



T. C.  
ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ARAÇ KONFOR ve YOL TUTUŞ ÖZELLİKLERİNİN İYİLEŞTİRİLMESİ İÇİN  
SÜSPANSİYON PARAMETRELERİNİN İNCELENMESİ

Emre İsa ALBAK

Yrd. Doç. Dr. Erol SOLMAZ  
(Danışman)

YÜKSEK LİSANS TEZİ  
OTOMOTİV MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Bursa- 2014

## TEZ ONAYI

Emre İsa ALBAK tarafından hazırlanan ‘Araç Konfor Ve Yol Tutuş Özelliklerinin İyileştirilmesi İçin Süspansiyon Parametrelerinin İncelenmesi’’ adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından oy birliği/oy çokluğu ile Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Otomotiv Mühendisliği Anabilim Dalı’nda **Yüksek Lisans Tezi** olarak kabul edilmiştir.

**Danışman:** Yrd. Doç. Dr. Erol SOLMAZ

**Üye:** Yrd. Doç. Dr. Erol SOLMAZ

Mühendislik Fakültesi

İmza

Otomotiv Mühendisliği

**Üye:** Prof. Dr. Ferruh ÖZTÜRK

Mühendislik Fakültesi

İmza

Otomotiv Mühendisliği

**Üye:** Doç. Dr. Necmettin KAYA

Mühendislik Fakültesi

İmza

Makine Mühendisliği

**Yukarıdaki Sonucu Onaylarım**

**Prof. Dr. Ali Osman DEMİR**

**Enstitü Müdürü**

**../../....(Tarih)**

**U.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmasında;**

- Tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde

elde ettiğimi,

- Grsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- Atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- Ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu niversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

**beyan ederim.**

.././....

**Emre İsa ALBAK**

## ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

### ARAÇ KONFOR ve YOL TUTUŞ ÖZELLİKLERİNİN İYİLEŞTİRİLMESİ İÇİN SÜSPANSİYON PARAMETRELERİNİN İNCELENMESİ

Emre İsa ALBAK

Uludağ Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Otomotiv Mühendisliği Anabilim Dalı

**Danışman:** Yrd. Doç. Dr. Erol SOLMAZ

Gelişen teknoloji ve artan rekabet ile araçlardan beklenen konfor ve performans istekleri sürekli artmaktadır. Bu nedenle otomotiv üreticileri ar-ge faaliyetlerine büyük önem vermektedir.

Bu tez çalışmasında süspansiyon sistemi parametrelerinin araçların sürüş konforuna olan etkileri incelenmiştir. Ayrıca sürüş konforu için değiştirilen parametrelerin, araç şasi yüksekliği ve kafa vurma açısına olan etkileri incelenmiştir.

Çalışmada Adams/Car programı ile binek bir araç ve Formula SAE aracı üzerinden ISO Lane Change, ivmelenme ve ISO sürüş konfor analizleri yapılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Sürüş konforu, Adams/Car, süspansiyon, yol tutuş  
2014, xi + 60 sayfa.

**ABSTRACT**

Msc Thesis

RESEARCH OF SUSPENSION PARAMETERS FOR INCREASING THE  
CHARACTERISTICS OF VEHICLE'S COMFORT AND RIDE

Emre İsa ALBAK

Uludağ University

Graduate School Of Natural And Applied Sciences

Department Of Automotive Engineering

**Supervisor:** Yrd. Doç. Dr. Erol SOLMAZ

Comfort and performance expectations are constantly increasing with developing technology and increasing competition. Therefore, automotive companies put much importance to research and development activities.

Effects of the suspension system parameters on a ride comfort is investigated in this thesis. However effects of some parameters on chassis height and pitch angle were also examined.

ISO Lane Change, acceleration and ISO ride comfort index analyses were performed by using Adams/Car software for a generic car and a Formula SAE car.

**Key Words:** RideComfort, Adams/Car, suspension, handling  
**2014, xi + 60 pages.**

## ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Hayatım boyunca hiçbir zaman maddi ve manevi desteğini esirgemeyen aileme ve tez çalışması esnasında her türlü desteği sağlayarak yardımcı olan değerli hocalarıma teşekkür ederim.

Formula SAE aracında kullandığım bilgiler dolayısıyla Uludag Racing Takımı değerli danışman hocalarına ve şüana kadar emeği bulunan bütün öğrencilere teşekkür ederim.

Emre İsa ALBAK

.././....

## İÇİNDEKİLER

	<b>Sayfa</b>
ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR .....	iii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ .....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	x
1. GİRİŞ .....	1
2. LİTERATÜR TARAMASI.....	3
2.1. Sürüş Konforu .....	3
2.1.1. Öznel sürüş konfor hesaplamaları .....	4
2.1.2. Nesnel sürüş konfor hesaplamaları.....	5
2.1.2.1. Ortalama sönümlenmiş güç (AAP).....	5
2.1.2.2. BS 6841 .....	6
2.1.2.3. VDI 2057.....	6
2.1.2.4. ISO 2631 (1997).....	7
2.1.3. Diğer araçlar için sürüş konfor indeksi .....	8
2.2. Yol Tutuş.....	10
2.3. Taşıt Eksen Takımları .....	10
2.4. Taşıt Eksen Etrafındaki Hareketleri .....	12
3. MATERYAL ve YÖNTEM.....	14
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. Template Oluşturma.....	17
3.1.2.2. Ön süspansiyon sistemi için template oluşturma .....	18

3.1.2.3. Arka süspansiyon sistemi için template oluşturma .....	19
3.1.2.4. Direksiyon sistemi için template oluşturma.....	19
3.1.2.5. Ön ve arka lastik için template oluşturma.....	20
3.1.2.6. Diğer templateeler.....	21
3.1.2.7. Subsystem oluşturma .....	21
3.1.2.8. Assembly oluşturma.....	22
3.1.3. Spor Binek Araç Modeli Bilgileri .....	23
3.1.4. Formula SAE aracı modeli bilgileri .....	24
3.2. YÖNTEM.....	26
3.2.1. ISO Lane Change analizi.....	26
3.2.2. İvmelenme Analizi .....	28
3.2.3. ISO Sürüş Konfor Analizi .....	29
3.2.4. Yapılan analizler.....	29
4.BULGULAR .....	31
4.1. Sürüş Konfor İndeksi .....	31
4.1.1. Binek araç sürüş konfor indeksi .....	32
4.1.2. Formula SAE aracı sürüş konfor indeksi .....	34
4.2. Kafa Vurma Açısı ve Şasi Yüksekliği Değerleri .....	36
4.2.1. Spor binek araç değerleri.....	36
4.2.1.1. ISO Lane Change .....	36
4.2.1.2. İvmelenme.....	39
4.2.2. Formula SAE aracı değerleri.....	42
4.2.2.1. ISO Lane Change .....	44
4.2.2.2. İvmelenme.....	47
5.SONUÇLAR .....	51
KAYNAKLAR .....	57
ÖZGEÇMİŞ .....	60



## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

### Simgeler

$K_i$	Konfor faktörü
$a$	İvme
$N$	Veri sayısı
$f$	Frekans
$b$	İvme şiddeti

### Açıklamalar

### Kısaltmalar

ISO	International Standards Organization
SAE	Society of Automotive Engineering
ADAMS	Automated Dynamic Analysis of Mechanical Systems
BS	British Standards
VDI	The Association of German Engineers
AAP	Average Absorbed Power
RMS	Root Mean Square
SKİ	Sürüş Konfor İndeksi

### Açıklamalar

## ŞEKİLLER DİZİNİ

	<b>Sayfa</b>
Şekil 2.1. Öznel sürüş konfor indeksi belirleme form örneği.....	4
Şekil 2.2. ISO 6321 ve BS 6841 dikey ivme ağırlıklandırma farkı grafiği.....	7
Şekil 2.3. SAE koordinat sistemi.....	11
Şekil 2.4. ISO koordinat sistemi.....	11
Şekil 2.5. Taşıt eksen takımı.....	12
Şekil 3.1. Adams/View arayüzü .....	16
Şekil 3.2. Template tanımlama.....	18
Şekil 3.3. A-Arms tipi template.....	19
Şekil 3.4. Rack and pinion tipi template.....	20
Şekil 3.5. PAC89 tire tipi template.....	20
Şekil 3.6. Ön süspansiyon sistemi analizi örneği.....	21
Şekil 3.7. Subsystem alt role.....	22
Şekil 3.8. Adams/Car binek araç modeli.....	23
Şekil 3.9. Formula SAE araç modeli.....	25
Şekil 3.10. ISO Lane Change parkuru.....	27
Şekil 3.11. ISO Lane Change analiz girdileri.....	27
Şekil 3.12. İvmelenme analizi girdileri.....	28
Şekil 3.13. SKİ analizi görseli.....	29
Şekil 4.1. Sürücü oturuş pozisyonu.....	31

<b>Şekil 4.2.</b> Binek Araç şasisinin ISO Lane Change analizinde düşey eksenindeki değişim eğrileri (yay).....	37
<b>Şekil 4.3.</b> Binek Araç şasisinin ISO Lane Change analizinde düşey eksenindeki değişim eğrileri (damper).....	37
<b>Şekil 4.4.</b> Binek Araç şasisinin ISO Lane Change analizinde kafa vurma hareketindeki değişim eğrileri (yay).....	38
<b>Şekil 4.5.</b> Binek Araç şasisinin ISO Lane Change analizinde kafa vurma hareketindeki değişim eğrileri (damper).....	39
<b>Şekil 4.6.</b> Binek Araç şasisinin ivmelenme analizinde düşey eksenindeki değişim eğrileri (yay).....	39
<b>Şekil 4.7.</b> Binek Araç şasisinin ivmelenme analizinde düşey eksenindeki değişim eğrileri (damper).....	40
<b>Şekil 4.8.</b> Binek araç şasisinin ivmelenme analizinde kafa vurma hareketindeki değişim eğrileri (yay).....	41
<b>Şekil 4.9.</b> Binek araç şasisinin ivmelenme analizinde kafa vurma hareketindeki değişim eğrileri (damper).....	42
<b>Şekil 4.10.</b> Örnek Formula SAE aracı.....	43
<b>Şekil 4.11.</b> Formula SAE aracı süspansiyon sistemi parçaları.....	44
<b>Şekil 4.12.</b> Formula SAE aracı şasisinin ISO Lane Change analizinde düşey eksenindeki değişim eğrileri (yay).....	45
<b>Şekil 4.13.</b> Formula SAE aracı şasisinin ISO Lane Change analizinde düşey eksenindeki değişim eğrileri (damper).....	45
<b>Şekil 4.14.</b> Formula SAE aracı şasisinin ISO Lane Change analizinde kafa vurma hareketindeki değişim eğrileri (yay).....	46
<b>Şekil 4.15.</b> Formula SAE aracı şasisinin ISO Lane Change analizinde kafa vurma hareketindeki değişim eğrileri (damper).....	47

<b>Şekil 4.16.</b> Formula SAE aracı şasisinin ivmelenme analizinde araç şasisinin düşey eksenindeki değişim eğrileri (yay).....	47
<b>Şekil 4.17.</b> Formula SAE aracı şasisinin ivmelenme analizinde araç şasisinin düşey eksenindeki değişim eğrileri (damper).....	48
<b>Şekil 4.18.</b> Formula SAE aracı şasisinin ivmelenme analizinde kafa vurma hareketindeki değişim eğrileri (yay).....	49
<b>Şekil 4.19.</b> Formula SAE aracı şasisinin ivmelenme analizinde kafa vurma hareketindeki değişim eğrileri (damper).....	50

## ÇİZELGELER DİZİNİ

### Sayfa

Çizelge 2.1. İndian Railways (2014) tarafından belirlenen sürüş konfor indeksi derecelendirmesi .....	8
Çizelge 2.2. Hindistan toplu taşıma araçlarında kullanılan limit ve tercih edilen indeks değerleri.....	9
Çizelge 2.3. Toplu taşıma araçları için sürüş konfor değerleri.....	9
Çizelge 2.4. Toplu taşıma araçları için sürüş konfor değerleri.....	9
Çizelge 3.1. Binek araç süspansiyon sistemi yay katsayı eğrileri.....	23
Çizelge 3.2. Binek araç süspansiyon sistemi damper sönümlleme eğrileri.....	24
Çizelge 3.3. Binek araç verileri.....	24
Çizelge 3.4. Formula SAE aracı süspansiyon sistemi yay katsayı eğrileri.....	25
Çizelge 3.5. Formula SAE aracı süspansiyon sistemi damper sönümlleme eğrileri.....	26
Çizelge 3.6. Formula SAE araç bilgileri.....	27
Çizelge 3.7. Analiz tipi ve değişkenler.....	30
Çizelge 3.8. Analiz tipi ve sonuçlar.....	30
Çizelge 4.1. Binek araç SKİ değişim çizelgesi 1 .....	32
Çizelge 4.2. Binek araç SKİ değişim çizelgesi 2 .....	33
Çizelge 4.3. Formula SAE aracı SKİ değişim çizelgesi 1.....	35
Çizelge 4.4. Formula SAE aracı SKİ değişim çizelgesi 2.....	35
Çizelge 4.5. Formula SAE yarışları puanlama çizelgesi.....	43
Çizelge 5.1. Binek araç SKİ değerleri.....	51

**Çizelge 5.2.** Formula SAE aracı SKİ değerleri.....53

**Çizelge 5.3.** Binek araç ve Formula SAE aracı SKİ karşılaştırması.....54

## 1. GİRİŞ

Otomotiv sektöründe yaşanan gelişmeler ve otomotiv üreticileri arasında yaşanan rekabet dolayısıyla araçların sunduğu konfor ve performans her geçen gün giderek artmaktadır. Otomotiv ana sanayi şirketleri araçlarını geliştirmek için ar-ge faaliyetlerine çok büyük yatırım yapmaktadırlar. Bu yatırımlar araçlarda yakıt tüketimini azaltmak, sürüş güvenliği arttırmak, sürüş konforunu arttırmak ve sürüş zevkini arttırmak gibi birçok farklı alanda yapılmaktadır. Bu tez konusunda otomotiv sektöründe büyük yatırımlar yapılan dallardan biri olan ve araçların süspansiyon sistemlerini ilgilendiren sürüş konforu ve sürüş dinamiği incelenmiştir.

1980lerin ortalarında modelleme ve simülasyonu mühendislik uygulamaları için popüler kılan iki yazılım tipi ortaya çıkmıştır (Sayers 2010). Bu yazılım türlerinden ilki Matlab/Simulink gibi kullanıcılarına interaktif benzetim ortamı sunan programlardır. Diğeri ise Adams gibi mekanik çok gövdeli sistem simülasyonu yazılımlarıdır. Bu çalışmada Adams programı üzerinden sanal analizler yapılarak süspansiyon sisteminin etkileri incelenmiştir.

Süspansiyon sistemlerin birbiriyle çelişen iki temel amacı vardır. Bunlar sürüş konforu ve sürüş dinamiğidir. Sürüş konforunu araçların seyir halindeyken aracın yol düzgünlüklerinden gelen etkilerin yolcu ve sürücülere olan etkileri belirler. Sürüş dinamiği ise temel olarak aracın manevra alma kabiliyeti, ani manevralarda gösterdiği performans olarak bilinmektedir. Sürüş konforunda genel olarak beklenen daha yumuşak süspansiyon sistemi ile yol düzgünlüklerinden kaynaklanan etkilerin sürücü ve yolculara iletilmesini engellemekken, sürüş dinamiğinde ise daha sert süspansiyon sistemi ile aracın savrulmasının ve yan yatmasının az olmasıdır.

Gelişen bilgisayar teknolojisi ile birçok alanda olduğu gibi araç geliştirme konusunda da önemli faydalar sağlamıştır. Araç tasarım alanında geliştirilen programlarla beraber araç geliştirilmesi için harcanan zaman ve harcanan maliyetler düşmektedir. Geliştirilen araç tasarım programlarıyla daha doğru tasarımlar yapılırken daha az sayıda prototip üretimi yapılmaktadır, böylece tasarım maliyetleri düşmektedir.

Sürüş konforu ve sürüş dinamiği üzerine geliştirilen bilgisayar yazılımlarıyla tasarım aşamasında daha doğru sonuçlara ulaşılmaktadır. Daha tasarım aşamasındayken araç viraj ve ani manevralarda gösterdiği performans, aracın bozuk yollarda sürücü ve yolculara etkisi incelenmektedir.

Sürüş konforu üzerine bilgisayar yazılımları ile tasarımın yanı sıra öznel yargılarda kullanılmaktadır. Sürüş konforu sürücüden sürücüye, yolcudan yolcuya değıştiği kesin bir kanı ortaya konulamamış fakat bazı sürüş indeksleri belirlenmiştir. Sürüş indekslerinin yanı sıra öznel olarak yapılan konfor indeksleri de bulunmaktadır.

Bu çalışmada süspansiyon sistemi parametreleri üzerinden araç konforu parametreleri üzerinde durulmuş ve bu parametrelerin araçların ISO Lane Change ve ivmelenme analizlerinde kafa vurma açısı ve şasi yüksekliğine etkileri de incelenmiştir.



## **2. LİTERATÜR TARAMASI**

Araç dinamiği cevapları yol tutuş ve sürüş konforu olmak üzere iki alt konuya ayrılır. Sürüş konforu, yol düzgünsüzlüklerine karşı araçlardaki titreşimlerdir. Yol tutuş ise sürücünün hareketlerine karşı aracın verdiği tepkidir (Strandemar 2005).

Sürüş konforu için birçok tanımlama mevcuttur. Araç dinamiği üzerine önemli kaynakları bulunan Milliken ve ark. (1994) Race Car Vehicle Dynamics adlı kitabında; sürüş konforunu tekerler üzerine gelen yüklerin gövde pozisyonunda meydana getirdiği değişimler olarak tanımlamaktadır.

Araç dinamiğinin önemli ayaklarından biri olan yol tutuş en genel halde, taşıtın sürücü ve yol girdilerine olan dinamik tepkisidir (Alan 2002). Taşıt performansının üzerinde en çok durulan yönlerinden biri olmasına rağmen yol tutuş daha çok öznel değerlendirmeler ile ilintili olduğundan pek de iyi anlaşılammış bir konudur.

Bu tezin devamında sürüş konforu ve yol tutuş hakkında detaylı literatür araştırması anlatılacaktır. Bu tez konusuyla bağlantılı olarak sürüş konforu üzerinde biraz daha durulmuştur.

### **2.1. Sürüş Konforu**

Sürüş konforu araca yoldan düşey yönde gelen etkileri tanımlamaktadır. Bu etkilerin sürücü ve yolcular üzerinde oluşturduğu etkiler aracın sürüş konforunu belirlemektedir.

Sürüş konforu öznel yargılara dayandığı ve sürücüye bağlı olarak değiştiği için hesaplanması zor bir olgudur. Sürüş konforunu hesaplamak amacıyla bir çok yöntem olmasına karşın net bir yöntem henüz belirlenememiştir. Bu yöntemlerin öznel ya da nesnel yargılara dayanmak üzere iki temel çıkış noktası bulunmaktadır.

Bu kısımdan itibaren literatürde daha önce yapılmış olan öznel sürüş konfor hesaplamaları ve nesnel sürüş konfor hesaplamaları üzerinde durulacaktır.

### 2.1.1. Öznel sürüş konfor hesaplamaları

Günümüzde araçların sürüş konforu ve yol tutuş özelliklerini ölçmek için kullanılan en yaygın yöntem öznel yargılara dayanan test yöntemleridir. Öznel yargılarla hesaplama yoluna gidildiğinde en önemli unsur dikkat olmaktadır. Öznel yargılar çok kullanılmasına rağmen bazı problemler içermektedir (Strandemar 2005).

Öznel sürüş konfor hesaplamalarında en fazla karşılaşılan problemler şunlardır:

- Sürücü yorgunluk ve ruh hali gibi nedenlerle doğru olmayan sonuçlar,
- Test sürücülerinin ön yargıları,
- Test sonlarında sürücü değişimleri,
- Sürücülerin puanlama için kullandıkları dilin farklılıkları,
- Sürücülerin hissedebileceğinden küçük ayrıntılar (Strandemar 2005).

Park ve ark. (1998) sürücülerin dinamik özelliklerini değerlendirmek için bir form oluşturmuştur. Oluşturulan form sürücülere ne dayatıcı ne de onları zorda bırakıcı şekilde hazırlanmıştır. Şekil 2.1'de örneği verilen bir form bulunmaktadır. Şekilde aracın sönümleme özellikleriyle alakalı iki adet soru bulunmaktadır. Sorularda referans olarak tek bir araç kullanıldığında daha doğru ve tekrarlanabilir cevaplar alınabilir. Sürücülerden daha doğru puanlama sonuçları alabilmek için referans aracın doğru seçimi çok önemlidir.

Type of damping:	harder						softer
Satisfaction with damping:	discomfort						comfort
				↑			
				reference			

Şekil 2.1. Öznel sürüş konfor indeksi belirleme form örneği

Bu şekilde benzer öznel yargılara dayanan yol tutuş ve sürüş konfor indeksi belirleme yöntemleri bulunmaktadır. Bu yöntemlerde de benzer şekilde sürücülerin öznel yargıları değerlendirilerek ortak bir payda da buluşmayı hedeflemektedirler.

## 2.1.2. Nesnel sürüş konfor hesaplamaları

P.S. Els (2004) çalışmasında günümüzde dünya da dört tane nesnel sürüş konfor indeksi hesaplama metodunun olduğunu belirtmiştir. ISO 2631 (Anonim, 1997) standardı genellikle Avrupa’da kullanıldığını ve İngiliz Standardı BS 6821 (Anonim, 1987)’nin İngiltere’de kullanıldığını değinmiştir. Almanya ve Avusturya’da VDI 32057 (Anonim, 1984) kullanılırken Ortalama Sönümlenmiş Güç veya AAP (Anonim, 1966)’nin Amerika da kullanıldığını belirtmiştir. VDI 2057 numaralı standardın yeni versiyonu (Anonim, 2002) Eylül 2012’de yayınlanmış olmasına rağmen hala eski versiyonu kullanılmaktadır. Arazinin engebeli olmasıyla birlikte, askeri araçlardaki sürüş konforunu değerlendirmek için; hangi standartların veya yöntemlerin Güney Afrika Ulusal Savunma Kuvvetleri’ne uyduğunun belirlenmesi ihtiyacı duyulmaktadır. Farklı standartların bulunması ve farklı hesaplama yöntemlerinin bulunmasının, otomotiv üreticileri tarafından farklı standartlar kullandığında kendi aralarında kıyaslama ve eski tarihli ölçümlerle kıyaslama açısından faydalı olduğunu savunmuştur.

### 2.1.2.1. Ortalama sönümlenmiş güç (AAP)

Ortalama Sönümlenmiş Güç (AAP) standardı 1994 yılında Amerika Askeri Tank – Otomotiv Komuta’sı tarafından geliştirilmiştir. Çalışmalar insan vücudunun elastik bir karakterde davrandığını göstermiştir. Titreşim altında insan vücudu esnekliği, yer değiştirme miktarına bağlı

olarak geri yükleme kuvveti oluşturur. Bu işlem enerji bilgisi dağılına ya da ortadan kalkana kadar devam eder. Enerji sönümlenmesinin süresi sönümlenmiş gücü belirler. Sönümlenmiş güç frekans açısından hesaplanabileceği gibi zaman açısından da hesaplanabilir. Frekans açısından hesaplama Denklem 2.1’de verilmiştir:

$$AAP = \sum_{i=0}^N K_i * (A_{i_{rms}})^2 \quad (2.1)$$

Denklemde N ivme sayısını,  $A_{i_{rms}}$  ivmeyi,  $K_i$  ise katsayıyı belirtmektedir.

Frekans ağırlıklandırma aralığı 1 ile 80 Hz arasında değişmektedir. 1 Hz’in altındaki değerlerde yöntem başarılı sonuçlar vermemektedir. AAP yöntemi ağırlıklandırma

eğrisi daha fazla 4-5 Hz aralığındaki organlardaki salınımı üzerinde durur. Çünkü daha yüksek enerjiler daha yumuşak dokularda emilir P.S. Els (2004).

### 2.1.2.2. BS 6841

BS 6841 standardı 0,5 ile 80 Hz aralığındaki frekans değerlerini dikkate alır. Zamana bağlı eğriler yerine yeni yaklaşımda titreşim doz değeri (VDV) metoduna giriş yapılmıştır. Koltuğa etki eden Z eksen yönündeki titreşim frekans ağırlıklandırması deneysel araştırmalar sonucuna bağlı olarak daha uygun değerlere göre düzenlendi. Toplam sürüş konfor endeksinin yanında her eksen yönündeki sürüş konfor endeksi de saptanabilir. İlk olarak ivme değerleri ağırlıklandırıldı. Farklı yönler için farklı ağırlık fonksiyonları tanımlıdır. Sürüş konfor endeksi, aşağıda tanımlanan ağırlıklandırılmış değerlerin karekök ortalamasına (RMS) göre hesaplanmıştır: (N: ivme sayısı, a: ivme)

$$RMS = \sqrt{\frac{1}{N} * \sum_{n=1}^N a_n^2} \quad (2.2)$$

RMS değeri, titreşim esnasında en olası insan reaksiyonlarına dair bir tahmin almak için öznel değerler ile karşılaştırılır. Frekans aralığı yol tutmasını ölçebilmek için 0,5 Hz değerine kadar genişletildi. Toplam sürüş konfor endeksi, aynı hızda, aynı yol şartlarındaki farklı araçlarla direkt olarak karşılaştırılmasına uyum sağlayabilir. Toplam sürüş konfor endeksi değerini iki katına çıkarmak titreşim konforsuzluğunu da iki katına çıkarır P.S. Els (2004).

### 2.1.2.3. VDI 2057

Alman Mühendisler Topluluğu (VDI) 1963 yılında ilk VDI 2057 standardını yayınlamışlardır ve böylece sürüş konforunu ölçmek için standart çıkararak bir ilki gerçekleştirmişlerdir. İnsanların büyük çoğunluğu bir miktar frekansa ve yeğinliğe maruz idi. İnsanların tepkileri analiz edildi ve bunun sonucu olarak da standart yayınlandı. Prensipinde VDI standardı; sürüşü, insanlar tarafından hissedildiği gibi belirleyebilmek için, öznel bir tablo ile mukayese edilen hesaplanmış yol konfor indeksini (K-faktör) tanımlar. VDI standardı 1979 yılında ISO 2631 (1978) standardının tolerans eğrilerini benimsemiştir. Fakat insan hissiyatının öznel mukayesesi için K-faktörü de bırakmamıştır. Hızlanma verisi Hızlı Fourier Dönüşümü (FFT) ile frekans

bazına çevrilir. FFT'den üçüncü oktav merkez frekanslarındaki RMS değerleri belirlenir. Bu, merkez frekanslarda tek değerler ile sonuçlanır. RMS hızlanma verisi ağırlıklandırılır ve z eksenini için olan K değerleri aşağıdaki şekilde belirlenir:

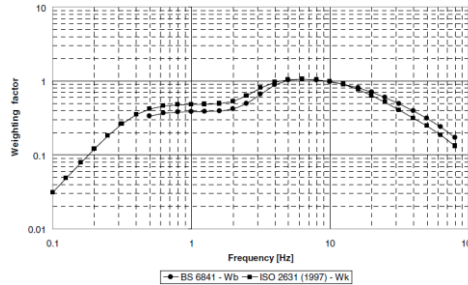
$$\begin{aligned}
 1 \leq f \leq 4 \text{ Hz} & \quad K_z = 10 \cdot a_z \cdot \sqrt{f}, \\
 4 \leq f \leq 8 \text{ Hz} & \quad K_z = 20 \cdot a_z, \\
 8 \leq f \leq 80 \text{ Hz} & \quad K_z = 160 \cdot a_z \cdot f,
 \end{aligned} \tag{2.3}$$

Denklemden  $K_z$  katsayısı,  $f$  ise frekansı temsil etmektedir.

Sonrasında, ağırlıklandırılmış sinyalin limit eğrilerine göre grafiği çıkarılır. Bunlar prensipte ISO 2631 (1985) limit eğrileriyle aynıdır. Frekans genişliği 1 ve 80 Hz arasındadır.

#### 2.1.2.4. ISO 2631 (1997)

1997'de yayınlanan ISO 2631'in revize edilmiş hali yeni tecrübe ve araştırma sonuçlarını içermektedir. Revizyon ile beraber frekans aralığı 1 Hz'in altına inmiştir. RMS yöntemi temel yöntem olarak kullanılmaya devam etmektedir. Prensip olarak yöntem ve hesaplama şekli BS 6841 standardı ile aynıdır. ISO 2631 (1997) ile BS 6841 arasındaki temel farklılık dikey ağırlıklandırma da  $W_k$  katsayısının yerine  $W_b$  katsayısının gelmesidir, burada  $W_k$  yoğun laboratuvar çalışmalarında çıkmıştır. ISO 2631 standardında yol tutmasının 0,1 ile 0,5 Hz arası olduğu ölçülmüştür. Şekil 2.2'de ISO 2631 ile BS 6841 standartlarının dikey ivme ağırlıklandırılması karşılaştırılmıştır P.S. Els (2004).



Şekil 2.2. ISO 2631 ve BS 6841 dikey ivme ağırlıklandırma farkı grafiği (P.S. Els 2004)

### 2.1.3. Diğer araçlar için sürüş konfor indeksi

Sürüş konforu indeksi otomobiller dışında trenlerde de çok büyük önem arz etmektedir ve bu konu da yapılmış birçok çalışma bulunmaktadır.

Indian Railways tarafından yapılan çalışmada sürüş konfor indeksi tanımlamasında insan hislerinin ivmelenmeye, ivmelenme değişim oranına ve yer değiştirmenin değişim oranına bağlı olduğu saptanmıştır (Anonim 2014).

Indian Railways yapılan çalışmada sürüş konfor indeksinin sadece ivmelenmeye ve ivmelenme değişim oranına bağlı olmadığı bunun yanında ses, rutubet, sıcaklık gibi diğer önemli parametrelerinde sürüş konfor indeksini etkilediği saptanmıştır (Anonim 2014).

Yapılan çalışmada sürüş konfor oranı Dr. Sperling tarafından oluşturulan denklemde sürüş konfor indeksi Ride Index formülü ile hesaplanmaktadır:

$$\text{Ride Index} = 0,986 \sqrt[10]{\frac{\sum b^3}{\sum f}} F(f) \quad (2.4)$$

Denklemde b ifadesi ile ivme şiddeti, f ifadesiyle ivme frekansı, F(f) ile ise frekansa bağlı düzeltme faktörüdür.

Indian Railways (2014) tarafından belirlenen sürüş konfor indeksi derecelendirmesi Çizelge 2.1'de ve Hindistan toplu taşıma araçlarında kullanılan limit ve tercih edilen indeks değerleri de Çizelge 2.2'de verilmiştir (Anonim 2014).

**Çizelge 2.1.** Indian Railways (2014) tarafından belirlenen sürüş konfor indeksi derecelendirmesi

Tanımlama	Sürüş konfor indeksi
Çok iyi	1.0
Neredeyse çok iyi	1.5
iyi	2.0
İyiye yakın	2.5
Kabul edilebilir	3.0
Nerdeyse kabul edilebilir	3.5
Çalıştırılabilir	4.0
Çalıştırılmaz	4.5
Tehlikeli	5.0

**Çizelge 2.2.** Hindistan toplu taşıma araçlarında kullanılan limit ve tercih edilen indeks değerleri

Toplu taşıma aracı	Önerilen limit	Maksimum limit
Coaches	3.25	3.5
Wagons	4.25	4.5
Loco	3.75	4.0
EDU/DMU	-	4.0

Trenler üzerine yapılan bir diğer çalışma da Narayanamoorthy ve ark. (2014) sürüş konfor indeksini hesaplarırken ISO 2631:1997 yaklaşımını kullanmışlardır. Çalışmalarında temel hesaplama yöntemi kullanarak aşağıdaki denklemi kullanmışlardır.

$$a_w = \left[ \frac{1}{T} \int_0^T a_w^2(t) dt \right]^{\frac{1}{2}} \quad (2.5)$$

Denklemden  $a_w$ ; ivme ağırlıklandırması, T ise zaman olarak tanımlanır.

Narayanamoorthy ve ark. (2014) çalışmalarında ISO 2631:1997 yaklaşımına bağlı olarak toplu taşıma araçları için Çizelge 2.3'deki sürüş konfor değerlerini belirlemişlerdir.

**Çizelge 2.3.** Toplu taşıma araçları için sürüş konfor değerleri

Titreşim seviyesi m/s <sup>2</sup>	tanımlama
0,315 den az	Konforsuz değil
0,315 ile 0,63 arası	Az konforsuz
0,5 ile 1 arası	Oldukça konforsuz
0,8 ile 1,6 arası	konforsuz
1,25 ile 2,5 arası	Çok konforsuz
2 ve üstü	Aşırı konforsuz

Zehsaz ve ark. (2012) de yaptığı çalışmada off-road tipi araçlar için süspansiyon sistemi karakteristiklerinin yoldan gelen etkilerle sürüş konforuna etkilerini incelemiştir. Çalışmada 7 serbestlik derecesiyle oluşturulan matematiksel model sayısal yöntemlerle karşılaştırılmıştır. Ön ve arka süspansiyon sistemine ait yay ve damper katsayılarını değiştirerek bu değişimlerin sürüş konforuna olan etkileri incelenmiştir.

## 2.2. Yol Tutuş

1956 yılında William F.Miliken, David W.Whitcomb ve Leonard Segel yol tutuşun nicel ve teorik analizini bir dizi yayın ile sunmuşlardır. Bu yayınlar günümüzde hala taşıt hareketi ve kontrolü için referans olarak kullanılmaktadır. Miliken yayınında bu konu ile ilgili tarihsel bir genel bakış sunmuştur. Miliken ayrıca pek çok tasarım parametresinin etkilerini belirlemek için taşıt testlerine duyulan gereksinimden ötürü lastik tasarımının yol tutuş üzerindeki etkilerinin bilinemediği notunu düşmüştür.

S.Hegazy, H.Rahnejat ve K.Hussain yol tutuş analizlerinde çok gövdeli dinamik yaklaşımı çalışmışlardır. Bu çalışma için kurulan model ‘‘Double Wishbone’’ tipi ön ve arka süspansiyon sistemleri, dişli ray tipi yönlendirme sistemi, taşıt gövdesi ve tekerleklerden oluşmaktadır. Model doksan dört serbestlik derecesine sahiptir ve modeli oluşturan elemanlar nonlineer bir karakteristik sergilemektedirler. Model Adams ortamında kurulmuştur ve yol tutuş analizlerini gerçekleştirmek için kullanılmıştır. Benzetimler ISO ve İngiliz standartları baz alınarak gerçekleştirilmiştir. R.W.Allen, T.S.Rosenthal, D.H.Klyde ve S.H.Hogue hafif bir taşıtın yanal/yönsel hareketinin bilgisayar benzetimi analizini çalışmışlardır. Bu yönsel harekete etki eden taşıt, tekerlek karakteristikleri ve manevra koşullarının bir çalışmasıydı.

Taşıt dinamiği, sürüş konforundaki dikey hareketlerden ziyade daha fazla yanal kuvvet ve ivmelerle ilgilidir. Taşıt dinamiğinde aracın yanal kuvvetlere karşı verdiği tepkiler ölçülmektedir.

## 2.3. Taşıt Eksen Takımları

Günümüzde araçların koordinatlarını tanımlarken iki adet koordinat sistemi kullanılmaktadır. Bu koordinat sistemleri ISO tarafından yayınlanan ISO koordinat sistemi ve SAE tarafından yayınlanan SAE koordinat sistemidir. Koordinat sistemleri aşağıdaki şekillerde gösterilmiştir.

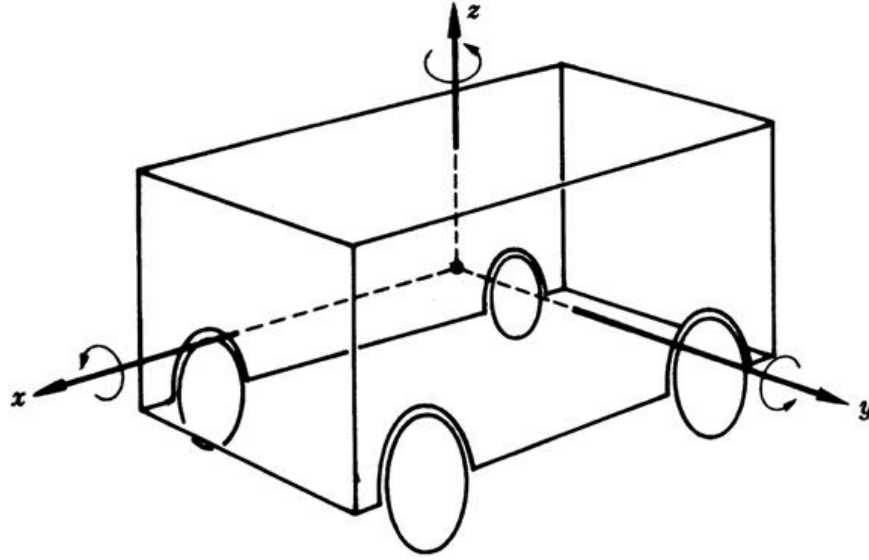




Koordinat sistemlerinde X, Y ve Z aksislerinin doğrultuları aynı fakat yönleri farklılık göstermektedir. Bu farklılıklar ilerleyen aşamalarda problemlere neden olabilir, bu nedenle araç üzerine çalışmalara başlanmadan hangi koordinat sisteminde çalışılacağı seçilmelidir.

#### 2.4. Taşıt Eksen Etrafındaki Hareketleri

Herhangi bir taşıtın dinamik davranışı çalışma esnasında ona etki eden kuvvetler tarafından belirlenmektedir. Bu kuvvetlerin kaynağı tekerlekler, yer çekimi ya da aerodinamik etkenler olabilmektedir (Abe 2009).



Şekil 2.5. Taşıt eksen takımı(Abe 2009)

Şekil 2.5’de görülen koordinat takımına göre taşıt gövdesi toplamda altı serbestlik derecesine sahiptir: Bunlar:

- 1- z eksenini boyunca dikey hareket
- 2- y eksenini boyunca yanıl hareket
- 3- x eksenini boyunca boylamasına hareket
- 4- x eksenini etrafında yalpalama hareketi
- 5- y eksenini etrafında kafa vurma hareketi
- 6- z eksenini etrafında savrulma hareketi

Taşıtın bu hareketleri iki ana gruba ayrılarak incelenebilmektedir. 1, 3 ve 5 numaralı hareketler ilk grubu oluşturmaktadır. Bu ilk grupta yer alan taşıt hareketlerinin ortaya çıkış sebeplerinin taşıtın yönlendirilmesiyle doğrudan bir alakası yoktur. 1 numaralı hareket yol pürüzlülükleri sebebi sonucu oluşan dikey harekettir ve sürüş konforu ile ilintilidir. 3 numaralı hareket ivmelenme ve/veya frenleme sırasında ortaya çıkan boylamasına harekettir. 5 numaralı harekete ise hem yol pürüzlülükleri hem de ivmelenme ve frenleme aktiviteleri sebep olmaktadır ve bu hareket de sürüş konforu ile ilişkilendirilmektedir (Abe 2009, Pir 2013).

2 ve 6 numaralı hareketler, yanal hareket ve savrulma hareketi, temel olarak taşıtın yönlendirilmesine bağlı olarak ortaya çıkan taşıt hareketleridir. 4 numaralı hareketin ana sebebi 2 ve 4 numaralı hareketlerdir ama bununla beraber taşıtın bu hareketine yol pürüzlülükleri de sebep olabilmektedir (Abe 2009, Pir 2013).

### **3. MATERYAL VE YÖNTEM**

Bu tez çalışmasında araçların konfor özelliklerinin iyileştirilmesi için süspansiyon parametrelerinin optimizasyonu çalışması yapılmıştır. Araçların konfor özelliklerini incelemek için Adams/Car programında program algoritmasında ISO 2631 (1997) standardı ile hesap yapan sürüş konfor indeksi analizi yapılmıştır. Ayrıca sürüş konforunu iyileştirirken aracın kafa vurma açısındaki ve aracın şasinin yüksekliğindeki değişimler ISO Lane Change ve ivmelenme analizleri ile incelenmiştir.

#### **3.1. Materyal**

Tez çalışmasında Adams/Car programı yardımıyla simülasyonlar yapılmıştır. Adams/Car programında spor bir binek araç ve Formula SAE aracı üzerinde analizler yapılmış ve sonuçlar karşılaştırılmıştır.

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

Adams paket programı MSC Software şirketine ait mekanik sistem simülasyonları için yazılmış bir paket programdır. Bu paket program altında konulara göre özelleşmiş birçok alt modül bulunmaktadır.

Adams mekanik sistemlerin simülasyonu yazılımdır. Adams ile sistemlerin dinamik davranışları incelenir, kuvvetlerin ve yüklerin sistem içinde nasıl dağıldığı hesaplanır, sistemlerin titreşim davranışı analiz edilir ve mekanizmalar optimize edilerek sistemlerin performansları artırılır.

Adams ile mekanik sistemlerin, sanal test prototipleri bilgisayar ortamında modellenir, gerçek hayattaki çalışma şartlarında test edilir. Adams; kinematik/hareket, statik, quasi-statik ve dinamik denklemlerini çözerek, sistemin gerçek fiziğini incelemektedir. Bu özellikleri ile CAD programlarının sahip olduğu hareket (motion) kabiliyetlerinden üstündür.

Mekanik parçaları, pnömatik, hidrolik, elektronik ve kontrol sistemleri ile entegre ederek ve bu sistemlerin birbirleri ile etkileşimlerini sağlayarak, komple bir sistemin sanal ortamda modellenmesi mümkündür.

Otomotiv, savunma, uzay ve havacılık, makine üretimi gibi birçok alanda kullanılan adams programlarının temel kabiliyetleri aşağıda belirtilmiştir.

- Kapsamlı mafsal ve kısıt kütüphanesi
- Kuvvet, ivme, hız, tork, 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
- DOE ile hızlı iterasyon ve sonuç alma
- 2D ve 3D temas problemleri
- Kompleks hareket sistemleri için kapsamlı linear ve nonlinear sonuçlar
- Paralel işlem (<http://www.ex-en.com.tr>, 2014)

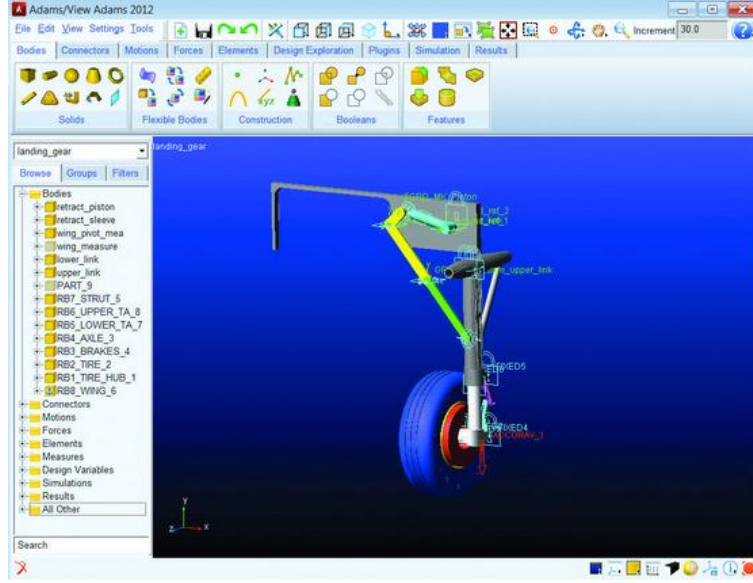
Adams programında Adams/View, Adams/Car, Adams/Chassis, Adams/Durability, Adams/Vibration, Adams/Control gibi birçok alt modülü bulunmaktadır.

Adams programı altında kullanılan Adams/View ve Adams/Car programları bu çalışmada kullanılmıştır.

### **3.1.1.1. Adams/View**

Adams/View programı Adams paket programının temel modülüdür ve diğer bütün modüller bu modülün özelleşmiş halidir. Adams/View programında Şekil 3.1'de gösterilen arayüz içerisinde mafsal, parça gibi tanımlamalar yapılarak gerçek problemin sanal modeli oluşturularak sanal çözümler yapılır.

Adams/Car programı, Adams/View programını özelleşmiş halidir ve araç dinamiği problemleri için kütüphaneler bulundurur. Adams/Car programına geçmeden önce temel bazı yetkinlikler Adams/View üzerinde kazanılmış olması gerekmektedir.



Şekil 3.1. Adams/View arayüzü

### 3.1.1.2. Adams/Car

Taşıt tasarımı ve analizi için özelleştirilmiş bir modüldür. Araçların tasarım ve geliştirilme süreçlerinde, standartlaşmış adımların otomatikleştirilmesi amacıyla geliştirilmiştir.

Araç, birbirini tanıyarak birleşebilen alt sistemler (süspansiyon, direksiyon, tekerlek vs.) halinde oluşturulur. Bu alt sistemler bağımsız olarak incelenebileceği gibi, bütün araç modeli oluşturularak da incelenebilir. Alt sistemlere ait parçalar parametrik olarak oluşturulduğu için, çok kısa sürede farklı topolojileri analiz etme imkanı sunar.

Otomotiv alanında yaygın olarak kullanılan Adams/Car programlarının temel kabiliyetleri aşağıda belirtilmiştir (<http://www.mscsoftware.com/> 2014).

- Kapsamlı şablon ve alt sistem kütüphanesi
- Kapsamlı analiz/sanal test kütüphanesi
- Esnek cisim analizi
- Ağır vasıtalara ait şablon ve alt sistem kütüphanesi
- Aktarma organlarının ayrıntılı olarak modelleme
- Tekerlek ve yol kütüphanesi
- İstenen fiziksel özellikte yol modelleme
- HIL simülasyonu (ESP, ABS vs. kontrol modelleri ile entegrasyon)

### **3.1.2. Adams/Car Taşıt Modeli Oluşturma**

Adam/Car programı içerisinde var olan taşıt modelleri kullanılabilir ya da kendi aracınızı templateler yardımıyla sıfırdan oluşturabilirsiniz. Fakat bu işlem çok uzun sürmesi ve bütün alt sistemlerin kendi aralarında haberleşmesi nedeniyle karmaşıktır ve pek kullanılan bir yöntem değildir. Genelde araç kriterlerine uygun seçenekler seçilir ve bu seçenekler üzerinden değişiklik yapılır.

Bu tez aşamasında iki adet araç modeli kullanılmıştır. Araçların ikisi de program kütüphanesinde mevcuttur fakat var olan araçlar üzerinde değişiklik yapılmıştır. Bu kısımda spor binek aracın oluşturulması anlatılmıştır.

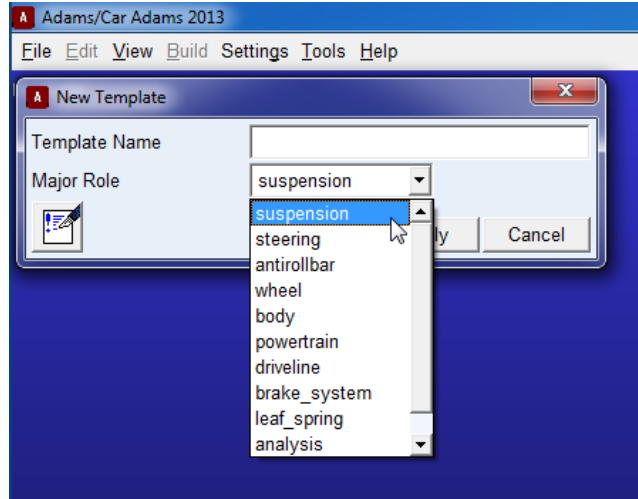
#### **3.1.2.1. Template Oluşturma**

Templateler tam taşıt modelinin temel unsurlarıdır. Süspansiyon sistemi, fren sistemi, direksiyon sistemi gibi alt sistemlerin temel parçaları ve tanımları template ortamında tanımlanır.

Adams/Car programında mcpherson süspansiyon sistemi, double wishbone süspansiyon sistemi, twist beam süspansiyon sistemi, tekerlek, direksiyon sistemi, aktarma organı, fren sistemi gibi ve kullanıma göre birçok unsur için template mevcuttur. Ayrıca kullanım amacına uygun olarak yeni templateler Adams/Car programı altında tanımlanabilir.

Adams/Car programında standard ve expert olmak üzere iki kullanıcı modu bulunmaktadır. Standard tipi kullanıcı modunda template oluşturmaya izin vermez var olan subsystem ve assembly üzerinde değişiklikler yapılabilir ve simülasyonlar yapılabilir. Expert kullanıcı modu ise kütüphane de mevcut olan template bilgileri üzerinde değişiklik yapmaya ve yeni template oluşturmak için kullanılır. Template tanımları diğer birçok yan ve üst sistem tarafından bilgi alışverişi yapan ve detaylı bir çalışma gerektiğinden üretici firma tarafından kullanıcılar için yeniden template yazma yolunu kullanmak yerine mevcut templateler üzerinden değişiklik yapma yolunun tercih edilmesi tavsiye dilmektedir. Bu tez çalışmasında da kullanılan templateler hata yapma olasılığını düşürmek amacıyla Adams/Car kütüphanesinde bulunduğu için mevcut templateler üzerinde değişiklik yapılmaya yolu tercih edilmiştir.

Yeni template oluşturma işlemlerinde Şekil de görüldüğü gibi bir adet majör role Őeilmesi gerekmektedir. Bu Őeim yeni oluşturulacak olan template'in ne amaçla kullanacağını tanımlar ve ilerleyen aşamalarda yan template'ler ve üst sistemlerle haberleşme esnasında gerek duyulmaktadır. Tez çalışmasında yeniden template oluşturulmayacağı için majör role tanımlama aşamaları bulunmamaktadır.



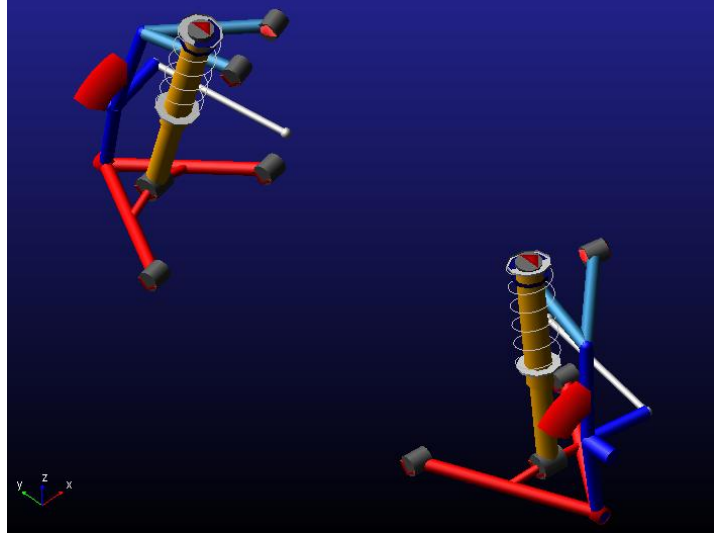
Şekil 3.2. Template tanımlama

Bu çalışmadaki simülasyonlarda kullanılmak üzere n süspansiyon sistemi, arka süspansiyon sistemi, direksiyon sistemi, n tekerlek, arka tekerlek, fren sistemi, gövde ve motor olmak üzere 8 adet template kütüphaneden çekilerek gerekli değişikler yapılmıştır.

### 3.1.2.2. n süspansiyon sistemi için template oluşturma

Sanal analizler için spor binek aracın ve Formula SAE aracının da n süspansiyon sistemi A-Arms tipi süspansiyon sistemidir ve araçlar arkadan itilidir. Bu nedenle n süspansiyon sistemleri için program kütüphanesinden A-Arms tip template (Şekil 3.3.) Őeilmiřtir.





**Şekil 3.3.** A-Arms tipi template

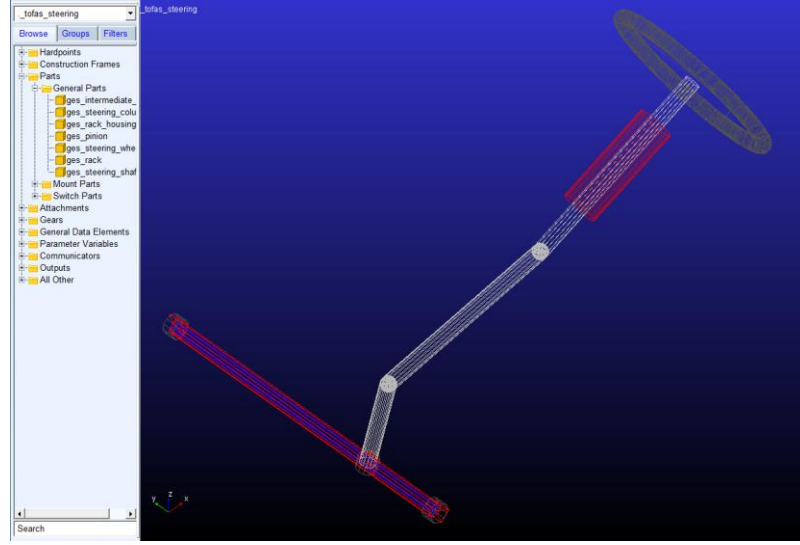
A-Arms tip template içerisine template içerisinde kullanılan parçaların koordinatları, süspansiyon sisteminde kullanılan yay katsayıları ve amortisör eğrisi bilgileri, ön düzen açıları gibi bilgiler girilerek test aracını simüle edecek aracın ön süspansiyon sistemi template oluşturulmuştur.

### **3.1.2.3. Arka süspansiyon sistemi için template oluşturma**

Sanal analizlerde kullanılan iki aracın arka süspansiyon sistemi için ön süspansiyon sisteminde olduğu A-Arms tipi süspansiyon sistemi seçilmiştir. A-Arms tipi template oluşturmak için ön süspansiyon sisteminde olduğu gibi kütüphaneden faydalanılmıştır. Kütüphanede tanımlı olan A-Arms tipi template seçilmiş ve test aracının bağlantı koordinatları, amortisör karakteristik eğrisi, yay katsayıları gibi nicelikler değiştirilerek şekilde gösterilen A-Arms tipi template oluşturulmuştur.

### **3.1.2.4. Direksiyon sistemi için template oluşturma**

Sanal analizlerde kullanılan araçların direksiyon sistemi için Adams/Car kütüphanesindeki rack and pinion tipi template seçilmiştir. Kütüphaneden seçilen template (Şekil 3.4.) için parçaların koordinat bilgileri, maksimum döndürme açısı gibi veriler girilmiştir.

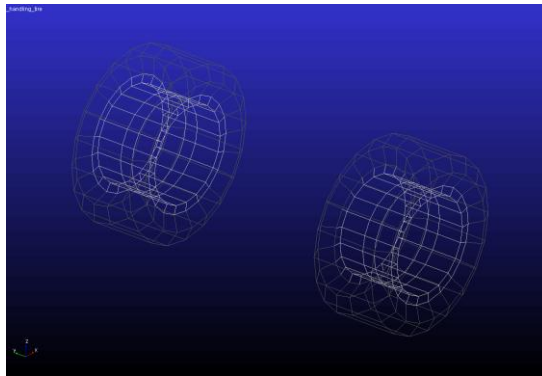


Şekil 3.4. Rack and pinion tipi template

### 3.1.2.5. Ön ve arka lastik için template oluşturma

Sanal analizlerde lastik modeli tam olarak oluşturmak hem çok zahmetli hem de çok maliyetli bir işlemdir. Lastik üzerine çok fazla çalışma olmasına rağmen bütün çalışmalar ampirik ifadeler üzerinden yürümektedir. Lastiğin fiziksel yapısından ve sürüş esnasındaki yüklemeler çalışmaları zorlaştırmaktadır.

Lastik modellemesindeki zorluklar ve maliyetler nedeniyle iki araç içinde lastik modeli, Adams/Car kütüphanesinde tanımlanan PAC89 tipi template seçilerek gerekli bilgiler girilmiştir. Burada ön ve arka tekerlekler için ayarı ayrı veriler girilerek ayrı templateler oluşturulmuştur. (Şekil 3.5)



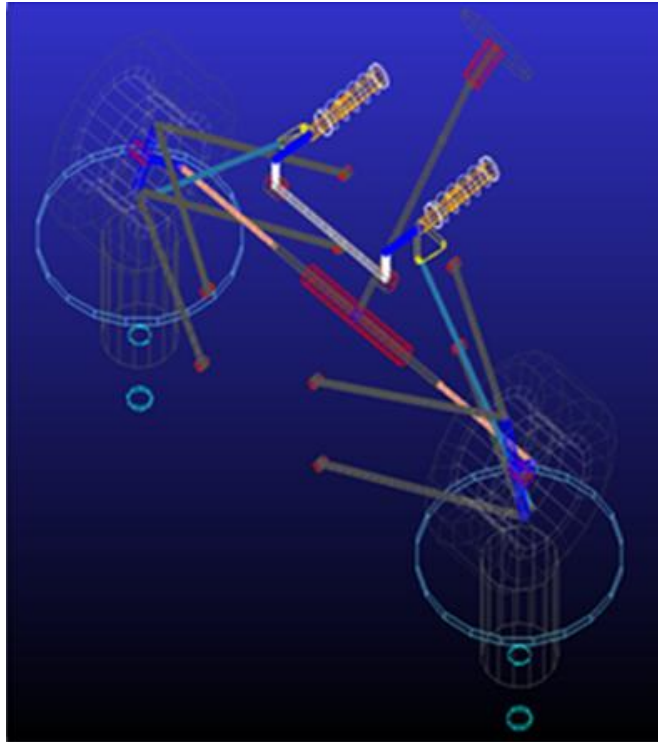
Şekil 3.5. PAC89 tekerlek tipi template

### 3.1.2.6. Diğer templateler

Adams/Car altında kalan diğer templateler yapılacak olan sanal analizlerde çok önemli etkiler yapmasa da bulunması gereken templatelerdir. Bu nedenle gövde, fren sistemi ve motor templateleri program kütüphanesinden çekilerek gerekli değişiklikler yapılarak oluşturulmuştur.

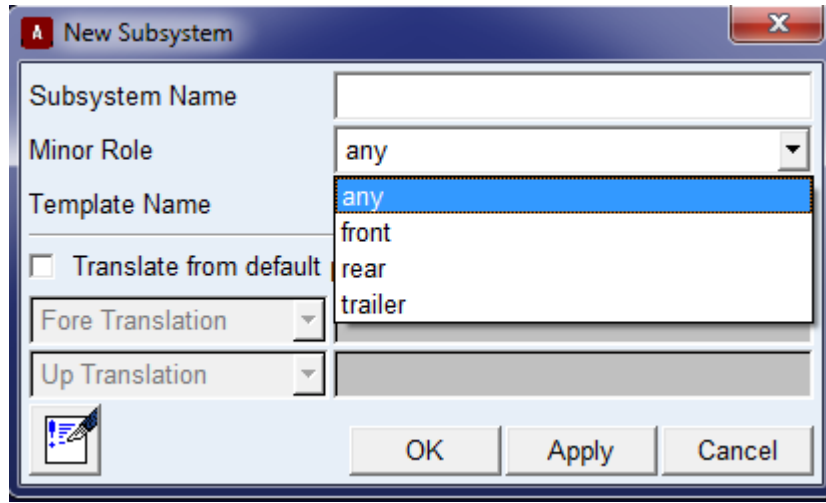
### 3.1.2.7. Subsystem oluşturma

Subsistemler Adams/Car programında aracın alt sistemleri olarak algılanır. Templateler oluşturularak Adams/Car programında analiz yapılamaz, templatelerin anlamlı hale gelebilmeleri için bazı tanımlamalar yapılarak subsisteme dönüştürülmeleri gerekmektedir. Subsystemler istenilirse uygun analiz tiplerinde tekil olarak kullanılıp analiz yapılır ya da birçok subsystem birleştirilerek assembly oluşturulur ve tam taşıt analizleri gerçekleştirilir. Subsystemler tekil kullanılarak Şekil 3.6'da ki gösterildiği gibi ön süspansiyon sisteminin hareketlerini incelemek için analizler yapılabilir.



Şekil 3.6. Ön süspansiyon sistemi analizi örneği

Subsystem oluşturmak için Şekil 3.7'de görüldüğü any, front, rear ya da trailer seçeneklerinden oluşan bir minör role belirlemek gerekmektedir. Minor role, kullanılacak subsystemin aracın neresinde kullanılacağını belirler. Lastik, süspansiyon sistemi gibi bazı templateler aracın hem önünde hem de arkasında kullanılabilir. Ön ve arka için ayrı ayrı template oluşturmak yerine tek bir template oluşturulur ve subsystem aşamasında ön için front arka için ise rear minör role seçilerek tek template ile iki subsystemde oluşturulmuş olur. Ayrıca minör roleler subsystemlerin kendi aralarında haberleşmeleri, veri aktarımı ve konumlandırılmaları için kullanılırlar.



Şekil 3.7. Subsystem alt rol

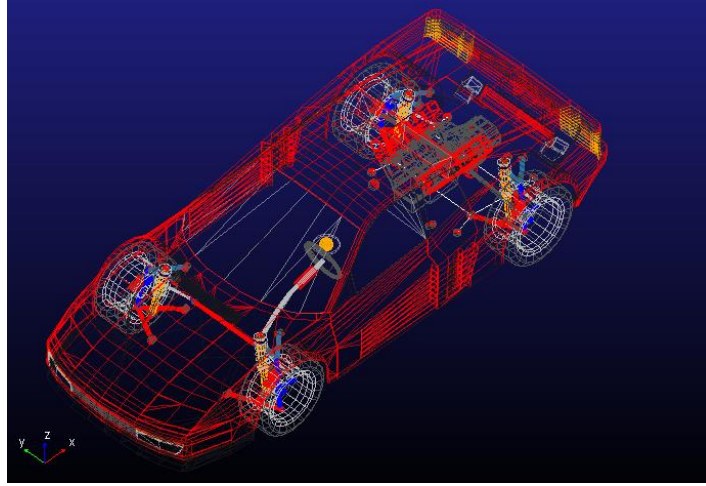
Test aracının sanal modeli için Adams/Car programında ön süspansiyon sistemi, arka süspansiyon sistemi, direksiyon sistemi, ön tekerlek, arka tekerlek, gövde, aktarma organları ve frenlerden oluşan toplam 8 adet subsystem oluşturulmuştur.

### 3.1.2.8. Assembly oluşturma

Assembly, Adams/Car programında tam taşıt modeli simülasyonları için kullanılır. Assembly birden fazla subsystemin bir araya gelmesiyle oluşur. Adams/Car programının parametrik algoritmasının avantajıyla assembly içerisinde yapılan değişiklikler subsystemlere de etki eder böylece bir subsystemde değiştirmek istediğiniz bir data için subsystemi tekrardan oluşturmaya gerek duyulmaz, assembly içerisinde değişiklik yapmak yeterli olur.

### 3.1.3. Spor Binek Araç Modeli Bilgileri

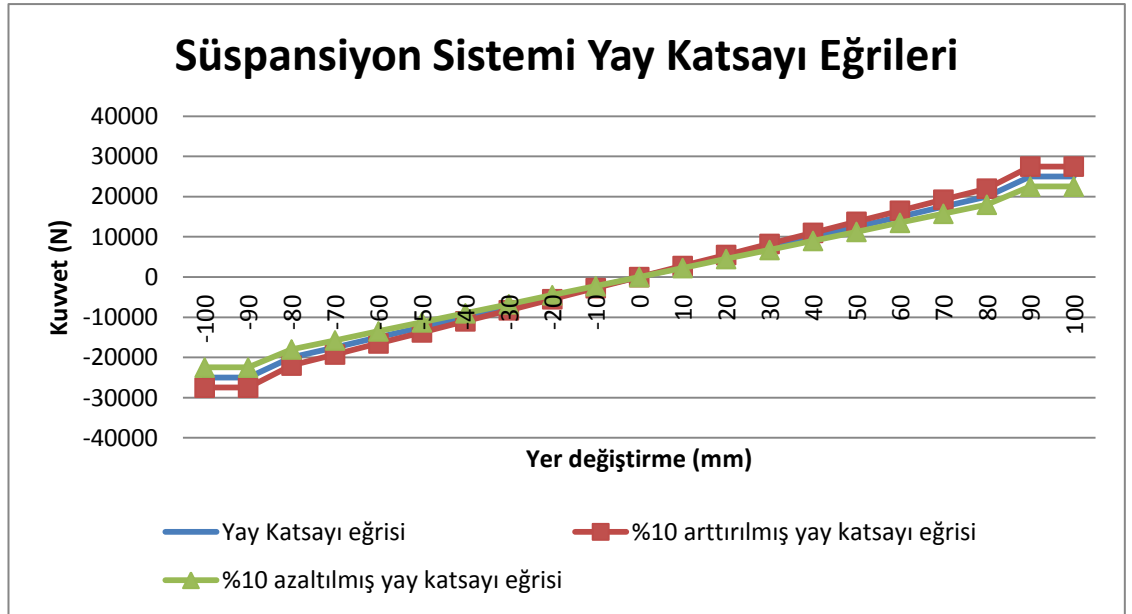
Sanal analizlerde kullanılan spor binek araç modeli üst kısımda anlatıldığı şekilde oluşturulmuştur. Şekil 3.8'de gösterilen binek araç modelinde analiz aşamasında kullanılan veriler bu kısımda anlatılacaktır.



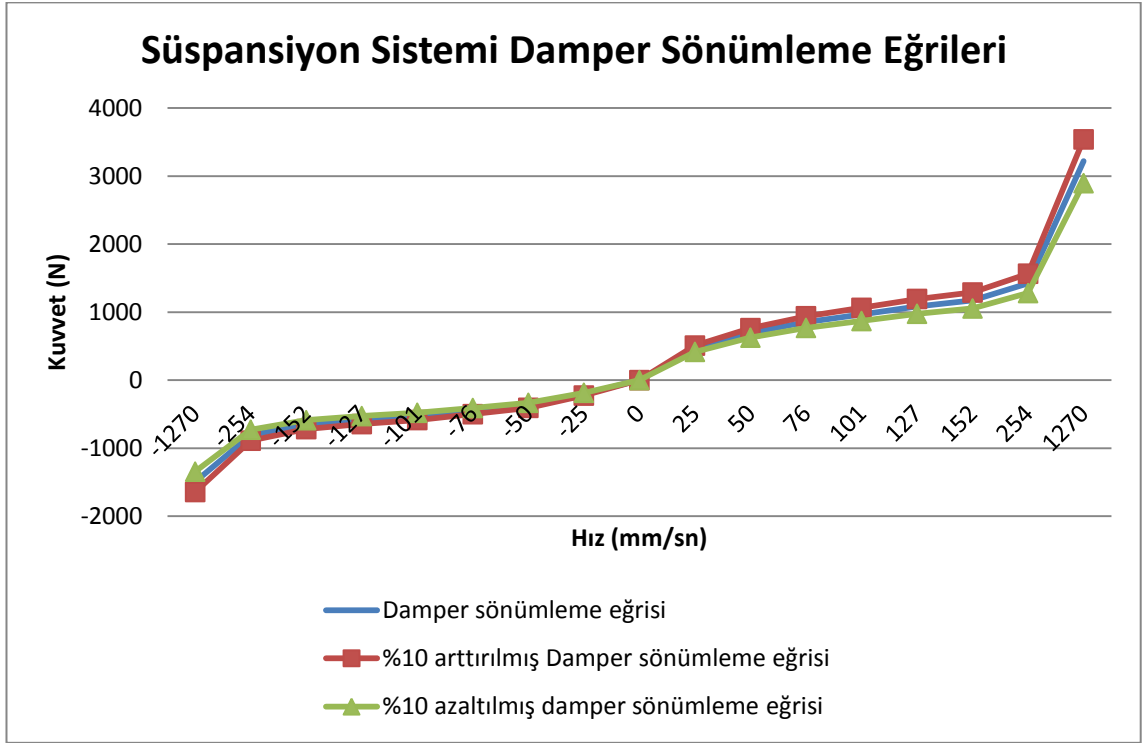
Şekil 3.8 Adams/Car binek araç modeli

Sanal analizlerde temel iki adet değişken kullanılmıştır. Bu değişkenler yay katsayısı ve damper sönümlenme katsayılarıdır. Çizelge 3.1'de ve Çizelge 3.2'de sırasıyla spor binek aracın ön ve arka süspansiyon sistemine ait yay ve damper eğrileri gösterilmektedir.

Çizelge 3.1. Binek araç süspansiyon sistemi yay katsayı eğrileri



**Çizelge 3.2.** Binek araç süspansiyon sistemi damper sönümlenme eğrileri



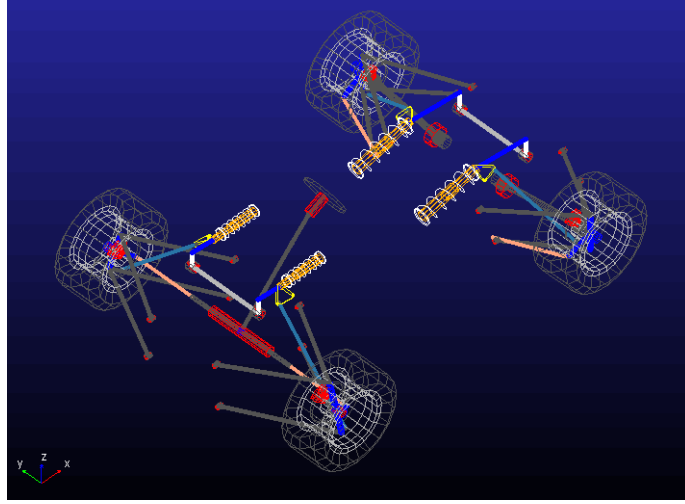
Yapılan simülasyonlar için önemli olan diğer araç bilgileri çizelge 3.3’de verilmiştir.

**Çizelge 3.3.** Binek araç verileri

Parametre	Miktar	Birim
Dingil mesafesi	2560	mm
Ön aks aralığı	1520	mm
Arka aks aralığı	1594	mm
Araç ağırlığı	995	kg

#### 3.1.4. Formula SAE aracı modeli bilgileri

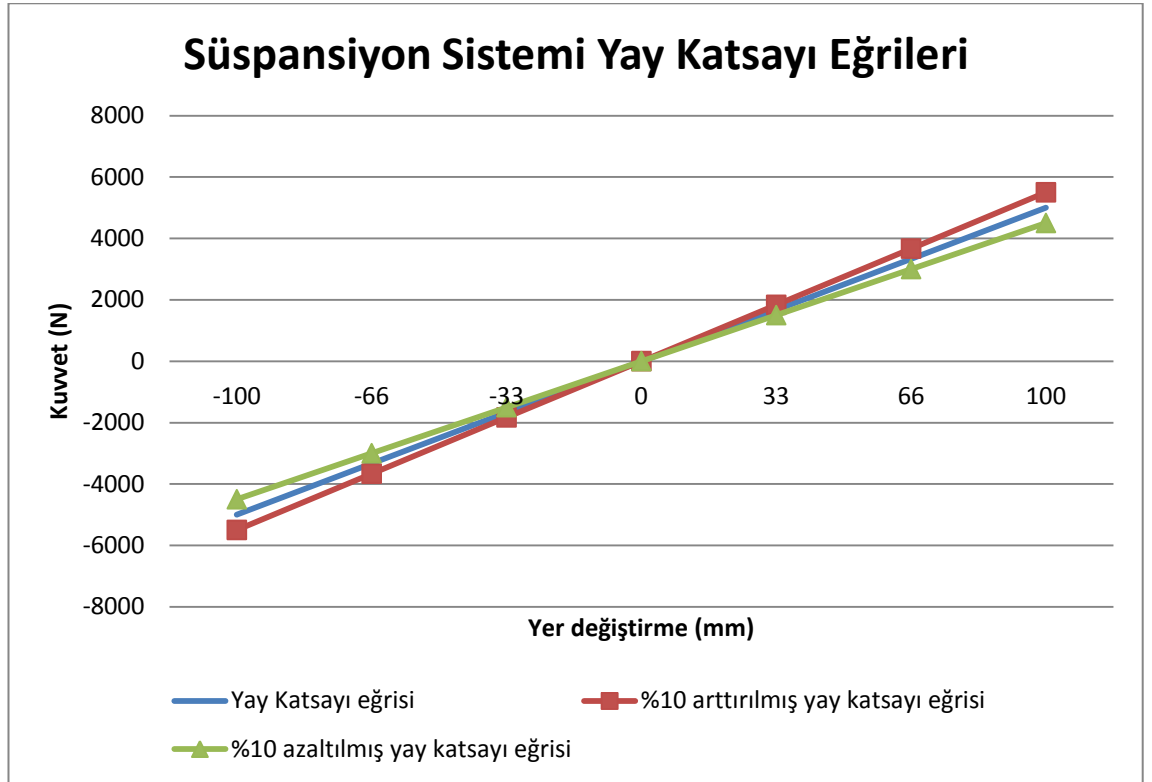
Formula SAE aracı bir önceki konuda anlatıldığı şekilde oluşturulmuştur. Formula SAE aracında, binek spor araçta olduğu yay katsayısı ve damper sönümlenme kat sayısı %10 oranında artırılıp azaltılarak simülasyonlar yapılmış ve simülasyonların sonucu incelenmiştir. Oluşturulan Formula SAE aracı Şekil 3.9’da gösterilmiştir.



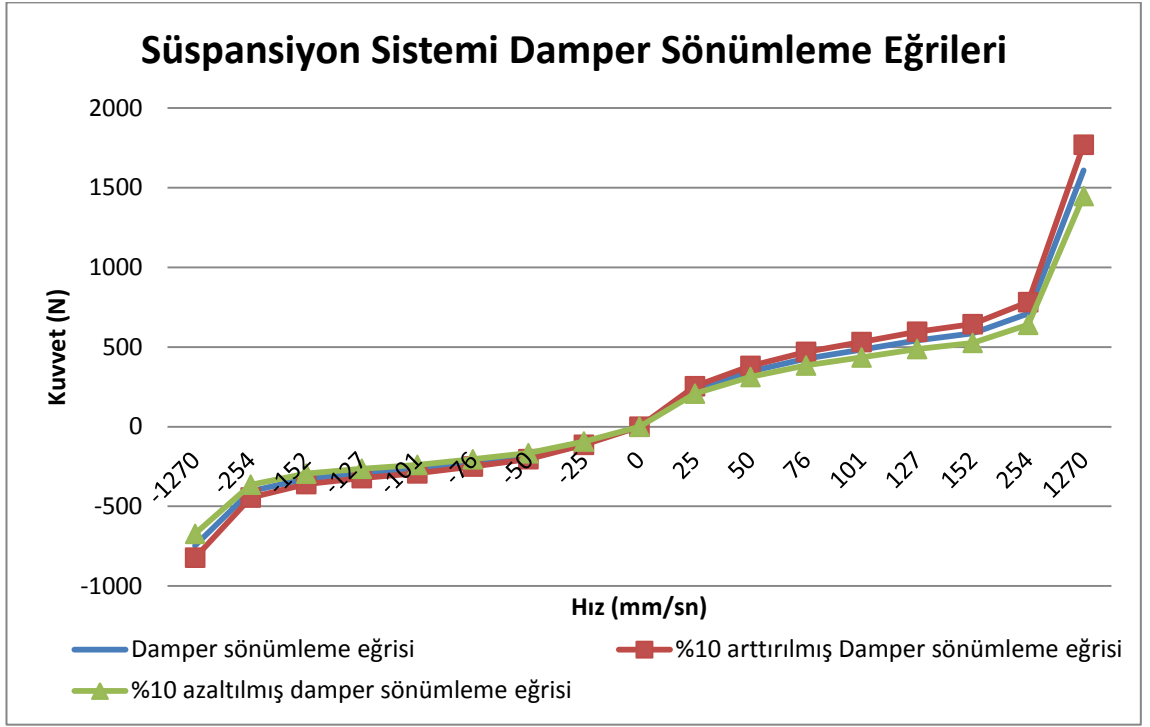
**Şekil 3.9.** Formula SAE araç modeli

Formula SAE aracında da binek araçta olduğu gibi sanal analizlerde temel iki adet değişken kullanılmıştır. Bu değişkenler yay katsayısı ve damper sönümlenme katsayılarıdır. Çizelge 3.4'de ve Çizelge 3.5'da sırasıyla Formula SAE aracına ait ön ve arka süspansiyon sisteminin yay ve damper eğrileri gösterilmektedir.

**Çizelge 3.4.** Formula SAE aracı süspansiyon sistemi yay katsayı eğrileri



**Çizelge 3.5.** Formula SAE aracı süspansiyon sistemi damper sönümlenme eğrileri



Yapılan simülasyonlar için önemli olan diğer araç bilgileri çizelge 3.6'da verilmiştir.

**Çizelge 3.6.** Formula SAE araç bilgileri

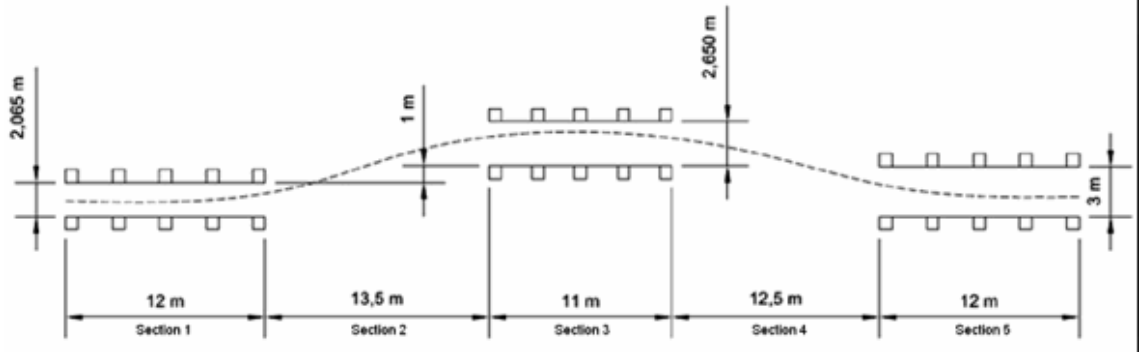
Parametre	Miktar	Birim
Dingil mesafesi	1650	mm
Ön aks aralığı	1150	mm
Arka aks aralığı	1250	mm
Araç ağırlığı	109	kg

## 3.2. YÖNTEM

### 3.2.1. ISO Lane Change analizi

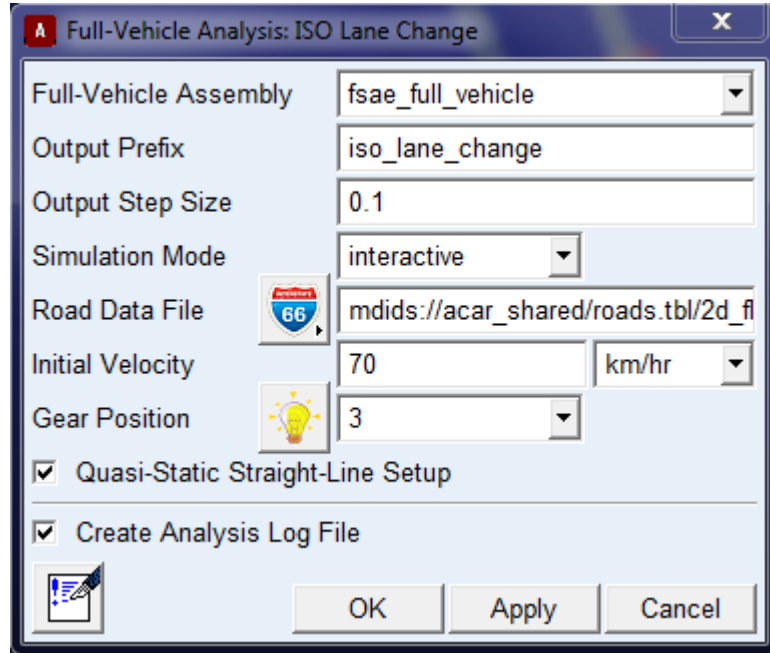
ISO Lane change analizi, trafikte araç sollamayı temsil eden simülasyondur. Bu simülasyonda düz bir yolda gidilirken ani bir manevra ile şerit değiştirilir ve sonrasında tekrar ani bir manevra ile aynı şeride geri dönlür. ISO Lane Change yol prosedürü ISO tarafından standart hale getirilmiştir ve bu standart yol Şekil 3.10'da gösterilmiştir.





**Şekil 3.10.** ISO Lane Change parkuru

ISO Lane Change parkuru Adams/Car programı içerisinde tanımlanmıştır. Analizi yapmak için Şekil 3.11'de gösterildiği gibi basit bir tanımlama ile yapmak mümkündür. Burada output prefix ifadesiyle çözüm için bir isim istenmekte, output step size ile çözme süresindeki çözüm adım büyüklüğü ve initial velocity ile de aracın hızı istenmektedir. Aracın hızı sabit olarak girilmektedir fakat aracın manevra alması sırasında çok ufak değişiklikler olabilmektedir.

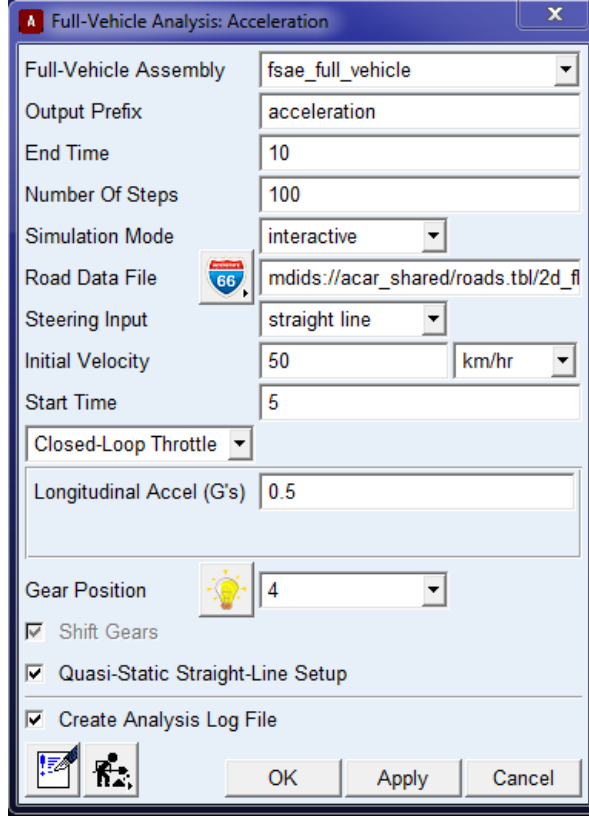


**Şekil 3.11.** ISO Lane Change analiz girdileri

ISO Lane Change analizi hem binek araç hem de Formula SAE aracı için yapılmıştır. ISO Lane Change analizinde her iki araçta ön ve arka süspansiyon sistemine ait yay ve damper katsayıları tek tek değiştirilerek bu katsayılardaki değişimin araç şasisinin yüksekliğinde ve kafa vurma açısındaki değişime etkisi incelenmiştir.

### 3.2.2. İvmelenme Analizi

İvmelenme analizi aracın düz bir yolda sabit bir hızda giderken bir anda ivmelenmesini temsil eder. İvmelenme analizi için bir standart yoktur, duruma göre veriler girilerek karşılaştırma yapılabilir. Bu çalışmada kullanılan veriler Şekil 3.12'deki gibidir.

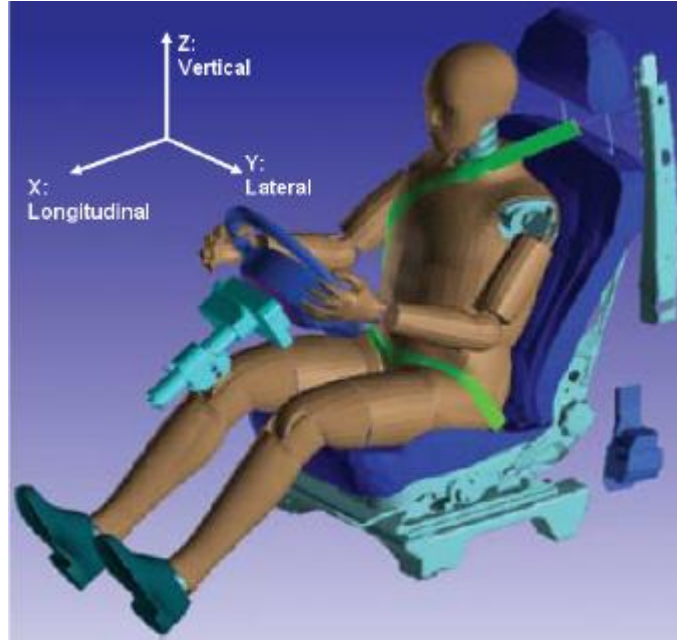


Şekil 3.12. İvmelenme analizi girdileri

İvmelenme analizi binek araç ve Formula SAE aracı içinde aynı şartlarda yapılmıştır. İvmelenme analizinde end time ile belirtilen analizin sonlanma zamanıdır, number of steps analiz süresince kaç adımda çözüleceği, initial velocity ivmelenmeye başlamadan önceki hız, longitudinal Accel ise aracın ivmelenme miktarıdır. Yapılan çalışmalarda araçlarda 50 km/s'lik ilk hızlarla beş saniye kadar sabit hızla gitmiştir, beşinci saniyeye gelindiğinde araç 0,5 G'lik bir ivme ile onuncu saniyeye kadar ivmelenmiştir. Her iki araç içinde yapılan bu analizde, araçların şasislerinin yüksekliği ve kafa vurma açılarındaki değişimler araçların ön ve arka süspansiyon sistemlerine ait yay ve damper katsayılarının %10'luk değişimleriyle incelenmiştir.

### 3.2.3. ISO Sürüş Konfor Analizi

ISO sürüş konfor analizi Adams/Car programında ISO 2631-1:1997(E) standartlarına uygun olarak hesaplanmaktadır. Program Şekil 3.13'de görüldüğü gibi bir sanal insan üzerinden 3 yönde sonuçlar almaktadır, ayak, koltuk ve sırt için ayrı ayrı 3 farklı sürüş konfor indeksi hesaplanmakta ve bu çıktıların bileşkesi olarak ise genel sürüş konfor indeksi (SKİ) belirlenmektedir.



Şekil 3.13. SKİ analizi görseli

Sürüş konfor indeksi her iki araç içinde ön ve arka süspansiyon sistemine ait yay ve damper katsayıları değiştirilerek hesaplanmıştır. Değişim işlemi ivmelenme ve ISO Lane Change analizlerinde olduğu gibi tek tek değiştirilip her bir değişkenin sonucu incelenmiştir. Bu analizde bu değişim tipine ek olarak ön ve arka yay ve damperleri beraber değiştirilerek toplam değişimin etkileri de incelenmiştir. Böylece yay ve damper katsayısına bağlı olarak SKİ'nin nasıl değiştiği incelenmiş oldu.

### 3.2.4. Yapılan analizler

Adams/Car programında yapılan analizler ve değiştirilen nicelikler Çizelge 3.7'de verilmiştir.

**Çizelge 3.7.** Analiz tipi ve değişkenler

Değişken	Analiz Tipi		
	ISO Lane Change Analizi	İvmelenme Analizi	ISO SKİ analizi
Değişim olmadan	x	x	x
Sadece ön yay katsayısı % 10 artırıldı	x	x	x
Sadece ön yay katsayısı % 10 azaltıldı	x	x	x
Sadece ön damper katsayısı % 10 artırıldı	x	x	x
Sadece ön damper katsayısı % 10 azaltıldı	x	x	x
Bütün yay katsayıları %10 arttırıldı	-	-	x
Bütün yay katsayıları %10 azaltıldı	-	-	x
Bütün damper katsayıları %10 arttırıldı	-	-	x
Bütün damper katsayıları %10 azaltıldı	-	-	x

Yapılan bütün analizler binek araç ve Formula SAE aracı için ayrı ayrı yapılarak incelenmiştir. Bu çalışmada yapılan analizlerde incelenen sonuçlar çizelge 3.8’de verilmiştir.

**Çizelge 3.8.** Analiz tipi ve sonuçlar

İncelenen Değişken	Analiz Tipi		
	ISO Lane Change Analizi	İvmelenme Analizi	ISO SKİ analizi
Kafa vurma açısı	x	x	-
Şasi yüksekliği	x	x	-
Ayak SKİ	-	-	x
Koltuk SKİ	-	-	x
Sırt SKİ	-	-	x
Genel SKİ	-	-	x

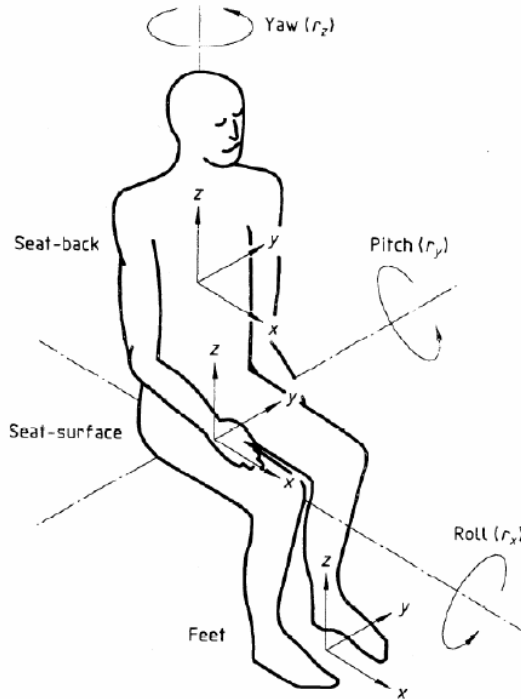
## 4.BULGULAR

Yapılan çalışmalar sonucunda elde edilen bilgiler bu kısımda değerlendirilecektir. Çalışmalar sonucunda bir spor binek aracın ve özel olarak üretilen Formula SAE aracının yay ve damper katsayıları belirli oranlarda değiştirilerek sürüş konfor indeks değerleri incelenmiştir. Ayrıca süspansiyon sistemi parametrelerinde yapılan değişikliklerin yol tutuş açısından etkileri de incelenmiştir.

Öncelikle aracın ön ve arka süspansiyon sistemlerine ait yay ve damperlerin katsayılarının değişiminin aracın sürüş konfor indeksine etkileri sonra ise kafa vurma açısı ve şasinin düşey yöndeki yüksekliğine etkileri incelenecektir.

### 4.1. Sürüş Konfor İndeksi

Sürüş konfor indeksi Adams/Car programında ISO 2631 (1997) standartları kullanılarak hesaplanmaktadır. Program ayak, koltuk, sırt ve genel SKİ olmak üzere 4 farklı SKİ sonucu vermektedir. Şekil 4.1’de görüldüğü gibi sürücünün ayak, koltuk ve sırt bölgelerine konulan koordinat sistemleri yardımıyla o bölgelerdeki titreşimler ölçülerek sürüş konfor indeks değerleri ölçülmektedir.



Şekil 4.1. Sürücü oturmuş pozisyonu

#### 4.1.1. Binek araç sürüş konfor indeksi

Binek araç için Adams/Car programında yapılan ISO sürüş konfor analiz sonuçları bu kısımda incelenecektir. Sürüş konfor indeksindeki değişimler incelenirken süspansiyon sistemine ait katsayılar değiştirilmiştir. Öncelikle aracın ön ve arka yay katsayısı aynı anda %10 oranında artırılmış sonra da azaltılarak analizler yapılmıştır. Benzer adım damper içinde uygulanmıştır. Bu analizler bittikten sonra aracın sadece ön ve sadece arka süspansiyon parametreleri %10 oranında artırılıp azaltılarak, sadece ön ya da arkada ki süspansiyon parametresinin araca etkisi incelenmiştir.

Çizelge 4.1’de aracın ön ve arka süspansiyon sistemine ait yay ve damper katsayıları aynı anda değiştirilmiş ve aracın bu değişime verdiği tepki incelenmiştir. Çizelge de en son sütunda genel SKİ’nin yüzde değişimi verilmiştir.

**Çizelge 4.1** Binek araç SKİ değişim çizelgesi 1

		Ayak SKİ	Koltuk SKİ	Sırt SKİ	Genel SKİ	Genel SKİ Değişim
Başlangıç Değerleri		<b>4,72</b>	<b>3,70</b>	<b>4,64</b>	<b>4,37</b>	
yay	+10%	4,81	3,77	4,73	4,46	<b>1,97%</b>
	-10%	4,68	3,66	4,60	4,34	<b>-0,78%</b>
damper	+10%	4,72	3,71	4,64	4,38	<b>0,18%</b>
	-10%	4,81	3,75	4,73	4,45	<b>1,83%</b>

Sürüş konforu, aracın dikey yöndeki titreşimleri ile doğrudan orantılıdır. Çizelge 4.1 incelendiğinde yay katsayısını %10 oranında arttırmak aracın sürüş konforunu azalttığı ve yay katsayısını %10 oranında azaltmak ise aracın sürüş konforunu arttırdığı tespit edilmiştir.

Damper katsayısını arttırmanın sürüş konforuna çok az miktarda ters yönlü etkisi olmuştur. Fakat damper katsayısını azaltmanın yani damper sönümlemesini düşürmenin beklendiği üzere daha fazla titreşime neden olacağı böylece de sürüş konforunu düşüreceği sonucuna ulaşılmıştır.

Aracın bütün süspansiyon sistemine ait yayların katsayısı %10 oranında arttırıldığında aracın genel SKİ’si %1,97 artarak 4,46 olmaktadır. Bu durumda aracımızın da ISO 2631 standartlarına göre %1,97 daha az konforlu olduğu anlamına gelmektedir. Aracın bütün

yay katsayıları %10 oranında azaltıldığında aracın genel SKİ'si %0,78 düşmüştür. 4,34 seviyesine düşen genel SKİ aracın konforunu artırmıştır.

Damper katsayıları incelendiğinde damper sönümlenme katsayısını arttırmanın bir miktar sürüş konforunu bozması beklenenin dışında olmuştur. Fakat bu durumun aracın genel karakteristiği ile alakalı bir durum olabileceği düşünülmektedir. Belki aracın aks aralıkları gibi niceliklerin değişmesi bu durumu değiştirebilir. Bu tip durumlar sanal analizlerin önemini ve araç dinamiğinin karmaşıklığını ortaya koymaktadır.

Araca ait bütün damper katsayılarını %10 azaltmak aracın sürüş konforunu %1,83 oranında azaltarak genel SKİ'yi 4,45 seviyelerine çıkarmıştır.

Ayak, sırt ve koltuk için hesaplanan SKİ' ler genel SKİ değerleriyle aynı eğilimi göstermektedir. Sonuçlar incelendiğinde en rahat bölgenin koltuk, en rahatsız bölgenin ise ayak olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.2'de aracın ön ve arka süspansiyon parametrelerin tek tek değiştirilmiş analizlerde elde edilmiş sonuçlar verilmiştir. Bu sonuçlar ile aracın hangi bölgesinde hangi parametrede yapılacak değişikliğin aracın sürüş konforuna nasıl etkilediği daha iyi görülmüş olmaktadır.

**Çizelge 4.2.** Binek araç SKİ değişim çizelgesi 2

			Ayak SKİ	Koltuk SKİ	Sırt SKİ	Genel SKİ	Genel SKİ Değişim
Başlangıç Değerleri			<b>4,72</b>	<b>3,70</b>	<b>4,64</b>	<b>4,37</b>	
ön	yay	+10%	4,81	3,77	4,73	4,46	<b>2,01%</b>
		-10%	4,68	3,66	4,60	4,34	<b>-0,76%</b>
	damper	+10%	4,73	3,71	4,65	4,38	<b>0,30%</b>
		-10%	4,80	3,74	4,71	4,44	<b>1,58%</b>
arka	yay	+10%	4,73	3,70	4,65	4,38	<b>0,30%</b>
		-10%	4,75	3,72	4,67	4,40	<b>0,69%</b>
	damper	+10%	4,69	3,68	4,62	4,35	<b>-0,46%</b>
		-10%	4,76	3,72	4,67	4,40	<b>0,69%</b>

Çizelge 4.2'de verilen sonuçlar incelendiğinde aracın ön süspansiyon sistemine ait parametrelerinde yapılan değişikliklerin SKİ'ye daha fazla etki ettiği görülmektedir. Bu

durum sürüş konforunun, sürücü konumundan hesaplandığı düşünüldüğünde doğru olduğu ortaya çıkmaktadır.

Sürüş konforunu bozan en büyük etkinin beklendiği üzere aracın ön yay katsayısını %10 oranında arttırmak olduğu çizelgeden okunmaktadır. Ön yay katsayısı %10 oranında arttırıldığında sürüş konforu %2,01 azalarak 4,46 mertebelerine çıkmaktadır. Diğer sürüş konforunu bozan en büyük etki ise ön damper katsayısını azaltmaktır. Bu değişim sürüş konforunu 4,44 seviyelerine çıkartarak sürüş konforunu bozmaktadır.

Arka süspansiyon sistemine ait yay katsayılarındaki değişimler aracın SKİ'sini artırarak sürüş konforunu bozmaktadır. Arka yay katsayısını arttırmanın sürüş konforunu bozucu etkisi yay katsayısını düşürmeye göre daha azdır.

Arka süspansiyon sistemine ait damper katsayılarındaki benzer oranlarda ve tek yönlü etkiye sahiptir. Damper sönümlenme katsayısı %10 oranında arttığında genel SKİ 4,35 düşmüştür, damper sönümlenme katsayısı azaldığında ise SKİ 4,40'a yükselmiştir.

Ayak, sırt ve koltuk sürüş konforları genel konfor ile benzer eğilimi sergilemektedir. En konforlu bölge koltuk, en konforsuz bölge ise ayak bölgesidir.

Bu sonuçlar incelendiğinde aracın hangi bölgesindeki hangi etmenin sürüş konforuna daha fazla etki ettiği belirlenebilmektedir. Sürüş konforu alınan ölçüm sonuçları aracın sürücü koltuğu bölgesinden alınmasında dolayı bu bölgedeki değişimler sürüş konforu açısından daha önemlidir.

#### **4.1.2. Formula SAE aracı sürüş konfor indeksi**

Adams/Car programında Formula SAE aracına ait yapılan sürüş konforu analizi bu kısımda anlatılacaktır.

Çizelge 4.3'de Formula SAE aracına ait aracın ön ve arka süspansiyon sistemine ait ay ve damper katsayılarının değişimine bağlı olarak hesaplanan SKİ değerleri verilmiştir. Tabloda ayak, koltuk, sırt ve genel SKİ değerleri tek tek verilmiştir.



**Çizelge 4.3.** Formula SAE aracı SKİ sonuç çizelgesi

			Ayak SKİ	Koltuk SKİ	Sırt SKİ	Genel SKİ	Genel SKİ Değişim
Başlangıç Değerleri			<b>7,82</b>	<b>6,42</b>	<b>7,62</b>	<b>7,31</b>	
ön	yay	+10%	7,97	6,55	7,77	7,45	1,92%
		-10%	7,78	6,39	7,58	7,28	-0,41%
	damper	+10%	7,75	6,38	7,57	7,25	-0,82%
		-10%	7,96	6,53	7,75	7,44	1,78%
arka	yay	+10%	7,78	6,39	7,59	7,27	-0,55%
		-10%	7,89	6,47	7,68	7,37	0,82%
	damper	+10%	7,78	6,38	7,59	7,27	-0,55%
		-10%	7,88	6,47	7,69	7,37	0,82%

Çizelge de aracın konforunu bozan en büyük etkinin aracın ön yay katsayısındaki artış olduğu görülmektedir. SKİ deki artış %1,92 ile SKİ'ni 7,45 ile en büyük seviyeye çekmektedir. Konforu bozan diğer büyük etken ise ön damper sönümleme katsayısını düşürmek olduğu görülmektedir. Bu etki SKİ'yi 7,44 mertebelerine çıkararak araç konforunu bozmaktadır.

Genel olarak bakıldığında damper sönümleme katsayısı artırıldığında araç konforu artarken, damper sönümleme katsayısı düşürüldüğünde ise araç konforu bozulmaktadır.

Analiz sonuçlarından genel SKİ değişiminin, ayak, sırt ve koltuk değerlerinde de benzerlik gösterdiği görülmektedir. Koltuktaki konfor diğer etmenlere nazaran daha iyi olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.4' de Formula SAE aracına ait yapılan sürüş konfor analizinin ön ve arka yay ve damper parametrelerinin aynı anda değiştirilerek elde edilen sonuçları mevcuttur.

**Çizelge 4.4.** Formula SAE aracı SKİ değişim çizelgesi 2

		Ayak SKİ	Koltuk SKİ	Sırt SKİ	Genel SKİ	Genel SKİ Değişim
Başlangıç Değerleri		<b>7,82</b>	<b>6,42</b>	<b>7,62</b>	<b>7,31</b>	
yay	+10%	7,96	6,51	7,77	7,44	1,78%
	-10%	7,74	6,36	7,55	7,24	-0,96%
damper	+10%	7,81	6,42	7,61	7,30	-0,14%
	-10%	7,69	6,31	7,55	7,19	-1,64%

Sonuçlara göre en büyük etkiyi yay katsayılarındaki %10'luk artış vermektedir. Bu etki sürüş konforu bozacak şekilde SKİ'yi artırmaktadır. Konforun azaltan diğer etmen ise damper sönümlenme katsayılarını azaltmak olduğu anlaşılmaktadır.

Araç konforunu artırmak için yay katsayılarını düşürmek ve damper sönümlenme katsayılarını artırmanın uygun olacağı çizelgeden anlaşılmaktadır. SKİ'yi en fazla düşürerek sürüş konforunu en fazla artıran etki yay katsayısındaki düşüş olmuştur. SKİ'yi %0,96 azaltarak 7,24'e indiren yay katsayısındaki düşüş aracın en konforlu halini temsil etmektedir. Diğer konforlu durum ise SKİ'yi çok az miktarda değiştirerek 7,30 seviyelerine çeken damper sönümlenme katsayısını %10 oranında artırmak olduğu görülmektedir.

## **4.2. Kafa Vurma Açısı ve Şasi Yüksekliği Değerleri**

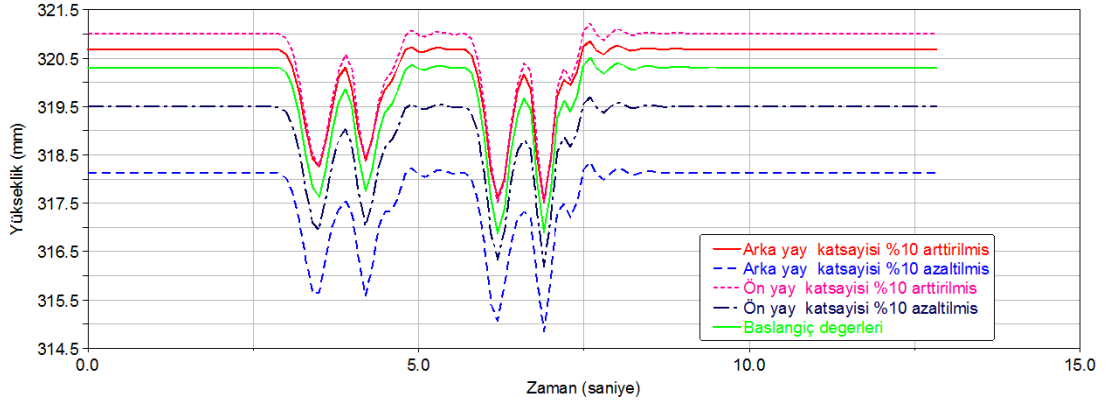
Sürüş konfor indeksini değiştirmenin aracın yol tutuşuna etkileri olmaktadır ve bu etkiler yapılan sanal analizler sonucunda doğrulanmıştır. Bu bölümde sürüş konforu için yapılan değişikliklerin yol tutuşuna etkileri anlatılmıştır.

### **4.2.1. Spor binek araç değerleri**

#### **4.2.1.1. ISO Lane Change**

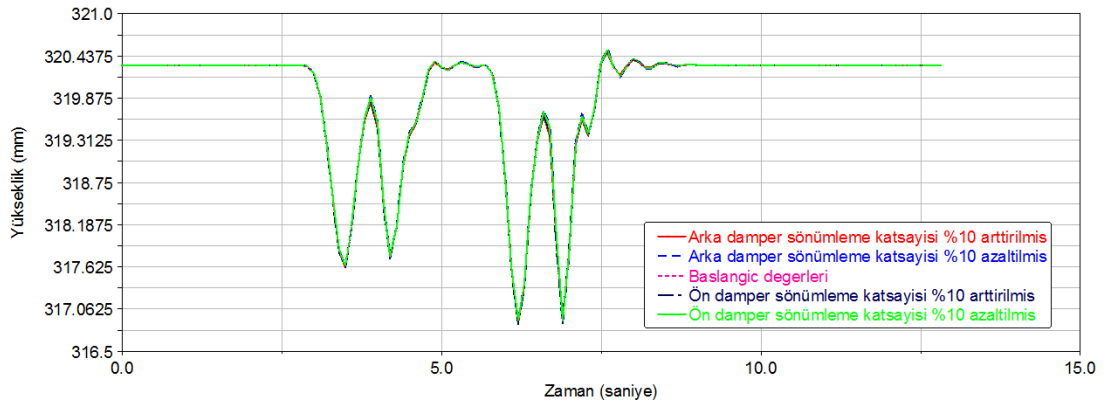
Adams/Car programında yapılan ISO Lane Change şerit değiştirme analizinde yay katsayılarını değiştirmenin araç şasinin düşey ekseninde oluşturduğu etkiler Şekil 4.1'de de görülmektedir. ISO Lane Change analizinde sadece ön yay katsayısı %10 oranında arttırılmış ve %10 oranında azaltılmış, sadece arka yay katsayısı %10 oranında arttırılmış ve %10 oranında azaltılmış son olarak hiçbir değişiklik yapılmamış haldeki sonuçlar incelenmiştir.

Şekil 4.2'de görüldüğü üzere her durum içinde eğri yönelimleri aynı ve değişim oranları benzerlik göstermektedir. Değişimde yay katsayısının değişimine bağlı olarak araç şasinin başlangıçta düşey eksenindeki yeri de değişiklik göstermektedir. Araç şasinin yere en yakın olduğu değere arka yay katsayısının % 10 oranında azaltıldığı, en uzak olduğu değere ise ön yay katsayısının %10 artırıldığı durumda ulaşılmaktadır. Bu durumun nedeni ise araç ağırlık merkezinin arkaya daha yakın olmasıdır.



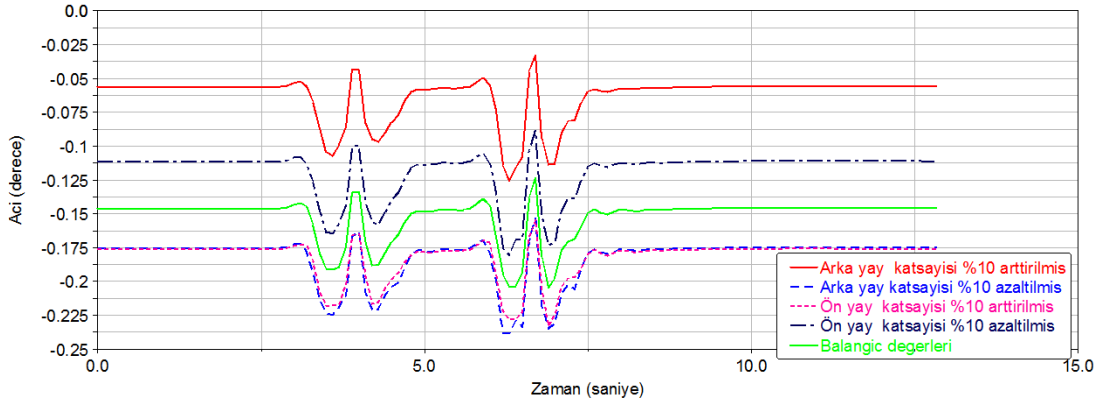
**Şekil 4.2.** Binek Araç şasisinin ISO Lane Change analizinde düşey eksenindeki değişim eğrileri (yay)

ISO Lane Change testinde ön ve arka damper sönümlenme katsayılarını değiştirmenin Şekil 4.3’de görüldüğü üzere bütün durumlar için araç şasisinin düşey ekseninde değişimine etkisi birbirine çok yakın olmaktadır. Eğrilerden görüleceği üzere yay katsayısında yapılan değişikliklerde başlangıçta şasisinin düşey ekseninde oluşturduğu yükseklik farkı damper sönümlenme katsayısında ortaya çıkmamaktadır.



**Şekil 4.3.** Binek Araç şasisinin ISO Lane Change analizinde düşey eksenindeki değişim eğrileri (damper)

ISO Lane change testinde yay üzerinde yapılan değişikliklerin kafa vurma hareketi üzerinde oluşturduğu etkiler Şekil 4.4’de görülmektedir. ISO Lane Change analizinde sadece ön yay katsayısı %10 oranında artırılmış ve %10 oranında azaltılmış, sadece arka yay katsayısı %10 oranında artırılmış ve %10 oranında azaltılmış son olarak ta hiçbir değişiklik yapılmamış haldeki sonuçlar incelenmiştir.



**Şekil 4.4.** Binek Araç şasisinin ISO Lane Change analizinde kafa vurma hareketindeki değişim eğrileri (yay)

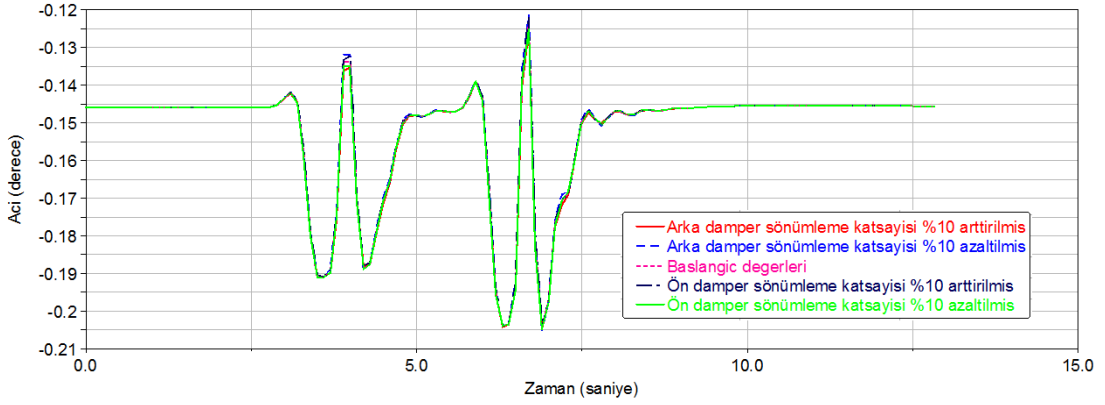
Kafa vurma hareketi incelendiğinde bütün durumlarda salınım yönü ve şiddetinin aynı olduğu ve salınım miktarının da benzer olduğu görülmektedir.

Kafa vurma hareketinin aracın burnunun aşağı yukarı hareketi olarak düşündüğümüzde ve ağırlık merkezinin bu araç için arkaya biraz daha yakın olduğu düşünüldüğünde arka süspansiyon sistemine ait yay katsayısının % 10 oranında azaltılmasının bu etkiyi en fazla artırmasının normal olduğu görülmektedir.

Kafa vurma hareketini en düşük noktadan başlatan durumun ise arka yay katsayısını artırmak olduğu görülmektedir. Ön yay katsayısını % 10 oranında artırmanın ve ön yay katsayısının %10 oranında artırmanın benzer oranda ve ters yönlü olarak değiştirdiği görülmektedir.

Kafa vurma hareketinin ön yay katsayısından ziyade arka yay katsayısına bağlı olduğu ve yaklaşık iki kat daha fazla etki gösterdiği eğrilerden anlaşılmaktadır.

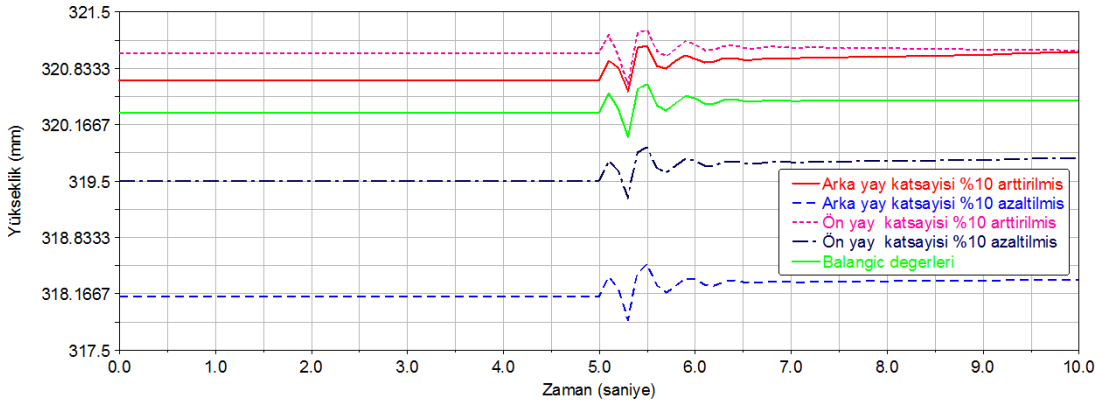
Şekil 4.5’de kafa vurma hareketine damper katsayılarındaki değişimin etkileri görülmektedir. Bütün durumlar için kafa vurma hareketi başlangıç noktaları ve kafa vurma hareketi eğrileri aynı eğilim ve yönü göstermektedir. Bu durumda kafa vurma hareketinde damper sönümlenme katsayılarındaki değişimin yay katsayılarındaki değişime oranla daha etkisiz olduğu anlaşılmaktadır.



**Şekil 4.5.** Binek Araç şasisinin ISO Lane Change analizinde kafa vurma hareketindeki değişim eğrileri (damper)

#### 4.2.1.2. İvmelenme

Sanal olarak ivmelenme analizi yapılan spor binek araç için yay katsayılarının değişimine bağlı olarak şasi yüksekliğinin değişimi Şekil 4.6’da gösterilmiştir. İvmelenme analizinde sadece ön yay katsayısı %10 oranında arttırılmış ve %10 oranında azaltılmış, sadece arka yay katsayısı %10 oranında arttırılmış ve %10 oranında azaltılmış son olarak hiçbir değişiklik yapılmamış haldeki sonuçlar incelenmiştir.



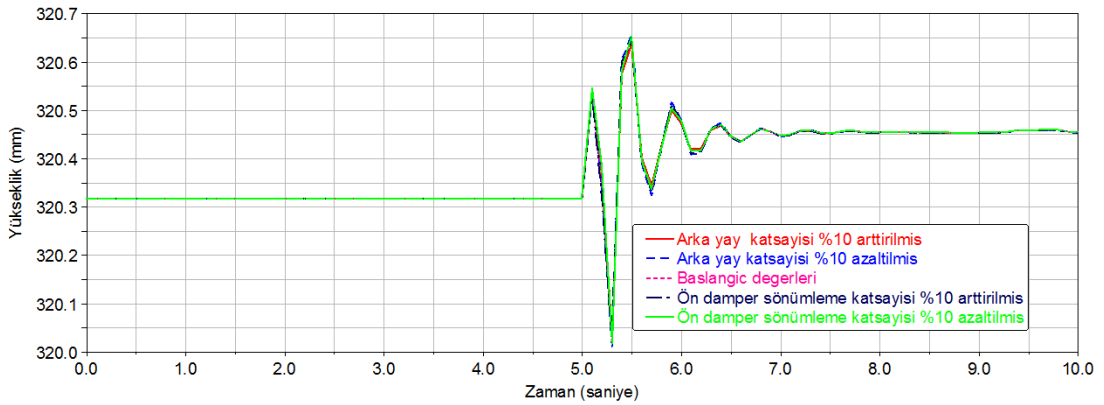
**Şekil 4.6.** Binek Araç şasisinin ivmelenme analizinde düşey eksenindeki değişim eğrileri (yay)

İvmelenme analizi eğrileri incelendiğinde en fazla etkinin arka yay katsayısını %10 olarak düşürmenin etkili olduğu görülmektedir. Bu durumda şasi yüksekliği en alt seviyededir ve diğer değişimlere oranla daha fazla değişikliğe neden olmuştur.

İvmelenme analizinde şasi yüksekliğini en az etkileyen faktörün ise arka yay katsayısını % 10 oranında artırmanın olduğu görülmektedir. Yine eğriler incelendiğinde şasi yüksekliğinde, yay katsayısını azaltmanın, yay katsayısını arttırmaya göre daha fazla etkili olduğu görülmektedir.

Yay katsayılarındaki %10'luk değişimler araç şasisinin yüksekliğinde çok büyük oranlarda değişikliğe neden olmasa da değişikliğin yönünü ve miktarını net bir şekilde ortaya koymaktadır. Yay katsayılarındaki değişim miktarı artırıldığında şasi yüksekliğindeki değişim miktarı da artacaktır.

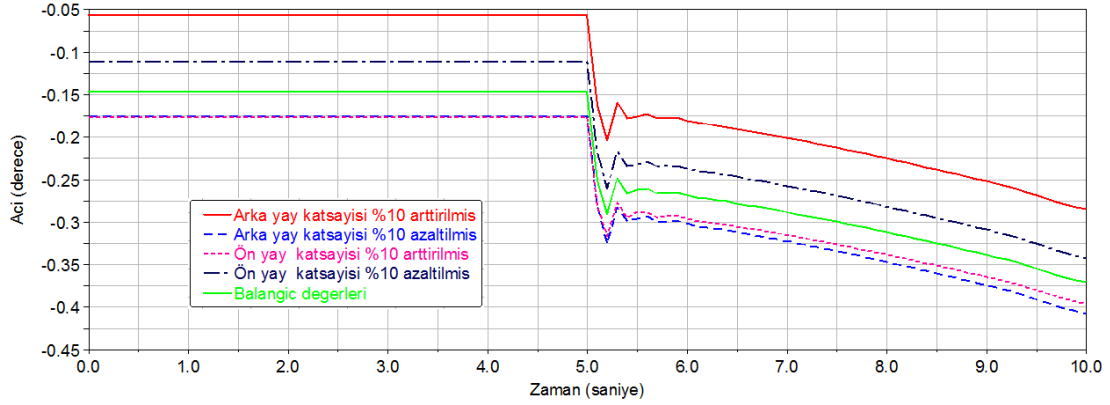
Spor binek araç için damper sönümlenme katsayılarındaki değişimlerin araç şasisinin yüksekliği üzerinde oluşturduğu etkiler Şekil 4.7'de gösterilmiştir. Eğrilerden anlaşılacağı üzere damper sönümlenme katsayılarındaki değişimin araç şasisinin yüksekliği üzerinde çok fazla değişikliğe yol açmadığı görülmektedir.



**Şekil 4.7.** Binek Araç şasisinin ivmelenme analizinde düşey eksendeki değişim eğrileri (damper)

Adams/Car programında yapılan ivmelenme analizinde yay katsayılarındaki değişimin araç kafa vurma hareketindeki etkileri Şekil 4.8'de verilmiştir. İvmelenme analizinde sadece ön yay katsayısı %10 oranında arttırılmış ve %10 oranında azaltılmış, sadece

arka yay katsayısı %10 oranında arttırılmış ve %10 oranında azaltılmış son olarak hiçbir değişiklik yapılmamış haldeki sonuçlar incelenmiştir.



**Şekil 4.8.** Binek araç şasisinin ivmelenme analizinde kafa vurma hareketindeki değişim eğrileri (yay)

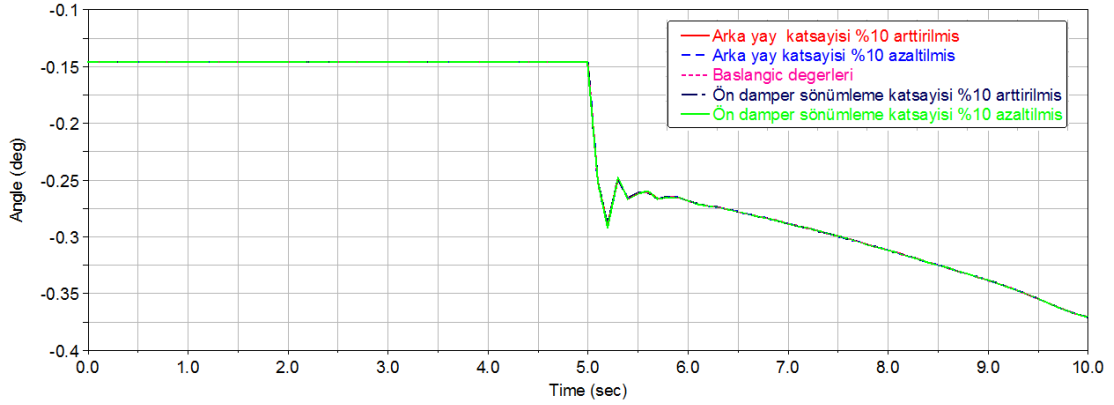
İvmelenme analizine yay katsayılarındaki değişimi gösteren grafik incelendiğinde ISO Lane Change analizindeki eğilim ile farklılık göstermektedir. Bunun sebebi araç sürekli ivmelendiği için ivmelenme hızına bağlı olarak kafa vurma hareketinin artmasıdır. Bu duruma bağlı olarak bütün değişim durumlarında kafa vurma açısı zamana bağlı olarak ivmelenme arttığı sürece artmaktadır.

Yay katsayılarındaki değişim incelendiğinde arka yay katsayısındaki düşüşün ve ön yay katsayısındaki artışın kafa vurma açısını artırdığı, diğer yandan ön yay katsayısındaki düşüş ve arka yay katsayısındaki artışında kafa vurma açısını düşürdüğü görülmektedir. İlk bakışta bu ilişkinin ters olduğu algısı oluştursa da kafa vurma hareketinin ISO koordinat sistemine göre Y ekseninde aracın dönmesi olduğu incelenince, bu değişimin doğru olduğu ortaya çıkmaktadır.

Kafa vurma hareketini en az seviyeye indiren durum ise -0,05 ile arka yay katsayısını %10 oranında arttırmak olduğu ve kafa vurma hareketini en fazla artıran etkenlerin ise benzer oranlarla birlikte arka yay katsayısındaki düşüş ve ön yay katsayısındaki artışın olduğu görülmektedir.

Kafa vurma açısındaki değişimin damper sönümlenme katsayılarına bağlı olarak değişimi Şekil 4.9'da verilmiştir. Grafiğe göre damper sönümlenme katsayılarındaki değişim miktarı katsayıları değişmemiş duruma göre aracın kafa vurma açısında çok fark

etmemiştir ama ivmelenmeye bağı olarak kafa vurma açısındaki artış eğilimini göstermiştir.



**Şekil 4.9.** Binek araç şasisinin ivmelenme analizinde kafa vurma hareketindeki değişim eğrileri (damper)

#### 4.2.2. Formula SAE aracı değerleri

Formula SAE Yarışmaları, SAE (Society of Automotive Engineers) tarafından 1981 yılından beri düzenlenen ve dünyanın en prestijli üniversiteler arası mühendislik yarışmalarından birisidir. Dünya çapında 500 den fazla üniversitenin katıldığı Formula SAE yarışmaları Amerika, İngiltere, Almanya, İtalya, İspanya, Brezilya, Avustralya, Avusturya ve Japonya da düzenlenmektedir.

Formula SAE yarışması, öğrencilerden hayali bir otomobil şirketi kurmalarını ve bu şirketi yöneterek araçlarını imal etmeleri ve bunu pazarlamalarını öngören bir temaya sahiptir. Yarışma kapsamında öğrenciler kendilerine hedef müşteri kitlesi belirlerler, bu hedef kitleye uygun araç maliyeti ve tasarımı yaparak bu aracı satmaya yönelik pazarlama stratejileri geliştirirler (Albak ve ark. 2001).

Formula SAE araçları, SAE tarafından her sene ufak değişikliklerle yenilenen; mühendislik öğrencilerinin mühendislik yeteneklerini geliştirmeye ve sürücü güvenliğine yönelik Formula SAE Rules kitabındaki kurallara uygun olarak tasarlanır. Bu araçlar tek kişilik, açık kokpit yapısına sahip ve yüksek performans beklenen araçlar olarak tasarlanır.



Formula SAE yarışları motor sporlarında olduğu gibi sadece aracın performansını ölçen bir yarış olmaktan ziyade daha çok öğrencilerin mühendislik yeteneklerini ortaya çıkarmayı hedefleyen bir yarışmadır. Çizelge 4.5’de görülen puanlama tablosuna bakıldığında statik ve dinamik testler olmak üzere puanlama iki ana kısımdan oluşmaktadır. Statik kısımda öğrencilerin mühendislik becerileri ön plana çıkarken dinamik testler kısmında aracın performansı ön plana çıkmaktadır.

**Çizelge 4.5** Formula SAE yarışları puanlama çizelgesi

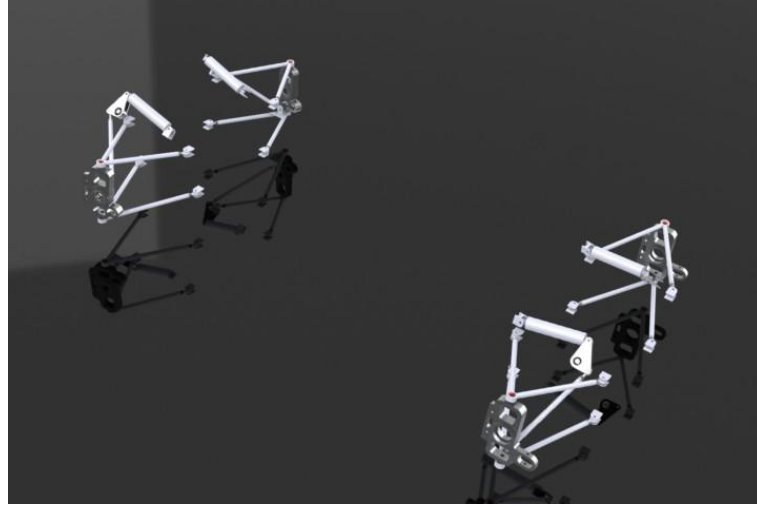
Statik Testler	Puan
Sunum	75
Mühendislik Dizaynı	150
Maliyet Analizi	100
Dinamik Testler	Puan
İvmelenme	75
Skidpad	50
Autocross	150
Yakıt Ekonomisi	100
Dayanıklılık	300
<b>TOPLAM</b>	<b>1000</b>

Formula SAE yarışlarının F1 pistleri ve bunun gibi kasis olmayan, sürekli ve sık viraja sahip yollarda yapıldığı dikkate alındığında aracın sahip olduğu sürüş dinamiğinin aracın performansı açısından önemi ortaya çıkmaktadır.

Formula SAE araçlarında sürüş konforundan daha çok yol tutuşu daha önemlidir. Fakat bu çalışma konusuna uygun olarak bir Formula SAE aracı için sanal modelin süspansiyon katsayıları değiştirilerek sürüş konforundaki değişim ve kafa vurma açısı ile şasi yüksekliğindeki değişimler incelenmiştir. Şekil 4.10’da örnek bir Formula SAE aracı görseli bulunmaktadır. Şekil 4.11’de da Formula SAE araçlarında kullanılan double wishbone tipi süspansiyon sisteminin sade hale görülmektedir.



**Şekil 4.10.** Örnek Formula SAE aracı



**Şekil 4.11.** Formula SAE aracı süspansiyon sistemi parçaları

#### **4.2.2.1. ISO Lane Change**

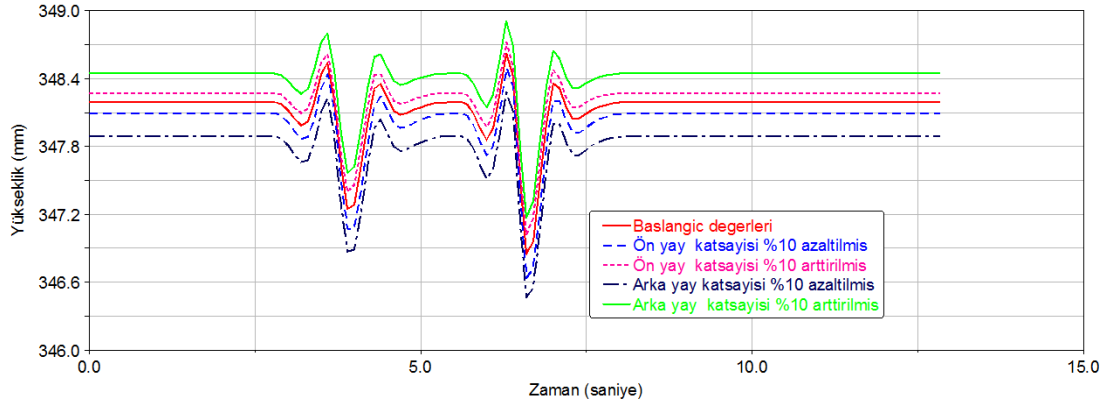
Formula SAE aracı üzerinden Adams/Car programında yapılan ISO Lane Change analizinde elde edilen veriler bu kısımda incelenecektir. Bu kısımda araç şasisinin yüksekliği ve kafa vurma açılarındaki değişimler incelenecektir.

Şekil 4.12’de verilen grafikte Formula SAE aracının yay katsayılarındaki değişimin ISO Lane Change analizine bağlı olarak şasinin düşey eksenindeki etkileri gösterilmiştir. ISO Lane Change analizinde sadece ön yay katsayısı %10 oranında arttırılmış ve %10 oranında azaltılmış, sadece arka yay katsayısı %10 oranında arttırılmış ve %10 oranında azaltılmış, son olarak hiçbir değişiklik yapılmamış haldeki sonuçlar incelenmiştir.

Grafik incelendiğinde yay katsayısındaki düşüşün şasinin düşey eksenindeki yüksekliğini düşürdüğünü ve yay katsayılarındaki artışın aracın şasinin düşey eksenindeki yüksekliğini artırdığı görülmektedir.

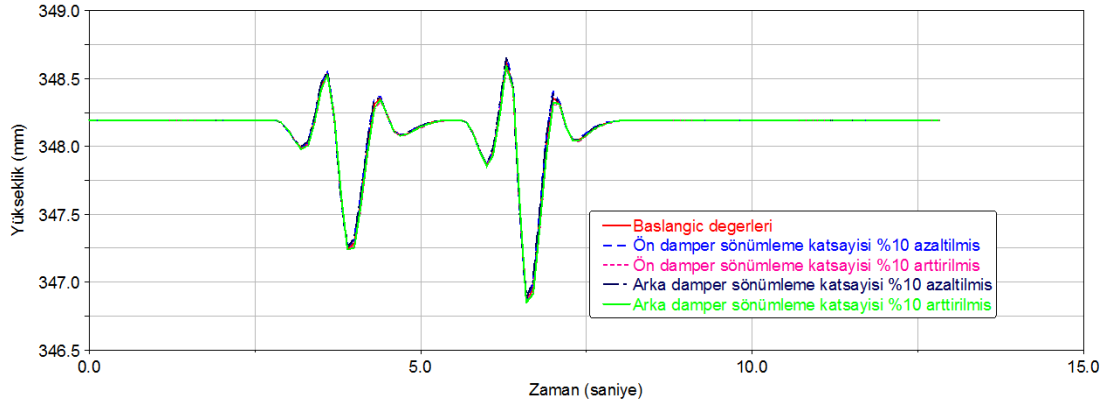
Şasi yüksekliğini en fazla etkileyen değişimin arka yay katsayısındaki %10’luk azaltıcı değişimin olduğu görülmektedir. Bu etki aracın şasinin düşey yüksekliğini azaltıcı etki göstermektedir.

Şekil 4.12 incelendiğinde bütün eğrilerin benzer yönelim ve şiddette değiştiğini fakat başlangıç değerlerinde değişikliklere neden olduğu gözlenmektedir.



**Şekil 4.12.** Formula SAE aracı şasisinin ISO Lane Change analizinde düşey eksendeki değişim eğrileri (yay)

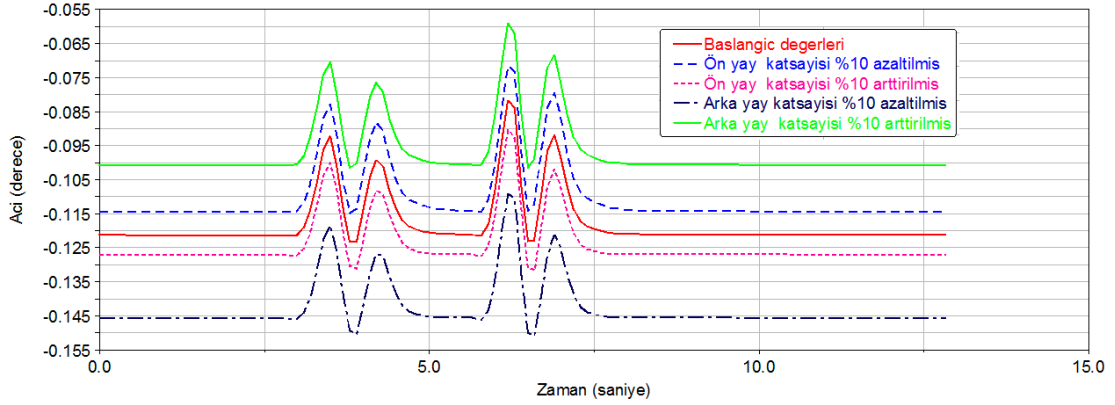
ISO Lane Change analizinde damper katsayılarını değiştirmenin şasi üzerindeki etkileri Şekil 4.13’de gösterilmiştir. Şekilden de görüleceği üzere damper sönümlenme katsayılarındaki değişimin, değişim olmayan duruma göre araç şasisinde çok fazla değişikliğe neden olmadığı görülmüştür. Şasinin düşey eksenindeki değişimine yay katsayılarındaki değişiminin daha fazla etkilediği bir önceki şekil ile karşılaştırıldığında açıkça görülmektedir.



**Şekil 4.13.** Formula SAE aracı şasisinin ISO Lane Change analizinde düşey eksendeki değişim eğrileri (damper)

ISO Lane Change analizinde yay üzerinde yapılan değişikliklerin sonuçları Şekil 4.14’de ki eğrilerde gösterilmiştir. ISO Lane Change analizinde sadece ön yay katsayısı %10 oranında arttırılmış ve %10 oranında azaltılmış, sadece arka yay katsayısı %10

oranında arttırılmış ve %10 oranında azaltılmış son olarak hiçbir değişiklik yapılmamış haldeki sonuçlar incelenmiştir.

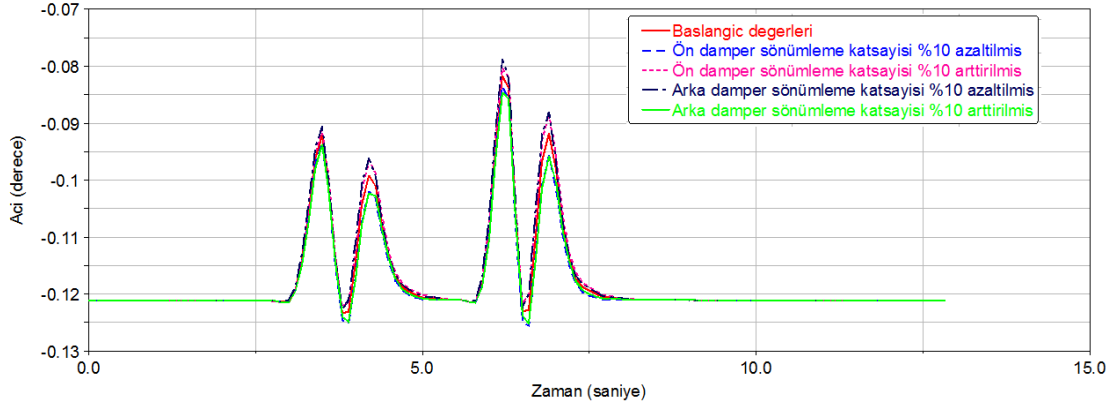


**Şekil 4.14.** Formula SAE aracı şasisinin ISO Lane Change analizinde kafa vurma hareketindeki değişim eğrileri (yay)

Yay katsayılarındaki değişimlere göre aracın kafa vurma açısındaki değişimler incelendiğinde arka yay katsayısındaki %10'luk azaltmanın ve arka yay katsayısındaki %10'luk arttırmanın en fazla ama ters yönde etkilere neden olduğu gözlenmektedir. Benzer şekilde ön yay katsayılarındaki artış ve azalmada benzer oranda fakat ters yönlü etkiye neden olmuştur.

Kafa vurma açısı oluşumuna en fazla neden olan etki arka yay katsayısındaki azaltmanın neden olduğu ve yaklaşık -0,1455 derecelik bir açığa neden olduğu gözlenmektedir. Bu etkiye ters olarak aracın kafa vurma açısını -0,1006 derecelik değer ile en düşük seviyeye çeken etkinin ise arka süspansiyon sistemine ait yay katsayısının %10 artırılmasıyla olduğu görülmektedir.

Şekil 4.15'de kafa vurma açısının damper sönümlenme katsayılarındaki değişime göre eğrileri gösterilmektedir. Damper sönümlenme katsayılarından kaynaklanan değişim yay katsayılarının değişiminin oluşturduğu kadar olmamasına rağmen bir miktar etki etmektedir. Bu etkinin az olmasının diğer bir nedeni de damper sönümlenme katsayısının %10 luk bir değişimle değiştirilmesidir. Değişim yüzdeleri biraz daha artırıldığında aradaki farkla daha net anlaşılacaktır.

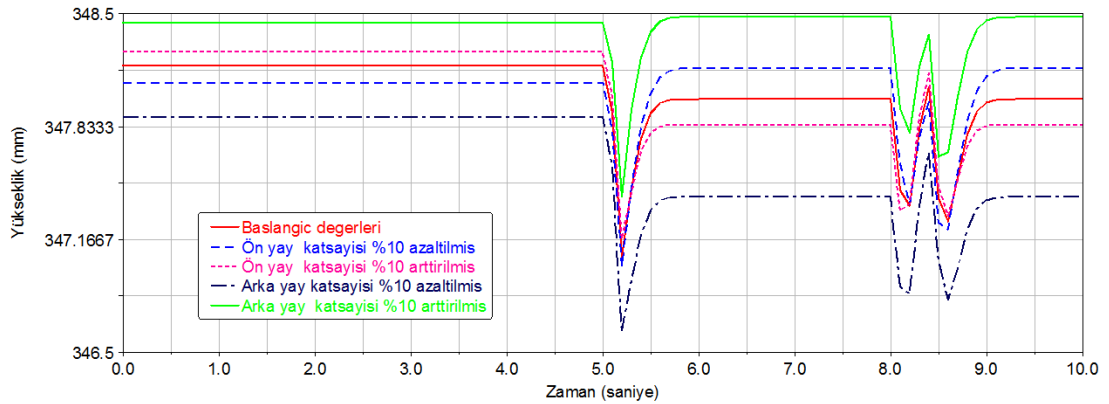


**Şekil 4.15.** Formula SAE aracı şasisinin ISO Lane Change analizinde kafa vurma hareketindeki değişim eğrileri (damper)

Kafa vurma açısındaki en fazla değişimi arka süspansiyon sistemine ait damperin sönümlenme katsayısının %10 oranında düşüşü ve ön süspansiyon sistemine ait damper sönümlenme katsayısının %10 oranında artışı neden olmaktadır. Diğer iki durumda aynı oran ve şiddette daha az değişime yol açmaktadır.

#### 4.2.2.2. İvmelenme

Şekil 4.16'de Formula SAE aracı üzerinden yapılan ivmelenme sanal analizinin yay katsayısındaki değişimlere göre araç şasisinin düşey eksenindeki değişimleri gösterilmiştir. İvmelenme analizinde sadece ön yay katsayısı %10 oranında arttırılmış ve %10 oranında azaltılmış, sadece arka yay katsayısı %10 oranında arttırılmış ve %10 oranında azaltılmış, son olarak hiçbir değişiklik yapılmamış haldeki sonuçlar incelenmiştir.



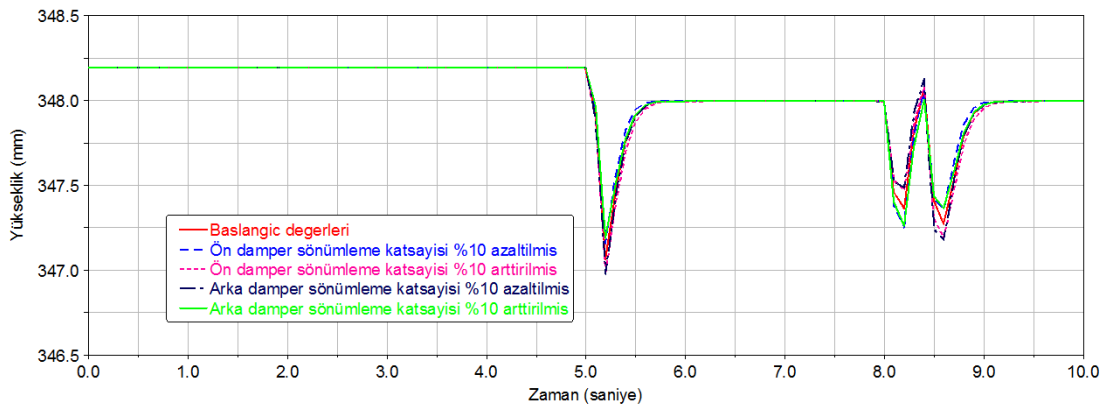
**Şekil 4.16.** Formula SAE aracı şasisinin ivmelenme analizinde araç şasisinin düşey eksenindeki değişim eğrileri (yay)

Yay katsayıların değişimlerinden kaynaklanan en fazla etki farklı yönlerde olarak arka yay katsayısının düşürülmesinden ve arka yay katsayısının artırılmasından kaynaklanmaktadır. Arka yay katsayısının %10 oranında artırılmasıyla normal durumda başlangıç yüksekliği 348,19 mm olan şasinin düşey eksenindeki yüksekliği 348,45 mm seviyelerine çıkarken, arka yay katsayısının azaltılmasıyla da şasinin düşey eksenindeki yüksekliği 347,89 mm seviyelerine inmektedir.

Formula SAE aracı üzerinden yapılan ivmelenme sanal analizinde ön yay katsayılarındaki değişim arka yay katsayılarındaki değişime göre daha az olduğu şekilden okunmaktadır. Başlangıçta 348,18 mm olan şasinin düşey eksenindeki başlangıç yüksekliği ön yay katsayısının %10 oranında artırılmasıyla 348,27 mm seviyelerine çıkarken, ön yay katsayısındaki % 10'luk değişimi başlangıç değerini 348,09 mm seviyelerine düşürmektedir.

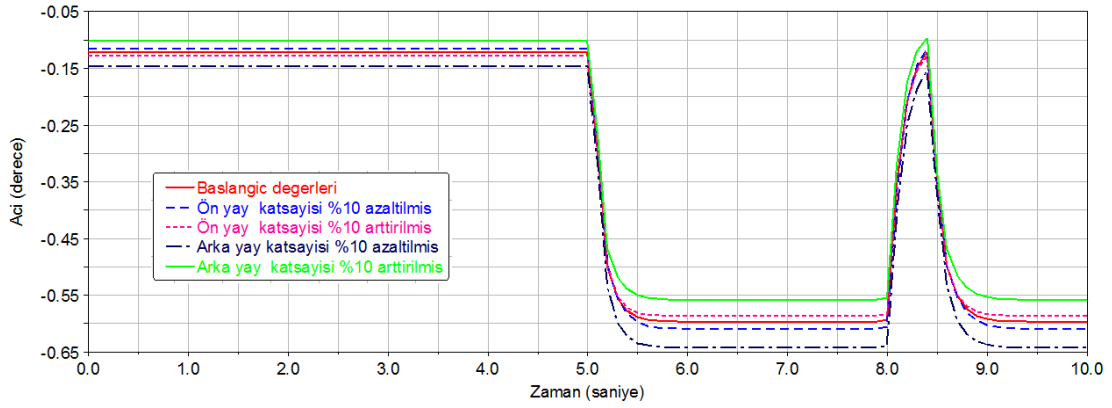
Genel olarak değişimlerin etkisi aynı oranda olmuştur fakat yay katsayılarındaki değişim eğrilerin başlangıç değerlerinde farklılığa neden olmuştur.

Formula SAE aracının damper sönümlenme katsayılarını değiştirerek yapılan ivmelenme analizinde Şekil 4.17'de görüldüğü gibi şasi yüksekliğinin başlangıç değerlerinde fark olmadığı aşıkardır. Aracın ön ve arka süspansiyon sistemine ait damper sönümlenme katsayılarının %10 oranında azaltma ve artırmanın eğrilerin durağan kısımlarında çok fazla etkisi bulunmamaktadır, sadece eğrilerin tepe yaptığı bölgelerde biraz değişikliklere neden olmuştur.



**Şekil 4.17.** Formula SAE aracı şasisinin ivmelenme analizinde araç şasisinin düşey eksenindeki değişim eğrileri (damper)

Şekil 4.18’de Formula SAE aracının süspansiyon sistemine ait yay katsayılarının değiştirilerek yapılan ivmelenme analizinin kafa vurma hareketine yaptığı etkiler gösterilmektedir. İvmelenme analizinde sadece ön yay katsayısı %10 oranında arttırılmış ve %10 oranında azaltılmış, sadece arka yay katsayısı %10 oranında arttırılmış ve %10 oranında azaltılmış son olarak hiçbir değişiklik yapılmamış haldeki sonuçlar incelenmiştir.



**Şekil 4.18.** Formula SAE aracı şasisinin ivmelenme analizinde kafa vurma hareketindeki değişim eğrileri (yay)

Eğriler incelendiğinde yay katsayılarındaki değişimin kafa vurma açısının başlangıç değerlerinde ve buna bağlı olarak ilerleyişinde değişim yaşadığı görülmektedir. Eğrilerin karakteristikleri eğilim, şiddet ve yön bakımından benzerlik göstermektedir.

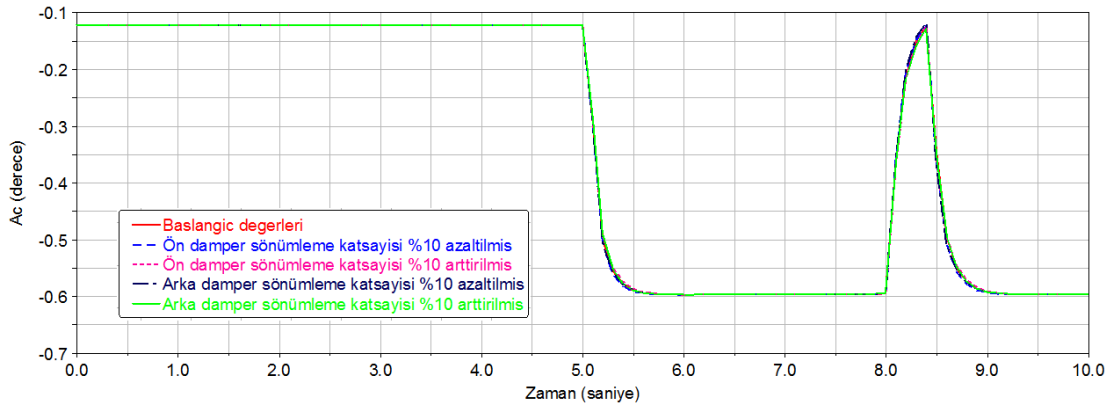
İvmelenme analizinde kafa vurma açısının başlangıç açısını -0,145 derecelik değer ile en düşük seviyeye arka yay katsayısının %10’luk düşümü neden olmuştur. Yine arka yay katsayısının %10’luk artışı arabanın değişiklik olmadığı halde -0,121 derece olan kafa vurma açısını -0,1 dereceye çıkarmaktadır.

Ön yay katsayılarındaki değişimler arka yay katsayılarındaki değişimlere nazaran ivmelenme analizinde aracın kafa vurma açısına daha az etki göstermiştir.

İvmelenme analizinde ilk beş saniye araç sabit hızla gitmektedir, sonra ise belli bir sabit ivme ile araç hızlanmaktadır. Eğrilerden de anlaşılacağı üzere aracın ivmesi arttıkça kafa vurma açısı da yay katsayılarındaki değişime bağlı olarak artmaktadır. Aracın

ivmesinin arttığı değerlerde başlangıçta -0,10 seviyelerinde olan kafa vurma açısı, aracın ivmesi arttıkça -0,60 seviyelerine ulaşmıştır.

Aşağıdaki grafikte damper sönümlenme katsayılarının değişimine bağlı olarak yapılan ivmelenme analizinde kafa vurma açısındaki değişimler incelenmiştir. Grafik değerlerine göre araç süspansiyon sisteminin ön ve arka damperlerinde meydana gelen %10'luk artış ve azalmanın araç kafa vurma hareketine çok fazla etkisi olmadığı görülmektedir.



**Şekil 4.19.** Formula SAE aracı şasisinin ivmelenme analizinde kafa vurma hareketindeki değişim eğrileri (damper)



## 5.SONUÇLAR

Binek araç ve Formula SAE aracı üzerinde yapılan ISO sürüş konfor indeksi, ivmelenme ve ISO Lane Change analizi sonuçları bu kısımda değerlendirilecektir. ISO Lane Change analizinde ayak, koltuk, sırt ve genel SKİ incelenmiştir. ISO Lane Change ve ivmelenme analizlerinde ise şasi yüksekliğinin değişimi ve kafa vurma açıları incelenmiştir. İncelemelerde sürüş konfor analizlerinde değiştirilen süspansiyon parametrelerinin aracın sürüş konforuna etkisi ve sonrasında bu değişimlerin ISO Lane Change ve ivmelenme analizleriyle şasi yüksekliğine ve kafa vurma açısına olan etkileri incelenmiştir.

Binek araç için Çizelge 5.1’de ki sürüş konfor analiz sonuçları incelendiğinde yaylardaki değişim miktarının damperlere oranla daha etkili olduğu görülmektedir. Analiz sonuçlarına göre ön ve arka süspansiyon sistemine ait unsurları aynı anda değiştirmenin, ön ya da arka süspansiyon parametrelerinden sadece birini değiştirme ile farklı sonuçlar verdiği görülmektedir.

**Çizelge 5.1.** Binek araç SKİ değerleri

Konum	Değişim unsuru	Değişim	Ayak SKİ	Koltuk SKİ	Sırt SKİ	Genel SKİ	Genel SKİ Değişim
Başlangıç Değerleri			<b>4,72</b>	<b>3,70</b>	<b>4,64</b>	<b>4,37</b>	
ön & arka	yay	10%	4,81	3,77	4,73	4,46	<b>1,97%</b>
		-10%	4,68	3,66	4,60	4,34	<b>-0,78%</b>
ön & arka	damper	10%	4,72	3,71	4,64	4,38	<b>0,18%</b>
		-10%	4,81	3,75	4,73	4,45	<b>1,83%</b>
ön	yay	10%	4,81	3,77	4,73	4,46	<b>2,01%</b>
		-10%	4,68	3,66	4,60	4,34	<b>-0,76%</b>
	damper	10%	4,73	3,71	4,65	4,38	<b>0,30%</b>
		-10%	4,80	3,74	4,71	4,44	<b>1,58%</b>
arka	yay	10%	4,73	3,70	4,65	4,38	<b>0,30%</b>
		-10%	4,75	3,72	4,67	4,40	<b>0,69%</b>
	damper	10%	4,69	3,68	4,62	4,35	<b>-0,46%</b>
		-10%	4,76	3,72	4,67	4,40	<b>0,69%</b>

Binek araç için yapılan analiz sonuçlarına göre aracın sürüş konforunu iyileştirmek için bütün yayların katsayıların düşürmenin uygun olacağı görülmüştür. Tekil olarak değişiklik yapılmak istendiğinde ise sadece ön süspansiyon sistemine ait yayın katsayısı %10 oranında azaltılabilir ya da arka süspansiyon sistemine ait damper sönümleme katsayısı %10 oranında artırılabilir. Diğer etkiler ise sürüş konforunu bozucu etkiler yapmaktadır. Sadece sürüş konforu ele alındığında yapılan sürüş konfor analizlerinde en iyi sonucu bütün yay katsayılarının düşürülmesiyle elde edilebileceği söylenebilir fakat sürüş konforunun iyileşmesi diğer araç dinamiği hareketlerini bozabilir. ISO Lane Change ve ivmelenme analizleri incelendiğinde genel olarak şasi yüksekliğine yay katsayılarındaki değişimlerin bir miktar etkisi olmasına karşın damper değerlerindeki değişimin hiçbir etkisi olmamaktadır. Analizlerde arka yay katsayısını arttırmanın ISO Lane Change ve ivmelenme analizinde kafa vurma açısını bir miktar arttırdığı görülmektedir. Damper katsayılarını değiştirmenin yapılan analizlerde kafa vurma açısına önemli bir etkisi olmadığı görülmüştür.

Yapılan bütün analizler incelendiğinde bütün yay katsayılarındaki artışın aracın sürüş konforunu en fazla arttırdığı görülmektedir. Fakat aracın diğer dinamik etkileriyle beraber incelendiğinde en iyi sonucu ön yay katsayısındaki %10 düşüşün vereceği düşünülmektedir. Sürüş konforunu en fazla bozan etkilerin ise yay katsayılarını attırmak olduğu görülmektedir.

Formula SAE aracı için yapılan ISO sürüş konforu analizlerinde elde edilen sonuçlar Çizelge 5.2’de verilmiştir. Çizelge sonuçlarına göre sürüş konforunu en fazla yay katsayılarındaki değişimler etkilemektedir. Sürüş konforunu en fazla arttıran etki bütün yayların katsayılarını düşürmek olduğu görülmektedir. Diğer taraftan bütün yay katsayılarını arttırmak ile ilgili yapılan değişiklikler sürüş konforunu bozmaktadır.

Formula SAE aracı analizlerinde damper katsayılarındaki değişimin etkisi sürüş konforunu düşürme yönünde daha fazla etki etmektedir. Damper sönümleme katsayılarındaki %10 luk artışın verdiği olumlu etki, % 10 sönümleme katsayılarındaki düşüşün verdiği olumsuz etkilerden yüzdesel olarak daha düşük seviyelerdedir. Dmaper katsayılarında yapılan değişikliklerde sürüş konforunu en iyi etkileyen sonuca ön damper sönümleme katsayısındaki %10’luk artış ile ulaşılmıştır.

**Çizelge 5.2.** Formula SAE aracı SKİ değerleri

Konum	Değişim unsuru	Değişim	Ayak SKİ	Koltuk SKİ	Sırt SKİ	Genel SKİ	Genel SKİ Değişim
Başlangıç Değerleri			<b>7,82</b>	<b>6,42</b>	<b>7,62</b>	<b>7,31</b>	
ön & arka	yay	10%	7,96	6,51	7,77	7,44	<b>1,78%</b>
		-10%	7,74	6,36	7,55	7,24	<b>-0,96%</b>
ön & arka	damper	10%	7,81	6,42	7,61	7,30	<b>-0,14%</b>
		-10%	7,69	6,31	7,55	7,19	<b>-1,64%</b>
ön	yay	10%	7,97	6,55	7,77	7,45	<b>1,92%</b>
		-10%	7,78	6,39	7,58	7,28	<b>-0,41%</b>
	damper	10%	7,75	6,38	7,57	7,25	<b>-0,82%</b>
		-10%	7,96	6,53	7,75	7,44	<b>1,78%</b>
arka	yay	10%	7,78	6,39	7,59	7,27	<b>-0,55%</b>
		-10%	7,89	6,47	7,68	7,37	<b>0,82%</b>
	damper	10%	7,78	6,38	7,59	7,27	<b>-0,55%</b>
		-10%	7,88	6,47	7,69	7,37	<b>0,82%</b>

Binek araçta olduğu gibi Formula SAE aracında da sürüş konforunun yanı sıra diğer dinamik etkilerde incelendiğinde değişikliklerin araca toplam etkisi elde edilebilir. ISO Lane Change ve ivmelenme analizlerinde değişimlerin şasi yüksekliğine önemli boyutlarda etkisi olmamaktadır. Benzer şekilde damper katsayılarındaki değişimde aracın kafa vurma ve şasi yüksekliğinde çok etkili olmamıştır. Analizlerde en büyük etkiyi arka yay katsayısındaki düşüş kafa vurma açısını arttırarak yapmıştır. Ön yay katsayısındaki düşüş kafa vurma açısını düşürücü etki yapmıştır. Bütün analiz sonuçları incelendiğinde ISO sürüş konforundaki etkilerin Formula SAE aracının sürüş konforunu yükseltmek için kullanılabileceği görülmektedir.

Formula SAE aracı için sürüş konforunu en fazla arttıran etkiler sırasıyla bütün yay katsayılarını %10 oranında azaltmak, ön damper katsayısını %10 oranında arttırmak ve arka yay ve damper katsayılarını tek tek arttırmak olmuştur. Formula SAE aracının sürüş konforunu en fazla bozan etkiler arasında ise bütün yay katsayılarını arttırmak, ön yay katsayısını arttırmak, ön damper sönümleme katsayısını düşürmek gibi etkiler yer almaktadır.

Çizelge 5.3’de binek araç ve Formula SAE aracının genel sürüş konfor indeksleri karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırmada araç kullanım amacına göre sürüş konforundaki değişimler ve analizlerdeki değişimlerin etkisi daha net anlaşılmaktadır.

**Çizelge 5.3.** Binek araç ve Formula SAE aracı SKİ karşılaştırması

Konum	Değişim unsuru	Değişim	Binek Araç		Formula SAE Aracı	
			Genel SKİ	Genel SKİ Değişim	Genel SKİ	Genel SKİ Değişim
Başlangıç Değerleri			<b>4,37</b>		<b>7,31</b>	
ön & arka	yay	10%	4,46	1,97%	7,44	1,78%
		-10%	4,34	-0,78%	7,24	-0,96%
ön & arka	damper	10%	4,38	0,18%	7,30	-0,14%
		-10%	4,45	1,83%	7,19	1,64%
ön	yay	10%	4,46	2,01%	7,45	1,92%
		-10%	4,34	-0,76%	7,28	-0,41%
	damper	10%	4,38	0,30%	7,25	-0,82%
		-10%	4,44	1,58%	7,44	1,78%
arka	yay	10%	4,38	0,30%	7,27	-0,55%
		-10%	4,40	0,69%	7,37	0,82%
	damper	10%	4,35	-0,46%	7,27	-0,55%
		-10%	4,40	0,69%	7,37	0,82%

Çizelge incelendiğinde en önemli farklılık binek araç ve Formula SAE aracı arasındaki genel SKİ arasındaki farktır. Bu fark araçların kullanım amacı farklılığından kaynaklanmaktadır. Formula SAE aracı kullanılmaya amacına göre daha az konfora sahip fakat daha yüksek yol tutuşu istenen araçlar. Parkurları Formula 1 araçlarının yarıştığı parkurlar gibi yol düzgünsüzlüğü, çukur gibi etkenler bulunmaz. Yarış parkurları daha ziyade virajlardan oluşmaktadır ve sürüş süreleri kısadır. Bütün bu unsurlar toplandığında Formula SAE araçları için sürüş konforundan ziyade yol tutuşu öne çıkmaktadır. Bu durumda genel sürüş konfor indeksinin 7,31 değeri oluşu buna karşın binek aracın ise 4,37 değerine sahip oluşu ile örtüşmektedir. İncelenen binek araç spor tipli bir araç olması sebebiyle bu aracında sürüş konfor indeksi istenilenden bir miktar büyük çıkmıştır.

Sonuçlar incelendiği beklendiği üzere iki araç içinde ön ve arka yay katsayılarını anda arttırıldığında sürüş konforu azalmakta buna karşın katsayılar azaltıldığında sürüş konforu artmaktadır. Benzer etkiler ön yay katsayısı ve arka damper sönümleme katsayısında da görülmektedir.

Binek araç sonuçlarında bazı durumlarda beklenen sonuçlar elde edilememiştir. Fakat sonuçların değişkenlere bağlı yönelimi Formula SAE aracı ile karşılaştırıldığında doğru olduğu söylenebilir. Binek araç için ön ve arka damper sönümleme katsayılarındaki aynı andaki artışın SKİ'yi düşürmesi beklenirken %0,18 oranında arttırmıştır. Bu durum Formula SAE aracı ile karşılaştırıldığında damper katsayısı artırıldığında %0,14 azalan SKİ, katsayı azaltıldığında %1,64 sürüş konfor indeksi artmaktadır ve önemli bir yükseliş olmuştur. Binek araçta da katsayı değişiminde %0,18 den %1,83 büyük bir yükseliş olduğu görülmektedir. Benzer durum ön süspansiyon sistemine ait damper sönümleme katsayısı ve arak yay katsayısında da görülmektedir.

Adams/Car programında yapılan ISO sürüş konforu analizleri incelendiğinde araçların ön tarafından yapılan değişikliklerin arka tarafta yapılan değişikliklere göre daha fazla etkili olduğu görülmektedir. Bu durumun sürüş konforu ölçümün sürücü koltuğundan alınmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Tez çalışmasında yapılan analizler sonucunda binek araç için en iyi sürüş konforunu %0,78 oranında SKİ değerinde düşüş sağlayarak bütün yay katsayılarındaki %10'luk düşüşün neden olduğu görülmüştür. Formula SAE aracında ise en iyi sürüş konforuna binek araçtaki duruma benzer şekilde bütün yay katsayılarındaki %10 oranında azalış ile genel SKİ değerinin 7,31'den 7,24 değerine düşmesiyle ulaşılmıştır.

Yapılan tez çalışmasında sürüş konfor indeksi incelendiğinde yay katsayılarını azaltmanın ve damper sönümleme katsayılarını arttırmanın ayak, koltuk, sırt ve genel SKİ değerlerini azalttığını yani sürüş konforunu arttırdığı sonucuna ulaşılmıştır. Bu duruma bağlı olarak ise yay katsayılarını arttırmanın ve damper sönümleme katsayılarını azaltmanın ise sürüş konforunu azalttığı anlaşılmıştır. Diğer bir sonuç ise aracın ön süspansiyon sisteminde yapılan değişikliklerin arka süspansiyon sisteminden yapılan değişikliklere göre sürüş konfor indeksine etkisinin daha fazla olduğu ortaya çıkmıştır.

Yapılan analizler sonucunda damper katsayılarında yapılan değişikliklerin binek araç içinde Formula SAE aracı içinde yol tutuş değerlerinde önemli bir değişikliğe neden olmadığı görülmüştür. Kafa vurma açısında ve şasi yüksekliğine yaylarda yapılan değişikliklerin daha etkili olduğu ortaya çıkmıştır. Yay katsayılarını düşürmek beklendiği üzere şasi yüksekliğini düşürmekte, yay katsayılarını arttırmak ise şasi yüksekliğini arttırmaktadır. Kafa vurma açısı incelendiğinde ise ön yay ve arka yay katsayılarında yapılan değişiklikler ters önlü etki yapmaktadır. Arka yay katsayısı %10 oranında artırıldığında daha az bir kafa vurma hareketi olurken, ön yay katsayısı artırıldığında ise daha fazla kafa vurma açısına ulaşıldığı saptanmıştır. Benzer şekilde arka yay katsayılarını azaltmak kafa vurma açısını artırırken, ön yay katsayısını azaltmak ise kafa vurma açısını azaltmaktadır.

## KAYNAKLAR

**Abe, M., 2009.** Vehicle Handling Dynamics. Elsevier Ltd., Amsterdam, The Netherlands, 287 pp.

**Alan, H. 2002.** Correlation of subjective and objective handling of vehicle behaviour. Ph.D. Thesis, The University of Leeds, School of Mechanical Engineering.

**Albak, E.İ., Karaduman, B., 2011.** Formula SAE Aracı Süspansiyon Sistemi Analizi. *Lisans Tezi*, UÜ Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği, Bursa.

**Allen, R.W., Rosenthal T.J., Klyde D.H., Hogue J.R. 1999.** Computer simulation analysis of light vehicle lateral directional dynamic stability. *SAE Technical Paper Series, 1999-01-0124.*

**Anonim, 1997.** British Standard Guide to measurement and evaluation of human exposure to whole body mechanical vibration and repeated shock, BS 6841. British Standards Institution. 1987.

**Anonim, 2002.** Human exposure to mechanical vibrations whole-body vibration, Verein Deutcher Ingenieure, VDI 2057. 2002.

**Anonim, 2014.** <http://www.ncr.indianrailways.gov.in/uploads/files/1328699479667-Gr%20B%20Ans%20Pt%203%20.pdf>, (Erişim Tarihi 23.06.2014).

**Anonim, 2014.** [http://www.uic.org/cdrom/2008/11\\_wcrr2008/pdf/R.2.4.3.2.pdf](http://www.uic.org/cdrom/2008/11_wcrr2008/pdf/R.2.4.3.2.pdf), (Erişim Tarihi 23.06.2014).

**Anonim, 2014.** <http://www.ex-en.com.tr> (Erişim Tarihi 25.06.2014).

**Anonim, 2014.** <http://simcompanion.mscsoftware.com/infocenter/index?page=home> (Erişim Tarihi 23.06.2014).

**Anonim, 1997.** Mechanical vibration and shock – Evaluation of human exposure to whole-body vibration, Part 1:General requirements, ISO 2631-1, 2nd ed. The International Organisation for Standardisation,

**Els, P.S., 2004.** The applicability of ride comfort standards to off-road vehicles. *Journal of Terramechanics*, 42 (2005): 47-64

**Hegazy, S., Rahnejat, H., Hussain, K. 1999.** Multibody dynamics in full vehicle handling analysis. *Proceeding Institution of Mechanical Engineers*, 213(1): 19-31.

**Milliken, W.F., Milliken, D. 1994.** Race Car Vehicle Dynamics. SAE International. USA, 890 pp.

**Park, S-J., Lee, Y-S., Nahm, Y-E., Lee, Y-W. and Kim, J-S., 1998.** Seating Physical Characteristics and Subjective Comfort. Design Considerations International Congress and Exposition, 1998, Detroit, Michigan, 1998.

**Pir, F., 2013.** Araç Dinamiği Analizi İçin Model Geliştirilmesi Ve Araç Yol Tutuş Özelliklerinin İncelenmesi. *Yüksek Lisans Tezi*, UÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Otomotiv Mühendisliği Anabilim Dalı, Bursa.

**Sayers, M.W. 2010.** Vehicle models for RTS applications. *Vehicle System Dynamics: International Journal of Vehicle Mechanics and Mobility*, 32(4-5):421-438.

**Segel, L. 1956.** Research in the fundamentals of automobile control and stability. *SAE National Summer Meeting*.

**Strander, K. 2005.** On Objective Measures for Ride Comfort Evaluation. *Thesis*, Department Of Signals, Sensors And Systems, Royal Institute Of Technology (KTH), Stockholm, Sweden.

**Zehsaz, M., Vakili-Tahami, F., Fasihi, A., Majidi jirandi, A.A., 2012.** Sensitivity of ride comfort to Suspension characteristics of an off-road vehicle under road excitation. *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*, 2(5):422-431



**Whitcomb, D.W., William, F.M. 1956.** Design implications of a general theory of automobile stability and control. *Proceeding of Automobile Division: The Institution of Mechanical Engineer*, 7:367-391.

## ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Emre İsa ALBAK  
Doğum Yeri ve Tarihi : Kadıköy, 02/08/1989  
Yabancı Dili : İngilizce

### Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise : Hacı Hatice Bayraktar Lisesi, 2007  
Lisans : Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi,  
Makine Mühendisliği Bölümü, 2011  
Yüksek Lisans : Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü,  
Otomotiv Mühendisliği Ana Bilim Dalı, 2014

Çalıştığı Kurum ve Yıl : DTA Mühendislik 2011-2013  
Uludağ Üniversitesi 2013-...  
İletişim(e-posta) : emrealbak@uludag.edu.tr