

**TAŞITLARDA İVME ANALİZİ VE MATEMATİKSEL
MODELLEMESİ**

YÜKSEK LİSANS

Mehmet YEŞİLİRMAK

DANIŞMAN

Doç. Dr. Hüseyin BAYRAKÇEKEN

MAKİNA EĞİTİMİ A.B.D

HAZİRAN 2009

T.C.
AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**TAŞITLARDA İVME ANALİZİ VE MATEMATİKSEL
MODELLEMESİ**

Mehmet YEŞİLİRMAK

DANIŞMAN
Doç. Dr. Hüseyin BAYRAKÇEKEN

MAKİNA EĞİTİMİ ANABİLİM DALI

HAZİRAN 2009

ONAY SAYFASI

Doç. Dr. Hüseyin BAYRAKÇEKEN danışmanlığında, Mehmet YEŞİLIRMAK tarafından hazırlanan “Taşıtlarda İvme Analizi ve Matematiksel Modelleme” başlıklı bu çalışma, lisansüstü eğitim ve öğretim yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca/...../200.... tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Fen Bilimleri Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak oybirliği/oy çokluğu ile kabul edilmiştir.

	Unvanı, Adı, SOYADI	İmza
Başkan	Doç. Dr. Hüseyin BAYRAKÇEKEN	
Üye	Yrd. Doç. Dr. Recai Kuş	
Üye	Yrd. Doç. Dr. Yaşar Önder ÖZGÖREN	

Afyon Kocatepe Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetin Kurulu'nun
...../...../..... tarih ve
..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Doç. Dr. Zehra BOZKURT
Enstitü Müdürü

İÇİNDEKİLER

ONAY SAYFASI.....	I
ÖZET.....	IV
ABSTRACT.....	V
TEŞEKKÜR.....	VI
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	VII
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	X
RESİMLER DİZİNİ.....	XII
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	XIII
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR ÖZETİ.....	3
3. İVME VE ETKİLERİ.....	6
3.1 Hız.....	6
3.1.1 Taşıtın Yavaşlaması Sırasında Herhangi Bir Andaki Hız ve Uzaklık İlişkisi.....	7
3.1.2 İvmelenerek Hızlanan Taşıtın Zamana veya Yola Bağlı Olarak Son Hızının Bulunması.....	9
3.1.3 Fren Yaparak Yavaşlayan Taşıtın Zaman-Yola Bağlı Olarak Son Hızının Bulunması.....	10
3.2 İvme.....	11
3.2.1 İvme Çeşitleri ve Taşıtlara Etkileri.....	11
3.2.2 Frenleme İvmesi.....	14
3.2.3 İniş Eğimde Fren İzi Belli Olan Taşıtın Hızının Bulunması.....	17
3.2.4 Alınan Mesafe ve Süresi Bilinen Taşıtın Hız ve İvmesinin Bulunması.....	18
3.2.5 Taşıtın İvmelenmesi İçin Gerekli Sürenin Bulunması.....	20
3.2.6. Duran Taşıtın Kalkıştan Sonraki İvmesinin Tespiti.....	20
3.3 Taşıta Etki Eden Dirençler.....	21
3.3.1 Yokuş Direnci.....	21
3.3.2 İvme Direnci.....	22
3.3.3 Aerodinamik Direnç.....	23
3.3.4 Yuvarlanma Direnci.....	24
3.4 Taşıtlarda İvmelenmeye Etkileyen Faktörler.....	24

3.4.1 İvme ölçümleri.....	27
3.4.2 Titreşim Karakteristikleri.....	27
3.5 Taşıt Titreşimleri.....	299
3.5.1 Basitleştirilmiş Bir Taşıt Modelinin Titreşimi.....	29
3.5.2 Bir Taşıtın Dinamik Hareketinin Ölçümü.....	30
4. DİNAMİK HAREKET ALGILAYICILARI.....	32
4.1 İvme Ölçerler.....	32
4.2 İvmeölçer Çeşitleri.....	32
4.2.1 Piezoelektrik İvme Ölçerler.....	33
4.2.2 Kapasitif İvme Ölçerler.....	35
5. MATERYAL ve METOT.....	36
5.1 ASC 5411 3 Eksenli Piezoelektrik İvmeölçer.....	37
5.1.1 ASC 5411 3 Eksenli Piezoelektrik İvmeölçerin Teknik Özellikleri.....	39
5.1.2 LJU3 USB Veri Toplama Sistemi.....	40
5.2 Kullanılan Taşıt ve Çevresel Şartlar.....	41
5.2.1 Deney Taşıtının Teknik Özellikleri.....	41
5.2.2 Uydu Destekli Koordinat Belirleyici (GPRS).....	43
5.2.3 Yol Şartları.....	43
5.3 Test Öncesi Yapılan Kontroller.....	44
5.4 Geliştirilen Matematiksel Model.....	46
6. BULGULAR ve TARTIŞMA.....	48
6.1 Durur Halde Doğrusal, Yanal ve Yerçekimi İvmelenme Deneyleri.....	48
6.2 Doğrusal Eğimlerde ve Düz Yolda Hızlanma Testleri.....	49
6.3 Düz Yolda 100–0 Yavaşlama ve 0-100 Hızlanma Testleri.....	50
6.4 80km/h Sabit Hızda Sağa ve Sola Virajlarda Yanal İvmelenme Testleri...	51
6.5 80km/h–90km/h Hızlarda Sağ Viraj Yanal İvmelenme Testleri.....	52
6.6 0-100km/h Hızlanmada Doğrusal, Yanal ve Yerçekimi İvmelenmesi Testi.....	53
6.7 80-120km/h Hızlanmada Doğrusal, Yanal ve Yerçekimi İvmelenmesi Testleri.....	54
7. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	55
8. KAYNAKLAR.....	57
8.1 İnternet Kaynakları.....	59

9- ÖZGEÇMİŞ	60
10. EKLER	XV
Ek-1 Test Yolunun Haritası.....	XVI
Ek-2 0-100 km/h Düz Yol Hızlanma Testi Verileri.....	XVII
Ek-3 Deneyler Sırasında Elde Edilen Örnek Veriler.....	XVII

ÖZET
Yüksek Lisans Tezi
TAŞITLARDA İVME ANALİZİ VE MATEMATİKSEL
MODELLEMESİ
Mehmet YEŞİLIRMAK

T.C.
Afyonkarahisar Kocatepe Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Eğitimi Ana Bilim Dalı
Danışman: Doç. Dr. Hüseyin BAYRAKÇEKEN

Birim zamanda alınan yola hız denilmektedir. İvme; hızın zamana göre değişim oranı olarak ifade edilmekte ve bir kuvvetle ortaya çıkmaktadır. Hareket eden bir taşıtta üç çeşit ivme söz konusudur. X eksenindeki doğrusal ivme, Y eksenindeki yanal ivme, Z ekseninde yerçekim ivmesidir.

Yapılan deneysel çalışmada, otomobil sınıfındaki bir taşıtla gerçek yol şartlarında ivme ölçümleri yapılmıştır. Taşıt üzerinden üç eksende veri toplamak için diz üstü bilgisayara USB portundan bağlanabilen U3 veri toplama ünitesi ve üç eksenli ivmeölçer kullanılmıştır. U3 veri toplama ünitesinin LabVIEW sürücülerini kullanarak; taşıtın virajda düz yolda ve doğrusal eğimlerde ivme değişimleri ölçülerek veri toplaması sağlanmıştır. Testler Afyonkarahisar-İzmir karayolunun 10 ila 30. kilometresinde yapılmış olup hızlanmada, sabit hızda ve frenleme esnasındaki ivme ölçümleri yapılarak, ivmenin taşıt üzerindeki etkileri tespit edilmiştir. Deneysel sonuçlardan elde edilen veriler analiz edilerek matematiksel bir model oluşturulmuş ve deneysel sonuçlarla uyumlu olduğu gözlenmiştir. Deneysel yanal ivmelenme en fazla 100 km/h hızda sağ virajda, en az 60 km/h hızda sola virajda gerçekleşmiştir. Taşıtın doğrusal yöndeki ivmelenmesi hızlanmada 0-100 km/h hızda maksimum, yavaşlamada 100-0 km/ hızda minimum olarak ölçülmüştür.

Viraj testlerinde maksimum ivme virajın en dış kısmında elde edilmiş, doğrusal ivmelenme testinde maksimum ivme iniş eğimli şartlarda tespit edilmiştir.

Anahtar kelimeler: İvme, Taşıt, İvme Ölçümleri, Titreşim, Matematiksel Model

2009, 79 Sayfa

ABSTRACT

Graduate Thesis

ACCELERATION ANALYSIS AND MATHEMATICAL MODELLING ON VEHICLES

Mehmet YEŞİLIRMAK

REPUBLIC OF TURKEY

Afyonkarahisar Kocatepe University

Institute of Science

Division of Mechanical Education

Consultant: Doç. Dr. Hüseyin BAYRAKÇEKEN

Speed is the road taken in unit time. Acceleration is expressed as changing rate of speed according to the time and it occurs with a force. Three types of acceleration exist in a moving vehicle, which are linear acceleration in X- axial, lateral acceleration in Y- axial and gravitation acceleration in Z- axial.

In the experimental study, measurements of acceleration was made in actual road conditions with an automotive class. U3 data collector unit connected to the laptop via USB port and three-axial accelerometer were used in order to collect data from vehicle in three-axial. We provided data collecting by using the LabVIEW drivers of U3 data collecting and measuring the acceleration changes of the vehicle on straight road, curve and linear slope. Tests were made on motorway of Afyonkarahisar-İzmir and between 10th - 30th kilometers and the effects of acceleration on vehicle was determined by taking the measurements of acceleration while speeding, remaining the speed and braking. Mathematical model was formed by analyzing the data from experimental results and it was observed that it is harmonious with the experimental results. In experiments, lateral acceleration occurred higher at right bend with 100km/h, lower at left bend with 60km/h. The linear acceleration of vehicle was measured as maximum while speeding at 0-100 km/h and minimum while slowing at 100-0 km/h.

In bend test, maximum acceleration was acquired from outermost of bend; in linear acceleration test, maximum acceleration was stated in landing slope condition.

2009, 79 Page

Keywords: Acceleration, vehicle, acceleration measurements, vibration, mathematical modelling

TEŞEKKÜR

Hazırladığım tez ile ilgili çalışmalarım süresince değerli desteğini ve yardımlarını esirgemeyerek, bilgi birikimleriyle beni yönlendiren danışmanım, Sayın Doç. Dr. Hüseyin BAYRAKÇEKEN hocam'a teşekkürü borç bilirim.

Aynı zamanda araştırmalarım ve çalışmalarım esnasında yardımlarını esirgemeyen, ilgi ve alakalarıyla, manevi desteklerini ve bilgi birikimlerini benimle paylaşan, Sayın Yrd. Doç. Dr. Tamer BAYBURA hocama ve Sayın Öğr. Görv. İbrahim YAVUZ'a teşekkürlerimi sunarım.

Bu çalışmamda manevi destekleriyle her an yanımda gördüğüm meslektaşlarım, Afyonkarahisar Merkez Endüstri Meslek Lisesi Motorlu Taşıtlar Teknolojisi Alanı Öğretmenlerine, Bilişim Teknolojileri Alanı Şefi değerli arkadaşım Hüseyin DOĞANLI ve Özkan ÖZLÜ'ye teşekkür ederim.

Çalışmalarım süresince manevi desteğini hiçbir zaman üzerimden esirgemeyen ve desteğiyle başarılarımda benden daha fazla hak sahibi olan sevgili eşime, çocuklarım HAKAN ve ZEHRA'ya anneme ve babama teşekkürü borç bilirim.

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

1. Simgeler

Simge	Adı	Birimi
a	İvme, yavaşlama ivmesi	m/s^2
A	İvmelenme faktörü	m/s^2
a_{ort}	Ortalama ivme	m/s^2
$a_{eğim}$	Yokuştaki ivme	m/s^2
a_t	Titreşim ivmesi	m/s^2
c_o	Titreşim karakteristiği	m/s
d	İvmelendirme mesafesi	m
$d\omega$	Ortalama açısal hız	rad/s
d_1, d_2	Eksenler arası uzaklık	m
f	Sürtünme katsayısı	
F	Kuvvet	N
F_{net}	Tutunma kuvveti	N
f_t	Titreşim frekansı	1/s
F_t	Tekerlek tahrik kuvveti	N
g	Yerçekimi ivmesi	m/s^2
I	Atalet moment	$kg\ m^2$
j	Sıçrama	m/s^3
k	Titreşim şiddetine bağlı katsayı	
m	Kütle	kg
M	Tork	Nm
R_i	İvme direnci	N
R_{ro}	Yuvarlanma direnci	N
S	Taşıtın yavaşlarken aldığı yol	m
S_f	Fren mesafesi	m
S_{ilk}	İlk konum	m
S_{son}	Son konum	m
t	Yavaşlama süresi	s
t_a	Cevap süresi	s
t_f	İşletme süresi	s
t_{ilk}	İlk ölçülen zaman	s
t_R	Reaksiyon süresi	s

t_s	Intibak süresi	s
t_{son}	Son ölçülen zaman	s
t_v	Fren kuvvetinin (max) etkili olduğu süre	s
V	Hız	m/s
V_{ort}	Ortalama hız	m/s
V_0	İlk hız	m/s
V_1	Başlangıç hızı	m/s
V_{11}, V_{12}	Herhangi bir noktadaki hız	m/s
V_2	Son hız	m/s
W	Toplam dingil ağırlığı	N
+x	Pozitif yönde hareket	m
-x	Negatif yönde hareket	m
Z	Titreşim genliği	m
Z_{max}	Maksimum genlik	m
α	Yolun eğim açısı	Derece
ΔS	Yer değiştirme	m
Δt	İki konum arasında geçen zaman	t
μ_{romax}	Maksimum yuvarlanma tutunma katsayısı	
μ_s	Kayma halindeki tutunma katsayısı	
τ	Titreşim periyodu	s

2. Kısaltmalar

GPRS	Uydu Destekli Koordinat Belirleyici
LAN	Yerel Ağ Bağlantısı
MEMS	Mikro-Elektro-Mekanik Sistemler
PE	Piezoelektrik
SAE	Amerikan Otomotiv Mühendisleri Birliği
SI	Uluslararası Birim Sistemi
USB	Evrensel Veri Yolu
YSA	Yapay Sinir Ağları

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil No		Sayfa No
Şekil 3.1	Cismin Yer Değiştirmesi.....	6
Şekil 3.2	Zamana Göre Yer Değiştirme.....	7
Şekil 3.3	80 km/h Hız ile Hareket Eden Taşıttın Frenlemesi Sonrası Anlık Hızı ve Aldığı Yol.....	8
Şekil 3.4	55 km/h Hızla Hareket Eden Taşıttın İvmelenmesi.....	9
Şekil 3.5	95 km/h Hızla Hareket Eden Taşıta Fren Uygulandığındaki Son Hızı.....	10
Şekil 3.6	Taşıttaki Hız Değişimi.....	11
Şekil 3.7	Hız-Zaman Grafiğinin Genel Görünüşü.....	12
Şekil 3.8	Frenleme de Pedal Kuvveti, İvme Hız ve Yolun Zamana Göre Değişimi.....	14
Şekil 3.9	60 km/h Hızda Yavaşlama Esnasında Hızın Zamana Göre Değişimi.....	16
Şekil 3.10	Eşit Uzaklıklarda Dizilmiş Noktalardan Geçen Taşıttın Hız ve İvmesinin Bulunması.....	19
Şekil 3.11	Hızlanan Taşıttın İvmelenmesi İçin Gerekli Olan Süre.....	20
Şekil 3.12	Durma Konumundan Belirli Bir Hıza Ulaşan Taşıttın İvme Değişimi.....	21
Şekil 3.13	Yokuş Direnci.....	22
Şekil 3.14	Otomobil Üzerinde Oluşan Aerodinamik Kuvvetler.....	23
Şekil 3.15	Taşıttaki Çeşitli Titreşimler	30
Şekil 3.16	Taşıttaki Algılayıcı Eksenleri.....	31
Şekil 4.1	İvmeölçerlerin Basit Yapısı.....	32
Şekil 4.2	Kuvvet Altındaki Silikon Ve Oksijen Atomları.....	34
Şekil 5.1	ASC 5411 3 Eksenli Piezoelektrik İvmeölçerlerin Boyutları....	40
Şekil 5.2	Matematiksel Model ile Deneysel Sonuçlarının Karşılaştırılması.....	46
Şekil 6.1	Taşıttaki Hareket Etmeden Doğrusal, Yanal ve Yerçekimi İvmelenme Grafiği.....	48
Şekil 6.2	0-100 Km/h İvmelenme Grafiği.....	49
Şekil 6.3	100-0 ve 0-100Km/h İvmelenme Grafiği.....	50
Şekil 6.4	Sabit Hızlarda Sola ve Sağa Viraj.....	51

Şekil 6.5	Sabit Hızlarda Sağa Viraj.....	52
Şekil 6.6	0-100km/h Hızlanmada Doğrusal, Yanal ve Yerçekimi İvmelenmesi Grafiği.....	53
Şekil 6.7	80-120km/h Hızlanmada Yerçekimi İvmesinin Değişimi Grafiği.....	54

RESİMLER DİZİNİ

Resim No		Sayfa No
Resim 5.1	Deney Yolunun Genel Görünüşü.....	37
Resim 5.2	İvmeölçer Sensörünün Görünüşü.....	37
Resim 5.3	Labjack ve Enerji Kaynağının Genel Görünüşü.....	38
Resim 5.4	İvme Ölçer Sensorunun Araca Montajı.....	38
Resim 5.5	U3 Veri Aktarıcısının Görünüşü.....	40
Resim 5.6	U3 Veri Aktarıcısının Montajı.....	41
Resim 5.7	Deney Taşıtının Görünüşü.....	42
Resim 5.8	GPRS Uydu Destekli Koordinat Belirleyici.....	43
Resim 5.9	Afyon-İzmir Karayolu (10.Km).....	44
Resim 5.10	Ön ve Arka Dingil Ağırlıklarının Ölçülmesi.....	45

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge No		Sayfa No
Çizelge 3.1	80 km/h Hızdaki Taşıtın Yavaşlama Sırasındaki Hız ve İvme Değişimleri.....	8
Çizelge 3.2	Frenleme de Pedal Kuvveti, İvme Hız ve Yolun Zamana Göre Değişimi.....	15
Çizelge 3.3	Hıza Bağlı Durma Mesafesi Değişimleri.....	16
Çizelge 3.4	Lastiklerin Yol Üzerindeki Tutunma Katsayıları	27
Çizelge 3.5	Titreşim Karakteristikleri.....	28
Çizelge 3.6	Titreşim Frekans ve İvmenin Etkisi.....	29
Çizelge 3.7	Taşıt Titreşimleri.....	30
Çizelge 4.1	İvmeölçerlerin Karşılaştırılması.....	35
Çizelge 5.1	ASC 5411 3 Eksenli Piezoelektrik İvmeölçer.....	39
Çizelge 5.2	Motor Karakteristikleri.....	42
Çizelge 5.3	Seri Deneyler Öncesi Yapılan Kontroller.....	44

1. GİRİŞ

Otomobilin icadından günümüze kadar olan hızlı gelişimi hala devam etmektedir. Taşıt sektöründe faaliyet gösteren firmalar taşıt motoru, aerodinamik yapısı, aktif ve pasif güvenlik sistemleri gibi geniş bir yelpazede Ar-Ge çalışmaları yapmakta ve gün geçtikçe iyileşmeler sağlanmaktadır. Buradaki asıl amaç az yakıt sarfiyatlı, güçlü, hızlı, sağlam ve ekonomik taşıt üretebilmektir. Taşıtlar la ilgili analiz edilen önemli başlıklardan biri de fiziksel bir durumu ortaya koyan ivme analizi oluşturmaktadır.

Taşıtlar günlük hayatın vazgeçilmez unsurları olup hemen herkes farklı şekillerde yararlanmaktadır. Farklı yol şartlarında ve hızlarda meydana gelen ivme değişimleri taşıt, sürücü ve yolcular üzerinde farklı etkilere neden olmaktadır. İvme değişimlerinin belirlenmesi taşıt imalatında tahrik-fren gibi yapısal özelliklerin yanı sıra aktif ve pasif güvenlik sistemlerinin tasarımında da temel oluşturmaktadır.

Günümüzde kullanılan taşıtlar ile yarış otomobillerinin maksimum hıza ulaşma zamanı farklıdır. Yarış otomobilleri hususi otomobillere göre yüksek hızlara, daha kısa zamanda ulaşmaktadır. Bu ani hızlanmadan dolayı ivme değerleri yüksek olmaktadır. Ani ivmelenmede insanlar daha fazla etki altında kalmakta ve taşıtın hareket yönünün tersine doğru hareket etme eğilimi göstermektedir.

Otomobil imalatçıları farklı şartlarda birçok deney yapmakta ve taşıtların 0–100 km/h aralığındaki hızlanma değerlerini açıklamakta ve farklı taşıtların karşılaştırılabilmesi imkânı oluşturmaktadırlar. Bu süre içerisinde taşıtta ani bir ivmelenme gerçekleşmektedir. Taşıtların hızlanması (tahrik) esnasındaki ivmelenme ile frenleme esnasındaki ivmelenme arasında önemli ölçüde ivme değişimi olmaktadır.

İvme değişimi sadece otomobil sınıfındaki taşıtlar için değil tüm taşıtlarda etkilidir. Frenlemenin etkisi yavaşlamanın niteliğine göre değerlendirilmektedir. Gelişmiş taşıtlarda yavaşlama ivmesi yaklaşık 1 G ($9,81 \text{ m/s}^2$) den daha azdır. 1 G denildiğinde ifade edilen ağırlığın bir kat arttığıdır.

Özellikle uçak gibi hızları yüksek olan taşıtlarda G değeri çok daha etkili olup, ivme değişiminin insan üzerindeki etkisini ortadan kaldırmak için bazı özel kıyafetler

kullanmak gerekmektedir. Formula yarışlarında sürücüler yaklaşık 3 G, pilotlar ise manevralar sırasında 8 G değeri elde edebilmektedir. Özel kıyafetler ile vücuttaki bazı organların etkilenmesi engellenmektedir.

Yapılan deneysel çalışmada, taşıtlarda ivme ölçümleri farklı yol şartlarında yapılarak analiz yapılmış ve matematiksel modelleme gerçekleştirilmiştir. Taşıt üzerinden ivme ölçümü için üç eksenle titreşim verisi toplayabilen ve diz üstü bilgisayara USB portundan bağlanabilen U3 veri toplama ünitesi ve bir adet üç eksenli ivmeölçer kullanılmıştır. U3 veri toplama ünitesinin LabVIEW sürücülerini kullanarak; 2001 model Volkswagen Bora taşıtı ile çeşitli virajlarda ve düz yolda ve farklı doğrusal eğimlerde ivme değişimleri ölçülmüştür. Testler Afyonkarahisar-İzmir karayolunun 15 ila 30. kilometresinde hızlanma, sabit hız, frenleme esnasındaki ivme ölçümleri yapılarak gerçekleştirilmiştir. İvme değişimlerinin taşıt üzerindeki etkileri belirlenmiştir.

2. LİTERATÜR ÖZETİ

İvme değişimleri üzerinde birçok çalışma yapılmış olmakla beraber, ivmenin taşıt, sürücü, yolcu üzerindeki etkileri ile bu etkilerin sonuçları üzerinde az sayıda araştırma bulunmaktadır. İvme lm konusunda yapılan bazı çalışmalar aşağıda sunulmuştur;

Brol and Mamala (2006) alışmalarında, taşıt üzerine monte edilmiş iki eksenli ivmeölçer kullanarak taşıt ivmelenme deneyleri yapmışlardır. Sensor hassasiyeti, ivmeölçer ve çalışan motora ilişkin gürültüleri, anlık ivmelenme ve frenleme süresince meydana gelen ivmelenme ve yol bozukluğundan kaynaklanan rahatsızlıkları değerlendirmişlerdir. Simülasyon ve deney sonuçlarında ivmelenme ölçümlerinin aracın ivmelenirken ve frenlerken süspansiyon tepkilerinden ve yoldaki bozukluklardan dolayı kesin sonuç vermediğini kanıtlamışlardır.

Kaplan ve Dölen (2003) Mikro-Elektro-Mekanik Sistemlerin (MEMS) retim metotlarını kısaca tanıtıp, yüzey/gövde mikro-işleme, elektro-erozyon, lazerle işleme ve yüksek derinlik oranlarına sahip mikro yapıların üretiminde kullanılan LIGA teknikleri gibi başlıca mikro-üretim yöntemlerini karşılaştırmalı olarak ele almışlardır. Bu retim teknikleriyle yapılmış silisyum tabanlı mikro-sensör (micro-sensors) ve mikro eyleyicilere (micro-actuators) eşitli örnekler vermişlerdir.

Navarro and Canale (2001) yüklü taşıtın ivmelendirilmesinde yerçekimi ve ağırlık merkezinin etkisini analiz etmişlerdir. Aracın ağırlık merkezi, yükün ve yerçekiminin fonksiyonu gibi durumları incelemişler ve aracın ivmelenmesini, ağırlık merkezi yer çekimi dikkate alınarak hesaplanmıştır. Ağırlık merkezi ve yer çekiminin pozisyonu, taşıtlar için emniyet, verimlilik, yk ve taşıma ekonomisi açısından önemli olduğu vurgulanmıştır.

Xia (1999) taşıt ivmelenme performansı için çeşitli şartlar da test verisi alıp standart bir duruma getirmek için analitik bir metot geliştirmiştir. Farklı test şartları yüzünden kaynaklanan taşıt performans ölçümlerindeki değişkenliğin, bu yöntem kullanılarak %50 oranında düşürülebileceğini belirtmiştir.

Yang et al. (2007) ivme ölçüm cihazıyla, taşıtların ileri ve dikey ivmelenmesini, aynı zamanda hem statik hem de dinamik ölçümlerin yapılabilmesine değinmişler. Bu ölçüm cihazı ile yük taşımacılığında kullanılan taşıtların sürücü kabin yükünün ölçülebileceğini ve karayolları uzmanlarının herhangi bir zamanda GPRS ile yükü kontrol edebileceklerini ve böylece aşırı yüklü taşıtların belirlenebileceğini açıklamışlardır.

Lelong and Michelet (2006) taşıt gürültüsünün ivmelenmeye etkisini araştırmışlardır. Trafikteki ses seviyelerinin değişimlerini önceden belirleyebilmek için ivmelenme ölçümlerindeki gürültüye ihtiyaç olduğunu ve test aracı üzerinde çalışılarak bu ölçümlere kolayca ulaşılabileceğini belirtmişlerdir. Kinematik verilerin eş zamanlı ölçümü, mekanik parametreler ve akustik seviyeleri esas alarak ölçmeler yapmışlardır. Elde edilen sonuçlar, aynı hızlarda ivmelenme seviyeleri ile seyir seviyeleri arasında önemli farklar olduğunu gözlemlemişlerdir.

Zhao and Gao (2005) bu çalışmalarında, frenleme ivmesini sayısal yöntemlerle incelemişlerdir. Simülasyon sonuçlarında, özellikle acil durumlarda, frenleme ivmesinde, sürücü faktörünün trafikte önemli bir etkisi olduğu görülmüştür.

Hansson et al. (2001) eğim ölçümü için üç eksenli ivmeölçerlerin kullanılmasını ve güvenilirliğini incelemişler. Eğim ölçümü deneylerden elde edilen verilerden doğru sonuç alabilmek için tek eksenli ivmeölçerlerin kullanıldığı bir bilgisayar programından ve üç eksenli ivmeölçerlerden yararlanmışlar. İvmeölçer verilerinin taşıt deneylerinde kullanılabileceğini belirtmişlerdir.

Lee (2008) yolcu taşıtlarında ivmelenme süresince taşıt içerisindeki sesin etkisini incelemiştir. Taşıt içerisindeki gürültü ve sesin değerlerini belirleyip YSA ile modellemesini gerçekleştirmiştir.

Xiaomei and Ziyou (2007) çalışmalarında, hız ve hız-ivme modelinin kararlılık tahlilini yapmışlardır. Kararlılık analizinin, trafik akış teorisinde önemli problemlerden biri olduğunu belirtmişlerdir. Teorik olarak, taşıt izleme modellerine (FVDM) ivme farkı teriminin eklenmesi ile önerilen, hız ve hız-ivme modelinin (FVADM) kararlı şartlarını

tahlil etmişlerdir. Sayısal simülasyonlarla, trafik akışının kararsız olduğunu, FVADM'deki trafik sıkışmasının FVDM'ye göre daha yetersiz olduğunu bulmuşlardır.

Avenue (2001) Piezoelektrik (PE) titreşim sensörleri ile yapılan ölçümlerle ilgili olarak ölçüm değer aralığı, frekans aralığı, örnekleme oranı ve giriş genliği, PE ivmeölçerden gelen verilerle birlikte, PE ivmeölçer ve ilgili sinyal şartlandırıcı ölçüm değer aralığını veya müsaade edilen giriş genliğini etkileyeceğini belirtmiştir.

Yapılan çalışmada ivmeölçer kullanarak farklı yol ve hız durumlarında taşıt üzerinde ivmenin nasıl değişim gösterdiği deneysel olarak belirlenmiştir.

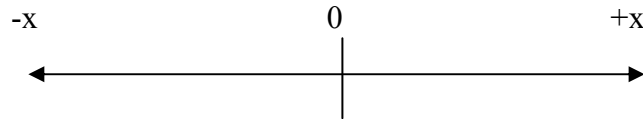
3. İVME VE ETKİLERİ

Günlük hayatta özellikle de taşıtlarda ivmelenme ve bunun sonucunda ortaya çıkan etkiler insanları doğrudan etkilediğinden oldukça önemlidir. Birçok parametre ivme üzerinde etkili olmakla birlikte bu parametrelerden önemli olanları aşağıda açıklanmıştır.

3.1 Hız

Birim zamanda alınan yola hız denilmektedir ve hız, ivmenin zamana göre değişimi olarak da tanımlanmakta ve birimi m/s ya da km/h olarak SI birim sisteminde ifade edilmektedir. Konumun zamana göre nasıl değiştiği bilinirse cismin hızı, bu hız değerinin de yine zaman içinde nasıl değiştiğinden, cismin ivmesi bulunabilir. Bu sebepten dolayı hareketli cisimler incelenirken ilk yapılacak, cismin konumunu, uygun koordinat sistemi kullanarak belirlemektir. Hareket, doğru boyunca olur, yani bir boyutta gerçekleşirse, vektörel gösterim kullanılmadan hareket tam olarak tanımlanabilir. Doğru üzerinde bir referans noktası seçilerek, hareketli cismin konumu bu referans noktasına göre tanımlanır (İnt. Kyn. 1).

Cismin bulunduğu nokta sıfır (başlangıç) olarak alınırsa; cisim $-x$ yönünde hareket etmesi negatif, $+x$ eksen yönünde hareket etmesi de pozitif olacaktır. Hareketli cismin doğrultu ve yönüne ilişkin bilgiler Şekil 3.1 de görüldüğü gibi bir doğru üzerinden elde edilebilir.



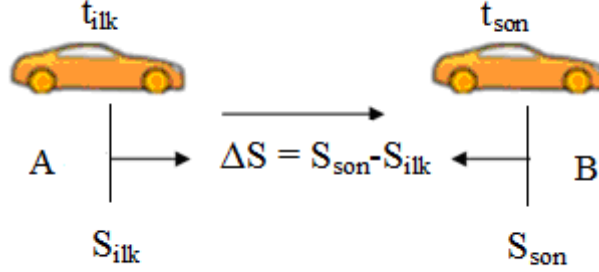
Şekil 3.1 Cismin Yer Değiştirmesi (İnt. Kyn. 1).

Yer değiştirme, hareket eden bir cismin ilk (S_{ilk}) ve son (S_{son}) konumu arasındaki fark olarak tanımlanır. Yani

$$\Delta S = S_{son} - S_{ilk} \quad (3.1)$$

Eğer $S_{son} = S_{ilk}$ ise yer değiştirme $\Delta S=0$ olur.

Ortalama Hız: Bir cisim Δt zaman aralığında ΔS kadar yer değiştiriyor ise ortalama hızı ΔS 'in Δt 'ye oranı olarak tanımlanmaktadır. Örneğin hareketli bir cisim $\Delta t = t_{\text{son}} - t_{\text{ilk}}$ zaman diliminde S_{ilk} konumundan (A) S_{son} konumuna (B) yer değiştirdiğinde;



Şekil 3.2 Zamana Göre Yer Değiştirme

$\Delta S = S_{\text{son}} - S_{\text{ilk}}$ iki konum farkı

$\Delta t = t_{\text{son}} - t_{\text{ilk}}$ iki konum arasında geçen zaman

Bu cismin ortalama hızı:

$$\text{Ortalama hız: } V_{\text{ort}} = \frac{\Delta S}{\Delta t} = \frac{S_{\text{son}} - S_{\text{ilk}}}{t_{\text{son}} - t_{\text{ilk}}} \quad (3.2)$$

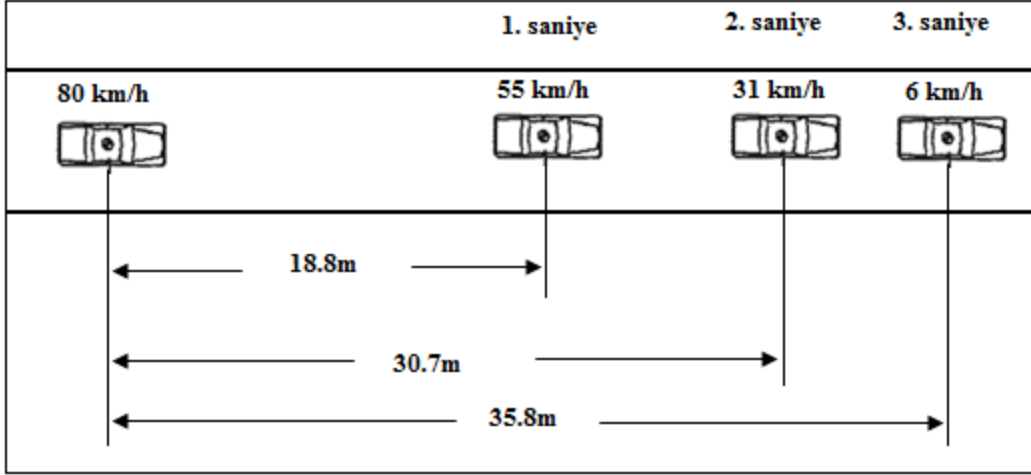
3.1.1 Taşıtın Yavaşlaması Sırasında Herhangi Bir Andaki Hız ve Uzaklık İlişkisi

Taşıtın yavaşlaması sırasında, taşıt duruncaya kadar her saniye için uzaklık ve hız miktarı hesaplanabilir.

$$S = V_1 \cdot t \left(\frac{a \cdot t^2}{2} \right) \quad (3.3)$$

$$V_2 = \sqrt{V_1^2 - 2 \cdot a \cdot S} \quad (3.4)$$

Örneğin, 80 km/h hız ile hareket eden taşıtta, bu hızda tam frenleme yapılmaktadır. Yol kuru asfalt yol olup, sürtünme katsayısı 0,7 olarak belirlenmiştir. Taşıt duruncaya kadar her saniye içinde almış olduğu yol ve hızın bulunması; (Şekil 3.3).



Şekil 3.3 80 km/h Hız ile Hareket Eden Taşıtın Frenleme Sonrası Anlık Hızı ve Aldığı Yol (Bebek 1997).

Çizelge 3.1 80 km/h Hızdaki Taşıtın Yavaşlama Sırasındaki Hız ve İvme Değişimleri (Bebek 1997).

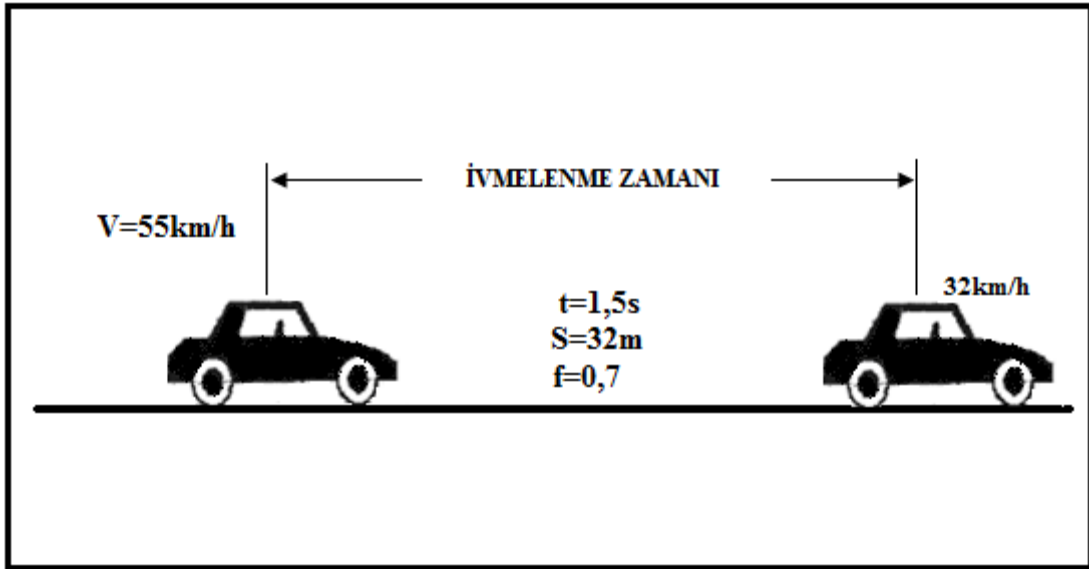
Taşıtın kaymaya başladığı andaki hızı	80 km/h = 22,22 m/s
Yavaşlama ivmesi	0,7.9,81 = 6,87 m/s ²
Sürtünme katsayısı	0,7
Yavaşlama ivmesi	0,7.9,81 = 6,87 m/s ²
1.saniyede aldığı yol	$22,22 - 6,87/2 = 18,8$ m
1.saniye sonundaki hızı	$\sqrt{(22,22^2 - 13,74.18,8)} = 15,43.3,6 = 55,23$ km/h
2.saniyede aldığı yol	$15,43 - 6,87/2 = 11,99$ m
2.saniye sonundaki hızı	$\sqrt{(15,43^2 - 13,74.11,99)} = 8,56.3,6 = 30,83$ km/h
3.saniyede aldığı yol	$8,56 - 6,87/2 = 5,12$ m
3.saniye sonundaki hızı	$\sqrt{8,56^2 - 13,74.5,12} = 1,71.3,6 = 6,15$ km/h
Toplam durma süresi	$80/(35,32.0,7) = 3,2$ sn

3.1.2 İvmelenerek Hızlanan Taşıtın Zamana veya Yola Bağlı Olarak Son Hızının Bulunması

$$V_2 = V_1 + g \cdot t \cdot f \quad (\text{süreye bağlı}) \quad (3.5)$$

$$V_2 = \sqrt{V_1^2 + 2 \cdot g \cdot d \cdot f} \quad (\text{yola bağlı}) \quad (3.6)$$

Örneğin Şekil 3.4'te görülen taşıt 55 km/h hız ile hareket ederken ivmelendirilerek 32 metrelik yolu 1,5s'de alması sağlanıyor. Yol ile tekerlek arası sürtünme katsayısı 0,7 olduğuna göre, taşıtın son hızının bulunması; (Bebek 1997).



Şekil 3.4 55 km/h Hızla Hareket Eden Taşıtın İvmelenmesi (Bebek 1997).

Süreye bağlı olarak hız :

$$V_2 = 15,28 + (9,81 \cdot 1,5 \cdot 0,7) = 25,58 \text{ m/s} \cdot 3,6 = 92,02 \text{ km/h}$$

Yola bağlı olarak hız :

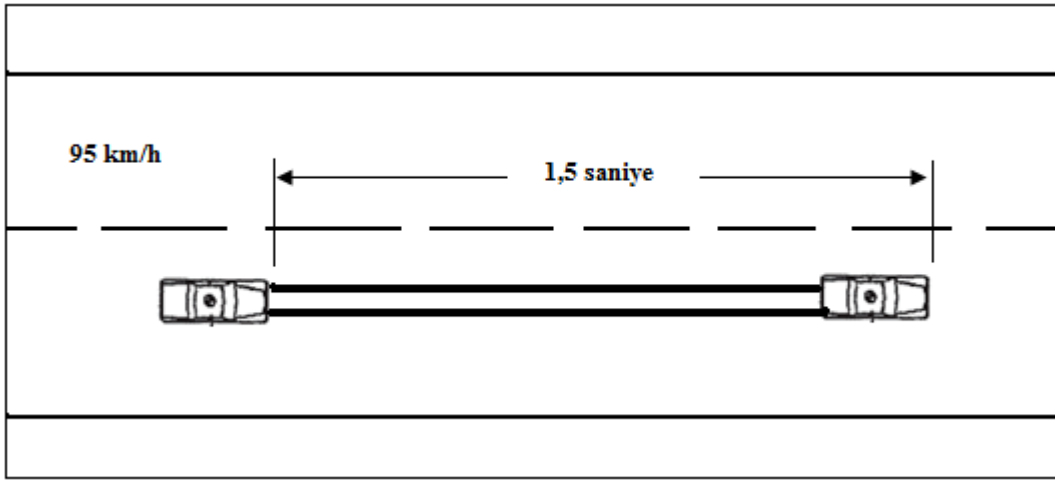
$$V_2 = \sqrt{15,28^2 + (19,62 \cdot 32 \cdot 0,7)} = 25,94 \text{ m/s} = 93,38 \text{ km/h}$$

3.1.3 Fren Yaparak Yavaşlayan Taşıtın Zaman-Yola Bağlı Olarak Son Hızının Bulunması

$$V_2 = V_1 - g.t.f \quad (\text{zamana bağlı}) \quad (3.7)$$

$$V_2 = \sqrt{V_1^2 - 2.g.d.f} \quad (\text{yola bağlı}) \quad (3.8)$$

Örneğin, Şekil 3.5'te görülen taşıt 95 km/h hız ile hareket ederken fren yaparak yavaşlatılmış ve 1,5 sn içerisinde 32 m yol alması sağlanmıştır. Yol ile tekerlek arası sürtünme katsayısı 0,7 olduğuna göre, taşıtın son hızının bulunması.



Şekil 3.5 95 km/h Hızla Hareket Eden Taşıta Fren Uygulandığındaki Son Hızı (Bebek 1997).

Süreye bağlı olarak:

$$V_2 = 26,40 - (9,81.1,5.0,7) = 16,10 \text{ m/s} \cdot 3,6 = 57,95 \text{ km/h}$$

Yola bağlı olarak:

$$V_2 = \sqrt{26,4^2 - (19,62.32,07)} = 16 \text{ m/s} = 57,6 \text{ km/h}$$

3.2 İvme

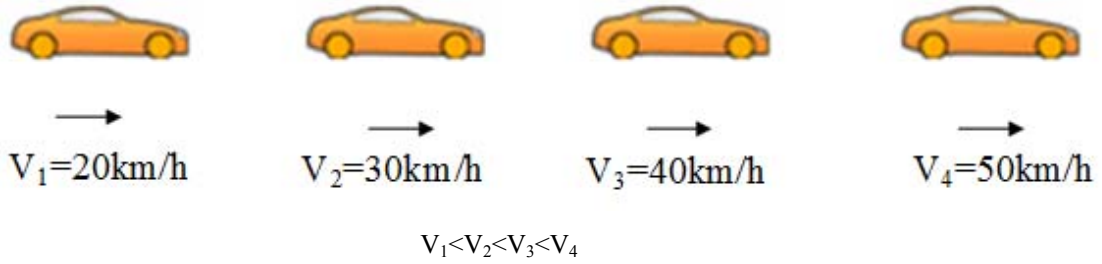
İvme; değişiklik gösteren bir harekette, hareketin bir zaman dilimi içindeki değişme oranıdır. İvme (a) ile gösterilir. Hızlanmada ve yavaşlamada gibi durumlarda ivme değerinde değişimler olmaktadır.

Hareket halinde olan bir taşıtın hızı, hareket süresince değişim göstermektedir. Hızın değişmesi taşıtın ivmesinin olduğunun bir göstergesidir (Ertaş 1993).

3.2.1 İvme Çeşitleri ve Taşıtlara Etkileri

Şekil 3.6'da görüldüğü gibi taşıtın hızı zaman içerisinde arttığından ivmelenme olduğu görülmektedir ve bu etki artan ivmedir.

$a = \frac{v}{t}$ formülünden de anlaşılacağı gibi hız arttığında taşıtın ivmesi artar, hız azaldığında taşıtın ivmesi de azalır.



Şekil 3.6 Taşıtta Hız Değişimi (Artan İvmelenme)

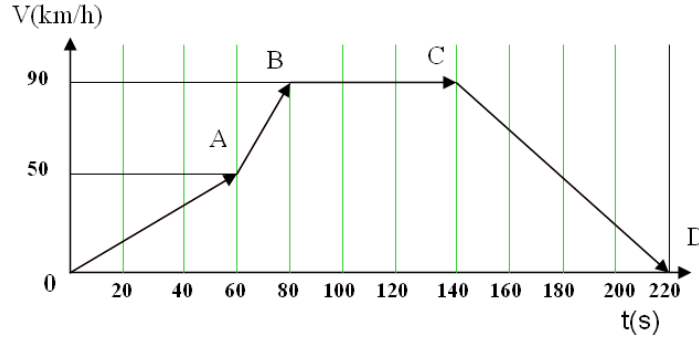
Artan ivme: Taşıtın hızında zamana göre artış olursa, ivme de artış olur.

Azalan ivme: Taşıtın hızında zamana göre azalma olursa, ivme de azalma olur.

Sabit ivme: Taşıtın hızı sabit olursa, ivme de sabit olur.

Kırmızı trafik ışığında bekleyen bir otomobilin hızı yoktur ve durmaktadır. Işık yeşil yanınca, sürücü gaz pedalına basar ve otomobil ileri doğru hareket eder (Şekil3.7). Bir dakikadan daha az bir sürede, otomobil 50 km/saatlik bir hıza erişebilir (A noktasına ulaşır). Taşıtın hızında artış olduğundan ivme de artan ivmedir. Daha sonra otomobil hızını 90 km/h'lik limit hıza ulaşabilir (B noktasına ulaşır). A-B noktası arasındaki hızdaki artış, 0-A noktasına göre daha fazla olduğu için, ivme değeri daha fazla olur. 90

km/h'lik sabit hızla C noktasına varır. Bu hız sabit hız olup, zamanla değişmez. B-C noktasında hız sabit olduğu için, ivme de sabittir. Otomobil frenine basmak suretiyle hız zamanla azaldığından, ivme azalan ivmedir. (D noktasına ulaşır). Azalan ivme, otomobilin zaman içinde yavaşlayıp, durmasını sağlar. Bu durumdaki hareketlere düzgün yavaşlayan hareket denilmektedir.



Şekil 3.7 Hız-Zaman Grafiğinin Genel Görünüşü
0-A arası: Artan İvme. A-B arası: Artan İvme.
B-C arası: Sabit İvme. C-D arası: Azalan İvme

Karayolu taşıtlarından örneğin, motosiklet, otomobil ve trenin 0-100 km/h hıza ulaşma zamanları farklıdır. Taşıtlarla ilgili tekerlek, motor gücü, momenti, yol ve zemin şartları gibi birçok parametre etkilidir.

Manuel vitesli otomobillerde ani vites değiştirmelerde ivmenin etkisi daha çok hissedilir. Özellikle ilk kalkışta, 1. vitesten 2. vitese, 2. vitesten de 3. vitese geçişte ivmenin etkisi sürücü ve yolcular tarafından belirgin bir şekilde hissedilir. 2. vitesten 3. vitese geçişi incelendiğinde; taşıt 3500 dev/dak'da 2. viteste ilerlerken taşıtın hızında artış olduğundan, ivmelenme pozitif yöndedir ve taşıtta bulunanlar taşıtın hareket yönünün aksine doğru hareket eğilimi gösterirler. Sürücü vites değiştirmek için debriyaj pedalına bastığında, taşıtın hızının artış oranı azaldığı için ivme negatif yönde olur ve taşıtta bulunanlar, aracın hareket yönüne doğru eğilim gösterirler. Taşıt 3. vites konumuna alındığında, sürücü ayağını debriyaj pedalından çekip gaz pedalına bastığında, taşıtın hızı artar ve pozitif ivme tekrar etkili olur (Bebek 1997).

İlk hız ile son hız arasındaki değişmelerde ise;

$$V_0-V_2 \text{ formülü kullanılır.} \quad (3.9)$$

t zamanında meydana gelmiş ise;

Ortalama ivme:

$$a_{\text{ort}} = \frac{V_0 - V_2}{t} \quad (3.10)$$

olur.

Yokuşta fren yapıldığı zaman ivmenin yaklaşık değeri;

$$a_{\text{eğim}} = a + \tan \alpha \cdot g \text{ dir.} \quad (3.11)$$

Buna göre fren mesafesi;

$$S_f = \frac{V_2^2}{25,95 \cdot (a + \tan \alpha \cdot g)} \quad (3.12)$$

$$V = \sqrt{25,95 \cdot S_f \cdot (a + \tan \alpha \cdot g)} \quad (3.13)$$

$$a = f \cdot g \quad (3.14)$$

olduğuna göre;

$$V = \sqrt{25,95 \cdot 9,81 \cdot S_f \cdot (f + \tan \alpha)} \quad (3.15)$$

$$V = 16 \cdot \sqrt{S_f \cdot (f + \tan \alpha)} \quad (3.16)$$

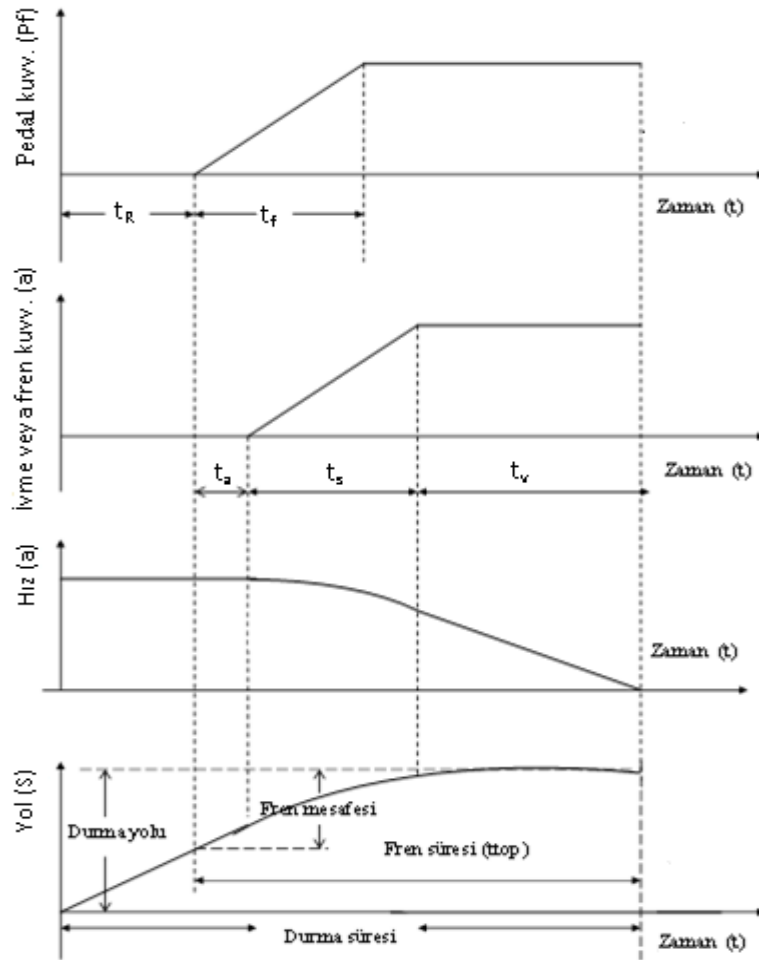
bulunur.

3.2.2 Frenleme İvmesi

Frenleme sırasında ortaya çıkan ivme negatif ivme olup genellikle taşıtın hızlanmasına göre daha yüksek değerdedir.

Karayolu taşıtlarında, güvenlik bakımından en fazla 0,32 g lik frenleme ivmesi öngörülmekte, bunun üzerindeki yavaşlama ivmeleri rahatsız edici olmaktadır. İnsanların dayanabileceği maksimum frenleme ivmesi ise 20 g kadardır (Çetinkaya 2004).

Taşıt hareket halinde iken, sürücünün engeli görmesiyle başlayıp fren pedalına kuvvet uygulaması ile devam eden ve aracın durma anına kadar geçen durum ve zaman değişimi Şekil 3.8’de gösterilmiştir.



Şekil 3.8 Frenleme de Pedal Kuvveti, İvme Hız ve Yolun Zamana Göre Değişimi (Göktan vd. 1995).

Reaksiyon süresi: Engelin görülmesi ile pedala basmaya karar verme ve basma arasında geçen süredir. Bu süre, kişisel ve çevre şartlarına bağlı olarak 0,3-0,7 s arasında değişmektedir. Fren cevap ve basınç artış süreleri ise taşıtın türüne ve özelliklerine bağlı olarak, 0,36-0,54 s arasında değişmektedir (Gökten vd. 1995).

Güvenlik mesafesi: En az, reaksiyon zamanı içerisinde katedilebilecek mesafe olmalıdır. Bu mesafe en az 0,3 V alınabilirse de, 0,5 V tavsiye edilmektedir (Yasal durumlarda genellikle, 1,5 s reaksiyon zamanını karşılayan 0,42 V değeri esas alınmaktadır.) (Çetinkaya 2004).

Çizelge 3.2 Frenleme de Pedal Kuvveti, İvme Hız ve Yolun Zamana Göre Değişimi (Çetinkaya 2004).

Süre	Sembol	Değer
Reaksiyon Süresi	(t_R)	Dikkatli 0,3-0,7 s
		Dikkatsiz veya kötü reaksiyon 1,5 s
İşletme süresi	(t_f)	0,01-0,1 s
Cevap Süresi	(t_a)	0,1-0,6 s
İntibak Süresi	(t_s)	0,3-1 s
Fren kuvvetinin (max.) etkili olduğu süre	(t_v)

Durma Mesafesi: Taşıtın, herhangi bir engel gördükten sonraki durma mesafesi; kayıp zaman (t_R+t_f) ve fren kuvvetinin maksimum etkili olduğu süre (t_v) süresince katedilen mesafenin toplamıdır. Sürücünün, olayı gördükten sonraki reaksiyon süresi t_R ile maksimum frenleme ivmesi için gerekli olan fren basıncı artış süresi t_v nin yarısına kadar, herhangi bir yavaşlama ivmesi oluşmadığından, bu sürelerin toplamı kayıp zaman olarak değerlendirilir (Çetinkaya 2004).

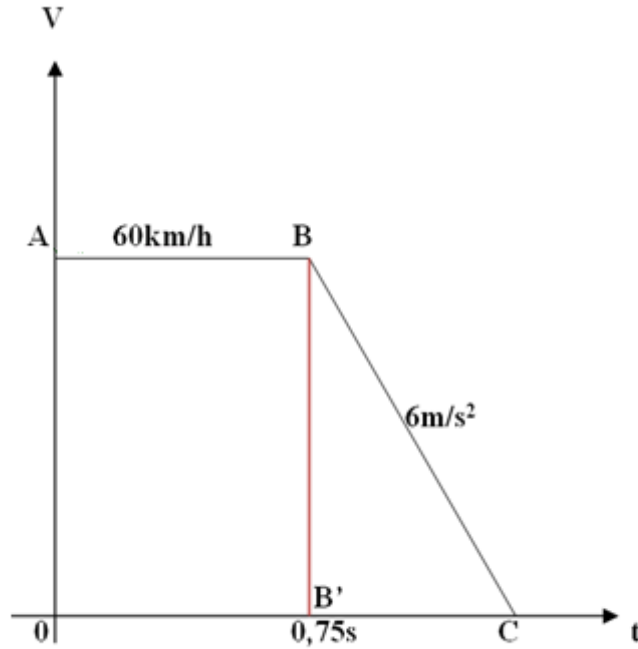
Düzgün ve kuru bir otoyoldaki yaklaşık durma mesafesi, Çizelge 3.3’de verilmiştir.

Çizelge 3.3 Hıza Bağlı Durma Mesafesi Değişimleri (Çetinkaya 2004).

Hız (km/h)	Sürücünün Reaksiyon Mesafesi (3/4 s) m	Otomobil	
		Frenleme Mesafesi (m)	Toplam Mesafe (m)
32	6,7	7,6	14,3
48	10,1	16,8	26,9
64	13,4	32,0	45,4
80	16,8	57,1	73,9
97	20,1	91,4	111,5
113	23,5	138,1	161,6
129	26,8	198,1	224,9

Örneğin; Frenleri sağlam olan bir taşıt 6 m/s^2 'lik bir ivme ile yavaşlayabilmesi için sürücü tehlikeyi gördükten ne kadar zaman sonra durmuş olabilir ve bu sürede ne kadar yol almaktadır (Göktaş vd. 1995).

Sürücünün tehlikeyi gördüğü an zaman başlangıcı olarak ele alındığında; 0,75 s. süresince sürücü fren pedalına basmamış olduğundan, taşıt 60 km/h hızla gitmeye devam edecek ve sürtünme ve direnç kuvvetlerinin etkisi ile taşıt bir zaman sonra duracaktır.



Şekil 3.9 60 km/h Hızda Yavaşlama Esnasında Hızın Zamana Göre Değişimi.

$$a = \frac{v}{t} \quad (3.17)$$

$$t = \frac{v}{a} \quad (3.18)$$

$$t = \frac{16,7}{6}$$

$$t=2,8 \text{ s}$$

Taşıt duruncaya kadar

$t=0,75+2,8=3,55\text{s.}$ 'ye geçecektir.

Bu esnada alınan yol OABC yamuğunun alanıdır.

$$S = \frac{AB+OC}{2.OA} \quad (3.19)$$

$$S = \frac{0,75+3,55}{2.16,7}$$

$$S = 36 \text{ m}$$

Taşıtın 36m'den önce durması imkânsızdır.

3.2.3 İniş Eğimde Fren İzi Belli Olan Taşıtın Hızının Bulunması

Yokuş inişli bir yol üzerinde meydana gelmiş bir trafik kazasındaki aracın fren izine göre kazadan önceki hızı da şu formülle hesaplanmaktadır (Bebek 1997).

(Yokuşta fren yapıldığı zaman ivmenin yaklaşık değeri)

$$a = a_{\text{eğim}} - p.g \text{ m/s}^2 \text{ 'dir.} \quad (3.20)$$

$$a = f.g$$

olduğuna göre;

$$V = \sqrt{25,95 \cdot S_f \cdot (f \cdot g - p \cdot g)} \quad (3.21)$$

$$V = \sqrt{25,95 \cdot S_f \cdot g \cdot (f - p)} \quad (3.22)$$

$$V = \sqrt{25,95 \cdot 9,81 \cdot S_f \cdot (f - p)} \quad (3.23)$$

$$V = 16 \cdot \sqrt{S_f \cdot (f - p)} \quad (3.24)$$

3.2.4 Alınan Mesafe ve Süresi Bilinen Taşıtın Hız ve İvmesinin Bulunması

Elektrik direği, kedigözü gibi yol üzerinde belli aralıklarla yer alan noktalardan yararlanılarak taşıtın hızı ve ivmesi bulunabilir.

$$V_1 = \frac{V_{11} - 1}{2 \cdot t_1 \cdot a} \quad (3.25)$$

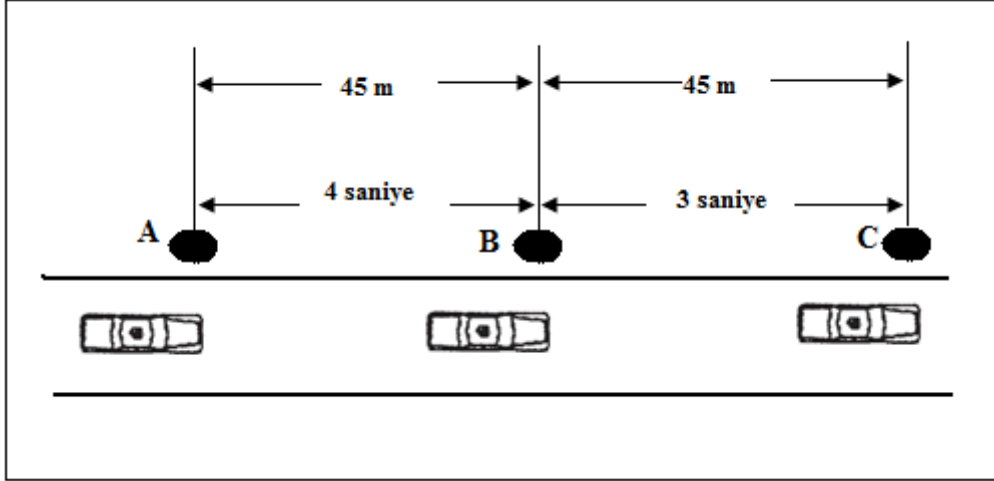
$$V_2 = \frac{V_{11} + 1}{2 \cdot t_1 \cdot a} \quad (3.26)$$

$$a = \frac{(V_{12} - V_{11})}{\frac{1}{2} \cdot (t_1 + t_2)} \quad (3.27)$$

$$V_{11} = \frac{d_1}{t_1} \quad (3.28)$$

$$V_{12} = \frac{d_2}{t_2} \quad (3.29)$$

Örneğin, taşıt yeterince trafik işaret ve levhalarının bulunmadığı köy yolunda gidiyor. Yol kenarına 45 m ara ile elektrik direkleri dikilmiştir. Taşıt Şekil 3.10'da görülen A elektrik direğinden B direğine 4 s'de, B direğinden C direğine ise 3 s'de ulaşıyor. Taşıtın A ve B elektrik direklerinin önünden geçerken olan hızlarını ve ivmesini bulunması; (Bebek 1997).



Şekil 3.10 Eşit Uzaklıklarda Dizilmiş Noktalardan Geçen Taşıtın Hız ve İvmesinin Bulunması (Bebek 1997).

$$\text{X noktasındaki hız} \quad V_{11} = \frac{45}{4} = 11,25 \text{ m/s}$$

$$\text{Y noktasındaki hız} \quad V_{12} = \frac{45}{3} = 15 \text{ m/s}$$

Taşıtın ivmesi

$$a = \frac{15,00 - 11,25}{0,5 \cdot (3 + 4)} = 1,07 \text{ m/s}^2$$

Taşıtın A noktasındaki hızı:

$$V_A = (11,25 - 0,5 \cdot 4 \cdot 1,07) \cdot 3,6 = 32,79 \text{ km/h}$$

Taşıtın B noktasındaki hızı:

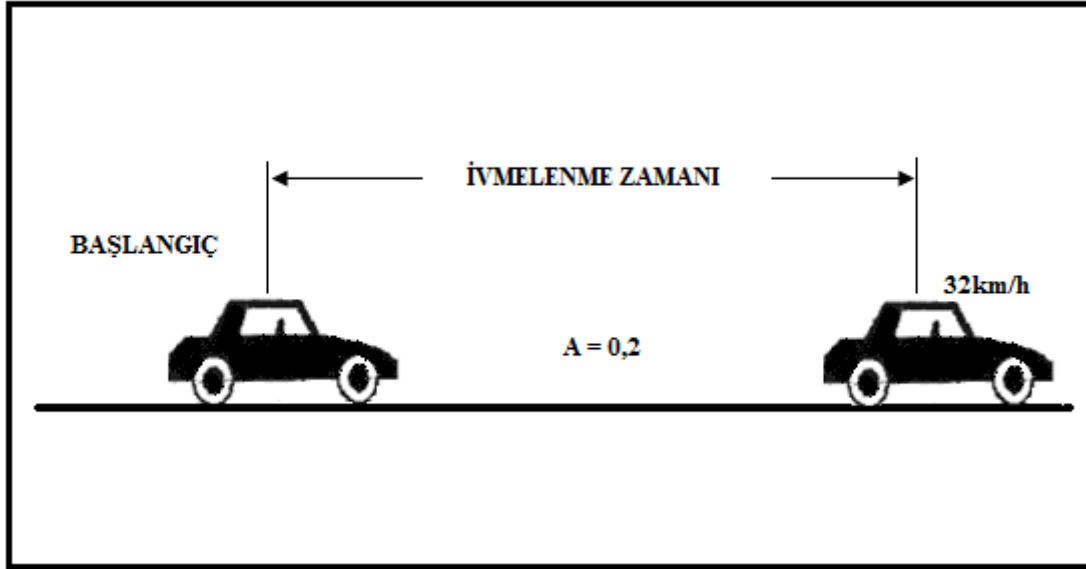
$$V_B = (11,25 + 0,5 \cdot 4 \cdot 1,07) \cdot 3,6 = 48,20 \text{ km/h}$$

3.2.5 Taşıtın İvmelenmesi İçin Gerekli Sürenin Bulunması

Taşıtın duruş halinden harekete geçerek belirli bir mesafeye ulaşması için gerekli olan süre bulunabilir.

$$t = \frac{V}{35,28.A} \quad (3.30)$$

Örneğin Şekil 3.11’de görüldüğü üzere taşıt durur konumundan harekete geçirilerek 32 km/h hıza ulaştırılıyor. Taşıt ve yol durumu göz önünde bulundurularak ivmelendirme faktörü 0,2 olarak tespit edilmiştir. Taşıtın ivme kazanması için gerekli olan sürenin bulunması; (Bebek 1997).



Şekil 3.11 Hızlanan Taşıtın İvmelenmesi İçin Gerekli Olan Süre (Bebek 1997).

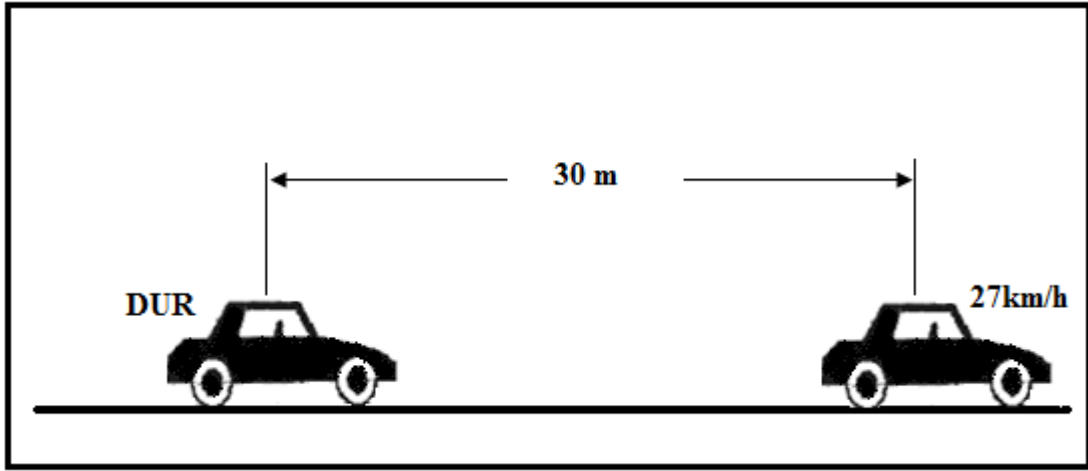
Taşıtın ivme kazanması için gerekli olan süre:

$$t = \frac{32}{35,28.0,2} = 4,55 \text{ s}$$

3.2.6. Duran Taşıtın Kalkıştan Sonraki İvmesinin Tespiti

$$a = \frac{V^2}{2.S} \quad (3.31)$$

Örneğin, Şekil 3.12’de görülen taşıt hareketsiz halden harekete başlayarak 30 m ilerlemekte ve 27 km/h hıza ulaşmaktadır. Taşıtın ivmesinin bulunması (Bebek 1997).



Şekil 3.12 Durma Konumundan Belirli Bir Hıza Ulaşan Taşıtın İvmesinin Değişimi (Bebek 1997).

Taşıtın ivmesi:

$$a = \frac{7,5^2}{2 \cdot 30} = 0,96 \text{ m/s}^2$$

3.3 Taşıta Etki Eden Dirençler

Herhangi bir eğimdeki yolda veya düz yolda, sabit hızda seyretmekte olan bir taşıtın karşılaşılabileceği dirençler; yokuş, yuvarlanma, ivme ve hava dirençleridir. Taşıta etkiyen bu dirençler, taşıtın hızına ve performansına etki etmektedir. Bu yüzden, taşıtın ivmelenme değerleri de değişmektedir (Çetinkaya 2004).

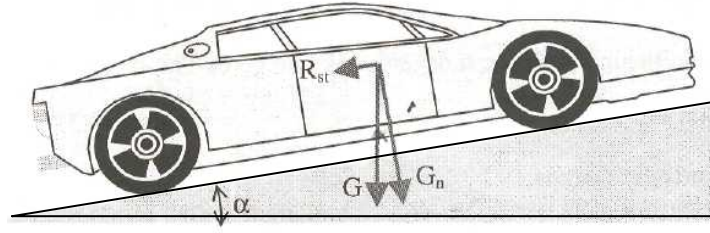
3.3.1 Yokuş Direnci

Yokuş direnci, taşıtın eğimli yolda hareketi sırasında taşıtın ağırlığının yola paralel bileşeninden kaynaklanır.

Yokuş direncini oluşturan kuvvet, taşıtın ağırlığının yola paralel bileşenidir. Maksimum taşıt hızının altındaki hızlarda, motor tarafından taşıtın tekerleklerinde geliştirilen tahrik

kuvveti, taşıtı o hızlarda ivmesiz olarak kullanmak için gerekli olan kuvvetten daha fazladır. “**Rezerv Kuvvet**” olarak da adlandırılan bu fazlalık, gerektiğinde taşıtın belirli yokuşları aşabilmesi veya hızını artırabilmesi için kullanılmaktadır.

Bir taşıtın, herhangi bir sabit hızda (ivmesiz olarak) tırmanabileceği maksimum yokuş; o taşıtın “**tırmanma yeteneği**” olarak tanımlanmaktadır. Tırmanabileceği maksimum eğim ise, maksimum tırmanma yeteneğini belirlemektedir. Bu yetenek, özellikle ağır vasıtalar ve karayolu dışı taşıtlar için önem kazanmaktadır. Yolun eğimi genellikle eğim açısı (α), veya bu açının tanjantı ($\tan \alpha = st$) ile tanımlanmaktadır. Şekil 3.13 te, eğimli bir yola olan taşıtta meydana gelen dirençler görülmektedir (Çetinkaya 2004).



Şekil 3.13 Yokuş Direnci (Çetinkaya 2004).

3.3.2 İvme Direnci

Newton'un II. Hareket Yasasına göre; bir taşıtın hızlanması veya yavaşlaması sırasında, bu hareketlere ters yönde atalet kuvvetleri oluşmaktadır.

Newton'a göre bu kuvvet:

$$F = m \cdot a \quad (3.32)$$

Eşitliği ile ifade edilmiştir.

Taşıtın hareketi sırasında karşılaşılan bu kuvvet, ivme ile ters yönlü olduğundan, ivme direnci (R_i) olarak tanımlanmaktadır. İvme direnci; doğrusal hareket halindeki kütlelerin atalet kuvvetleri ile dönme hareketi yapan tekerlekler, aktarma organları ve motorun dönel atalet kuvvetlerinden oluşmaktadır. Taşıt hızındaki bir değişim, dönen bu elemanların hızlarının değişmesi ile sağlanmaktadır.

Dönen bir kütle için açısal hızını değiştirmek için gerekli moment;

$$M = I \times \frac{d\omega}{dt} = I \times \alpha \quad (3.33)$$

Eşitliği ile hesaplanabilir (Çetinkaya 2004).

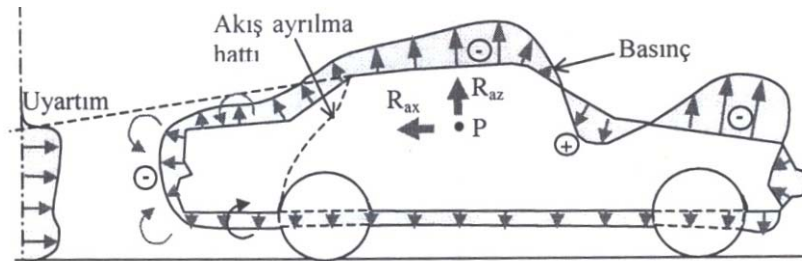
Aracın hızının artışında zamana göre artış olursa, taşıtın pozitif yönde ivmelendiği söylenebilir. Taşıtların pozitif ve negatif ivmelenme değerleri farklıdır. Motor karakteristiği, taşıtın ağırlığı, boyutları, kullanılan yakıtın özelliği, yolun ve lastiğin yola tutunma özelliği aracın ivmelenme değerine doğrudan etkilidir.

3.3.3 Aerodinamik Direnç

Taşıtın hareketi sırasında, hava hareketine bağlı olarak gelişen aerodinamik kuvvetler, taşıtın performansını etkilemektedir. Hava akışı taşıtın hızına ve ortamın rüzgâr hızına bağlıdır. Taşıtın hızı, sayısal değer ve yön bakımından sürekli olarak değişir. Tüm taşıt yüzeyine dağılmış olan basınçların bileşkesi olan aerodinamik kuvvet, basınç merkezi adı verilen bir noktaya etki etmekte, taşıtın kullanım ve yönlendirme karakteristiklerini olumlu veya olumsuz biçimde etkileyen koşullar yaratmaktadır. Aerodinamik kuvvetin önemli iki bileşeni, aerodinamik kaldırma (lift) ve yanal kuvvetlerdir.

Aerodinamik kaldırma kuvveti, lastiklerle zemin arasındaki tutunma kuvvetini azaltarak, taşıtın yönlendirme ve tahrik karakteristiklerini; aerodinamik yanal kuvvet ise, taşıt kararlılığını etkilemektedir (Çetinkaya 2004).

Şekil 3.14'te Seyir halindeki bir otomobildeki basınç dağılımı görülmektedir.



Şekil 3.14 Seyir Halindeki Bir Otomobildeki Basınç Dağılımı (Çetinkaya 2004).

3.3.4 Yuvarlanma Direnci

Yuvarlanma direnç kuvveti taşıt tekerleğinin yuvarlanma sırasında yol ve lastiklerdeki şekil değiştirmelerden kaynaklanır. Lastiklerin yuvarlanma direnci, birçok faktörün etkisi altındadır. Bu faktörler; taşıt hızı, lastik yapısı, şişirme basıncı, kesit oranı, lastik karışımı, dış malzemesi ve biçimi ile yol yüzeyinin durumu şeklinde özetlenebilir (Çetinkaya 2004).

3.4 Taşıtlarda İvmelenmeye Etkileyen Faktörler

Motor karakteristiği: Motorun efektif verimi ne kadar yüksek olursa taşıtın limit hıza ulaşma zamanı o kadar kısa olur. Ne kadar kısa zamanda limit hıza çıkarsa, ivme değeri de o oranda yüksek çıkar.

Taşıtın ağırlığı: Newton'un ikinci hareket yasasında belirttiği gibi, bir cismin ivmesi, cisme etki eden kuvvetle doğru, cismin kütlesi ile ters orantılıdır. 0-100 km/h hızlanma deneyleri, taşıtta sadece sürücü varken yapılmaktadır. Deney aracına sürücüyle beraber dört kişi daha bindiğinde yapılırsa, 100 km/h hıza ulaşma zamanı uzayacaktır. Sonuçta taşıtın ağırlığı arttığında pozitif ve negatif ivme değerleri azalır.

Taşıtın boyutları: Aynı motor karakteristiğine sahip farklı boyutlardaki taşıtların ivmelenmeleri de farklı olur. Boyutları büyük olan aracın, hava ile temas eden yüzeyi çok olduğu için, aerodinamik direnci fazla olur ve ivme değeri düşük çıkar.

Kullanılan yakıtın özelliği: Yakıtın özelliği motorun performansına doğrudan etkilidir. Örneğin, aynı motor karakteristiğine sahip olan bir taşıtta LPG veya kurşunsuz benzin kullanılması motor performansını etkiler. LPG kullanılan bir taşıtın performansı kurşunsuz benzin kullanılan yakıtla oranla daha düşüktür. Bu yüzden LPG kullanılan taşıtın limit hıza ulaşma zamanı kurşunsuz benzin kullanılan taşıta göre daha uzundur ve ivmelenmesi de düşüktür.

Lastiğin Yola Tutunma Kuvveti ve Kayma: Lastiğin yola temas ettiği yüzeyde ve hareket yönünde bir kuvvet oluşturabilmesi için, bir miktar kayması zorunludur. Buna

göre, tahrik çabası ileten bir tekerlek, kat ettiği yolun gerektirdiğine oranla daha çok döner. Benzer olarak, frenleme sırasında da kat ettiği yolun gerektirdiğinden daha az dönecektir. Kayma miktarı, lastiğin ve yolun durumu ile taşınan yük miktarı ve tahrik kuvvetine bağlıdır.

Taşıtın hareket yönünde yere, uygulanabilecek maksimum kuvvet:

$$F_{net} = F_t - R_{ro} \quad (3.34)$$

ve

$$F_{net} = \mu_{romax} \cdot W \quad (3.35)$$

olacaktır.

Aks torkunun, F_{net} kuvvetini geçecek düzeyde uygulanması durumunda, fazla tork tekerleğin patinaj yapmasına neden olur.

Tekerlekle yol arasındaki kaymalı hareket ise;

$$F_{net} = \mu_s \cdot W \quad (3.36)$$

olacaktır.

Yuvarlanma sırasındaki tutunma katsayısı, kayma sırasındaki tutunma katsayısından daha yüksektir:

$$\mu_{romax} \geq 1,2 \mu_s \quad (3.37)$$

Buna göre, yuvarlanan bir tekerleğin zemine uyguladığı tahrik veya frenleme kuvveti, kayan bir tekerleğe oranla daha büyük olur. Bundan başka, kayan tekerleğin yol yüzeyine tutunması da kötüleşir. Bunun sonucu olarak, zemin temas alanında, tekerleğin yön kontrolü için gerekli olan yanal kuvvetlerin oluşturulması zorlaşır. Başka bir dış kuvvet etkilemedikçe, kilitlenmiş ya da kayan tekerlek olarak tanımlanan bu durumda, tekerlek orijinal hareket konumunu sürdürme eğilimindedir.

Çizelge 3.4'te görüldüğü gibi tutunma katsayıları, yolun durumu ile lastik yüzeyinin özelliklerine bağlıdır, μ_{ro} katsayısının normal koşullardaki değeri 1,2, çok kötü koşullardaki ise 0,1 dir. Taşıt hızı arttıkça μ_{ro} değerleri azalmaktadır. Ayrıca, aşağıdaki genellemeler de yapılabilir:

1. Her zaman $\mu_{ro} \geq \mu_s$
2. μ_{ro} ve μ_s , yol koşullarına bağlıdır ve şu sıra ile azalır:
kuru-karlı-buzlu
3. μ_{ro} ve μ_s , hız artışına bağlı olarak azalır. Ancak, μ_s ıslak zeminde daha hızlı azalır.

İvmelenme veya frenleme sırasındaki tutunma kuvveti hesabında, hareket yönündeki yük transferleri de dikkate alınmalıdır. μ_{ro} ve μ_s katsayıları, lastiğin diş yapısı diş derinliği, şişirme basıncı ve yapısına bağlıdır.

Çizelge 3.4'de görüldüğü gibi, tutunma katsayısı (tekerlekle yol arasındaki sürtünme katsayısı); taşıtın hızına, lastiklerin durumuna ve yol koşullarına bağlıdır. Çizelgedeki değerler, iyi durumdaki asfalt yol içindir (Çetinkaya 2004).

Çizelge 3.4'de; çeşitli hız, yol ve lastik durumlarındaki μ_{ro} değerleri görülmektedir.

Çizelge 3.4 Lastiklerin Yol Üzerindeki Tutunma Katsayıları (Çetinkaya 2004).

Taşıt hızı km/h	Lastiğin durumu	Yolun Durumu				
		Kuru	Islak, su Derinliği □ 0,2mm	Şiddetli yağmur suyu derinliği □ 1mm	Su derinliği □ 2mm	Buzlu
50	Yeni	0,85	0,65	0,55	0,5	0,1 ve
	Aşınmış*	1,0	0,5	0,4	0,25	Daha az
90	Yeni	0,8	0,6	0,3	0,05	□
	Aşınmış*	0,95	0,2	0,1	0,05	□
130	Yeni	0,75	0,55	0,2	0	□
	Aşınmış*	0,9	0,2	0,1	0	□

(*) 1mm dış derinliği kalıncaya kadar aşınmış.

3.4.1 İvme ölçümleri

İvme ölçümleri için çeşitli yöntemler bulunmakla beraber daha çok titreşimlerden yararlanarak ölçümler yapılmaktadır. İvmeölçerler; dönme, ivmelendirme ve frenleme sebebiyle meydana gelen kuvvetlerin ölçülmesini sağlar.

Sürüş Karakteristikleri: Sürüş kalitesi; taşıttaki sürücü ve yolcuların duyu ve hisleri ile ilgili bir terimdir. Sürüş konforu ise yüzey düzgünsüzlükleri, aerodinamik kuvvetler, motor ve transmisyon titreşimleri tarafından üretilen taşıt titreşimleri ile ilgili bir terimdir. Titreşimler çoğunlukla, yoldaki düzgünsüzlüklerden kaynaklanmaktadır (Çetinkaya 2004).

3.4.2 Titreşim Karakteristikleri

Titreşim karakteristiklerini belirlemek üzere kullanılan parametrelerden bazıları, aşağıda tanımlanmıştır.

Titreşim periyodu (τ): Gövdenin bir tam salınımı için geçen süre, (s)

Titreşim frekansı (f_t): Birim zamandaki titreşim sayısı, (1/s)

Titreşim genliği (Z): Gövdenin denge durumundan en fazla uzaklaşma miktarı, m

Titreşim ivmesi (a_t): Hareketin zamana göre ikinci türevi, (m/s^2)

Sıçrama (j): (titreşim ivmesinin artış oranı), Hareketin zamana göre üçüncü veya titreşim ivmesinin birinci türevi, (m/s^3)

Genel olarak; 5-13 Hz arasındaki taşıt titreşimleri, yüksek frekanslı titreşimler, 0,8-2 Hz arasındakiler de düşük frekanslı titreşimler olarak tanımlanmaktadır. Çoğunlukla, yaysız kütleler yüksek frekanslı, yaylılar ise düşük frekanslı titreşimler yapmaktadır. Yürüme sırasında vücut titreşimleri, 1,17-1,66 Hz kadardır. Vücudun buna alışık olması nedeniyle, bu frekanslı titreşimler rahatsız edici değildir. Modern otomobillerdeki titreşimler bu düzeydedir, (1-1,3 Hz). Titreşim frekansındaki değişme, insan vücudu, genliğindeki değişimler daha çok etkilemektedir. Bu sebeple, şiddetli titreşimler için, genlik ve frekansın birleşik etkisini belirten ve titreşim karakteristiği olarak adlandırılan bir parametre kullanılmaktadır. Çizelge 3.5 de bazı titreşim karakteristikleri verilmiştir.

$$c_o = Z_{\max} \cdot f^k \quad (3.38)$$

Çizelge 3.5 Titreşim Karakteristikleri (Çetinkaya 2004).

Durum	c_o (m/s)
Hissedilmez	0,035
Zor hissedilebilir	0,035-0,1
Hissedilir	0,1-0,2
Çok hissedilir	0,2-0,3
Çok rahatsız edici	0,3-0,4

Titreşim ivmesinin insan vücuduna etkisi, çoğunlukla titreşim frekansı ile bağıntılı olarak ortaya çıkmaktadır. Frekans arttığında, küçük ivme artışları bile rahatsız edici olmaktadır. Çizelge 3.6 da bu duruma ilişkin bazı değerler verilmektedir. Taşıt gövdesinin titreşim yaptığı frekanslardaki ivme artışlarında; rahatsız edici değerler, 25 – 40 m/s³ aralığında olmakta ve 25 m/s³ ün üzerindeki sıçramalar arzu edilmemektedir.

Çizelge 3.6 Titreşim Frekans ve İvmenin Etkisi (Çetinkaya 2004).

Salınım (Hz)	İvmenin etkisi (m/s ²)	
	Hoş olmayan	Çok kötü
1,0	2,3	2,7
1,5	2,1	2,5
2,0	1,9	2,3
3,0	1,7	2,0

3.5 Taşıt Titreşimleri

Genel olarak yolların ideal şekilde düz olmaması, tekerlek lastiklerindeki yaylanmanın bu pürüzsüzlüğünü karşılayamaması, taşıtların normal hallerde üçten fazla tekerleğe sahip olması tekerleklere düşey doğrultuda bir hareket serbestliği temin etme gereğini ortaya çıkarmış ve tekerleklere bu imkânı vermek üzere yaylar kullanılmıştır.

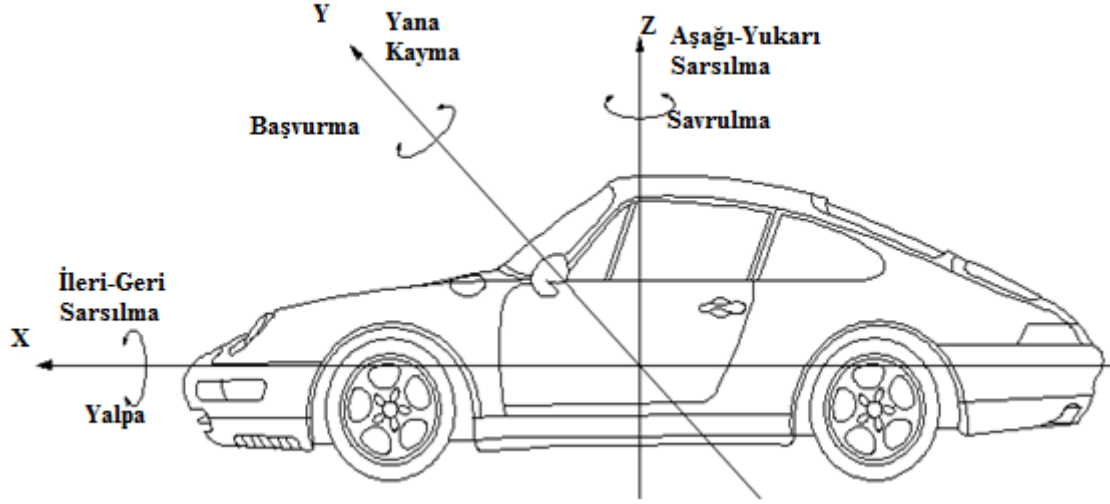
Yayların taşıttaki görevleri;

- Yoldan gelen ve düzgün olmayan darbeleri titreşimlere çevirmek
- Bu titreşimleri yardımcı elemanlarında kullanılması ile en kısa zamanda sönümlemektir.

Taşıttın virajda, denge ve doğrultu kontrolü, gibi özelliklerinde bir değişiklik olmamalıdır. Titreşimler taşıtta hareket konforuna tesir ederler. Bunun yanında yol, taşıt, yolcu ve taşıttın çeşitli parçaları arasında relatif hareketlere sebep olurlar ve bu hareketlerde yerine göre taşıttın kabiliyetini ve yolcunun rahatını bozabilirler (İnt.Kyn.2).

3.5.1 Basitleştirilmiş Bir Taşıt Modelinin Titreşimi

Bir taşıt genel olarak 6 değişik şekilde titreşim yapabilir.



Şekil 3.15 Taşıttaki Çeşitli Titreşimler (İnt.Kyn.3).

Çizelge 3.7 Taşıttaki Titreşimleri (İnt.Kyn.3).

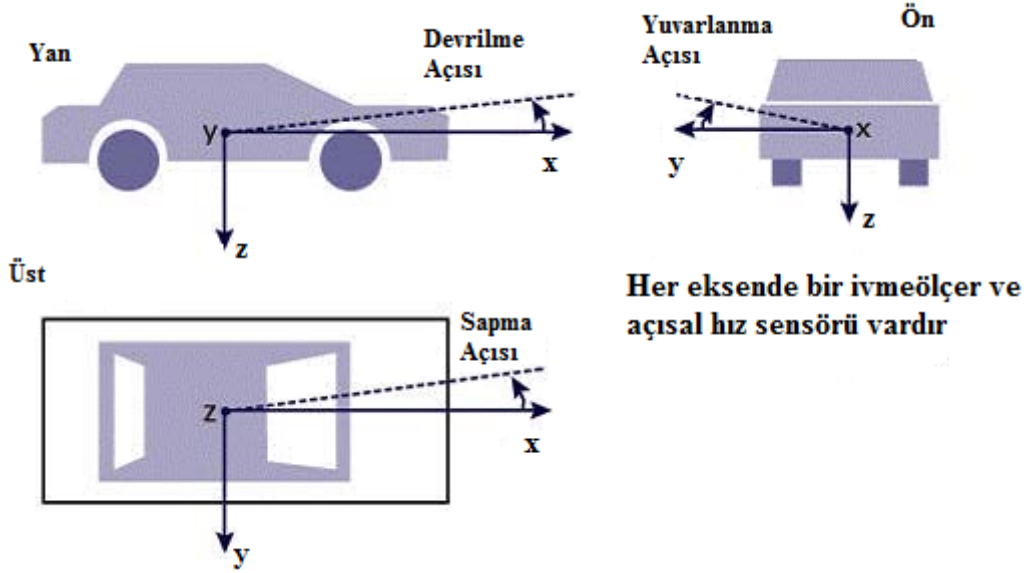
Titreşimler	Doğrusal Hareketler	Açısal Hareketler
X eksen	İleri-Geri Sarsılma	Yalpa
Y eksen	Yana Kayma	Başvurma
Z eksen	Aşağı-Yukarı Sarsılma	Savrulma

Bağımsız tekerlek asılışında akslarda orta noktalarından geçen Z ve X eksenleri etrafında titreşim hareketi yapabilirler. Bu 6 çeşit hareket taşıtta ayrı ayrı olabildiği gibi bir arada da meydana çıkabilir. Karayollarında hareket eden motorlu taşıtlar için aşağı – yukarı hareket, başvurma ve yalpa hareketleri önemlidir. İleri – geri sarsılma daha çok buharlı lokomotiflerde bahis konusu olur fakat yol taşıtlarında ihmal edilebilir (İnt.Kyn.3).

3.5.2 Bir Taşıttın Dinamik Hareketinin Ölçümü

Bir aracı test ederken genellikle ölçülmesi gereken büyüklük, aracın dinamik hareketi ve aracın yola göre açısıdır. İvmeölçerler dönme, ivmelendirme ve frenleme sebebiyle meydana gelen kuvvetleri ölçmemize olanak sağlarlar. Ölçümler, taşıt manevra esnasında düz bir yolda olmadığı takdirde doğru olmayacaktır. Örneğin, taşıt öne doğru eğimli pozisyonda ise yerçekimi bileşenleri de, frenleme kuvvetini ölçmek amacıyla kullanılan ivmeölçer tarafından ölçülecektir.

İvmeölçerler yerçekiminin yönünü referans yön olarak algılar. Çünkü yerçekimi bir çeşit ivmedir. Bir aracı frenlemek, hızlandırmak ve döndürmek, taşıt üzerinde ivmeler yaratır.



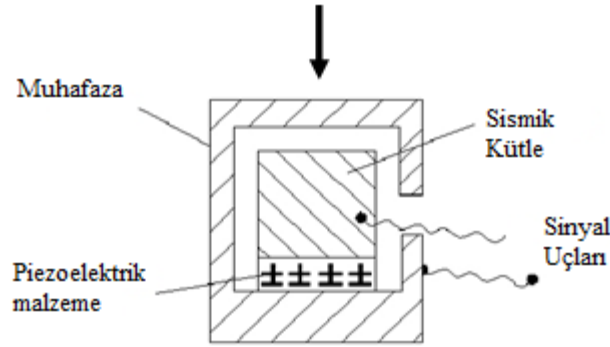
Şekil 3.16 Taşıt Algılayıcı Eksenleri (İnt.Kyn. 2).

Şekil 3.16 da görüldüğü gibi, aracın dinamik hareketini ölçmek için, ivmenin 3 ortogonal eksen boyunca ve bu eksenlerin yönleri etrafında ölçülmesi gerekir. Bu ölçümü gerçekleştirmek için; bir adet 3 eksenli ivmeölçer, ivmeölçerden gelen sinyalleri değerlendirip, yapılan analizleri USB bağlantısı ile veri ortamında görüntülememizi sağlayan, veri aktarım cihazı, bilgileri elde ettikten sonra hesaplama yapılması için kişisel bir bilgisayar kullanılır. İvmeölçer aracın ağırlık merkezine veya en yakın bir yere monte edilmelidir (İnt.Kyn. 2).

4. DİNAMİK HAREKET ALGILAYICILARI

4.1 İvme Ölçerler

İvmeölçerler, genel amaçlı mutlak hareket ölçümlerinde, şok ve titreşim ölçümlerinde kullanılırlar. Bir yapının ya da bir makinenin ömrü, çalışma sırasında maruz kaldığı ivmenin şiddeti ile orantılıdır. İvmeölçerler değişik alanlarda kullanılmakla birlikte; Saha, bina, köprü, madencilik gibi alanlarda kullanılmakla birlikte otomotiv, iş makinesi, kamyon gibi taşıtlarda da dinamik değişimleri ölçmek için de kullanılmaktadır. Yüksek frekanslı ivmeölçerler ile çarpma testleri, çok yüksek devirli motorların testleri yapılabilir. İvmeölçerler ölçme tekniğine göre (yüksek sıcaklığa dayanıklı, sismik, şok, hassas, üç eksenli vb.) farklı sınıflara ayrılırlar. İvmeölçerlerin kullanım alanlarından en büyük pay otomotiv sektörüne aittir. Yüksek frekanslı ivmeölçerler ile çarpma testleri, çok yüksek devirli motorların testleri yapılabilir. İvmeölçerler ölçme tekniğine göre farklı sınıflara ayrılırlar (İnt.Kyn. 2).



Şekil 4.1 İvmeölçerlerin Basit Yapısı (İnt.Kyn. 2).

4.2 İvmeölçer çeşitleri

İvmeölçerler günlük hayatta ölçme ve değerlendirme gerektiren birçok yerde bol miktarda kullanılmakta olup bunlardan bazıları aşağıda verilmiştir (İnt.Kyn. 4).

Hassas Kuvarz ICP İvmeölçerler

Cryogenic Kuvarz ICP İvmeölçerler

Çevresel Gerilme Önlemeli İvmeölçerler

Havacılık Testleri İçin İvmeölçerler

Yüksek Frekanslı Minyatür İvmeölçerler

Yüksek sıcaklığa dayanıklı ICP ivmeölçerler

Yüksek sıcaklık yük modu ivmeölçerler

Basit yapıli ivmeölçerler

Zor endüstriyel uygulamalar için ivmeölçerler

Düşük profilli ICP ivmeölçerler

Halka İvmeölçerler

Sismik ICP İvmeölçerler

Şok İvmeölçerler

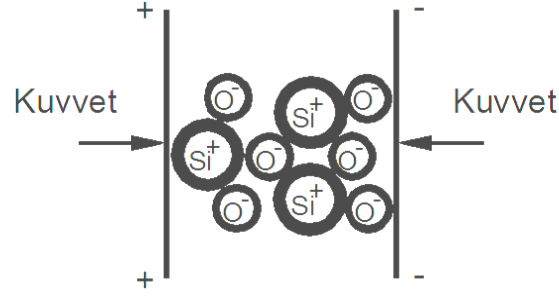
Üç Eksenli İvmeölçerler

Sıkıştırılmış Kuvarz ICP İvmeölçerler

Teknikte çok farklı alanlarda kullanılabilen ivmeölçerler çok sayıda oldukları için en çok kullanılan Piezoelektrik ve Kapasitif ivmeölçerlerdir.

4.2.1 Piezoelektrik İvme Ölçerler

Piezoelektrik ivmeölçerler çok düşük frekanslı sismik uygulamalardan, çok yüksek frekans da doğrusal çalışma aralığı gerektiren çarpma testlerine kadar birçok ölçme uygulamasında kullanılan, küçük boyutlu, yüksek sıcaklık aralığında çalışabilen, endüstriyel standartlarda kılıf içinde yapılandırılmış transdüserlerdir (İnt.Kyn. 2).



Şekil 4.2 Kuvvet Altındaki Silikon Ve Oksijen Atomları (İnt.Kyn. 4).

Şekil 4.2’de gösterilen büyük daireler silikon atomlarını, küçük olanlar ise oksijen atomlarını belirtmektedir. Doğal ya da işlenmiş kuvarz kristali en hassas ve kararlı piezoelektrik malzemelerden biridir. Doğal malzemelerin yanı sıra yüksek teknolojilerle üretilen polikristalin ve piezoseramik gibi malzemeler de yüksek elektrik alanına maruz bırakıldıklarında piezoelektrik özellik kazanmaları sağlanabilmektedir. Bu kristaller çok yüksek değerlerde yük çıkışı üretirler. Bu özellikleri sayesinde de özellikle düşük genlikli sinyallerin ölçülmesinde kullanılırlar (İnt.Kyn. 4).

Kuvarz ya da seramik kristaller bir kuvvet altında kaldığında picocoulomb seviyesinde elektrik yükü üretirler. Bu elektrik yükünün kristal üzerindeki değişimi yer çekimi ivmesinin değişimi ile doğru orantılıdır. İvmeölçerlerdeki sismik kütlelerin ivme altında maruz kaldığı atalet kuvveti piezoelektrik kristale etkir ve ivme ile doğru orantılı bir elektrik sinyali çıkışı verir. Bir yongaya (Mikro Elektronik devre/chip) sahip Piezoelektrik ivmeölçerlerin içinde sinyali taşınabilir voltaj sinyaline çeviren bir sinyal koşullayıcı devre vardır (Integrated Electronics Piezoelectric - IEPE). Bu tip Algılayıcılar gürültüden minimum etkilenirler. Üzerinde çevirici elektronik devre olmayan (Charge Mode) Algılayıcılar harici bir çevirici (Charge Amplifier) ile kullanılırlar. Charge Mode Algılayıcılar yüksek sıcaklıktaki uygulamalarda kullanılmak için idealdirler. Piezoelektrik algılayıcıların önemli avantajları bulunur (İnt.Kyn. 5).

Bunlar;

- Dinamik aralıkların üzerinde mükemmel doğrusallık
- Geniş frekans aralığı, yüksek frekanslarda bile ölçüm imkânı
- Yüksek duyarlılık
- Hareket eden parçası ve aşınma yok

- Kendinden üretim, dışarıdan güç vermeye gerek yok
- Neredeyse her türlü amaç için kullanılabilen birçok çeşit modeller
- Çıkış sinyallerinin entegrasyonu hız ve yer değişimi sağlar

4.2.2 Kapasitif İvme Ölçerler

Kapasitif ivmeölçerler düşük seviyeli ve düşük frekanslı titreşimleri, statik ivmeleri ölçmede kullanılırlar. Karşılıklı yerleştirilmiş kapasitör şeklinde çalışan iki plaka arasındaki kapasitansın değişmesi prensibi ile ölçüm yaparlar. Bu plakalar arasındaki mesafe ve dolayısı ile kapasitans ivme altında değişir ve ivme ile doğrusal bir sinyal doğururlar. Bu tip algılayıcılar özel bir sinyal koşullama gerektirmezler. 12 VDC ya da 24 VDC ile beslenmek sureti ile çalışırlar. Özellikle robotik, otomotiv sürüş kalite testleri ve bina dinamiği ölçümü gibi yerlerde kullanılırlar (İnt.Kyn. 2).

Çizelge 4.1 de piezoelektrik ivmeölçerlerle, yaygın olarak kullanılan kapasitif ivmeölçerlerin karşılaştırılması gösterilmektedir.

Çizelge 4.1 İvmeölçerlerin Karşılaştırılması (İnt.Kyn. 4).

Sensör Türü	Avantajları	Dezavantajları
Piezoelektrik	<ul style="list-style-type: none"> • Statik ivmeyi ölçer 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Rezistif gürültü nedeniyle kısıtlı çözünürlük. 2. Sadece düşük ve orta düzey frekanslar için besleme gerilimi gerekli
Kapasitif	<ul style="list-style-type: none"> • Statik ivmeyi ölçer • Yarı iletken teknolojiyle ucuz üretim maliyeti 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Düşük çözünürlük 2. Kırılgan

5. MATERYAL ve METOT

Bu çalışmada otomobil sınıfındaki benzinli bir taşıtla gerçek yol şartlarında ivme ölçümleri yapılmıştır. Testler, SAE standardına göre yapılmış ve ölçümlerde; yaklaşık olarak ağırlık merkezine bağlanan 1 adet ASC 5411 3 eksenli ivmeölçerle birlikte LJU3 USB veri toplama sistemi ve verileri kaydetmek için diz üstü bilgisayar kullanılmıştır. Çeşitli yol (doğrusal ve yanal eğim, viraj vb.) ve hız şartlarında ivme ölçümleri yapılmıştır. Ölçümlerde doğrusal, yanal ve düşey olmak üzere anlık olarak veriler alınmış ve eş zamanlı olarak Excel formatında kaydedilmiştir. Elde edilen veriler grafik haline dönüştürülmüş ve analiz edilmiştir.

Deneylerde ölçme sonrası edinilen dingil ağırlığı değerleri 680(ön) – 440(arka) N bulunmuştur. Testler, (SAE J1491) taşıt ivme ölçüm Standardına göre yapılmıştır. Bu testler, hava sıcaklığı yaklaşık 25 °C güneşli ve rüzgâr hızı 24 km/h'i geçmeyen havada yapılmıştır. Aracın lastik aşınmasının %75'i geçmediğine ve lastik havalarının katalog değerlerinde olmasına dikkat edilmiştir. Tüm lastikler test öncesi en az 161 km (100 mil) kullanılmıştır. Deney yapılan yol, kuru ve temiz olup en fazla %5 eğim bulunmaktadır. Aynı zamanda yol yüzeyi beton sıcak asfalt kaplıdır. Deneylerden önce taşıtın frenlerinin dengeli olduğu ve kullanılmazken aktif olmadığı kontrol edilmiştir. Motor sıvılarının katalog değerinde olduğu tespit edilmiş, genel bakım ve kontrolleri yapılmıştır. Taşıt, deneyden önce 32km/h hızda ve en az 90km kullanılmıştır. Deneyler yapılırken, aracın üretici firmasının tavsiye ettiği yakıt kullanılmıştır. Test esnasında, farlar, klima, taşıt camları ve tüm elektrikli alıcılar kapatılmıştır. Frenleme testlerinde ABS'nin devreye girdiğine dikkat edilmiştir. Deneylerde aracı sürekli aynı kişi kullanmıştır ve 4 kişi aktif olarak görev almıştır. Ölçümler doğrusal (X) ve yanal (Y) doğrultudaki değişimleri kapsamaktadır (SAE, J1491).

Deneyler, yolun trafik akışını bozmayacak şekilde, Afyonkarahisar-İzmir karayolunun 10 ila 30. kilometreleri arasında yapılmıştır. Deney sahası Resim 5.1'de görülmektedir.



Resim 5.1 Deney yolunun genel görünüşü

5.1 ASC 5411 3 Eksenli Piezoelektrik İvmeölçer

ASC 5411 2g, 5g, 10g, 25g, 50g, 100g, 200g oranlarında bulunabilen düşük maliyetli, genel amaçlı, doğrusal ivme ve titreşim sensörleridir (Resim 5.2). ASC 5411 sensörleri direk yüksek seviye analog voltaj çıkışı sağlamaktadır. Çıkış dış sinyal koşullanma elektroniği gerektirmemektedir ve bir A/D' ye veya diğer bilgi edinme donanımına direk olarak bağlanabilmektedir. Geleneksel basınçlı elektrik ve basınç dirençli akümülatör teknolojileriyle karşılaştırıldığında silikon mikro sensörler önemli ölçüde düşük bir maliyette eşdeğer bir performans sunmaktadır.



Resim 5.2 İvmeölçer Sensörünün Görünüşü

ASC 5411 serisi ivmeölçer sensörleri; 8VDC ile 30VDC arasında çalışır. Güç kaynağı olarak taşıt çakmağı kullanılmaktadır (İnt.Kyn. 4).



Resim 5.3 Labjack ve Enerji Kaynağının Genel Görünüşü

ASC 5411 3 Eksenli Piezoelektrik İvmeölçer, genelde otomotiv denemelerinde, aletli iş görme ve donanım izleme testlerin de kullanılmaktadır. İvmeölçer montaj aşamasında, ivmeölçeri araca sabitleyici bir aparata bağlayıp taşıt üzerinde hareketsiz durması sağlanmıştır. Resim 5.3'te görüldüğü gibi test esnasında enerji kaynağı olarak 12 voltluk taşıt çakmak yuvası kullanılmıştır. İvmeölçerin x,y,z eksenleri, uydu alıcısı (GPS) eksenleri ile kesişmesi sağlanmıştır. İvmeölçer ve bağlantı aparatı istenildiğinde kolaylıkla sökülüp takılabilmektedir. Resim 5.4'te İvmeölçer sensörünün taşıta bağlantısı görülmektedir.



Resim 5.4 İvme Ölçer Sensorunun Araca Montajı.

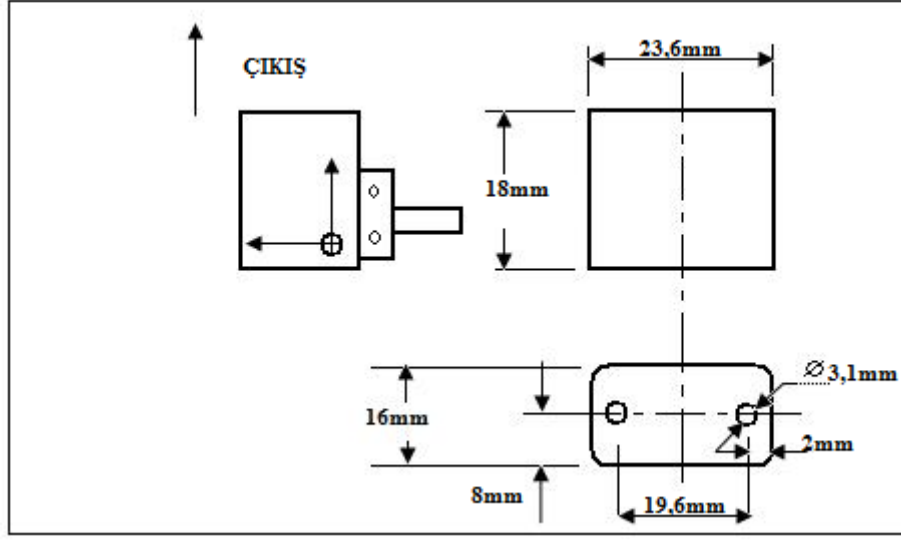
5.1.1 ASC 5411 3 Eksenli Piezoelektrik İvmeölçerin Teknik Özellikleri

ASC-5411, veri toplama teknolojisinde temel alınan üç eksenli bir ivmeölçerdir. Üç eksenin her biri, bağımsız olarak 4 kablo sistemi esasına göre çalışmaktadır. ASC-5411, geniş bir sıcaklık sahasının üzerinde çalışır ve veri toplama teknolojisi, aşırı derecede küçük ölçme sahaları için kullanılır. (İnt.Kyn. 4).

Çizelge 5.1 ASC 5411 3 Eksenli Piezoelektrik İvmeölçer (İnt.Kyn. 4).

Besleme	8-30 VDC	
Lineerlik	% 0,5	
Sönümlenme Oranı	0,7	
Çapraz Hassasiyet	% 2	
0g çıkışı (2g ve 5g)	+/- 100mV	
0g çıkışı (10g ve üzeri)	+/- 50mV	
Çıkış Empedansı	90 ohm	
TC sıfır (-20 °C / 80 °C), tip. FSO	% 1	
TC span (-20 °C / 80 °C), tip. FSO	% 3	
Çalışma aralığı	2g ile 200g arası	
Hassasiyet	20 mV/g ile 2,000 mV/g	
Çalışma sıcaklığı	-40° C ile 100° C	
Şok Dayanımı	5000g	
Ağırlık	Muhafaza	16gr
	Kablo	30gr/m
Materyal	Muhafaza	Alüminyum
	Kablo	PU
Kablo Kodu	Kırmızı	+Besleme
	Siyah	-Besleme
	Yeşil	+Sinyal
	Beyaz	-Sinyal

3 eksenli, 4 kablolu yüksek çıkış gücü olan ASC 5411 3 eksenli piezoelektrik ivmeölçerin teknik özellikleri Çizelge 5.1’de, boyutları Şekil 5.1’de gösterilmektedir.



Şekil 5.1 ASC 5411 3 Eksenli Piezoelektrik İvmeölçerin Boyutları (İnt.Kyn. 4).

5.1.2 LJU3 USB Veri Toplama Sistemi

LJU3 veri aktarım cihazı (Şekil 5.5), ivmeölçerden gelen sinyalleri değerlendirip, USB bağlantısı ile veri ortamında görüntülenmesini sağlamaktadır.



Resim 5.5 U3 Veri Aktarıcısının Görünüşü (İnt.Kyn. 7).

Veri aktarıcısı, ivmeölçer ile dizüstü bilgisayar arasında bulunup, ivmeölçerden aldığı sinyalleri LAN kablosu ile bilgisayar ortamına aktarmayı gerçekleştirmiştir. (Şekil 5.6) (İnt.Kyn. 7).



Resim 5.6 U3 Veri Aktarıcının Montajı

5.2 Kullanılan Taşıt ve Çevresel Şartlar

5.2.1 Deneysel Taşıtın Teknik Özellikleri

İvmeölçerlerin en çok kullanım alanı bulunduğu sektör otomotiv sektörüdür. Firmaların Ar-Ge çalışmaları esnasında en büyük uğraş verdikleri bölüm taşıt testleri olarak görülmektedir. Bu nedenle otomotiv sektöründe ivmeölçer testleri dayanım ve performans açısından büyük öneme sahiptir.

Farklı taşıtlarla yapılan ön deneylerden sonra Volkswagen Bora taşıtı seri deneyler için tespit edilmiş olup günümüzde yaygın olarak kullanılan taşıtlara örnek teşkil edecek yapıda olduğu için tercih edilmiştir. Resim 5.7’de test aracı görülmektedir.



Resim 5.7 Deney Taşıtının Görünüşü

Deneyleer için kullanılan aracın teknik özellikleri çizelge 5.2’de gösterilmiştir.

Çizelge 5.2 Motor Karakteristikleri (İnt.Kyn. 8).

Marka-Model	Volkswagen Bora 1.6
Üretim	2001
Motor Hacmi (cc)	1595
Oktan sayısı	95 Kurşunsuz
Katalitik konvertör	Mevcut
Beygir Gücü (BG, d/d)	100/5600
En Yüksek Tork (Nm)/(d/d)	145/3800
0-100 km/h Hızlanma (s)	11.7
Son Hız (km/h)	188
Ağırlık (kg)	1108
Dingil Mesafesi (mm)	2513
Uzunluk (mm)	4376
Genişlik (mm)	1735
Yükseklik (mm)	1473

5.2.2 Uydu Destekli Koordinat Belirleyici (GPRS)

Uydu destekli koordinat belirleyici (GPRS) sistemden bağımsız olup herhangi bir kablo bağlantısı gerektirmez. GPRS test aşamasında yapılan ölçümlerde aracın konum bilgisini sağlamıştır. Yapılan testler sonucu elde edilen veriler GPRS tarafından gelen konum bilgilerine göre değerlendirilmiştir. Test sırasında yaklaşık 3 saniyede bir GPRS cihazı ile uydudan koordinat alınmış ve cihaz hafızasına kaydedilmiştir. Bu veriler özellikle viraj alma, hızlanma ve yavaşlama testlerinde taşıtımızın yer değiştirmesini ve eksenden sapmasını belirlemiştir. (Resim 5.8)



Resim 5.8 GPRS Uydu Destekli Koordinat Belirleyici

5.2.3 Yol Şartları

Yol; yayaların ve taşıtların güvenli seyrini sağlayan, çevre görüntüsünü bozmadan gürültü kirliliği asgariye düşürülmüş, doğal yaşama yardımcı olan, yüzeyinde biriken suların çevreye zararı olmadan doğaya yeniden kazanımını sağlayan ve yaşamsal önemi olan bir yapıdır (Tunç 2004).

Deneylerin yapıldığı asfalt beton sıcak asfalt olup sürtünme katsayısı Karayolları Genel Müdürlüğüne göre 0.60 olarak verilmiştir. Zemin kuru ve eğim miktarları; düz yolda %2, viraj da ise kurbun çapına göre, %7 yi geçmemektedir (İnt.Kyn. 9).



Resim 5.9 Afyon-İzmir Karayolu (10.Km)

5.3 Test Öncesi Yapılan Kontroller

Çizelge 5.3 Seri Deneyler Öncesi Yapılan Kontroller

İvmeölçer	ASC 5411
Sensörün Konumu	Aracın Yaklaşık Ağırlık Merkezine Sabitlenmiştir
Motor Karakteristikleri	Çizelge 5.2’de verilmiştir
Motor Sıcaklığı	~ 80 ⁰ C
Yakıt Tipi	Benzin
Motor Yağı	3000 km’de
Hava Sıcaklığı	25 °C
Rüzgâr Hızı	10 km/h
Lastiklerin Durumu	%8 aşınmış, 4500 km kullanılmış
Yol	Afyonkarahisar-İzmir Karayolunun 10-30.km’leri, beton sıcak kaplama asfalt
Taşıt Ağırlığı	1150+4 kişi
Tüm Elektrikli Alıcılar, Camlar	Kapalı
Lastik Basınçları (soğuk)	2.1 bar
Aracın Kilometresi	123.000km
Vites	5 ileri 1 geri, manüel
Sürücü	Bütün deneylerde aynı
Lastik Ebatları	225-55 R 16
Taşıtta Kullanılan Sıvılar	Kontrolü yapıldı, katalog değerinde

Bu parametrelerin yanı sıra aracın ölçüm cihazlarında dingil ağırlıkları ve ağırlık merkezi ölçülmüştür. (Resim 5.10)



Resim 5.10 Ön ve Arka Dingil Ağırlıklarının Ölçülmesi

Ölçme sonrası edinilen dingil ağırlığı değerleri 680–440 kg bulunmuştur.

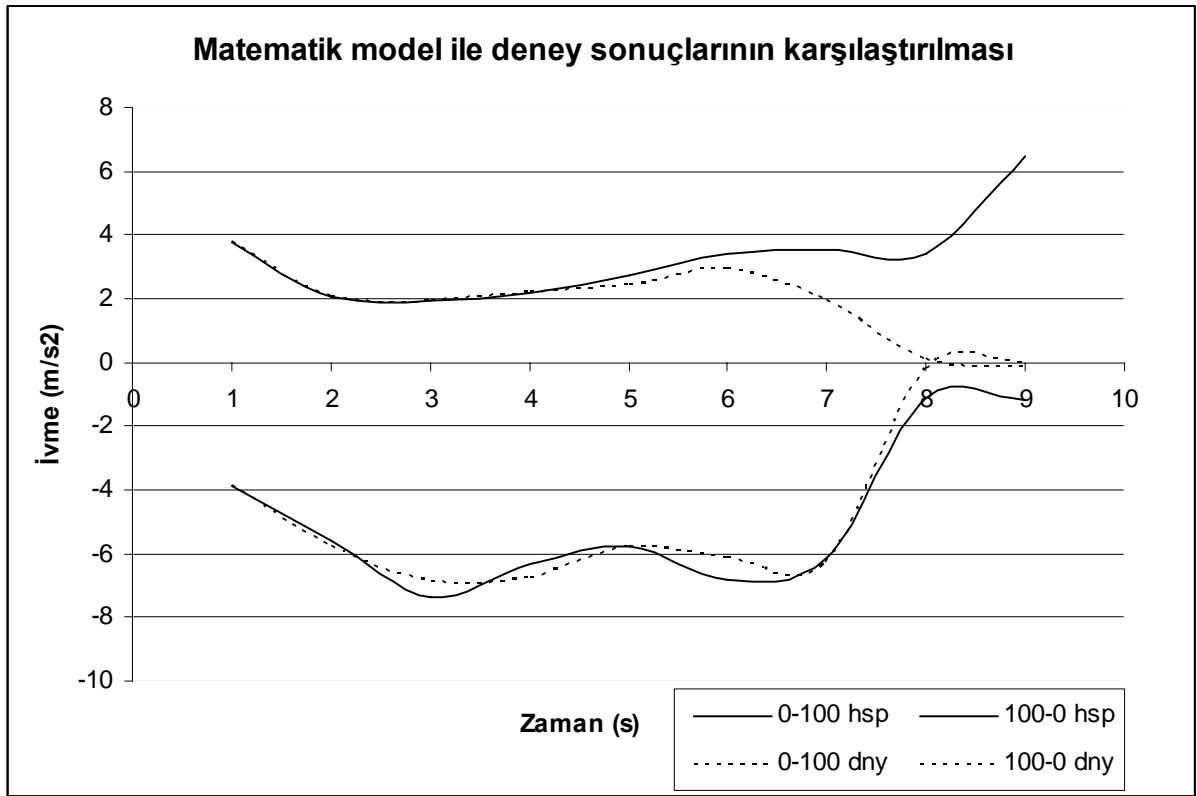
Test öncesi hava koşulları, testin yapılacağı yol durumu ile ilgili bilgiler elde edilmiş ve deneyler için uygun olduğuna karar verilip seri deneylere geçilmiştir. Aracın lastik ve motor durumu son kontrolleri yapılmıştır. Yapılan hazırlıklar sonrası uygun şartlar

sağlandıktan sonra 4 kişilik ekiple test aşamasına geçilmiştir. Aşağıda yapılan test aşamaları sonucunda elde edilen veriler incelenmiştir. İncelenen verilerde doğrusal ivmelenme, yanal ivmelenme ve yerçekimi ivmelenmesi ölçülmüştür.

5.4 Geliştirilen Matematiksel Model

İvme ölçüm amacıyla yapılan deneylerden sonra elde edilen verilerden matematiksel bir model oluşturulmuştur. Oluşturulan model 0-100 km/h hızlanma ve 100-0 km/h yavaşlama olmak üzere 2 ayrı yapıda incelenmiş ve Şekil 5.2 de görülmektedir.

Oluşturulan matematiksel modelde en küçük kareler metodu kullanılmış ve R^2 değeri 0.9967 ile 0,9027 değerlerinde elde edilmiştir.



Şekil 5.2 Matematiksel model ile deney sonuçlarının karşılaştırılması

0-100 km/h hızlanmada matematiksel model:

$$a=0,0018*t^6-0,0497*t^5+0,5441*t^4-3,0454*t^3+9,3886*t^2-15,266*t+12176$$

$$R^2=0,9967$$

100-0 km/h yavaşlamada matematiksel model:

$$a=-0,0092*t^6+0,2639*t^5-2,9271*t^4+15,812*t^3-42,707*t^2+52,048*t-26,371$$

$$R^2=0,9027$$

Örnekler

0-100 km/h hızlanmada;

$$t=4s$$

$$a_4=0,0018*4096-0,0497*1024+0,5441*256-3,0454*64+9,3886*16-15,266*4+12,176$$

$$\underline{a_4=2,1936 \text{ m/s}^2}$$

$$\text{deneysel } a_4=2,18078 \text{ m/s}^2$$

100-0 km/h yavaşlamada;

$$t=4s$$

$$a_5=-0,0092*15625+0,2639*3125-2,9271*625+15,812*125-42,707*25+52,048*5-26,371$$

$$\underline{a_5=-5,806 \text{ m/s}^2}$$

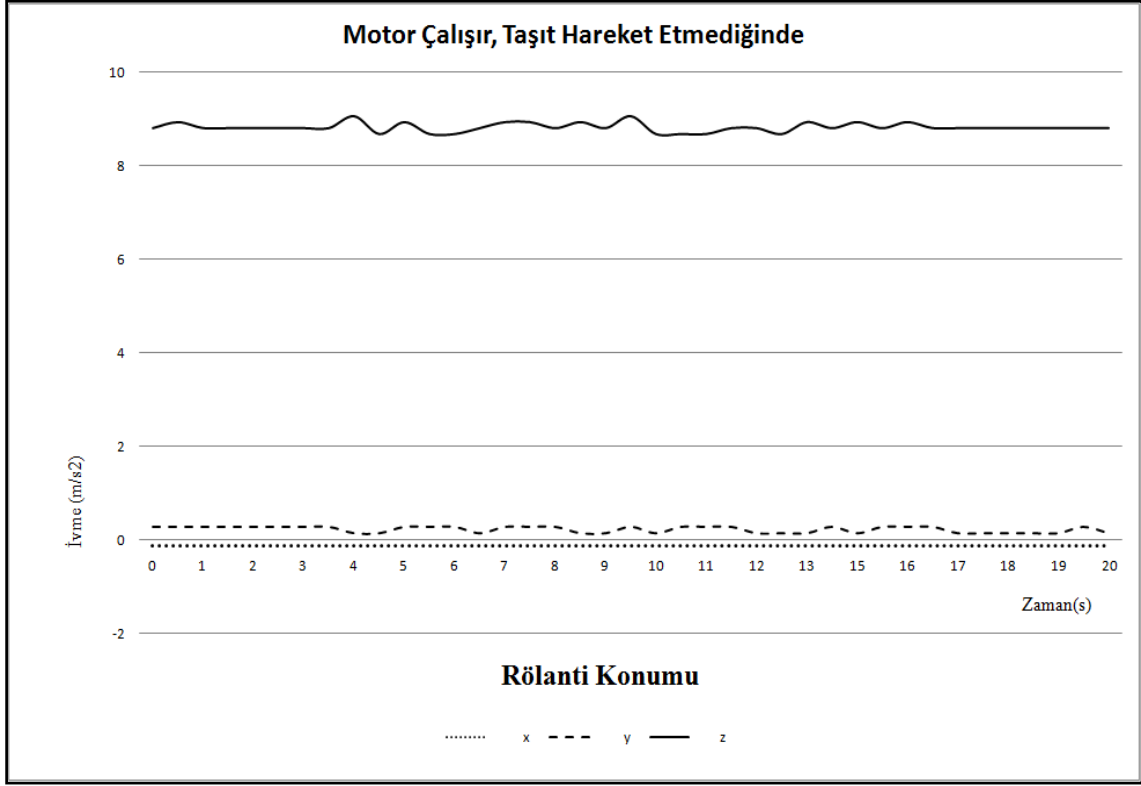
$$\text{deneysel } a_5 =-5,7889 \text{ m/s}^2$$

0-100 km/h'a hızlanmada matematiksel model ile ivme, 2,1936 m/s² iken deneysel yöntemle 2,18078 m/s² tespit edilmiştir.

100-0 km/h'a yavaşlamada matematiksel model ile ivme, -5,806 m/s² iken deneysel yöntemle -5,7889 m/s² tespit edilmiştir.

6. BULGULAR ve TARTIŞMA

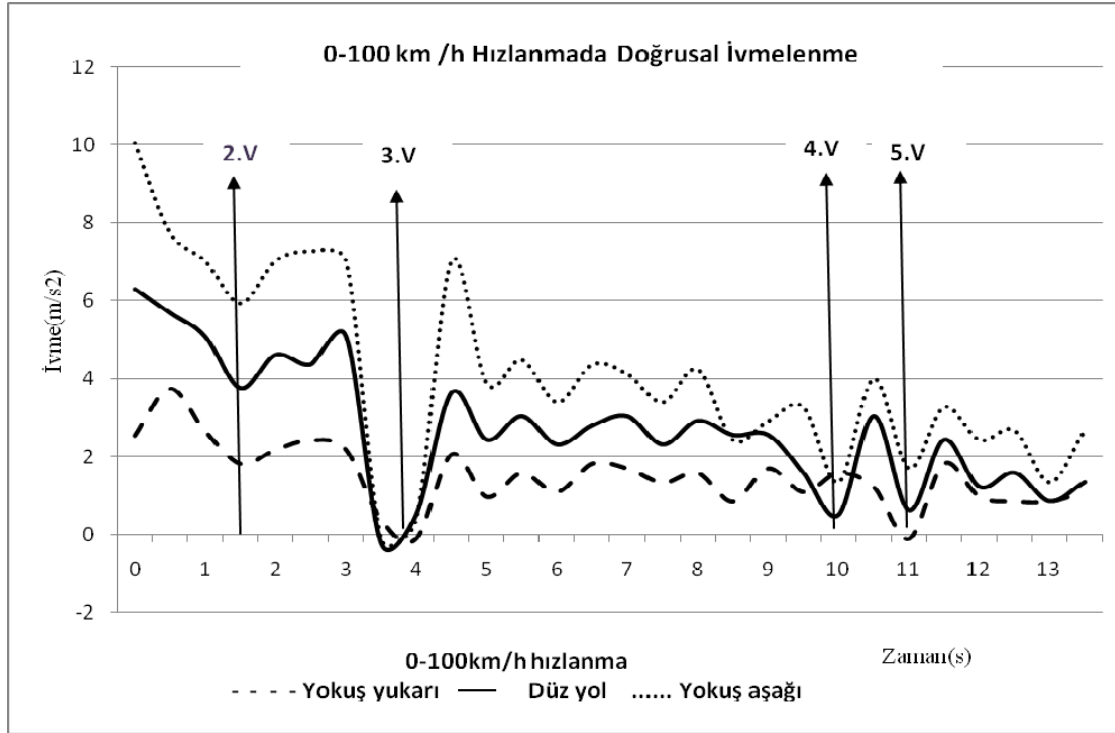
6.1 Durur Halde Doğrusal, Yanal ve Yerçekimi İvmelenme Deneyleri



Şekil 6.1 Taşıt Hareket Etmeden Doğrusal, Yanal ve Yerçekimi İvmelenme Grafiği

Motor çalışır, taşıt hareket etmediği konumda, doğrusal, yanal ve yerçekimi ivmelenmesi grafiği Şekil 6.1’de görülmektedir. Taşıt hareket etmediği için doğrusal ivmelenmede değişiklik görülmemektedir. Yanal ivmelenmede de, motor çalışırken taşıtta titreşimler olduğu için ivme değerinde küçük değişimler görülmektedir. Yerçekimi ivmesinde ise, herhangi bir değişiklik olmamaktadır. Yani $9,81 m/s^2$ civarındadır.

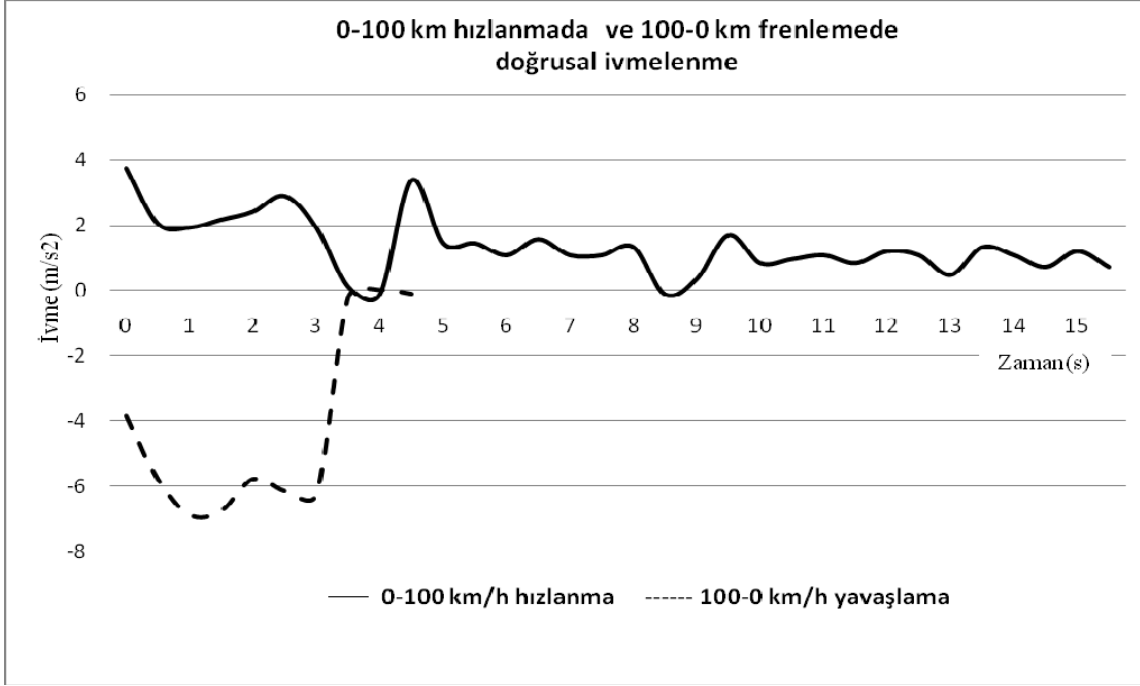
6.2 Doğrusal Eğimlerde ve Düz Yolda Hızlanma Testleri



Şekil 6.2 0-100 km/h İvmelenme Grafiği
V:Vites Kademesi

0-100 Km/h hızlanmada, yokuş yukarı, yokuş aşağı ve düzyol deneyleri yapılmıştır. Yapılan deneyler hızlanma deneyleri olduğu için ivmelenme pozitif çıkmıştır. Taşıt hareket ettikten yaklaşık, 1,5s sonra 2.vitese, 4s sonra 3.vitese, 10s sonra da yokuş aşağı ve düz yol deneylerinde 4.vitese geçilmiştir. 11.saniye de ise, yokuş yukarı deneyinde 4.vitese, yokuş aşağı ve düz yol deneylerinde 5.vitese geçilmiştir. Vites değişim alanlarında ivmenin ani düşmesi ve yükselmesi Şekil 6.2’de görülmektedir. Deneyler yapılırken, daha iyi yol tutuşu sağlamak için, 3.vitese geçiş yüksek devirde yapılmıştır. Burada taşıt hızını artırarak devam ederken; (ivmesi de artıyor) debriyaj pedalına basılmış, aracın hızının artmasında bir azalma görülmüştür. Bu durumda ivmenin artmasında da azalma olur. Taşıt 3.vites konumuna alındıktan sonra ayak debriyaj pedalından çekilip, gaz pedalının sonuna kadar basıldığında, aracın hızında ve ivmelenmesinde artış görülür. Yokuş aşağı ve düz yol deneylerinde 5.vites kullanılmıştır. Yokuş yukarı deneyi 4.vitese kadar yapılmıştır. 3.vites ile 4.vites arasında dalgalanma da azalma görülmüştür. Bunun nedeni aracın hızının artması azalmıştır. Yani taşıtın birim zamanda ki hızdaki değişim azalmaya başlamıştır.

6.3 Düz Yolda 100–0 Yavaşlama ve 0-100 Hızlanma Testleri

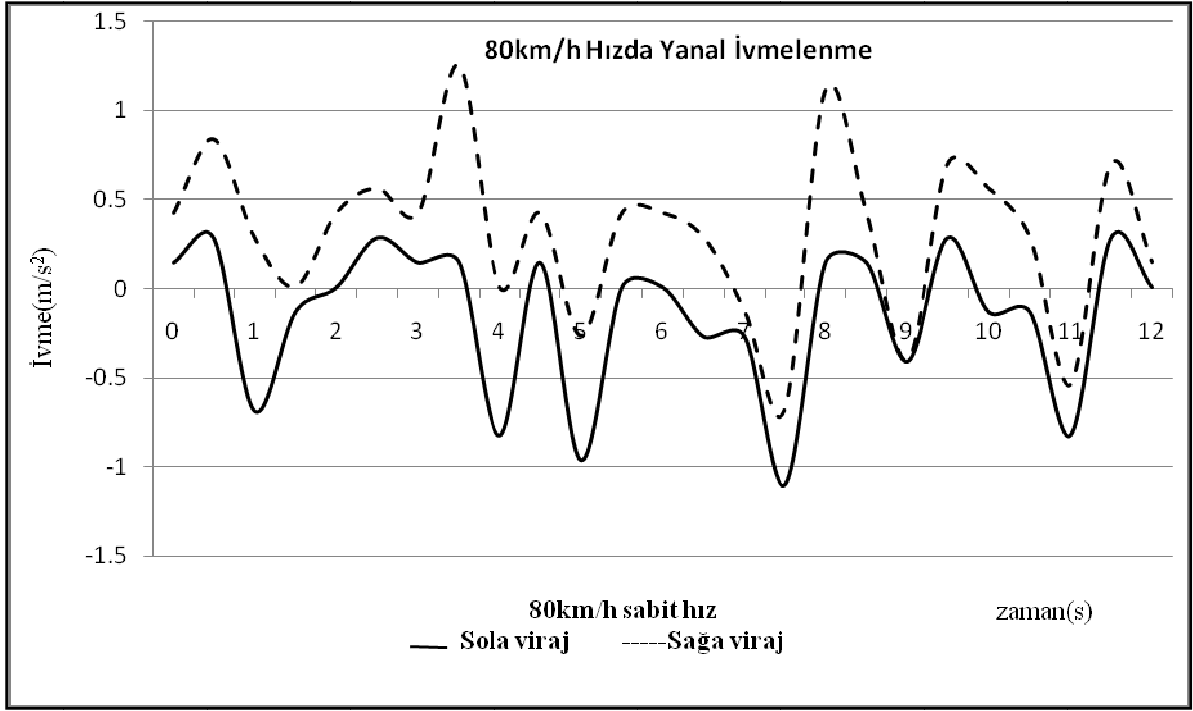


Şekil 6.3 100-0km/h ve 0-100Km/h İvmelenme Grafiği

Taşıtın 100–0 km/h yavaşlama deneyinde X(doğrusal) ivmelenmesi negatif yönde olmaktadır. Şekil 6’da hızlanmadaki ivme değişimi pozitif olarak, yavaşlamadaki ivme değişimi ise negatif olarak görülmektedir. Yavaşlama testinde ayak gaz pedalından çekilmiş ve optimum frenleme yapılmıştır. Hız azalması vites değişimi olmadan gerçekleşmiştir. Hızlanma testinde ivme değerleri yavaşlama testindeki ivme değerlerinden daha düşük seviyededir. Bu durumda taşıt daha kısa sürede yavaşlama sağlamaktadır. Taşıtın 0-100 km hıza ulaşması yaklaşık 15 s sürerken, 100-0 km/h hıza ulaşması ise yaklaşık 4 s sürmüştür.

Şekil 6.3’te görüldüğü gibi, 0-100km/h hızlanma deneyinde, zamana göre aracın hızının artmasında artış görüldüğünden ivme pozitif çıkmıştır.

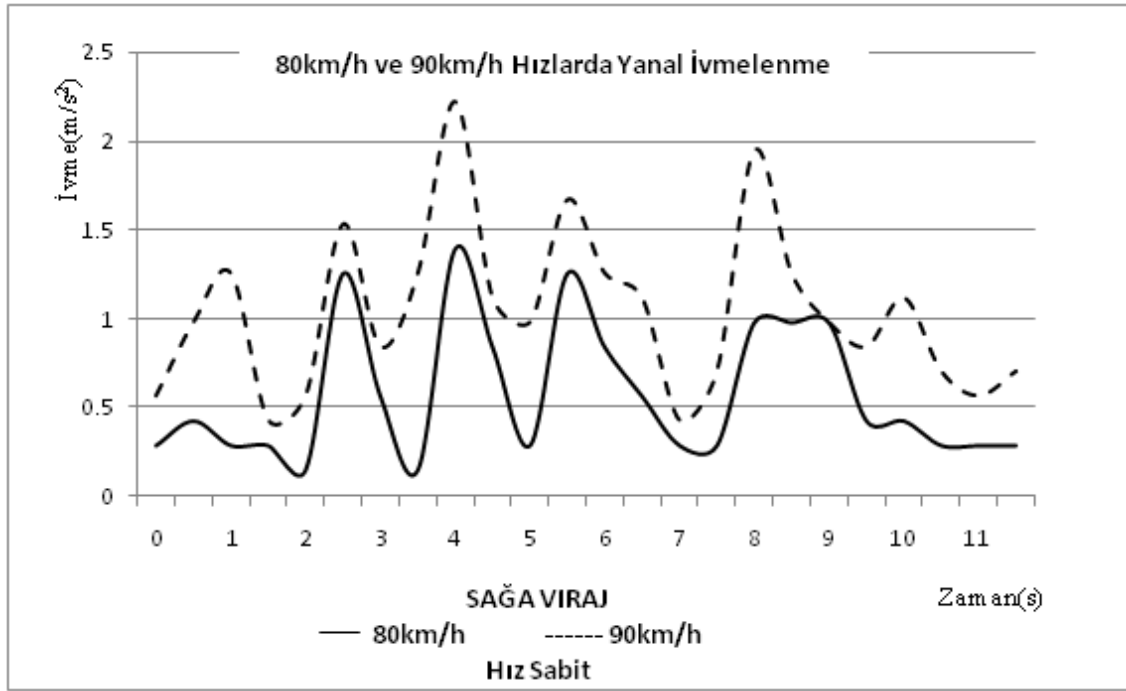
6.4 80km/h Sabit Hızda Sağa ve Sola Virajlarda Yanal İvmelenme Testleri



Şekil 6.4 Sabit Hızlarda Sağa ve Sola Viraj

Aynı virajda, aynı hızda, geliş ve gidiş olmak üzere iki tur yapılarak deney sonuçları elde edilmiştir. Taşıt viraja girdiğinde merkezkaç kuvvetinden dolayı dışa doğru savrulmak isteyecektir. Bunun sonucunda yanal ivme ortaya çıkmaktadır. Sabit hızlarda sol viraja giren taşıt belirli bir yanal ivmelenmeye sahiptir. Viraj çapıyla ters orantılı olarak taşıt merkez kaç kuvvetinden daha az etkilenir bunun sonucunda yanal ivmelenme sağ virajlara göre daha az olur. İvme ölçüm cihazının taşıta yerleştiriliş şekline göre; sola viraj negatif yönde, sağa viraj pozitif yönde çıkmıştır. Hızdaki değişime bağlı yanal ivmelenme değişimi grafiği Şekil 6.4'de görülmektedir. Sola virajda virajın en keskin olduğu zaman dilimi, 7,5. s'dir. sağa virajı en keskin olduğu zaman dilimi, yaklaşık 3,5. s'dir. Yanal ivmelenme virajın en keskin kısımlarında doğrusal ivmelenmeyi yenmeye çalışmış, taşıt oluşan atalet kuvvetinden dolayı takla atma eğilimi göstermiştir, bu nedenle doğrusal ivmelenme grafikte virajın en keskin olduğu bölgede kararlılığını yitirmiştir (Şekil 6.4).

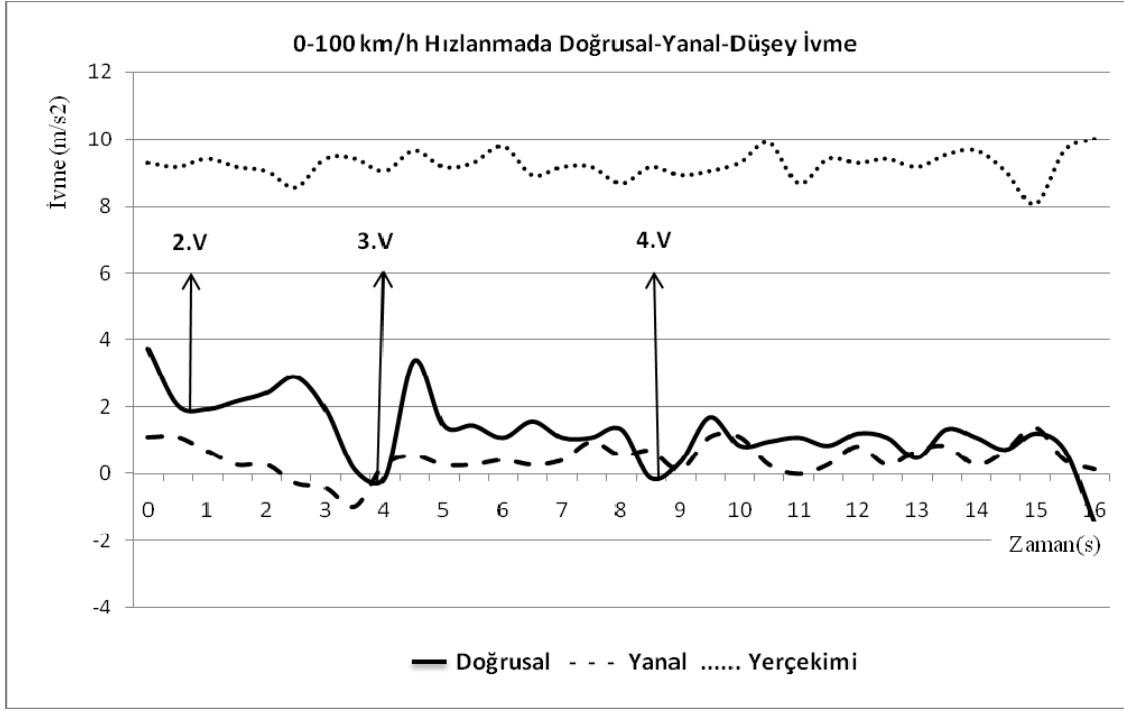
6.5 80km/h–90km/h Hızlarda Sağ Viraj Yanal İvmelenme Testleri



Şekil 6.5 Sabit Hızlarda Sağa Viraj

Taşıt hızının dönemeçlerdeki ivmelenmeye etkisini belirlemek için örnek olarak seçilen sağa virajda ve farklı hızlarda deneyler yapılmış olup 80-90 km/h hızlardaki değişimler Şekil 6.5'te görülmektedir. Hızdaki değişimin zamana oranı ivme olarak ifade edildiğinden hızın 80-90 km/h arasında 10 km/h'lik değişim göstermesi ivmenin de hız değişimine paralel olarak artış göstermesini sağlamaktadır. Her iki hızda da ivmenin en fazla olduğu bölge, kurb'un en fazla olduğu bölgede ortaya çıkmaktadır. Virajlarda hem kurb yarıçapı hem de taşıt hızı ivmelenme açısından önemli bir faktördür.

6.6 0-100km/h Hızlanmada Doğrusal, Yanal ve Yerçekimi İvmelenmesi Testi

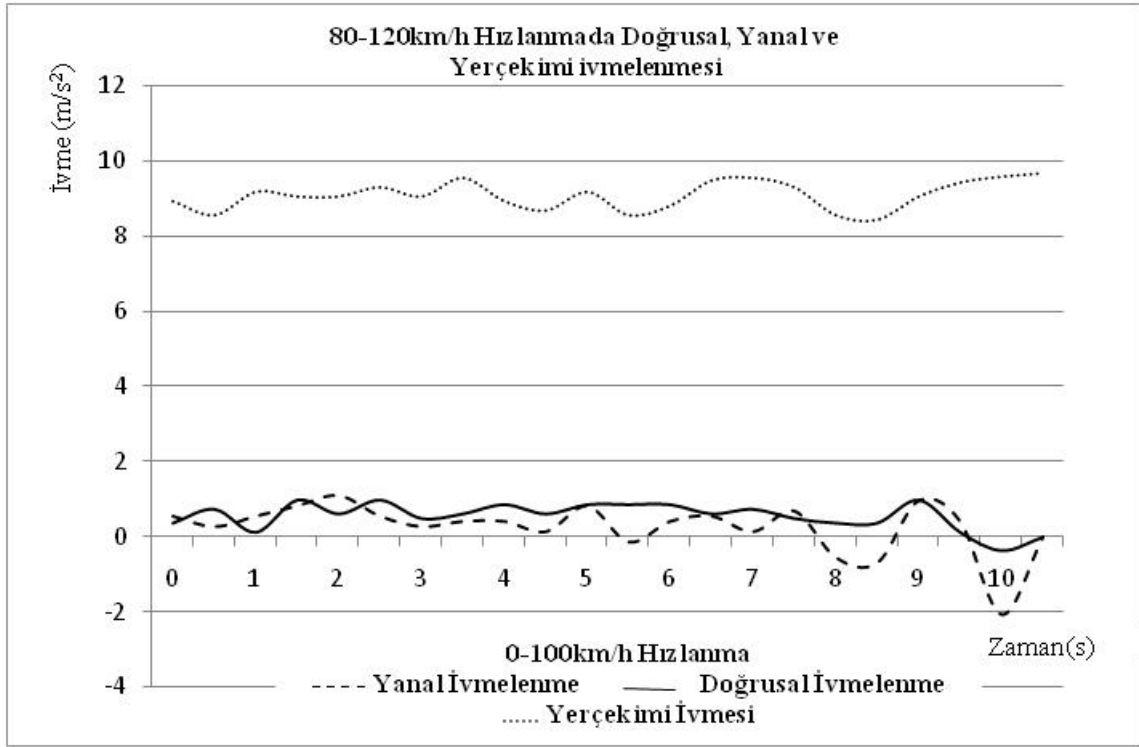


Şekil 6.6 0-100km/h Hızlanmada Doğrusal, Yanal ve Yerçekimi İvmelenmesi Grafiği

Hızlanma testi 0-100km/h, düz yolda yapılmış ve doğrusal, yanal ve yerçekimi ivmelenmesi değişimleri eş zamanlı olarak incelenmiştir (Şekil 6.6). Bu testte de hızlanma yönü pozitif alınmıştır. Taşıt düz yol şartlarında olduğundan yanal-düşey ivmelenmedeki değişiklikler oldukça azdır. Taşıtın süspansiyon sistemindeki küçük salınımlara bağlı olarak azda olsa ivme değişimleri gözlenmiştir. Vites değişim noktalarında kısmi değişiklikler daha belirgin olarak ortaya çıkmaktadır.

Doğrusal ve yanal ivme değerleri her durumda düşey ivmeden daha küçüktür.

6.7 80-120km/h Hızlanmada Doğrusal, Yanal ve Yerçekimi İvmelenmesi Testleri



Şekil 6.7 80-120km/h hızlanmada yerçekimi ivmesinin değişimi grafiği

Taşıtın hızı 80km/h'den 120km/h'e yükselirken vites değişimi olmadığından ve aracın hızının artışında, ani bir artış gerçekleşmediğinden doğrusal ivmelenmede ani değişiklikler görülmemektedir. Yanal ivmelenmede ise artışlar ve azalmalar olmuştur. Bu artışlar ve azalmalar özellikle taşıt yaklaşık 100km/h hızı geçtikten sonra olmuştur. Şekil 6.7'de görüldüğü gibi bunun nedeninin yüksek hızlarda direksiyon kontrolünün azalması olduğu düşünülmektedir. Yerçekimi ivmesinde bir değişiklik görülmemiş olup ortalama $9-9,5\text{m/s}^2$ çıkmıştır.

İvme değerlerinin küçük olması nedeni ile sürücü ve yolcular çok etkilenmeyecek seviyededir.

7. SONUÇ VE ÖNERİLER

İvmeölçerler, günlük hayatımızın vazgeçilmezleri olan motorlu taşıtların maruz kaldığı kuvvetler sonucu gösterdiği hız değişimlerini ölçülmesine yarayan sensörler olup test amaçlı ya da taşıt dinamik davranışlarını belirlemek için kullanılmaktadır.

Düz yolda yapılan hızlanma testinde, doğrusal, yanal ve yerçekimi ivmelenmesi aynı anda incelendiğinde, vites değişim noktalarında taşıtın doğrusal yöndeki hızının artışında azalma görüldüğünden ivmede de azalma görülmüştür. Aynı zamanda vites değişim bölgelerinde sürücü direksiyon kontrolünü bir miktar kaybettiğinden yanal ivmelenmede de değişimler görülmektedir. Yerçekimi ivmesinde bir değişiklik tespit edilmemiştir. Taşıt limit (sabit) hıza ulaştığında doğrusal ve yanal ivme sıfır olmuştur.

Yokuş yukarı, yokuş aşağı ve düzyol hızlanma deneylerinde, taşıt 100km/h limit hıza yaklaştıkça ivme değeri düşmektedir. Hızlanma deneylerinde ivme pozitif çıkarken, frenleme deneylerinde ivme negatif değerde ortaya çıkmaktadır. Frenleme deneyinde de hız 0'a yaklaştıkça ivme de 0'a yaklaşmaktadır.

Taşıtın doğrusal yöndeki ivmelenmesi 0-100km/h hızlanmada 1s'de $4m/s^2$ ye, 100-0 km/h frenlemede 3s'de $-5m/s^2$ de tespit edilmiştir.

Taşıtlarda hız değişimiyle orantılı olarak ivmelenmenin olması kaçınılmazdır. Yanal ivmelenme artışında taşıtın hızı, tekerleklerin yol tutuşu, çevresel şartlar, yolun durumu gibi faktörler etkili olmaktadır. Yanal ivmelenme ivme ölçüm cihazının araca yerleştiriliş şekline göre; bir taraftaki virajda pozitif iken diğer yöndeki dönüşlerde negatif olmaktadır. Taşıt hızının artması ile ivmelenme ve ivmedeki değişiklikler artmaktadır. Yanal ivmelenme kurbun en fazla olduğu kısımlarında doğrusal ivmelenmeyi yenmeye çalışmış, taşıt oluşan atalet kuvvetinden dolayı takla atma eğilimi göstermiştir, bu nedenle doğrusal ivmelenme virajın en keskin olduğu zaman aralıklarında kararlılığını yitirmiştir. Taşıt viraja ne kadar yüksek hızlarda girerse doğru orantılı olarak o kadar yanal kuvvete maruz kalmış ve atalet kuvvetinden kurtulması dolayısıyla yolu kavrayıp virajı tamamlaması daha fazla zaman almıştır.

Hızlanma testlerinde yanal ivmelenme en çok, vites değişimlerinde oluşan kararsızlık aralığında ölçülmüştür. Bu aralıklar da doğrusal ivmelenmenin karalılığını yitirdiği görülmüştür. Düz yol ve viraj testleri karşılaştırıldığında yanal ivmelenmenin max-min noktaları viraj testlerinde, doğrusal ivmelenmenin max-min noktaları düz yol testlerinde görülmüştür.

Yanal ve doğrusal ivmelenme hangi şartlarda olursa olsun birbiriyle doğrudan etkileşim halinde olduğu saptanmıştır.

Taşıtın hızlanırken daha düşük, yavaşlarken daha yüksek ivme değerine maruz kaldığı kaldığı belirlenmiştir.

8. KAYNAKLAR

- Brol, S. and Mamala, J., 2006, "Assessment of passenger car driveability with use of two axis accelerometer mounted on car body", Technical University of Opole, Chair of Road and Agricultural Vehicles Opole 45-271, ul Mikouajczyka 5, Poland.
- Kaplan, S. ve Dölen, M., 2003, 11. Ulusal Makina Teorisi Sempozyumu "Mikro-Elektro Mekanik-Sistemler (MEMS): Üretim Teknikleri", Atılım Üniversitesi, Mekatronik & Üretim Mühendisliği.
- [Navarro](#), A. and Canale, C., 2001, "Influences of the load centre of gravity on heavy vehicle acceleration", [Int. J. of Heavy Vehicle Systems](#), Vol. 8, No.1, 17-47.
- Xia. H., 1999, "Vehicle acceleration performance correction for ambient conditions", [Vol. 21, No.4/5 pp. 481 - 490.](#)
- Yang, S. Yang, W. and Yang, Y., 2007, "Measurement of vehicle-load using capacitance and acceleration transducers", *Journal of Physics: Conference Series* doi:10.1088/1742-6596/76/1/012020.
- Lelong. J, Michelet. R., 1999, "Effect of acceleration on vehicle noise emission", *The Journal of the Acoustical Society of America*, Volume 105, Issue 2, p.1375.
- Zhao. X, Gao. Z., 2005, "A new car-following model: full velocity and acceleration difference model", School of Traffic and Transportation, Beijing Jiaotong University, Beijing, 100044, P.R. China.
- Hansson. G.A, Asterland. P, Holmer. N.G, Skerfving. S., 2001 "Validity and reliability of triaxial accelerometers for inclinometry in posture analysis" *Med. Biol. Eng. Comput.* 39, 405-413.
- Lee. K.S., 2008, "Objective evaluation of interior sound quality in passenger cars during acceleration", *Journal of Sound and Vibration* 310 149–168.

Xiaomei. Z, Ziyou. G., 2007, “The stability analysis of the full velocity and acceleration velocity model”, Physica A 375 679–686.

Avenue. W., 2001, “What is wrong with my sensor”, 3425 Depew, NY 14043-2495 USA

Göktan, A.G. Güney, A. Ereke, M., 1995, “Taşıt Frenleri”, İ.T.Ü. Makine Fakültesi Otomotiv A.B.D. İstanbul.

Çetinkaya.S., 2004, “Taşıt Mekaniği”, Nobel Yayın Dağıtım, 3. Baskı, Ankara.

Aka, H.Y. 2003; “Otomobillerin Aerodinamik Karakteristiğinin Bir Rüzgar Tünelinin İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

SAE, J1491 1985-06 2006-07, Vehicle Acceleration Measurement

Tunç, A., 2004, “Esnek Kaplama Malzemeleri”, Asil Yayın Dağıtım, 1.Baskı, Ankara.

Bebek, G., 1997, “ Kaza Esnasında Taşıtta Meydana Gelen Deformasyon ve Bunun Yolcuya Olan Etkisinin Etüdü, Alınabilecek Önlemler”, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Ertuş, İ., 1993, “Denel Fizik”, Ege Üniversitesi Basımevi, 5. Baskı, İzmir.

8.1 İnternet Kaynakları

Erişim Tarihi

1- http://www.obitet.gazi.edu.tr	23.05.2008
2- http://www.marmatek.com	23.05.2008
3- http://www.kalitekontrol.org	14.06.2008
4- http://www.asc-sensors.de	27.06.2008
5- www.frenteknik.com	12.08.2008
6- http://tdk.org.tr	12.12.2008
7- http://www.labjack.com/files/LabJack_U3_Users_Guide.pdf	17.02.2009
8- http://www.vw.com.tr	17.02.2009
9- http://www.kgm.gov.tr	20.03.2009

9- ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Mehmet YEŞİLIRMAK

Doğum Yeri : Afyonkarahisar

Doğum Tarihi : 1973

Medeni Hali : Evli

Yabancı Dili :İngilizce

Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise : **Motor Teknik Lisesi (1992) Eskişehir**

Lisans : Fırat Üniversitesi T.E.F. Otomotiv Öğretmenliği Bl. (1997)
Elazığ

Çalıştığı Kurum/Kurumlar ve Yıl aralığı

Giresun Merkez Anadolu Teknik Lisesi Teknik Lise Ve Endüstri Meslek Lisesi Motorlu
Taşıtlar Alanı Öğretmeni: 1998-2001

Afyonkarahisar Merkez Anadolu Teknik Lisesi Teknik Lise Ve Endüstri Meslek Lisesi
Motorlu Taşıtlar Alanı Öğretmeni: 1998-2001

Halen Aynı Kurumda Görev Yapmaktadır.

Göreve Başlama Yılı: 1998

10. EKLER

Ek-1 Test Yolunun Haritası



Deneylerin yapıldığı Afyonkarahisar-İzmir karayolunun 10-30.kilometresi. Test başlangıç noktası, Özdilek Alış-Veriş Merkezi, test bitiş noktası, Düzağaç Kasabası.

Ek-2 0-100 km/h Düz Yol Hızlanma Testi Verileri

0-100 km/h DÜZ YOL HIZLANMA TESTİ

14:07

22.07.2008

X, CH+=0, CH-=31, UE9 Range=+/-5, $y=9.81*(v0-2.415)/0.414$

Y, CH+=1, CH-=31, UE9 Range=+/-5, $y=9.81*(v1-2.388)/0.361$

Z, CH+=2, CH-=31, UE9 Range=+/-5, $y=9.81*(v2-2.447)/0.409$

Time	X1	Y1	Z1	X	Y	Z
0	2.573282	2.428921	2.834413	3.750595	1.112008	9.292229
0.5	2.501937	2.428921	2.829321	2.060029	1.112008	9.170095
1	2.496841	2.413659	2.839506	1.939276	0.697271	9.414386
1.5	2.507033	2.398397	2.829321	2.180782	0.282533	9.170095
2	2.517226	2.398397	2.824229	2.422312	0.282533	9.047962
2.5	2.53761	2.378048	2.803861	2.905324	-0.27044	8.559429
3	2.496841	2.372961	2.839506	1.939276	-0.40868	9.414386
3.5	2.420401	2.352612	2.839506	0.12798	-0.96165	9.414386
4	2.410209	2.398397	2.824229	-0.11353	0.282533	9.047962
4.5	2.557994	2.408571	2.84969	3.388336	0.559007	9.658653
5	2.476457	2.398397	2.829321	1.456264	0.282533	9.170095
5.5	2.476457	2.398397	2.834413	1.456264	0.282533	9.292229
6	2.461169	2.403484	2.854782	1.094005	0.42077	9.780786
6.5	2.481553	2.398397	2.819137	1.577017	0.282533	8.925829
7	2.461169	2.403484	2.829321	1.094005	0.42077	9.170095
7.5	2.461169	2.423833	2.829321	1.094005	0.973744	9.170095
8	2.471361	2.408571	2.808953	1.335511	0.559007	8.681562
8.5	2.410209	2.413659	2.829321	-0.11353	0.697271	9.170095
9	2.430593	2.39331	2.819137	0.369486	0.144297	8.925829
9.5	2.486649	2.428921	2.824229	1.69777	1.112008	9.047962
10	2.450977	2.428921	2.834413	0.852498	1.112008	9.292229
10.5	2.456073	2.398397	2.859874	0.973252	0.282533	9.902919
11	2.461169	2.388222	2.808953	1.094005	0.006033	8.681562
11.5	2.450977	2.398397	2.839506	0.852498	0.282533	9.414386
12	2.466265	2.418746	2.834413	1.214758	0.835508	9.292229
12.5	2.461169	2.398397	2.839506	1.094005	0.282533	9.414386
13	2.435689	2.413659	2.829321	0.490239	0.697271	9.170095
13.5	2.471361	2.418746	2.844598	1.335511	0.835508	9.536519
14	2.461169	2.398397	2.84969	1.094005	0.282533	9.658653
14.5	2.445881	2.413659	2.824229	0.731745	0.697271	9.047962
15	2.466265	2.439095	2.783492	1.214758	1.388482	8.070872
15.5	2.445881	2.403484	2.84969	0.731745	0.42077	9.658653
15.98	2.354152	2.39331	2.864966	-1.44183	0.144297	10.02505

X1,Y1,Z1: Labjack'e giriş değerleri.

X,Y,Z :Labjack'den çıkış değerleri.

Ek-3 Deneyler Sırasında Elde Edilen Örnek Veriler

