



BURULMA KİRİŞLİ BİR ARKA AKS  
TASARIMI VE TAŞIT DİNAMİK DAVRANIŞI  
ÜZERİNE ETKİLERİ

Ercan DOĞRU

Yüksek Lisans Tezi

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Yrd. Doç. Dr. Erdem UZUNSOY

2017



**T.C.**

**BURSA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ**

**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**BURULMA KİRİŞLİ BİR ARKA AKS  
TASARIMI VE TAŞIT DİNAMİK DAVRANIŞI  
ÜZERİNE ETKİLERİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Ercan DOĞRU**

**Makine Mühendisliği Anabilim Dalı**

**BURSA**

**Ocak 2017**

## YÜKSEK LİSANS TEZİ ONAY FORMU

“Ercan DOĞRU” tarafından “Yrd. Doç. Dr. Erdem UZUNSOY” yönetiminde hazırlanan “BURULMA KİRİŞLİ BİR ARKA AKS TASARIMI VE TAŞIT DİNAMİK DAVRANIŞI ÜZERİNE ETKİLERİ” başlıklı tez, kapsamı ve niteliği açısından incelenmiş ve Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

### Sınav Jüri Üyeleri

Yrd. Doç. Dr. Erdem UZUNSOY .....

(Bursa Teknik Üniversitesi, Makine Mühendisliği)

Prof. Dr. Ali Rıza YILDIZ .....

(Bursa Teknik Üniversitesi, Makine Mühendisliği)

Prof. Dr. Ferruh ÖZTÜRK .....

(Uludağ Üniversitesi, Otomotiv Mühendisliği)

**Tez Savunma Tarihi: 03/01/2017**

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

Doç. Dr. Murat ERTAŞ

.../ .../2017 .....

## İNTİHAL BEYANI

Bu tezde görsel, işitsel ve yazılı biçimde sunulan tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uyularak tarafımdan elde edildiğini, tez içinde yer alan ancak bu çalışmaya özgü olmayan tüm sonuç ve bilgileri tezde kaynak göstererek belgelediğimi, aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim.

Öğrencinin Adı Soyadı: Ercan DOĞRU

İmzası:

## **TEŞEKKÜR**

Tezimin hazırlanması esnasında yol gösteren, tecrübeleri ile desteğini sakınmayan danışmanım Yrd. Doç. Dr. Erdem UZUNSOY'a, tez çalışmalarım sırasında maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen kıymetli ailem ve arkadaşlarıma teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca bu çalışma kapsamında veri ve bilgi paylaşımı yapan Heksagon Mühendislik ve Tasarım A.Ş.'ne teşekkürü bir borç bilirim.

Ercan DOĞRU



# İÇİNDEKİLER

## sayfa no

Dış Kapak	
İç Kapak	
Tez Sınav Sonuç Formu	
İntihal (Aşırma) Beyanı	
Teşekkür	
İçindekiler	v
Şekil Listesi	vii
Çizelge Listesi	viii
Sembol ve Kısaltma Listesi	ix
Özet	x
Abstract	xi
<b>1. GİRİŞ</b>	<b>1</b>
1.1 Burulma Kirişli Süspansiyon Sistemi Tasarım Parametreleri	2
<b>2. LİTERATÜR ÖZETİ</b>	<b>10</b>
<b>3. MATERYAL VE YÖNTEM</b>	<b>14</b>
3.1 Materyal	14
3.1.1 Adams	14
3.1.1.1 Adams/view	15
3.1.1.2 Adams/car	16
3.1.2 Adams/car taşıt modeli oluşturma	17
3.1.2.1 Şablon oluşturma	17
3.1.2.2 Ön süspansiyon şablonu oluşturma	18
3.1.2.3 Arka süspansiyon şablonu oluşturma	19
3.1.2.4 Direksiyon sistemi şablonu oluşturma	20
3.1.2.5 Ön ve arka lastik şablonu oluşturma	21
3.1.2.6 Ekstra şablonlar	21
3.1.2.7 Alt sistem oluşturma	21
3.1.2.8 Montaj (Assembly) oluşturma	23
3.1.3 M1 sınıfı araç modeli bilgileri	23
3.2 Yöntem	24
3.2.1 ISO kararlı durum dairesel sürüş analizi	24

3.2.2 ISO basamak yönlendirme sürüş analizi	25
3.2.3 Yalpa merkezine göre kayma merkezi pozisyonunun bulunmasında geometrik yöntem	25
<b>4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA</b>	<b>31</b>
4.1 ISO Kararlı Durum Dairesel Sürüş Analizi	31
4.2 ISO Basamak Yönlendirme Sürüş Analizi	32
4.3 Yalpa Merkezine Göre Kayma Merkezi Pozisyonunu	37
<b>5. SONUÇLAR</b>	<b>38</b>
<b>KAYNAKLAR</b>	<b>40</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ</b>	<b>41</b>



## ŞEKİL LİSTESİ

	<u>sayfa no</u>	
Şekil 1.1	Burulma kirişli süspansiyon sisteminin temel elemanları, (1) Burulma kirişi, (2) Ön burç, (3) Arka aks taşıyıcı [3]	4
Şekil 1.2	Burulma kirişli arka aksın tasarım parametreleri gösterimi [3]	6
Şekil 1.3	Burulma kirişli arka aksta burç açılandırmanın etkisi	7
Şekil 1.4	Dairesel ara yüzeyli burulma kirişine sahip burulma kirişli arka aks	8
Şekil 2.1	Burulma kirişli süspansiyon taslağı	10
Şekil 2.2	Burulma kirişi profili	10
Şekil 2.3	Arka aks taşıyıcı boyunca burulma kirişinin olası yerleşimleri	11
Şekil 3.1	Adams/view arayüzü	16
Şekil 3.2	Şablon tanımlama	18
Şekil 3.3	MacPherson tipi şablon	19
Şekil 3.4	Twist-beam tipi şablon	20
Şekil 3.5	Ball and nut tipi şablon	20
Şekil 3.6	Bridgestone_Duvaris_R410_195_60R16C lastik modeli	21
Şekil 3.7	Arka süspansiyon sistemi analizi örneğı	22
Şekil 3.8	Alt sistem minor role	23
Şekil 3.9	Adams/car binek araç modeli	24
Şekil 3.10	ISO kararlı durum dairesel sürüş analiz girdileri	25
Şekil 3.11	ISO basamak yönlendirme analiz girdileri	26
Şekil 3.12	Burulma kirişli bir aksın üstten görünümü [11]	28
Şekil 3.13	Burulma kirişli bir aksın arkadan görünümü [11]	29
Şekil 4.1	Yanal ivme-direksiyon açısı grafiğı	31
Şekil 4.2	0 derece burç açısı için direksiyon açısı girdisi	33
Şekil 4.3	0 derece burç açısı için zamana göre yanal sapma hızı	33
Şekil 4.4	15 derece burç açısı için direksiyon açısı girdisi	34
Şekil 4.5	15 derece burç açısı için zamana göre yanal sapma hızı	34
Şekil 4.6	30 derece burç açısı için direksiyon açısı girdisi	35
Şekil 4.7	30 derece burç açısı için zamana göre yanal sapma hızı	35
Şekil 4.8	45 derece burç açısı için direksiyon açısı girdisi	36
Şekil 4.9	45 derece burç açısı için zamana göre yanal sapma hızı	36



## ÇİZELGE LİSTESİ

	<u>sayfa no</u>
Çizelge 1.1 Burulma kirişli arka aksın tasarım parametreleri ve etkileri [3]	5
Çizelge 2.1 Toe, kamber, yalpa merkezi yüksekliği ve yalpa katılığı üzerindeki ana etkiler	12
Çizelge 4.1 Az yönlendirme eğilimi değerleri	31
Çizelge 4.2 ISO basamak yönlendirme çıktıları	32



## SEMBOL VE KISALTMA LİSTESİ

### Simgeler

<i>g</i>	Yer Çekim İvmesi
<i>km</i>	Kilometre
<i>m</i>	Metre
<i>s</i>	Saat

### Açıklama

### Kısaltmalar

CAD	Computer Aided Design (Bilgisayar Destekli Tasarım)
ISO	Uluslararası Standartlar Örgütü
SA	Steering Angle (Yönlendirme Açısı)
SWA	Steering Wheel Angle (Direksiyon Açısı)

## ÖZET

# BURULMA KİRİŞLİ BİR ARKA AKS TASARIMI VE TAŞIT DİNAMİK DAVRANIŞI ÜZERİNE ETKİLERİ

Ercan DOĞRU

Bursa Teknik Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Yrd. Doç. Dr. Erdem UZUNSOY

Ocak 2017, 41 sayfa

Günümüz hafif araç pazarının şekillenmesinde müşteri beklentileri kadar üretim maliyetleri de oldukça önemlidir. Aracın tasarımından üretimine kadar; maliyetlerinin düşürülmesi, performansı, dinamiği gibi müşteri algı ve kararını etkileyen unsurlar üzerine yoğun şekilde çalışılmaktadır. Süspansiyon sistemleri de; seyir konforunun sağlanmasındaki önemi kadar, sürüş karakteristiklerini de doğrudan etkileyen sistemler olarak bu yoğun arayış içinde yerlerini almaktadırlar.

Bu tez çalışması kapsamında; ülkemizde tamamen yerli olanaklarla tasarım ve üretimi gerçekleştirilen burulma tipi arka süspansiyon sistemi üzerine çalışılmıştır. Bu sisteme yönelik arka aks düzenlemesi; otomotiv sektöründe düşük ağırlık ve yapısal basitlik, yük taşıma kapasitesi ve bakım kolaylığı gibi sebeplerle tercih edilmektedir. Bu avantajlarıyla birlikte tasarımın sürüş dinamiğine büyük etkilerinden dolayı, yapısal tasarımı da etkileyecek olan kinematik ve dinamik modelleme ve analiz çalışmaları gerçekleştirilecektir. Modelleme çalışmalarında MSC ADAMS çoklu cisim dinamiği yazılımından faydalanılmış olup, bu tez çalışması kapsamında burulma kirişli süspansiyon burç açıları değişiminin dinamik cevapları vurgulanmış olup, ayrıca önemli bir parametre olan kayma merkezinin tespitine yönelik olarak taşıt dinamiğinin temel bir parametresi olan yalpa merkezi yüksekliği ile geometrik bir ilişki ortaya konulmuştur.

**Anahtar kelimeler:** Adams, Sürüş, Süspansiyon, Burulma kirişi, Taşıt dinamiği

## **ABSTRACT**

# **A TORSION BEAM REAR SUSPENSION DESIGN AND ITS EFFECTS ON VEHICLE DYNAMIC BEHAVIOUR**

**Ercan DOĞRU**

Bursa Technical University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Mechanical Engineering Program

Master of Science Thesis

Assts. Prof. Dr. Erdem UZUNSOY

January 2017, 41 pages

In the shaping of today's light vehicle market, manufacturing costs as well as customer expectations are also very important. The factors such as cost reduction, performance, dynamics of vehicle, those affect customer perceptions and decisions are being worked on from design to manufacture of a vehicle, intensively. Suspension systems those affect handling characteristics directly as well as being important for achieving ride comfort, have also taken their place in this intense search.

In this thesis study; a torsion-beam rear suspension system that has been designed and manufactured with a complete domestic effort, in our country, was worked on. This type of rear axle arrangement is preferred for reasons such as low weight and low complexity, load carrying capacity, and ease of maintenance in the automotive industry. With the mentioned advantages; because of its great effects on handling dynamics, kinematic and dynamic modeling and analysis those also affect structural design was studied. A multibody Dynamics simulation tool: Msc ADAMS was used in modeling studies. In the study, angle variations of the bushings were examined specifically, while the importance of another parameter, shear centre, was being emphasised by introducing a relation with roll centre height, which is also an important parameter in vehicle dynamics.

**Keywords:** Adams, Handling, Suspension, Twist beam, Vehicle dynamics

## 1. GİRİŞ

Günümüzde pek çok alanda olduğu gibi otomotiv alanında da üreticiler pazar payını koruyabilmek için müşteri beklentilerini olabildiğince karşılama çabası içinde olmakla birlikte bu beklentilerin karşılanmasının oluşturabileceği ciddi maliyet artışlarından da kaçınmak zorundadırlar. Bu müşteri beklentisi-maliyet çatışmasını en aza indirme arayışı ile ciddi araştırma geliştirme yatırımları yapmaktadırlar. Gelişen teknoloji ve toplum refah düzeyinin artması ile birlikte sektörde artan müşteri beklentileri ve rekabet; üreticileri ciddi maliyet artışlarına neden olabilecek ek donanımlar kullanmaya zorlamakta, diğer yandan enerji verimliliğinin oldukça değerli olduğu günümüzde söylemdeki hedeflerin aksine araçlarda ağırlığı artırarak özellikle hedef emisyon değerlerinin tutturulmasında zorlanmalara yol açmaktadır. Ağırlık artışı ile gelen bu çok yönlü maliyeti en aza indirmek için mevcut ürünün işlevselliğini koruyan ya da geliştiren yeni alt sistemler kullanılması ya da mevcudun modifikasyonu yoluna gidilmektedir. Bu ve benzeri sebeplerle otomotiv sektöründe son zamanlarda üzerinde yoğun olarak çalışılan bir parça da özellikle hafif ve orta sınıf araçların arka süspansiyonunda kullanılan “burulma kirişli” (twist-beam) süspansiyon sistemidir. Bu süspansiyon sistemi özellikle daha önce bahsettiğimiz müşteri beklentisi-maliyet çatışmasını hafiflik ve üretim kolaylığından dolayı düşük maliyeti ile karşılamasına ilaveten basitliği ile birlikte montaj ve bakım kolaylığı gibi üstün özellikleri de sağlamaktadır. Fakat bu süspansiyon tipinin görünen üstünlüklerine rağmen, istenilen düzeyde yeterli taşıt dinamiği gereksinimlerini karşılayacak şekilde tasarlanması oldukça meşakkatli bir konudur. Literatür incelendiğinde de burulma kirişli süspansiyonlar ile ilgili, özellikle de taşıt dinamik karakteristiklerine etkisi bakımından yeterli miktarda çalışmanın ve bunların sonuçlarının yer almaması, böyle bir tez çalışmasının yapılmasını gerekli kılmıştır.

Bu çalışma kapsamında; Heksagon Mühendislik ve Tasarım A.Ş. tarafından daha önce tasarlanmış bir binek taşıtın arka süspansiyonunun yerine tamamen yerli imkânlarla tasarlanan “burulma kirişli” arka aks düzenlemesi, taşıt dinamiğine etki eden bir kısım tasarım parametresi açısından ele alınmıştır. Aracın burulma kirişli arka aks burç yönelim açıları değiştirilerek taşıt dinamiği analizlerine tabi tutulmuştur. Bu amaçla, sınamalar Adams Car yazılımı ile yapılmıştır. Ayrıca, bu aks

tipinde taşıt dinamiği açısından önemi olan kayma merkezi ile yalpa merkezi arasında bir ilişki çözümü olarak ortaya konmuştur.

### **1.1 Burulma Kirişli Süspansiyon Sistemi Tasarım Parametreleri**

Bir aracın süspansiyon sistemi konfor, kararlılık ve sürüş güvenliği üretmek için birkaç bileşenden oluşur. Süspansiyon sisteminin temel olarak aşağıdaki görevleri vardır [1]:

- Küçük yük değişimleri ve yol düzensizlikleri varlığında lastiklerin yere temasını sürdürmek
- Tekerleklerin yola tutunmalarını sürdürmek için kamber ve yönlendirme açılal özelliklerini korumak (geometrinin kontrolü)
- Lastiklerde üretilen kontrol kuvvetlerini karşılamak – boylamsal (ivmelenme ve frenleme) kuvvetler, yanal (viraj) kuvvetler ve frenleme ve sürüş momentleri
- Şasinin/Gövdenin yalpa hareketine direnç göstermek
- Elastik hareketi ve sönümleme elemanları vasıtasıyla yoldaki düzensizliklerden gövdeyi izole etmek

Taşıt süspansiyon sistemleri; katı aks (bağımlı süspansiyon), bağımsız süspansiyon ve son yıllarda literatürde vurgulanmaya başlandığı şekilde, yarı bağımsız süspansiyon olarak üç sınıfa ayrılabilir. Katı aks tipinde tekerlekler birbirine rijit olarak bağlanmışken, bağımsız süspansiyonda tekerlekler birbirinden bağımsız olarak şasiye sabitlenmiştir. Yarı bağımsız süspansiyon tipinde ise her iki taraf tekerleği katı görünümlü bağlantıda sağlanan bir esneklik ile kısmen birbirine bağlıdır [2].

Bir katı aksta her iki teker rijit bir kiriş ile birbirine bağlı olduğundan birinin hareketi diğesinde de kamber ve yönlendirme açılalarına neden olmaktadır. Katı aksın avantajlarından birisi ise kamber açısının yalpa hareketinden etkilenmiyor oluşudur. Böylelikle virajın dış tarafındaki tekerleğin aşırı fazla deplasmanı hariç, viraj alırken küçük kamber açılalarına sahiptir. Ek olarak tekerlek yönelimi kolayca korunabilir ve

lastik aşınması en aza indirilebilir. Yönlendirmeli katı aksların en büyük dezavantajı yönlendirme sistemi titreşimlerine duyarlı oluşudur [1].

Katı aksların aksine, bağımsız süspansiyonlarda her bir teker diğerini etkilemeden dikey olarak hareket edebilir. Bu sistemin, motora yer bırakması ve yönlendirme sistemi kaynaklı titreşimlere karşı daha iyi direnç göstermesi gibi avantajları vardır. Bu yüzden neredeyse tüm binek arabalarda ve hafif kamyonlarda kullanılırlar. Diğer bir avantajı ise göreceli olarak daha yüksek yalpa katılığına sahip olmasıdır. Diğer avantajları ise kontrol kollarının geometri seçimi ile yalpa merkezinin (roll centre) ayarlanabilmesi, dikey hareket sırasında iz genişliğinin kontrol edilebilmesidir [1].

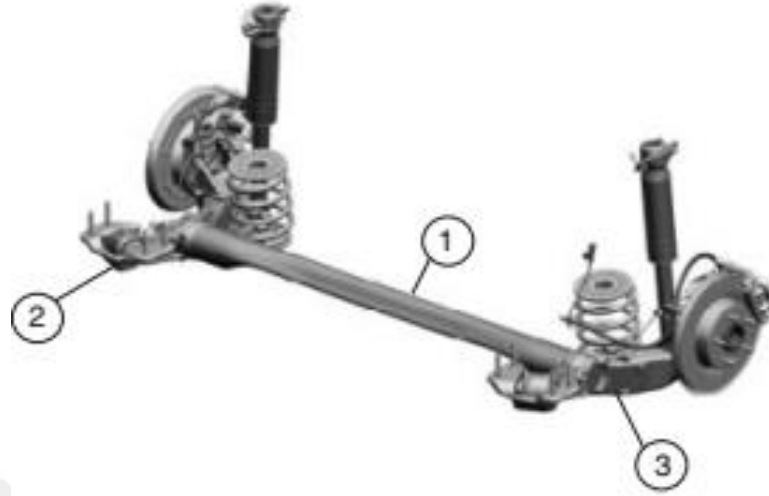
Yarı bağımsız süspansiyon sistemleri ise katı aks ve bağımsız süspansiyon sistemlerinin bir ara formu şeklinde her iki sistemin karakteristiklerinin karışımından oluşmaktadır. En iyi bilinen tipi ise burulma kirişli süspansiyon sistemidir. Bu sistemde bir tekerin hareketi, iki tekeri birbirine bağlayan burulma kirişinin burulması ile kısmen diğer tekere iletilir. Burulma kirişinin burulma davranışı denge çubuğu vazifesi de görmektedir. Ancak tasarımda mevcutta elde edilen karakteristikler, ayrıca bir denge çubuğu kullanımını da gerekli kılabilir. Bu aks tipi yapısı itibarı ile sadece arkadan tahrikli olmayan araçların arkasında kullanılabilir. [2].

Burulma kirişli aks 1974 yılında Audi 50, VW Golf ve sonrasında Scirocco ile birlikte kullanılmış ve iyi bir başarı elde edilmiştir. Aslında fikir önden tahrikli araçlarda kullanılan arka aks taşıyıcılı aksların gelişmiş bir halidir. 2007 yılı verilerine göre dünyadaki hafif yolcu araçlarının arka süspansiyonunda %31,9'lük bir oranla ilk sırada burulma kirişli aks tipi kullanılmaktadır. Küçük ve kompakt araç segmentinin büyümesi ile birlikte burulma kirişli aks tipine olan talebin artacağı beklenmektedir [3].

Klasik aksların sahip olduğu sönümleyiciler ve yayların dışında, burulma kirişli aks kendine has kavram özelliklerini belirleyen şu üç karakteristik bileşenden (Şekil 1.1) oluşmaktadır:

- Burulma kirişi
- Ön burçlar

- Sol ve sağ arka aks taşıyıcı



**Şekil 1.1** Burulma kirişli süspansiyon sisteminin temel elemanları, (1) Burulma kirişi, (2) Ön burç, (3) Arka aks taşıyıcı [3]

Bu bütünleşik yapı sürüş sırasında tekerlek ve lastiğe uygulanan bütün moment ve kuvvetleri taşır. Bu yapının mekanik özellikleri süspansiyon sesi izolasyonu yapmasına ilaveten sürüş ve seyir davranışının her ikisini de ayarlamaya imkân tanır.

Burulma kirişi bu aksı diğer aks tiplerinden farklı kılan anahtar unsurdur. Tekerleklere etkileyen tüm yanal kuvvetler aksın tüm yapısını dikey eksen etrafında döndürmeye zorlar. Bu, içyapıda özellikle tekerlekleri bir arada tutmayı sağlayan burulma kirişi üzerinde iç gerilmeler oluşturur. Profilin eğilme katılığı arttıkça burcun esnekliğini ayarlamak suretiyle dönme momentinin kontrolü daha iyi olmaktadır. Viraj sırasında burulma kirişi bağımsız süspansiyonlardaki denge çubuğu (anti-roll bar) ile aynı role sahiptir [3].

Burç, tüm yanal ve boylamsal kuvvetleri karşılar. Burcun katılığı ve yöneliminin yanal yükleme durumunda aracın yönlendirme davranışı üzerinde büyük etkisi vardır.

Arka aks taşıyıcılar, fren kuvvetini, viraj sırasında yan yükleri ve dönme eksenini etrafında burulma momentlerine ek olarak dikey ve yanal eksenler etrafındaki eğilme momentlerini karşılar. Bu yüzden bütün doğrultular ve bütün eksenler etrafında arka



aks taşıyıcının katılığı yük altındaki lastik ve tekerin yönelimini ve sapmasını kontrol eder [3].

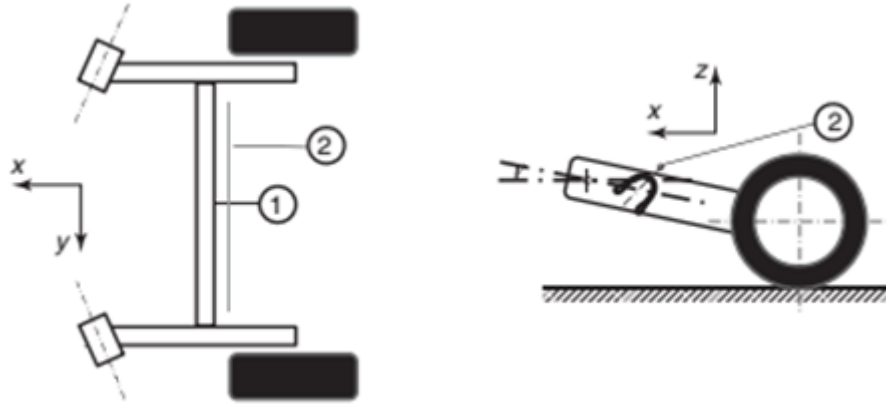
Burulma kirişli süspansiyon sisteminin; üretiminde basit parçalar kullanılması, üretim maliyeti düşük az bileşenden oluşması gibi avantajları vardır. Tekerlekleri birbirine bir miktar bağımlı yapmasına rağmen bağımsız tip süspansiyonlara göre kıyaslandığında iyi bir dinamik performans sunar. Başka bir avantajı ise yapı sınırlamalarına uyum sağlayabilen dar enine profil olmasıdır. Fakat kendi geometrisinden dolayı sadece önden tahrikli araçların arkasında kullanılabilir. Daha önemli bir fonksiyonel kısıtlaması ise aracın yana yatması sırasında aşırı yönlendirmeye neden olacak dış tekerlekte pozitif kamber üretmesidir [4].

Bir taşıtın sürüş dinamiğinin belirlenmesinde sadece tek bir aksın analizi yeterli olmayıp, tüm aksları içeren tam taşıt dinamiği analizinin yapılması gerekmektedir. Bunun sebebi ön ve arka aksın uyumunun taşıt sürüş dinamiğini doğrudan ve bütünsel olarak etkilemesindedir. Yine de her bir aksın tasarımında, tasarım parametrelerinin analizi sürüş dinamiği açısından taşıtın az yönlendirme davranışına katkısını belirlemek amacıyla yapılmaktadır.

**Çizelge 1.1** Burulma kirişli arka aksın tasarım parametreleri ve etkileri [3]

No	Parametre	Etki
1	Kirişin pozisyonu Burulma katılığı	Yalpa merkezi yüksekliği, dengeleme oranı
2	Kayma merkezinin yeri	Yalpa merkezi yüksekliği, yalpa yönlendirmesi
3	Burcun açısı	Yanal kuvvet yönlendirmesi
4	x ve z doğrultusundaki esneklik (Compliance), y doğrultusundaki esneklik	Darbe sertliği, yanal kuvvet yönlendirmesi, yol gürültüsü, yanal kuvvet saptırması
5	Arka aks taşıyıcının yandan açısı	Aks açıklığı değişimi, 'anti-dive' açısı

Bir burulma kirişli arka aksın tasarım parametreleri ve etkileri Çizelge 1.1’de, şekil tanımlamaları ise Şekil 1.2’de verilmektedir.

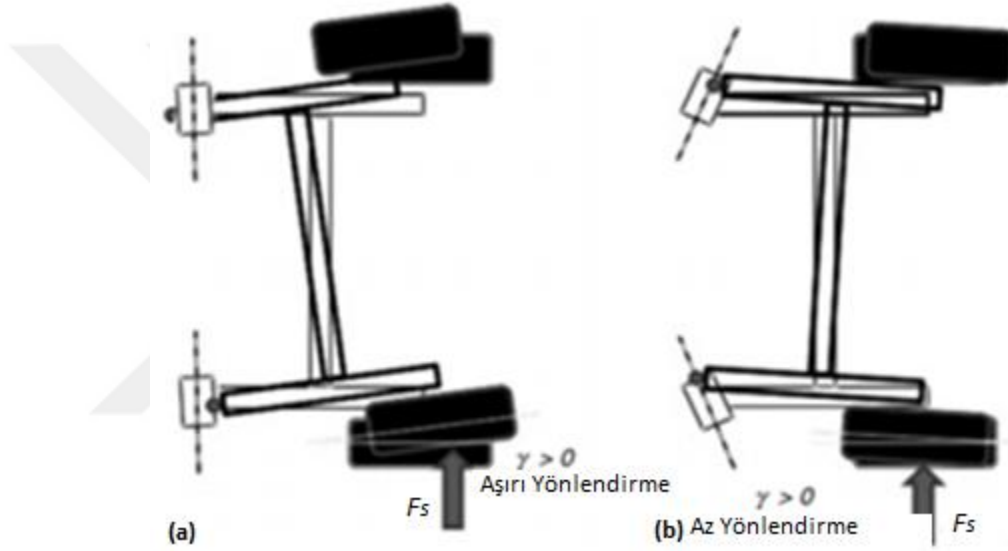


**Şekil 1.2** Burulma kirişli arka aksın tasarım parametreleri gösterimi [3]

Bir burulma kirişli arka aksın tasarımında sürüş dinamiği açısından taşıtın az yönlendirme davranışına en büyük etkiyi yalpa yönlendirmesi (roll steer), yanal kuvvet esneklik yönlendirmesi, taşıt yalpa katılığı ile bağlantılı olarak, yalpa hızı ön-arka dağılımı yapmaktadır. Bu üç unsurun her biri tasarım parametreleriyle doğrudan ilişkilidir. Böylelikle burulma kirişli arka aksın tasarımı bu üç unsurun kombinasyonundan oluşur [3].

Yanal kuvvet esneklik yönlendirmesi (lateral force compliance steer): Burulma kirişli bir aks doğasının sonucu olarak viraj sırasında toe-out (aşırı yönlendirme sebebidir) oluşturur. Aşırı yönlendirme burçlardan uzunlamasına arkaya doğru ve lastik temas noktasının üstüne etki eden yanal kuvvetlerin oluşturduğu moment nedeni ile oluşur. Bu moment, aksı yanal kuvvetin etki ettiği doğrultuda bükerek Şekil 1.3-a’da görüldüğü gibi aşırı yönlendirme etkiye sebep olur. Başlıca üç faktör aşırı yönlendirme miktarını kontrol eder. Viraj yüklerinin neden olduğu aşırı yönlendirme miktarını azaltmak için burç ve lastik temas noktası arasındaki mesafe azaltılabilir. İz genişliği artırılabilir veya burcun ileri-geri doğrultudaki katılığı artırılabilir. Bu üç faktörden iz genişliğinin zaten baştan planlandığı varsayılırsa, bu parametre tasarım değişkeni olarak kullanılamaz. Kontrol kolu uzunluğu daha serbest şekilde belirlenebiliyor olsa da kol uzunluğu çok kısa olursa burulma kirişi lastik temas noktasına çok yakın olur ve bunun sonucunda burulma kirişi artık yükler altında

eğilmeye başlar ve burulmaz. Bu durumda aksın davranışı istenmeyen bir durum olan katı aks karakteristiği sergilemeye başlar. Burulma kirişinin kontrol kolu üzerinde ileri-geri bir pozisyona konumlandırılması ise yakıt tankı, susturucu gibi alan gereksinimi olan elemanlar nedeni ile kısıtlanmaktadır. Temel üç faktörden en serbest seçilebileni ise burcun ileri-geri katılığıdır. Fakat bu aşırı yönlendirmeyi kontrol ederken aynı zamanda ses yalıtımını da etkiler. Katılığın, bu iki gereksinim arasında bir denge kuracak şekilde ayarlanması zorunlu olur. Fakat kabul edilebilir katılık değerleri yeterli bir aşırı yönlendirme kontrolü sağlamak için yeterli değildir.



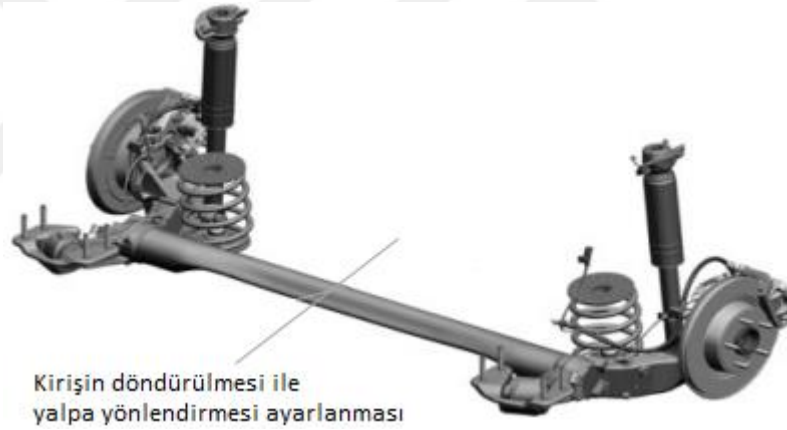
**Şekil 1.3** Burulma kirişli arka aksta burç açılardırmanın etkisi

Bu sebeple kinematik bir değişikliğe gidilerek aracın boylamsal eksenine dik olan burç eksenleri artık aracın önüne doğru açılı yerleştirilir. Eğer aksın yeterli eksenel esnekliği varsa viraj kuvveti aksı bir tarafta yani açılı burç eksenlerinin eğim çizgisinin üstüne diğer tarafta altına doğru iter. Böylece tüm aks az yönlendirme (understeer) karakteristiği gösterecek pozisyona gelmiş olur (Şekil 1.3-b). Bu etkinin miktarı arka aksın yönelim kontrolü ihtiyacı ile kısıtlanır ve burçların esneklik sınırlarına uyumlu olmalıdır [3].

Yalpa yönlendirmesi (roll steer): Burulma kirişli aksın bir özelliği, yalpa yönlendirmesi karakteristiğinin aksın dönme eksen çizgisine göre burulma kirişinin

kayma merkezinin pozisyonuna bağımlı olmasıdır. Açık kesitli U ve V şekilli profillerin açık tarafı aşağı yöne geldiği durumda kayma merkezi aksın dönme ekseninin üstünde kaldığından maksimum yalpa az yönlendirmesi (roll understeer) elde edilir.

Burcun en iyi dikey pozisyonu az yönlendirme için alçak olmalıdır fakat darbe yumuşaklığı için istenen, yüksek pozisyonudur. Burçlar daha yukarı konumlandırıldıkça burulma kirişi de az yönlendirmeyi sağlamak için daha yukarı konumlandırılmalıdır. Doğal olarak yerden yükseklik ve egzoz hattı, burulma kirişinin dikey konumlandırılmasını sınırlandırır. Aks taşıyıcıya dairesel bir ara yüzeyli burulma kirişi ile bağlanması, kayma merkezi çizgisi yerini kirişi döndürerek ve kirişi farklı açılarda bağlayarak ayarlamaya imkân tanır (Şekil 1.4).



**Şekil 1.4** Dairesel ara yüzeyli burulma kirişine sahip burulma kirişli arka aks

Bu özellik aracın kütesine ve kütle dağılımına göre yalpa yönlendirmesinin ayarlanabilmesine izin verir [3].

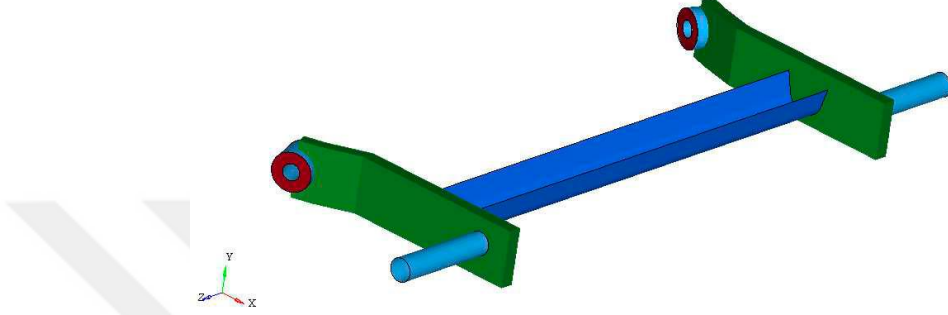
Taşıt yalpası ve yalpa hızının ön/arka dağılımı: Burulma kirişli arka aksın yalpa hızı; kirişin burulma katılığı, eğer var ise denge çubuğunun burulma oranı ve süspansiyon yay oranı ile belirlenir. Ön-arka aks yük dağılımı ile birlikte ön-arka yalpa hızı dağılımı aracın genel yönlendirme davranışını etkiler. Burulma kirişin efektif yalpa hızını; çapı, kalınlığı ve kirişin aks taşıyıcı üzerindeki ön/arka (boylamasına) pozisyonu belirler. Aks yükü dağılımının bir fonksiyonu olarak uygun bir efektif

burulma katılığı seçilerek taşıtın genel yönlendirme davranışı isterleri karşılamak üzere ayarlanabilir. Ayrıca yönlendirme davranışı, farklı aks yüklerine rağmen tüm model değişkenleri için sabit tutulabilir. Burulma kirişli aks, bir tekerlekteki etkiyi diğerine bir kiriş vasıtasıyla iletmesinden dolayı yarı bağımsız süspansiyon sistemi olarak isimlendirilmiş olsa da yalpa katılığı oluşturmak için denge çubuğu kullanan bağımsız süspansiyondan davranış olarak farkı yoktur. Bu denge çubuğu burulma kirişli bir aksın kirişi ile aynı görevi görmektedir. Yani bir tekerlekte diğerine yükleri ve uyarımları aynı şekilde iletir. Yol uyarımlarının ileri-geri iletimi, yüksek yalpa katılığı durumunda dikey uyarımların iletiminden daha az belirgindir [3].



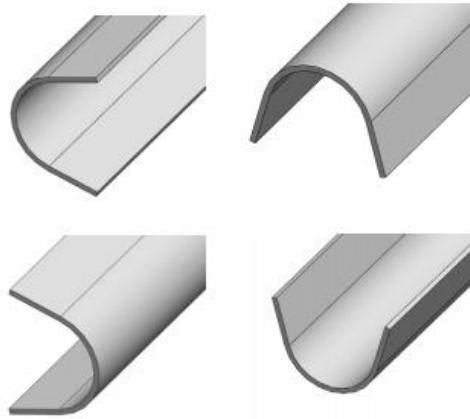
## 2. LİTERATÜR ÖZETİ

Silveira ve arkadaşları [2], burulma kirişli süspansiyon sistemi üzerinde özellikle burulma kirişinin değerlendirilmesi üzerine çalışma yapmışlardır. Çalışmalarında “C” kesitli burulma kirişinin (Şekil 2.1) yöneliminin ve arka aks taşıyıcıya göre pozisyonunun kamber ve toe açılarına etkisini değerlendirmişlerdir.



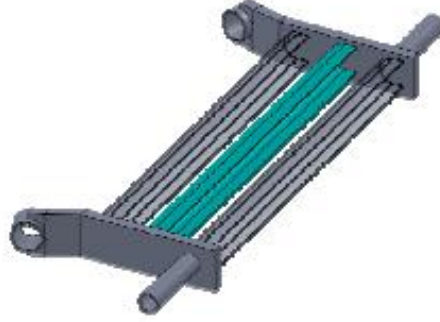
Şekil 2.1 Burulma kirişli süspansiyon taslağı

Yönelim açısı  $90^\circ$  açılarla değiştirilerek Şekil 2.2’de gösterildiği üzere dört farklı düzen oluşturulmuştur. İlk yerleşimde kirişin açık tarafı aracın arkasını görecektir şekilde yerleştirilmiş ve +z eksenine saat yönünün tersine döndürülerek 1,2,3 ve 4 şeklinde numara verilmiştir. Profil aynı olmasına rağmen burulma kirişinin dönmesi, farklı kinematik davranışa sebep olacak şekilde x ve y eksenlerine göre süspansiyonun eylemsizlik momentinin değişmesine neden olur.



Şekil 2.2 Burulma kirişi profili

Şekil 2.3’de arka aks taşıyıcı boyunca burulma kirişinin olası yerleşimleri gösterilmektedir. Bu iki parametrenin kamber ve toe açıları üzerindeki etkisi tekerlek merkezlerine, burulma kirişinin burulmasıyla tekerlek açılarının değişimine ve dolayısıyla aracın viraj davranışına önemli etkiye sahip olan bu iki açının değişimleri tekerlek dikey hareket miktarına göre incelenmiştir.



**Şekil 2.3** Arka aks taşıyıcı boyunca burulma kirişinin olası yerleşimleri

Bu çalışmanın sonucuna göre profilin yöneliminin bahsi geçen açıları minimize ve maksimize edebildiği hatta tersine bile çevirebileceği sonucuna varılmıştır. 1 nolu profil daha düşük  $I_x$  değerine imkan tanıdığından diğerlerine göre kamber açısı değişimini en aza indirmeyi başarmış ve en iyi performansı göstermiştir. Burulma kirişi arka aks taşıyıcının dönme noktasına ne kadar yanaşır ise her iki açıdaki değişimin de minimum olduğu sonuca varmışlardır.

Hamedi ve Webb [5], mevcut bir araç için yeni bir burulma kirişli arka aks için tasarım çalışması yapmışlardır. Hedef ölçütleri; üretim maliyetini düşürmek, taşınabilir aks yükünde artırıma gitmek, süspansiyon ağırlığını azaltmak ve sürüş ve seyir dinamiğini geliştirmek olarak belirlemişlerdir. V kesitli burulma kirişi içerisine ayrıca denge çubuğu eklemişlerdir. En iyi konfigürasyon için ana tasarım parametrelerini; burulma kirişi yönelimi, kalınlığı ve dikey ve boylamsal pozisyonu olarak belirlemişler ve farklı yük durumlarına göre tasarım parametrelerinin etkisini değerlendirmek için sıçrama testi, yalpa testi ve yanal esneklik testi yapılmıştır. Yönelim açısı; V kesitinin sivri ucu tam yukarıyı gösterdiğinde açı değeri sıfır olarak alınmıştır. Burulma kirişli aks performansı değerlendirmesi ve hedef değerlerle kıyaslamak için başlıca parametreler toe, kamber ve yanal yer değiştirme gradyanları

seçilmiştir. Bu çalışmaya göre; burulma kirişinin yöneliminin sıfır dereceye yakın olması tümsek ve yanal esneklik karakteristikleri arasında iyi bir denge sağlamaktadır. Tümsek test simülasyonu kamberin burulma kirişinin yatay yerleşimine duyarlı olmadığını ortaya çıkarmıştır. Fakat yalpa testi simülasyonunda kamber, burulma kirişinin yatay yerleşimine duyarlı ve lineer bir davranış sergilerken, toe açısının burulma kirişinin aşırı ön tarafa yerleşimi hariç tamamen duyarsız olduğu ortaya çıkmıştır. Yanal testte toe ve yer değiştirmede bir değişim ortaya çıkmamıştır. Burulma kirişinin dikey yerleşimi değiştirilebilir ve genel olarak yüksekliğinin azaltılması karakteristiği geliştirmektedir.

Sistla ve Kang [6], kritik tasarım yönlerini belirleme amacıyla birlikte bir burulma kirişli süspansiyon geliştirmeyi ve ağırlıkta ciddi bir düşüş ile birlikte yapısal bütünlüğün de elde edilmesine imkan sağlamak ve istenen süspansiyon dikey K&C ve taşıt sürüş karakteristiklerini sağlayan bir yapıya ulaşmayı amaçlamışlardır. Yaptıkları deneysel tasarım sonuçlarına göre toe, kamber, yalpa merkezi yüksekliği ve yalpa katılığı üzerinde etkili olan ana parametreler Çizelge 2.1’de verilmiştir.

**Çizelge 2.1** Toe, kamber, yalpa merkezi yüksekliği ve yalpa katılığı üzerindeki ana etkiler

Toe	Kamber	Yalpa yüksekliği	Yalpa katılığı
Z	X	X	J
$I_{YY}$	$I_{ZZ}$	Z	

Sonuçlara göre; toe, ana parametre olarak centroidten (Z) kayma sapması ile birlikte kolayca kontrol edilebilmektedir. Yalpa katılığı, burulma sabiti (J) ile kontrol edilebilmektedir. Kamber ve yalpa merkezinin her ikisi üzerinde ortak ana etki parametresi burulma kirişinin yatay pozisyonu (X) olmaktadır. Yine bu sonuçlara göre kirişin daha arkaya yerleştirilmesi, taşıt yalpa dinamiği üzerinde pozitif bir etkiye sahip olduğu kabul edilen yalpa merkezi yüksekliğini de artıracaktır. Fakat bu durumda kiriş arkaya konumlandırıldığında kamberi azalttığından aşırı yönlendirme davranışına bir yatkınlık meydana getirecektir. Ayrıca yalpa merkezi yüksekliğini artırmak için kirişin arkaya doğru yerleştirilmesi toe açısında da bir artış meydana



getirmektedir. Bu nedenle toe açısındaki bu artışı elimine etmek, aynı zamanda tasarım parametreleri olan  $I_{YY}$  ve  $I_{XX}$  değiştirilmesini zorunlu kılmaktadır. Taşıt dinamiği davranışı açısından kabul edilebilir sürüş ve yalpa dinamiği davranışını sergileyecek uygun bir burulma katılığı belirlemek için bir viraj davranış testi olan basamak-yönlendirme (step-steer) manevrası analizinin sonucuna göre V kesitli burulma kirişinin daha uygun olduğu bulunmuştur. Bu durum, V kesitli kirişin gerekli dinamik toe ve kamber açılarını sağlamasının yanında tam araç performansını geliştirecek daha uygun bir burulma sabiti sağlaması sebebiyledir.

Chen ve arkadaşları [7], burulma kirişli süspansiyon sisteminin modellenmesi, analizi ve optimizasyonu üzerine bir çalışma yapmışlardır. Bu çalışma sonuçlarına göre; burulma kirişinin yönelimi toe açısı değişimleri üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Ayrıca burulma kirişinin açık tarafı aşağıya doğru yöneldiğinde toe açısı az yönlendirme davranışına katkı sağlamaktadır ve bunun sonucu olarak viraj sırasında aracın kararlılığını artırmaktadır. Yukarı, öne ve arkaya doğru olan diğer üç yönelim ise aşırı yönlendirme davranışına doğru eğilimi artırmaktadır. Bir diğer sonuç ise burulma kirişinin yöneliminin süspansiyonun boylamasına katılığını neredeyse hiç etkilemediğidir. Burulma kirişinin arka aks taşıyıcı üzerindeki pozisyonu toe açısını çok az miktarda etkilemekte ve arka tarafa doğru yerleşimi toe açılarının viraj sırasında aracın az yönlendirme eğilimine katkı sağlayacağı şekilde değişimine sebep olmaktadır. Burulma kirişinin arka aks taşıyıcı üzerindeki pozisyonu, boylamasına katılığa önemli bir etki yapmamaktadır.

### **3. MATERYAL VE YÖNTEM**

Bu tez çalışmasında revizyonu yapılarak arka süspansiyon sisteminde burulma kirişli (twist-beam) süspansiyon sistemi kullanılan M1 sınıfı bir aracın taşıt dinamiği analizleri ISO 4138 standardına göre Kararlı Durum Dairesel (Steady State Circular) analizi, ISO 7401:2003 standardına göre Basamak Yönlendirme (Step Steer) analizi Adams/Car modülü altında aracın arka burulma kirişli aksın burç açıları değiştirilerek yapılmıştır.

#### **3.1. Materyal**

Tez çalışmasında Adams/Car programı yardımıyla benzetimler yapılmıştır. Adams/Car yazılımında daha önce bahsedilmiş olan yeni bir arka süspansiyon sistemine sahip M1 sınıfı bir aracın arka burulma kirişli aksın burç açıları değiştirilerek yapılmış ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. Burç açıları aracın önünü gösterecek şekilde 0-45 derece açı değerleri arasında 0, 15, 30, 45 derece olacak şekilde dört ayrı taşıt modeli oluşturulup her bir durum için standart analizler Adams-Car ortamında yapılmıştır.

##### **3.1.1. Adams**

Adams programı MSC Yazılım şirketine ait çoklu cisim dinamiği için yazılmış bir paket programdır. Bu yazılımda uzmanlık alanlarına özel çok sayıda alt modül bulunmaktadır.

Adams ile sistemlerin dinamik davranışları, kuvvetlerin ve yüklerin sistem içinde dağılımı incelenir ve hesaplanır, sistemlerin modal analizi yapılabilir ve optimizasyon teknikleri ile sistemlerin performansları artırılır.

Adams ile mekanik sistemlerin, bilgisayar ortamında sanal test araçları geliştirilebilir, gerçek koşul çalışma durumları analiz edilir. Bu özellikleri ile CAD yazılımlarının sahip olduğu klasik hareket (motion) yeteneklerinden üstündür [8].

Mekanik parçalar; diğer farklı disiplinlere giren alt yetenekleri de katarak etkileşimli şekilde sanal ortamda modellenebilir.

Otomotiv, uzay ve havacılık, savunma, makine gibi birçok alanda kullanılan Adams programlarının temel yetenekleri aşağıda belirtilmiştir [9].

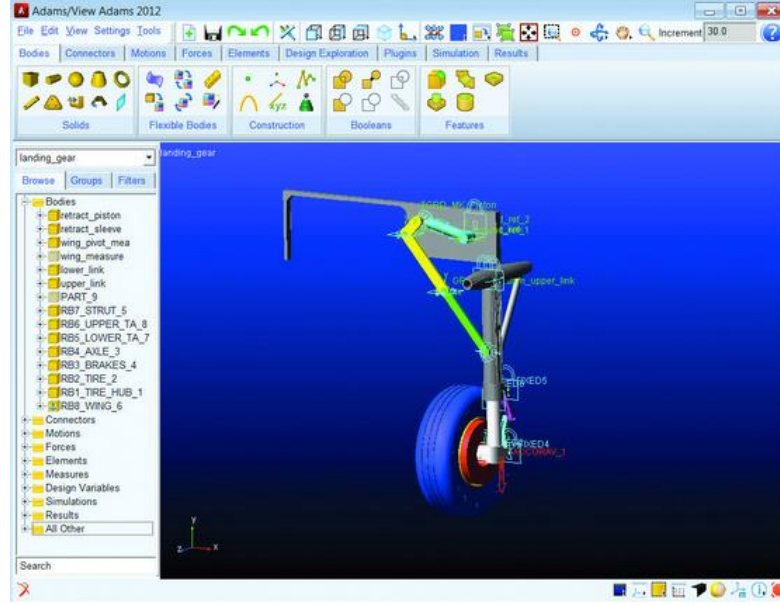
- Kapsamlı mafsal ve kısıt kütüphanesi
- Kuvvet, hız, tork, ivme, deplasman ile hareket tanımlama
- Esnek cisim dinamiği, kontrol sistemi, mafsal sürtünmesi ve kayma
- Hidrolik ve pnömatik silindir tanımlama
- Parametrik model oluşturma ve model optimizasyonu
- Titreşim ve dayanıklılık hesaplamaları
- Hızlı iterasyon ve sonuç alma
- 2D ve 3D temas çözümleri
- Karmaşık sistemler için kapsamlı lineer ve nonlineer sonuçlar
- Paralel işlem

Adams yazılımı ile kullanılan Adams/View ve Adams/Car modülleri bu çalışmada yer almaktadır.

#### **3.1.1.1. Adams / view**

Bu yazılım temel modüldür ve diğer tüm modüller bu modülün esasında çalışır. Adams/View yazılımında Şekil 3.1'de gösterilen arayüz içerisinde mafsal, parça gibi tanımlamalar yapılarak gerçek problemin sanal modeli oluşturularak çözümler sağlanır.

Adams/Car yazılımı da View'ın özelleşmiş halidir ve taşıt dinamiği problemleri için kütüphanelere sahiptir.



Şekil 3.1 Adams/view arayüzü

### 3.1.1.2. Adams/car

Taşıt tasarımı ve analizi için özelleştirilmiş ve özellikle taşıt dinamiği problemlerine çözümler sağlayan bir alt modüldür. Taşıt tasarımında, standart adımların çabuklaştırılmasını sağlamak üzere geliştirilmiştir.

Alt sistemler (süspansiyon, tekerlek ve direksiyon gibi), birbirini tanıma kabiliyetine sahiptir ve bunların modüler birleşimleri ve özellik atamaları ile bütünsel bir sisteme varılır. Alt sistemler ayırık olarak da incelenebileceği gibi, tüm araç modeli içerisine de dahil edilebilirler. Bu parçalar parametrik olarak oluşturulduğundan, kısa sürede farklı özellikleri analiz etmek mümkün hale gelir.

Adams/Car yazılımının temel yetenekleri aşağıda verilmektedir [9].

- Şablon ve alt sistem kütüphanesi
- Analiz ve sanal test kütüphanesi
- Esnek nesne analizi
- Farklı araç sınıflarına ait şablon ve alt sistem kütüphanesi
- Aktarma organlarının modellenmesi
- Lastik ve yol kütüphanesi

- İstenen fiziksel özellikte yol modelleme

### **3.1.2. Adams/car taşıt modeli oluşturma**

Adams / Car programı içerisinde var olan taşıt modelleri kullanılabilir ya da kendi aracınızı şablonlar yardımıyla sıfırdan oluşturabilirsiniz. Bu şekilde yapmanın çok zaman alması ve alt sistemlerin birbiri ile etkileşim içerisinde olmasından dolayı kompleks olduğundan tercih edilen yol değildir. Bunun yerine çoğunlukla taşıta uygun seçenekler arasından seçim yapılır ve bu seçim üzerinden değişikliğe gidilir.

Bu tezde dört adet araç modeli kullanılmıştır fakat aralarındaki tek fark arka süspansiyon burç açılarının değişimi olmuştur. Aşağıda genel bir binek araç modelinin oluşturulma basamaklarına değinilmiştir.

#### **3.1.2.1. Şablon oluşturma**

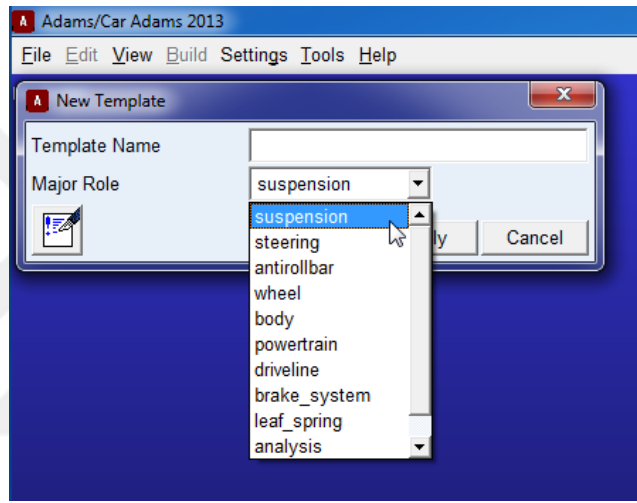
Taşıt modelinde ana eleman şablonlardır. Fren, süspansiyon ve direksiyon sistemleri gibi alt sistemleri oluşturan parçalar ve bunların tanımlanması şablon ortamında yapılır.

Adams/Car yazılımında double wishbone, Macpherson ve burulma kirişli süspansiyon sistemleri, tekerlekler, yönlendirme sistemi, fren sistemi gibi birçok şablon önceden kütüphanesinde yer almaktadır. İstenirse yeni şablonlarda kullanıcı tarafından oluşturulabilmektedir.

Car modülünü iki ayrı kullanıcı modu barındırmaktadır. Expert mod olan gelişmiş modda standart moda ilaveten yeni şablonlar oluşturulabilmektedir. Analizi yapılacak aracın şasi ve arka süspansiyon hariç tüm şablonlar yazılım kütüphanesinde bulunduğu için hazır olarak alınmış ve değişiklik yapılmıştır. Şasi catia yazılımı yardımı ile modellenip Adams/Car ortamına taşınmıştır. Arka süspansiyon ise catia ortamında tasarımından sonra flex yapıp Adams/Car ortamına taşınmıştır.

Şekil 3.2’de gösterildiği gibi şablon oluştururken majör role seçilmesi lazımdır. Bu oluşturulacak yeni şablonun seçimi aracın neresinde ve ne görevde kullanılacağını belirler. Bu diğer yan şablonlar ve üst sistemlerle etkileşimi için gerek duyulmaktadır.

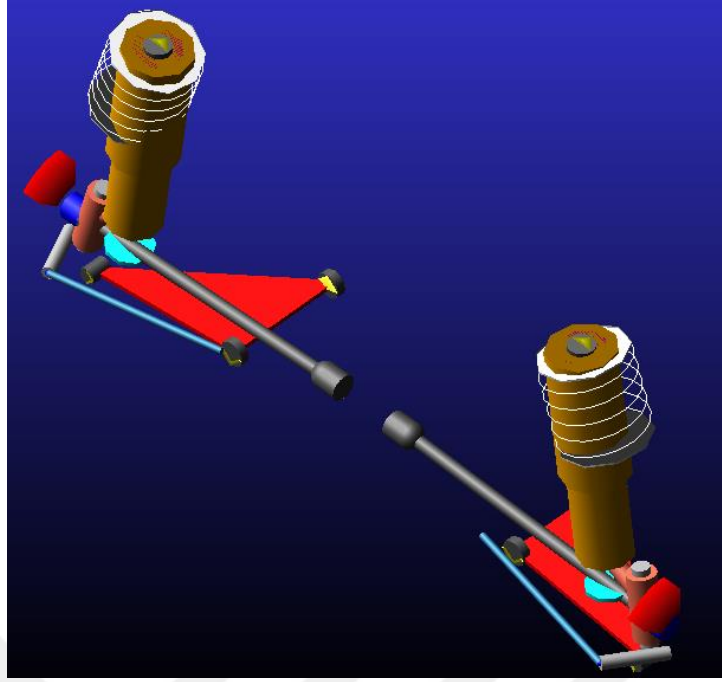
Tez kapsamındaki modelde şasi, ön ve arka süspansiyon sistemi, ön ve arka tekerlekler, fren sistemi, elektrik motoru, anti-roll bar ve yolcu olacak şekilde şablonların büyük kısmı kütüphaneden alınarak üzerlerinde istenilen değişiklikler yapılmıştır.



Şekil 3.2 Şablon tanımlama

### 3.1.2.2. Ön süspansiyon şablonu oluşturma

Analizi yapılacak aracın sınıfı M1’dir ve önden çekişli MacPherson tipi ön süspansiyon sistemi kullanan araçtır. Yazılım kütüphanesinde bulunan MacPherson tipi (Şekil 3.3) süspansiyon özellikle önden çekişli olduğu için seçilmiştir.

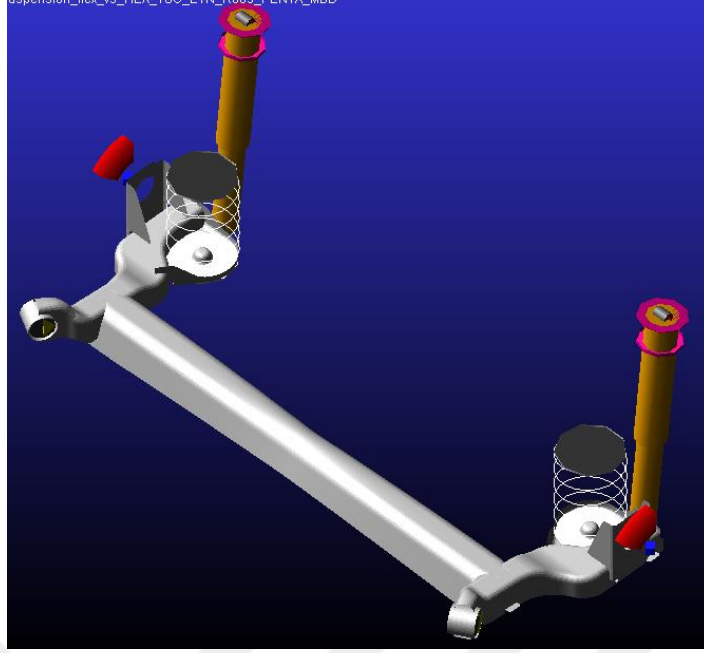


**Şekil 3.3** MacPherson tipi şablon

MacPherson tip şablon üzerinde değişiklik yaparken koordinatlar, yay ve damperlerin karakteristik eğrileri, toe, kamber gibi tasarım açıları işlenerek analiz edilecek aracın ön süspansiyon sistemi için şablon'u oluşturulmuştur.

### **3.1.2.3. Arka süspansiyon şablonu oluşturma**

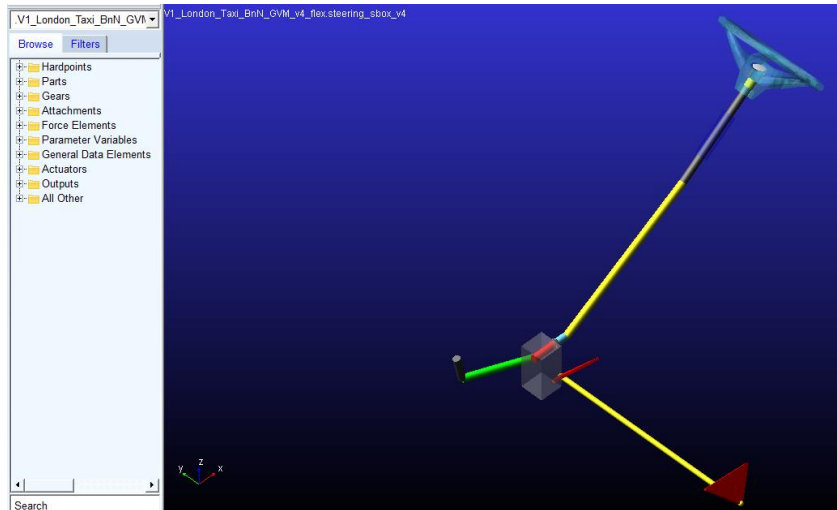
Taşıtın arka süspansiyon sisteminde burulma kirişli (twist-beam) tip süspansiyon sistemi kullanılmıştır. Twist-beam tipi şablon Catia ortamında konstrüksiyon değiştirilip modellenerek Adams/Car ortamına şablon olarak aktarılmıştır. Gerekli yay ve amortisör karakteristikleri ile koordinatlar işlenerek Şekil 3.4'de gösterilen twist-beam tipi şablon meydana getirilmiştir.



Şekil 3.4 Twist-beam tipi şablon

#### 3.1.2.4. Direksiyon sistemi şablonu oluşturma

Analizi yapılacak araçta direksiyon sistemi olarak Adams/Car kütüphanesinden ball and nut tipi şablon kullanılmıştır. Seçilen şablon'un (Şekil 3.5) aktarma oranı, koordinatları ve maksimum verileri işlenmiştir.



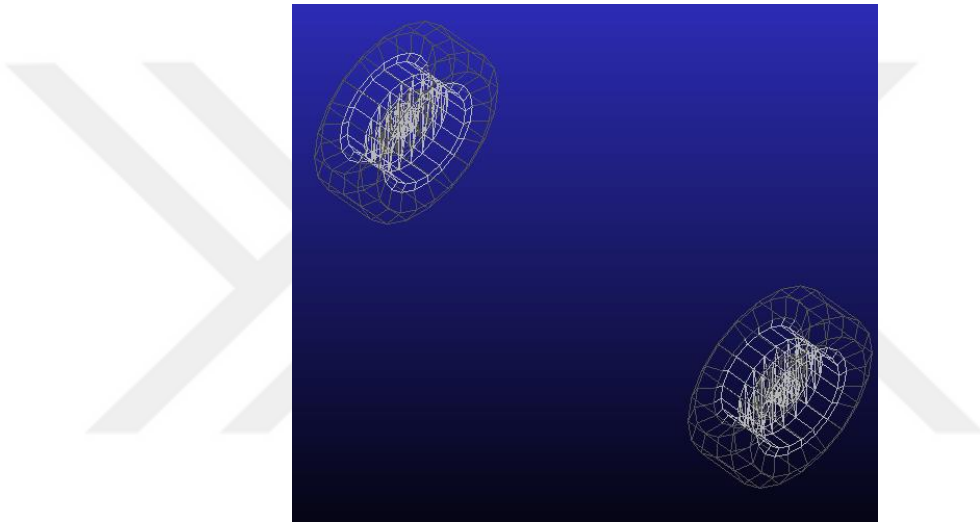
Şekil 3.5 Ball and nut tipi şablon



### 3.1.2.5. Ön ve arka lastik şablonu oluşturma

Lastik modeli oluşturmak oldukça uğraştırıcı olmasının yanında maliyetli de bir işlemdir. Lastik modelleri üzerine yapılan çalışmalar daha çok deneysel veriler üzerinden gidilerek oluşturulmuştur. Lastiğin yükler altında deformasyonu ve fiziksel yapısı bu çalışmaları oldukça zor kılmıştır.

Araç lastik modeli için ön ve arka aynı olacak şekilde Şekil 3.6’da gösterilen Bridgestone\_Duvaris\_R410\_195\_60R16C tipi şablon kullanılmıştır.



Şekil 3.6 Bridgestone\_Duvaris\_R410\_195\_60R16C lastik modeli

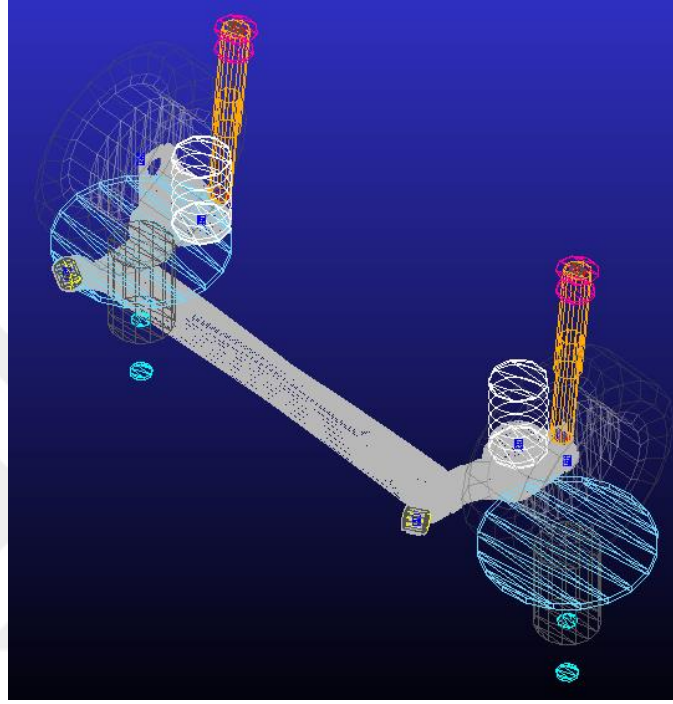
### 3.1.2.6. Ekstra şablonlar

Diğer tanımlanan şablonlar Adams/Car kütüphanesinde de bulunan anti-roll bar, elektrik motoru, sürücü ve yolcular ve fren sistemi için üzerinde değişiklik yapılabilecek kullanılan şablonlardır.

### 3.1.2.7. Alt sistem oluşturma

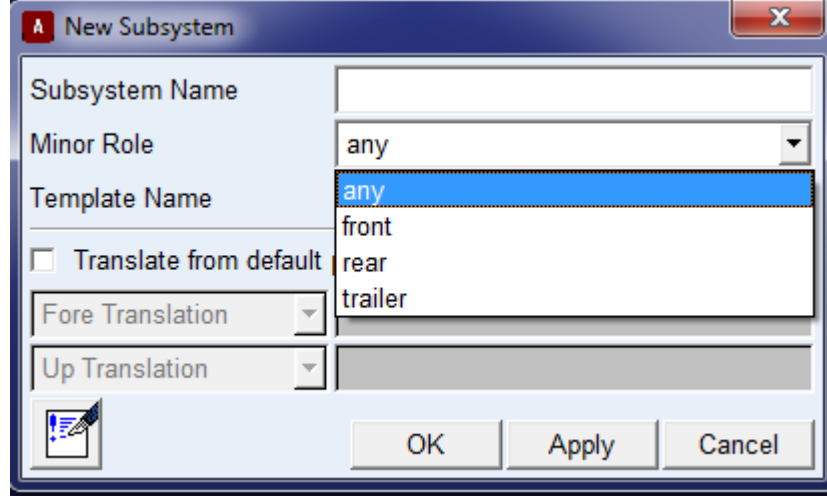
Subsistemler Adams/Car programında aracın alt sistemleri olarak algılanır. Sadece şablonlar oluşturularak Adams/Car programında analiz yapılamaz, şablonların anlamlı hale gelebilmeleri için bazı tanımlamalar yapılarak subsystem'e dönüştürülmeleri

gerekmektedir. Subsystem'ler istenilirse uygun analiz tiplerinde tekil olarak kullanılıp analiz yapılabilir ya da birçok subsystem birleştirilerek assembly oluşturulur ve tam taşıt analizleri gerçekleştirilebilir. Subsystem'ler tekil kullanılarak Şekil 3.7'de gösterildiği gibi arka süspansiyon sisteminin hareketlerini incelemek için analizler yapılabilir.



**Şekil 3.7** Arka süspansiyon sistemi analizi örneği

Şekil 3.8'de görüldüğü gibi subsystem oluşturmak için “any”, “front”, “rear” ve “trailer” seçeneklerinden biri “minor role” olarak seçilmelidir. Oluşturulan alt sistemin taşıtın neresinde kullanılacağı “minor role” ile belirlenir. Şablonlardan bazıları (Lastik, süspansiyon sistemi vb.) taşıtın önü ve arkasında aynı şekilde kullanılabilir. Bunun için ayrı şablonlar yerine bir tek şablon oluşturulur ve bu şablon alt sistem oluşturma aşamasında hem ön hem de arka için seçilerek iki alt sistem oluşturulmuş olunur.



**Şekil 3.8** Subsystem minor role

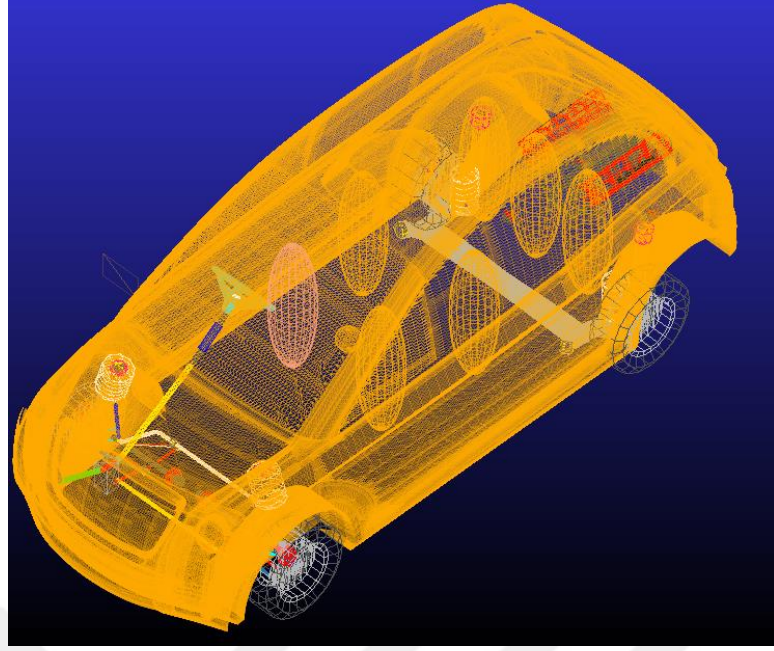
Analizi yapılacak aracın toplamda ön ve arka süspansiyon, direksiyon sistemleri ve ön ve arka tekerlekler, fren, aktarma organı ve şasi olmak üzere sekiz alt sistem meydana getirilmiştir.

#### **3.1.2.8. Montaj (Assembly) oluşturma**

Adams/Car yazılımında tam taşıt modelinin analizleri “assembly” üzerinden yapılabilir. Birçok alt sistemin bir araya gelmesinden oluşan “assembly” üzerinde yapılan değişiklikler alt sistemlere tekrardan açma gerektirmeksizin aynen alt sistemlere yansır.

#### **3.1.3. M1 sınıfı araç modeli bilgileri**

Sanal analizlerde kullanılan M1 sınıfı aracın modeli üst kısımda anlatıldığı şekilde oluşturulmuştur. Şekil 3.9'da M1 sınıfı aracın tam yüklü modeli görülmektedir. Tam yüklü halde 7 insan taşıyabilen aracın boş halinde ise sadece sürücü yer almaktadır. İnsanların ağırlıkları 75 kg olarak alınmıştır.

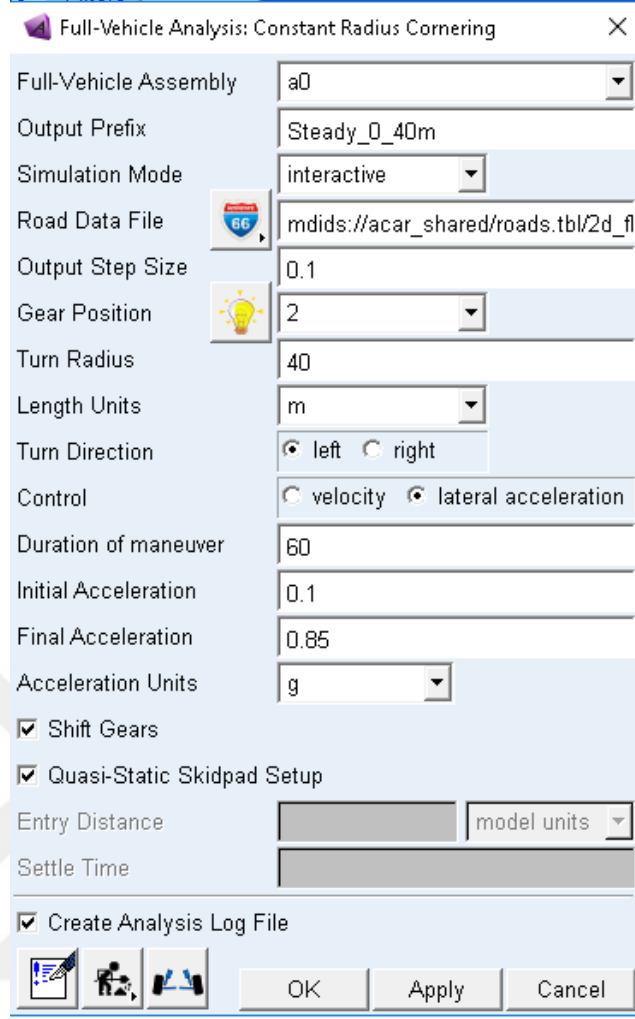


**Şekil 3.9** Adams/car binek araç modeli

## **3.2. Yöntem**

### **3.2.1. ISO kararlı durum dairesel sürüş analizi**

ISO kararlı durum dairesel sürüş analizi, 40 m yarıçaplı bir dairesel yolda sürüş önerir. Araç hızı kademeli olarak 20 km/saat hızdan 65 km/saat hıza 0.1 g'den 0.85 g yanall ivmeye denk gelecek şekilde artırılır. Parkur Adams/Car programı içerisinde tanımlanmıştır. Analizi gerçekleştirmek için Şekil 3.10'da gösterilen arayüz ile gerekli tanımlamalar yapılabilmektedir. Burada “output prefix” ifadesiyle çözüm için bir isim istenmekte, “output step size” ile çözme süresindeki çözüm adım büyüklüğü ve “initial acceleration” ve “final acceleration” ile de aracın başlangıç ve en son ulaşması istenen yanall ivme değerleri istenmektedir. Aracın hızı, ivmeye karşılık olarak yazılım tarafından standartlara uygun şekilde ayarlanmaktadır.



Şekil 3.10 ISO karalı durum dairesel sürüş analiz girdileri

### 3.2.2. ISO basamak yönlendirme sürüş analizi

ISO basamak yönlendirme sürüş analizinde araç önerilen 100 km/s'dir. Direksiyon girdisi  $0.4 \text{ m/s}^2$ 'lik kararlı durum yanal ivmeyi karşılık gelen direksiyon açısıdır. Araç ileri doğrultuda giderken mümkün olduğunca hızlı şekilde direksiyon girdisi verilir. Aracın kararlı duruma gelecek zamandaki cevabı analiz edilir. Analiz Şekil 3.11'de gösterildiği üzere gerekli bilgiler girilerek yapılabilir. "Output prefix" ifadesi analiz için bir isim verilmesini istemektedir. "Number of Steps", çözdürme adım sıklığını, "initial velocity" ise aracın başlangıç hızını girmemizi istemektedir.

Direksiyon girdisinin %10'u ile %90'ı arasındaki zaman 0,15 saniyeden fazla olmamalıdır.

Full-Vehicle Analysis: Step Steer

Full-Vehicle Assembly: a0

Output Prefix: Step\_0\_04g

End Time: 3

Number Of Steps: 3000

Simulation Mode: interactive

Road Data File: mdids://acar\_shared/roads.tbl/2d\_fl

Initial Velocity: 100 km/hr

Gear Position: 4

Final Steer Value: 23.5

Step Start Time: 0

Duration of Step: 0.15

Steering Input: Angle

Cruise Control

Quasi-Static Straight-Line Setup

Create Analysis Log File

OK Apply Cancel

Şekil 3.11 ISO basamak yönlendirme analiz girdileri

### 3.2.3. Yalpa merkezine göre kayma merkezi pozisyonunun bulunmasında geometrik yöntem

Her arka süspansiyon sistemi, taşıta istenen genel sürüş karakteristiğinin verilebilmesi için ön süspansiyon sistemi ile uyumlu olmak zorundadır. İstenen taşıt hedeflerine ulaşılabilmesi için burulma kirişli aksın geometrisini kontrol eden parametrelerin bilinmesi gerekir. Süspansiyon deplasmanı yönlendirmesi (bump steer), yalpa yönlendirmesi (roll steer), yalpa kamberi (roll camber), sapma yönlendirmesi (deflection steer) ve yalpa merkezi yüksekliği tüm taşıtın sürüş dinamiğini etkileyen süspansiyon parametreleridir. Bu parametrelerin çoğu burulma kirişli aksın tasarımında kontrol edilebilir. Bu aks tipi, yalpa hareketinde tekerleklerin paralel hareketinde olduğundan farklı olarak bağımsız yarı- aks

taşıyıcılı süspansiyon sistemi gibi davranır. Bu durumda, kirişin kayma merkezinin aracın eksen çizgisi ile kesiştiği nokta yarı-aks taşıyıcılı süspansiyon sistemindeki iç pivot noktası gibi davranır. Böylece, yalpa yönlendirmesi, yalpa kamberi, ve yalpa merkezi yüksekliği tahmin edilebilir olur. Fakat kiriş kayma merkezi burçların merkezi ile çakışmadığında bu özellikler sürüş yüksekliğine bağlı olarak değişir. Yalpa yönlendirmesi, kirişin ileri-geri yerleşiminden bağımsızdır. Kiriş kayma merkezinin burçların merkezine göre dikey yerleşimi yalpa yönlendirmesi faktörünün yönüne ve değerine etki eder. Daha önce bahsedildiği gibi kayma merkezi burçların üstünde ise yalpa az yönlendirmesi, altında ise yalpa aşırı yönlendirmesi gerçekleşir. Süspansiyon yerleştirme kısıtları, burulma kirişinin daha fazla arkaya yerleşimi durumunda kayma merkezi pozisyonunun alçaltılmasını gerektirir. Bu durum yüksek yalpa az yönlendirmesi elde edilmesini zorlaştırır [10].

Kayma merkezinin yeri burulma kirişinin de yerini belirler [10]. Burulma kirişinin yeri ise yalpa hareketinde aksın deformasyon davranışını belirler [5]. Dolayısıyla kayma merkezi, arka süspansiyon geometrisini ve sürüş dinamiğine etkisi olan önemli bir faktördür.

Taşıt yol düzlemine göre yalpa hareketi gerçekleştirdiğinde; iç lastikler negatif, dış lastikler pozitif kambere meyillenir. Bu durum da lastiklerin yanall tutunmasını zora sokar. Bu etkiyi azaltmak için yalpa merkezi yüksekliği artırılarak yalpa açısının azaltılması yoluna gidilebilir. Bununla birlikte ön süspansiyonla da ilişkide olan arka süspansiyon yalpa merkezi yüksekliğinin çok fazla da yükseltilmemesi gerekir [11].

Özet olarak burulma kirişinin kayma merkezinin yerinin bulunması ilk tasarım safhasında önemli bir husustur. Fakat bu yerin bulunması kirişin kendine has yapısından dolayı oldukça meşakkatli bir çalışma da gerektirir. Bunun yerine ilk tasarım safhası için gerekli olan kayma merkezinin yerini; yeri daha kolay bulunabilen ve taşıt dinamiğinin temel parametrelerinden biri olan yalpa merkezi ile ilişkilendirebilen bir formülasyonu ortaya koyabilmek, hem kayma merkezinin dinamik etkilerini bağımsız olarak irdeleyebilmek, hem de iyi bilinen ADAMS gibi çoklu cisim dinamiği temelindeki ortamlara bu ilişkiyi aktarabilmek açısından oldukça yararlı olabilecektir.

Yalpa merkezi süspansiyon sistemlerinde ilgili linklerin geometrisine göre bulunabilir. Yalpa momenti etkisindeki burulma kirişi kayma merkezi sabit bir nokta olarak alınabilir ve bu şekilde sistem, oynak bir mafsalda eğilen tek kollu bir süspansiyon olarak da betimlenebilir [11].

Geometrik çözüm için Şekil 12 ve Şekil 13 için nokta tanımları şu şekildedir:

P : Lastik ani merkezi

O<sub>l</sub>, O<sub>r</sub> : Boyuna aks taşıyıcı sol ve sağ gövde bağlantı noktaları

W : Lastik merkez eksen-yol düzlemi kesişimi

W<sub>C</sub> : Tekerlek merkezi

SC : Kayma Merkezi

Ror : Anlık yalpa merkezi

hRor : Yalpa merkezi yüksekliği

Bu noktaların koordinatları aşağıdaki şekilde tanımlanmıştır:

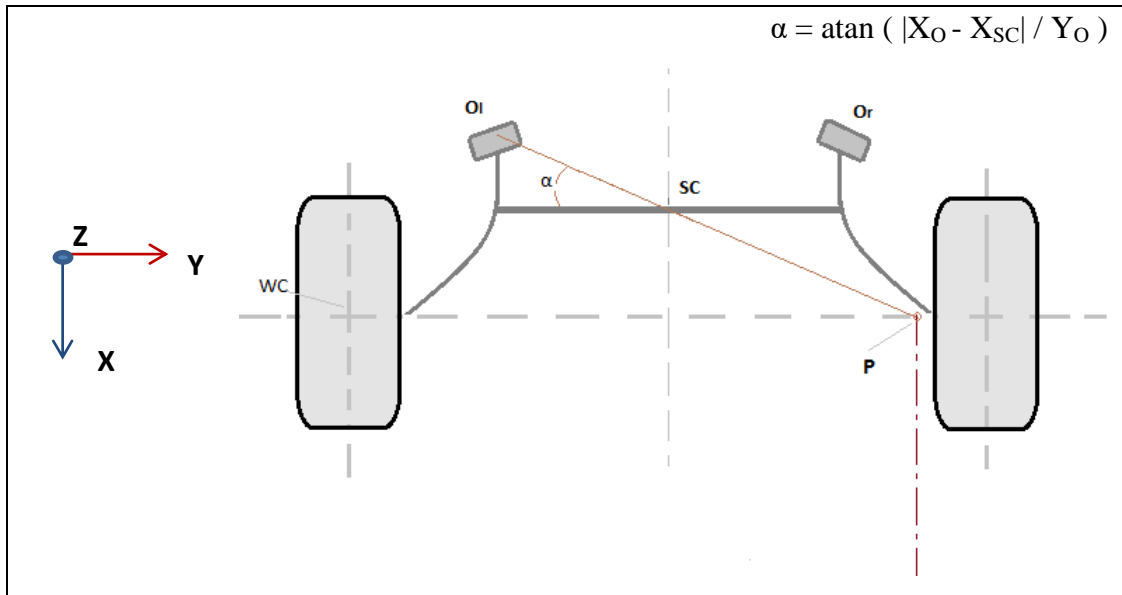
O (X<sub>o</sub>, Y<sub>o</sub>, Z<sub>o</sub>)

W (X<sub>wc</sub>, Y<sub>wc</sub>, Z<sub>wc</sub>)

W<sub>C</sub> (X<sub>wc</sub>, Y<sub>wc</sub>, Z<sub>wc</sub>)

P (X<sub>p</sub>, Y<sub>p</sub>, Z<sub>p</sub>)

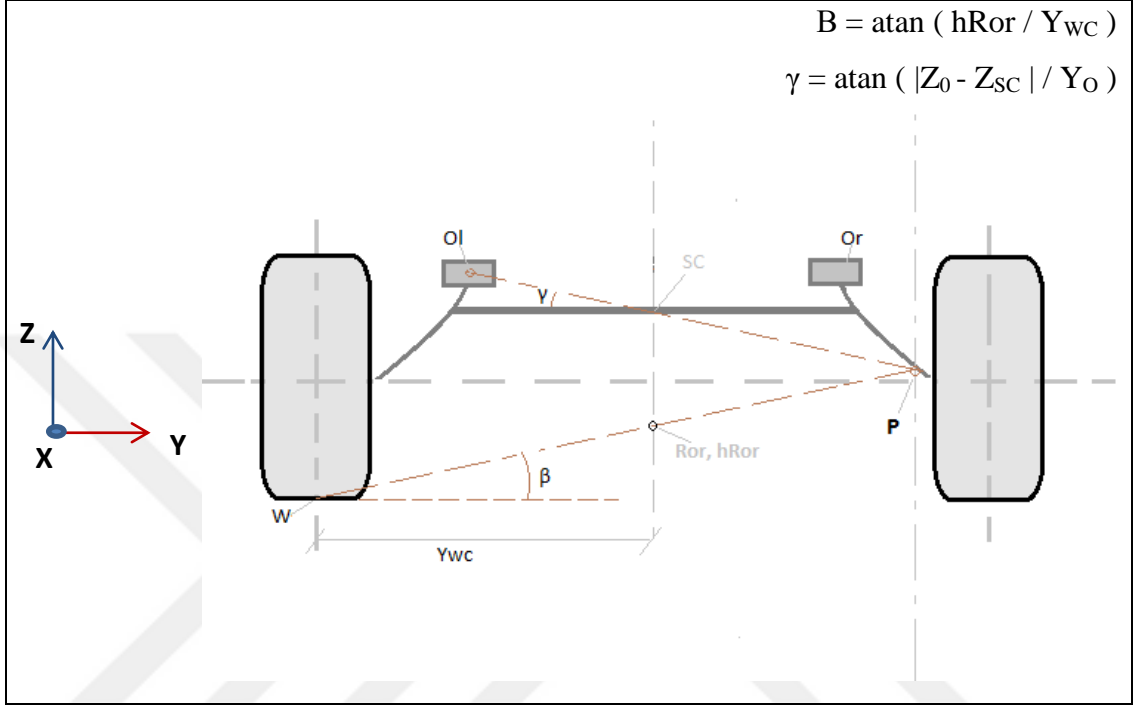
SC (X<sub>sc</sub>, 0, Z<sub>sc</sub>)



Şekil 3.12 Burulma kirişli bir aksın üstten görünümü [11]



Sistemin üstten görünümü olan Şekil 3.12’de Ol ve SC noktalarından geçen eksen ile tekerlek merkezi WC’den geçen eksenin kesişimi, P noktasının yatay pozisyonunu belirler.



Şekil 13 Burulma kirişli bir aksın arkadan görünümü [11]

Arkadan görünümde (Şekil 3.13) Ol ve SC eksenini ile P'nin yatay konumu olan P yüksekliğini belirler. Buradan W noktasına çıkılan bir ışının gövde merkezinden geçen düşey eksenle kesişimi yalpa merkezidir. Şekil 3.12 ve Şekil 3.13'den geometrik ilişkiler sonucu (1), (2), (3) ve (4) no'lu denklemler elde edilebilir.

$$Y_P = |X_{WC} - X_O| \cdot \cot \alpha - Y_O \quad (1)$$

$$Z_P = Z_W + (Y_{WC} + Y_P) \cdot \tan \beta \quad (2)$$

$$Y_O / Z_O - Z_{SC} = (Y_O + Y_P) / |Z_O - Z_P| \quad (3)$$

$$Z_{SC} = ((Y_O + Y_P) / |Z_O - Z_P|) - Y_O / Z_O \quad (4)$$

Bu denklemlerin yardımı ve geometrik ilişkiler sonucu yalpa merkezi ile geometrik sabit noktalar arası ilişki (5) nolu denklem ile ifade edilebilir.

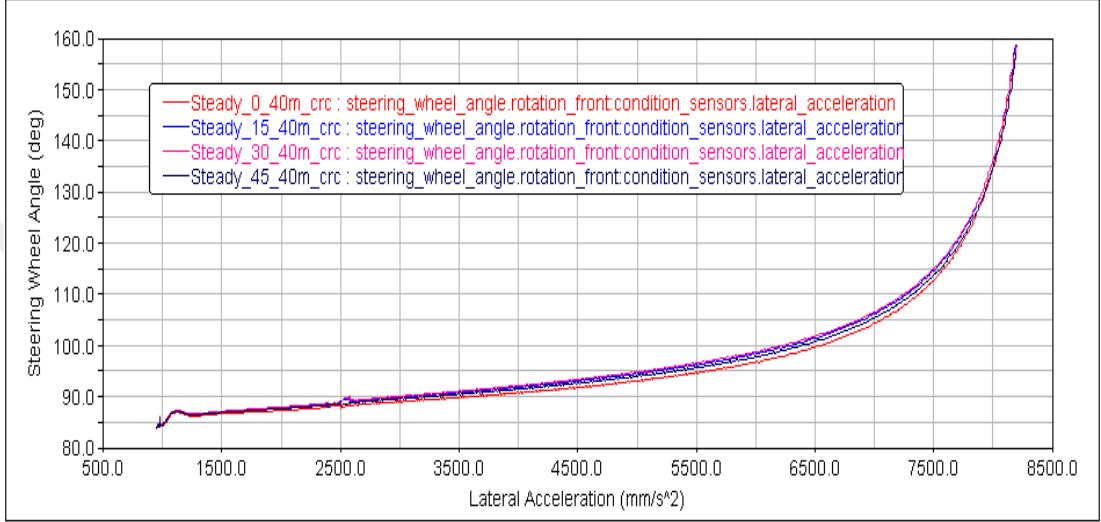
$$\text{hRor} = \frac{((X_{wc} - X_0) \cdot Y_{wc} \cdot (Z_{sc} - Z_0) - (Z_w - Z_0) \cdot (X_{sc} - X_0) \cdot Y_{wc})}{((X_{sc} - X_0) \cdot (Y_{wc} - Y_0) + (X_{wc} - X_0) \cdot Y_0)} \quad (5)$$



## 4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

### 4.1. ISO Kararlı Durum Dairesel Sürüş Analizi

Az yönlendirme davranışı Şekil 4.1'deki grafiğin lineer bölgesindeki eğime bakarak belirlenir.



Şekil 4.1 Yanal ivme-direksiyon açısı grafiği

Belirlenen değerlere göre az yönlendirme eğilimi Çizelge 4.1'de verilmiştir.

Çizelge 4.1 Az yönlendirme eğilimi değerleri

Burç Açısı (derece)	Az yönlendirme eğilimi (derece/m/s <sup>2</sup> )
0	1,669
15	1,9312
30	2,113
45	1,889

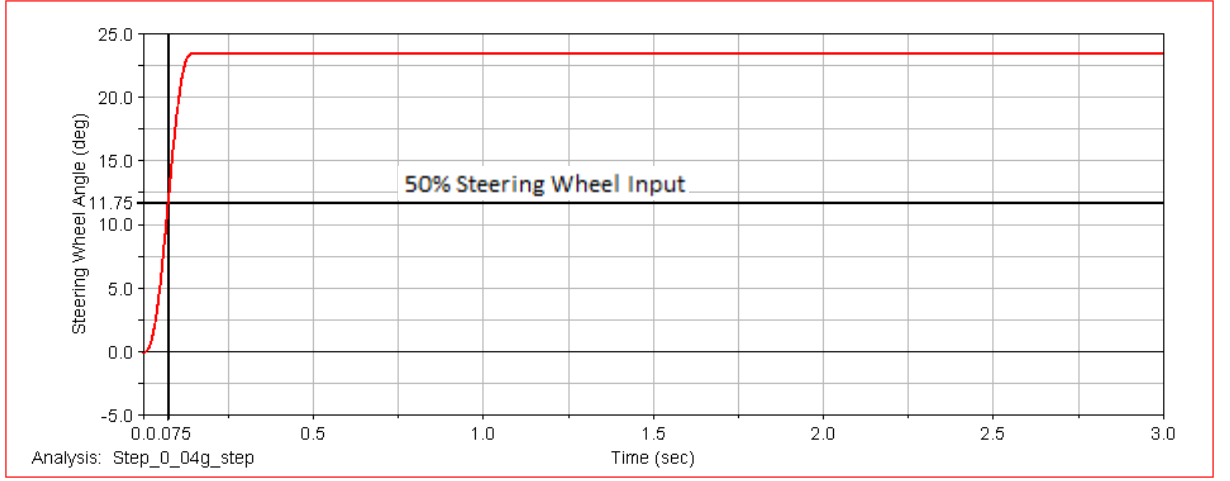
Sonuçlara göre maksimum az yönlendirme eğilimi 15° ve 30° açılı halde olmaktadır ve değerler birbirine yakındır. Minimum az yönlendirme eğilimi ise diğer dış iki sınır değer olan 0° ve 45° açılı halde olmaktadır. Bu sonuçlara göre maksimum az yönlendirme eğiliminin 15° ve 30° açı değerleri arasında olacağı görülebilir.

#### 4.2. ISO Basamak Yönlendirme Sürüş Analizi

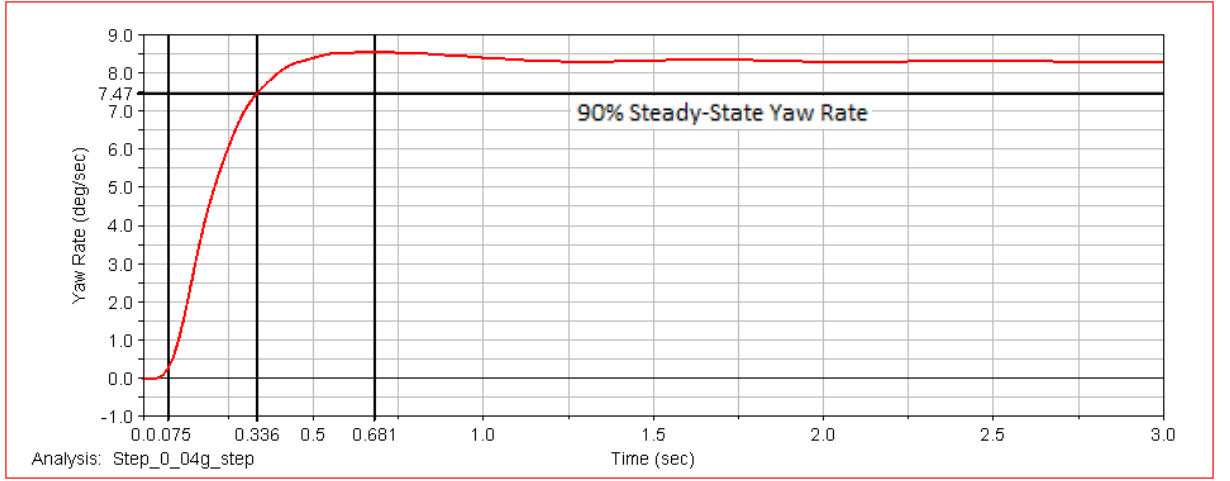
Taşıtın basamak-yönlendirme benzetimleri ISO 7401 standardına uygun şekilde gerçekleştirilmiştir ve bu manevra ile bağlantılı analiz sonuçları Şekil 4.2 – Şekil 4.9 arasında sunulmuştur. Yöntemsel olarak standart 0,4 m/s<sup>2</sup> yanal ivme değerini sağlayacak olan direksiyon açısına karşılık elde edilen yanal sapma hızı cevapları; 0°, 15°, 30° ve 45° açılı hale getirilen burç pozisyonlarına bağlı olarak elde edilmiştir. 0° ve 45° cevapları dikkate alındığında Çizelge 4.2’de de görüldüğü gibi yanal sapma hız değerlerindeki yakınsamaya karşın, 0° de daha düşük direksiyon açısı ile ulaşılan yanal ivme değeri, 45° de az yönlendirme karakteristiğinin artışına işaret etmektedir.

**Çizelge 4.2** ISO basamak yönlendirme çıktıları

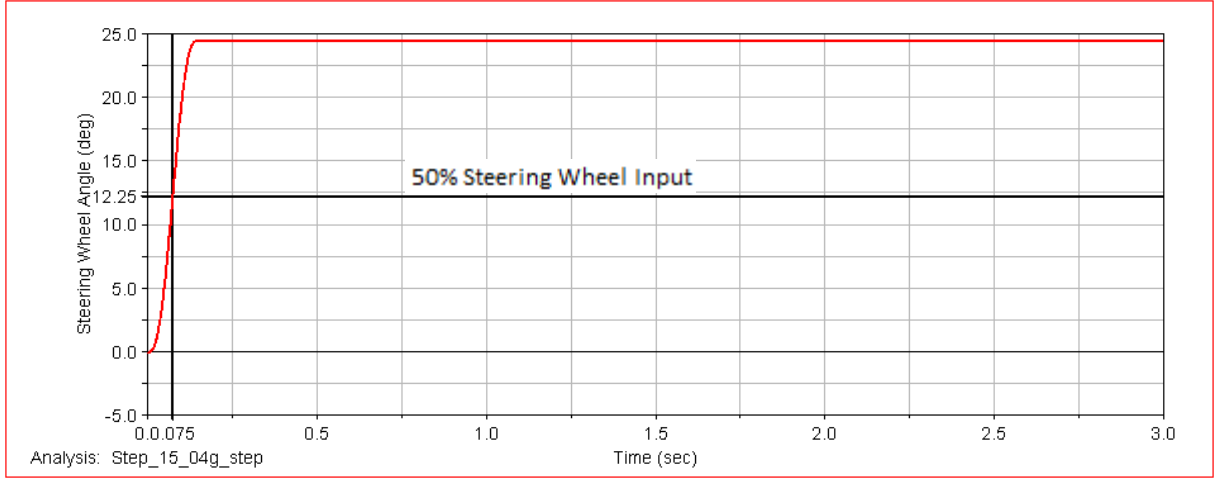
Burç açıları	0	15	30	45
Yanal sapma cevap zamanı (sec)	0,261	0,268	0,236	0,246
Yanal sapma overshoot ratio	0,033	0,047	0,048	0,036
Cevap zamanı (sec)	0,336	0,343	0,306	0,321
Pik değer için cevap zamanı (sec)	0,681	0,568	0,564	0,673
Yanal sapma hız (deg/sec)	8,576	8,643	8,665	8,576
Yanal sapma hızı-%90 (deg/sec)	8,3	8,257	8,266	8,281



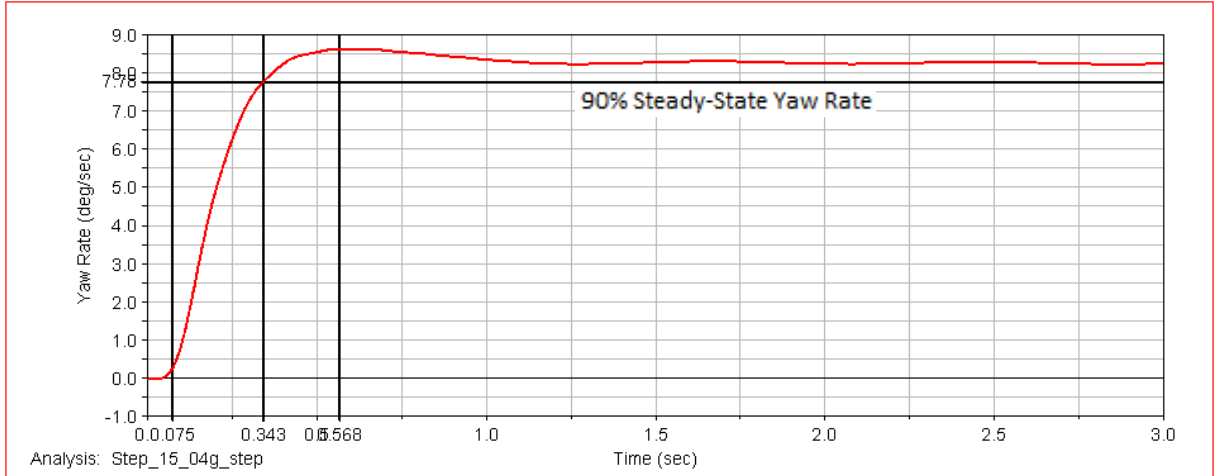
Şekil 4.2 0° burç açısı için direksiyon açısı girdisi



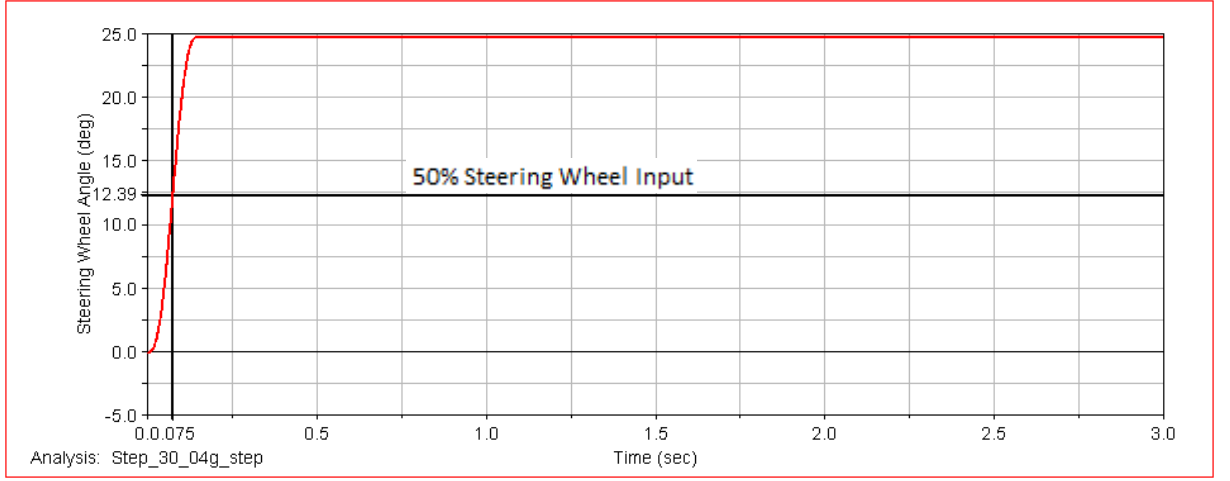
Şekil 4.3 0° burç açısı için zamana göre yanal sapma hızı



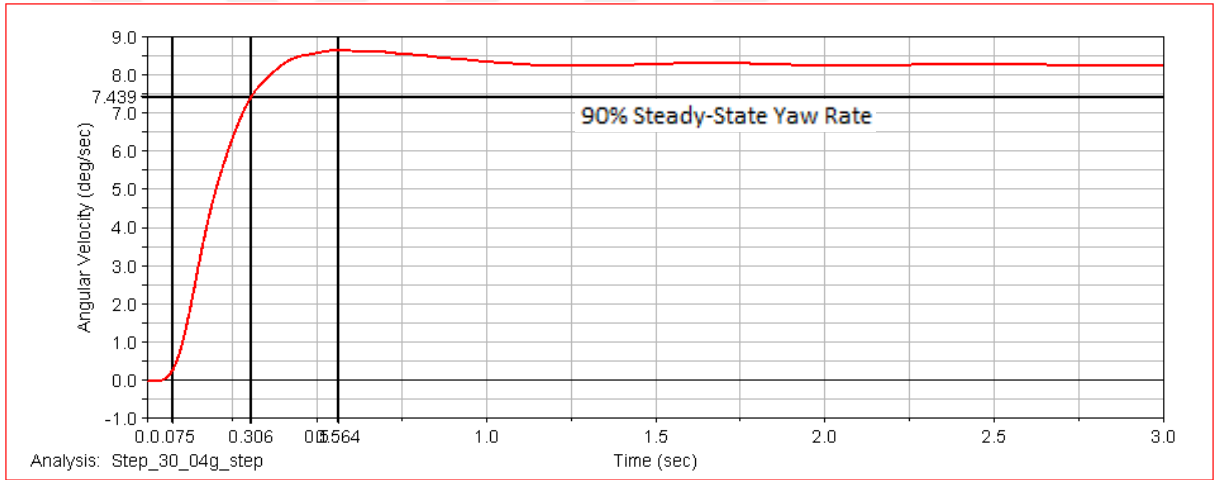
Şekil 4.4 15° burç açısı için direksiyon açısı girdisi



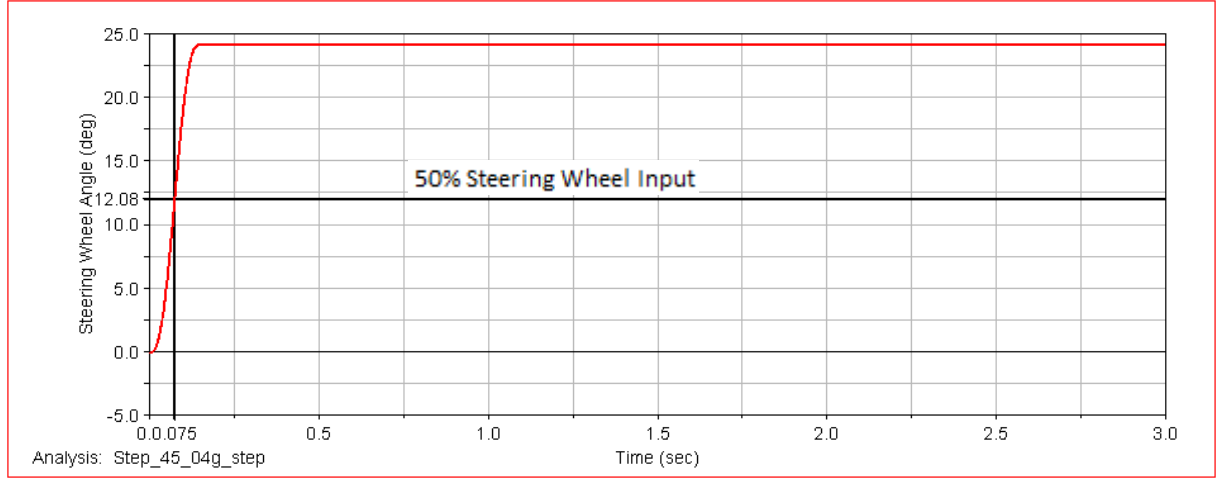
Şekil 4.5 15° burç açısı için zamana göre yanıl sapma hızı



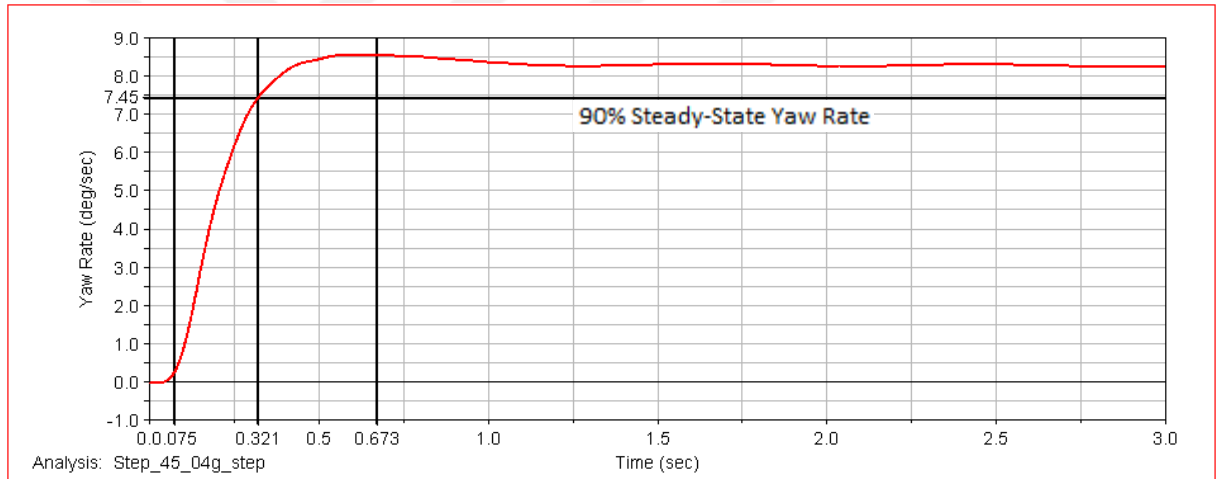
Şekil 4.6 30 derece burç açısı için direksiyon açısı girdisi



Şekil 4.7 30° burç açısı için zamana göre yanal sapma hızı



**Şekil 4.8** 45° burç açısı için direksiyon açısı girdisi



**Şekil 4.9** 45° burç açısı için zamana göre yanal sapma hızı

Benzer şekilde, 15° ve 30° açısız yerleşimlerde 30° yerleşimle birlikte sürüş dinamiği karakteristiğinin daha fazla az yönlendirme tarafına yöneldiği görülebilmektedir. Grafikler karşılaştırmalı ele alındığında, burç açısı değişimlerinin beklendiği gibi az yönlendirme karakteristiği ile doğrudan bağlantılı olduğu ve burada az yönlendirme derecesi açısından sıralamanın büyükten küçüğe 30-15-45-0° açısız yerleşimleri şeklinde olduğu değerlendirilebilir.



### 4.3. Yalpa merkezine göre kayma merkezi pozisyonunu

$$hRor = \frac{((X_{wc} - X_0) \cdot Y_{wc} \cdot (Z_{sc} - Z_0) - (Z_w - Z_0) \cdot (X_{sc} - X_0) \cdot Y_{wc})}{((X_{sc} - X_0) \cdot (Y_{wc} - Y_0) + (X_{wc} - X_0) \cdot Y_0)} \quad (5)$$

Denklem (5)'te, sabit noktaları içeren formülasyonda; diğer sabit noktalar sabit değer alınmak suretiyle, kayma merkezi ve yalpa merkezi yüksekliği arasındaki ilişki görülebilir. Bu formülasyona göre şu sonuçlara ulaşılabilir:

- Kayma merkezi yüksekliği ile yalpa merkezi arası ilişki lineerdir
- Boylamsal pozisyon üzerindeki etki ise non-lineerdir
- Kayma Merkezi yüksekliği arttıkça yalpa merkezi yüksekliği de artar
- Kayma merkezi tekerlek merkezine yaklaştıkça, yalpa merkezi yüksekliği artar

Böylece, yalpa merkezi konumu ve sabit noktaların yer gerekleri dikkate alınarak, kayma merkezinin kabul edilebilir bir konumu hızlıca belirlenebilir. Formülasyonun gerçeğe uygunluğu simülasyon ve deneysel sonuçlarla doğrulanmış, hata payının % 9-11 arası olduğu, bunun da başlangıç tasarım çalışmalarına temel oluşturabilecek bir seviye olduğu literatürde değerlendirilmiştir. [11]

## 5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışma, burulma kirişli bir arka aks düzenlemesi tasarımında taşıt dinamiği açısından önemli bir kısım parametrelerin tespit edilerek irdelenmesi amacıyla gerçekleştirilmiştir. Nihai hedef, tamamen yerli olanaklar ile tasarlanan burulma kirişli süspansiyon yapısının, taşıtın dinamik karakteristiği üzerine etkilerini temel düzeyde ortaya koyarak, tasarımın henüz başlangıcında yapısal tasarım ile dinamik tasarımı ilişkilendirmektir.

Bu amaçla yapılan incelemelerde yapısal bir faktör olan “kayma merkezi” konumunun taşıtın dinamik cevapları açısından da önemli etkileri olduğu, ancak bu durumun dinamik analizlere gerektiğince yansıtılmadığından hareketle, kayma merkezi ile taşıt dinamik parametreleri arasında bir ilişki kurulması yoluna gidilmiştir. Özellikle kayma merkezi ve de değişiminin dinamik analizlerde çok yaygın olarak kullanılan ve çoklu cisim dinamiği benzetim aracı olan ADAMS/Car da tanımlanamamasının bir dezavantaj olduğundan yola çıkılarak, taşıt dinamiğinde önemli bir parametre olan süspansiyon “yalpa merkezi yüksekliği” ile kayma merkezi arasında bir ilişki üzerinde çalışılmış ve geometrik yöntem ile bu yönde sonuç alınmıştır.

Diğer yandan ilgili süspansiyon sisteminin önemli ve etkili bileşenlerinden biri olan burç üzerinde çalışılmış, burçların yerleşim açısının dinamik davranışlar üzerine etkileri irdelenmiştir. Bu amaçla, mevcut sistemin burç açılarının değiştirilmesi vasıtasıyla taşıtın bir takım karakteristik testleri bilgisayar ortamında gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen analizler neticesinde; 15 ile 30 derece arasındaki yerleşimlerin hedeflenen az yönlendirme karakteristiğini sağlamada uygun bir aralık olacağı görülmüştür.

Bu çalışma sonucu geliştirmeye açık olan noktalardan biri; ortaya konulmuş olan kayma açısı-yalpa merkezi yüksekliği ilişkisinin, çoklu cisim dinamiği yazılımı içerisinde bir yardımcı benzetim aracı ile uygulamaya geçirilerek hem yapısal hem de dinamik tasarım gereklerini daha eş zamanlı ve etkileşimli hale getirmek olabilecektir. Ayrıca, burç yerleşimlerinde açı değişimlerini daha sıkılaştırarak, dışa dönük burç açılarının sınanması, bu çalışmaya ayrıca burç katılıklarının da dahil

edilmesi ile bir optimizasyon çalışmasına gidilmesi de tasarım gereklerinde daha iyi neticeler alınmasını sağlayabilecektir.



## KAYNAKLAR

- [1] Gillespie T.D., Fundamentals of Vehicle Dynamics, Society of Automotive Engineers, 237-247, Warrendale, 1992.
- [2] Vasconcelos L., Silveira M., Christoforo A., Evaluation of the Torsion Beam of a Twist-Beam Suspension by Numerical Simulation, *SAE Technical Paper*, **2012**, 2012-36-0483.
- [3] Held V., Hiemez R., Designing Twist-Beam Axles, Crolla D., *Encyclopedia of Automotive Engineering*, **2014**, 1.
- [4] Leal V., Landre J., Bitencourt R., Twist Beam Rear Suspension - Influencies of the Cross Section Member Geometry in the Elastokinematics Behavior, *SAE Technical Paper*, **2007**, 2007-01-2860.
- [5] Hamed B., Webb J., The New Twist Beam Axle Design for a Passenger Vehicle, *SAE Technical Paper*, **2007**, 2007-01-0863.
- [6] Sistla P., Kang H., Twist Beam Suspension Design and Analysis for Vehicle Handling and Rollover Behavior, SAE Technical Paper, 2010, 2010-01-0085.
- [7] Chen, J., Qin, M., Jiang, Y., Jin, L. et al., "Modeling, Analysis and Optimization of the Twist Beam Suspension System," *SAE Int. J. Commer. Veh.* 8(1):2015, Doi:10.4271/2015-01-0623.
- [8] Albak E, Araç Konfor ve Yol Tutuş Özelliklerinin İyileştirilmesi İçin Süspansiyon Parametrelerinin İncelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Uludağ Üniversitesi-Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa, 2014.
- [9] <http://www.ex-en.com.tr>, Haziran 2014.
- [10] Satchell T., The Design of Trailing Twist Axles, *SAE Technical Paper*, 1981, 810420.
- [11] Songlin Z.S., Xiao Q., Chenglong W., Dawei G., A Determination Method and Verification of the Relationship between Shear Center and Roll Center of Twist Beam Rear Axle, *Automobile Technology*, 2015, ISSN: 1000-3703

## **ÖZGEÇMİŞ**

### **KİŞİSEL BİLGİLER**

**Adı SOYADI** : Ercan DOĞRU  
**Doğum Tarihi ve Yeri** : 15/05/1983, Şiran  
**Yabancı Dili** : İngilizce  
**E-posta** : [ercan.dogru@btu.edu.tr](mailto:ercan.dogru@btu.edu.tr)

### **ÖĞRENİM DURUMU**

<b><u>Derece</u></b>	<b><u>Alan</u></b>	<b><u>Üniversite adı</u></b>	<b><u>Mezuniyet Yılı</u></b>
<b><u>Lisans</u></b>	Makine Mühendisliği	Karadeniz Teknik Üniversitesi	2013
<b><u>Lisans</u></b>	Tekstil Mühendisliği	İstanbul Teknik Üniversitesi	2007

### **İŞ TECRÜBESİ**

<b><u>Yıl</u></b>	<b><u>Firma/Kurum</u></b>	<b><u>Görevi</u></b>
2014-2016	Bursa Teknik Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü	Araştırma Görevlisi