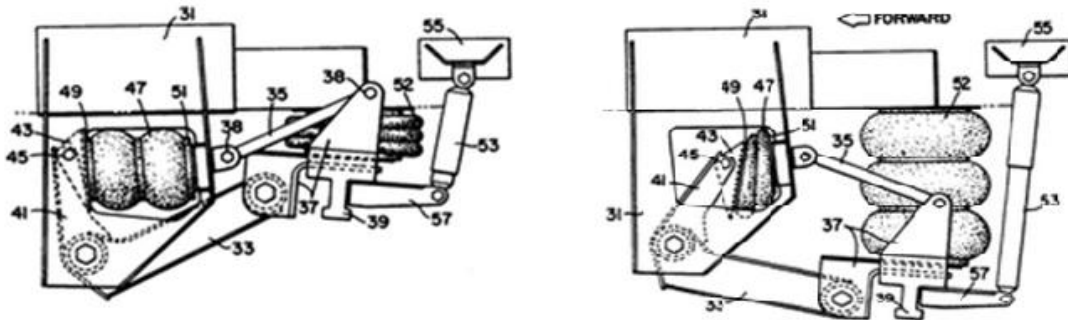
Havalı süspansiyonlu araçlar için üretilen bir modül, ilgili dingile bağlı süspansiyon basıncından yola çıkarak ağırlık hesaplamakta ve kaldırılabilen dingile komut göndermektedir[7]. Böylece süspansiyon basıncı önceden belirlenmiş bir değeri aştığında sistem kaldırılabilir dingil ya da dingilleri indirecek ve toplam yük aynı kalırken dingillere düşen yük azaltılmış olacaktır. Bunun tersi de mümkündür. Süspansiyon basıncı belirli bir değerin altına düştüğünde kaldırılabilir dingil ya da dingiller kaldırılabilir. Burada, bir dingilin kaldırılması söz konusu dingilin yol ile temasının kesilmesi, dolayısıyla diğer dingillere düşen yükten bir pay almayacağı anlamına gelmektedir.



Şekil 2.2 : Otomatik dingil kaldırma kontrol kiti (Automatic lift axle control kit).

2.2 Önerilen Çözümler

Dingil indirme sistemi için dingile hareket kazandıran bir mekanizma gereklidir. Genel olarak bu mekanizma yüksek basınca dayanıklı körükler(hava çantaları), kompresör, basınç ayarlayıcı valf ve mekanik bağlantı elemanlarıyla oluşturulur. Körükler şasi ile dingil arasına yerleştirilmek suretiyle dingile hareket sağlayan temel unsur olarak görev alır. Körüğün üst kısmı şasiye sabitlenirken alt kısmına da dingil bağlanır. Kompresörde basıncı yükseltilecek hava bir valf yardımıyla körüğe aktarılacak körüğün şişmesi sağlanır. Şişen ve hacim kazanan körük kendisine bağlı olan dingili aşağı yönde iterek yerle temas etmesine neden olur. Yerle temas eden dingil toplam yükün bir kısmını üstlenerek diğer dingillere düşen yükü hafifletir. Hava basıncının şiddetine göre dingilin yere basma kuvveti değiştirilerek üzerine düşen yük ayarlanabilir. Şekil 3.3'te patenti alınmış bir sistem görülebilir[8].



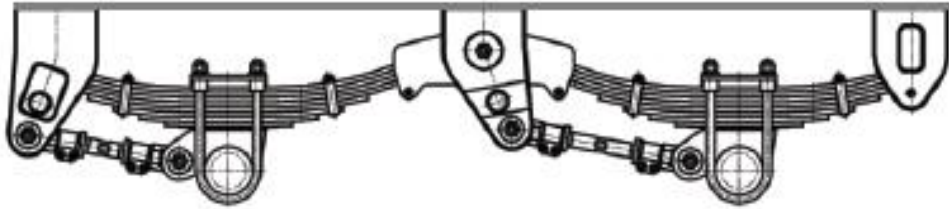
Şekil 2.3 : Patenti alınmış bir sisteme ait dingil indirme mekanizması.

Mekanik süspansiyonlu kamyonlarda durum biraz daha farklıdır. Dingillere düşen ağırlıklar tespit edilirken bir çok yöntem kullanılabilir. Yük hücresi sensörü kullanılarak dingilere düşen kuvvetler doğrudan hesaplanabilir, gerinim ölçer

kullanılarak dingillerdeki gerinme değeri kuvvet bilgisine dönüştürülebilir, ya da şasinin yer değiştirme bilgisinden yola çıkılarak kuvvet bilgisine ulaşılabilir.

Bu çalışmada amaçlanan, otomatik dingil indirme sisteminin mekanik süspansiyonlu araçlara ticarileştirilebilecek maliyetle uygulanmasıdır. Bu sistemin aynı zamanda halihazırdaki araçlara uygulanabilir olması da beklendiğinden, ağırlık ölçümünün mekanik yapılara uyarlanabilir bir yöntemle yapılması da sistemin tasarlanmasında belirleyici etmen olmuştur.

Mekanik açıdan uygulanabilirliğinin daha iyi ve maliyetinin daha düşük olması sebebiyle ağırlık ölçüm yöntemi için yer değiştirme sensörlerinin kullanılması önerilmiş ve uygulaması da bu yönde yapılmıştır.



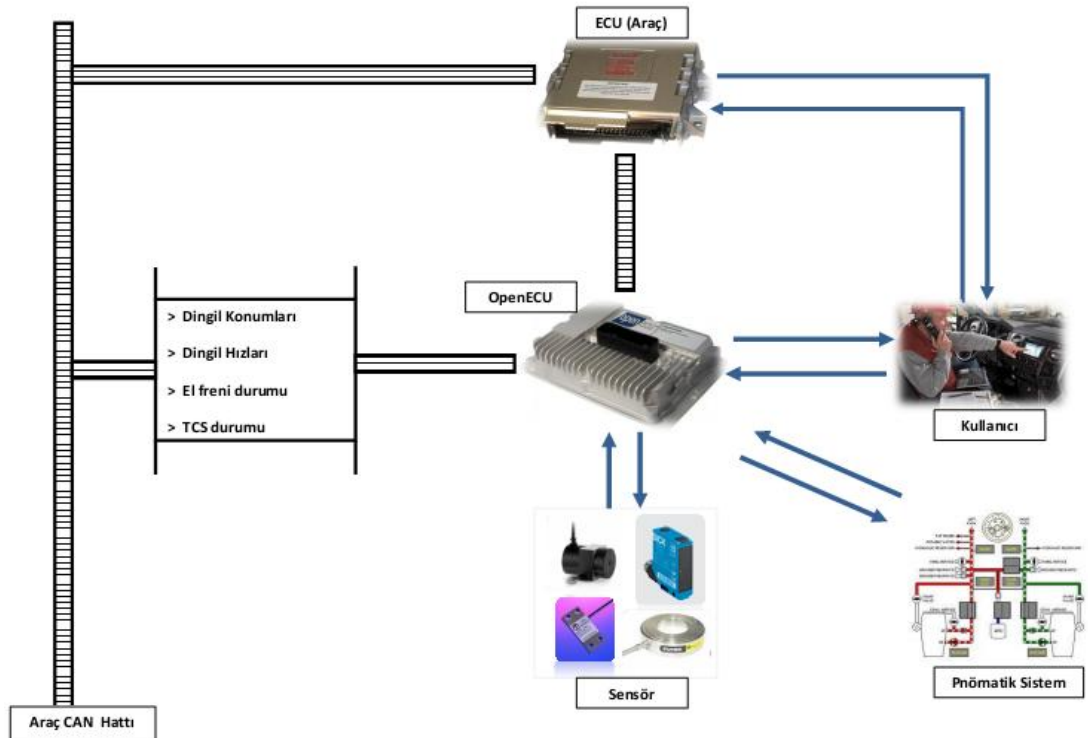
Şekil 2.4 : Tandem yapıya sahip mekanik süspansiyon.

Otomatik dingil indirme sistemi ağırlık ölçümüne ek olarak bir karar mekanizmasına da ihtiyaç duyar. Bu karar mekanizmasının da sisteme dahil edilmesiyle hesaplanan ağırlık bilgilerine anlam kazandırılabilir ve gerekebilecek bütün sinyaller de kontrol edilerek yönetmeliklere uygun bir algoritma geliştirilebilir.

Bu çalışmada sensörlerden elde edilen verileri uygun sinyallere dönüştürebilen, sinyalleri işleyip istenen çıkış sinyallerini üretebilen elektronik devreler tasarlanmış, gerekli çalışma koşullarını sağlayacak yazılım bilgisi dahil edilmiş ve mekanik süspansiyonlu bir prototip araçta uygulanmıştır.

3. OTOMATİK DİNGİL İNDİRME SİSTEMİNİN GENEL YAPISI

Otomatik dingil indirme sistemi şu şekilde işlemektedir; dingil indirme mekanizmasına sahip olan bir araçta her bir dingile düşen yük hesaplanır ve yönetmelikler tarafından belirlenen kurallara uyacak şekilde indirilebilen dingiller harekete geçirilerek uygun pozisyonda konumlandırılır. Dingil yükleri sensörlerden okunan verilere göre uygun hesaplamalar çerçevesinde belirlenir. Sistemin kontrol mekanizmasını içerisinde mikroişlemci ya da mikrodenetleyici barındıran bir elektronik kontrolör devresi oluşturur. Sensörlerden gelen veriler burada işlenerek ağırlık bilgisine dönüştürülür ve belirli durumları karşılayacak bir algoritma bu verilere göre işletilir. Algoritma dingillerin olması gereken konumlarını hesapladıktan sonra bu bilgiyi bir sürücüye aktarır. Dingil indirme mekanizmasını harekete geçirebilen sürücü bu yönlendirmelere uyarak dingil konumlarını belirler.



Şekil 3.1 : Otomatik dingil indirme sisteminin genel yapısı.

Otomatik dingil indirme sistemi Kütle ve Boyutlar yönetmeliği tarafından belirlenen koşulları sağlamak amacıyla yapılandırıldığı için sürücünün dingil indirme

mekanizması ile ilişkisini denetim altında tutmaktadır. Sistem gerekli gördüğü durumda doğrudan dingil indirme sistemine müdahale ederek sistemin ideal koşullarda çalışmasını garanti etmektedir.

3.1 Dingil İndirme Sistemi

Dingil indirme sistemi için dingile hareket kazandıran bir mekanizma gereklidir. Genel olarak bu mekanizma yüksek basınçla dayanıklı körükler(hava çantaları), kompresör, basınç ayarlayıcı valf ve mekanik bağlantı elemanlarıyla oluşturulur. Körükler şasi ile dingil arasına yerleştirilmek suretiyle dingile hareket sağlayan temel unsur olarak görev alır. Körüğün üst kısmı şasiye sabitlenirken alt kısmına da dingil bağlanır. Kompresörde basıncı yükseltilecek hava bir valf yardımıyla körüğe aktarılacak körüğün şişmesi sağlanır. Şişen ve hacim kazanan körük kendisine bağlı olan dingili aşağı yönde iterek yerle temas etmesine neden olur. Yerle temas eden dingil toplam yükün bir kısmını üstlenerek diğer dingillere düşen yükü hafifletir. Hava basıncının şiddetine göre dingilin yere basma kuvveti değiştirilerek üzerine düşen yük ayarlanabilir.

Sisteme bağlı olan ikinci körük, diğerinin aksine dingilin havada kalmasını garanti etmek üzere görev alır. Antagonistik yapıda çalışan bu körüklerden biri hacim kazanırken, diğeri hacim kaybeder. Aralarındaki bu ilişki yine bir valf aracılığıyla sağlanır. Mekanik bağlantı elemanları da uygun bir şekilde körüklere dingile ve şasiye bağlanarak dingil indirme sistemini meydana getirilir. Bu yapı dingilin her iki tarafına bağlı tekerlek grupları için tekrar edilir. Genellikle bu tip yapılarda dingilin her bir tarafına bağlı birer tekerlek bulunur. Şekil 4.2’de ticari bir ürüne ait dingil kaldırma sistemine sahip havalı süspansiyon yapısı görülmektedir[9].



Şekil 3.2 : Havalı süspansiyon yapısına bir örnek.

İndirilebilir dingil sistemlerinde dingiller kendinden yönlendirmeli olarak da tasarlanabilir. Her bir tekerlek yol yüzeyine dik bir eksen etrafında dönecek şekilde tasarlanırken aynı zamanda bir denge çubuğuyla birbirine bağlanır. Bu denge çubuğu rijit bir yapıda olabildiği gibi kauçuktan da yapılabilir ve tekerleklerin yatay eksenindeki birbirine olan etkisini azaltmaya yardımcı olur.

Kendinden yönlendirilebilir bir sistemde yol koşullarına bağlı olarak dingile bağlı tekerlekler eksenleri etrafında dönebilir ve Ackermann sürüş geometrisine uyum sağlamaya çalışır. Bu durum yol tutuşa önemli bir katkı sağlarken dingiller arasında aşırı ve ani bir ağırlık transferini en aza indirmeye yardımcı olur. Sürüş güvenliği açısından önemli olan bu durum aynı zamanda sürüş konforuna da katkı sağlar. Ayrıca lastik aşınmalarını azaltır ve sistemin ömrünü uzatır.

3.2 Dingil Yüklerinin Belirlenmesi

Çok dingilli yük taşıma sistemlerde dingillere düşen yükleri düzenlemenin tek yolu hareket edebilen dingilleri yük durumuna göre konumlandırmaktır. Bu amaca ulaşabilmek için öncelikle her bir dingile düşen yük miktarı doğru bir yaklaşımla tespit edilebilmelidir.

Havalı süspansiyona sahip araçlarda bu görece daha kolay bir hesaplamadır. Havalı süspansiyonun basıncı sistemin bilinen karakteristiklerinden yola çıkılarak dingilin yere basma kuvvetine dönüştürülebilir ve böylece dingil ağırlığı doğrudan hesaplanabilir. Her dingil birbirinden bağımsız bir yapıda olduğundan, dingillere düşen ağırlıkları hesaplarken karmaşık hesaplamalara ihtiyaç olmaz.

Mekanik süspansiyona sahip araçlarda ise bu bilgi çeşitli şekillerde elde edilebilir. Bu, temel olarak üç şekilde olabilir; dingillere stres(gerinim) ölçer bağlanabilir, şasiye kuvvet sensörü eklenebilir ya da şasinin yer değiştirme miktarını ölçebilen sensörler yerleştirilebilir. Gerinim ölçerler ve kuvvet ölçerler yapı olarak birbirine benzerler ve sonuca ulaşmak daha kolaydır. Yer değiştirme sensörleri ise şasinin yer değiştirmesini ölçerek dolaylı olarak ağırlık hesaplanmasına imkan sağlar ancak maliyet açısından diğerlerine göre daha uygundur.

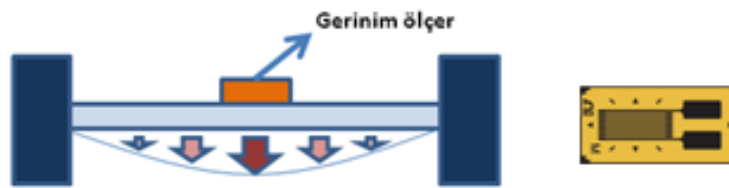
Bu çalışma otomatik dingil kaldırma sisteminin mekanik süspansiyonlu araçlara uygulanmasını kapsamaktadır ve bu yapı ile uyumlu sensörler ve gerekli sistemler ileriki bölümlerde detaylı olarak açıklanacaktır.

3.2.1 Gerinim ölçer (strain gauge)

Gerinim ölçerler malzemelerin esneklik ve iletkenlik özelliklerinin kullanılarak oluşturulmuş sensörlerdir. Genellikle yalıtkan ve esnek bir malzemenin üzerine yapıştırılan iletken özelliğe sahip ince bir metalden meydana gelir. Bu birleşim iletkenin elastisite sınırları içerisinde esnetilerek şekil değişimine uğratıldığında iletken özelliğe sahip maddenin fiziki yapısı değişir ve direnç değerinde bir değişim meydana gelir. Bu durum basitçe iletkenlerin dirençlerinin hesaplanması yöntemiyle açıklanabilir. Bir iletkenin direnç değeri, iletkenin öz direnciyle ve boyuyla doğru; kesitiyle ters orantılı olarak değişim gösterir. Şekil değişimine uğrayan iletkenin boyu ve kesiti değişeceğinden direnç değerinde bir değişim meydana gelecektir. Bu durum sensörün amaçlanan davranış şeklidir.

Sensörün etkin bir biçimde çalışabilmesi için belirli sınırlar içerisinde en fazla şekil değiştirebileceği bir konuma yerleştirilmelidir. Böylece aynı yük altında daha fazla şekil değişimine maruz kalacak ve elde edilen direnç değişimi daha fazla olacaktır. Bu da sensörün çalışma hassasiyetini ve çözünürlüğünü yükseltecektir.

Bir kamyonda dingil ağırlığını tespit edebilmek için gerinim ölçerler genellikle dingilin üzerine monte edilir. Dingil, üzerindeki platforma (şasi ya da üstyapı) düşen yükün miktarına göre eğilme davranışı gösterir. Bu davranışı en çok gösteren bölge ise fiziki yapıdan dolayı dingilin orta noktasıdır. Gerinim ölçerler dingilin orta noktasına yerleştirilerek yüke bağlı olarak meydana gelen değişimler direnç değeri okunarak gözlemlenebilir.



Şekil 3.3 : Gerinim ölçerin dingil üzerindeki konumu.

İşlemci ya da mikrodenetleyici barındıran elektronik devreler analog işaretleri gerilim cinsinden anlamlandırabildiğinden dolayı direnç değerlerinin okunup yorumlanabilmesi için gerilim değerine dönüştürülmesine ihtiyaç vardır. Bu işlevi sağlamak için kullanılan elektrik devresi, sensörün direnç değişiminin devrenin çıkışında gerilim değişimine neden olmasını sağlayacak şekilde tasarlanır. Gerilim

değerleri çok küçük olduğu için ayrıca yükseltici bir devre yardımıyla gerilim değerleri elektronik ölçeğindeki değerlere yükseltilir.

Gerinim sensörüne bağlı elektrik devresinden okunan gerilim değeri ya da değişimi deneysel olarak ağırlıkla ilişkilendirilerek daha sonra kullanılmak üzere tablo haline getirilebilir. Uygulama sırasında gerilim değeri okunarak karşılık gelen ağırlık tespit edilebilir ve otomatik dingil indirme algoritmasına giriş olarak verilebilir.

Stres ölçerler ağırlık bilgisine ulaşabilmek için uygun sensörler olsa da mekanik yıpranmaya maruz kalması ve fazladan elektronik devrelere ihtiyaç duymasından dolayı maliyetinin yüksek olması, üreticileri alternatif çözümlere yöneltmektedir. Bu sebepten dolayı otomatik dingil indirme sisteminde kullanılmamıştır.

3.2.2 Yük hücresi (load cell)

Yük hücresi temel olarak, üzerine düşen kuvveti elektrik sinyaline dönüştürmek için kullanılan bir sensördür. Hidrolik, piezoelektrik, kapasitif gibi çeşitleri olsa da en çok kullanılan çeşidi içerisinde gerinim ölçer barındırır. Gerinim ölçerlerle sensör kılıfı açısından farklılık gösterir, ancak çalışma prensibi tamamen aynıdır. Yük hücresinin üzerine uygulanan kuvvet, içerisinde bulunan gerinim ölçerin şeklini değiştirir. Direnci değişen gerinim ölçer elektronik devreler yardımıyla gerilim çıkışı üretir ve sensör çıkışı olarak bu gerilim değeri kullanılır.



Şekil 3.4 : Yük Hücresi.

Yüksek dayanıma sahip materyallerin gerinim ölçere ev sahipliği yaptığı koruyucu kılıf sayesinde çok ağır yükler altında çalışabilen çeşitleri de üretilebilmiştir. Elektronik devreleri de içinde barındırabilen sensör kılıfı sayesinde zor koşullar altında çalışabilmesi açısından uygun bir sensördür. Ancak yüksek maliyete sahip

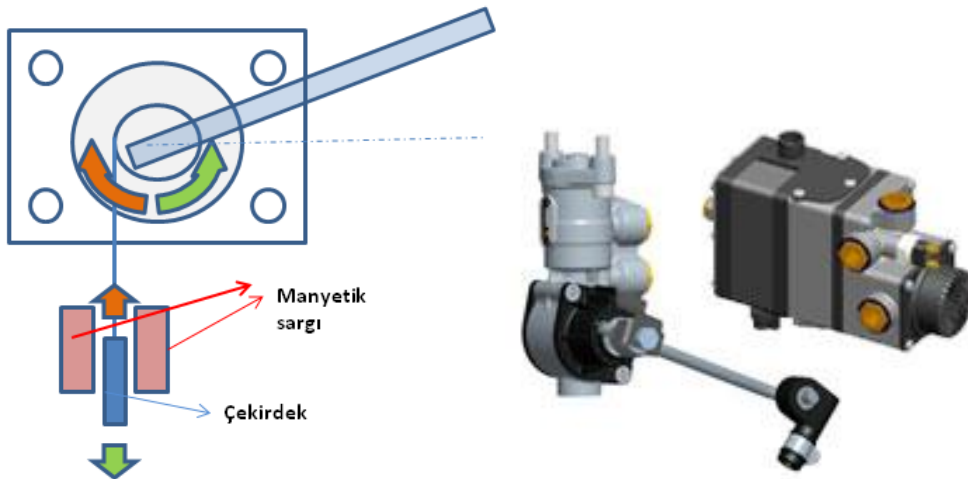
olması ve mekanik açıdan yerleşime uygun olmaması dolayısıyla bu çalışma kapsamında uygulamaya dahil edilmemiştir.

3.2.3 Yer değiştirme sensörleri

Dingil ağırlıklarını belirlemek için gerinim ölçer ve yük ölçerden farklı olarak yer değiştirme sensörleri kullanılabilir. Şasinin yer değiştirmesini ölçerek çeşitli hesaplamalar yardımıyla dingil ağırlıkları belirlenebilir. Yer değiştirme sensörleri maliyeti diğerlerine oranla düşük olduğundan birçok farklı uygulamada da tercih edilirler.

3.2.3.1 Elektronik kontrollü havalı süspansiyon sensörü (wabco ecas sensör)

Elektronik kontrollü havalı süspansiyon (EKHS) sensörü WABCO tarafından üretilen ve çeşitli uygulamalarda kullanılan bir sensördür[10]. Fren sistemlerinde fren basıncını, ek dingil sistemlerinde ve havalı süspansiyon sistemlerinde hava basıncını ayarlamak için kullanılır. Bu sensör bahsedilen tüm sistemlerde şasinin yer değiştirmesini ölçmek amacıyla kullanılır. Örnek vermek gerekirse, yüklü bir araçta yüksüz bir araca göre daha fazla fren kuvvetine ihtiyaç duyulur. Bir kamyon için şasi ile dingil arasındaki mesafenin azalması aracın yüklü olduğu anlamına geldiğinden bu mesafe ölçülerek fren basıncı ayarlanabilir. Böyle bir sistemde bu sensör kullanılabilir. EKHS sensörü, sensörün açısıl hareketi ile endüktans değerini değiştiren bir yapıya sahiptir.



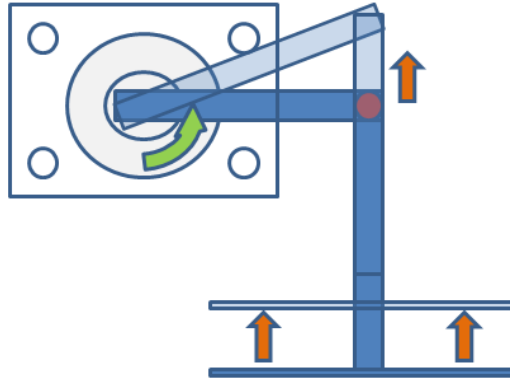
Şekil 3.5 : Elektronik kontrollü havalı süspansiyon (EKHS) sensörü yapısı.

Sensör kolunun açısına bağlı olarak demir nüve(çekirdek) manyetik bir sargının içerisinde hareket ederek sensörün endüktans değerini değiştirir. Endüktans değeri

dönüştürücü bir devre aracılığıyla frekans değeri olarak okunabilir. Hareket kolundaki yer değiştirme sensörde açısal harekete ve buna bağlı olarak frekans değişimine neden olmaktadır. Böylece yer değiştirme frekans cinsinden elde edilebilir.

3.2.3.2 Seviye belirleme sensörü (Knorr Bremse Elc level sensor)

Knorr Bremse tarafından üretilen bu sensör temelinde hassasiyeti artırılmış bir potansiyometredir. EKHS sensöründen farklı olarak hareket kolundaki yer değişimi sensörde direnç değişimine neden olmaktadır. Basit bir elektrik devresi sayesinde direnç değeri çoğu elektronik devreyle uyumlu bir şekilde gerilim olarak okunabilir. Böylece yer değiştirme gerilim cinsinden ifade edilebilir.

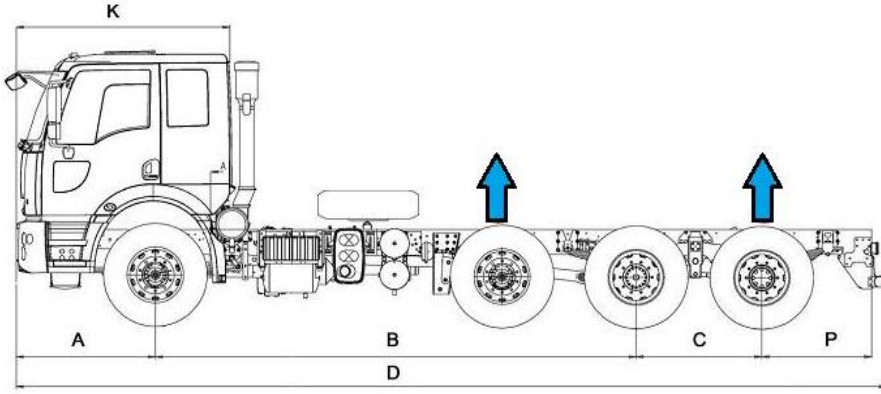


Şekil 3.6 : Seviye belirleme sensörü yapısı.

3.3 Algoritma

Sistemi yöneten algoritma her koşulda çalışabilir ve güvenilir olmalıdır. Ağır taşıtlardaki otomatik dingil indirme sisteminde ise her türlü yükleme koşuluna cevap vermeli ve kullanıcı hatalarından doğan mekanik problemlere izin vermemelidir.

Kütle ve Boyutlar yönetmeliğine göre dingil üzerine düşen yükler farklı dingil durumlarına göre belirlenmiştir. Aşağıda Şekil 3.7’de gösterilen 8x2 dingil düzenlemesine sahip bir araç için belirlenen durumlar açıklanmıştır.



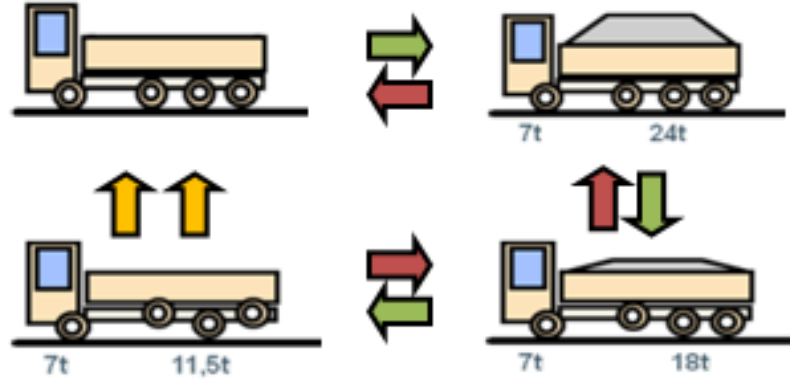
Şekil 3.7 : 8x2 konfigürasyona sahip bir kamyon.

2. ve 4. dingilleri kaldırma mekanizmasına sahip bir sistem için;

- Ön ve 2. dingil kapasitesi: 7.100 kg
- Arka aks kapasitesi (2. 3. 4. dingiller): 30.700 kg / Tip onay limiti 24.000kg
- Arka aks kapasitesi: 23.600 kg /Tip onay limiti 18.000 kg (2. dingil havadayken)
- 3. dingil kapasitesi (2. ve 4. dingil havadayken): 11.500 kg – Canlı dingil (Sürüş dingili)

olarak belirlenmiştir. Yukarıdaki koşulların yanı sıra bazı koşullar da düzenlemeye dahil edilmiştir. Bunlardan bazıları; kontak kapatıldığında (araç çalışmazken) tüm dingillerin yerde olması ve araç çamura saplandığında ya da herhangi bir patinaj yapma durumunda hareket edebilen dingillerin durum ortadan kalkıncaya kadar kaldırılmasıdır. Ayrıca bu işlemlerin 30 km/sa hızının altında geçerli olması gibi bazı ek koşullar da mevcuttur. Çalışma kapsamında bu koşulları sağlayan bir algoritma “Otomat Modeli” ile gerçekleştirilmiştir[4].

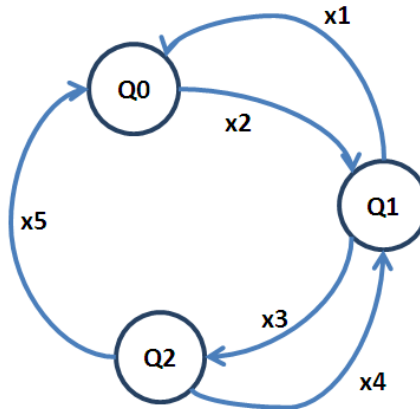
Otomat modeline göre dingillerin bulunabileceği farklı konumlar birer ‘durum’ olarak ele alınmaktadır. Her bir durum arasındaki geçişler belirli ‘olay’ların gerçekleşmesiyle meydana gelmektedir. Gösterimlerde durumlar ‘Q’ harfiyle, olaylar ‘e’ harfiyle, olay takımları ise ‘x’ harfi ile gösterilecektir. İstenilen koşulları ve durumları grafiksel olarak gösterecek olursak Şekil 3.8’teki şemayı elde ederiz.



Şekil 3.8 : Ağırlık koşullarına göre dingil konfigürasyonları.

Araç başlangıç durumunda, kontak kapalıyken dingillerini yere indirir. Kontak açılıp araç çalıştırıldığında, sistem dingiller üzerindeki yük durumlarını kontrol eder. Eğer arka aks üzerindeki (2. 3. 4. dingiller) yüklerin toplamı 18 tondan fazlaysa sistem durumunu korur. Eğer değilse sistem 2. dingili kaldırır. Bu durumdayken arka aks üzerindeki (3. ve 4. dingiller) yüklerin toplamı 11,5 tondan fazlaysa sistem durumunu korur. Eğer değilse sistem 4. dingili de kaldırır. Herhangi bir durumdayken kontak kapatılırsa sistem başlangıç durumuna geri döner. Sistem aynı şekilde ters yönde de işleyerek yeni yükleme koşullarına göre durumunu değiştirebilir.

Algoritmayı ‘Otomat Modeli’ şeklinde gösterirsek Şekil 3.9’teki durum geçiş diyagramını elde ederiz.



Şekil 3.9 : Durum Geçiş Diyagramı.

Şekil 3.9’te gösterilen Q0, Q1 ve Q2 durumları dingillerin bulunabileceği farklı konumları belirtmektedir. İki hareketli (2 ve 4) dingile sahip bir araçta dingillerin bulunabileceği farklı durumların sayısı üçtür. Burada Q0, tüm dingillerin

yerde olma durumunu, Q1, 3.ve 4. dingillerin yerde olma durumunu ve Q2, sadece 3. dingilin yerde olma durumunu temsil etmektedir. Durumlar arasındaki geçişleri sağlayan ‘x’ olay takımları, belirli olayların bir araya gelme durumunu temsil eder. Örneğin başlangıç durumundayken kontak açıkken (e1), 2. 3. ve 4. dingillerdeki ağırlıkların 180 kN’ dan daha az olduğu tespit edilirse (e2) ve birinci dingildeki ağırlık 70 kN ya da daha az ise ($\bar{e}6$) ; sistem kütle ve boyutlar yönetmeliğinin koşullarından biri olarak 2. dingili kaldıracaktır. Bu olayların birleşimi bize x2 olay takımını verir ki bu, iki durum arasındaki geçişin gerçekleşmesini sağlar. Aşağıda bu durumlar tanımlanmıştır.

❖ **e1:** Kontak açık , **$\bar{e}1$:** Kontak kapalı

❖ **e2:** $w2+w3+w4 < 180$ kN

❖ **e3:** $w3+w4 > 180$ kN

❖ **e4:** $w3+w4 < 115$ kN

❖ **e5:** $w3 > 115$ kN

❖ **e6:** $w1 > 70$ kN , **$\bar{e}6$:** $w1 \leq 70$ kN

➤ **x1:** $\bar{e}1 \parallel e3 \parallel e6$

➤ **x2:** e1 & e2 & $\bar{e}6$:

➤ **x3:** e1 & e4 & $\bar{e}6$:

➤ **x4:** e1 & e5 & $\bar{e}6$:

➤ **x5:** $\bar{e}1 \parallel e6$

Yukarıdaki denklem takımlarını aşağıdaki denklemde yerlerine koyarsak dingillerin her bir durumunu tanımlayan durum denklemlerini elde edebiliriz.

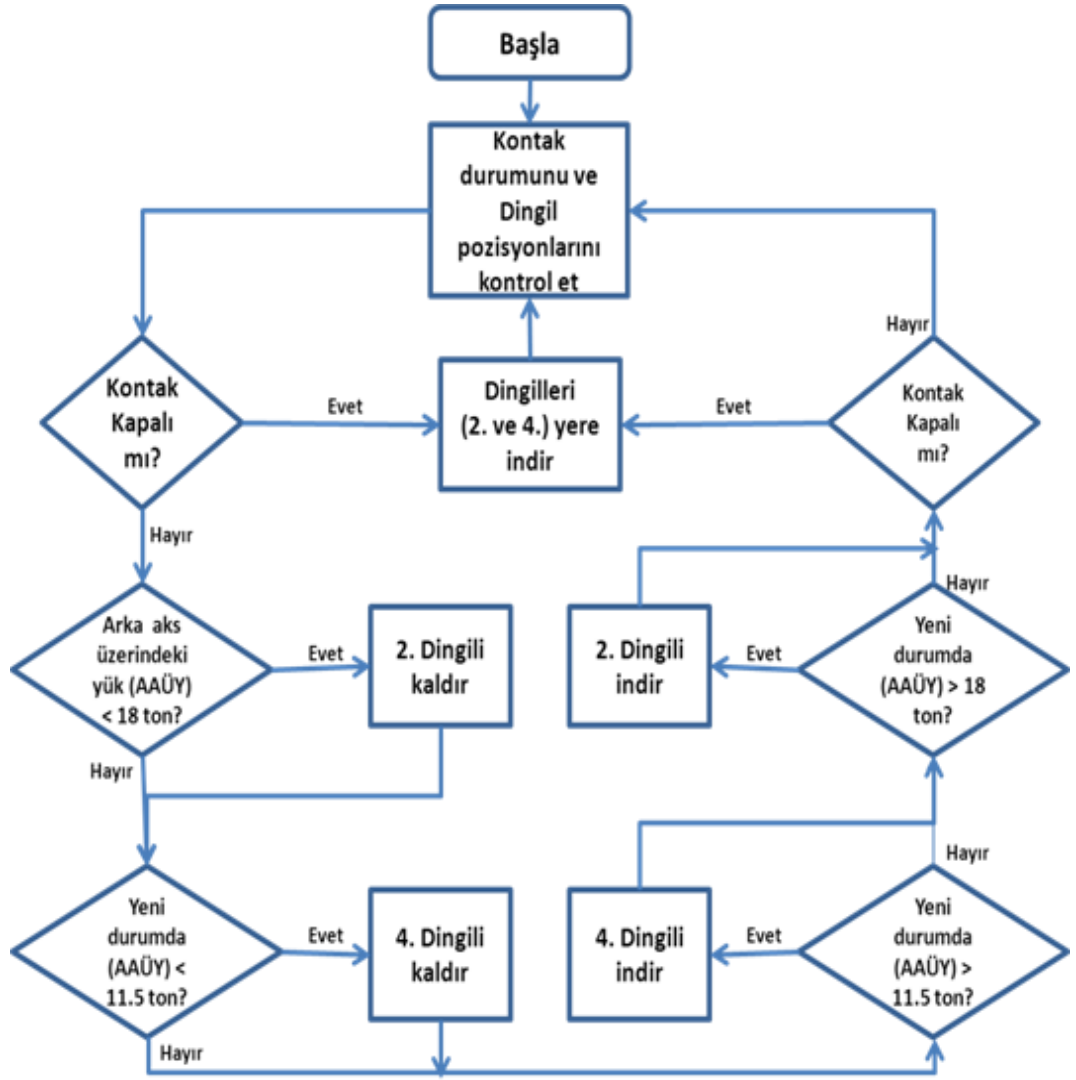
$$Q_i = \sum_{j=1}^n T_{j,i} \cdot Durum_j + Durum_i \cdot \prod_{k=1}^m T_{i,k} \quad (4.1)$$

$$Q0 = Q1.x1 + Q2.x5 + Q0.\bar{x}2$$

$$Q1 = Q0.x2 + Q2.x4 + Q1.(\bar{x}1 + \bar{x}3)$$

$$Q2 = Q1.x3 + Q2.(\bar{x}4 + \bar{x}5)$$

Bu koşullar altında algoritmanın akış diyagramı aşağıdaki gibi olur.



Şekil 3.10 : Otomatik dingil indirme sisteminin akış diyagramı.

4. DENEYSEL SİSTEM ALTYAPISI

Otomatik dingil indirme sistemi prototip araç üzerine uygulanırken birçok elektronik devre ve yazılım kullanılmıştır. Veri toplama, veri eşleştirme, algoritma uygulama gibi konular çeşitli alanlarda birlikte çalıştırmayı gerektirmiştir. Bu konular ileriki bölümlerde detaylı olarak anlatılmıştır.

4.1 Elektronik Donanım Altyapısı

Sistemde kullanılan elektronik devreler prototip araçta kurulan otomatik dingil indirme sistemini oluşturabilmek amacıyla ihtiyaçlar doğrultusunda geliştirilmiştir. Sensörlerden veri toplama, sensör verilerini elektronik devreler için anlamlı hale getirme, CAN hattından veri okuma bilgisayarla haberleşme ve dingil kaldırma mekanizmasına müdahale etme gibi çeşitli görevleri vardır.

4.1.1 Elektronik denetleyici birimi

Otomatik Dingil Kaldırma Sistemi ağır ticari taşıt sürücülerinin Kütle ve Boyutlar Yönetmeliğinin yönergelerine uymasını garanti etmek üzere geliştirilen bir sistemdir. Bu sebeple üst kontrolcü olarak elektronik kontrol birimi sisteme dahil edilmektedir. Aracın yük durumunu sensörlerden alınan verilerden yola çıkarak hesaplamakta ve belirli koşullar altında dingillerin pozisyonu için en uygun kararı vermektedir. Bu kararını sürücüye bildirmekte ve sürücünün sistemle olan ilişkisini inceleyerek uygun olmayan bir hareket yapmasını da engellemektedir. Aynı şekilde gerektiğinde sisteme doğrudan müdahale edebilmektedir.

Bu çalışmada, Pi Innovo firmasının otomotiv firmaları için ürettiği OpenECU adı verilen elektronik kontrol ünitesi ve buna paralel olarak mikrodenetleyici tabanlı bir kontrol devresi kullanılmıştır.

1.1.1.1 Elektronik kontrol birimi (OpenECU)

OpenECU, Pi Innovo tarafından geliştirilen donanım ve yazılım platformudur. Otomotiv sektöründe daha çok kullanılmakla birlikte daha pek çok uygulamada

tercih edilebilir. Öne çıkan bazı özellikleri nedeniyle otomatik dingil indirme sisteminin prototip araç üzerindeki uygulamasında OpenECU tercih edilmiştir. Sağlam metal bir kılıfın içerisinde entegre güç katmanı birçok durumda harici elektronik devreye ihtiyaç bırakmamaktadır. MATLAB/Simulink ortamından erişilebilen elektronik kontrol birimine özgü blok diyagramları programlamayı kolaylaştırmaktadır. Ayrıca CAN Kalibrasyon Protokolü (CCP) üzerinden programlanabilmesi ve kalibre edilebilmesi en önemli avantajlarındanıdır. OpenECU üzerinde gerçek zamanlı bir işletim sistemi olan WindRiver bulunmaktadır. Bu yazılım görev planlaması ve zamanlaması konusundaki başarısı ile birden fazla işin senkronize ve verimli bir biçimde yapılmasına yardımcı olmakta ve donanımdan da yüksek verim alınmasını sağlamaktadır.



Şekil 4.1 : Open ECU kontrol birimi.

4.1.1.1 Mikrodenetleyici tabanlı kontrol devresi

Proje kapsamında OpenECU' ya alternatif olarak test ve uygulama amaçlı bir devre geliştirilmiştir. Microchip firmasının ürettiği 18F4680 kodlu mikrodenetleyici tabanlı olarak oluşturulmuştur. Otomatik dingil indirme sisteminin tüm elektrik ve elektronik birimlerine sahip olduğundan sisteme doğrudan bağlanabilme özelliğine sahiptir. Bu devre aracın CAN hattına bağlanabilmekte, RS232 iletişim protokolüyle bilgisayar ya da çevre birimlerle haberleşebilmekte, çok sayıdaki analog girişleri ile gerilim okuyabilmekte, yüksek hızlı frekans girişi ile frekans okuyabilmekte, gösterge birimi sayesinde kullanıcı ile doğrudan etkileşim kurabilmekte ve güç katmanı ile dingil indirme sistemine doğrudan müdahale edebilmektedir. Aynı zamanda sürücünün butonlar üzerindeki kontrolünü de giriş olarak alabilmekte ve yürüttüğü algoritmaya dahil edebilmektedir.



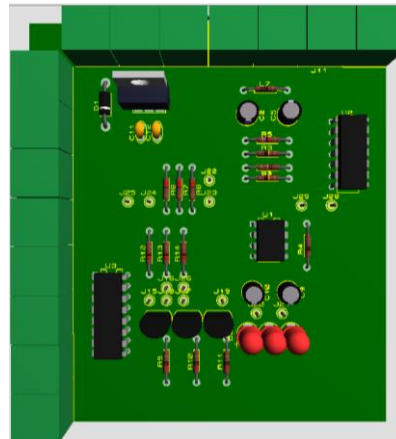
Şekil 4.2 : Mikrodenetleyici tabanlı veri toplama ve test devresi.

4.1.2 Yardımcı elektronik devreler

Sistemde bulunan elektronik kontrol birimlerinin ECAS sensöründen anlamlı veri elde edebilmeleri için dönüştürücü bir devreye ihtiyaç duyulur. Aynı şekilde sürücü kontrol birimi arasındaki yetkilendirme görevini üstlenecek ve sisteme bağlı olan eyleyicileri(aktüatörler) harekete geçirebilecek bir güç devresi de otomatik dingil kaldırma sistemi uygulamasının elemanları arasındadır.

4.1.2.1 Frekans ölçer devre

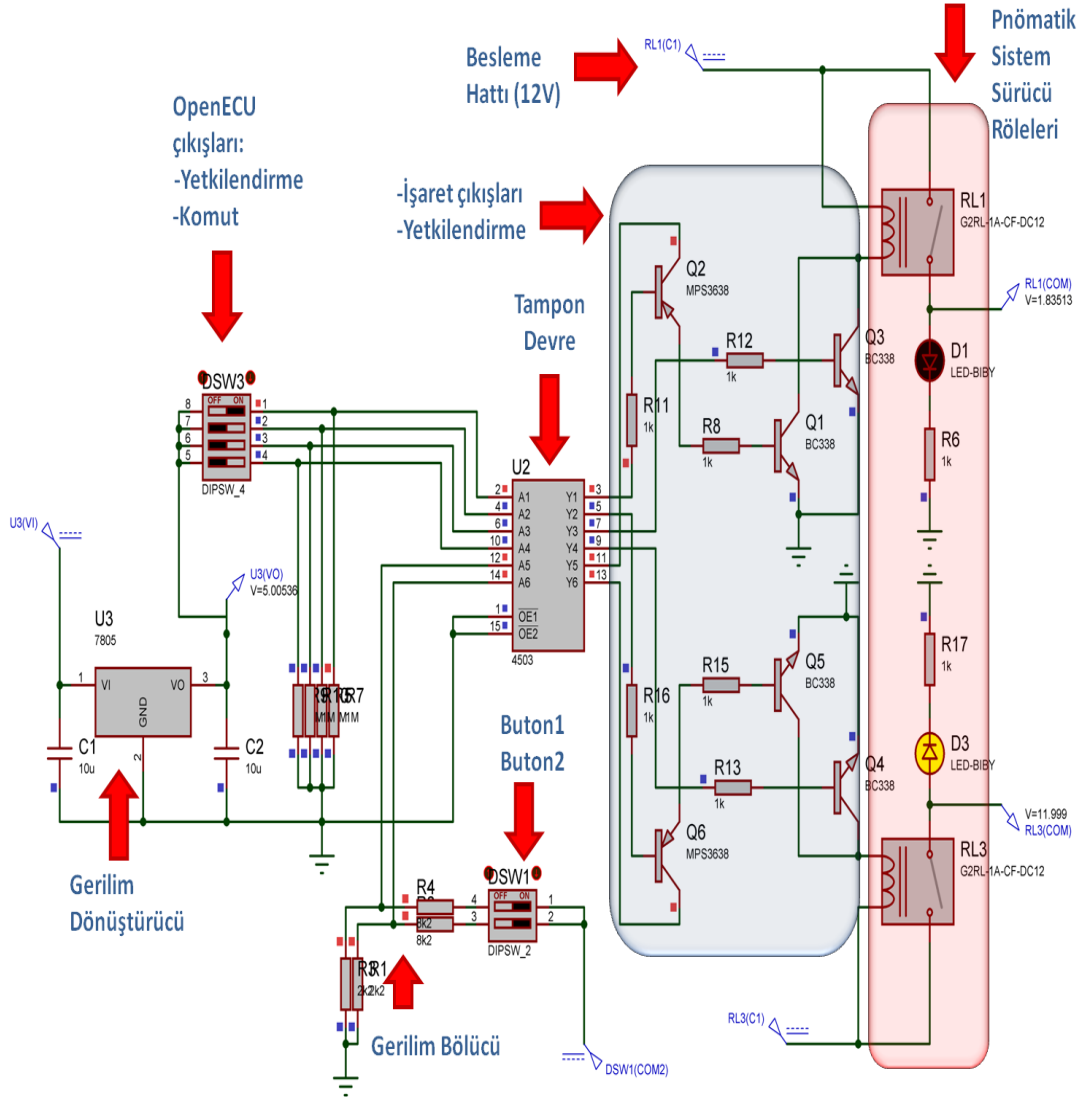
Bu devre temelde bir rezonans devresidir. Genel olarak bir bobin sargısının endüktans değerini okumak için kullanılan bir yapıdır. Bobin, kapasite ve dirençlerden oluşturulan bir devre sinüs benzeri bir çıkış işareti üretir. Bu işaret eğer bir karşılaştırmalı devresine giriş olarak verilirse, çıkış olarak dijital frekans değeri elde edilir. Bu durumda şasinin deplasmanı frekans değeri cinsinden tanımlanmış olur.



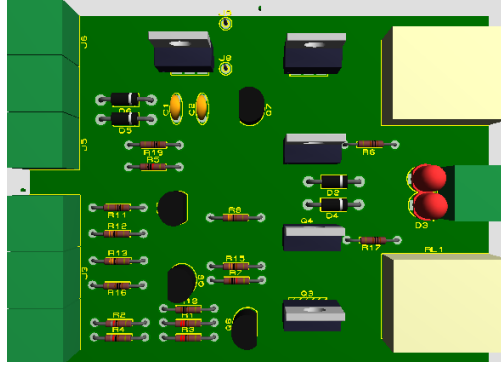
Şekil 4.3 : Frekans ölçer devre.

4.1.2.2 Yetkilendirme devresi

Yetkilendirme devresi elektronik kontrol birimlerinin mekanik sistemle olan bağlantısını sağlar. Bu devre kontrol biriminin sürücüyü yetkilendirmesi ve sisteme doğrudan müdahale edebilmesi işlevini görür ve sistemin çalışma güvenilirliğini artırır. ECU'nun bir sebeple devre dışı kalması durumunda çalışmasının sürücü tarafından sürdürülebileceği şekilde tasarlanmıştır.



Şekil 4.4 : Sürücü yetkilendirme ve güç devresi – şema.



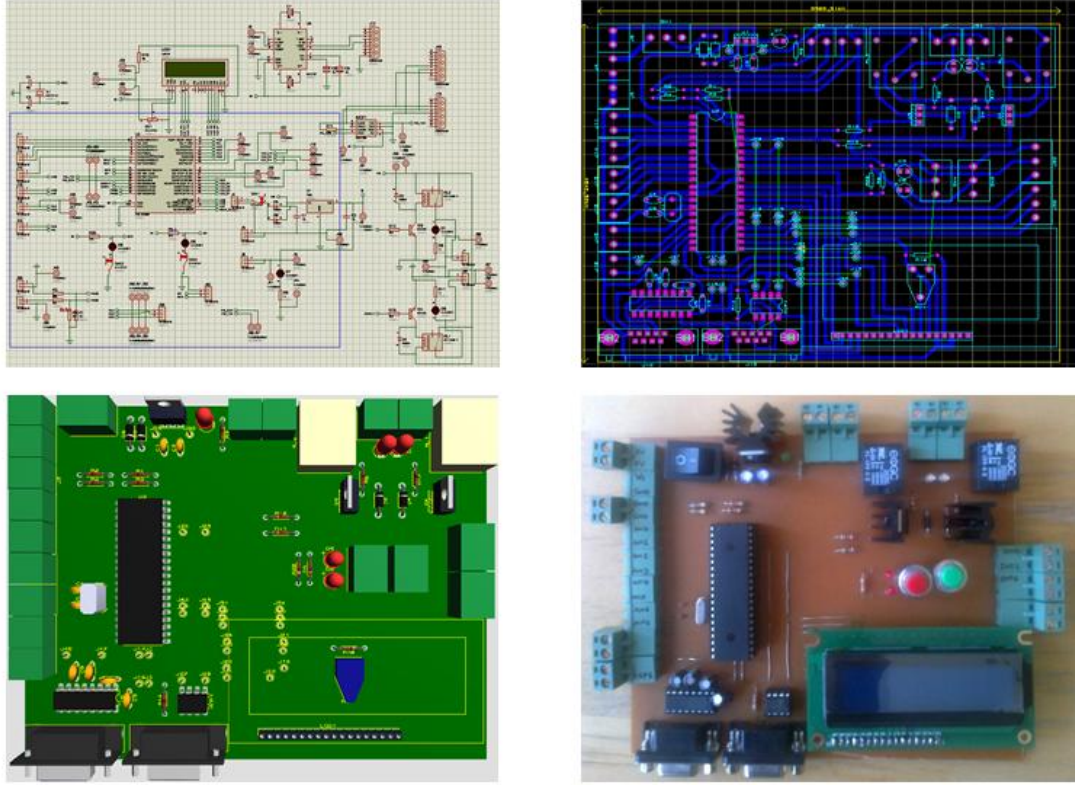
Şekil 4.5 : Sürücü yetkilendirme ve güç devresi.

4.2 Yazılım Altyapısı

Otomatik dingil indirme sisteminin oluşturulmasında elektronik donanımlar kadar yazılımlar da etkin rol oynamıştır. Devre tasarımı, programlama, veri toplama, kalibrasyon, simülasyon gibi işlemler birden çok yazılım tarafından gerçekleştirilmiştir. Elektronik devrelerin tasarlanması, gömülü yazılım içeren devrelerin programlanması; veri toplama prosedürü için bilgisayar ortamında kullanıcı arayüzü tasarımı, kalibrasyon ve gözlemlleme için yazılım entegrasyonu gibi işlemler birbiriyle uyumlu bir şekilde gerçekleştirilmiştir.

4.2.1 Proteus

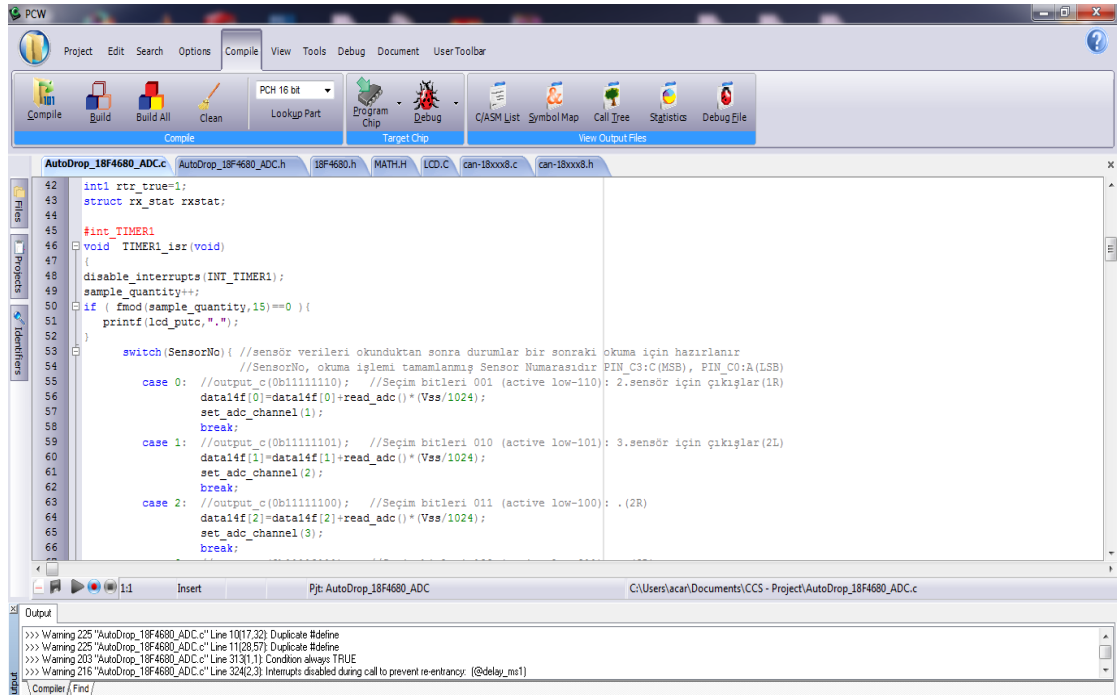
Labcenter Electronics firmasının geliştirdiği yazılım, elektronik devre tasarım ve simülasyon programıdır. Elektronik devrelerde kullanılan bileşenlerin kütüphanelerine sahip olan yazılım devre tasarım aşamasında kolaylık sağlamaktadır. Bileşenlerin bacak yapıları, bağlantıları gibi özellikleri de kullanıma sunan program iki bölüme ayrılmıştır. Bileşenlerin mantıksal bağlantılarının hazırlandığı ve aralarındaki ilişkilerin belirlendiği ISIS bölümü, aynı zamanda simülasyon yapılmasına da izin vermektedir. Devre elemanlarının gerçek elektriksel özelliklerine göre davranışlarının gözlenebildiği gibi devrede bulunan mikrodenetleyicileri de benzetime dahil eder. Böylece devreyi fiziksel olarak oluşturmada algoritma testinin yapılabilmesini sağlar. Aşağıda mikrodenetleyici tabanlı kontrol devresinin prototip aşamaları görülebilir.



Şekil 4.6 : Mikrodenetleyici tabanlı kontrol devresinin tasarım ve üretim aşamaları.

4.2.2 CCS C derleyici

Custom Computer Services şirketinin gömülü yazılım ve donanım üzerine çok sayıda ürünü vardır. Bunlardan biri de C tabanlı derleyici çözümü sunan yazılımı CCS C' dir. 12/14/16/24 bit mikrodenetleyicileri ve dsPIC' leri destekler. Devre üzeri programlama, hata ayıklayıcı gibi işlevler de sunar. C diline çok yakın ve anlaşılır yapıdaki söz dizimleri ve kullanıcı arayüzü ile kullanımı kolay bir yazılımdır. Gömülü sistemler için yazılan program derlenerek mikrodenetleyicilerin tanıdığı hex formatına dönüştürülür. Bu dosya çeşitli devre programlayıcı kartlarıyla mikrodenetleyiciye aktarılabilir. Şekil 4.7'de kullanıcı arayüzü görülebilir.



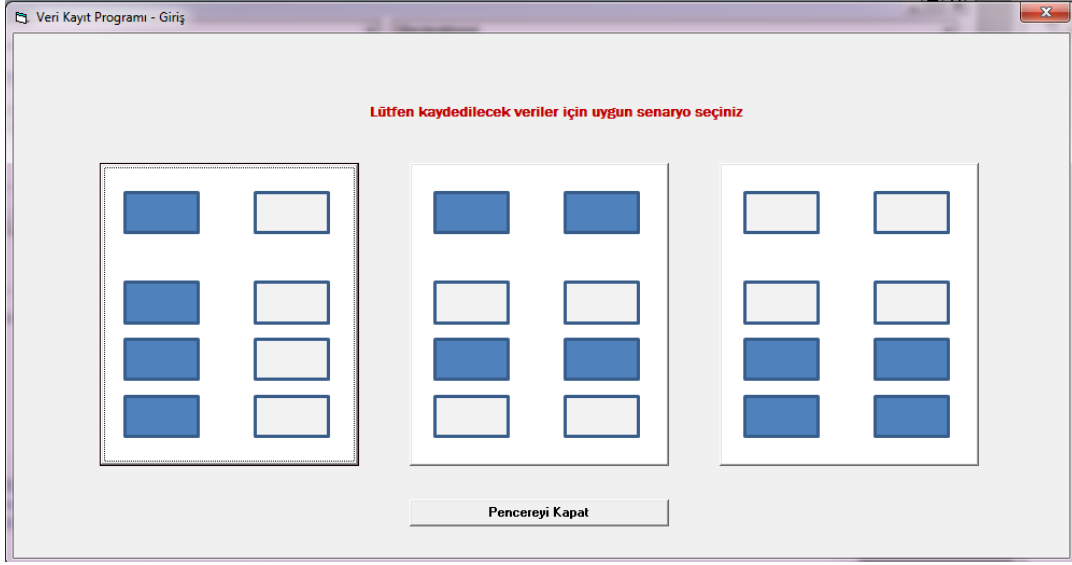
Şekil 4.7 : CCS C derleyicisinden bir ekran görüntüsü.

4.2.3 Visual Basic 6.0

Visual Basic programı Windows tarafından BASIC programlama dili üzerine geliştirilmiş bir yazılımdır. Üst seviye görsel bir programlama dilidir. Kullanıcı arayüzünü ve programlamayı bir araya getirmiştir, bu yüzden öğrenmesi ve uygulaması kolay bir programdır.

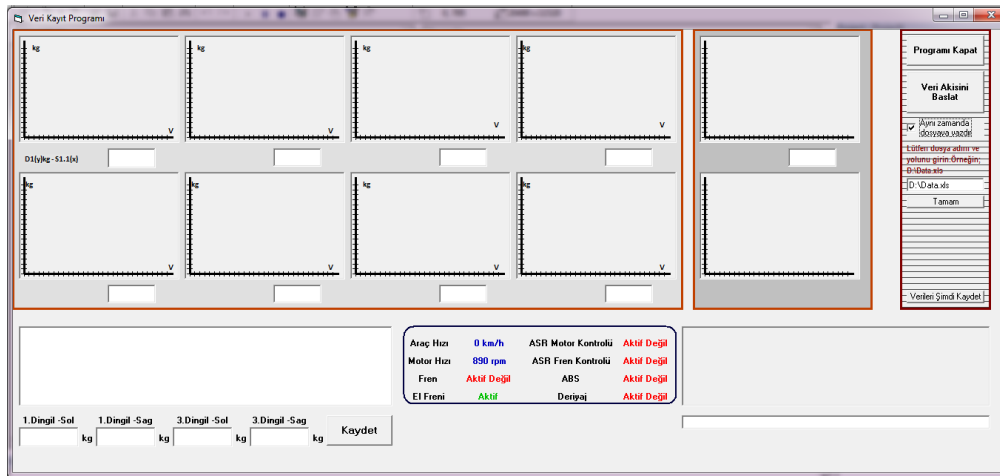
Bu çalışmada Visual Basic programı, test verileri toplamak ve araç sistemini gözlemlemek için kullanılmıştır. Mikrodenetleyici tabanlı kontrol devresi ile haberleşerek, sistemden elde edilen verileri alır ve veri tabanına kaydeder. Ağırlık testleri sırasında kontrol devresinden aldığı sensör verilerini kullanıcı tarafından girilen ağırlık değerleriyle eşleştirir, grafiksel olarak gösterir ve isteğe bağlı olarak dosyaya kaydeder. Aynı zamanda yine gelen CAN hattı verilerini de anlık olarak gösterir.

Giriş ekranında ağırlık sensörlerinin hangi kombinasyonda yerleştirildiğini soran bir ekranla karşılaşılacaktır. Ağırlık sensörlerinin sayısı dört olduğundan farklı yerleşimlerde farklı anlamlara sahip veriler elde edilmekte ve farklı şekillerde kayıt altına alınmaktadır. Şekiller üzerindeki beyaz dikdörtgen kutular kamyon lastiklerinin izdüşüm bölgelerini ifade ederken; mavi bölgeler ağırlık sensörlerinin yerleştirildiği noktaları göstermektedir.



Şekil 4.8 : Veri toplama yazılımının giriş ekranı.

Seçilen ağırlık sensörü konfigürasyonuna göre ağırlık bilgisiyle sensör verilerini eşleştirme ve dosyaya yazdırma gibi işlemlerin yapılabildiği aynı zamanda eşleştirilen verilerin grafiksel olarak ifade edilebildiği bir ekran karşımıza çıkmaktadır. Veri akışının başlatılmasıyla elektronik kontrol devresi tarafından araca bağlı sensörlerden toplanan veriler bilgisayar ortamında aktarılır. Ağırlık bilgisi girişi ise kullanıcı tarafından yapılmaktadır. Kullanıcı ağırlık bilgisini girdiği zaman kaydet butonuna bastığında sensörlerden anlık olarak alınan verilerle eşleştirilerek listeye kaydedilir ve eşleştirilen veriler her bir sensör için grafiksel olarak gösterilir. İsteğe bağlı olarak listeye kaydedilen veriler dosyaya da yazdırılabilir. Ayrıca elektronik kontrol biriminin araç CAN hattından elde ettiği ve algoritma için gerekli olabilecek bazı bilgiler de ekrana yansıtılır.



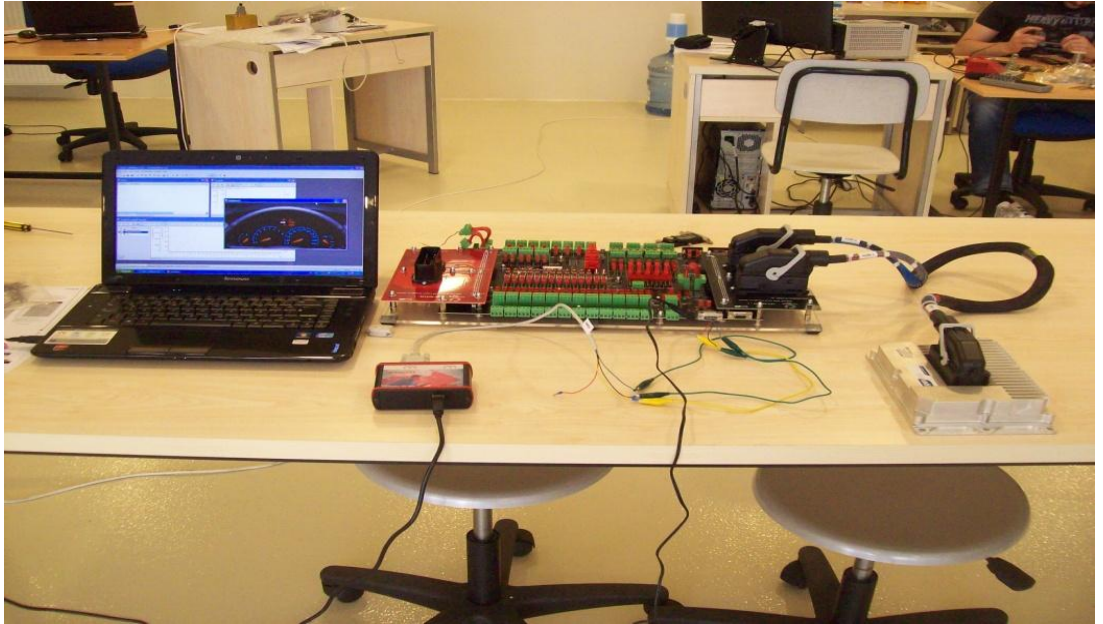
Şekil 4.9 : Veri toplama yazılımının arayüzü.

4.2.4 ATI Vision

Accurate Technologies Inc (ATI), kalibrasyon, veri toplama ve analizi gibi özellikleri içerisinde barındıran bir yazılım geliştirmiştir. CAN hattı üzerinden programlanmayı destekleyen elektronik kontrol ünitelerinde kalibrasyon özelliğini desteklemektedir. CAN hattı üzerinden paylaşılan kalibre edilebilir değişkenleri tanımlayarak doğrudan müdahale edebilmeyi kolaylaştırmaktadır. Böylece yazılım konusunda esneklik sağlamaktadır.

Otomatik dingil indirme sisteminde OpenECU ile uyumlu olarak çalıştırılmıştır. Veri toplama testleri sırasında istenen değişkenlerin ekrana yansıtılması ve grafiksel olarak gösterilmesi; algoritma testleri sırasında istenilen verilerin kolaylıkla kalibre edilebilmesi yazılımın güçlü yönleri olarak ortaya çıkmaktadır.

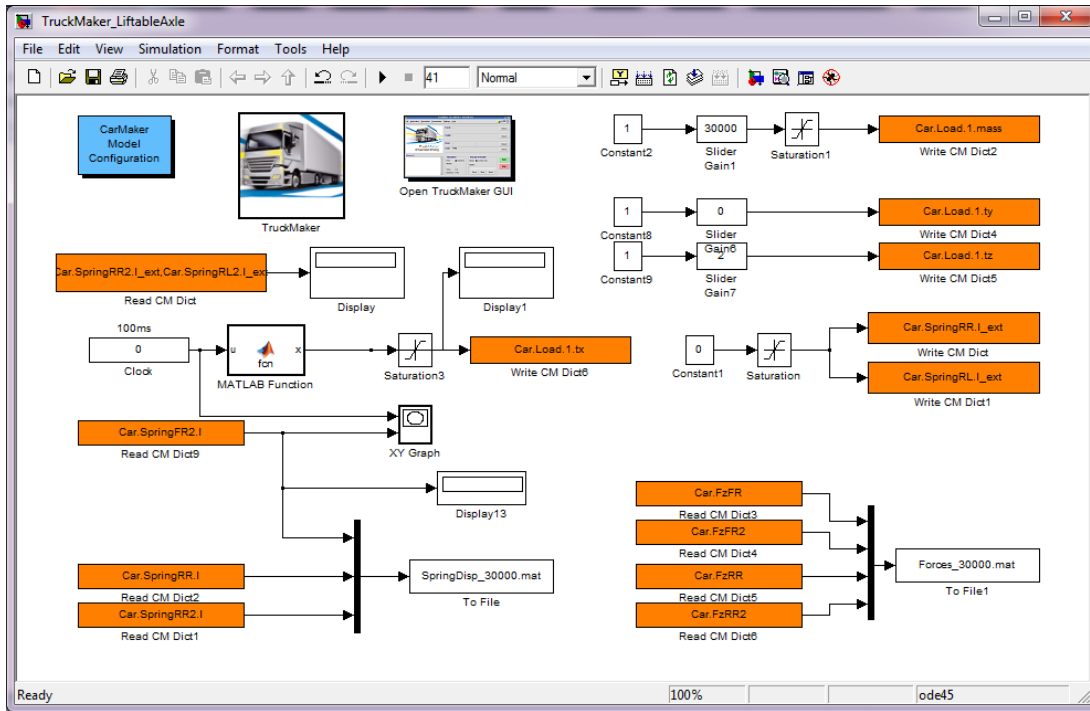
Otomatik dingil indirme sistemi hazırlanmadan önce, sistemi temsil eden valfler ve hava çantaları ile OpenECU arasında elektriksel bağlantılar oluşturulmuş ve algoritma testi OpenECU ile gerçekleştirilmiştir. Bu testler sırasında algoritmaya giriş olarak ağırlık verileri girilmekte ve bu ağırlık verilerine göre yönetmeliklerce belirlenen kurallara göre algoritma işletilmektedir. Burada ağırlık verileri ATI Vision ile kalibre edilerek OpenECU' da gömülü program içerisinde değiştirilmektedir.



Şekil 4.10 : ATI Vision OpenECU bağlantısı.

4.2.5 MATLAB/Simulink

MathWorks tarafından geliştirilen matematiksel hesaplama yazılımı çok kapsamlı teknik altyapıya sahiptir. Esnek kod yazma imkanı sağlamasının yanı sıra Simulink kütüphanesi blok diyagramlar yardımıyla programlama konusunu oldukça basitleştirmiştir. Bu çalışmada, algoritma simülasyonları ve algoritmaları OpenECU' ye programlama işlemleri Simulink üzerinde gerçekleştirilmiştir.

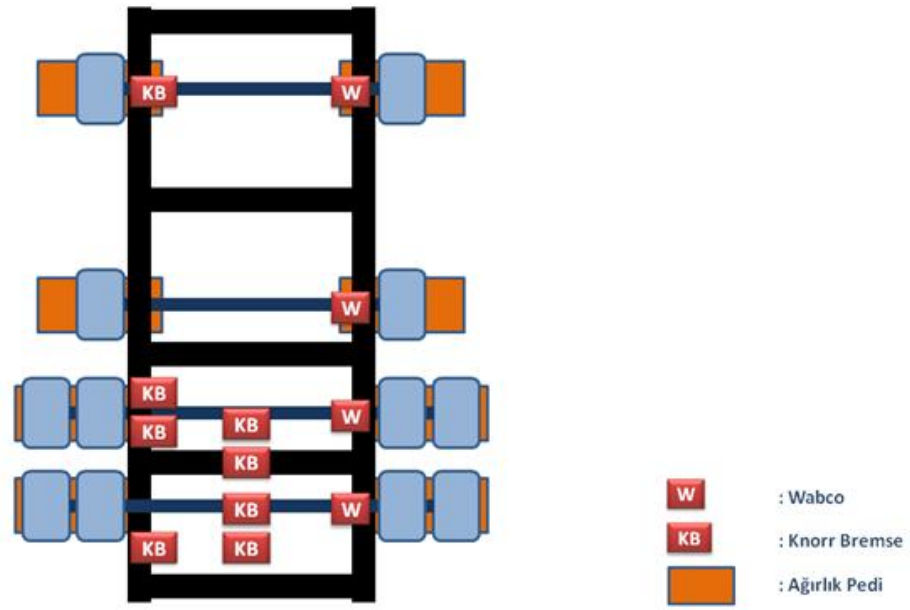


Şekil 4.11 : MATLAB/Simulink ortamından bir görüntü.

5. DENEYSEL ÇALIŞMA

Bu çalışmada otomatik dingil indirme sistemi laboratuvar ortamında kurgulanmış ve prototip bir araç üzerinde uygulanmıştır. Otomatik dingil indirme sisteminin oluşturulmasından önce ise bilgisayar ortamında benzetimi yapılmış, çeşitli yazılımlar aracılığıyla veriler analiz edilmiş, daha sonra gerekli elektronik donanımlar prototip araç üzerine entegre edilerek test ortamı oluşturulmuştur.

Aracın belirli yükler altındaki davranışı otomatik dingil indirme sisteminin temelini oluşturur. Bu davranışların bilinmesi dingil ağırlıklarına ulaşılmasını ve istenilen koşulları sağlayabilecek bir algoritma yazılmasını mümkün kılar. Bu yüzden testler öncelikli olarak, prototip aracın yapısının anlaşılabilmesi ve belirli koşullar altındaki davranışlarının tanımlanabilmesi üzerine kurulmuştur. Bu davranışların en belirgin olduğu bölgelere sensörler yerleştirilmiş ve sensörlerden gelen verilerle ağırlık verileri ilişkilendirilmiştir. Deneyler sırasında iki farklı sensör kullanılmış ve araç üzerine yerleştirildikten sonra çeşitli testler yapılmıştır. Aşağıda temsili olarak sensör yerleşimleri görülmektedir.



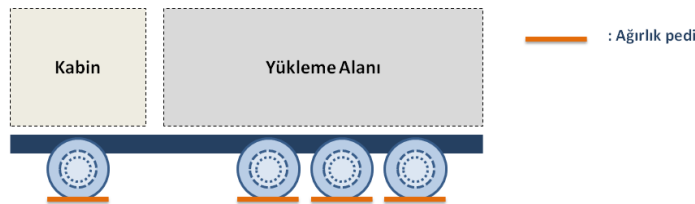
Şekil 5.1 : Araç üzerinde temsili sensör yerleşimleri.

Şekilde görülen KB harfleri ile temsil edilen sensör, Knorr-Bremse firmasına ait olan seviye belirleme sensörü; W harfiyle temsil edilen sensör ise Wabco firması tarafından üretilen elektronik kontrollü havalı süspansiyon(EKHS) sensörüdür. Turuncu kutu ile gösterilen görsel ise dingillere düşen ağırlığı ölçen ağırlık pedi adı verilen sensördür. Araç üzerine sekiz adet Knorr Bremse sensörü, dört adet de Wabco sensörü yerleştirilmiştir.

5.1 Veri Toplama Prosedürü

Ağırlık bilgisi için “ağırlık pedi” adı verilen yassı tabla şeklindeki sensör mekanizmalarının lastiklerin altına yerleştirilir. Ağırlık pedi, ağırlık bilgisini kablolu ağ aracılığı ile bilgisayar ortamına aktarır. Sensörlerden gelen bilgiler ise bir elektronik devre ile toplanarak arayüze aktarılır. Burada ağırlık verileri ile sensörlerden alınan veriler ilişkilendirilerek veri tabanına aktarılır ve analiz için hazır hale getirilir. Ayrıca araçta bulunan ve araçla ilgili tüm verilerin paylaşıldığı CAN hattı üzerinden ilgili verilerin toplanması, ayıklanması ve algoritmaya dahil edilmeye hazır hale getirilmesi de bu aşamada gerçekleşir. Testlerin ikinci aşaması olarak yalnızca sensörlerden veri toplanarak bir işlemci aracılığıyla ağırlık tahmini yapılması ve bu işlemin sonucuna göre uygun bir algoritmanın prototip araç üzerinde test edilmesidir. Test prosedürü şu şekilde işlemektedir.

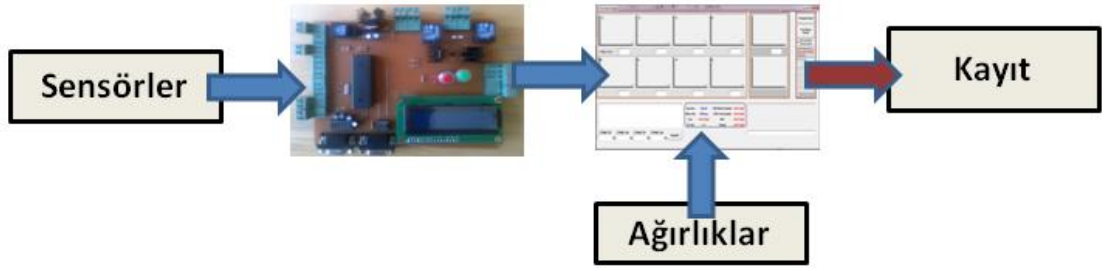
Dingil ağırlıklarını tespit edebilmek için ağırlık pedleri lastiklerin altına yerleştirilir.



Şekil 5.2 : Ağırlık pedlerinin araçtaki yerleşimleri.

Ağırlık bilgisi pedler tarafından kablolu olarak bir alıcıya aktarılır. Alıcı birim bu verileri bilgisayar ortamına aktarır ve bir yazılım sayesinde ekranda gösterir. Şasiye bağlı sensörlerden gelen gerilim verileri elektronik bir devre aracılığıyla toplanır ve bilgisayar ortamında hazırlanmış bir yazılım ile etkileşim haline girer. Veriler bu yazılım tarafından sürekli olarak okunur. Kullanıcı, ağırlık bilgisini diğer bilgisayardan okuyarak bu yazılımda ilgili yerlere girer. Kaydet butonuna basıldığında girilen ağırlık bilgileriyle anlık olarak okunan sensör bilgileri eşleştirilir

ve bir dosyaya kaydedilir. Aynı zamanda aracın CAN hattından okunan bilgiler de anlık olarak ekrana yansıtılır.

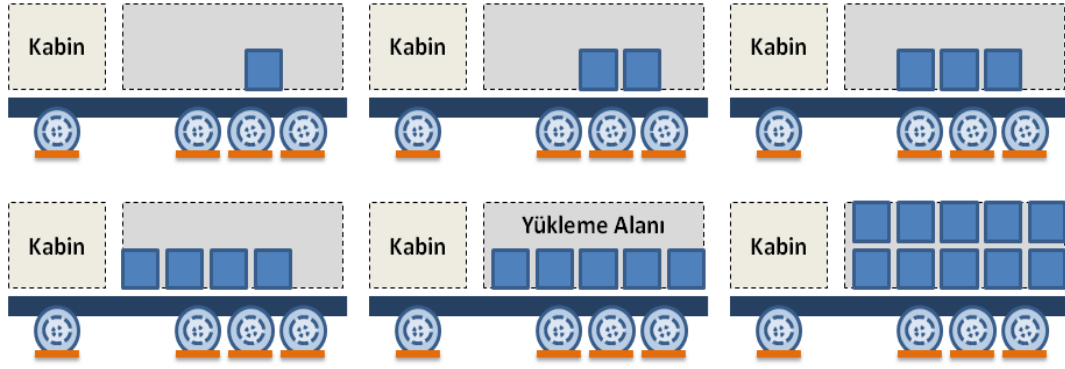


Şekil 5.3 : Veri toplama ve ilişkilendirme prosedürü.

Bu işlemler her bir ağırlık senaryosu için tekrarlanır. Ağırlık senaryolarındaki amaç, aracın şasisinin farklı yükler altındaki davranışlarını belirlemektir. Farklı yük durumlarında elde edilen ağırlık bilgileri ve sensör verileri eşleştirilerek anlamlı bir veri tabanı oluşturulur. Gerçek zamanlı ve sürekli veri kaydı bu sistemle mümkün olmakla birlikte, ağırlık verilerinin okunması özelleştirilmiş bir yazılımla gerçekleştirildiğinden bu mümkün olamamıştır. İletişim protokolüne dışarıdan müdahale edilemediği için ağırlık verileri el ile girilmek zorunda kalmıştır.

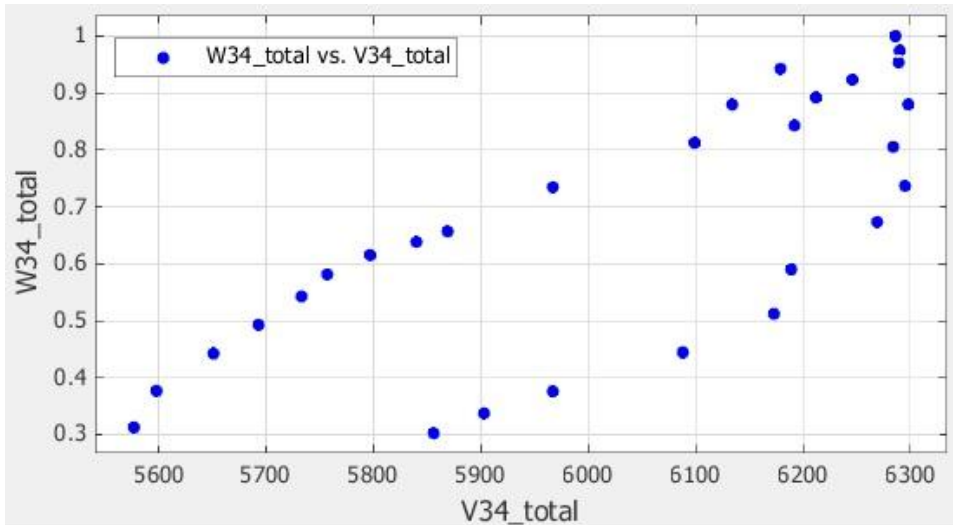
Aşağıda testler sırasında oluşturulan çeşitli ağırlık senaryolarından bazıları gösterilmektedir.





Şekil 5.4 : Çeşitli ağırlık senaryoları ve uygulamadan bir örnek resim.

Toplanan ve eşleştirilen verilere göre elde edilmiş bir grafik aşağıda gösterilmektedir. Bu grafik kamyonun yığma makaslardan oluşan üçüncü ve dördüncü dingillerini birbirine bağlayan terazi yapısındaki sistemin histerezis eğrisidir. Analiz edilen veriler böyle bir yapının sahip olduğu özelliklere uyum sağlamaktadır.



Şekil 5.5 : Arka aks yapısından toplanan verilerdeki histerezis eğrisi.

5.2 TruckMaker Yazılımı Üzerinden Veri Toplama ve Değerlendirme İşlemi

Otomatik dingil indirme sisteminin uygulanabilirliği dingillere düşen yüklerin kabul edilebilir bir doğrulukla tespit edilebilmesiyle yakından ilişkilidir. Mekanik süspansiyonlu kamyonlarda ise bu ilişki deneysel verilere daha çok ihtiyaç duyulduğundan daha fazla önem kazanmaktadır. Elde edilecek deneysel verilerden yola çıkılarak sensör verileriyle dingillere düşen ağırlık miktarları modellenilebilir ve kontrol algoritmasında temel parametre olarak kullanılmaya hazır hale getirilebilir.

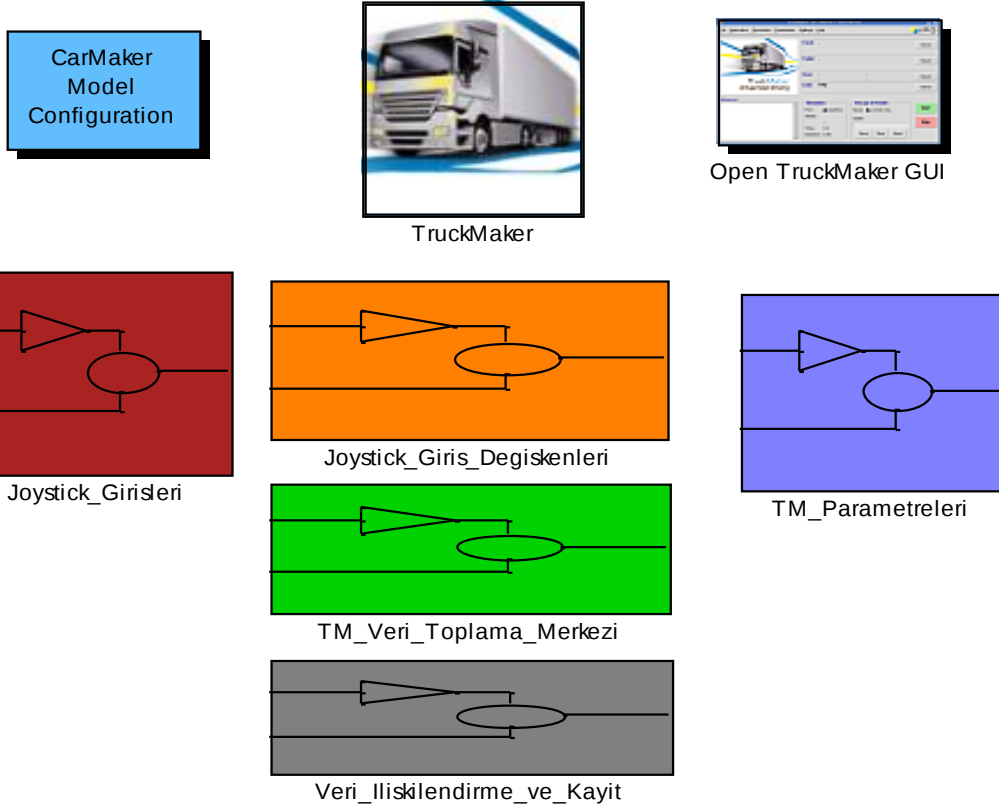
MATLAB/Simulink üzerinde TruckMaker ile birlikte kurgulanan bu veri toplama uygulaması prototip bir kamyonunda gerçekleştirilmesi beklenen veri toplama ve değerlendirme işlemlerinin bütününe kapsamaktadır.

5.2.1 Veri toplama işlemleri

Prototip araç üzerinde veri toplama işleminin bir benzeri TruckMaker yazılımı ile gerçekleştirilmiştir. TruckMaker yazılımı, önceden belirlenebilen bir araç için çok sayıda parametreyi çıktı olarak verebilmekte; aynı zamanda bir çok parametreyi sisteme giriş olarak kabul edebilmekte ve böylece donanım ve yazılım etkileşimli simulasyon sistemleri oluşturulabilmektedir.

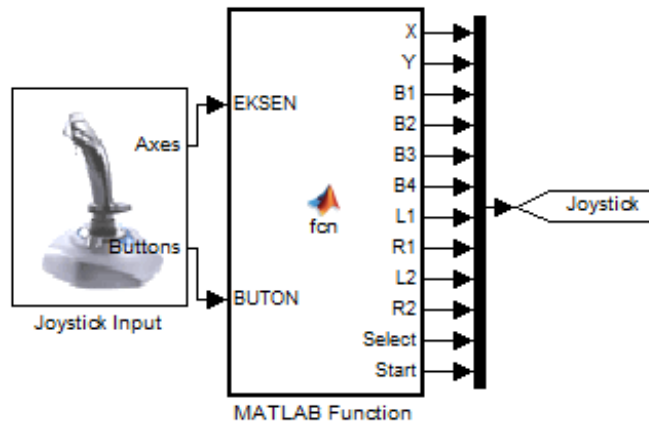
TruckMaker yazılımı için MATLAB/Simulink ile etkileşimli çalışabilmesi amacıyla kütüphane hazırlanmıştır. Bu sayede, TruckMaker üzerinde çalışan bir simulasyonun çıktıları Simulink'e aktarılırken Simulink ortamından da TruckMaker'a giriş parametreleri sağlanabilmektedir.

Farklı ağırlık senaryolarının simulasyon içerisinde test edilebilmesi için araç üzerindeki yük miktarı ve konumu TruckMaker'a Simulink üzerinden sağlanmıştır. Simulink üzerinde yük miktarını ve konumunu ayarlayabilmek için ise kumanda kolu(Joystick) kullanılmıştır. Kumanda kolunun farklı kombinasyonlarının Simulink'e harici giriş olarak verilebilmesi simulasyona dışarıdan müdahale edilebilme imkanı vermiştir.



Şekil 5.6 : MATLAB/Simulink ortamında TruckMaker üzerinden veri toplanması.

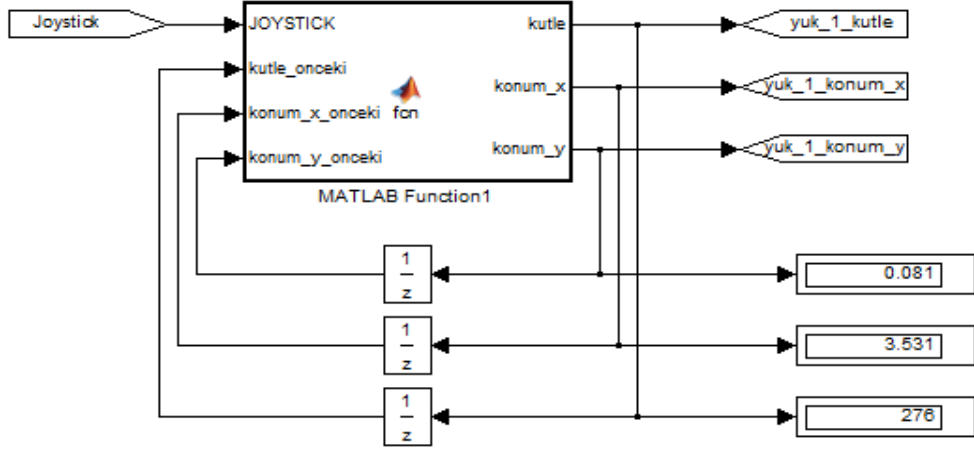
Veri toplama prosedüründe elde edilmesi istenen iki veri tipi vardır. Birincisi, dingillere düşen ağırlık miktarı; ikincisi ise şasinin dingillere göre yer değiştirme miktarıdır. Bu iki veri birbiriyle ilişkilendirilerek, şasinin yer değiştirme miktarından dingile düşen ağırlığın tespit edilmesi amaçlanır. TruckMaker simülasyonu üzerinden veri toplama işlemi de böyle bir kurgu üzerinden yapılmıştır.



Şekil 5.7 : MATLAB/Simulink simülasyonuna Joystick girişlerinin dahil edilmesi.

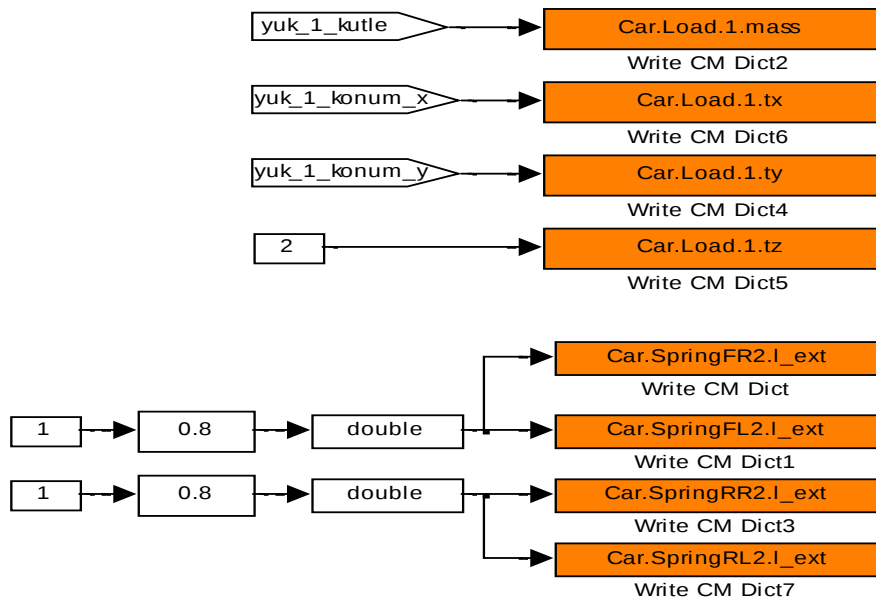
Joystick kolunun simülasyona dahil edilmesi, bu amaç doğrultusunda hazırlanmış Simulink bloğu ile sağlanmaktadır. USB port aracılığıyla bilgisayara bağlanan

kumanda kolundan sağlanan dijital veriler bu blok sayesinde Simulink'e giriş olarak verilebilmektedir. Hazırlanan bir fonksiyon aracılığıyla da dijital veriler anlamlı bir şekilde paketlenerek kullanıma hazır hale getirilmektedir.



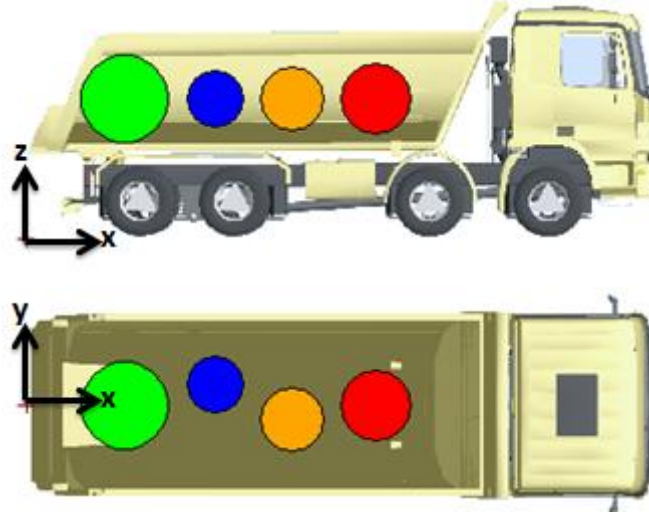
Şekil 5.8 : Joystick verilerinin TruckMaker giriş parametrelerine dönüştürülmesi.

Sanal veri toplama işlemini gerçekleştirebilmek için TruckMaker yazılımında değişken olması gereken parametreler ayrı bir fonksiyon içerisinde düzenlenmektedir. Bu fonksiyonda bir önceki aşamada paketlenen joystick bilgileri kullanılarak TruckMaker'a gönderilecek olan giriş parametreleri değiştirilebilmektedir. Bu aşamada oluşturulabilecek farklı tuş basma kombinasyonları ile kullanıcının TruckMaker'daki çok sayıda parametreyi aynı simülasyon içerisinde kontrol edebilmesi kolaylıkla sağlanabilir.



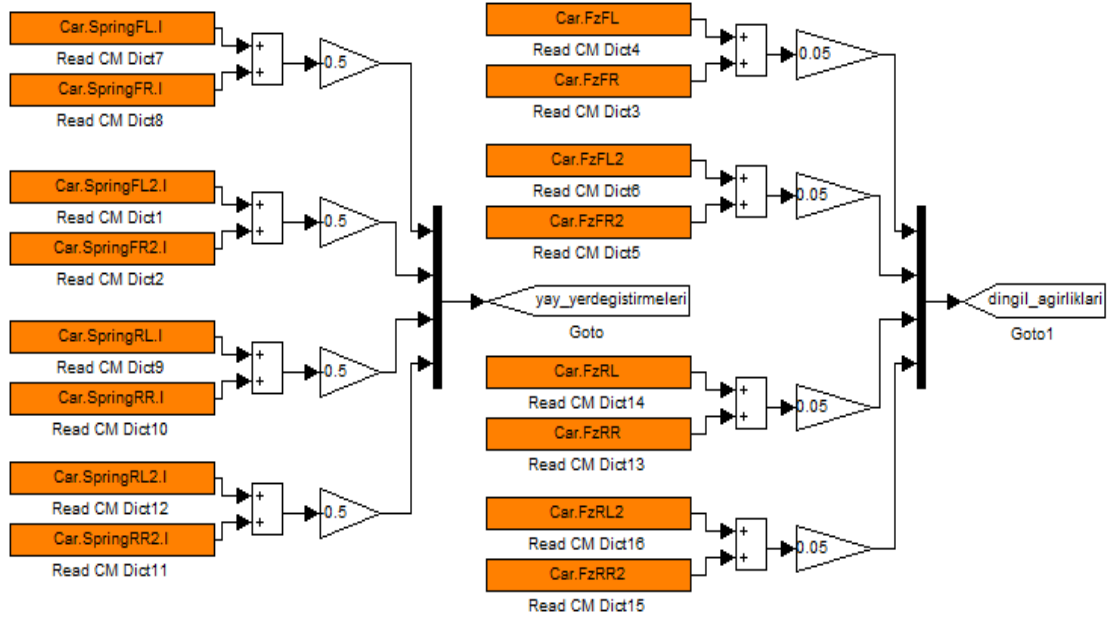
Şekil 5.9 : Simülasyon giriş bilgilerinin TruckMaker'a aktarılması.

Joystick kolu üzerinden ayarlanabilen giriş parametreleri Simulink blokları aracılığı ile TruckMaker yazılımına kolaylıkla aktarılabilir. TruckMaker yazılımında “Kullanıcı Tarafından Erişilebilir Nicelikler”(User Accessible Quantities) olarak tanımlanan parametreler, tanımlandığı şekilde Simulink içerisinde kullanılabilir; yazılabilirlik ve/veya okunabilirlik durumlarına göre işlem yapılabilir. Simulasyon içerisinde önemli yer tutan yük miktarı ve yükün konum bilgileri de bu parametreler içerisinde ve TruckMaker yazılımına giriş parametresi olarak gönderilmektedir.



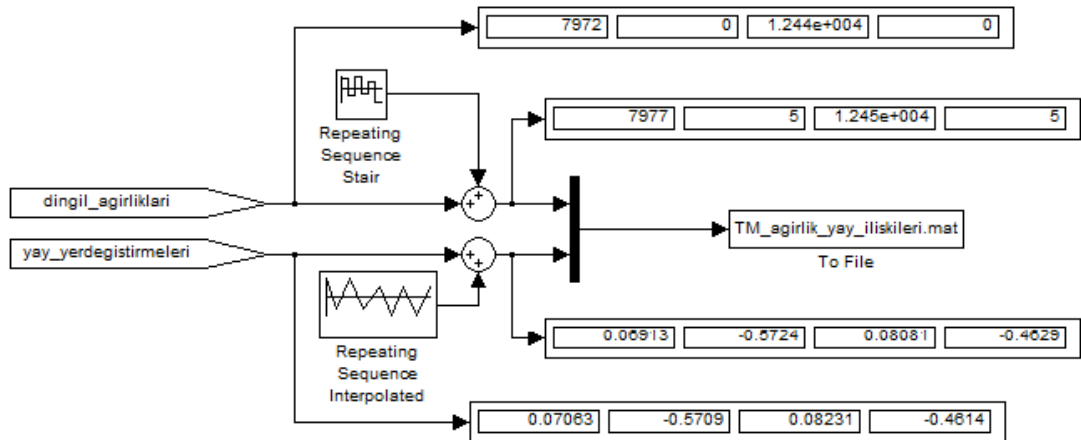
Şekil 5.10 : TruckMaker yazılımında yük yerleştirilmesi ve koordinat sistemi.

TruckMaker’da kamyonun üzerine eklenebilecek dört farklı yük tanımlanabilir. Her birine bağımsız olarak yük miktarı bilgisi ve konum bilgileri girilebilir. Sanal veri toplama işlemi için bu işlevi görecektek bir yük yerleştirilebilir; konumu ve yük miktarı değiştirilerek farklı yük senaryoları elde edilebilir.



Şekil 5.11 : TruckMaker’den Simulink ortamına veri aktarılması.

Simulink ortamından gönderilen parametrelere göre TruckMaker’da işletilen veriler çıktı olarak yeniden Simulink’e aktarılabilir. Bu uygulamada, değiştirilen yük miktarı ve konumuna karşılık elde edilen, simulasyondaki aracın şasisindeki yer değiştirme miktarları ve dingillere düşen ağırlık değerleri TruckMaker tarafından Simulink ortamına aktarılmış ve eşleştirilen bu veriler veri tabanına aktarılarak analize hazır hale getirilmiştir. Bu uygulamada, veri toplama işlemine ek olarak, aracın çalışır vaziyetteki titreşiminden ve sensörlerden kaynaklanan ölçüm belirsizliğini simulasyon verilerine dahil edebilmek için TruckMaker’ dan alınan verilere karakteristiği belirli gürültü kaynağı eklenmiştir.

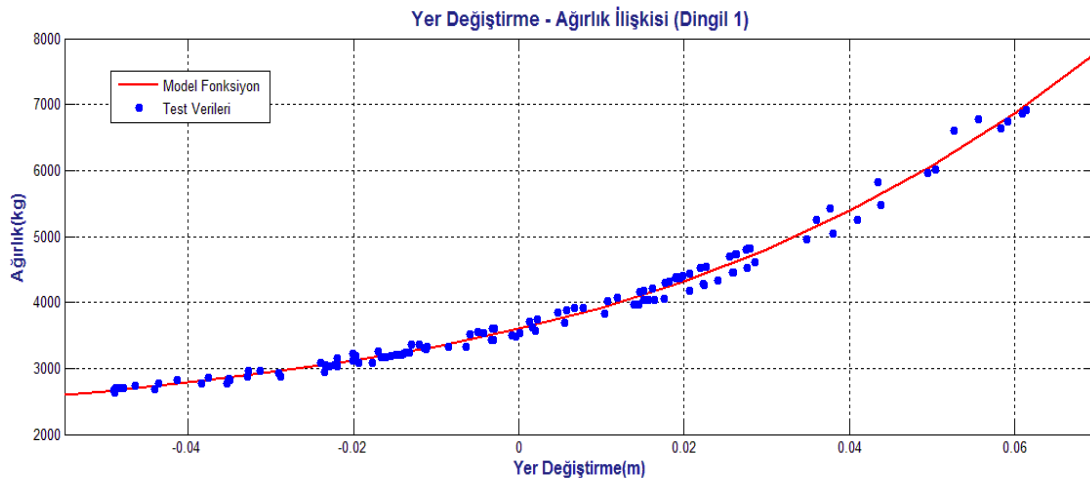


Şekil 5.12 : TruckMaker’den alınan verilerin kayıt altına alınması.

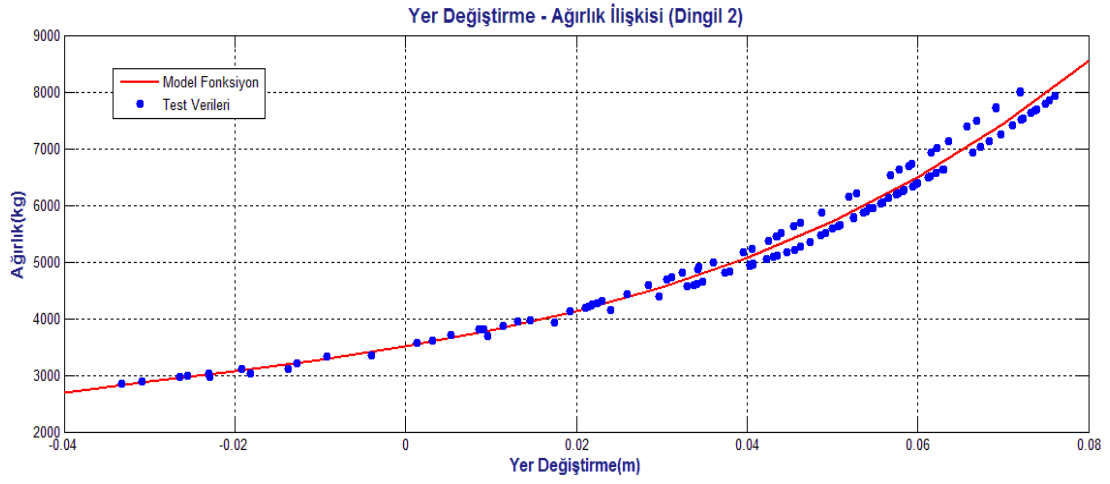
5.2.2 Veri analizi ve değerlendirme

TruckMaker üzerinden toplanan veriler temel olarak bir kamyonun üzerindeki y¼ke karşılık g¼sterdięi davranışı yansıtmaktadır. Bu davranış biğimi her bir dingil için ¼zelleřtirilmiř bir şekilde modellenebilirse araca bağlanacak sens¼rlerden elde edilen veriler anlamlı hale getirilebilir. Yukarıda anlatılan MATLAB/Simulink modeli bu amaca y¼nelik olarak hazırlanmıştır ve elde edilen veriler matematiksel bir modele d¼n¼řt¼r¼lmesi amacıyla yine MATLAB araçlarından(Toolbox) biri olan “Eğri Uydurma(Curve Fitting)” uygulamasıyla değerlendirilmiştir. Elde edilen sanal test verileri dingil ağırlıkları ile bu ağırlıklara karşılık gelen yer değiştirmeleri içermektedir.

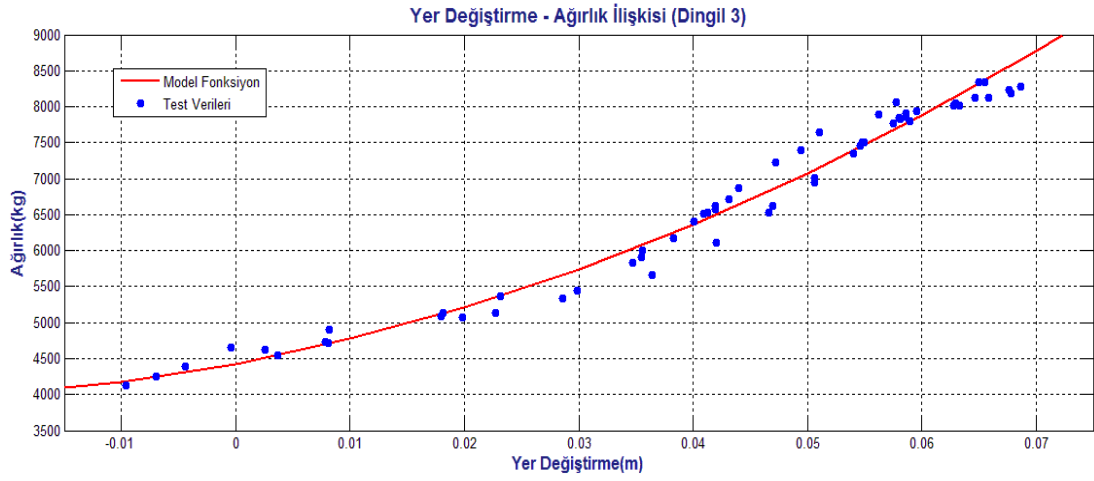
Bu çalışmada otomatik dingil indirme sistemi, mekanik s¼spansiyonlu 8x2 yapısına sahip prototip bir kamyon için geliştirilmesi amaçlanmıştır.



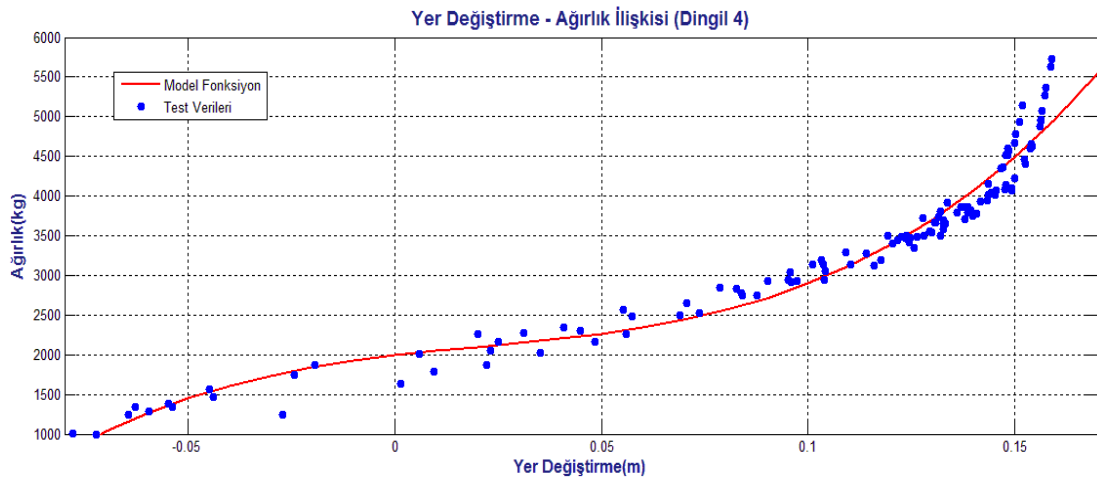
şekil 5.13 : Dingil 1’e ait sanal test verileri ve eğri modellemesi.



Şekil 5.14 : Dingil 2'e ait sanal test verileri ve eğri modellemesi.



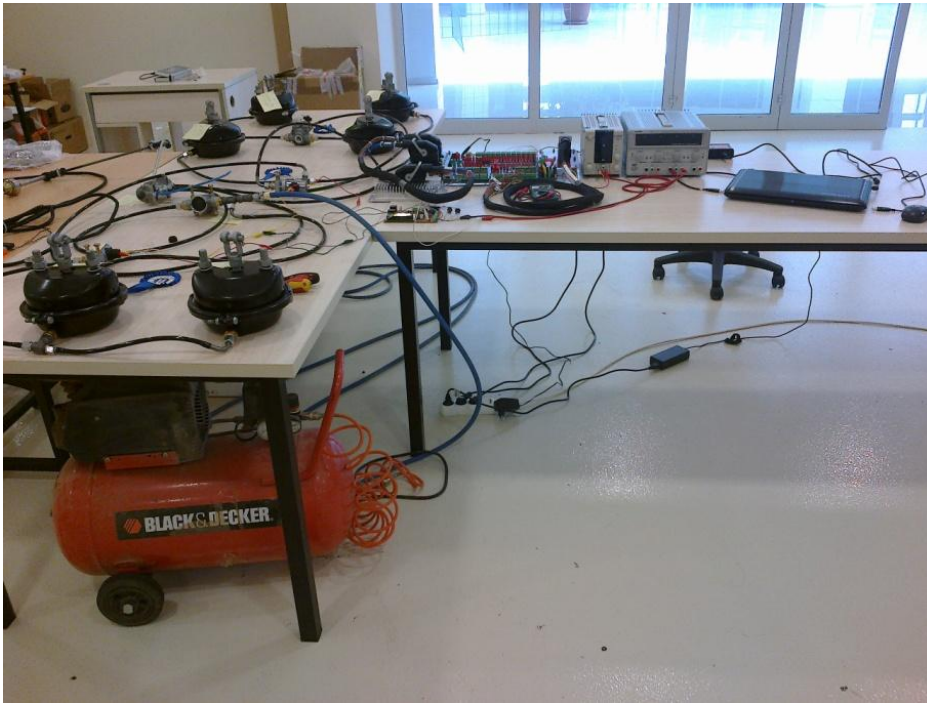
Şekil 5.15 : Dingil 3'e ait sanal test verileri ve eğri modellemesi.



Şekil 5.16 : Dingil 4'e ait sanal test verileri ve eğri modellemesi.

5.3 Algoritma Testi

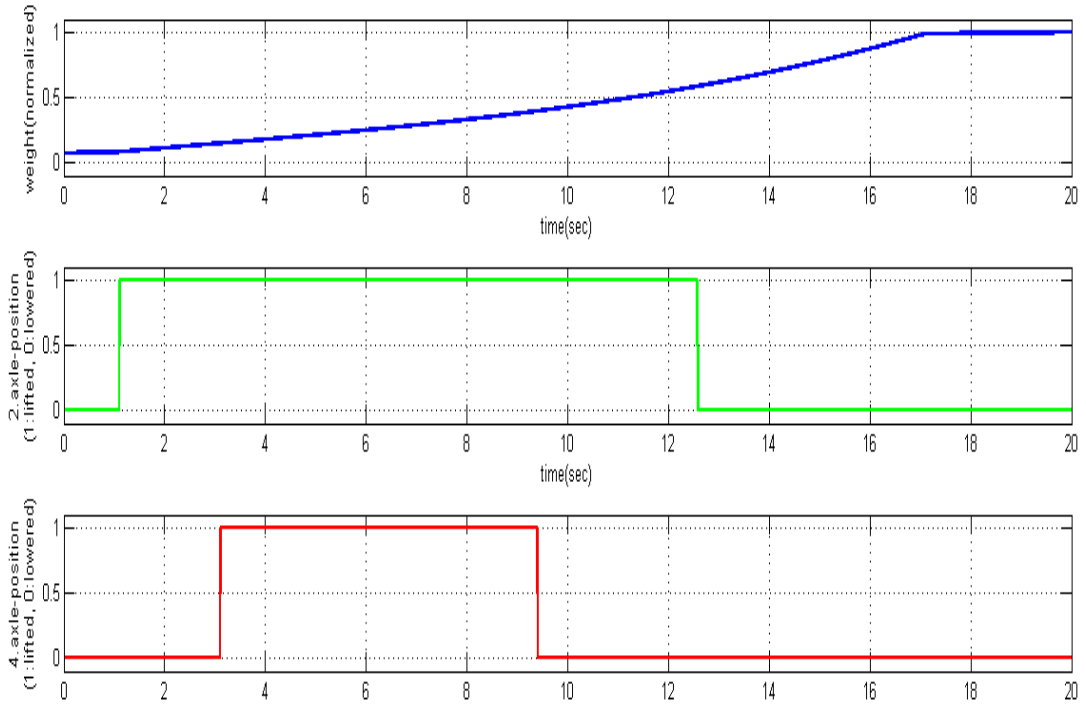
Algoritma testi ilk olarak laboratuvar ortamında yapılmıştır. Gerçek sistemi oluşturan hava körüğü, valfler, hava tankı, güç devresi, kontrol birimi gibi unsurlar laboratuvar ortamında toplanmıştır. Ağırlık bilgisi sisteme yazılımsal olarak girilmiştir. Sistem bu ağırlık bilgilerini referans alarak otomatik dingil indirme algoritmasını işletmekte ve güç devresi aracılığıyla hava akışını yöneten valfleri kontrol etmektedir. Bu şekilde hava körüklerindeki hava basıncını değiştirerek dingil indirme ya da kaldırma işlemini temsili olarak yapmaktadır. Aşağıdaki resimde bahsedilen bu sistem görülebilir.



Şekil 5.17 : Algoritma test ortamı.

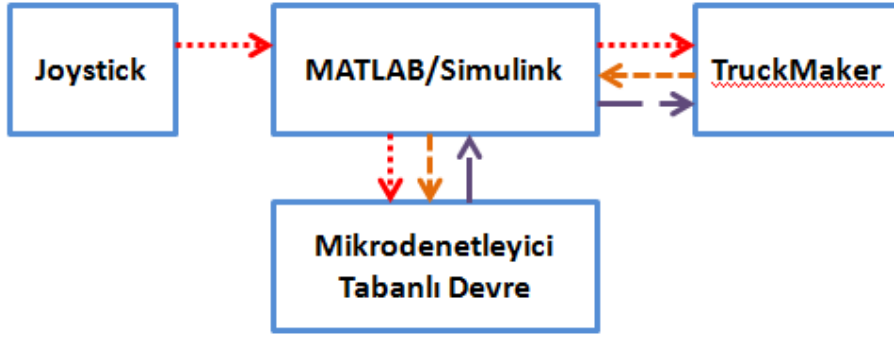
Simulasyonda otomatik dingil indirme sistemi algoritmasının testi için kamyonu dışarıdan eklenen yük değeri başlangıçta sıfıra yakın olarak girilmiştir. Algoritma bu durumda arka aks yükünün(2. 3. ve 4. dingiller) yasal sınırların altında olduğuna karar verip ilk olarak sürücüye ikinci dingili kaldırma yetkisi vermektedir. Sürücünün dingili kaldırmak istediği varsayılarak simülasyona ilgili komut girildiğinde sistem ikinci dingili kaldırmaktadır. Yeni durumda arka aks yükü(burada 3. ve 4. dingiller) hala yasal sınırların altında olduğundan sistem sürücüye arka dingili de kaldırma yetkisi vermektedir. Sürücünün yine dingili kaldırmak isteyeceği varsayılarak ilgili komut simülasyona giriş olarak verilmiştir. Sistem bu durumda

arka dingili de kaldırmıştır. Ancak bu sırada simülasyonda araca yüklenen ağırlık seviyesi artmaya devam etmektedir. Bir süre sonra üçüncü dingile düşen ağırlık yasal sınırların üzerine çıktığında otomatik dingil indirme algoritması kontrolü eline alarak arka dingili indirmektedir. Sürücü burada devre dışı bırakılmış ve dingil kaldırma yetkisi elinden alınmıştır. Yeni durumdaki arka aks yükü de sınırı aştığında sistem ikinci dingili kaldırma yetkisini de sürücünün elinden almakta ve dingili otomatik olarak yere indirmektedir. Aşağıdaki grafiklerde simülasyon sonucu zamana bağlı olarak gösterilmektedir. En üstteki mavi ile gösterilen grafik, araca eklenen yüke karşılık gelen ağırlık miktarını göstermektedir. İkinci ve üçüncü grafik ise sırasıyla ikinci ve dördüncü(arka) dingilin dingil konumlarını göstermektedir. Dingilin havada(kaldırılmış) olması 1 ile; yerde(indirilmiş) olması 0 ile temsil edilmektedir.



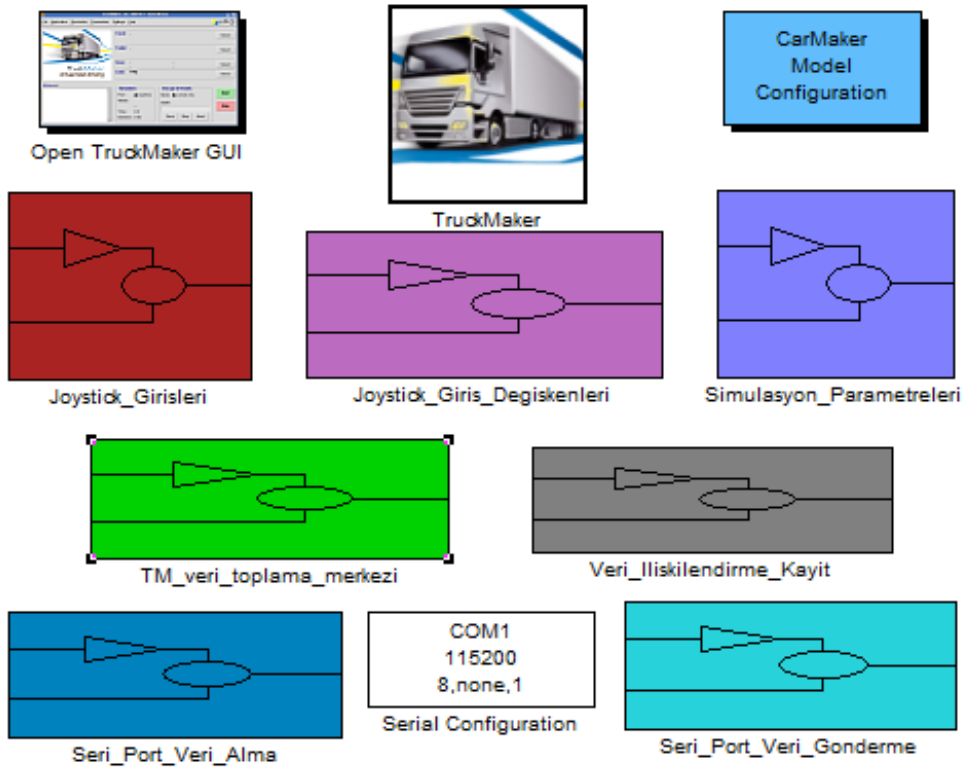
Şekil 5.18 : Simülasyon sonucu.

Algoritma testi için benzer bir çalışma donanım içeren çevrim (Hardware in the Loop - HIL) şeklinde yapılmıştır. TruckMaker yazılımından alınan veriler daha önce bahsedilen mikrodenetleyici tabanlı devreye aktarılarak otomatik dingil indirme algoritması işletilmiş ve çıktıları TruckMaker yazılımına gönderilerek simülasyona dahil edilmiştir. Simülasyona dahil edilecek harici girişler Joystick aracılığıyla sağlanmıştır. Veriler Simulink aracılığıyla aktarılırken aynı zamanda veri tabanına kayıt edilmiştir. Aşağıda böyle bir sistemin şeması görülmektedir.



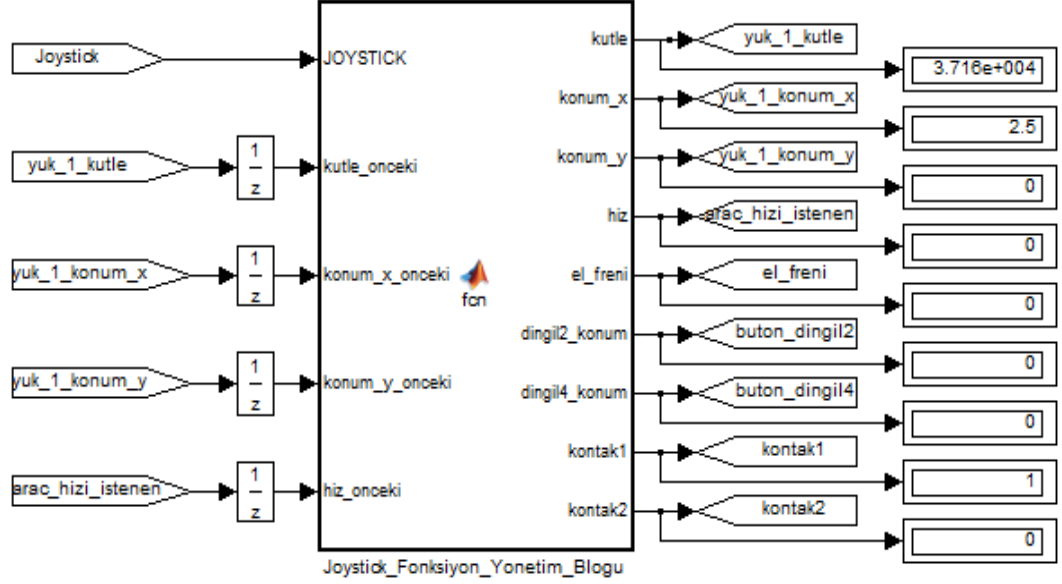
Şekil 5.19 : Simulasyon sisteminin genel şeması.

Otomatik dingil indirme sistemi algoritması araç üzerindeki sensör ve diğer birimlerden alınan sinyallerden oluşan bilgilerin kullanılmasıyla oluşturulur. Algoritmanın simulasyon ortamında test edebilebilmesi için bu sinyaller yazılımsal ya da donanımsal olarak üretilmelidir. Örneğin aracın hız bilgisi, dingillerin ağırlık ya da yer değiştirme bilgisi TruckMaker yazılımı tarafından karşılanabilirken sürücünün dingil kaldırma sistemini aktifleştirmek için kullandığı buton sinyalleri, el freni gibi bilgiler de harici bir donanım tarafından karşılanmalıdır. Joystick kolunun simulasyondaki görevlerinden bazıları bunlardır.



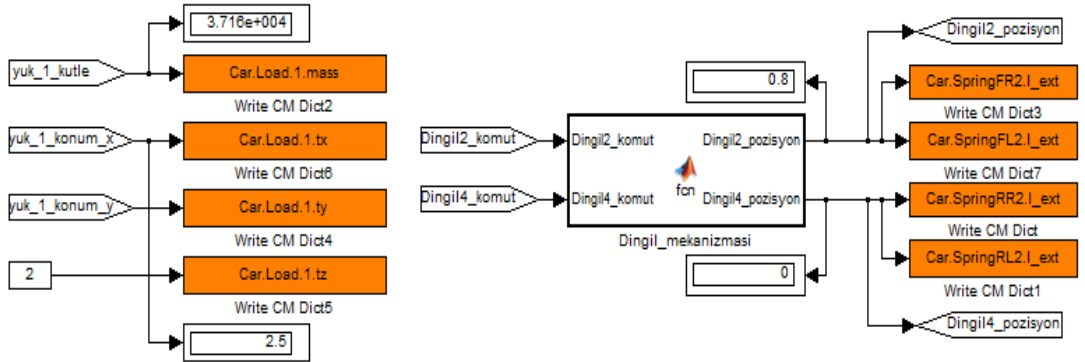
Şekil 5.20 : Otomatik dingil indirme sistemi algoritmasının test edildiği Simulink diyagramı.

Simulasyonu etkileyecek tüm harici giriş parametreleri Joystick aracılığıyla sağlanır. Sürücü davranışlarını taklit edebilecek girişlerin yanısıra, TruckMaker yazılımına simulasyonla etkileşime girecek ve çevresel koşulları benzetebilecek girişler sağlar. Böylece donanım içeren çevrim testleri daha esnek bir şekilde yapılabilir.



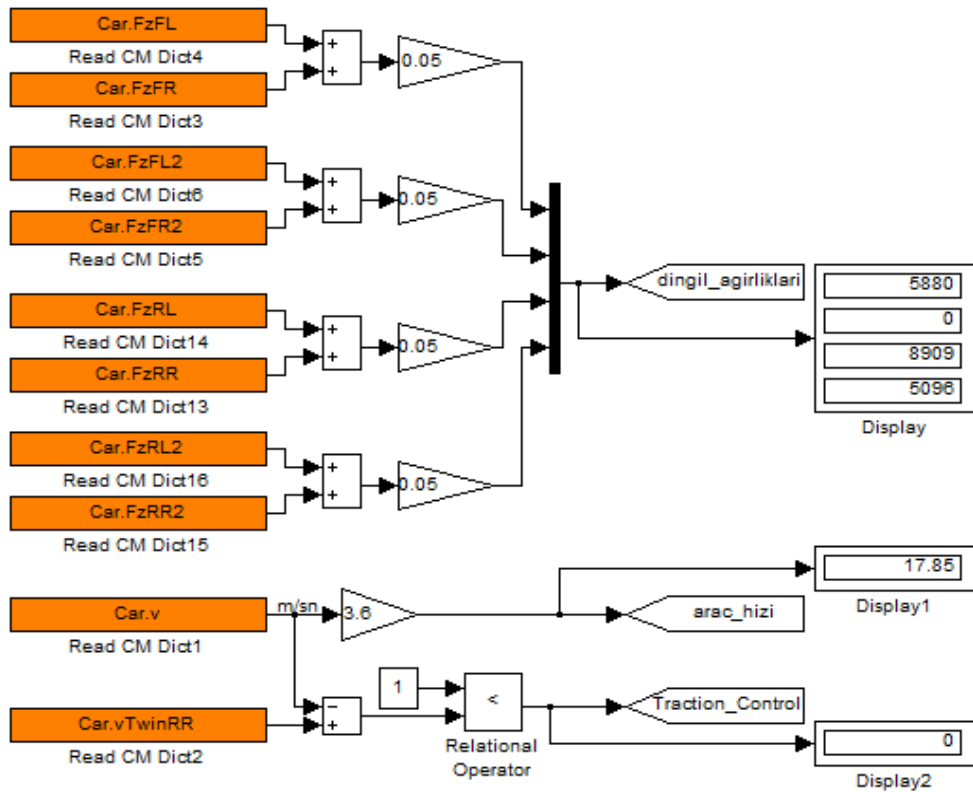
Şekil 5.21 : Joystick girişlerinin simulasyon için anlamlı verilere dönüştürülmesi.

Otomatik dingil indirme sistemi testleri için gereken sürücünün davranışlarını yansıtan kontak çevirme bilgisi, dingil indirme sistemine müdahale bilgisi, el freni bilgisi gibi bilgiler doğrudan Joystick tarafından karşılanabilir. Bunlara ek olarak, TruckMaker simulasyonuna, araca eklenecek yük miktarı ve konumu gibi bilgiler de Joystick tarafından sağlanabilir.



Şekil 5.22 : Yük ve dingil konumları ile ilgili bilgilerin Simulink ortamından TruckMaker ortamına aktarılması.

TruckMaker yazılımı seçilmiş bir kamyon için çok detaylı bilgiler sunar. Bu bilgiler arasından dingillere düşen yükler bağımsız olarak tespit edilebilir. Aracın genel hızı ve lastiklerin hızları kolaylıkla Simulink ortamına aktarılabilir. Ağırlık bilgileri kN cinsinden kuvvet olarak verilmektedir. TruckMaker yazılımında kamyonlar için tanımlanmış Çekiş Kontrol Sistemi(Traction Control) tanımlanmamıştır. Bu yüzden TruckMaker tarafından sağlanan bilgilerden yola çıkarak basit bir çekiş kontrol uyarısı oluşturulmuştur. Çekiş kontrol sisteminin sürüş tekerleklerinde meydana gelecek bir patinaj durumunu önlemek ve lastiklerin yola tutunma miktarını güvenli sınırlar içerisinde tutmaya çalışmak gibi görevleri vardır. Temel olarak aracın hızıyla sürüş tekerleklerinin hızlarını karşılaştırmak suretiyle farklarını hesaplayarak olağan dışı durumların tespit edilmesini ve sinyal üretilmesini sağlar.



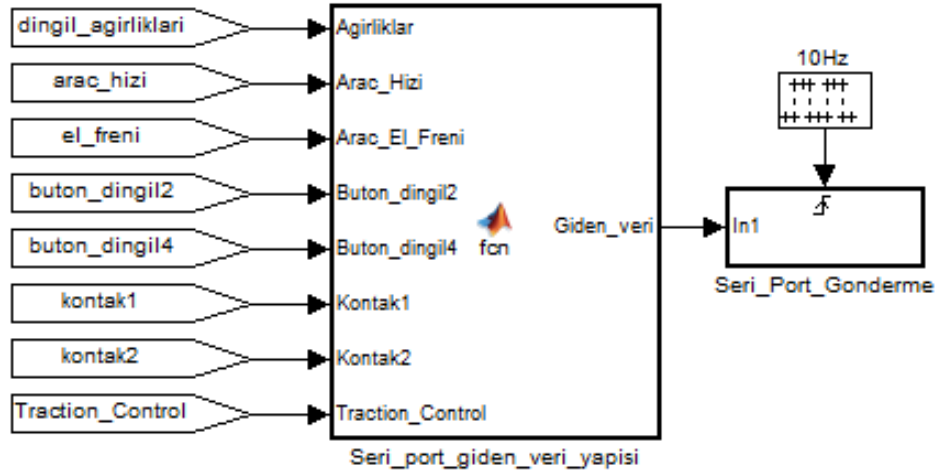
Şekil 5.23 : TruckMaker parametrelerinin Simulink ortamına aktarılması.

Burada da benzer bir şekilde aracın hızı ve sürüş tekerleklerinin hızı karşılaştırılarak çekiş kontrol sinyali üretilmiştir. Sürüş tekerleklerinin hızı aracın hızından 1m/s daha hızlı olduğunda sürüş kontrol sinyali üretilir ve bu sinyal de algoritmaya dahil edilir. Simulasyon sırasında elde edilen tüm veriler MATLAB dosya formatına göre kaydedilir.



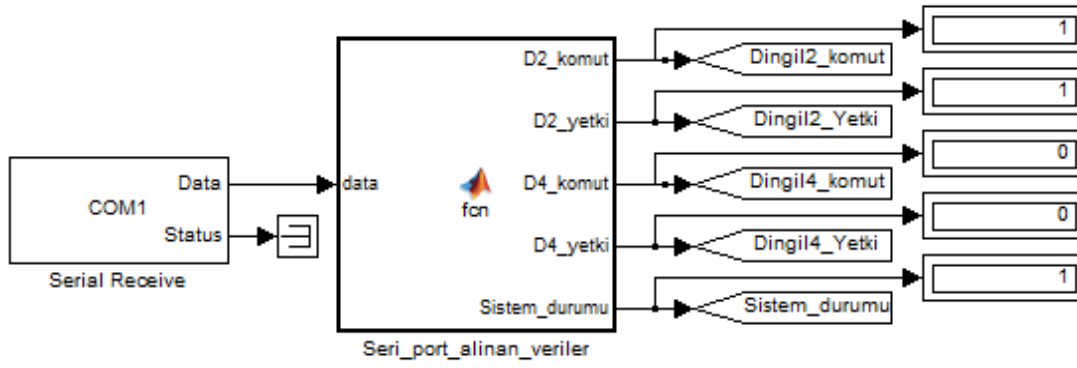
Şekil 5.24 : Simulasyon verilerinin kaydedilmesi.

Algoritmada kullanılacak olan veriler RS-232 seri haberleşme protokolüne göre mikrodnetleyici tabanlı kontrol devresine sürekli olarak aktarılır. Tüm veriler bir başlık altında toplanarak 100ms' lik periyotlarla gönderilir.



Şekil 5.25 : Algoritmada kullanılacak verilerin mikrodnetleyiciye gönderilmesi.

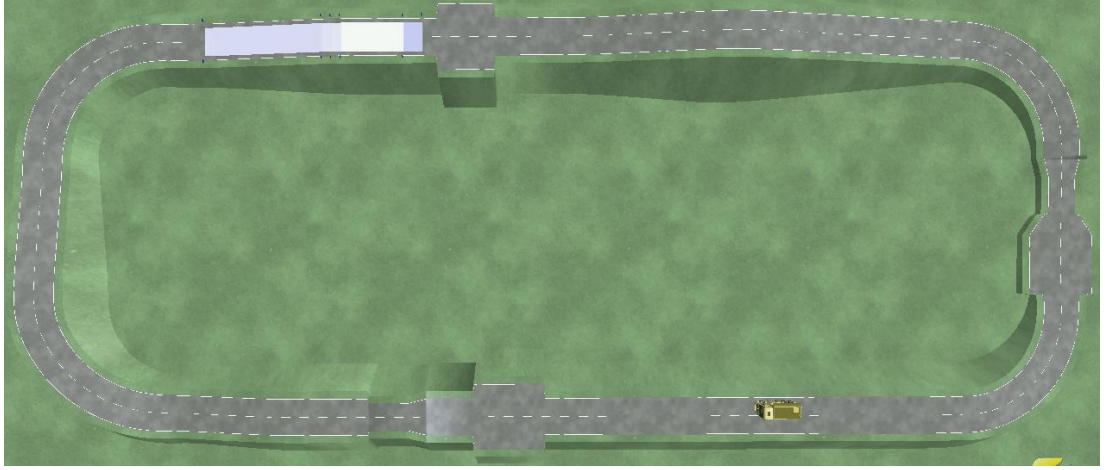
Mikrodnetleyici tabanlı kontrol devresinde Kütle ve Boyutlar yönetmeliğine ve bazı yasal sınırlamalara göre işlenen verilerin çıktıları yine seri haberleşme yoluyla ve Simulink aracılığıyla TruckMaker simulasyonuna aktarılır. Dingil komutları ve sürücü yetkilendirme sinyalleri harici bir donanım tarafından verilerek donanım içeren bir çevrim oluşturulmuş olur.



Şekil 5.26 : Mikrodenetleyici devresinden Simulink ve TruckMaker yazılımlarına komut gönderilmesi.

Donanım içeren çevrim sistemi altyapısı bir mikrodenetleyici devresi ile oluşturulduktan sonra TruckMaker ortamında etkileşimli bir simulasyon hazırlanmıştır. TruckMaker’da bir test parkuru oluşturulmuş ve bu parkur bölgelere ayrılarak algoritmanın farklı durumlarının denenmesi sağlanmıştır.

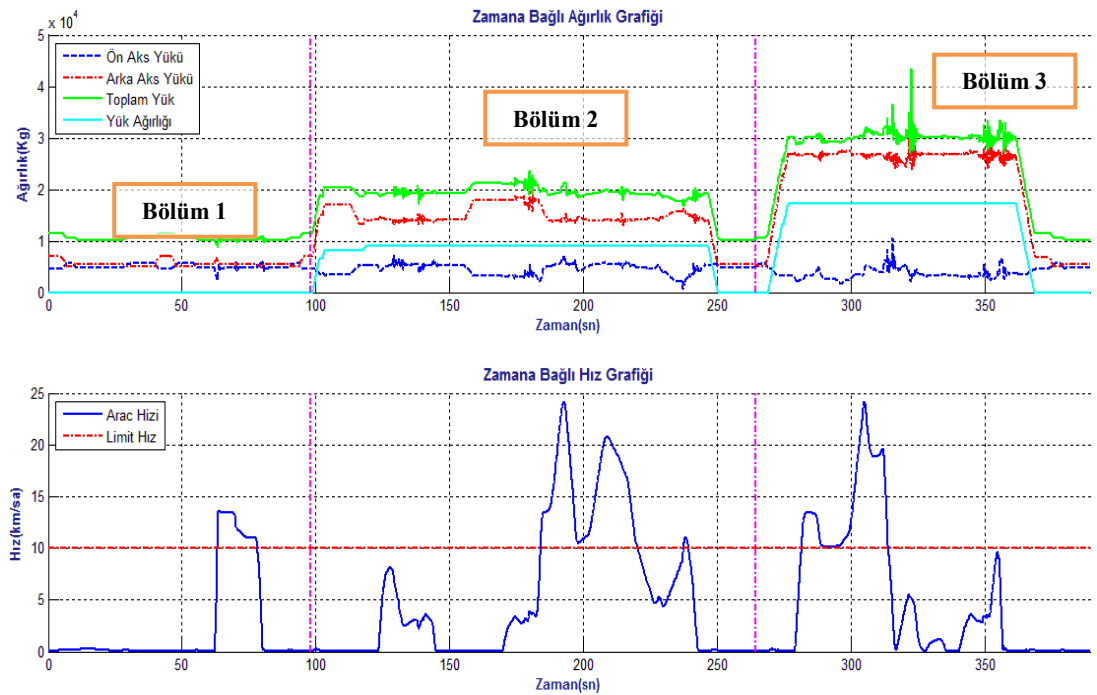
Simulasyon temel olarak üç bölüme ayrılmıştır ve ilgili grafiklerde kesikli dikey çizgilerle belirtilmiştir. Simulasyon senaryosu tipik olarak bir kamyonun işletme durumuna benzetilmeye çalışılmıştır. Örneğin Bölüm 1’de sürücünün yüklü olmayan aracını çalıştırması ve akabinde sistemin çalışma durumunu kontrol etmesi her zaman yaşanabilecek bir durumdur. Sürücünün daha sonra aracını yüklemek için ilk yükleme noktasına doğru yol alması da olağan bir durumdur. Bölüm 2’de kamyonu orta seviyede yükleme yapıldıktan sonra kamyon kantara çıkartılır ve sonrasında yolculuğuna başlar. Yolda bazı olumsuz durumlardan geçen kamyon bir sonraki yükleme boşaltma alanına varır ve yükünü boşaltır. Burada yeniden yüklenir, ancak bu kez yükü daha ağırdır. Bölüm 3 bu noktada başlar. Yükünü alan kamyon bu kez varış noktasında kantara çıkar, ardından yükünü boşaltır. Otomatik dingil indirme sisteminin sürücüyle ve çevresel etmenlerle olan etkileşimi böyle bir senaryo ile irdelenmiş ve anlatılmaya çalışılmıştır.



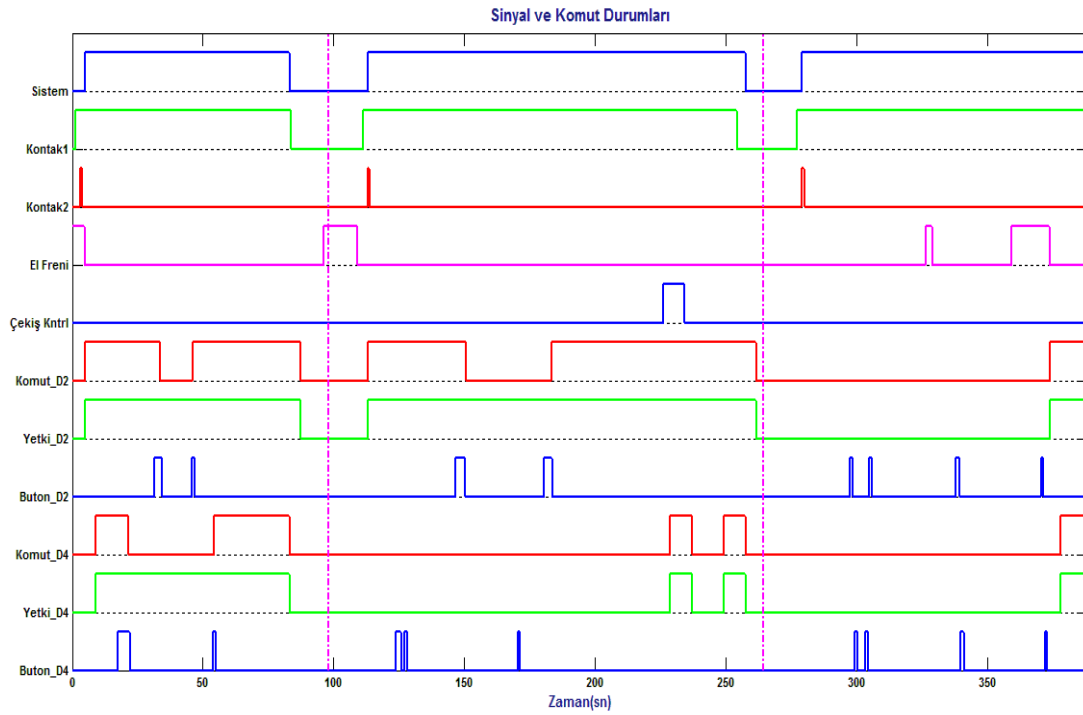
Şekil 5.27 : TruckMaker simulasyon test parkuru.

Simulasyon boyunca kamyonun sahip olduğu ağırlık değerleri ve hız bilgisi Şekil 6.28’de, otomatik dingil indirme sistemine giren sinyaller ve otomatik dingil indirme sisteminin ürettiği komutlar ise Şekil 6.29’da detaylı olarak gösterilmiştir.

Otomatik dingil indirme sisteminin düzgün bir şekilde çalışabilmesi için gereken bazı sinyaller vardır. Bu sinyaller aracın üzerindeki sistemlerden toplanabileceği gibi araca bağlanan sensörlerden de elde edilebilir. Bunlardan araç üzerinden alınabilecekler arasında kontak sinyalleri, el freni sinyali, sürücünün buton sinyalleri ve çekiş kontrol sisteminin durum sinyali sayılabilir. Dingillerdeki ağırlıklar da sensörlerden alınan veriler kullanılarak doğrudan ya da dolaylı olarak elde edilebilir.



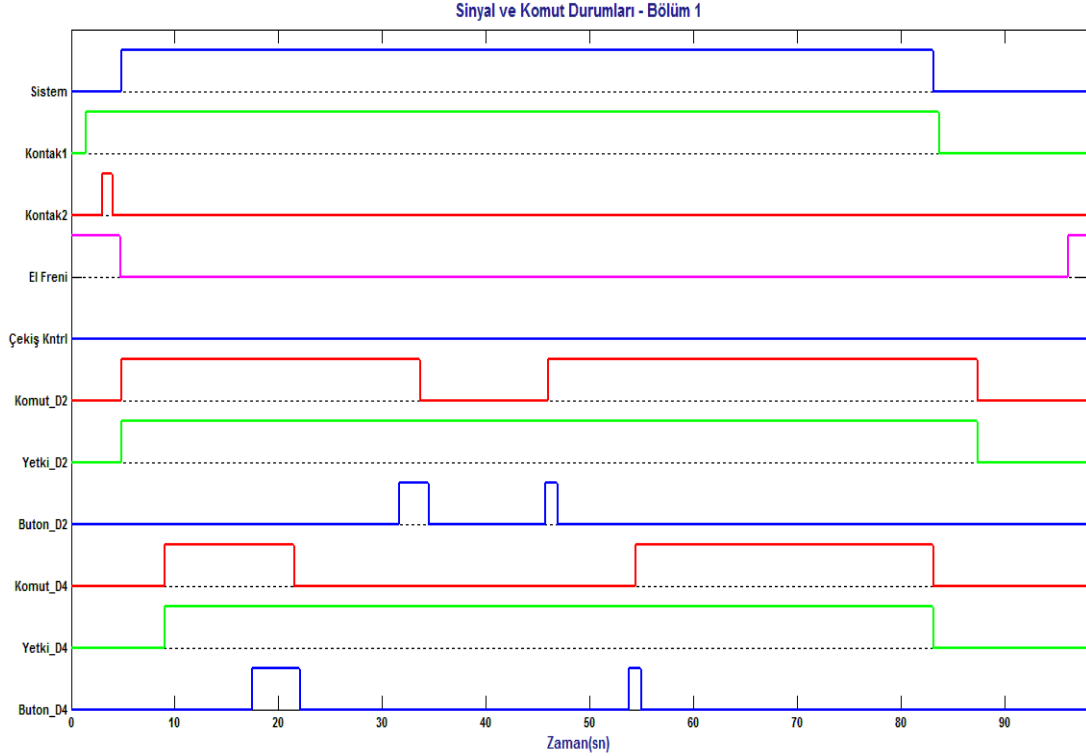
Şekil 5.28 : Aracın zamana bağlı hız ve ağırlık bilgileri.



Şekil 5.29 : TruckMaker simülasyonu sırasında üretilen komut ve sinyal bilgileri.

Simülasyonun birinci bölümünde araç yüksüz durumdayken otomatik dingil indirme sisteminin çalışması ve sürücüyle etkileşimi incelenmiştir. Sürücü başlangıçta aracı çalışır duruma getirebilmek için gerekli kontak sinyallerini üretmektedir. Kontak sinyalleri doğru bir şekilde üretildikten sonra otomatik dingil indirme sistemi aktif hale gelir ancak sistem el freni hala çekili yani aktif olduğu için yeni komut üretmez. Sürücü el frenini de indirdikten sonra sistem kamyonun ağırlığını tespit eder ve dingiller için gerekli komutları üretir. Başlangıçta kamyon yüksüz durumda olduğundan sistem dingillere düşen yüklerin yasal sınırların altında olduğuna karar verir ve ikinci dingili kaldırmak için komut gönderir; aynı zamanda sürücüye bu dingil için yetki verir. İkinci dingil kaldırıldıktan sonra ön ve arka aks yükü yeniden kontrol edilir. Yeni durumdaki arka aks yükü de yasal sınırların altında olduğundan sistem dördüncü dingili de kaldıracak komutları üretir. Bu noktada sistem tarafından sürücüye dingillere müdahale yetkisi verilir. Sürücü sistemin durumunu dingillere butonlar aracılığıyla komut göndererek kontrol eder ve ardından ilk yükleme noktasına ulaşmak üzere harekete geçer. Yükleme noktasına varıldığında sürücü aracın motorunu durdurmak üzere kontağı kapatır, bu sinyal kontak-1 sinyalidir. Kütle ve Boyutlar yönetmeliğine göre, aracın motoru durdurulduğunda kaldırılabilir dingillerin tamamı yere indirilmelidir. Algoritma bu koşulu, kontak-1 sinyaline bağlı

olarak gerçekleştirmektedir; sırasıyla dördüncü ve ikinci dingillere komut gönderilirken aynı zamanda sürücünün elinden dingillere müdahale edebilme yetkisi de elinden alınmaktadır. Böylece, sürücü müdahalesiyle yaşanacak herhangi bir olumsuz durum engellenmiş olmaktadır.



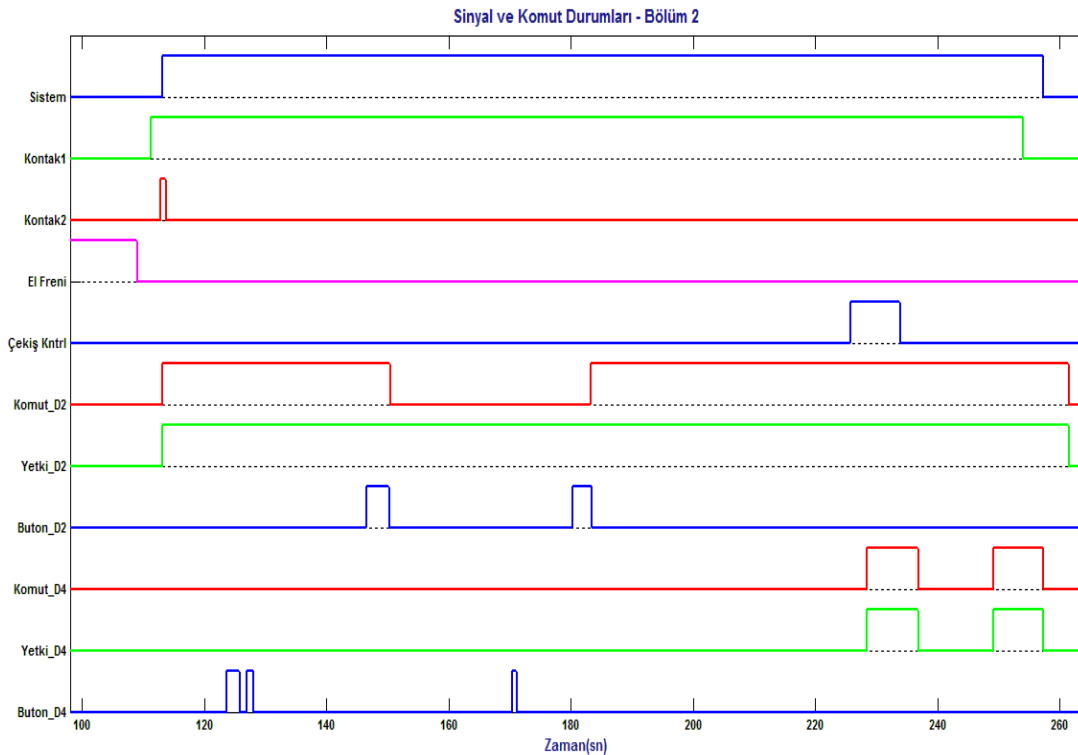
Şekil 5.30 : Sinyal ve komut durumları – Bölüm 1.

Simulasyonun ikinci bölümünde algoritmanın, kamyonun orta seviyede yüklü olduğu durumda farklı çevresel koşullardaki etkinliği gösterilmek istenmiştir. Yükleme noktasında aracın motoru durur ve el freni çekili vaziyetteyken araca yükleme yapılmaktadır. Sürücü yükleme biterken aracın el frenini indirir ve aracı çalıştırmak üzere kontak sinyallerini üretir. Bu noktada otomatik dingil indirme sistemi aktif hale gelir ve ağırlık durumlarını ve ilgili diğer sinyalleri kontrol eder. Sistem aracın yük durumuna göre, arka aks yükünün yasal sınırların altında olduğuna karar vererek ikinci dingili kaldırmak için sinyal üretir. Bu durumda sistem sürücüye ikinci dingil için yetki verirken dördüncü dingil için herhangi bir yetki vermemektedir. Bu da algoritmanın genel anlamda sürücüye dingili kaldırmadan çok dingili indirme yetkisi verdiği anlamına gelmektedir.

Yükleme işleminden sonra kamyon –simulasyonda yükseltiyle belirtilen- kantar bölgesine gider. Kantar ölçümlerinde tüm dingillerin yerde olması beklendiğinden sürücü ikinci dingili de yere indirmek üzere butona basmakta ve ilgili komutun

üretilmesini sağlar. Sürücü, ölçüm işlemi sonra erdikten sonra ikinci dingili eski durumuna getirmek üzere yeniden butona basar ve ilgili sinyal üretilir. Sistem bu duruma müsaade etmektedir, çünkü sürücü bu işlemi yaparak algoritmanın belirlediği sınırların içinde kalmaktadır. Kamyon bu noktadan sonra bir sonraki yükleme boşaltma bölgesine gelmek üzere harekete geçer. Sürüş sırasında sürtünme katsayısı düşük olan bir yüzeyde canlı dingil diye adlandırılan sürüş dingili yola tutunma kaybı yaşar ve bağlı olan lastikleri patinaja düşer. Bu sırada üretilen çekiş kontrol sinyali otomatik dingil indirme sistemini bilgilendirmektedir. Koşula bağlı olarak sistem yola tutunma kuvvetini artırmak için geçici olarak dördüncü dingili de kaldırır. Olumsuz durum ortadan kalktıktan sonra ise algoritma dingil konumlarını eski konumuna döndürecek sinyalleri üretir.

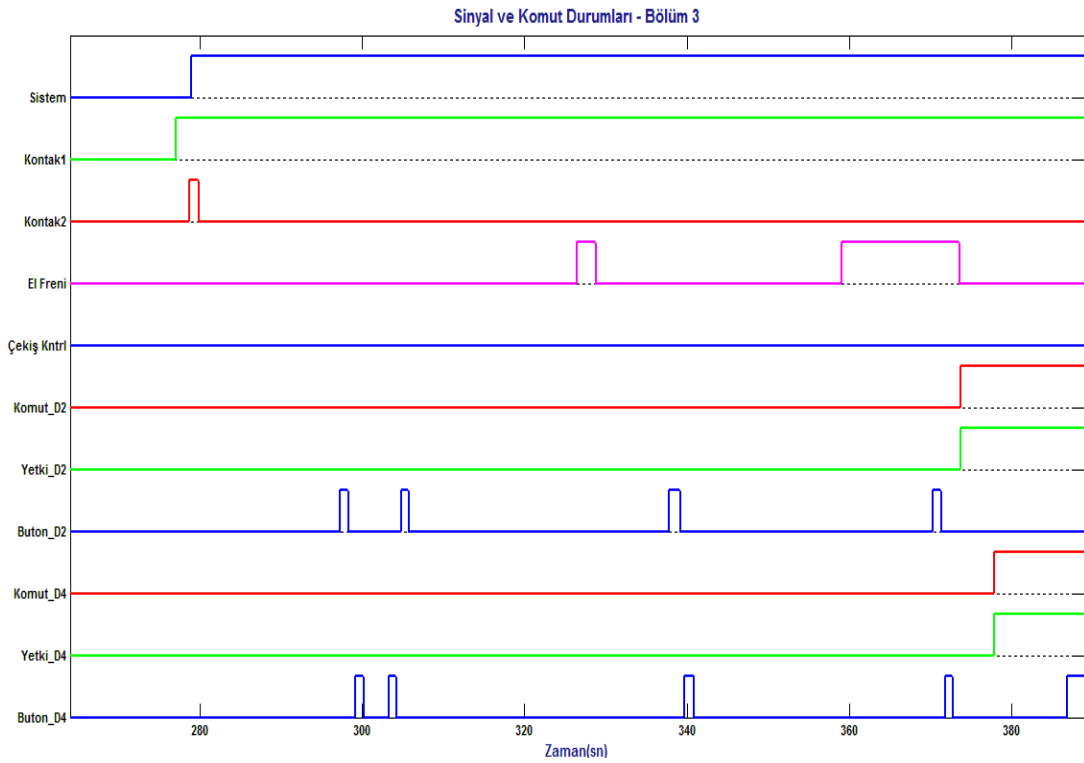
Kamyon ikinci yükleme boşaltma bölgesine ulaştıktan sonra yükünü boşaltır; dingillere düşen ağırlıkların durumuna göre otomatik dingil indirme sistemi dördüncü dingili de kaldırır. Daha sonra sürücü aracın motorunu durdurmak üzere kontağı kapattığında sistem dingilleri sıralı bir şekilde yere indirir.



Şekil 5.31 : Sinyal ve komut durumları – Bölüm 2.

Simulasyonun üçüncü bölümünde aracın motoru durur vaziyette ve otomatik dingil indirme sistemi çalışmıyorken araca yükleme yapılmaktadır. Yükleme tamamlandığında sürücü kontak sinyallerini göndererek aracı çalışır duruma getirir.

Bu noktada otomatik dingil indirme sisteminin karar verme mekanizması devreye girerek dingillere yeni komutlarını gönderir. Bu kez kamyonu ağır yükleme yapıldığından dingillere düşen ağırlıkların yasal sınırların altında kalmasını sağlamak için otomatik dingil indirme sistemi her iki dingilin de yerde kalması gerektiğine karar verir. Dingillere müdahale yetkisini de eş zamanlı olarak sürücünün elinden alır. Grafikten de görülebileceği gibi belirli zamanlardaki sürücünün dingillere müdahale isteği sistem tarafından dikkate alınmamıştır. Kamyon seyahati sonrasında kantar bölgesine ulaşır ağırlık ölçümü yaptıktan sonra yükünü boşaltacağı alana gelir. Bu noktada yükünü boşaltan kamyonun dingilleri el freni çekili durumda olduğundan yerde kalarak konumu korumaktadır. El freni sürücü tarafından indirildiği anda sistem karar mekanizmasına göre dingillere ilgili komutları gönderir. Bu komutlar dingillerin havada olmasını sağlayan komutlardır ve dingillere sıralı olarak gönderilir.



Şekil 5.32 : Sinyal ve komut durumları – Bölüm 3.

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada otomatik dingil indirme sisteminin mekanik süspansiyona sahip ağır taşıtlara uygulanmaya hazır hale getirilmesi amaçlanmış ve 8x2S düzene sahip prototip bir araç için geliştirme çalışmaları yapılmıştır. Sistemin oluşturulabilmesi için gereken altyapı donanımsal ve yazılımsal olarak tüm bileşenleriyle birlikte tasarlanmış ve çeşitli ortamlarda denenmiştir. Elektronik devreler otomatik dingil indirme sisteminin ihtiyaçları doğrultusunda geliştirilmiş ve test amaçlı kullanılmalarının yanısıra araçta hazır halde bulunan dingil indirme mekanizmasına entegre edilmiştir. Yazılımlar devre tasarımı, veri toplama ve test amaçlı olmak üzere çeşitli şekillerde kullanılmıştır. Prototip araçta gerçekleştirilen veri toplama prosedürünün donanım içeren çevrim ortamında benzetimi yapılarak sistemin davranışı hakkında bilgi edinilmesi amaçlanmıştır. Benzetim ortamında elde edilen verilerden yola çıkılarak, hazırlanan elektronik devrelerin de dahil edildiği bir donanım içeren çevrim oluşturulmuş ve sistemin karar mekanizmasını oluşturan algoritmanın testleri simulasyon ortamında görsel olarak test edilmiştir.

Dingil konumlarına karar veren bir algoritma Kütle ve Boyutlar yönetmeliğinin yakın zamanda ülkemizde de uygulamaya geçirileceği kurallarına ve kısıtlamalarına göre inşa edilmiştir. Bu algoritma dingillere düşen ağırlığı ve araç tarafından yayınlanan teknik verileri kullanmaktadır.

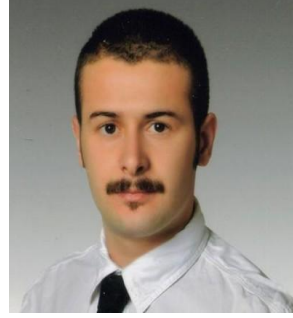
Seri üretime geçmesi beklendiği için bu sistem düşük maliyetle başarılmaya çalışılmış ve uygun sensörler ve donanımlar kullanılarak bu amaca ulaşılmıştır.

Bu çalışmada otomatik dingil indirme sistemi 8x2S konfigürasyona sahip prototip bir araç üzerinde gerçekleştirilmekle beraber, yakın gelecekte farklı konfigürasyonlara sahip mekanik süspansiyonlu kamyonlarda da uygulanması beklenmektedir. Bu çalışmanın amaçlarından birinin de sistemin farklı araçlara uygulanabilmesi için bir altyapı oluşturmak olduğu düşünülürse, edinilen tecrübelerin ileriki çalışmalara ışık tutabileceğini söylemek yanlış olmaz.

KAYNAKLAR

- [1] **Strateji Geliştirme Başkanlığı Ulaşım ve Maliyet Etütleri Şubesi (2011).** Karayollarında Ağır Taşıt Trafiğinin ve Yük Taşımacılığının Özellikleri ve Eğilimleri, 2007-2008-2009 yılları Etüt Sonuçları.
- [2] **Hatipoğlu S. (t.y.).** Yasal (Maksimum) Dingil Yükünün Yol Ömrüne Etkisi, *Ulaşım-Trafik Kongresi TMMOB*
- [3] **Jack , H. (2005).** Automating Manufacturing Systems with PLCs.
- [4] **US 4854409 A, Patent,** Alındığı tarih: 09.04.2013, adres: <http://www.google.com/patents/US4854409>].
- [5] **US 20030151222 A1, Patent.** Alındığı tarih: 12.05.2013, adres: <http://www.google.de/patents/US20030151222>
- [6] **P200M Proviso Plus, Patent.** Alındığı tarih: 13.05.2013, adres: <http://www.wheelmonitor.com/downloads/P200M-for-Trucks.pdf>
- [7] **Automatic lift axle control kit, Patent.** Alındığı tarih: 10.11.2013, adres: <http://www.hendrickson-intl.com/CMSPages/GetFile.aspx?guid=4faecab6-7e2c-45fc-b2f4-b6656cc362a3>
- [8] **US6293570B1, Patent,** Alındığı tarih: 14.11.2013, adres: <http://www.google.nl/patents/US6293570>
- [9] **Url-1 < <http://ww1.safholland.us/sites/usa/en-US/products/trailersuspensionsystems/airsuspensions/Pages/SAF%20CBX40%20AUTO-POSILIFT.aspx> >.** Alındığı tarih: 21.11.2013
- [10] **Wabco,** Alındığı tarih: 14.03.2013, adres: http://www.wabco-auto.com/wabcoindiaproducts/wabcoindiaadvancedbrakingsystem/lift_axle_control_valve

ÖZGEÇMİŞ



Ad Soyad: Osman Uğur ACAR
Doğum Yeri ve Tarihi: 14.10.1988 KARABÜK
Adres: Atakent mah. 2.Etap Konutları 206. çıkmaz sokak. C-406 Daire: 15
E-Posta: ugur_acar78@hotmail.com
Lisans: Mekatronik Mühendisliği, KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ

TEZDEN TÜRETİLEN YAYINLAR/SUNUMLAR

Keleş T., Acar O. U., Öztürk A. O., Koç Z., Duruş M., Altuğ E. ve Güvenç L., 2012: Kamyonlarda Otomatik Dingil İndirme Sistemi Algoritması ve Simulatörü Geliştirilmesi. 6. Otomotiv Teknolojileri Kongresi, Haziran 04-05, 2012 Bursa, Türkiye.

Osman Uğur Acar, Taylan Keleş, Zeynel Koç, Şafak Güner, Mahmut Duruş, Erdinç Altuğ, Levent Güvenc: Development of Automatic Lift Axle System for Trucks with Mechanical Suspensions. 1st IFAC Workshop on Advances in Control and Automation Theory for Transportation Applications, Eylül 15-16, 2013 İstanbul, Türkiye.