

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**MEKANİK SÜSPANSİYONLU YOL KAMYONLARINDA OTOMATİK
DİNGİL İNDİRME SİSTEMİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Taylan KELEŞ

Kontrol Mühendisliği Anabilim Dalı

Kontrol ve Otomasyon Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Erdiñç ALTUĞ

EKİM 2013

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**MEKANİK SÜSPANSİYONLU YOL KAMYONLARINDA OTOMATİK
DİNGİL İNDİRME SİSTEMİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Taylan KELEŞ
(504101124)**

Kontrol ve Otomasyon Mühendisliği Anabilim Dalı

Kontrol ve Otomasyon Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Erdiñç ALTUĞ

EKİM 2013

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 504101124 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi **Taylan KELEŞ**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “**MEKANİK SÜSPANSİYONLU YOL KAMYONLARINDA OTOMATİK DİNGİL İNDİRME SİSTEMİ**” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Doç. Dr. Erdiñç ALTUĞ**

İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Levent GÜVENÇ**

Okan Üniversitesi

Prof. Dr. Leyla GÖREN

İstanbul Teknik Üniversitesi

Teslim Tarihi : **03 Mayıs 2013**

Savunma Tarihi : **22 Ekim 2013**

Aileme ve Eski Dostlarıma,

ÖNSÖZ

Bu tez çalışmasının kapsamı yol kamyonlarında otomatik dingil indirme sistemidir. Günümüzde Avrupa'da yürürlükte olan bu sistem havalı süspansiyonlu araçlarda uygulanmaktadır. Ancak ülkemizde 2014 yılında yürürlüğe girmesi beklenen sistemin, ülkemizde yaygın olarak tercih edilen mekanik süspansiyonlu araçlarda herhangi bir uygulaması bulunmamaktadır. Bu çalışma ile sistemin mekanik süspansiyonlu ağır ticari araçlarda da devreye alınması sağlanmıştır.

00905.STZ.2011-1 kodlu SAN-TEZ projesi kapsamında çalışmanın gerçekleşmesine katkıda bulunan Bilim Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı'na verdikleri desteklerden dolayı teşekkürlerimi sunarım. SAN-TEZ ortaklığında bulunan Ford OTOSAN'a gerek araç, gerekse tesislerinde sağladıkları test alanları ve imkanları için; İstanbul Okan Üniversitesi'ne Laboratuvar'larını proje geliştirme çalışmalarına açtıkları için teşekkürlerimi sunarım.

Çalışma sırasında engin bilgilerini benimle paylaşan, çalışmanın sağlıklı olarak yürütülmesinde ve otomotiv mekatroniği konusunda gelişimimde çok büyük katkıları olan Prof. Dr. Levent Güvenç, Doç. Dr. Erdinç Altuğ ve Dr. Orhan Atabay hocalarıma sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Son olarak çok değerli babama her zaman yanımda olduğunu bilmemi sağladığı için, annem ve ablama mükemmel dostlukları için teşekkür ederim.

Ekim 2013

Taylan Keleş
(Ürün Geliştirme Mühendisi)

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ	vii
İÇİNDEKİLER	ix
KISALTMALAR	xi
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xii
ŞEKİL LİSTESİ.....	xv
ÖZET.....	xvii
SUMMARY	xix
1. GİRİŞ.....	1
1.1 Tezin Amacı	2
1.2 Hipotez	3
1.3 8x2 Yol Kamyonu İçin Sistem Tasarımı	5
1.4 Taşıt Analizi	7
1.5 Süspansiyon Analizi	8
2. DİNGİL YÜKÜ DAĞILIMI MODELLENMESİ.....	17
2.1 Amacı	17
2.2 Sertlik Yöntemi	17
2.2.1 Kiriş sertlik matrisinin bulunması	18
2.2.2 Eşdeğer düğüm kuvvetleri	21
2.2.3 Yazılım geliştirme ve sonuçlar	22
2.3 TruckMaker Taşıt Simülasyonu	23
2.3.1 Prototip taşıt parametreleri	24
2.3.2 IPGRoad tasarımı	24
2.3.3 Sürücü manevra tanımlamaları	26
2.3.4 TruckMaker ve SIMULINK kullanımı	27
2.3.5 Sertlik yöntemi ve TruckMaker karşılaştırması	28
3. SİSTEM FONKSİYONEL GEREKSİNİMLERİ.....	29
3.1 Dingil Ağırlıkları Hesaplanması	29
3.2 Taşıt Kontak Durumu	30
3.3 Park Freni	30
3.4 Taşıt Hızı	31
3.5 Çekiş Gücü Kontrol Desteği	32
4. SİSTEM TASARIM ÖZELLİKLERİ	33
4.1 Ağırlık Tahmini ve Sensör Lokasyonları	34
4.1.1 Ön süspansiyon modeli	35
4.1.2 Tandem terazi süspansiyon modeli	36
4.1.3 Sensör lokasyonları	40
4.2 Dingil Kapasitesi %30 Aşım Tahmin Tasarımı	41
4.3 Yazılım Tasarımı	42
4.3.1 Ağırlık hesaplama aktif/pasif fonksiyonu	45
4.3.2 Histeresis tespit fonksiyonu	46
4.3.3 Anlık buton mantıksal fonksiyonu	48

4.3.4	Algoritma durum-akış diyagramı	49
4.3.4.1	Bütün dingiller yerde aşaması	49
4.3.4.2	Sadece kendinden dümenli dingil kalkabilir aşaması.....	50
4.3.4.3	Her iki dingil kalkabilir aşaması	52
4.4	Komponent Seviyesinde Tasarım.....	54
4.4.1	Seviye sensörü.....	54
4.4.2	Elektronik kontrol ünitesi.....	55
4.4.3	OpenECU yazılımının geliştirilmesi	56
4.4.4	TruckMaker yazılımının geliştirilmesi.....	57
5.	SİSTEMİN TAŞITA ENTEGRASYONU VE TESTLER.....	61
5.1	Ağırlık Tahmin Performans Testi.....	65
5.2	Dingil Kapasitesi %30 Aşım Tahmin Testi.....	69
5.3	Ağırlık Hesaplama Aktif/Pasif Testi	69
5.4	Histeresis Tespit Fonksiyon Testi	70
5.5	Algoritma Durum-Akış Diyagram Testi	73
6.	SONUÇ.....	79
	KAYNAKLAR.....	81
	EKLER.....	83
	ÖZGEÇMİŞ.....	85

KISALTMALAR

ECU	: Electronic Control Unit
CAN	: Controlled Area Network
CCP	: CAN Calibration Protocol
TCS	: Traction Control System
EOL	: End of Line

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 1.1 : Uygulamadan etkilenen araç tipleri ve seçilen prototip araç	1
Çizelge 1.2 : Mekanik seviye valfi çalışma değerleri	16
Çizelge 2.1 : Doğrudan sertlik modeli dingil ağırlıkları dağılımı.....	23
Çizelge 4.1 : Veri kayıt tablosu.....	40
Çizelge 4.2 : Sistem parametreleri, sinyal tipleri ve açıklamaları.	43
Çizelge 4.3 : Sistem çıkışları ve açıklamaları.....	44
Çizelge 4.4 : Fonksiyon durumları, açıklamaları ve çıkışları.....	46
Çizelge 4.5 : Fonksiyon durum geçiş koşulları.....	46
Çizelge 4.6 : Anlık buton fonksiyonu doğruluk tablosu.....	48
Çizelge 4.7 : Otomatik dingil indirme sistemi durum açıklamaları.....	53
Çizelge 4.8 : openECU otomatik dingil indirme sistemi pin bağlantıları.....	57
Çizelge 4.9 : TruckMaker giriş/çıkışları.....	58
Çizelge 5.1 : Dingil ağırlık model eğitim veri seti.....	62
Çizelge 5.2 : Algoritma Testi - 1.....	73
Çizelge 5.3 : Algoritma Testi - 2.....	75
Çizelge 5.4 : Algoritma Testi - 3.....	77

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1 : 8x2S yol kamyonu dingil dizilimleri.....	5.
Şekil 1.2 : Kendinden dümenli dingil kaldırma mekanizması.....	5.
Şekil 1.3 : İlave dingil kaldırma mekanizması	6.
Şekil 1.4 : Sistem genel diyagramı	6.
Şekil 1.5 : Sistemden etkilenen taşıt çeşitleri, sırasıyla 6x2, 8x2C ve 8x2S	7.
Şekil 1.6 : 2 segmentli sertliğe sahip ön dingil yığma makas tipleri.	11.
Şekil 1.7 : Yüklenmeye bağlı olarak katmanlar arasında meydana gelen kayma	11.
Şekil 1.8 : Ön dingil parabolik makas tasarımı.....	12.
Şekil 1.9 : Parabolik ve yığma makas histeresis eğrileri	12.
Şekil 1.10 : Tandem süspansiyon çeşitleri.....	13.
Şekil 1.11 : Tandem süspansiyon çeşitleri -2	14.
Şekil 1.12 : Tandem (solda) ve Four-spring süspansiyon çeşitleri.....	15.
Şekil 1.13 : Seviye valfi canlı dingil bağlantısı	15.
Şekil 2.1 : 8x2S kamyon kiriş benzetim modeli	18.
Şekil 2.2 : Kuvvet yön ve işaret tanımlamaları.....	18.
Şekil 2.3 : x ve y koordinatları için v ve u notasyonları	19.
Şekil 2.4 : $v(x)$ ve $\phi(x)$ fonksiyonlarının gösterim diyagramı	19.
Şekil 2.5 : Kiriş teorisi işaretleri	20.
Şekil 2.6 : Sertlik yöntemi için SIMULINK diyagramı	22.
Şekil 2.7 : Taşıt parametrelerinin programa girilmesi	24.
Şekil 2.8 : Segment tabanlı yol tasarım arayüzü.....	25.
Şekil 2.9 : Oluşturulan yolun kuş bakışı görüntüsü.....	26.
Şekil 2.10 : Sürücü manevra tanımlama arayüzü	27.
Şekil 2.11 : TruckMaker/SIMULINK eş zamanlı simülasyon gösterimi.....	28.
Şekil 2.12 : TruckMaker/Sertlik Yöntemi dingil ağırlık dağılım sonuçları.....	28.
Şekil 3.1 : Seviye sensörleri bağlantı şeması.....	29.
Şekil 3.2 : Dingil ağırlıkları fonksiyonel gereksinimleri	29.
Şekil 3.3 : Kontak durumu fonksiyonel gereksinimleri.....	30.
Şekil 3.4 : Taşıt hızının fonksiyonel gereksinimleri.....	31.
Şekil 3.5 : TCS destek fonksiyonel gereksinimleri	32.
Şekil 4.1 : Otomatik dingil indirme sistemi genel diyagramı.....	33.
Şekil 4.2 : Farklı yol durumlarına göre farklı terazi yönelimleri.....	37.
Şekil 4.3 : Veri toplama test düzeneği	38.
Şekil 4.4 : Veri toplama testinde taşıtın yükleme senaryoları	39.
Şekil 4.5 : 8x2S aracı için 2. dingilin kaldırıldığı duruma geçiş gösterimi	41.
Şekil 4.6 : Otomatik dingil indirme sistemi dingil durumları genel gösterimi.....	42.
Şekil 4.7 : Otomatik dingil indirme sistemi yazılım genel şeması	44.
Şekil 4.8 : Ağırlık hesaplama aktif/pasif fonksiyon diyagramı	45.
Şekil 4.9 : Süspansiyon makas histeresis grafiği	47.
Şekil 4.10 : Ağırlık hesaplama blok diyagramı ve sistem girişlerinin tanımlanması.....	47.
Şekil 4.11 : Anlık buton yükselen kenar tespiti.....	48.

Şekil 4.12: Bütün dingiller yerde aşaması durum-akış diyagramı.....	50.
Şekil 4.13: Kendinden dümenli dingilin kaldırılabilir durum-akış diyagramı.....	51.
Şekil 4.14: Her iki dingilin kaldırılabilir aşaması durum-akış diyagramı	52.
Şekil 4.15: Knorr-Bremse deplasman sensörü.....	54.
Şekil 4.16: Otomatik dingil indirme sistemi bağlantı şeması	55.
Şekil 4.17: openECU m250 yazılım geliştirme prosedürü	55.
Şekil 4.18: CAN ve CCP konfigürasyon blokları.....	56.
Şekil 4.19: Sistem giriş/çıkış blokları	56.
Şekil 4.20: ATIVISION sistem monitör ekranı	57.
Şekil 4.21: Dingil indirme/kaldırma fonksiyon bloğu	58.
Şekil 4.22: Otomatik dingil indirme sistemi TruckMaker simülasyonu.....	59.
Şekil 5.1 : Deplasman sensör mekanik bağlantıları	61.
Şekil 5.2 : openECU kabin içi kurulumu	61.
Şekil 5.3 : Veri toplama test düzeneği	62.
Şekil 5.4 : Ön dingil ağırlık modeli	63.
Şekil 5.5 : Kendinden dümenli dingil ağırlık modeli.....	63.
Şekil 5.6 : Sadece canlı dingile bağlı sensör kullanılarak oluşan model	64.
Şekil 5.7 : Terazî sistemine bağlı sensörler kullanılarak oluşan model.....	64.
Şekil 5.8 : Ön dingil ağırlık tahmin (tek teker).....	65.
Şekil 5.9 : Kendinden dümenli dingil ağırlık tahmin (tek tekere).	66.
Şekil 5.10 : Canlı dingil ağırlık tahmin (tek tekere), normal yükleme	67.
Şekil 5.11 : İlave dingil ağırlık tahmin (tek tekere), normal yükleme.	67.
Şekil 5.12 : Canlı dingil ağırlık tahmin (tek tekere), dengesiz yükleme	68.
Şekil 5.13 : İlave dingil ağırlık tahmin (tek tekere), dengesiz yükleme	68.
Şekil 5.14 : Kendinden dümenli dingil kaldırıldığında oluşacak dağılım tahmini ...	69.
Şekil 5.15 : Ağırlık hesaplama aktif/pasif fonksiyon testi.....	70.
Şekil 5.16 : Tandem terazî süspansiyonlarında histeresis farkı	71.
Şekil 5.17 : Tandem terazî süspansiyonlarında histeresis tespit testi	72.
Şekil 5.18 : Tandem terazî süspansiyonu düzeltilmiş ağırlık değeri	72.

MEKANİK SÜSPANSİYONLU YOL KAMYONLARINDA OTOMATİK DİNGİL İNDİRME SİSTEMİ

ÖZET

2014 yılında kaldırılabilir dingilleri olan ağır ticari kamyonlarda, otomatik dingil indirme sistemi yasal zorunluluk haline gelmektedir. Bu sistemin amacı dingil kaldırma komutunun sürücü tarafından verilmesi yerine aracın taşıtın içinde bulunduğu duruma ve dingil ağırlıklarına göre otomatik olarak dingillerin yere inmesini sağlamaktır. Bu çalışmada sözü geçen özelliklere göre bir simülasyon tasarımı yapılmış, algoritma dizayn edilmiş ve en zor araç tipi olan 2 dingili kaldırılabilir 8x2S araç modelinde testleri yapılmıştır.

Bu tip araçlarda dingilleri kaldırmanın asıl amacı, yakıt tüketimini azaltmak, tekerlerin yıpranmasını önlemek ve kaygan yüzeylerde aracın kalkışını canlı dingile daha fazla yük bindirerek kolaylaştırmaktır. Ancak araç aşırı yüklü iken dingillerin yukarıda bahsedilen nedenlerden dolayı kaldırılması daha farklı sonuçlara yol açmaktadır. Bu nedenden dolayı Avrupa Komisyonu'nun düzenlediği 1230/2012 sayılı Kütle ve Boyutlar yönetmeliğinde, üretici firmalar kaygan yüzeylerde kalkış durumu hariç bütün sürüş koşullarında dingil yüklerinin kapasitelerini geçtiği anda en yakın dingil veya dingil grubunun indirilmesi üzerine kurallar mevcuttur. Bu düzenleme Türkiye'de de 2014'ten sonra yürürlüğe girmesi beklenmektedir. Aslında bu yönetmelikteki koşulları sağlayan birkaç sistem mevcuttur ancak bu sistemler havalı süspansiyonlu araçlar için tasarlanmıştır ancak bu sistemler mekanik süspansiyonlu araçlar için uygun değildir ve dünyada mekanik süspansiyonlu araçlarda buna benzer bir uygulama bulunmamaktadır. Türkiye'de taşıma kapasitelerinin yüksek olması ve maliyetinin daha düşük olması nedeniyle mekanik süspansiyonlu kamyonlar oldukça popülerdir ve gittikçe büyüyen bir pazarı vardır. Bu nedenle dingil yüklerini hesaplayan ve buna göre sistemin fonksiyonel gereksinimlerini karşılayacak bir kontrol modülünün tasarlanması ve mekanik süspansiyonlu araçlarda kullanılması gerekmektedir.

Mekanik süspansiyonlu araçlarda dingil ağırlıklarının hesaplanması yaprak yayların yüklendikçe sıkışma miktarlarının ölçülmesiyle yapılabilmektedir. Ancak aracın yüklenme durumundaki yol bozuklukları, yay katsayısı dizayn toleransları ve yaylarda yükleme ve boşaltma davranış farklılıklarından kaynaklanan histerisler ağırlık ölçümünde hata payını arttırmaktadır. Ayrıca arka dingil grubundaki terazi sistemi önceden belirtilen ağırlık ölçme prensibine uymamakta ve farklı bir çalışma gerektirmektedir. Bu nedenle her dingil veya dingil grubunun ağırlık hesaplama modellerini eğitmek için test düzeneği kurulmuş ve farklı araç yüklemelerine karşılık gelen sıkışma miktarını ölçen sensor çıkışları eşleştirilmiştir.

Tabi ki algoritma testlerinin yapılabilmesi için bu modellerin çıkarılmasını beklemek zaman kaybı olacaktır. Bu nedenle yanı sıra daha kısa sürede parametre optimizasyonu ve tasarlanan algoritmada farklı girişlere göre anlık sistem tepkisini

görmek amacıyla simülasyon modelleri oluşturulmuştur. TruckMaker taşıt simülasyon programı kullanılarak kamyon taşıt parametreleri, yol modellemesi ve sürücü hareketleri tanımlanmış ve SIMULINK'te de algoritma çalışmasıyla uygun sonuçlar elde edilmiştir. TruckMaker programının kullanımının sürüş senaryolarının denenmesi gibi avantajları varken kullanıcıyı algoritmayı test etmesi için programa bağlı hale getirmiştir. Bu nedenle TruckMaker programının yanı sıra söz konusu sistemin çalışma prensibine uygun olacak şekilde SIMULINK'te hızlı prototipleme modeli oluşturulması gerekmektedir. Buradaki en büyük problem önceden tanımlanan araç yükünün dingillere dağılımını hesaplamaktır. Sistem yapısal olarak statikçe kararsızdır ve statik çözümler fiziksel olarak tek bir çözüm varken matematiksel olarak sonsuz çözüm uzayı getirmektedir. Statikçe kararsız olan sistemi çözmek için nümerik hesaplama kolaylığı sebebiyle kiriş teorisini doğrudan kullanan sertlik yöntemi incelenmiştir.

Sistemin fonksiyonel çalışmasını etkileyen tek etken dingil yükleri değildir. Bunun yanı sıra araç hızı, park freni, çekiş gücü kontrolü sinyalleri ve araç kontak sinyalleri de sistemin fonksiyonel çalışmasını etkilemektedir. Bu nedenle bu etkenlerin sisteme olan etkilerinin incelenmesi gerekmektedir.

Fonksiyonel gereksinimler tanımlandıktan ve gerekli modeller çıkarılması çalışmaları sistemin algoritmik durum-akış diyagramını şekillendirmektedir. Bu gereksinimlere göre algoritma dizayn edilmiş ve hem sertlik yöntemi ve TruckMaker programlarında simülasyonları yapılmıştır.

Sistemin araca implementasyonu için yayların sıkışma miktarlarını ölçen sensörler aracın şasisine monte edilmiş ve gerekli işlemci bağlantıları yapılmıştır. Bunun yanında sistemin fonksiyonel çalışmasını sağlamak adına yazılım geliştirilmiş ve sistem kurulmuştur. İşlemci olarak PI INNOVO firmasından WindRiver işletim sistemine sahip m250 model openECU kullanılmış ve SIMULINK'te geliştirilen yazılım WindRiver Diab Compiler ile derlenmiş ve ATIVISION programı aracılığıyla CAN hattı üzerinden CANCEXL donanımıyla CCP kullanılarak ECU'ya gömülmüştür. İşlemci içinde çalışan program ATIVISION'da hazırlanan arayüz ekranı ile izlenmiş ve aynı zamanda CCP ile değişken kalibrasyonu yapılmıştır.

Sonuç olarak Otomatik Dingil İndirme Sistemi mekanik süspansiyonlu araçlara uyarlanması için prototip çalışma tamamlanmıştır.

AUTODROP SYSTEM FOR ROAD TRUCKS WITH MECHANICAL SUSPENSION

SUMMARY

In 2014, the lift axle dropping system is expected to be a legal obligation for heavy commercial trucks. The aim of an automatic lift axle auto-drop system is to drop the appropriate axle(s) automatically based on the loading condition, instead of being manually controlled by the driver. This work provides an overview of both algorithm and associated simulator developed for heavy commercial truck with mechanical suspension. During the simulations, the condition of the truck's load is used as an input and the automatic lift axle system algorithm decides on the axle(s) that should be dropped. Several different calculations methods are used in the simulator to determine vertical load shared by each axle.

The main purpose of the axle-lift device is to raise the axle in order to reduce fuel consumption, tire wear and easier take off on slippery surfaces while the vehicle is not fully loaded. Axles which have lift devices are called retractable axles. According to EU Directive 1230/2012 EEC Mass and Dimensions Policy, the manufacturer must ensure that under all driving conditions, the mass corresponding to each axle or axle groups must be within permissible limits except when taking off the slippery surfaces. This regulatory requirement will be obligatory in Turkey, in 2014. There are a couple of systems that satisfy all the obligatory rules on air suspension mounted axles however there is not a feasible system implemented on mechanical suspension trucks around the world. In Turkey, heavy commercial trucks that have mechanical suspension systems are quite popular and they continue to have big market potential. Therefore, the aim of the project is to construct a control mechanism that senses the axle loads and lowers the retractable axle automatically if the nearest axle or axle groups exceed the limits.

Customer expectations can differ country by country because of the environmental conditions, cultural aspects, obligations etc. so the design requirements are also affected by these expectations. In Europe where 1230/2012 EEC is fully legislated, all retractable axle fitted vehicles are equipped with air suspension systems. However in the Turkish market, the customers in the truck industry are more interested in mechanical suspension type trucks. After the new legislation, adapting the Autodrop system to mechanical suspension vehicles is a must for Road Trucks. Three main factors make the project harder when comparing with air suspension systems. The first one is the loading transfer. The mechanical suspension mounted trucks generally have interconnected axles on rear axle groups to share the load appropriately on rough roads and the geometry should be adequate in order to balance the load transfer between the axle groups according to the axle capacities. In this system, the feasible and cost effective system is measuring the load by the distance between the axle and frame. However the loading condition or road irregularities cause unbalance and it makes monitoring of axles unpredictable. On the other hand, the idea behind air suspension is to monitor pressure on air springs to calculate the axle loads.

Pressure monitoring systems give the axle loads with a small tolerance band even in different cases. The second issue is the sensitivity. Leaf spring is the main element of mechanical suspension systems and the main disadvantage of leafs is the hysteresis during loading and unloading conditions. As for air suspension systems, pressure sensor sensitivity provides the exactness even in different conditions. The last one is the axle conditions and positions. While the tag axle is lifted, the driven axle position is affected by the compensation system geometry (interconnected axle geometry). Although, the load on drive axle increases when the tag axle is lifted, the distance frame and axles increases because of the connection type of the rear axle group. On the contrary, air suspension systems monitor the load by a simple rule that is multiplication of air bellow pressure and effective area.

The mass estimation model was validated on a test vehicle to understand axle load distribution characteristics. Total mass, mass distribution, suspension system component manufacturing tolerances & design variety and environmental conditions effect on axles shows the general behavior of vehicles. The set up consisted of an 8x2 self-steer vehicle as a worst case vehicle type, displacement sensors mounted at different positions on each axle, an ECU from Pi Innovo used to test algorithm and data collection, weight pads to understand the corresponding wheel load of the axle. In examining what is happening on axle load distribution in different conditions, the road irregularities as an environmental condition must be neglected to see the pure effect. Mass estimation models are trained for each individual axle that are front-steering axle, second self-steer axle and the rear group axle called tandem axle unit as driven axle and tag axle. Front axle's leaf springs are single mounted springs and have linear load-deflection corelation. These springs are also parabolic type that have very less hysteresis difference between loading and unloading states. In result front axle mass estimation model can be extracted without problem. Self steer axle has air suspensions and their pressure is adjusted according to driven axle's vertical deflection via mechanical load adjusted valve. Because of having air bellow, axle's load can be measured by a pressure sensor but instead, LAV mechanism logic can be used to measure the load also and preferred to provide cost reduction. The tandem axle unit as rear group axle's mass estimation model is the challenge here because of driven axle and tag axle that are the elements of tandem axle unit connected each other by a balancer. So their displacements effected each other and correlation between load and deflection extracted accordingly.

For mass estimation model training especially for tandem axle unit many different vehicle scenarios were tried on each loading condition and nearly 90 different loading conditions in different sequences were used in test specification. The mass distribution characteristics were identified from the combination of vehicle and loading cases. The pre-defined mathematical function parameters are optimized according to collected training data and these functions also tested with test data which is also shown in this work.

Axle loads are not the only input arguments for the algorithm ofcourse, there are other parameters that can also effect the vehicle condition, mass estimation process routine and axle lift/drop command that called system functional requirements. These factor are in shortly decided as vehicle speed, parking brake, traction control signals from TCS module and ignition sense. All signals expect ignition sense are provided through CAN line in j1939 CAN protocol format. Each input statement has its own functionality over Autodrop system algorithm which will be explained in detail.

Before testing algorithm in vehicle, prototype vehicle simulation model is constructed to validate the designed algorithm. TruckMaker as vehicle simulation program is used to model the vehicle, environmental, driver maneuver and driving scenarios. SIMULINK is used to implement algorithm, driver inputs and axle movement command to TruckMaker. TruckMaker and SIMULINK can process co-simulation which is a great advantage because same algorithm codes written in SIMULINK for TruckMaker can be also used for openECU that mounted in truck. A disadvantage for using TruckMaker is that algorithm developer can not test Autodrop algorithm virtually without this software. To overcome this problem, a rapid prototype vehicle model must be established. The main problem for modeling a vehicle for Autodrop system is calculating axle load distribution for a given truck load because of indeterminacy. Direct stiffness method is used to calculate axle load distribution by emulation the 8x2 truck as a beam with spring supports at its nodes. The axle loads can be calculated for different wheelbases, axle combination for example 6x2 or a self steer axle lifted 8x2S and different spring rates. The results are very close to TruckMaker simulation outputs.

AutoDrop system algorithm has been developed for 8x2S prototype test vehicle and run under PI INNOVO m250 ECU module using MATLAB/SIMULINK development platform as software. ECU parameter calibration and embedded program variable monitoring is provided with ATI VISION based on CCP (CAN Calibration Protocol). Main principle of algorithm is to decide authorization assignment between ECU and driver about lift/drop command on retractable axles. Two indicators in cluster will inform authorization state to driver as an early design. System design acceptance is given according to system functional requirements to be satisfied by test results. So at project start level, system functional requirements are decided depend on regulatory.

In result algorithm is designed according to this principle and functional requirements of the system. AutoDrop system is implemented to a 8x2S prototype vehicle and designed for mass production.

1. GİRİŞ

2014 yılında kaldırılabilir dingilleri olan ağır ticari kamyonlarda, otomatik dingil indirme sistemi yasal zorunluluk haline gelmektedir. Bu sistemin amacı dingil kaldırma komutunun sürücü tarafından verilmesi yerine aracın taşıtın içinde bulunduğu duruma ve dingil ağırlıklarına göre otomatik olarak dingillerin yere inmesini sağlamaktır. Çizelge 1.1’de uygulamadan etkilenen araç tipleri ve modelleri verilmektedir.

Çizelge 1.1: Uygulamadan etkilenen araç tipleri ve seçilen prototip araç.

		Taşıt Modeli	8x2C/6x2	8x2S	Ön	2. Dingil	3. Dingil	4.Dingil
H298	6x2	2526D	+		7100kg	-	11500kg	10000kg
		2532D	+		7100kg	-	11500kg	10000kg
	8x2	3232CD	+		7100kg	7100kg	11500kg	10000kg
		3232SD		+	7100kg	7100kg	11500kg	10000kg
		3236CD	+		7100kg	7100kg	11500kg	10000kg
H298	6x2	2526	+		7100kg	-	11500kg	10000kg
		2532	+		7100kg	-	11500kg	10000kg
	8x2	3232C	+		7100kg	7100kg	11500kg	10000kg
		3232S		+	7100kg	7100kg	11500kg	10000kg
	8x2 ADR	3232C	+		7100kg	7100kg	11500kg	10000kg
H476	6x2	2538	+		7100kg	-	11500kg	10000kg
		2538F	+		7100kg	-	11500kg	10000kg
	8x2	3238C	+		7100kg	7100kg	11500kg	10000kg
		3238S		+	7100kg	7100kg	11500kg	10000kg
	8x2 ADR	3238C	+		7100kg	7100kg	11500kg	10000kg
		3238S		+	7100kg	7100kg	11500kg	10000kg

Bu tip araçlarda dingilleri kaldırmanın asıl amacı, yakıt tüketimini azaltmak, tekerlerin yıpranmasını önlemek ve kaygan yüzeylerde aracın kalkışını canlı dingile daha fazla yük bindirerek kolaylaştırmaktır. Ancak araç aşırı yüklü iken dingillerin yukarıda bahsedilen nedenlerden dolayı kaldırılması daha farklı sonuçlara yol açmaktadır. Bu nedenden dolayı Avrupa Komisyonu’nun düzenlediği 1230/2012

sayılı Kütle ve Boyutlar Yönetmeliğinde, üretici firmalar kaygan yüzeylerde kalkış durumu hariç bütün sürüş koşullarında dingil yüklerinin kapasitelerini geçtiği anda en yakın dingil veya dingil grubunun indirilmesi üzerine kurallar mevcuttur. Bu düzenleme Türkiye’de de 2014’ten sonra yürürlüğe girmesi beklenmektedir. Aslında bu yönetmelikteki koşulları sağlayan birkaç sistem mevcuttur ancak bu sistemler havalı süspansiyonlu araçlar için tasarlanmıştır ancak bu sistemler mekanik süspansiyonlu araçlar için uygun değildir ve dünyada mekanik süspansiyonlu araçlarda buna benzer bir uygulama bulunmamaktadır. Türkiye’de taşıma kapasitelerinin yüksek olması ve maliyetinin daha düşük olması nedeniyle mekanik süspansiyonlu kamyonlar oldukça popülerdir ve gittikçe büyüyen bir pazarı vardır. Bu nedenle dingil yüklerini hesaplayan ve buna göre sistemin fonksiyonel gereksinimlerini karşılayacak bir kontrol modülünün tasarlanması ve mekanik süspansiyonlu araçlarda kullanılması gerekmektedir.

1.1 Tezin Amacı

Bu tezin amacı Avrupa Komisyonu’nun düzenlediği 1230/2012 sayılı Kütle ve Boyutlar yönetmeliğinde belirtilen, üretici firmalar kaygan yüzeylerde kalkış durumu hariç bütün sürüş koşullarında dingil yüklerinin kapasitelerini geçtiği anda en yakın dingil veya dingil grubunun indirilmesi kurallarını sağlayan bir sistem tasarlamaktır. Yönetmelikte ilgili system ile geçen maddeler aşağıdaki gibidir.

- *Herhangi bir araca, bir veya daha fazla yüklenebilir dingil ile birlikte müsaade verilebilir.*
- *Bir araca bir veya daha fazla yüklenebilir veya kaldırılabilir dingil takılmışsa tescil/ kullanımdaki dingiller ve dingil grupları üzerindeki müsaade edilen azmi kütleleri geçmeyen kütleler kaygan yüzeyler hariç olmak üzere bütün sürüş şartlarını sağlamalıdır.*
- *Bu Yönetmelik uygulamalarına göre bir araca takılan her dingil indirme teçhizatı, çalıştırılan sistemlerle birlikte, herhangi bir uygunsuz kurcalanmaya veya kullanıma karşı korunacak şekilde tasarlanmalı ve takılmalıdır.*
- *Motorlu araçların kaygan yüzeylerde kalkışına(ilk harekete başlamasına) dair şartlar:*
 - *Motorlu araçların veya araç katarlarının kaygan zeminde kalkışlarına yardım etmek ve bu yüzeyler üzerinde lastiklerin kavramasını artırmak için, dingil*

indirme tertibatı, motorlu aracın tahrikli dingily üzerindeki kütleyi artırmak üzere sıradaki durumlara göre motorlu aracın yüklenebilir veya kaldırılabilir dingilini de çalıştırabilir.

- *Aracın her bir dingili üzerindeki yüke karşılık gelen kütle, imalatçı tarafından bu özel amaç için belirtilen değeri aşmamak kaydıyla, ülkede yürürlükte bulunan dingil üzerine gelen ilgili müsaade verilmiş azami kütleyi %30'a kadar aşabilir.*
- *Ön dingil üzerine gelen yüke karşılık gelen kütle, sıfırın üzerinde kalmalıdır.*
- *Yüklenebilir veya kaldırılabilir dingil sadece özel bir kumanda tertibatıyla çalıştırılmalıdır.*
- *Motorlu araç hareket ettirildikten sonra ve 30 km/s hızı aşmadan önce, dingil otomatik olarak tekrar alçalmalı ya da yeniden yüklenmelidir.*

Bu düzenleme Türkiye'de 2014'ten sonra yürürlüğe girmesi beklenmektedir. Aslında bu yönetmelikteki koşulları sağlayan birkaç sistem mevcuttur ancak bu sistemler havalı süspansiyonlu araçlar için tasarlanmıştır ancak bu sistemler mekanik süspansiyonlu araçlar için uygun değildir ve dünyada mekanik süspansiyonlu ağır ticari araçlarda buna benzer bir uygulama bulunmamaktadır. Türkiye'de taşıma kapasitelerinin yüksek olması ve maliyetinin daha düşük olması nedeniyle mekanik süspansiyonlu kamyonlar oldukça popülerdir ve gittikçe büyüyen bir pazarı vardır. Bu nedenle dingil yüklerini hesaplayan ve buna göre sistemin fonksiyonel gereksinimlerini karşılayacak bir kontrol modülünün tasarlanması önem arz eder.

1.2 Hipotez

Mekanik süspansiyonlu araçlarda dingil ağırlıklarının hesaplanması yaprak yayların yüklendikçe sıkışma miktarlarının ölçülmesiyle yapılabilmektedir. Ancak aracın yüklenme durumundaki yol bozuklukları, yay katsayısı dizayn toleransları ve yaylarda yükleme ve boşaltma davranış farklılıklarından kaynaklanan histerisisler ağırlık ölçümünde hata payını arttırmaktadır. Ayrıca arka dingil grubundaki terazi sistemi önceden belirtilen ağırlık ölçme prensibine uymamakta ve farklı bir çalışma gerektirmektedir. Bu nedenle her dingil veya dingil grubunun ağırlık hesaplama modellerini eğitmek için test düzeneği kurulmuş ve farklı araç yüklemelerine karşılık gelen sıkışma miktarını ölçen sensor çıkışları eşleştirilip modeller oluşturulmalıdır.

Bunun yanında algoritma testlerinin yapılabilmesi için bu modellerin çıkarılmasını beklemek zaman kaybı olacaktır. Bu nedenin yanı sıra daha kısa sürede parametre optimizasyonu ve tasarlanan algoritmada farklı girişlere göre anlık sistem tepkisini görmek amacıyla simülasyon modellerinin oluşturulması gerekmektedir. TruckMaker taşıt simülasyon programı kullanılarak kamyon taşıt parametreleri, yol modellemesi ve sürücü hareketleri tanımlanabilir ve SIMULINK'te de algoritma çalışmasıyla uygun sonuçlar elde edilebilir. TruckMaker programının kullanımının sürüş senaryolarının denenmesi gibi avantajları varken kullanıcıyı algoritmayı test etmesi için programa bağlı hale getirir. Bu nedenle TruckMaker programının yanı sıra söz konusu sistemin çalışma prensibine uygun olacak şekilde SIMULINK'te hızlı prototipleme modeli oluşturulması gerekmektedir. Buradaki en büyük problem önceden tanımlanan araç yükünün dingillere dağılımını hesaplamaktır. Sistem yapısal olarak statikçe kararsızdır ve statik çözümler fiziksel olarak tek bir çözüm varken matematiksel olarak sonsuz çözüm uzayı getirmektedir. Statikçe kararsız olan sistemi çözmek için nümerik hesaplama kolaylığı sebebiyle giriş teorisini doğrudan kullanan sertlik yönteminin incelenmesi ve dingil ağırlıklarının dağılımlarının TruckMaker programındaki değerlerle karşılaştırılması gerekmektedir. Sistemin fonksiyonel çalışmasını etkileyen diğer etkenler olarak araç hızı, park freni, çekiş gücü kontrolü sinyalleri ve araç kontak sinyalleri olarak belirlenmesi öngörülmüştür. Bu nedenle bu etkenlerin sisteme olan etkileri sistemin fonksiyonel gereksinimleri başlığı altında incelenmelidir.

Sistem algoritması olarak durum-akış diyagramı tasarımı uygun görülmüştür. Sistemin fonksiyonel gereksinimlerini karşılayacak durum-akış diyagramının oluşturulması için taşıtın hangi durumlarda (dingil konumları, araç hızı, kaygan yüzey vs.) olduğu önceden belirlenmeli ve analizler buna göre yapılmalıdır.

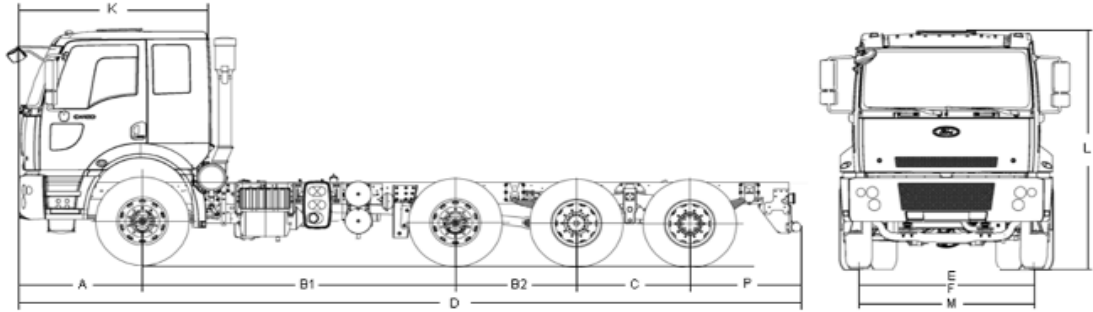
Sistemin taşıta uyarlanması aşamasında, dingillere bağlı olan süspansiyonlardaki sıkışma miktarlarını ölçmek için maliyet ve performans açısından deplasman sensörleri kullanılmalıdır. Bu sensörler metric deplasmana karşılık olarak 0 ile 5 Volt arasında gerilim çıkışı vermektedir ve kullanılacak işlemcinin analog girişlerine bağlanırlar.

Prototip taşıtta kullanılacak işlemcinin hızlı prototiplemeye uygun olarak seçilmesi gerekmektedir. Bu nedenle PI INNOVO firmasında m250 model openECU

elektronik kontrol ünitesi araçta, yazılım geliştirme platformunun SIMULINK olması nedeniyle de, kullanılması öngörülmüştür. Bunun yanında işlemcide koşan yazılımın görüntülenmesi ve değişkenlerin kalibre edilebilmeleri için CAN kalibrasyon protokolü aracılığıyla ATIVISION program kullanılabilir.

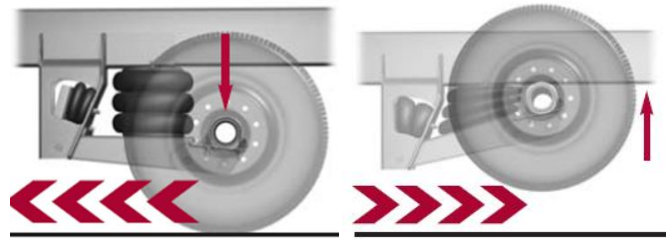
1.3 8x2S Yol Kamyonu İçin Sistem Tasarımı

Prototip olarak seçilen 8x2S kamyon tipi Şekil 1.1'deki gibi dört dingilli, ikinci ve dördüncü dingilleri kaldırılabilir olması açısından diğer araç modellerine göre en karmaşık olanıdır. Buradaki amaç bu tipteki bir araçta yapılan sistemin diğerlerine uyarlanmasının daha kolay olmasıdır.



Şekil 1.1: 8x2S yol kamyonu dingil dizilimleri.

Kısaca kaldırılabilir dingiller tanıtırırsa; ikinci dingil kendinden dümenli bağımsız ve havalı süspansiyona sahip bir dingildir. Şekil 1.2'de görüldüğü gibi dingilde kaldırma körüğü ve süspansiyon körüğü bulunmaktadır.



Şekil 1.2: Kendinden dümenli dingil kaldırma mekanizması.

Şekil 1.2'den de görüldüğü gibi dingil yerde iken kaldırma körüklerine hava gitmemektedir. Aracın kabininde bulunan dingil kaldırma butonuna basıldığı zaman buton solenoid valfin beslemesini geçirir ve valf de hava geçişine izin vererek kaldırma körüklerini hava ile doldurur. Bu durumda aradaki mekanik bir valf süspansiyon körüklerine giden havayı boşaltarak dingilin kalkmasına neden olur.

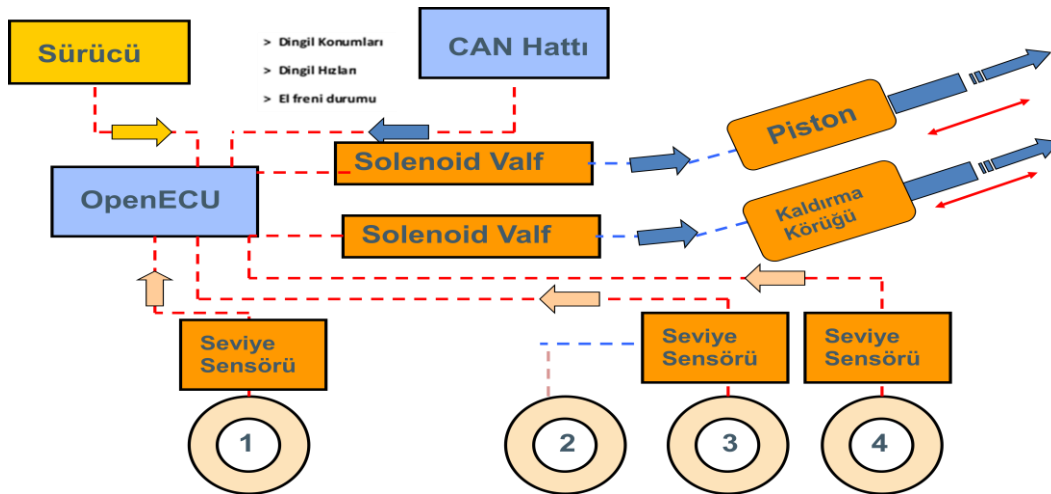
Aracın dördüncü dingili ilave dingil diye adlandırılır. Bu dingil mekanik yaprak yaylar vasıtasıyla şasiye bağlanır. Bu nedenle dingilin kaldırılabilmesi için Şekil 1.3’de görüldüğü yay ataletini de yenebilecek güçte bir mekanizma tasarlanmıştır.



Şekil 1.3: İlave dingil kaldırma mekanizması.

Aynı şekilde kabin içindeki dingil kaldırma butonuna basıldığında pistonlar ileriye doğru hareket ederek mili saat yönünde döndürmeye başlar. Bu sırada aktüatör kol dikey oluşun yukarı limit noktasına dayanır ve dingili kaldırmaya başlar.

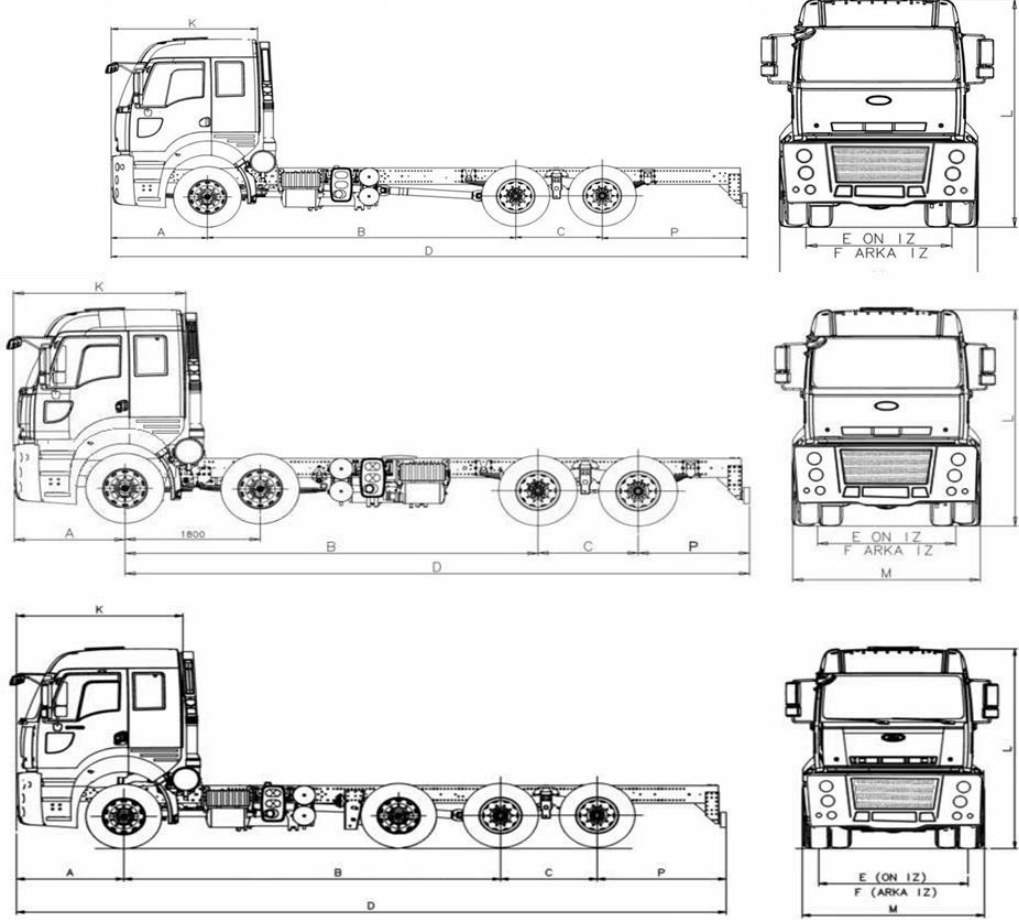
Güncel dingil kaldırma mekanizması sürücünün kontrol ettiği butonlar vasıtasıyla olmaktadır. Yeni sistem dingil indirme komutlarının sürücünün insiyatifinden alınarak bir elektronik kontrol ünitesi tarafından kontrol edilmesidir. Bu durumda sürücü dingili kaldırmak için butona bassa dahi dingil kalkmayacaktır. Bu mantığa göre sistemin üst-seviye genel tasarımı Şekil 1.4’teki gibi olacaktır.



Şekil 1.4: Sistem genel diyagramı.

1.4 Taşıt Analizi

Giriş bölümünde verilen otomatik dingil indirme sisteminden etkilenen araç tablosu daha kısa bir ifadeyle anlatılacak olunursa, ilave dingili olan bütün araç tipleri sistemden etkilenmektedir. Dingil düzeneklerine göre belirtmek gerekirse 6x2, 8x2S ve 8x2C araç tipleri sistemden etkilenmektedir. Bu araç tipleri göz önünde bulundurulduğunda ise 3 çeşit süspansiyon düzeneği ile karşılaşılır; ön dingil süspansiyon makası (parabolik, yığma), kendinden dümenli dingil süspansiyon körüğü (havalı süspansiyon) ve en arkadaki 2 dingil olan canlı ve ilave dingili birbirine bağlayan terazi sistemi. Bütün araçların ön dingil süspansiyonları yaprak yay makaslarından oluşmaktadır. Ancak araçların ait oldukları hatlara göre makaslar parabolik veya yığma tipi makaslar olabilmektedir. Bu iki makas tipi arasında ileride de bahsedilecek olan histeresis farkları mevcuttur.



Şekil 1.5: Sistemden etkilenen taşıt çeşitleri, sırasıyla 6x2, 8x2C ve 8x2S.

4 dingile sahip taşıtlarda dönüş kabiliyetlerini arttırmak için 2. dingillerin de dönebilen dingil yapısında olması tercih edilir. 8x2C araçların 2. dingilleri dönüş kabiliyetlerini direksiyona bağlı olan pistonlardan alırken, 8x2S araçların 2. dingilleri kendinden dümenli dingil yapısındadır. Bunun nedeni Şekil 1.5'te de görüldüğü gibi 8x2C araçlarında 2. dingilin ön dingile olan uzaklığı daha yakındır ve dönüş cevabı çok daha hızlı olmalıdır. Bunun dışında bütün bahsi geçen araçların son iki dingil süspansiyonları birbirlerine terazi sistemine bağlıdır ve makas olarak yığma makas yapısı kullanılmaktadır.

1.5 Süspansiyon Analizi

Taşıt dinamiği açısından herhangi bir motorlu taşıtta süspansiyon sisteminin iki temel fonksiyonu vardır.

- Araçtaki üst yapı (şasi, gövde vs.) ve alt yapı (dingil, taker vs) yüklerinin dikey yönde uyumlu çalışmasını sağlayan, dikey yönde hareket edebilen bir elemanın varlığını sağlar. Böyle bir eleman sürüş esnasında tekerlerin bozuk, dengesiz yollarda yol ile temas edebilme kalitesini, dolayısıyla üst kütlenin sürüş kalitesini artırır.
- Sürüş esnasında, viraj alımı, boylamsal yönde negatif veya pozitif ivmelenme esnasında teker ve dingil bağlantılarında oluşan momentlerin üst yapı ve alt yapı arasındaki iletimini sağlar.

Ancak süspansiyon sistemleri tasarlanırken, tasarımcılar yukarıda bahsedilen maddelere ek olarak bir takım istenen karakteristikleri de karşılayacak şekilde tasarımlarını getirmelidirler. Sternberg[3], ağır ticari taşıtlarda süspansiyon fonksiyonlarını ve istenen karakteristikleri aşağıdaki gibi listelemiştir.

Süspansiyon fonksiyonları,

- Yüğü taşıması
- Devrilmeye karşı dayanıklılık
- Boyuna yönde ivmelenme esnasında dingil ve şasi arasında kuvvet transferi sağlama

- İvmelenme torkuna karşı koyma
- Kaliteli sürüş ve konfor sağlama
- Dönebilen dingillerde (genelde ön dingil) uygun kaster açısı sağlama
- Dingillerin birbirlerine paralel ve şasi kollarına dik konumlanmasını sağlama
- Kardan milinin (güç aktarım mili) araç boyunca dalgalanmasını (esnemesini) önleme
- Tandem dingillerde, dingiller arası yük transferini hareket esnasında uyumlu bir şekilde sağlama

Süspansiyon sistemi tasarlanırken istenen özellikler

- Taşıt dengesini sağlayacak şekilde deplasmanın maksimum seviyede olması
- Minimum ağırlık
- Düşük bakım ve işleme maliyeti
- Teker aşınmasını minimize etme (tekerlerin yere tam olarak basmasını sağlayarak)
- Düşük üretim maliyeti
- Aracın yüklü ve yüksüz durumlardaki doğal frekansları arasındaki farkı minimize etme

Farklı taşıt tipleri için dizayn edilmiş bir çok çeşitte süspansiyon tipleri vardır[2]. Bu çalışma doğrultusunda belirli süspansiyon çeşitleri incelenmiştir. Ağır ticari taşıt süspansiyonlarının analiz ve modellenmesinde iki genel yöntem kullanılır. Bu yöntemler, doğal olarak, analitik yaklaşım ve deneysel yöntemleridir. Analitik yaklaşımda süspansiyon modelinin değişken ve değişken olmayan parametreleri arasındaki matematiksel ilişki statik, dinamik ve malzeme biliminin teorik uygulamalarından elde edilir. Buna karşılık olarak deneysel model sadece ilişki

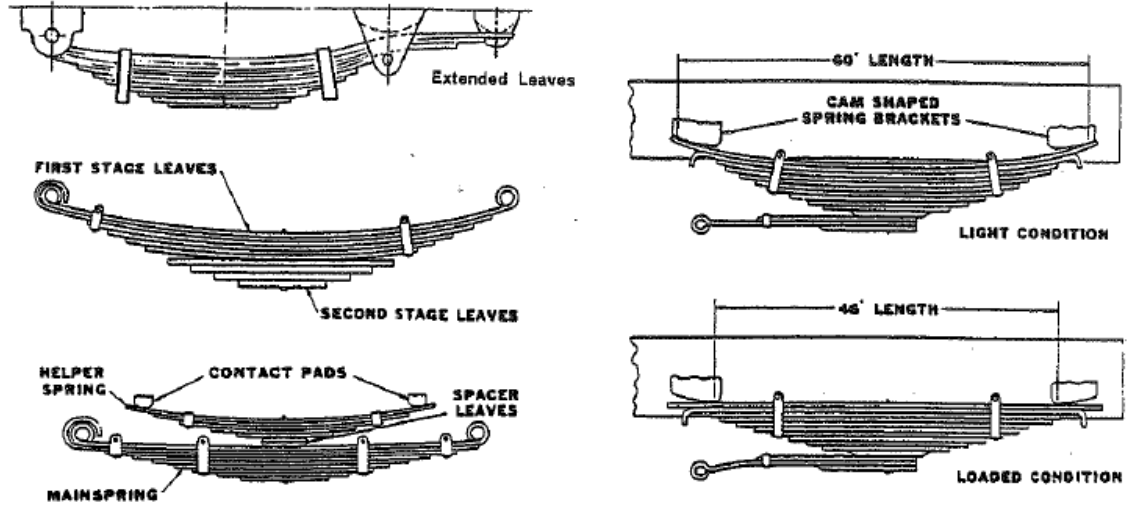
fonksiyonundaki değişken ve değişken olmayan parametrelerin tanımlanmasına ihtiyaç duyar, bu parametreler arasındaki ilişki doğrudan test ölçümlerinde elde edilir.

Her yaklaşım tipinin kendine göre avantajları vardır. Genelde deneysel yaklaşım, sistemin simülasyonlara daha kolay uygulanması ve sistemin performansının taşıt üzerindeki etkisini gerçek zamanlı olarak görülmesi gerektiği durumlarda tercih edilir. Bunun yanında deneysel çalışmalarda yapılacak sistemde ne kadar fazla parametre tanımlanırsa o kadar deney yapılması gerekecektir. Ayrıca deneysel çalışma süspansiyon yapısını anlama konusunda limitli bir yaklaşımdır.

Analitik model ise süspansiyon performansını anlama ve geliştirme çalışmalarında tercih edilir. Bunun yanında analitik model, deneysel çalışmalar ile ölçülemeyen parametrelerin analizde kullanılmasını da sağlar. Buna karşılık olarak otomatik dingil indirme sisteminde süspansiyonların ağırlık modelleri çıkarılırken, terazi sistemi dinamik modelinin statik modeli yansıtmaması, üretim toleransları ve makas histeresislerinden ötürü deneysel yaklaşımda bulunulmuştur.

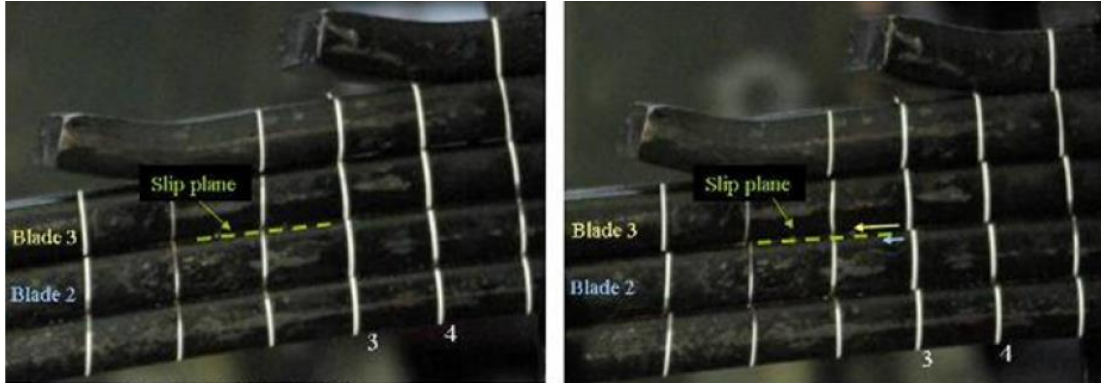
Ağır ticari araçlarda yay elemanının binek taşıtlarındakilerden farklı olarak önemli bir performans gereksinimi vardır o da ağır yükleme durumlarında süspansiyonun çalışması gerektiğidir. Bu nedenle bölüm başında bahsedilen iki temel fonksiyonel tasarım gereksinimlerini karşılama konusunda performans kaybına uğrayacaktır. Öyle ki, tasarımcı araç boş veya hafif yüklü iken sürüş kalitesi açısından makas sertlik katsayısını düşük tutabilir. Ancak yüklü araç aynı sürüş kalitesi göz önünde bulundurulduğunda daha sert makasa ihtiyaç duyar. Bunun yanında aracın yüklü/yüksüz durumlarındaki sürüş yüksekliğinde aşırı farkı önlemek, sert makasın kullanılmasındaki tercih sebeplerinden birisidir. Ayrıca sürüş esnasında devrilme dayanıklılığını sağlamak adına sert makas kullanımı daha uygundur. Ancak sert makasın araç boş iken sürüş kalitesi, yol tutuş ve konforunu önemli bir biçimde düşürdüğü de önemli bir noktadır. Şekil 1.6'da gösterilen makas tipleri araç boş iken veya hafif yüklü iken normal makas çalışması mevcuttur. Araç yüklendikçe meydana gelen çökmeden dolayı yardımcı makas devreye girer ve makas sertlik katsayısını artırır. Bu tür dizaynlar yukarıda bahsedilen soruna çözüm niteliğinde getirilmiştir.

Ticari taşıtlar düşünüldüğünde, mekanik yaylar (makas) diğer taşıt tiplerine göre daha karmaşık yapıya deplasman-kuvvet ilişkisine sahiptirler.



Şekil 1.6: 2 segmentli sertliğe sahip ön dingil yığma makas tipleri.

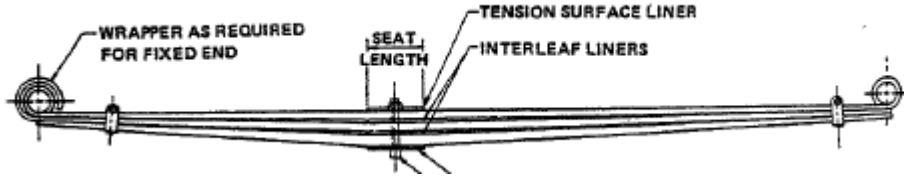
Bunun nedeni makasın enerjisi sönmeyen karakteristiğe sahip olmasıdır (Columb sürtünmesi). Şekil 1.7’de görüldüğü gibi makas 677 kg’dan 4105 kg’a yüklendiğinde makas katmanları arasında kaymaya bağlı sürtünme kuvvetleri oluşur. Bu nedenle makas yüklendikten sonra tekrar boşaltıldığında makas önce üzerindeki sürtünme kuvvetinden yük azalmasına rağmen deplasman aynı kalmaktadır. Bu durum deplasman-kuvvet eğrisinde histeresise neden olmaktadır.



Şekil 1.7: Yükleneğe bağlı olarak katmanlar arasında meydana gelen kayma.

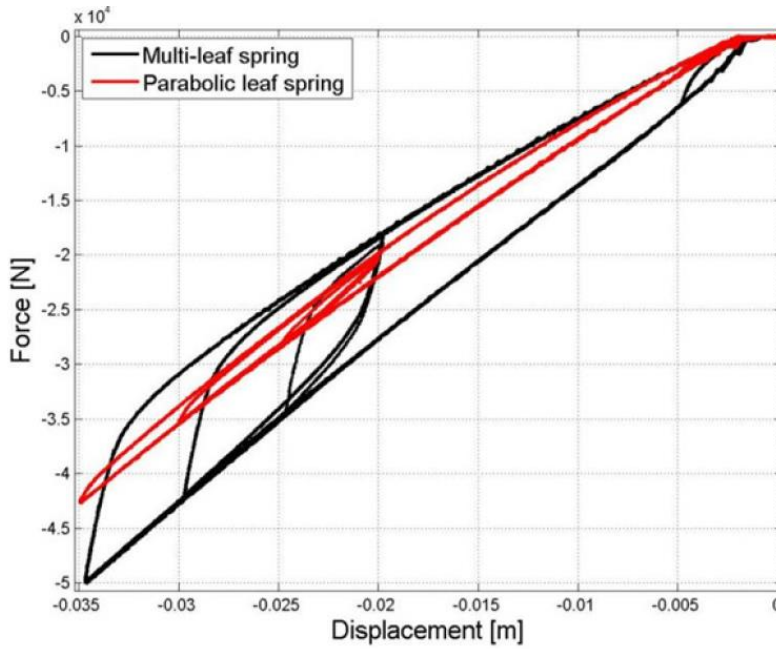
Bu durum taşıt süspansiyonunun sönmeye katsayısı ile birlikte sürüş yüksekliğini de belirlemektedir. Bu durumun önüne geçmek adına parabolik makas tasarımı yapılmıştır. Parabolik makaslarda katmanlar orta noktalarından uç noktalarına kalından inceye doğru gidecek şekilde üretilir. Katmanlar arasında orta bölgede bırakılan boşluk sayesinde katmanların incelmiş bölümler arasında boşluklar oluşur. Şekil 1.8’de parabolik makas’ta da görüldüğü gibi bu boşluklar sayesinde makas

yüklendiği zaman makas sıkıştığı zaman katmanlar arasında sürtünme meydana gelmeyecek ve histeresis etkisi oldukça azalacaktır.



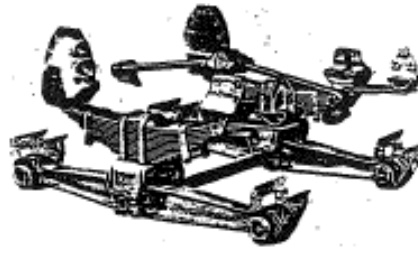
Şekil 1.8: Ön dingil parabolik makas tasarımı.

Şekil 1.9'da ise parabolik ve yığma makas tipleri arasındaki histeresis farkları yapılan rig testi sonucu elde edilmiştir.

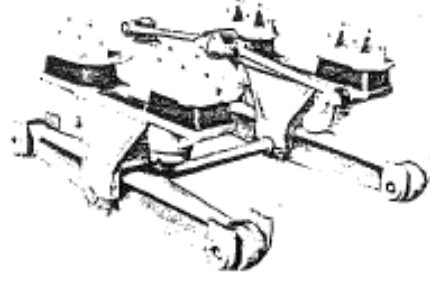


Şekil 1.9: Parabolik ve yığma makas histeresis eğrileri.

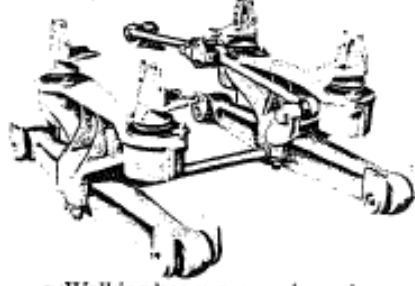
Arka makas gruplarında ise yönetmelik gereği dingiller arası yük dağılımı-paylaşımını sağlayan, canlı dingil ile ilave dingili birbirine bağlayan mekanizmaya sahip süspansiyonların tasarlanması gerekmektedir. Bu durumun en önemli sebebi dengesiz yükleme durumlarında dingillere düşen ağırlıkların da yine aynı şekilde orantısız olması ve bir dingile düşen aşırı yükün yola vereceği zarardır. Bu nedenle ağır ticari taşıtlarda arka süspansiyonlar tandem süspansiyon yapısında tasarlanmaktadır. Şekil 1.10 ve 1.11'de görüldüğü gibi birçok çeşitlilikte tandem süspansiyon olmasına rağmen, Şekil 1.12'deki 'walking-beam' ve 'four-spring suspension' tandemleri yaygın olarak kullanılır.[1]



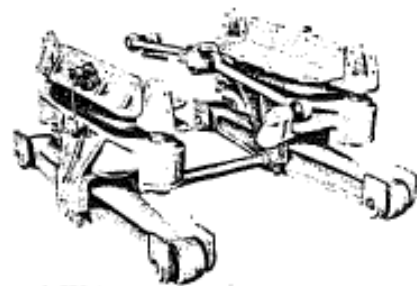
a. Walking beam suspension using extended (multi-stage) leaf springs



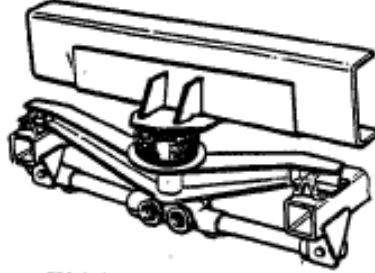
b. Walking beam suspension using rubber in compression for springing



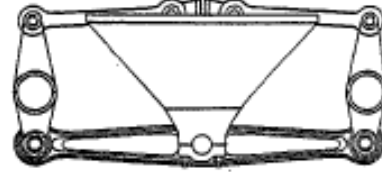
c. Walking beam suspension using rubber in shear for springing



d. Walking beam suspension using air springs



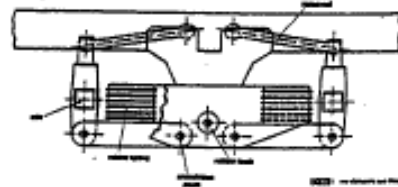
e. Walking beam suspension using a rubber element for spring and pivot



f. Walking beam suspension with no springs



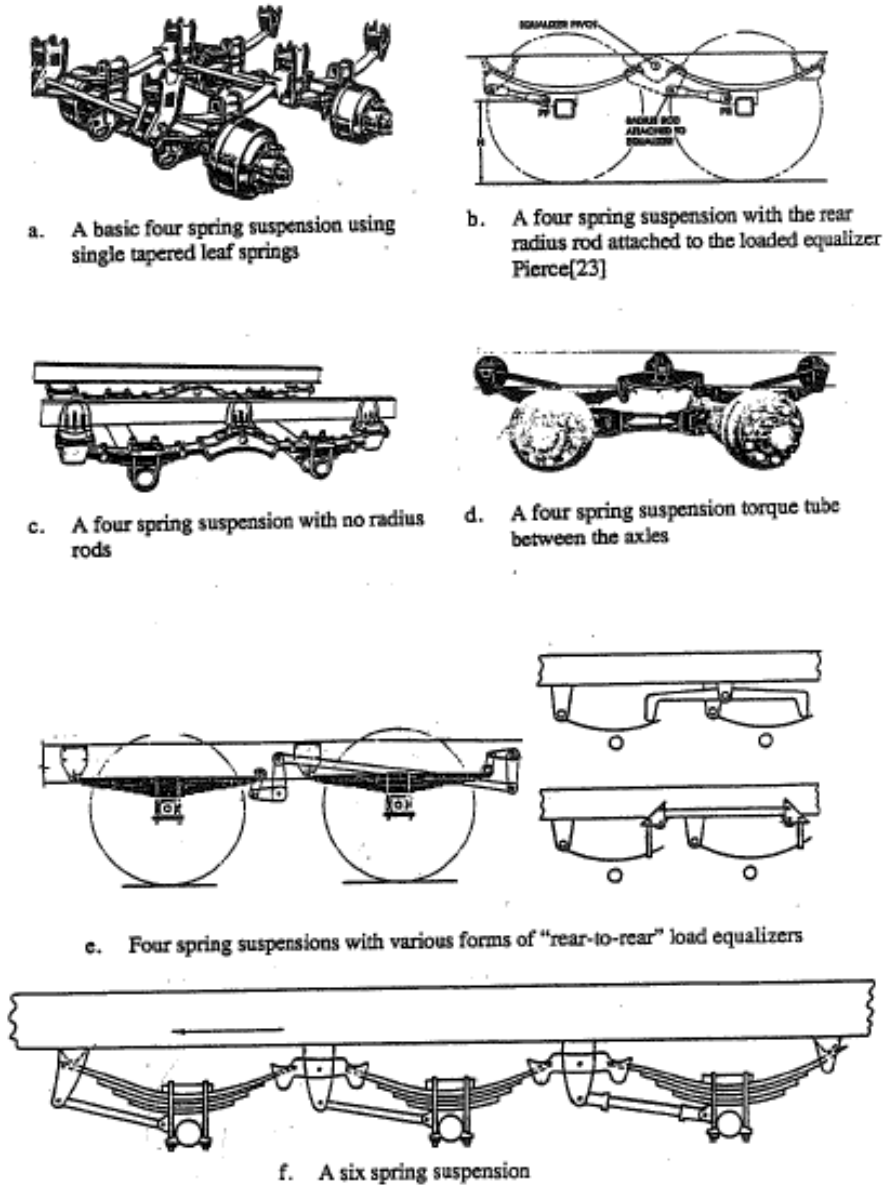
g. Walking beam suspension with a two stage spring arrangement



h. "Dynamalastic" variation on the walking beam suspension

Şekil 1.10: Tandem Süspansiyon çeşitleri.

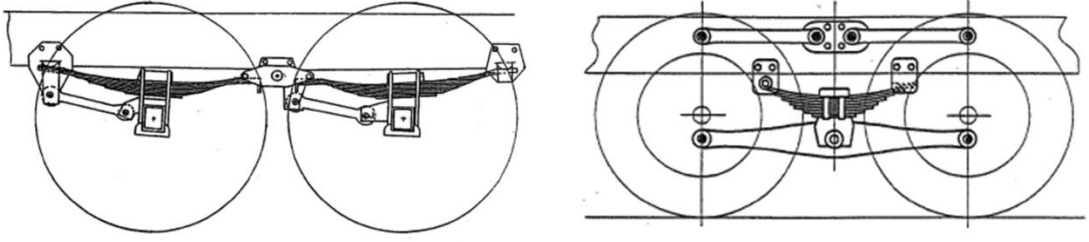
Walking Beam süspansiyon ile merkez pivotu iki dingilin arasındaki kirişin altına bağlanılarak yük dağılımı sağlanır. Bu tip süspansiyon iki dingil arasındaki bağlantıyı doğrudan, başka ara bağlantılar olmadan yaptığı için yük dağılımı oldukça sağlıklıdır. İki dingili birbirine bağladığı için ilave dingili olan taşıtlarda kullanılamaz. Bu nedenle genellikle off-road kullanımlara açık olan 6x4, 8x4 inşaat serisi taşıtlarda tercih edilir. Son zamanlarda görülen ters parabolik walking-beam süspansiyon mekanizması da yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır



Şekil 1.11: Tandem süspansiyon çeşitleri -2.

Bunun dışında walking-beam havalı süspansiyon, rubber ve hiçbir yay elemanı olmayan walking-beam'ler de kullanılmaktadır.

Four-spring süspansiyonda yük dağılımı makasların arasına konulan terazi sistemi ile sağlanır. Walking beam süspansiyonun sağladığı yük akışını ve dağılımını vermese de düşük üretim maliyeti, ağırlığının daha az olması ve bakım maliyetinin düşük olması nedeniyle özellikle inşaat serisi olmayan yol kamyonlarında oldukça yaygın olarak kullanılırlar. Bu durumda terazi kolları arka ve ön tarafa farklı uzunluklarda tasarlanarak canlı dingile daha fazla yük binmesi sağlanarak kalkış gücünde artış sağlanabilir.



Şekil 1.12: Tandem (solda) ve Four-spring süspansiyon çeşitleri.

Yol ve inşaat serisi kamyonlarda teker aralığı (ön dingil – canlı dingil arası) uzunluğu 6000 mm'ye kadar ulaştığı için özellikle 4 dingilli taşıtlarda taşıtın dönüş kabiliyeti gereksinimi ön plana çıkarmaktadır. Bu nedenle bu tür taşıtlarda dingil yerleşimlerine göre 2. Dingiller dönebilme kabiliyeti olacak şekilde tasarlanırlar. Kendinden dümenli dingilde önceden de bahsedildiği gibi havalı süspansiyon körükleri bulunmaktadır. Şekil 1.5'teki 8x2S taşıtındaki konumu göz önünde bulundurulursa kendinden dümenli dingil arka dingil grubunun bir üyesi olarak kabul edilebilir ve yük dağılımının sağlanması bu dingil için de geçerlidir. Genel olarak havalı süspansiyonların tasarımında sürüş yüksekliğini ve körük sertliğini sağlamak adına yükseklığe bağlı olarak körüklere giden hava basıncını kompanze eden bir seviye valfi bulunur. Bahsi geçen körüklerde ise bu valf canlı dingilin seviyesini ölçmektedir. Böylece canlı dingile yük bindikçe valf körüklerdeki hava basıncını arttıracak, körüklerin taşıdığı yük artacak ve canlı dingile binen yük tekrar azalarak kompanze olacaktır. Şekil 1.13 seviye valfinin taşıta montajı görülmektedir.



Şekil 1.13: Seviye Valfi canlı dingil bağlantısı.

Aşağıdaki Tablo 1.'de seviye valfinin kol açısına göre hava körüklerine sağladığı hava basıncı değerleri verilmiştir.

Çizelge 1.2: Mekanik seviye valfi çalışma değerleri.

Valf yatay kol açısı	Düşük basınç	Yüksek Basınç
-13	0	0.08
-9	0.33	0.45
-5	0.57	0.69
-1	0.74	0.87
+3	0.9	0.96
+7	0.97	1
+11	0.97	1

Tablodan da görüldüğü gibi valf, canlı dingilin yaptığı deplasman değerinde aldığı yatay kol açı değerine göre süspansiyon körüklerini belirli bir hava basıncı aralığındaki bir basınçla beslemektedir. Bu nedenle süspansiyon körükleri canlı dingilin deplasmanına göre ağırlık taşıyacak, ancak kesin olmayan basınç değerleri doğrultusunda taşıyacağı ağırlık değerinde sapmalar gösterecektir. Bu durumun araç dinamiğine ve sürüşüne olan etkisi çok büyük olmasa da dingil ağırlıklarının hesaplanmasında hata payının oluşmasındaki en büyük etken olacaktır.

Taşıtlardaki süspansiyon birimlerinin analizi tasarlanacak sistemde alınacak olan aksiyonların belirlenmesi açısından önemlidir. Örneğin, makaslardaki histeresislerin varlığı yazılımsal olarak çözülmesi gereken bir problemdir. Bir başka örnek verilmek istenirse terazi sistemine bağlı dingillere düşen ağırlıkların tahmin edilmesinde her iki dingile bağlanan sensörlerden alınacak verilerin korelasyonunun kullanılacak olması burada yapılan analizlerin sonucudur.

2. DİNGİL YÜKÜ DAĞILIMI MODELLEMESİ

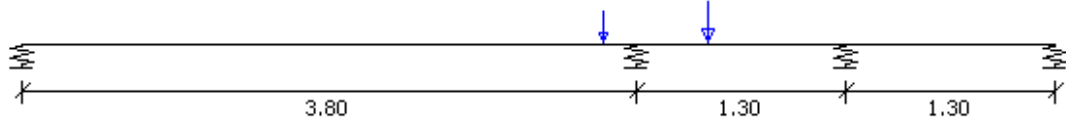
2.1 Amaç

Sistemin algoritma testlerinin yapılabilmesi için araç üzerinde testlerin yapılması ve gerekli dingil ağırlık tahmin modellerinin çıkarılmasını beklemek zaman kaybı olacaktır. Ayrıca daha kısa sürede parametre optimizasyonu ve tasarlanan algorithmada farklı girişlere göre anlık sistem tepkisini görmek amacıyla simülasyon modellerinin oluşturulması gerekmektedir. Burada bahsedilen model sistemin çalışma prensibine paralel olacak şekilde dingil yüklerinin hesaplanması üzerine olacaktır. Bölüm 2.3'te TruckMaker taşıt simülasyon programı kullanılarak kamyon taşıt parametreleri, yol modellemesi ve sürücü hareketleri tanımlanmış ve SIMULINK'te de algoritma çalışmasıyla uygun sonuçlar elde edilmiştir. TruckMaker programının kullanımının sürüş senaryolarının denenmesi gibi avantajları varken kullanıcıyı algoritmayı test etmesi için programa bağlı hale getirmiştir. Bu nedenle TruckMaker programının yanı sıra söz konusu sistemin çalışma prensibine uygun olacak şekilde SIMULINK'te hızlı prototipleme modeli oluşturulması gerekmektedir. Buradaki en büyük problem önceden tanımlanan araç yükünün dingillere dağılımını hesaplamaktır. Sistem yapısal olarak statikçe kararsızdır ve statik çözümler fiziksel olarak tek bir çözüm varken matematiksel olarak sonsuz çözüm uzayı getirmektedir. Bölüm 2.2'de statikçe kararsız olan kamyon kiriş benzetim sistemini çözmek için nümerik hesaplama kolaylığı sebebiyle kiriş teorisini doğrudan kullanan sertlik yöntemi incelenmiştir.

2.2 Sertlik Yöntemi

Taşıta önceden belirlenmiş bir yük uygulandığında, yükün dingillere olan dağılımını modellemek otomatik dingil indirme system simülasyonunun temelini oluşturmaktadır. Ancak Şekil 2.1'deki kamyon kiriş benzetmesinden de görüleceği gibi kirişin dört destek noktası olduğu için standart statik çözümlerle dingil yüklerinin hesaplanması sonsuz çözüm uzayı verecektir.

Gerçekte fiziksel olarak tek bir çözüme sahip olmasına rağmen matematiksel olarak sonsuz çözüm uzayı sunan sistemler statikçe belirsiz sistemler olarak adlandırılırlar. Bu çalışmada statikçe belirsiz analizinde yani dingil yüklerinin hesaplanmasında sertlik yöntemi kullanılmıştır.

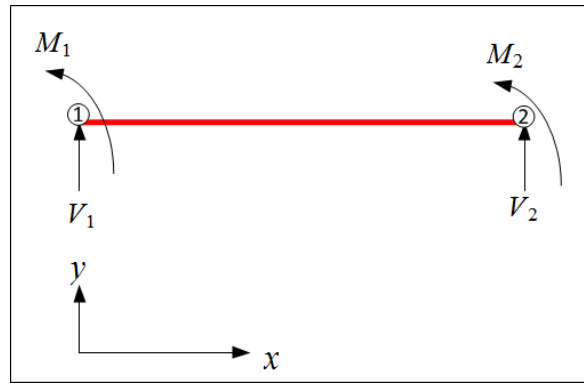


Şekil 2.1: 8x2S kamyon kiriş benzetim modeli.

Sertlik yönteminde kurulan modelde Şekil 2.1’de görüldüğü gibi süspansiyonlar arası kirişlerin ayrı olarak incelenmesi gerekmektedir. Bu 3 tane ayrı kiriş modeli anlamına gelir ve ayrı ayrı hepsinin bulunması gerekir. Kirişlerin sertlik modelleri matris formatındadır ve ayrı olan modeller matris birleştirmesi ile nihai modele varacaktır.

2.2.1 Kiriş sertlik matrisinin bulunması

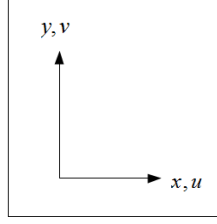
Tek kirişli bir yapı için dört tane serbestlik derecesi tanımlanır: sağ ve sol düğüm noktası için rotasyonel ve dikey yer değiştirmeler. Şekil 2.2 bir kirişe dışarıdan uygulanan kuvvetler için işaret yönünü göstermektedir. Uygulanan momentler saatin tersi yönünde, dikey kuvvetler ise +y yönünde pozitifdir.



Şekil 2.2: Kuvvet yön ve işaret tanımlamaları.

Çözülme istenen parametre boyutsal bir bilinmeyen olduğundan, yer değiştirme uzayı x yönünde x 'e bağlı bir fonksiyon olarak tanımlanabilir. Bu fonksiyon dikey y yönünde olup $v(x)$ olarak adlandırılır. $v(x)$, kiriş boyunca herhangi bir x noktasının

dikey yerdeğiştirmesini verecektir. Şekil 2.3, koordinatlar için kullanılacak notasyonları göstermektedir.

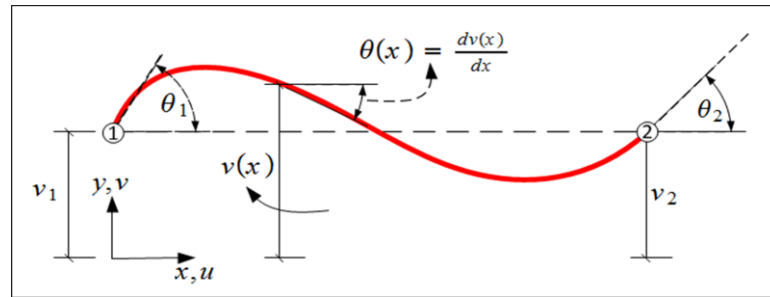


Şekil 2.3: x ve y koordinatları için v ve u notasyonları.

Kirişin herhangi bir x noktasındaki aısal yerdeğiştirmesi denklem (2.1)'te gösterilmektedir.

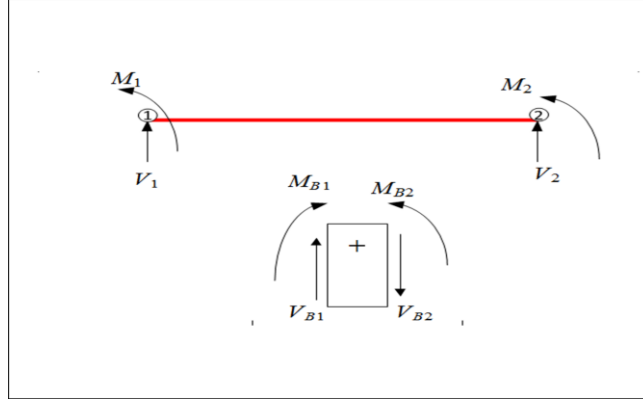
$$\phi(x) = \frac{dv(x)}{dx} \quad (2.1)$$

Buna göre kirişin sol dğum serbestlik dereceleri veya yerdeğiştirmeleri ϕ_1 ve v_1 ; sağ dğimde ise ϕ_2 ve v_2 olacaktır. Şekil 2.5 $v(x)$ ve $\phi(x)$ fonksiyonlarını göstermektedir.



Şekil 2.4: $v(x)$ ve $\phi(x)$ fonksiyonlarının gösterim diyagramı.

Sertlik matrisinin hesaplanmasında, kirişin u noktalarındaki kuvvetler, kiriş teorisi kullanılarak hesaplanır. Bu nedenle bu yöntem *Direct*, yani doğrudan ismini almıştır. Ancak kiriş u noktalarındaki kuvvetler kiriş teorisi ile bulunurken işaret yönleri Şekil 2.2'de gösterilenlerden farklıdır. Yani, kiriş teorisinden elde edilen moment ve kesme kuvvetlerinin (Şekil 2.6'daki M_{B1} ve V_{B1}) işaretleri dışarıdan uygulanan kuvvetlerin işaretlerinden farklıdır. Şekil 2.5'den de grldğu gibi M_1 , M_{B1} 'in ; V_2 ise V_{B2} 'nin tersi ynindedir.



Şekil 2.5: Kiriş teorisi işaretleri.

Bu aşamadan sonraki amaç dışarıdan uygulanan M_i ve R_i yüklerine göre kiriş düğüm noktalarındaki yer değiştirmeyi bulmaktır.

$$\{d\} = \{v_1, \phi_1, v_2, \phi_2\}^T \quad (2.2)$$

Bir başka deyişle “K” sertlik matrisi, “p” ise düğüm noktalarındaki eş değer yükler olmak üzere ,

$$\{p\} = \{R_1, M_1, R_2, M_2\}^T \quad (2.3)$$

$$\{p\} = [K]\{d\} \quad (2.4)$$

(2.4) denklemindeki düğüm noktalarındaki yer değiştirmeyi bulmaktır. Bu durumda (tek kiriş) $[K]$ 4x4'lük matris, $\{d\}$ ve $\{p\}$ 4x1'lik vektör formundadır.

Kiriş teorisinden faydalanılarak elde edilen $[K]$ matrisi E kirişin elastisite modülü, I kirişin ataleti, L ise kirişin uzunluğu olmak üzere denklem (2.5)'teki gibidir.

$$k = \begin{bmatrix} \frac{12EI_z}{L^3} & \frac{6EI_z}{L^2} & -\frac{12EI_z}{L^3} & \frac{6EI_z}{L^2} \\ \frac{6EI_z}{L^2} & 4EI_z & -\frac{6EI_z}{L^2} & 2EI_z \\ \frac{12EI_z}{L^3} & \frac{6EI_z}{L^2} & -\frac{12EI_z}{L^3} & \frac{6EI_z}{L^2} \\ -\frac{6EI_z}{L^2} & 2EI_z & \frac{6EI_z}{L^2} & 4EI_z \end{bmatrix} \quad (2.5)$$

Şu ana kadar çıkarılan sertlik matrisi dört serbestlik derecesine sahip tek kiriş içi hesaplandı. Ancak kamyon kiriş benzetim modelinde üç tane kiriş mevcuttur. Bu nedenle kirişlerin ayrı ayrı sertlik matrisleri çıkarıldıktan sonra global sertlik matris formu oluşturulmalıdır.

Bilindiği gibi her bir sertlik matrisinin elemanı o düğümün serbestlik derecesine ait yerdeğiştirme ile ilişkilidir. Şekil 2.1'deki kamyon kiriş benzetim modelindeki birbirine bağlı sol taraftaki iki kiriş ele alınır ise en soldaki kirişin üçüncü ve dördüncü serbestlik dereceleriyle, ortadaki kirişin birinci ve ikinci serbestlik dereceleri örtüşmektedir. Aynı yapıya bağlı iki sertlik elemanının sertlikleri toplanıp, eşdeğer sertlik ve serbestlik dereceleri belirlenir. Buna göre soldaki iki kirişin birleşiminden oluşan sistemin serbestlik derecesi altı olacaktır. Denklem (2.6)'da oluşan yeni sertlik matrisi gösterilmektedir.

$$K = \begin{bmatrix} k_{11}^1 & k_{12}^1 & k_{13}^1 & k_{14}^1 & 0 & 0 \\ k_{21}^1 & k_{22}^1 & k_{23}^1 & k_{24}^1 & 0 & 0 \\ k_{31}^1 & k_{32}^1 & k_{33}^1 + k_{11}^2 & k_{34}^1 + k_{12}^2 & k_{13}^2 & k_{14}^2 \\ k_{41}^1 & k_{42}^1 & k_{43}^1 + k_{21}^2 & k_{44}^1 + k_{22}^2 & k_{23}^2 & k_{24}^2 \\ 0 & 0 & k_{31}^2 & k_{32}^2 & k_{33}^2 & k_{34}^2 \\ 0 & 0 & k_{41}^2 & k_{42}^2 & k_{43}^2 & k_{44}^2 \end{bmatrix} \quad (2.6)$$

Şekil 2.1'deki en sağdaki kirişin sisteme eklenmesi de aynı şekilde olacaktır ve böylece sistemin son halinin serbestlik derecesi sekiz olacaktır. Burada dikkat edilmesi gereken bir diğer konu süspansiyon sertliklerinin sisteme eklenmesidir. Yapılacak ölçümler taşıtın statik durumunda olduğu için süspansiyon sistemi sadece yay ile temsil edilmiştir. Süspansiyon noktaları gelen kirişin düğüm noktalarına denk gelmektedir ve aracın dikey yerdeğiştirmesini etkileyeceği için matrisle diagonal olarak eklenecektir.

2.2.2 Eşdeğer düğüm kuvvetleri

Kamyon kiriş benzetim modelinin sertlik matrisi hesaplandıktan sonra denklem (2.4)'teki düğüm noktalarındaki yerdeğiştirmeleri bulabilmek için (2.3)'teki ifadenin bulunması gerekmektedir. Düğüm noktalarına tesir eden kuvvetler için düğüm kuvvetleri bellidir. Ancak kiriş üzerinde herhangi bir noktaya tesir eden dış kuvvetin

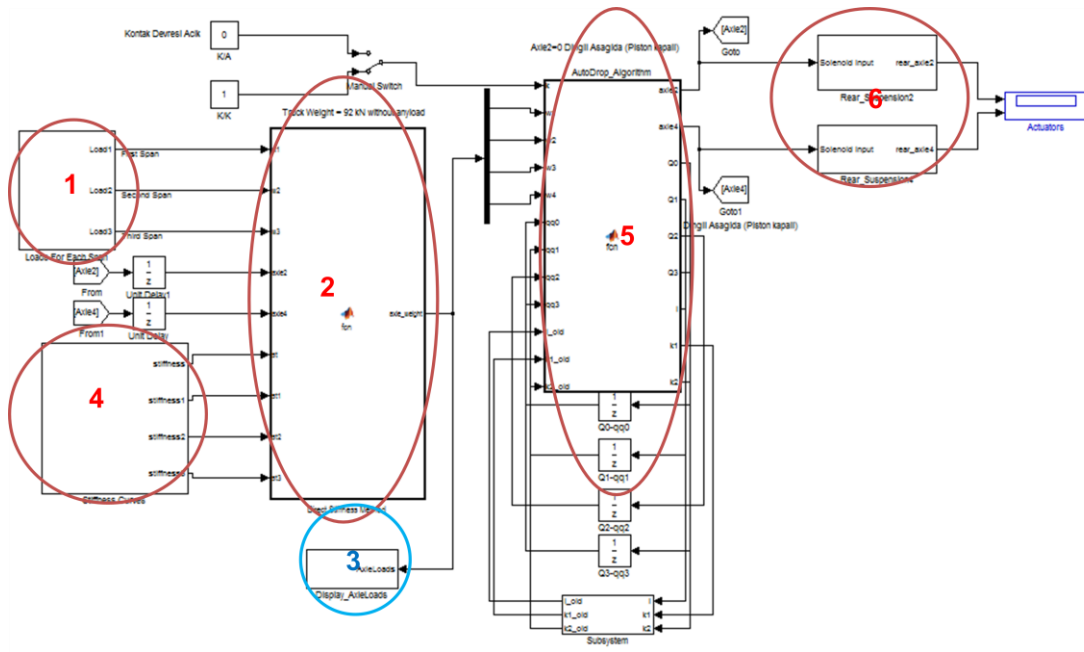
yani taşıt yükünün düğüm noktalarındaki eşdeğer düğüm kuvvetlerinin hesaplanması gerekmektedir.

Kirişin herhangi bir noktasına uygulanan noktasal P_1 yükünün A ve B düğümlerindeki karşılığı denklem (2.7)'de gösterilmiştir.

$$\{d\} = \{v_1, \phi_1, v_2, \phi_2\}^T \quad (2.7)$$

Buna göre denklem (2.4)'teki ifadede artık 'd' yani deplasman bileşeni bulunabilmektedir. Buna göre kiriş üzerindeki yayın sertlik katsayısı ile çarpıldığı zaman dingile denk gelen yük hesaplanmış olunur.

2.2.3 Yazılım geliştirme ve sonuçlar



Şekil 2.6: Sertlik yöntemi için SIMULINK diyagramı.

Şekil 2.6'daki diyagramda iki numaralı alanda sertlik yönteminin önceki bölümlerde anlatılan nümerik hesaplama kodları bulunmaktadır. Yöntemin giriş parametreleri bir numaralı alandaki girişlere uygulanan dış kuvvetler ve dört numaralı alandaki yay katsayılarıdır. Başka bir deyişle taşıt hızlı prototiplemesinde taşıt yükü tanımlanabilirken, yay katsayıları değiştirilebilir ve yay katsayıları sıfır girilerek dingil kaldırma simülasyonları yapılabilir. Beş numaralı alanda sistem algoritması kodlarının simülasyonu eklenmesi gösterilmiştir. Algoritmaya basitçe sertlik

yönteminden hesaplanan dingil ağırlıkları girmekte ve buna göre dingil komutları altı numaralı dingil kaldırma pnömatik sistem modelini sürmektedir.

Oluşturulan modelde elde edilen dingil ağırlık dağılımı tablosu aşağıdaki gibidir. Elde edilen modellerde sisteme girilen ağırlık değerleri ve dingil pozisyonları değiştirilerek dingillere denk düşen dağılımları elde edilmiştir. Çizelge 2.1’de görüldüğü gibi giriş yük değeri ile dingil ağırlıklarının toplamları eşit çıkmıştır.

Çizelge 2.1: Doğrudan sertlik modeli dingil ağırlıkları dağılımı.

Dingil	Toplam	Ön Dingil [t]	2. Dingil [t]	Canlı Dingil [t]	İlave Dingil [t]	Toplam [t]
Hepsi yerde	25.4	5.42	5.96	7.96	6.05	25.4
Hepsi yerde	15.2	3.6	3.6	4.6	3.3	15.2
Hepsi yerde	9.2	2.55	2.27	2.69	1.67	9.2
2 havada	25.4	7.36	-	10.34	7.7	25.4
2 havada	15.2	4.8	-	6.1	4.3	15.2
2 havada	9.2	3.29	-	3.6	2.3	9.2
2-4 havada	25.4	5.4	-	20	-	25.4
2-4 havada	15.2	3.7	-	11.5	-	15.2
2-4 havada	9.2	2.7	-	6.5	-	9.2

2.3 TruckMaker Taşıt Simülasyonu

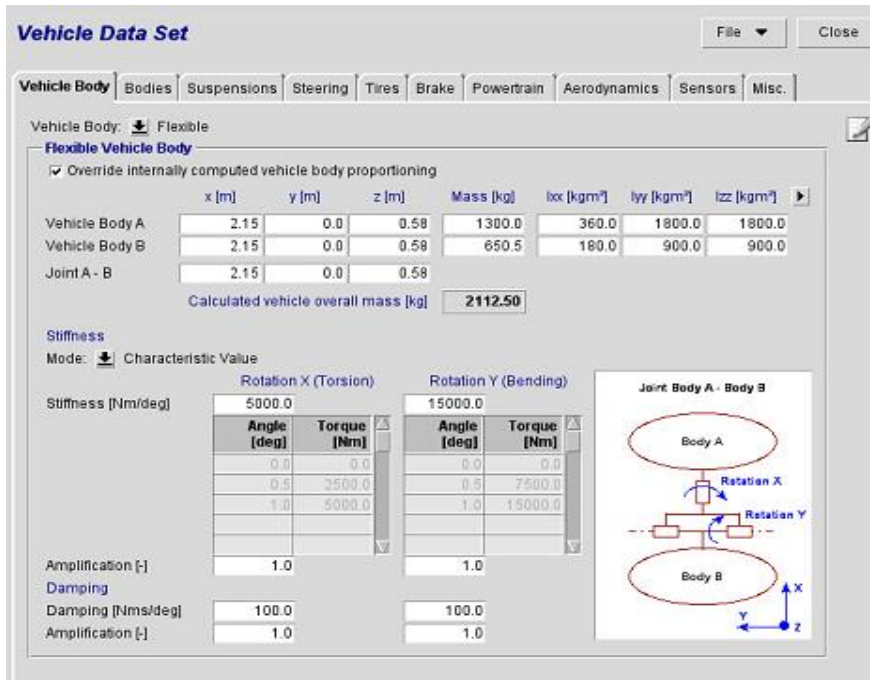
TruckMaker, sistem fonksiyonel modelinin kurulabildiği, taşıt dinamiği verilerinin (bu sistem doğrultunda yayların sıkışma miktarları) simülasyon boyunca elde edilebildiği bir taşıt simülasyon programıdır.

Bu model sayesinde farklı sürüş ve yol senaryolarında da sistemin çalışması incelenebilir ve gerekli düzeltmeler anlık olarak uygulanabilmektedir. Test koşusu hazırlandıktan sonra taşıt dinamiği ve komponent koordinatlarına ilgili veriler programdan temin edilebilmektedir. Bu nedenle taşıt parametrelerinin girilmesi, yol (çevre) özelliklerinin, sürüş manevralarının belirlenmesi ve sistemin fonksiyonel çalışmasını kontrol eden bir SIMULINK diyagramının tasarlanması gerekmektedir. SIMULINK diyagramının tasarımı ileriki bölümlerde gösterilecektir.

2.3.1 Taşıt parametrelerinin girilmesi

Sistemin fonksiyonel çalışmasına uygun olacak şekilde, parametrelerin programa gerekmektedir.

- Powertrain sekmesinden, taşıt güç aktarımı düzeneği 8x2 olarak ayarlanmalı. Böylece diferansiyel ağırlıkları belirlenmeli
- Taşıt gövdesi tek parça şasiden oluştuğu için rijit girilmeli.
- Gövdenin ağırlığı ve taşıt koordinat sistemindeki yeri belirlenmeli, ayrıca ataleti de programa girilmelidir.
- Bodies sekmesinden taşıtın tekerler arasındaki uzaklıklar belirlenmeli ve sıkışmayan birimlerin ağırlıkları girilmelidir.
- Bunun yanında diğer önemli parametre ise süspansiyon katsayılarıdır.

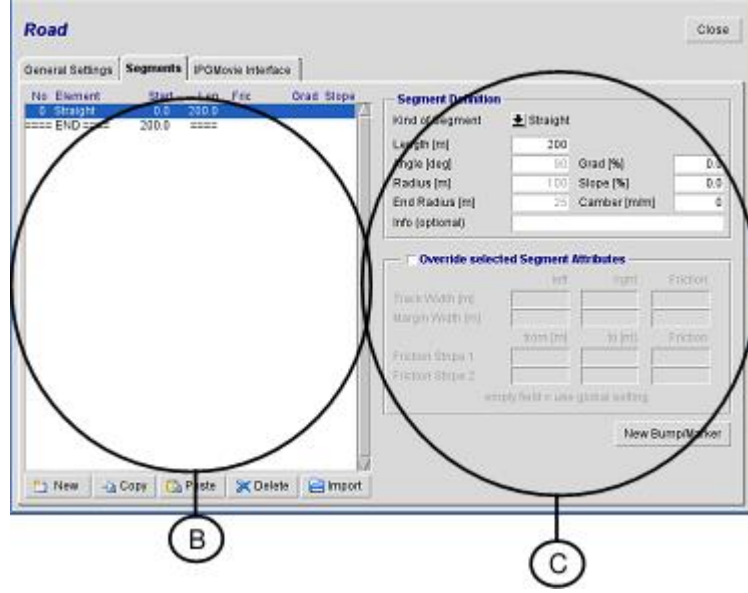


Şekil 2.7: Taşıt parametrelerinin programa girilmesi.

2.3.2 IPGRoad tasarımı

IPGRoad özelliği ile yörünge tasarımı, yol sürtünme katsayısı, tümsek, eğim gibi birçok özellikler kontrol edilerek çevre düzenlenmesi yapılabilir. Yörünge tasarımı

segment tabanlı arayüz veya uzay koordinatlarının listelendiği ASCII dosya formatı oluşturularak yapılabilmektedir. Bu simülasyonda segment tabanlı arayüz kullanılmıştır.



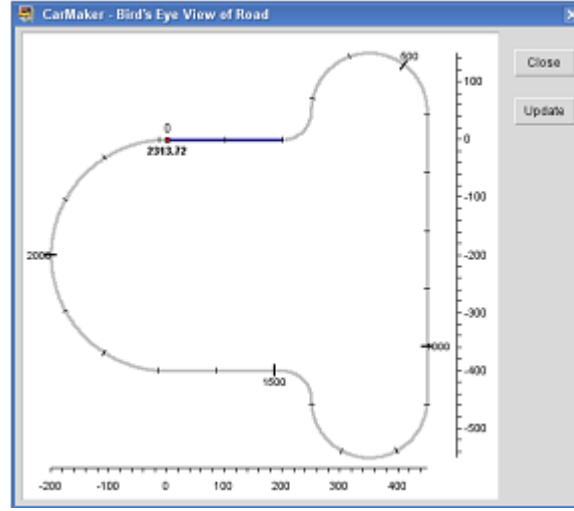
Şekil 2.8: Segment tabanlı yol tasarım arayüzü.

Alan B’de tanımlanan segment listesi görülmektedir. Örneğin bu durumda saece bir segment tanımlanmıştır. Alan C’de ise tanımlanan segmentin düz yol, viraj yarıçapı, açısı, eğimi gibi geometrik özellikleri belirlenir. Bunun yanında yolun genişliği, yol sürtünme katsayısı gibi opsiyonel seçimler de bu alandan yapılır. Bu durumda 200 metre uzunluğunda düz bir yol tanımlanmıştır.

Aşağıdaki segment diziler tanımlanırsa Şekil 2.9 daki gibi kapalı bir yol oluşturulmuş olunacaktır.

- Segment 1: 200 metre düz yol
- Segment 2: Sola doğru yarıçapı 50 metre olan 90 derece viraj
- Segment 3: Sağa doğru yarıçapı 100 metre olan 180 derece viraj
- Segment 4: %10 eğimi olan 100 metrelik düz yol
- Segment 5: 300 metre düz yol
- Segment 6 : -%10 eğimli 100 metrelik düz yol

- Segment 7: Sağa doğru yarıçapı 100 metre , yatay eğimi %25 olan 180 derecelik viraj
- Segment 8: Sola doğru yarıçapı 50 metre olan
- Segment 9: 200 metre düz yol
- Segment 10: Yarıçapı 200 metre olan 180 derecelik sağa viraj

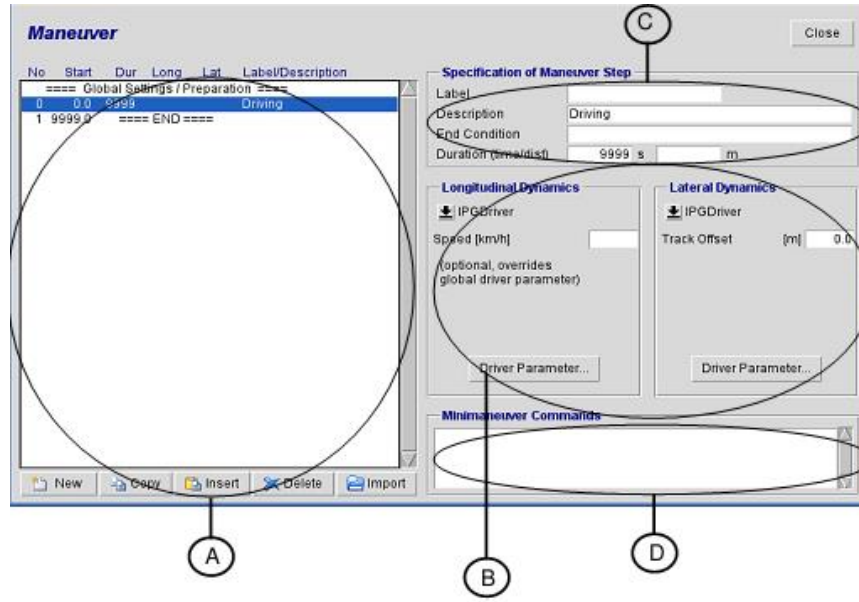


Şekil 2.9: Oluşturulan yolun kuş bakışı görüntüsü.

2.3.3 Sürücü manevra tanımlamaları

Oluşturulan test koşusunda, sürücü hareket tanımlamaları bu bölümde yapılır. Otomatik dingil indirme sistem simülasyonunda zamana ve konuma bağlı otomatik sürücü manevraları tanımlamaları yapılacağı gibi, senaryo serbestliği ve çeşitliliği açısından gaz, fren, debriyaj pedalının SIMULINK'ten elle kontrol edilebildiği *manual* opsiyonu seçilmiştir.

Şekil 2.10 daki arayüzdeki A alanı oluşturulan manevra listeleridir. B alanında sürücünün listede karşılık gelen manevrası için boyuna ve yatay dinamik karakteristiklerini verir. Otomatik dingil indirme sistemi simülasyonu kapsamında yatay dinamikler ihmal edilebilir ve boyuna dinamik davranışları için IPGDriver seçimi manual olarak değiştirilmiştir. Alan C ve D ise tanımlanmış manevraları zaman ve koşula bağlı olarak kontrol edilmesine olanak sağlar.



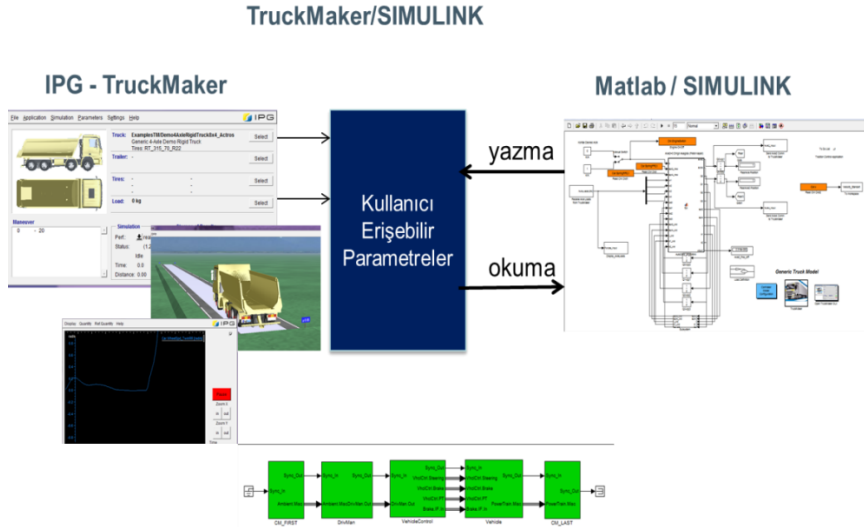
Şekil 2.10: Sürücü manevra tanımlama arayüzü.

2.3.4 TruckMaker ve SIMULINK kullanımı

TruckMaker yazılımı geliştirdiği S-function blokları sayesinde taşıt modelini birçok taşıt simülasyonu programı gibi SIMULINK'e taşıyabilmektedir. Böylece TruckMaker test koşusunda hesaplanan taşıt dinamiği ile ilgili veriler SIMULINK'e aktarılabilir, ilgili birim TruckMaker modelinde devre dışı bırakılabilir ve SIMULINK'te kullanıcının geliştirdiği yazılımda veriler işlendikten sonra tekrar TruckMaker modeline gönderilip taşıt üzerindeki etkisi tekrar geri beslemeli olarak elde edilebilir. Örneğin ABS tasarımında, taşıt teker ve yol arasındaki kayma değeri alınıp, gerekli kontrol sistemi tasarlandıktan sonra giriş ve çıkış valflerinin tetiklenme bilgileri TruckMaker modeline gönderilebilir. Sonuç olarak tasarlanan fren sisteminin performansı taşıt modeli üzerinde görülebilir ve gerekli optimizasyonlar daha kısa içerisinde gerçekleştirilebilir. Şekil 2.11'de görüldüğü gibi SIMULINK ortamında TruckMaker'da tanımlanan kullanıcı erişebilir parametreler okunarak istenilen modelde işlenip taşıt simülasyonuna geri beslenmektedir.

Otomatik dingil indirme sistemi kapsamında oluşturulan modelde sistemin girişleri taşıt simülasyonundan okunup, sistem algoritmasında işlendikten sonra, algoritmanın çıkışları taşıt simülasyonunda dingil pozisyon parametrelerini değiştirmektedir. Bu nedenle modelin oluşturulabilmesi için öncelikle sistemin fonksiyonel

gereksinimlerinin belirlenmesi, buna göre dizaynın getirilmesi ve getirilen dizaynın SIMULINK ortamında modellenmesi gerekmektedir.



Şekil 2.11: TruckMaker/SIMULINK eş zamanlı simülasyon gösterimi.

2.3.5 Sertlik Yöntemi ve TruckMaker karşılaştırılması

Bölüm 2.2.3'te belirtilen taşıt parametreleri TruckMaker'da önceki bölümde gösterildiği şekilde girildiğinde dingil ağırlıkları "Kullanıcı Erişebilir Parametreler" aracılığı ile okunulmuştur. Buna göre 8x2S aracında 1. Durum bütün dingiller yerde, 2. Durum kendinden dümenli dingil havada ve 3. Durum kendinden dümenli dingil ve ilave dingil havada olacak şekilde okunulan verilerde Sertlik Yöntemi ve TruckMaker sonuçlarının karşılaştırılması Şekil 2.12'de verilmiştir.

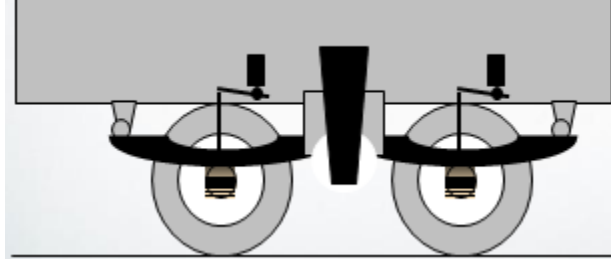
TruckMaker		1. Durum	Sertlik Yöntemi	
Dingil Grubu	Dingil Üzerine Düşen Ağırlık [kN]		Dingil Grubu	Dingil Üzerine Düşen Ağırlık [kN]
1.Dingil	25.36	1. Durum	1.Dingil	26.98
2.Dingil	40.15		2.Dingil	37.45
3.Dingil	46.91		3.Dingil	48.84
4.Dingil	27.06		4.Dingil	28.73
Dingil Grubu	Dingil Üzerine Düşen Ağırlık [kN]	2. Durum	Dingil Grubu	Dingil Üzerine Düşen Ağırlık [kN]
1.Dingil	44.73		1.Dingil	43.24
2.Dingil	0		2.Dingil	0
3.Dingil	62.61		3.Dingil	61.69
4.Dingil	41.65	4.Dingil	42.07	
Dingil Grubu	Dingil Üzerine Düşen Ağırlık [kN]	3. Durum	Dingil Grubu	Dingil Üzerine Düşen Ağırlık [kN]
1.Dingil	26.56		1.Dingil	28.52
2.Dingil	0		2.Dingil	0
3.Dingil	121.6		3.Dingil	125.5
4.Dingil	0	4.Dingil	0	

Şekil 2.12: TruckMaker/Sertlik Yöntemi dingil ağırlık dağılım sonuçları.

3. SİSTEMİN FONKSİYONEL GEREKSİNİMLERİ

3.1 Dingil Ağırılıklarının Hesaplanması

Dingil ağırlıklarının hesaplanmasının amacı dingil yükleri otoritelerce belirlenen dingil yük kapasitelerini geçtiği zaman sistemi buna uygun olarak davranmasını sağlamaktır. Dingil yük hesaplamaları, Şekil 3.1'deki gösterimdeki gibi şasi ve dingil arasına takılan seviye sensör bilgilerinden faydalanılarak yapılmaktadır.



Şekil 3.1: Seviye sensörleri bağlantı şeması.

Seviye sensörlerinin yatay kolu taşıt yüklendikçe saat yönünün tersi hareketi yapar ve 0 ile 5 Volt arasında gerilim çıkışı verir. Otomatik dingil indirme sistemi aktif olduğunda kullanıcı panelindeki dingil kaldırma butonu aktif hale gelecektir.

DURUM	Dingil Yüğü	Etki	Yeni Durum
	Ön Dingil < 7t Canlı Dingil > 11.5t	İlave Dingili İndir	
	(Ön Dingil < 7t ve Arka Dingil Grubu > 21.5t) veya (Ön Dingil > 7t)	Kendinden Dümenli Dingili İndir	
	Ön Dingil > 7t	İlave Dingili indir eğer limit aşımı devam ediyorsa hepsini indir	

Şekil 3.2: Dingil ağırlıkları fonksiyonel gereksinimleri.

Dingil ağırlıklarının istenilen teknik kapasite limitlerinin altında tutulması taşıt kullanım ömrü açısından oldukça önemlidir. Taşıtlar tasarımları sırasında geçtikleri testlerde genellikle dingillerin teknik kapasiteleri doğrultusunda yüklenirler ve test raporları bu ağırlıklara göre oluşturulur. Bunun yanında yol ömrünün korunması

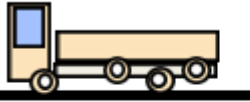
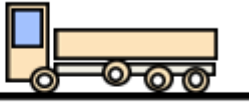
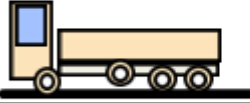
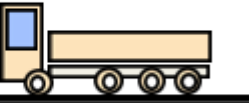
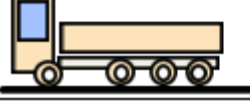
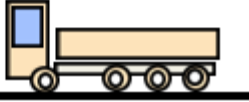
konusunda ağır ticari araçların tekerlerinin basar ağırlıklarının etkisi yapılan araştırmalar sonucu %30'a kadar iyileştirme gösterildiği tespit edilmiştir.

Dingil ağırlıklarının hesaplanmasında hata payı minimuma indirilmesi için hesaplamayı etkileyen faktörlerin de hesaba katılması gerekmektedir. Bu faktörlerden en etkilisi önceden de açıklandığı gibi makas histeresisleri olacaktır. Bu nedenle sistemin hysteresis farkından doğan ölçüm farkını tespit etmesi gerekmektedir.

3.2 Taşıt Kontak Konumu

Dingilleri kaldırmak için kullanılan solenoid valfler ve otomatik dingil indirme sistemi control ünitesi besleme gerilimlerini taşıt kontağından almaktadır. Bu nedenle kontak pasif duruma getirildiğinde dingiller inmekte ve kontrol ünitesi kapatılmaktadır. Ancak başlangıç durumunda bütün dingillerin yerde olması garanti altına alınmalıdır. Bu nedenle kontrol ünitesi kontak pasif konuma getirildiğinde eğer dingil veya dingiller havadaysa hepsi tamamen yere inene kadar açık kalıp durumu gözlemlenmelidir.

Kontrol ünitesinin beslemesinin kesilmesine rağmen açık tutulması *hold PSU* özelliği kullanılarak yapılmaktadır. Buna göre Şekil 3.3'te kontak fonksiyonel gereksinimleri ve sisteme etkisi gösterilmiştir.

TAŞIT DURUMU	Kontak Durumu	Etki	YENİ TAŞIT DURUMU
	Pasif	ECU Açık, İlave Dingili İndir	
	Pasif	ECU Açık, kendinden dümenli dingili indir	
	Pasif	Sistem Pasif, ECU kapat	

Şekil 3.3: Kontak durumu fonksiyonel gereksinimleri.

3.3 Park Freni

Prototip araçta park freni ilave dingile bağlıdır ve çekildiği zaman ilave dingile ait süspansiyon makaslarını kasmaktadır. Bu durum özellikle arka grup yük dağılımını

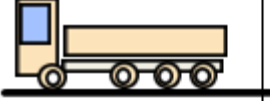
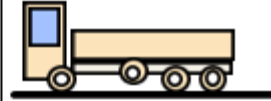


etkilemekte ve dingil yüklerinin hesaplanması konusunda sistemin yanlış hesaplama yapmasına neden olabilmektedir.

Bu nedenle sistem el freni çekili olduğu durumlarda taşıt dingil yüklerinin müsait olması durumunda dahi dingili kaldırmaya müsaade etmeyecek, izni el freni indirildikten sonra verecektir. Park freni bilgisi aracın CAN hattından alınabilmektedir.

3.4 Taşıt Hızı

Taşıt hareketli iken çukur, tümsek, taşıt hareketleri gibi durumların dingillere olan etkisi hesaplanan ağırlığın farklılaşmasına ve sistemin seyir halinde farklı bir karar vermesine neden olabilir. Bu durumu engellemek için taşıt hareketliken taşıt dingil yükleri hesaplanmaz, taşıt durgun halde hesapladığı dingil yüklerini kullanır.

Bunun yanında taşıt hareket halinde belirli bir hızdan sonra havada olan dingilleri indirmek sakınca yaratabilir. Ancak bu hız çok düşük seçilmemelidir çünkü sürücüler fren performansını arttırmak için hareketliken de dingilleri indirmek isteyebilir, iyi seçilmemiş taşıt hızı müşteri memnuniyetsizliği yaratabilir. Yönetmelikte belirtilen 30 km/h hız koşulu sistemin dingil kaldırma butonlarının pasifleştirilmesinde de kullanılmış ve buna göre Şekil 3.4'te taşıt hızının fonksiyonel gereksinimleri listelenmiştir.

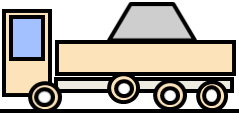
TAŞIT DURUMU	HIZ	ETKİ	YENİ TAŞIT DURUMU
	Araç Hızı < 30 km/h Araç Hızı > 0 km/h Dingil yükleri limitlerinin altında	Dingil Kaldırma yetkisini sürücüye ver. Butonlar aktif	
	Araç Hızı > 30 km/h Dingil yükleri limitlerinin altında	Dingil kaldırma yetkisini sürücüden al. Butonlar pasif	

Şekil 3.4: Taşıt hızının fonksiyonel gereksinimleri.

3.5 Çekiş Gücü Kontrol Desteği

Ağır ticari araçlarda kaygan zeminde kalkışta, taşıt ve yol arasındaki yüzey miktarını azaltma ve tahrikli dingile binen yükü arttırmak dolayısıyla çekiş gücünü arttırmak için kaldırılabilir dingillerin kaldırılması işlevsel olarak yararlıdır.

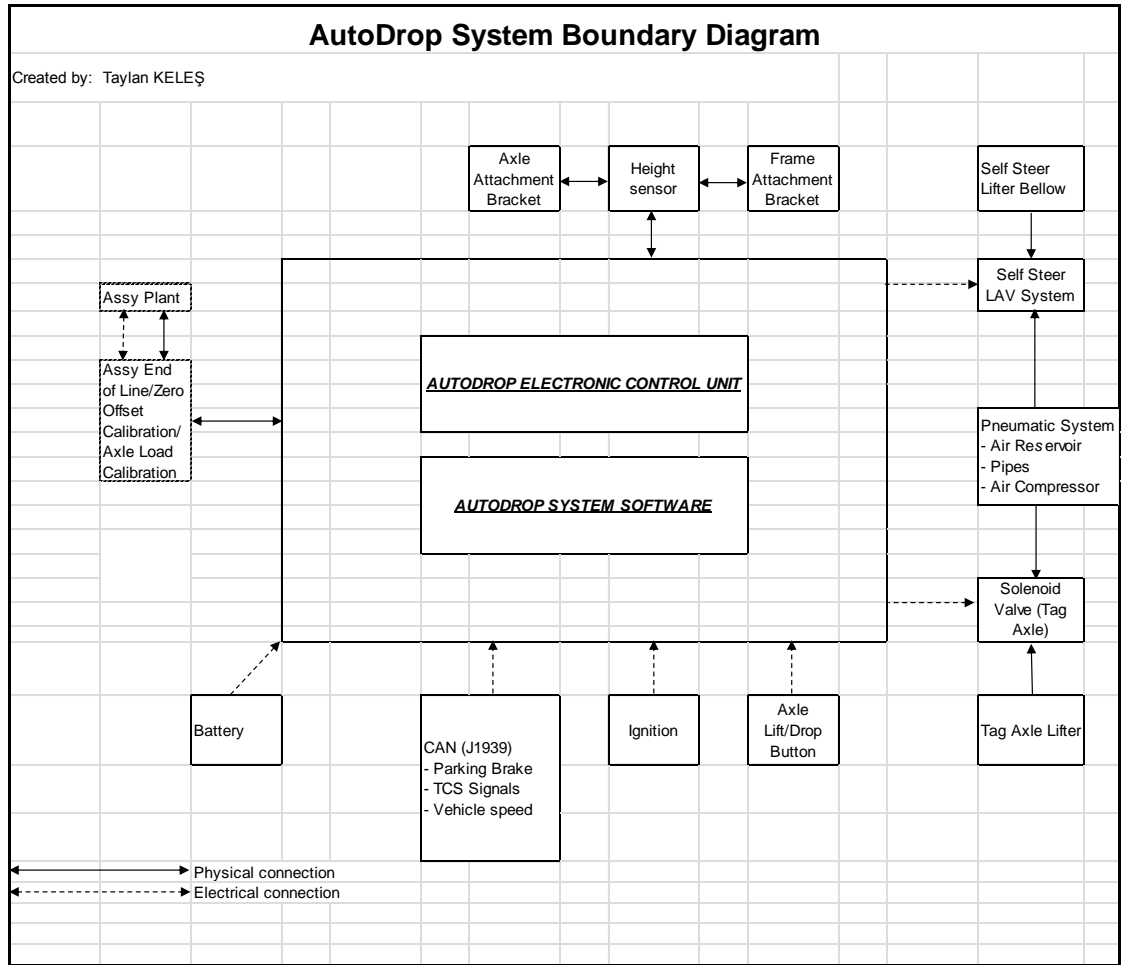
Bu nedenle taşıt dingil yükleri kapasitelerini %30'u aşmayacak şekilde geçse bile sürücüye 30 km/h hıza kadar dingili kaldırabilme yetkisi verilmelidir. Taşıt hızı 30 km/h hızı geçtikten sonra verilen geçici izin geri alınmalı ve dingil otomatik olarak indirilmelidir. TCS desteği fonksiyonel gereksinimleri Şekil 3.5'te listelenmiştir.

DURUM	Dingil Ağırlıkları	Etki	Yeni Durum
	İlave+Canlı Dingil >9t TCS Desteği ON %30 Aşım YOK	Yetkiği Sürücüye Ver	
	İlave+Canlı Dingil >16t TCS Desteği ON %30 Aşım YOK	Yetkiği Sürücüye Ver	
	İlave+Canlı Dingil >16t TCS Desteği ON %30 Aşım VAR	Dingil Kaldırma Butonları Pasif	

Şekil 3.5: TCS destek fonksiyonel gereksinimleri.

4. SİSTEM TASARIM ÖZELLİKLERİ

Süspansiyon analizi, sistemin fonksiyonel gereksinimleri ve yapısı doğrultusunda getirilen sistemin genel dizaynı aşağıdaki diyagramda verilmiştir.



Şekil 4.1: Otomatik dingil indirme sistemi genel diyagramı.

Buna göre sistemi oluşturan çevresel birimler aşağıdaki gibi listelenmiştir.

- Algoritmayı gerçek zamanlı koşturacak ve çevresel birimleri aktive edecek merkezi kontrol ünitesi

- Dingillerin kalkma/inme hareketini sağlayacak solenoid valfler ve işlemci dijital çıkışları
- Kullanıcı dingil kaldırma/indirme isteği bulunmasını sağlayan anlık butonlar ve işlemci dijital girişleri
- Çekiş gücü kontrol sistemi yardım isteği için buton ve işlemci dijital çıkışı
- Süspansiyon dikey hareketini, sıkışma miktarını, algılayan deplasman sensörü ve işlemci analog girişleri
- Taşıt hızı, el freni ve TCS sinyallerini okumak için merkezi işlemci ile taşıt arasında CAN hattı
- Sistemin fonksiyonel gereksinimlerini karşılayacak algoritma durum-akış diyagramı tasarımı
- Kullanıcıya dingilin kaldırma/indirme izni veren/vermeyen bilgilendirme sinyalleri ve işlemci dijital çıkışı.

Buna göre getirilecek dizayn, sensör lokasyonları, dingil ağırlığı fonksiyonlarının çıkarılması ve test planı, anlık buton mantıksal tasarımı, dingil ağırlığı aşım tahmin tasarımını içerecektir.

4.1 Ağırlık Tahmin ve Sensör Lokasyonları

Önceki bölümlerde bahsedilen süspansiyon çeşitlerine göre ağırlık tahmin fonksiyon modelleri de farklı olacaktır. Süspansiyon ağırlığı performansı göz önünde bulundurulduğunda modellerin deneysel çalışmalar sonucunda çıkarılması daha uygundur. Buna göre ağırlık tahmin fonksiyon modelleri makasın seçim miktarını ölçen deplasman sensörü ve ölçülen gerçek dingil ağırlıkları arasında kurulacak korelasyon ile ilgilidir. Giriş bölümünde bahsedildiği gibi deneysel çalışmalarda değişken ve sabit parametrelerin önceden belirlenmesi gerekir. Bu nedenle farklı

süspansiyon modelleri için farklı parametreler dolayısıyla farklı fonksiyonlar belirlemek gerekecektir.

4.1.1 Ön süspansiyon modeli

Ön dingil süspansiyonunda önceden de belirtildiği gibi tek makaslı sistem mevcuttur. Makasın dikey yöndeki deplasman hareketleri başka bir elemandan etkilenmediği için standart lineer tek değişkenli bir fonksiyon yeterli olacaktır. Fonksiyonun giriş argümanı deplasman sensöründen gelen voltaj değeri ve çıkış değeri ise makasın, dolayısıyla dingilin taşıdığı ağırlığı gösterecektir. Sensörün sıfır pozisyonunda da dingil belirli bir ağırlık taşıdığı için fonksiyonda sabit offset parametresi de bulunmalıdır. Buna göre oluşturulan dingil ağırlığı matematiksel fonksiyonu denklem 4.1’de verilmiştir.

$$G_{ön} = av_1 + b \quad (4.1)$$

Denklem 4.1’e göre a ve b katsayılarının bulunması gereklidir. Modelin deneysel yaklaşım ile çıkarılacağı göz önünde bulundurulduğunda farklı ağırlık yüklemelerine karşılık okunan farklı sensör verilerinin kaydedilip, eğri uydurma yöntemi ile katsayıların belirlenmesi gerekmektedir. Bu durum model eğitime verilerinin toplanmasını gerektirir dolayısıyla veri toplama prosedürü tanımlanmalıdır. Veri toplama prosedürü bütün dingillerin modelleri tanımlandıktan sonra belirtilecektir.

Kendinden dümenli dingil ağırlık modeli için ise canlı dingile bağlı olan seviye valfinin çalışma prensibinden yararlanılacaktır. Havalı süspansiyonlarda dingil ağırlık hesaplaması, körüklerdeki basınç ölçülerek, körüklerin basınç-kuvvet eğrisi kullanılarak hesaplanmaktadır. Sistemdeki sensör sayısını azaltmak ve seviye valfinin modüle ettiği basınç değerlerindeki tutarsızlık nedeniyle basınç sensörü kullanmak yerine canlı dingil ağırlığından bir sonuca gitmek farklı sonuç vermemelidir. Bu nedenle sistem dizaynında kendinden dümenli dingilin ağırlık hesaplaması arka dingil grubunun yükünü paylaştığı için arka dingil grubun seviye sensörleri kullanılarak,

$$G_{self} = cv_3 + dv_4 + e \quad (4.2)$$

4.1.2 Tandem terazi süspansiyon modeli

Kendinden dümenli dingil süspansiyon sisteminin ağırlığını canlı dingilin ağırlığına göre modüle ettiği belirtilmişti. Bu nedenle kendinden dümenli dingil ağırlık modelini çıkarabilmek için öncelikle canlı dingil, dolayısıyla arka dingil grubu terazi süspansiyon modelinin çıkarılması gerekmektedir.

Arka dingil grubu terazi sistemi ağırlık modeli için ise farklı bir dizayn getirilmelidir. Süspansiyon analizlerinde de belirtildiği gibi yol durumuna veya taşıtın yükleme durumuna göre terazi sistemi dingillerdeki (canlı ve ilave dingil) yükü eşitlemek için farklı pozisyonda olmaktadır. Bu nedenle örneğin canlı dingil makasının deplasmanı 10 mm ve ilave dingil deplasmanının 15 mm olması ile 12 mm'ye 13 mm olması aynı ağırlıklara denk düşmektedir. Ancak dingiller ön dingil gibi bireysel incelenmiş olsaydı 10 mm ile 12 mm farklı ağırlıklara denk düşecekti. Bu durum yüklemenin veya yol durumundaki dengesizliklerin derecesine göre daha fazla hataya neden olabilmektedir. Bu nedenle canlı ve ilave dingil yani terazinin her iki tarafındaki makaslara bağlı sensörlerden veriler alınarak, terazi yönelimi ölçülerek fonksiyon oluşturulmalıdır. Şekil 4.2'de aynı yük durumlarına karşılık yol durumlarının farklı olmasından kaynaklı farklı terazi pozisyonları gösterilmiştir.

$$G_{canlı} = fv_3 + gv_4 + h \quad (4.3)$$

$$G_{ilave} = jv_3 + kv_4 + m \quad (4.4)$$

Denklem 4.3 ve 4.4'te belirtilen katsayıların bulunması yüzey fonksiyonu uydurması yapılmalıdır. Denklemlere göre canlı dingilin ağırlığı canlı dingile ve ilave dingile bağlanan sensörlerden gelen verilere ve offset parametresine göre belirlenmelidir. Belirlenen fonksiyon parametrelerine göre sistemin farklı terazi pozisyonlarına göre, dengesiz yüklemelere ve bozuk yol durumlarında hata payı daha düşük hesaplamalar yapması beklenmektedir. Süspansiyon analizi bölümünde de anlatıldığı gibi parametre hesaplamaları deneysel yöntemlerle yapılacaktır. Bu nedenle öncelikle gerçek dingil ağırlıklarına karşılık gelen sensör değerlerinin bulunduğu veri seti oluşturulacak ve bu veri seti kullanılarak eğri uydurma yöntemiyle her dingil için ilgili parametreler hesaplanacaktır.



Şekil 4.2: Farklı yol durumlarına göre farklı terazi yönelimleri.

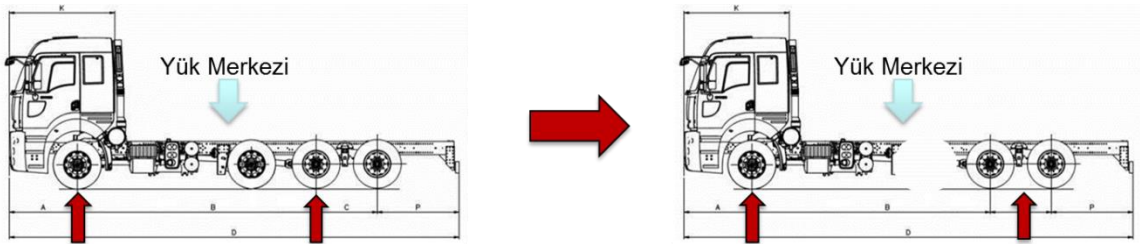
Veri toplama test prosedürü ile ilgili olarak, belirlenen fonksiyon parametrelerini belirlemek için model eğitme verilerinin toplandığı düzenek Şekil 4.3'te gösterilmiştir. Buna göre tekerlerin altına yerleştirilecek olan ağırlık pad'leri ile gerçek ağırlık değerleri bir dizüstü bilgisayar tarafından kaydedilecektir. Bununla birlikte taşıt farklı yüklerle 1.2, 1.8 ve 2.2 tonluk beton küpler ve forklift kullanılarak yüklenecek ve makasların deplasman değerleri sensörlerin gönderdiği gerilim değerleri kaydedilecektir. Sensörler verileri merkezi işlemcinin analog girişleri vasıtasıyla işlemeye gönderecek, CAN kalibrasyonu protokolü kullanılarak

olması nedeniyle ağırlığa daha az yansayacaktır. Arka dingil grubu için ise aracın en çok yük taşınan bölgesi olduğu için sağ ve sol dengesizliği, terazi pozisyonunun farklılıkları göz önünde bulundurularak canlı dingilde orta bölgeye 1 tane ve ilave dingilde sağ ve sol olmak üzere 2 tane sensör kullanılması uygundur. Sensör lokasyonları komponent seviyesinde tasarım bölümünde belirtilecektir.

4.2 Dingil Kapasitesi %30 Aşım Tahmin Tasarımı

TCS destek özelliğinin kullanılması dingil ağırlık kapasitesinin %30'unu geçip geçmemesine bağlıdır. Bu nedenle sistemin fonksiyonel gereksinimlerinde de belirtildiği gibi herhangi bir dingil kaldırıldıktan sonraki dingil ağırlık dağılımı, ilgili dingil kaldırılmadan önce tahmin edilmelidir.

Böylesine bir tahmini yapmanın en kolay ve verimli yolu statik çözümlemesidir. Ancak 2'den fazla dingilli araçlarda önceden de belirtilen statik belirsizlik durumu vardır. Bu nedenle statik belirsizliğe neden olan dingil grubu, teorik aks yükü merkezi varsayımı ile tek bir dingile indirgenir ve problem statik çözümlenmeye uygun hale gelir. Öncelikle Şekil 4.5'te görülen 8x2S araçta bütün dingiller yerdeyken, hesaplanan dingil ağırlıkları ile aracın toplam ağırlığı ve ağırlık merkezi denklem 4.5 ve 4.6'daki gibi hesaplanır.



Şekil 4.5: 8x2S aracı için 2. dingilin kaldırıldığı duruma geçiş gösterimi.

Ardından kendinden dümenli dingil kaldırıldıktan sonraki arka dingil grubu için teorik aks yükü merkezi dingillerin tam ortasında olacak şekilde kabul edilir. Şekil 4.5'te dingilin kaldırılmış durumdaki ön dingil merkezi ve arka dingil teorik merkezine göre statik hesaplamalar denklem 4.7, 4.8 ve 4.9'daki gibi yapılarak ön dingile ve arka dingillere düşen ağırlıklar hesaplanır. Araçta 1. Dingilin diğer

dingillere uzaklığı sırasıyla 3.9, 5.2, 6.5 metre olarak kabul edilmiştir. Buna göre arka dingil grubu teorik merkezi 5.85 metredir.

$$G_{Toplam} = G_{Ön} + G_{Self} + G_{Canlı} + G_{ilave} \quad (4.5)$$

$$Gx_{toplamlam} = (3.9G_{self} + 5.2G_{canlı} + 6.5G_{ilave}) / G_{Toplam} \quad (4.6)$$

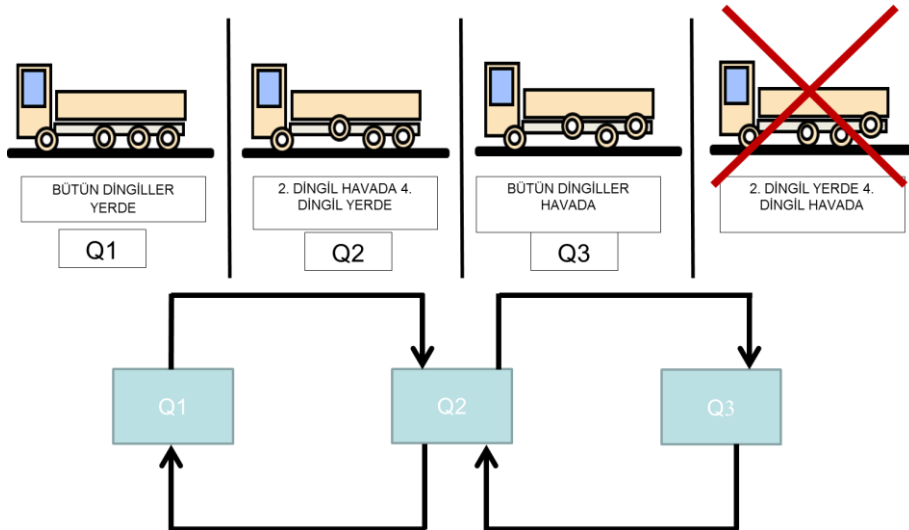
$$Gx_{arka} = 5.85 - Gx_{toplamlam} \quad (4.7)$$

$$G_{ön,tahmin} = G_{Toplam} * Gx_{arka} / 5.85 \quad (4.8)$$

$$G_{arka,tahmin} = G_{Toplam} * Gx_{toplamlam} / 5.85 \quad (4.9)$$

4.3 Yazılım Tasarımı

Kullanılacak yazılım geliştirme platformuna bağlı kalmaksızın, sistemin genel yapısı ve fonksiyonel gereksinimleri göz önünde bulundurularak fonksiyonel çalışmayı sağlayacak yazılımın geliştirilmesi gerekmektedir. Yazılım tasarımında öncelikle yüzeysel, genel bir tasarım getirilmelidir. Otomatik dingil indirme sistemi için getirilen yüzeysel diyagram Şekil 4.6'daki gibidir.



Şekil 4.6: Otomatik dingil indirme sistemi dingil durumları genel gösterimi.

Şekil 4.6’da da gösterildiği gibi sistemin 3 durumu vardır ve bu durumlar arasındaki geçişler belirli koşullar sağlandığında sağlanır. Bu koşullar sistemin girişlerini temsil etmektedir. Bu girişler doğrudan sistemin fonksiyonel gereksinimlerinden çıkarıldığı gibi, sistemin donanımsal tasarımında da etkilidir. Bu nedenle Çizelge 4.2’deki giriş parametreleri ile birlikte donanımsal olarak sinyal tipleri de belirtilmiştir.

Çizelge 4.2: Sistem parametreleri, sinyal tipleri ve açıklamaları.

Parametre	Sinyal	Açıklama	Değer Aralığı
Front_v	Analog	Ön dingil sensör çıkışı	0-5V
Driven_v	Analog	Canlı dingil sensör çıkışı	0-5V
Tag_v1	Analog	İlave dingil sensör çıkışı #1	0-5V
Tag_v2	Analog	İlave dingil sensör çıkışı #2	0-5V
DR_A2	Dijital	2. Dingil Kaldırma/İndirme Butonu	0-5V
DR_A4	Dijital	2. Dingil Kaldırma/İndirme Butonu	0 1
DR_TCS	Dijital	TCS Destek Butonu	0 1
Ignition	Dijital	Kontak açık/kapalı	0 1
ECU_A2	Dijital	2. Dingil kaldır komutu	0 1
ECU_A4	Dijital	2. Dingil kaldır komutu	0 1
pbrake	CAN Rx	Park freni durumu	0 1
v_speed	CAN Rx	Taşıt hızı	0-130 kmh

Buna göre sistemin girişlere göre uygun çıkışları üretmesi gerekmektedir. Sistem çıkışları dingilleri kaldıran veya indiren komutlar, sürücüye yetkinin verilip verilmediğini işaret eden sinyaller ve kontak fonksiyonunda kontak kapatıldığında dingiller yere inene kadar işlemciyi açık tutmayı sağlayan Hold_PSU sinyalleridir. Çıkış parametreleri ve açıklamaları Çizelge 4.3’te gösterilmiştir.

Taşıt hızı, park freni, kontak durumları doğrudan sistem algoritmasına gönderilebilen girişlerdir. Bu nedenle bu sinyallerin işlenmesini sağlayan bir fonksiyon bloğu tasarımına gerek yoktur. Ancak dingil ağırlıklarının hesaplanmasıyla ilgili olan;

- Ağırlık hesaplama matematiksel fonksiyonu
- Ağırlık hesaplama aktif/pasif fonksiyonu
- Histeresis tespit/ ağırlık düzeltme fonksiyonu

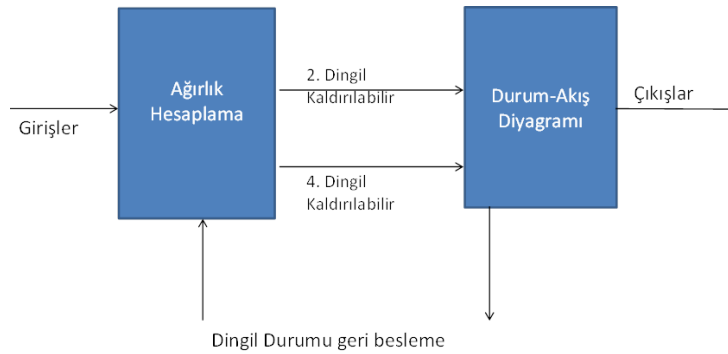
- %30 aşım tespit fonksiyonlarının tanımlanması gerekmektedir.

Çizelge 4.3 : Sistem çıkışları ve açıklamaları.

ÇIKIŞ	AÇIKLAMA
A2_SIG	Self Steer Dingil için işaret sinyali – DOĞRU ise işaret yeşil yanacak ve sürücü ilgili dingili kaldıracaktır/indirebilecektir.
A4_SIG	İlave Dingil için işaret sinyali – DOĞRU ise işaret yeşil yanacak ve sürücü ilgili dingili kaldıracaktır/indirebilecektir.
ECU_A2	DOĞRU ise ECU Self Steer’a bağlı solenoid valfi tetikleyecek ve dingilin kalkmasına/havada durmasını sağlayacaktır.
ECU_A4	DOĞRU ise ECU ilave dingile bağlı solenoid valfi tetikleyecek ve dingilin kalkmasına/havada durmasını sağlayacaktır
Hold_PSU	YANLIŞ ise ECU anahtar Kontak II’de olmamasına rağmen açık kalacaktır.

Ayrıca mevcut araçlarda olan push-button tipi dingil kaldırma butonları momentary-button ile değiştirilmelidir. Bunun nedeni TCS destek aktif iken araç 30 km/h hızı geçtiği zaman dingilin indiği durumlarda, sürücü butonu basılı olarak bırakırsa taşıt tekrar 30 km/h’ın altına indiği zaman dingil kaldırma aktif olacaktır. Bunun yerine sürücü dingili kaldırma veya indirmek istediği zaman butona basmak zorunda olduğu bir uygulamaya geçilmelidir. Momentary tipinde butonun sisteme entegrasyonu tasarlanması gereken bir fonksiyon aracılığı ile olacaktır.

Sonuç olarak sistem yazılımında algoritma bloğunun girişlerinde, ağırlık değerlerini hesaplayan ve yukarıdaki maddeleri içeren bir blok daha olacaktır. Ağırlık hesaplama bloğunun yazılıma entegre edilmiş hali Şekil 4.7’de gösterilmiştir.



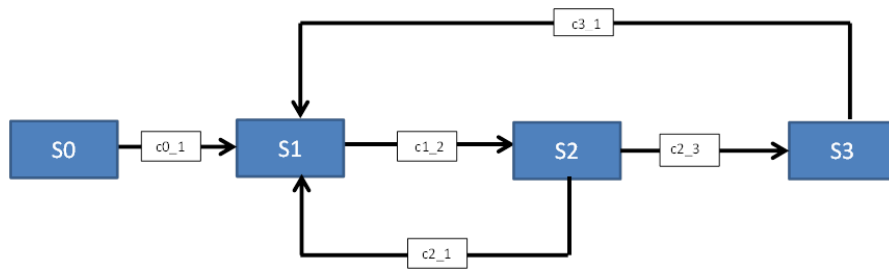
Şekil 4.7: Otomatik dingil indirme sistemi yazılım genel şeması.

Söz konusu blokta öncelikle sensörlerden gelen veriler ile dingil ağırlıkları hesaplanacaktır. Bu ağırlık değerleri, dingil ağırlığı hesaplamasının aktif ya da pasif olması durumuna göre iletilecek ya da eski değeri iletilecektir. İletilen bu değerlerin makaslardaki histeresislerin tespiti sonucunda ofsetlenmesi ile son ağırlık değerleri algoritmaya iletilecektir. Bunun yanında %30 aşım hesaplama fonksiyonu da bu blok içerisinde yer alacaktır.

4.3.1 Ağırlık hesaplama aktif/pasif fonksiyonu

Dingil ağırlıklarının hesaplandıktan sonra sürekli olarak algoritmaya yollanması tutarsız çıkışlara neden olabilir. Örneğin taşıt hareketliyken yol tepkilerinden ve taşıt dinamiğinden gelen deplasman değişiklikleri hesaplanan ağırlıklarda sapmalara neden olacaktır. Bunun yanında taşıt hareketine başlayıp, başka bir yerde durduğu zaman, eğimli yol gibi durumlarda farklı ağırlık ölçümünden dolayı farklı çıkış üretmesine neden olabilir. Bu nedenle taşıt hareketli iken ağırlık hesaplamasını donduran ve taşıt durduktan sonra tekrar bir yükleme veya boşaltma olması durumunda ağırlık hesaplamayı aktifleştiren bir fonksiyon tanımlanmalıdır.

Buna göre sistemin 2 olaydan etkilenmektedir. Bunlardan 1.'si taşıt hızı değeri ise taşıt durgun iken yükteki değişimdir ki bu 2 olay fonksiyon için hazırlanacak olan durum geçiş koşullarını oluşturacaktır. Yükteki değişimin tespit edilebilmesi için bir referans değeri alınmalıdır. Taşıt hareketli iken referans değeri sürekli güncellenmeli, durduktan hemen sonra sabitlenmelidir. Böylece sabitlenen referans değerinin üzerinde bir değişim tespit edildiği zaman sistem taşıtın yüklenip boşaltıldığını da tespit edebilecektir. Şekil 4.8'de fonksiyon için hazırlanmış durum-akış diyagramı gösterilmiştir.



Şekil 4.8: Ağırlık hesaplama aktif/pasif fonksiyon diyagramı.

Şekil 4.8’den de görüldüğü gibi fonksiyon S0 durumundan başlamaktadır. Araç yeni çalıştırıldığı için sistem ağırlık hesaplamayı aktif yapar. Araç hareketlenince diyagram S1 durumuna geçer ve ağırlık hesaplamayı dondurur. Araç tekrar durduğunda sistem S2 durumuna geçer ve ağırlık hesaplamayı tekrar aktif yapabilmek için ağırlıkta bir değişim olmasını bekler. Değişim olduğu zaman S3 durumuna geçilir ve sistem tekrar ağırlık hesaplamayı aktif durumuna getirir. Bundan sonra döngü araç kapatılana kadar S1-S3 arasında devam edecektir. Buna göre durumların ve durum geçiş koşullarının açıklamaları Çizelge 4.4 ve 4.5’te verilmiştir.

Çizelge 4.4 : Fonksiyon durumları, açıklamaları ve çıkışları.

DURUM	Açıklama	Çıkışlar
S0	Başlangıç Durumu – İlk Değeri DOĞRU	mc aktif ; ref güncelle;
S1	Araç harekete başladı	mc pasif ; ref güncelle;
S2	Araç tekrar durdu – yük değişimi olana kadar bekle	mc pasif ; ref dondur;
S3	Yük hesaplama tekrar aktif	mc aktif ; ref güncelle;

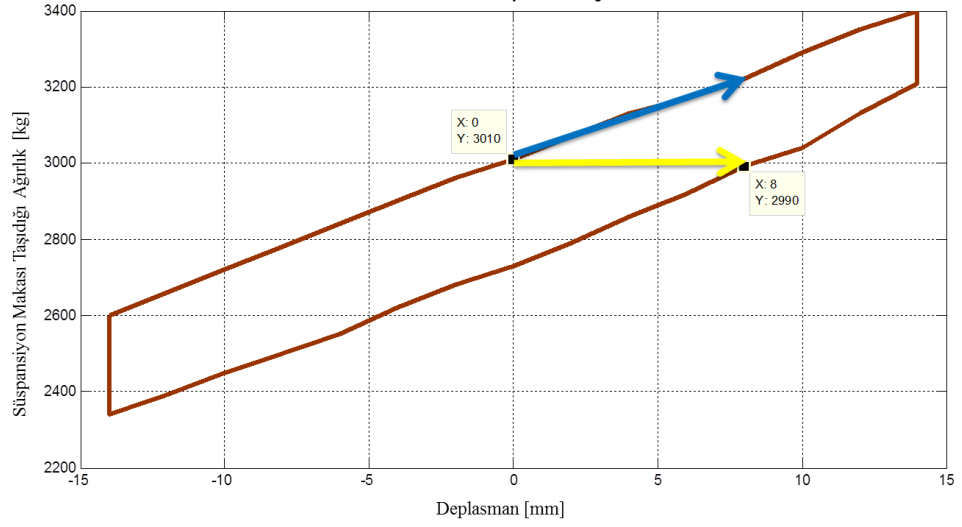
Çizelge 4.5 : Fonksiyon durum geçiş koşulları.

Durum Geçiş Koşulları	Açıklama
c0_1	Taşıt hızı > 0.1 km/h
c1_2	Taşıt hızı < 0.1 km/h
c2_3	Yük değişimi var VE Taşıt hızı < 0.1 km/h
c3_1	Taşıt hızı > 0.1 km/h
c2_1	Taşıt hızı > 0.1 km/h

4.3.2 Histeresis tespit fonksiyonu

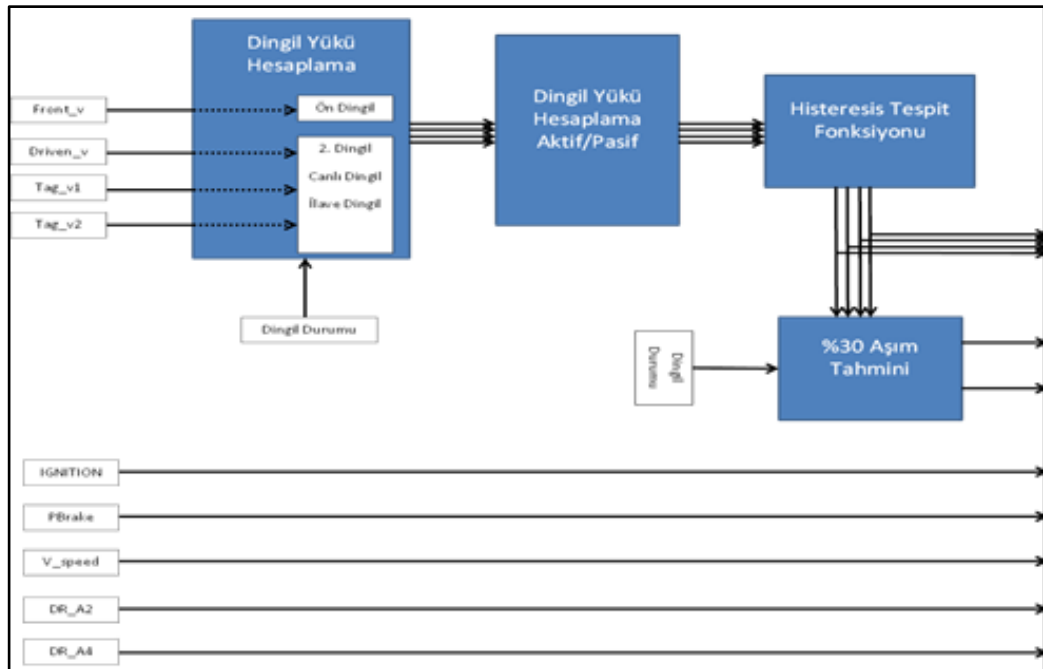
Makasların sıkışma deplasmanları ölçülerek ağırlık modellerinin oluşturulmasındaki en büyük zorluk, önceden de açıklandığı gibi makas histeresisleridir. Yüklenme esnasında makaslarda oluşan coulomb sürtünme kuvveti, araç harekete başladıktan sonra makasa gelen dış kuvvetlerden dolayı azalmaya başlar. Süspansiyon makasındaki katmanlar arasındaki bu sürtünmenin sıfırlanmasından dolayı makas, taşıdığı ağırlık aynı olmasına rağmen daha da çökecektir. Şekil 4.9’da gösterilen histeresis grafiğinde, deplasmanın 0 mm olduğu durumda araç hareketine başladığı zaman az önce bahsedilen durumdan dolayı makas, taşıdığı ağırlığı sabit kalacak şekilde çökmeye başlar yani sarı çizgiyi takip eder. Ancak sistemde histeresis takip fonksiyonu olmaz ise sistem çökmeyi yüklemeye olarak algılar ve mavi çizgiyi izler.

Bu nedenle sistemin hesapladığı ağırlık değerinde coloumb sürtünmesi kadar fark oluşur.



Şekil 4.9: Süspansiyon makas histeresis grafiği.

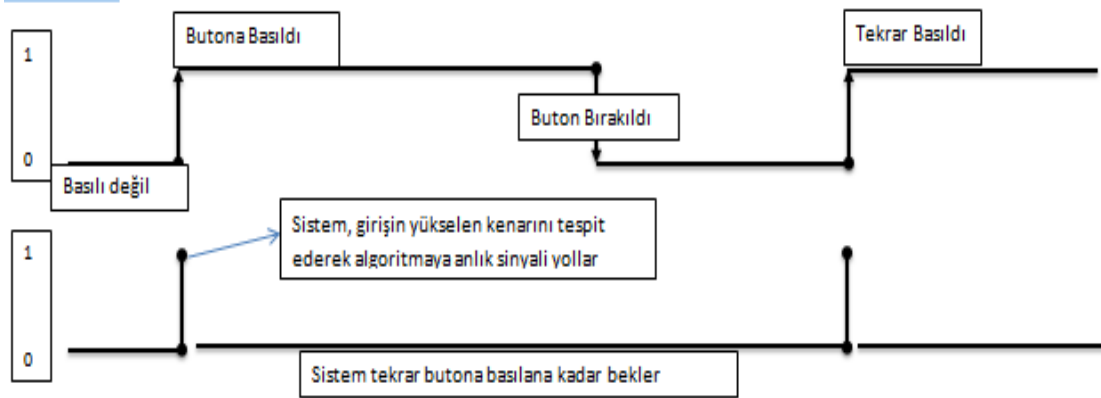
Şekil 4.7’de gösterilen ağırlık hesaplama bloğunun iç yapısı Şekil 4.10’da gösterilmiştir.



Şekil 4.10: Ağırlık hesaplama blok diyagramı ve sistem girişlerinin tanımlanması.

4.3.3 Anlık buton mantıksal fonksiyonu

Yazılım tasarım bölümünde belirtildiği gibi sistemde kullanılacak olan buton tipleri manuel dingil kaldırma sisteminde kullanılan buton tipinden farklı olarak momentary olarak belirlenmişti. Sistemde kullanılacak olan buton hem dingil indirme hem de dingil kaldırma amaçlı kullanılacaktır.



Şekil 4.11: Anlık buton yükselen kenar tespiti.

Şekil 4.11’de üstte kullanıcının butona basma şaması gösterilirken, alt taraftaki şema fonksiyonun algoritma için hazırladığı sinyalleri göstermektedir. Yükselen kenar tespiti ve dingil pozisyonuna göre sistem sürücünün dingili indirme veya kaldırma isteğini anlaması gerekmektedir. Örneğin dingil yerde iken ilgili butona basıldığı zaman sistem yükselen kenarı tespit edecek ve dingil yerde olduğu için kullanıcı isteğini dingil kaldırma olarak tanımlayacaktır. Şekil 4.6’da hangi durumlarda dingilin yerde veya havada olduğu görülebilmektedir. Buna göre fonksiyonun tasarımı için hazırlanmış doğruluk tablosu Çizelge 4.6’da gösterilmiştir.

Çizelge 4.6 : Anlık boton fonksiyonu doğruluk tablosu.

Yükselen Kenar Tespiti	Kendinden Dümenli Dingil Durumu	İlave Dingil Durumu	Sürücü İsteği (DR_Ax)
Yükselen Kenar	Q2 VEYA Q3	Q3	Dingil İndirme
	Q1	Q1 VEYA Q2	Dingil Kaldırma
Sıfır	Q2 VEYA Q3	Q3	Dingil Kaldırma
	Q1	Q1 VEYA Q2	Dingil İndirme

4.3.4 Algoritma durum-akış diyagramı

Sistemin girişleri tanımlandıktan sonra fonksiyonel gereksinimlere uygun çıkışları üretecek algoritmanın durum-akış diyagramının tanımlanması gerekmektedir. Şekil 4.6'da gösterilen 3 durum, Çizelge 4.3'teki çıkışları tanımlamaya yetmeyecektir. Örneğin bütün dingiller yerdeken yani Q1 durumundayken ilave dingil kaldırma/indirme yetkisi (A4_SIG) DOĞRU veya YANLIŞ olabilir. Ancak durum-akış diyagramındaki durumlar tek bir çıkış tanımlayabilirler. Bunun yanında yazılım geliştirme ve test sırasında taşıtı durumu hakkında daha tanımlayıcı olabilmek adına durum-akış diyagramı 3 aşamada tanımlanmıştır.

- Bütün dingiller yerde,
- Kendinden dümenli dingil havada
- İlave dingil ve kendinden dümenli dingil havada,

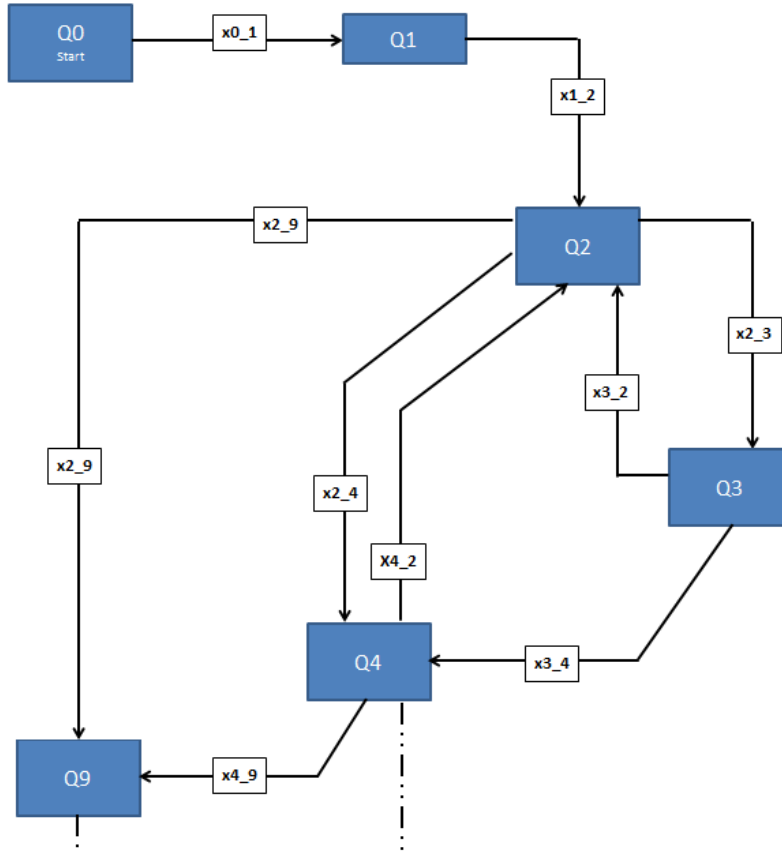
Diyagramdaki girişler ve çıkışlar Çizelge 4.2 ve 4.3'te tanımlanmıştır. Bunun yanında oluşturulacak olan durum-akış diyagramının durum geçiş koşulları ve durumların çıkış varyantları Çizelge 4.7 ve 4.8'de tanımlanmıştır.

4.3.4.1 Bütün dingiller yerde aşaması

Bütün dingillerin yerde olduğu durum aracın çalıştırılması sonrasında Q0 durumu ile başlar. Park freninin indirilmesiyle birlikte pnömatik gecikmenin tanımlandığı 1sn bekleme durumu olan Q1'e geçer. 1 sn sonra sistem dingillerin kaldırılabilinir kararının verildiği Q2 durumuna geçer. Bütün bu durumlarda sistem dingilleri yerde tutar ve dingil kaldırma yetkisi vermez.

Sistem Q2 durumundayken sistemin fonksiyonel gereksinimlerinde belirtilen koşullar doğrultusunda kendinden dümenli dingil kalkabiliyor durumda ise Q4'e; her iki dingil birden kalkabiliyor ise Q9'a; hiçbir dingili kaldırmaya izin vermiyor ise Q3'e geçecektir. Bu durumlarda da sistem dingilleri yerde tutar ancak yetki sinyalleri farklıdır ve bütün bu durumlar arasında geçişler tanımlanmıştır. Bunun yanında Q4'te veya Q9'da iken kendinden dümenli dingil kaldırma butonuna basılırsa sistem

diğer fazlara geçecektir. Şekil 4.12’de bütün dingillerin yerde olduğu durumlar ve geçiş koşulları belirtilmiştir.

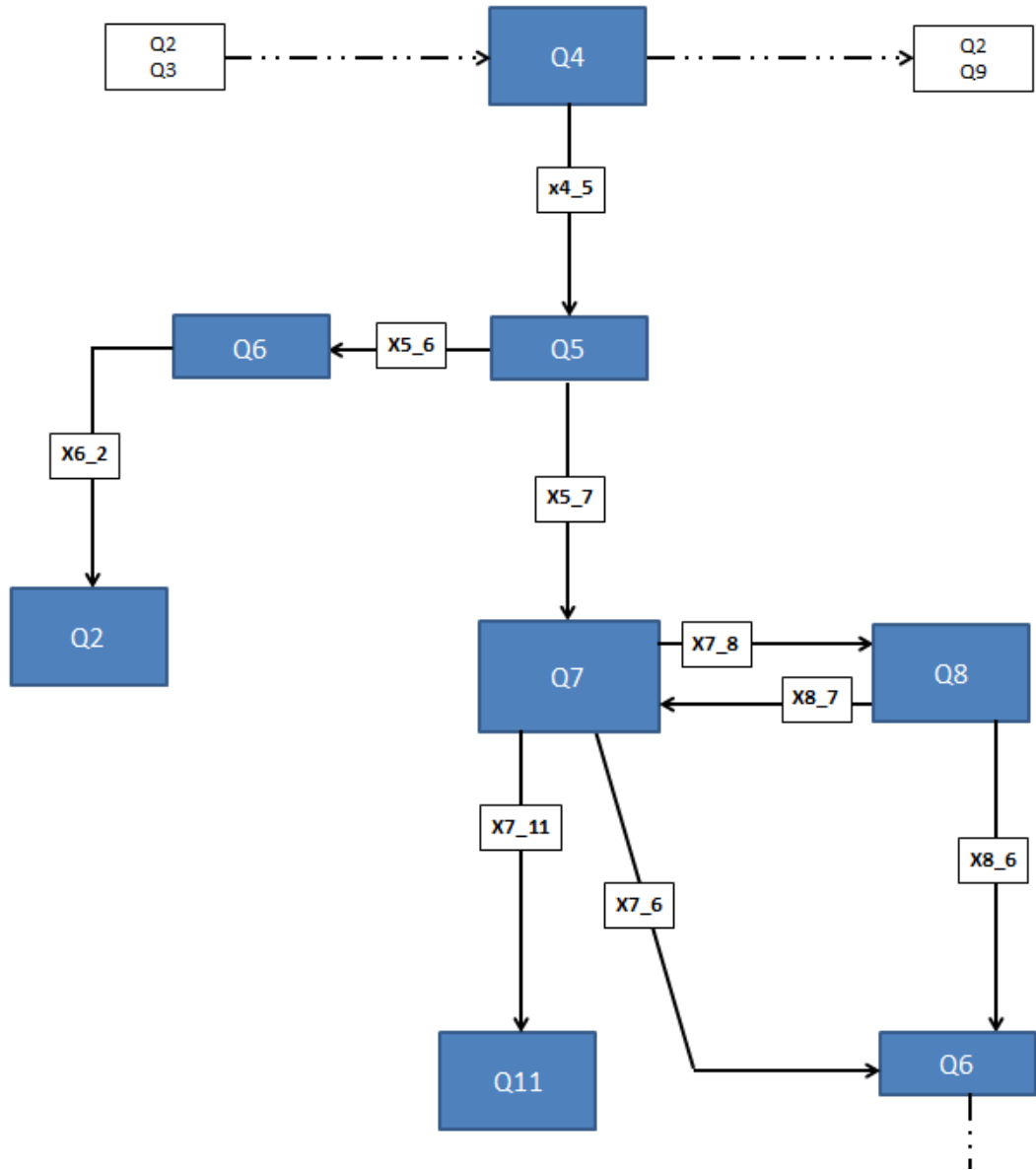


Şekil 4.12: Bütün dingiller yerde aşaması durum-akış diyagramı.

4.3.4.2 Sadece kendinden dümenli dingil kaldırabilinir aşaması

Sadece kendinden dümenli dingil kaldırabilinir aşaması Q4'ten başlar. Aksi durum olmadıkça sistem sürücünden dingil kaldırma butonuna basmasını bekler. Fonksiyonel gereksinimlerde de belirtildiği gibi sürücü buton basmadan 30 km/h'ı geçer veya park frenini çeker veya araca daha da yük yüklerse yetki geri çekilir. Bunun dışında butona basıldığı zaman sistem Q5'e geçer ve buton komutunu dingil kaldırma mekanizmasına iletir, dingil kalkmaya başlar. Dingilin kalkma süresindeki gecikme Q5'te verilmiş olup, gecikme süresi dolunca sistem Q7'ye; tekrar dingil indirme butonuna basılırsa veya kontak kapatılırsa sistem Q6'a geçer. Q6, 2. dingili indiren ve dingil inme süresi tanımlanmış durumdur ve süre dolduktan sonra Q2'ye yani bütün dingillerin yerde olduğu karar merkezine bağlıdır.

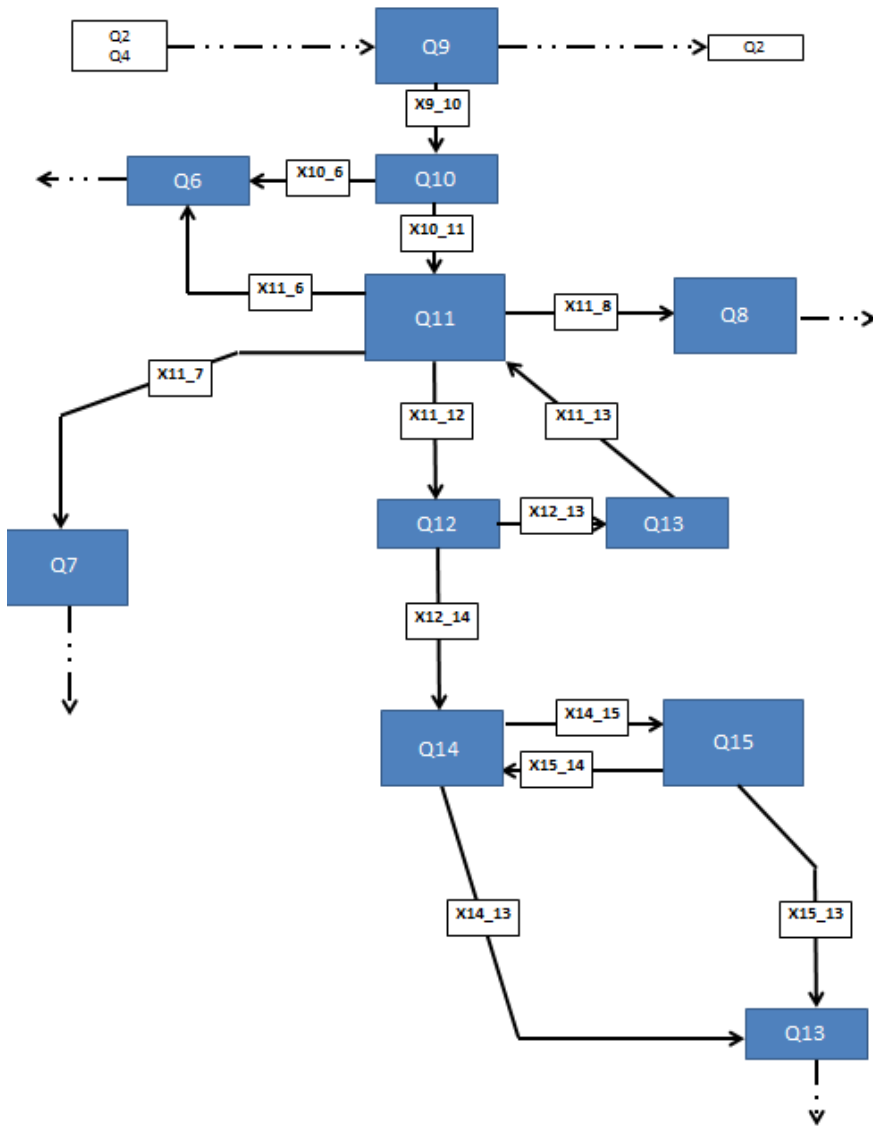
Q7 durumunda artık aracın kendinden dümenli dingili havadadır ve istenilirse tekrar indirilebilir. Bu durumda araç tekrar dingil kapasitesini geçecek şekilde yüklenirse sistem Q6'ya geçer. Aynı şekilde araç ilave dingili de kaldırabilecek şekilde boşaltılırsa sistem 3. Faza geçecektir. Sistem yine Q7'de iken araç 30 km/h hızı geçerse sistem 2.dingilin havada ve aracın hareketli olduğunu belirten Q8'e geçecektir. Eğer ki sistem Q7'ye TCS desteği alarak gelmiş ise Q8'den tekrar Q6'ya geçilerek 30km/h'a kadar verilmiş olan yetki sürücüdenden geri alınacak ve dingil tekrar indirilecektir. Buna göre oluşan durum-akış diyagramı Şekil 4.13'te gösterilmiştir.



Şekil 4.13: Kendinden dümenli dingilin kaldırılabilir aşaması durum-akış diyagramı.

4.3.4.3 Her iki dingil kaldırılabilir aşaması

İki dingilin kaldırılabilindiği aşama Q9'dan başlar ve Q11'e kadar ikinci aşamanın aynısıdır. Q11 durumunda kendinden dümenli dingil havadadır, Q7 durumundaki gibi ilave dingil yeredir ancak bu sefer kaldırma yetkisi sürücüye verilmiştir. Bu durumda ilave dingil kaldırma butonuna basılırsa sistem ilave dingili kaldıran duruma Q12'ye geçer. Q4 ile Q8 arasındaki durum ve bağlantıları, ilave dingil kaldırma için Q11 ile Q15 arasında da aynıdır. Buna göre oluşan durum-akış diyagramı Şekil 4.14'te gösterilmiştir.



Şekil 4.14: Her iki dingilin kaldırılabilir aşaması durum-akış diyagramı.

Çizelge 4.7 : Otomatik dingil indirme sistemi durum açıklamaları.

Durum	Açıklama	Çıkışlar
Q0	Başlangıç durumu – İlk değeri DOĞRU	A2_SIG = 0 A4_SIG = 0 ECU_A2 = 0 ECU_A4 = 0 hold_PSU = 1
Q1	Park freni pnömatik gecikme süresi	A2_SIG = 0 A4_SIG = 0 ECU_A2 = 0 ECU_A4 = 0 hold_PSU = 1
Q2	Bütün dingillerin yerde olduğu karar verme merkezi	A2_SIG = 0 A4_SIG = 0 ECU_A2 = 0 ECU_A4 = 0 hold_PSU = 1
Q3	Bütün dingiller yerde ve sürücü hiçbir dingili kaldırmaya yetkili değil	A2_SIG = 0 A4_SIG = 0 ECU_A2 = 0 ECU_A4 = 0 hold_PSU = 1
Q4	Bütün dingiller yerde ve 2. Dingil kaldırılabilir	A2_SIG = 1 A4_SIG = 0 ECU_A2 = 0 ECU_A4 = 0 hold_PSU = 1
Q5	2. dingil yükselme zamanı	A2_SIG = 1 A4_SIG = 0 ECU_A2 = 1 ECU_A4 = 0 hold_PSU = 0
Q6	2. dingil indirme zamanı	A2_SIG = 0 A4_SIG = 0 ECU_A2 = 0 ECU_A4 = 0 hold_PSU = 0
Q7	2. dingil havada ancak 4. Dingil kaldırılamaz. Araç hızı 30 km/h'ın altında	A2_SIG = 1 A4_SIG = 0 ECU_A2 = 1 ECU_A4 = 0 hold_PSU = 0
Q8	2. dingil havada, 4. Dingil yerde. Araç hızı 30 km/h'ın üzerinde. Bütün butonlar pasif	A2_SIG = 0 A4_SIG = 0 ECU_A2 = 1 ECU_A4 = 0 hold_PSU = 0
Q9	Bütün dingiller yerde ve 2. ve 4. dingiller kaldırılabilir	A2_SIG = 1 A4_SIG = 1 ECU_A2 = 0 ECU_A4 = 0 hold_PSU = 1
Q10	2. dingil yükselme zamanı	A2_SIG = 1 A4_SIG = 1 ECU_A2 = 1 ECU_A4 = 0 hold_PSU = 0
Q11	2. dingil havada ve 4. Dingil kaldırılabilir. Araç hızı 30 km/h'ın altında	A2_SIG = 1 A4_SIG = 1 ECU_A2 = 1 ECU_A4 = 0 hold_PSU = 0
Q12	4. dingil yükselme zamanı	A2_SIG = 0 A4_SIG = 1 ECU_A2 = 1 ECU_A4 = 1 hold_PSU = 0
Q13	4. dingil indirilme zamanı	A2_SIG = 0 A4_SIG = 0 ECU_A2 = 1 ECU_A4 = 0 hold_PSU = 0
Q14	Her iki dingil birden havada, 4. Dingil indirilebilir ancak 2. Dingil indirilemez. Araç hızı 30km/h'ın altında	A2_SIG = 0 A4_SIG = 1 ECU_A2 = 1 ECU_A4 = 1 hold_PSU = 0

Tasarlanan 3 aşamanın birbirleriyle olan bağlantıları Şekil 4.12, 4.13 ve 4.14'te kesikli oklarla gösterilmiştir. Çizelge 4.7'de bütün durumların açıklamaları ve sistem çıkışlarına olan etkileri listelenmiştir.

4.4 Komponent Seviyesinde Tasarım

Sistemin fonksiyonel gereksinimlerine göre getirilen tasarımın araçta uygulanacak yazılım/donanım seviyesinde iletilmesi gerekmektedir. Sistemde kullanılacak parçalar ve bağlantı tipleri Şekil 4.1 ve Bölüm 4'te de belirtildiği gibi olacaktır. Bunun yanında sistemin girişleri ve sinyal tipleri de Çizelge 4.2'de verilmiştir. Buna göre kullanılacak seviye sensörlerinin yapısı, işlemci tipi, yazılım geliştirme platformu ve yazılım geliştirmede kullanılacak arayüz programlarının tanımlanması gerekmektedir. Ayrıca sistemin simülasyon ortamında testlerinin yapılması için önceden de belirtilen TruckMaker simülasyon programında otomatik dingil indirme sistemi modellemesi yapılacaktır.

4.4.1 Seviye sensörü

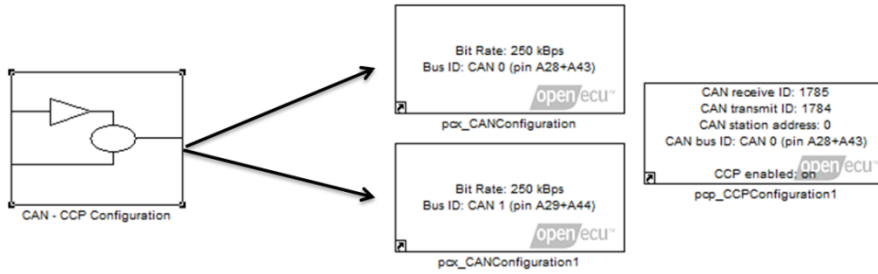
Seviye sensörü olarak Knorr-Bremse deplasman sensörü kullanılmaya uygun görülmüştür. Şekil 4.15'te görüldüğü gibi sensör yatay kolu döndükçe 0 ile 5 volt arasında gerilim çıkışı verir. Sensör, süspansiyon makaslarının deplasmanını ölçmesi amacıyla kullanıldığından üst taraftan şasiye, alt taraftan ise dingile bağlanmalıdır. Buna göre araç yüklendikçe z ekseninde dingil pozisyonu sabit kalıp, şasi aşağıya doğru çökeceğinde sensör kolu saat yönünün tersine doğru yani yukarı doğru dönecektir.



Şekil 4.15: Knorr-Bremse deplasman sensörü.

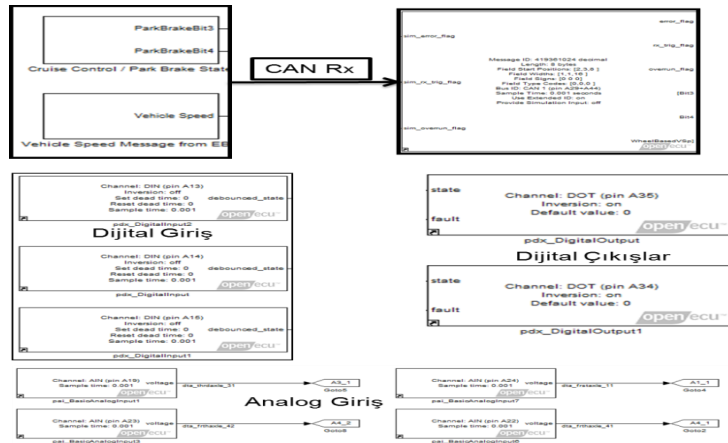
4.4.3 OpenECU yazılımının geliştirilmesi

Sistemin fonksiyonel gereksinimleri ve Bölüm 4.3'te getirilen yazılımın tasarımının SIMULINK seviyesine getirilmesi gerekmektedir. Sistem SIMULINK diyagramında öncelikle sistemin giriş/çıkış ve konfigürasyon blokları tanımlanacaktır. Sistemde CAN bağlantı hızının, hangi pinlerinin kullanılacağı ve CCP kalibrasyona olanak sağlayan bloğun tanımlanması gerekmektedir. Sistemde CAN bağlantıları 250 kpbs hızına ayarlanmış ve CCP aktifleştirilmiştir. Şekil 4.18'de görüldüğü gibi ECU'nun her iki CAN arayüzü de aktifleştirilmiştir ve CAN1 için pin A28 ve A43, CAN2 için ise pin A29 ve A44 kullanılmıştır.



Şekil 4.18: CAN ve CCP konfigürasyon blokları.

Sistem giriş/çıkışlar için ise; sensör bağlantıları analog giriş blokları aracılığıyla; dingil kaldırma butonları ve kontak bağlantıları dijital giriş blokları; taşıt hızı ve park freni bilgisi araç CAN Rx blokları; dingil kaldırma/indirme komutları dijital çıkış blokları üzerinden tanımlanmıştır.



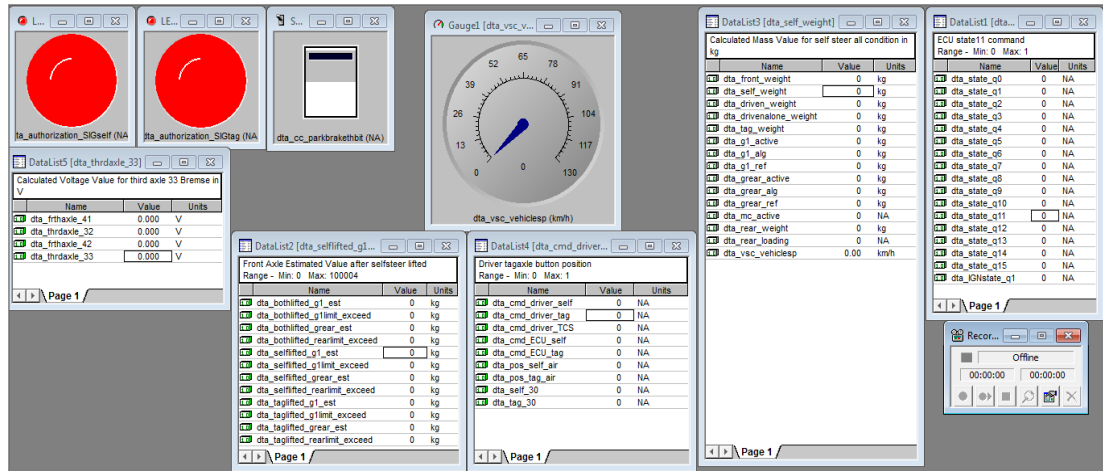
Şekil 4.19: Sistem giriş/çıkış blokları.

Buna göre oluşan pin bağlantı bilgileri Çizelge 4.8’de verilmiştir.

Çizelge 4.8: openECU otomatik dingil indirme sistemi pin bağlantıları.

Parametre	Sinyal	Açıklama	Pin
Front_v	Analog	Ön dingil sensör çıkışı	PIN A24
Driven_v	Analog	Canlı dingil sensör çıkışı	PIN A19
Tag_v1	Analog	İlave dingil sensör çıkışı #1	PIN A22
Tag_v2	Analog	İlave dingil sensör çıkışı #2	PIN A23
DR_A2	Dijital	2. Dingil Kaldırma/İndirme Butonu	PIN A13
DR_A4	Dijital	2. Dingil Kaldırma/İndirme Butonu	PIN A14
DR_TCS	Dijital	TCS Destek Butonu	PIN A15
Ignition	Dijital	Kontak açık/kapalı	PIN A26
ECU_A2	Dijital	2. Dingil kaldır komutu	PIN A35
ECU_A4	Dijital	2. Dingil kaldır komutu	PIN A34

Giriş/çıkış ve konfigürasyonları yapıldıktan sonra Bölüm 4.3’te getirilen diyagram ve fonksiyonlar SIMULINK’te geliştirilmiştir. Geliştirilen programın derlenerek ATIVISION programı ile openECU’ya aktarılmıştır. Bunun yanında ATIVISION programı kullanılarak ECU parametreleri gerçek zamanlı gözlenmiştir.



Şekil 4.20: ATIVISION sistem monitör ekranı.

4.4.4 TruckMaker yazılımının geliştirilmesi

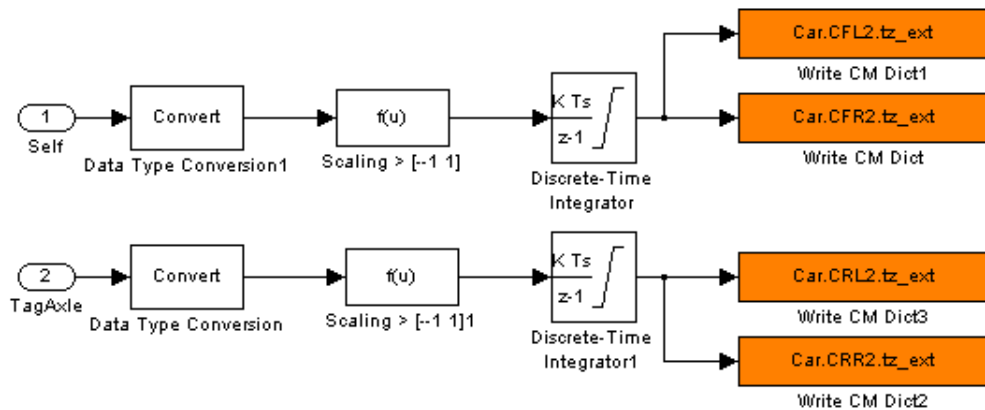
Önceki bölümlerde belirtildiği gibi TruckMaker taşıt simülasyon programı SIMULINK ile haberleşerek ortak simülasyon koşturabilmektedir. Bu nedenle

openECU için hazırlanmış olan SIMULINK diyagramında tanımlanan giriş/çıkış blokları yerine, TruckMaker'da kullanıcı erişebilir parametrelerin SIMULINK'te okuma/yazma'sını sağlayan bloklar kullanılmalıdır. Bunun yanında TruckMaker yazılımında farklı olan diğer konu dingil ağırlıklarının herhangi bir fonksiyona bağlı kalmaksızın doğrudan taşıt modelinden okunabilmesidir.

Çizelge 4.9: TruckMaker giriş/çıkışları.

Parametre	Sinyal	Açıklama	Veri ismi
G1	Okuma	Ön dingil ağırlığı	Car.SpringFx.Frc
G2	Okuma	K.D. dingil ağırlığı	Car.SpringFx2.Frc
G3	Okuma	Canlı dingil ağırlığı	Car.SpringRx.Frc
G4	Okuma	İlave dingil ağırlığı	Car.SpringRx2.Frc
Brake	Yazma	Fren	DM.Brake
GearNo	Yazma	Vites Numarası	DM.GearNo
Clutch	Yazma	Debriyaj	DM.Clutch
Ignition	Okuma	Kontak açık/kapalı	DM.EngineSwitch
Gas	Yazma	Gaz	DM.Gas
AxlePos	Yazma	Dingil indirme/kaldırma	Car.CFxx.tz_ext

Çizelge 4.9'da belirtilen sistem çıkışlarından dingil kaldırma komutu gerçek araçta dijital olmasına rağmen, TruckMaker simülasyonunda dingil z eksenindeki pozisyonu kontrol edilmesi nedeniyle, üst ve alt limitleri olan ve zamanla artan/azalan bir fonksiyon olması gerekmektedir. Bu nedenle örneğin dingil kaldırma komutu için sistemin gönderdiği dijital 1 çıkışı, lineer artımlı bir fonksiyona dönüştürülmek için üst limiti olan bir integral işleminden geçmektedir.



Şekil 4.21: Dingil indirme/kaldırma fonksiyon bloğu.

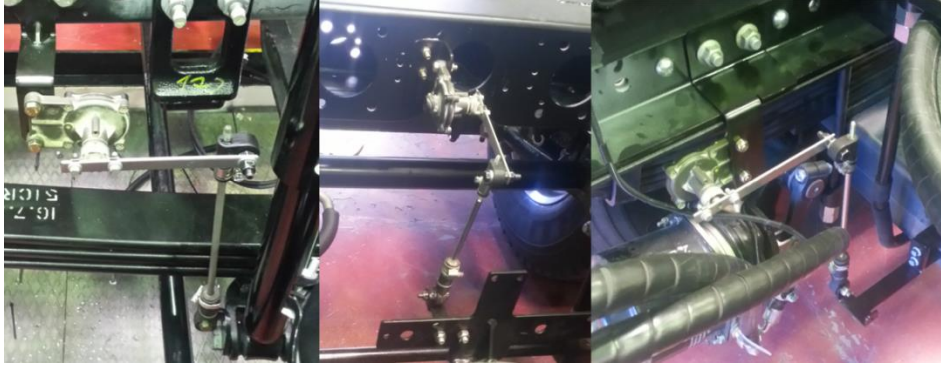
Gerçek ve sanal taşıtta da aynı yazılımın kullanılabilmesinin çok büyük avantajları vardır. Sadece aracı yükleyip boşaltmak veya yükün yerini kaydırmak taşıt testlerinde çok fazla zaman almaktadır. Ancak TruckMaker’da bu işlem saniyeler almaktadır. Bu nedenle Bölüm 4.3’te belirtilen birçok fonksiyon öncelikle TruckMaker ortamında test edilip ardından openECU’ya gömülmüş ve araçta test edilmiştir. Şekil 4.22’de otomatik dingil indirme sistemi için hazırlanmış TruckMaker/SIMULINK ortak simülasyonu gösterilmiştir.



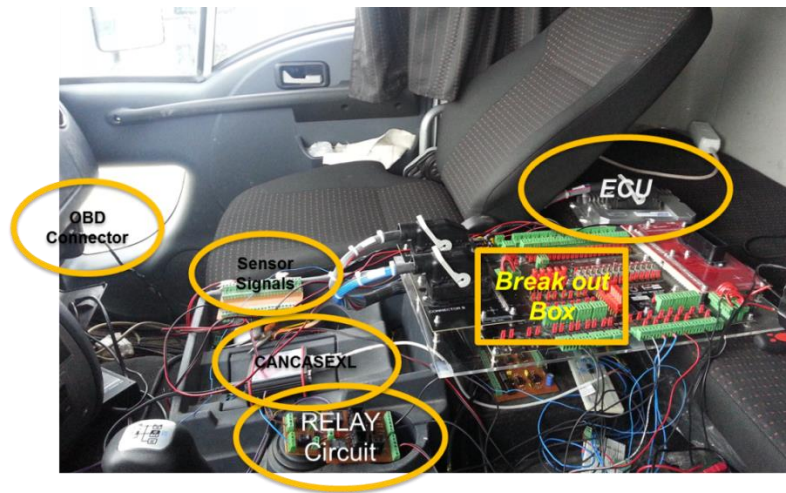
Şekil 4.22: Otomatik dingil indirme sistemi TruckMaker simülasyonu.

5. SİSTEMİN TAŞITA ENTEGRASYONU VE TESTLER

Sistemin fonksiyonel gereksinimlerine göre getirilen tasarımın, komponent seviyesine taşındıktan sonra birimlerin taşıta implementasyonu yapılmalı ardından testlere başlanmalıdır. Bu nedenle öncelikle Şekil 4.16'daki bağlantı şeması araçta tamamlanması için deplasman sensörleri araca bağlanması ve elektronik birimlerin bağlantılarının yapılması gerekmektedir. Şekil 5.1'de sensörlerin mekanik bağlantıları, Şekil 5.2'te ise elektronik birimlerin kabin içerisindeki kurulumu gösterilmiştir.

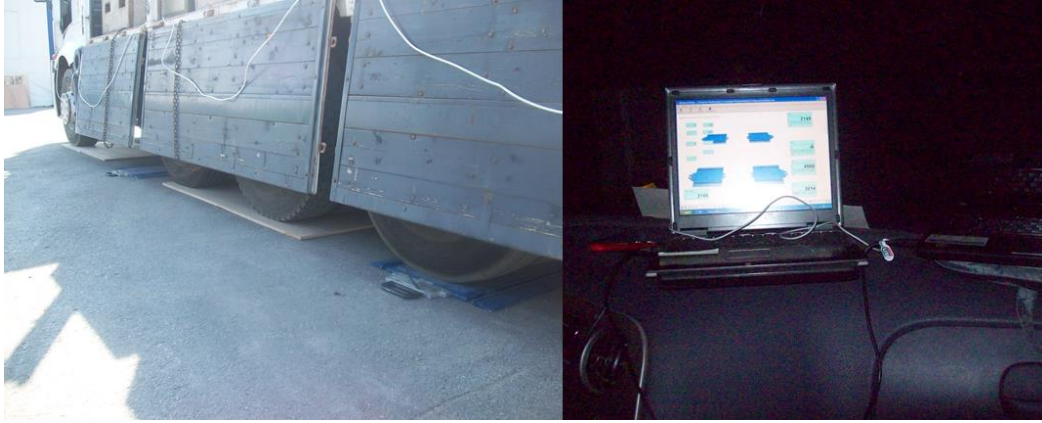


Şekil 5.1: Deplasman sensör mekanik bağlantıları.



Şekil 5.2: openECU kabin içi kurulumu.

Mekanik ve elektronik birimlerin araçtaki kurulumu tamamlandıktan sonra testlerin başlayabilmesi için öncelikle Bölüm 4.1.1 ve 4.1.2’de belirtilen matematiksel fonksiyonlara ve veri toplama prosedürüne göre süspansiyon modellerinin oluşturulması gerekmektedir. Veri toplama sistemi önceden belirlenen prosedüre göre kurulmuş ve sensörlere karşılık gelen dingil ağırlık değerleri kayıt edilerek Denklem 4.1, 4.2, 4.3 ve 4.4’teki katsayı parametrelerinin belirlenmesinde kullanılmıştır.

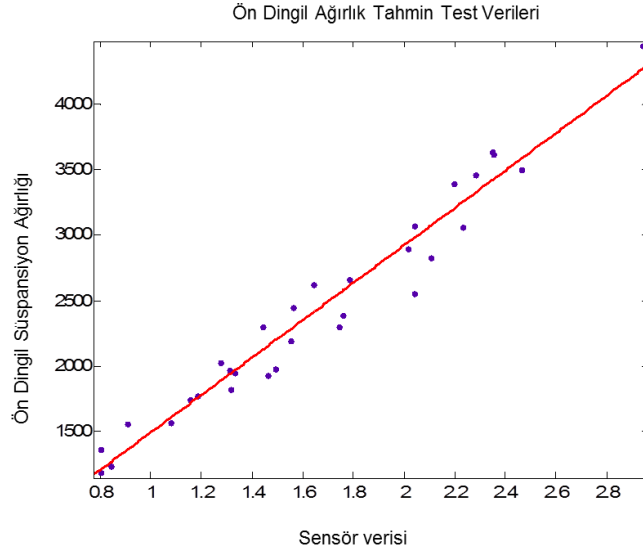


Şekil 5.3: Veri toplama test düzeneği.

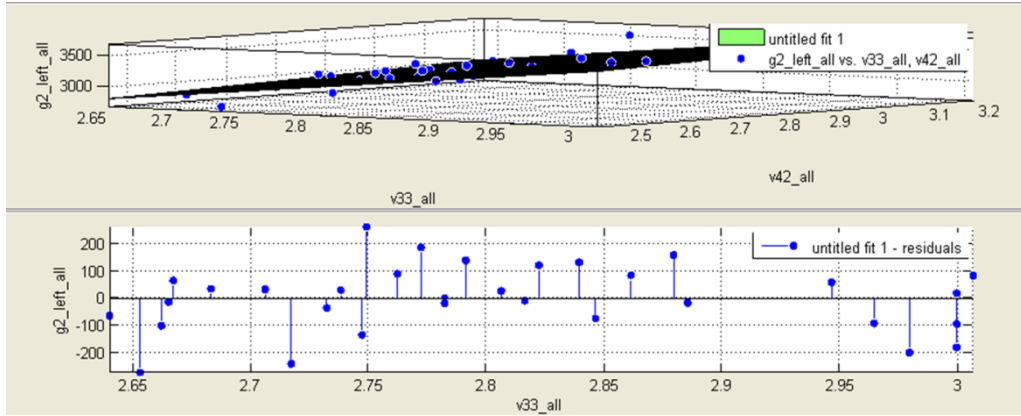
Çizelge 5.1: Dingil ağırlık model eğitim veri seti

1.Dingil		2.Dingil		3.Dingil		4.Dingil	
Ağırlık	Gerilim	Ağırlık	Ağırlık	Gerilim	Ağırlık	Gerilim	
644	1459	2790	530	2640	1932	2622	
900	2196	3381	763	2839	3394	2561	
2900	2016	3303	1263	2791	1013	2616	
2392	1761	3210	1560	2762	1293	2673	
1825	1315	3027	1989	2667	1683	2814	
3641	2350	3509	1491	2879	1107	2628	
2826	2105	3372	2024	2822	1582	2696	
1981	1494	3148	2473	2738	2281	2846	
450	2944	3680	1561	3006	1229	2562	
3501	2465	3556	2120	2946	1805	2653	
2298	1741	3271	2764	2816	2596	2842	
1192	800	2931	3110	2662	3554	3106	
1368	803	3041	3588	2665	3851	3169	
1561	907	3185	4031	2706	4165	3216	
2301	1443	3502	4688	2749	4201	3218	

Buna göre ön dingil için Denklem 4.1'deki a ve b katsayıları sırasıyla 1429 ve 64.08 bulunmuştur. Kendinden dümenli dingil için ise c, d ve e katsayıları sırasıyla bulunmuştur. Buna göre ön dingil ve kendinden dümenli dingil için oluşturulmuş modeller Şekil 5.4 ve 5.5'te verilmiştir.

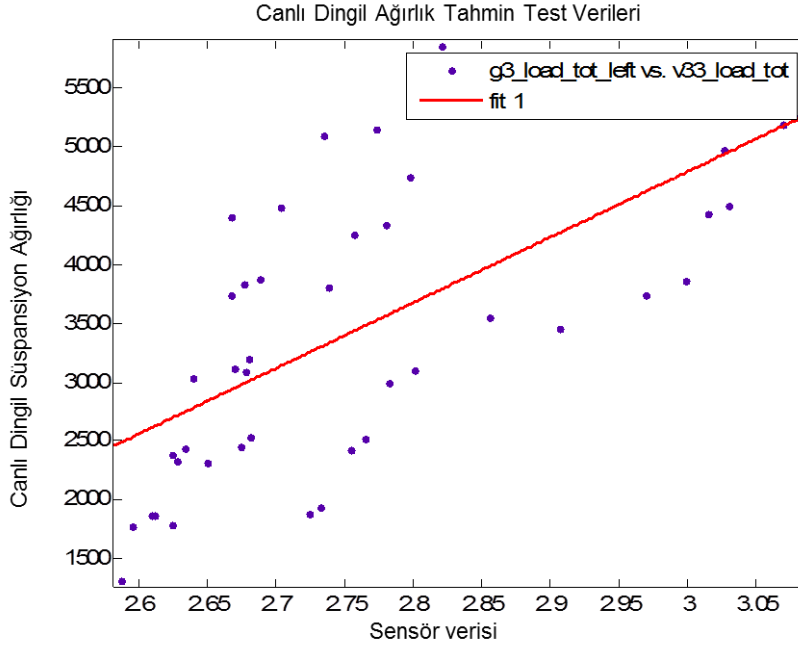


Şekil 5.4: Ön dingil ağırlık modeli.



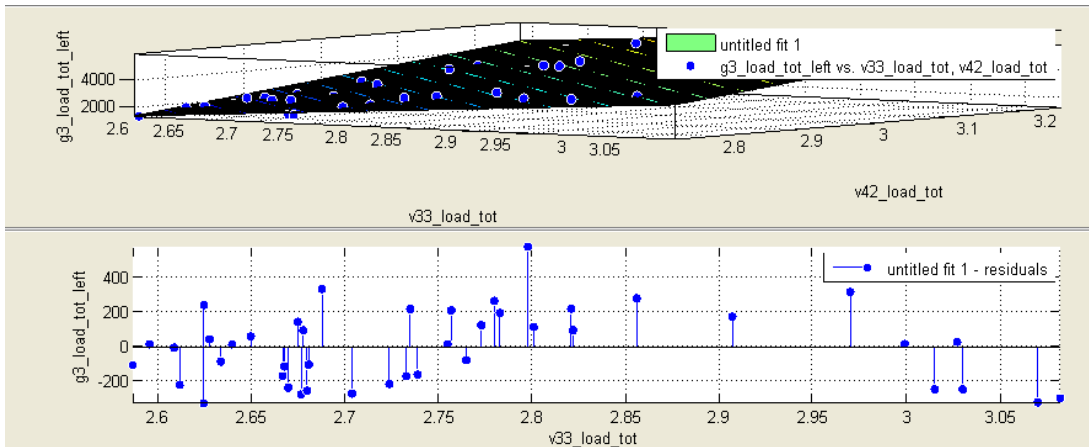
Şekil 5.5: Kendinden dümenli dingil ağırlık modeli.

Burada asıl önemli olan model, arka grup terazi sistemine bağlı dingillerin ağırlık modelidir. Terazi sistemi için eğer ki Bölüm 4.1.2'deki model değil de her dingilin ağırlık modeli sadece kendisine bağlı sensörden alınmış olunsaydı, toplanan veri setinden oluşacak canlı dingil ağırlık modelinde hata payı teker başına 2t'a kadar çıkacak olup, grafik Şekil 5.6'teki gibi olacaktı.



Şekil 5.6: Sadece canlı dingile bağlı sensör kullanılarak oluşan model.

Bunun yanında getirilen tasarıma uygun olarak terazi sisteminde canlı dingilin ağırlık modeli canlı ve ilave dingillere bağlanan sensörler ile yapıldığında canlı dingil için oluşturulmuş ağırlık modelinde hata payı 400 kg'ya kadar düşmüş olup, grafik Şekil 5.6'daki gibi olacaktır. Buna göre Denklem 4.3 ve 4.4'teki f, g, h ve j, k, l katsayıları sırasıyla 4951, 6324, -28880 ve 4057, 6407 ve -27160 olacaktır.



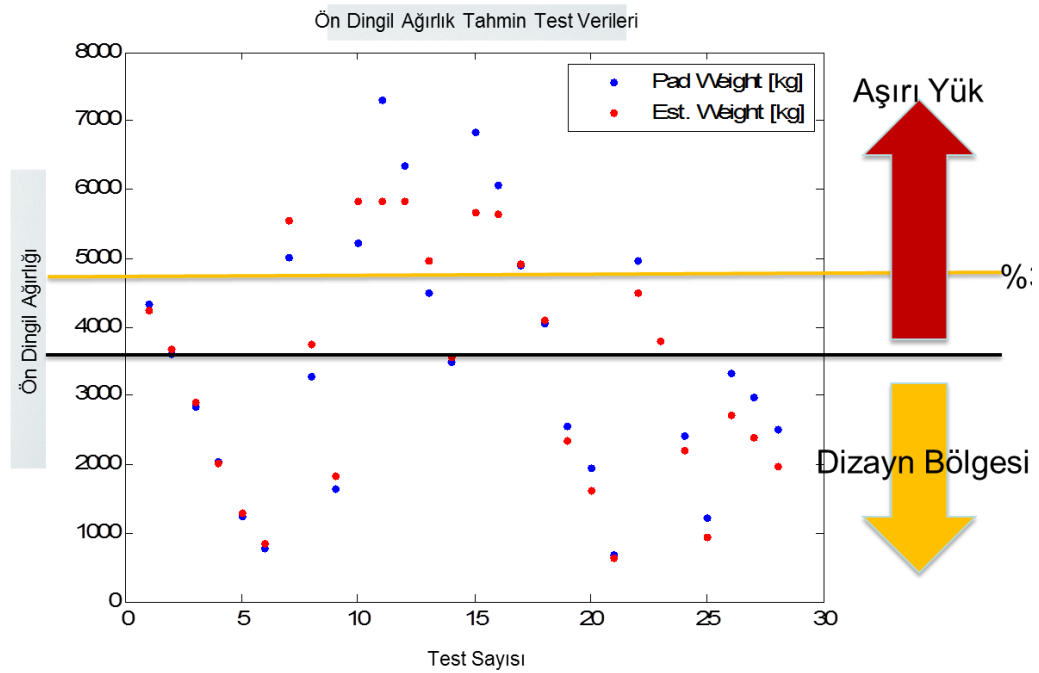
Şekil 5.7: Terazi sistemine bağlı sensörler kullanılarak oluşan model.

Dingillerin ağırlık modelleri oluşturulduktan sonra Bölüm 4.3'te tasarlanan fonksiyonların araçta fonksiyonel testleri yapılmalıdır.

Fonksiyonel test, ağırlık tahmin testi, histeresis düzeltme testi, ağırlık hesaplama aktif/pasif testi ve algoritma durum-akış diyagram testinden oluşmaktadır. Ağırlık tahmin, histeresis düzeltme ve ağırlık hesaplama aktif/pasif fonksiyonları doğru çalışmadığı zaman algoritma durum-akış diyagramı doğru tasarlanmış olsa bile sistem istenilen cevabı üretemeyebilir. Bu nedenle belirtilen bu 3 fonksiyon sistemin performansını, algoritma ise sistemin mantıksal çalışma sürecini etkiler Bu nedenle sistem performans testleri araç üzerinde gerçek zamanlı olarak yapılacak, algoritma testi ise TruckMaker simülasyonunda yapılacaktır.

5.1 Ağırlık Tahmin Performans Testi

Sistem integrasyonunda çıkarılan ağırlık fonksiyon modellerinin hata paylarının bulunması önemlidir. Örneğin sadece canlı dingil yerdeyken 11.5 tonluk yük sınırında sistemin yapacağı 1 tonluk hatalı tahmin 12.5 tonda da dingilin yere inmesini engelleyebilir.

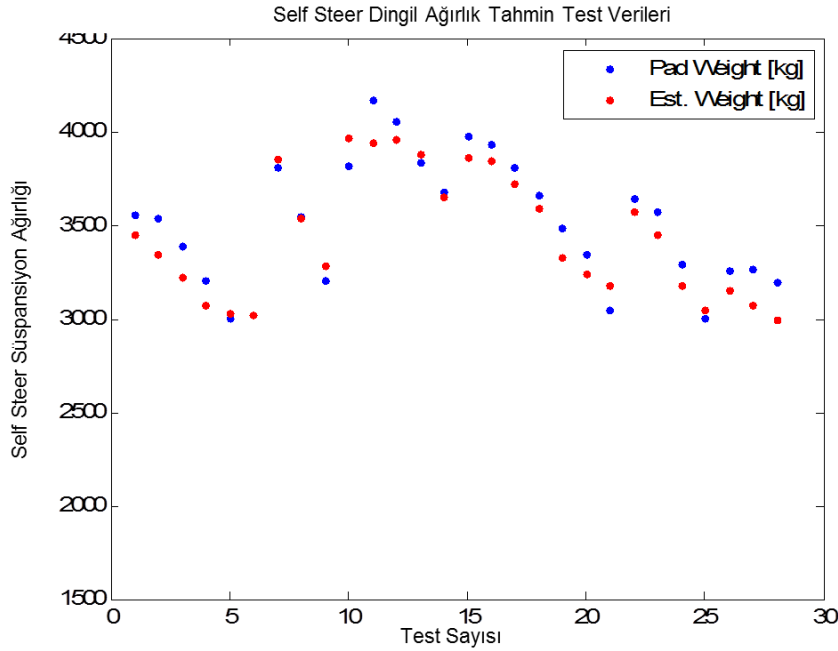


Şekil 5.8: Ön dingil ağırlık tahmin (tek teker).

Şekil 5.8’de ön dingil için gerçekleştirilen ağırlık tahmin test sonuçlarında mavi noktalar ağırlık padlerinden okunan gerçek ağırlık değerlerini, kırmızı noktalar ise sistemin hesapladığı değeri göstermektedir. Taşıt analizi bölümünde de belirtildiği

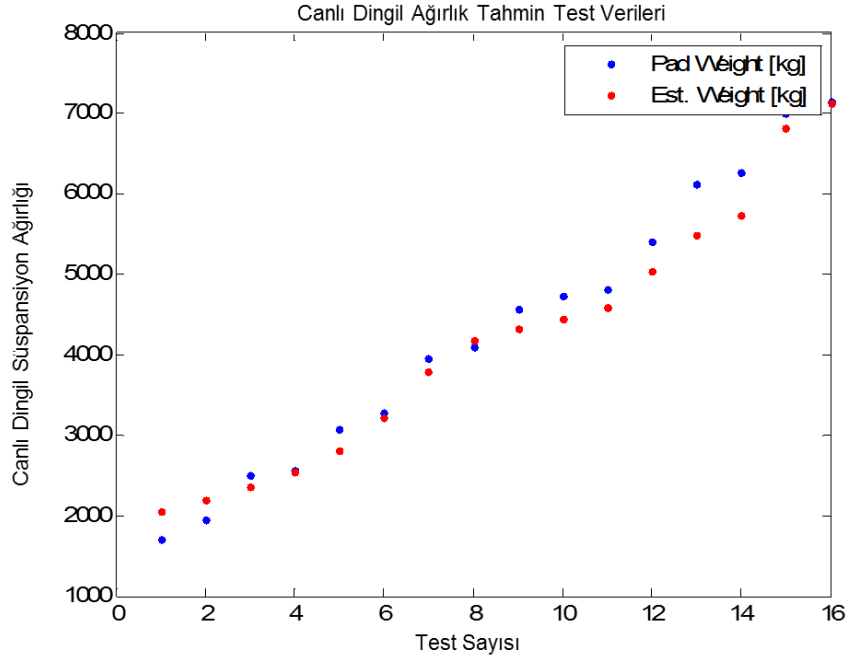
gibi prototip araç ön dingil süspansiyon parabolik makastır ve kapasitesi 7 tondur. Bu nedenle tek tekerden alınan ölçümlerde 3.5 ton ve altı; TCS destek isteği durumlarında ise 4.5 ton ve altı ölçümleri baz alınmalıdır. Yapılan 28 ağırlık denemesi sonucu ön dingil tek teker için hata payı en yüksek 450 kg olarak bulunmuştur.

Kendinden dümenli dingil için ise, dingilin taşıdığı ağırlık aralığı tek teker için normal yükleme koşullarında 2.7 ton ile 4.2 ton arasında değişmektedir. Bu nedenle yapılacak ağırlık testlerinde hesaplamadaki hata payının yüksek olması beklenemez. Şekil 5.9'da gösterilen sonuçlarda normal yükleme koşullarında bu değer 260 kg olarak hesaplanmıştır.

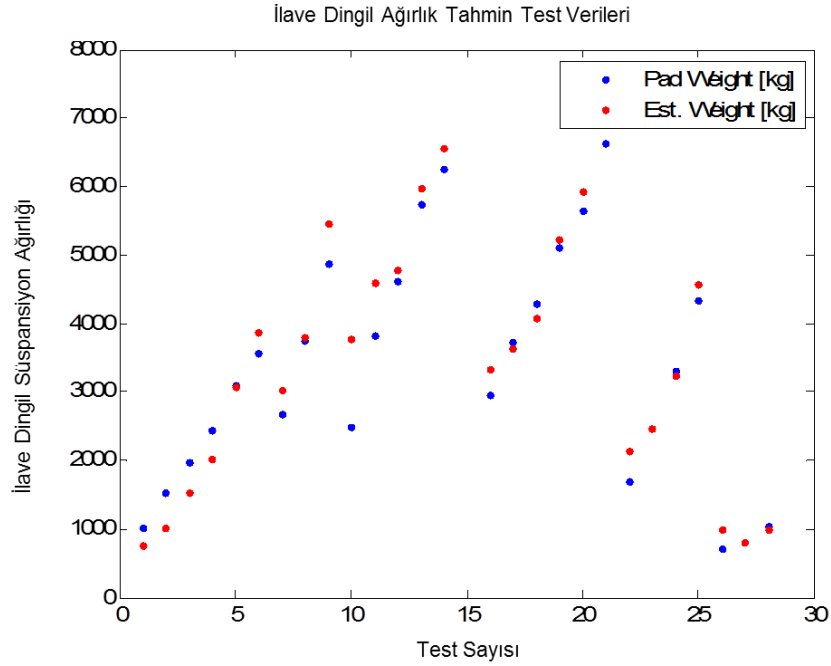


Şekil 5.9: Kendinden dümenli dingil ağırlık tahmin (tek teker).

Tandem terazi grubu dingilleri, farklı yol ve yükleme koşullarında yükü kompanze ettikleri için normal yükleme ve dengesiz yükleme koşullarında iki farklı test seti alınmıştır. Şekil 5.10 ve 5.11'de canlı ve ilave dingillerin normal yükleme koşullarındaki ağırlık tahmin sonuçları gösterilmiştir. Sonuçlarda canlı dingilin ölçüm doğruluğunun ilave dingile göre daha iyi olduğu görülmüştür. Bunun nedeni ilave dingilin aracın arka tip uzunluğundan canlı dingile göre daha fazla etkilenmiş olmasıdır.

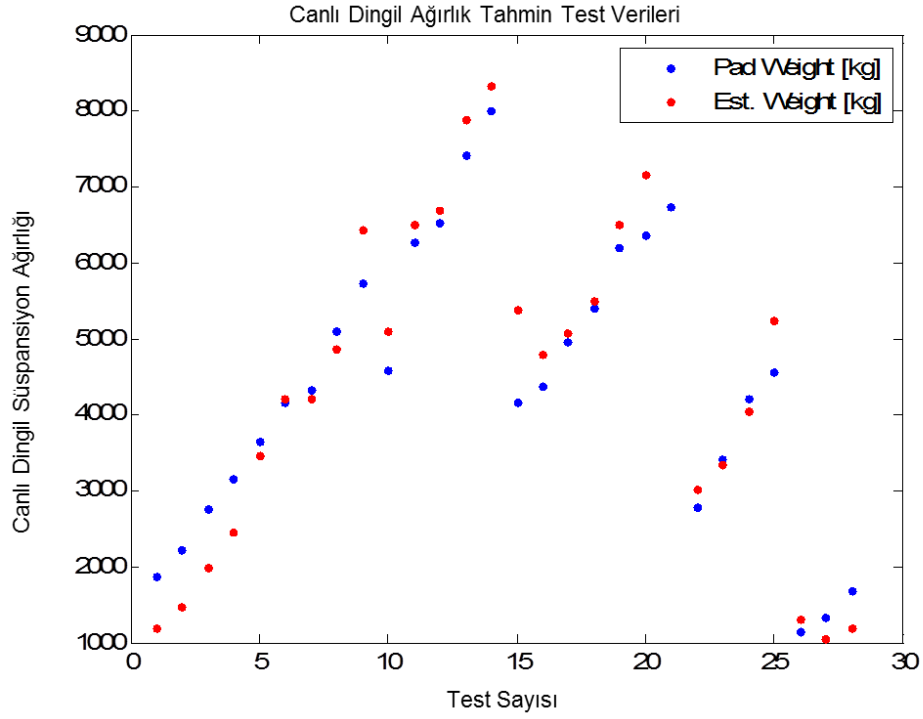


Şekil 5.10: Canlı dingil ağırlık tahmin (tek teker), normal yükleme.

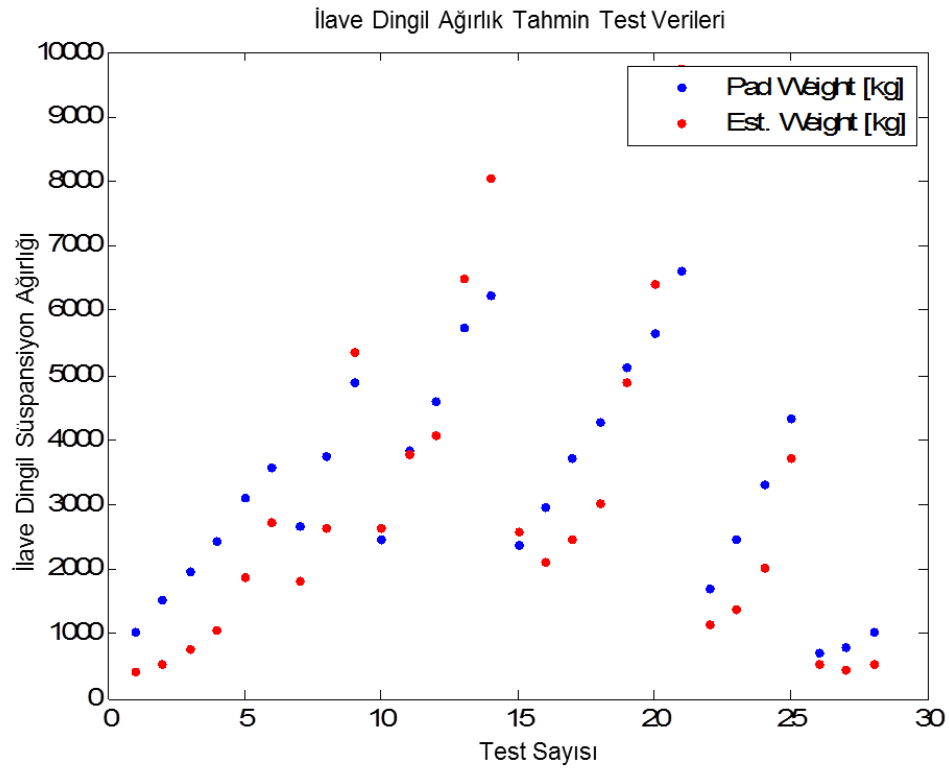


Şekil 5.11: İlave dingil ağırlık tahmin (tek teker), normal yükleme.

Şekil 5.10'da canlı dingil ağırlık tahmin test verisi sayısı diğerlerinden azdır. Bunun nedeni toplanılan 28 verinin 16'sı yükleme koşullarını temsil etmektedir. Oluşturulan modeller makasların yükleme koşullarındaki karakteristiklerini temsil etmektedirler.



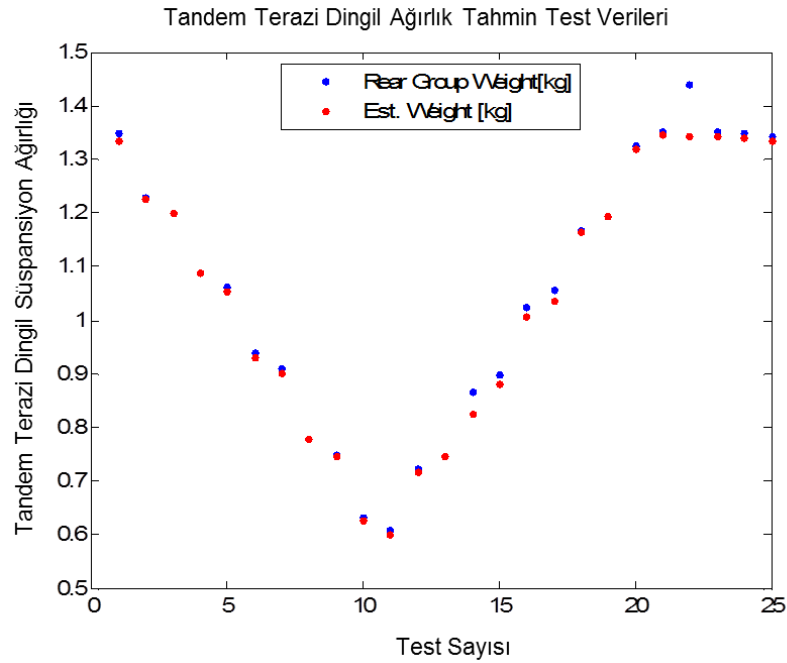
Şekil 5.12: Canlı dingil ağırlık tahmin (tek teker), dengesiz yükleme.



Şekil 5.13: İlave dingil ağırlık tahmin (tek teker), dengesiz yükleme.

5.2 Dingil Kapasitesi %30 Aşım Tahmin Testi

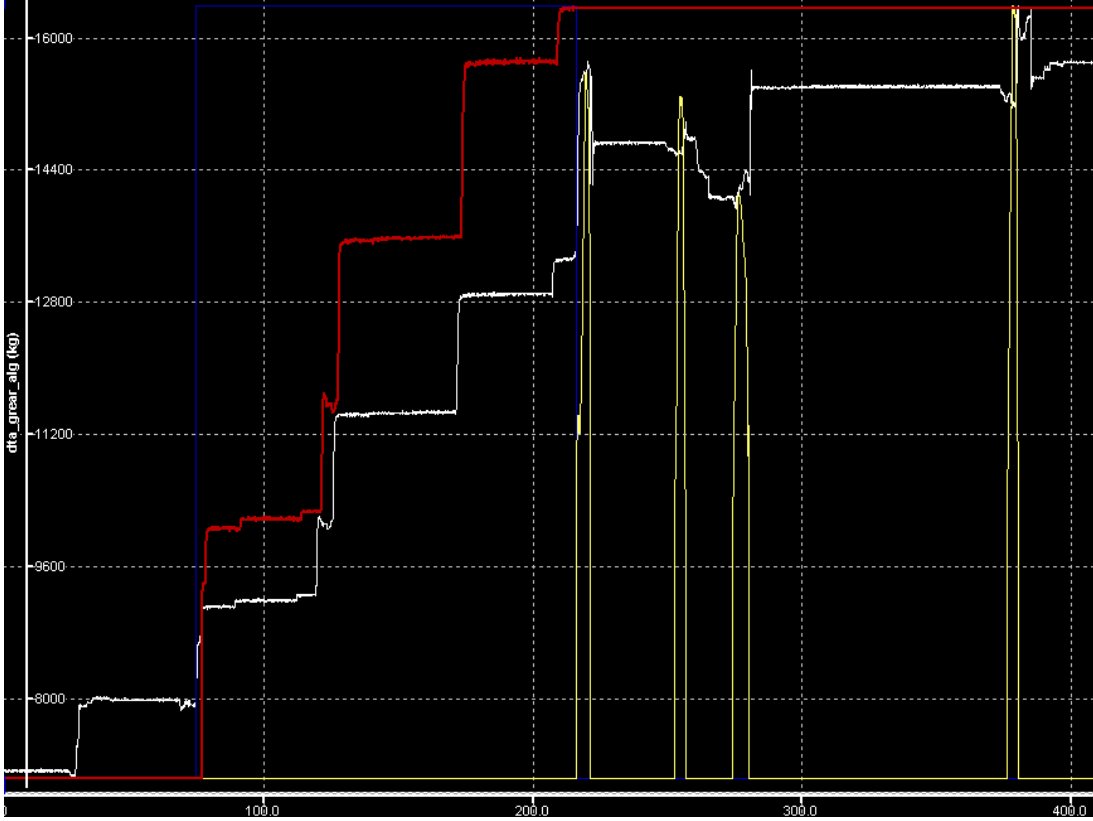
Kaygan veya eğimli yollarda daha güçlü kalkış kuvveti elde etmek için canlı dingile daha fazla yük gelmesi için dingiller kaldırılmak istenebilir. Yönetmelikte geçen, dolayısıyla sistemin fonksiyonel gereksinimleri doğrultusunda dingil kapasitesinin %30'unu geçmeyecek şekilde 30 km/h'a kadar geçici dingil kaldırma yetkisi sürücüye verilebilmektedir. Bu nedenle tahmin ne kadar doğru olursa, dingil kaldırıldıktan sonra dingil ağırlığının %30'unu geçmesi ihtimali o kadar azalır veya hata payından kaynaklanan limit indirme farkı o kadar az olur. Bu nedenle tasarımda getirilen yöntemin ve fonksiyonun test edilmesi gerekmektedir.



Şekil 5.14: Kendinden dümenli dingil kaldırıldığında oluşacak dağılım tahmini.

5.3 Ağırlık Hesaplama Aktif/Pasif Testi

Ağırlık hesaplamasının belirli koşullarda aktif olup, belirli koşullarda pasif olması gerektiği ve fonksiyonun durum akış diyagramı Bölüm 4.3.1'de belirtilmiştir. Bu fonksiyonun çalışma testi için hesaplamasının pasif olduğu bölgede araç yüklenecek ardından araç hızlanacak ve belirli bir süre hareket ettikten sonra duracaktır.



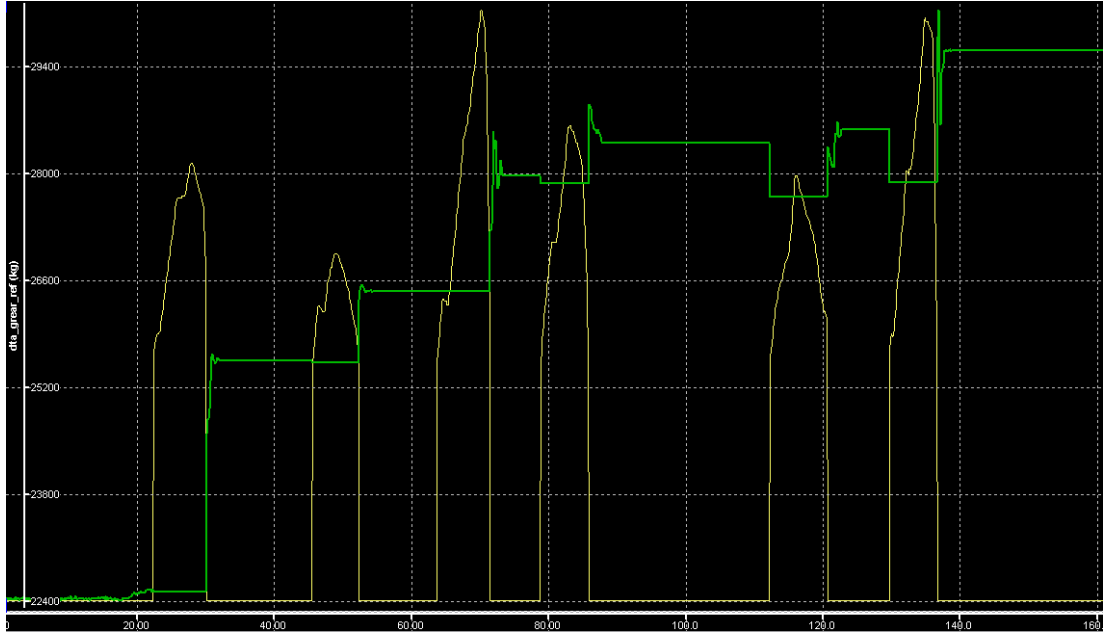
Şekil 5.15: Ağırlık hesaplama aktif/pasif fonksiyon testi.

Şekil 5.15'teki ortak eksenli grafikte mavi grafik hesaplamasının aktif/pasif olduğunu göstermektedir. Beyaz grafik sürekli olarak hesaplanan ağırlığı, kırmızı grafik ise fonksiyon sonrasında çıkan ağırlık değeridir. Sarı grafik ise aracın hızını göstermektedir. Bu grafikte bir çok grafiğin aynı eksende gösterilmesinden dolayı ağırlıklar arasında değerler aynı olmasına rağmen aksel kaymadan dolayı fark vardır. Buna göre başlangıçta araç hesaplama yapmamaktadır. Araca 80. saniyede 2 tonluk yük atıldığı zaman mc_active 1 değerini alır ve fonksiyon hesaplanan değeri çıkış olarak iletir. Bunun yanında 220. saniyede araç tekrar hareket ettiğinde mc_active 0 değerini alır ve çıkış ağırlığı dondurulur. 230. saniyede araç tekrar durdurulduğunda mc_active 0 değerini korur ve testin başındaki gibi bir sonraki ağırlık yükleme değişimini bekler.

5.4 Histeresis Tespit Fonksiyon Testi

Yığılma makaslara sahip tandem terazi süspansiyon sistemlerinde histeresis etkileri oldukça fazladır. Şekil 5.16'da tandem grubunun 23 tona kadar yüklendiği durumda,

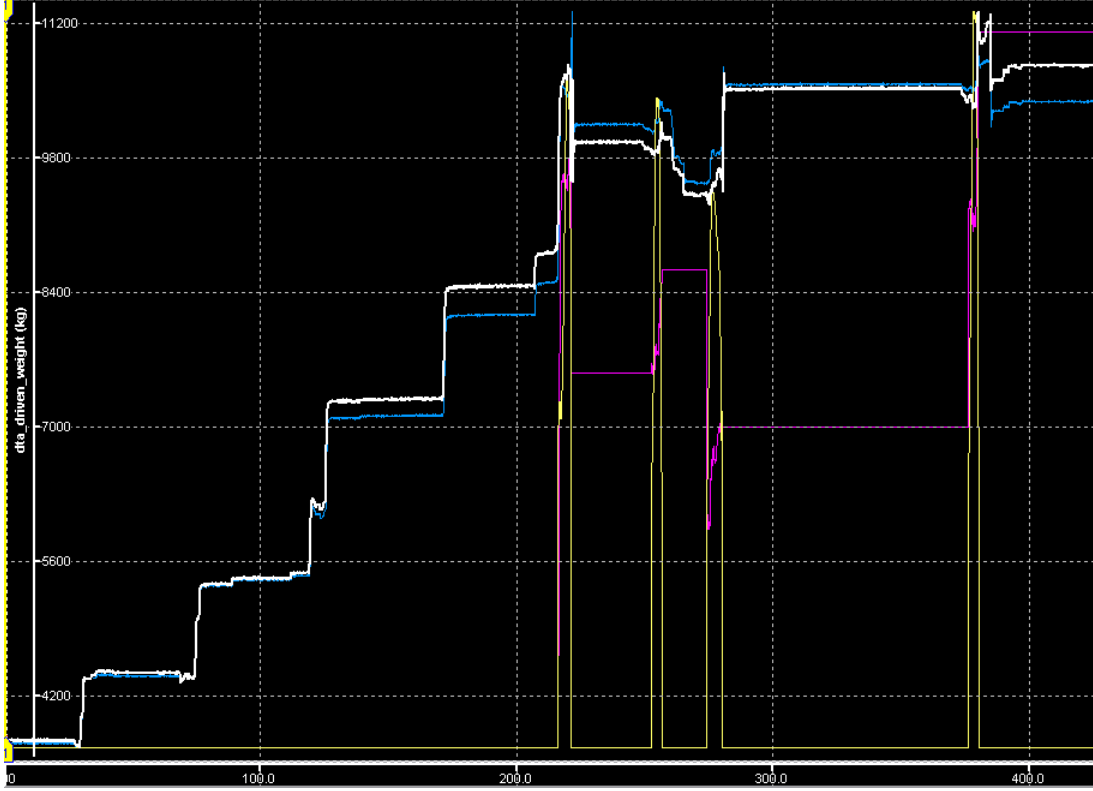
araç hareketlendiğinde makas katmanları arasındaki sürtünmenin yenilmesinden doğan deplasman hareketi sistemin 7 tona kadar daha fazla ağırlık hesaplamasına neden olacaktır. Bu nedenle sistemin, araç hareketlendikten sonra devreye giren ve ağırlık artışını kaydedip histeresis farkı olarak işleyen fonksiyonun testi yapılacaktır.



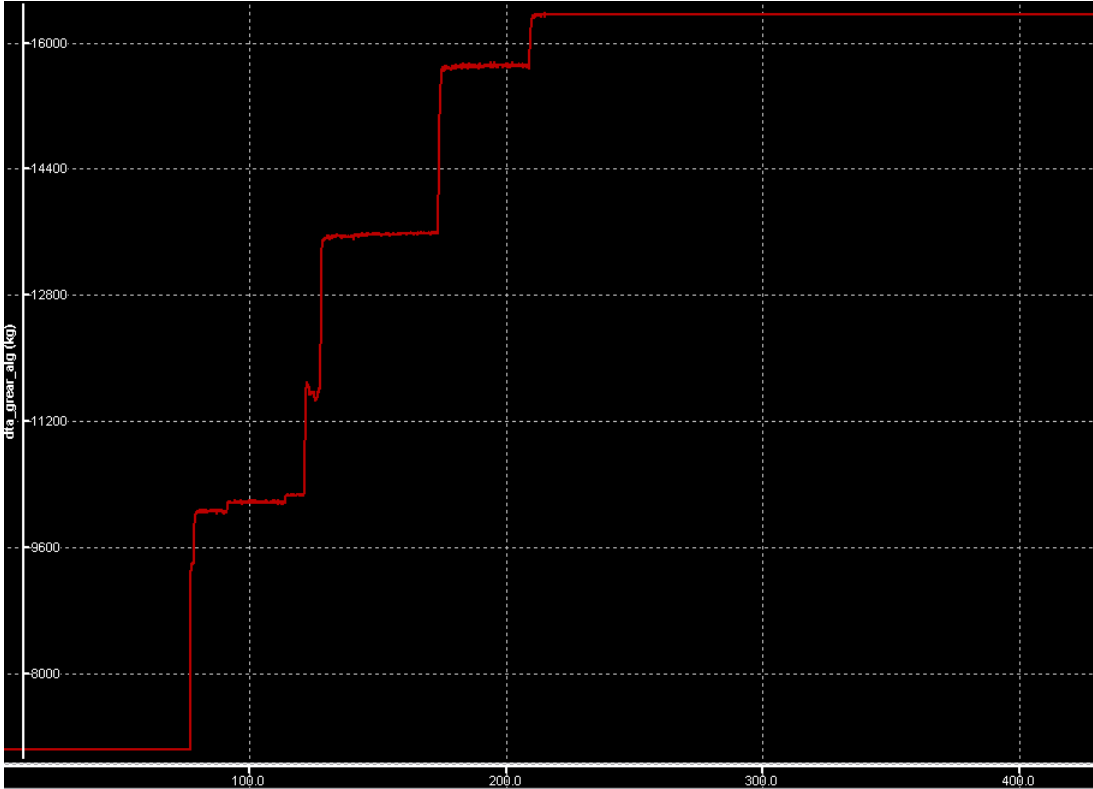
Şekil 5.16: Tandem terazi süspansiyonlarında histeresis farkı.

Araç 22.4 tona (yeşil grafik) yüklenip araç hareketlendiğinde (sarı grafik) makaslar sürtünmelerini yenmelerinden dolayı her aşamada daha da çökmektedir. 140. saniyedeki son hareket sonucu çökmeden dolayı sistemin hesapladığı ağırlık değeri 29.6 tona ulaşmıştır. Bu durumun önüne geçebilmek için yapılan testte Şekil 5.17'de da görüldüğü gibi araç başlangıçta 15 tona yüklenmiş ve araç hareketinde arada doğan histeresis farkını sistem kaydetmiş ve fonksiyona giren ağırlıktan çıkararak fonksiyondan çıkan değere eşitlemiştir.

Şekilde görülen beyaz ve mavi grafikler sırasıyla canlı ve ilave dingilin sürekli hesaplanmış ağırlıklarıdır. Buna göre 200. saniyede sistem 15.7 tona yüklü iken hızlanmalar sonrasında bu değer 20 tona kadar ulaşmıştır. Bu durumda sistem aradaki histeresis farkını sürekli olarak hesaplayarak güncellemiş ve hesaplanan değer 20 ton yerine Şekil 5.17'deki gibi 16.3 ton olarak algoritmaya gönderilmiştir (kırmızı grafik).



Şekil 5.17: Tandem terazi süspansiyonlarında histeresis tespit testi.



Şekil 5.18: Tandem terazi süspansiyonu düzeltilmiş ağırlık değeri.

5.5 Algoritma Durum-Akış Diyagram Testi

Araçta sistemin implementasyonu yapıp, algoritmanın giriş sinyallerinin testlerinin yapılmasından sonra sistemin girişlerine göre çıkışlarını düzenleyen algoritmanın test edilmesi gerekmektedir. Bu durumda test edilmesi gereken 3 durum vardır. Bunların ilki araç boş iken dingillerin kaldırılmasına izin verilme durumudur. Ancak boş durumda bile araç hızı 30 km/h'ı geçtiğinde dingil indirme isteği reddedilecektir.

Çizelge 5.2: Algoritma testi – 1.

zaman	ss_button	ta_button	w_front	w_rear	v_speed	ss_cmd	ta_cmd
1	0	0	3261,4	5969,77	0	0	0
2	0	0	3261,4	5969,77	0	0	0
3	0	0	3261,4	5969,77	0	0	0
4	0	0	2509,578	7100,271	0	0	0
5	0	0	2551,461	7129,263	0	0	0
6	0	0	2568,346	7157,089	0	0	0
7	0	0	2579,623	7183,822	0	0	0
8	0	0	2556,008	7230,206	0	0	0
9	1	0	2611,775	7234,758	0	0	0
10	0	0	2630,994	7258,341	0	1	0
11	0	0	2649,898	7281,558	0	1	0
12	0	0	2669,76	7770,269	0	1	0
13	0	0	2690,166	7794,635	0	1	0
14	0	0	2711,657	7818,342	0	1	0
15	0	0	2734,139	7841,392	0	1	0
16	0	0	2757,6	7863,781	0	1	0
17	0	0	2782,037	7885,509	0	1	0
18	0	1	2807,452	7906,574	0	1	1
19	0	0	2833,844	7926,977	0	1	1
20	0	0	2401,424	3205,181	0	1	1
21	0	0	1918,6	5187,779	0	1	1
22	0	0	1993,286	5385,546	0	1	1
23	0	0	2027,011	5392,757	0	1	1
24	0	0	2061,695	5397,098	0	1	1
25	0	0	2097,383	5400,392	0	1	1
26	0	0	2134,134	5402,64	0	1	1
27	0	0	2171,983	5403,795	0	1	1
28	0	0	2210,923	5403,887	0	1	1
29	0	0	2218,843	5403,798	9,610005	1	1
30	0	0	2218,843	5403,798	9,023351	1	1
31	0	0	2218,843	5403,798	11,08323	1	1

zaman	ss_button	ta_button	w_front	w_rear	v_speed	ss_cmd	ta_cmd
33	0	0	2218,843	5403,798	16,19636	1	1
34	0	0	2218,843	5403,798	19,81531	1	1
35	0	0	2218,843	5403,798	23,83959	1	1
36	0	0	2218,843	5403,798	28,89679	1	1
37	0	0	2218,843	5403,798	34,34369	1	1
38	0	0	2218,843	5403,798	35,03079	1	1
39	0	0	2218,843	5403,798	35,01722	1	1
40	0	0	2218,843	5403,798	35,01537	1	1
41	0	0	2218,843	5403,798	35,01502	1	1
42	0	0	2218,843	5403,798	40,84637	1	1
43	0	0	2218,843	5403,798	46,63754	1	1
44	0	0	2218,843	5403,798	51,89556	1	1
45	0	0	2218,843	5403,798	55,71428	1	1
46	0	1	2218,843	5403,798	57,52254	1	1
47	0	1	2218,843	5403,798	58,08175	1	1
48	0	0	2218,843	5403,798	58,21008	1	1
49	0	1	2218,843	5403,798	58,23843	1	1
50	0	0	2218,843	5403,798	58,2442	1	1
51	0	0	2218,843	5403,798	58,24486	1	1
52	0	0	2218,843	5403,798	52,11997	1	1
53	0	0	2218,843	5403,798	40,62031	1	1
54	0	0	2218,843	5403,798	35,93046	1	1
55	0	0	2218,843	5403,798	12,41598	1	1
56	0	0	2218,843	5403,798	0	1	1
57	0	0	2218,843	5403,798	0	1	1
58	0	0	2218,843	5403,798	0	1	1
59	0	0	2218,843	5403,798	0	1	1
60	0	0	2218,843	5403,798	0	1	1
61	0	0	2218,843	5403,798	0	1	1
62	0	0	6081,86	7547,672	0	1	1
63	0	0	7230,455	8897,126	0	1	0
64	0	0	7304,518	8910,689	0	1	0
65	0	0	7322,689	15094,93	0	1	0
66	0	0	7345,023	15111,63	0	1	0
67	0	0	7366,992	15128,32	0	1	0
68	0	0	7388,901	15145,07	0	1	0
69	0	0	7410,746	15161,94	0	1	0
70	0	0	7432,733	15178,67	0	1	0
71	0	0	7454,824	15195,27	0	1	0
72	0	0	7476,871	15211,89	0	1	0
73	0	0	8023,816	13992,97	0	1	0
74	0	0	8390,557	12637,51	0	1	0
75	0	0	8426,379	11993,74	0	1	0
76	0	0	8439,272	12001,6	0	1	0

zaman	ss_button	ta_button	w_front	w_rear	v_speed	ss_cmd	ta_cmd
78	0	0	8487,415	12020,27	0	0	0
79	0	0	8511,517	11564,26	0	0	0
80	0	0	8535,506	11573,63	0	0	0
81	0	0	8559,468	11583	0	0	0

Testten de görüldüğü gibi 9. ve 18. Saniyelerde gelen kaldırma istekleri (xx_button) sistem tarafından dingil ağırlıkları limitlerin altında olduğu için kabul edilmiş ve dingiller kaldırılmıştır (xx_cmd). Ancak araç hızı 30 km/h'ı geçtiği andan sonra 45. saniyede dingili indirme için bulunulan talep sistem tarafında kabul edilmemiş ve ta_button 1 olarak kalmıştır.

2. Testte ise araç boş halde başlayıp dingiller aynı şekilde kaldırılacak, sonrasında araç yüklenerek dingiller sistem tarafından otomatik olarak indirilecektir.

Çizelge 5.3: Algoritma testi – 2.

zaman	ss_button	ta_button	w_front	w_rear	v_speed	ss_cmd	ta_cmd
1	0	0	3261,4	5969,77	0	0	0
2	0	0	3261,4	5969,77	-0,0008	0	0
3	0	0	3261,4	5969,77	0,000566	0	0
4	1	0	2500,681	7106,501	0,000667	1	0
5	0	0	2528,634	7144,803	0,001054	1	0
6	0	0	2534,238	7646,172	0,00048	1	0
7	0	0	2563,463	7690,586	0,000397	1	0
8	0	0	2538,917	7718,616	0,000427	1	0
9	0	0	2540,764	7755,47	0,000426	1	0
10	0	0	2542,676	7792,302	0,000451	1	0
11	0	0	2544,206	7829,332	0,000428	1	0
12	0	1	2545,477	7866,561	-0,04605	1	1
13	0	0	2546,498	7903,991	-0,0372	1	1
14	0	0	1992,444	3506,971	-0,00507	1	1
15	0	0	1546,563	5363,668	-0,0015	1	1
16	0	0	1585,75	5552,606	-0,00035	1	1
17	0	0	1585,587	5592,946	-0,00063	1	1
18	0	0	1585,049	5632,146	-0,00126	1	1
19	0	0	1584,192	5671,652	-0,00153	1	1
20	0	0	1583,02	5711,465	-0,00172	1	1
21	0	0	1581,576	5751,566	-0,00179	1	1
22	0	0	1579,866	5791,927	-0,00181	1	1
23	0	0	1577,889	5832,559	-0,00183	1	1
24	0	0	1575,533	5873,526	-0,00185	1	1

zaman	ss_button	ta_button	w_front	w_rear	v_speed	ss_cmd	ta_cmd
26	0	0	1569,916	5956,446	-0,06197	1	1
27	0	0	1566,703	5998,311	-0,0065	1	1
28	0	0	1712,643	8997,209	0,000296	1	1
29	0	0	1772,581	11967,6	-0,00026	1	0
30	0	0	1760,806	11987,79	-0,00201	1	0
31	0	0	1736,267	18222	-0,00256	1	0
32	0	0	1710,819	18286,23	-0,00257	1	0
33	0	0	1685,062	18350,66	-0,00246	1	0
34	0	0	1659,084	18415,3	-0,00236	1	0
35	0	0	1632,865	18480,17	0,049611	1	0
36	0	0	1606,388	18545,29	0,055261	1	0
37	0	0	1862,209	18288,78	0,054525	1	0
38	0	0	2261,449	16547,67	0,054618	1	0
39	0	0	2687,59	14849,29	0,008061	1	0
40	0	0	3055,565	13541,49	0,062411	1	0
41	0	0	3120,641	12670,72	0,00187	1	0
42	0	0	3560,208	14394,26	0,005311	1	0
43	0	0	3639,859	15098,67	0,004855	1	0
44	0	0	3621,033	15155,42	0,003756	1	0
45	0	0	3590,626	15201,43	0,002592	1	0
46	0	0	3559,261	15246,59	0,004026	1	0
47	0	0	3527,748	15292,15	0,001255	1	0
48	0	0	3788,59	17432,38	-0,00013	1	0
49	0	0	3678,432	17195,97	-0,00014	1	0
50	0	0	3629,05	17231,32	-0,00179	1	0
51	0	0	3587,366	17297,23	-0,0022	1	0
52	0	0	3545,767	17362,85	-0,00289	1	0
53	0	0	3503,555	17427,88	-0,00529	1	0
54	0	0	3461,367	17506,69	-0,00183	1	0
55	0	0	3488,189	18909,38	-0,00018	0	0
56	0	0	3527,863	20052,43	-0,00139	0	0
57	0	0	3471,49	19621,75	-0,0019	0	0
58	0	0	3416,238	19678,94	-0,00187	0	0
59	0	0	3362,587	19763,78	-0,01158	0	0
60	0	0	3309,338	19853,56	-0,01335	0	0
61	0	0	3106,513	20816,28	-0,02161	0	0
62	0	0	2038,147	21647,68	-0,01649	0	0
63	0	0	1426,336	22211,52	-0,01515	0	0
64	0	0	688,0416	23218,08	-0,01422	0	0
65	0	0	385,9486	23355,74	-0,01281	0	0
66	0	0	319,1384	23398,56	-0,01176	0	0
67	0	0	247,1339	23493,1	-0,0108	0	0
68	0	0	173,9419	23593,22	-0,00985	0	0
69	0	0	100,365	23694,16	-0,00892	0	0

Görüldüğü gibi dingiller havadayken canlı dingilin ağırlığı 29. saniyede 11.5 ton limitini geçtiği anda sistem ilave dingili (ta_cmd); tandem süspansiyon ağırlığı 55. saniyede 18 ton limitini geçtiği zaman ise kendinden dümenli dingili (ss_cmd) de indirmiştir.

3. testte ise sistemde TCS destek fonksiyonu incelenmiştir. Araç boş iken 2. Dingil kaldırılmış ve TCS destek butonuna basılmıştır. Bu noktadan sonra araç tandem süspansiyonu yüklenip limitini geçse bile sistem ilave dingili kaldırmaya geçici olarak izin vermiş ve araç 30 km/h'ı geçtikten sonra otomatik olarak dingili indirmiştir.

Çizelge 5.4: Algoritma testi – 3.

zaman	ss_button	ta_button	w_front	w_rear	v_speed	ss_cmd	ta_cmd
1	0	0	3261,4	5969,77	0	0	0
2	0	0	3261,4	5969,77	-0,0008	0	0
3	0	0	3261,4	5969,77	0,000628	0	0
4	0	0	2500,681	7106,501	0,000729	0	0
5	0	0	2532,693	7143,542	0,000429	0	0
6	0	0	2535,903	7179,325	0,000508	0	0
7	0	0	2538,201	7215,641	0,00055	0	0
8	0	0	2540,356	7252,142	0,000423	0	0
9	0	0	2542,294	7288,853	0,000479	0	0
10	0	0	2543,972	7325,758	0,000484	0	0
11	0	0	2545,402	7362,856	0,000429	0	0
12	0	0	2546,588	7400,156	0,000454	0	0
13	0	0	2547,521	7437,652	0,000455	0	0
14	0	0	2548,206	7475,343	0,000419	0	0
15	0	0	2548,645	7513,234	0,000438	0	0
16	0	0	2548,832	7551,322	0,000429	0	0
17	1	0	2548,773	7589,606	0,00046	1	0
18	0	0	2548,469	7628,088	0,0004	1	0
19	0	0	2541,726	8136,343	0,000105	1	0
20	0	0	2545,33	8172,5	0,000501	1	0
21	0	0	2541,368	8212,049	0,000315	1	0
22	0	0	2545,96	8250,181	-0,00047	1	0
23	0	0	2541,7	8290,028	0,000539	1	0
24	0	0	2575,728	9375,309	0,000541	1	0
25	0	0	2729,548	10124,7	-0,0004	1	0
26	0	0	2733,629	10155,57	-0,00029	1	0
27	0	0	2727,487	10187,68	0,000578	1	0

zaman	ss_button	ta_button	w_front	w_rear	v_speed	ss_cmd	ta_cmd
29	0	0	2781,154	10646,43	0,001528	1	0
30	0	0	2889,769	11247,73	-0,00029	1	0
31	0	1	2873,578	11297,09	-0,04973	1	1
32	0	0	2865,84	11320,77	-0,05206	1	1
33	0	0	2642,507	5085,762	-0,05332	1	1
34	0	0	2308,83	6587,583	-0,03246	1	1
35	0	0	1934,391	8144,135	-0,00474	1	1
36	0	0	1536,089	9980,201	-0,00262	1	1
37	0	0	1551,835	10062,67	-0,00162	1	1
38	0	0	1533,357	10119,67	-0,00177	1	1
39	0	0	1514,605	10177,08	-0,00256	1	1
40	0	0	1495,624	10234,73	-0,01883	1	1
41	0	0	1476,256	10292,55	-0,00313	1	1
42	0	0	1452,212	10820,97	-0,00142	1	1
43	0	0	1419,993	12616,9	-0,00178	1	1
44	0	0	1389,845	12698,13	-0,00213	1	1
45	0	0	1370,313	12745,14	6,552312	1	1
46	0	0	1370,313	12745,14	9,75374	1	1
47	0	0	1370,313	12745,14	9,123379	1	1
48	0	0	1370,313	12745,14	10,19452	1	1
49	0	0	1370,313	12745,14	10,86706	1	1
50	0	0	1370,313	12745,14	13,32225	1	1
51	0	0	1370,313	12745,14	16,18602	1	1
52	0	0	1370,313	12745,14	20,85599	1	1
53	0	0	1370,313	12745,14	26,13087	1	1
54	0	0	1370,313	12745,14	31,28973	1	0
55	0	0	1370,313	12745,14	34,37063	1	0
56	0	0	1370,313	12745,14	34,92968	1	0
57	0	0	1370,313	12745,14	34,96379	1	0
58	0	0	1370,313	12745,14	34,96468	1	0
59	0	0	1370,313	12745,14	34,96427	1	0
60	0	0	1370,313	12745,14	34,77271	1	0
61	0	0	1370,313	12745,14	34,99412	1	0
62	0	0	1370,313	12745,14	35,02232	1	0
63	0	0	1370,313	12745,14	35,02202	1	0
64	0	0	1370,313	12745,14	34,98998	1	0
65	0	0	1370,313	12745,14	34,95426	1	0
66	0	0	1370,313	12745,14	34,94955	1	0
67	0	0	1370,313	12745,14	34,94877	1	0
68	0	0	1370,313	12745,14	34,94833	1	0
69	0	0	1370,313	12745,14	34,94793	1	0
70	0	0	1370,313	12745,14	34,94752	1	0
71	0	0	1370,313	12745,14	34,9471	1	0

6. SONUÇ

Sonuç olarak otomatik dingil indirme sisteminin tasarımı tamamlanmış ve 8x2S prototip aracına implementasyonu gerçekleştirilmiştir. Burada önemli olan standart, giriş-çıkışları olan ve bu parametrelere göre uygun çıkışı üreten gömülü bir mekatronik sistemin ağır ticari araçların integrasyonunda izlenen adımlardır. Bu adımlar sistem geliştirmede sıkça kullanılan v-döngüsü prosedüründe kullanılan adımlardır. Buna göre belirlenen sistemin fonksiyonel gereksinimlerini karşılayacak tasarım getirilmiş ve taşıta uyarlaması yapılmıştır. Her adım bir önceki adımı doğrulamış ve son olarak araç testlerinde sistemin fonksiyonel gereksinimleri karşılanmıştır.

Öncelikle sistem yazılım tasarımı, algoritma ve algoritma girişleri olarak ikiye ayrılmıştır. Algoritmanın doğru çalışması için fonksiyonel gereksinim ve taşıt analizinden yola çıkılarak, dingillerin ağırlık modelleri oluşturulmuş ve ağırlık sinyalinin algoritmaya doğru bir biçimde gidebilmesi için, dingil ağırlığı hesaplama aktif/pasif ve histeresis fonksiyonları tanımlanmıştır. Ardından getirilen tasarım komponent seviyesine getirilip araca implement edilmiştir. Tanımlanan fonksiyonlar test edilmiş ve ağırlık tahmin fonksiyonlarının performans testleri yapılmıştır. Buna göre ağırlık ölçüm hatası toplam arac baz alındığında %15 olarak görülmüş ve algoritma parametreleri buna göre set edilmiştir. Algoritma girişleri hazırlandıktan sonra algoritma durum-akış diyagramı 3 aşamada test edilmiş ve doğrulanmıştır. Bu şekilde araca implement edilen sistemin daha verimli çalışması, ağırlık tahminlerinin iyileştirilmesiyle sağlanabilir. Bu nedenle deplasman sensörleri yerine daha pahalı çözümler olan yük hücreleri alternatifler arasında olmalıdır.

Bunun yanında bu tür sistemlerin otomotiv seri üretiminde kullanılabilmesi için EOL, Diyagnostik Hata Ayıklayıcı ve kullanıcı paneli olan Cluster konfigürasyonlarının da yapılıp çevre birimlerle uygun çalışacak tasarımın getirilmesi gereklidir.

KAYNAKLAR

Hendrickson, E.D.(1969).History of truck suspensions – tandem suspensions. SAE Paper No. 690096. Society of Automotive Engineers. International Congress. Detroit, January 1969

SAE Spring Committee.(1982).Manual on Design and Application of Leaf Springs – SAE J788a. SAE Information Report. 4th Edition, Society of Automotive Engineers, Warrendale, PA. May 1982

Sternberg, E.R.(1976).Heavy Duty Truck Suspension SAE Paper No. 760369. Society of Automotive Engineers. International Congress

EKLER

ÖZGEÇMİŞ



Ad Soyad: Taylan Keleş

Doğum Yeri ve Tarihi: İskenderun – 25.03.1988

Adres: Türkali Mh. Nüzhetiye Karakolu Sk. No: 29 D:2 Beşiktaş/İSTANBUL

E-Posta:tkeles1@ford.com.tr

Lisans: Kocaeli Üniversitesi Mekatronik Mühendisliği

Mesleki Deneyim ve Ödüller: 2013 - Ford OTOSAN Havalı Süspansiyon Ekibi
Ürün Geliştirme Mühendisi

Yayın ve Patent Listesi:

1- **Tolga Emirler, Meric Uygan, İlker Altay, Uğur Acar, Taylan Keleş, Prof. Dr. Bilin Güvenç, Prof Dr. Levent Güvenç.** A Cooperating Autonomous Road Vehicle Platform, ACATTA 2013, IFAC Workshop on Advances in Control and Automation Theory for Transportation Applications, 16-17 Eylül., Istanbul, Türkiye.

TEZDEN TÜRETİLEN YAYINLAR/SUNUMLAR

1- **Mustafa Sinal, Erhan Eyol, Ufuk Özdemir, Mahmut Duruş, Taylan Keleş, Uğur Acar. Prof. Dr. Levent Güvenç.** Autodrop study for mechanical suspension system, Ford Global Chassis Newsletter #7 April 2013

2- **Osman Uğur Acar, Taylan Keleş, Zeynel Koç, Şafak Güner, Mahmut Duruş, Erdiñç Altuğ, Levent Güvenç.** Development of Automatic Lift Axle System for Trucks with Mechanical Suspensions ACATTA 2013, IFAC Workshop on Advances in Control and Automation Theory for Transportation Applications, 16-17 Eylül., Istanbul, Türkiye.

3- **Taylan Keleş, Osman Uğur Acar, Aziz Ozan Öztürk, Zeynel Koç, Mahmut Duruş, Erdinç Altuğ, Levent Güvenç.** Kamyonlarda Otomatik Dingil İndirme Sistemi Algoritması Ve Simülatörü Geliştirilmesi, OTEKON 2012 6. Otomotiv Teknolojileri Kongresi 4-5 Hazirain 2012, Bursa,Türkiye