

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YOL TAŞITI BOYUNA DİNAMİĞİ KURAL TABANLI KONTROLCÜLERİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Semih TUNACI

Makina Mühendisliği Anabilim Dalı

Sistem Dinamiği ve Kontrol Programı

HAZİRAN 2012

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YOL TAŞITI BOYUNA DİNAMİĞİ KURAL TABANLI KONTROLCÜLERİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Semih TUNACI
(503091625)**

Makina Mühendisliği Anabilim Dalı

Sistem Dinamiği ve Kontrol Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Levent GÜVENÇ

HAZİRAN 2012

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 503091625 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi **Semih TUNACI**'nın, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “**YOL TAŞITI BOYUNA DİNAMİĞİ KURAL TABANLI KONTROL CÜLERİ**” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Prof. Dr. Levent GÜVENÇ**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Doç. Dr. Bilin AKSUN GÜVENÇ**
Okan Üniversitesi

Y. Doç. Dr. Erdiñ ALTUĞ
İstanbul Teknik Üniversitesi

Teslim Tarihi : **3 Mayıs 2012**
Savunma Tarihi : **8 Haziran 2012**

ÖNSÖZ

Her geçen gün karayolları trafiğinde artan araç sayısı, karayollarının sınırlarını zorlamaktadır. Bu durum, kaza riskini yükseltmekte ve sürücülerin sürüş performanslarını arttırmak zorunda bırakmaktadır. Bu nedenle son yıllarda sürücülere tehlike anında yardımcı olacak sistemlerin geliştirilmesi ve yollarda kullanılması otomotiv sektörü tarafından da desteklenen ve gün geçtikçe önemini arttıran bir konudur. Söz konusu güvenlik sistemleri temel olarak iki kategoriye ayrılır. İlk kategori, hava yastığı, taşıt iskelet yapısının sağlamlığı gibi çalışmaları barındıran pasif güvenlik sistemleridir ki sürücü ve yolcular için tehlikeli bir durumun oluşması halinde devreye girerler. İkinci kısım, yolda yaşanabilecek olumsuz bir durumdan korumak için her an aktif olan sistemlerdir ki bunlar da ABS, çekiş kontrol sistemleri, savrulma kontrol, tork dağıtım sistemleri gibi yazılım ve donanımı kapsayan aktif güvenlik yapılarıdır. Bu tez çalışması kapsamında aktif güvenlik sistemlerinden olan ve taşıtın boyuna dinamiğini iyileştirmede kullanılan ABS ve çekiş kontrol sistemleri konu alınmıştır. Söz konusu kontrol sistemleri kural tabanlı kontrol yaklaşımı kullanılarak, modülatör ve fren tertibatı da hidrolik bileşenleri ile modellenmekte, dünya çapında kabul görmüş bir taşıt dinamiği simülasyon programı olan CarSim ortamında ve yol taşıtları dinamiği çalışmalarında kullanılan bağıntılarla oluşturulan MATLAB/Simulink modeli ortamında oluşturulmuştur ve daha ilkel bir kontrol sistemi olan aç kapa kontrolcü sistemleri ile karşılaştırılmıştır.

Öncelikle tecrübe ve bilgisiyle bu çalışmada bana yardımcı olan kıymetli hocam Prof. Dr. Levent GÜVENÇ'e şükranlarımı sunar, çalışmalarından faydalandığım tüm bilim insanlarına da teşekkürü bir borç bilirim.

Nisan 2012

Semih TUNACI

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ.....	v
İÇİNDEKİLER	vii
KISALTMALAR	ix
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xi
ŞEKİL LİSTESİ.....	xiii
SEMBOL LİSTESİ	xvii
ÖZET.....	xix
SUMMARY	xxi
1. GİRİŞ	1
1.1 Literatür Araştırması	1
1.2 Tezin Kapsamı Ve İçeriği.....	5
2. FREN SİSTEMİNİN MODELLENMESİ	7
2.1 Birinci Dereceden Dinamik Fren Sistemi	7
2.2 Hidrolik Devre Fren Sistemi	8
3. TAŞIT DİNAMİĞİNİN MODELLENMESİ.....	11
3.1 CarSim Taşıt Dinamiği.....	11
3.2 MATLAB/Simulink Boyuna Taşıt Dinamiği.....	13
3.2.1 Pnömatik tekerleğin boyuna dinamiğinin modellenmesi.....	13
3.2.2 Boyuna taşıt dinamiğinin modellenmesi	15
4. ABS KONTROL SİSTEMİ.....	21
4.1 ABS Kontrol Sisteminin Modellenmesi.....	21
4.2 ABS Kontrol Sisteminin Performansı	23
4.2.1 Frenleme senaryosu 1.....	23
4.2.2 Frenleme senaryosu 2.....	35
5. ÇEKİŞ KONTROL SİSTEMİ	47
5.1 Çekiş Kontrol Sisteminin Modellenmesi	47
5.2 Çekiş Kontrol Sisteminin Performansı.....	48
5.2.1 Hızlanma senaryosu 1	48
5.2.2 Hızlanma senaryosu 2	55
6. SONUÇ.....	61
KAYNAKLAR	63
ÖZGEÇMİŞ.....	65

KISALTMALAR

ABS	: Anti-lock Braking System
TCS	: Traction Control System
DOT	: Department of Transportation
RBC	: Rule Based Control

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 : Hidrolik devre fren sistemi fiziksel parametreleri ve değerleri.....	10
Çizelge 3.1 : Taşıt parametreleri.....	12
Çizelge 4.1 : Kural tabanlı ABS kontrocüsü durum çizelgesi.	22
Çizelge 4.2 : Kural tabanlı ABS sinyal çizelgesi.	22
Çizelge 5.1 : Kural tabanlı TCS kontrocüsü durum çizelgesi.	48

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1 : Tekerlek yol sürtünme katsayıları .	3
Şekil 1.2 : Kural tabanlı ABS kayma kontrol aralıkları	4
Şekil 1.3 : Kontrol sistemi için fren hidrolik devresi	5
Şekil 2.1 : Birinci dereceden fren sistemi Simulink akış diyagramı.	7
Şekil 2.2 : Hidrolik devre fre n sistemi	8
Şekil 2.3 : Hidrolik devre fren sistemi Simulink akış diyagramı.	9
Şekil 3.1 : Taşıt asılı kütlesi CarSim arayüzü.	12
Şekil 3.2 : CarSim taşıt dinamiği kontrol döngüsü.	13
Şekil 3.3 : Tekerlek düşey yükü ve kayma değeri ile tekerlek kuvvetinin bağıntısı.	14
Şekil 3.4 : Tekerlek kuvveti 3D haritası.	14
Şekil 3.5 : Tekerlek Simulink akış diyagramı.	15
Şekil 3.6 : Yavaşlama durumu için tekerlek dinamiği Simulink akış diyagramı.	15
Şekil 3.7 : Taşıt direnç kuvvetleri.	16
Şekil 3.8 : Taşıt boyuna dinamiği Simulink akış diyagramı.	17
Şekil 3.9 : Simulink boyuna taşıt dinamiği kontrol akış diyagramı.	17
Şekil 3.10 : Aerodinamik direnç kuvveti.	18
Şekil 3.11 : Tekerlek yuvarlanma direnç kuvveti.	18
Şekil 3.12 : Taşıt hızı.	19
Şekil 4.1 : Kural tabanlı kontrolcü Simulink akış diyagramı.	23
Şekil 4.2 : Sürücü ani frenleme basıncı.	24
Şekil 4.3 : ABS senaryo1 Simulink ön tekerlekte oluşan basınç.	25
Şekil 4.4 : ABS senaryo1 Simulink ön tekerlerdeki RBC basınç sinyalleri.	25
Şekil 4.5 : ABS senaryo1 Simulink arka tekerlekte oluşan basınç.	26
Şekil 4.6 : ABS senaryo1 Simulink arka tekerlerdeki RBC basınç sinyalleri.	26
Şekil 4.7 : ABS senaryo1 Simulink ön tekerlerdeki kayma değeri.	27
Şekil 4.8 : ABS senaryo1 Simulink arka tekerlerdeki kayma değeri.	27
Şekil 4.9 : ABS senaryo1 Simulink tekerlek yükleri.	28
Şekil 4.10 : ABS senaryo1 Simulink yavaşlama eğrisi.	28
Şekil 4.11 : ABS senaryo1 CarSim ön tekerlekte oluşan basınç.	29

Şekil 4.12 : ABS senaryo1 CarSim ön tekerlerdeki RBC basınç sinyalleri.	29
Şekil 4.13 : ABS senaryo1 CarSim arka tekerlekte oluşan basınç.	30
Şekil 4.14 : ABS senaryo1 CarSim arka tekerlerdeki RBC basınç sinyalleri.....	30
Şekil 4.15 : ABS senaryo1 CarSim ön tekerlerdeki kayma değeri.	31
Şekil 4.16 : ABS senaryo1 CarSim arka tekerlerdeki kayma değeri.	31
Şekil 4.17 : ABS senaryo1 CarSim tekerlek yükleri.	32
Şekil 4.18 : ABS senaryo1 CarSim yavaşlama eğrisi.	32
Şekil 4.19 : ABS senaryo1 Kontrolcülü ve kontrolsüz sistem teker kayma değeri. ..	33
Şekil 4.20 : ABS senaryo1 Kontrolcülü ve kontrolsüz sistem durma mesafesi.	33
Şekil 4.21 : ABS senaryo1 Kontrolcülü ve kontrolsüz sistem tekerlek yükleri.	34
Şekil 4.22 : ABS senaryo1 Kontrolcülü ve kontrolsüz sistem yavaşlama eğrileri. ...	34
Şekil 4.23 : ABS senaryo2 Simulink ön tekerlekte oluşan basınç.	36
Şekil 4.24 : ABS senaryo2 Simulink ön tekerlerdeki RBC basınç sinyalleri.	36
Şekil 4.25 : ABS senaryo2 Simulink arka tekerlekte oluşan basınç.	37
Şekil 4.26 : ABS senaryo2 Simulink arka tekerlerdeki RBC basınç sinyalleri.	37
Şekil 4.27 : ABS senaryo2 Simulink ön tekerlerdeki kayma değeri.	38
Şekil 4.28 : ABS senaryo2 Simulink arka tekerlerdeki kayma değeri.....	38
Şekil 4.29 : ABS senaryo2 Simulink tekerlek yükleri.	39
Şekil 4.30 : ABS senaryo2 Simulink yavaşlama eğrisi.	39
Şekil 4.31 : ABS senaryo2 CarSim ön tekerlekte oluşan basınç.	40
Şekil 4.32 : ABS senaryo2 CarSim ön tekerlerdeki RBC basınç sinyalleri.	40
Şekil 4.33 : ABS senaryo2 CarSim arka tekerlekte oluşan basınç.	41
Şekil 4.34 : ABS senaryo2 CarSim arka tekerlerdeki RBC basınç sinyalleri.....	41
Şekil 4.35 : ABS senaryo2 CarSim ön tekerlerdeki kayma değeri.	42
Şekil 4.36 : ABS senaryo2 CarSim arka tekerlerdeki kayma değeri.	42
Şekil 4.37 : ABS senaryo2 CarSim tekerlek yükleri.	43
Şekil 4.38 : ABS senaryo2 CarSim yavaşlama eğrisi.	43
Şekil 4.39 : ABS senaryo2 Kontrolcülü ve kontrolsüz sistem teker kayma değeri. ..	44
Şekil 4.40 : ABS senaryo2 Kontrolcülü ve kontrolsüz sistem tekerlek yükleri.	44
Şekil 4.41 : ABS senaryo2 Kontrolcülü ve kontrolsüz sistem yavaşlama eğrileri. ...	45
Şekil 4.42 : ABS senaryo2 Kontrolcülü ve kontrolsüz sistem durma mesafesi.	45
Şekil 5.1 : TCS senaryo1 tahrik edilen tekerlerdeki motor torku.	49
Şekil 5.2 : TCS senaryo1 Simulink ön tekerlekte oluşan basınç.	50
Şekil 5.3 : TCS senaryo1 Simulink taşıt dinamiği RBC basınç sinyalleri.....	50
Şekil 5.4 : TCS senaryo1 Simulink ön tekerleklerdeki kayma değeri.	51

Şekil 5.5 : TCS senaryo1 Simulink taşıt hızlanma grafiği.	51
Şekil 5.6 : TCS senaryo1 CarSim ön tekerlekte oluşan basınç.	52
Şekil 5.7 : TCS senaryo1 CarSim RBC basınç sinyalleri.	52
Şekil 5.8 : TCS senaryo1 CarSim ön tekerlek kayma değerleri.	53
Şekil 5.9 : TCS senaryo1 CarSim hızlanma grafiği.	53
Şekil 5.10 : TCS senaryo1 kontrolcülü, kontrolsüz sistem ön teker kayma değeri. ..	54
Şekil 5.11 : TCS senaryo1 kontrolcülü ve kontrolsüz sistem hızlanma grafiği.	54
Şekil 5.12 : TCS senaryo2 tahrik edilen tekerlerdeki motor torku.	55
Şekil 5.13 : TCS senaryo2 Simulink ön tekerlekte oluşan basınç.	56
Şekil 5.14 : TCS senaryo2 Simulink taşıt dinamiği RBC basınç sinyalleri.	56
Şekil 5.15 : TCS senaryo2 Simulink ön tekerleklerdeki kayma değeri.	57
Şekil 5.16 : TCS senaryo2 Simulink taşıt hızlanma grafiği.	57
Şekil 5.17 : TCS senaryo2 CarSim ön tekerlekte oluşan basınç.	58
Şekil 5.18 : TCS senaryo2 CarSim RBC basınç sinyalleri.	58
Şekil 5.19 : TCS senaryo2 CarSim ön tekerlek kayma değerleri.	59
Şekil 5.20 : TCS senaryo2 CarSim hızlanma grafiği.	59
Şekil 5.21 : TCS senaryo2 kontrolcülü, kontrolsüz sistem ön teker kayma değeri ..	60
Şekil 5.22 : TCS senaryo2 kontrolcülü ve kontrolsüz sistem hızlanma grafiği.	60

SEMBOL LİSTESİ

m_s	: Asılı taşıt kütlesi
m_u	: Asılı olmayan taşıt kütlesi
a_x	: Taşıt kütle merkezinin boyuna ivmesi
s	: Boyuna kayma
s_{min}	: Minimum referans boyuna kayma
s_{max}	: Maksimum referans boyuna kayma
F_x	: Tekerlek kuvveti
ΣF_x	: Tekerleklerde oluşan toplam kuvvet
μ_0	: Referans tekerlek yol sürtünme katsayısı
μ	: Tekerlek yol sürtünme katsayısı
F_z	: Tekerlek düşey yükü
F_{zf}	: Ön tekerler düşey yükü
F_{zr}	: Arka tekerler düşey yükü
M_{roll}	: Tekerlek yuvarlanma direnç momenti
C_{roll}	: Statik tekerlek yuvarlanma direnci katsayısı
$C_{roll\theta}$	: Hıza bağlı yuvarlanma direnci katsayısı
ϑ_x	: Taşıt boyuna hızı
R_{eff}	: Tekerlek efektif yuvarlanma yarıçapı
M_{eng}	: Motorun tekerlekte oluşturduğu moment
M_b	: Frenleme momenti
M_{bf}	: Ön tekerlerdeki frenleme momenti
M_{br}	: Arka tekerlerdeki frenleme momenti
J	: Tekerlek dönme atalet momenti
α	: Tekerlek açısal ivmesi
P_{bf}	: Ön tekerlerdeki fren basıncı
P_{br}	: Arka tekerlerdeki fren basıncı
F_{aero}	: Boyuna aerodinamik direnç kuvveti
C_x	: Boyuna aerodinamik direnç katsayısı
A	: Taşıt yanal kesit alanı
ρ	: Havanın yoğunluğu
L	: Taşıt aks açıklığı
L_f	: Kütle merkezinin ön aksa olan uzaklığı
L_r	: Kütle merkezinin arka aksa olan uzaklığı
h	: Kütle merkezinin yüksekliği
ω_w	: Tekerlek dairesel hızı

YOL TAŞITI BOYUNA DİNAMİĞİ KURAL TABANLI KONTROLCÜLERİ

ÖZET

Bu tez çalışmasında, yol taşıtı boyuna dinamiği için kural tabanlı kontrol sistemleri tasarlanmıştır. Yol taşıtı boyuna dinamiği sistemi olarak hem CarSim hem MATLAB/Simulink yazılımları kullanılmıştır. Başarılı bir taşıt dinamiği simülasyon programı olan CarSim yazılımının, varsayılan B segmenti 5 kapılı aracı kullanılmıştır. MATLAB/Simulink programında ise boyuna taşıt dinamiği pnömatik tekerlek modeli, süspansiyon sistemi ihmal edilmiş ön ve arka yük transferi olan asılı kütle modeli ve yol taşıtlarının maruz kaldıkları direnç kuvvetleri yapıları ile modellenmiştir. MATLAB/Simulink modelinde kullanılan parametrelerin değerleri CarSim yazılımındaki varsayılan B segmenti 5 kapılı aracın parametreleri olarak alınmıştır.

Oluşturulacak kontrol sisteminde, eyleyici bloğa karşılık gelen fren sistemi, hem birinci dereceden bir dinamik sistem olarak, hem de Simulink/SimHydraulics kullanılarak fren sisteminin hidrolik silindir, selenoid valfler ve eyleyicileri gibi hidrolik bileşenlerinin de modellendiği bir sistem olarak oluşturulmuştur. Fren sisteminde ayrıca master silindirden birincil ve ikincil basınç hatları olarak çıkan, ön ve arka tekerlek basınç hatları ve fren oranlaması da tanımlanmıştır.

Yol taşıtları boyuna dinamiği kural tabanlı kontrol sistemlerinin kontrol parametresi olan tekerlek relatif boyuna kayma değişkeninin referans değerleri, pnömatik tekerleğin üreteceği kuvvetin kayma değeri ile doğru orantılı olduğu aralıkta belirlenmiştir. Kural tabanlı kontrolcüden hidrolik fren sistemine gidecek kontrol sinyali, referans kayma değerleri kullanılarak mantıksal işlevlerle üretilmiştir.

ABS kontrol sistemi, CarSim ve MATLAB/Simulink ortamlarındaki taşıt modelleri için 50 km/saat ilk hızlı olarak yol sürtünme katsayısı 1 ve 0.5 olan iki farklı eğimsiz ve düz bir yol ortamında, sürücünün ani frenleme girdisinin olduğu frenleme senaryoları için koşturuldu. Bunun yanında aynı dinamik sistemler aynı senaryolar için aç kapa kontrolcülü ve birinci dereceden eyleyici dinamiği ile modellenen fren yapısı ile tekrar koşturularak kural tabanlı kontrolcü ve hidrolik fren sistemi ile karşılaştırıldı. Sonuç kayma değerlerinin her iki senaryo için de istenen aralıkta olduğu değerlendirildi.

Çekiş kontrol sistemi için de yine CarSim ve MATLAB/Simulink ortamlarındaki boyuna taşıt dinamikleri kullanıldı. Sistemin test edilmesi için ilk hızı olmayan taşıt, CarSim yazılımında kullanılan söz konusu aracın motorundan elde edilen tork ile sürtünme katsayısı 1 ve 0.5 olan eğimsiz ve düz bir yoldaki ani hızlanma senaryoları için koşturuldu. Sonuçlar aç kapa kontrolcü sistem çıktıları ile karşılaştırıldı ve yol taşıtının boyuna dinamiğinin iyileştirilmesinde amaçlanan kayma değerinin amaç aralıkta tutulabildiği değerlendirildi.

Sonuç olarak dünya genelinde kabul görmüş CarSim yazılımındaki taşıt dinamiği ve MATLAB/Simulink ortamında oluşturulan boyuna yol taşıtı dinamiği sistemi kullanarak kontrol döngüsündeki kural tabanlı kontrolcünün ayrıca hidrolik modülatörün ve taşıt fren tertibatının hidrolik elemanları ile başarılı bir şekilde modellendiği ve sabit sürtünme katsayılı düz bir yoldaki ani frenleme ve hızlanma senaryoları için tekerleklerdeki kayma değerlerini başarılı bir şekilde kontrol ettiği sonucuna varılmıştır.

ROAD VEHICLE LONGITUDINAL DYNAMICS RULE BASED CONTROLLERS

SUMMARY

The scope of this thesis covers a rule-based control systems designed for road vehicle longitudinal dynamics. Road vehicle dynamics modeled by using CarSim software and MATLAB/Simulink tools. As a road vehicle the default B class 5 door hatchback vehicle of the CarSim software is chosen. Road vehicle longitudinal dynamics model parameter in MATLAB/Simulink same as the parameter values with CarSim one.

Hydraulic brake systems also defined in two ways. The brake system defined as a first order dynamic system in first way. So that hydraulic brake system can be explained by using only one a parameter is time constant of this system.

Secondly more realistic brake cycle modeled in SimHydraulics is hydraulic system modeling tool of MATLAB/Simulink. In SimHydraulics hydraulic brake system of a vehicle can be defined with its components of single acting hydraulic cylinder, flow control valves and their actuators and brake fluid. Back movement of single acting hydraulic system composed with a spring system which is very close to the real system's sealing ring. Hydraulic brake cycle built for every individual tyre and every cycle composed of one single acting hydraulic cylinder. Two solenoid 2 way valve and valve actuator. First solenoid 2 ways valve placed on the pressure line and it is named pressure valve. The other valve is placed on the reservoir line which named by reservoir valve. Both valves have two states are on or off. First state lets the fluid pass. In second state valves does not let the fluid pass. Pressure of the cylinder increased when pressure valve is open, reservoir valve is close. Pressure released when pressure valve is close and reservoir valve is open. Pressure is holded when both the valves are close.

On the other hand, master cylinder separates the brake pressure as a primary line and secondary line in real braking systems. This situation also defined in the brake system using gain blocks. That one out of five of the brake pressure applied to the secondary line which is rear brake pressure. Moreover, pressure and braking torque relation defined linearly. Brake torque of the front tire [Nm] is 250 times greater than pressure [MPa]. Torque pressure relation of the rear tire obtained by using the gain of 150.

Vehicle dynamics of the CarSim presented by CarSim-S-Function block in MATLAB/Simulink. Its datas used by MATLAB/Simulink in the control system. For ABS control structure CarSim sends every wheels' longitudinal and vehicle longitudinal speed and driver pressure. CarSim block input is controlled pressure values for every individual wheel. CarSim sent only driven wheels's longitudinal and vehicle longitudinal speed for traction control system.

MATLAB/Simulink model of the road vehicle longitudinal dynamics composed of two main topics. First title is pneumatic tire modeling. Pneumatic tire produces longitudinal force by slip and tire vertical load. To define pneumatic tire longitudinal force for all surfaces only one set of slip and vertical force dataset is enough. Because using similarity relation tire longitudinal force can obtain for all of road surface friction coefficient according to Pacejka H. [1]. Force definition of the pneumatic tire slip and vertical load datasets are taken from CarSim 185/65 R15 type of tire for when tire road friction coefficient 1. After the tire force definition, two wheels dynamic equation is composed for acceleration and deceleration states according to moment balance at the pneumatic wheel center.

Other vehicle longitudinal dynamics modeling section is definition of sprung mass of the vehicle. This definition includes front rear axle dynamical load transfer and resistance forces and moments of the road vehicle. Vehicle sprung mass longitudinal dynamics defined by using dynamical load transfer relation of the front and rear axle. Suspension springs and dampers ignored in Simulink vehicle model. Road resistance forces consist of four main types. Acceleration resistance force, aerodynamic resistance force, tyre rolling resistance moment and resistance force of the road inclination are all. First three resistance forces modeled in this study. Road inclination resistance force did not needed. Because all the simulations occur at the flat surfaces. Aerodynamic forces modeled with aerodynamic resistance coefficient, vehicle frontal area, air density and vehicle longitudinal speed parameters. Tyre rolling resistance moment modeled with static rolling resistance coefficient, velocity related rolling resistance coefficient, velocity and tire vertical load.

Both ABS and traction control systems use tire longitudinal slip values as a control variable. Longitudinal relative slip value is obtained wheel rotational speed, wheel effective rolling radius is vehicle loaded radius and vehicle longitudinal speed. Slip formula edited in control studies to obtain symmetrical values of interval for acceleration and deceleration conditions. After that longitudinal relative slip takes value $[0, -1]$ for deceleration state. -1 means %100 slip which is wheel lock up condition. On the other hand, relative slip takes value $[0, 1]$ interval for acceleration state. 1 means that %100 slip which is wheel is rotating and vehicle is not moving.

Rule based ABS control system run for CarSim vehicle dynamics system and MATLAB/Simulink vehicle dynamics system. Two scenarios given for deceleration situation of the road vehicle in two different road coefficient of friction. First, vehicle initial speed 50 kmph and driver spike braking pressure up 15 MPa in 0.1 sec at flat and straight road which friction coefficient 1. For this scenario rule based controller reference slip values chosen as maximum 10% slip and minimum 8% slip. Because the slip values must be in the tire longitudinal force and slip increasing interval. As a result, rule based controller system worked properly and stated every tires' slip values in the tolerance band. For CarSim and MATLAB/Simulink vehicle dynamic control systems gave similar results. Not controlled system output also given for this scenario and it is seen that slip values went to -1 and vehicle stopping distance increased. Second scenario carried out using same as the first braking scenario for rule based ABS control system. Only the difference is road friction coefficient is 0.5. Accordingly, reference slip values also changed to maximum 4.5% and minimum 5.5%. As a result, rule based controller system worked properly and placed slip values between maximum and minimum values. Also CarSim and MATLAB/Simulink vehicle dynamics systems gave similar results.

Rule based traction control system also run for CarSim vehicle dynamics system and MATLAB/Simulink vehicle dynamics system. Two scenarios given road vehicle acceleration. Friction coefficients are 1 and 0.5 for first and second scenarios respectively. Acceleration torque obtained from CarSim vehicle engine for full throttle in 0.1 second at first gear. This traction moment measured at the wheel and applied to the MATLAB/Simulink vehicle dynamics.

First acceleration scenario occurred at flat and straight road which friction of coefficient is 1. By the way, rule based controller reference slip values set to maximum 9.5% and minimum 8.5%. As a result, rule based controller system worked properly and stated driven tires' slip values in the tolerance band. For CarSim and MATLAB/Simulink vehicle dynamic control systems gave similar results. Not controlled system output also given for this scenario and it is seen that slip values limit to 1 and vehicle acceleration performance was decreased.

Second acceleration scenario carried out using same as the first scenario for rule based traction control system. Only difference is road coefficient of friction which is 0.5. Accordingly, reference slip values also changed to maximum 4.5% and minimum 5.5%. As a result, rule based controller system worked properly and placed slip values between maximum and minimum values. CarSim and MATLAB/Simulink vehicle dynamics systems gave similar results. In TCS scenario 2 not controlled system's slip values limit to the -1 and vehicle acceleration performance were decreased.

As a result, vehicle dynamics simulation software CarSim which, highly recommended through the world is used for vehicle longitudinal control study, rule based anti lock braking system and rule based traction control system. Hydraulic modulators and brake system of the vehicle defined by their hydraulic components. Reference slip values successfully obtained for spike braking and rapid acceleration situations at the flat and straight road conditions.

1. GİRİŞ

Kural tabanlı kontrolcüler, bir dinamik sistem için kontrolü yapılacak parametrenin daha önceden belirlenmiş referans değerlerle olan ilişkisi ile kontrol sinyalinin birkaç durumda oluşmasını temin eden sistemlerdir. Bu çalışmada yol taşıtlarının boyuna dinamiğinde aktif güvenlik sistemleri olarak çalışan kontrol yapılarının bir uygulama yöntemi olarak kural tabanlı kontrolcü uygulaması yapılmıştır.

1.1 Literatür Araştırması

Michael Short, Michael J. Pont, Qiang Huang'ın 2004 yılındaki Taşıt Boyuna Dinamiğinin Simulasyonu yayınlarına göre boyuna taşıt dinamiği modellemesinde tek izli tekerlek modelinin öndeki ve arkadaki iki tekerleğin tek bir tekerlek sayılarak modellenmesi mümkündür [1].

Ayrıca taşıt süspansiyon sisteminin ihmal edilmesi ile ön ve arka aksdaki düşey yükler statik yük dağılımına ek olarak boyuna doğrultudaki ivmenin bir fonksiyonu ile dinamik aks yükü adı altında ifade edilebilir [2]. Buna göre çalışma kapsamında direksiyon girdisi olmayan, sürtünme katsayısı sabit, boyuna ve yanal eğimi olmayan yol ortamında çalışıldığı için hesaplanan aks yükleri tekerleklerle eşit olarak paylaştırılmıştır.

Dört kanallı hidrolik anti blokaj kontrol sisteminin modellenmesi ön iki tekerin ve arka şaft hızının alınmasıyla elde edilen üç kanallı kontrol sistemine göre daha başarılı bir yöntem olduğu da göz önüne alınmıştır [3].

Tekerleklerin yalnız kilitleme kontrolünün yanısıra kayma değerlerinin hesap edilerek kontrol değişkeni olarak atanması, çözünürlüğü daha yüksek ve daha hızlı kontrol yapılabilecek bileşenler gerektirir. Böylece niteliği daha yüksek bir kontrol uygulaması gerçekleştirilmiş olur [3].

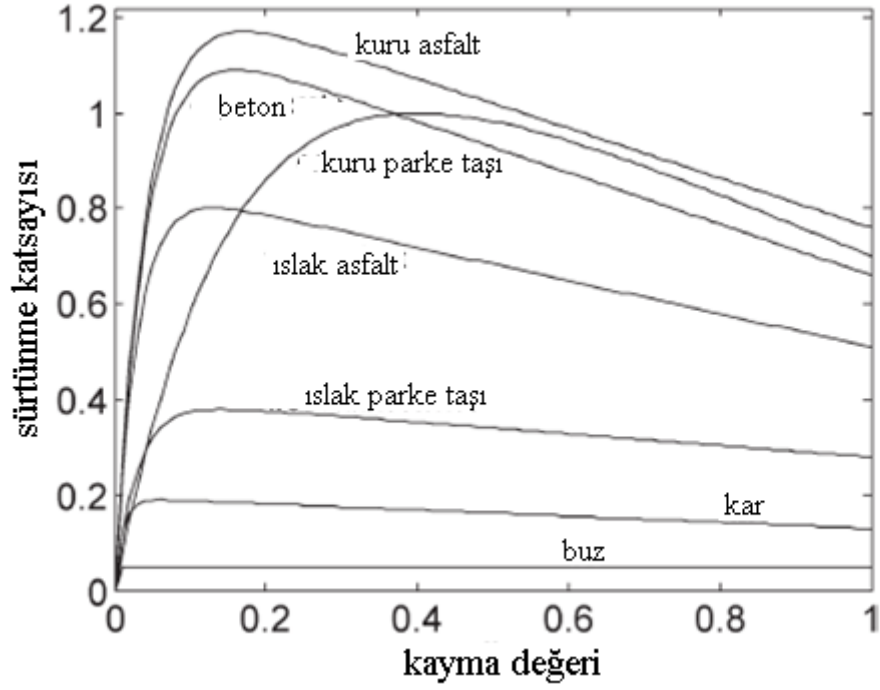
Tekerlekten elde edilebilecek frenleme veya çekiş kuvvetinin tekerlekteki kaymaya göre farklılaşması, tekerlek için farklı kayma değerlerinde tekerlekten elde edilebilecek kuvveti farklılaştırır. Ayrıca farklı sürtünme katsayılı ortamlarda elde

edilen kuvvet eğrileri de farklılaşır. Buna göre taşıt tekerlerinden elde edilebilecek kuvveti her yol koşulunda optimum seviyede tutabilmek için her an tekerlek yol sürtünme katsayısı bilgisine ihtiyaç vardır. Bunun için de R.Hoseinnezhad ve A.B. Hadiashar'a göre tekerlek yol sürtünme katsayısı her tekerlekteki tork dengesi kullanılarak ve tekerlek efektif yarıçap da göz anünde bulundurulularak gerçek zamanlı olarak tahmin edilebilir [4].

Tez çalışmasındaki pnömatik tekerleğin modellenmesi konusunda, tekerlek kuvvet karakteristiğinin çeşitli yüzeyler için modellenebilmesi amacı ile benzerlik metodu olarak anılan yöntem kullanılır [5]. Söz konusu bağıntı ile tekerlek limit kuvvetlerindeki değişimler düşük kayma değerleri için tahmin edilebilir. Referans olarak alınmış tekerlek yol sürtünme katsayısı değeri ile simulasyonu yapılacak farklı sürtünme katsayısına sahip yol durumu bu yaklaşımla ilişkilendirilebilir. Bu bağıntı, pnömatik tekerleğin yanal kuvvet üretmediği, tekerlek yanal kayma açısının sıfır olduğu durum için uygulanmıştır. Tekerlekten elde edilecek kuvvetin farklı sürtünme katsayılı yollarda elde edilmesi optimum frenleme kuvvetinin eldesi için de gereklidir [6].

Anti blokaj ve çekiş kontrol sistemleri, tekerlekten elde edilecek boyuna kuvvetin yanında tekerleğin taşıyabileceği yanal yükü yani yanal kuvvet değerini arttırmak için de kullanılmaktadırlar. Böylece tekerlekteki kayma kontrolü yapılırken odak noktası, ikincil parametre olarak tekerlekten yanal kuvvetinin üzerinde olmalıdır [7].

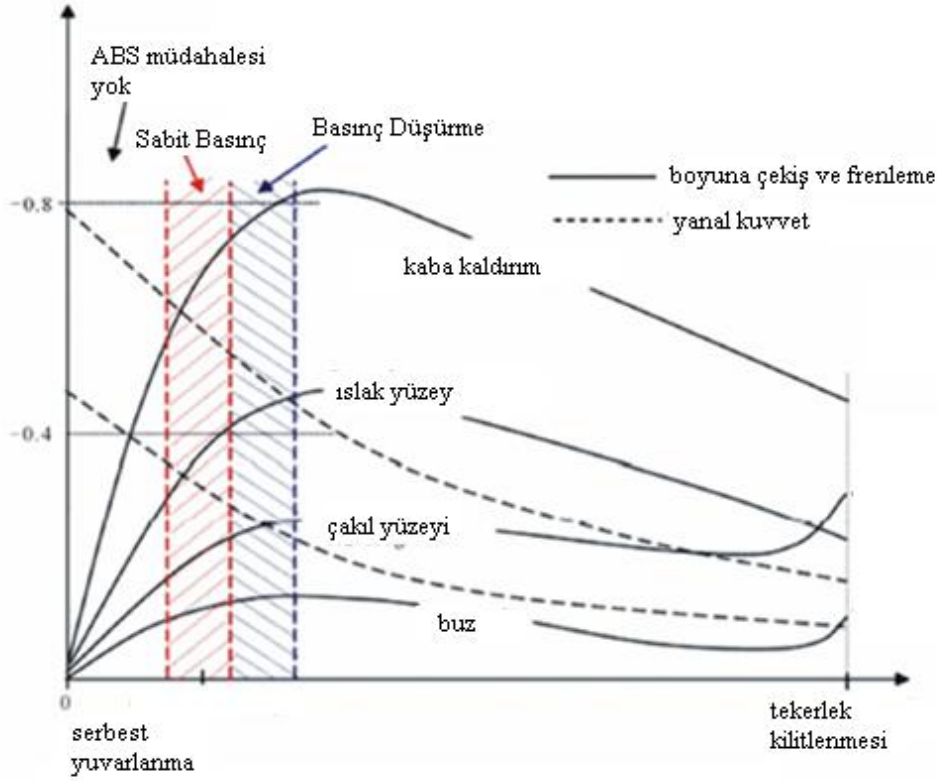
Tekerleklerin kayma değerlerinin hesabında kullanılan taşıt kütle merkezinin hızının bulunması simulasyon çalışmaları için bir sorun teşkil etmemektedir. Fakat oluşturulan kontrol sisteminin gerçek sistemler için uygulanmasında taşıtın yere göre bağıl hızının bulunması çözünürlüğü yüksek ve pahalı GPS cihazlarının kullanımını gerekli kılmaktadır. Ticari olarak daha avantajlı bir çözüm, her tekerleğin hızını ve taşıtın boyuna ivmesini ölçen cihazlarla sağlanabilmektedir. Böylece taşıtın boyuna hızı da yüksek başarımla tahmin edilmiş olur [8].



Şekil 1.1: Tekerlek yol sürtünme katsayıları [8].

Kontrol sistemindeki her tekerlek için kontrol parametresi olan boyuna kayma değeri birincil önceliğe sahip olup tekerlek açısız hızı, tekerleğin yüklü durumda iken sahip olduğu efektif yarıçap olarak adlandırılan mesafe ve taşıtın boyuna doğrultudaki hızı kullanılarak hızlanma esnasında $[0,1]$ aralığında, frenleme esnasında $[0,-1]$ aralığında değerlendirilecek şekilde tekerlek kayma formülasyonları oluşturulur [9][10].

Ayman A.'ya göre anti blokaj kontrol sistemleri tekerleklerdeki kayma değerini, yol taşıtları boyuna dinamiği çalışmalarında, her tekerleğin boyuna kayma değerinin tekerlek boyuna kuvveti ile beraber artım gösterdiği aralıkta tutmaya çalışmalıdır [11]. Buna göre kural tabanlı kontrolcü için gerekli iki referans kayma değerleri Şekil 1.2'de gösterilen bölgede belirlenmelidir.

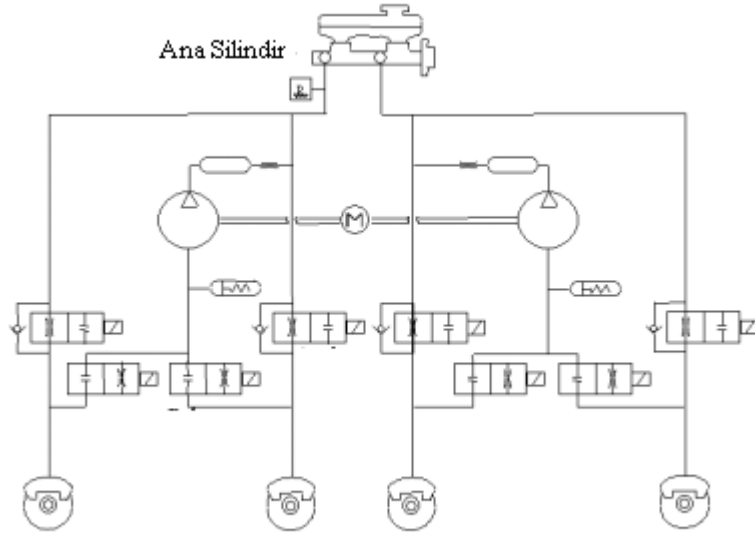


Şekil 1.2: Kural tabanlı ABS kayma kontrol aralıkları [11].

Kontrol sisteminde oluşturulacak hidrolik modülatörün yapısında ise R. Kazemi'ye göre modülatörün servo valflerle oluşması modülatörün cevap hızının, çözünürlüğünün ve kontrol edilebilirliğinin artmasına neden olacağından MATLAB/SimHydraulics modülü kullanılırken ABS ve çekiş kontrol sistemlerinin hidrolik modülatörleri servo valflerden oluşturuldu [12].

Kontrol sistemindeki hidrolik modülatör, her tekerlek için iki adet iki yönlü iki konumlu selenoid valf ve valf eyleyicileri ile modellenmiştir [13]. Söz konusu hidrolik devre her tekerlek hattı için iki adet valf ve iki adet valf eyleyicisini içermektedir. Selenoid valflerden biri basınç diğeri rezerv hattına bağlıdır ve valfler bağlı bulundukları hatlardan isimlerini alırlar. Buna göre hidrolik modülatörün çalışması şu şekilde gerçekleşmektedir. Basınç valfinin açık rezerv valfinin kapalı olduğu durumda fren basıncı artabilmekte, her iki valf de kapalı konumda iken fren silindiri içindeki basınç değişmemekte ve basınç valfi kapalı rezerv valfi açık konumda iken fren silindiri içindeki basınç düşmektedir. Şekil 1.3'teki hidrolik devre, kontrol sisteminin uygulandığı fren devresi olarak kullanılmıştır. Ayrıca ana silindirin çıkışı

birincil ve ikincil olmak üzere iki basınç hattına ayrılmakta, sonra ön ve arka tekerleklere dağıtılmaktadır.



Şekil 1.3: Kontrol sistemi için fren hidrolik devresi [13].

Çekiş kontrol sistemi, taşıt durağan konumda iken ani hızlanmanın istendiği koşulda motorun tekerleklerde oluşturduğu yüksek momenti, tekerlek çekiş kuvvetini ve motor torkunun verimini arttırmak adına fren müdahalesi ile azaltabilir [14].

1.2 Tezin Kapsamı Ve İçeriği

Tez çalışması kapsamında, konu ile ilgili literatür çalışması yapıp içeriğinden yararlanılan yayınlar literatür araştırması başlığı altında sunulmuştur. Yol taşıtı fren sistemlerinin modellenmesi 2. bölüme konu olmuştur. Birinci dereceden dinamik sistem olarak taşıt fren sistemlerinin modellenmesi bölüm 2.1’de, fren sisteminin hidrolik bileşenleri ile modellenmesi konusu bölüm 2.2’de verilmiştir. 3. bölümde boyuna taşıt dinamiğinin CarSim yazılımı ile incelenmesi ve MATLAB/Simulink ortamında bir yol taşıtının ve pnömatik tekerleğin boyuna dinamiğinin modellenmesi ele alınmıştır. Sonra da bu boyuna taşıt dinamiklerinin tutarlılıkları incelenmiştir. ABS kontrol sisteminin gereksinimlerinin saptanması, kural tabanlı kontrol sisteminin oluşturulması, her iki taşıt dinamiği sisteminin bu kontrol döngüsünde koşturulması ve sonuçlarının paylaşılması 4. bölümde gerçekleştirilmiştir. Bölüm 5’te ise bir önceki bölümde ABS kontrol sistemi için uygulanan tüm çalışmalar bu

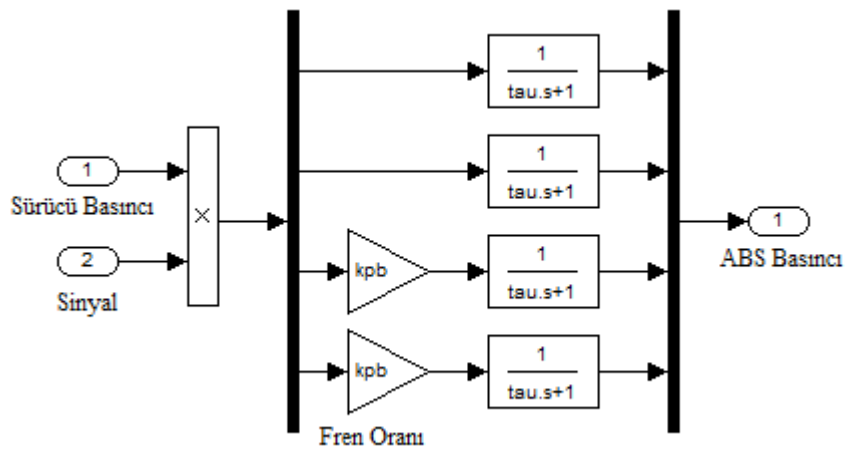
bölümde çekiş kontrol sistemi için gerçekleştirilmiştir. Bölüm 6’da elde edilen simulasyon sonuçlarının değerlendirilmesi yapılmış ve sonuç görüşleri bildirilmiştir.

2. FREN SİSTEMİNİN MODELLENMESİ

Taşıtın fren tertibatı, taşıt boyuna dinamiği için uygulanacak kontrol sistemlerinde eyleyici sisteme karşılık gelmektedir. Bu amaçla taşıtta bulunan hidrolik fren sisteminin modellenmesi önem kazanmaktadır. Bu bölümde taşıt fren sisteminin önce birinci derece dinamik sistem olarak modellenmesi ve sonra daha yüks seviyede hidrolik fren sisteminin MATLAB/SimHydraulics yazılımı kullanılarak modellenmesi amaçlanmaktadır.

2.1 Birinci Dereceden Dinamik Fren Sistemi

Taşıtlarda kullanılan fren sistemleri birinci dereceden bir dinamik sistemle modellenebilir. Bu durumda taşıt hidroliği gecikme zamanı ile tanımlanmış olur. Ayrıca ön ve arka tekerleklere dağıtılmak üzere master silindirden orantılı olarak çıkan birincil ve ikincil basınç hatları da kazanç blokları ile modellenir. Şekilde aç kapa kontrolcü sistemi için fren sistemi birinci dereceden dinamik sistem olarak modellenmiştir.

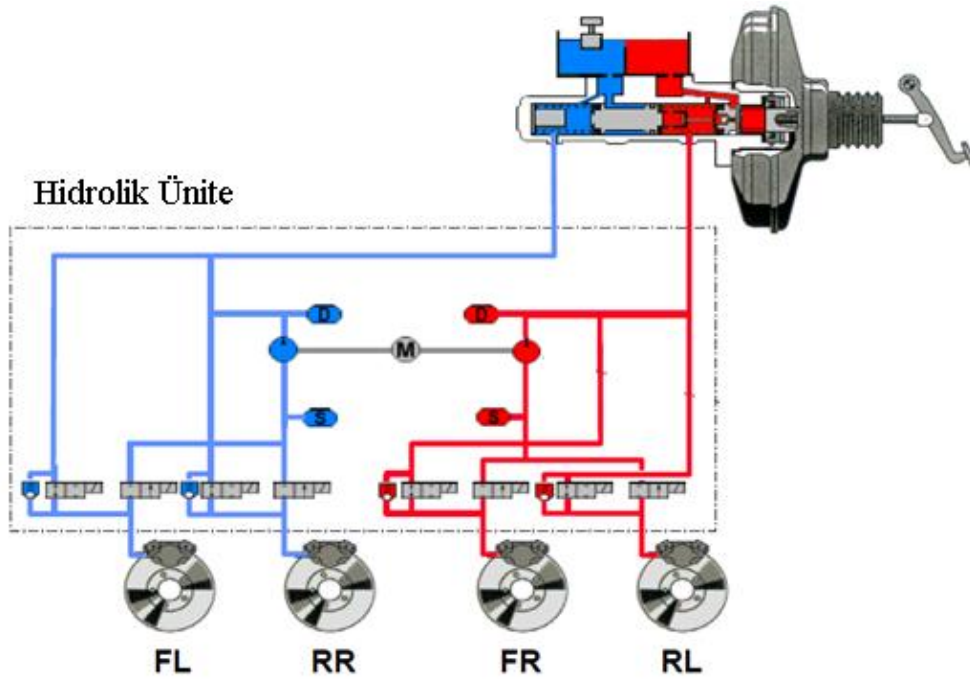


Şekil 2.1: Birinci dereceden fren sistemi Simulink akış diyagramı.

2.2 Hidrolik Devre Fren Sistemi

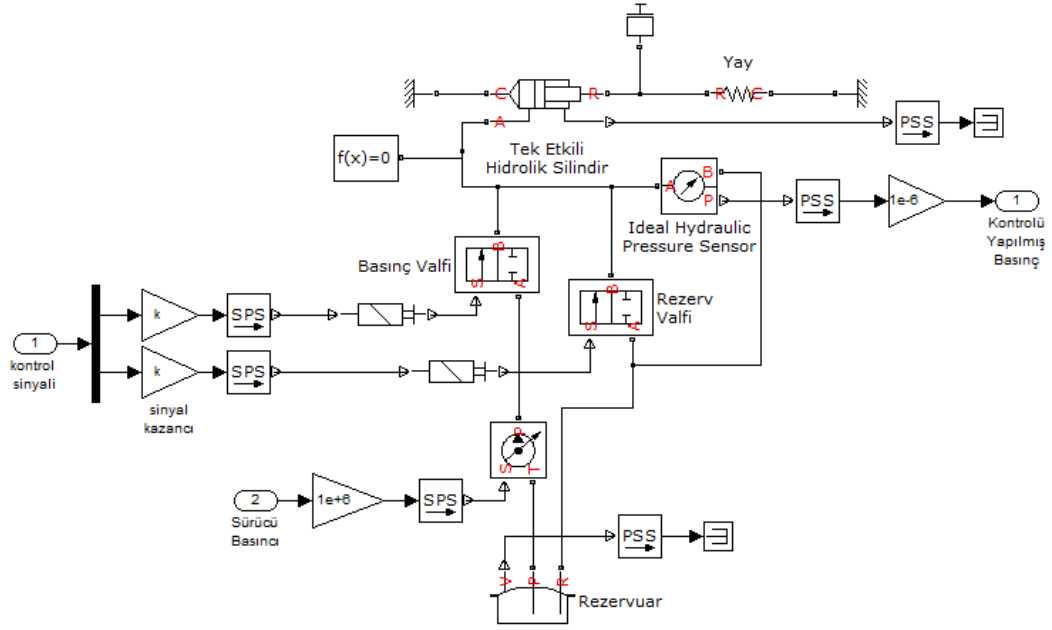
Fren sisteminin hidrolik bileşenleri ile modellenmesi daha gerçekçi bir modelleme yöntemidir. Bu modelleme yönteminde fren silindiri, hidrolik yağı, solenoid valfler ve valf eyleyicileri SimHydraulic'in sağladığı pek çok parametre ile modellenebilmektedir.

Taşıt fren sisteminin hidrolik devresi, her tekerlek için iki adet iki yollu iki konumlu solenoid valf ve tek etkili hidrolik silindir ile modellenmiştir. Silindirin geri dönme hareketini sağlayacak yay sistemi de modellenir. Kullanılan valflerden biri basınç hattına bağlıdır. Sürücünün uyguladığı basıncı fren silindirlerine iletir veya iletmez. Diğer valf fren sıvısı depo hattına bağlıdır. Silindir ve depo hattı üzerinde yer alır ve fren sıvısının o hattaki geçişini iki durum ile kontrol eder. Hidrolik akışkan olarak Amerikan Ulaşım Birimi (DOT) tarafından kategorize edilmiş polietilen glikol tabanlı binek taşıtlarda kullanımı yaygın DOT3 sıvısı kullanılmıştır.



Şekil 2.2: Hidrolik devre fren sistemi [16].

Sistemin Simulink akış diyagramı her tekerlek için şekildeki gibidir.



Şekil 2.3: Hidrolik devre fren sistemi Simulink akış diyagramı.

Sürücünün fren müdahalesinde söz konusu hidrolik devre ile fren silindirindeki basınç, basınç valfi açık rezerv valfi kapalı konumda iken artmakta, basınç valfi kapalı rezerv valfi açık konumda iken azalmakta, her iki valf de kapalı konumda iken sabit kalmaktadır.

Söz konusu hidrolik devre fren sistemi tanımlanırken kullanılan parametreler ve değerleri de Çizelge 2.1’de verilmiştir.

Çizelge 2.1: Hidrolik devre fren sistemi fiziksel parametreleri ve değerleri.

Bileşen	Parametre	Değer/Durum	Birim
Valf Eyleyici	Strok	0.01	m
	Açma zamanı	0.001	sn
	Kapama zamanı	0.001	sn
	Nominal sinyal	24	-
	İlk pozisyon	Geri çekili	
Valf	Oryantasyon	Pozitif yönde etkin	
	Maksimum açıklık	0.002	m
	Akış katsayısı	0.015	
Silindir	İlk açıklık	0	m
	Piston alanı	0.001	m ²
	Piston stroğu	0.001	m
	İlk pozisyon	0	m
	Ölü hacim	0.0001	m ³
	Kontakt katılık	1e6	N/m
	Kontakt sönüm	150	Ns/m
	Oryantasyonu	Pozitif yönde etkin	
	Sistem sıcaklığı	60	C
Hidrolik Akışkan	Akış düşme faktörü	1	
	Yoğunluk	1001.95	kg/m ³
	Viskozite	2.78599	cSt
	Bulk modülü	1.5234e9	Pa

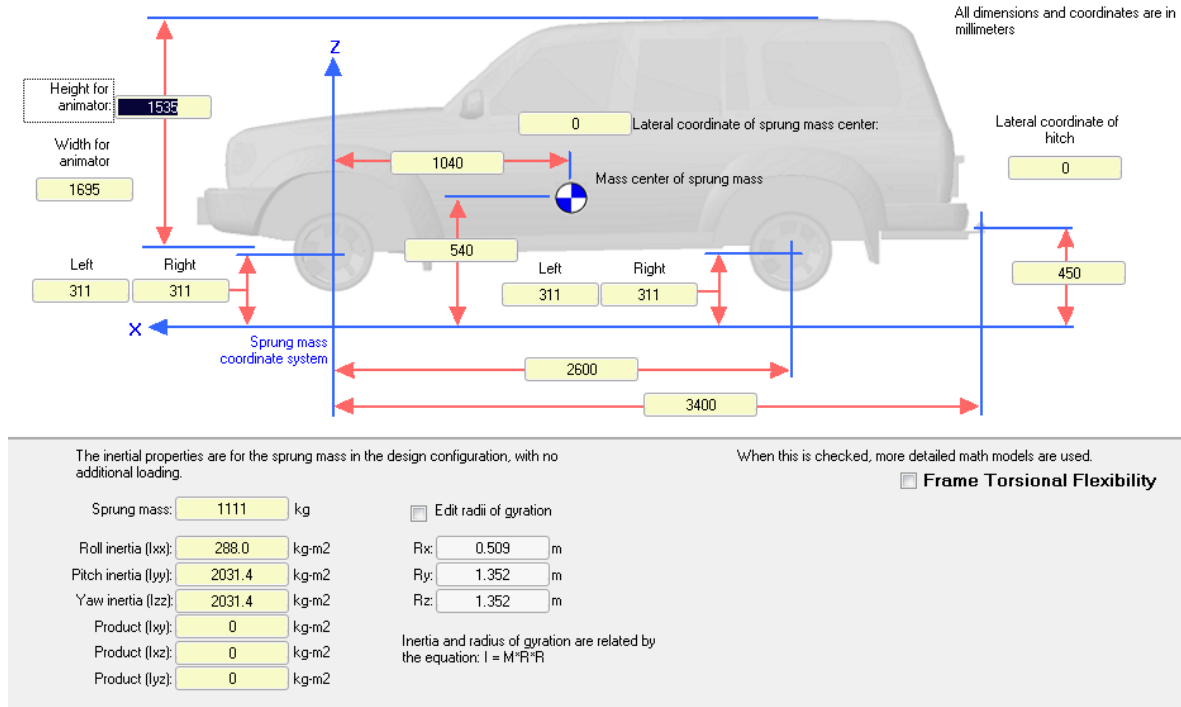
3. TAŞIT DİNAMİĞİNİN MODELLENMESİ

Bu bölümde taşıt dinamiği, asılı kütlelerin boyuna dinamiği ve pnömatik tekerleğin boyuna dinamiğinin matematik modelinin MATLAB/Simulink ortamında oluşturulması ve CarSim programında kullanılacak taşıtın tanıtılması amaçlanmaktadır.

3.1 CarSim Taşıt Dinamiği

Bir taşıt dinamiği simülasyon programı olan CarSim yazılımındaki boyuna taşıt dinamiği, ABS kontrol sistemi ve çekiş kontrol sistemi için Simulink arayüzünden CarSim S-Function bloğu ile temsil edilerek kullanılmıştır.

Bu amaçla CarSim yazılımında varsayılan olarak bulunan B segmenti 5 kapılı araç modeli kullanılmıştır. Ancak taşıtın hızlanması ve yavaşlamasında birincil etkiye sahip olmayan ve Simulink ortamında modellenmeyen, tekerlek sistemlerinin toe in ve kamber açılarının etkileri sıfırlanarak direksiyon ile yada sistem dışından uygulanacak yanal bir kuvvet olmadan pnömatik tekerleklerin yanal kuvvet üretmeyeceği duruma getirilmiştir. Aşağıdaki şekilde ele alınan B segmenti 5 kapılı aracın asılı kütlelerinin boyutlarını gösteren CarSim arayüzü verilmiştir.



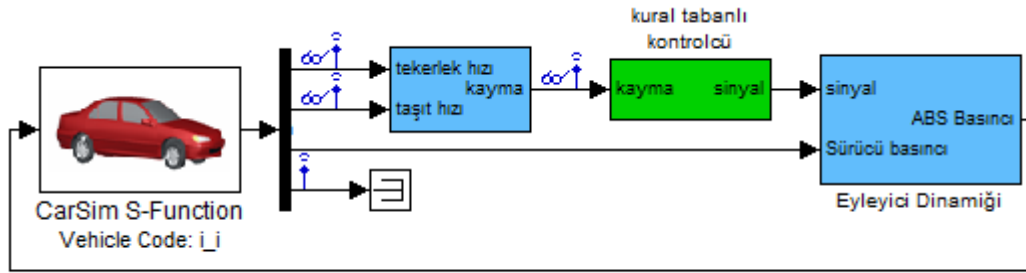
Şekil 3.1: Taşıtlı asılı kütlesi CarSim arayüzü.

Aşağıda Çizelge 3.1’de CarSim yazılımında söz konusu taşıtlı için geçerli olan ve Simulink ortamındaki boyuna taşıtlı dinamiği modellemesinde de kullanılacak parametreler ve değerleri verilmiştir.

Çizelge 3.1: Taşıtlı parametreleri.

Bileşen	Parametre	Değer	Birim
Asılı Kütle	Kütle	1111	kg
	CoG yüksekliği	0.54	m
	CoG ön aks mesafesi	1.04	m
	Ön arka aks mesafesi	2.6	m
	Ön kesit alanı	1.6	m ²
	Aerodinamik katsayı	0.344	-
Asılı Olmayan Kütle	Toplam ağırlık	120	kg
	Yay katsayısı	28	N/mm
	Sönüm katsayısı	25	N.s/mm
	Efektif yarıçap	0.304	m
Tekerlek	Yay katsayısı	230	N/mm
	Statik yuvarlanma	0.013	-
	direnç katsayısı		
	Hız yuvarlanma	0.000082	saat/km
	direnç katsayısı		
Fren Sistemi	Ön fren basınç tork katsayısı	250	Nm/MPa
	Arka fren basınç tork katsayısı	150	Nm/MPa

CarSim dinamiğinin kontrol sistemlerinde kullanılmasında ise ABS kontrol sistemi için CarSim yazılımından tekerleklerin ve taşıtın boyuna hız değerleri ve sürücünün tekerleklerde oluşturmak istediği basınç değeri alınmakta, kontrolcü ve eyleyiciden çıkan tekerlek basınç değerleri verilmektedir. Çekiş kontrol sistemlerinde ise tahrik alan tekerler ve taşıt kütle merkezinin hızları alınmakta, tahrik edilen tekerlere uygulanacak fren basınç değerleri verilmektedir. Aşağıdaki şekilde CarSim S-Function ile elde edilen CarSim taşıt dinamiğinin kullanıldığı kontrol döngüsü Simulink arayüzü verilmiştir.



Şekil 3.2: CarSim taşıt dinamiği kontrol döngüsü.

3.2 MATLAB/Simulink Boyuna Taşıt Dinamiği

Simulink ortamında taşıtın boyuna dinamiğinin modellenmesi pnömatik tekerleğin dinamiğinin ve boyuna taşıt dinamiğinin modellenmesi olarak iki başlık altında toplanmıştır.

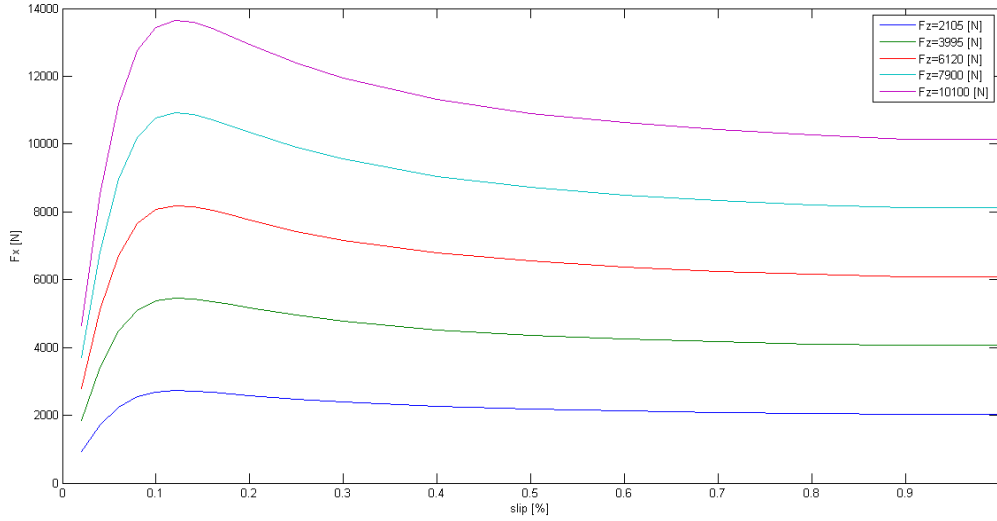
3.2.1 Pnömatik tekerleğin boyuna dinamiğinin modellenmesi

Simulink ortamında pnömatik tekerleğin oluşturacağı kuvvet, kaymanın ve düşey yükün bir fonksiyonu olarak modellenmiştir. Simulink ortamında tekerlek düşey yükü ve kayma değerlerine karşılık gelen iki boyutlu bir başvuru çizelgesi CarSim yazılımındaki 185/65 R15 tipi pnömatik tekerlek referans alınarak kullanılmış ve tekerleğin boyuna yönde oluşturacağı kuvvet elde edilmiştir.

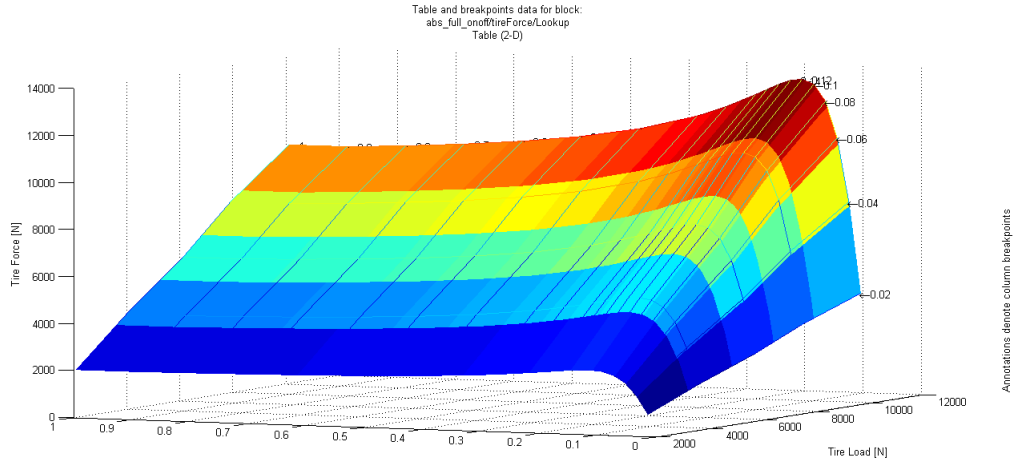
CarSim ortamından alınan düşey yük ve kayma değerlerine bağlı tekerlek kuvveti değerleri, yol tekerlek sürtünme yüzeyi katsayısının bire eşit olduğu durumda geçerlidir. Diğer sürtünme koşullarında tekerlekte oluşacak nihai boyuna kuvvet, yol sürtünme katsayısı da göz önüne alınarak şu formülle hesaplanır [5].

$$F_x = \frac{\mu}{\mu_0} \cdot f(F_z, \frac{\mu_0}{\mu} s) \quad (3.1)$$

Kullanılan başvuru çizelgesi işlevini temsil eden fonksiyon f ile tanımlanmış olup tekerlek boyuna kuvveti, şekildeki referans değerler ile hesaplanmaktadır. Ara ve dış yük değerlerinde interpolasyon ekstrapolasyon yöntemleri kullanılmaktadır.



Şekil 3.3: Tekerlek düşey yükü ve kayma değeri ile tekerlek kuvvetinin bağıntısı.

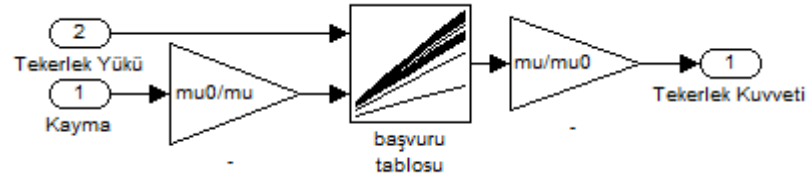


Şekil 3.4: Tekerlek kuvveti 3D haritası.

Pnömatik tekerleğin modellenmesinde tekerlekte oluşan yuvarlanma direnç momenti de aşağıdaki bağıntı ile hesaplanmıştır [15].

$$M_{roll} = F_z(C_{roll} + C_{roll\theta} \vartheta_x)R_{eff} \quad (3.2)$$

Aşağıdaki şekilde pnömatik tekerlek modelinin Simulink akış diyagramı verilmiştir.



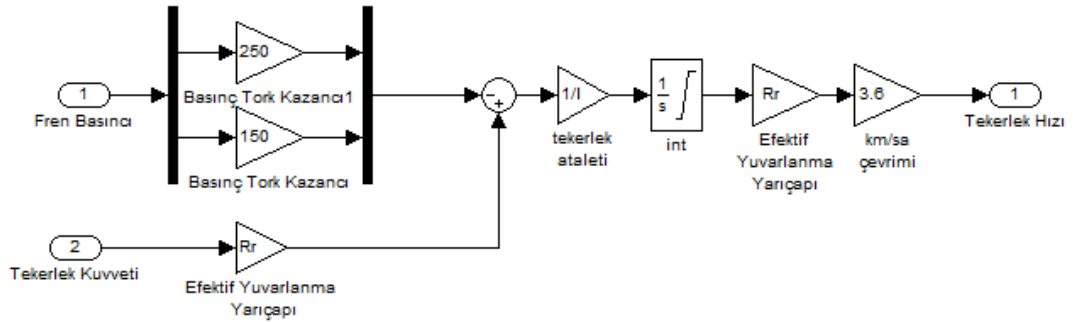
Şekil 3.5: Tekerlek Simulink akış diyagramı.

Sonuç olarak frenleme ve hızlanma esnasında tekerleğin dinamiği, tekerlek merkezindeki moment dengesi denklemleri sırası ile şu şekilde ifade edilmiştir [15].

$$F_x R_{eff} - M_b = J \alpha \quad (3.3)$$

$$M_{eng} - F_x R_{eff} - M_b = J \alpha \quad (3.4)$$

Ayrıca, ön ve arka tekerlerde oluşan frenleme momenti Nm olarak, her tekerlek için oluşacak MPa cinsinden fren basıncı ile ön tekerleklerde 250, arka tekerleklerde 150 kazancı ile doğrusal ilişkilendirilmiştir.



Şekil 3.6: Yavaşlama durumu için tekerlek dinamiği Simulink akış diyagramı.

3.2.2 Boyuna taşıt dinamiğinin modellenmesi

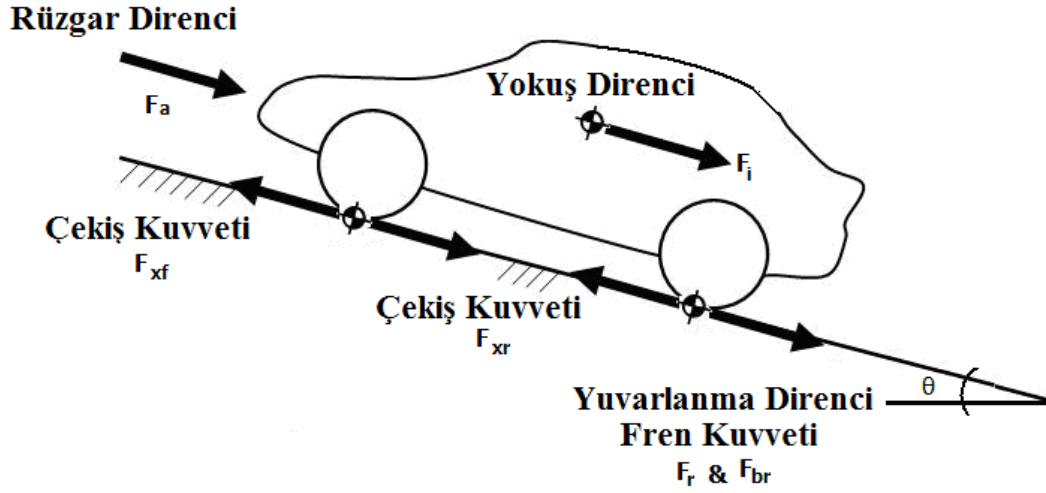
Simulink ortamında boyuna taşıt dinamiğinin modellenmesi, ön ve arka aks arasındaki yük transferini göz önünde bulundurularak ve süspansiyon modellemesi ve yokuş dirençi ihmal ederek oluşturulmuştur.

Ön ve arka aks arasındaki yük transferinin hesabı şu şekilde gerçekleştirilmiştir [15].

$$F_{zf} = \frac{m(g L_r - a_x h)}{L} \quad (3.5)$$

$$F_{zr} = \frac{m(g L_f + a_x h)}{L} \quad (3.6)$$

Aşağıda taşıta etki eden direnç kuvvetleri gösterilmiştir.



Şekil 3.7: Taşıt direnç kuvvetleri [17].

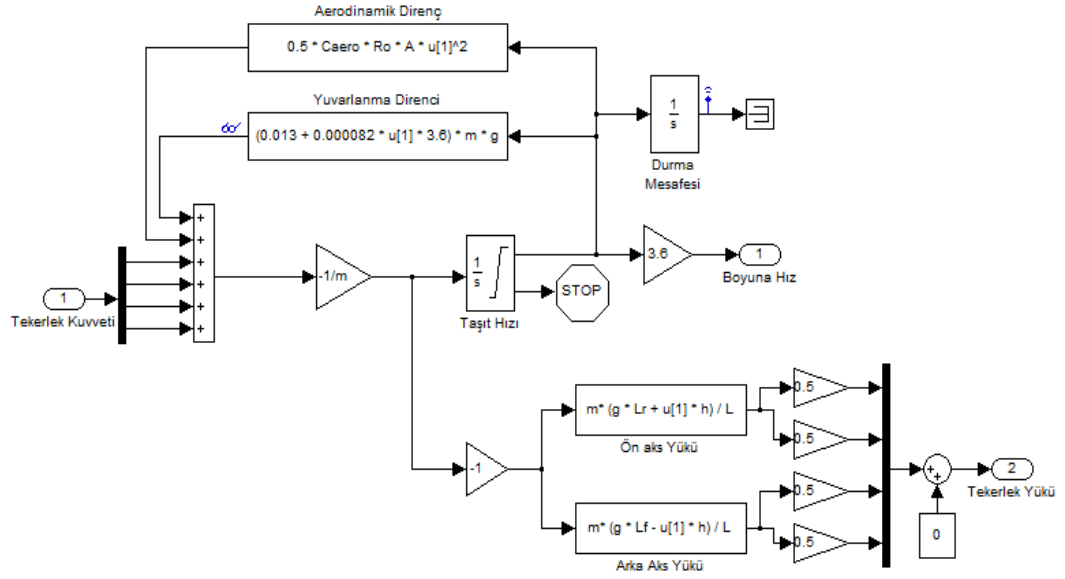
Taşıta boyuna yönde etki eden aerodinamik direnç kuvveti aşağıdaki bağıntı ile hesaplanmıştır [15].

$$F_{aero} = 0.5 C_x A \rho v_x^2 \quad (3.7)$$

Yavaşlama ve hızlanma durumunda taşıt kütle merkezindeki boyuna kuvvetlerin dengesi denklemleri sırasıyla aşağıdaki bağıntılarla ifade edilir [15].

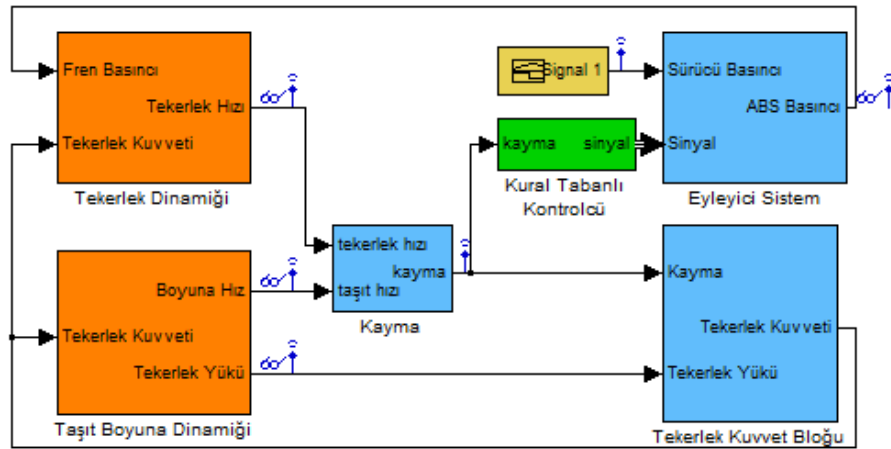
$$\Sigma F_x + F_{aero} + M_{roll} R_{eff} = -m a_x \quad (3.8)$$

$$\Sigma F_x - F_{aero} - M_{roll} R_{eff} = m a_x \quad (3.9)$$



Şekil 3.8: Taşıt boyuna dinamiği Simulink akış diyagramı.

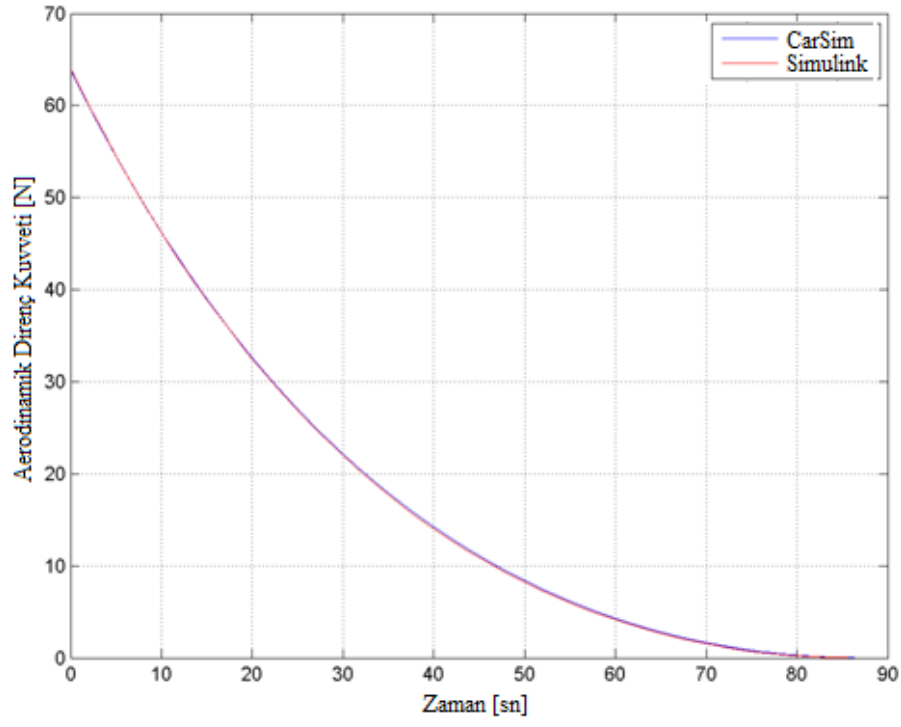
Aşağıdaki Şekil 3.9’da Simulink ortamında oluşturulan boyuna taşıt dinamiği sisteminin kontrol döngüsü akış diyagramı verilmiştir.



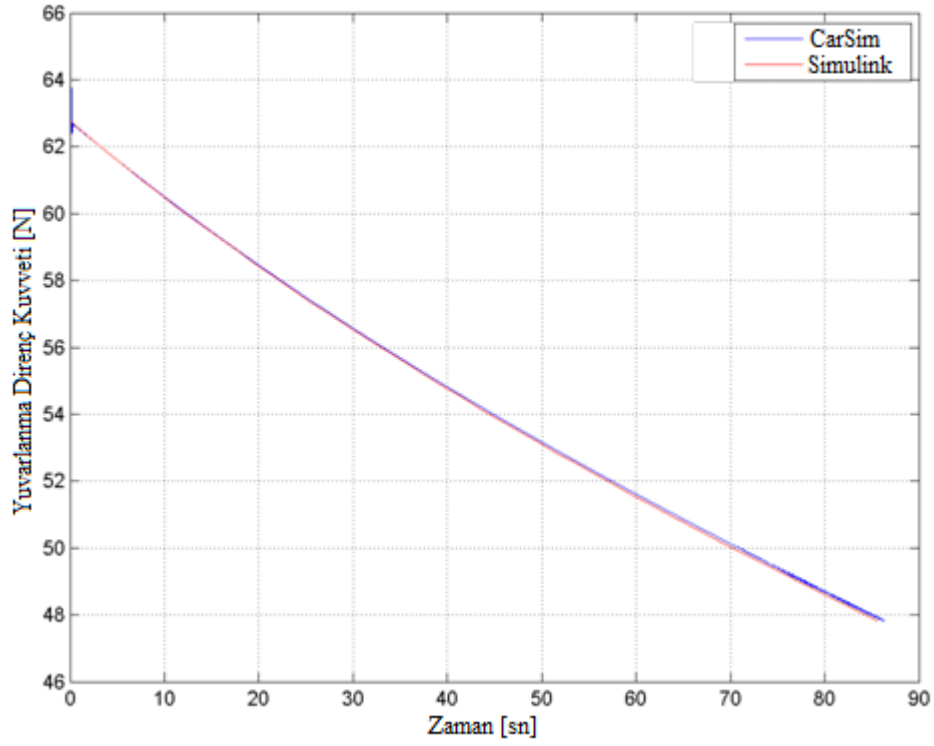
Şekil 3.9: Simulink boyuna taşıt dinamiği kontrol akış diyagramı.

Aşağıdaki şekillerde CarSim ve Simulink boyuna taşıt modellerinin eğimsiz, sabit sürtünme katsayısına sahip düz bir yoldaki ilk hızlı olarak frensiz yavaşlama durumlarının hız ve direnç değerleri verilmiştir.

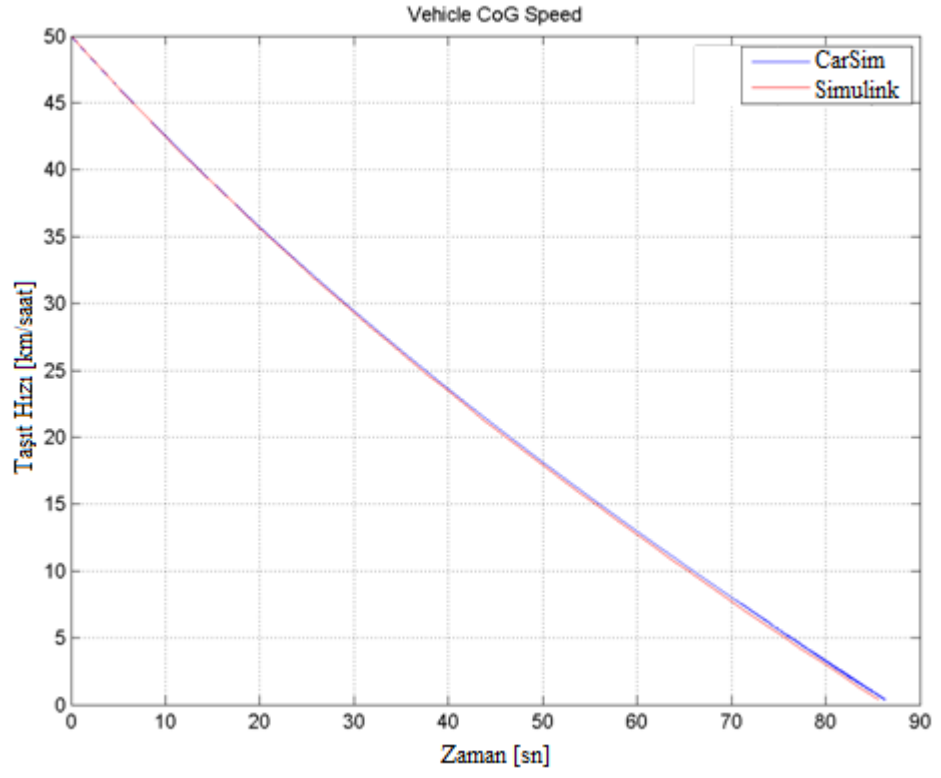
Buna göre her iki taşıtın da Şekil 3.10’da verilen aerodinamik direnç ve Şekil 3.11’de verilen tekerlek yuvarlanma direnç kuvvet karakteristikleri CarSim ve Simulink ortamlarında modellenen boyuna taşıt dinamikleri için aynıdır. Bununla birlikte Şekil 3.12’de verilen taşıt yavaşlama karakteristikleri de her iki sistem için çok yakındır.



Şekil 3.10: Aerodinamik direnç kuvveti.



Şekil 3.11: Tekerlek yuvarlanma direnç kuvveti.



Şekil 3.12: Taşıt hızı.

4. ABS KONTROL SİSTEMİ

ABS kontrol sisteminin gereksinimlerini belirlemek ve bu gereksinimleri karşılayacak bir kural tabanlı kontrolcü sistemini oluşturmaktır. Sonrasında söz konusu kontrolcü sistemi, taşıt boyuna frenleme senaryoları için CarSim ve Simulink'te hazırlanan boyuna taşıt dinamiği sistemleri ve hidrolik devre eyleyici fren sistemi ile koşturmaktır.

4.1 ABS Kontrol Sisteminin Modellenmesi

Anti blokaj kontrol sistemleri taşıtın boyuna dinamiğinin iyileştirilmesi amacıyla kullanılmaktadırlar. Bu sistemlerin amacı, frenleme esnasında aracın tekerleklerinin kilitlenmesini önlemek, ayrıca frenleme esnasındaki bu kilitlenmeme durumunu, tekerleğin sağlayacağı maksimum frenleme kuvveti ve yanal kuvvet parametreleri göz önünde bulundurularak belirli bir değerde tutmaktır. Böylece taşıtın frenleme mesafesi kısaltmakta ve frenleme esnasında araç sürücünün direksiyon girdisine cevap verebilir konumda kalmaktadır.

Anti blokaj sistemlerinde kontrolü yapılan parametre her tekerlek için relatif kayma değerleridir. Bu değer ise tekerleğin dairesel hızı, taşıtın boyuna hız ve tekerlek efektif yarıçapı parametreleri ile hesaplanmaktadır. Tekerleğin dairesel hızı efektif tekerlek yarıçapı ile doğrusal hız biriminde ifade edilir. Taşıtın doğrusal hızı parametresi de kullanılarak birimsiz relatif kayma değerine ulaşılır [15].

$$s = \frac{\omega_w R_{eff} - v_x}{v_x} \quad (4.1)$$

Yukarıdaki kayma bağıntısı ile frenleme esnasında limit durumu olan taşıtın üzerinde hız varken tekerleklerin kilitlenmesi durumunda kayma değeri -1 değerini alır. Yani frenleme esnasında kayma değeri [0,-1] kapalı aralığında elde edilir.

ABS sistemi gereksinimlerini karşılamak için kural tabanlı kontrolcü tasarlanmıştır. Kural tabanlı kontrolcüler, bir dinamik sistem için kontrolü yapılacak parametrenin daha önceden belirlenmiş referans değerlerle olan ilişkisi ile kontrol sinyalinin birkaç

durum ile oluşmasını temin eden sistemlerdir. Taşıt boyuna dinamiğinde aktif güvenlik sistemi olarak çalışan ABS kontrol sistemi için ise kural tabanlı kontrolcü, tekerleklerde önceden belirlenen kayma değerlerine göre fren basınçlarının ayarlanması esasıyla çalışmaktadır.

Kontrolcü, her tekerlek için fren basıncını referans aldığı sınır kayma değerleri ile üç durumda kontrol etmektedir. Kural tabanlı kontrolcü için gerekli referans kayma değerleri, pnömatik tekerleğin kayma değerine bağlı olarak üretilen tekerlek kuvveti eğrilerine göre seçilir. Seçilecek maksimum ve minimum referans kayma değerleri en yüksek tekerlek kuvvetinin elde edildiği kayma değerine kadar olan aralıktan seçilir. Böylece tekerleklerden boyuna yönde yüksek frenleme kuvveti elde edilirken aynı zamanda tekerleğin kilitlenmesi engellenmiş olup tekerlek yanal yük de taşıyabilir konumda kalmaktadır.

Kontrolcünün fren basınçlarına müdahalesi fren basıncının artışına mücadele etmek, basıncı sabit tutmak veya basıncı azaltmak olarak üç durumda kendini gösterir.

Kural tabanlı ABS kontrolcü sisteminin yaptığı kayma kontrolü ise Çizelge 4.1’ de verilmiştir.

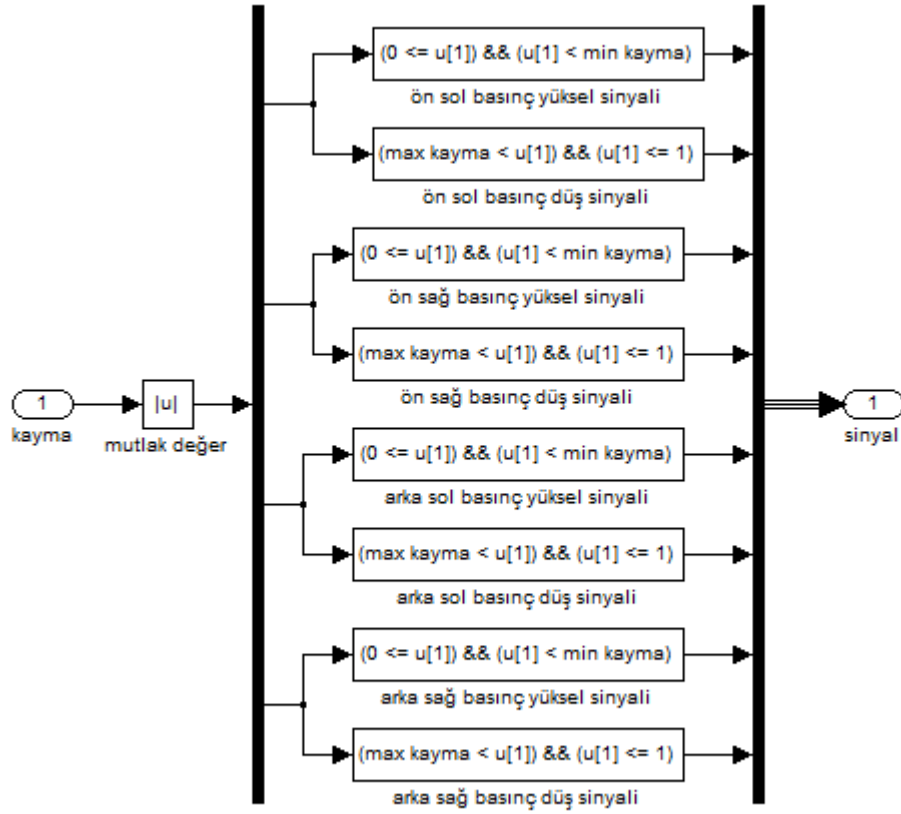
Çizelge 4.1 : Kural tabanlı ABS kontrolcüsü durum çizelgesi.

Kayma	Durum
$0 \geq s > s_{min}$	Basınç artışı
$s_{min} > s > s_{max}$	Basınç sabitlenmesi
$s_{max} > s \geq -1$	Basınç azalması

Kontrolcünün oluşturulan hidrolik devre fren sistemindeki solenoid valfler için üreteceği sinyal bilgisine de, kayma değerinin yukarıdaki üç durum için mantıksal karşılaştırma işlevleri ile üreteceği sonuçtan ulaşılır.

Çizelge 4.2 : Kural tabanlı ABS sinyal çizelgesi.

	Basınç yükselme sinyali	Basınç düşüş sinyali	Sabit basınç sinyali
Basınç valfi	1	0	0
Rezervuar valfi	0	1	0



Şekil 4.1 : Kural tabanlı kontrolcü Simulink akış diyagramı.

Kural tabanlı kontrolcü sinyali yukarıdaki Simulink akış diyagramına göre belirlenir. Bunun sonucunda kontrolcü sinyalleri elde edilir.

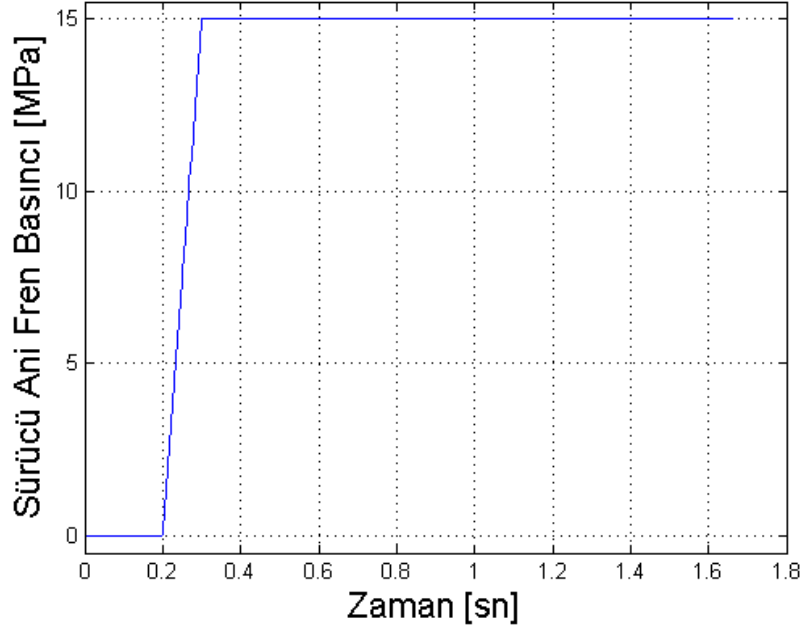
4.2 ABS Kontrol Sisteminin Performansı

Kural tabanlı ABS kontrolcüsü için oluşturulacak senaryo, CarSim ve Simulink ortamlarındaki boyuna taşıt dinamiği sistemleri gerçekleştirilmiştir. Senaryolar, ilk hızlı taşıtın sürtünme katsayısı her yerde sabit olan düz ve eğimsiz bir yoldaki ani frenleme durumunu incelemektedir.

4.2.1 Frenleme senaryosu 1

Kontrolcü sistemine uygulanan ilk senaryo, taşıt ilk hızı 50 km/saat olan aracın, tekerlek sürtünme katsayısı 1 olan düz ve eğimsiz bir yoldaki ani frenleme senaryosudur. Kontrolcü sistemleri için referans kayma değerleri aç kapa kontrolcü için %9, kural tabanlı kontrolcü için maksimum %10, minimum %8 olarak

belirlenmiştir. Sürücünün ani frenleme karakteristiği şekildeki eğri ile tanımlanmıştır.



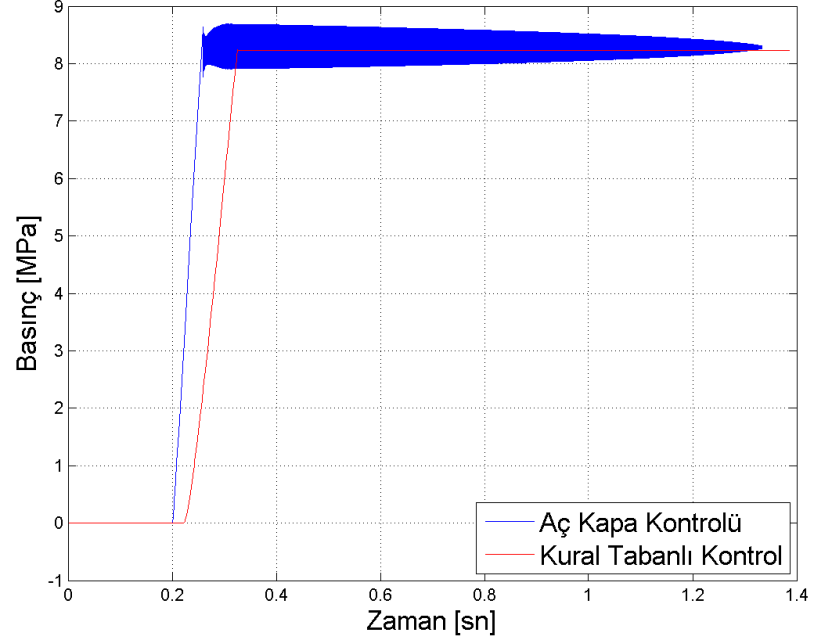
Şekil 4.2 : Sürücü ani frenleme basıncı.

Sonuçlardan, kural tabanlı kontrolcü sistemin pnömatik tekerlek kayma değerini, referans bant aralığında tuttuğu gözlemlenmektedir. Ayrıca, kural tabanlı kontrolcü ve hidrolik devre eyleyici sistemi, aç kapa kontrolcü ve birinci derece dinamik eyleyici ikilisine göre ilk harekete 0.05 saniye daha geç başlamaktadır. Bunun gecikmenin nedeni 1 mm ile modellenen fren hidrolik silindirindeki boşluğun alınması olarak gerçekleşmektedir.

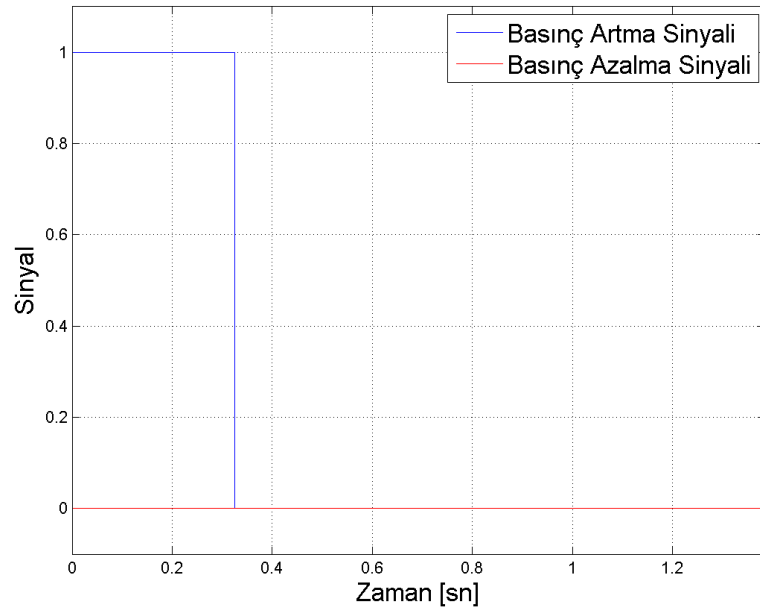
Simulink ortamında kontrolcülü ve kontrolcüsüz sistem çıktıları verilmiştir. Söz konusu şekillerde kayma değeri kontrol edilmeyen sistemin ön ve arka tekerlekleri kilitlenmiştir. Böylece araç, 0.3 sn ve 1.5 m daha geç durmuştur. Ayrıca ön arka yük transferi kural tabanlı kontrol sistemine göre 350 N daha az olmuştur.

Buna göre oluşan basınçlar ile kontrolcünün ön ve arka tekerlerdeki kayma oranlarını referans kayma aralığında tutarak tekerlekte oluşacak yanal kuvvet parametresini de çok azaltmadan kontrolü gerçekleştirmiştir. Aşağıdaki şekillerde MATLAB/Simulink taşıt dinamiği sistemi için kontrol sistemi çıktıları verilmiştir.

Şekil 4.3'te kural tabanlı ve aç kapa kontrol sistemlerinin Simulink boyuna taşıt dinamiği sistemi için ön tekerlekte oluşturduğu basınç eğrileri verilmiş ve kural tabanlı kontrolcü basıncı 8.2 MPa değerine sabitlemiştir. Şekil 4.4'te kural tabanlı kontrolcünün bu basıncın oluşması için ürettiği sinyal verilmiştir.

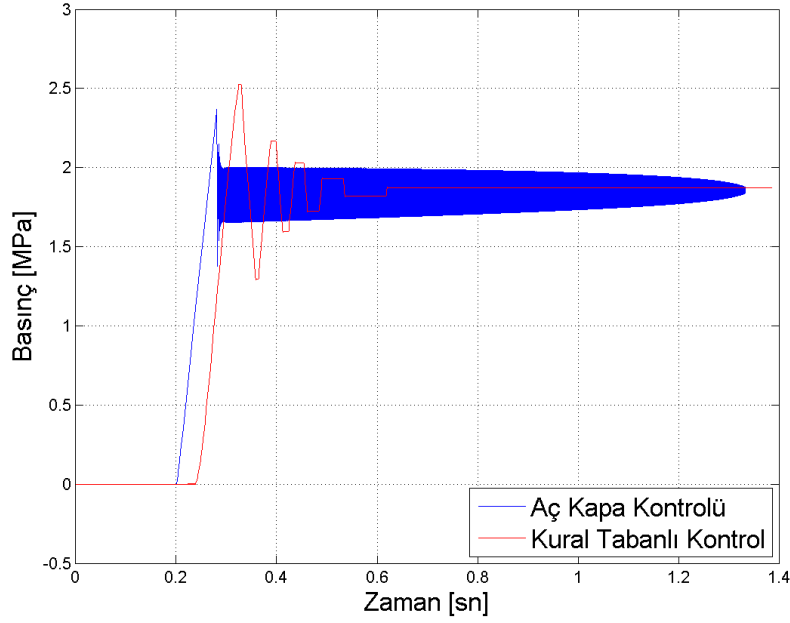


Şekil 4.3 : ABS senaryo1 Simulink ön tekerlekte oluşan basınç.

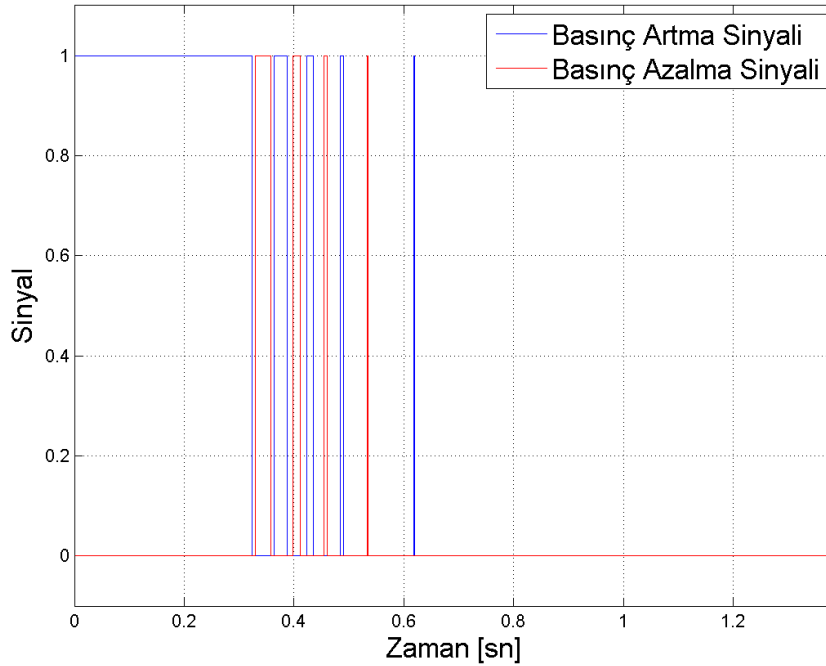


Şekil 4.4 : ABS senaryo1 Simulink ön tekerlerdeki RBC basınç sinyalleri.

Şekil 4.5'te kural tabanlı ve aç kapa kontrol sistemlerinin Simulink boyuna taşıt dinamiği sistemi için arka tekerlekte oluşturduğu basınç eğrileri ve kural tabanlı kontrolcü basıncı 1.8 MPa değerine sabitlemiştir.Şekil 4.6'da kural tabanlı kontrolcünün bu basıncın oluşması için ürettiği sinyal verilmiştir.

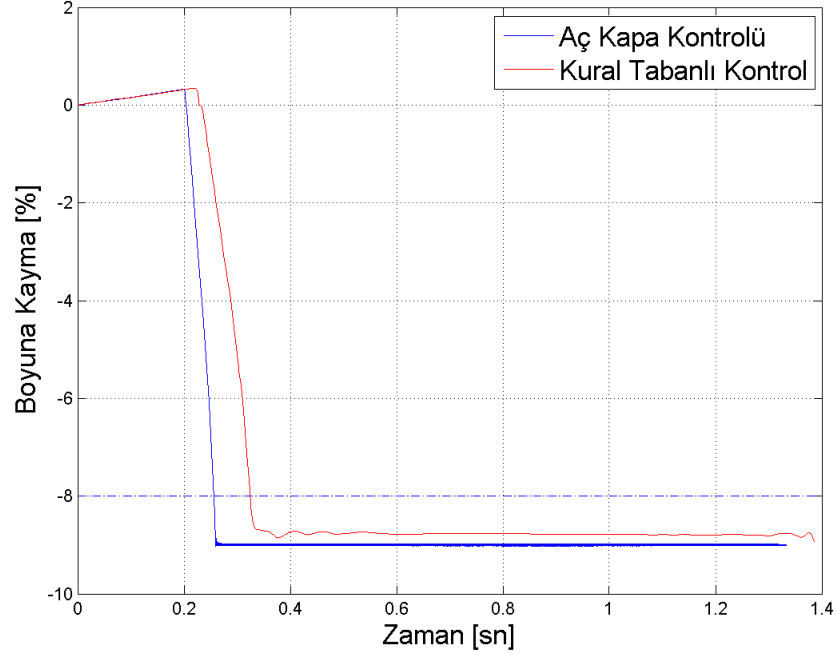


Şekil 4.5 : ABS senaryo1 Simulink arka tekerlekte oluşan basınç.

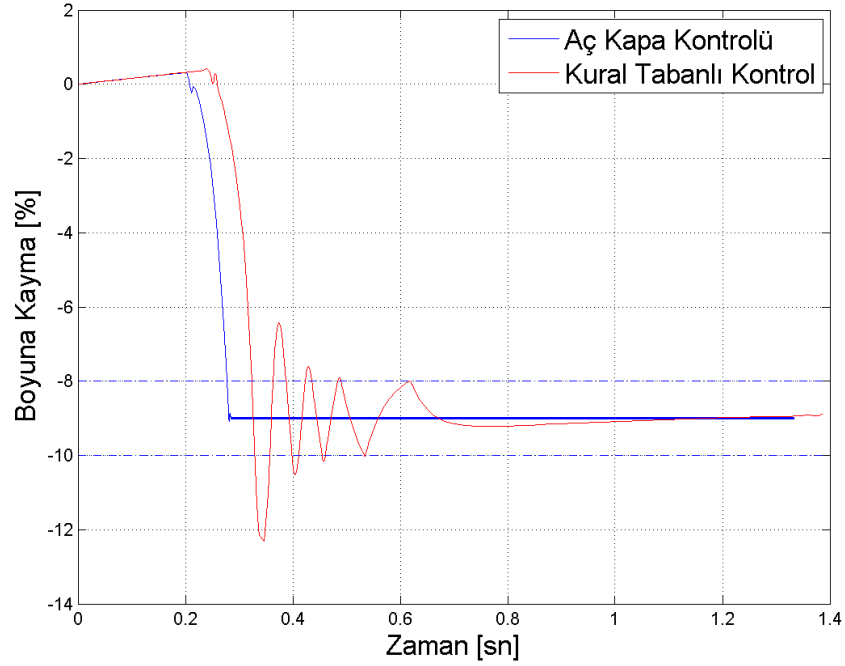


Şekil 4.6 : ABS senaryo1 Simulink arka tekerlerdeki RBC basınç sinyalleri.

Şekil 4.7 ve Şekil 4.8’de Simulink boyuna taşıt dinamiği sisteminin kural tabanlı ve aç kapa kontrol sistemleri ile söz konusu senaryo için ön ve arka tekerlek kayma değerleridir.

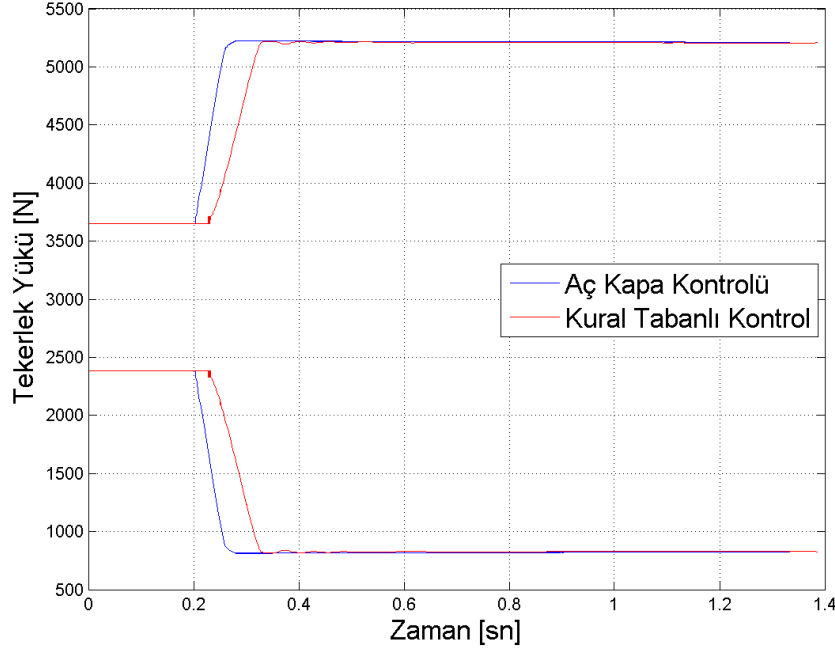


Şekil 4.7 : ABS senaryo1 Simulink ön tekerlerdeki kayma değeri.



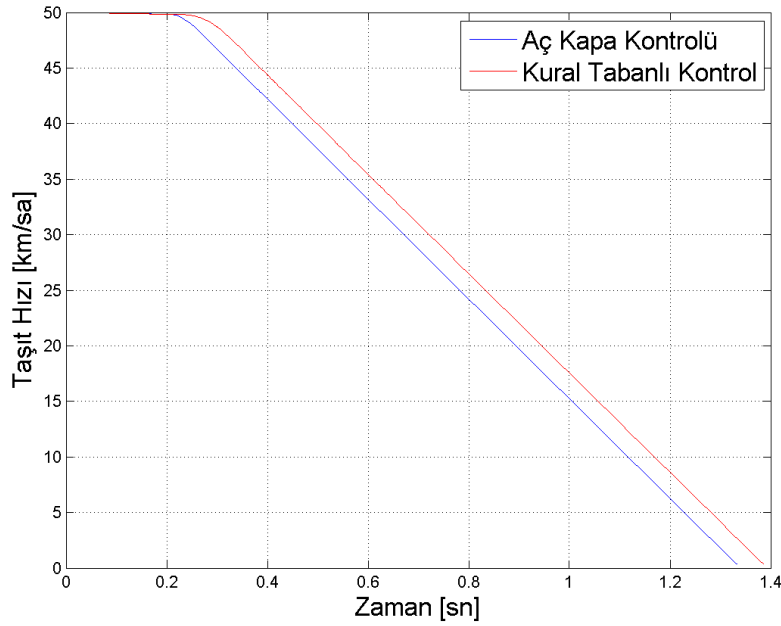
Şekil 4.8 : ABS senaryo1 Simulink arka tekerlerdeki kayma değeri.

Şekil 4.9’da ABS senaryo 1 için Simulink boyuna taşıt dinamiğinde kural tabanlı ve aç kapa kontrol sistemleri ile oluşan ön arka tekerlek yükleri verilmiştir. Frenleme esnasında toplam 3000 N’luk ön arka aks yük transferinin gerçekleştiği gözlenmiştir.



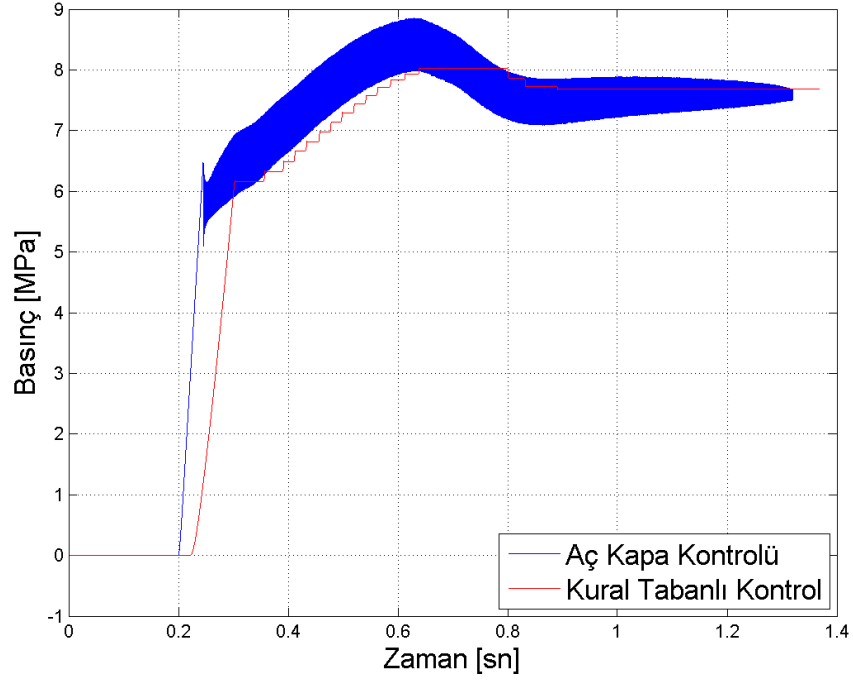
Şekil 4.9 : ABS senaryo1 Simulink tekerlek yükleri.

Şekil 4.10’da söz konusu senaryo ve taşıt dinamiği ile kural tabanlı ve aç kapa kontrolcü sistemleri için taşıt yavaşlama eğrileri verilmiştir.

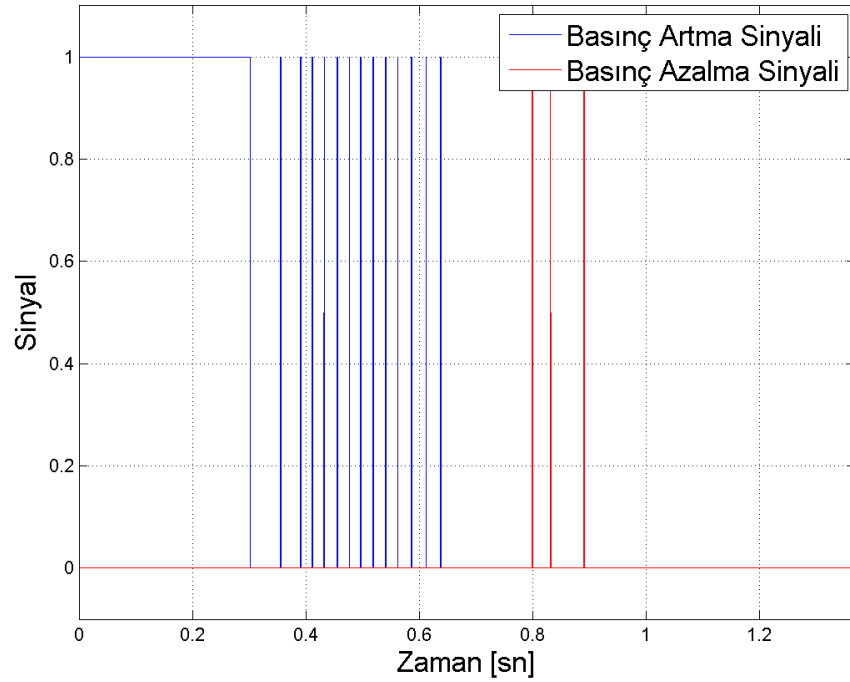


Şekil 4.10 : ABS senaryo1 Simulink yavaşlama eğrisi.

Şekil 4.11’de kural tabanlı ve aç kapa kontrol sistemlerinin CarSim boyuna taşıt dinamiği sistemi için ön tekerlekte oluşturduğu basınç eğrileri ve Şekil 4.12’de kural tabanlı kontrolcünün bu basıncın oluşması için ürettiği sinyal verilmiştir.

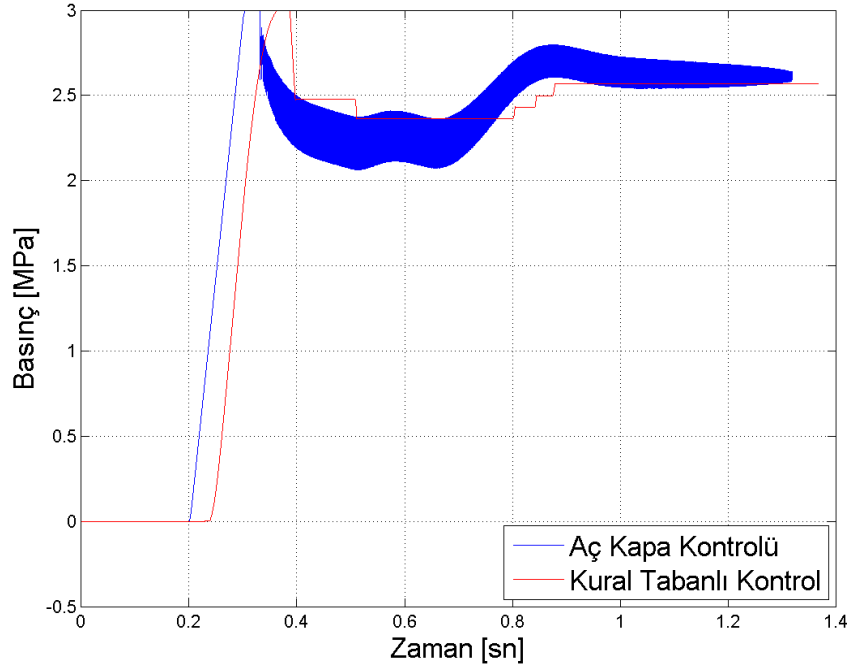


Şekil 4.11 : ABS senaryo1 CarSim ön tekerlekte oluşan basınç.

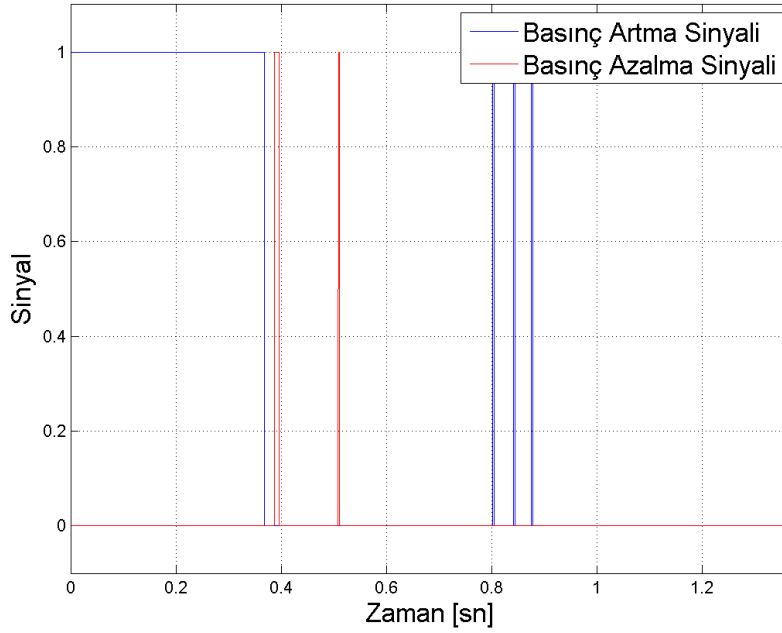


Şekil 4.12 : ABS senaryo1 CarSim ön tekerlerdeki RBC basınç sinyalleri.

Şekil 4.13'te kural tabanlı ve aç kapa kontrol sistemlerinin CarSim boyuna taşıt dinamiği sistemi için arka tekerlekte oluşturduğu basınç eğrileri ve Şekil 4.14'te kural tabanlı kontrolcünün bu basıncın oluşması için ürettiği sinyal verilmiştir.

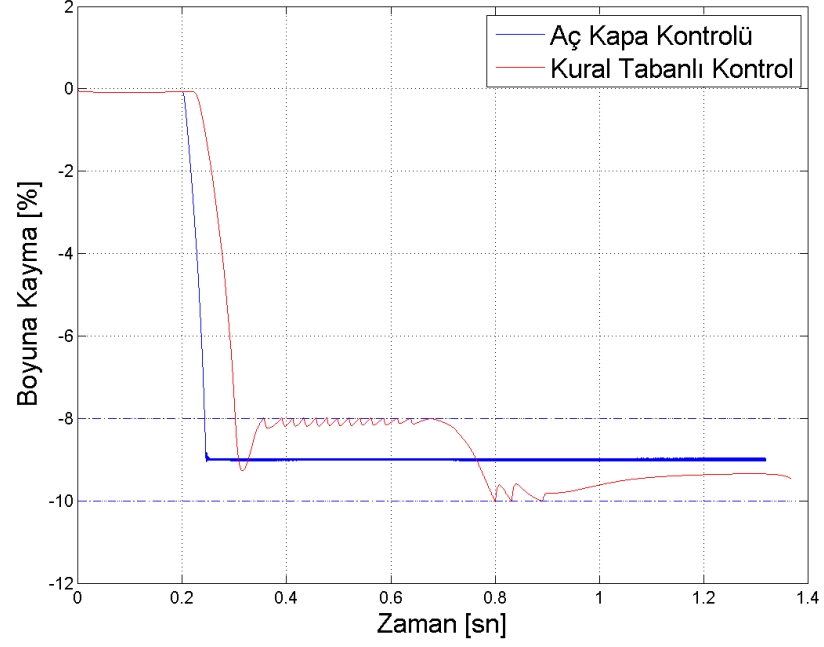


Şekil 4.13: ABS senaryo1 CarSim arka tekerlekte oluşan basınç.

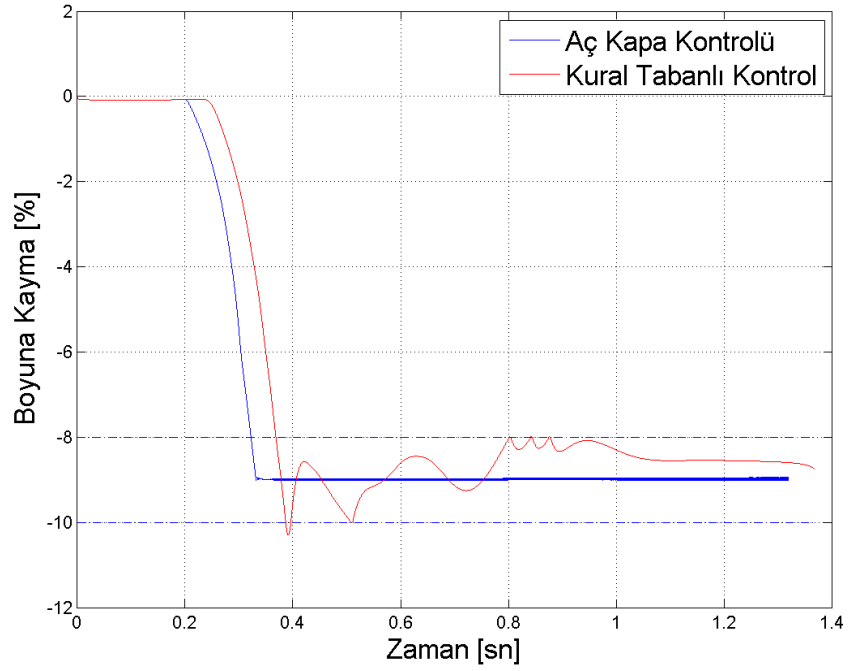


Şekil 4.14: ABS senaryo1 CarSim arka tekerlerdeki RBC basınç sinyalleri.

Şekil 4.15 ve Şekil 4.16’da CarSim taşıt dinamiği sisteminin kural tabanlı ve aç kapa kontrol sistemleri ile söz konusu senaryo için ön ve arka tekerlek kayma değerleri verilmiştir.

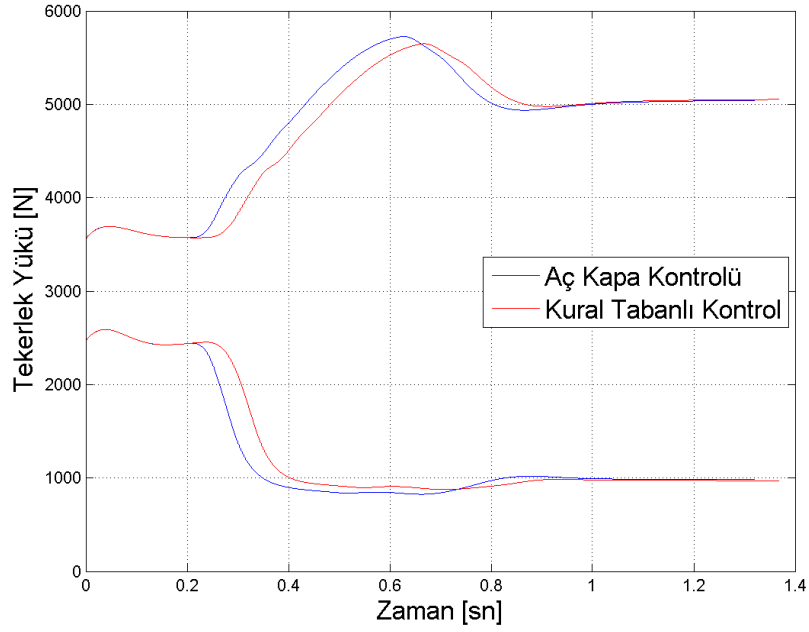


Şekil 4.15: ABS senaryo1 CarSim ön tekerlerdeki kayma değeri.



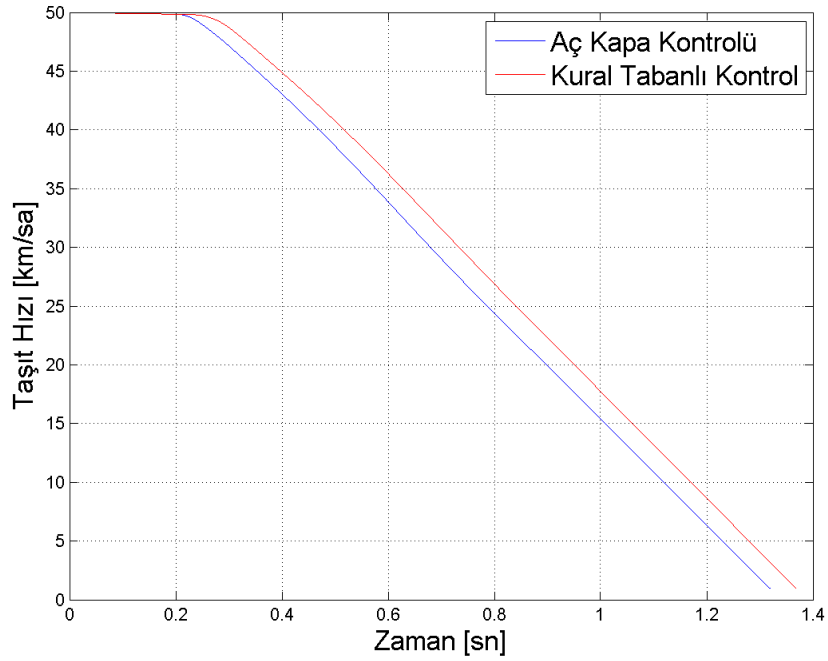
Şekil 4.16: ABS senaryo1 CarSim arka tekerlerdeki kayma değeri.

Şekil 4.17’de ABS senaryo 1 için CarSim boyuna taşıt dinamiğinde kural tabanlı ve aç kapa kontrol sistemleri ile oluşan ön arka tekerlek yükleri verilmiştir.



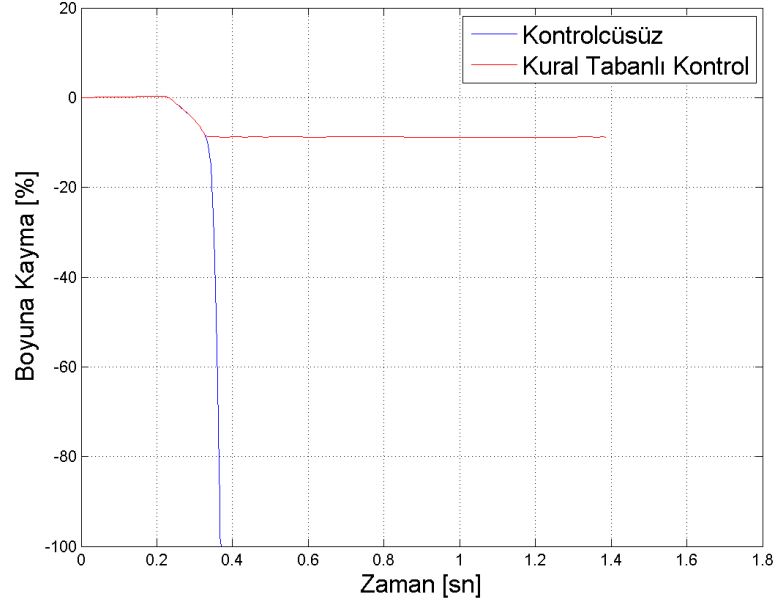
Şekil 4.17: ABS senaryo1 CarSim tekerlek yükleri.

Şekil 4.18’de söz konusu senaryo ve taşıt dinamiği ile kural tabanlı ve aç kapa kontrolcü sistemleri için taşıt yavaşlama eğrileri verilmiştir.



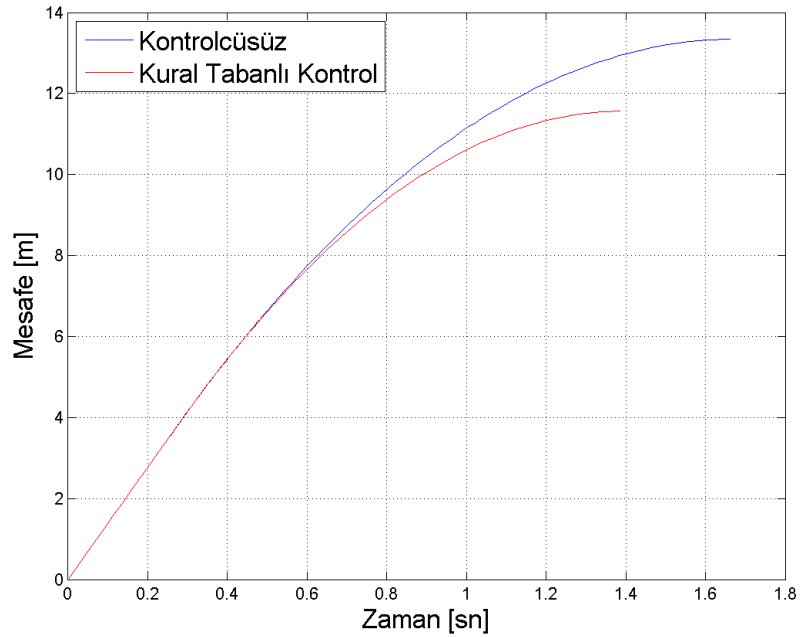
Şekil 4.18: ABS senaryo1 CarSim yavaşlama eğrisi.

Şekil 4.19’da kural tabanlı kontrol sistemi ve kayma kontrolü yapılmayan sistemlerin ön tekerlek kayma değerleri verilmiştir. Kontrolcülü sistem kayma değeri %9’a sabitlemiş, kontrol yapılmayan sistemde tekerlek kilitlenmiştir.



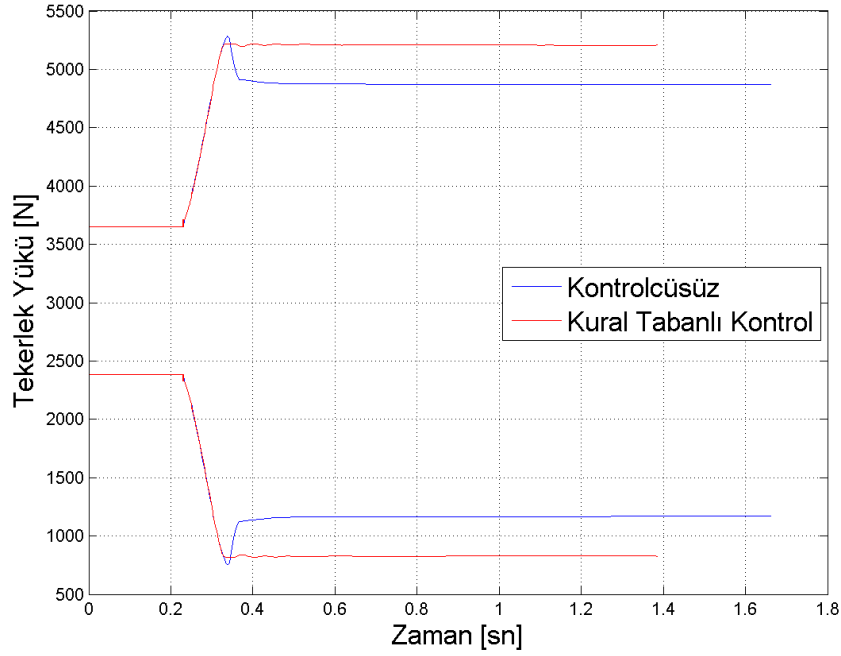
Şekil 4.19: ABS senaryo1 Kontrolcülü ve kontrolsüz sistem ön teker kayma değeri.

Şekil 4.20’de kontrolcülü ve kontrolcüsüz sistemler için durma mesafeleri verilmiş ve iki sistem arasında yaklaşık 2 metrelik fark oluşmuştur.

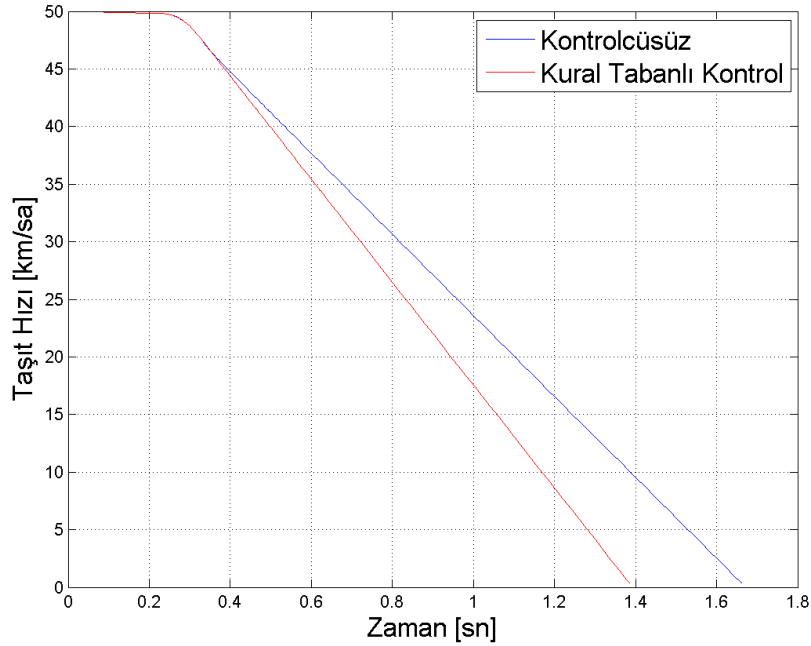


Şekil 4.20 : ABS senaryo1 Kontrolcülü ve kontrolsüz sistem durma mesafesi.

Şekil 4.21’de kontrolcülü ve kontrolcüsüz sistem tekerlek yükleri verilmiştir. Kontrolcüsüz sistemde ön arka yük transferi toplamda 700 N daha az olarak gerçekleşmiştir. Şekil 4.22’de ise söz konusu sistemlerin durma süreleri de 0.25 saniye farkla gerçekleşmiştir.



Şekil 4.21: ABS senaryo1 Kontrolcülü ve kontrolsüz sistem tekerlek yükleri.



Şekil 4.22 : ABS senaryo1 Kontrolcülü ve kontrolsüz sistem yavaşlama eğrileri.

4.2.2 Frenleme senaryosu 2

Kontrolcü sistemine uygulanan ikinci senaryo, ilk hızı 50 km/saat olan aracın, tekerlek sürtünme katsayısı 0.5 olan düz ve eğimsiz bir yoldaki ani frenleme senaryosudur. Ani frenlemede, sürücünün oluşturacağı fren basıncı, şekil 4.1’de tanımlanan karakteristiktedir. Kontrolcü sistemleri için referans kayma değerleri, aç kapa kontrolcü için %5, kural tabanlı kontrolcü için maksimum %5.5, minimum %4.5 olarak belirlenmiştir.

Şekil arasında Simulink’te modellenen taşıt dinamiği için kontrolcü sistemin sonuçları verilmiştir. Sonuçlardan, kural tabanlı kontrolcü sistemin pnömatik tekerlek kayma değerini, referans bant aralığında tuttuğu gözlemlenmektedir. Ayrıca, kural tabanlı kontrolcü ve hidrolik devre eyleyici sistemi, aç kapa kontrolcü ve birinci derece dinamik eyleyici sistemi ikilisine göre ilk harekete 0.05 saniye daha geç başlaması gözlemlenmektedir.

Kural tabanlı kontrolcü, söz konusu senaryo için ön tekerleklerdeki fren basıncını 3.6 MPa, arka tekerleklerdeki fren basıncını 2.05 MPa seviyesine sabitlemiştir. Yavaşlama esnasında ön arka ağırlık transferi 800 N, durma süresi ise 2.35 sn ile gerçekleşmiştir.

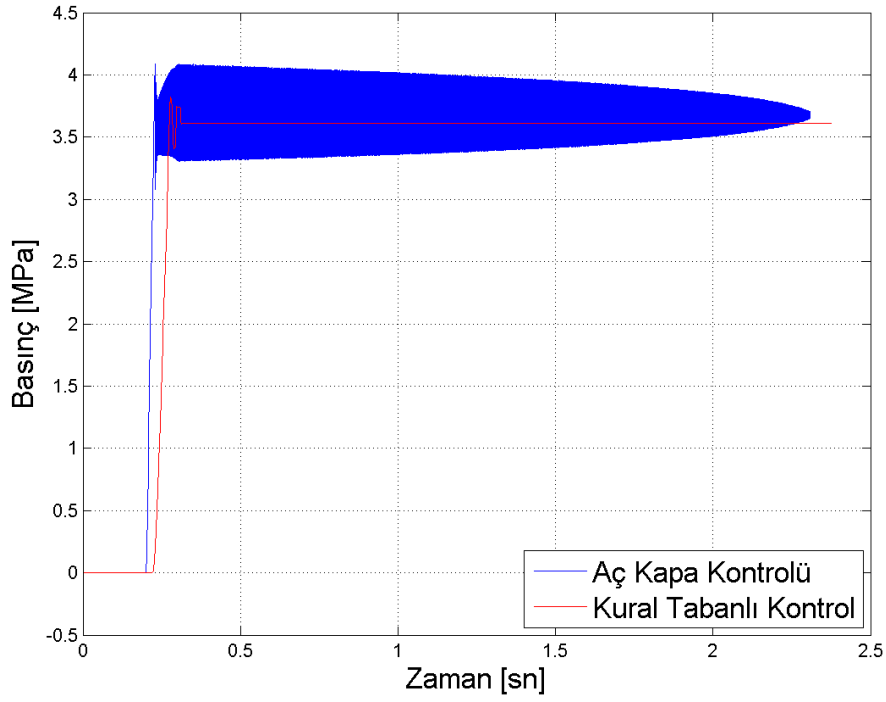
Sonuçlarda senaryonun CarSim taşıt dinamiği için kural tabanlı kontrolcü sistemin pnömatik tekerlek kayma değerini, referans bant aralığında tuttuğu gözlemlenmiştir. Hidrolik devre eyleyici sistemin ilk hareketindeki gecikme aynı şekilde gözlemlenmiş olup, kural tabanlı kontrolcü tarafından ön tekerleklerdeki basınç 3.3 MPa, arka tekerlerde 2.2 MPa seviyesine sabitlenmiştir. CarSim dinamiği için yük transferi 750 N, durma süresi ise 2.35 sn olarak gerçekleşmiştir.

Söz konusu şekillerde kayma değeri kontrol edilmeyen sistemin ön ve arka tekerlekleri kilitlenmiştir. Böylece araç, 0.65 sn ve 5 m daha geç durmuştur. Ayrıca ön arka yük transferi kural tabanlı kontrol sistemine göre 200 N daha az olmuştur.

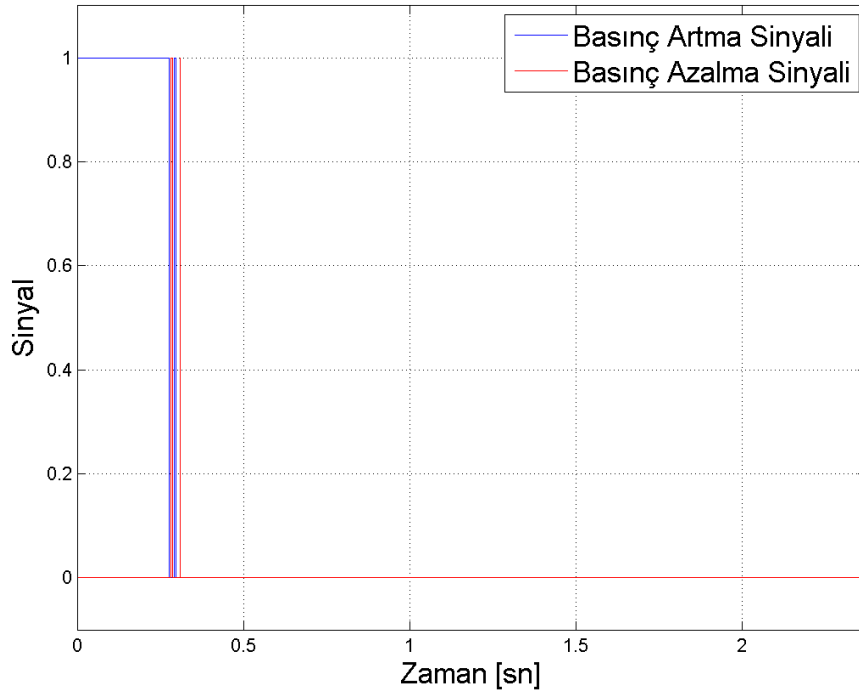
Buna göre MATLAB/Simulink ortamında modellenen taşıt dinamiğinin ikinci frenleme senaryosuna göre alınan boyuna taşıt dinamiği çıktıları aşağıdaki şekillerle verilmiştir.

Şekil 4.23’te kural tabanlı ve aç kapa kontrol sistemlerinin Simulink boyuna taşıt dinamiği sistemi için ön tekerlekte oluşturduğu basınç eğrileri verilmiş ve kural

tabanlı kontrolcü basıncı 3.6 MPa değerine sabitlemiştir. Şekil 4.24'te kural tabanlı kontrolcünün bu basıncın oluşması için ürettiği sinyal verilmiştir.

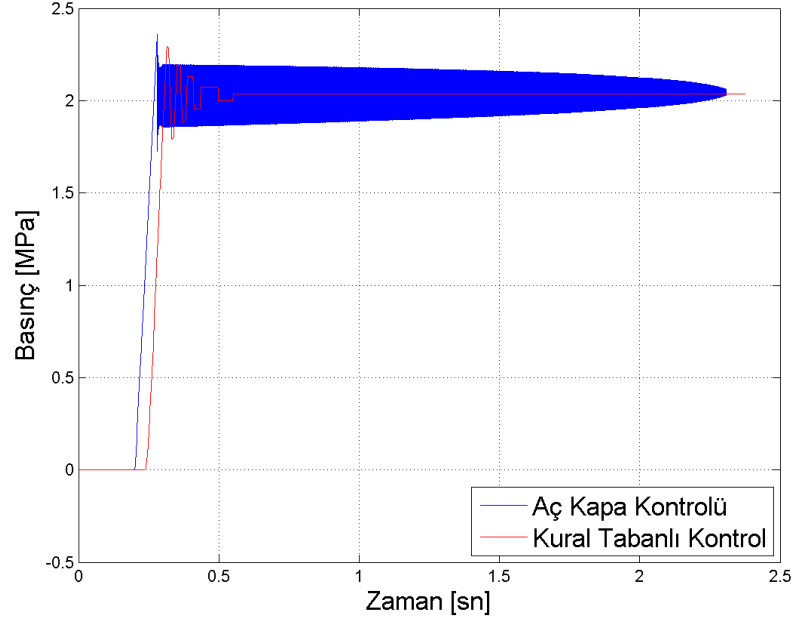


Şekil 4.23: ABS senaryo2 Simulink ön tekerlekte oluşan basınç.

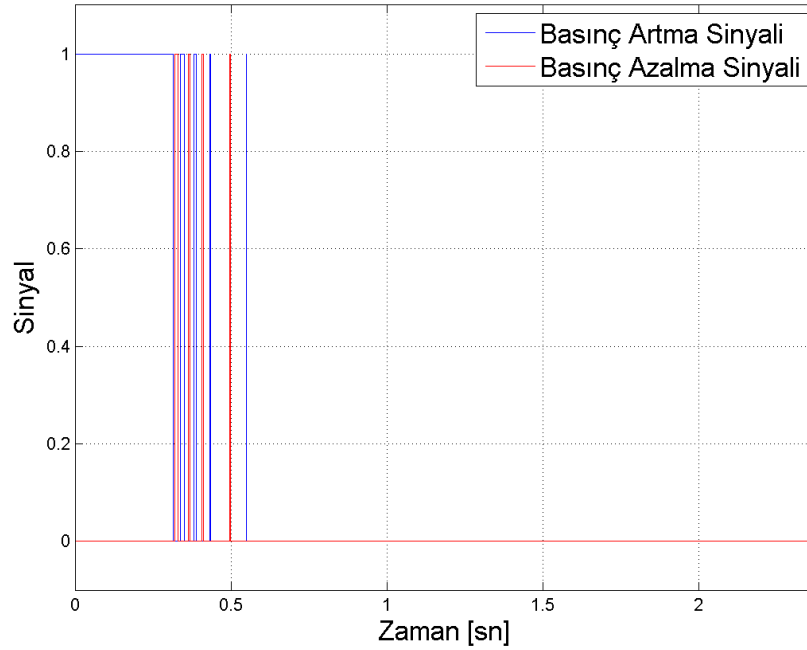


Şekil 4.24: ABS senaryo2 Simulink ön tekerlerdeki RBC basınç sinyalleri.

Şekil 4.25'te kural tabanlı ve aç kapa kontrol sistemlerinin Simulink boyuna taşıt dinamiği sistemi için arka tekerlekte oluşturduğu basınç eğrileri ve kural tabanlı kontrolcü basıncı 2.05 MPa değerine sabitlemiştir. Şekil 4.26'da kural tabanlı kontrolcünün bu basıncın oluşması için ürettiği sinyal verilmiştir.

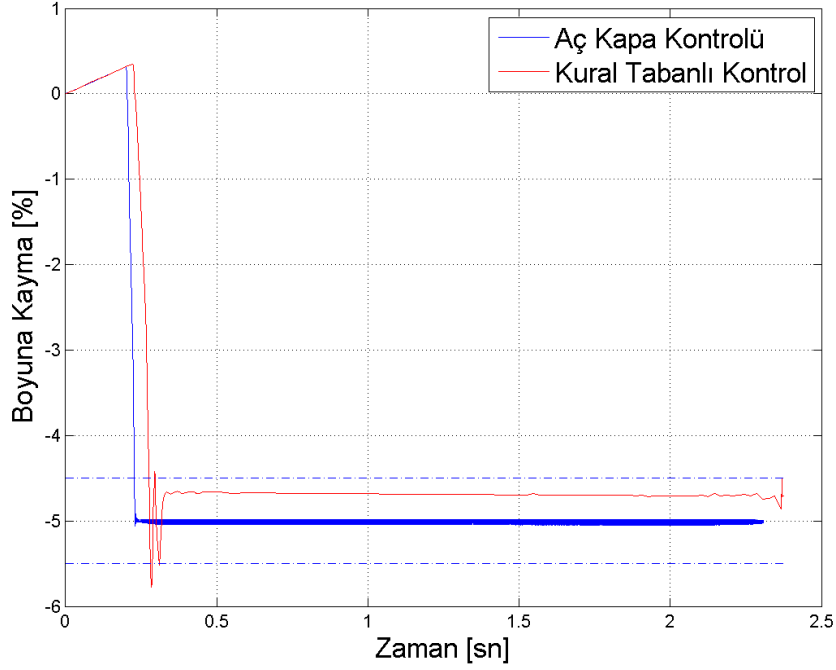


Şekil 4.25 : ABS senaryo2 Simulink arka tekerlekte oluşan basınç.

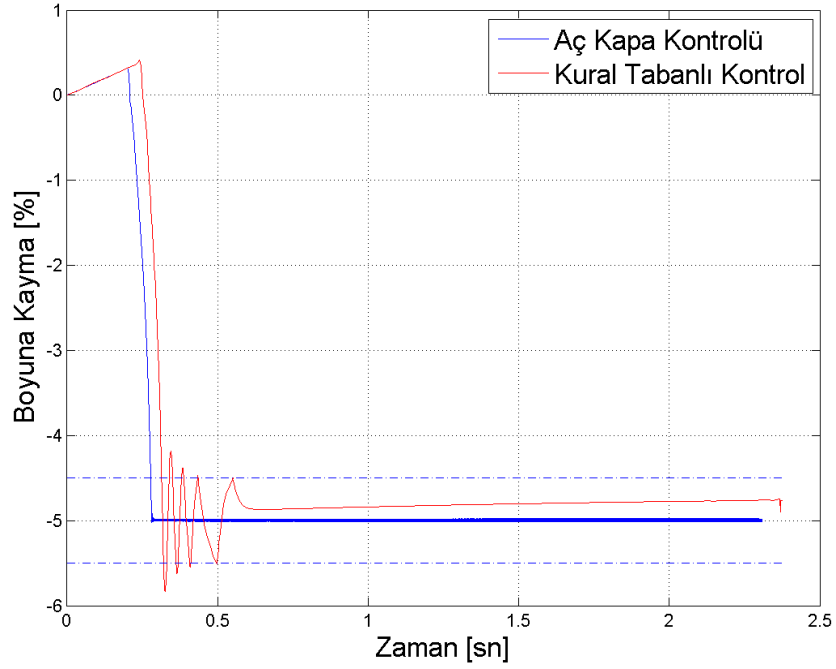


Şekil 4.26 : ABS senaryo2 Simulink arka tekerlerdeki RBC basınç sinyalleri.

Şekil 4.27 ve Şekil 4.28’de Simulink boyuna taşıt dinamiği sisteminin kural tabanlı ve aç kapa kontrol sistemleri ile söz konusu senaryo için ön ve arka tekerlek kayma değerleri verilmiştir.

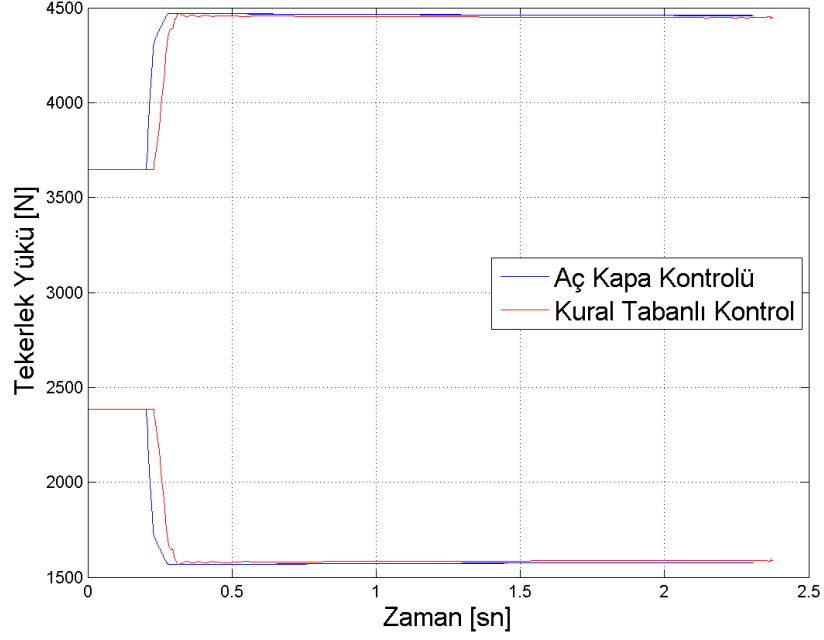


Şekil 4.27 : ABS senaryo2 Simulink ön tekerlerdeki kayma değeri.



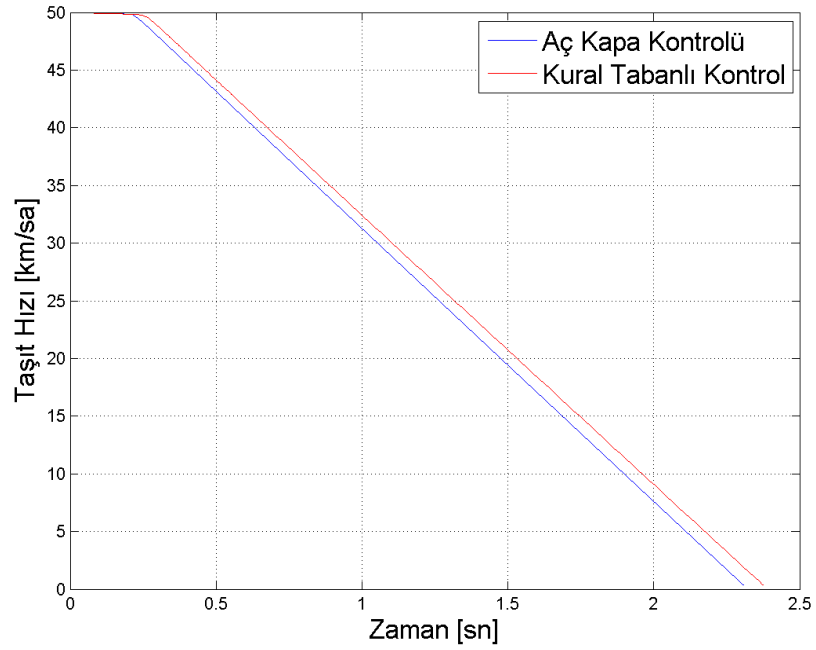
Şekil 4.28 : ABS senaryo2 Simulink arka tekerlerdeki kayma değeri.

Şekil 4.29’da ABS senaryo 2 için Simulink boyuna taşıt dinamiğinde kural tabanlı ve aç kapa kontrol sistemleri ile oluşan ön arka tekerlek yükleri verilmiştir. Frenleme esnasında toplam 1600 N’luk ön arka aks yük transferinin gerçekleştiği gözlenmiştir.



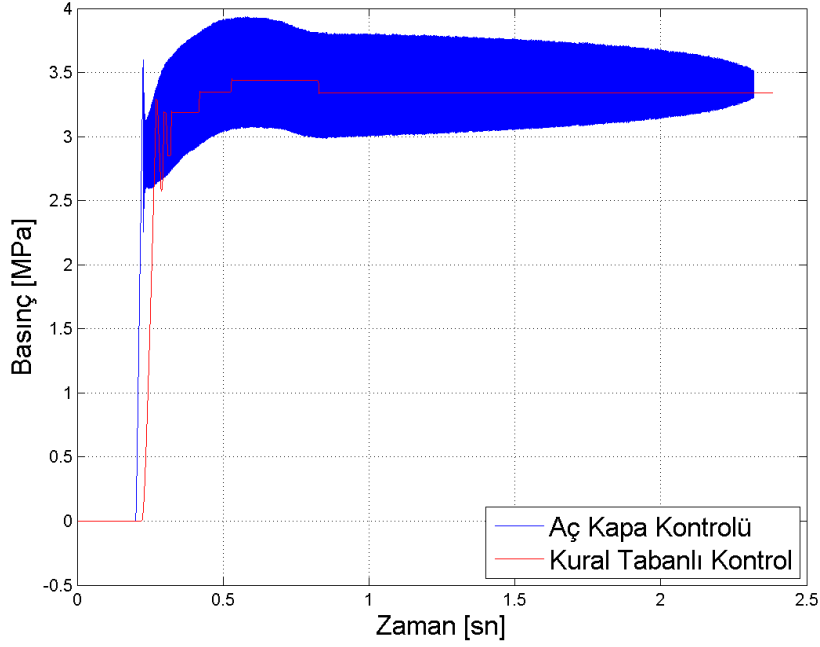
Şekil 4.29 : ABS senaryo2 Simulink tekerlek yükleri.

Şekil 4.30’da söz konusu senaryo ve taşıt dinamiği ile kural tabanlı ve aç kapa kontrolcü sistemleri için taşıt yavaşlama eğrileri verilmiştir.

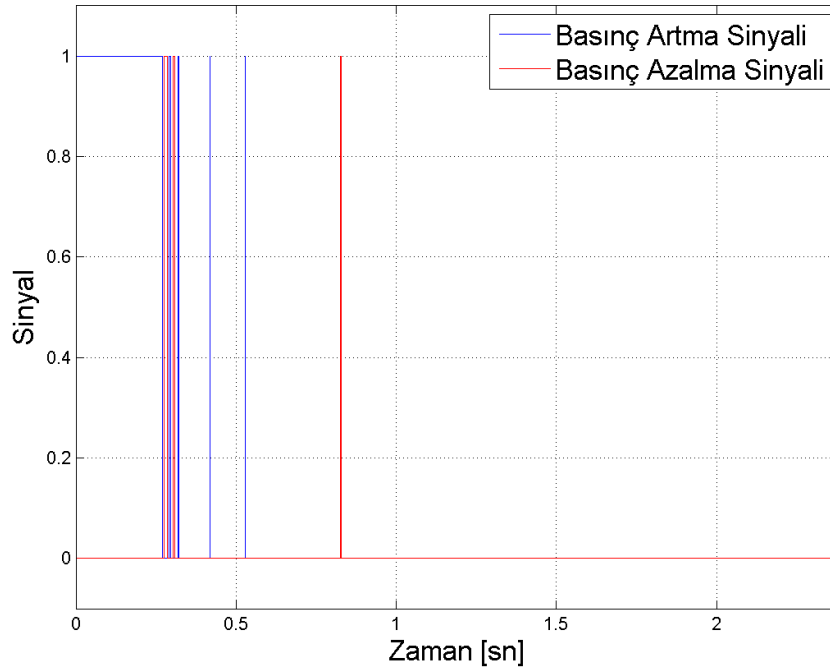


Şekil 4.30 : ABS senaryo2 Simulink yavaşlama eğrisi.

Şekil 4.31’de kural tabanlı ve aç kapa kontrol sistemlerinin CarSim boyuna taşıt dinamiği sistemi için ön tekerlekte oluşturduğu basınç eğrileri ve Şekil 4.32’de kural tabanlı kontrolcünün bu basıncın oluşması için ürettiği sinyal verilmiştir.

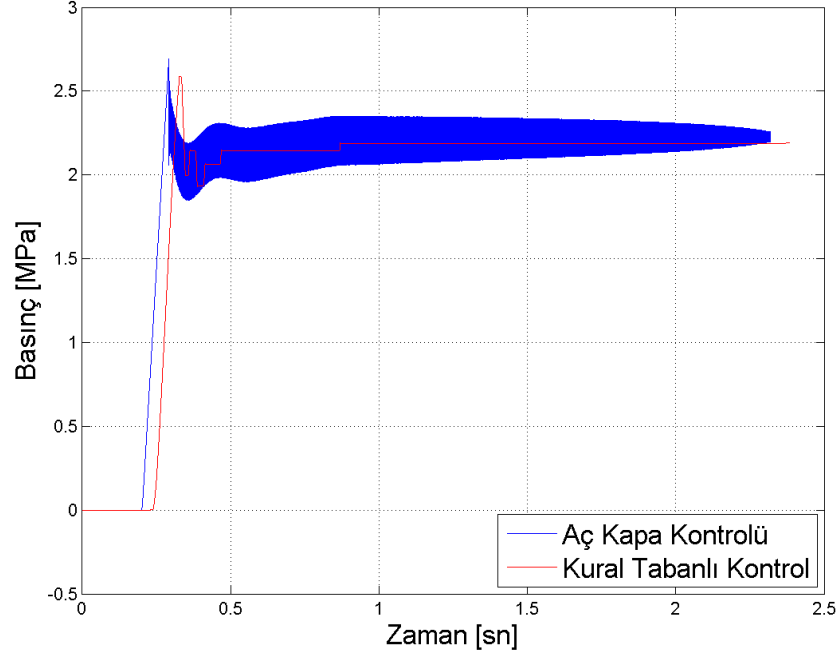


Şekil 4.31 : ABS senaryo2 CarSim ön tekerlekte oluşan basınç.

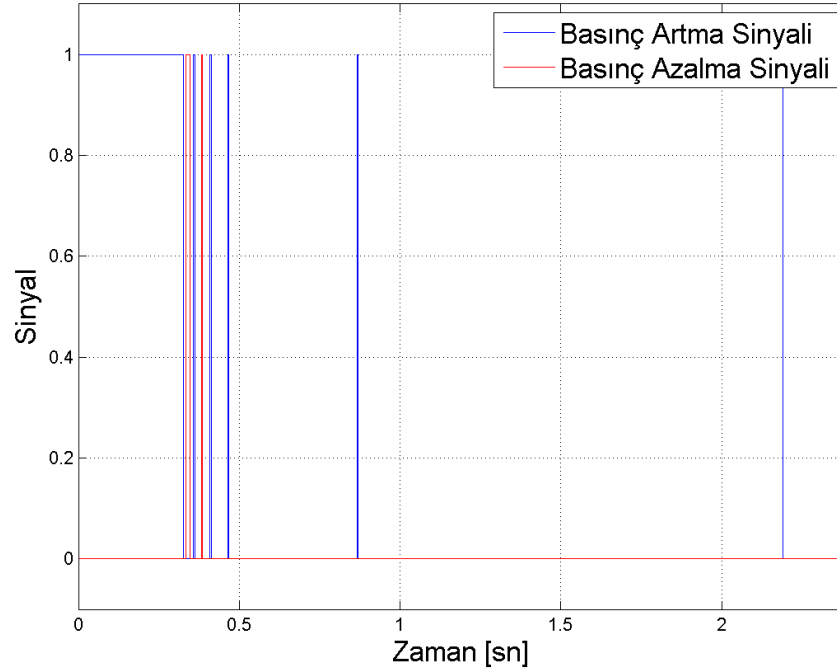


Şekil 4.32 : ABS senaryo2 CarSim ön tekerlerdeki RBC basınç sinyalleri.

Şekil 4.33'te kural tabanlı ve aç kapa kontrol sistemlerinin CarSim boyuna taşıt dinamiği sistemi için arka tekerlekte oluşturduğu basınç eğrileri ve Şekil 4.34'te kural tabanlı kontrolcünün bu basıncın oluşması için ürettiği sinyal verilmiştir.

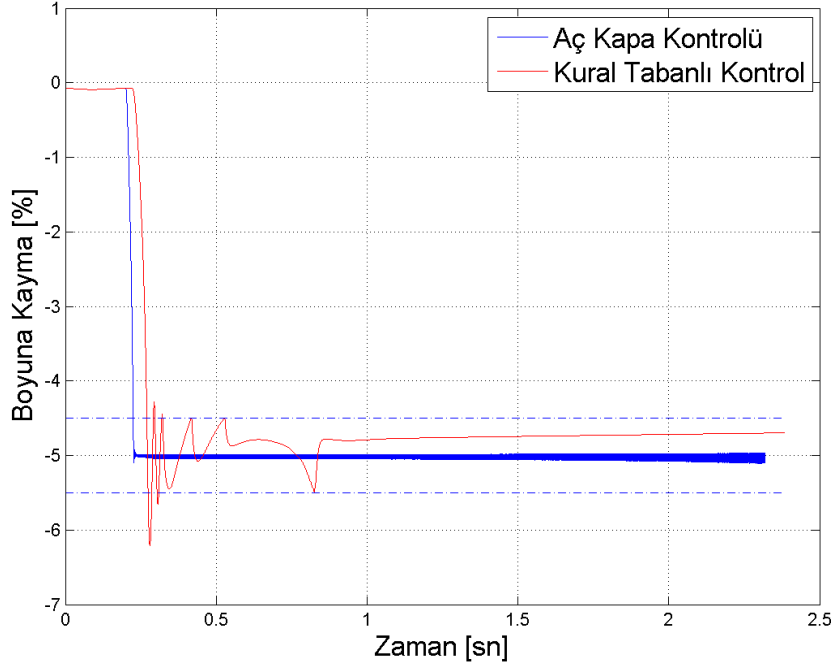


Şekil 4.33 : ABS senaryo2 CarSim arka tekerlekte oluşan basınç.

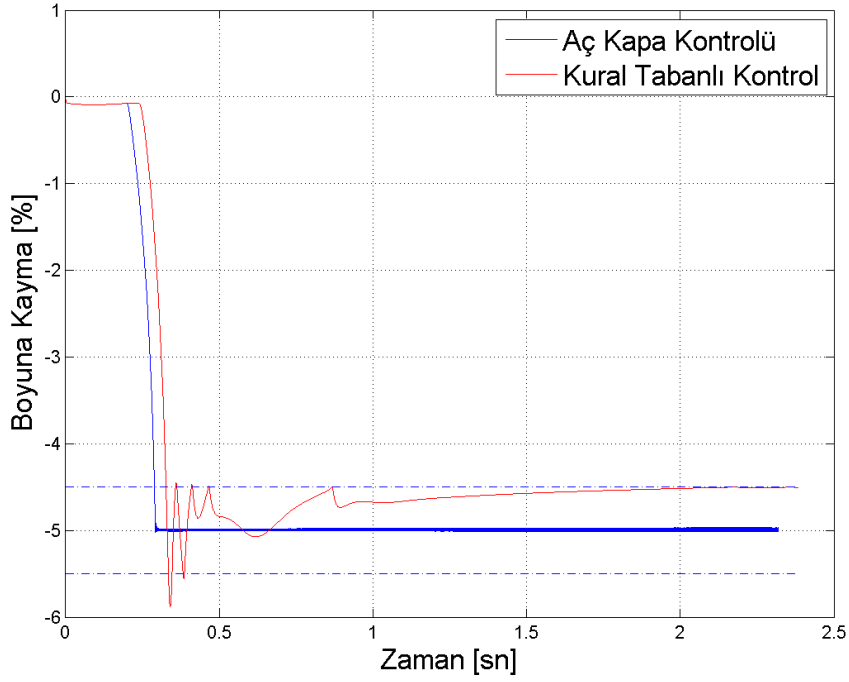


Şekil 4.34: ABS senaryo2 CarSim arka tekerlerdeki RBC basınç sinyalleri.

Şekil 4.35 ve Şekil 4.36’da CarSim taşıt dinamiği sisteminin kural tabanlı ve aç kapa kontrol sistemleri ile söz konusu senaryo için ön ve arka tekerlek kayma değerleri verilmiştir.

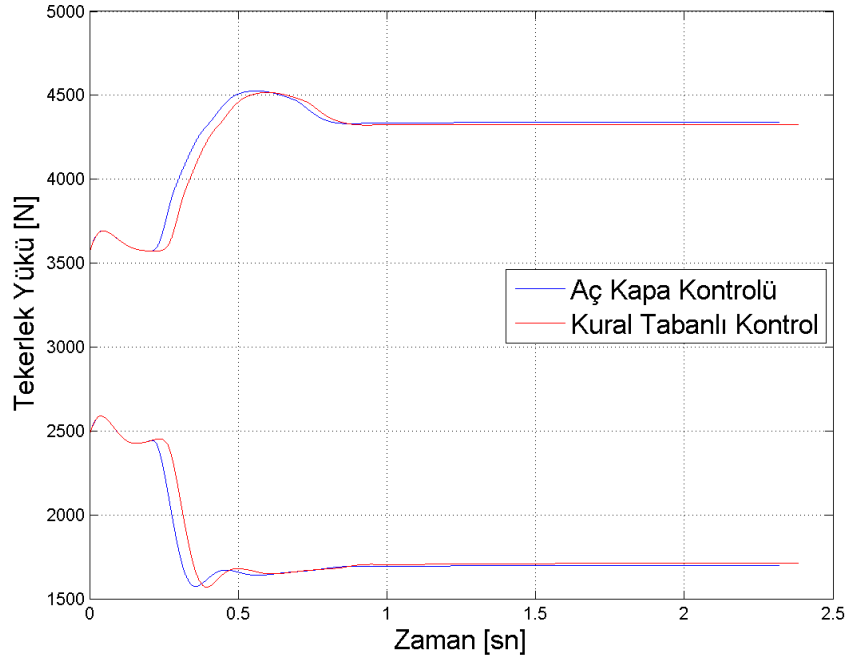


Şekil 4.35 : ABS senaryo2 CarSim ön tekerlerdeki kayma değeri.



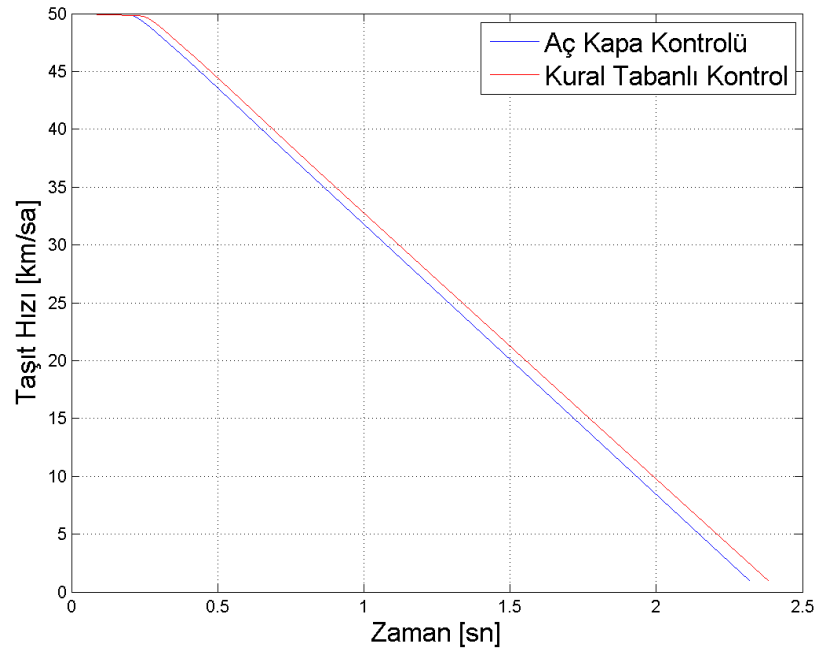
Şekil 4.36 : ABS senaryo2 CarSim arka tekerlerdeki kayma değeri.

Şekil 4.37’de ABS senaryo 2 için CarSim boyuna taşıt dinamiğinde kural tabanlı ve aç kapa kontrol sistemleri ile oluşan ön arka tekerlek yükleri verilmiştir.



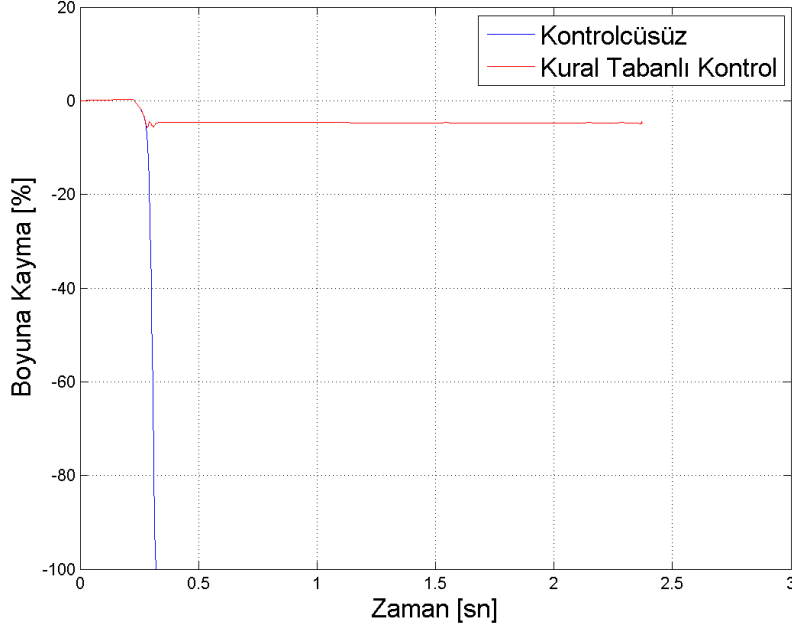
Şekil 4.37 : ABS senaryo2 CarSim tekerlek yükleri.

Şekil 4.38’de söz konusu senaryo ve taşıt dinamiği ile kural tabanlı ve aç kapa kontrolcü sistemleri için taşıt yavaşlama eğrileri verilmiştir.



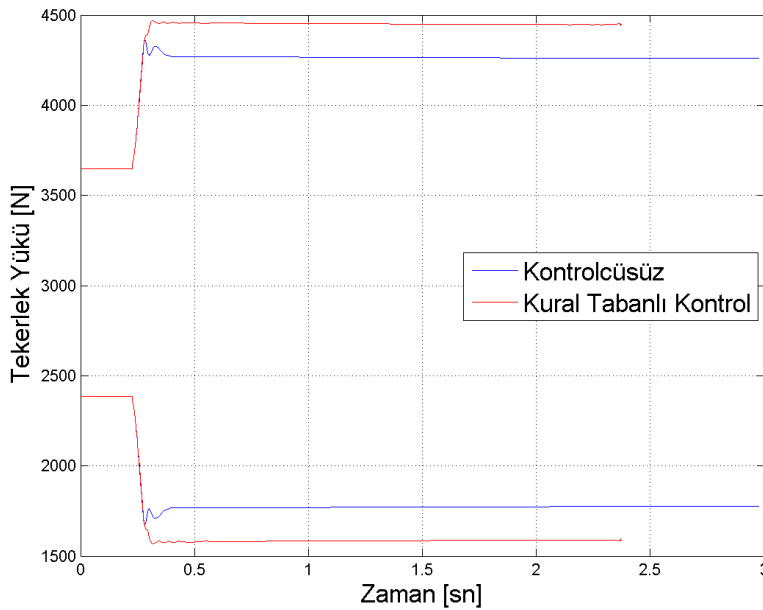
Şekil 4.38 : ABS senaryo2 CarSim yavaşlama eğrisi.

Şekil 4.39’da kural tabanlı kontrol sistemi ve kayma kontrolü yapılmayan sistemlerin ön tekerlek kayma değerleri verilmiştir. Kontrolcülü sistem kayma değeri %5’e sabitlemiş, kontrol yapılmayan sistemde tekerlek kilitlenmiştir.



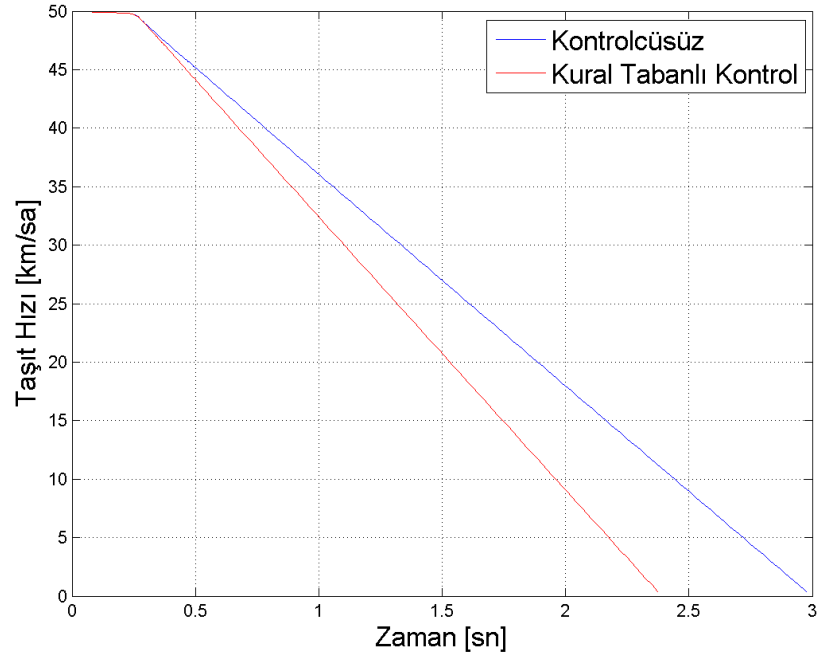
Şekil 4.39 : ABS senaryo2 Kontrolcülü ve kontrolsüz sistem ön teker kayma değeri.

Şekil 4.40’ta kontrolcülü ve kontrolcüsüz sistem tekerlek yükleri verilmiştir. Kontrolcüsüz sistemde ön arka yük transferi toplamda 500 N daha az olarak gerçekleşmiştir.



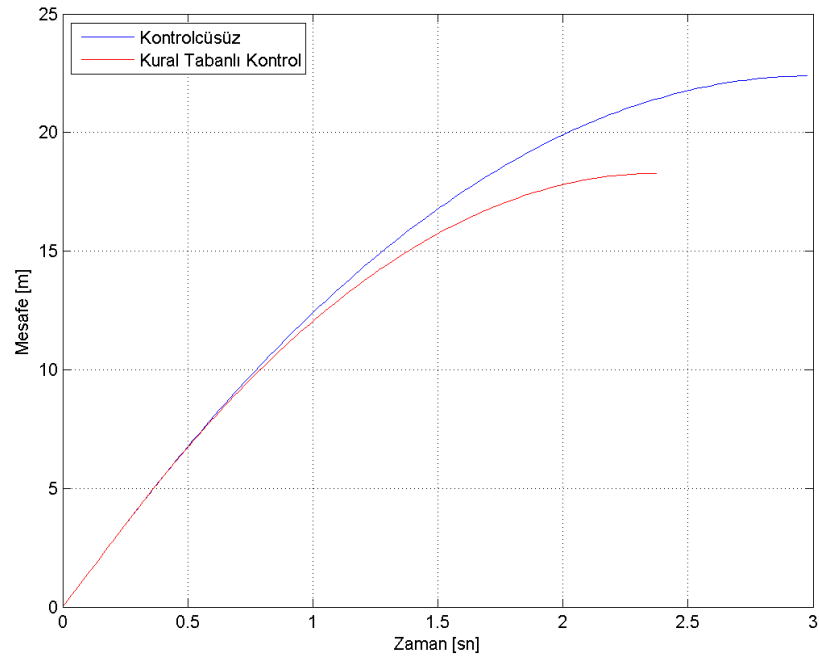
Şekil 4.40 : ABS senaryo2 Kontrolcülü ve kontrolsüz sistem tekerlek yükleri.

Şekil 4.41’de ise söz konusu sistemlerin durma süreleri de 0.6 saniye farkla gerçekleşmiştir.



Şekil 4.41: ABS senaryo2 Kontrolcülü ve kontrolsüz sistem yavaşlama eğrileri.

Şekil 4.42’de kontrolcülü ve kontrolcüsüz sistemler için durma mesafeleri verilmiş ve iki sistem arasında 5 metrelik fark oluşmuştur.



Şekil 4.42 : ABS senaryo2 Kontrolcülü ve kontrolsüz sistem durma mesafesi.

5. ÇEKİŞ KONTROL SİSTEMİ

Çekiş kontrol sisteminin gereksinimlerini belirlemek ve bu gereksinimleri karşılayacak bir kural tabanlı kontrolcü sistemini oluşturmaktır. Sonrasında söz konusu kontrolcü sistemi, taşıt ani hızlanma senaryoları için CarSim ve Simulink'te hazırlanan boyuna taşıt dinamiği sistemleri için hidrolik devre eyleyici fren sistemi ile koşturmaktır.

5.1 Çekiş Kontrol Sisteminin Modellenmesi

Çekiş kontrol sistemleri (TCS) taşıtın boyuna dinamiğinin iyileştirilmesi amacı ile kullanılmaktadır. Sistemin amacı, taşıtın ani hızlanma veya seri kalkış gibi yüksek pozitif ivmenin istendiği koşullarda tekerleklerden alınabilecek çekiş kuvvetini en yüksek seviyeye çıkarmaktır. Böylece motordan alınan çekiş kuvvetinden daha fazla yararlanılarak daha seri hızlanma sağlanmaktadır.

Söz konusu sistemlerde de kontrolü yapılan değişken ABS control sistemlerinde olduğu gibi pnömatik tekerleklerde oluşan boyuna relatif kayma değeridir. Tek fark ABS control sistemlerinde her tekerlekteki kayma değeri control ediliyorken bu sistemlerde yalnız tahrik edilen tekerlerin boyuna relatif kayma değerlerinin kontrolü yapılır.

ABS sistemleri için kullanılan boyuna relatif kayma değeri frenleme durumu için $[0, -1]$ kapalı aralığında değer alıyorken hızlanma durumu için $[0, \infty)$ aralığında değer almaktadır. Kontrolü yapılacak söz konusu değişken hem simetrik değer aralığı olmadığından hem de pnömatik tekerden alınacak kuvvet değerinin daha anlamlı olması bakımından hızlanma durumu için aşağıdaki şekilde tanımlanır [15].

$$s = \frac{\omega_w R_{eff} - v_x}{\omega_w R_{eff}} \quad (5.1)$$

Yukarıdaki kayma bağıntısı ile hızlanma esnasında limit durum taşıtın üzerinde hız yokken tekerleklerin dairesel hızının olması durumudur ki kayma değeri

1'e yakınsar. Yani frenleme esnasında kayma değeri $[0,1]$ kapalı aralığında elde edilir.

Çekiş kontrolcü sistemin gereksinimlerini karşılamak için kural tabanlı kontrolcü, her tekerlek için referans alınan kayma değerleri ile üç durumda fren basıncını yönlendirmektedir.

TCS kontrolcüsünün yaptığı kayma kontrolü ise Çizelge 5.1' de verilmiştir.

Çizelge 5.1: Kural tabanlı TCS kontrolcüsü durum çizelgesi.

Kayma	Durum
$0 \leq s < s_{min}$	Basınç azalması
$s_{min} < s < s_{max}$	Basınç sabitlenmesi
$s_{max} < s \leq 1$	Basınç artması

ABS kontrolcüsünde olduğu gibi solenoid valfler için üretilecek sinyal bilgisine, kayma değerinin yukarıdaki üç durum için mantıksal karşılaştırma işlevleri ile üreteceği sonuçtan ulaşılır.

Ayrıca kural tabanlı boyuna taşıt dinamiği için önemli olan parametreler şekillerle paylaşılacaktır. Kural tabanlı kontrolcü ve hidrolik elemanlarla modellenen eyleyici sistem aç kappa kontrolcü ve birinci dereceden dinamik sistem olarak modellenen control yapısı ile karşılaştırılmaktadır.

Bunun yanında kontrolcünün devreden çıkarılması ile oluşan sistem de aynı ani hızlanma senaryoları için kontrolcünün devrede olduğu durumla karşılaştırılmıştır.

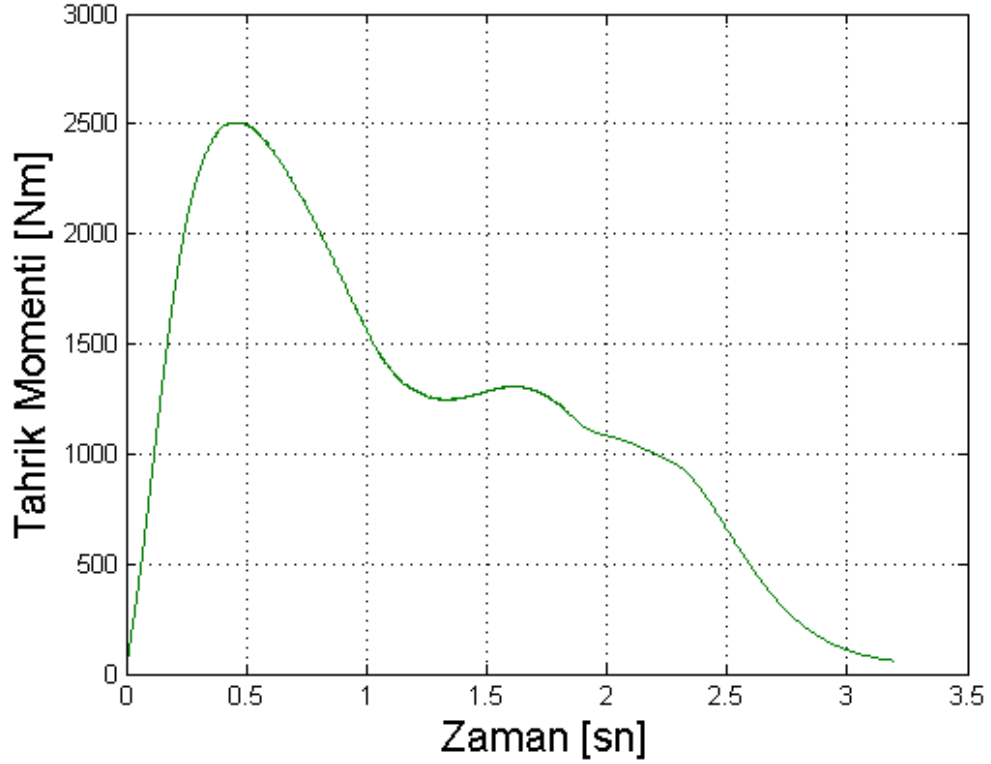
5.2 Çekiş Kontrol Sisteminin Performansı

Kural tabanlı TCS kontrolcüsü için oluşturulacak senaryo CarSim ve Simulink ortamlarında gerçekleştirilmiştir. Senaryo, ilk hızsız taşıtın sürtünme katsayısı her yerde sabit olan düz ve eğimsiz bir yoldaki ani hızlanma durumunu incelemektedir. Buna göre senaryolarda ilk hızı olmayan taşıta tekerlere büyük tahrik momentleri verilerek kayma kontrolü yapılmaya çalışılır.

5.2.1 Hızlanma senaryosu 1

Kontrolcü sistemine uygulanan senaryonun yol tekerlek statik sürtünme katsayısı 1'dir. Ani hızlanma senaryosunda tekerlekteki momentin eğrisi, CarSim

yazılımındaki 126 kW bir motorun birinci viteste gaz pedalının 0.1 saniyede tam basılı olması durumunda tahrik alan tekerleklerde oluşuracağı moment alınmıştır.



Şekil 5.1: TCS senaryo1 tahrik edilen tekerlerdeki motor torku.

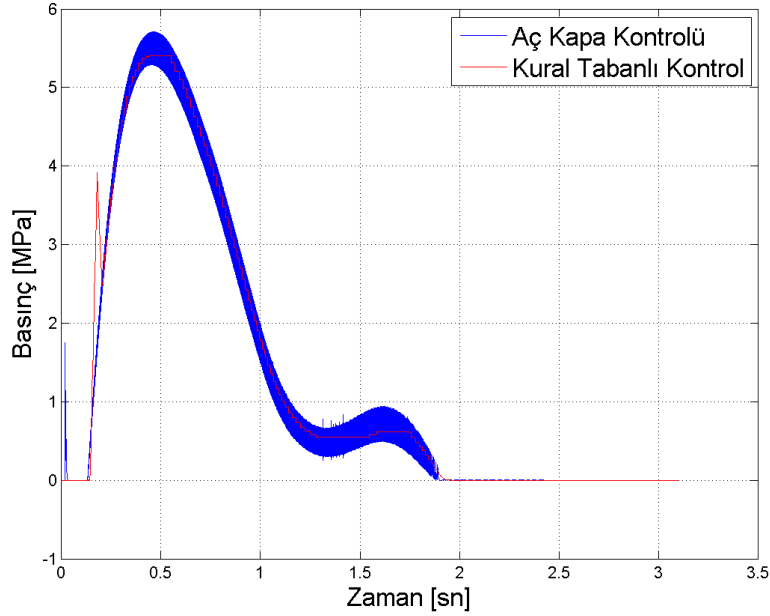
Senaryoda referans kayma değeri %9 olup kural tabanlı kontrol sistemindeki kayma toleransı %0.5'tir. Buna göre Simulink ortamında oluşturulan taşıt dinamiği için sonuçlarında, kural tabanlı kontrolcü sisteminin her iki dinamik sistemde tekerlek kayma değerlerini istenen tolerans aralığında tuttuğu gözlenmiştir.

Ancak uygulanan eş tork değerleri için 3.2 saniyede Simulink taşıt sistemi 52 km/saat hıza çıkarken CarSim taşıt sistemi 50 km/saat hıza ulaşmıştır.

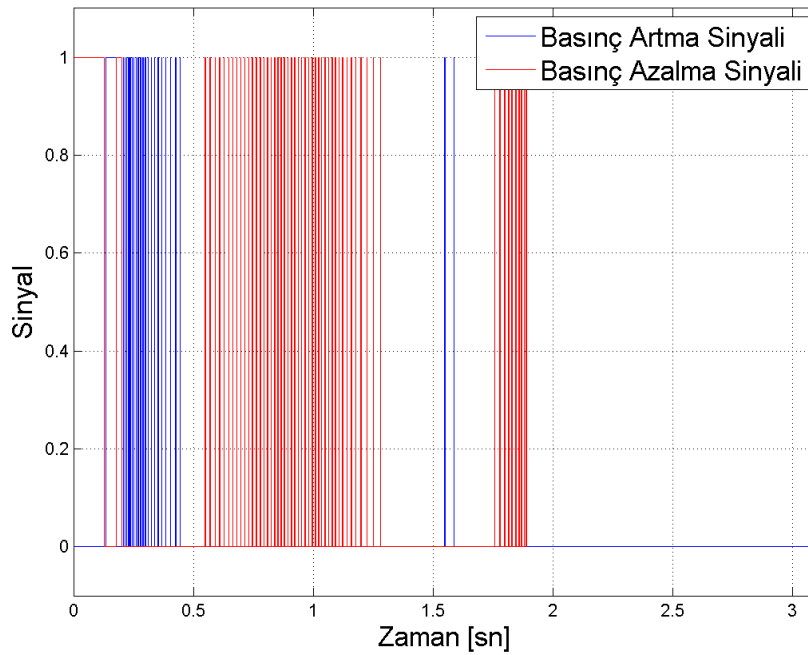
Aşağıdaki şekillerde kural tabanlı çekiş kontrol sisteminin taşıtın ani hızlanma senaryosu için referans kayma değerlerine göre çekiş kuvvetini tekerleklere fren müdahalesi ile yükselttiği görülmektedir.

Hızlanmada önemli parametreler olan tekerlekteki kayma değeri ve kontrolcünün bu değeri sağlamak için oluşturduğu basınç yükseltme ve azaltma sinyalleri görülmektedir.

Şekil 5.2’de kural tabanlı ve aç kapa kontrol sistemlerinin Simulink boyuna taşıt dinamiği sistemi için hızlanma senaryosu 1’de ön tekerlekte oluşturduğu basınç eğrileri verilmiş. Şekil 5.3’te kural tabanlı kontrolcünün bu basıncın oluşması için ürettiği sinyal verilmiştir.

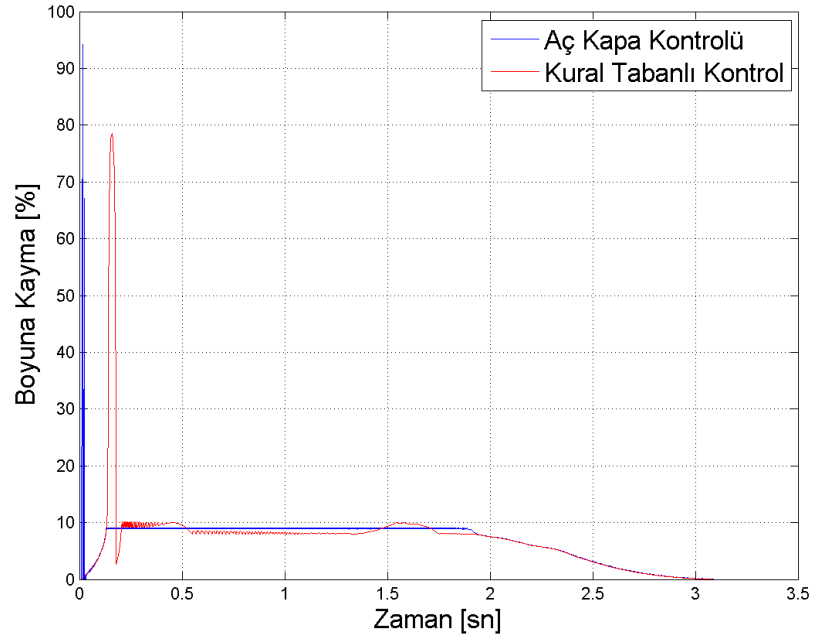


Şekil 5.2 : TCS senaryo1 Simulink ön tekerlekte oluşan basınç.



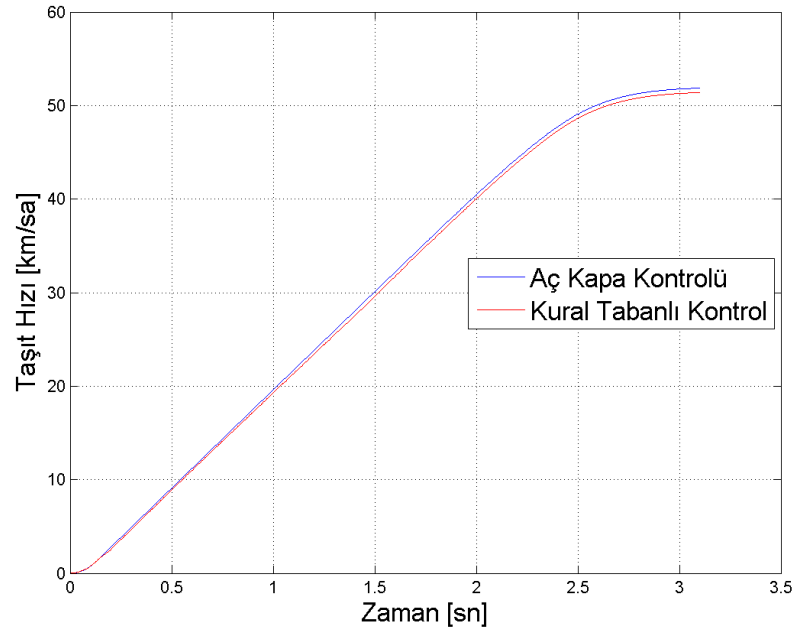
Şekil 5.3 : TCS senaryo1 Simulink taşıt dinamiği RBC basınç sinyalleri.

Şekil 5.4'te TCS senaryo 1 için kural tabanlı ve aç kapa kontrolcü sistemlerinin Simulink boyuna taşıt sisteminde oluşturdukları kayma değerleri verilmiştir.



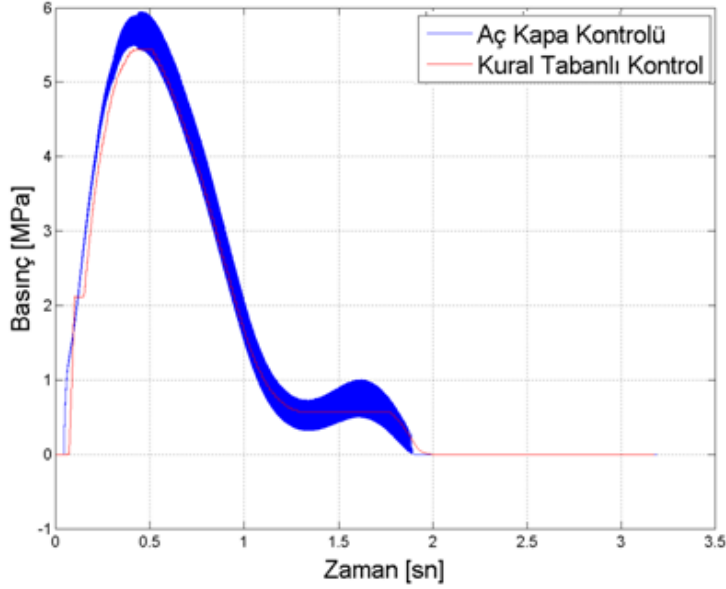
Şekil 5.4 : TCS senaryo1 Simulink ön tekerleklerdeki kayma değeri.

Şekil 5.5'te söz konusu senaryo ve sistem için taşıt hızlanma grafiği verilmiştir.

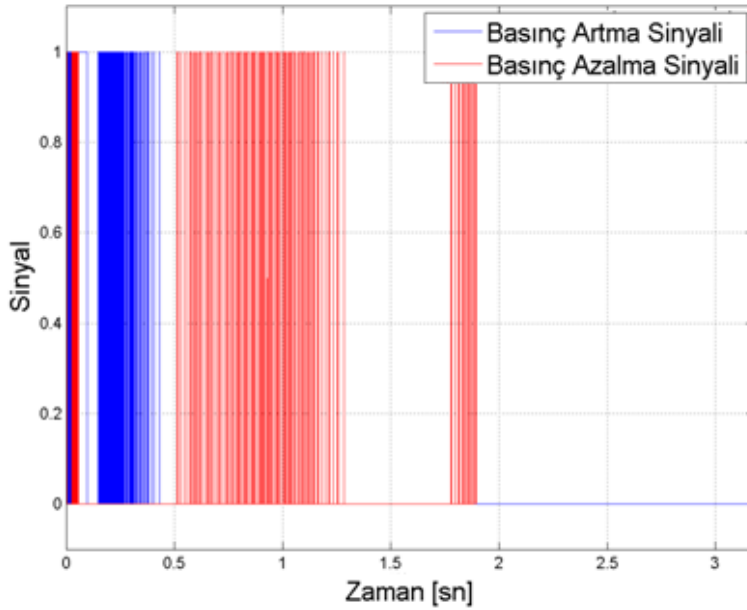


Şekil 5.5 : TCS senaryo1 Simulink taşıt hızlanma grafiği.

Şekil 5.6’da kural tabanlı ve aç kapa kontrol sistemlerinin Simulink boyuna taşıt dinamiği sistemi için hızlanma senaryosu 1’de ön tekerlekte oluşturduğu basınç eğrileri verilmiş. Şekil 5.7’de kural tabanlı kontrolcünün bu basıncın oluşması için ürettiği sinyal verilmiştir.

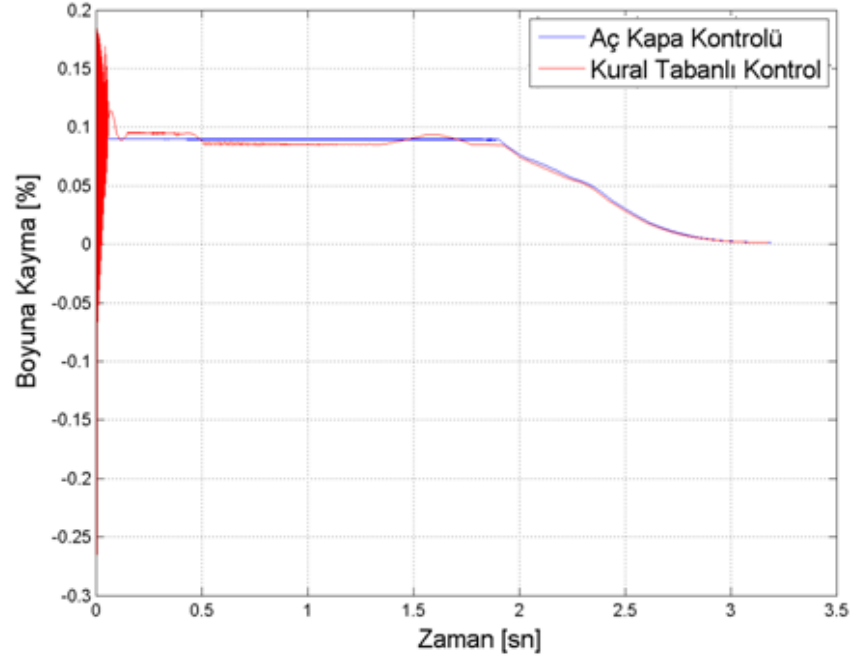


Şekil 5.6 : TCS senaryo1 CarSim ön tekerlekte oluşan basınç.



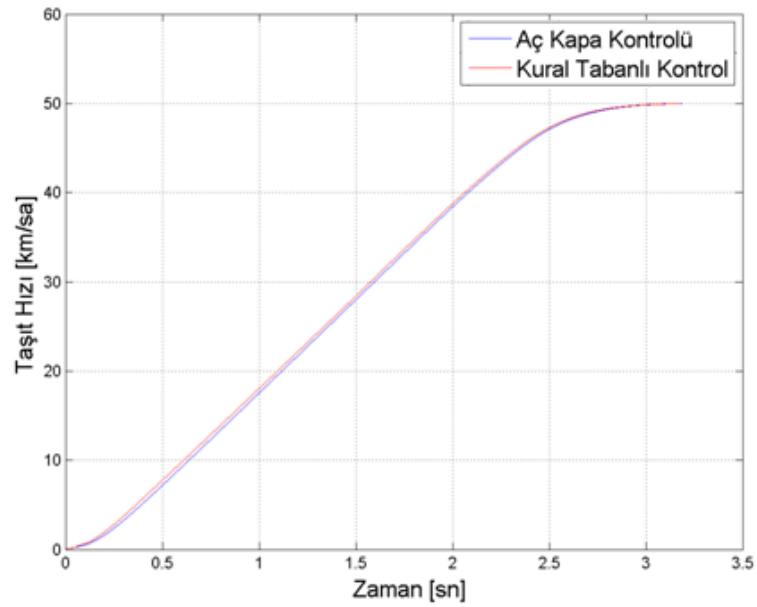
Şekil 5.7 : TCS senaryo1 CarSim RBC basınç sinyalleri.

Şekil 5.8’de TCS senaryo 1 için kural tabanlı ve aç kapa kontrolcü sistemlerinin CarSim boyuna taşıt sisteminde oluşturdıkları kayma değerleri verilmiştir.



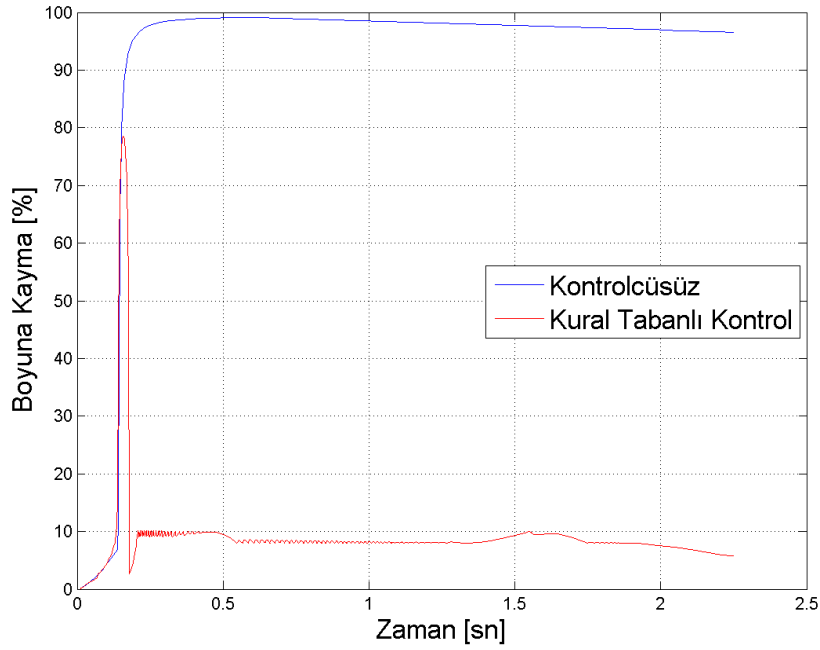
Şekil 5.8 : TCS senaryo1 CarSim ön tekerlek kayma değerleri.

Şekil 5.9’da söz konusu senaryo ve sistem için taşıt hızlanma grafiği verilmiştir.



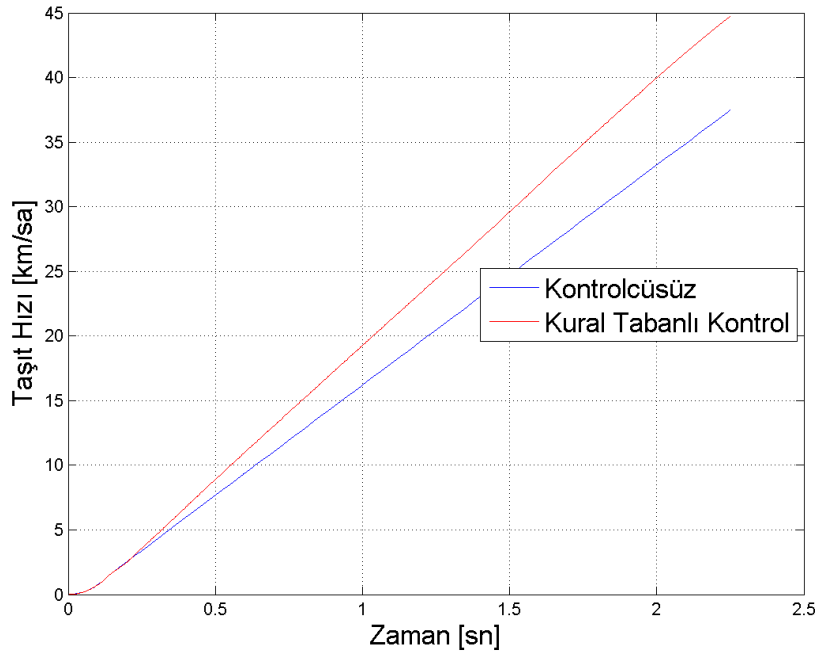
Şekil 5.9: TCS senaryo1 CarSim hızlanma grafiği.

Şekil 5.10’da TCS senaryo 1 için kural tabanlı kontrolcü ve kontrolcüsüz sistem tekerlek kayma değerleri verilmiştir.



Şekil 5.10 : TCS senaryo1 kontrolcülü ve kontrolsüz sistem ön teker kayma değeri.

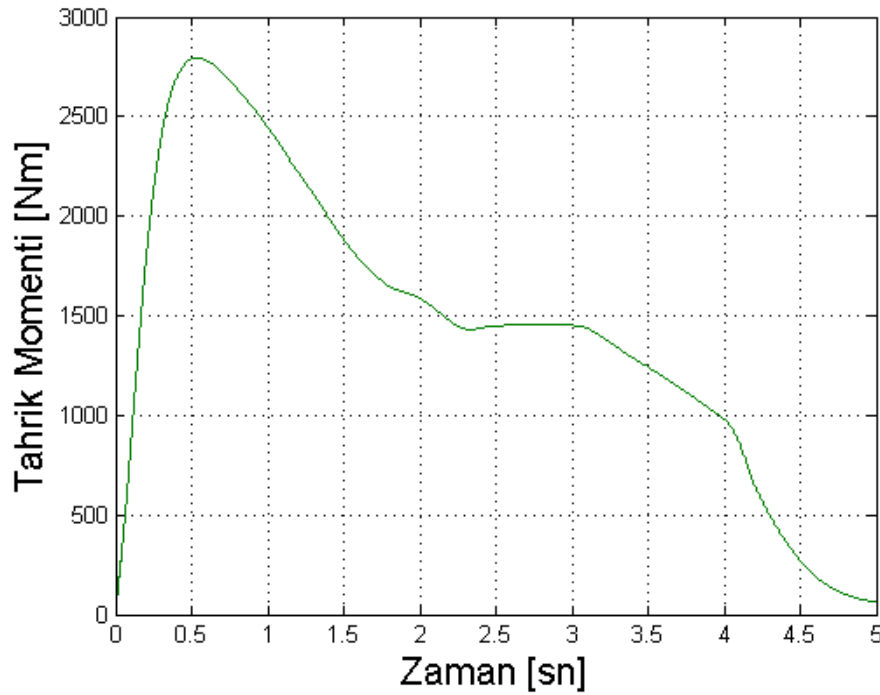
Şekil 5.11’de söz konusu sistem ve senaryo için taşıt hızlanma karakteristikleri verilmiştir. Şekilde 2.25 sn sonunda iki sistem arasındaki hız farkı 8 km/saat’e çıkmıştır.



Şekil 5.11 : TCS senaryo1 kontrolcülü ve kontrolsüz sistem hızlanma grafiği.

5.2.2 Hızlanma senaryosu 2

Kontrolcü sistemine uygulanan senaryonun yol tekerlek statik sürtünme katsayısı 0.5'tir. Ani hızlanma senaryosunda tekerlekteki momentin eğrisi, CarSim yazılımındaki 126 kW bir motorun birinci viteste gaz pedalının 0.1 saniyede tam basılı olması durumunda çekişi alan tekerleklerde oluşturacağı moment alınmıştır.



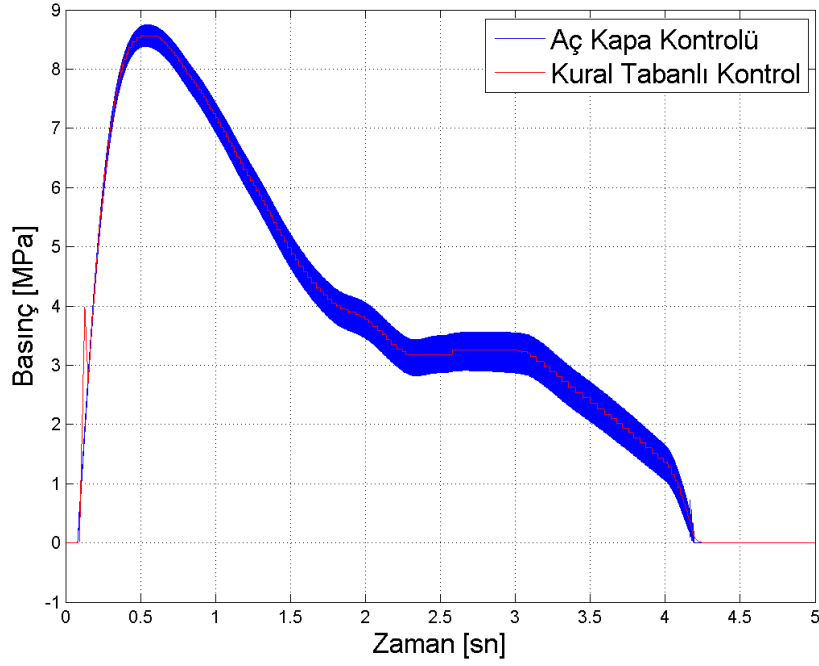
Şekil 5.12 : TCS senaryo2 tahrik edilen tekerlerdeki motor torku.

Senaryoda referans kayma değeri %5 olup kural tabanlı kontrol sistemindeki kayma toleransı %0.5'tir. Buna göre Simulink ortamında oluşturulan taşıt dinamiği için sonuçlar Şekil arasında, CarSim taşıt dinamiğinin kullanıldığı kontrol sistemlerinin çıktıları ise Şekil 5.7-5.11 arasında verilmiştir.

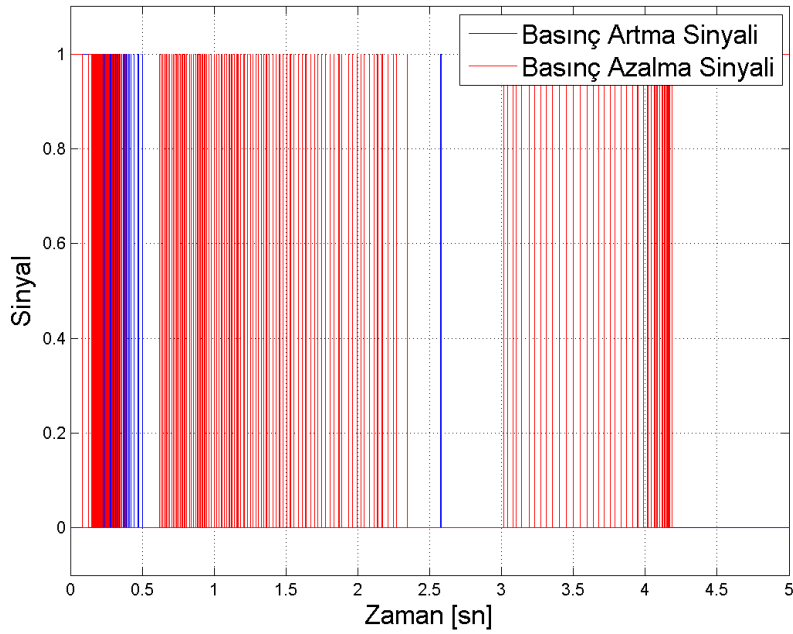
Söz konusu çekiş senaryo sonuçlarında, kural tabanlı kontrolcü sisteminin her iki dinamik sistemde tekerlek kayma değerlerini istenen tolerans aralığında tuttuğu gözlenmiştir. Ancak uygulanan eş tork değerleri için 5 saniyede Simulink taşıt sistemi 52 km/saat hıza çıkarken CarSim taşıt sistemi 50 km/h hıza ulaşmıştır.

Hızlanmada önemli parametreler olan tekerlekteki kayma değeri ve kontrolcünün bu değeri sağlamak için oluşturduğu basınç yükseltme ve azaltma sinyalleri görülmektedir.

Şekil 5.13’de kural tabanlı ve aç kapa kontrol sistemlerinin Simulink boyuna taşıt dinamiği sistemi için hızlanma senaryosu 2’de ön tekerlekte oluşturduğu basınç eğrileri verilmiş. Şekil 5.14’te kural tabanlı kontrolcünün bu basıncın oluşması için ürettiği sinyal verilmiştir.

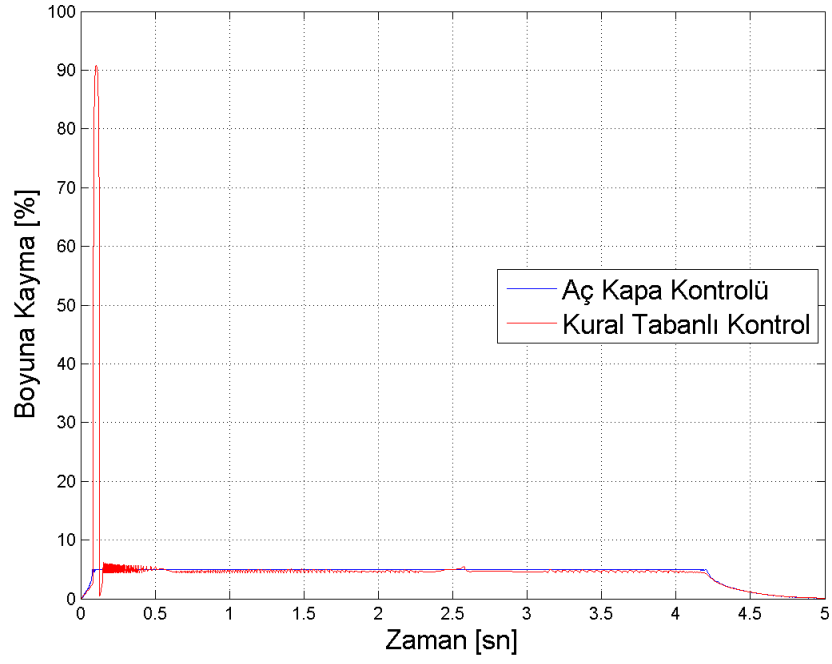


Şekil 5.13 : TCS senaryo2 Simulink ön tekerlekte oluşan basınç.



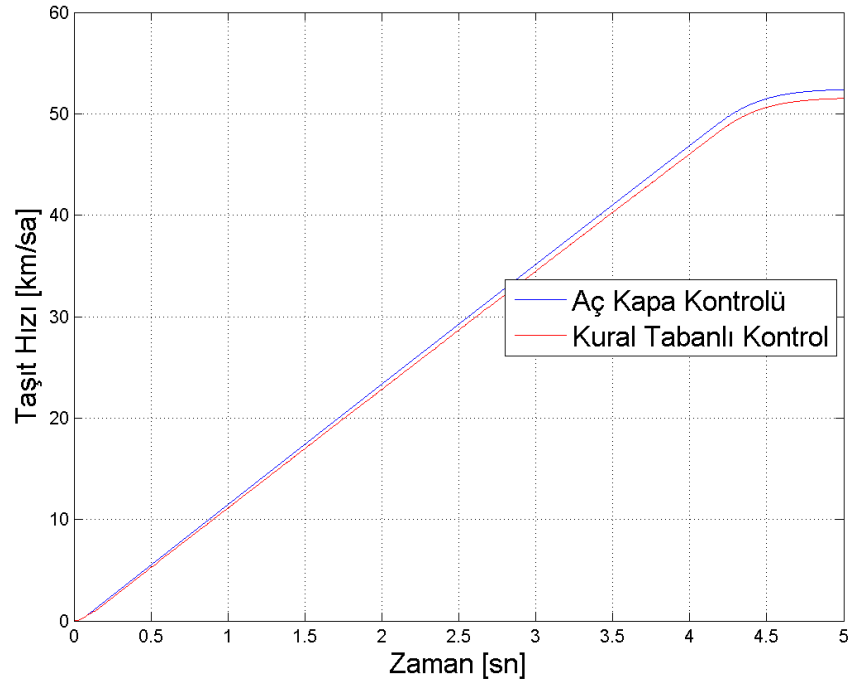
Şekil 5.14 : TCS senaryo2 Simulink taşıt dinamiği RBC basınç sinyalleri.

Şekil 5.15'te TCS senaryo 2 için kural tabanlı ve aç kapa kontrolcü sistemlerinin Simulink boyuna taşıt sisteminde oluşturdukları kayma değerleri verilmiştir.



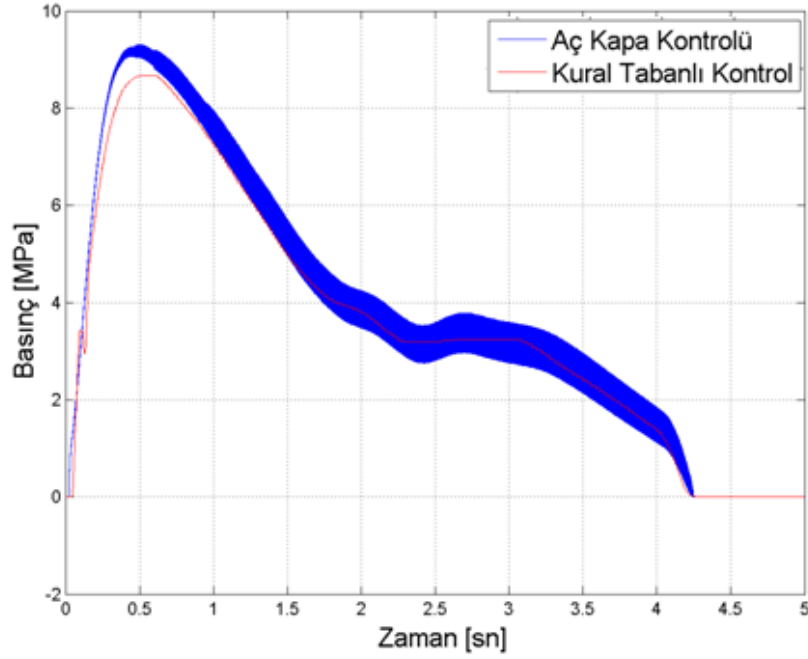
Şekil 5.15 : TCS senaryo2 Simulink ön tekerleklerdeki kayma değeri.

Şekil 5.16'da söz konusu senaryo ve sistem için taşıt hızlanma grafiği verilmiştir.

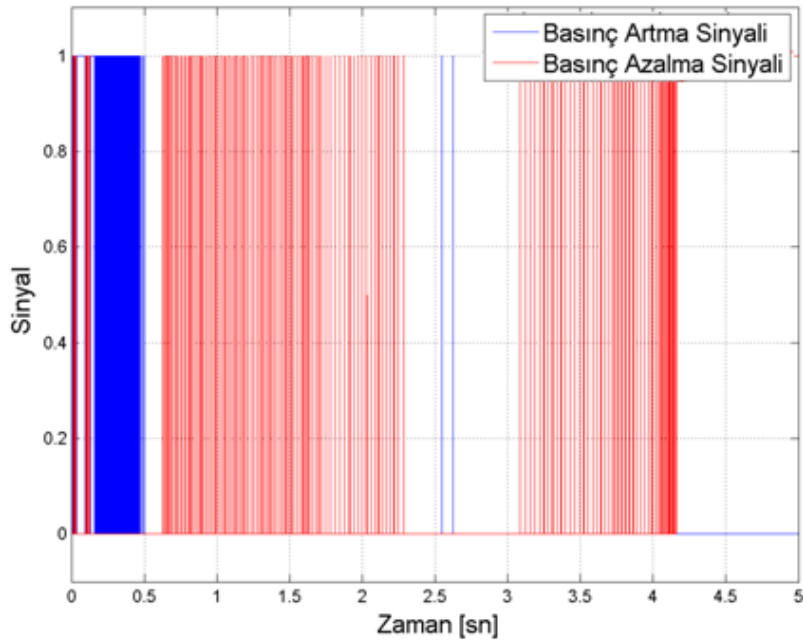


Şekil 5.16 : TCS senaryo2 Simulink taşıt hızlanma grafiği.

Şekil 5.17’de kural tabanlı ve aç kapa kontrol sistemlerinin CarSim boyuna taşıt dinamiği sistemi için hızlanma senaryosu 2’de ön tekerlekte oluşturduğu basınç eğrileri verilmiş. Şekil 5.18’de kural tabanlı kontrolcünün bu basıncın oluşması için ürettiği sinyal verilmiştir.

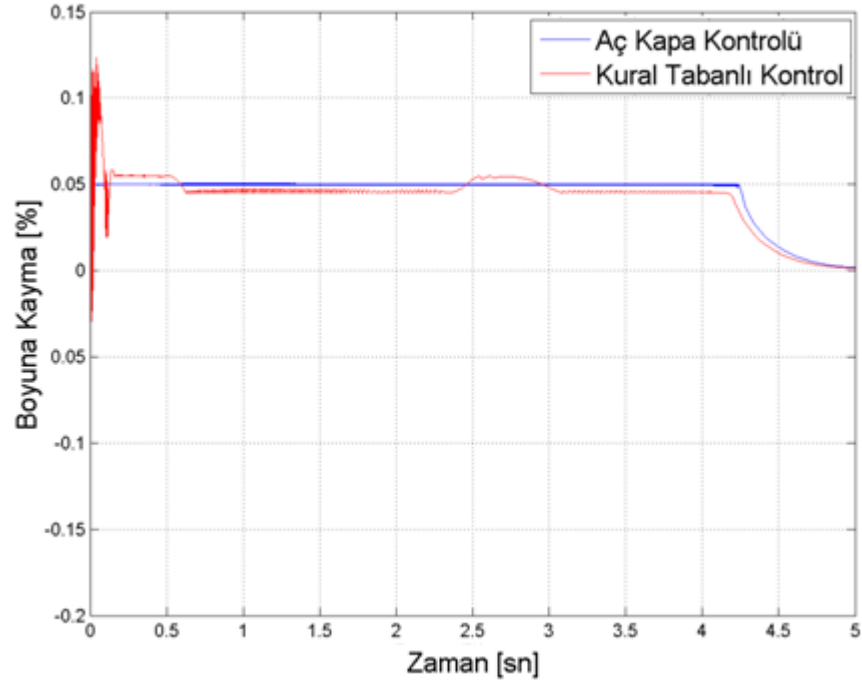


Şekil 5.17 : TCS senaryo2 CarSim ön tekerlekte oluşan basınç.



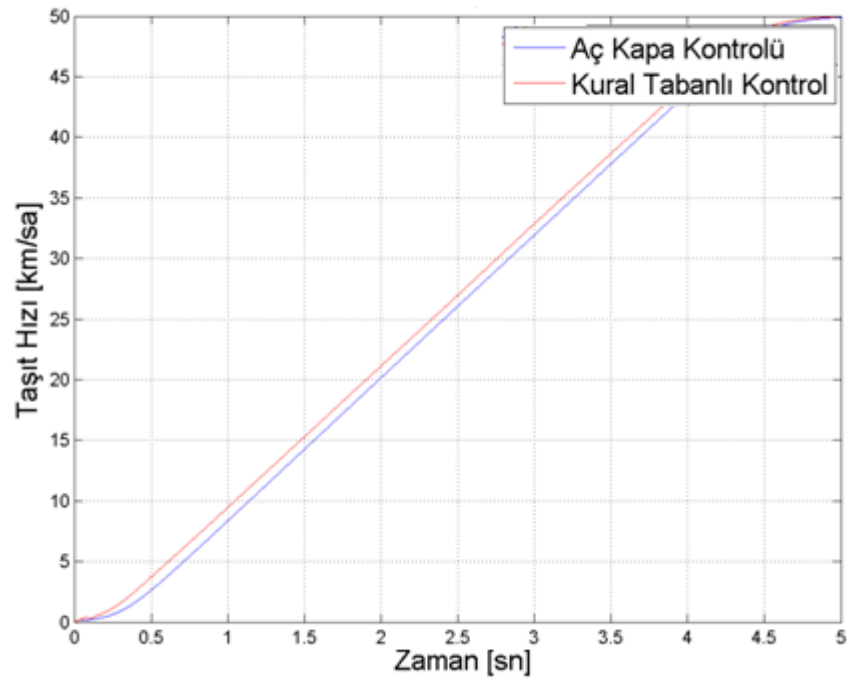
Şekil 5.18: TCS senaryo2 CarSim RBC basınç sinyalleri.

Şekil 5.19’da TCS senaryo 2 için kural tabanlı ve aç kapa kontrolcü sistemlerinin CarSim boyuna taşıt sisteminde oluşturdukları kayma değerleri verilmiştir.



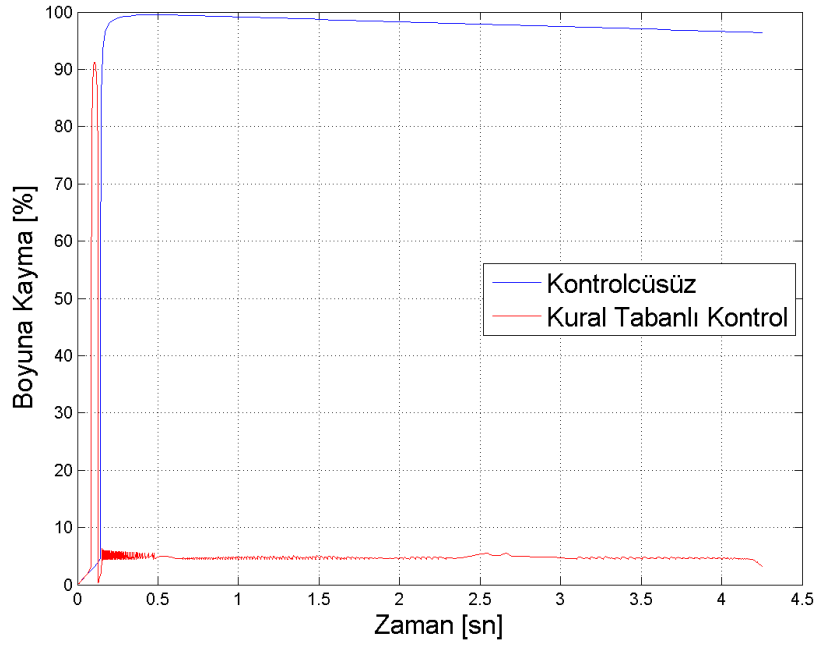
Şekil 5.19 : TCS senaryo2 CarSim ön tekerlek kayma değerleri.

Şekil 5.20’de söz konusu senaryo ve sistem için taşıt hızlanma grafiği verilmiştir.



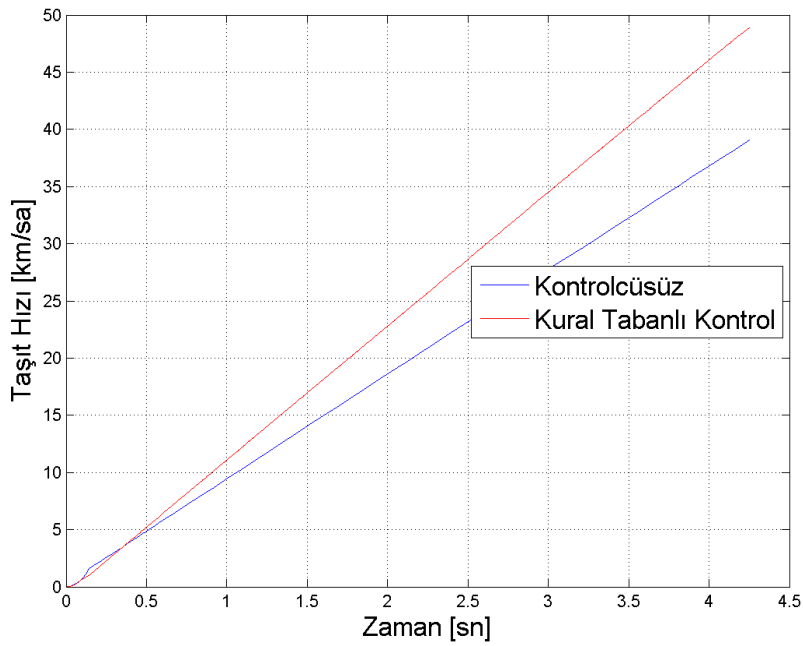
Şekil 5.20: TCS senaryo2 CarSim hızlanma grafiği.

Şekil 5.21’de TCS senaryo 2 için kural tabanlı kontrolcü ve kontrolcüsüz sistem tekerlek kayma değerleri verilmiştir.



Şekil 5.21 : TCS senaryo2 kontrolcülü ve kontrolsüz sistem ön teker kayma değeri.

Şekil 5.11’de söz konusu sistem ve senaryo için taşıt hızlanma karakteristikleri verilmiştir. Şekilde 4.25 sn sonunda iki sistem arasındaki hız farkı 10 km/saat’e çıkmıştır.



Şekil 5.22 : TCS senaryo2 kontrolcülü ve kontrolsüz sistem hızlanma grafiği.

6. SONUÇ

Bu tez çalışması kapsamında ABS ve çekiş kontrol sistemlerinin kural tabanlı uygulamaları gerçekleştirilmiştir. Taşıt hidrolik sistemi Sim/hydraulics ile modellenmiş olup CarSim yazılımı referansı ile B segmenti 5 kapılı bir yol taşıtının MATLAB/Simulink'te boyuna dinamiği modellenmiştir. Sonrasında oluşturulan kontrol sistemleri yol sürtünme katsayısı 1 ve 0.5 olan eğimsiz ve düz yol ortamlarında panik fren ve ani hızlanma senaryoları için koşturulmuştur.

Hazırlanan kural tabanlı ABS kontrol sistemi, pnömomatik tekerlekte oluşacak boyuna kayma değerini ABS senaryo1 için 15 MPa değerindeki sürücü fren basıncını ön tekerleklerde 8.2 MPa, arka tekerleklerde 1.8 MPa olarak uygulayarak %8-10 referans kayma aralığında, ABS senaryo2 için ön tekerleklere 3.6 MPa, arka tekerleklere 2.05 MPa uygulayarak %4.5-5.5 referans kayma aralığında tutmayı başarmıştır. Yani taşıt tekerleklerinin kilitlenerek kayma değerinin %100 olması önlenmiş, tekerlekten elde edilebilecek frenleme kuvveti arttırılmıştır. Böylece taşıtın eş senaryolar için kayma kontrolünün yapılmadığı duruma göre daha kısa mesafede durması sağlanmıştır. Ayrıca kilitlenen tekerleğin yanal kuvvet taşıyamadığı da düşünüldüğünde söz konusu senaryolarda görülmeyen taşıtın frenleme esnasında sürücü direksiyon girdisine cevap verebilir konumda kalması durumu da kontrol sisteminin bir avantajıdır.

Bunun yanında ABS senaryoları için CarSim taşıt dinamiği için de koşturulan kontrol sistemlerinin çıktıları MATLAB/Simulink sonuçları ile durma süreleri ve ön arka aks yük transferleri gibi kilit parametrelerde büyük benzerlik göstermiştir. Buradan hareketle boyuna yol taşıtı dinamik modellemesinde daha önceden belirtilen kısıtlar da göz önünde bulundurularak başarılı bir boyuna taşıt dinamiği modellemesi yapıldığı da değerlendirilir.

Çekiş kontrol sistemi senaryolarında ise ani motor torku uygulamasıyla kontrol sistemi değerlendirilmiştir. Ani hızlanma durumunda yol sürtünme katsayısı 1 olan yolda tekerleklerin kayma değerinin %8.5-9.5 tolerans aralığında, yol sürtünme

katsayısı 0.5 olan yolda tahrik edilen tekerleklerin kayma değerlerinin %4.5-5.5 tolerans aralığında tutulması sağlanmıştır. Böylece taşıtın tekerlek kayma değerinin kontrol edilmediği duruma göre ivmelenme değerinin daha yüksek olduğu değerlendirilmiştir.

Frenleme esnasında daha kısa sürede duran, ani hızlanma durumunda daha seri kalkış yapabilen bir taşıt dinamiği elde edilmiştir. Sonuç olarak MATLAB/Simulink ortamında oluşturulan boyuna yol taşıt dinamiği sistemi ve dünya genelinde kabul görmüş taşıt dinamiği simulasyon program olan CarSim yazılımındaki taşıt dinamiği kullanılarak kontrol döngüsündeki kural tabanlı kontrolcünün, hidrolik modülatörün ve taşıt fren tertibatının başarılı bir şekilde modellendiği ve sabit sürtünme katsayılı düz bir yoldaki ani frenleme ve hızlanma senaryoları için tekerleklerdeki referans kayma değerlerini başarılı bir şekilde kontrol edebildiği sonucuna varılmıştır.

Bu çalışmanın katkısı, gerçekçi taşıt dinamiği sistemi için tekerlek kayma değerini kontrol eden kontrol döngüsündeki hidrolik modülatörün, taşıt fren tertibatının ve kural tabanlı kontrolcü yapısının gerçekçi bir şekilde modellenmesidir.

KAYNAKLAR

- [1] **Michael Short, Michael J. Pont, Qiang Huang** (2004). Simulation of Vehicle Longitudinal Dynamics. Technical Report Embedded Systems Laboratory University of Leichester 04-01.
- [2] **Wanki Cho, Jangyeol Yoon, Seongjin Yim, Bongyeong Koo, and Kyongsu Yi** (2010) Estimation of Tire Forces for Application to Vehicle Stability Control. IEEE Transactions on Vehicular Technology, Vol. 59, no. 2.
- [3] **Ji Wang, Chuanxue Song, Liqiang Jin** (2008) State Key Laboratory of Automobile Dynamic Simulation Jilin University Changchun, China.
- [4] **Reza Hoseinnezhad and Alireza Bab-Hadiashar** (2011) Efficient Antilock Braking by Direct Maximization of Tire–Road Frictions, IEEE Transactions on Industrial Electronics, Vol. 58, No. 8.
- [5] **Pacejka, H., Sharp, R.S.** (1991). “Shear Force development by Pneumatic Tyres in Steady State Conditions: A Review of Modelling Aspects” Vehicle System Dynamics, 20, pp.121-176, Equations 88-93.
- [6] **Daegun Hong, Paljoo Yoon, Hyoung-Jin Kang, Inyong Hwang and Kunsoo Huh** (2006). Wheel Slip Control Systems Utilizing the Estimated Tire Force. American Control Conference Minneapolis, Minnesota, USA.
- [7] **Junmin Wang, Raul G. Longoria** (2006) Combined Tire Slip and Slip Angle Tracking Control for Advanced Vehicle Dynamics Control Systems, Proceedings of the 45th IEEE Conference on Decision & Control, San Diego, CA, USA.
- [8] **Mara Tanelli, Sergio M. Savaresi and Carlo Cantoni** (2006) Longitudinal Vehicle Speed Estimation for Traction and Braking Control Systems, Proceedings of the 2006 IEEE International Conference on Control Applications Munich, Germany.
- [9] **Meihua Tai and Masayoshi Tomizuka** (2010) Robust Longitudinal Velocity Tracking of Vehicles Using Traction and Brake Control. AMC2000-Nagoya, University of California at Berkeley, Berkeley, CA 94720-1740 USA.
- [10] **B. Ozdalyan, M. V. Blundell** (1998) Anti-lock Braking System Simulation and Modelling in ADAMS. International Conference on Simulation.
- [11] **Ayman A. Aly, El-Shafei Zeidan, Ahmed Hamed, Farhan Salem** (2011). An Antilock-Braking Systems (ABS) Control: A Technical Review. Intelligent Control and Automation, 186-195.

- [12] **Rem Kazemi and Khosro Jafhri Zaviyeh** (2001) Development Of A New Abs For Passenger Cars Using Dynamic Surface Control Method, American Control Conference Arlington, VA.
- [13] **Kevin O'Dea** (2005). Delphi Corporation. Anti-Lock Braking Performance and Hydraulic Brake Pressure Estimation. SAE Technical Papers. SAE World Congress Detroit, Michigan.
- [14] **Jianlong Zhang, Chengliang Yin and Jianwu Zhang** (2006) Use of Fuzzy Controller for Hybrid Traction Control System in Hybrid Electric Vehicles, Proceedings of the 2006 IEEE International Conference on Mechatronics and Automation Luoyang, China.
- [15] **Gillespie Thomas D.** (1992). Fundamentals Of Vehicle Dynamics. Society of Automotive Engineers Inc. Sf. 11-120.
- [16] BL Bosch 5.3 ABS System Description Presentation by Hyundai (2008).
- [17] **Ali BOYALI, Levent GÜVENÇ** (2010). Hibrid elektrikli araçların modellenmesi ve kural tabanlı kontrolü. İTÜ Dergisi Nisan 2010. Sf. 88.

ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad: Semih TUNACI

Doğum Yeri ve Tarihi: Eskişehir, 02.01.1987

Adres: Eskibağlar Mh. Yengi Sk. No:30/2 Eskişehir

E-Posta: semihtunaci@gmail.com

Lisans: Yıldız Teknik Üniversitesi/Makina Mühendisliği

Mesleki Deneyim: 07/2010-12/2011 KaTron A.Ş. Yazılım ve Dinamik Modelleme Uzmanı

