

67754

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
1997

**KAZA ESNASINDA TAŞITTA MEYDANA GELEN
DEFORMASYON VE BUNUN YOLCUYA OLAN
ETKİSİNİN ETÜDÜ, ALINABİLECEK ÖNLEMLER**

Mak.Müh. Gökhan BEBEK

F.B.E Makina Mühendisliği Anabilim Dalı Enerji Programında
hazırlanan

YÜKSEK LİSANS TEZİ

67754

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Orhan DENİZ

İSTANBUL, 1997

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

TEŞEKKÜR.....	III
TÜRKÇE ÖZET.....	IV
YABANCI DİLDE ÖZET (ABSTRACT).....	V
1.0 GİRİŞ	
1 TAŞIT VE YOLCU GÜVENLİĞİ.....	3
1.1 Aktif Güvenlik.....	3
1.2 Pasif Güvenlik.....	4
1.2.1 Taşıt Yapısı.....	4
1.2.2 Taşıt Büyüklüğü.....	7
1.2.3 Emniyet Kemerleri.....	8
1.2.4 Önden Hava Yastığı.....	9
1.2.5 Oturma Pozisyonu.....	14
1.2.6 Kafa Arkalıkları.....	15
1.2.7 Taşıtin Ön Koltuğuna Monte Edilen Yandan Hava Yastığı.....	16
1.2.8 ABS (Anti-Blokaj) Fren Sistemi.....	25
1.2.9 Gündüz Vakti Farların Kullanılması.....	27
2.0 TRAFİK KAZALARI SONUCU MEYDANA GELEN YARALANMALARIN İNCELENMESİ VE MODELLENMESİ	
2.1 Trafik Kazalarındaki Yaralanmaların Biomekanik Analizi.....	29
2.1.1 Yüzün Analizi.....	31
2.1.2 Omurganın Analizi.....	33
2.1.3 Göğüs Bölgesinin Analizi.....	33
2.1.4 Karın Bölgesinin Analizi.....	34
2.1.5 Yumuşak Dokuların Analizi.....	35
2.1.6 Kemiklerin Analizi.....	35
2.1.7 Yaralanmaların Biomekanik Analiz Sonuçlarının Kullandığı Yerler.....	40

2.2	Taşıt-Yaya Çarpışmalarında Meydana Gelen Ölümcül Beyin Travmalarının deneysel incelenmesi ve Beyin Yaralanma Mekanizması.....	44
3.0	CRASH-TEST TEKNOLOJİSİ VE UYGULAMALARI	
3.1	Modelin Tanımlanması.....	54
3.2	C-1500 Pick-up Kamyonetin Bariyerlere Çarpma Modeli.....	56
3.3	Çarpışma testinin yapılışı.....	57
3.4	Simulasyon Çıkışı.....	58
3.5	Test ve Simulasyonun Karşılaştırılması.....	59
3.6	Önden Rijit Bariyerlere Tam Çarpma Testi.....	59
3.7	New Jersey Beton Refüjlere Çarpma Testi.....	66
4.0	KAZA ANALİZİ	
4.1	Kaza Analizi Tekniği ve Geçerliliği.....	69
4.2	Kaza Analizinde Kullanılan Ön Araştırma Tekniği ve Taşıt Hızı Tespiti.....	72
4.2.1	Taşıt Hızının Tespiti.....	73
4.2.1.1	Momentum/Enerji Analizi.....	74
4.2.1.2	Hasar/Enerji Analizi.....	76
4.2.1.3	Merkezkaç Kuvveti Analizi.....	77
4.2.1.4	Taşıtın Launch, Fall veya Vault Hareketlerinin Analizi.....	78
4.3	Özel bir Kaza Analizi: Kaza sonrası yapılan inceleme sonucu Taşıtların kaza anında farlarının Açık olup olmadığının Tespiti....	78
4.4	Değişik Kaza Durumlarına Göre Kaza Analizi.....	85
	SONUÇLAR.....	165
	KAYNAKLAR.....	166
	EK1 (Minimum Hız Denklemi'nin Çıkarılışı).....	168
	EK2 (Kaza Analizinde kullanılan bazı bilgiler).....	172
	ÖZGEÇMİŞ	

TEŞEKKÜR

Tezimin hazırlanmasında değerli katkılarını esirgemeyen, değerli hocam Prof. Dr. Sayın Orhan DENİZ, Prof. Dr. Sayın İrfan Yavaşlıol 'a ayrı ayrı teşekkürlerimi bir borç bilirim. Ayrıca şanssız bir trafik kazası sonucu aramızdan ayrılan değerli hocam Yrd. Doç. Dr. Adnan Balık 'ı saygıyla anarım.



ÖZET

Tez çalışmamda, ülkemizde güncel bir konu olan Trafik kazalarını ele aldım. Trafik kazaları konusu, Türkiye'nin en önemli sorunları içerisinde yer almasına karşın bu alanda yeterli bilimsel çalışma yapılmamaktadır. Trafik kazalarını önlemek için, bilimsel açıdan oluşum nedenlerini incelemek gerekir. Bu da ancak Trafik kazası analizi ile mümkündür. Bu nedenle tezimin önemli bölümünü Trafik kazası analizi oluşturmaktadır.

Tezimin ilk bölümünde, taşıt ve yolcu güvenlik sistemleri ele alınmıştır. Bu sistemler aktif ve pasif güvenlik sistemleri olarak ikiye ayrılmış ve pasif güvenlik sistemleri (taşıt yapısı, taşıt büyüklüğü, emniyet kemeri, oturma pozisyonu, hava yastığı, ABS fren sistemi, gündüz farların kullanımı) detaylı olarak incelenmiştir.

İkinci bölümde, trafik kazaları sonucu meydana gelen yaralama olayları incelenmiştir. Yaralanma analizinin niçin ve nasıl yapıldığı sorularına cevap verilmiştir. Yaralanma analizi ile kaza analizi arasındaki ilişki ortaya konmuştur. Trafik kazalarında sıkça rastlanan ölümcül eyin travmaları ve taşıt-yaya çarpışmaları konu edilmiş, yaralanma mekanizmaları incelenmiştir.

Tezimin üçüncü bölümünde, bir çarpışma testinin (crash-test) nasıl yapıldığı, test sonuçlarından nasıl yararlanıldığı açıklanmıştır. Özellikle bu testlerden elde edilen verilerin, sonlu elemanlar yöntemi ile nasıl modellendiği incelenmiştir.

Tezimin son bölümünde ise; kaza analizinin nasıl yapıldığı, seçilen kaza analizi tekniğinin sonuç üzerindeki etkileri belirlenmiştir. Ayrıca özel bir kaza analizi olan; 'Taşıt lambalarının çarpışma sırasında açık olup olmadığının araştırılması' incelenmiştir. Son olarak, Trafik kazası analizlerinde kullanılmak üzere çeşitli kaza durumları, fizik kuralları çerçevesinde deneysel veya teorik olarak bulunan denklem ve tablolar ile açıklanmaya çalışılmıştır.

ABSTRACT

In my thesis, one of the current subject of our country that is traffic accidents are evaluated. Although the traffic accidents are one of the essential problem of Turkey, there is not enough scientific study in this area. To prevent traffic accidents, the action of accidents should be investigated scientifically. This is only available by Traffic Accident Reconstruction. Therefore the main part of my project is focused on Traffic Accident Reconstruction.

The first section of my project that is the vehicle and passenger protection systems are reviewed. This system are divided into two sections, active safety and passive safety, and passive safety systems (vehicle structure, vehicle size, safety belts, seating position, air bag, side air bag, abs brakes, day lights) are examined in detail.

The passenger injuries at the result of traffic accidents are described in the second section of the project. The questions, why and how the injury reconstruction is made, are responded. The relationship between injury reconstruction and accident reconstruction is evaluated. In traffic accidents, the two common situations that fatal brain injuries and vehicle-pedestrian collisions are examined and injury mechanisms are considered.

In the third section of my project, the following questions are replied: How crash-tests are made and how the crash-test data are utilized. Particularly, how the crash-test data are used for vehicle finite element modeling is described.

In the last section of thesis, why the accident reconstruction is made and the effect of choosing right accident reconstruction method for particular case are discussed. Beside one of the specific accident reconstruction method, lamp examination to determine on or off in collision, is evaluated. The various traffic accident situations are described with experimental or theoretical equations relating to physics rules.

1.0 GİRİŞ

Ülkemizde her yıl, binlerce kişinin ölümüne veya yaralanmasına yolaçan trafik kazaları olmaktadır. Ayrıca yine bu trafik kazaları sonucu, Türkiye her yıl milyarlarca liralık maddi, manevi ve iş gücü kaybına uğramaktadır.

* Tablo 1.1' de kaza sonuçlarına göre toplam karayolu trafik kazalarının yıllara göre dağılımı görülmektedir. Tablo 1.1 dikkatlice incelirse, her yıl meydana gelen kaza sayısının doğrusal olarak arttığı görülür. Bunun en önemli sebebi her yıl trafiğe çıkan taşıt sayısının artmış olmasıdır. DİE 1996 Ocak - Ekim ayı istatistiklerine göre Türkiye çapında 263.441 adet trafiğe kayıtlı motorlu taşıt bulunmaktadır. Önceki yıl aynı döneme ait taşıt sayısı 226.907 adettir. Dolayısı ile bir önceki yılın aynı dönemine göre taşıt sayısında yaklaşık %16 oranında artış görülmüştür.

Sonuç olarak her yıl artan taşıt sayısı ile birlikte trafik kazası sayısında ülkemizde artmaktadır. Ancak ülkemizde trafik kazaları konusunda yapılan çalışmalar oldukça azdır. Trafik kazalarının azaltılabilmesi için, öncelikle trafik kazası nedenlerinin bilinmesi gerekir. Bu da ancak trafik kazası analizi ile mümkündür. ABD ve diğer bazı avrupa ülkelerinde, bu konuyla ilgili ciddi çalışmalar yapılmasına karşın Türkiye'de bu konu ile ilgili çalışmalar oldukça azdır.

Tezimin yapılış amacı, Türkiye 'de pek bilinmeyen Trafik kazası analizi konusunda bilgi vermektir. Bu amaçla, INTERNET yardımıyla dünyadaki konuyla ilgili birçok kuruluşun yapmış olduğu çalışma taranmış, elde edilen döküman ve bilgisayar programları değerlendirilerek tez içerisinde kullanılmıştır.

* Devlet İstatistikleri Enstitüsü Başkanlığı 1994 yılı kaza sonuçlarına göre toplam karayolu trafik kazaları raporu.

TABLO 1.1: Kaza sonuçlarına göre toplam karayolu trafik kazaları

A.Meskun mahal B.Meskun mahal dışı

YILLAR	KAZA		ÖLÜ		YARALI	
	A	B	A	B	A	B
1985	47390	16083	2185	3292	27444	21614
1986	73200	19268	3181	4097	43050	28395
1987	87137	23070	3523	4138	48856	31600
1988	85910	21741	3284	3564	48958	30285
1989	82432	21326	3020	3332	50497	29431
1990	91875	23420	3086	3231	55557	32111
1991	114925	27220	2960	3271	56374	34146
1992	141741	30000	3027	3188	59514	35310
1993	172639	36184	3207	3250	64993	39337
1994	196631	37172	2795	3147	65767	38950

1. TAŞIT VE YOLCU GÜVENLİĞİ

Taşıt ve yolcu güvenliği, birbiri ile bağlantılı 2 ana kısımda incelenir.

- a) **Aktif güvenlik:** Tehlikeli durumların ortaya çıkmasını önleyen herşeydir. Bir başka deyişle, taşıtın daha güvenli hareket etmesini sağlayan taşıtın teknik özellikleridir.
- b) **Pasif güvenlik:** Yolcuların ve aynı yolu kullanan diğer taşıtların kaza esnasında yaralanma riskini azaltan önlemlere denir.

1.1 Aktif Güvenlik:

Kazaları önlemek, kazanın sonuçlarını azaltmaya çalışmaktan daha iyidir. Önemli olan tehlikeli duruma mümkün olduğunca hazır (aktif) yaklaşmaktır. Sürücü tarafından doğru yapılan hareketler, mükemmel taşıt teknolojisinin önemli bir parçasını oluşturur. Eğer her ikisi uyumlu şekilde hareket ederse, taşıta hakimiyeti ve istikrarlı yol tutuşu artar. Esas konumuz pasif güvenlik sistemleri olduğundan dolayı bu konuyu sadece başlıklar halinde verilecektir.

a) Sürücünün durumu

1. Koltuklar
2. Ergonomik sürücü kabini tasarımı
3. Bilgilendirme sistemleri
4. Akustik

b) İklimlendirme

1. Isıtma
2. Havalandırma
3. Isı yalıtımı
4. Havanın kalitesi

c) Görmek ve görülmek

1. Görüş açısı
2. Aynalar
3. Pencereler
4. Silecekler
5. Farlar

d) Aktarma organları ve frenler

1. Akslar
2. Tekerlek / Lastik
3. Frenler
4. Direksiyon

e) Elektronik kontrol sistemleri

f) Sürüş

1.2 Pasif Güvenlik:

Her zaman kazalardan kaçınmak mümkün olmayabilir. Bu durumda, amaç kazanın sonuçlarını mümkün olduğunca azaltmaktır. Pasif güvenlik, hem taşıt içerisindeki insanların hem de aynı yolu kullanan diğer sürücülerin ciddi kaza durumunda mümkün olduğunca yaralanma riskini azaltmaktır. Ancak bu amaç değişik sistemlerin kombinasyonu ile mümkündür.

1.2.1 Taşıt Yapısı:

Kaza anından taşıt gövdesi ve yapısının nasıl davranış göstereceği taşıt dizaynının ilk aşamasını oluşturmaktadır. Sonlu elemanlar metodu taşıt gövdesinin statik, dinamik hesaplarının yapılmasına imkan vermektedir. Taşıt iskeleti (destek yapısı), elastik davranışı bilinen ve formüle edilebilen irili ufaklı parçalara ayrılmaktadır (yataklar, kabuklar ve diğer katı elemanlar vb.). Daha sonra bu elemanlar birbirleri ile uyum içerisinde bir araya gelerek taşıt gövdesini oluşturmaktadırlar.

Taşıt gövdesine uygulanan bir sonlu elemanlar metodunda gövde yaklaşık 10000 parçaya ayrılmıştır. Sonlu elemanlar metodu ile yapılan analiz; deformasyonun şeklini, modunu, gerilim dağılımını gösterir.

Günümüzde taşıt gövdesi üretimi için iki metod kullanılmaktadır: tek gövde (unibody) veya taşıyıcı yapı üzerine gövde (body-on-frame). Her iki dizayn hangi taşıtta kullanılacağına bağlı olarak avantajları ve dezavantajları vardır.

Tek gövde (unibody) : Konstrüksiyon bakımından ayrı bir ayrı bir yapı direnci gerektirmez. Direnç, taşıt yapısında kullanılan çeşitli malzemelerden (yüksek gerilime mukavim çelik vb.), yapının çarpışma anında aldığı şekil ve taşıt gövdesi üzerine entegre

edilen bazı elemanlardan alır. A-, B- veya C- payandaları (pillars) gibi tek gövde taşıt konstrüksiyonunun elemanları taşıt yapısının direncini ve rijitliğini artırır. Tek gövde taşıt konstrüksiyonu, taşıyıcı yapı üzerine gövde (body-on-frame) konstrüksiyonuna göre daha hafif ve daha rijit taşıt yapısı oluşturur. Ayrıca tek gövde konstrüksiyonu korozyona karşı daha dayanıklıdır.

Taşıyıcı yapı üzerine gövde (body-on-frame): Otomobilin icatından beri kullanılmakta olan konstrüksiyon. Bu dizaynda taşıyıcı kafes yapı taşıtın diğer elemanlarını üzerinde taşımaktadır. Taşıyıcı yapıya destek olan elemanlar ise motor ve gövdesi, tekerlek ve lastiklerdir. Taşıt gövdesi ayrı olarak, taşıyıcı yapı üzerine civatalanmaktadır. Bu tür dizaynın avantajı, üreiminin kolay olmasıdır. Taşıt gövdesi ve taşıyıcı yapı ayrı ayrı üretililerek daha sonra birbirine monte edilirler.

Şekil 1.1'de taşıt gövdesi konstrüksiyonunda kullanılan bazı destek parçaları gösterilmektedir.



Şekil 1.1: Tek gövde (unibody) taşıt gövdesi destek elemanları.

A-Pillar (A- desteği)

A-pillar ön cam ve taşıtın ön tavanını destekler. A-pillar ayrıca taşıt tavanını güçlendirerek yolcuyla kazalara karşı korur. Bu konuda taşıt mühendislerinin karşılaştıkları sorun; A-pilların görüşü engellemeyecek kadar ince ve dayanıklı olmasıdır.

B-Pillar (B- desteği)

B-pillar taşıtın yan tarafında yer alır ve tavanı rocker panele (kıvrılmış bar) bağlar.

C-Pillar (C- desteği)

C-pillar taşıtın arka penceresini veya taşıtın arka tarafını destekler. Bazı taşıtlarda ayrıca D-pillar da kullanılır. D pillar tavanın en arka tarafını destekler.

Taşıt Gövdesi (Şasi) Dizaynında Gözönünde Bulundurulması Gereken Noktalar:

a) Rijitlik:

Taşıt kapılarının, kaportanın ve bagaj kompartmanının elastik deformasyonunun azaltmak için taşıt gövdesinin burkulma ve bükülme rijitliği mümkün olduğunca büyük olmalıdır. Taşıt gövdesi rijitliğinin vibrasyon karakteristikleri üzerine olan etkisi dikkate alınmalıdır.

b) Vibrasyon Karakteristikleri:

Taşıt gövdesinde veya taşıt gövdesine ait herhangi bir parçadaki vibrasyon rezonans halinde tekerlek, süspansiyon sistemi, motor ve sürüş konforunu bozar. Vibrasyona neden olan taşıt gövdesinin doğal frekansı ve komponentleri arasındaki frekans ilişkisi çeper kalınlıklarının ve çapraz bölümlerin değiştirilmesi yoluyla ayarlanmalıdır. Rezonans mümkün olduğunca azaltılmalıdır.

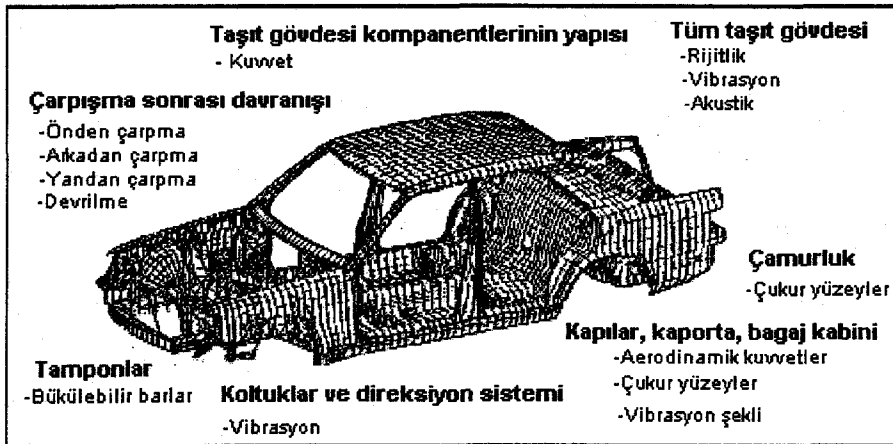
c) İşletme integrasyonu:

Hareket halindeki taşıta gelen değişken genlikteki yükler, taşıt gövdesinin yorulmasına ve kaynak hatalarına neden olur. Bu duruma özellikle dinamik yüklerin etkisi altında olan çalışan vites kutusu, taşıt yönlendirme sistemi ve motor ünitesi yol açmaktadır.

d) Kazalarda taşıtta oluşan gerilmeler:

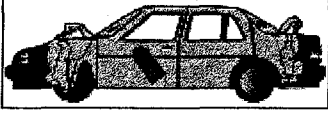
Kaza anında taşıt gövdesine aktarılan kinetik enerji mümkün olduğunca işe dönüştürülerek absorbe edilmelidir. Böylece sürücü kabinine gelen deformasyon azaltılmış olur.

Şekil 1.2 'de şasiyi oluşturan parçalarda alınması gereken önlemler görülmektedir.



Şekil 1.2: Şasiyi oluşturan bazı parçalardan beklenen özellikler.

Güvenlik kafesi, büzülme veya ezilme bölgeleri taşıt yapısının güvenliğini sağlayan önemli faktörlerdir. Fakat ne büzülme bölgesinin uzunluğu ne de taşıt gövdesinin rijitliği taşıt güvenliği için tek başına bir anlam ifade etmez. Doğru kombinasyon ise; çarpışma anında metal tabakanın daha önceden belirlenmiş kontrollu bir şekilde ezilerek veya büzülerek taşıta aktarılan kinetik enerejiyi absorbe etmesi ve böylece sürücü kabinine mümkün olduğunca az zarar gelmesini sağlamaktır. Yapılan taşıt dizaynı, testler ve gerçek kazalar ile doğrulanmalıdır. (Şekil 1.3)



Şekil 1.3: Ön ve arka ezilme bölgeleri çarpışma enerjisini absorbe etmek ve sürücü kabinine gelen kuvvetleri azaltmak üzere dizayn edilmiştir.

1.2.2 Taşıt Büyüklüğü:

Taşıt içerisindeki insanların güvenliği açısından önemli rol oynayan diğer bir karakteristik faktör ise taşıt büyüklüğüdür. Fizik kuralları bu tezi savunur; Ezilme bölgesi büyüdükçe, daha az çarpışma kuvveti sürücü kabinine iletilir. Büyük taşıt sürücü güvenliği bakımından daha iyidir. Küçük taşıtlarda seyahat eden insanların kaza halinde yaralanma riski, büyük taşıtlara göre daha fazladır.

Bazı insanlar küçük taşıtların daha iyi manevra yaptıklarını bu nedenle tehlikeli durumlardan kolayca kurtulduklarını söylerler. Fakat durum bu kadar basit değildir. Bazı küçük taşıtlar, büyük taşıtlara göre daha iyi manevra kabiliyetine sahip olabilirler, fakat bu durum onların daha az kaza yapacakları anlamına gelmez. Bu durumu en iyi sigorta şirketlerinin yapmış oldukları araştırmalar kanıtlar. Bu araştırmalara göre küçük taşıtlar, büyük taşıtlara göre daha fazla hasar ve yaralanma durumuna yol açmaktadır.

Bazı kişiler eğer bütün taşıtlar küçük imal edilirse, büyük taşıtların küçük taşıtlar ile çarpışması önlenir ve böylece de yaralanma riski azaltılır tezini savunmak-

tadır. Fakat istatistiklere baktığımızda ister tek bir taşıtın yaptığı kaza olsun isterse diğer taşıtlarla , küçük taşıtlarda kazaların daha fazla ölümle sonuçlandığı görülmektedir.

Küçük taşıtlarla yapılan kazalardaki ölüm oranı nerdeyse, büyük taşıtlardakine göre iki katı kadardır.

1.2.3 Emniyet Kemerleri:

Yolcu kabinine gelen kuvvetlerin azaltılması gerektiğinden emin olduktan sonra, yapılması gereken bir sonraki adım kaza anında yolcu kabinindeki insanları orda tutmak ve onları taşıt içerisindeki zarar verecek sert yüzeylerden korumaktır. Emniyet kemeri ise tüm bunları yapabilecek en iyi koruma aracıdır.

Kucak/omuz kemerleri yolcu kabinindeki insanları kabin içinde tutmada ve onları yavaşlatarak ön cephelelerdeki yüzeye çarpmalarını önlemede anahtar önemli rol oynarlar. Fakat bütün emniyet kemerlerinin dizaynı aynı değildir. Bazı kemerler diğerlerine göre kullanımı çok daha kolay ve konforludur. Bu durum çok önemlidir. Çünkü kullanımı rahat olan kemerin, yolcular tarafından kullanma olasılığı artar. Bazı omuz emniyet kemerlerinde yükseklik ayarlayıcısı üst çengelin hareket etmesine müsaade eder ve böylece değişik boylardaki insanlar için rahat emniyet kemeri sağlanır. Kucak kemeri ise yolcuyu leğen kemiği boyunca sarmalı ve kemer karın bölgesinin üstüne çıkmamalıdır.

Bazı yeni taşıtlarda atalet makaralı omuz emniyet kemerleri bulunmaktadır. Bunlar normal sürüş sırasında vücudun üst kısmının hareketine izin verir, çarpışma veya sert fren durumunda ise kilitlenerek hareketi sınırlandırır. Bazı atalet makaralı omuz kemerleri ikinci bir kilit mekanizmasına sahiptir. Bu mekanizma makaranın ani ivmelendirilmesi durumunda devreye girer.

Önden çarpışmalarda genellikle omuz kemerleri üst vücudun ileri hareketine, atalet makarasına kontrol edilerek veya yolcuyu saran kemeri gevşeterek belli miktarda izin verir. Bunun sebebi vücudun kaza esnasında sıkışmasını önlemektir. Fakat bu seferde emniyet kemeri takmış kişinin yaralanabileceği alan yaratılmış olur. Çarpışma gergileri ve kemer tutucuları bu hareketin azaltılmasına yardımcı olurlar. Gergi çarpışmanın ilk birkaç milisaniyesinde kemeri gerer ve kemer tutucuları kemeri makaranın dışında bağlar.

Yapılan deneyler göstermiştir ki; 7 km/h den daha az hızda yapılan kazalarda yolcu kolları ve ayakları ile vücut hareketlerini kontrol edebilir. Daha yüksek hızlarda ise yolcunun başı veya vücudu taşıtın ön tarafına çarpma riski artar.

60 km/h ile giden taşıtın yapmış olduğu kazanın etkisi 14 m yüksekten düşmeye eş değerdir. Şekil 1.4 'de emniyet kemeri takmış yolcunun kaza esnasındaki durumu, Şekil 1.5 'de ise emniyet kemeri takmamış yolcunun durumu görülmektedir.



Şekil 1.4: Sürücünün emniyet kemeri sayesinde fırlaması önlenmiştir.



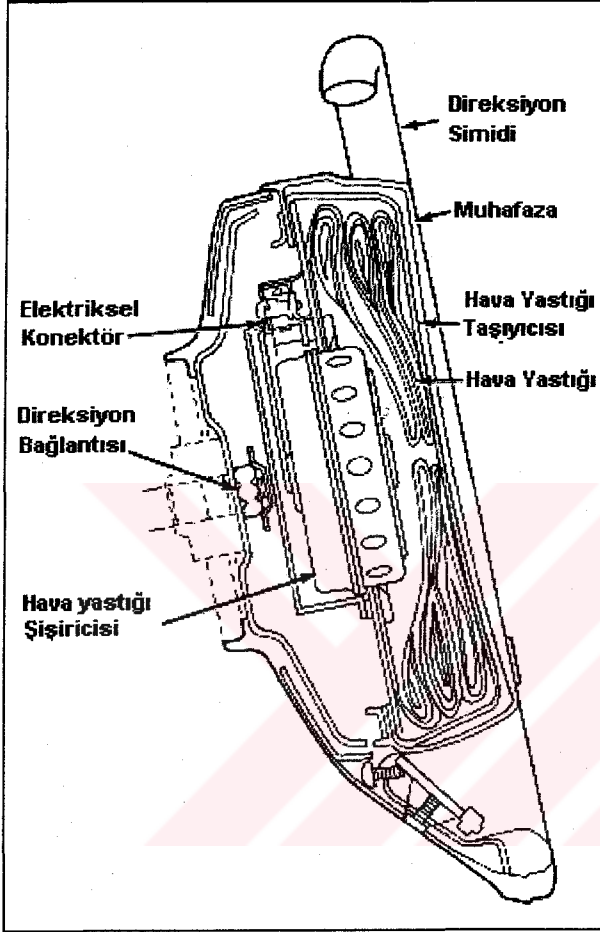
Şekil 1.5: Emniyet kemeri kullanılmadığı durumda sürücü fırlayarak direksiyon ve kafası ön cama çarpmıştır.

1.2.4 Hava Yastığı (Önden):

Yüksek hızlarda meydana gelen trafik kazalarında emniyet kemeri yeterli yolcu emniyetini sağlayamaz. Bu gibi durumlarda hava yastığı önem kazanır. Çarpışmanın algılanması ve hava yastığının ortaya çıkmasını sağlayan sistem elektro-mekanik veya tamamen elektronik olabilir. Hava yastığı şişiren sistem ise piroteknik hava kompresörüdür.

Hava yastığının çıkmasında esas parametre tasarımcı firma ve hava yastığının kullanıldığı taşıtın modeline bağlı olmasına karşın, genellikle hava yastığı taşıtın 15-25 km/h den fazla bariyerlere çarpma hızına denk durumlarda ortaya çıkar. Çarpışma algılama sistemi, taşıta gelen pulsların arasından çarpışma çeşitlerini ve şiddetlerini ayırtetme özelliğine sahip olmalıdır. Örneğin; hava yastığının orta şiddetli bir kazada ortaya çıkması istenir, fakat kötü çukur ve tümseklerle dolu bir yolda ortaya çıkması istenmez. Hava yastığının istenmeyen durumlarda ortaya çıkması pratikte çok az görülür. Şekil 1.6 'da bir hava yastığının basit yapısı görülmektedir.

Elektro-mekanik sistemlerde, çarpışma genellikle safing veya arming sensörleri ve diğer iki ya da üç ayırıcı sensör tarafından algılanır. Herbir sensör taşıtın ileri yöndeki hareketini sınırlandıran kütleyi algılar.



Şekil 1.6: Hava yastığı kesiti ve elemanları.

Sensörlerin çalışma prensipleri ise kısaca şöyledir; ball-in-tube (tüp içinde bilya) çeşit sensörlerde, magnet çelik bilya üzerinde bir ön gerilim sağlar. Diğer alternatif tip sensörde ise silindir ve onun üzerinde ön gerilimi sağlayan yay vardır. Her iki durumda da taşıtaki yeteri büyüklükteki yavaşlamaya paralel olarak kütle üzerindeki ön gerilmeyi yenerek ileri doğru hareket ederek elektrik devresini kapatır. Safing sensörün üzerinde düşük bir ön gerilme bulunur ve genellikle hava yastığı modülünün içerisine monte edilmiştir. Ayırıcı sensör ise 2 yada 3 tane olup genellikle taşıtın en ön kısmına konur. Safing sensör ve ayırıcı sensör birbirlerine paralel olarak bağlanmıştır. Bu nedenle yalnızca safing sensörünün devreyi tamamlaması hava yastığının çıkması için yeterli

değildir, ayrıca ayırıcı sensörlerden en az biride devreyi tamamlamalıdır.

Son zamanlarda tamamen elektronik algılama ve kontrol sistemleri yaygınlaşmaktadır. Katı durum ivme ölçer (Solid state accelerometers) ve mikro işlemcilerin bileşiminden tek-nokta algılama ünitesi oluşmuştur. Karmaşık algoritmalar çarpışma pulslarını analiz ederek hava yastığının çıkmasını gerektiren durum olup olmadığına karar verir. Bu sistemler bir bilgisayar programı ile kontrol edildilerinden oldukça esnektiler, gerektiğinde programda değişiklik yapılarak hava yastığının parametreleri değiştirilebilir. Örneğin; Emniyet kemerlerinden alınan bilgiler doğrultusunda sensörlerin hava yastığının ortaya çıkmasına izin vermesi sağlanabilir.

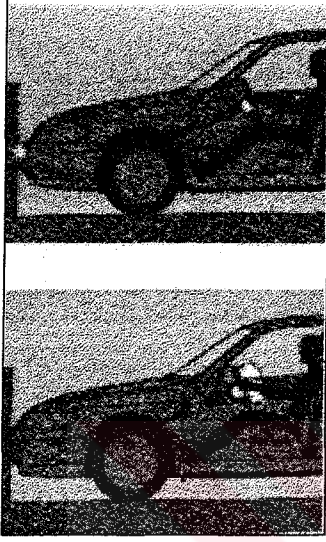
Patlatıcı modülü hava yastığı ve piroteknik patlatıcıdan oluşur. Alüminyum muhafaza ise ateşliyiçi (kapsül) yakıt tanecikleri, difüzörden oluşur. Sodyum azidi yakıt taneciklerinin yanması sonucu yakıtı genellikle nitrojen gazı üretir ve bunlarda filtre edilerek kalıcı partikülleri tutulur. Gaz jeneratörünün ürettiği gaz hava yastığını bir patlama şeklinde ortaya çıkarır ve gaz saniyenin 300 de biri gibi kısa sürede kumaş doku içerisine gönderilen basınçlı hava ile hava yastığı şişirilir. Sodyum hidroksit gibi bazı partiküller bu sırada aerosol olarak ortama atılırlar. Sodyum hidroksit güçlü bir alkalın olmasına karşın, kısa zamanda zehirsiz sodyum karbonata dönüşür.

Hava yastıklarının çoğu sağlamlılıkları, sürtünme dayanıklılıkları, uzun sürede eskimeleri ve yüksek performansları nedeni ile naylondan yapılmaktadır. Hava yastığının içine dolan havanın akış kontrolü için, hava yastığının içi neopren maddesi ile kaplanır. Hava yastığı bir paraşüt gibi direksiyon simidi içerisindeki modüle katlanılarak konulur. Bu modülün yüzeyi plastik bir muhafaza ile kapatılır. Hava yastığının açılması sırasında muhafazanın yırtılarak hava yastığının kolayca çıkmasını sağlamak için plastik muhafazanın tam orta ekseninden geçen çizgi halinde tırtıklı izler bulunur. Öte yandan muhafaza hava yastığının ömürünü artıracak derecede sağlam değildir.

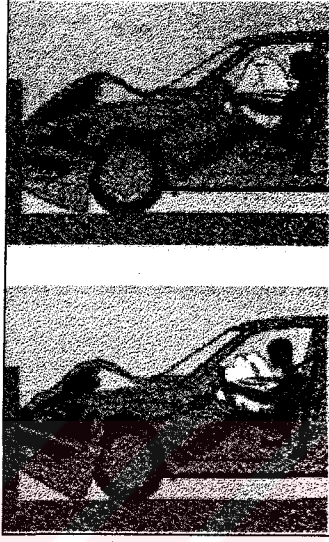
Hava yastığının ortaya çıkma karakteristiklerini patlatıcının hava yastığına gönderdiği gaz miktarı, muhafazanın yırtılma izinin şekli, hava yastığının katlanma şekli belirler. Bunların arasında en büyük etkiyi patlatıcının dizaynı gelir. Hava yastığının çıkması yaklaşık 170-340 km/h hızla olur.

Sürücünün hava yastığının şekli özellikle dairesel ve 60 litre gazı alabilecek kadar hacimlidir. Ön koltukta oturan yolcu için hava yastığının şekli ise damla şeklinde

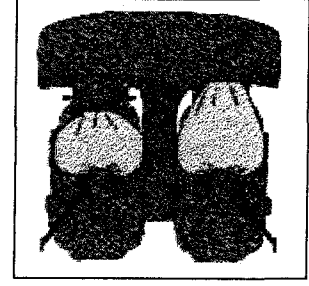
olup sürücünün hava yastığının 2-3 katı daha hacimli olur. Sürücünün hava yastığı direksiyon üzerine, yolcunun hava yastığı ise ön panele monte edilir. Şekil 1.7 ve Şekil 1.8'de hava yastığının açılma aşamaları Şekil 1.9' da ise sürücü ve yolcuya ait hava yastıklarının şekilleri görülmektedir.



Şekil 1.7: Taşıt bariyerlere çarpar. Bu durum sensörler tarafından algılanarak emniyet kemeri gergilerine ve hava yastığı patlatıcı modülüne sinyal olarak gönderilir.



Şekil 1.8: Hava yastığı açılır ve hava yastığı direksiyon ile sürücü arasına girerek direksiyona gelen kuvvetin sürücüye ulaşmasını engeller.



Şekil 1.9: Sürücüye ait hava yastığı dairesel, yolcuya ait hava yastığı ise damla formunda olur.

Yastığın şişmesi ise yastık için gaz ventillerinin sayısı, büyüklükleri ve konumları ile kontrol edilirler. Genellikle ventiller sıcak egzoz gazlarının sürücüye intikal etmesini önlemek için yastığın arkasına yerleştirilir.

Hava yastığında zamanlama çok önemlidir. Önden bariyerlere çarpma esnasında maksimum hava yastığının devreye girme süresi 100 ms dir. Çarpışmanın algılanması, çarpışmada sonra ilk 20 ms de, hava yastığının tamamen patlayarak şişmesi 50-70 ms olur.

Hava yastığının patlayarak açılması, taşıtın yavaşlamasının çarpışma sensörleri tarafından algılanması ile başlar. Kontrol modülü hava yastığının açılmasına karar verir ve ateşleyiciye elektrik sinyali gönderir, ateşleme 1 ms içerisinde gerçekleşir. Sodyum azid yakıt taneciklerinin yanması sonucu gaz üretilir. Gaz basıncı hızla artar ve sonuçta

yüksek basınçtaki gaz modül muhafazasına doğru akar. Gaz genişir ve patlama şeklinde hava yastığını açar ve 40-50 ms süresinde tamamen şişirir. Sürücü tamamen şişmiş hava yastığına temas eder, daha sonra yastık içerisindeki gaz ventilerden kaçarak hava yastığının sönmelerini sağlar. 1-2 sn içerisinde de hava yastığı tamamen söner.

Hava Yastığı teknolojisinin eksiklikleri ve dezavantajları:

Kemer takmış veya kemer takmamış yolcular şiddetli çarpışmalarda hava yastığından yararlanabilirler. Fakat düşük hızlarda meydana gelen kazalarda sürücünün emniyeti için kucak ve omuz kemerleri yeterlidir. Sadece bu durumdan emniyet kemeri takmamış olanlar yararlanabilir. Ayrıca hava yastıklarında piroteknik patlama sistemi kullanılmaktadır. Bu nedenle de ayrıca hava yastığının açılması sırasında yaralanmalar olabilir. Özellikle yüzde hava yastığının sıcak gazların yaptığı yanmalar, ufak sıyrıklar oluşmaktadır. Bunu bir bakıma "hava yastığı tokatı" olarak adlandırabiliriz.

Dolayısı ile şiddetli çarpışmalarda, bu tür çarpışmaların ölüm, ciddi yaralanma gibi sonuçları ile karşılaştırılmayacak kadar önemli olamayan bu yaralar, düşük hızlardaki kazalarda önem kazanmaktadır.

Öte yandan özellikle ön koltukta oturan küçük çocuklar için hava yastığı kaza anında çok tehlikeli olmaktadır. Arka koltuğu yerleştirilmesi gereken bebek sandelyesinin ön koltuğa yerleştirilmesiyle, o taşıtın yapmış olduğu kazada yastığının sıkıştırdığı bebeğin boğularak ölümü gibi olaylar ile karşılaşmaktadır.

Bu durumu daha iyi açıklayabilmek için Batı Ontario Üniversitesinin yapmış olduğu araştırma sonucu gerçek kaza raporlarına göz atalım.

1. Kaza raporu: 24 yaşında emniyet kemeri takmış bayan sürücü 1994 model Plymouth Sundance marka araba ile iki bina arasındaki dar bir girişe doğru hareket ediyor. Aracını yavaşlatıyor ve 90° lik açı ile dönerek park yerine yöneliyor. Taşıtının sağ ön kısmı beton duvara çarpıyor.

Taşıttaki hasar sadece ön tamponda meydana gelen aşınmalar. Çarpışma anında taşıt 10 km/h süratin altında hareket ediyor. Fakat bu düşük süratte hava yastığının açılması ile çenesinin alt tarafına hava yastığının çarpması 5x5 cm büyüklüğünde bir alanı sıyrarak şişmesine neden oluyor.

2. Kaza raporu: Emniyet kemeri takmayan 74 yaşındaki erkek sürücü 1994 model Saturn marka arabasını yan şeritteki belediye otobüsüne çarpıyor. Taşıttaki hasar minimum. Fakat sürücünün, hava yastığının göğüs kafesine yaptığı etki ile her iki taraftaki kaburga kemiklerinin kırıldığı ve başını ön cama çarpması sonucu başından ciddi yaralandığı belirleniyor. Ölmek üzere iken bulunuyor ve yapılan inceleme sonucu kaza öncesi direksiyon başında kalp krizi geçirdiği bulunuyor.

Gelecekteki Hava Yastığı Teknolojisi:

Gelecekte akıllı hava yastığı diye adlandırılan teknoloji kullanılacaktır. Bu sistemlerde sürücü ve yolcuların emniyet kemeri takıp takmadıkları belli algoritmalar ile algılanarak ve çarpışmanın şiddetinde göz önüne alınarak hava yastığının doğru durumlarda açılması, düşük hızlarda emniyet kemerlerinden yararlanılması sağlanacaktır. Günümüzde benzer bir uygulama Mercedes Benz otomobillerde görülmektedir. Mercedes marka taşıtlarda bulunan emniyet kemeri sensörü ve algoritmalarında yardımcı ile hava yastığı sürücünün emniyet kemeri takıp takmadığını dikkate alır. Örneğin; sürücü emniyet kemeri takmışsa hava yastığı çıkar. Eğer sürücü emniyet kemeri takmış ve sürat düşük ise hava yastığı ikinci bir yüksek çarpma seviyesi algılayıncaya kadar harekete geçmez.

İkinci metod ise hava yastığı patlatıcı modülünün 2 kademeli yapılmasıdır. Bu sayede; patlatıcı modül kaza esnasındaki çarpışma şiddetinin fonksiyonu olarak tek veya çift kademeli çalışacaktır. Düşük hızlarda meydana gelen kazalarda patlatıcı modül tek kademede çalışacak ve hızının düşük olması nedeniyle gaz çıkış debisi az olacaktır. Böylece düşük hızlarda sıcak gazlardan meydana gelen yanmalar önlenmiş olacaktır. Şiddetli çarpışmalarda meydana gelen kazalarda otomatik olarak 2 kademede devreye girecektir.

1.2.5 Oturma Pozisyonu:

Emniyet kemeri ve hava yastığı gibi pasif güvenlik sistemleri dahi sürücünün hareketine bir miktar izin verir. Sürücülerinin yaralanmasının başlıca kaynağı direksiyon simidi dir. Direksiyon simidinden uzak oturarak yaralanma riski azaltılabilir. Direksiyon simidine çok yaklaşımadan pedallara ulaşabileceğiniz taşıtları tercih ediniz. Bazı taşıtlarda teleskobik direksiyon bulunur. Bu durum sizin direksiyon simidini kendiniz-

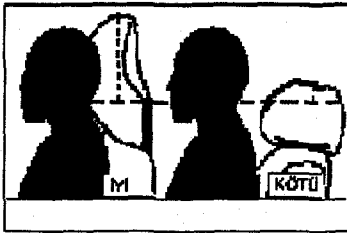
den uzak tutmanızı mümkün kılar.

1.2.6 Kafa Arkalıkları:

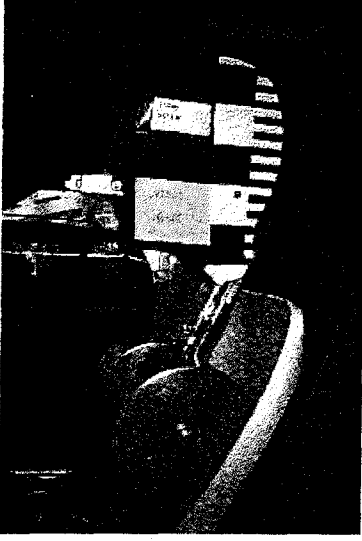
Arkadan yapılan kazalarda, koltuk ve kafa arkalıkları yolcunun geriye doğru olan hareketleri azaltır. Özellikle arkadan yapılan kazalarda, taşıtın ön kısmında oturanların kafa arkalıklarının olması başın geriye çarpması ile sonuçlanabilecek yaralanmaları azaltacaktır. Arka koltuklarda, kafa arkalıkları çok önemli olmadığı halde günümüzde pek çok taşıtta kullanılmaktadır.

Bütün kafa arkalıkları aynı değildir. Bazıları sabittir, ayarlanamazlar. Bazıları ise ayarlanabilirler. Pek çok kafa arkalıkları uzun boylu insanlar için yeterince yüksek değildir. Ayrıca, uzun boylu insanlar çok geri oturmak zorunda kalırlar. Arkadan yapılan kazalarda boyun incilmelerinden korunmak için, mutlaka kafa arkalıkları kullanılmalıdır. Bunlar; insanların boyuna göre yeterince yüksek olmalıdır ve tam kafanın arkasında ve başın arka kısmına yakın olmalıdır. Baş kafa arkalıklarına ne kadar yakın olursa, alınan yol dolayısıyla momentum azalır.

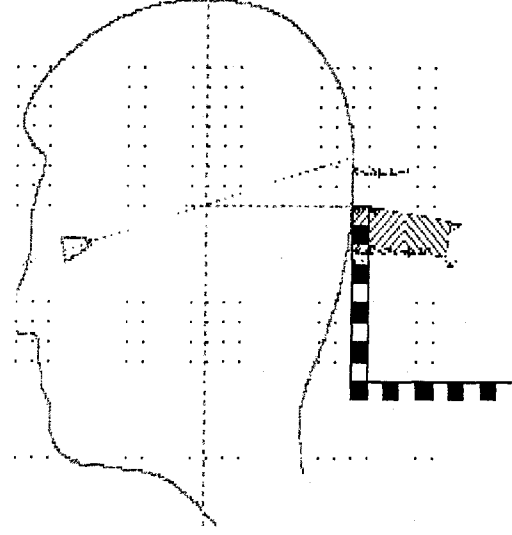
Sabit kafa arkalıkları daha çok tercih edilirler. Çünkü pek çok insan psikolojik olarak başının arkasında olan ayarlanabilir kafalıkları aşağı konumda bırakma eğilimindedir. Fakat sabit kafa arkalıkları her zaman başı koruyacak iyi geometri sağlayamaz. Bu nedenle de ön koltuğa oturan sürücü ve yolcunun seyahate başlamadan önce kafa arkalıklarının tam arkalarında ve başa yakın olduğunu kontrol etmeleri ve gerekirse ayarlamaları gerekir. Şekil 1.10'da doğru ve yanlış kafa arkalıklarının pozisyonu gösterilmektedir. Şekil 1.11 ve Şekil 1.12 'de Volvo 850 'ye ait kafa arkalıkları gösterilmiştir.



Şekil 1.10: Kafa arkalıklarının yatay ve düşey yönde olması ve olmaması gereken pozisyonları.



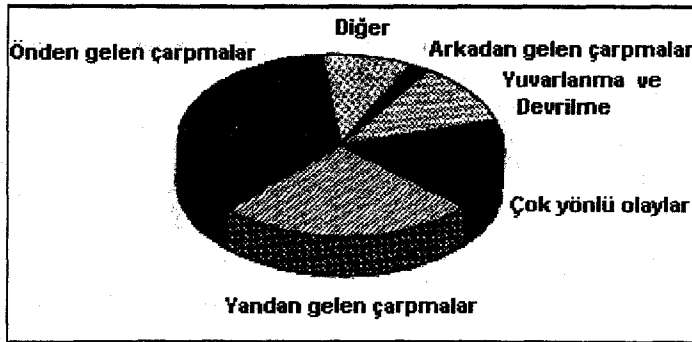
Şekil 1.11: Volvo 850 Kafa arkalığı.



Şekil 1.12: Volvo 850 Kafa arkalığı.

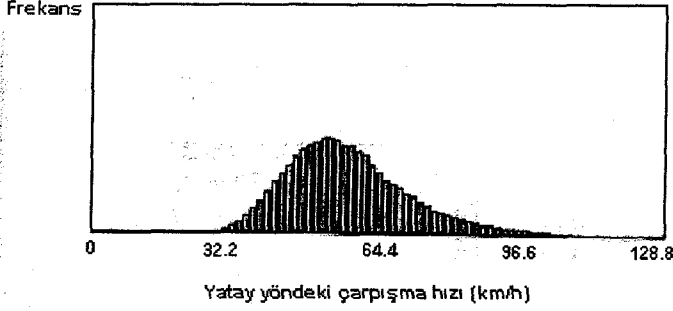
1.2.7 Taşıtın Ön Koltuklarına Monte Edilen Yandan Gelen Çarpmalara Karşı Hava Yastığı Teknolojisi:

Ciddi kazaların yaklaşık %30'unu önden gelen çarpmaların oluşturmasına karşın, istatistikler %25 ile yandan çarpışmaların ikincil ölümcül kaza şekli olduğunu doğrulamaktadır. Şekil 1.13' de çarpışma çeşitine göre ciddi kazaların yüzdesel dağılımını görölmektedir.



Şekil 1.13: Ciddi kazalara neden olan çarpışma tiplerinin yüzdesel dağılımını.

Günümüzde önden gelen çarpmalara karşı pek çok önlem alınmıştır ve aşağı yukarı bu problem çözülmüştür. Bu nedenledir ki; yandan gelen çarpmalara karşı önlem almak için bu konuda yapılan çalışmalar önden gelen çarpmalara karşı yapılan araştırmalardan daha fazladır. Bunun nedeni, yandan gelen çarpmalarda ciddi yaralanmalar çok geniş bir çarpışma şiddeti aralığında meydana gelmekte ve düşük çarpışma şiddetlerinde dahi yüksek frekanslı yaralanmalar meydana gelmektedir (Şekil 1.14).

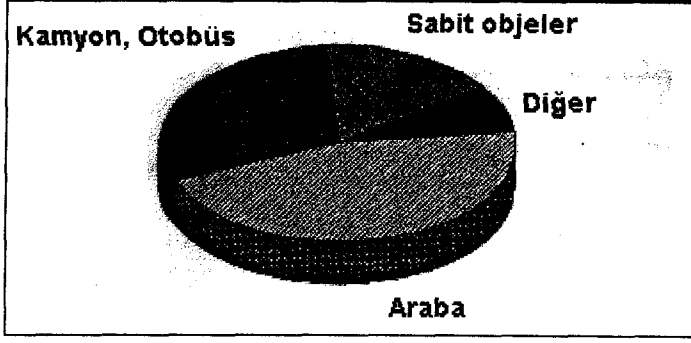


Şekil 1.14: İki taşıt arasındaki yandan çarpışmaların meydana gelen yaralanmalara göre dağılımı.

Sonuç olarak, yandan gelen çarpmalara karşı alınacak olan her tedbir sadece yüksek şiddetli çarpmalarda değil, aynı zamanda düşük ve orta şiddetli kazalarda da etkili olacaktır.

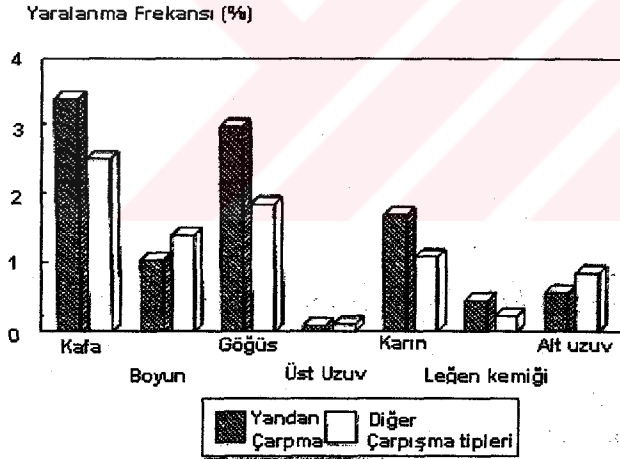
İki taşıtın yaptığı yandan çarpışmalarda, taşıtın yan tarafının sürücü kabinine girmesine neden olan hızı azaltmak için taşıtın yan tarafının hem taşıt konstrüksiyonu bakımından güçlendirilmesi hem de sürücü kabini ile kapı arasında yeterince tampon bölge yaratılması gerekir. Bunun için taşıtın ön kapılarında, tabanında, taban tünellerinde, tavanda ve sürücü koltuklarında yapısal bazı değişiklikler yapılır. Ayrıca kapı ile sürücü kabini arasına enerji absorbe etme özelliğine sahip elemanlar konulur.

Fakat yandan gelen çarpmalara karşı alınabilecek tedbirler, sürücünün rahat ve güvenli şekilde sürüşünün sağlanabilmesi için bırakılan geniş alan nedeniyle sınırlandırılmıştır. Oysaki kabin içerisinde köpük, hava yastığı gibi enerji absorbe eden elemanların kullanımı ile hem iki taşıt arasındaki yandan çarpışmalara karşı hem de taşıtın bariyer benzeri sabit objelere yandan çarpmasına karşı etkili tedbir alınmış olur. Ciddi kazalara neden olan çarpışma objelerinin yüzde olarak dağılımı Şekil 1.15 'de görülmektedir.



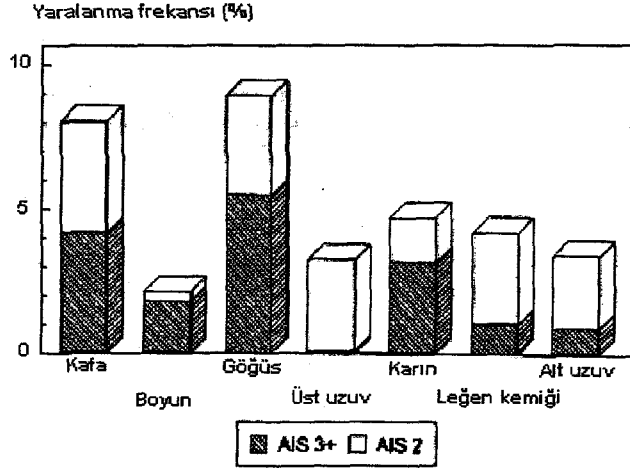
Şekil 1.15: Ciddi kazalara neden olan çarpışma objelerinin yüzde olarak dağılımı.

Şekil 1.16 'da görüldüğü üzere yandan gelen çarpmalarda kafa, karın bölgesi, leğen kemiği yaralanmaları diğer kazalara göre oldukça fazladır. Önden gelen çarpmalardaki kafa yaralanmaları teleskobik direksiyon, deforme olan direksiyon simidi, yüksek emniyet kemeri kullanma oranı, önden gelen çarpmalara karşı hava yastığı kısmen kontrol altına alınmıştır. Fakat yandan çarpışmalarda, özellikle de kamyon ve sabit objeler ile olanlarda kafa travmaları oldukça fazladır.



Şekil 1.16: Çarpışma çeşitlerine göre yaralanma (AIS 3+) frekansı.

Yandan gelen çarpmalara karşı hava yastığı (SIPSBAG) genellikle en çok görülen, iki taşıtın yapmış olduğu yandan çarpışmalardaki göğüs ve karın bölgesindeki yaralanmaları azaltmayı hedeflemiştir. Şekil 1.17 'de görüldüğü üzere göğüs, karın bölgesi, kafa ve leğen kemiği yaralanmaları iki araba arasındaki yandan çarpışmalarda sıkça görülen yerlerdir.



Şekil 1.17: İki taşıt arasındaki yandan çarpışmanın yaralanma frekansına göre dağılımı.

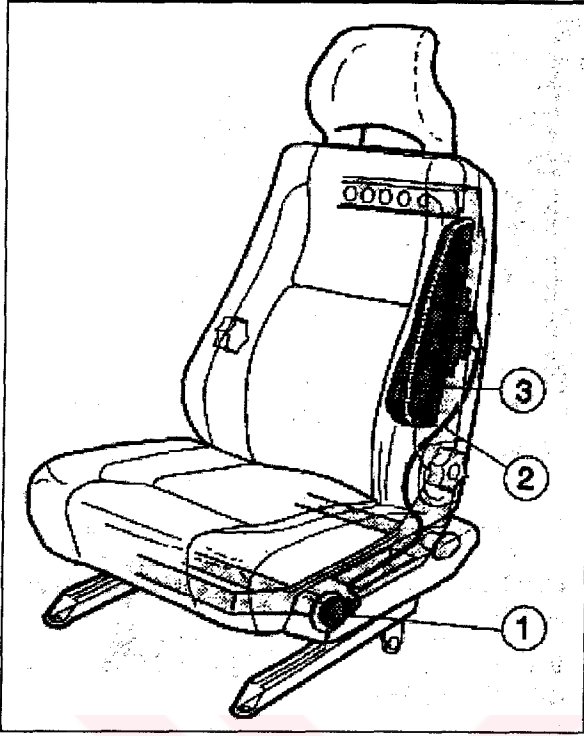
Yandan Gelen Çarpmalara Karşı kullanılan Hava Yastığı Teknolojisi (SIPSBAG):

- Hava yastığı 2 ana kısımdan oluşur (Şekil 1.18). a) Hava yastığı modülü(3)
b) Sensör ünitesi(1) her iki kısım birbirlerine ataşleme kablosu ile bağlıdır.

Yandan hava yastığı sistemi (hava yastığı modülü,sensör ve ateşleme kablosu) ön koltuğa monte edilmiştir. Sistemin toplam ağırlığı 1 kg dır.

Sürücü koltuğuna monte edilmiş yandan hava yastığı sisteminin avantajları şunlardır;

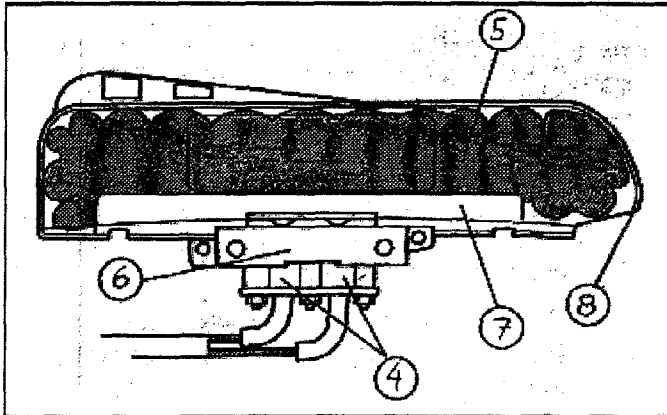
1. Sürücünün oturma pozisyonu ne olursa olsun hava yastığı koltuğa monte edilmiş olduğundan göreceli olarak daima doğru pozisyonudadır. Yastığın hacminin küçük olması nedeni ile kısa zamanda ortaya çıkar ve sürücü ya da yolcunun pozisyon dışı kalarak hava yastığından yararlanamaması durumunu ortadan kaldırır.
2. Kapı üzerine gas jeneratörü, mesnet vb. komponentler yerleştirilmediğinden ön kapının enerji absorbe etme kapasitesi ve deformasyon durumdan etkilenmez.
3. Sistem sabotaj ve ya yıkıcı faaliyetlerden etkilenmez. Yani; birisinin yan kapıya tekme atması ile hava yastığı harekete geçmez.
4. Sistem ön koltuklar için dizayn edilmişlerdir ve her şey koltuk üzerine monte edildiğinden hava yastığının koltuk dışında hiçbir bağlantısı yoktur.



Şekil 1.18: Yandan hava yastığına sahip sürücü koltuğu.

• **SIPSBAG hava yastığı modülü:** Hava yastığı modülü şu kısımlardan oluşur (Şekil 1.19).

- 2 gaz jeneratörü, herbiri 2g nitro-selüloz taşıyor. (4)
- Hava yastığı ve hava yarıkları (5)
- 2 gaz jeneratörü için muhafaza (6)
- Soğutma ve gazı dağıtmak için difüzör (7)
- Yastığı korumak ve katlamak için dış gömlek (8)



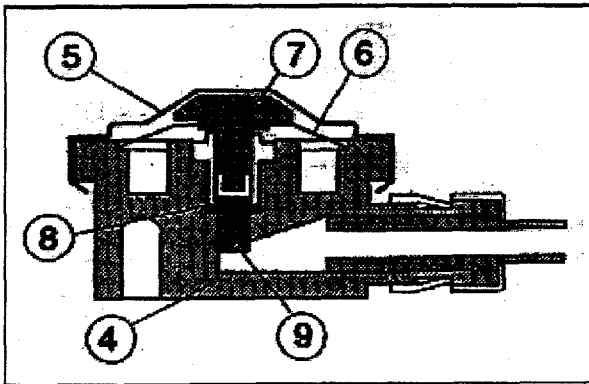
Şekil 1.19: Hava yastığı modülü

Her iki jeneratörde hava yastığı tarafından çepeçevre sarılmış olan difüzörün merkezine yerleştirilir.Hava yastığı için kullanılan jeneratör daha önce ön gerilmeli piroteknik emniyet kemerlerinde kullanılan ile aynıdır. İtici gaz olarak nitro-selüloz kullanılır. Gaz jeneratörleri 2 ms lik gecikme ile bir biri ardına ateşlenir. Bu gecikmenin sebebi yastık üzerindeki yükü azaltmak ve itici gazın akışı için yeterli zaman bırakmaktır. Bu gecikme ateşleme devresinde yaratılır. Gaz jeneratörleri ateşleme sonrası ürettikleri gazı difüzöre gönderirler. Difüzör, gazı yastığa dağıtır. Ateşlemeden sonra, toplam 7ms içerisinde hava yastığı tamamen dışarı çıkmış olur. Yastık naylondan (PA6) yapılmış ve içi silikon ile kaplanmıştır. Silikon yüksek sıcaklıklara dayanıklı olması ve ince bit tabaka kaplaması nedeniyle tercih edilir. Hava yastığı tamamen şiştiğinde yaklaşık 12 litre hacime sahip olur ve 2 adet 15 mm çapındaki deliklerden içindeki gaz tahliye edilir. Yastık içerideki muhafazaya paketlenerek konulur. Muhafaza ve koltuk o şekilde dizayn edilmiştir ki, koltuğun üst döşemesi muhafazayı saklar.

- **Sensör ünitesi:**

Sensör piroteknik tipdir (Şekil 1.20) ve şu parçalardan oluşur.

- Sensör muhafazası (4)
- Alüminyum başlık. (5)
- Ateşleme pinleri (7)
- Yay rondelası (6)
- Sıkıştırma rondelası (8)
- Kapsül ateşletici (9)

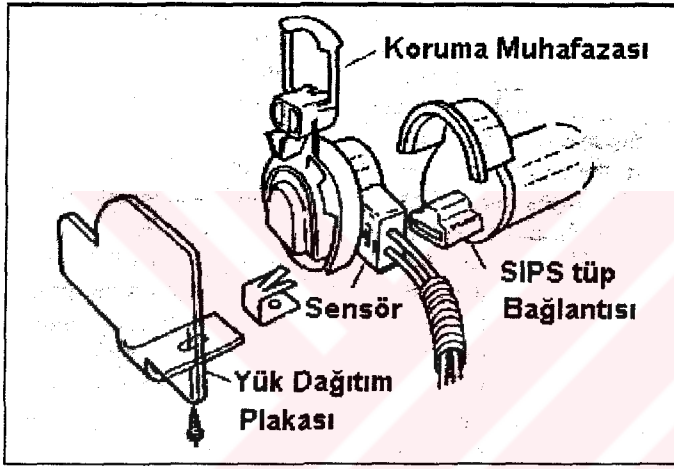


Şekil 1.20: Sensör ünitesi

Sensörün ateşleme yapabilmesi için belli bir hız ve kuvvet gerekir. Sensörün tetikleme yapabilmesi için koşullar şunlardır;

- Hız > 2 m/s
- Kuvvet > 500 N
- Strok > 2mm

Sensör ünitesi, koltuğun ön kısmındaki enine tüpün (1) sol başına monte edilmiştir (Şekil 1.21). Yük dağıtım plakası ise sensöre monte edilmiştir. Sensör ünitesi koltuğunun tarafındaki cebe gömülmüştür.



Şekil 1.21: Sensör montaj şeması.

- **Piro kablosu:** Sensör tetiklendiği sırada, alev sensörü hava yastığı modülüne bağlayan 2 piroteknik kablosunda yaklaşık 2000 m/s hızla transfer edilir.

Piroteknik kablo plastik bir hortumdur. Hortum 2 kat olduğundan aşınmaya karşı dayanıklıdır. Piroteknik kablosunun ekstrüzyon prosesi boyunca iç cidarlarına patlayıcı toz olan oktagon HMX uygulanır. Ticari marka olarak piroteknik kablo üreticisi Nonel dir.

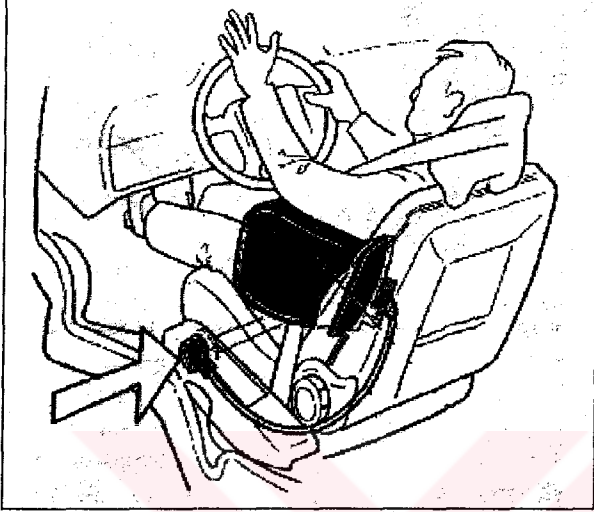
- **Sürücü Koltuğu ve Kapılar:**

Yandan hava yastığının (SIPSBAG) başarısı, onun sistemin diğer parçaları ile olan uyumlu çalışmasına bağlıdır. Bunların içerisinde kapı ve ön koltuklar en önemli olanlarıdır.

KOLTUK: Hava yastığı patlayarak açıldığı an, koltuk arkalığının yan tarafındaki üst döşemenin dışındaki normal dikişleri açar. Şekil 1.22' deki gibi yastık ileri

ve kapıdan uzaklaşacak şekilde patlıyarak hareket eder.

Koltuğun yapısı rijit ve tabana çok iyi bağlanmış olmalıdır. Volvo 850 koltukları bu tür koltuklar için ideal örnek olabilirler. Sensör taşıtım yan yüzeylerdeki iç ve dış hareketlerine bağlı olarak çalıştığından, çok iyi sabitlenmiş olması gerekir.



Şekil 1.22: Yandan hava yastığının (SIPSBAG) patlayarak açılması.

Koltukta yapılması gereken değişiklikler:

- Koltuk arkalıkları modülün yerleştirilmesine izin verecek şekilde dizayn edilmelidir. Koltuk arkalıklarının köpüğü üzerine küçük bir oyuk açarak modülün yerleştirilmesi için yeterli alan yaratılır.

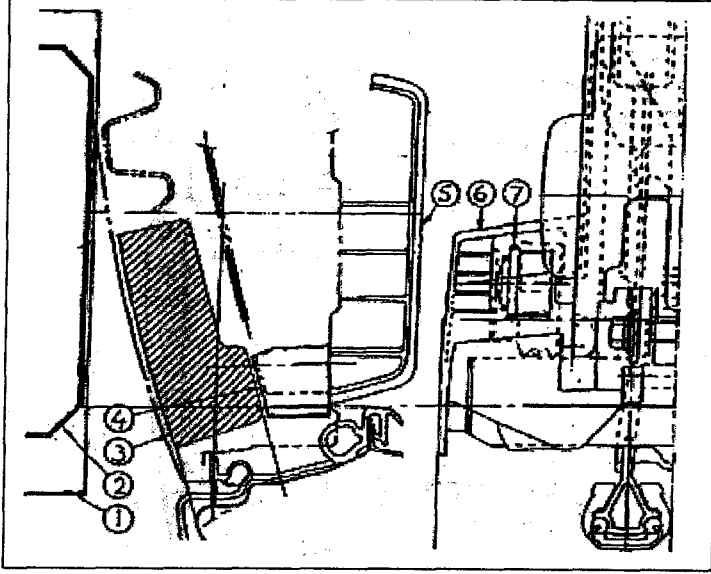
- Döşeme üzerindeki dikişler hava yastığının açıldığı yere kadar normal dikiş olmalıdır. Özel dizayna gerek yoktur.

- Koltuk iskeletinin ön kısmındaki enine tüpün dış başı kesilmiş ve buraya yük dağıtım plakası monte edilmiştir. Koltuğun önündeki ve arkasındaki bu tüplerin formu Yandan çarpışma hava yastığı sisteminin önemli parçalarını oluşturur.

• Kapı ve Kapı paneli:

Hava yastığının yandan çarpışmalarda mümkün olduğunca hızlı tetikleme yapabilmesi yan yüzeye gelen kuvvetine sensöre kısa zamanda iletilmesi gerekir. Bunu

sağlayabilmek için Şekil 1.23' de görüldüğü üzere kapının alt kısmında ve kapı ile kapı paneli arasında bulunan sensör boyunun güçlü elementlerden yapılması gerekir.



Şekil 1.23: Kapının alt kısmındaki çapraz bağlar ve sensörün yerleştirildiği nokta. (1) Avrupa-tampon (2) US-Tampon (3 ve 4) SIPS-Blok (5) Kapı paneli (6) Koltuğun yan paneli (7) Sensör.

• **Gelecekteki yandan çarpışmalara karşı kullanılan hava yastığı teknolojisi:**

SIPSBAG yandan hava yastığı kapalı ünite içersinde entegre olarak çalışan mekanik veya piroteknik sensörlerden bulunur. Sistem basit ve bu nedenle de oldukça güvenilirdir.

Gelecekte belli başlı durumlarda tetikleme yapan yeni çeşit sensörler geliştirilebilir. Yandan hava yastıkları özellikle karın ve göğüs bölgesine gelen darbelerden sürücü ve yolcuyu korumak için dizayn edilmişlerse de, kafa ve leğen kemiği yaralanmalarını da azaltmaktadır. Gelecekte, yandan gelen darbelere karşı kafanın korunması için çalışmalar yapılabilir.

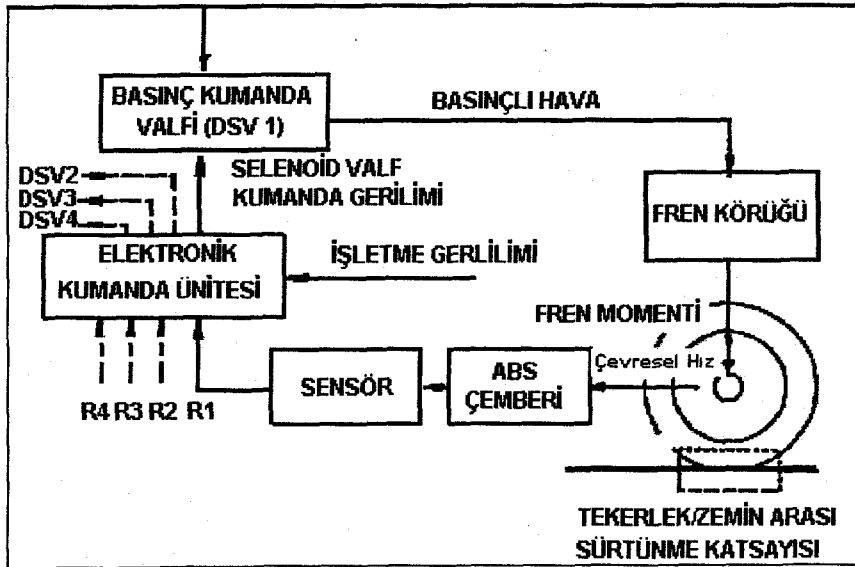
1.2.8 ABS (Anti-blokaj) Fren Sistemi:

Son yıllarda, ABS fren sistemi sürüş güvenliğini arttırmak için geliştirilmiş önemli sistemlerdendir. Sürücünün normal fren sistemleri ile yaptığı sert frenleme tekerleklerin kilitlenmesine ve kaymasına neden olur. Kilitlenmiş bir tekerlek yanal kuvvetleri taşıyamaz. Kilitlenen tekerlekler arka dingildeyse taşıtın arkası savrulur ve taşıt kontolu kaybolur, durma mesafesi artar. Öte yandan ön dingildeki tekerlekler kilitlenmiş ise taşıt dümdüz kayar ve eğer bu taşıt viraja giriyorsa direksiyon hakimiyeti kaybolan taşıt viraj dışında kalır. Kısacası kilitlenen arka tekerlekler taşıtın dengesini bozarken, kilitlenen ön tekerlekler de direksiyon hakimiyetinin kaybolmasına neden olur. Özellikle ıslak ve kaygan yollarda bu durum daha artar.

Uygun mühendislik hesapları, bilgisayar programları ve yönetmelikler yardımıyla fren kuvvetlerinin dingillere dolu ve boş durumda en uygun şekilde dağılımı, en yüksek güvenliği sağlamakla birlikte pratikte her zaman kilitlenmeyi önleyemez. İşte ABS fren sistemi tekerleklerin kilitlenmesini her türlü koşulda önlemek için tasarlanmıştır.

- **ABS Fren Sistemini Çalışma Prensipleri:**

Şekil 1.24 de bast olarak optimum kayma bölgesindeki bir fren çevrimi gösterilmektedir.



Şekil 1.24: ABS fren sisteminin çalışma şeması

Devir hissedici (sensör), çember yardımıyla sürekli olarak tekerleklerin çevresel hızlarını algılamakta ve impuls olarak bunları elektronik kumanda ünitesine göndermektedir. Elektronik kumanda ünitesi bu impulslardan referans hızlarını hesaplamakta, salise mertebelerindeki bir hızla tekerleklerden birindeki blokaj eğilimi saptanmakta ve oraya kumanda veren Basınç kumanda valfi 'ne basıncı sabit tutma, basıncı düşürme veya basıncı artırma emirleri verilmektedir. Verilen bu emir saniye-de yaklaşık 18 kez değiştirilmektedir. Fren körüğündeki basınç o şekilde ayarlanmaktadır ki, sensörün bulunduğu tekerlekte fren sırasında en uygun fren kuvveti sağlanmaktadır.

2 türlü ABS fren sistemi bulunur. Bunlar; dört-tekerlekte veya yalnızca arka tekerlekde etkili olan ABS fren sistemleridir. Dört-tekerlekten ABS fren sistemleri binek otomobillerinde ve bir çok kamyonette kullanılmaktadır. Taşıtın 4 tekerleğini kontrol ederek meydana gelebilecek tekerlek kilitlenmelerini önler ve sürücünün taşıt kontrolünü kaybetmesini önler.

Yalnızca arka tekerleklerde bulunan ABS fren sistemi özellikle kamyonetler için dizayn edilmiştir ve arka tekerleklerinin kaymasını önler.

- **ABS Fren Sistemi Neler Yapabilir, Neler Yapamaz ?**

ABS fren sistemi direksiyon hakimiyetini ve aracın stabilitesini korurken aracın her türlü zeminde güvenli bir şekilde durmasını sağlar. Ancak bu özellik ABS' nin uygulama biçimine ve tipine bağlıdır. Örneğin; Select-Low tipi ABS ile mü-split (taşıtın sağ ve sol tekerlekleri farklı sürtünme katsayılı zeminlerde) durumunda bu sağlamak mümkün değildir.

ABS süper bir fren sistemi değildir. Özellikle kuru zeminde, ABS freni taşıtı, normal frene sahip taşıta göre daha kısa mesafede durdurmaz. Yalnızca kaymayı önleyerek güvenli sürüş sağlar. ABS' li bir taşıt sürücüsü düz, viraj ve her türlü yolda çekinmeden tam frenleme yapabilir. Ancak ABS hızla viraja giren bir taşıtın merkezkaç kuvveti nedeniyle savrulmasını önleyemez. Aynı şekilde lastikleri aşınmış bir taşıtın fren mesafesinin özellikle kaygan yollarda uzamasını veya frenleri bakımsız bir taşıtın frenlerinin zayıflığını önleyemez. ABS fren sistemindeki hataları düzeltemez ve fizik kurallarını değiştiremez.

Bu nedenle ABS freni takılı bir taşıtı en etkili şekilde nasıl kullanılacağını bilmemiz gerekir.

ABS Freni Takılı Taşıtta Etkili Kullanım İçin Yapmamı ve Yapmamamız

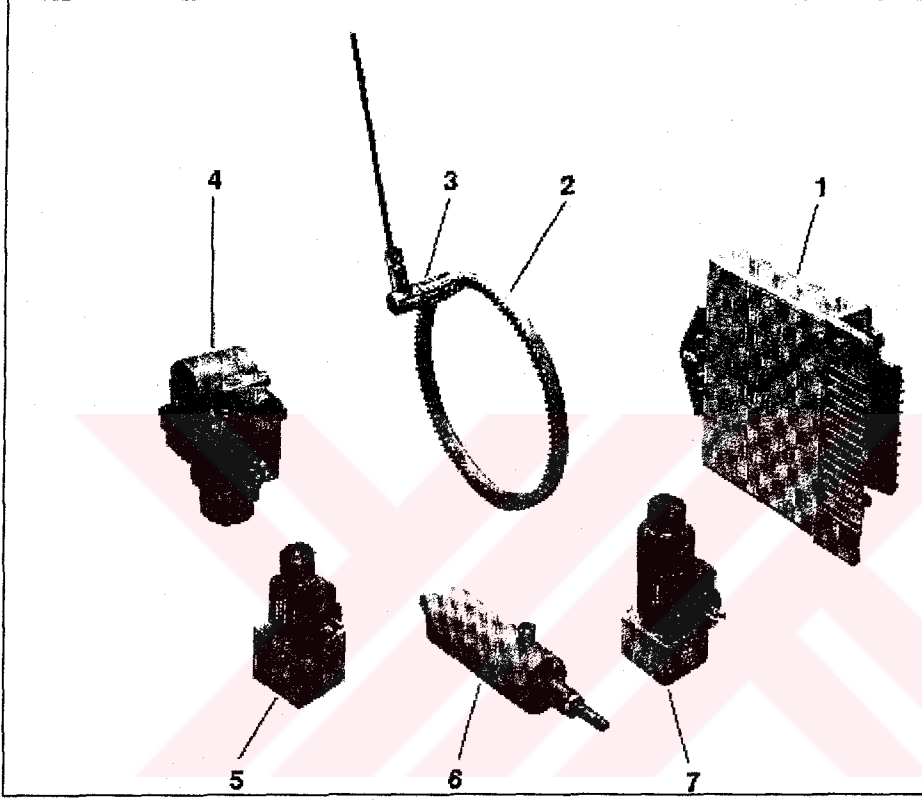
Gerekenler:

- Frenleme anında ayağınızı devamlı fren pedalında tutunuz: 4-tekerlekten ABS fren sistemlerinde, frenleme için gerekli olan fren basıncının ayarlanabilmesi için ayağınızı fren pedalından çekmeyiniz. Fren pedalı titreşim (pulse) oluştursa bile, fren pedalını pompalamaktan kaçınınız. Yalnızca arka tekerlekleri ABS freni takılı taşıtlarda ise durum biraz farklıdır. Çünkü ön tekerleklerde normal fren kullanılır. Dolayısı ile arka tekerlekler ABS 'den dolayı kilitlenmesede ön tekerlekler kilitlenebilir. Bu durumda fren pedalından ayağınızı çekerek ön tekerleklerin kilitlenmesini önleyecek fren basıncı sağlanmalıdır.
 - Önünüzdeki araç ile yetirince durma mesafesi bırakın: Normal koşullarda önünüzdeki taşıt ile aranızda 3sn lik mesafe bırakılmalıdır.. Kötü yol ve hava koşullarına bağlı süre arttırılmalıdır..
 - ABS freni takılı taşıt kullanmadan önce pratik yapın: Fren pedalında oluşan titreşimler normal frene alışmış bir sürücüyü korkutabilir. Bu nedenle taşıtı karayolunda kullanmadan önce boş park ve arazilerde iyi ve kötü hava koşullarında kullanarak ABS frenine alışınız.
 - ABS-frenli bir taşıtı, normal frene sahip taşıta göre daha agresif kullanmayınız. virajları hızla dönmek, şeritleri uygunguz değiştirmek veya agresif manevralar yapmak hem ABS frenin çalışmasına uygun değildir, hem de taşıt güvenliği bakımından sakıncalıdır.
 - Fren pedalını pompalamayınız: 4 tekerlekten ABS 'li taşıtlarda freni pompalamak ABS fen sistemini kapatıp açar. Fren verimini azaltır ve durma mesafesini arttırır. ABS fren basıncını sizin için otomatik olarak ayarlayarak, en iyi taşıt kontrolünü sağlar.
- Şekil 1.25' de KNORR-BREMSE marka ABS fren elemanları görülmektedir.

1.2. 9 Gündüz Vakti Farların Kullanılması:

Kazalara karşı alınabilecek önlemlerden biride kontak ile devreye giren farların

kullanımıdır. Gündüz vakti kullanılacak bu farlar şiddeti azaltılmış uzun hüzmeli farlar veya güçlü kısa hüzmeli farlar olabilir. Bu farlar: taşıtla, yer (zemin) arasındaki kontrastı artırarak önden gelen taşıtların daha iyi görüşünü sağlar. Özellikle gündüz meydana gelen taşıt çarpışmalarını azaltır.



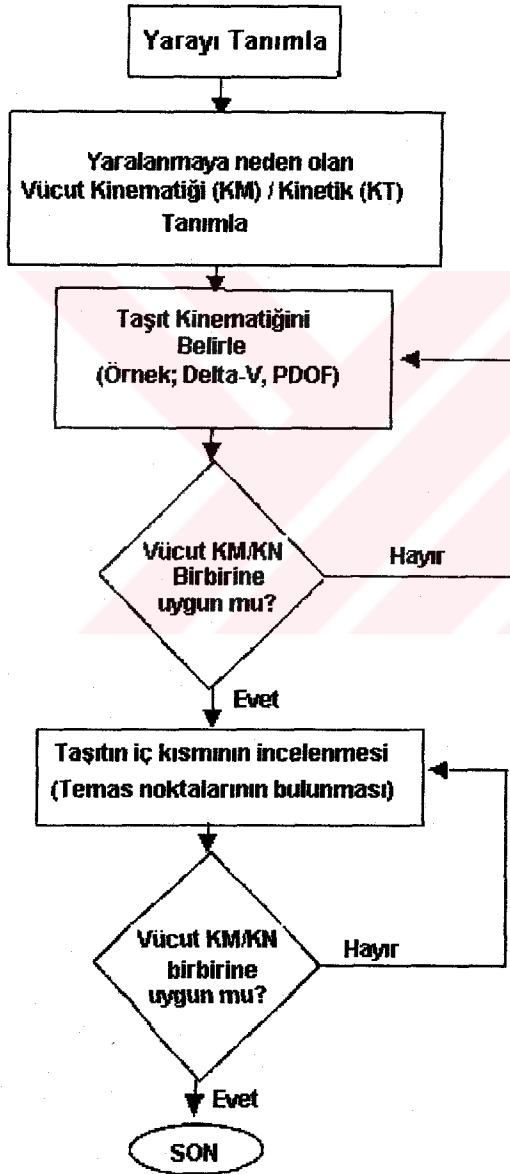
Şekil 1.25: Knorr-Bremse tipi ABS fren sisteminin elemanları.

- 1) Elektronik kumanda ünitesi
- 2) ABS Çemberi
- 3) Sensör
- 4) Basınç kumanda valfi
- 5) ASR motor valfi
- 6) Silindir
- 7) ASR fren valfi

2.0 TRAFİK KAZALARI SONUCU MEYDANA GELEN YARALANMALARIN İNCELENMESİ VE MODELLENMESİ.

2.1 Trafik kazalarındaki yaralanmaların biomekanik analizi

Yaralanma analizi, tıp ve mühendislik teknolojilerini yaralanmaların sebebini bulmak amacı ile bir araya getiren bir prosestir. Bu proseste yaralanmaların nedenleri tespit edilir ve hem tıp hem de mühendislik literatüründe yer alan basit açıklamalar getirilir. Şekil 2.1.1 'de bu prosesin safhaları gösterilmektedir.



Şekil 2.1.1: Yaralanma analizi akış diagramı

Yaralanmaları tanımlayabilmek için gerekli olan bilgi (Tablo 2.1.1) hasta kayıtları, röntgenler, hasta fotoğrafları ve doktor açıklamalarından sağlanır. Hasta kayıtlarından elde edilen bilgiler doğrultusunda benzer yaralanmaların oluşumu, bize yaralanma mekanizması hakkında bilgi verebilir. Yaralanmalarda benzerliklerin olmaması durumunda ise yolcunun oturma pozisyonu veya emniyet kemeri kullanılıp kullanılmadığı gibi konularda ipuçları elde edilebilir. Hasta kayıtları ayrıca, hastanın kaza öncesi tıbbi durumunu ortaya koyarak, yaralanma riskini gösterir.

TABLO 2.1.1: Yaralanma Analizi için gerekli olan datalar.

DATA	KAYNAKLAR
Sürücü ve yolcuların yaralarının anlaşılır tanımlaması (yara tipi, bölge, şiddeti)	<ul style="list-style-type: none"> • Kaza yapan taşıtlar • Hasta kayıtları ve röntgenler • Kazazedeler veya görgü tanıkları ile yapılan görüşmeler.
Taşıt içerisinde veya dışındaki temas bölgelerinin konumları ve açıklamaları Taşıt içerisindeki insanların konumlarını temas yüzeylerini belirten mahkeme raporları.	<ul style="list-style-type: none"> • Kaza yapan taşıtlar • Kaza alanı (taşıt ve yaya yolu üzerindeki ağaç, tel örgü, diğer taşıtlar gibi objeler. • Kazazedeler veya görgü tanıkları ile yapılan görüşmeler.
İnsan tolerans datası	<ul style="list-style-type: none"> • İnsanlar üzerinde deneyler ile bulunmuş değerler
Emniyet kemerlerinin fonksiyonu ve karakteristiği	<ul style="list-style-type: none"> • Kaza yapan taşıtlar • Kazazedeler veya görgü tanıkları ile yapılan görüşmeler.
Taşıt kinematiği ve kinetiği; bütün taşıtların hareketi için önemli olan kuvvetin uygulama yönü (PDOF) ve hız değişimi (delta-V)	<ul style="list-style-type: none"> • Kaza yapan taşıtlar • Kaza alanı • Sayısal hesaplamalar • Kazazedeler ile yapılan görüşmeler.

Yaralanmalar karakteristik özellikleri, ortaya çıkış bölgeleri, ve şiddetlerine göre anatomik, psikolojik ve patolojik terimler Tablo 2.1.2 de tanımlanmıştır. Özellikle şiddetlerine göre yapılan sınıflama daha sonra yaralanma bilgi bankalarına yapılan başvuruda kolaylık sağlar.

TABLO 2.1.2 : Tıbbi Tanımlayıcılar

I.	Çeşit (çürük, yırtılma, aşınma, kırık, kopma, ödem, kanama)
II.	Bölge <ul style="list-style-type: none"> • Yüzey (deri) • Sert ve destek dokuları (kemik, eklem, eklem bağları) • Organlar (Bağırsak, akciğer, böbrek, dalak) • Merkezi sinir sistemi (beyin, sinirler vb.)
III.	Şiddet <ul style="list-style-type: none"> • Yaralanma skalası • Diğer tanımlayıcılar (boyut, açık ,kapalı)
IV.	Kaza öncesi sağlık durumu.

Taşıt kinematığı; polis raporlarının, kaza alanı ve taşıtların incelenmesi, kaza görgü tanıklarının ifadelerinden anlaşılır.

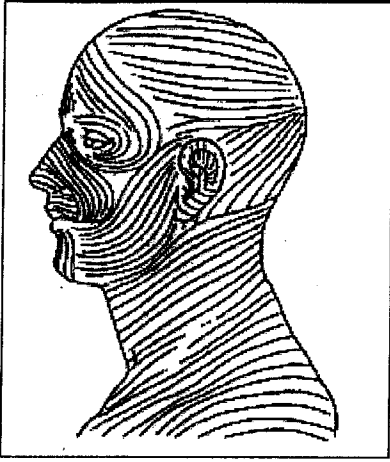
Sürücü ve yolcuların kinematığı taşıtın kinematığından etkilenir. Daha fazla bilgi, taşıt ve yaralanmalar arasındaki bağlantıdan elde edilir. Sürücü ve yolcunun kinetiği; kuvvet, kuvvet yönü ve uygulama metodudur. Bu durum yaralanmalardan, taşıt kinematığından ve insanların bilinen tolerans seviyelerinden çıkarılmıştır.

Bazı önemli tolerans bilgileri şu şekilde özetlenebilir;

2.1.1 YÜZ: Yüzde meydana gelen yaralanmalar yumuşak doku ve kemikli kısım olmak üzere 2 ye ayrılmıştır. Derinin mekanik özellikleri * Haut tarafından anlatılmıştır.

Yaranın şekli ve derinliği, kuvvet yönünün ve yaralanmaya neden olan nesnenin tespitinde önemli ip uçları verirler. Sürücü kabinindeki temastan dolayı yüzde meydana gelen tahribat, temas yüzeyinin karakteristik özelliklerine ve üzerlerindeki kumaşın yıpranma durumuna bağlıdır. Yüzdeki yırtılmalar, kabin içerisindeki keskin uçlu yüzeylere doğru olan yolcunun hareketlerinden veya aşırı gerilmelerden oluşur. Yırtılmaların şekli ve şiddeti, bu yaralanmaların yüzdeki serbest deri çizgilerine (Şekil 2.1.2) doğru olan hareketlerine bağlıdır. Keskin uçlu yüzeylerden, belli açı altında yüze gelen kuvvetler yırtılma eksenini boyunca gerilim yaratırlar. Bu durum da derinin tahribatına neden olur. Yüzdeki yaranın derinliği, yabancı maddelerin varlığı bize temas yüzeyi hakkında bilgi verir.

* Haut RC: Biomechanics of soft tissues. In Nahum AM, Melvin J: Accidental Injury, Springer-Verlag, New York 1993



Şekil 2.1.2: Serbest deri çizgileri şematik olarak görülmektedir - Langer çizgileri

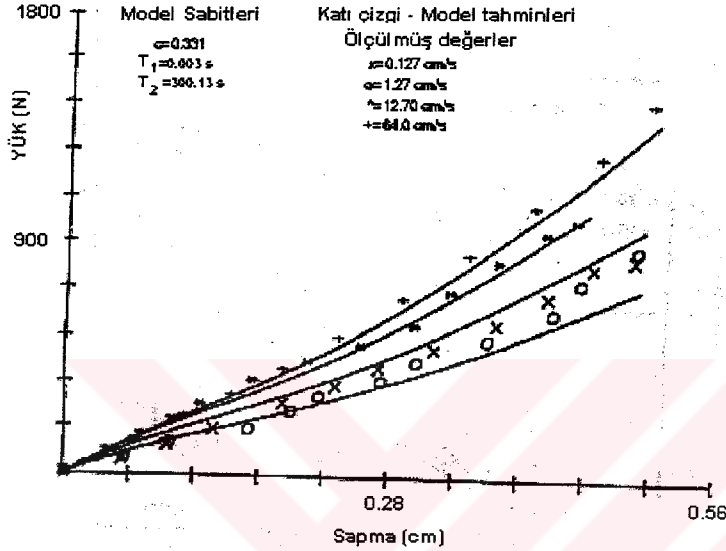
Yüzdeki kemiklerin kırılma seviyeleri * Schneider (Tablo 2.1.3) tarafından çarpma yüzeyinin alanına (6.5-33.2 cm²) göre belirtilmiştir. Bu sonuç, bize yüzdeki belli bir kemik veya bölgenin çarpma toleransı hakkında bilgi verir. Böylece belli bir şekilde kırılma durumu için, yaralanmaya hangi kuvvet ve geometrinin sebep olduğu bulunabilir. Örneğin; elmacık kemiği olan zygoma'da meydana gelen kırılma ve onu örten yumuşak dokudaki ödem ve çürük, bize temas yüzeyinin ön veya ön-yatay yönünde 1259-2594 N arası kuvvet uyguladığını, temas yüzeyinin keskin olmadığını gösterir. Ayrıca kuvvet değerleri zygoma' nın anatomik sınırını oluşturan değerleri aşmamıştır.

Tablo 2.1.3 : Yüzdeki kemiklerin çarpma toleransları

Kemik	Çarpmaya mahruz kalan alan (cm ²)	Kırılma kuvvetleri		Örnek Büyüklüğü
		Ortalama (N)	Kuvvet aralığı (N)	
Elmacık kemiği (zygoma)	6.5	2594	614-3470	29
Zygoma	6.5	1259	845-1665	5
Zygoma	33.2	2297	1600-3360	7
Zygomatic arch	6.5	1536	925-2110	17
Maxilla	6.5	1146	623-1980	13
Mandible				
Midsymphysis	6.5	3100	1890-4110	9
Lateral	25.8	1918	818-3405	9
Frontal	6.5	5287	2670-9880	31

- Schneider DC: Biomechanics of facial bone injury: experimental aspects. In Nahum AM, Melvin J: The Biomechanics of Trauma, Appleton-Century-Crofts, Norwalk, CT, 1985

2.1.2 OMURGA: Omurgada en çok meydana gelen yaralanma şekli omurganın bükülmesi esnasında görülür. McElhaney boyun dikenin dönmesine neden olan yük karakteristiklerinin hassasiyeti konusunda araştırmalar (Şekil 2.1.3) ve en çok yaralanmaya yol açan yüklemenin itme olduğunu bulmuştur. Boyun dikenin yaralanmasına baş, boyun ve insan gövdesinin etkisinin olması nedeniyle McElhaney insan hareketlerini sınırlayan çeşitli durumlar hakkında da çalışmalar yapmıştır.



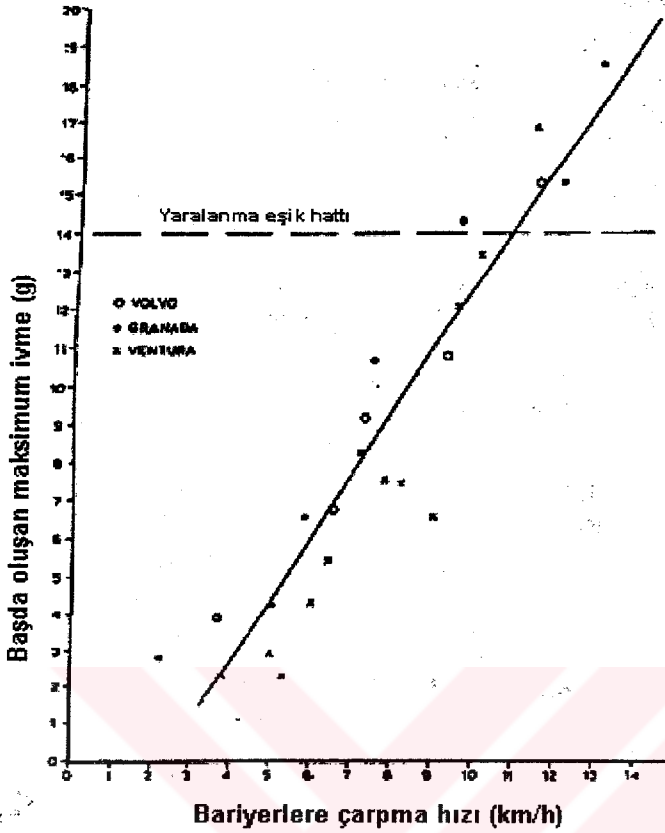
Şekil 2.1.3: Boyun dikenin itme gerilmesidurumundaki hassasiyeti

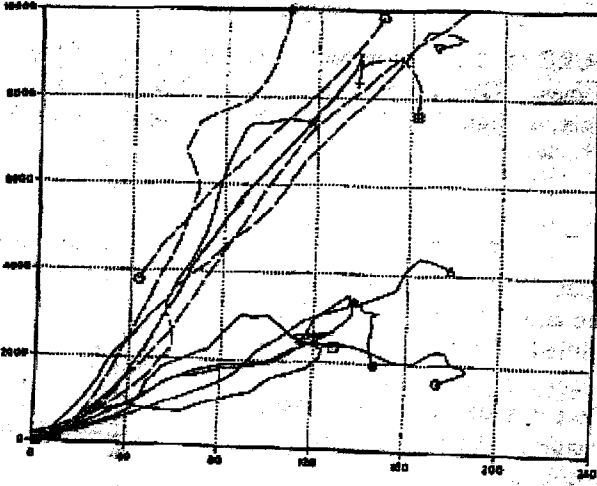
Boyundaki yumuşak dokuların (kaslar, disk vb.) dinamik hareketleri üzerinde de çalışılmıştır. * West gönüllü insanlar kullanarak arkadan yapılan zincirleme kazalarda bariyer çarpma hızı ile başın maksimum ivmelenmesi ve buna bağlı yaralanma oluşumu başlangıcı hakkında deneyler yapmıştır (Şekil 2.1.4).

2.1.3 GÖĞÜS: Cavanaugh göğüsteki travmalar üzerine araştırmalar yapmış ve göğüste AIS 3 seviyesinden daha büyük travmaların meydana gelme olasılıklarını incelemiştir.

Bölgesel çarpmalar göğüs kafesinin hareketi ile kaburga kemiklerinin kırılmalarına yol açmaktadır. Genellikle de, daha sonra bu kırılmış kaburga kemiklerinin hareketleri sonucu akciğerlerde ezilmeler ve yırtılmalar meydana gelmektedir. Kaburga

* West DH, Gough JP, Harper GTK: Low speed rear-end collision testing using human subjects. *Accid Recon J*, 5(3), May/June 1993.





Şekil 2.1.5: Alt karın bölgesinin çarpan rijit elemanlara tepkisi.
* Cavanaugh et al.

arasında en az tolerans seviyesine sahip olmasına karşı kısmen göğüs kafesinin alt kısmı tarafından korunmaktadır. Maksimum kuvvet, baskı, viskoz kriteri, hız ve enerji karın bölgesinde yaralanmaya yol açan faktörlerdir. Akciğer, dalak ve bağırsak ince zarı duvarı bölgesel kuvvetlerin etkisi ile en çok yaralanmanın olduğu bölgelerdir.

2.1 5 YUMUŞAK DOKULAR: Yumuşak dokularda görülen yaralanmalar, omurga ve diğer bağlantı organlarına göre neden daha önemlidir. Tablo 2.1.4' deki tolerans seviyeleri esneyebilen veya esneyemez yapıları göstermektedir. Bu dokulara gelen zarar yaralanmış bölgenin kuvvet ve zamanın fonksiyonudur.

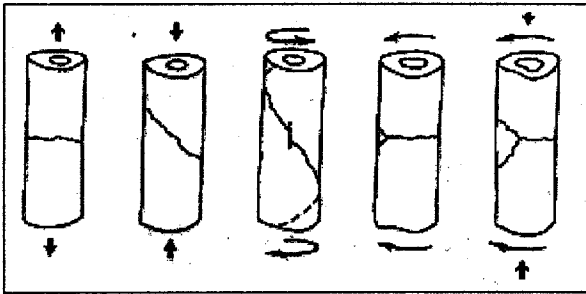
2.1.6 KEMİKLER: Kemiğin kırılma şekli tolerans seviyesini ve uygulanan kuvveti gösterir. Kırılma şekli (Şekil 2.1.6) kuvvetin nasıl uygulandığını gösterir. Örneğin; ayak bileğinin burkulması, ayak sabit durumda iken kuvvetin etkisi ile kendi eksenini etrafında dönmesi nedeniyle meydana gelir. Tablo (2.1.5- 2.1.9) çeşitli kemikler için tolerans seviyeleri verilmiştir. Bu seviyelere bakılarak kırılmanın olup olmayacağı tespit edilebilir.

* Cavanaugh JM, Nyquist GW, Goldberg SJ: Lower abdominal tolerance and response. Proceedings of 30th Stapp Conference, SAE 861878, PP 41-63

Tablo 2.1.4: Çeşitli kas dokularının özellikleri (* Frank ve Woo)

DOKULAR	En yüksek Kuvvet (MPa)	Zorlanma Yüzdesi (%)
Kas ⁺ (kasılmamış)	0.1-0.3	40-60
Enine bağ ⁺	1-2	30-125
Kemikler		
Gerilme	1-2	0.1
İtme	1-2	0.03-0.6
Yüzey kası (facia) ⁺	15	15-17
Kıkırdak (hyaline)		
Gerilme	1-40	10-100
İtme	7-23	3-17
Kesme	6	-
Kıkırdak (fibrocartilage)		
Gerilme	10-50	10-20
İtme	20	30
Eklem bağı (tendon) ⁺	40-100	10-17
Paralel bağlar ⁺		
Elastik olmayan	60-100	5-14
Kemikler (cortical)		
Gerilme	90-170	0.7-5
İtme	100-280	1-2.4
Kesme	50-100	-

+ Yalnızca gerilme.



Şekil 2.1.6: Kemiğe gelen gerilme, itme, bükme ve bileşke bükme ve bileşke kuvvetler görülmektedir.

- Woo SL-Y, Gomez MA, Akeson WH: Mechanical behaviors of soft tissues: measurements, modifications, injuries and treatment. In Nahum AM, Melvin J: The Biomechanics of Trauma, Appleton-Century-Crofts, Nordwalk, CT, 1985

Tablo 2.1.5: Kemik ekseninde burkulmaya neden olan tork. (* Melvin)

	Köprücük (Clavicle) Kemliği	Kol (Humerus) Kemliği	Alt Kol (Radius) Kemliği	Dirsek (Ulna) Kemliği	Uyluk (Femur) Kemliği	Kaval (Tibia) Kemliği	Kamış (Fibula) Kemliği
Erkek N.m	15 (12-127)	70 (55-78)	22 (16-27)	14 (8-21)	175 (141-222)	89 (63-110)	9 (6-12)
Kadın N.m	10 (8-11)	55 (39-80)	17 (13-23)	11 (9-13)	136 (78-207)	56 (47-63)	10 (8-16)

Tablo 2.1.6: Kemiklerin direkt itme altında ezilmeye zorlayan çapraz yükler. (Melvin)

	Kol (Humerus) Kemliği	Alt Kol (Radius) Kemliği	Dirsek (Ulna) Kemliği	Uyluk (Femur) Kemliği	Kaval (Tibia) Kemliği	Kamış (Fibula) Kemliği
31 yaşında Erkek, kN	8.33	5.15	5.39	12.74	5.88	2.95
24 yaşında Kadın, kN	5.88	3.83	3.04	10.78	6.37	3.04

Tablo 2.1.7: Kemik eksenini boyunca gelen ve kemikte kırılmalara yol açan yükler.

	Köprücük (Clavicle) Kemliği	Kol (Humerus) Kemliği	Alt Kol (Radius) Kemliği	Dirsek (Ulna) Kemliği
Erkek kN	1.89 (1.22-2.64)	4.98 (2.15-7.83)	3.28 (2.35-4.21)	2.21 (1.76-2.84)
Kadın kN	1.24 (0.88-2.06)	3.61 (2.45-5.09)	2.16 (1.03-3.18)	12.93 (0.88-1.71)
	Uyluk Kemliği (şaft)	Uyluk Kemliği (boyun)	Kaval (Tibia) Kemliği	Kamış (Fibula) Kemliği
Erkek kN	7.72 (6.85-8.56)	27.99 (6.85-10.52)	10.36 (7.05-16.39)	0.60 (0.24-0.88)
Kadın kN	7.11 (5.63-8.56)	4.96 (3.91-5.81)	7.49 (4.89-10.37)	0.48 (0.20-0.83)

Tablo 2.1.8: Eğilme nedeniyle oluşan kırılma yükleri (k N) (* Yamada)

Kemik	Yaş Grupları					Ortalama Yetişkin
	20-39 yıl	40-49 yıl	50-59 yıl	60-69 yıl	70-89 yıl	
Femur	2.72 ± 0.11	2.47 ± 0.05	2.35 ± 0.09	2.33 ± 0.06	2.14 ± 0.11	2.45
Tibia	2.90 ± 0.11	2.52 ± 0.11	2.43 ± 0.05	2.39 ± 0.09	2.29 ± 0.09	2.60
Fibula	0.44 ± 0.02	0.40 ± 0.04	0.39 ± 0.03	0.37 ± 0.02	0.33 ± 0.02	0.39
Humerus	1.48 ± 0.12	1.39 ± 0.10	1.28 ± 0.10	1.23 ± 0.09	1.13 ± 0.08	1.33
Radius	0.59 ± 0.07	0.53 ± 0.04	0.52 ± 0.08	0.48 ± 0.04	0.43 ± 0.03	0.52
Ulna	0.71 ± 0.05	0.63 ± 0.08	0.61 ± 0.06	0.59 ± 0.04	0.55 ± 0.04	0.63

* Melvin JW: Extremities: Experimental Aspects, In Nahum AM, Melvin J: The Biomechanics of Trauma, Appleton-Century-Crofts, Nordwalk, CT, 1985

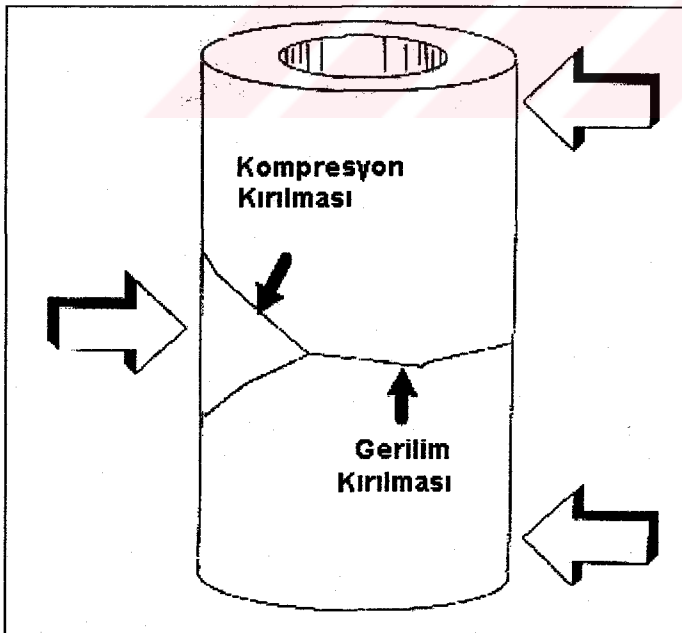
* Yamada H: Strength of Biological Materials, Williams & Wilkins, Baltimore, 1970

Tablo 2.1.9: Eğilme nedeniyle oluşan kırılma yükleri (k N) (Melvin)

	Köprücük (Clavicle) Kemliği	Kol (Humerus) Kemliği	Alt Kol (Radius) Kemliği	Dirsek (Ulna) Kemliği	Uyluk (Femur) Kemliği	Kaval (Tibia) Kemliği	Kamış (Fibula) Kemliği
Erkek kN	0.98	2.71	1.20	1.23	3.92	3.36	0.44
Ortalama destek uzunluğu (cm)	12	22.4	16	16	31.7	24.7	24.7
Maksimum Moment N.m	30	151	48	49	310	207	27
Kadın kN	0.60	1.71	0.67	0.81	2.58	2.24	0.30
Ortalama destek uzunluğu (cm)	11.5	20	14	14	28	22.2	22.3
Maksimum Moment N.m	17	85	23	28	180	124	17

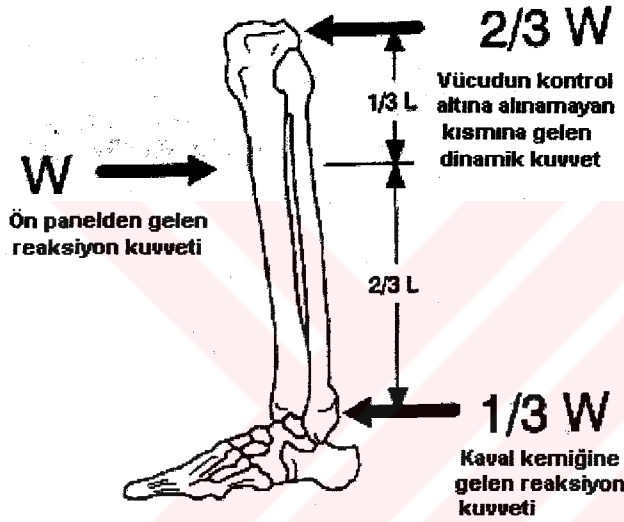
ÖRNEK: Aşağıdaki örnekte * insan tolerans seviyelerini kullanılarak bir biomekanik analizin nasıl yapıldığı gösterilecektir.

Sağlık raporları ve röntgenin incelenmesi sonucu kaval kemiğinde “kelebek” olarak adlandırılan kırılma tespit edilmiştir. Daha sonra hem biomekanik hem de tıp literatürü bu kırılmaya önden gelen çarpmanın neden olduğu ve kemiğin 3-noktadan kırıldığı teşhisinde birleşmiştir (Şekil 2.1.7).

**Şekil 2.1.7:** Kemiğin 3 yerden kırılma mekanizması

* SAE Information Report: Human tolerance to impact conditions as related to motor vehicle design. SAE J885, July 1986

Kuvvetin kaval kemiğinin üstün 1/3 lük mesafesine uygulandığı kabul edilirse, geriye kalan 2/3 W lik kuvvet ise kaval kemiğinin en üst kısmında yarattığı moment ile kemiği bükmeye zorlayacaktır. İnsan tolerans dataları kullanılarak kaval kemiğine uygulanan toplam dinamik kuvvetin 5078 N olduğu bulunur. İnsanın ağırlığı 68 kg olduğuna göre kaval kemiğinin ön panele çarpma ivmesi $(5078 \times 2/3) / 68 = 49.8 \text{ m/s}^2$ veya 5 g'lik yavaşlama ivmesidir ki bu da kaval kemiğini kırmaya yeterlidir. Eğer taşıtın yavaşlama ivmesi bulunur ise bu değer kaza analizi sırasında delta-V nin hesaplan-masında kullanılabilir. Son olarak, taşıtın iç kısmının incelenmesi daha çok ön panelin alt kısımlarındaki temas yüzeylerinin belirlenmesi anlamına gelir.



- Çarpma anında kaval kemiğine gelen kuvvet

$$W = 1140 \text{ lbs. (İnsan tolerans datalarından)} = 5078 \text{ N}$$

- Bütün kuvvetler dengelenecek olursa;

$$\text{Vücutun dinamik kuvvet} = 2/3 W = 3385 \text{ N}$$

$$\text{Mahfsaldan uzak noktaya gelen kuvvet} = 1/3 W = 1693 \text{ N}$$

- 68 kg ağırlığındaki taşıt içerisindeki yolcuyu yavaşlatan ivme

$$a = \frac{F}{W} = \frac{3385}{68} = 49.8 \text{ m/s}^2 = 5 \text{ g}$$

TAŞITIN İNCELENMESİ:

Yapılması gereken son aşama ise yaralanmanın olduğu taşıtın incelenmesidir.

Tablo 2.1.10 'da taşıt içerisinde yaralanmaya neden olan yerler gösterilmektedir.

Tablo 2.1.10: Mühendislik Tanımlaması

Temas ile ilgili (yırtılma ve/veya çarpma noktası)
Temas ile ilgili olmayan (beyin travması, itme kuvvetleri)
Objenin teması (taşıtın iç ve dış kısmında)
Sürücü kabinin deformasyonu
Emniyet kemeri gibi pasif güvenlik sistemlerinin durumu
Koltuk ve/ veya kabinin döşemeleri ile olan durum.
Kuvvet ve kuvvet yönü

İlk yapılması gereken, taşıma ve yükleme ile ilgili durumu içeren genel bir rapor hazırlamaktır. Daha sonraki aşama ise vücut akışkanları (kan, su, mineraller ve diğer maddeler), saç, doku, kumaş parçası ve kazazedeye ait kanıtların yer aldığı mahkemeye sunulacak raporu hazırlamak.

Araştırmayı genişletmek amacı ile taşıtın iç kısmındaki (1) yapısal değişiklikleri (2) ön panel, direksiyon simidi, aynalar ve koltuklar gibi iç döşemedeki kaza sonrası değişiklikler incelenmelidir. Daha sonra bu kanıtlar, yolcunun direk veya indirek teması sonucu oluşmasına veya sadece taşıtın çarpışma sonucu ortaya çıkan kuvvetlere karşılık olarak oluşmasına göre sınıflandırılmalıdır.

Yolcunun oturma pozisyonu, yaralanmanın çeşiti ve yolcunun beklenen kinematiği (emniyet kemeri takmış ve takmamış olmasına göre), bize yolcunun çarpma konumu ile ilgili bilgi verir. Şekil 2.1.1 optimum analiz yapılabilmesi için gerekli aşamaları verir.

2.1.7 Yaralanmaların Biomekanik Analiz Sonuçlarının Kullanıldığı Yerler:

Taşıt güvenliğinin ortaya çıkarılmasında: Belli bir tür taşıttaki yaralanmaların analizi o taşıtın tüm çarpışma performansının belirlenmesinde kullanılır. Oysaki tek bir kaza için yapılacak olan bu tür bir araştırma, daha çok yolcunun kabin ile olan çarpışma-yaralanma ilişkisini belirleyecektir.

Bu yolla sağlanan istatistiksel data taşıt güvenliğinin diğer taşıtlar ile karşılaştırılmasına ve alternatif taşıt dizaynı geliştirilmesine neden olur:

Yaralanma datalarının bir araya getirilmesi sonucu, yaralanmaların sebebini ve kaynağını açıklanarak bu durumlara karşı önlemler alınabilir.

Kaza öncesi yolcuların konumlarını belirlemek:

Kazalarda sürücünün kimliğinin belirlenmesi çok sık gündeme gelir. Bu problem aşağıdaki metodları kullanarak çözülür;

- a) Taşıt içerisindeki belli bir bölgeye ait çarpışmayı, kaza sonrası alınan yaralar ile karşılaştırarak. Örneğin; Sürücünün direksiyon simidinden yaralanması muhtemel iken diğer yolcular için aynı durum söz konusu olamaz. Bu tür yaralanma sadece taşıtın sürücüsüne ait olabilir.
- b) Belli bir delta-V veya PDOF değeri için yolcunun hareketleri tahmin edilebilir.
- c) Emniyet kemerinin kullanıp kullanılmamasından belirlenebilir.
- d) Kan, saç, doku, kumaş parçaları ve benzer materyallerden bulunabilir.

Çok yönlü kazaların sonuçlarının bulunması:

Çok yönlü kazalarda fazla miktarda yaralanma meydana gelir. Kazaya karışan taşıt örneğin; bariyerlere çarptıktan sonra başka bir araca çarpabilir veya değişik pek çok durum söz konusu olabilir. Bu tür karmaşık olayların kaza analizini yapmak zordur. Fakat her bir çarpışma olayı ayrı ayrı ele alınarak incelenecek olunursa, her kazadaki yapılacak olan yaralanma analizinin sonuçları, tüm kaza analizini kolaylaştıracaktır.

Kaza analizinin doğruluğunu kontrol etmek:

Kazada alınan yaralanmalar ve yaralanmaya neden olan kuvvetin büyüklüğü ve yönün bilinmesi sayesinde geriye dönük kaza analizi yapılabilir. Eğer kaza analizinin sonuçları, kazadaki yaralanmaların nedenlerine uymaz ise bu durum önceki kaza analizini çürütür ve yeni bir kaza analizi hazırlanır.

Yaralanmanın doğruluğunun kontrolü:

Bazı durumlarda, kazazedenin almış olduğu yaraların şiddeti ve doğruluğu konusunda şüphe oluşabilir. Sağlık sigortasından para alabilmek için kaza dışı kendini yaralamaya gidilebilir. İşte bu gibi durumlarda, kaza analizi devreye girer. Çünkü;

kazanın şekline göre, olabilecek yaralanmalar istatistiksel ve deneysel olarak bellidir. Yapılan araştırma sırasında yaş, cinsiyet, antropoloji, önceden hasta kayıtları ile bilenen hastalıklar, çarpışma öncesi pozisyon ve kinematik gibi faktörlerden yararlanır.

Çarpışma sonrası kazazedenin araç dışına fırlayıp fırlamadığının belirlenmesinde:

Kazazedenin, kaza sonrası taşıt dışında bulunmasına sıkça rastlanır. Fakat genellikle kazazedenin taşıt dışına kaza sırasında mı fırladığı yoksa, kendisinin mi dışarıya çıktığı konusunda kesin ipucu bulunamaz. Bu durumda yaralanma analizine başvurulur. Çünkü araçtan dışarı fırlayan (özellikle taşıtın takla atma durumunda) kazazedenin aldığı yara, taşıt içinde bulunması halinde alabileceği yaradan oldukça farklıdır. Dikkatlice yapılan yaralanma analizi bu durumu ortaya çıkarabilir.



2.2 Taşıt-Yaya çarpışmalarında meydana gelen ölümcül beyin travmalarının deneysel incelenmesi ve beyin yaralanma mekanizması:

Tezin bu bölümünde konu ile ilgili Avusturalya Adelaide üniversitesi NH&MRC Trafik Kazası Araştırma Ünitesi ile Avusturalya Tıp Enstitüsü Doku Patolojisi bölümlerinin ortaklaşa sürdürdükleri kliniksel deneylerin sonuçları konu edilecektir.

Taşıtın yayaya çarpması sonucu meydana gelen beyin travması olayları oldukça fazladır. NH&MRC Trafik Kazası Araştırma Ünitesi yaya-taşıt çarpışmalarında beyin travmalarına neden olan mekanizmanın tespiti için 7 yıldan fazla çalışmışlardır. Araştırmalar sırasında hayvan modellerden, kadavralardan ve matematiksel simülasyonlardan yararlanılmıştır.

Taşıtın yayaya çarpması ile yayanın başında yarattığı çarpışmanın şiddetini ölçmek ve bu şiddetin kafadaki dağılımını ve beyine olan etkisini ölçmek için netod geliştirilmiştir.

METOD:

Güney Avusturalyada trafik kazasında ölen her insan üzerinde araştırma yapılmıştır. Her ölümcül yaralanma nedeniyle ölen kişi üzerinde otopsi yapılmıştır. Yaralar detaylı olarak kayıt edilmiş ve beyin sinir sistemi patolojisi için formaldehit ile korunmuştur. Kazaya neden olan taşıt incelenmiş, fotoğraflanmış ve hasar kayıtlara geçmiştir. Kazanın olduğu alana gidilerek ölçekli planı çıkarılmıştır.

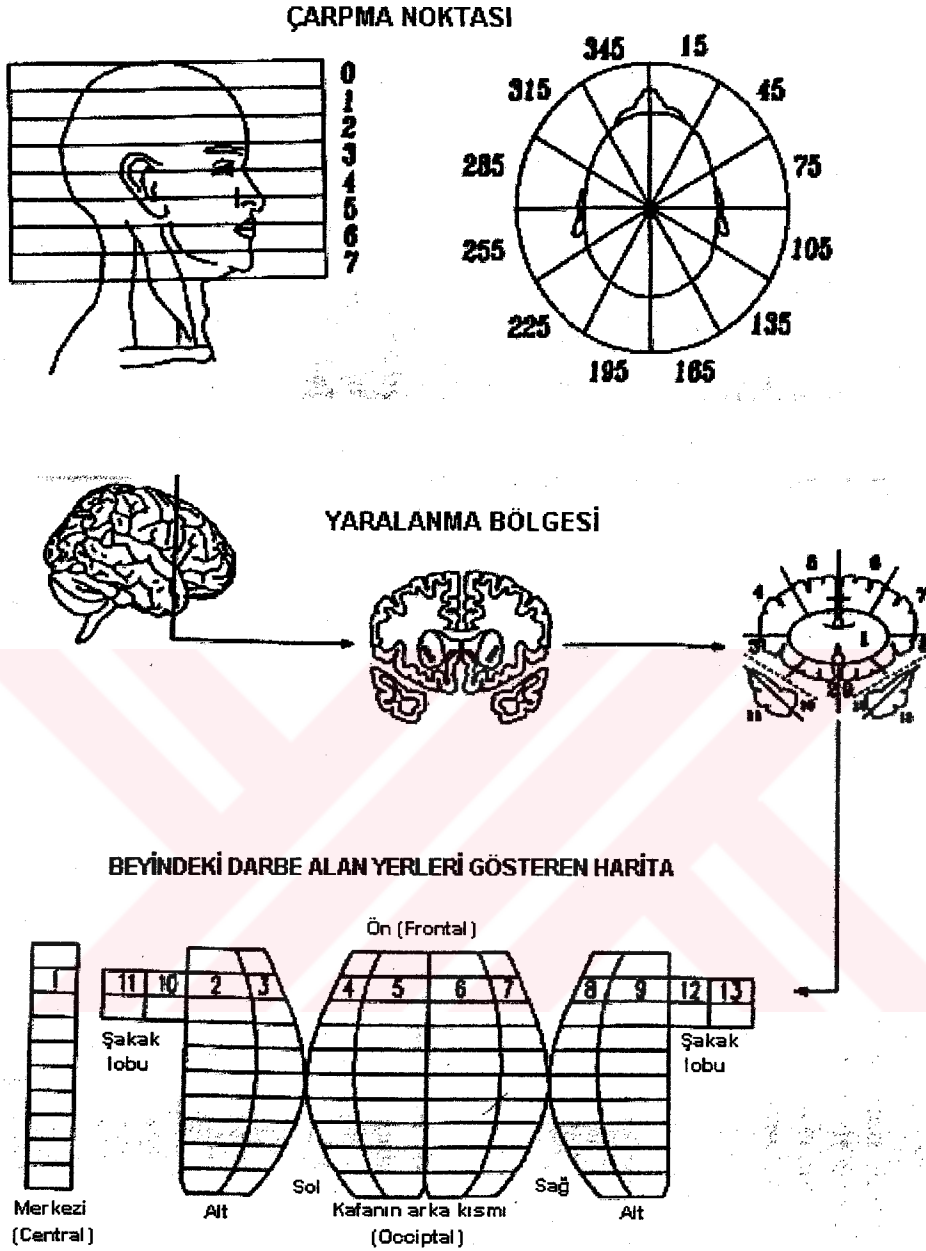
OTOPSİ:

Kafadaki çarpma noktaları, kafatasını kaplayan derinin, yüzün ve kan pıhtısının gözlenmesi ile belirlenmiştir. Kafadaki çarpma noktaları ; dünyada üzerindeki herhangi bir noktanın belirlenmesi için kullanılan enlem, boylam koordinat sistemine benzer yatay, düşey koordinat sistemi ile sağlanmıştır. (Şekil 2.2.1).

Taşıtın İncelenmesi:

Taşıt üzerindeki çarpma noktaları belirlenmiş ve bu noktaların elastikiyetlerinin bulunmasında *Viano nın yaptığı çalışmalardan yararlanılmıştır.

* Viano D.Yayaya çarpma yaralanmaları ve etüdü. Warrendale: SAE 1983 sf: 275



Şekil 2.2.1: Beyin şeklinin geometrisine uygun olarak bölümlere ayrılmıştır.

Kaza Mahalinin İncelenmesi:

Taşıtın çarpma hızının bulunabilmesi için fren iz, taşıttaki hasar, yayanın çarpması sonucu aldığı yol ve görgü tanıklarının ifadeleri önemlidir.

Beyinin İncelenmesi:

Beyin Doku Patolojisi Enstitüsünün Kafa yaralanmaları laboratuvarlarında incelenmiştir. Beyin korona tabakası üzerinde 10 mm lik aralıklarla bölümlere ayrılmış ve damarlarda (vascular) veya sinirlerde (axonal) meydana gelen tahribat makroskobik ve mikroskobik olarak incelenmiştir.

Beyindeki tahribatın meydana geldiği bölge ve şiddeti her 10 bölüm için tekrarlanmış ve kaydedilmiştir. Daha sonra sonuçlar tahribatın bölgelere göre dağılımı olarak bir diagram üzerinde gösterilmiştir (Şekil 2.2.1).

Çarpma Şiddetinin Tespit Edilmesi:

Çarpma şiddetinin beyindeki büyüklüğü doğrusal ve açısal ivmelenme şeklinde her durum için tespit edilmiştir.(Şekil 2.2.2)

KAFA ÇARPMA ŞİDDETİNİN MATEMATİKSEL MODELİ:

$$a = v \times \sqrt{\left(\frac{K}{M}\right)} \text{ m/s}^2 \quad (2.2.1)$$

$$F = m \times a \quad \text{N} \quad (2.2.2)$$

$$\alpha = \frac{(F \times X)}{I} \text{ rad/s}^2 \quad (2.2.3)$$

$$M = 0.0306(T) + 2.46 \text{ kg} \quad (2.2.4)$$

$$I = 0.02 \quad \text{kg.m}^2$$

$$K = 600000 \quad \text{N/m (Sert yüzeylerde)}$$

$$= 350000 \quad \text{N/m (Orta sert yüzeylerde)}$$

$$= 140000 \quad \text{N/m (Yumuşak yüzeylerde)}$$

v = Çarpma anında kafanın hızı (m/s)

a = Çarpma nedeniyle oluşan doğrusal ivme (m/s^2)

α = Çarpma nedeniyle oluşan açısal ivme (rad/s^2)

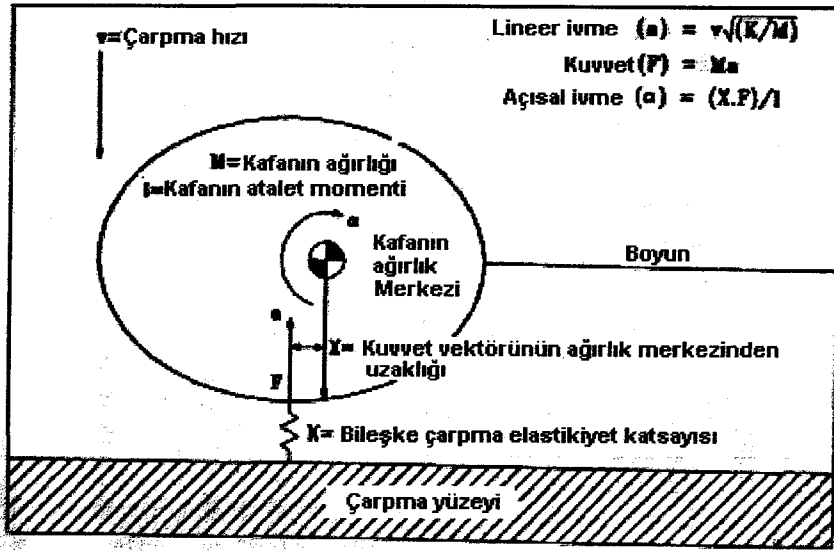
K = Kafa ve taşıtın bileşke elastikiyet katsayısı (N.m)

M = Kafanın ağırlığı (kg)

X = Kuvvet vektörlerinin kafanın ağırlık merkezinden uzaklığı. (cm)

I = Kafanın atalet momenti. (kg.m^2)

T=Yayanın toplam vücut ağırlığı (kg)



Şekil 2.2.2: Taşıt-yaya kazalarında, yayanın kafasına gelen darbenin modellenmesi

Yapılan kabuller şunlardır;

- 1) Kafadaki çarpmanın hızı, taşıtın çarpma hızına eşittir.
- 2) Çarpmanın yönü kafatasının yüzeyine diktir.
- 3) Kafa ile panel arasındaki çarpışma için bileşik elastikiyet kullanılabilir.

Kafada çarpma sonucu oluşan, kuvvet vektörlerinin kafanın ağırlık merkezine göre dağılım haritası (mm), kafanın geometrik yapısına gözönüne alınarak çıkartılmıştır (Şekil 2.2.3).

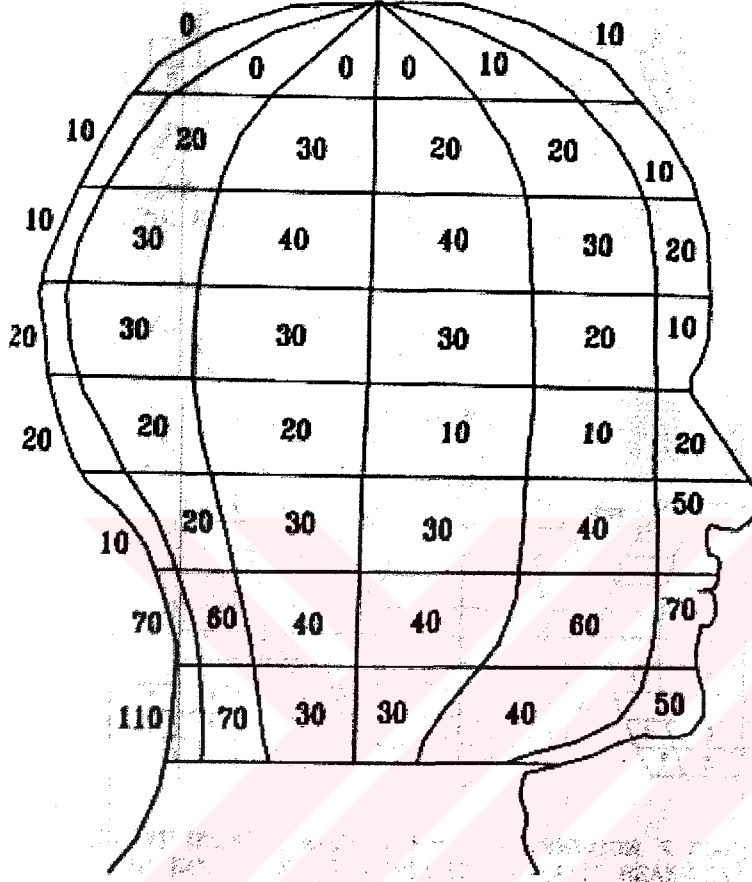
Doğrusal ve Açısal İvmeleri Tespit Etmek

Çarpışma nedeniyle ortaya çıkan doğrusal ivme, çarpma hızından, kafanın ağırlığından ve kafa ve taşıt paneli arasındaki bileşke elastikiyetten bulunur.

Açısal ivme ise; çarpma kuvvetinin büyüklüğüne, kuvvet vektörlerinin kafanın ağırlık merkezine göre yarattıkları momente ve kafanın atalet momentine bağlıdır (Şekil 2.2.4).

Kafatasının şekli ve kuvvet vektörünün kafatasının yüzeyine dik geldiğini kabul etmemiz nedeniyle; art kafa kemiğine (occipital) gelen darbeler bu alana küçük kuvvet vektörleri olarak dağılırlar bu sebeblede düşük açısal ivme yaratırlar. Oysa ki yandan

(lateral) gelen darbeler geniş bir alanda büyük kuvvet vektörleri buna bağlı olarakda büyük açısal ivmeler yaratırlar. (Şekil 2.2.3)



Şekil 2.2.3: Bölgelere göre kuvvet vektörlerinin kafanın ağırlık merkezinden uzaklığı.

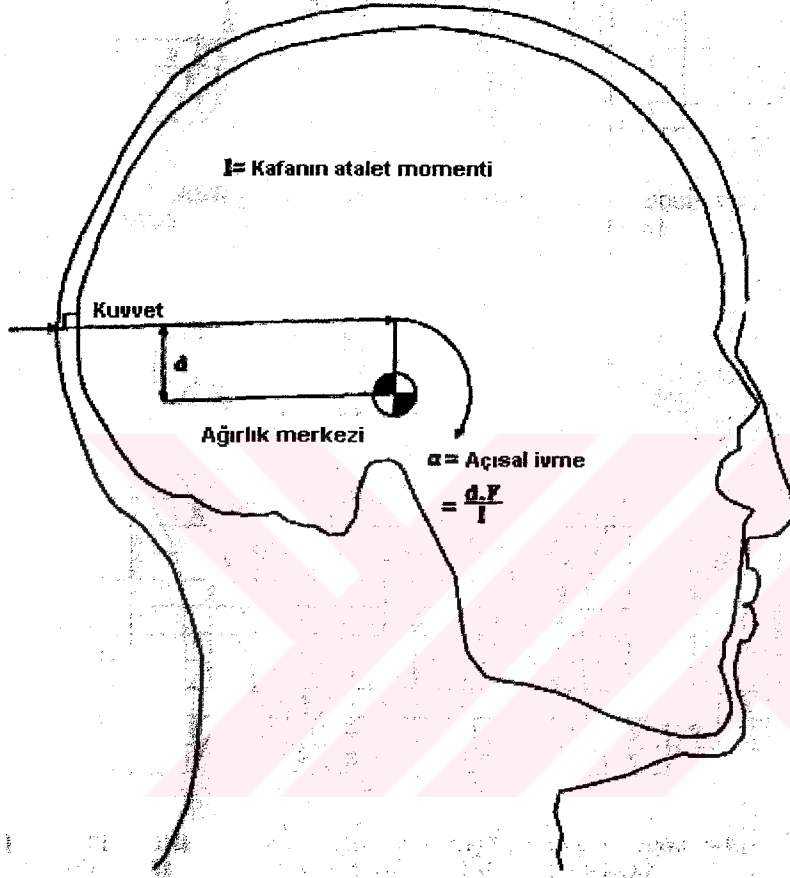
Çarpma Şiddetini Tespit Edilmesi:

Çarpma şiddetinin beyindeki büyüklüğü doğrusal ve açısal ivmelenme şeklinde her durum için tespit edilmiştir. (Şekil 2.2.2)

Yapılan kabuller ise şöyledir;

- 1) Kafadaki çarpmanın hızı, taşıtın çarpma hızına eşittir.
- 2) Çarpmanın yönü kafatasının yüzeyine diktir.
- 3) Kafa ile panel arasındaki çarpışma için bileşik elastikiyet kullanılabilir.

Kafada çarpma sonucu oluşan, kuvvet vektörlerinin kafanın ağırlık merkezine göre dağılım haritası (mm), kafanın geometrik yapısına gözönüne alınarak çıkartılmıştır (Şekil 2.2.3).



d = Kuvvet vektörünün ağırlık merkezinden uzaklığı

Şekil 2.2.4: Kafada oluşan açısal ivmeyi bulmak için kullanılan hesaplama

Doğrusal ve Açısal İvmeleri Bulmak:

Çarpışma nedeniyle ortaya çıkan doğrusal ivme, çarpma hızından, kafanın ağırlığından ve kafa ve taşıt paneli arasındaki bileşke elastikiyetten bulunur.

Açısal ivme ise; çarpma kuvvetinin büyüklüğüne, kuvvet vektörlerinin kafanın ağırlık merkezine göre yarattıkları momente ve kafanın atalet momentine bağlıdır (Şekil 2.2.4).

Kafatasının şekli ve kuvvet vektörünün kafatasının yüzeyine dik geldiğini kabul etmemiz nedeniyle; art kafa kemiğine (occipital) gelen darbeler bu alana küçük kuvvet vektörleri olarak dağılırlar bu sebeblede düşük açısal ivme yaratırlar. Oysa ki yandan (lateral) gelen darbeler geniş bir alanda büyük kuvvet vektörleri buna bağlı olarakda büyük açısal ivmeler yaratırlar. (Şekil 2.2.3)

Deney Sonuçları:

Çarpma noktasının belirlenmesi ve beyindeki tahribatın dağılımı

Art Kafa Kemiğine (OCCIPTAL) Gelen Darbeler:

- Orta çizginin 30° her iki yanında yer alan 8 adet çarpma tespit edildi. Darbe noktalarının büyük bir bölümü ortaçizginin sağ yanında toplanmıştır.
- Düşük ivmelenme seviyelerinde (5000 m/s^2 den az); beynin ön bölgesinin en üst ve en alt kısmı, kontra-lateral şakak lobu en çok etkilenen yerler olmuştur (Şekil 2.2.5).
- Yüksek ivmelenme seviyelerinde (5000 m/s^2 den fazla) ise; tüm alt kısmı, kontra-lateral şakak lobu ve başın en üst arka kısmı en çok etkilenen yerler olmuştur. (Şekil 2.2.6)

Yandan (LATERAL) Gelen Darbeler:

- Beynin 90° ve 270° lik her iki yanında 9 adet çarpma tespit edildi. Beynin simetrik olduğu düşünülecek olursa çarpma noktaları ortaçizginin sağ yanında yoğunlaşmıştır.
- Düşük ivmelenme seviyelerinde (5000 m/s^2 den az); beynin en alt kısmının tümü, özellikle de ön kontra-lateral bölge, ön ipsi-lateral bölgenin en üst kısmı ve şakak lobu en çok çarpışmadan etkilenen yerlerdir. (Şekil 2.2.7)
- Yüksek ivmelenme seviyelerinde (5000 m/s^2 den fazla) ise; beynin en alt kısmı, özellikle de ön bölge, en üst yüzeyin yan kesit bölgesi ile en çok etkilenen yerlerdir. (Şekil 2.2.8)

Darbelerin Büyüklüğü ve Yaralanmanın Şiddeti:

Beyindeki yaralanmanın şiddetini ölçmek için korteks ve ak madde (white matter)'nin herbir bölümü ve korona tabakası incelenmiştir. Bu incelemede somucunda elde edilen yaralanma büyüklüğü ve şiddetinin bileşkesi Beyin Yaralanma Yoğunluğu (BID) olarak adlandırılmıştır.

Art Kafa kemiğine (OCCIPTAL) Gelen Darbeler:

8 olay üzerinde yapılan inceleme sonucunda; 2000 m/s^2 den 7000 m/s^2 e kadar olan liner ivmelenme artışı ile etkin Yaralanma Yoğunluğunun (BID) arttığı gözlenmiştir. Açısal ivmenin ise 6000 rad/s^2 den 15000 rad/s^2 arttığı belirlenmiştir.

Yandan (LATERAL) Gelen Darbeler:

Yandan gelen 9 çarpma ile (BID) arasında belli bir ilişki bulunamamıştır. Liner ivme değerleri art kafa kemiğine gelen (occipital) darbeler oluşturduğu BID değerleri ile aynıdır. Açısal ivme ise 8000 rad/s^2 ile 50000 rad/s^2 arasında değişmektedir.

SONUÇLAR:

- Deney öncesi yapılan tahmin doğrulanmıştır. Yandan gelen çarpmalardaki açısal ivmeler, occipital kemiğe gelen darbelere göre daha şiddetli ve büyüktür.
- Düşük ivmelerde (5000 m/s^2 den küçük) art kafa kemiğine (occipital) gelen darbeler, tam aksi istikamette (contre-coup) beyinin ön bölgesinde yaralanmalara yol açmalar. Yüksek ivmelerde ise occipital bölgeye gelen darbeler ise; beyinin en üst ve en alt yüzeylerinin arkasında yaralanmalara yol açmışlardır ve yara çarpma noktasına yakın meydana gelmiştir.
- Düşük ivmelerde yandan gelen çarpmalar beyinin ön (frontal) bölgesinde ve şakak lobunda şiddetli yaralanmalara yol açmıştır. Yüksek ivmelerde ise beyinin ön bölgesindeki yaralanmanın şiddeti aynı kalırken, yan kesit (parasagittal) bölgede yaralanmanın geriye doğru ilerlemesi söz konusu olmuştur.
- Sağ yan kesit (parasagittal) bölgesindeki yaralanmaların çokluğu, beyin orajının (falx cerebri) açısal ivmelerin etkisinde kaldığını gösterir.

- Beyinin en alt ön kısmı ile şakak bölgesindeki yaralanmalar beyin ile kafatası arasındaki liner ivmelenme hareketinden ileri gelir.



3.0 CRASH-TEST (ÇARPIŞMA TESTİ)TEKNOLOJİSİ VE UYGULAMALARI

Bu bölümde, taşıt güvenlik sistemlerinin geliştirilmesine yardımcı olan crash-test teknolojisi ele alınacaktır.

Günümüzde taşıt güvenliği ön plana çıkmaktadır. Bir çok otomobil üreticisi daha sağlam, daha dayanıklı, daha güvenli taşıt tasarımı ilkesini benimsemektedir. Bu amaçla, daha iyi taşıt dizaynı için crash-test olarak adlandırılan belli koşullar altında gerçek kaza testleri yapılmaktadır. Bu testler, taşıtın protitip safhasında ve/veya üretim sonrası gerçekleştirilebilmektedir. Kaza testlerinden elde edilen veriler, daha sonra sonlu elemanlar metodu ile bilgisayarda simulasyon haline dönüştürülmektedir. Böylece; simülasyon sonuçları değerlendirilerek taşıtın kaza durumundaki davranışları , zayıf ve geliştirilmesi gereken noktaları ortaya konulmaktadır.

Taşıtların sonlu elemanlar metodu ile modellenmesi; taşıt dizayn analizi, komponent dizaynı ve taşıtın çarpışma anındaki aldığı hasarın kontrol altında tutulması (crashworthiness) gibi konularda yardımcı olur. Taşıtlar yıllar içerisinde giderek hassasiyet, sağlamlık, doğruluk ve büyüklük bakımından modellenmeleri karmaşık hale gelmiştir. Bu nedenle günümüzde bütün yukarıdaki özelliklere karşılık verebilecek, çarpışma senaryolarında kullanılmak üzere çok amaçlı (multi-purpose) taşıt modelleri geliştirilmiştir.

Konun daha iyi açıklanabilmesi açısından bu noktada bir crash-test örneği vermek doğru olacaktır.

CRASH-TEST

Özet

Crash-test, FHWA/NHATSA (National Highway Traffic Safety Administration) tarafından yapılmıştır. Çarpışma testi için çok amaçlı (multi-purpose) 1994 model Chevrolet C-1500 pick-up kullanılmıştır. Daha sonra çarpışma testi verileri kullanılarak, önden bariyerlere tam çarpma ve karayolu kenarındaki refüjlere teğet çarpma durumları için liner olmayan sonlu elemanlar metodu ile bilgisayar simulasyonları yapılmıştır. Bu modellemede özellikle taşıt güvenliği ve uyumluluğu açısından önden ve yandan çarpma performansları incelenmiştir. Gerçek çarpışma verileri (full scale

crash data) modelin geliştirilmesinde kullanılmıştır. Önden duvara tam çarpma testi ve New Jersey karayolu üzerinde beton refüjlere köşe çarpma testleri daha sonra birbirleri ile karşılaştırılmıştır. Test ve simulasyon arasındaki karşılaştırmalar; tüm çarpışma deformasyonu, komponent hataları, taşıtın bulunduğu çeşitli konumlardaki hız ve ivme bakımından olmuştur. Modelleme konusunda ise; element büyüklükleri, birbiri ile olan ilişkileri ele alınmıştır.

3. 1 Modelin Tanımlanması:

1994 Chevrolet C-1500 pick-up kamyonetin sonlu elemanlar metodu ile modellenmesi için gerekli olan * LS-DYNA3D giriş dosyası (input file) FHWA (Federal Highway Administration) ve NHTSA 'nın ortak çalışması sonucu geliştirilmiştir. Taşıt NCAC (National Crash Analysis Center) tarafından temin edilmiştir. Taşıt normal kabinli olup, C-1500 'ün toplam uzunluğu 5.4 m ve iki dingil arası mesafe 3.34 m dir. Taşıt 4.3 litrelik Vortec V6 elektronik enjeksiyonlu motora sahiptir. Arka tekerleklerden itişli düz viteslidir.

Taşıt ilk olarak demonte edilerek 7 ana gruba ayrılmıştır. Bunlar; şasi, ön iç kısım, ön dış kısım, kabin, kapılar, yatak ve diğerleri. Daha sonra her bir komponent bilgisayara bağlanmış bir kol yardımı ile sayısallaştırılarak bilgisayara aktarılmıştır. Yüzey parçaları, sayısallaştırılmış verilerden üretilerek AutoCAD bilgisayar programında IGES formatında saklanmıştır. IGES dosyaları sonra, tel kafes (mesh) yapısını oluşturmak ve modeli bir araya getirmek üzere * PATRAN bilgisayar programına aktarılmıştır. Bir sonraki aşamada model PATRAN programından LS-DAYNA3D programına NCAC tarafından geliştirilmiş HPD arabirimi (translator) kullanılarak aktarılmıştır.

Yapılan test çok amaçlı olması nedeniyle taşıtın; çelik barlar, taşıtın ön yapısı tampon dahil olmak üzere, radyatör, radyatör bağlantıları, süspansiyon, motor, yan kapılar ve kabin detaylı olarak incelenmiştir. Bu parçalar mümkün olan en az geometri kaybı ile sayısallaştırılarak bilgisayara aktarılmıştır. Örneğin taşıtın en önemli parçası olana şasinin sayısallaştırılarak tel kafes (mesh) görüntüsünü alması için 2 metod

* Hallquist, JO, LS-DYNA3D, Teorik Açıklama Klavuzu, *Livermore Software Technology Corporation*, LTSC Raporu 1018, 1991.

* P3/PATRAN Kullanma klavuzu, *PDA Engineering*, Yayınları, 903000, 1993

izlenmiştir. İlk metod da şasi üzerindeki hiçbir kıvrılmış delik modele katılmamıştır. İkinci metod da ise katılmıştır. İlk metodla yapılan model, test ile karşılaştırılınca oldukça zayıf kalmış, testde ki taşıt davranışına uymamıştır. İkinci metodla yapılan model ise testde ki taşıt davranışına oldukça yakın bir davranış göstermiştir. Fakat deliklerin dahil edildiği ikinci metodla yapılan modeli oluşturmak için bilgisayarın çalışma süresi artmıştır. Ayrıca bu durum model için kullanılan eleman sayısını arttırırken, çelik barların eleman büyüklüklerini azalmıştır. Böylece modelin taşıt davranışında, teste oranla önemli benzerlik sağlanmıştır.

Modelin gerçekliliğini arttırmanın diğer bir yolu da malzeme testleridir. Motor beşiği, çamurluk, kaporta, tamponlar, kapı içi yan barlar, kapı ve kapı çerçevesi gibi parçalar malzeme özellikleri yönünden test edildiler. Parçalara çekme ve kesme gerilmelerini öğrenmek için iki türlü test uygulandı. Testler; yavaş statik, düşük hızlarda dinamik ve yüksek hızlı dinamik olmak üzere 3 farklı durum için yapılmıştır. Malzemenin özellikleri, bir sonraki safha olan modelin geliştirilmesi safhasında kullanılmıştır.

Model 55272 düğüm noktası (nodes), 47088 kabuk elemanı (shell elements), 101 kiriş (beam) ve 1657 altıyüzlü (hexahedron) oluşmuştur. PATRAN nötr dosyaları elemanın malzeme özelliklerine göre 192 gruptan oluşmuştur. Özellikle, herbir komponentin özellikleri malzeme kartları tarafından tanımlanmış ve model için 4 değişik malzeme kullanılmıştır.

192 komponentin herbiri kabuk veya kiriş elemanlarına göre altgruplara ayrılmıştır. Hesaplamalarda 2 farklı kabuk elemanı kullanılmıştır; dörtgenel ve üçgenel kabuk elemanı. Herbir kabuk elemanın hesaplanması * Belytschko-Tsay teorisi üzerine kurulmuştur. Kiriş elemanlarının hesaplanmasında ise Hughes-Liu teorisinden yararlanılmaktadır.

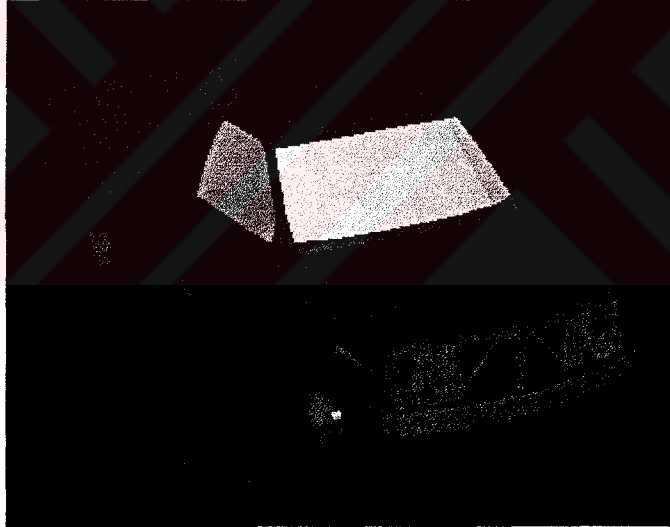
192 komponentin, 148 tanesi oran-bağıntılı (rate-dependent) izotropik elastik plastik malzeme modeli (LS-DYNA3D programındaki 24 nolu malzemeye göre), 22 tanesi rijit malzemeli model (LS-DYNA3D programındaki 20 nolu malzemeye göre), 5 tanesi Blatz-Ko lastik model (LS-DYNA3D programındaki 7 nolu malzemeye göre).

* Hallquist, J.O, Stillman, D.W, Lin, T.L., LS-DYNA3D Kullanma klavuzu *Livermore Software Technology Corporation*, LSTC Raporu 1007, 1992

Geri kalanlar ise tamamen elastik malzeme modelini (LS-DYNA3D programındaki 1 nolu malzemeye göre) kullanırlar.

Parçalarının bağlantıları 3 değişik bağlantı şekli ile yapılmıştır; kaymaçizgileri (slidelines), sınırlandırılmış düğüm noktaları (constrained nodes) ve mafsallardır. Kaymaçizgileri (düğüm noktalarını yüzeye bağlayan kesikli çizgiler), kapı yan barlarında olduğu gibi birbirine paralel iki elemanın birbirine bağlanmasını sağlar. İki çeşit sınırlandırılmış düğüm noktası vardır; grup sınırlandırılmış düğüm noktaları ve nokta kaynak düğüm noktaları. Grup düğüm noktaları, bütün sınırlandırılmış düğüm noktalarının birlikte aynı yönde hareket etmelerini sağlar. Nokta kaynak düğümler ise rijit kirişi 2 düğüm noktası ile birbirine bağlar. Taşıtın ön süspansiyon bağlantılarında küresel ve oynak iki tür mafsal kullanılmıştır.

Şekil 3.1, 3.2 ve 3.3 ' de C-1500 Pick-up kamyonetin sırası ile izometrik, üstten, ve alttan görünüşü verilmiştir.

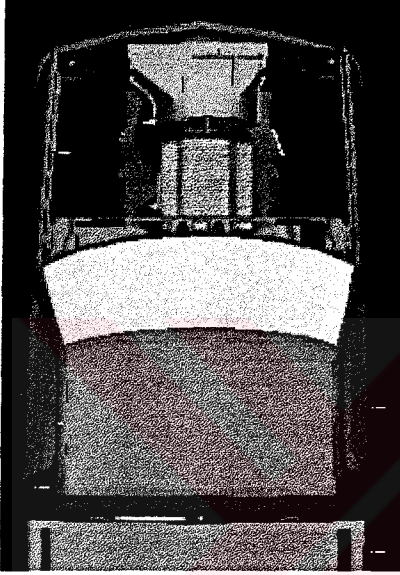


Şekil 3.1: Modelin izometrik görünüşü

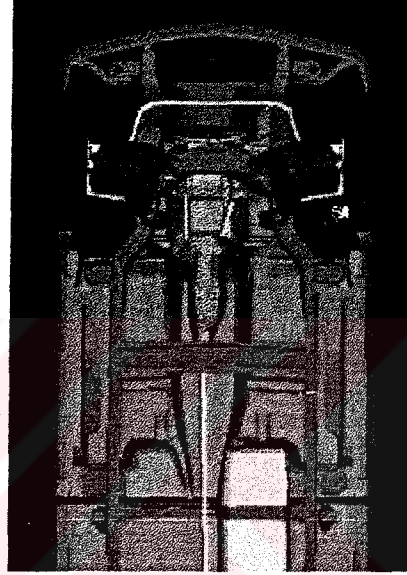
3.2 C-1500 Pick-up kamyonetin bariyerlere çarpma modeli:

2 adet çarpışma senaryosu düzenlenmiştir. İlki, önden pick-up kamyonetin rijit duvara 56 km/h hızla çarpmasıdır (Şekil 3.4). İkincisi ise aynı pick-up kamyonetin New Jersey beton bariyerlere 25° açı ile 100 km/h ile çarpması durumudur (Şekil 3.5). Her iki çarpışma senaryosu için gerekli olan giriş dosyaları (input files) LS-INGRID programı yardımı ile üretilmiştir. Her bir durumda, kamyonet ve bariyer modeline ait

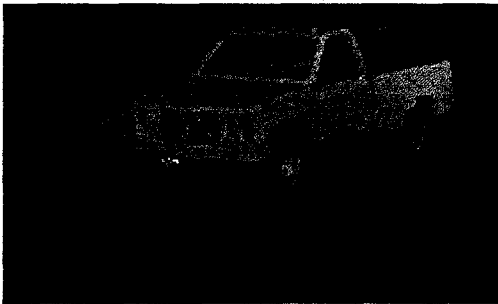
LS-DYNA3D giriş dosyaları çarpışma konfigrasyonu için LS-INGRID programı tarafından bir araya getirilmiştir. Pick-up ile bariyer arasında kayama arayüzü (type-13) kullanılmıştır. Pick-up kamyonetin hem bariyerlere önden çarpması testi ve hem de New Jersey bariyerlerine açı altında çarpması testi için taşıtın ilk hız başlangıcından itibaren LS-SYNA3D giriş dosyası simülasyonun zaman aralıklarına bağlı olarak üretilmiştir.



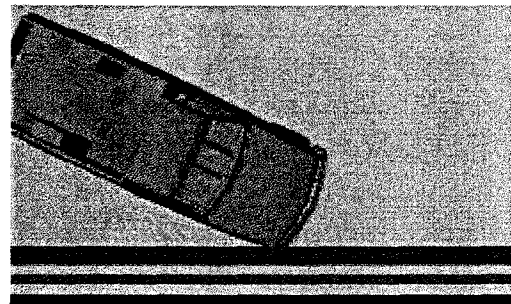
Şekil 3.2: Pick-up'ın üstten görünüşü



Şekil 3.3: Pick-up'ın alttan görünüşü



Şekil 3.4: Rijit duvara önden tam çarpma.



Şekil 3.5: New Jersey beton refüje taşıtın ön sağ köşesini çarpma.

3.3 Testin Yapılışı:

Chevrolet C-1500 Pick-up kamyonetin önden bariyerlere çarptırılması testi NHTSA'nın sponsorluğunu yaptığı ve Yeni Otomobil Araştırma Programının bir parçasıdır. Aynı taşıtın New Jersey bariyerlerine taşıtın sağ ön köşesinde çarptırılması

testi ise FHWA 'nın Milli Karayolları Araştırma Programının bir parçası olarak yapılmıştır. Taşıt ve taşıtın çarpması durumundaki hali Tablo 3.1 ve Tablo 3.2 'de gösterilmiştir. Birinci testte bir çok sensör Pick-up üzerine yerleştirilmiştir. Bu bölgeler; motor, fren pedalı, ön panel (dashboard) ve koltuklardır. Sensörlerden gelen data bilgisayara aktarılarak sonlu elemanlar yöntemi ile taşıt çarpışmasının modellenmesi mümkün kılınmıştır.

NHTSA Test numarası MN0111	
Test Tarihi:	24 - Haziran 1992
Test Konfigrasyonu:	Taşıt, rijit bariyerlere önden 0° açı ile tam (%100) olarak çarpıtılmıştır.
Taşıt:	Chevrolet C-1500 1992 model
Motor tipi:	4.3 litre V6 transverse (enine) önden montaj
Transmisyon tipi:	Düz
Taşıt Hızı:	56 km/h

Tablo 3.1: İlk teste ait açıklama

Test Numarası 40549-1	
Test Tarihi:	6 - Eylül 1995
Test Konfigrasyonu:	Taşıt, 25° açı ile New Jersey Bariyerlerine çarpıtılmıştır.
Taşıt:	Chevrolet C-1500 1992 model
Motor tipi:	5.7 litre V8 transverse (enine) önden montaj
Transmisyon tipi:	Otomatik
Taşıt Hızı:	100 km/h

Tablo 3.2: İkinci teste ait açıklama

3.4 Simulasyon çıkışı:

Simulasyon, SMP (Symmetriv Multi-Processor) tipi 16 mikro işlemcili Silicon Graphics Power-Challenge bilgisayarında üretilmiştir. Bilgisayar programı olarak LS-DYNA3D versiyon 930 kullanılmıştır. 150 ms süren önden çarpma simulasyonunun gerçekleştirilebilmesi için 4 mikroişlemci kullanıldı ve bu işlemciler 49 saat çalıştırılmıştır. Taşıtın 25° açı altında New Jersey bariyerlerine çarpması durumunun simüle edilebilmesi için 0.5 sn lik çarpışma için 4 mikroişlemci 152 saat çalıştırılmıştır. Her iki simulasyonda da zaman aralıkları 1 ms olarak alınmıştır.

Taşıtın ivmelenmesine ilişkin kayıtlar, seçilmiş bazı düğüm noktalarından her 3 ms de bir alınmıştır. Bu düğüm noktaları test taşıtı üzerindeki sensörlerin konumlarına göre belirlenmiştir. Rijit duvara önden çarpma testi için sensörler; motor, ön panel (dash-board) ve kabin içine yerleştirilmiştir.

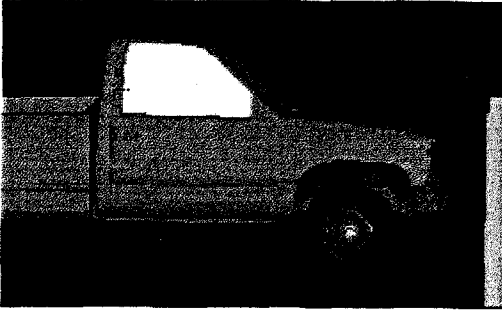
3.5 Test ve Simulasyonun Karşılaştırılması:

Yapılan simulasyonun geçerliliği ve doğruluğu şu şekilde kontrol edilir;

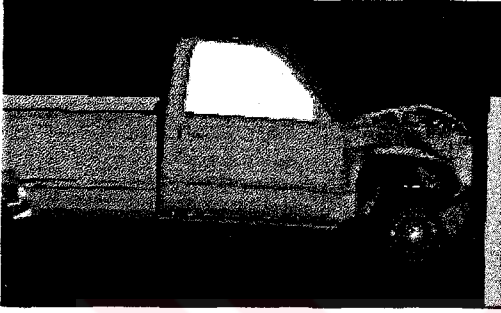
- 1) Çarpma şiddetinin yüksek olduğu bölgelerdeki çarpışma deformasyonu
- 2) Taşıt üzerindeki farklı noktaların zamana bağlı hareketlerinin kayıtları
- 3) Farklı komponentlerin enerji absorpsiyonu (sönümlemesi).
- 4) Taşıtın çarpışma sonrası davranışları

3.6 Önden Rijit Bariyerlere Tam Çarpma

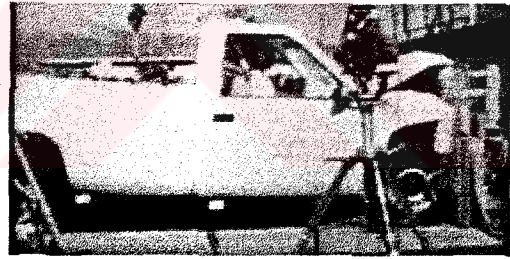
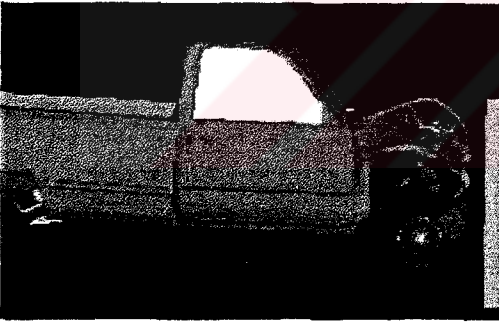
1) **Çarpma şiddetinin yüksek olduğu bölgelerdeki çarpışma deformasyonu:** Çarpma noktalarındaki genel deformasyon ancak yüksek hızlı kameraların tespit ettiği görüntülerden anlaşılabilir. Şekil 3.6 ve Şekil 3.7 'de Pick-up kamyonetin ilk 39 ms içerisindeki durumu yandan ve üstten görülmektedir. 39 ms durumu özellikle seçilmiştir çünkü kaporta ve çamurluktaki deformasyon bu anda başlamıştır. Yine bu şekillerde 60 ve 90 ms deki kamyonetin durumu görülebilir. 60 ve 90 ms deki taşıtın konumlarının seçilmesinin nedeni ise, plastik deformasyonun bu zamanlarda ortaya çıkmasıdır. Şekillerden de gözleneceği gibi kaporta, çamurluk ve tamponlardaki deformasyon profilleri test ve simulasyon arasında çok benzerlik gösterir. Şekil 3.8' de ise kamyonetin alttan 39, 60 ve 90 ms deki taşıtın durumu görülmektedir. Pick-up 'ın altındaki genel deformasyon test ile simulasyon arasında büyük benzerlik göstermektedir.



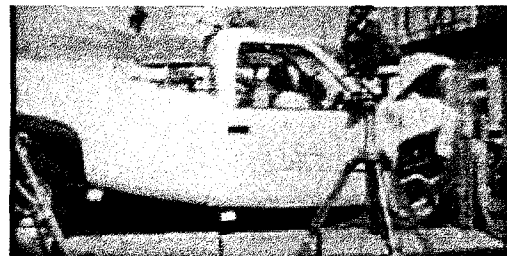
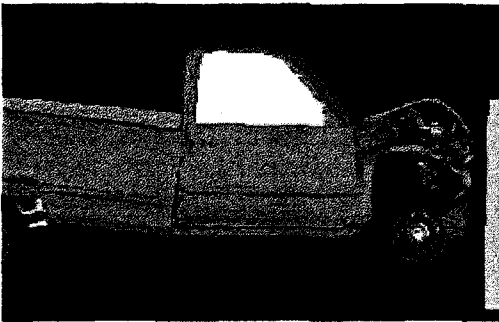
$t=0$ ms



$t=39$ ms

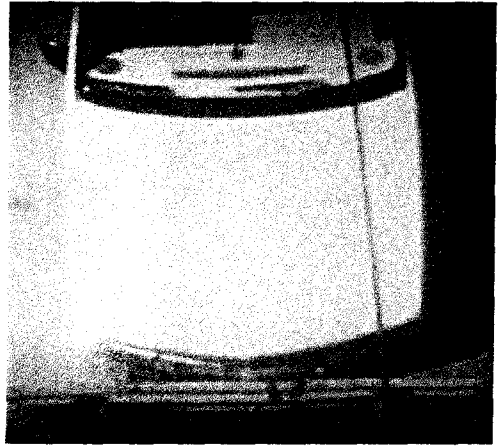
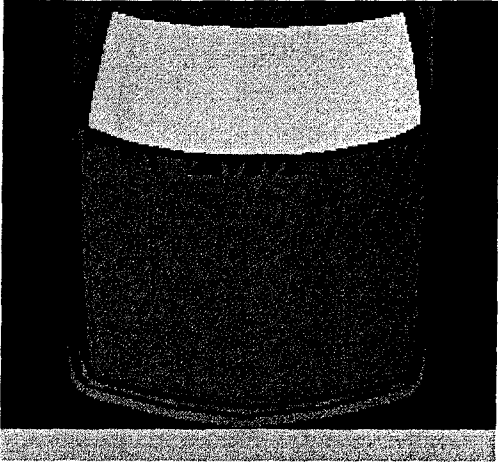


$t=60$ ms

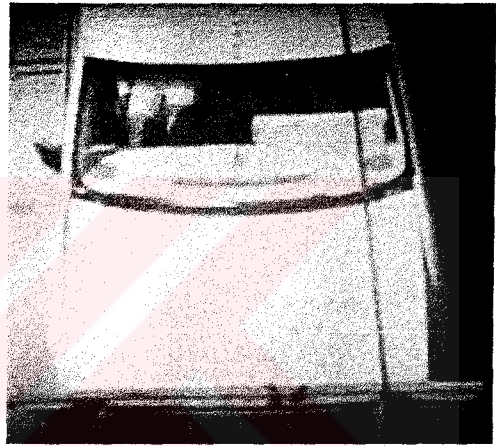
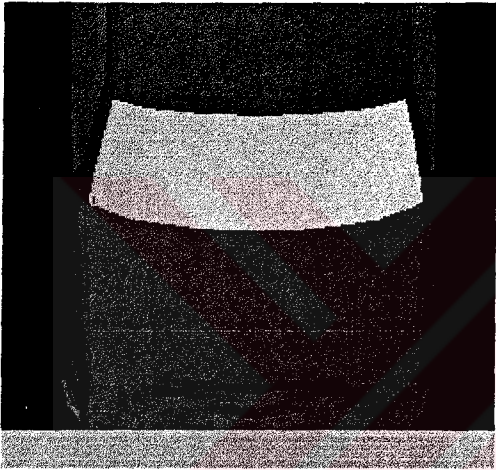


$t=90$ ms

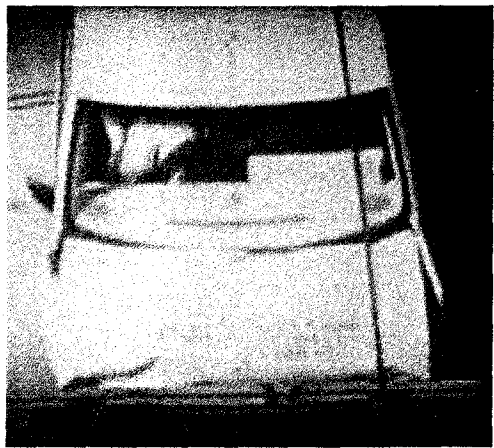
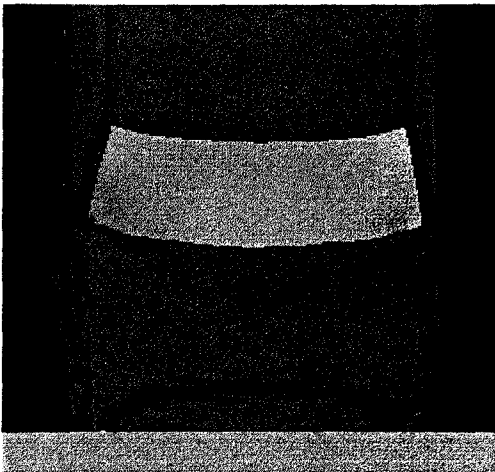
Şekil 3.6: Pickup kamyonetin rijit duvara çarpma prosesinin 0, 39, 60 ve 90 ms 'deki yandan test ve simulasyon görüntüleri.



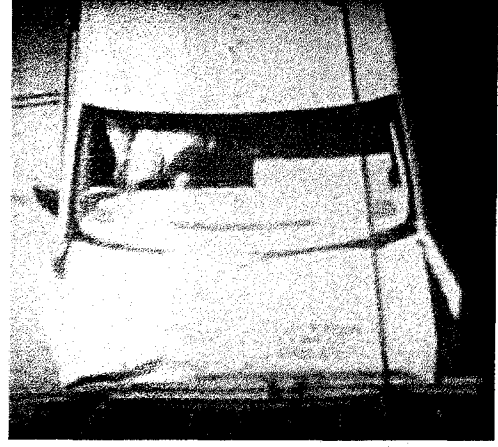
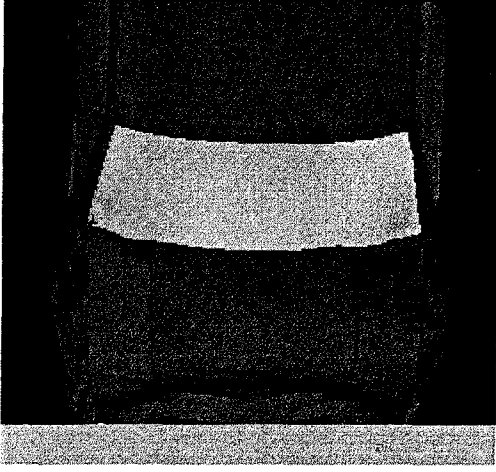
$t = 0 \text{ ms}$



$t = 39 \text{ ms}$



$t = 60 \text{ ms}$

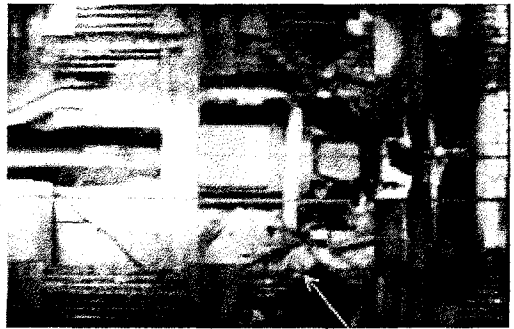
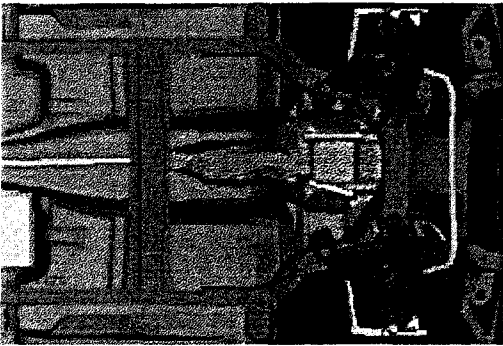


$t= 90 \text{ ms}$

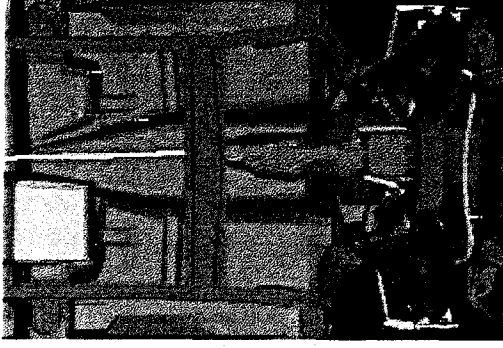
Şekil 3.7 : Pickup kamyonetin rijit duvara çarpma prosesinin 0, 39, 60 ve 90 ms 'deki üstten test ve simulasyon görüntüleri.



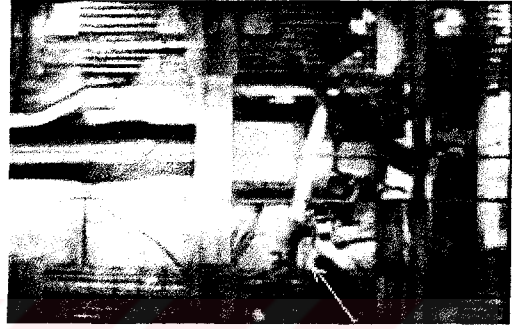
$t= 0 \text{ ms}$



$t= 39 \text{ ms}$



$t = 60 \text{ ms}$



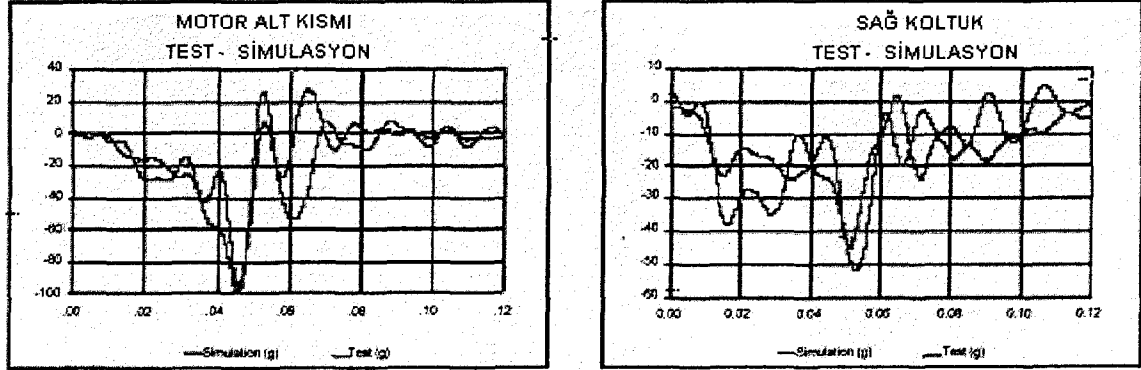
$t = 90 \text{ ms}$

Şekil 3.7 : Pickup kamyonetin rijit duvara çarpma prosesinin 0, 39, 60 ve 90 ms 'deki alttan test ve simülasyon görüntüleri.

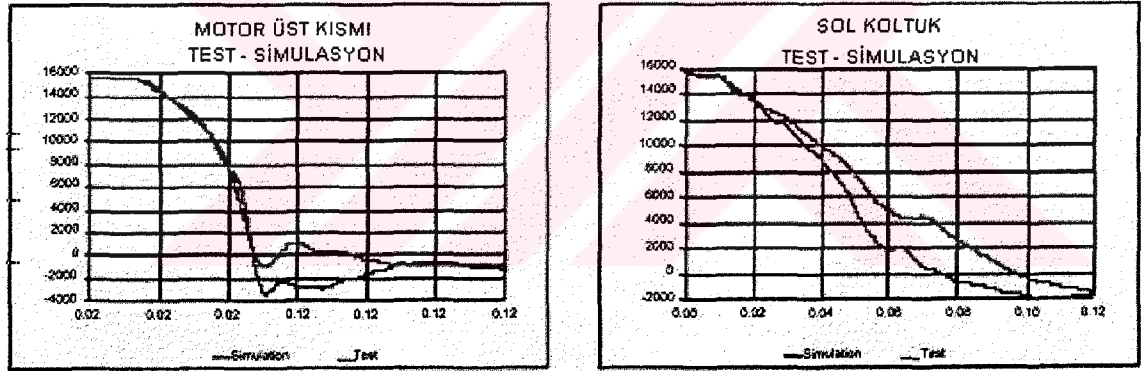
2) Taşıt üzerindeki farklı noktaların zamana bağlı hareketlerinin kayıtları:

Diğer bir karşılaştırma, taşıt üzerindeki farklı noktaların hız ve ivme yönünden test ve simülasyonlarının karşılaştırılmasıdır. Şekil 3.8 'de test ve simülasyon ivmelenme yönünden karşılaştırılmıştır. İvme ölçme cihazları (accelerometer) motor bloğunun alt kısmına ve arka sağ koltuğa yerleştirilmiştir. Şekil 3.8 'de görüldüğü üzere eğrinin şekli ve ani ivme değerleri test ve simülasyon arasında iyi ilişkinin olduğunu doğrulamaktadır. Motorda görülen maksimum ivmelenme 96 g iken kabin içi maksimum ivme değeri 52.3 g dir. Tahmini hata oranı %3.3 - %16.5 arasındadır. Şekil 3.9 'da ise motorun üst kısmından ve arka sol koltuktan alınan verilere (data) göre taşıttaki hız değişiminin test - simülasyon arası karşılaştırılması gösterilmektedir. Pick-up modeline koltuklar, ön panel (dash-board) ve insan modelleri (dummies) dahil edilmemiş olmasına rağmen test ile simülasyon arasında iyi bir ilişki kurulmuştur. Simülasyon zaman aralıkları arttırılarak özellikle şiddetli çarpışma bölgesindeki simülasyon hataları azaltılabildi. Fakat bu durumda bilgisayarın hesaplama süresi aşırı arttırdı. Örneğin;

1 ms 'lık zaman aralıkları yerine değişken zaman aralıkları kullanılıyadı tüm simulasyonun tamamlanması 212 saat alacaktı.



Şekil 3.8: Rijit duvara önden çarpma durumunda test ve simulasyonun ivme yönünden karşılaştırılması.



Şekil 3.9: Rijit duvara önden çarpma durumunda test ve simulasyonun hız yönünden karşılaştırılması.

3) Farklı komponentlerin enerji absorpsiyonu:

Çarpışma sonrası farklı komponentler tarafından absorbe edilen enerjinin gözlenmesi önemlidir. Absorbe edilen enerji miktarının bulunması için, malzedeki plastik gerilmenin simulasyon üzerinde hesaplanması gerekir. Tablo 3.3 çeşitli komponentler tarafından absorbe edilen enerji miktarları yüzde olarak verilmektedir. Ayrıca buradan elde edilen data her komponentin, kurulan modelin ve tüm simulasyonun geçerliği ve doğruluğuna etkisi hakkında önemli bilgi verir. Absorbe edilen toplam enerji miktarı

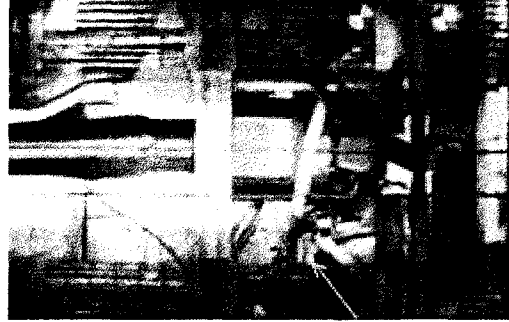
beklenen seviyede çıkmıştır.

Parça	İç Enerji (kJ)	Yüzde (%)
Taşıtın tümü	202.8	100
Rails	93.2	45.95
Tampon ve onunla bağlantılı yapılar	26.1	12.90
Motor ve onunla bağlantılı yapılar	23	11.40
Radyatör ve onunla bağlantılı yapılar	21.8	0.75
Toeplan ve ön taban	15.2	7.50
Kaporta	10.7	5.27
Çamurluk	9.8	4.84
Sürücü kabini	1.65	0.82

Tablo 3.3: 56 km/h hızla rijit duvara çarpan test taşıtının bazı parçalarına aktarılan iç enerji.

4) Taşıtın çarpışma sonrası davranışı:

Çarpışma sonrası taşıttaki özellikle birbirleri ile bağlantılı olan parçaların ezilme mekaniğinin bilinmesi önemlidir. Şekil 3.10 'da görüldüğü gibi önden çarpma testinde gözlenen çarpışma sonrası motor, vites kutusu ve şaft gibi parçaların hareketleri ile yapılan simulasyon arasında iyi bir ilişki bulunmuştur. Hem crash-testler de hem de simulasyonda vites kutu çarpmanın etkisi ile geriye doğru hareket etmiştir. Ayrıca Şekil 3.6 'da taşıtın çarpışma sonrası hareketi ve düz yatak (flat bed) oluşumu $t=90$ ms konumu için görülebilir.



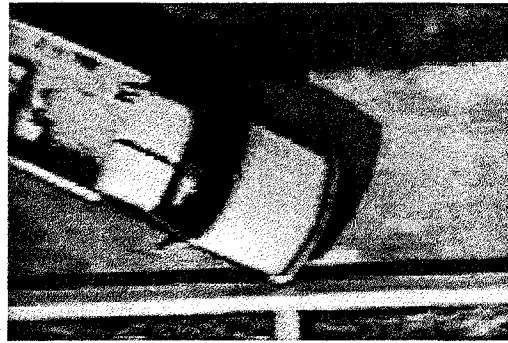
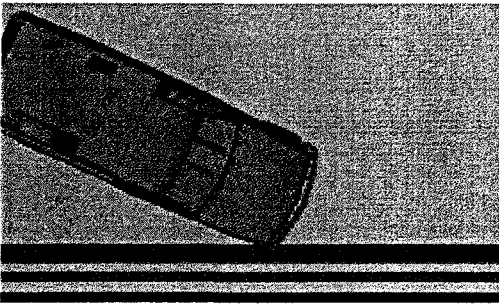
Şekil 3.10 : Çarpışma sonrası motor hareketinin taşıt altından görünüşü.

3.7 New Jersey beton refüjlere taşıtı çarpma testi

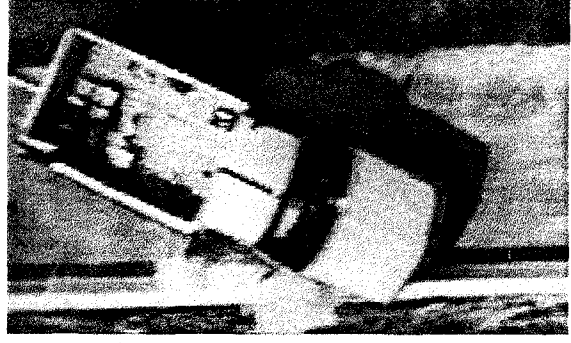
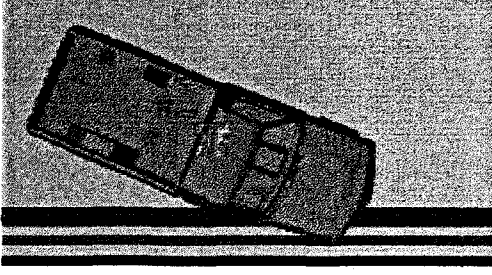
1) Çarpma şiddetinin yüksek olduğu bölgelerdeki çarpışma deformasyonu:

Simulasyon Chevrolet C-1500 modeli üzerine uygulanırken, test C-2500 model Chevrolet ile yapılmıştır. Bu iki model arasındaki fark; motor, vites kutusu, ve sürüş konfigrasyonu bakımından olmuştur. C-1500 4.3 Vortec V6 motor ile düz vites şanzımana sahiptir. Crash-testte kullanılan C-2500 ise; 5.7 litrelik V8 motor ve otomatik şanzımana sahiptir. Bu değişiklik ayrıca C-2500 kamyonetin toplam ağırlığına 300kg lık ilave yük getirmiştir. Şekil 3.11 ve Şekil 3.12 'de kamyonetin üstten ve yandan çarpışma anının görüntüleri verilmiştir. Başlangıç olarak 75 ms seçilmiştir. Çünkü bu nokta taşıta deformasyon başlangıcıdır. Ayrıca şekillerde taşıtın 120 ve 240 ms daki durumu verilmiştir. Çünkü bu noktalarda en fazla plastik deformasyon oluşmuştur. Şekillerden de görüleceği gibi test ve simulasyon arasında büyük benzerlikler vardır.

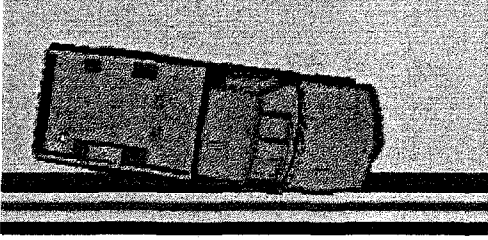
Çarpışma sonrası taşıtın hareketleri test ve simulasyon arasında benzerlik gösterir. Şekil 3.11 'de taşıtın bariyere çarpması, onunla olan teması ve bariyerden ayrılması açıkça görülmektedir. Şekil 3.12 'de ise taşıtın bir an tamamen yer ile olan teması kesilmiş ve havada adeta asılı kalmış ve daha sonra ilk önce taşıtın burnu yere inmiştir. Dikkat edilen diğer bir nokta ise C-2500 'ün daha C-1500 'den daha ağır olmasına rağmen burnunun C-1500 'den daha sonra yere inmiş olmasıdır.



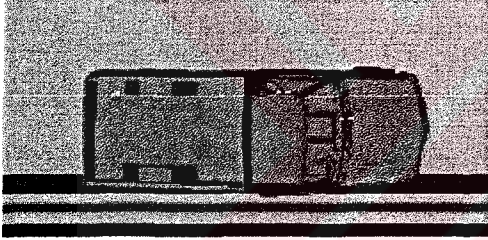
$t = 0 \text{ ms}$



$t=75$ ms



$t=120$ ms

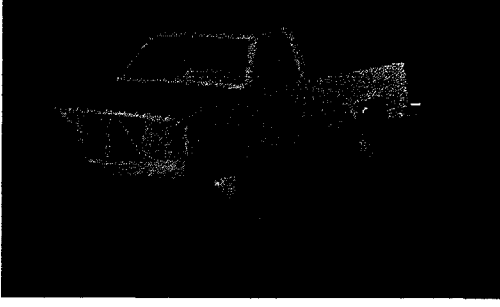


$t=240$ ms

Şekil 3.11: New Jersey beton bariyerlerine çarpan C-2500 model Chevrolet Pick-up'ın üstten görünüşü.



$t=0$ ms



$t = 75 \text{ ms}$



$t = 120 \text{ ms}$



$t = 240 \text{ ms}$

Şekil 3.11: New Jersey beton bariyerlerine çarpan C-2500 model Chevrolet Pick-up'ın yandan görünüşü.

4.0 KAZA ANALİZİ

4.1 Kaza Analizi Tekniği ve Geçerliliği

Kaza analizi tekniğinin geçerliliği, (bilgisayarla yapılan modelleme tekniğide dahil olmak üzere) bir çok değişkene bağlıdır. Bazı değişkenler *kaza kanıtlarının korunmasına*, bazı değişkenler *taşıt hareketlerine*, bazı değişkenler ise *kaza analizi tekniğine* bağlıdır.

Kaza analizine bağlı birinci gruptaki değişkenleri *kaza kanıtları* başlığı altında toplanmıştır. Bu değişkenler sadece belirli bir kaza durumu için geçerlidir. Kanıtlar kaza analizini yapan kişinin direkt kontrolü altında değildir (kaza ekspertinin kanıtları koruması veya hatırlaması dışında). Kanıtlar bir kez toplandıktan sonra o kaza olayı için değişmemelidir. Bir çok kanıt, fotoğraf ve ölçümlerle kaza sonrası korunmazsa kaybolabilir ve kaza eksperti için bir daha elde edilemesi mümkün olmayabilir. Kaza kanıtlarının eksikliği ise kaza analizinin geçerliliğini azaltır.

Kaza kanıtları içerisinde; kaza sonrası taşıt veya taşıtların son konumları, lastik izleri, yol işaretleri, taşıttaki hasar gibi ayrıntılar yer alır. Kaza araştırmasını yapan görevlinin (genellikle polis) ilk önce daha sonra yapılacak olan detalı kaza analizi için gerekli olan n bilgiyi (kanıtları) toplamalıdır. Kaza analizi için gerekli olan kanıtlar bir yandan toplanırken, bir yandan da kazazedeleri kurtarmak, kaza alanı ile yoldaki diğer taşıtlar arasında güvenlik bölgesi sağlamak gibi diğer önemli işler yapılır. Kaza ekspertinin mümkün olduğunca çok kanıt toplamalıdır. Daha sonra detaylı kaza analizinin yapılabilmesi ve bu arada kanıtların yok olmasını önlemek için; kaza sonrası taşıtların pozisyonunun, çarpışma noktasının boya ile işaretlenmesi yapılabilecek en iyi işlemdir. Elbetteki, boyama işlemini yapmadan önce, kaza alanındaki kanıtların fotoğrafını çekmek gerekir.

Ayrıca kaza alanında alınacak olan fren izi, uzaklık gibi ölçümler çok önemlidir. Hata oranını azaltmak için, mümkün olduğunca fazla ölçüm alınmalıdır.

Taşıtta meydana gelen hasarın kaza alanında tespit edilmesi şart değildir. Kazazedeyi taşıt içerisinden çıkarmak taşıt üzerinde uygulanan kesme, parçalama gibi işlemler ve kaza yapan taşıtın taşınması sırasında oluşabilecek ekstra hasar durumları dışında, kaza yapan taşıt üzerinde meydana gelen hasar haftalarca, yıllarca bozulmadan kalır. Bu nedendir ki; kaza ekspertleri arasında kaza yapan taşıt üzerinden alınan hasar

doğrultusunda kaza analizini kurmak popülerdir. Fakat kaza analizi tekniğinin geçerliliği yönünden bakılacak olursa, yalnızca taşıttan alınan hasar üzerine kurulan kaza analizi kaza alanından gerekli kanıtların gelmediği durumlarda son çare olarak kullanılmalıdır. En iyisi hem taşıt üzerindeki hasardan hemde kaza alanından gelen bilgiler doğrultusunda kaza analizini yapmaktır.

Kaza analizine hazırlık olarak yapılması gereken diğer aşama ise taşıt hareketlerinin tespit edilmesidir. Bu özellikler daha sonra Newton'nun kanunlarına bağlı olarak hareket denklemler içinde yer alırlar. Newton'nun kanunlarını hatırlarsak;

Newtonun Hareket Kanunları:

1. Her cisim bulunduğu konumu muhafaza eder. Duran veya hareket eden cisim dışarıdan harici bir kuvvet etki etmediği sürece konumunu sürdürür.
2. Cismin ivmesi kendisini oluşturan kuvvet ile aynı yönde ve doğru orantılı, cismin kütlesi ile ters orantılıdır. ($a=F/m$)
3. Herhangi bir noktaya uygulanan kuvvetin kendisine ters ve ona denk bir reaksiyon kuvveti vardır.

Yukarıdaki Newton kanunlarından, çarpışan taşıtların kütlelerinin ve çarpışma geometrilerinin kaza analizi tekniğine değişken olarak etki ettiği sonucunu çıkartabiliriz. Taşıt özelliklerini tespit etmek için değişik kaynaklar vardır. Fakat her zaman bu kaynaklardan alınan değişkenlerle, hesaplama tekniğinde yaklaşık kabul edilen değişkenler arasında çok küçük farklar olur.

Buraya kadar kaza analizinin yapılabilmesi için gerekli olan aşamalar incelendi. Bu noktadan sonra, kaza eksperti kaza analizi tekniğini seçmelidir. Kaza analizi seçimi tekniği daha çok kaza analizini yapacak olan kişinin tecrübesine ve analizi basitleştirmek için yaptığı kabullere bağlıdır.

Bir çok kaza analizinde, özellikle de istatistiksel çalışmalarda yalnız hasarı temel alan (damage-based) kaza tekniği izlenir. Ortalama hataların önemli olduğu istatistiksel analizlerde, hasarı temel alan (damage-only) kaza analizinin izlenmesi varsayımlardan doğan hataları gözardı edecektir. Oysaki her kaza analizi tek başına ele

alındığında önemli olan maksimum hattadır.

Hasarı temel alan (damage-based) kaza analizi tekniği, istatistiksel olmayan kaza analizleri için yeterli değildir. Hasar temel alan (damage-based) kaza analizi tekniğindeki liner Delta-V ile ezilme arasındaki ilişki varsayımlara dayalıdır. Bugün pek çok kaza ekspertleri kaza analizlerinde kullanmak üzere A, B ve G ezilme katsayılarını bulmak için; crash-test datalarından yararlanırlar. NHTSA ve FHWA gibi kaza testleri yapan kuruluşlardan aynı taşıt için teminedilen çarpışma-test dataları, mevcut kazaya uyarlanır. Fakat bu kaza analizi ancak ilk tahmin (first-approximation) prosesi olarak tanımlanmalıdır. Çünkü benzer taşıtların çarpışma test sonuçlarından alınan ezilme değerleri eksperti yanlış yönlendirmekte, mühendislik uygulama ve prensiblerine uymamaktadır. Bunun sebebi ise tek bir çarpışma testi sonucu sağlanan data, kaza analizinin geçerliliği ve güvenilirliği bakımından yeterli değildir. Bilimsel bakımdan en az mutlak üç data noktası gereklidir. Çarpışma testlerinin güvenilirliği ile ilgili olan problem ise; önceden hasar görmüş taşıt (pre-damaged) ile hasarsız (fresh) taşıtın arasındaki ezilme karakteristiklerinin farklı olmasıdır. Bu nedenle hasarı temel alan (damage-based only) kaza analizi tekniği, kaza oluşumu bakımından kabaca ön bir bilgi vermekten öteye gidemez.

Yörüngeyi temel alan (trajectory-based) kaza tekniğini ise şöyledir: Kaza sonrası taşıtlar ayrıldıktan sonra, son durma pozisyonlarına hareket ederler. Bu arada yol ile lastikler arasında direnç kuvvetleri oluşur. İkinci kontak ise yol üzerindeki engeller ve kaza mahalinin özellikleri arasında olur. Bazen bu engeller ve kaza mahalinin durumu kinetik enerji kaybına ve taşıtın kendi eksenini etrafında dönen (spinout) bir yörünge izlemesine neden olurlar. Taşıtların çarpışma öncesi sahip oldukları toplam enerjinin, çarpışma sonrası belli bir enerji kaybı ile taşıtlara dağılması kaza analizine ilk hazırlık aşamasını oluşturur.

Newtonun 2. ve 3. kanunlarına göre izole edilmiş sistemin kütlelerinin toplam momentumu sabit kalır. Momentumun korunumu prensibi, iki taşıtın çarpışma hızlarının bulunmasında teorik bilgi sağlar. Momentumun korunumu prensibi dışarıdan herhangi bir etkinin olmadığı kazalarda çarpışma anındaki ve çarpışma sonrası sistemin toplam momentumunu belirler. Bu nedenle, eğer çarpışmaya katılan her iki taşıtın çarpışma noktasından tamamen duruncaya kadar olan hızları ve hareket yönleri ayrı ayrı

belirlenirse ayrılmış sistemin momentumu hesaplanabilir. Daha sonra yönü ve büyüklüğü bilinen sistem momentumundan gidilerek, çarpışma öncesi ve çarpışma anındaki hızların yönü ve büyüklüğü bulunabilir. Çarpışma süresince oluşan harici kuvvetlerin büyüklüğü (lastikler ve yolda sürüklenen taşıtın komponentlerinin oluşturduğu kuvvetler) çarpışmayı meydana getiren kuvvetlerin büyüklüğü ile karşılaştırılınca önemsiz kalır. Fakat iyi bir kaza analizinde harici kuvvetler tamamen ihmal edilmemelidir.

Bu nedenle yörünge temelli (trajectory-based) kaza analizi tekniği, taşıtların ayrılma momentumlarından hareket ederek her taşıtın çarpışma öncesi hızlarını bulmak için kullanılır. Ayrıca bu prosedür yardımı ile taşıtların çarpışma hızlarının belirlenmesi çarpışma anındaki hız değişiminide (delta-v) verir.

Özetle, kaza analizi tekniğinde mutlaka hem taşıtta meydana gelen hasardan, hem de kaza mahalinden elde edilen kanıtlardan yararlanılmalıdır. Kaza analizi için izlenmesi gereken prosedür; ilk önce kanıtların kaza mahalinden, polis raporlarından ve fotoğraflardan toplanması, daha sonra taşıt hareketleri belirlenerek Newton kanunlarına uygun formlara sokulmalı ve daha sonra toplanmış olan kanıtlar gözönünde bulundurularak kaza analizi tekniği seçilmelidir.

4.2 Kaza Analizinde Kullanılan Ön Araştırma Tekniği ve Taşıt Hızı Tespiti

A. Kaza analizi için gerekli olan ön araştırma

1. Kazaya karışmış olan taşıtların yol üzerindeki pozisyon ve yönleri.
2. Taşıttaki veya çarpılan objedeki hasar, yolcu veya yayadaki yaralanma.
3. Yol üzerindeki kayma veya kazıma izleri ve kimi temsil ettikleri.
4. Kaza yapan taşıtların veya çarpılan yayanın son pozisyonu.

B. Ön araştırma yapılmasının nedeni:

Kazaya ilişkin toplanan işletme ve dinamik faktörler tatmin edici kaza analizine ulaşmak için gereklidir. Bu faktörler hız, pozisyonlar ve taşıtların kazayı önlemek için yaptıkları hareketlerdir.

C. Ön analiz için kullanılan metodlar:

1. Kazanın sonuçlarından hareket ederek fizik hareketlerine bağlı kaza analizi.

Bu metod genellikle hiçbir görgü tanığının olmadığı durumlarda kullanılır.

Üç aşamadan oluşur.

- Taşıtların birbirleri ile ilgili olan pozisyonlarını belirlemek.
- Taşıtların karayolu üzerindeki konumlarını belirlemek.
- Çarpışma öncesi ve hız ve pozisyon tahmini.

2. Kaza durumunu ve koşullarını önceden tahmin ederek kaza anındaki taşıt hareketlerinin bu koşullara uygunluğunu denetlemek. Görgü tanıklarının bulunduğu kazalarda uygulanır. Eğer her iki görgü tanıklarının ifadelerinin farklı olduğu durumlarda; görgü tanıklarının ifadelerine göre kaza koşulları kabul edilir ve bu durum bilimsel hesaplamalar ile denetlenir.

D. Kaza analizi için gerekli olan data:

1. Taşıttın ağırlığı, yolcuların ağırlıkları, bagaj, yakıt ve diğer yüklerin ağırlıkları.
2. Kaza mahali özellikle, (a) yol kaplamasının çeşidi, durumu, yolun eğimi (b) banket, refüj, eğim, yol üzerindeki engeller, görüş mesafesi.
3. Hava koşulları, (a) sıcaklık, yağmur, kar, buz, ıslak, kuru zemin (b) zaman, gündüz, karanlık, aç ve güneşin yönü.
4. Yol üzerindeki iz ve kazımlar, yola dökülmüş sıvılar.
5. Taşıttaki hasar; (a) metal tabaka üzerindeki deformasyon ölçümü ve gözlenmesi (b) deformasyonun şekli (c) transer olan boya. Ayrıca sürücü kabini içerisinden alınan kan, saç, kıl veya yağlı kontak yüzeyleri.
6. Yolculardaki yaralanmalar; vücudun nerelerinde meydana geldiği ve şiddeti.

4.2.1 TAŞIT HIZININ TESPİTİ:

Trafik kazalarında taşıt hızının tespit edilmesi önemlidir. Bunun sebebi;

- a) Karayolları üzerindeki hız limitleri kanunlarla belirlenmiştir.
- b) Taşıtta hasarın meydana gelmesinde ve yolcuların yaralanmasında fiziksel rol oynar.
- c) Taşıttın hareket ve manevrasına etki eder.

d) Kazaların oluşumunda, sürücünün görüş, algılama ve reaksiyon süresine etkisi vardır.

Kaza ekspertlerinin taşıt hızını belirlemesi için bir çok metod bulunur. Bu metodlarda değişik matematik fomülleri kullanılır. İlk bakışta üstü kapalı ifadeler gibi gelen bu formüller aslında basit cebir ve geometri işlemlerine dayanır. En büyük zorluk ise kazanın sebebini oluşturan fiziksel durumu belirleyerek, bu duruma uygun fizik denklemini seçmektir.

Taşıt hızının tespitinde şu analizlerden yararlanılır:

1. Momentum/Enerji Analizi
2. Hasar/Enerji Analizi
3. Merkezkaç kuvveti Analizi
4. * Launch, Fall veya Vault Analizi

4.2.1.1 Momentum/Enerji Analizi

Liner momentum taşıt ağırlığının, belirli bir yöndeki taşıt hızı ile çarpımına eşittir. Momentum analizindeki ilk varsayım; kazayı takip eden liner momentum, kaza öncesi liner momentum ile aynıdır. Herhangi bir taşıt tarafından kaybedilen momentum, diğer taşıt tarafından kazanılır. Bu prensibin uygulaması bilardo oynunda gözlenebilir. İki boyutlu momentum analizinde, her iki taşıtın kaza öncesi bir ağırlığı, hızı ve yönü bulunur, kaza sonrası yine her iki taşıt bir ağırlığa, hıza ve yöne sahiptir. Dolayısı ile toplam 12 adet numerik değişken vardır. Bu analiz sonucu 12 değişken içerisinde sadece 2 tanesi

bulunabilir. Diğer geri kalan 10 değişken bulunmalı veya tahmin edilmelidir.

Tipik liner momentum/enerji analizi şu safhalardan oluşur:

1. Kaza eksperti taşıt ağırlıklarını tespit etmelidir. Çoğu kez kaza öncesi ve sonrası taşıt ağırlıkları sabit kalır.
2. Çarpışma noktası ve taşıtların son konumları bulunmalıdır.

* Launch: Taşıtın yerden (yoldan) gelen desteği kaybetmesidir.

* Fall: Taşıtın fırlama hareketinden sonra yere geri dönmesidir. 'Fall' aşağı, aynı seviyede veya yukarı doğru olabilir.

3. Çarpışma sonrası taşıtların yönü lastik izleri gibi fiziksel kanıtlardan tespit edilmelidir.
4. Çarpışma sonrası taşıtların yavaşlayarak durmalarına kadar olan bölüm incelenmelidir. Çarpışma sonrası incelemede frenleme, aksenel dönme, kaza mahali, taşıtların önüne çıkan engellerden yararlanılır. Bu bölüm analizin enerji dağılımının tespit edildiği bölümdür.
5. Bu noktada, eğer taşıtların çarpışma öncesi yönleri biliniyorsa momentum denklemleri uygulanarak her iki taşıtın hızı bulunabilir. Alternatif olarak, eğer herhangi bir taşıtın çarpışma hızı biliniyorsa, diğer taşıtın çarpışma hızı bulunabilir.
6. Diğer bir enerji analizi safhası ise fren veya kayma izi uzunluklarının göz önüne alındığı çarpışma öncesi yavaşlama bölümüdür.

Momentum analizinin kullanımının sınırlı olduğu veya uygulanamadığı durumlar:

- a) Tam önden (head-on) veya tam arkadan (rear-end) yapılan kazalarda, (bu durumda analiz tek boyuta indirgenerek, sadece bilinmeyen hız veya yön için momentum analizi yapılır.
- b) Bariyer, refüj, elektrik direği gibi sabit nesnelere veya çok ağır objelerle olan kazalarda,
- c) Yavaşlama değişkenlerinin kesin olarak belirlenemediği kazalarda,

Çok sık olmasada açısız momentumun korunduğu kazalarda olabilir. Bu durumda herhangi bir taşıt tarafından kaybedilen momentum, diğeri tarafından kazanılacaktır. Açısız momentum prensibi bilardo oyununda gözlenebilir. Bilardo da topa belli açı ile vurularak spin (kendi ekseni etrafında dönme) kazandırılabilir. Dolayısıyla açısız momentuma sahip bu bilardo topu bir başka topa çarptığında sahip olduğu spin hareketinin bir miktarını diğeri topa aktarır. Ayrıca açısız momentum, liner momentuma göre kaza analizinde uygulaması daha zordur. Bunun iki sebebi vardır. Birincisi, Liner momentumun uygulaması için taşıtın ağırlığı, gerekli iken, açısız momentum için açısız ataletin bilinmesi gerekir. Açısız momentumun bulunması ise, taşıt ağırlığının bulunmasına göre çok daha zordur. İkincisi, açısız yavaşlamanın

dikkatle incelenmesi gerekir. Açısal yavaşlamaya neden olan parametrelerin bulunması uzun hesaplama gerektirir.

4.2.1.2 Hasar/Enerji Analizi

Taşıt hızının, kaza sonucu taşıttaki hasardan belirlenmesi yöntemi çok eleştirilmektedir. Oysaki, eğer hasar analizi doğru bir şekilde yapılacak olursa, buradan elde edilen bilgiler tüm kaza analizine yönelik oldukça değerli ipuçları sağlayacaktır. Kısaca hasar analiz yöntemi; kazada hasara yol açan kuvvetlerin meydana getirdiği hasar profillerinin, daha önce kontrollü testler (crash-test) sonucu elde edilen hasar profilleri ile karşılaştırılmasıdır. Bu tür kaza analizinde üç türlü zorluk vardır:

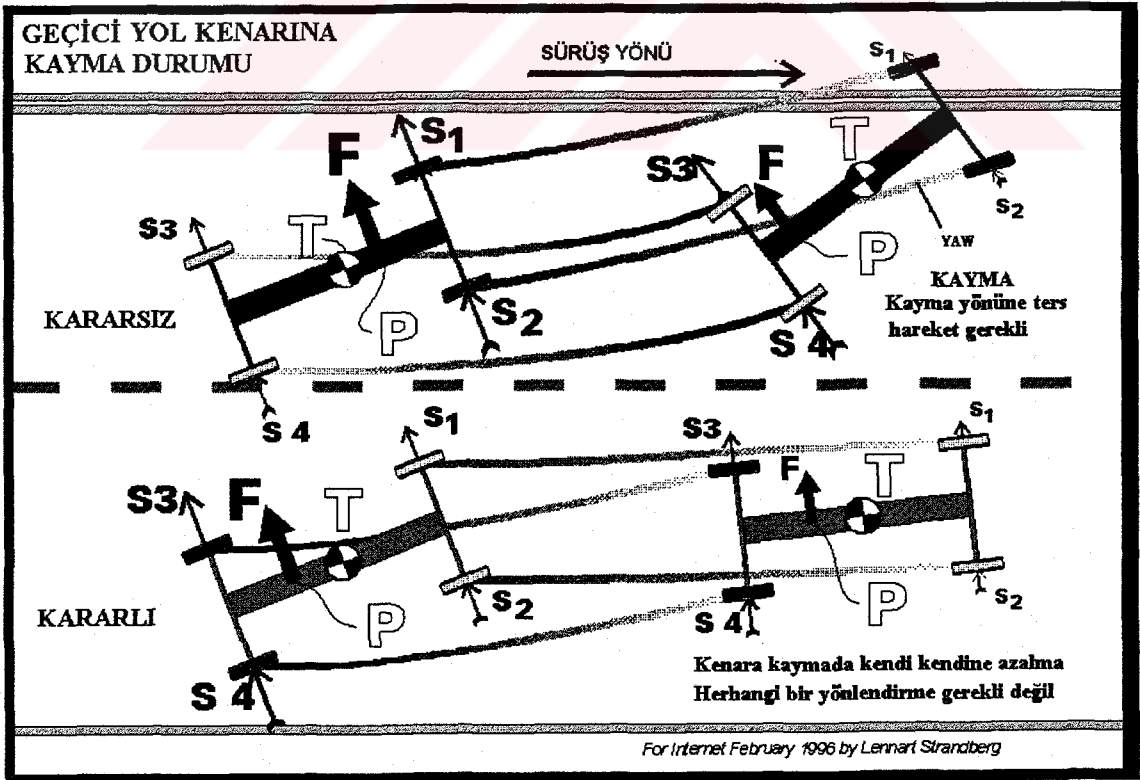
- a) Crash-test lerde tuğla duvarlar kullanılır. Bu nedenle taşıtta düzgün, ölçülmesi kolay hasar profili oluşur. Oysaki gerçek kazalarda oluşan hasar profillerini ölçmek oldukça zordur.
- b) Crash-test lerin büyük bir çoğunluğu ortalama 25-30 km/h hızla taşıttın önden duvara çarptırılması ile yapılmaktadır. Oysaki gerçek kazalar değişik açı ve hız aralığından gerçekleşmektedir. Bu nedenle crash-test lerden elde edilen datalar tam olarak uygulanamamakta ve genellikle kaza durumuna çeşitli ampirik yöntemlerle uydurulmaktadır.
- c) Gerçek kazalarda, genellikle kazaya katılan diğer bir taşıt vardır. Fakat crash-testlerden alınan değerlerde kazada tek bir taşıttın bulunması durumu için geçerlidir.

Hasar analizi büyük ağaç, köprü ayağı, bariyer, refüj gibi taşıttın sabit objelere çarpması durumunda uygulanır. Ayrıca otomobil ve büyük kamyonlar arasındaki kazaların analizine yardımcı olur.

Hasar analizinde taşıttaki hız ve yön değişimi incelenir. Çarpışma sonrası ve öncesi hızlar ayrı ayrı hesaplanmalıdır. Genellikle hesaplamada momentum analizindeki gibi enerji denklemleri kullanılır.

4.2.1.3 Merkezkaç kuvveti analizi:

Merkezkaç kuvveti taşıtın düz bir yol izlemediği durumlarda oluşur. Bu nedele, bu analiz genellikle taşıtın virajı alırken veya zor bir durumdan kaçmak için yaptığı ani manevralarda oluşur. Viraj boyunca, taşıt hızı arttıkça veya viraj yarıçapı azaldıkça taşıt üzerindeki merkezkaç kuvveti artar. Bu analiz en çok kamyonların ters dönmesi veya yol dışına çıkarken bıraktıkları lastik izlerinden (yaw marks) taşıt hızının bulunmasında kullanılır. Viraj ve taşıt göz önüne alınarak virajda yapılabilecek maksimum hızın bulunması önemlidir. Taşıtın kontrolden çıkmasına veya ters dönmesine yol açabilen taşıtın yönlendirme sistemi, frenleme ve süspansiyon komponentleri hatırlanması gereken diğer noktalar. Ani direksiyon hareketi taşıtın dönüş yarıçapını küçültür. Ayrıca taşıt devrilmesinin başlangıcı olan ağırlık yer değişimini (weight shift) oluşturur. Virajdaki frenleme hızı azaltırken taşıtın yol dışına çıkmasına neden olur. Ayrıca virajda frenlemenin olduğu durumlarda yol üzerindeki izin hangi duruma ait olduğunun belirlenmesi gerekir. Eğri (curve) şeklindeki izler taşıtın dönme hareketinden, yoldan çıkma izleri (yaw marks) taşıtın yatay yndeki hareketinden kaynaklanır. Şekil 4.2.1 'de taşıtın yol dışına kayma durumları gösterilmiştir.



Şekil 4.2.1: Taşıtın yol dışına kayma durumu

4.2.1.4 Taşıtın fırlama (launch), düşme (fall) veya takla atma (vault) hareketlerinin analizi:

Analizi en kolay yapılan kaza durumlarıdır. Bu tür kaza durumları için hazır denklemler vardır. Bu denklemlerele yapılan kaza analizleri gerçeğe oldukça yakın sonuç verirler. Fakat bu tür kazaların tüm kazalar içerisindeki yüzdesi oldukça azdır. Öte yandan bu tür analizler bazı diğer kaza durumlarında da sonuca ulaşmakta oldukça faydalıdır. Bunlar; a) Yayaya çarpma b) motorsiklet / sürücüsünün kaza sonucu ayrımı. c) Toprak yığının üstünden uçan taşıt d) Hendek veya çok dik yokuş üzerinde hareket e) taşıtın devrilmesi. Taşıt yerden kesildiği an, havada hareket eden balistik bir ok olarak incelenir. Taşıt hızının hesaplanabilmesi için bilinmesi gerekenler:

- a) Taşıtın havalandığı ve yere düştüğü nokta arasının ölçülmesi gerekir. Bu mesafe biz taşıtın yatay ekseninde ne kadar hareket ettiğini verir.
- b) Taşıtın havalandığı noktadaki yolun eğimi ve kontak noktaları.
- c) Fırlatma açısı.

Denklemlere etki eden bir çok etken gözardı edilir veya kabul edilir. Denklemlerde havanın ve rüzgarın direnci gözardı edilir. Taşıt hızı çok fazla olmadığı sürece yapılan bu gözardının bir sakıncası yoktur. Kaza analizine etki eden en önemli iki faktör taşıtın fırlatma açısı ve yatay ekseninde aldığı mesafedir. Taşıtın bariyerlere veya refüje çarparak fırlaması durumlarında fırlama açısını tespit etmek oldukça zordur. Taşıtın eksene dönüş ve süspansiyon hareketlerinin de havalanma ve yere çarpma noktası arasındaki mesafeye etkisi vardır.

4.3 Özel bir kaza analizi: Kaza sonrası yapılan inceleme sonucu taşıtların kaza anında farlarının açık olup, olmadığını belirlemek.

Gece meydana gelen bir çok kaza sonrası taraflar birbirlerini kaza anında farlarını yakmamak ile suçlamaktadır. Taşıt farlarının açık olmaması nedeniyle karşıdan gelen taşıt veya yaya habersiz yakalanmakta ve kaza kaçınılmaz olmaktadır.

Kazanın hemen sonrası yapılacak araştırma ile bu durumu belirlemek mümkündür. Fakat bazı sınırlamalar mevcuttur. Bunlardan en önemlisi ise; kaza sonrası taşıt

hemen incelenmelidir. Taşıt onarıldığı takdirde kanıtlar yok olacaktır. İncelenmesi gereken farlar uygun bir şekilde taşıttan alınmalı, taşıtın gerekli fotoğrafları çekilmeli ve gerekli testler tamamlanmalıdır.

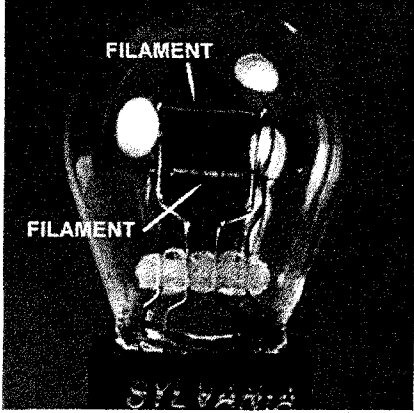
Diğer önemli bir konu; Kaza sonrası taşıt farlarının incelenmesi sırasında hiç bir şekilde, çarpışma sırasında taşıt farlarının açık olup olmadığını anlamak maksadı ile farların yakılmasına teşebbüs edilmemelidir. Bu hareket aradığımız kanıtı yok edecektir.

Arkadan çarpma sonucu yapılan kazalar çok rastlanan durumdur. Park durumunda, durmuş veya geri geri gelen taşıtlara çarparak meydana gelen kazalarda önemli olan soru çarpılan taşıtın ikaz lambalarını (dörtlüler) yakıp yakmadığıdır. Çarpılan taşıtın arka farlarının incelenmesi bu durma açıklık getirebilir.

Eski model taşıtlarda farlar halojen olarak adlandırılıyordu. Taşıtta iki kısımdan oluşurlar. Ön kısımda bulunan plastik lens lambadan gelen ışığı yola odaklar. Halojen lamba ise lensin arkasında yer alır.

Lamba genellikle herhangi bir alet olmaksızın bulunduğu yuvadan dikkatli bir şekilde elle sökülebilir. Halojen lambanın içerisinde iç basınç altında yanıcı olmayan gaz ve halojen bulunur. Lamba yakıldığı zaman çok sıcak olur. Parmak uçlarından gelen yağ tabakası dahi cam yüzeyin aşırı ısınmasına ve patlamasına neden olur.

Taşıtın arka tarafında daha çok akkorlu ampuller kullanılır. Bunlar evlerimizde kullandığımız ampuller ile aynıdır. Filamanlar çok set metal olan tungsten den yapılmış olup ampul içerisinde yerleştirilmiş iki ayağın arasına gerilmişlerdir. Çoğu ampulde filamanlar düz ve zaman zamanda yay şeklindedir. Şekil 4.3.1 'de çift filamenli lamba görülmektedir.



Şekil 4.3.1: İki filamanlı lamba.

Lambalarda bir veya iki filaman olabilir. İki filamanlı ampullerde; filamanlardan küçük olanı taşıyan arka ışıkları ve daha büyük olanları stop lambaları, dönüş sinyali için kullanılır.

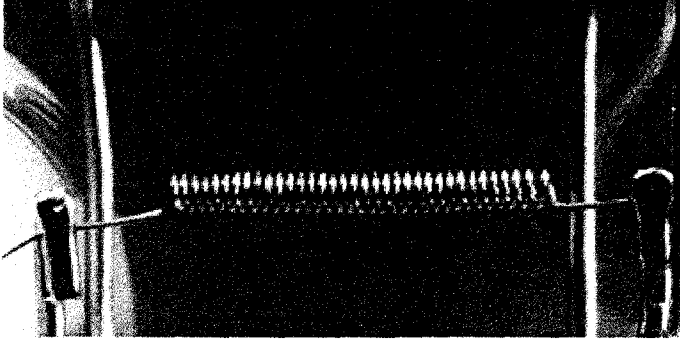
Akkorlu lambaların incelenme prensibi oldukça kolaydır. Lamba aktif hale getirildiğinde filaman elektrik akımını taşır. Filaman üzerindeki elektrik akımı şiddeti telin boyutlarına göre tel sıcaklığını akkor haline (4000 F°) getirmek için yeterlidir. Sıcak hale gelen filaman daha sonra ışık üretir. Benzer durum aşırı yüklenmiş uzatma kablosunda görülebilir. Aşırı yüklenmiş uzatma kablosu çok ısınır ve izolasyon tabakası eriyerek yanar.

Normal koşul sıcaklıklarında, tungsten havadaki oksijen ile reaksiyona girmez, fakat akkor sıcaklığında ve ahava ile temas ettiğinde hızlı bir şekilde oksitlenir. Standart lambalarda oksitlenmeye karşı içerideki hava alınmış yerinde basınçlı nitrojen gazı doldurulmuştur. Filaman akkor sıcaklığına ulaştığında nitrojen gazı oksidasyonu önler ve ışığın devamlılığını sağlar.

Halojen lambaların aksine, standart lambalarda iç basınç dış havadan biraz azdır, vakum bulunur.

Lambadaki anormallikleri belirlemek için önce normal lambayı tanımalıyız. Normalde, çalışan lamba çarpma sırasında açık olup olmadığına ilişkin bir fikir vermez. Ampul camına el değmemiş, filaman parlak sabit görünüşe sahiptir. Kararmamış, parlak cam yüzeye ve korrozyona uğramamış soketi bulunur.

Şekil 4.3.2 'deki fotoğrafta fren ve dönüş sinyalleri için kullanılan filaman görülmektedir. Şekildeki filaman normal olup, herhangi bir kazaya karışmamıştır.



Şekil 4.3.2: Sağlam durumdaki filaman.

Normal koşullarda yanmış her lamba kaza ile ilgili bağlantılı değildir. Parlak filaman ortadan ikiye bölünmüş, filamanın yuvaları erimiş ve camı kararmış olabilir.

Normal olarak lambanın yanması, akkorun buharlaşması sonucu tungstenin filaman ayrılması sonucu olur. Bu durum filamanı belli noktalardan zayıflatan ve incelten karıncalanmalara yol açar. Kopan ince tungsten parçacıkları çok yüksek elektrik direncine sahiptirler ve filamanı aşırı ısıtırlar. Sonuçta filaman üzerinden kaybolan malzemeler, bu noktaların aşırı ısınarak zayıflamasına yol açarlar.

Filaman üzerindeki tungstenin eridiği noktalardaki sıcaklık 6100 F° ye ulaşır ve filaman bu noktalardan ayrılmaya başlar. Yay formunda ayrılmaya başlayan filaman boşluğa doğru hareket eder ve lamba ani parlamalar yapmaya başlar. Filaman yeterince boşluk oluşturduğunda elektrik akımı durur. Lamba yanar.

Halojen lambalar ise biraz farklı hareket ederler. Bu tür lambalar akkor lambalara göre çok daha yüksek sıcaklıklarda çalıştıklarından, çok daha yüksek sıcaklık üretirler. Tungstenin filaman üzerinden buharlaşması akkorlu lambalarda olduğu gibidir. Lamba içerisindeki halojen gazının etkisi ile buharlaşmış olan tungsten parçacıkları lambanın sıcak bölümünden soğuk bölümüne doğru hareket ederek filamanın soğuk kısmına yapışır. Zaman geçtikçe halojen lambanın filamını üzerinde zayıf noktalar oluşur ve lamba yanar.

Çarpışmanın filaman tel üzerindeki etkisi, filamanın akkor, sıcak,soğuk, kapalı veya açık olmasına göre değişir. İşte bu nokta bize lambanın çarpışma anında kapalı veya açık olması hakkında fikir verir.

İlk olarak, eğer cam yüzey çarpışma esnasında kırılırsa filaman havaya mahruz kalır. Bu durumun soğuk filaman üzerinde hiçbir etkisi yoktur. Sıcak filaman ise hemen

kararır ve oksitlenir. İkincisi; çarpışma kuvvetleri soğuk haldeki gevrek filamanda çatlamlar meydana getirebilir fakat akkor halindeki yumuşak filamanın boyunda uzamalara yol açar.

Dönüş sinyali filamanı üzerindeki elektrik akımının kesilmesinden sonra, 1.5 sn içerisinde dahi filaman akkor halindedir (en az 1250 F°) ve bu süre hava ile reaksiyona girerek oksidasyona uğraması için yeterlidir.

Sıcak filaman hava ile karşılaşınca, oksitlenerek beyaz duman olarak ortaya çıkar. Kaza sonrası cam yüzeyin kırılmasından sonra filaman tamamen gitse bile, oluşan beyaz toz burada kalır. Bu durum, kaza öncesi akkor filamanın bulunduğu yani; taşıt lambalarının açık olduğunun kanıtıdır. Oksidasyon sonucu oluşan beyaz duman ampul camı, gövde, destekler veya komşu filaman üzerinde bulunabilir.

Kaza sonucu filamanın yanması durumu, uzun süre çalışmış (kaza nedeniyle olmayan) ömrünü doldurmuş filamanların yanması ile aynıdır. Tek fark ömrünü dolduran filamanların yanmalarında beyaz duman görülmez.

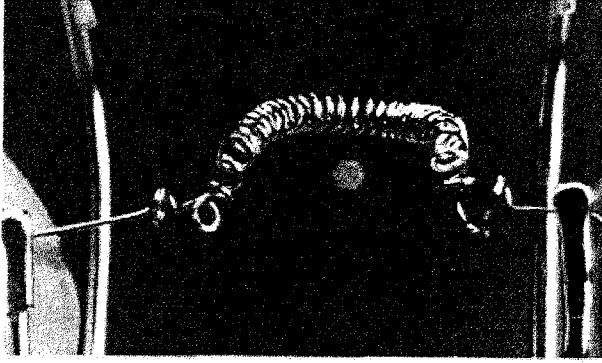
Kaza sonucu, sıcak olan yumuşak filaman uzar veya birbirine dolaşır. Bu deformasyon, sıcak şok etkisi olarak adlandırılır. Sıcak şok etkisinin oluşabilmesi için lambanın sıcak olması ve ampul camına kaza boyunca hiçbir şey olması gerekir.

İki filamanlı lambalarda eğer biri akkor halinde ise en sıcak olan filaman diğerine göre daha fazla deforme olacaktır. Eğer her iki filaman aşşağı yukarı aynı deformasyona uğramışlarsa, her iki filamanın akkor halinde olması mümkündür. Bazı durumlarda filamanlardan birinden gelen sıcaklık diğerini etkiler. Soğuk filaman ikinci filamanda orta şiddetli deformasyona, ikinci filamanda ise daha fazla deformasyona yol açar.

Sıcak şokun olmaması kaza esnasında lambanın kapalı olduğu manasına gelmez. Çarpma etkisi filamanı yeterince büyüklüğe sahip olmayabilir. Sıcak filaman üzerinde sıcak şok etkisi yaratmak için gerekli olan kuvvet, soğuk filamanı kırmak için gerekli olan kuvvetten oldukça fazladır.

Kaza sonucu filamanın ne kadar etkileneceği dört faktöre bağlıdır: 1) Çarpma şiddeti, 2) filamanın yaşı 3) filaman boyutları 4) filamanın sıcaklığı. Lambaya gelen çarpma şiddetinin büyüklüğü yalnızca çarpan taşıtın hızına değil, lambanın direk çarpma alanına yakınlığına da bağlıdır.

Şekil 4.3.3 'de kaza sonrası filamanın aldığı şekil görülmektedir. Şekil 4.3.2 'deki normal filamanla karşılaştırılacak olursa filamanda meydana gelen deformasyon açıkça görülebilir.



Şekil 4.3.3 : Kaza sonrası deforme olmuş filaman.

Erimiş cam parçaları, ampul camının kırıldığı anda filamanın akkor halinde olduğunun kanıtıdır. Çarpma etkisi ile kırılan camdan fırlayan parçalar filamana yapışarak filamanın sıcaklığı ile erirler.

Cam parçaları daha çok büyük filamanlara yapışırlar. Filamanın yan kenarlarına yapışmış olan cam parçaları veya toz halindeki cam, büyüteç altında görülebilir.

Kırılmış (fractured) filaman kesinlikle, filamanın soğuk durumda koptuğunun kanıtıdır. Soğuk kırılmış lamba çarpışma anından filamanın akkor halinde bulunduğunu kanıtlamaz. Çünkü bu durumda iki hal söz konusu olabilir; 1) çarpışma öncesi farlar kapalıdır veya 2) çarpışma öncesi lambalar yanmış (fonksiyon dışı) olabilir.

Soğuk kırılmanın olmaması filamanın soğuk (devre dışı) olduğu anlamına gelmez. a) Kaza sonrası lambada kırılmaya yol açacak kadar kuvvet oluşmamış olabilir. b) Ayrıca soğuk kırılma (fractured), çarpışma sonrası ampul camının kırılması ve filamanın hava ile teması sonucunda olabilir. Bu gibi durumlarda, diğer kanıtlar üzerinde çalışmak gerekir. Örneğin; Lambanın kapalı veya açık olduğu durumdaki oksidasyon. Lambaya soğuk kırılmaya yol açacak kadar kuvvetin uygulanması filamanda orta şiddetli deformasyonun görüldüğünün kanıtıdır. Eğer filaman üç parçaya ayrılacak olursa ve cam kırılmamış halde ise parçalardan biri ampul duyununda bulunma ihtimali yüksektir.

Genel olarak sıcak filamanda deformasyon meydana getirebilmek için yerçekim ivmesinin 400-900 katı kadar ivme meydana getirebilecek kuvvet uygulanmalıdır. Kaza sırasında küçük kontak yüzeylerine gelen büyük ivme kuvvetlerinin taşıt lambalarında mutlaka deformasyon meydana getirmesi şart değildir. Aynı şekilde düşük hızlarda meydana gelen çarpışmalarda, hasar yüzeyi taşıt lambalarına yakın ise lambalarda deformasyon olabilir.

Kaza sonrası taşıt lambaları tek tek sökülerek incelenmeli ve pozisyonları kaydedilmelidir. Lambaların kırılma olmaları veya çıkarmak için yapılacak olan aşırı zorlanmaların sıkışmaya yol açacakları göz önüne alınmalıdır. Bu nedenle bazı durumlarda lambalara zarar vermemek için tüm far çıkartılmalıdır.



4.4 Değişik kaza durumlarına göre kaza analizi:

1. Taşıtın düz yol üzerinde bırakmış olduğu fren izinden, hızının tespiti.

Konu İle İlgili Denklemler:

$$V = \sqrt{254(D \times f)} \quad (4.1)$$

V = Hız (km/h)

D = Fren izi mesafesi (m)

f = Sürtünme katsayısı

* Denklemin çıkartılışı Ekler bölümünde verilmiştir.

Örnek : Taşıt düz yolda kayar ve hiç bir yere çarpmadan durur (Şekil 4.4.1). Yolun sürtünme katsayısı 0.5 olarak belirlenmiştir (ıslak beton yol). Ortalama olarak kayma izi uzunluğu 12 m dir. Taşıtın ilk hızını bulunuz.

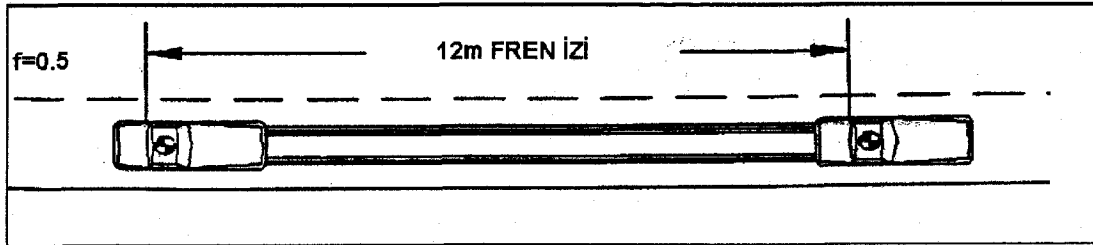
Bilinenler:

Kayma izi uzunluğu 12 m

Sürtünme katsayısı.....0.5

Taşıtın Hızı

$$V = \sqrt{254(12 \times 0.5)} = 39 \text{ km / h}$$



Şekil 4.4.1: Düz yolda taşıt 12m fren izi bırakmıştır.

* Ek-1 'e bakınız.

2. İki farklı yüzey üzerindeki fren izinden taşıt hızının hesaplanması.

Konu İle İlgili Denklemler:

$$V = \sqrt{254[(D_1 f_1) + (D_2 f_2)]} \quad (4.2)$$

V = Taşıtın Hızı (km/h)

D₁ = 1. Yüzey üzerindeki fren izi (m)

D₂ = 2. Yüzey üzerindeki fren izi (m)

f₁ = 1. Yüzeyin sürtünme katsayısı

f₂ = 2. Yüzeyin sürtünme katsayısı

Not: Her iki yüzey üzerindeki taşıt hızının ayrı ayrı hesaplanamaması nedeniyle, gerçek hızın tahmini çok zor hale gelir. Bu nedenle, her iki yüzeyide hesaba katan komple bir formül kullanılır. Birleştirilmiş hız formülünde her iki yüzey için genel prensib aynıdır, sadece fren enerjisi her iki yüzey için ayrı ayrı hesaplanarak formüle eklenirler.

Örnek: Taşıt ani bir fren yaparak belli süre normal yolda kaydktan sonra yoldan çıkmıştır. Bu sırada normal yolda almış olduğu mesafe 23m dir. Yol kuru beton olup sürtünme katsayısı 0.7 dir. Şekil 4.4.2 de gösterildiği gibi, yoldan çıkan taşıt çakıl yol üzerinde de kaymaya devam etmiş ve bu yol üzerinde 46m mesafe kat ettikten sonra durmuştur (çakıl yolun sürtünme katsayısı 0.4). Bileşke hızı hesaplayınız.

Bilinenler:

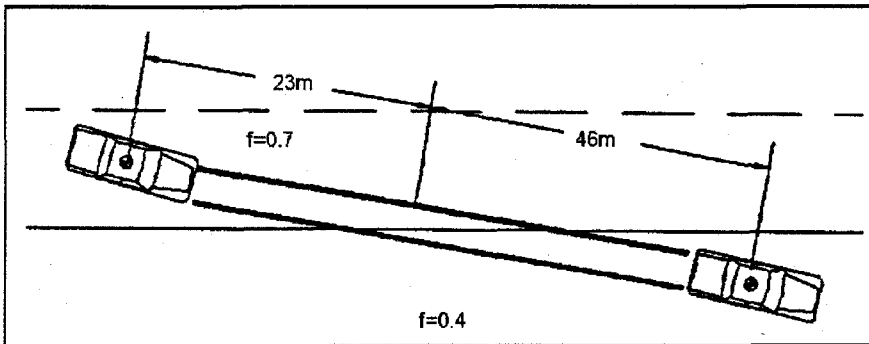
Bileşke Hız

Beton yolda almış olduğu mesafe... 23 m $V = \sqrt{254[(23 \times 0.7) + (46 \times 0.4)]} = 94 \text{ km / h}$

Çakıl yolda almış olduğu mesafe.... 46 m

Beton yolun sürtünme katsayısı 0.7

Çakıl yolun sürtünme katsayısı..... 0.4



Şekil 4.4.2: İki farklı yüzey üzerinde kayan taşıt.

3. Düz yol da başlayıp, yokuş yukarı eğimli yolda devam eden fren izinden taşıtın hızının hesaplanması.

Konu İle İlgili Denklemler:

$$V = \sqrt{254[D_1 f_1 + D_2(f_2 + p)]} \quad (4.3)$$

V = Taşıtın hızı km/h

D₁ = 1. Yüzey üzerinde taşıtın almış olduğu mesafe (m)

D₂ = 2. Yüzey üzerinde taşıtın almış olduğu mesafe (m)

f₁ = 1. Yüzeyin yol/tekerlek arası sürtünme katsayısı

f₂ = 2. Yüzeyin yol/tekerlek arası sürtünme katsayısı

p = Yokuşun eğimi (Yokuş yukarı pozitif, yokuş aşağı negatiftir).

Örnek : Taşıt aniden fren yapar ve ancak 39 m sonra tamamen durur. 39 m' nin 18 m' sini düz yol üzerinde 21 m'sini ise yokuş yukarı yol üzerinde almıştır. Şekil 4.4.3 de gösterildiği gibi, yokuş yukarı yol %4 eğimlidir. Düz yolda sürtünme katsayısı 0.65 ve yokuş yukarı yolda sürtünme katsayısı 0.75 olarak bilinmektedir. Taşıtın gerçek hızını hesaplayınız.

Bilinenler:

Taşıtın 1. Yüzey üzerinde ki fren izi mesafesi 18 m

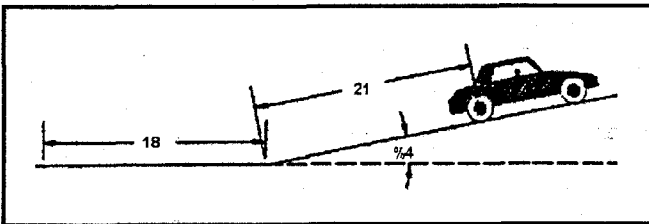
Taşıtın 2. Yüzey üzerinde ki fren izi mesafesi.....21 m

1. yol/tekerlek arası sürtünme katsayısı0.65

2. yol/tekerlek arası sürtünme katsayısı0.75

Taşıt Hızı

$$V = \sqrt{254[(18 \times 0.65) + 21(0.75 + 0.04)]} = 84 \text{ km/h}$$



Şekil 4.4.3: Fren izi düz yolda başlamış, yokuş yukarı eğimli yolda devam etmektedir.

4. Test sürüşü ile yol /tekerlek arası sürtünme katsayısının belirlenmesi.

Herhangi bir özel ekipmana ihtiyaç duyulmaksızın, frenleme öncesi hızı bilinen test taşıtının aynı hava, yol ve tekerlek koşullarında fren izinin ölçülmesi ile yolun sürtünme katsayısı hesaplanır.

Test Prosedürü: Taşıt daha önceden belirlenen bir hıza ulaştırılır (bu hız genellikle 32-48 km/h). Bu hızda maksimum fren uygulanır ve araç kayarak durur. Fren izi ölçülür ve bu mesafe taşıtın tekerlekleri ile yol arasındaki sürtünme katsayısının ölçülmesinde kullanılır.

Konu ile İlgili Denklemler:

$$f = \frac{V^2}{254 \times D} \quad (4.4)$$

V= Taşıtın hızı (km/h)

D= Fren izi uzunluğu (m)

f= Yol ile tekerlek arası sürtünme katsayısı

Örnek : Test taşıtı 32 km/h sabit hızda giderken, tam fren uygulanır ve taşıt yolda kaydıktan sonra durur. Fren izi 6 m olarak ölçülmüştür. Sürtünme katsayısını hesaplayınız. (Şekil 4.4.4)

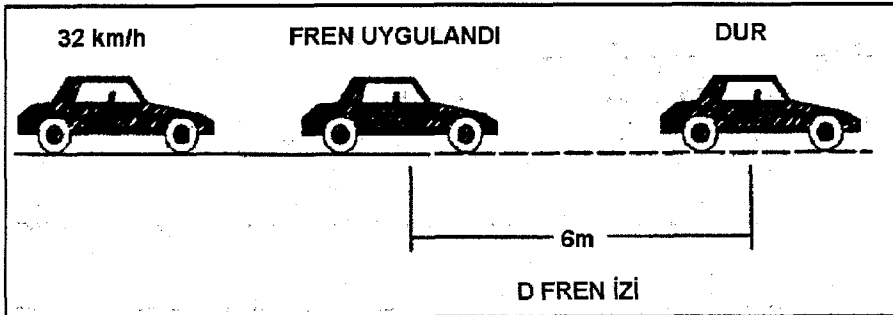
Bilinenler:

Taşıtın hızı 32 km/h

Fren izi mesafesi..... 6 m

Yol ile tekerlek arası sürtünme katsayısı

$$f = \frac{32^2}{(254 \times 6)} = 0.67$$



Şekil 4.4.4: Test sürüşü ile yol/tekerlek arası sürtünme katsayısının bulunması.

5. Test sürüşü (Test-drive) ile kaza yapmış olan taşıtın hızının belirlenmesi

Kaza yapmış bir taşıtın hızının tespiti için benzer koşullar altında, aynı yolda test sürüşü yapılır.

Test Prosedürü: Taşıt daha önceden belirlenen bir hıza ulaştırılır (bu hız genellikle 40-50 km/h). Maksimum fren yapılır ve test taşıtı tarafından bırakılan iz ölçülür.

Konu İle İlgili Denklemler:

$$V_1 = V_2 \sqrt{S_1/S_2} \quad (4.5)$$

V_1 = Kaza yapan taşıtın gerçek hızı (km/h)

V_2 = Test taşıtının hızı (km/h)

S_1 = Kaza yapan taşıtın bıraktığı fren izi (m)

S_2 = Test taşıtının bıraktığı fren izi (m)

Örnek: Kaza yapan taşıtın bıraktığı iz yaklaşık 20 m dir. Test taşıtı aynı koşullarda (hava,yol...) 45 km/h sabit hızda gitmekteyken tam fren uygulanır ve test taşıtı kayarak 15 m sonra durur. Kaza yapan taşıtın hızını bulunuz. (Şekil 4.4.5)

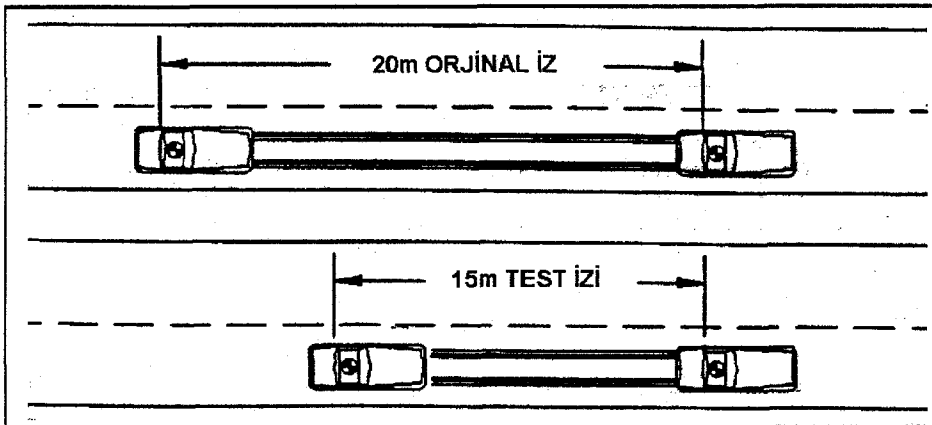
Bilinenler:

Taşıtın Hızı

Test taşıtının hızı..... 45 km/h $V_1 = 45 \times \sqrt{20/15} = 51.96 \text{ km/h}$

Kaza yapan taşıtın fren izi 20 m

Test taşıtının fren izi 15 m



Şekil 4.4.5: Test-sürüşü yapılarak kaza yapan taşıtın hızı hesaplanır.

6. Eğimli yoldaki taşıtın fren izinden hızının hesaplanması.

Eğimli yolda bulunan taşıtın fren izine bakarak gerçek hızını tahmin edebilir. Fren izi eğimden etkilenmektedir (yokuş yukarı hareket izin uzunluğunu azaltılacaktır, yokuş aşağı hareket izin uzunluğunu arttıracaktır).

Konu İle İlgili Denklemler:

$$V = \sqrt{254D(f \pm p)} \quad (4.6)$$

V = Taşıtın Hızı (km/h)

D = Fren izi (m)

f = Yol ile tekerlek arası sürtünme katsayısı

p = Yolun eğimi (%)

Yokuş yukarı yol için formül f+p

Yokuş aşağı yol için formül f-p olmalıdır.

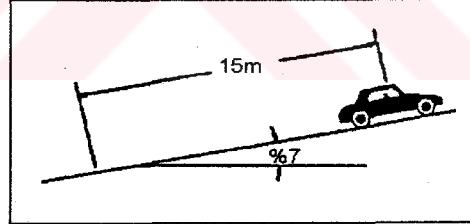
Örnek (Yokuş yukarı) : Sürücü %7 (4 derece) eğimli bir yolda Şekil 4.4.6'da görüldüğü gibi seyir halinde iken, gelebilecek bir tehlikeyi sezinleyerek aniden fren basar ve hiçbir yere çarpmadan durur. Fren izi 15m olarak ölçülmüştür. Yolun sürtünme katsayısı f=0.65 dir. Taşıtın ilk hızını bulunuz.

Bilinenler:

Fren izi uzunluğu..... 15 m

Sürtünme katsayısı..... 0.65

Yolun eğimi 0.07



Şekil 4.4.6: %7 eğimli yolda yokuş yukarı hareket eden taşıt.

Taşıtın Hızı

$$V = \sqrt{254 \times (0.65 + 0.07)} = 52.4 \text{ km/h}$$

Örnek (Yokuş aşağı) : Sürücü %7 (4 derece) eğimli bir yolda Şekil 4.4.7'de görüldüğü gibi seyir halinde iken, gelebilecek bir tehlikeyi sezinleyerek aniden fren basar ve hiçbir yere çarpmadan durur. Fren izi 15m olarak ölçülmüştür. Yolun sürtünme katsayısı f=0.65 dir. Taşıtın ilk hızını bulunuz.

Bilinenler:

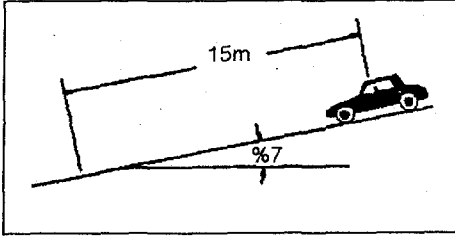
Fren izi uzunluğu..... 15 m

Sürtünme katsayısı..... 0.65

Yolun eğimi 0.07

Taşıt Hızı

$$V = \sqrt{254 \times (0.65 - 0.07)} = 47 \text{ km/h}$$



Şekil 4.4.7: %7 eğimli yolda yokuş aşağı hareket eden taşıt.

7. Frenleme ve durma mesafesi hesabı (Reaksiyon mesafesi ve durma süresi dahil)

Bu konuda minimum fren süresi, mesafe, toplam süre ve durma mesafesi tespitine çalışılacaktır. Bu analiz için taşıtın hızının, yol ile tekerlek arası sürtünme katsayısının ve sürücünün tahmini reaksiyon süresinin bilinmesi gerekir.

Konu İle İlgili Denklemler:

$$t_1 = \frac{V}{(g \times f)} \quad (4.7)$$

$$d_2 = d_1 + vt \quad (4.8)$$

$$d = vt \quad (4.9)$$

V = Hız (m/s)

 d_2 = Toplam durma mesafesi (m) t_1 = Durma süresi (s)

d = Reaksiyon mesafesi (m)

 d_2 = Durma mesafesi (m)

t = Reaksiyon süresi (s)

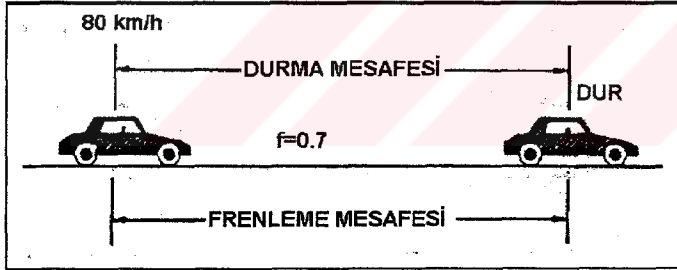
 t_2 = Toplam durma süresi (m)

f = Sürtünme katsayısı

Örnek: Taşıt saatte 80 km/h hızla gitmektedir. Sürücü gelebilecek tehlikeyi görerek frene basar ve hiçbir yere çarpmadan durur. Yol kuru ve hava açıktır ve yol ile tekerlek arası sürtünme katsayısı 0.7'dir. Sürücünün tahmini reaksiyon süresi 0.75 sn dir. (1) Durma süresini (2) Durma mesafesini (3) Reaksiyon süresine bağlı olarak gerçek süre (4) Toplam durma mesafesi ve (5) Reaksiyon mesafesi. (Şekil 4.4.8)

Bilinenler:

Hız 80 km/h	$80 * 0.2778$	.....	22.22 m/s
Sürtünme katsayısı	.....		0.7
Reaksiyon süresi	.....		0.75 sn
(1) Durma süresi	.....	$80 / (35.28 \times 0.7) = 3.24$	sn
(2) Durma mesafesi	.....	$(80)^2 / (254.27 \times 0.7) = 36$	m
(3) Reaksiyon süresine	.....	$3.25 + 0.75 = 4$	sn
(4) Toplam durma mesafesi	.....	$36 + 22.22 \times 0.75 = 52.66$	m
(5) Reaksiyon mesafesi	.....	$22.22 \times 0.75 = 16.65$	m



Şekil 4.4.8: Frenleme ve durma mesafesi hesabı.

8. Taşıtın yavaşlaması sırasında her hangi bir andaki hız ve uzaklık ilişkisi:

Taşıtın yavaşlaması sırasında, taşıt duruncaya kadar her saniyede için uzaklık ve hız miktarını hesaplanabilir.

Konu ile ilgili Denklemler:

$$S = V_1 t - (at^2 / 2) \quad (4.10)$$

$$V_2 = \sqrt{V_1^2 - 2aS} \quad (4.11)$$

V_1 = Başlangıç hızı (m/s)

V_2 = Son hız (m/s)

S = Yavaşlarken aldığı yol (m)

t = Yavaşlama süresi (s)

a = Yavaşlama ivmesi (m/s^2)

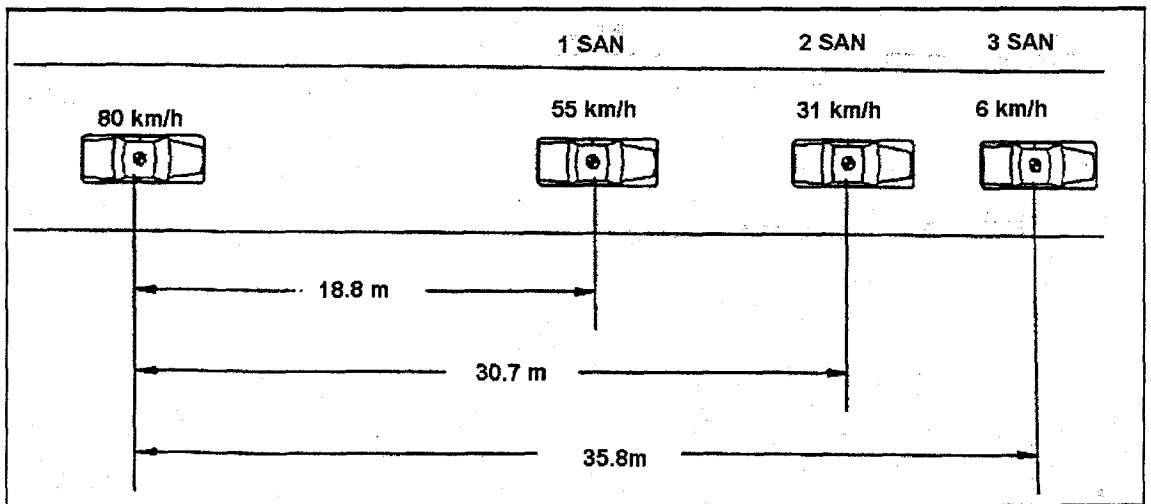
Örnek: 80 km/h hız ile hareket eden taşıtta, bu hızda tam fren uygulanıyor. Yol kuru asfalt yol olup, sürtünme katsayısı 0.7 olarak belirlenmiştir. Taşıt duruncaya kadar her saniye içinde almış olduğu yol ve hızı bulunuz. (Şekil 4.4.9)

Bilinenler:

Taşıtın kaymaya başladığı hız $80 \text{ km/h} * 0.2778$ 21.6 m/s

Sürtünme katsayısı..... 0.7

Yavaşlama ivmesi $0.7 * 9.81$ 6.87 m/s^2



Şekil 4.4.9: 80 km/h hız ile hareket eden taşıtın fren sonrası anlık hız ve aldığı yol.

Taşıtın kaymaya başladığı andaki hızı	$80 \text{ km/h} \times 0.2778 = 22.22 \text{ m/s}$
Sürtünme katsayısı	0.7
Yavaşlama ivmesi	$0.7 \times 9.81 = 6.87 \text{ m/s}^2$
1. saniyede aldığı yol	$22.22 - 6.87/2 = 18.8 \text{ metre}$
1. saniye sonundaki hızı	$\sqrt{(22.22^2 - 13.74 \times 18.8)} = 15.43 \times 3.6 = 55.23 \text{ km/h}$
2. saniyede aldığı yol	$15.43 - 6.87/2 = 11.99 \text{ metre}$
2. saniye sonundaki hızı	$\sqrt{(15.43^2 - 13.74 \times 11.99)} = 8.56 \times 3.6 = 30.83 \text{ km/h}$
3. saniyede aldığı yol	$8.56 - 6.87/2 = 5.12 \text{ metre}$
3. saniye sonundaki hızı	$\sqrt{(8.56^2 - 13.74 \times 5.12)} = 1.71 \times 3.6 = 6.15 \text{ km/h}$
Toplam durma süresi	$80 / (35.32 \times 0.7) = 3.2 \text{ sn}$

9. İvmelendirilerek hızlandırılmış taşıtın zamana veya yola bağlı olarak son hızını bulmak.

Konu ile ilgili Denklemler:

$$V_2 = V_1 + gtf \text{ (süreye bağlı)} \quad (4.12)$$

$$V_2 = \sqrt{V_1^2 + 2gdf} \text{ (yola bağlı)} \quad (4.13)$$

V_1 = Başlangıç hızı (m/s)

V_2 = İvmelendirme sonrası hızı (m/s)

t = İvmelendirme süresi (s)

d = İvmelendirme mesafesi (m)

g = Yerçekimi ivmesi 9.81 m/s^2

f = Sürtünme katsayısı

Örnek: Şekil 4.4.10 görülen taşıt 55 km/h hız ile hareket ederken ivmelendirilerek 32 metrelik yolu 1.5 sn de alması sağlanıyor. Yol ile tekerlek arası sürtünme katsayısı 0.7 olduğuna göre, taşıtın son hızını bulunuz.

Bilinenler:

Başlangıç hızı $55 \text{ km/h} \times 0.2778 \dots \dots \dots = 15.28 \text{ m/s}$

Yol/lastik arası sürtünme katsayısı $\dots \dots \dots = 0.7$

İvmelendirme süresi $\dots \dots \dots = 1.5 \text{ s}$

İvmelendirme mesafesi $\dots \dots \dots = 32 \text{ m}$

Süreye bağlı olarak hız:

$$V_2 = 15.28 + (9.81 \times 1.5 \times 0.7) = 25.58 \text{ m/s} \times 3.6 = 92.02 \text{ km/h}$$

Yola bağlı olarak hız:

$$V_2 = \sqrt{15.28^2 + (19.62 \times 32 \times 0.7)} = 25.94 \text{ m/s} \times 3.6 = 93.38 \text{ km/h}$$

10. Fren yapılarak yavaşlatılmış taşıtın zamana veya yola bağlı olarak son hızını bulmak

Konu İle İlgili Denklemler:

$$V_2 = V_1 - gtf \text{ (süreye bağlı)} \quad (4.14)$$

$$V_2 = \sqrt{V_1^2 - 2gdf} \text{ (yola bağlı)} \quad (4.15)$$

V_1 = Başlangıç hızı (m/s)

V_2 = İvmelendirme sonrası hız (m/s)

t = İvmelendirme süresi (s)

d = İvmelendirme mesafesi (m)

g = Yerçekimi ivmesi $9.81 \text{ (m/s}^2)$

f = Sürtünme katsayısı

Örnek: Şekil 4.4.11 de görülen taşıt 95 km/h hız ile hareket ederken fren yapılarak yavaşlatılmış ve 1.5 sn içerisinde 32 metre yol alması sağlanmıştır. Yol ile tekerlek arası sürtünme katsayısı 0.7 olduğuna göre, taşıtın son hızını bulunuz.

Bilinenler:

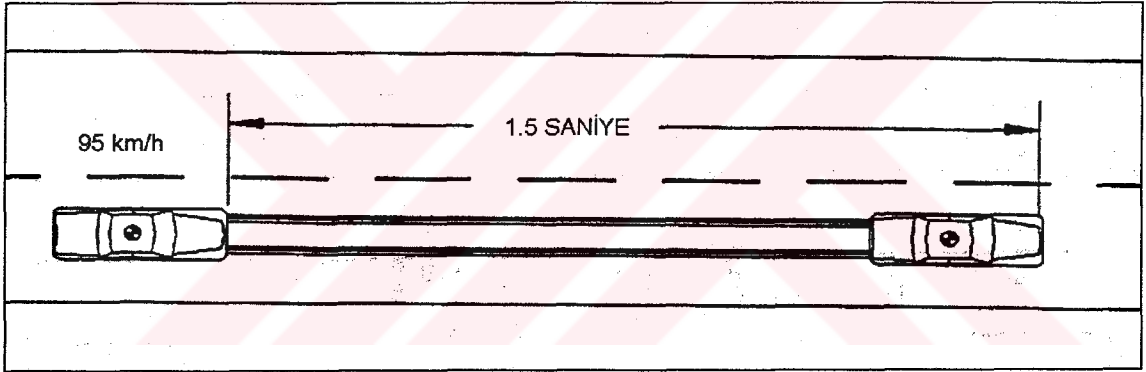
Başlangıç hızı 95 km/h x 0.2778.....	= 26.40 m/s
Sürtünme katsayısı.....	= 0.7
İvmelendirme süresi.....	= 1.5 s
İvmelendirme sırasında aldığı yol.....	= 32 m

Süreye bağlı olarak:

$$V_2 = 26.40 - (9.81 \times 1.5 \times 0.7) = 16.10 \text{ m/s} \times 3.6 = 57.95 \text{ km/h}$$

Yola bağlı olarak:

$$V_2 = \sqrt{26.4^2 - (19.62 \times 32 \times 0.7)} = 16.0 \text{ m/s} \times 3.6 = 57.6 \text{ km/h}$$



Şekil 4.4.11: 95 km/h hızla hareket eden taşıta fren uygulanır.

11. Katettiği mesafe ve süresi bilenen taşıtın hız ve ivmesinin bulunması

Elektrik direği, kedi gözü gibi yol üzerinde belli aralar ile yer alan noktalardan yararlanılarak taşıtın hızı ve ivmesi bulunabilir.

Konu İle İlgili Denklemler:

$$V_1 = V_{11} - 1/2t_1a \quad (4.16)$$

$$V_2 = V_{11} + 1/2t_1a \quad (4.17)$$

$$a = \frac{(V_{12} - V_{11})}{1/2(t_1 + t_2)} \quad (4.18)$$

$$V_{11} = d_1/t_1 \quad (4.19)$$

$$V_{12} = d_2/t_2 \quad (4.20)$$

V_1 = A noktasındaki hız (m/s)

V_2 = B noktasındaki hız (m/s)

V_{11} = X noktasındaki hız (m/s)

V_{12} = Y noktasındaki hız (m/s)

a = İvme (m/s^2)

d_1 = A ile B arasındaki mesafe (m)

d_2 = B ile C arasındaki mesafe (m)

t_1 = A ile B arasındaki süre (m)

t_2 = B ile C arasındaki süre (m)

x = A ile B arasındaki sürenin yarısı (m)

y = B ile C arasındaki sürenin yarısı (m)

Örnek: Taşıt yeterince trafik işaret ve levhalarının bulunmadığı köy yolunda gidiyor. Yol kenarına 45 m ara ile elektrik direkleri dikilmiştir. Taşıt Şekil 4.4.12 'de görülen A elektrik direğinden B direğine 4 sn , B direğinden C direğine ise 3 sn de ulaşıyor. Taşıtın A ve B elektrik direklerinin önünden geçerken olan hızlarını ve ivmesini bulunuz.

Bilinenler:

A ve B elektrik direği arası uzaklık..... 45 m

B ve C elektrik direği arası uzaklık..... 45 m

A ve B noktası arasındaki süre..... 4 s

B ve C noktası arasındaki süre..... 3 s

X noktasındaki hız $V_{11} = 45/4 = 11.25$ m/s

Y noktasındaki hız $V_{12} = 45/3 = 15.00$ m/s

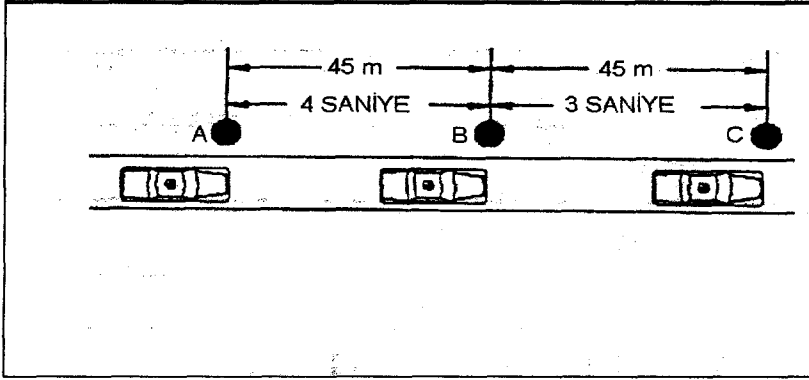
Taşıtın ivmesi $a = \frac{15.00 - 11.25}{0.5 \times (3 + 4)} = 1.07$ m / s²

Taşıtın A noktasındaki hızı:

$$V_A = (11.25 - 0.5 \times 4 \times 1.07) \times 3.6 = 32.79 \text{ km / h}$$

Taşıtın B noktasındaki hızı:

$$V_B = (11.25 + 0.5 \times 4 \times 1.07) \times 3.6 = 48.20 \text{ km / h}$$



Şekil 4.4.12: 45 m ara ile dizilmiş elektrik direkleri önünde geçen taşıt.

12. Fren veriminin hesaplanması.

Fren verimi terim olarak; Lastik / yol arayüzeyinin sürtünme kabiliyetinden ne derece iyi yararlandığının ölçüsüdür. Bu ifade de, taşıtın frenlemesi sırasında tekerleklerin kilitlemediğini varsayılmaktadır.

Konu İle İlgili Denklemler:

$$E = A_x / g f \quad (4.21)$$

* Bu denklem J.A. Rouse tarafından önerilmiştir.

E = Fren verimi (%)

A_x = Tekerleklerde kilitleme olmaksızın yapılan azami yavaşlama ivmesi (m/s^2)

g = Yerçekimi ivmesi (m/s^2)

f = Lastik yüzeyi için azami sürtünme katsayısı

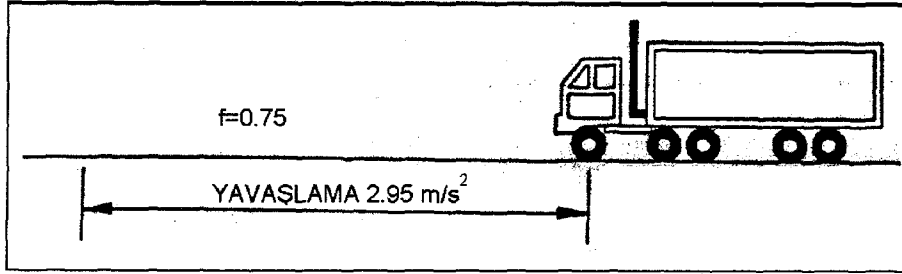
Örnek: Tam yüklü kamyon optimum frenleme kapasitesine sahiptir ve bu şartlarda kamyonun azami $2.95 m/s^2$ frenleme ivmesi verebilir. Taşıtın tüm tekerlekleri kilitlememiş ve sürtünme katsayısı 0.75 dir. Buna göre Fren verimini bulunuz.

Bilinenler:

$$A_x = 2.95 m/s^2 \text{ ve } f = 0.75$$

* J.A Rouse, 'the distribution of Braking on Road Vehicle symposium on the control of vehicles, Institute of Mechanical Engineering Division, London, 1963.

$$\text{Fren verimi} : E = \frac{2.95 \times 100}{9.81 \times 0.75} = \%40$$



Şekil 4.4.13: Maksimum fren ivmesi bilinen taşıtın fren verimi bulunabilir.

13. Kaza öncesi fren yapmış bir taşıtın çarpma hızını bulmak.

Konu İle İlgili Denklemler:

$$V_2 = \sqrt{(V_1^2 - 2ad)} \quad (4.22)$$

$$t = V_1 - \frac{\sqrt{(V_1^2 - 2ad)}}{a} \quad (4.23)$$

$$a = f \times 9.81$$

V_2 = Çarpma anındaki taşıtın hızı (m/s)

V_1 = Frenleme öncesi taşıtın hızı (m/s)

t = Frenlemenin başladığı andan (s)

çarpmaya kadar geçen süre

d = Frenlemenin başladığı andan (m)

çarpmaya kadar alınan yol

a = Yavaşlama ivmesi (m/s^2)

f = Sürtünme katsayısı

Örnek: Gece yağışlı havada, 60 km/h hızla kendi şeritinde hareket eden römork bağlı traktör sürücüsü karşıdan gelen aracın ışıklarını fark ederek frenleme yapar. Fren izi 38 m ve yol ile tekerlek arası sürtünme katsayısı 0.25 olarak tespit edilmiştir. Çarpma hızını bulunuz. (Şekil 4.4.14)

Bilinenler:

Taşıtın kaymaya başlamadan önceki hızı $60 \text{ km/h} \times 0.2778 \dots\dots\dots = 16.8 \text{ m/s}$

Fren izi..... = 38 m

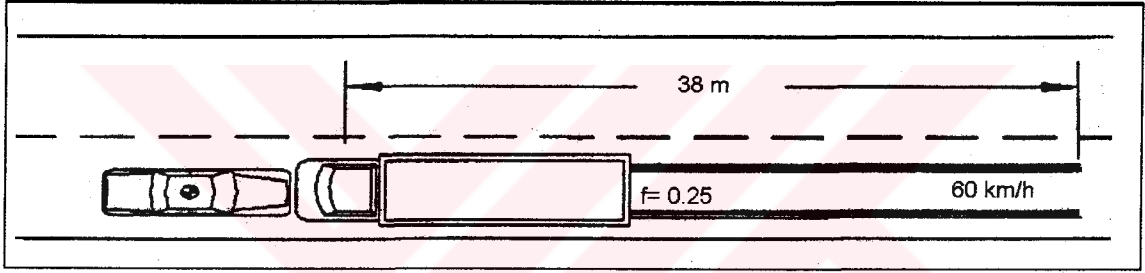
Sürtünme katsayısı $0.25 \times 9.81 \dots\dots\dots = 2.45 \text{ m/s}^2$

Frenlemenin başladığı andan çarpma anına kadar geçen süre

$$t = 16.68 - \frac{\sqrt{16.68^2 - (2 \times 2.45 \times 38)}}{2.45} = 2.9 \text{ sn}$$

Çarpışma anındaki taşıt hızı

$$V_2 = \sqrt{16.68^2 - (2 \times 2.45 \times 38)} = 34.41 \text{ km/h}$$



Şekil 4.4.14: Fren yapmış taşıtın çarpma hızını bulmak.

14. Sollama yapan taşıtın hızı**Konu İle İlgili Denklemler:**

$$V_2 = \frac{d_2}{t} \quad (4.24)$$

V_2 = Sollayan taşıtın hızı (km/h)

V_1 = Sollanan taşıtın hızı (km/h)

$$t = \frac{d_1}{V_1} \quad (4.25)$$

d_1 = Belirli bir zamana göre sollanan taşıtın aldığı yol (m)

d_2 = Belirli bir zamana göre sollayan taşıtın aldığı yol (m)

t = Süre (s)

Örnek: Şekil 4.4.15 ' de görüldüğü üzere 24 km/h hız ile hareket eden 2 nolu taşıt düz yolda 1 nolu taşıt tarafından sollanılıyor. 1 nolu taşıt solluyor ve bu esnada aynı yönde giden 3 nolu taşıta arkadan çarpıyor ve bu zaman dilimi içerisinde 2 nolu taşıt 61 m yol alıyor. 1 nolu taşıt ise; 2 nolu taşıttı sollamaya başladığı noktadan 3 nolu taşıta çarpacağı

noktaya kadar toplam 228 m yol alıyor. 1 nolu taşıtın sollama hızını bulunuz.

Bilinenler:

2 nolu taşıtın hızı $24 \text{ km/h} \times 0.2778 \dots\dots\dots 6.67 \text{ m/s}$

2 nolu taşıtın almış olduğu yol $\dots\dots\dots 61 \text{ m}$

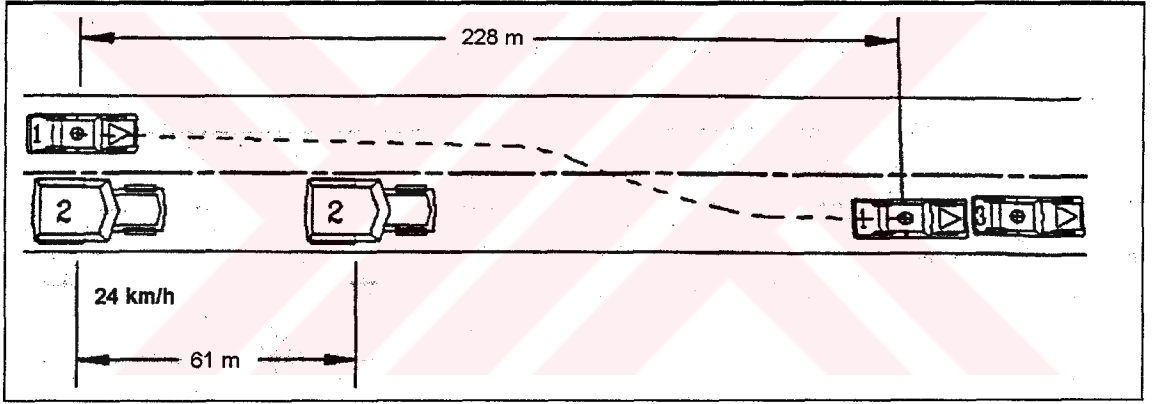
1 nolu taşıtın almış olduğu yol $\dots\dots\dots 228 \text{ m}$

Sollama Süresi

$$t = \frac{61}{6.67} = 9.15 \text{ sn}$$

1 nolu taşıtın sollama hızı

$$V_2 = \frac{228}{9.1} \times 3.6 = 89.70 \text{ km/h}$$



Şekil 4.4.15: Sollama yapan taşıtın hızını belirlemek.

15. Başka bir aracı sollayan taşıtın sollama hızını, alınan yol ve sollanan taşıtın hızından giderek hesaplamak.

Konu İle İlgili Denklemler:

$$V_1 = V_2 + RO \quad (4.27)$$

$$RO = \frac{d_1}{t} \quad (4.28)$$

V_1 = Sollayan aracın hızı (m/s)

V_2 = Sollanan aracın hızı (m/s)

RO = Sollama oranı (m/s)

t = Sollama süresi (s)

d_1 = Sollama mesafesi (m)

(taşıtların uzunluğu + şerit değiştirme)

d_1 = Sollanan taşıtın başlangıç noktasından sollamanın bittiği noktaya olan mesafe. (m)

Örnek : Şekil 4.4.16 da görülen 2 nolu taşıt 55 km/h hız ile seyir halinde iken 1 nolu başka bir taşıt tarafından sollanıyor. Sollama uzunluğu 14 mdir. 2 nolu taşıtın başlangıçtan, sollamanın bitimine kadar almış olduğu toplam mesafe 30m dir. 1 nolu taşıtın sollama hızını bulunuz.

Bilinenler:

2 nolu taşıtın hızı 55 km/h x (0.2778) = 15.28 m/s

Sollama mesafesi = 14 m

2 nolu taşıtın toplam almış olduğu yol..... = 30 m

Sollama Zamanı

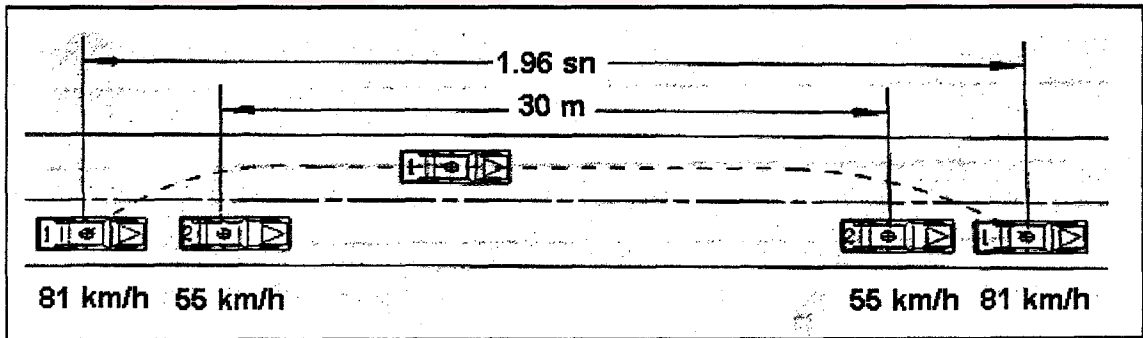
$$t = \frac{30}{15.28} = 1.96 \text{ sn}$$

Sollama Oranı

$$RO = \frac{d_1}{t} = \frac{14}{1.96} = 7.14 \text{ m/s}$$

1 nolu taşıtın sollama esnasındaki ortalama hızı

$$V_1 = V_2 + RO = (15.28 + 7.14) \times 3.6 = 80.71 \text{ km/h}$$



Şekil 4.4.16: Sollama yapan taşıtın hızı bulmak

16. Duruştan kalkışa geçen taşıtın hızını hesaplamak.

Konu İle İlgili Denklemler:

$$V = t \times a \quad (4.29)$$

$$t = \sqrt{2S/a} \quad (4.30)$$

V = Taşıtın hızı (km/h)

t = Süre (s)

S = Taşıtın ivmelenmesi sırasında katettiği yol (m)

a = İvme (m/s^2)

Örnek: Duran bir taşıt $1.2 m/s^2$ ivme ile ilk hareketine başlıyor ve başlangıç noktasından 9 m yol aldıktan sonra başka bir taşıt ile çarpışarak duruyor. Çarpma hız ve süresini hesaplayınız. (şekil 4.4.17)

Bilinenler:

Alınan yol = 9 m

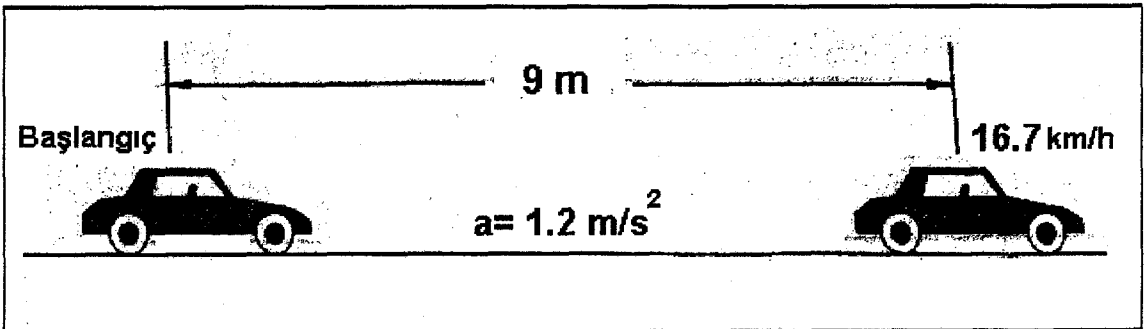
İvme = $1.21 m/s^2$

Çarpışma Süresi:

$$t = \sqrt{2 \times 9 / 1.21} = 3.87 \text{ sn}$$

Çarpma Hızı:

$$V = 3.87 \times 1.21 \times 3.6 = 16.85 \text{ km/h}$$



şekil 4.4.17: Duruş pozisyonundan hareket geçen taşıtın çarpma hızı.

17. Duruştan kalkışa geçen taşıtın hıza bağlı olarak almış olduğu yolu hesaplamak

Konu İle İlgili Denklemler:

$$S = \frac{V^2}{254 \times A} \quad (4.31)$$

V = Taşıtın hızı (km/h)

S = Alınan yol (m)

A = İvmelenme faktörü

Örnek: Park halindeki bir taşıt ivmelendirilerek hareket ettiriliyor ve 40 km/h hıza ulaşıyor. İvmelendirme faktörü 0.18 olduğuna göre bu taşıtın almış olduğu yolu bulunuz. (şekil 4.4.18)

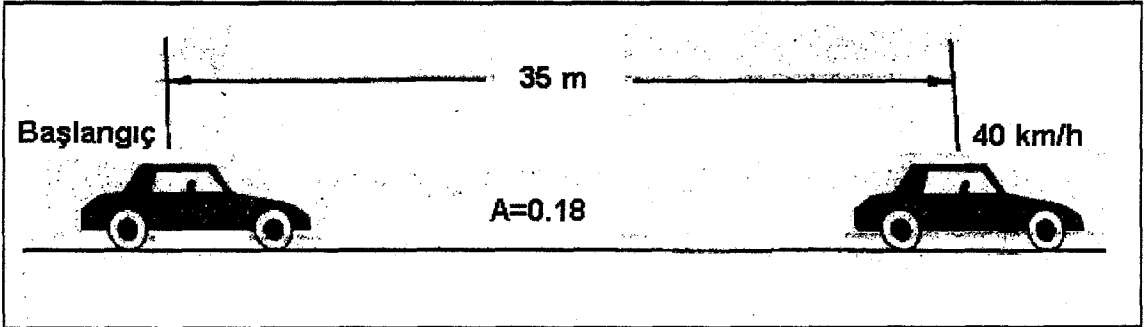
Bilinenler:

Hız = 40 km/h

İvmelendirme faktörü = 0.18

Alınan mesafe:

$$S = \frac{40^2}{254 \times 0.18} = 34.99 \text{ m}$$



şekil 4.4.18: İvmelendirilmiş taşıtın katettiği mesafe bulunabilir.

18. Taşıtın ivmelenmesi için gerekli sürenin bulunması

Bu konuda taşıtın duruş halinden harekete geçerek belirli bir mesafeye ulaşması için gerekli olan süre bulunacaktır.

Konu İle İlgili Denklemler:

$$t = \frac{V}{35.28 \times A} \quad (4.32)$$

V = Hız (km/h)

t = Süre (s)

A= İvmelenme faktörü

Örnek: Şekil 4.4.19 'da görüldüğü üzere taşıt duruş konumundan hareket geçirilerek 32 km/h hıza ulaştırılıyor. Taşıt ve yol durumu gözönünde bulundurularak ivmelendirme faktörü 0.2 olarak tespit ediliyor. Taşıtın ivme kazanması için gerekli olan süresini bulunuz.

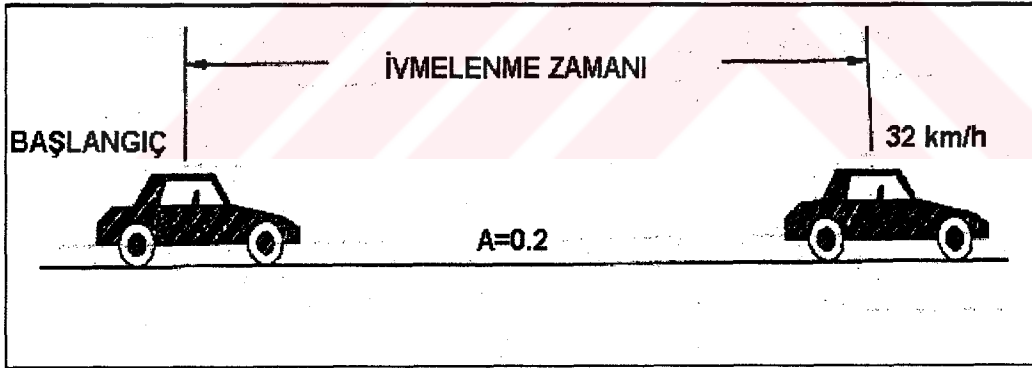
Bilinenler:

Hız 32 km/h

İvmelendirme faktörü..... 0.20

Taşıtın ivme kazanması için gerekli olan süre

$$t = \frac{32}{35.28 \times 0.2} = 4.55 \text{ sn}$$



Şekil 4.4.19: Taşıtın ivmelenmesi için gerekli olan süre.

19. Duran taşıtın, kalkıştan sonrası ivmesinin tespiti**Konu ile ilgili denklemler:**

$$a = \frac{V^2}{2 \times S} \quad (4.33)$$

V = Hız (km/h)

S = Mesafe (m)

a = İvme (m/s^2)

Örnek: Taşıt hareketsiz halden harekete başlayarak 30 m ilerliyor ve 27 km/h hıza ulaşıyor. İvmeyi bulunuz. (Şekil 4.4.20)

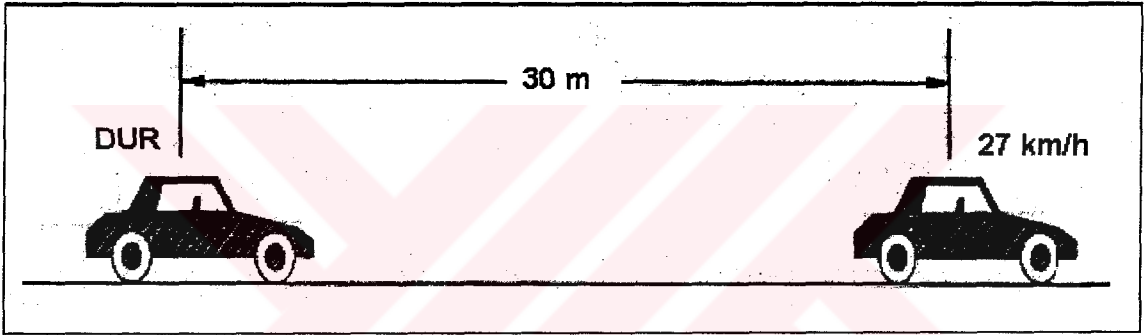
Bilinenler:

Taşıtın hızı 27 km/h x 0.2778 = 7.5 m/s

Alınan yol = 30 m

Taşıtın ivmesi:

$$a = \frac{7.5^2}{2 \times 30} = 0.96 \text{ m/s}^2$$



Şekil 4.4.20: Durma konumundan 27 km/h hıza ulaşan taşıtın ivmesinin bulunması.

20. 'Dur' trafik işareti önünden geçen taşıtın ilk hızının hesaplanması.

Bu konu, ivmesi bilinen bir taşıtın dur trafik işaretinde gerçekten durup durmadığının kontrolü için kullanılır.

Konu İle İlgili Denklemler:

$$V = \sqrt{(V_1^2 - 2as)} \quad (4.34)$$

V = Taşıtın ilk hızı (m/s)

V_1 = Taşıtın çarpma hızı (m/s)

a = ivme (m/s^2)

S = Dur işaretinden olan uzaklık (m)

Örnek : 1 nolu taşıt A yolu üzerinde hareket ederken A ile B yolunun kesiştiği kavşak üzerindeki dur işaretine uymayarak yoluna devam ediyor. 2 nolu taşıt B yolu üzerinde hareket ediyor ve 1 nolu taşıtın kavşağa girdiğini fark etmiyor. 1 nolu taşıt 2 nolu taşıta çarpmamak için hızını azaltıyor fakat kavşaktaki dur işaretinden 12m ileride 2 nolu taşıt ile çarpıyor. 1 nolu taşıtın çarpışma sırasındaki hızı 60 km/h ve 1.21 m/s^2 ivmesi vardır. 1 nolu taşıtın dur işaretindeki ilk hızını bulunuz. (Şekil 4.4.21)

Bilinenler:

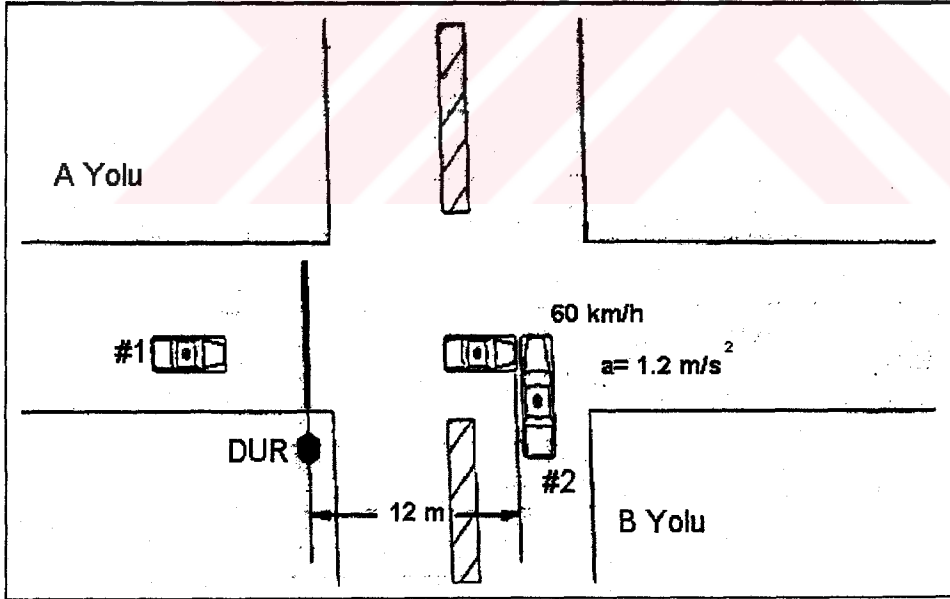
1 nolu taşıtın çarpma hızı $60 \text{ km/h} \times 0.2778 \dots = 16.66 \text{ m/s}$

1 nolu taşıtın yavaşlama ivmesi $\dots = 1.21 \text{ m/s}^2$

1 nolu taşıtın dur işaretinden uzaklığı $\dots = 12 \text{ m}$

1 nolu taşıtın dur işaretindeki ilk hızı

$$V = \sqrt{(16.66^2 - 2 \times 1.21 \times 12)} \times 3.6 = 56.75 \text{ km/h}$$



Şekil 4.4.21: Kavşağa giren taşıtın dur trafik levhasındaki hızı

21. Taşıtlardan birinin çarpışma öncesi hızının bilindiği ve herhangi bir fren izinin olmadığı dik açıda çarpışma.

Bu konu dik açı altında bir taşıtın diğerine çarptığı, araçlardan yalnızca birinin çarpışma öncesi hızının bilindiği ve çarpışma sonra taşıtların tek bir kütle olarak hareket ettiği kazalarda kaza öncesi hızı bilinmeyen taşıtın hızını bulmak için kullanılır.

Konu İle İlgili Denklemler:

$$V_1 = M_1/m_1 \quad (4.35) \quad V_1 = \text{Bilinmeyen hız (km/h)}$$

$$M_1 = \sqrt{(M_r^2 - M_2^2)} \quad (4.36) \quad V_2 = \text{Bilinen hız (km/h)}$$

$$V_r = M_r/(m_1 + m_2) \quad (4.37) \quad V_r = \text{Çarpışma sonrası her iki taşıtın ortak hızı (km/h)}$$

$$M_r = M_2/\text{Sin}\theta \quad (4.38) \quad M_1 = 1. \text{ Taşıtın sahip olduğu momentum (kg.m/s)}$$

$$M_2 = m_2 V_2 \quad (4.39) \quad M_2 = 2. \text{ Taşıtın sahip olduğu momentum (kg.m/s)}$$

$$m_1 = 1. \text{ Taşıtın kütlesi (kg)}$$

$$m_2 = 2. \text{ Taşıtın kütlesi (kg)}$$

$$\theta = \text{Çarpışma sonrası araçların ilk konumlarına olan açısı}$$

Örnek: 2025 kg kütlesindeki 1 nolu taşıt 1350 kg kütlesindeki 2 nolu taşıt ile Şekil 4.4.22 de görüldüğü üzere dik açıyla çarpışıyorlar. Her iki taşıtta, çarpışmadan sonra x eksenine göre 40° kuzey-doğu yönünde birlikte hareket ediyorlar. Çarpışma öncesi 2 nolu taşıtın 48 km/h hız ile gelmekte olduğu tespit edilmiştir. Buna göre çarpışma öncesi 1. Nolu taşıtın hızı nedir?

Bilinenler:

$$1 \text{ nolu taşıtın kütlesi} \dots\dots\dots = 2025 \text{ kg.}$$

$$2 \text{ nolu taşıtın kütlesi} \dots\dots\dots = 1350 \text{ kg}$$

$$2 \text{ nolu taşıtın çarpışma öncesi hızı} \dots\dots\dots = 48 \text{ km/h}$$

$$\text{Çarpışma sonrası açı} \dots\dots\dots = 40^\circ$$

$$M_2 = 1350 \times 48 / 3.6 \dots\dots\dots = 18000 \text{ kg.m/s}$$

$$M_r = 18000 / \text{Sin } 40^\circ \dots\dots\dots = 28000 \text{ kg.m/s}$$

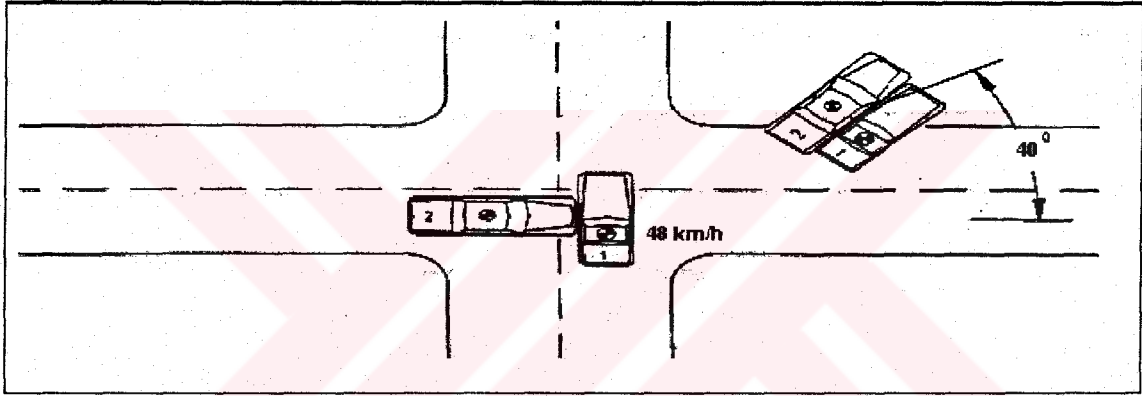
Çarpışma sonrası her iki taşıtın ortak hızı:

$$V_r = \frac{28000}{(2025 + 1350)} \times 3.6 = 29.87 \text{ km/h}$$

$$M_1 = \sqrt{(28000)^2 - (18000)^2} = 21447 \text{ kg} \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Çarpışma öncesi 1 nolu taşıtın hızı:

$$V_1 = \frac{21447}{2025} \times 3.6 = 38.13 \text{ km/h}$$



Şekil 4.4.22: Kavşakta dik açıda çarpışan iki taşıtın hareketleri.

22. Taşıtların dik açıda yaptıkları çarpışmayı takiben * skid, slide, spin hareketleri ile devam eden kazanın analizi.

Bu konuda, kazada çarpılan taşıtın, çarpan taşıttan ayrı olarak bazı kayma ve dönme hareketleri yaparak durması halinde çarpan taşıtın hızı incelenecektir.

* **Slide** : Taşıtın yol ile tekerlek arası sürtünme katsayı ile bağlantılı olarak oluşan ve taşıtın kendi ataleti ile devam eden kayma hareketidir. Örnek: Frenleme yapılmaksızın taşıtın kendi ataleti ile yapmış olduğu hareket.

Skid : Taşıtın frenleme yapması sonucu yol ile tekerlekler arasında doğan tekerleklerin kilitlemesi nedeniyle oluşan kayma hareketidir. Örnek: Taşıtın frenleme sonucu yağışlı havada kayması.

Spin : Taşıtın kendi ekseninde dönme hareketidir.

Konu İle İlgili Denklemler:

$$V = \sqrt{V_1^2 + V_{12}^2 + V_r^2} \quad (4.40)$$

$$V = \sqrt{2gS_1f} \quad (4.41)$$

$$V_{12} = \sqrt{2gS_3f} \quad (4.42)$$

$$V_r = \sqrt{2Er/m_2} \quad (4.43)$$

$$Er = \frac{1}{4} m_2 d^2 \omega^2 \quad (4.44)$$

$$\omega = \frac{r}{t} \quad (4.45)$$

$$r = \frac{\text{DEG}}{57.3} \quad (4.46)$$

$$V_2 = \sqrt{2gS_2f} \quad (4.47)$$

V_1 = Çarpan taşıtın ilk hızı (m/s)

V = Fren izine göre çarpan taşıtın hızı (m/s)

V_{12} = Çarpan taşıtın kayma hareketine göre hızı (m/s)

V_r = Çarpan taşıtın dönme hareketine göre hızı (m/s)

V_2 = Çarpılan taşıtın hızı (m/s)

Er = Çarpan taşıtın dönme enerjisi (J)

ω = Açısal hız (rad/s)

r = 57.3^0 karşılık gelen yarıçap (m)

DEG = Çarpışma sonrası çarpılan taşıtın ilk konumuna göre açısı (0)

t = Çarpılan taşıtın çarpışma sonrası hareket süresi (s)

m_2 = Çarpılan taşıtın kütlesi (kg)

S_1 = Çarpan taşıtın fren izi uzunluğu (m)

S_2 = Çarpılan taşıtın çarpma sonrası aldığı yol (m)

S_3 = Çarpılan taşıtın çarpma sonrası yatay yönde almış olduğu mesafe (m)

d = İki dingil arasındaki mesafe (m)

g = Yerçekimi ivmesi (9.81 m/s^2)

f = Yol ile tekerlek arası sürtünme katsayısı

Örnek: 1 nolu taşıt kavşağa girerken, sağ tarafından hiçbir durma belirtisi göstermeyen 2 nolu (1350 kg) taşıtın geldiğini gördü ve tam frenleme yaptı fakat 2 nolu taşıt ile çarpışmaktan kurtulamadı. 1 nolu taşıtın fren izi 13.71 m dir. 2 nolu taşıt çarpma sonrası 1 nolu taşıtın gidiş yolunda yatay olarak 1.5 m ve çarpma konumuna göre 7.6 m hareket etti. 2 nolu taşıtın ilk konumuna göre açısı 200^0 dir. 2 nolu taşıtın arka dingil açıklığı 1.0 m olarak ölçülmüştür. Sürtünme katsayısı 0.7 dir. 2 nolu taşıtın çarpışma sonrası hızını, süreyi ve 1. nolu taşıtın ilk hızını bulunuz (Şekil 4.4.23)

Bilinenler:

2 nolu taşıtın kütlesi	= 1350 kg
1 nolu taşıtın fren izi uzunluğu	= 13.71 m
2 nolu taşıtın çarpışma sonrası aldığı yol	= 7.6 m
2 nolu taşıtın itme sonucu yatay yönde aldığı yol	= 1.5 m
Arka dingil aralığı	= 1.0 m
2 nolu taşıtın dönüş açısı	= 200°
Sürtünme katsayısı	= 0.7

2 nolu taşıtın çarpma sonrası hızı:

$$V_2 = \sqrt{2gS_2f} = \sqrt{(2 \times 9.81 \times 7.6 \times 0.7)} = 10.21 \times 3.6 = 36.77 \text{ km / h}$$

2 nolu taşıtın çarpışma sonrası hareket süresi:

$$t = \frac{V_2}{f \times g} = \frac{10.21}{0.7 \times 9.81} = 1.49 \text{ s}$$

$$r = \frac{\text{DEG}}{57.3} = \frac{200}{57.3} = 3.49$$

$$\omega = \frac{r}{t} = \frac{3.49}{1.49} = 2.34 \text{ rad/s}$$

$$E_r = \frac{1}{4} \times m_2 \times d^2 \times \omega^2 = \frac{1}{4} \times 1350 \times (1.0)^2 \times (2.34)^2 = 1848 \text{ kgm}^2 \left(\frac{\text{rad}}{\text{s}} \right)^2 = 1848 \text{ J}$$

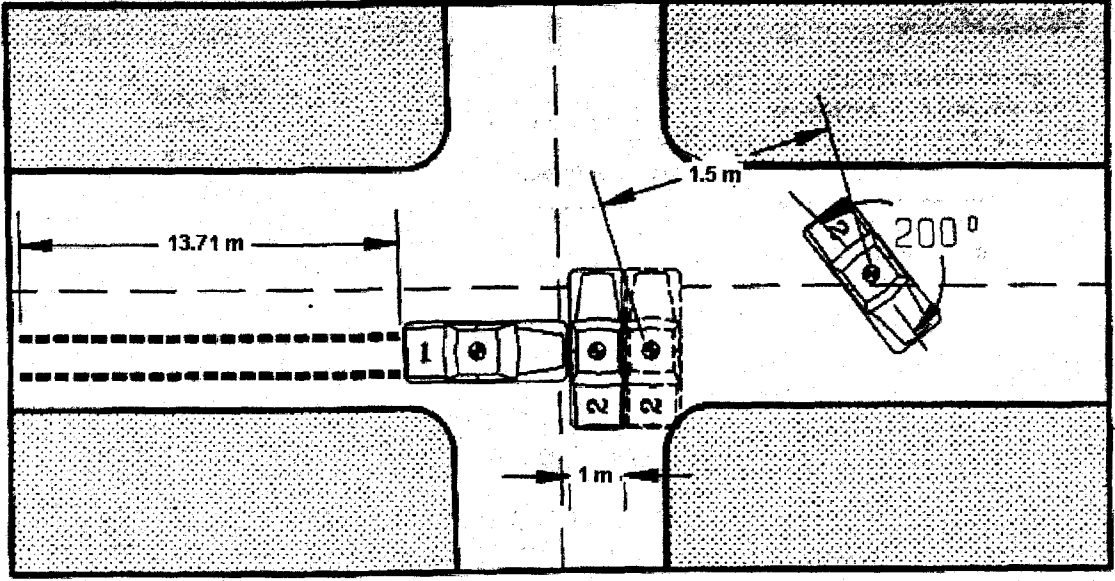
$$V_r = \sqrt{\frac{2 \times 1848}{1350}} = 1.65 \text{ m/s}$$

$$V_{12} = \sqrt{(19.62 \times 1.5 \times 0.7)} = 4.5 \text{ m/s}$$

$$V_1 = \sqrt{(19.62 \times 13.71 \times 0.7)} = 13.72 \text{ m/s}$$

1 nolu çarpan taşıtın ilk hızı:

$$V = \sqrt{V_1^2 + V_{12}^2 + V_r^2} = \sqrt{13.72^2 + 4.54^2 + 1.65^2} = 14.54 \times 3.6 = 52.36 \text{ km / h}$$



Şekil 4.4.23: Kavşakta dik açıda çarpışma sonucu meydana gelen trafik kazası.

23. Hatalı kavşak girişi trafik kazası

Bu konuda hangi taşıtın kavşağa önce girdiği incelenecektir. Dört farklı durum söz konusu olabilir;

1. 1 ve 2 nolu taşıtlar fren yapmaksızın kavşağa aynı anda girebilirler.
2. 1 nolu taşıt fren yaparken, 2 nolu taşıt kavşağa fren yapmaksızın girebilir.
3. 1 nolu taşıt kavşağa fren yapmaksızın girerken, 2 nolu taşıt fren yapar.
4. 1 ve 2 nolu taşıtlar fren yaparak kavşağa aynı anda girebilirler.

Konu ile ilgili denklemler:

$$t_1 = \frac{S_1}{V_1} \quad (4.48)$$

$$t_2 = \frac{S_2}{V_2} \quad (4.49)$$

$$t_{11} = \frac{\sqrt{(2.16V_1^2 + 19.62S_1f)} - V_1}{9.81 \times f} \quad (4.50)$$

$$t_{22} = \frac{\sqrt{(2.16V_2^2 + 19.62S_2f)} - V_2}{9.81 \times f} \quad (4.51)$$

S_1 = 1 nolu taşıtın çarpışma noktasından sokak kaldırım taşına kadar olan uzaklığı (m)

S_2 = 2 nolu taşıtın çarpışma noktasından sokak kaldırım taşına kadar olan uzaklığı (m)

V_1 = 1 nolu taşıtın çarpışma anındaki hızı (m/s)

V_2 = 2 nolu taşıtın çarpışma anındaki hızı (m/s)

f = Yol/lastik arası sürtünme katsayısı

t_1 = 1 nolu taşıtın fren yapmadan girdiği kavşakta bulunma süresi (s)

t_2 = 2 nolu taşıtın fren yapmadan girdiği kavşakta bulunma süresi (s)

t_{11} = 1 nolu taşıtın fren yaparak girdiği kavşakta bulunma süresi (s)

t_{22} = 2 nolu taşıtın fren yaparak girdiği kavşakta bulunma süresi (s)

Örnek: 1 nolu taşıt kavşağa girer ve 2 nolu taşıta çarpar. 1 nolu taşıtın çarpışma anında hızı 62 km/h dir. 1 nolu taşıtın çarpışma noktasından kaldırım taşına uzaklığı 6.09 m ve 2 nolu taşıtın ise 9.14 m olarak ölçülmüştür. Sürtünme katsayısı 0.5 (ıslak yol) olduğuna göre taşıtların kavşakta kalma sürelerini hesaplayınız. (Şekil 4.4.24)

Bilinenler:

1 nolu taşıtın çarpışma noktasından sokak kaldırım taşına olan uzaklığı 6.09 m

2 nolu taşıtın çarpışma noktasından sokak kaldırım taşına olan uzaklığı 9.14 m

1 nolu taşıtın çarpışma anındaki hızı 64 km/h

2 nolu taşıtın çarpışma anındaki hızı 62 km/h

Sürtünme katsayısı 0.5

- Fren yaparak kavşağa giren 1 nolu taşıtın kavşakta kalma süresi:**

$$t_{11} = \frac{\sqrt{(2.16 \times 17.77^2 + 19.62 \times 0.5 \times 6.09)} - 17.77}{9.81 \times 0.5} = 1.929 \text{ s}$$

- Fren yapmadan kavşağa giren 1 nolu taşıtın kavşakta kalma süresi:

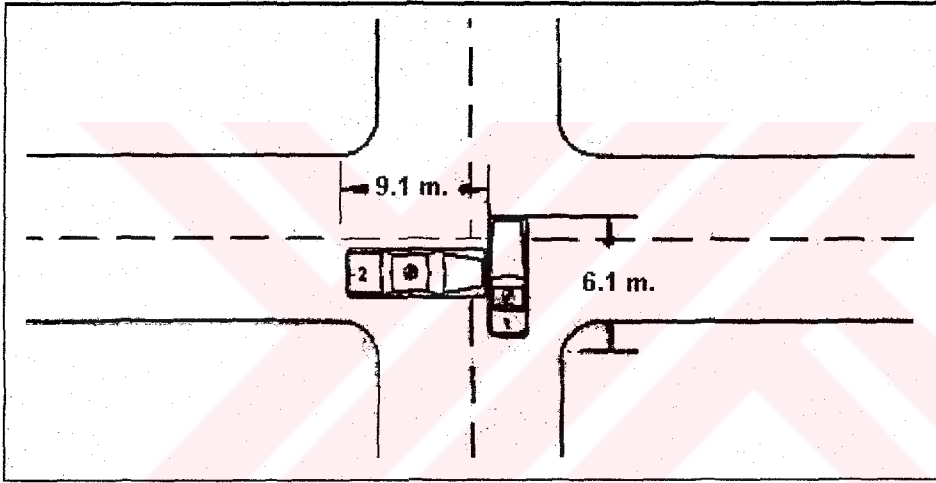
$$t_1 = \frac{6.09}{17.77} = 0.342 \text{ s}$$

- Fren yaparak kavşağa giren 2 nolu taşıtın kavşakta kalma süresi:

$$t_{22} = \frac{\sqrt{(2.16 \times 17.22^2 + 19.62 \times 0.5 \times 9.14)} - 17.22}{9.81 \times 0.5} = 1.998 \text{ s}$$

- Fren yapmadan kavşağa giren 2 nolu taşıtın kavşakta kalma süresi:

$$t_2 = \frac{9.14}{17.22} = 0.53 \text{ s}$$



Şekil 4.4.24: Bazı durumlarda hangi taşıtın kavşağa önce girdiğinin bulunması gerekir. Yukarıdaki örnekte 2 nolu taşıt kavşağa girmeden önce fren yapsada yapmasada kavşakta 1 nolu taşıttan daha fazla kalmaktadır. Dolayısıyla kavşağa ilk girişi 2 nolu taşıt yapmıştır.

24. Çarpın taşıın diğer taşıı kenara itme enerjisinden yararlanılarak taşıı hızının bulunması.

Konu ile ilgili denklemler:

$$E_1 = W_1 \times S_1 \times f \quad (4.52)$$

$$E_2 = W_2 \times S_2 \times f \quad (4.53)$$

$$E = E_1 + E_2 \quad (4.54)$$

$$V = 3.6 \times \sqrt{\left(\frac{19.62 \times E}{W_2}\right)} \quad (4.55)$$

W_1 = Çarpın taşıın ağırlığı (N)

W_2 = Çarpılan taşıın ağırlığı (N)

S_1 = 1 nolu çarpın taşıın çarpışma sonrası aldığı yol (m)

S_2 = 2 nolu çarpılan taşıın çarpışma sonrası aldığı yol (m)

E_1 = 1 nolu taşıın enerjisi (N.m) = J

E_2 = 2 nolu taşıın enerjisi (N.m) = J

E = Toplam enerji (kg.m)

V = Taşıı hızı (m/s)

f = Yol ile tekerlek arası sũrtũnme katsayısı

Örnek: 2057 kg kũtlesindeki taşıı sũrtũnme katsayısı 0.7 olan kuru yolda hareket ederken, 1043 kg kũtlesindeki 2 nolu taşıta çarparak 10.66 m yol kenarına itiyor (Şekil 4.4.25). Bu arada 1 nolu taşıı ise çarpışma noktasından 6 m ileri kayıyor. 1 nolu taşıın çarpma hızını bulunuz.

Bilinenler:

1 nolu taşıın ağırlığı..... = 2057*9.81= 20180 N

2 nolu taşıın ağırlığı..... = 1043*9.81= 10231 N

1 nolu taşıın çarpma sonrası aldığı yol..... = 6.0 m

2 nolu taşıın çarpma sonrası aldığı yol..... = 10.66 m

Sũrtũnme katsayısı..... = 0.7

$$E_1 = 20180 \times 6.0 \times 0.7 = 84756 \text{ N.m} = 84756 \text{ J}$$

$$E_2 = 10231 \times 10.66 \times 0.7 = 76343 \text{ N.m} = 76343 \text{ J}$$

$$E = 84756 + 76343 = 161100 \text{ N.m} = 161100 \text{ J}$$

$$V = \sqrt{\frac{(19.62 \times 161100)}{10231}} = 17.57 \times 3.6 = 63.27 \text{ km/h}$$

Bilinenler:

1 nolu taşıtın kütlesi: = 1814 kg

2 nolu taşıtın kütlesi: = 2268 kg

Kayma izi uzunluğu = 20 m

Sürtünme katsayısı = 0.5 m

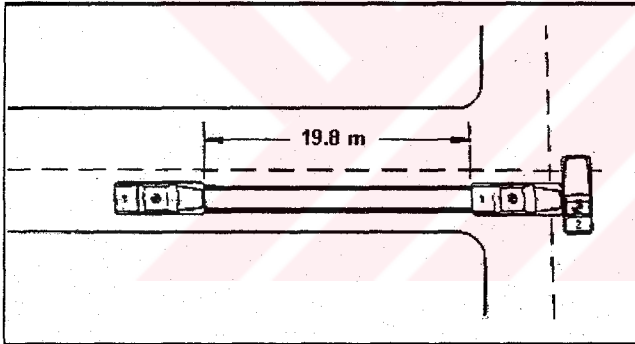
$V = \sqrt{(19.62 \times 20 \times 0.5)}$ = 14 m/s

1 nolu taşıtın çarpma öncesi hızı:

$$U = \frac{1814 + 2268}{1814} \times 14.0 = 31.5 \times 3.6 = 113.4 \text{ km/h}$$

Deformasyon Enerjisi:

$$DM = \frac{1814 \times (31.5)^2}{2} - (1814 + 2268) \times \frac{(14.0)^2}{2} \cong 500000 \text{ N.m} = 5000 \text{ k J}$$



Şekil 4.4.26: Yandan dik açıda çarpışma.

26. Otomobil - Motosiklet dik açı çarpışması

Bu konu çarpışma öncesi her iki taşıta hızlarını tespit etmede kullanılır.

Konu ile ilgili denklemler:

$$U_1 = V_{11} + m_2 V_{21}/m_1 \quad (4.59)$$

$$U_2 = V_{22} + m_1 V_{12}/m_2 \quad (4.60)$$

$$V_{11} = S_{11} V_1/S_1 \quad (4.61)$$

$$V_{22} = S_{22} V_2/S_2 \quad (4.62)$$

$$V_{21} = S_{21} V_2/S_2 \quad (4.63)$$

$$V_{12} = S_{12} V_1/S_1 \quad (4.64)$$

$$V_1 = \sqrt{2(a_1 + gp)d} \quad (4.65)$$

$$V_2 = S_2 V_{11}/S_{21} \quad (4.66)$$

U_1 = Çarpma öncesi otomobilin hızı (m/s)

U_2 = Çarpma öncesi motosikletin hızı (m/s)

V_{11} = Çarpma sonrası otomobilin y eksenini boyunca olan hızı (m/s)

V_{22} = Çarpma sonrası motosikletin y eksenini boyunca olan hızı (m/s)

V_{21} = Çarpma sonrası motosikletin x eksenini boyunca olan hızı (m/s)

V_{12} = Çarpma sonrası otomobilin x eksenini boyunca olan hızı (m/s)

V_1 = Çarpma sonrası otomobilin hızı (m/s)

V_2 = Çarpma sonrası motosikletin hızı (m/s)

m_1 = Otomobilin kütlesi (kg)

m_2 = Motosikletin kütlesi (kg)

S_{11} = y eksenini boyunca otomobilin çarpma noktasından duruncaya kadar aldığı mesafe (m)

S_{22} = x eksenini boyunca motosikletin çarpma noktasından duruncaya kadar aldığı mesafe (m)

S_{21} = y eksenini boyunca motosikletin çarpma noktasından duruncaya kadar aldığı mesafe (m)

S_{12} = x eksenini boyunca otomobilin çarpma noktasından duruncaya kadar aldığı mesafe (m)

S_1 = Otomobilin çarpma noktasından duruncaya kadar aldığı mesafe (m)

S_2 = Motosikletin çarpma noktasından duruncaya kadar aldığı mesafe (m)

d = Otomobilin bıraktığı lastik izi uzunluğu (m)

a_1 = Yavaşlama oranı (gxf)

g = Yerçekimi ivmesi (9.81 m/s²)

f = Yol/lastik arası sürtünme katsayısı

p = Yolun eğim faktörü

Örnek: 1814 kg kütlesindeki otomobil %4 eğimli yolda kuzey yönünde hareket ederek kavşağa giriyor, bu sırada doğudan - batıya doğru hızla hareket eden 226.8 N ağırlığında motosiklet de aynı kavşağa giriyor. Otomobil sürücüsü çarpışmanın kaçınılmaz olacağını fark ederek fren yapıyor ve yolda 15 m lastik izi bırakıyor. Motosiklet, otomobile sağ taraftan çarpıyor ve çarpışma sonrası otomobil 16.76 m yol alıyor.

Motosiklet ise çarpışma noktasından 14 m geriye sıçıyor. Otomobilin çarpışma öncesi hızını bulunuz. (Şekil 4.4.27)

Aşağıdaki değerler kaza alanında yapılan ölçümlerde tespit edilmiştir.

$$S_{11} = 10.66 \text{ m} \quad S_{12} = 25.90 \text{ m} \quad S_{22} = 3.04 \text{ m} \quad S_{21} = 13.17 \text{ m}$$

Bilinenler:

Otomobilin kütlesi	= 1814 kg
Motosikletin kütlesi	= 226.8 kg
Otomobilin çarpma noktasından duruncaya kadar aldığı yol	10.97 m
Motosikletin çarpma noktasından duruncaya kadar aldığı yol.....	14.02 m
Otomobilin çarpma noktasından duruncaya kadar y eksenini boyunca aldığı yol....	9.75 m
Otomobilin çarpma noktasından duruncaya kadar x eksenini boyunca aldığı yol....	2.59 m
Motosikletin çarpma noktasından duruncaya kadar x eksenini boyunca aldığı yol..	3.04 m
Motosikletin çarpma noktasından duruncaya kadar y eksenini boyunca aldığı yol...	3.17 m
Sürtünme katsayısı.....	$0.7 \times 9.81 = 6.86 \text{ m/s}^2$
Yolun eğim faktörü.....	0.012
Otomobilin bıraktığı lastik izi uzunluğu.....	15.24 m

$$V_1 = \sqrt{(2(6.86 + 9.81 \times 0.012)15.24)} = 14.58 \text{ m/s}$$

$$V_{11} = \frac{10.66 \times 14.58}{10.97} = 14.16 \text{ m/s}$$

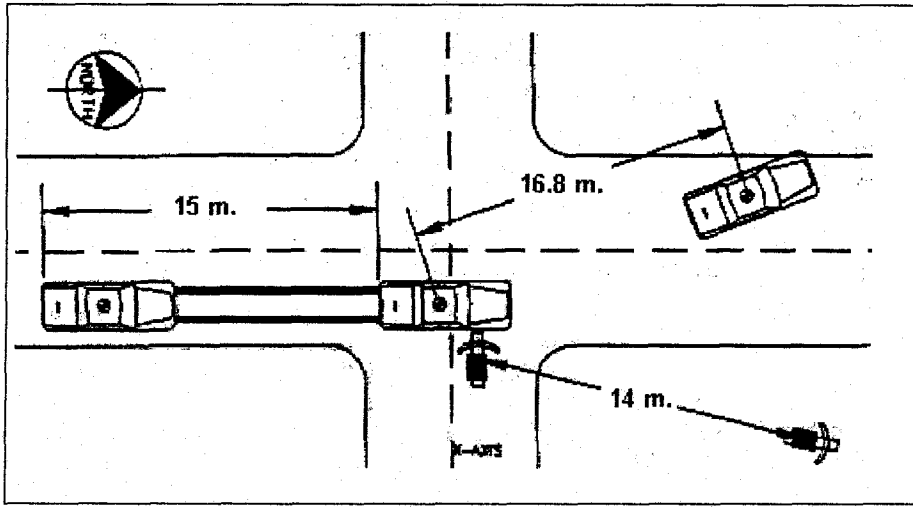
$$V_{12} = \frac{25.90 \times 14.58}{10.97} = 34.42 \text{ m/s}$$

$$V_2 = \frac{14.02 \times 14.16}{13.17} = 15.07 \text{ m/s}$$

$$V_{22} = \frac{3.04 \times 14.58}{14.02} = 3.16 \text{ m/s}$$

$$V_{21} = \frac{13.17 \times 15.07}{14.02} = 14.15 \text{ m/s}$$

$$U_1 = 14.05 + \frac{226.8 \times 14.15}{1814} = 15.8 \text{ m/s} = 56.88 \text{ km/h}$$



Şekil 4.4.27: Kavşakta meydana gelen otomobil-motosiklet kazası.

27. Açısal Motosiklet kazası

Konu ile ilgili denklemler:

$$V_1 = \frac{m_2}{m_1} \times V_2 \times \cos \phi \quad (4.67)$$

$$V_2 = \sqrt{(Rgf)} \quad (4.68)$$

V_1 = Çarpışma anında motosikletin hızı (km/h)

V_2 = Çarpışma anında otomobilin hızı (km/h)

m_1 = Motosikletin kütlesi (kg)

m_2 = Otomobilin kütlesi (kg)

R = Çarpışma sonrası otomobilin kayma eğrisi yarıçapı (m)

f = Yol/lastik arası sürtünme katsayısı

ϕ = Otomobilin çarpışma sonrası hareket açısı

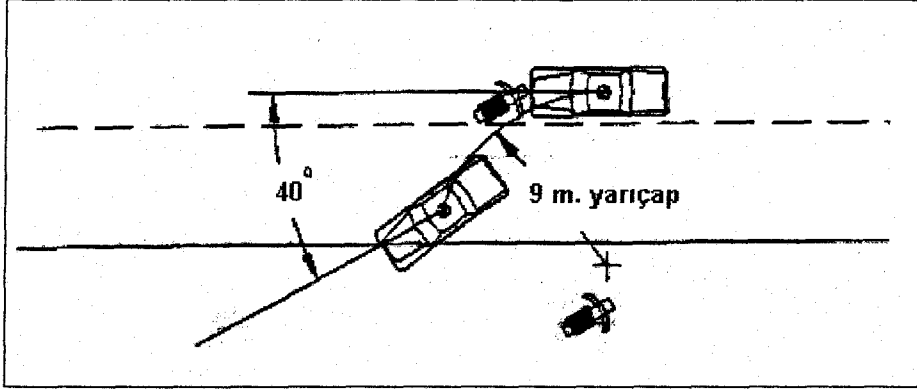
Örnek: 272 kg kütlesindeki motosiklet kuzey-doğu istikametinde seyrederken güney yönünden gelen 1359 kg kütlesindeki otomobil ile çarpışıyor. Çarpışma sonrası otomobil 40° gidiş yönünden sapıyor. Çarpışma sonrası otomobilin kayma yarıçapı 9 m olarak tespit ediliyor. Sürtünme katsayısı 0.7 olduğuna göre çarpışma anındaki her iki taşıtın hızını bulunuz. (Şekil 4.4.28)

Bilinenler:

Motosikletin kütlesi	272 kg
Otomobilin kütlesi	1359 kg
Otomobilin kayma yarıçapı	9 m
Sürtünme katsayısı	0.7
Otomobilin çarpışma sonrası sapma açısı	40°

$$V_2 = \sqrt{(9 \times 9.81 \times 0.7)} = 7.86 \text{ m/s} = 28.5 \text{ km/h}$$

$$V_1 = \frac{138.53}{27.72} \times 7.86 \times \cos 40 = 30.32 \text{ m/s} = 109.21 \text{ km/h}$$



Şekil 4.4.28: Açısız Otomobil-motorsiklet çarpışması.

28. Açısız çarpışma - Vektör analizi

Bu konuda, açısız çarpışma yapmış olan taşıtların hızları tespit edilir.

Konu ile ilgili denklemler:

$$U_2 = \frac{m_1 \times V_1 \times \sin \theta}{m_2 \times \sin \psi} + \frac{V_2 \times \sin \phi}{\sin \psi} \quad (4.69)$$

$$U_1 = V_1 \times \cos \theta + \frac{m_2 \times V_2 \times \cos \phi}{m_1} - \frac{m_2 \times U_2 \times \cos \psi}{m_1} \quad (4.70)$$

$$V_1 = \sqrt{(254d_1f)} \quad (4.71)$$

$$V_2 = \sqrt{(254d_2f)} \quad (4.72)$$

$$\theta = \arctan(y/x) \quad (4.73)$$

- U_1 = Çarpışma öncesi 1 nolu taşıtın hızı (km/h)
 U_2 = Çarpışma öncesi 2 nolu taşıtın hızı (km/h)
 m_1 = 1 nolu taşıtın kütlesi (kg)
 m_2 = 2 nolu taşıtın kütlesi (kg)
 θ = 1 nolu taşıtın çarpışma sonrası açısı
 ϕ = 2 nolu taşıtın çarpışma sonrası açısı
 ψ = 2 nolu taşıtın yaklaşma (istikamet) açısı
 d = Taşıtın çarpışma sonrası duruncaya kadar aldığı yol (m)
 x = Taşıtın x eksenini boyunca aldığı yol (m)
 y = Taşıtın y eksenini boyunca aldığı yol (m)

Örnek : 1373 kg kütlesindeki 1 nolu taşıt tam doğuya doğru (180°) hareket ederken , 943 kg kütlesindeki 2 nolu taşıta (270°) taşıta çarpıyor. Yol kuru asfalt, yol ile lastikler arasındaki sürtünme katsayısı 0.7 olarak belirlenmiştir. Çarpışma noktasına kadar yolda hiçbir ize rastlanmamıştır. Çarpışma sonrası 1 nolu taşıt 10.6 m x-ekseni ve 5.9 m y-ekseni boyunca kayarak durmuştur. 2 nolu taşıt ise 7 m x-ekseni boyunca ve 8.8 m y-ekseni boyunca hareket ederek durmuştur. (1 nolu taşıt mutlaka çarpan taşıt olmalıdır.) (Şekil 4.4.29)

Bilinenler:

- 1 nolu taşıtın çarpışma sonrası x eksenini boyunca aldığı yol.....= 10.6 m
 1 nolu taşıtın çarpışma sonrası y eksenini boyunca aldığı yol.....= 5.9 m

1 nolu taşıtın çarpışma sonrası yaptığı açı:

$$\theta = \arctan \frac{5.91}{10.66} = 29.1^\circ$$

1 nolu taşıtın çarpışma sonrası tamamen duruncaya kadar katettiği mesafe:

$$d_1 = \sqrt{(10.66^2 + 5.91^2)} = 12.19 \text{ m}$$

- 2 nolu taşıtın çarpışma sonrası x eksenini boyunca aldığı yol.....= 7.0 m
 2 nolu taşıtın çarpışma sonrası y eksenini boyunca aldığı yol.....= 8.8 m

2 nolu taşıtın çarpışma sonrası yaptığı açı:

$$\phi = \arctan \frac{8.8}{7} = 51.49^\circ$$

2 nolu taşıtın çarpışma sonrası tamamen duruncaya kadar katettiği mesafe:

$$d_2 = \sqrt{(7^2 + 8.8^2)} = 11.27 \text{ m}$$

1 nolu taşıtın çarpışma noktasından duruncaya kadar aldığı yol..... = 11.27 m
 2 nolu taşıtın çarpışma noktasından duruncaya kadar aldığı yol..... = 12.19 m
 Sürtünme katsayısı..... = 0.7

1 nolu Taşıtın Çarpışma Noktasından Sonraki Hızı:

$$V_1 = \sqrt{(254d_1f)} = \sqrt{254 \times 12.19 \times 0.7} = 46.55 \text{ km / h}$$

2 nolu Taşıtın Çarpışma Noktasından Sonraki Hızı:

$$V_2 = \sqrt{(254d_2f)} = \sqrt{254 \times 11.27 \times 0.7} = 44.76 \text{ km / h}$$

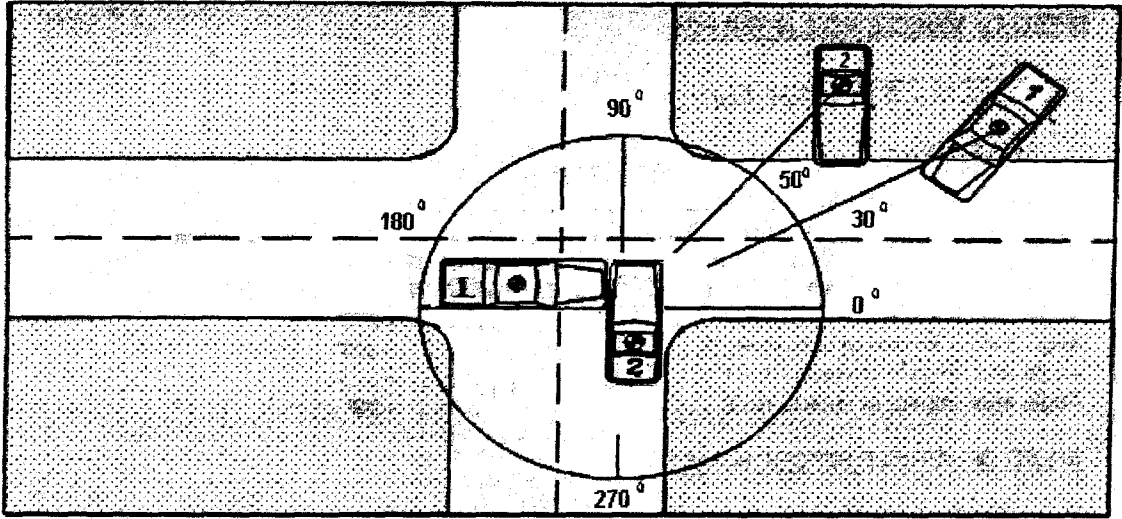
Bilinenler:

1 nolu taşıtın kütlesi = 1373 kg
 2 nolu taşıtın kütlesi = 973 kg
 1 nolu Taşıtın çarpışma noktasından sonraki hızı = 44.76 km/h
 2 nolu Taşıtın çarpışma noktasından sonraki hızı = 46.55 km/h
 1 nolu Taşıtın çarpışma sonrası yaptığı açı..... = 29.1°
 2 nolu Taşıtın çarpışma sonrası yaptığı açı..... = 51.49°
 2 nolu taşıtın yaklaşma (istikamet) açısı..... = 90°

Çarpışma öncesi taşıtların hızları:

$$U_2 = \frac{1373 \times 46.55 \times \sin 29.1}{943 \times \sin 90} + \frac{44.76 \times \sin 51.49}{\sin 90} = 67.98 \text{ km / h}$$

$$U_1 = 46.55 \times \cos 29.1 + \frac{943 \times 44.76 \times \cos 51.49}{1373} - \frac{943 \times 67.54 \times \cos 90}{1373} = 59.81 \text{ km / h}$$



Şekil 4.4.29: Açısal momentum kurallarının uygulandığı kavşak kazası.

29. Viraj yarıçapının hesaplanması

Bu konu, virajda meydana gelen trafik kazasında virajın yarıçapını tespit etmek için kullanılır.

Konu ile ilgili denklemler:

$$R = \frac{C^2}{8M} + \frac{M}{2} \quad (4.74)$$

R= Virajın yarıçapı (m)

C= Kiriş uzunluğu (A noktasından B ye olan mesafe)
(m)

M= Orta ordinat uzunluğu (C-D noktaları arası mesafe)
(m)

Örnek: Virajın yarıçapının bulunması için gerekli olan iki büyüklük vardır. Şekil 4.4.30 da görülen virajda kiriş uzunluğu 30 m olarak ölçülmüştür. Orta ordinat uzunluğu ise 8 m dir. Virajın yarıçapını bulunuz.

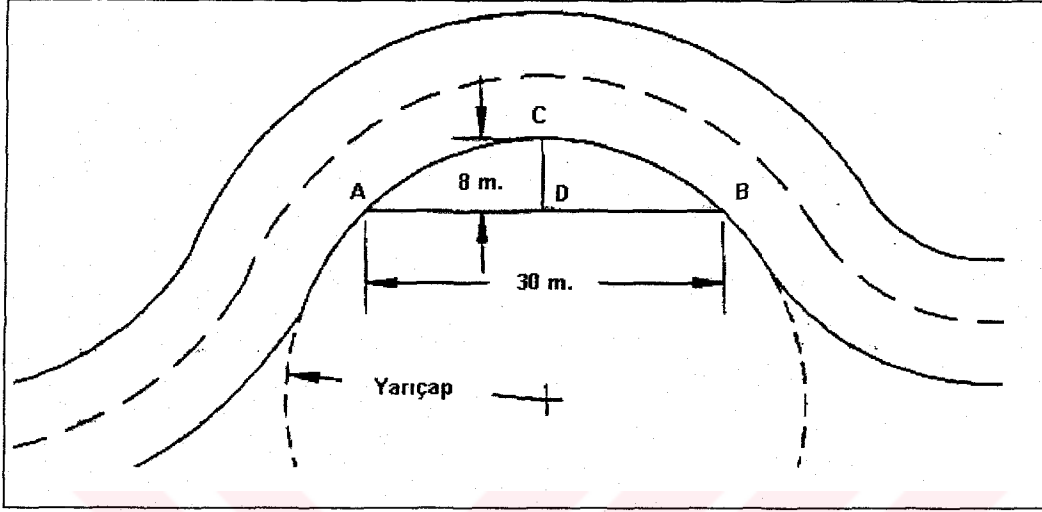
Bilinenler:

Kiriş uzunluğu = 30 m

Orta ordinat uzunluğu = 8 m

Virajın Yarıçapı:

$$R = \frac{30^2}{8(8)} + \frac{8}{2} = 18 \text{ m}$$



Şekil 4.4.30: Viraj yarıçapının hesaplanması.

30. Virajda taşıtın kayma ve devrilme hızlarının hesaplanması.

Bu konuda, taşıtın virajda devrilmeden ve kayarak yoldan çıkmadan yapabileceği maksimum hız incelenecektir

Konu ile ilgili denklemler:

$$V_k = \sqrt{9.81 \times R \times f} \quad (4.75)$$

$$V_d = \sqrt{(9.81 \times R \times d) / 2h} \quad (4.76)$$

V_k = Taşıtın virajda, dışa doğru kayarak yoldan çıkmadan yapabileceği maksimum hız. (km/h)

V_d = Taşıtın virajda, devrilmeden yapabileceği maksimum hız. (km/h)

R = Virajın yarıçapı (m)

d = Arka dingil uzunluğu (m)

h = Ağırlık merkezinin yoldan yüksekliği (m)

f = Yol/tekerlek arası sürtünme katsayısı.

Örnek: Taşıt yarıçapı 45 m olan bir viraja giriyor. Yol ile tekerlek arası sürtünme katsayısı 0.6. Taşıtın arka dingil uzunluğu 1.5 m ve ağırlık merkezinin yoldan yüksekliği 0.5 m dir. Taşıtın a) yoldan kayarak çıkmaksızın b) devrilmeden hareket edebileceği maksimum. hızı bulunuz. (Şekil 4.4.31)

Bilinenler:

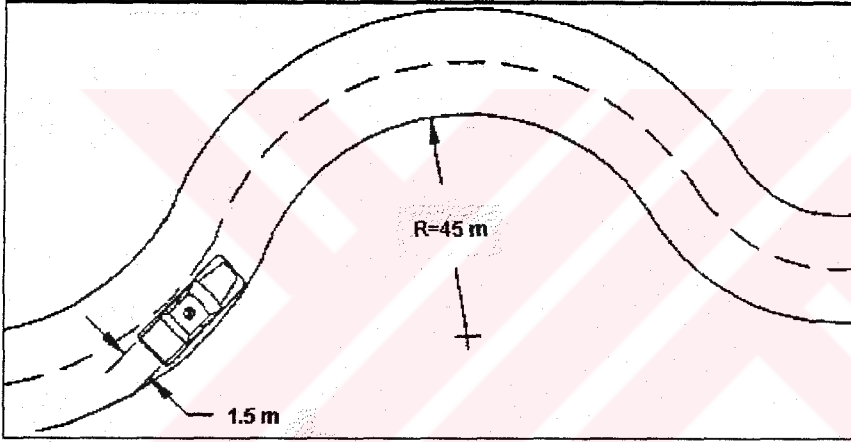
Virajın yarıçapı	45 m
Arka dingil uzunluğu	1.5 m
Ağırlık merkezinin yerden yüksekliği	0.5 m
Sürtünme katsayısı	0.6

a) Taşıtın kayarak yol dışına çıkmadan yapabileceği maksimum hız:

$$V_k = \sqrt{(9.81 \times 45 \times 0.6)} \times 3.6 = 58.58 \text{ km/h}$$

b) Taşıtın devrilmeden yapabileceği maksimum hız:

$$V_d = \sqrt{\frac{9.81 \times 45 \times 1.5}{2 \times 0.5}} \times 3.6 = 92.64 \text{ km/h}$$



Şekil 4.4.31: Taşıtın virajı devrilmeden veya yol dışına kaymadan emniyetli biçimde alabilmesi yapabileceği maksimum hız.

31. Virajı alan taşıtın kritik hızı

Bu konuda taşıtın virajı devrilmeden emniyetli biçimde alması için maksimum hızın tespiti yapılır.

Konu ile ilgili denklemler:

$$V = 3.6 \times \sqrt{\left(9.81 \times \frac{Rd}{2h}\right)} \quad (4.77)$$

V= Taşıtın virajda devrilmeden yapabileceği maksimum hız. (km/h)

R= Viraj yarıçapı (m)

d= Arka dingil uzunluğu (m)

h= Ağırlık merkezinin yerden yüksekliği (m)

f= Yol ile tekerlek arası sürtünme katsayısı

Örnek: Taşıt yarıçap uzunluğu 29 m olan viraja giriyor. Taşıtın ağırlık merkezinin yerden yüksekliği 0.5 m ve arka dingil uzunluğu 1.06 m dir. Taşıtın virajda devrilmeden yapabileceği maksimum hızı hesaplayınız. (Şekil 4.4.32)

Bilinenler:

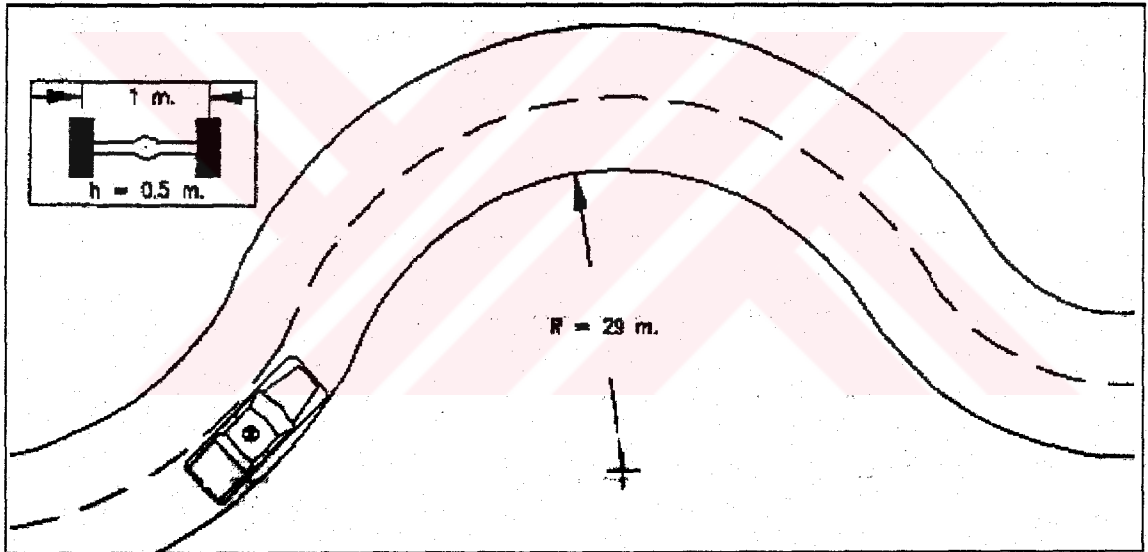
Virajın yarıçapı = 29 m

Arka dingil uzunluğu = 1.06 m

Ağırlık merkezinin yerden yüksekliği = 0.5 m

Maksimum Hız:

$$V = 3.6 \sqrt{\left(9.81 \frac{29 \times 1.06}{2 \times 0.5}\right)} = 62.52 \text{ km / h}$$



Şekil 4.4.32: Virajda hareket eden taşıtın kritik hızı çok önemlidir.

32. Virajda, taşıtın yanal kaymaya başladığı andaki hızı.

Konu ile ilgili denklemler:

$$R = \frac{C^2}{8M} + \frac{M}{2}$$

$$V = 3.6 \sqrt{9.81 \times R \times f} \quad (4.78)$$

R= Virajın yarıçapı (m)

C= Kiriş uzunluğu (A noktasından B ye olan mesafe) (m)

M= Orta ordinat uzunluğu (C-D noktaları arası mesafe) (m)

V= Taşıt tekerleklerinin kaymaya başladığı andaki hızı (m/s)

f = Sürtünme katsayısı

Örnek: Virajı alan taşıt yaptığı manevra sonucu yanyola kaymaya başlar. Virajın yarıçapını bulmak için gerekli olan büyüklüklere ölçülmüştür. Bunlar; $C=106\text{m}$ ve $M=15\text{m}$ olarak bulunmuştur. Viraja giren taşıtın fren veya ivmelenme yapmadığı kabul ediliyor. Yol ile tekerlek arası sürtünme katsayısı 0.7 dir. (Şekil 4.4.33)

Bilinenler:

Kiriş uzunluğu = 106 m

Orta ordinat uzunluğu = 15 m

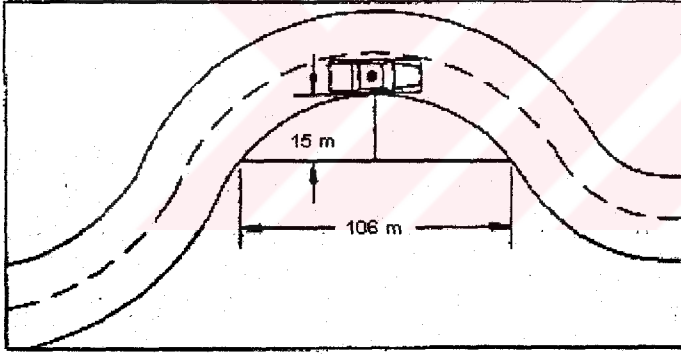
Sürtünme katsayısı = 0.7

Virajın yarıçapı:

$$R = \frac{106^2}{8(15)} + \frac{15}{2} = 101.13\text{ m}$$

Taşıtın yoldan yanyola doğru kaymaya başladığı andaki hızı:

$$V = 3.6\sqrt{9.81 \times 101.13 \times 0.7} = 94.82\text{ km/h}$$



Şekil 4.4.33: Virajda hareket eden taşıt belli bir hızın üstünde yanal kaymaya başlar.

33. Taşıtın yokuş eğimli virajda yoldan dışa doğru savrulmadan veya devrilmeden yapabileceği maksimum hız.

Konu ile ilgili denklemler:

$$V_k = \sqrt{9.81R(f + \tan \theta) / (1 - f \tan \theta)} \quad (4.79)$$

$$V_d = \sqrt{9.81R \left(h \tan \theta + \frac{1}{2d} \right) / \left(\frac{h-1}{2d \tan \theta} \right)} \quad (4.80)$$

V_k = Taşıtın yükseltilmiş virajda, dışa doğru kayarak yoldan çıkmadan yapabileceği maksimum hız. (km/h)

V_d = Taşıtın yükseltilmiş virajda, devrilmeden yapabileceği maksimum hız. (km/h)

R = Viraj yarıçapı (m)

d = Arka dingil uzunluğu (m)

h = Ağırlık merkezinin yoldan yüksekliği (m)

f = Sürtünme katsayısı

θ = Virajın eğim açısı

Örnek: Taşıt, yarıçapı 45 m ve 5° eğimli virajda hareket ediyor. Yol ile tekerlek arası sürtünme katsayısı 0.7 dir. Arka aks uzunluğu 1.5 m ve taşıtın ağırlık merkezinin yerden yüksekliği 0.5 m dir. a) Taşıtın yoldan dışarıya doğru savrulmadan b) devrilmeden yapabileceği maksimum hızı bulunuz.

Bilinenler:

Virajın yarıçapı	45 m
Arka dingil uzunluğu	1.5 m
Ağırlık merkezinin yerden yüksekliği	0.5 m
Yol ile tekerlek arası sürtünme katsayısı	0.7
Virajın eğim açısı	5°

a) Taşıtın yoldan dışarıya doğru savrulmadan yapabileceği maksimum hız.

$$V_k = \sqrt{\frac{9.81 \times 45(0.7 + \tan 5)}{1 - 0.7 \tan 5}} \times 3.6 = 69.28 \text{ km/h}$$

b) Taşıtın devrilmeden yapabileceği maksimum hız

$$V_k = \sqrt{\frac{9.81 \times 45(0.5 \tan 5 + 0.5 \times 1.5)}{(0.5 - 0.5 \times 1.5 \tan 5)}} \times 3.6 = 102.25 \text{ km/h}$$

34. Dik yokuş (super elevation) virajlarda taşıtın kritik hızı:

Konu ile ilgili denklemler:

$$V = 3.6\sqrt{g \times R(f + \tan \theta)} \quad (4.81)$$

V_{kr} = Kritik hız (km/h)
 R = Virajın yarıçapı (m)
 g = Yerçekim ivmesi
 f = Sürtünme katsayısı
 θ = Virajın eğim açısı

Örnek: Taşıt, yarıçapı 24 m ve 7° eğimli dik yokuş virajda hareket ediyor. Yol ile tekerlek arası sürtünme katsayısı 0.7 dir. Taşıtın kritik hızını bulunuz. (Şekil 4.4.34)

Bilinenler:

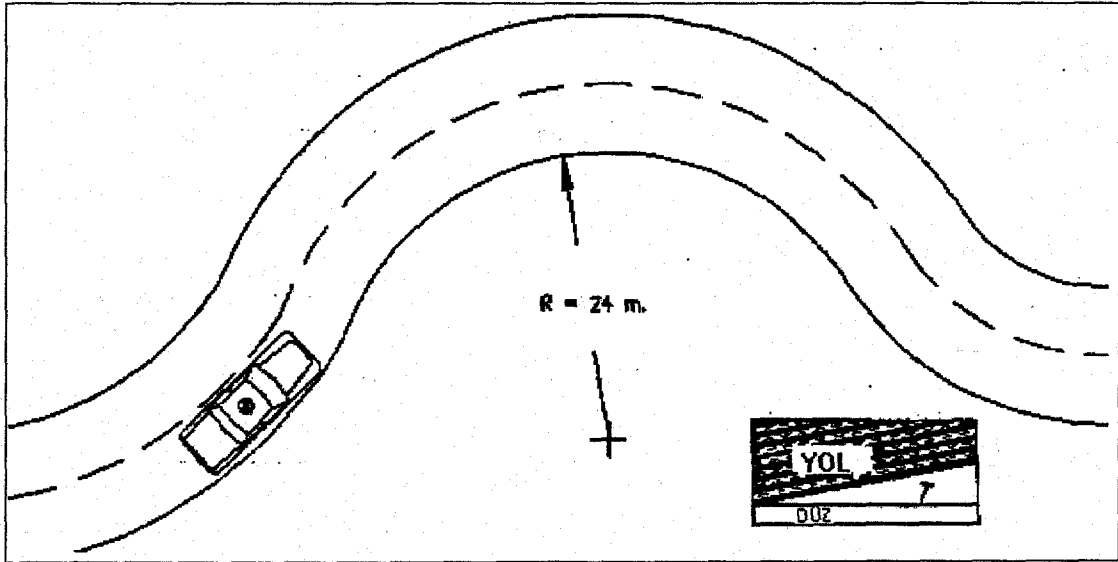
Virajın yarıçapı 24 m

Sürtünme katsayısı 0.7

Virajın eğim açısı 7°

Taşıtın kritik hızı:

$$V = 3.6\sqrt{9.81 \times 24(0.7 + \tan 7)} = 50.1 \text{ km/h}$$



Şekil 4.4.34: Dik yokuş virajdaki taşıtın kritik hızı.

35. Önden (Head-on) yapılan kazalarda tanıkların verdiği ifadelerin kontrolü.

Bu konu, kazaya karışmış taşıtların hızlarının tespitini sağlar. Taşıtların hızı sürücülerinin ifadelerinden yola çıkılarak bulunmuş ve görgü tanıklarının ifadeleri ile denetlenmiştir.

Konu ile ilgili denklemler:

$$U_1 = \left(\frac{m_2}{m_1} \right) (V_2 + U_2) + V_1 \quad (4.82)$$

$$U_1 = \left(\frac{m_1}{m_2} \right) (U_2 - V_1) - V_2 \quad (4.83)$$

$$V_1 = \sqrt{Ra_1} \quad (4.84)$$

$$V_2 = \sqrt{2a_2S_2} \quad (4.85)$$

U_1 = Çarpan taşıtın çarpışma öncesi hız (km/h)
 U_2 = Çarpılan taşıtın çarpışma öncesi hız (km/h)
 V_1 = Çarpan taşıtın çarpışma sonrası hız (km/h)
 V_2 = Çarpılan taşıtın çarpışma sonrası hız (km/h)
 m_1 = Çarpan taşıtın kütlesi (kg)
 m_2 = Çarpılan taşıtın kütlesi (kg)
 R = Çarpışma noktasından taşıtın duruncaya kadar izlemiş olduğu eğrinin yarıçapı (m)
 S = Çarpılan taşıtın yatay ekseninde almış olduğu yol
 a_1 = Çarpan taşıtın yavaşlama ivmesi m/s^2
 a_2 = Çarpılan taşıtın yavaşlama ivmesi m/s^2
 f = Sürtünme katsayısı

Örnek: 2086 kg kütlesindeki 1 nolu taşıt , 1420 kg kütlesindeki 2 nolu taşıta önden çarpıyor ve 2 nolu taşıtı 2 m geri itiyor. Çarpışmanın sonucu olarak; 1 nolu taşıtın ön takımları hasar görüyor ve bu nedenle de sert açıyla yaklaşık 18 m yarıçapında eğri yörünge izliyor. Hava açık, yol kuru. 1 nolu taşıt çarpışma sonrası izlediği, merkezkaç kuvvetinin etkisi altında sürtünme katsayısı 0.4 dür. 2 nolu taşıt için ise sürtünme katsayısı 0.7 dir. (Şekil 4.4.35)

1 nolu taşıtın sürücüsü 40 km/h hız ile gittiğini idda ederken, 2 nolu taşıtın sürücüsü 1 nolu taşıtın sürücüsünü 65 km/h hızdan fazla gitmek ile suçluyor. Bu durumda, 2 nolu taşıtın sürücüsünün ifadesi onun çarpışma öncesi verdiği tahmini hız kullanılarak kontrol edilebilir. 2 nolu taşıtın sürücü ifadesinde yaklaşık 40 km/h hız ile gittiğini söylüyor.

Bilinenler:

1 nolu taşıtın kütlesi = 2086 kg

2 nolu taşıtın kütlesi = 1419 kg

1 nolu taşıtın duruncaya kadar izlemiş olduğu eğrinin yarıçapı = 18 m

Çarpışma sonrası 2 nolu taşıtın ters istikamette aldığı yol = 2 m

1 nolu taşıtın yavaşlama ivmesi 0.4×9.81 = 3.92 m/s^2

1 nolu taşıtın yavaşlama ivmesi 0.7×9.81 = 6.86 m/s^2

1 nolu taşıtın sürücüsünün çarpışma öncesi hız ifadesi $40 \text{ km/h} \times 0.2778$..= 11.11 m/s

2 nolu taşıtın sürücüsünün çarpışma öncesi hız ifadesi $40 \text{ km/h} \times 0.2778$..= 11.11 m/s

$$V_1 = \sqrt{(18 \times 3.92)} = 8.4 \text{ m/s}$$

$$V_2 = \sqrt{(2 \times 6.86 \times 2)} = 5.23 \text{ m/s}$$

1 nolu taşıtın hesaplanan çarpışma öncesi gerçek hızı:

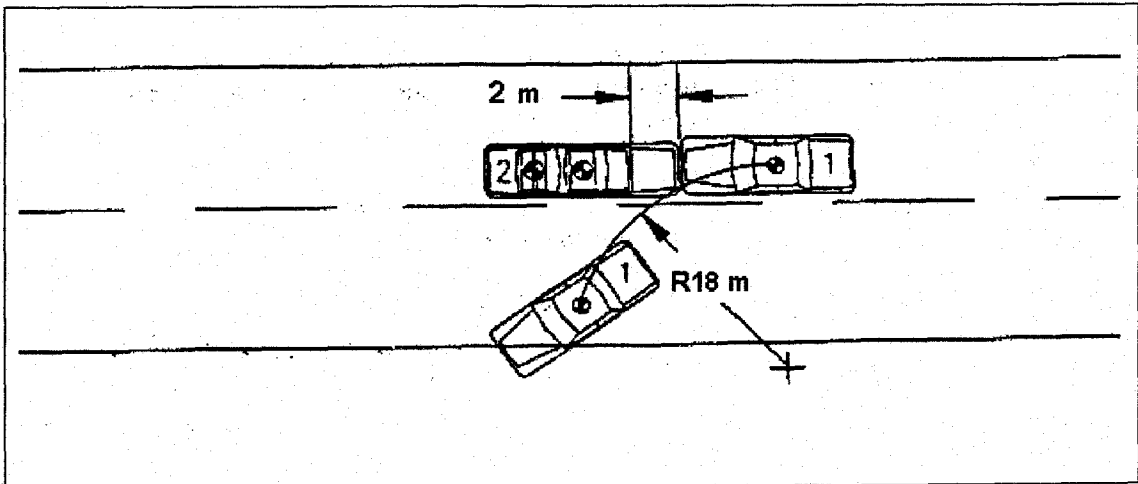
$U_2 = 11.11 \text{ m/s}$ olduğu kabul ediliyor. Çünkü 2 nolu sürücünün ifadesi kontrol ediliyor.

$$U_1 = \left(\frac{1419}{2086} \right) (11.11 + 5.23) + 8.4 = 19.51 \times 3.6 = 70.26 \text{ km/h}$$

2 nolu taşıtın hesaplanan çarpışma öncesi gerçek hızı:

$$U_2 = \left(\frac{2086}{1419} \right) (19.51 - 8.4) - 5.23 = 11.1 \times 3.6 = 40 \text{ km/h}$$

Sonuçtan da görüldüğü üzere 2 nolu sürücünün ifadesi doğruluğunu kanıtlıyor.



Şekil 4.4.35: Sürücülerin verdikleri ifadelerin doğruluğu yukarıdaki gibi kanıtlanabilir.

36. Zıt yönde farklı hızlarda hareket eden taşıtların kafa kafaya çarpışma sonrası ortak hızları:

Bu konuda aynı kütlede farklı hızlarda birbirine ters yönde hareket eden iki taşıtın ortalama hız değişimleri tespit edilir.

Konu ile ilgili denklemler:

$$V_{ORT} = \frac{(m_1 V_1 + m_2 V_2)}{(m_1 + m_2)} \quad (4.86)$$

V_1 = Çarpışma öncesi 1 nolu taşıtın hızı (km/h)

V_2 = Çarpışma öncesi 2 nolu taşıtın hızı (km/h)

V_{ort} = Çarpışma sonrası ortalama hızı (km/h)

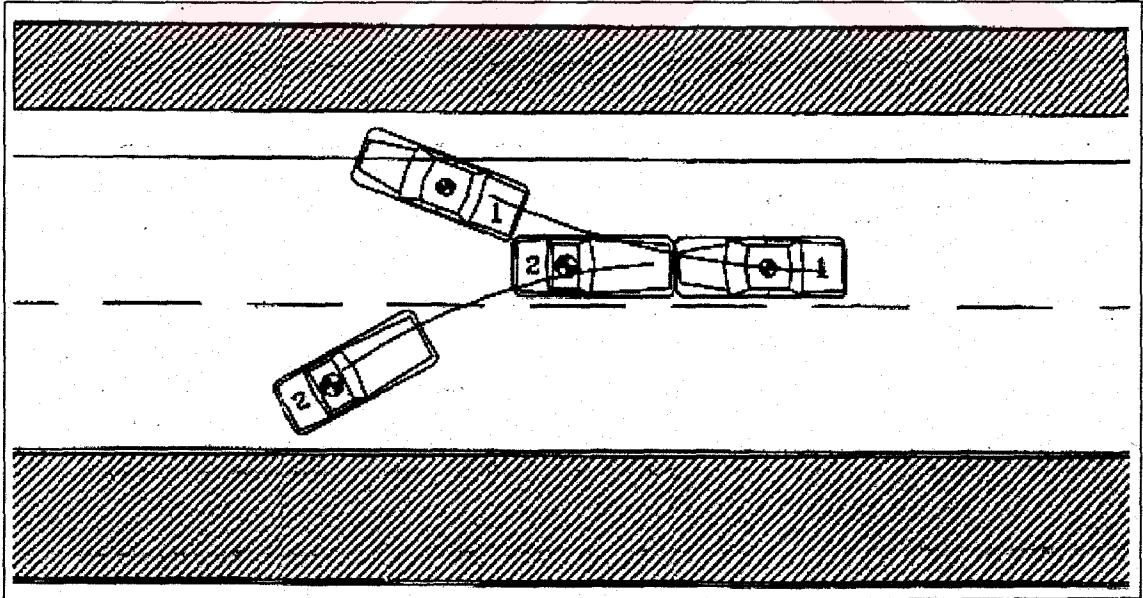
m_1 = 1 nolu taşıtın kütlesi (kg)

m_2 = 2 nolu taşıtın kütlesi (kg)

Örnek: 1812 kg kütlesindeki 1 nolu taşıt 65 km/h hızında hareket ederken karşı yönden gelen 2 nolu 1812 kg kütlesindeki taşıt ile çarpışıyor. 2 nolu taşıtın hızı 56 km/h dir. Ortalama hızı bulunuz. (Şekil 4.4.36)

Çarpışma sonrası her iki taşıtın tahmini ortak hızı:

$$V_{ort} = \frac{(1812)(65) + (1812)(-56)}{(1812 + 1812)} = 60.48 \text{ km/h}$$



Şekil 4.4.36: Zıt yönde hareket eden iki taşıtın kafa kafaya çarpışma sonrası ortak hızları.

37. Kafa kafaya önden çarpışma

Bu konu önden çarpışan iki taşıtın çarpışma başlangıcında ki hızlarının tespitini sağlar.

Diğer taşıtın hızı gibi bilgiler için bazı kabuller veya sonuca yeterince yaklaşacak şekilde iterasyonlar yapılabilir.

Konu ile ilgili denklemler:

$$U_1 = \frac{m_1 V_1 \cos \theta_1 + m_2 V_2 \cos \theta_2 + m_2 U_2}{m_1} \quad (4.87)$$

U_1 = 1 nolu taşıtın çarpışma öncesi hızı (km/h)

U_2 = 2 nolu taşıtın çarpışma öncesi hızı (km/h)

m_1 = 1 nolu taşıtın kütlesi (kg)

m_2 = 2 nolu taşıtın kütlesi (kg)

V_1 = 1 nolu taşıtın çarpışma sonrası hızı (km/h)

V_2 = 2 nolu taşıtın çarpışma sonrası hızı (km/h)

θ_1 = 1 nolu taşıtın çarpışma sonu hareket açısı

θ_2 = 2 nolu taşıtın çarpışma sonu hareket açısı

Örnek: Karanlık yolda gece hareket eden 1663 kg kütlesindeki 1 nolu taşıt 914 kg kütlesindeki 2 nolu taşıta önden dik açıda çarpıyor. Yoldaki hız limiti 65 km/h bu nedenle bu 2 nolu taşıtın çarpışma başlangıç hızı olarak kabul edilebilir. Çarpışma sonu hareket açısı 1 nolu taşıt için 20° ve 2 nolu taşıt için 60° bulunmuştur. 1 nolu taşıt için çarpışma sonu hız 100 km/h ve 2 nolu taşıt için 30 km/h olarak bulunmuştur. Buna göre 1 nolu taşıtın çarpışma başlangıç hızını bulunuz. (Şekil 4.4.37)

Bilinenler:

1 nolu taşıtın çarpışma sonu hızı..... 100 km/h

2 nolu taşıtın çarpışma sonu hızı..... 30 km/h

2 nolu taşıtın çarpışma başlangıç hızı (Hız limitine göre kabul edildi)..... 65 km/h

1 nolu taşıtın kütlesi 1663 kg

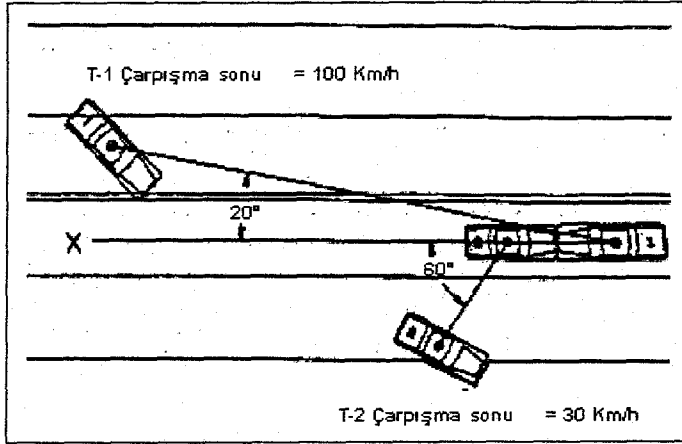
2 nolu taşıtın kütlesi 914 kg

1 nolu taşıtın çarpışma sonu hareket açısı 20°

2 nolu taşıtın çarpışma sonu hareket açısı 60°

1 Nolu taşıtın çarpışma öncesi hızı:

$$U_1 = \frac{1663 \times 100 \times \cos 20 + 914 \times 30 \times \cos 60 + 914 \times 65}{1663} = 137.94 \text{ km/h}$$



Şekil 4.4.37: İki taşıtın kafa kafaya çarpışması.

38. Öndeki taşıtı takip eden başka bir aracın ani fren ile arkadan çarpması.

Bu konuda, öndeki taşıtın genellikle ani trafik durumları nedeniyle fren yapması ve arkadaki taşıtın takip mesafesini yeterince koruyamaması sebebiyle öndeki taşıta arkadan çarpması durumu incelenecektir.

Konu ile ilgili denklemler:

$$V = \sqrt{(V_1^2 - 2aS_1)} \quad (4.88)$$

$$v = \frac{V + V_1}{2} \quad (4.89)$$

$$t = \frac{S_1}{v} \quad (4.90)$$

$$S_2 = t \times S_1 \quad (4.91)$$

$$S = S_2 - S_1 \quad (4.92)$$

V = 1 nolu taşıtın çarpışma başlangıcındaki hızı (m/s)

V_1 = Kazadan önceki her iki taşıtın sabit hızı (m/s)

v = 1 nolu taşıtın kayma sırasındaki ortalama hızı (m/s)

t = 1 nolu taşıtın kayma süresi (s)

S_2 = 2 nolu taşıtın emniyetli durması için bırakması gereken minimum mesafe (m)

S = 2 nolu taşıtın takip mesafesi (m)

S_1 = 1 nolu taşıtın tekerlek izi (m)

a = Yavaşlama ivmesi (m/s^2)

Örnek: 2 nolu taşıt 1 nolu taşıt aynı hızda 88 km/h ile takip ediyor. 1 nolu taşıt herhangi bir sinyal vermeden aniden duruyor ve arkadan gelen 2 nolu taşıt 1 nolu taşıta arkadan çarparak onu 36 m ileriye sürüklüyor. Yol ile tekerlek arası sürtünme katsayısı 0.7 olduğuna göre 2 nolu taşıtın takip mesafesini bulunuz. (Şekil 4.4.38)

Bilinenler:

1 nolu taşıtın kaymaya başladığı andaki hızı 88×0.2778	24.44 m/s
1 nolu taşıtın tekerlek izi uzunluğu	36 m
Taşıtın ivmesi 0.7×9.81	6.86 m/s ²

1 nolu taşıtın çarpışma anındaki hızı:

$$V = \sqrt{(24.44^2 - 2 \times 6.86 \times 36)} = 10.18 \times 3.6 = 36.66 \text{ km / h}$$

1 nolu taşıtın kayma periyodundaki ortalama hızı:

$$v = \frac{10.18 + 24.44}{2} = 17.31 \text{ m / s}$$

1 nolu taşıtın kayma süresi

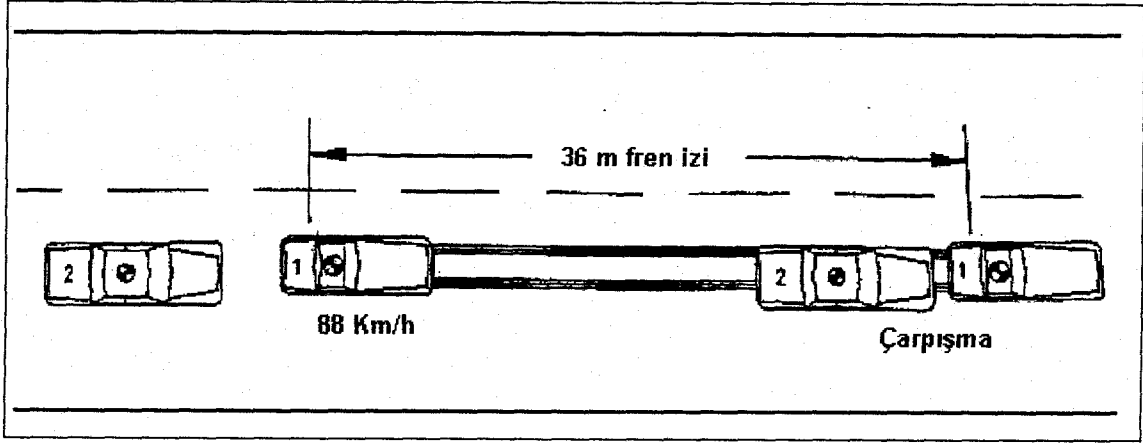
$$t = \frac{36}{17.31} = 2.07 \text{ s}$$

2 nolu taşıtın emniyetli sürüş için bırakması gereken mesafe:

$$S_2 = 2.07 \times 24.44 = 50.6 \text{ m}$$

2 nolu taşıtın gerçekte olan takip mesafesi:

$$S = 50.6 - 36 = 14.6 \text{ m}$$



Şekil 4.4.38: 1 nolu taşıtı takip eden 2 nolu taşıt, 1 nolu taşıtın ani durması nedeniyle kaza meydana getiriyor.

39. Öndeki taşıtı takip eden başka bir taşıtın arkadan çarpması ve çarpışma sonrası her iki taşıtın tek bir kütle olarak hareketi.

Bu konu, çarpışma sonrası her iki taşıtında tek bir kütle olarak hareket ettiği arkadan çarpışmalarda hız ve kayma süresinin tespitini sağlar.

Konu ile ilgili denklemler:

$$a = gf$$

$$V = \sqrt{U_1^2 - 2ad} \quad (4.93)$$

$$v = \frac{V + U_1^2}{2} \quad (4.94)$$

$$t = \frac{d_1}{V_1} \quad (4.95)$$

$$d = d_1 + d_2 \quad (4.96)$$

$$U_2 = \left(\frac{d + at^2/2}{t} \right) \quad (4.97)$$

V = Çarpışma anında her iki taşıtın hızı (m/s)

V_1 = Kazadan önceki her iki taşıtın sabit hızı (m/s)

v = 1 nolu taşıtın kayma sırasındaki ortalama hızı (m/s)

t = Her iki taşıtın kayma süresi (s)

d = Her iki taşıtın toplam kayma uzunluğu (m)

d_1 = 1 nolu taşıtın kayma mesafesi (m)

d_2 = 2 nolu taşıtın 1 nolu taşıt kaymaya başlamadan önceki kayma mesafesi (m)

U_2 = Çarpışma öncesi 2 nolu taşıtın hızı (m/s)

U_1 = Çarpışma öncesi 1 nolu taşıtın hızı (m/s)

a = Yavaşlama ivmesi (m/s^2)

Örnek: 1 nolu taşıt 80 km/h hızla hareket ederken, 2 nolu taşıt 1 nolu taşıt ile 18 m takip mesafesi bırakarak arkadan geliyor. Her iki sürücüde aynı anda frene basıyor. 1 nolu taşıt 24 m kayıyor. 2 nolu taşıt ise 1 nolu taşıta arkadan çarparak her iki taşıt tek bir kütle olarak hareket ediyorlar. Yol ile tekerlek arası sürtünme katsayısı 0.7 dir. 2 nolu taşıtın çarpışma öncesi hızını bulunuz. (Şekil 4.4.39)

Bilinenler:

$$1 \text{ nolu taşıtın kaza öncesi hızı } 80 \times 0.2778 \dots\dots\dots = 22.34 \text{ m/s}$$

$$1 \text{ nolu taşıtın çarpışma öncesi kayma izi uzunluğu} \dots\dots\dots = 24 \text{ m}$$

$$\text{Takip mesafesi} \dots\dots\dots = 18 \text{ m}$$

$$\text{Sürtünme katsayısı } 0.7 \times 9.81 \dots\dots\dots = 6.86 \text{ m/s}^2$$

Çarpışma anında her iki taşıtın ortak hızı:

$$V = \sqrt{(22.34^2 - 2 \times 6.86 \times 24)} = 13.03 \times 3.6 = 46.9 \text{ km/h}$$

Kayma süresi:

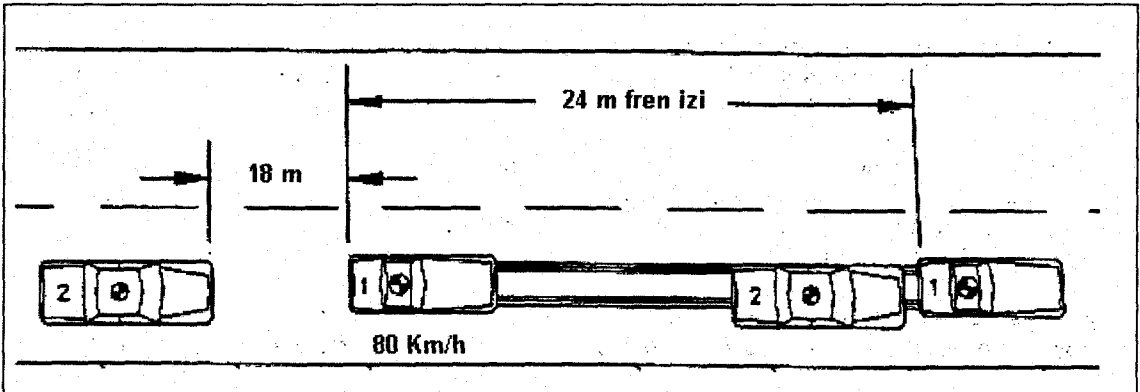
$$v = \frac{13.03 + 22.34}{2} = 17.68 \text{ m/s}$$

$$t = \frac{24}{17.68} = 1.35 \text{ s}$$

2 nolu taşıtın çarpışma öncesi hızı:

$$d = 24 + 18 = 42 \text{ m}$$

$$U_2 = \frac{42 + 6.86(1.35)^2}{1.35} = 35.74 \times 3.6 = 128.6 \text{ km/h}$$



Şekil 4.4.39: Öndeki taşıta arkadan çarpan taşıt çarpışma sonrası tek kütle olarak hareket edebilir.

40. Taşıt duruş halinden harekete geçer ve dik açıda köşeyi dönerek trafiğe katılır, bu sırada arkadan gelen taşıt duramayarak öndeki taşıta çarpar.

Trafik ışıklarında veya dur trafik levhasında durmakta olan taşıt harekete geçer ve sağa dönerek trafiğe katılır. Bu sırada aynı şerit üzerinde ve aynı yönde hareket eden arkadan gelen taşıt hızı nedeniyle duramayarak öndeki taşıta çarpar. 2 nolu taşıtın ivmelenme süresi gibi bazı bilgilerin edinilmesi amacı ile test sürüşü yapılır.

Konu ile ilgili denklemler:

$$V_1 = \sqrt{2g \times d_1 \times t_1 \times f} \quad (4.98)$$

$$t_1 = \frac{V_1}{f \times g} \quad (4.99)$$

$$V_2 = \frac{2d_2}{t_2} \quad (4.100)$$

$$a = \frac{V_2}{t_2} \quad (4.101)$$

V_1 = Takip eden taşıtın kayma öncesi hızı (m/s)

V_2 = 2 nolu taşıtın çarpışma öncesi hızı (m/s)

t_1 = Takip eden taşıtın kayma sonrası hareket süresi (s)

t_2 = Test taşıtının ivmelenme süresi (s)

a = Takip edilen taşıtın ivmesi (m/s²)

d_1 = Takip eden taşıtın kayma izi uzunluğu (m)

d_2 = Takip edilen taşıtın ivmelenme süresince aldığı yol (m)

f = Sürtünme katsayısı

Örnek: Anayol üzerinde hareket etmekte olan 1 nolu taşıt , 2 nolu taşıtın sağ yoldan kendi şeritine girdiğini görüyor ve 1 nolu taşıt fren yapıyor, bu sırada 2 nolu taşıt ise duruş konumundan 36 m ileri hareket ettiği noktada 1 nolu taşıt arkadan çarpıyor. 1 nolu taşıt çarpışma öncesi 61 m fren yapıyor. 2 nolu taşıtın benzeri ile test sürüşü yapılıyor ve test taşıtı 36 m 7 sn içerisinde aldığı tespit ediliyor. Yol ile tekerlek arası sürtünme katsayısı 0.7 dir. Her iki taşıtın çarpışma öncesi hızlarını, 1 nolu taşıtın fren süresini, 2 nolu taşıtın ivmesini bulunuz. (Şekil 4.4.40)

Bilinenler:

1 nolu taşıtın fren izi uzunluğu = 61 m

2 nolu taşıtın ivmelenme sonucu aldığı yol = 36 m

Test sürüşü sonucu bulunan ivmelenme süresi = 7 s

Sürtünme katsayısı = 0.7

1 nolu taşıtın kaymaya başlamadan önceski hızı:

$$V_1 = \sqrt{2 \times 9.81 \times 61 \times 0.7} = 28.94 \times 3.6 = 104 \text{ km/h}$$

1 nolu taşıtın fren süresi:

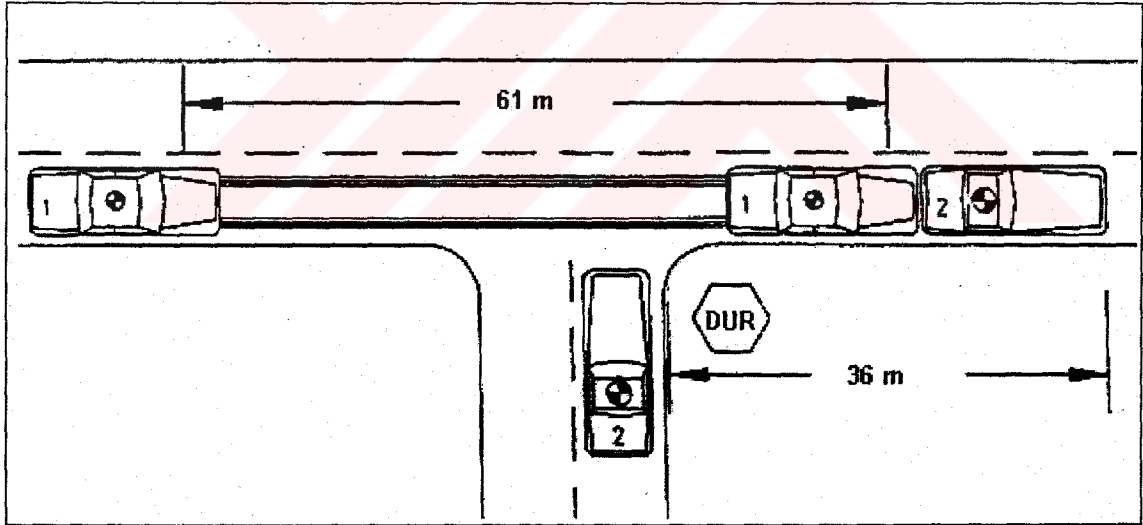
$$t_1 = \frac{28.94}{0.7 \times 9.81} = 4.21 \text{ s}$$

2 nolu taşıtın çarpışma öncesi hızı:

$$V_2 = \frac{2 \times 36}{7} = 10.28 \times 3.6 = 37 \text{ km/h}$$

2 nolu taşıtın ivmesi:

$$a = \frac{10.28}{7} = 1.46 \text{ m/s}^2$$



Şekil 4.4.40: 1 nolu taşıt 2 nolu taşıta 61 m fren izi sonrası çarpar.

41. Park halindeki taşıta çarpan otomobilin kayma hızı:**Konu ile ilgili denklemler:**

$$V_1 = \sqrt{\left(\frac{2E}{m_1}\right)} \quad (4.102)$$

$$E = Fr_1 + Fr_2 \quad (4.103)$$

$$Fr_1 = W_1 \times f \times S_1 \quad (4.104)$$

$$Fr_2 = W_2 \times f \times S_2 \quad (4.104)$$

V_1 = Çarpan taşıtın hızı (m/s)

E = Her iki taşıtın birleşik enerjisi (J)

Fr_1 = Çarpan taşıtın enerjisi (J)

Fr_2 = Çarpılan taşıtın enerjisi (J)

W_1 = Çarpan taşıtın ağırlığı (N)

W_2 = Çarpılan taşıtın ağırlığı (N)

S_1 = Çarpan taşıtın lastik izlerinin uzunluğu (m)

S_2 = Çarpılan taşıtın lastik izlerinin uzunluğu (m)

m_1 = Çarpan taşıtın kütlesi (kg)

Örnek: 1517 kg kütlesindeki 1 nolu taşıt 2508 kg kütlesindeki park halindeki diğer taşıta çarparak onu 11 m sürüklüyor. 1 nolu taşıt çarpıncaya kadar 23 m fren izi bırakıyor. 1 nolu taşıtın çarpışma öncesi hızını bulabilmek amacı ile sürtünme katsayısı 0.4 kabul ediliyor. 1 nolu taşıtın çarpışma öncesi hızı nedir. (Şekil 4.4.41)

Bilinenler:

Çarpan taşıtın kütlesi 1517×9.81	14881 N
Park halindeki 2 nolu taşıtın kütlesi 2508×9.81	24603 N
Çarpan 1 nolu taşıtın fren izi uzunluğu	23 m
Park halindeki 2 nolu taşıtın lastik izi uzunluğu	11 m
Sürtünme katsayısı	0.4

Çarpan taşıtın enerjisi :

$$Fr_1 = 14881 \times 0.4 \times 23 = 136905 \text{ J}$$

Çarpılan taşıtın enerjisi:

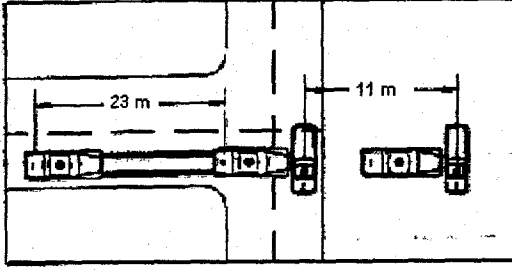
$$Fr_2 = 246 \times 0.4 \times 11 = 108253 \text{ J}$$

Her iki taşıtın toplam enerjisi:

$$E = 136905 + 108253 = 245158 \text{ J}$$

1 nolu taşıtın kaymaya başlamadan önceki hızı:

$$V_1 = \sqrt{\frac{2 \times 245158}{1517}} = 17.97 \times 3.6 = 64.7 \text{ km/h}$$



Şekil 4.4.41: Park halindeki taşıta çarpan otomobilin hızı.

42. Çarpışma öncesi her iki taşıt sürücüsünde kaza olacağını farkında olduğu arkadan çarpma durumunun incelenmesi.

Bu konuda, çarpışma öncesi algılama reaksiyon gösterme zamanı, takip mesafesine bağlı olarak taşıtın hızı hesaplanacaktır.

Konu ile ilgili denklemler:

$$V_0 = \sqrt{(V_1^2 - 2aS_1)} \quad (4.104)$$

$$v_0 = \frac{V_0 + V_1}{2} \quad (4.105)$$

$$t_1 = \frac{S_1}{v_0} \quad (4.106)$$

$$t = t_1 - t_2 \quad (4.107)$$

$$S = V_1 \times t \quad (4.108)$$

$$S_3 = S_1 - S_2 \quad (4.109)$$

$$S_4 = S - S_3 \quad (4.110)$$

$$V_E = \sqrt{(V_1^2 - 2aS_2)} \quad (4.111)$$

$$v_e = \frac{V_E + V_1}{2} \quad (4.112)$$

$$t_2 = \frac{S_2}{v_e} \quad (4.113)$$

- V_1 = Her iki taşıtın kaymaya başlamadan önceki sabit hızları (m/s)
 V_0 = 1 nolu taşıtın çarpışma öncesi hızı (m/s)
 V_E = 2 nolu taşıtın çarpışma öncesi hızı (m/s)
 v_0 = 1 nolu taşıtın frenleme sırasındaki ortalama hızı. (m/s)
 v_e = 2 nolu taşıtın frenleme sırasındaki ortalama hızı. (m/s)
 t_1 = 1 nolu taşıtın fren süresi. (s)
 t_2 = 2 nolu taşıtın fren süresi. (s)
 t = 2 nolu taşıtın algılama, reaksiyon gösterme zamanı (s)
 s = 2 nolu taşıtın algılama, reaksiyon gösterme zamanı süresince aldığı yol. (m)
 S_3 = 1 nolu taşıtın fren yapmaya başladığı nokta ile 2 nolu taşıtın fren yapmaya başladığı nokta arasındaki mesafe. (m)
 S_4 = Takip mesafesi. (m)
 a = İvme (m/s^2)
 f = Yol ile tekerlek arası sürtünme katsayısı.

Örnek: 2 nolu taşıt 1 nolu taşıtı aynı ve 88 km/h (24.44 m/s) sabit hızla takip ediyor. 1 nolu taşıt fren yapıyor ve bu fren ile 2 nolu taşıt arkadan çarpmadan önce 36 m kayıyor. 2 nolu taşıt ise 1 nolu taşıta çarpmadan önce 15 m kayıyor. Yol asfalt ve kuru, Yol ile tekerlek arası sürtünme katsayısı 0.7. (Şekil 4.4.42) Buna göre;

- 1 nolu taşıtın çarpışma öncesi hızını
- 2 nolu taşıtın çarpışma öncesi hızını
- 2 nolu taşıt sürücüsünün algılama reaksiyon gösterme zamanını.
- 2 nolu taşıtın reaksiyon gösterme süresi boyunca aldığı yolu
- 1 nolu taşıtın fren yaptığı nokta ile 2 nolu taşıtın fren yapmaya başladığı nokta arasındaki mesafe.
- 2 nolu taşıtın takip mesafesini bulunuz.

Bilinenler:

Her iki taşıtın fren öncesi hızları 88 km/h x 0.2778	24.44 m/s
1 nolu taşıtın fren izi uzunluğu	36 m
2 nolu taşıtın fren izi uzunluğu	15 m
Yavaşlama ivmesi 0.7 x 9.81	6.86 m/s ²

a) 1 nolu taşıtın çarpışma öncesi hızı

$$V_0 = \sqrt{24.44^2 - 2 \times 6.86 \times 36} = 10.16 \times 3.6 = 36.57 \text{ km/h}$$

b) 2 nolu taşıtın çarpışma öncesi hızı

$$V_E = \sqrt{24.44^2 - 2 \times 6.86 \times 15} = 19.78 \times 3.6 = 71.2 \text{ km/h}$$

c) 2 nolu taşıt sürücüsünün algılama reaksiyon gösterme zamanını.

1 nolu taşıtın fren boyunca ortalama hızı

$$v_0 = \frac{10.16 + 24.44}{2} = 17.3 \text{ m/s}$$

1 nolu taşıtın fren süresi

$$t_1 = \frac{36}{17.3} = 2.08 \text{ s}$$

2 nolu taşıtın fren boyunca ortalama hızı

$$v_e = \frac{19.78 + 24.44}{2} = 22.11 \text{ m/s}$$

2 nolu taşıtın fren süresi

$$t_2 = \frac{15}{22.11} = 0.67 \text{ s}$$

2 nolu taşıt sürücüsünün reaksiyon zamanı

$$t = 2.08 - 0.67 = 1.41 \text{ s}$$

d) 2 nolu taşıtın reaksiyon gösterme süresince aldığı yolu

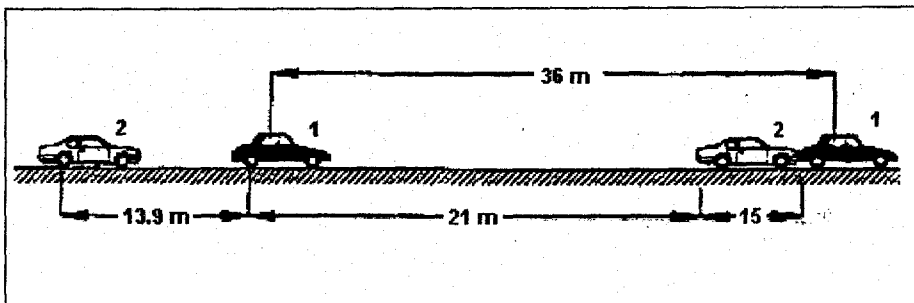
$$S = 24.44 \times 1.41 = 34.36 \text{ m}$$

e) 1 nolu taşıtın fren yaptığı nokta ile 2 nolu taşıtın fren yapmaya başladığı nokta arasındaki mesafe.

$$S_3 = 36 - 15 = 21 \text{ m}$$

f) 2 nolu taşıtın takip mesafesini bulunuz.

$$S_4 = 34.36 - 21 = 13.36 \text{ m}$$



Şekil 4.4.42: Arkandan çarpma durumu.

43. Arkadan yapılan paralel çarpışma

Bu konuda, park halinde bulunan taşıta çarpan diğer taşıtın hızı tespit edilecektir.

Konu ile ilgili Denklemler:

$$V = \sqrt{\frac{2S(m_1 a_1 + m_2 a_2)}{(m_1 + m_2)}} \quad (4.114)$$

$$V_1 = V \times \frac{m_1 + m_2}{m_1} \quad (4.115)$$

$$u = \sqrt{V_1^2 + 2a_1 S} \quad (4.116)$$

$$DM = \frac{m_1 V_1^2}{2} - (m_1 + m_2) \frac{V^2}{2} \quad (4.117)$$

S = Park halindeki taşıtın çarpma sonucu aldığı yol. (m)

m_1 = 1 nolu taşıtın kütlesi (kg)

m_2 = 2 nolu taşıtın kütlesi (kg)

a_1 = 1 nolu taşıtın yavaşlama ivmesi. (m/s^2)

a_2 = 2 nolu taşıtın yavaşlama ivmesi. (m/s^2)

V = Çarpışma sonrası hız. (m/s)

V_1 = Çarpan 1 nolu taşıtın çarpışma anındaki hızı. (m/s)

U = Çarpan 1 nolu taşıtın çarpışma öncesi hızı. (m/s)

f = Yol ile tekerlek arası sürtünme katsayısı

DM = Deformasyon enerjisi (J)

Örnek: 1800 kg kütlesindeki 2 nolu taşıt, 1500 kg kütlesindeki 1 nolu taşıt tarafından takip edilmektedir. 2 nolu taşıt sürücüsü önceden hiçbir ikaz vermeden durur ve taşıtı sağa çeker. 1 nolu taşıtın sürücüsü, 2 nolu taşıtı solundan geçebileceğini düşünür fakat aniden karşısına yaya çıkar. 1 nolu taşıtın sürücüsü yayada kaçabilmek için direksiyonu sağa çevirir ve park etmekte olan 2 nolu taşıta arkadan çarpar. Bu çarpışma sonucu durmakta olan 2 nolu taşıt 2.5 m ileri fırlar. 1 nolu taşıt ise 8 m fren yapar. Yol kuru ve hava açık sürtünme katsayısı 0.7. 2 nolu taşıtın park ettiği yer yumuşak zemin üzerine çakıl; dolayısıyla sürtünme katsayısı 0.5 dir. (Şekil 4.4.43)

Bilinenler:

1 nolu taşıtın kütlesi	1800 kg
2 nolu taşıtın kütlesi	1500 kg
2 nolu taşıtın çarpışma noktasından duruncaya kadar olan uzaklığı	2.5 m
1 nolu taşıtın fren izi uzunluğu	8 m
1 nolu taşıtın yavaşlama ivmesi 0.7×9.81	6.86 m/s^2
2 nolu taşıtın yavaşlama ivmesi 0.5×9.81	4.9 m/s^2

Çarpışma sonrası her iki taşıtın ortak hızı:

$$V = \sqrt{\frac{2 \times 2.5(1800 \times 6.86 + 1500 \times 4.9)}{1800 + 1500}} = 5.46 \times 3.6 = 19.65 \text{ km/h}$$

1 nolu taşıtın çarpışma anındaki hızı:

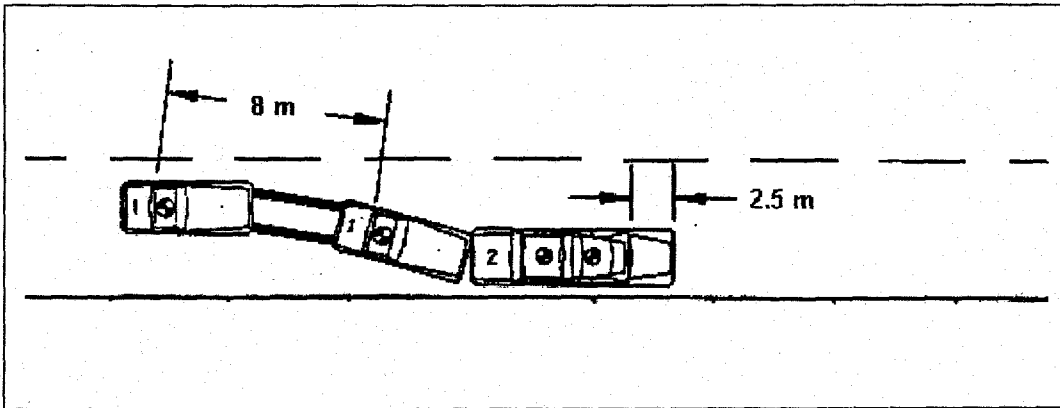
$$V_1 = 5.46 \times \frac{(1800 + 1500)}{1800} = 10 \times 3.6 = 36 \text{ km/h}$$

1 nolu taşıtın çarpışma öncesi hızı:

$$U = \sqrt{(10^2 + 2 \times 6.86 \times 8)} = 14.48 \times 3.6 = 52.12 \text{ km/h}$$

Deformasyon Enerjisi:

$$DM = \frac{1800 \times 10^2}{2} - (1800 + 1500) \frac{5.46^2}{2} = 408 \text{ kJ}$$



Şekil 4.4.43: 1 nolu taşıt aniden önüne çıkan yaya çarpmamak için 2 nolu taşıta çarpmak zorunda kalmıştır.

44. Taşıtın yaya çarpması

Bu konuda, yayaya çarpan taşıtın çarpma hızı incelenecektir.

Konu ile ilgili Denklemler:

$$V = \sqrt{g(R + h)} \quad (4.118)$$

$$R = \sqrt{S^2 + h^2} \quad (4.119)$$

$$t = \frac{S}{V} \quad (4.120)$$

V = Taşıtın hızı (m/s)

t = Yayanın çarpışma sonucu uçuş süresi (s)

R = Yayanın uçuş alanı (m)

S = Yayanın uçuşu süresince aldığı yol (m)

h = Taşıtın ağırlık merkezinin yerden yüksekliği (m)

g = Yerçekimi ivmesi

Örnek: Taşıt yolda yürüyen yaya çarpar. Yaya 30 m ileri fırlar. Taşıtın ağırlık merkezinin yerden yüksekliği 0.9 m dir. Taşıtın yayaya çarpması sırasındaki minimum hızını bulunuz. (Şekil 4.4.44)

Bilinenler:

Taşıtın yayaya çarpması ile yayanın yere düşmesi arasındaki mesafe 30 m

Taşıtın ağırlık merkezinin yerden yüksekliği 0.9 m

Uçuş Alanı:

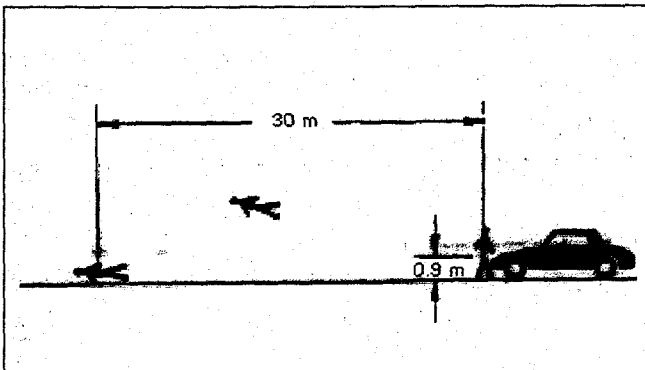
$$R = \sqrt{30^2 + 0.9^2} = 30 \text{ m}$$

Taşıtın yayaya çarpması anında minimum hızı:

$$V = \sqrt{(9.81(30 + 0.9))} = 17.41 \times 3.6 = 62.67 \text{ km / h}$$

Yayanın ileri fırlama süresi:

$$t = \frac{30}{17.41} = 1.72 \text{ s}$$



Şekil 4.44: Taşıtın yayaya çarpması.

45. Taşıtın yaya çarpmasından sonra kaymaya devam ettiği kazalar.

Bu konuda, taşıtın yayaya çarpma anındaki hızı tespit edilecektir. Taşıt çarpmadan sonra yavaşlar ve kayarak durur.

Konu ile ilgili Denklemler:

$$V_4 = \sqrt{(V_3^2 - V_1^2)} \quad (4.121)$$

$$V_1 = \sqrt{(2gS_1f)} \quad (4.122)$$

$$V_2 = \sqrt{(2gS_2f)} \quad (4.123)$$

$$V_3 = \sqrt{(2gS_3f)} \quad (4.124)$$

$$V = 2V_2 - V_4 \quad (4.125)$$

$$a = \frac{V^2 - V_3^2}{2S_2} \quad (4.126)$$

a = Yavaşlama ivmesi (m/s^2)

V = Taşıtın yaya çarpma anındaki hızı (m/s)

V_4 = Taşıtın yaya çarpması sonrası, yayanın yere düştüğü andaki taşıtın hızı (m/s)

V_3 = Taşıtın kaymaya başladığı andaki hızı (m/s)

V_2 = Çarpışma sonrası, kayma başlangıcı taşıtın ortalama hızı (m/s)

V_1 = Çarpışma başlangıcından yayanın düştüğü noktaya kadar taşıtın hızı. (m/s)

S_1 = Taşıtın kaymaya başladığı noktadan, yayanın yere düştüğü noktaya kadar olana uzaklık (m)

S_2 = Çarpışma noktasından taşıtın kaymaya başladığı noktaya olan uzaklık (m)

S_3 = Fren izinin uzunluğu (m)

Örnek: Taşıt yolda yürüyen yayaya çarpar ve onu ileriye doğru fırlatır. Çarpışma sonrası taşıt 24 m yol alır ve 21 m fren yaparak durur. Yaya ise fren izinin başlangıcından 5 m ileri düşer. Yol ile tekerlek arası sürtünme katsayısı 0.7 olduğuna göre taşıtın çarpma anındaki hızını ve taşıtın yavaşlama ivmesini bulunuz. (Şekil 4.4.45)

Bilinenler:

Yayanın fren izi başlangıcından düştüğü yere olan uzaklığı	5 m
Taşıtın çarpışma ile frenlemeye başladığı nokta arası mesafesi	24 m
Taşıtın fren izi uzunluğu	21 m
Sürtünme katsayısı	0.7

Çarpışma başlangıcından yayanın düştüğü noktaya kadar taşıtın hızı.

$$V_1 = \sqrt{2 \times 9.81 \times 5 \times 0.7} = 8.28 \text{ m/s}$$

Çarpışma sonrası, kayma başlangıcı taşıtın ortalama hızı

$$V_2 = \sqrt{2 \times 9.81 \times 24 \times 0.7} = 18.15 \text{ m/s}$$

Taşıtın kaymaya başladığı andaki hızı

$$V_3 = \sqrt{2 \times 9.81 \times 21 \times 0.7} = 16.98 \text{ m/s}$$

Taşıtın yaya çarpması sonrası, yayanın yere düştüğü andaki taşıtın hızı

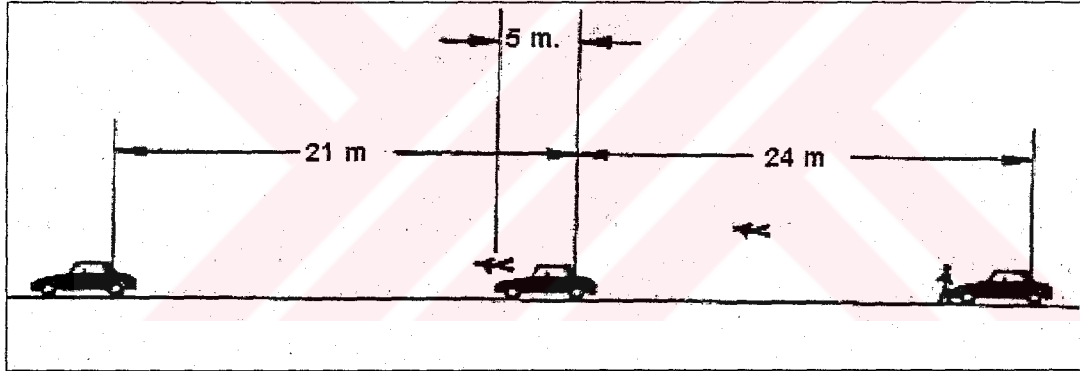
$$V_4 = \sqrt{(16.98)^2 - (8.28)^2} = 14.82 \text{ m/s}$$

Taşıtın yaya çarptığı andaki hızı

$$V = 2 \times 18.15 - 14.82 = 21.48 \times 3.6 = 77.32 \text{ km/h}$$

Taşıtın yavaşlama ivmesi:

$$a = \frac{21.48^2 - 16.98^2}{2 \times 24} = 3.6 \text{ m/s}^2$$



Şekil 4.4.45: Taşıt yayaya çarptıktan sonra 21 m fren yapmıştır.

46. Çarpma sonrası yaya ve taşıtın tek bir kütle olarak hareket ettiği Yaya-Taşıt trafik kazaları.

Bu konuda, taşıtın yayaya çarpma anındaki hızı tespit edilecektir. Bu senaryoda çarpan taşıt yayayı belli bir uzaklığa kadar beraberinde taşır.

Aşağıdaki denklemlerle belirlenen bu durum, yayanın hareketlerinin incelenmesi, çarpışma gerilimi ve tolerans deneyleri gözönüne alınarak bulunmuştur. Sonuçlar

gerçek taşıt kazalarına uygulanabilir. Bununla birlikte; bu sonuçların benzer taşıt geometrisi, taşıt ön kısmının dizaynı, yayanın vücut ölçüleri, çarpışma pozisyonu gibi faktörler ile sınırlandırıldığı unutulmamalıdır.

Konu ile ilgili Denklemler:

$$V_r = 4.43 \times \sqrt{(f \times d_2)} \quad (4.127)$$

$$V_1 = \frac{V_r(m_1 + m_2) - (m_2 V_2)}{m_1} \quad (4.128)$$

$$V = \sqrt{(V_1^2) + 2ad_1} \quad (4.129)$$

V_1 = Taşıtın yayaya çarpma öncesi hızı (m/s)

V_2 = Yayanın hızı (m/s)

V_r = Taşıtın bileşke hızı. (m/s)

V = Taşıtın kaymaya başladığı andaki hızı.(m/s)

m = Taşıtın kütlesi (kg)

d_1 = Taşıtın yaya çarpmadan önceki fren izi uzunluğu (m)

d_2 = Taşıtın yaya çarptıktan sonra aldığı yol (m)

a = Yavaşlama ivmesi $g \times 9.81$

Örnek: 1494.9 kg kütlesindeki taşıt önüne çıkan yayayı görerek fren yapıyor ve 7.6 m kayarak 75 kg kütlesindeki yetişkin bir yayaya çarpıyor ve çarpma sonrası 1.2 m yol alarak duruyor. Yaya çarpma öncesi taşıt ile aynı yönde yaklaşık 5 km/h ile yol alıyor. Yol ile tekerlek arası sürtünme katsayısı 0.72 dir. Taşıtın frenleme öncesi hızını bulunuz. (Şekil 4.4.46)

Bilinenler:

Taşıtın kütlesi = 1494.97 kg

Yayanın kütlesi..... = 75 kg

Yayanın hızı 5×0.2778 = 1.38 m/s

Çarpışma öncesi taşıtın fren izi uzunluğu = 7.6 m

Çarpışma sonrası taşıtın aldığı yol = 22.86 m

Yavaşlama ivmesi 0.72×9.81 = 7.06 m/s²

Çarpışma öncesi taşıtın bileşke hızı

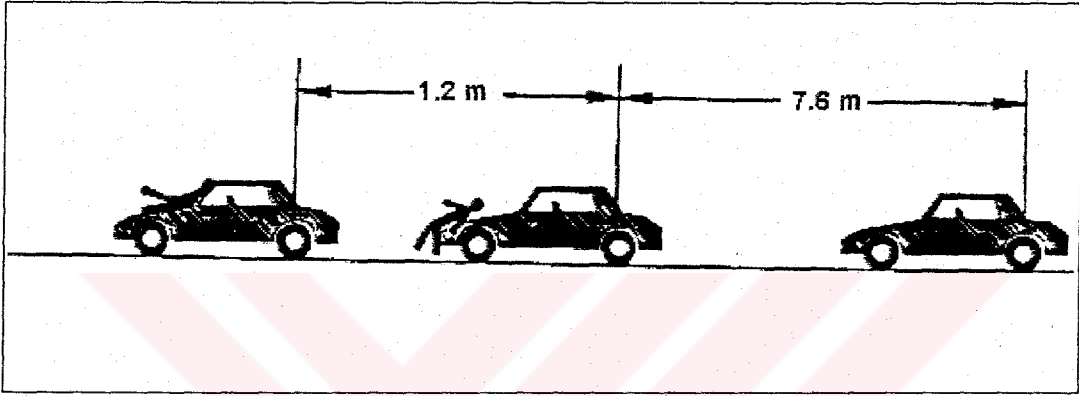
$$V_r = 4.43 \times \sqrt{0.72 \times 1.2} = 4.12 \text{ m/s}$$

Çarpışma öncesi taşıtın hızı

$$V_1 = \frac{4.12 \times (1494.9 + 75) - (7.64 \times 1.38)}{1494.9} = 4.25 \times 3.6 = 15.32 \text{ km/h}$$

Taşıtın frenleme öncesi hızı

$$V = \sqrt{4.25^2 + 2 \times 7.06 \times 7.6} = 11.2 \times 3.6 = 40.32 \text{ km/h}$$



Şekil 4.4.46: Çarpışma sonrası taşıt ile yaya tek bir kütle gibi hareket edebilir.

47. Uçurumdan aşağı düşen taşıtın hızı:

Bu konuda, uçurumdan aşağıya düşen taşıtın uçurumdan minimum çıkış hızı tespit edilecektir.

Konu ile ilgili denklemler:

$$V = 0.682 \sqrt{32.2(R + h)} \quad (4.130)$$

$$R = \sqrt{(h^2 + S^2)} \quad (4.131)$$

$$\sin \theta = h/R \quad (4.132)$$

V= Taşıtın uçuruma giriş hızı (m/s)

R= Uçuş alanı (m)

h= Taşıtın uçurumdan aşağı düşey yönde aldığı mesafe (m)

S= Taşıtın uçurumdan aşağı yatay yönde aldığı mesafe (m)

θ = Uçuş açısı

Örnek: Taşıt dağlık bir bölgede hareket ederken aniden keskin uçuruma geliyor.

Uçurumdan aşağıya uçuyor. 21.33 m yatay ve 7.62 m düşey yönde yol alıyor.

Taşıtın uçuruma giriş hızını bulunuz. (Şekil 4.4.47)

Bilinenler:

Taşıtın uçurumda yatay yönde aldığı yol = 21.33 m

Taşıtın uçurumda düşey yönde aldığı yol = -7.62 m

Uçuş menzili:

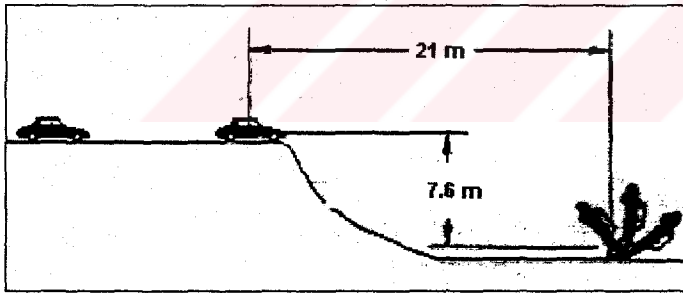
$$R = \sqrt{7.62^2 + 21.33^2} = 22.65 \text{ m}$$

Uçuş açısı:

$$\arcsin \frac{7.62}{22.65} = 19.65^\circ$$

Uçuruma giriş hızı:

$$V = 0.682 \sqrt{32.2 \times (22.65 - 7.62)} = 15 \times 3.6 = 54 \text{ km / h}$$



Şekil 4.4.48: Taşıtın uçurumdan aşağıya düşmesi.

48. Taşıtın uçurumdan düşmesi.

Konu ile ilgili denklemler:

$$V = \frac{S}{t} \quad (4.133)$$

$$t = \sqrt{\frac{2h}{g}} \quad (4.134)$$

V= Taşıtın uçuruma giriş hızı (m/s)

t = Uçuş süresi (s)

S = Taşıtın uçurumda yatay yönde aldığı mesafe (m)

h = Uçurumun yüksekliği (m)

Örnek: Uçurumdan aşağı düşen taşıt yatay yönde 18 m yol alır. Uçurumun yüksekliği 6 m olduğuna göre, taşıtın uçurumdan düşme süresini ve taşıtın uçuruma giriş anındaki hızını bulunuz. (Şekil 4.4.48)

Bilinenler:

Taşıtın uçurumda yatay yönden aldığı yol 18 m

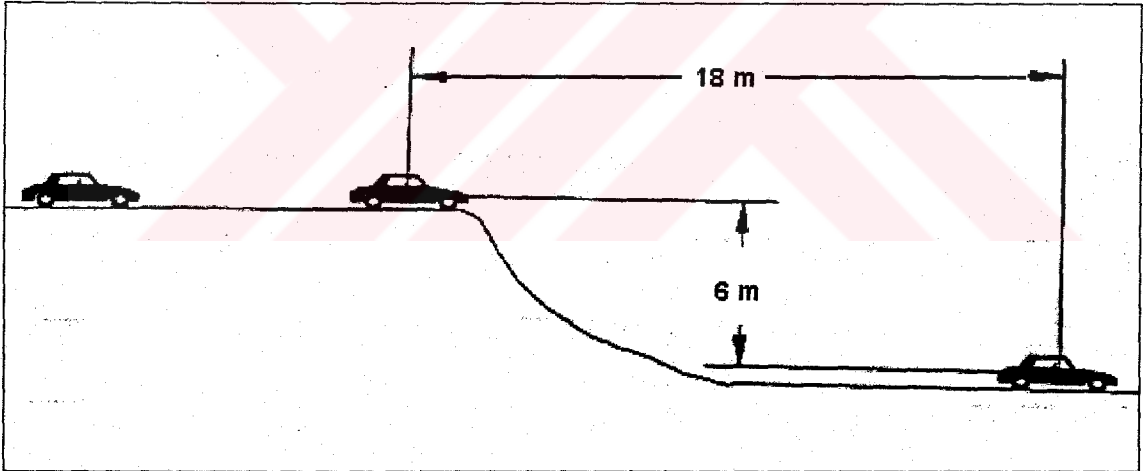
Uçurumun yüksekliği 6 m

Taşıtın uçurumdan düşme süresi:

$$t = \sqrt{\frac{2 \times 6}{9.81}} = 1.10 \text{ s}$$

Taşıtın uçuruma giriş hızı:

$$V = \frac{18}{1.1} = 16.36 \times 3.6 = 58.9 \text{ km/h}$$



Şekil 4.4.48: Uçurumdan düşen taşıt.

49. Taşıtın takla atarak ters dönmesi.

Bu konuda, taşıtın önüne çıkan bariyer veya benzer bir engel karşısında takla atarak ters dönmesi durumu incelenecektir.

Konu ile ilgili denklemler:

$$V = \frac{11.27 \times d}{\sqrt{(d \pm H)}} \quad (4.135)$$

V= Taşıtın engele çarptığı andaki hızı (km/h)

d = Uçuş uzunluğu (m)

H= Taşıtın takla attığı yükseklik

- Şayet taşıt takla attıktan sonra, taklaya başladığı noktaya göre daha düşük seviyeye geliyorsa denklemde d+H olmalıdır.
- Şayet taşıt takla attıktan sonra, taklaya başladığı noktaya göre daha yüksek seviyeye geliyorsa denklemde d-H olmalıdır.

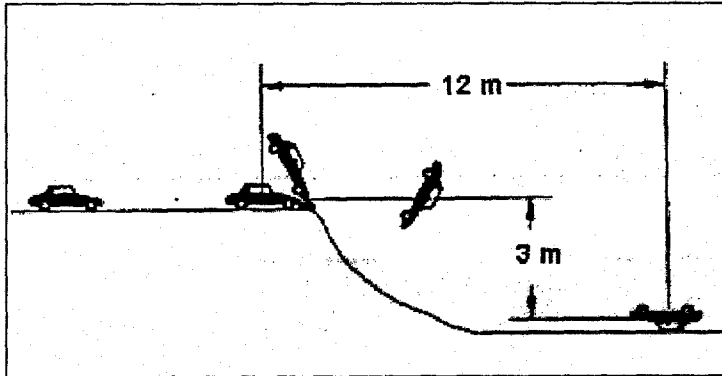
Örnek: Taşıt yolda hareket ederken yol kenarındaki bariyerlere çarpıyor. Bu durum taşıtın ileri yöndeki hareketini durdurarak bariyere çarptığı noktada pivot hareketine neden oluyor. Dolayısı ile taşıt 12 m uzunluğunda ve 3 m yüksekliğinde uçurumda takla atarak ters dönüyor. Taşıtın takla atmaya başladığı anki hızını bulunuz. (Şekil 4.4.49)

Bilinenler:

Taşıtın uçuş uzunluğu 12m

Takla yüksekliği 3 m

$$V = \frac{11.27 \times 12}{\sqrt{(12 + 3)}} = 34.91 \text{ km / h}$$



Şekil 4.4.49: Taşıtın önüne çıkan engele çarparak takla atarak ters dönmesi

50. Uçurumdan aşağı takla atan taşıtın hızı

Konu ile ilgili denklemler:

$$V = \frac{D}{\sqrt{\frac{2D \times \cos \theta \sin \theta + 2h \times \cos^2 \theta}{g}}} \quad (4.136)$$

$$t = \frac{D}{V \cos \theta} \quad (4.137)$$

V= Taşıtın hızı (m/s)
D= Uçurumda yatay yönde aldığı mesafe (m)
H= Takla yüksekliği (m)
 θ = Uçuş açısı
t = Uçuş süresi

Örnek: Taşıt yolda hareket ederken bariyerlere çarparak takla atıyor ve uçurumdan aşağıya düşüyor. Bu sırada yatay düzlemde 14 m ve düşey düzlemde 2 m yol alıyor.

Uçuş açısı yaklaşık 32° olarak belirlenmiştir. Taşıtın hızını ve uçuş süresini bulunuz.

(Şekil 4.4.50)

Bilinenler:

Uçurumun yüksekliği 2 m

Taşıtın yatay düzlemde aldığı yol 14 m

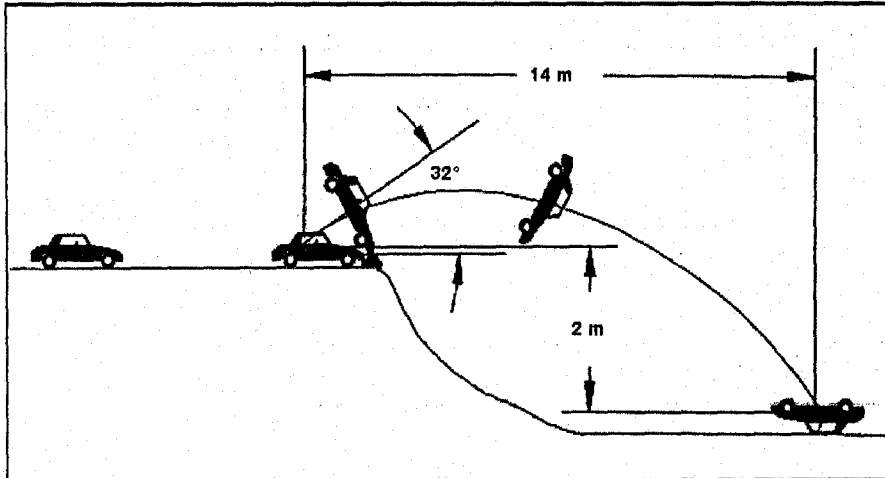
Uçuş açısı 32°

Taşıtın hızı:

$$V = \frac{14}{\sqrt{\frac{2 \times 14 \times \cos 32^\circ \sin 32^\circ + 2 \times 2 \cos^2 32^\circ}{9.81}}} = 11.4 \times 3.6 = 41.05 \text{ km/h}$$

Uçuş süresi:

$$t = \frac{14}{11.4 \times \cos 32} = 1.44 \text{ s}$$



Şekil 4.4.50: Taşıtın önüne çıkan engele çarparak takla atarak ters dönmesi.

51. Taşıt-Tren Çarpışması

Kontrolsüz tren yoluna yaklaşan taşıt, trenin gelişini orman, bina gibi yapılar yüzünden farkedemez. Farkına vardığı anda ise çarpışma kaçınılmaz olur.

Konu ile ilgili denklemler:

$$V_1 = V_{11} - t_1 \times g \times t \quad (4.138) \quad V_1 = \text{Taşıtın çarpışma anındaki hızı (m/s)}$$

$$t_1 = t - t_2 \quad (4.139) \quad V_2 = \text{Trenin hızı (m/s)}$$

$$V_{11} = \frac{S_1}{t} \quad (4.140) \quad V_{11} = \text{Taşıtın çarpışma öncesi hızı (m/s)}$$

$$t = \frac{S_2}{t_2} \quad (4.141) \quad t = \text{Çarpışma noktasına kadar sürücünün algılama süresi (s)}$$

$$t_2 = \text{Reaksiyon süresi (s)}$$

$$t_1 = \text{Yavaşlama süresi (s)}$$

$$S_1 = \text{Taşıt sürücüsünün treni fark ettiği noktadan çarpışma noktasına kadar olan uzaklığı (m)}$$

$$S_2 = \text{Taşıt sürücüsünün treni fark ettiği anda trenin uzaklığı (m)}$$

Örnek: Taşıt demiryolu ile kesişen, düz yolda hareket ediyor. Taşıt sürücüsünün görüş alanı demiryoluna 45.72 m uzaklığa kadar ağaçlar tarafından engellenmektedir. Aynı engel trenin gelişini demiryolu geçidinden 60.96 m uzaklığa kadar gizlemektedir. Bu nedenle de taşıt sürücüsü ormanı geçene kadar (demiryolu geçidinden 45.72 m) trenin geldiğinden habersizdir. Taşıt sürücüsünün reaksiyon zamanı 0.75 sn dir. Bu arada tren ormanın kenarına kadar (demiryolu geçidinden 60.96 m) gelmiştir. Taşıtın ormanın bitiminden çarpışmanın olduğu noktaya kadar olan hareket süresini ve taşıtın çarpışma anındaki hızını bulunuz. (Şekil 4.4.51)

Bilinenler:

Trenin hızı 96×0.2778	26.66 m/s
Taşıtın ormanın bitiminden çarpışma noktasına kadar aldığı yol	45.72 m
Trenin ormanın bitiminden çarpışma noktasına kadar aldığı yol	60.96 m
Taşıtı sürücüsünün reaksiyon zamanı	0.7
Sürtünme katsayısı	0.7

Taşıtın ormanın bitiminden çarpışma noktasına kadar olan hareket süresi:

$$t = \frac{60.96}{26.66} = 2.28 \text{ s}$$

Taşıtın çarpışma öncesi hızı:

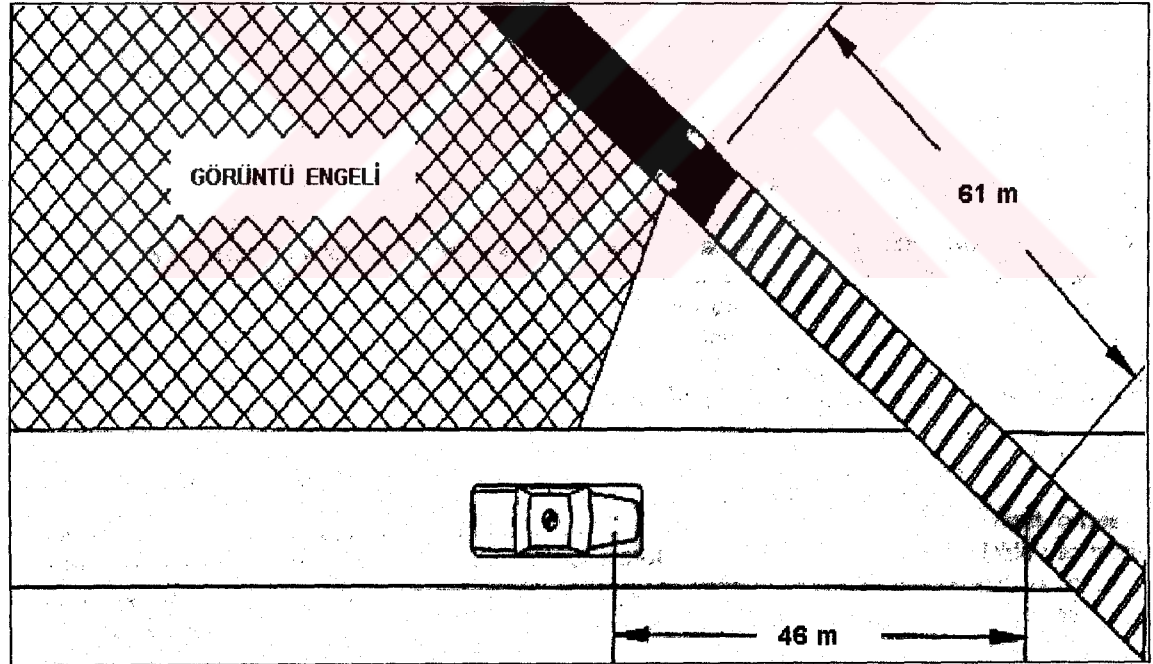
$$V_{11} = \frac{45.72}{2.28} = 20.05 \times 3.6 = 72.18 \text{ km / h}$$

Yavaşlama süresi:

$$t_1 = 2.28 - 0.75 = 1.53 \text{ s}$$

Taşıtın çarpışma noktasındaki hızı:

$$V_1 = 20.05 - 1.53 \times 9.81 \times 0.7 = 9.54 \times 3.6 = 34.34 \text{ km / h}$$



Şekil 4.4.51: Demiryoluna kontrolsüz yaklaşan taşıt.

52. Taşıt-Bariyer çarpışması (4 ezilme değerinin tespit edildiği C1-C4)

Bu konuda, bariyerlere çarpan taşıtın hız değişimi hesaplanacaktır. Bu hesaplamada taşıt üzerinde yapılan ölçümler ve taşıtın büyüklüğüne göre sınıflandırılmış test sonuçlarından yararlanılır.

Konu ile ilgili denklemler:

$$E = \left(\frac{L}{3}\right) \frac{\left[\left(\frac{A}{2}\right)(C_1 + 2C_2 + 2C_3 + C_4) + \left(\frac{B}{6}\right)(C_1^2 + 2C_2^2 + 2C_3^2 + C_4^2 + C_1C_2 + C_2C_3 + C_3C_4) + 3G\right]}{12} \quad (4.142)$$

$$V = 55.25 \times \sqrt{\frac{E}{W}} \quad (4.143)$$

L = Direkt kontakt sonucu kaportada meydana gelen ezilme bölgesi uzunluğu (m)

A = Test çarpışmalardan elde edilen taşıtın ezilme katsayısı (N/cm)

B = Test çarpışmalardan elde edilen taşıtın ezilme katsayısı (N/cm²)

G = Test çarpışmalardan elde edilen taşıtın ezilme katsayısı (N)

W = Taşıtın brüt ağırlığı (N)

C₁ = 1 nolu çarpışma bölgesi derinliği (cm)

C₂ = 2 nolu çarpışma bölgesi derinliği (cm)

C₃ = 3 nolu çarpışma bölgesi derinliği (cm)

C₄ = 4 nolu çarpışma bölgesi derinliği (cm)

E = Çarpma enerjisi (J)

Örnek: Otoyolda hareket halindeki taşıt yol hakimiyetini kaybederek yan tarafını köprü ayağına çarpıyor. Kaportadaki ezilmenin uzunluğu 353 cm dir. C₁, C₂, C₃ ve C₄ sırası ile 58.42, 78.74, 91.44, 15.24 cm olarak ölçülmüştür. Taşıtın ağırlığı 2124.66 N dur.

Hesaplama için gerekli olan ezilme A, B ve G ezilme katsayıları **TABLO 4.4.1** den 8.77 N/cm, 3.73 N/cm², 10.32 N olarak okunmuştur. Taşıtın ΔV hızını bulunuz.

Taşıtın iki dingil arası mesafesi 305 cm den büyütür. (**Şekil 4.4.52**).

Bilinenler:

Ezilme uzunluğu	L= 353 cm
Ezilme katsayısı	A= 8.77 N/cm
Ezilme katsayısı	B= 3.73 N/cm ²
Ezilme katsayısı	G= 10.32 N

Taşıt ağırlığı	W= 2124.66 N
1 nolu çarpışma bölgesi derinliği.....	C ₁ = 58.42 cm
2 nolu çarpışma bölgesi derinliği.....	C ₂ = 78.74 cm
3 nolu çarpışma bölgesi derinliği.....	C ₃ = 91.44 cm
4 nolu çarpışma bölgesi derinliği.....	C ₄ = 15.24 cm

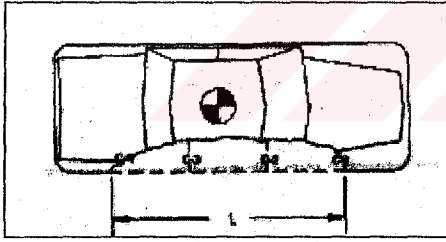
Çarpma enerjisi:

$$E = \left(\frac{353}{3} \right) \left[\frac{\left(\frac{8.78}{2} \right) (58.42 + 2 \times 78.74 + 2 \times 91.44 + 15.24) + \left(\frac{3.73}{6} \right) (58.42^2 + 2 \times 78.74^2 + 2 \times 91.44^2 + 15.24^2 + 58.42 \times 78.74 + 78.74 \times 91.44 + 91.44 \times 15.24) + 3 \times 10.32}{12} \right]$$

$$= 298295.32 \text{ N.cm} = 2982.95 \text{ N.m}$$

Taşıtın ΔV ezilme hızı:

$$\Delta V = 55.25 \times \sqrt{\frac{2982.95}{2124.66}} = 65.46 \text{ km/h}$$



Şekil 4.4.52: Taşıtın bariyerler çarpma sonucu ΔV ezilme hızı.

53. Taşıt-Bariyer çarpışması C1-C6

Konu ile ilgili denklemler:

$$E = \left(\frac{L}{5} \right) \left[\frac{\left(\frac{A}{2} \right) (C_1 + 2C_2 + 2C_3 + 2C_4 +) + \left(\frac{B}{6} \right) \left(C_1^2 + 2C_2^2 + 2C_3^2 + 2C_4^2 + 2C_5^2 + C_6^2 + C_1C_2 + C_2C_3 + C_3C_4 + C_4C_5 + C_5C_6 \right) + 5G}{12} \right] \quad (4.144)$$

$$V = 55.25 \times \sqrt{\frac{E}{W}} \quad (4.145)$$

- L = Direk kontakt sonucu kaportada meydana gelen ezilme bölgesi uzunluğu (m)
A = Test çarpışmalardan elde edilen taşıtın ezilme katsayı (N/cm)
B = Test çarpışmalardan elde edilen taşıtın ezilme katsayı (N/cm²)
G = Test çarpışmalardan elde edilen taşıtın ezilme katsayı (N)
W = Taşıtın brüt ağırlığı (N)
C₁= 1 nolu çarpışma bölgesi derinliği (cm)
C₂= 2 nolu çarpışma bölgesi derinliği (cm)
C₃= 3 nolu çarpışma bölgesi derinliği (cm)
C₄= 4 nolu çarpışma bölgesi derinliği (cm)
E = Çarpma enerjisi (N.m) = J

Örnek: Otoyolda hareket halindeki taşıt yol hakimiyetini kaybederek yan tarafını köprü ayağına çarpıyor. Kaportadaki ezilmenin uzunluğu 182.88 cm dir. C₁,C₂,C₃,C₄,C₅ ve C₆ sırası ile 33, 50.8, 45.72, 35.56, 17.78, 10.16 cm olarak ölçülmüştür. Taşıtın ağırlığı 1199.3 kg dır. Hesaplama için gerekli olan ezilme A,B ve G ezilme katsayıları **TABLO 4.4.1** den 19.93 N/cm, 4.08 N/cm², 48.76 N olarak okunmuştur. Taşıtın ΔV hızını hızını bulunuz? Taşıtın iki dingil arası mesafesi 250-278 cm arasındır. (**Şekil 4.4.53**)

Bilinenler:

Ezilme uzunluğu	L= 182.88 cm
Ezilme katsayısı	A= 19.93 N/cm
Ezilme katsayısı	B= 4.08 N/cm ²
Ezilme katsayısı	G= 107.5 N
Taşıt ağırlığı	W= 1199.3 N
1 nolu çarpışma bölgesi derinliği.....	C ₁ = 33 cm
2 nolu çarpışma bölgesi derinliği.....	C ₂ = 50.8 cm
3 nolu çarpışma bölgesi derinliği.....	C ₃ = 45.72 cm
4 nolu çarpışma bölgesi derinliği.....	C ₄ = 35.56 cm
5 nolu çarpışma bölgesi derinliği.....	C ₅ = 17.78 cm
6 nolu çarpışma bölgesi derinliği.....	C ₆ = 10.16 cm

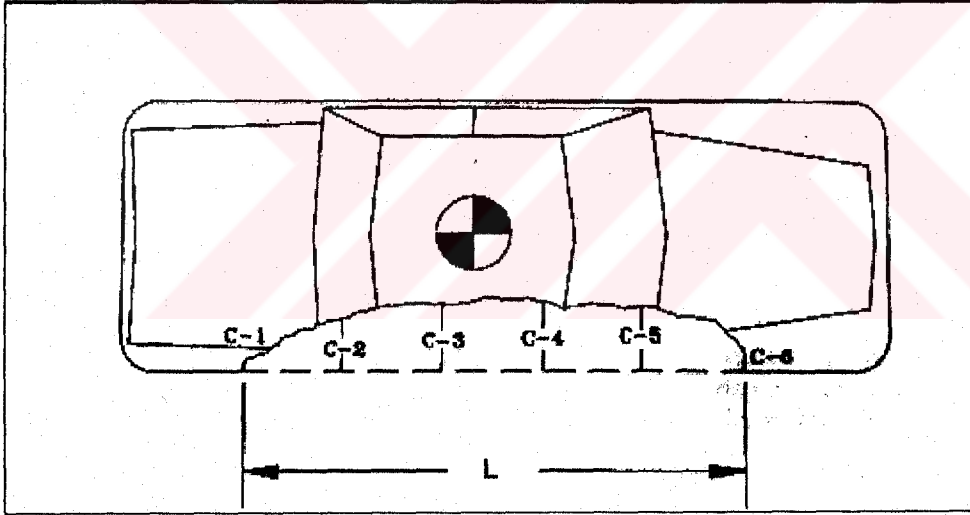
Çarpma enerjisi:

$$E = \left(\frac{182.88}{3} \right) \left[\begin{array}{l} \left(\frac{19.93}{2} \right) (33 + 2 \times 50.8 + 2 \times 45.72 + 2 \times 35.56 + 2 \times 17.78 + 10.16) + \\ \left(\frac{3.73}{6} \right) (33^2 + 2 \times 50.8^2 + 2 \times 45.72^2 + 2 \times 35.56^2 + 2 \times 17.78^2 + 10.16^2 \\ + 33 \times 50.8 + 50.8 \times 45.72 + 45.72 \times 35.56 + 35.56 \times 17.78 + 17.78 \times 10.16) + \\ 5 \times 48.76 \end{array} \right] \frac{1}{12}$$

$$= 52900 \text{ N.cm} = 529 \text{ N.m}$$

Taşıtın çarpma hızı:

$$V = 55.25 \times \sqrt{\frac{529}{1199.3}} = 36.69 \text{ km/h}$$



Şekil 4.4.53: Yan tarafını köprü ayağına çarpan otomobilin incelenmesi.

54. TAŞITLARIN DİNGİL MESAFESİNE GÖRE SINIFLANDIRILMIŞ A,B ve G KATSAYILARINI GÖSTEREN TABLO 4.4.1

İki dingil arası mesafesi	249 cm den küçük taşıt	250 - 278 cm taşıt	279 - 304 cm taşıt	305 cm den büyük taşıt	Birimi
Taşıtın Ön Tarafı					
A katsayısı	23.26	27.56	50.2	54.82	N/cm
B katsayısı	4.12	4.89	2.37	2.59	N/cm ²
G katsayısı	65.74	77.91	532.65	581.10	N
Taşıtın Yan Tarafları					
A katsayısı	14.65	19.93	7.79	8.77	N/cm
B katsayısı	3.01	4.08	3.32	3.73	N /cm ²
G katsayısı	35.85	48.76	9.18	10.32	N
Taşıtın Arka Tarafı					
A katsayısı	11.76	13.93	15.24	16.63	N /cm
B katsayısı	0.92	1.06	1.20	1.31	N /cm ²
G katsayısı	74.82	88.65	96.96	105.78	N

Bu tablodaki A,B ve G katsayıları değerler , çarpışma testlerinin sonucunda taşıtların ezilme yapılarına bağlı olarak bulunmuştur. Yukarıdaki tablodaki değerler taşıtın dingil uzunluğuna bağlı genel değerlerdir. Normalde, kaza analizinde daha gerçekçi sonuçlar elde etmek için;NHTSA veya FHWA gibi kuruluşların her taşıt için yapmış oldukları çarpışma testlerinden yararlanmak gerekir.

55. Taşıt ağırlık merkezinin bulunması.

Konu ile ilgili denklemler:

$$f = \frac{M_1 \times L}{M} \quad (4.146)$$

$$z = \sqrt{(L^2 - y^2)} \quad (4.147)$$

$$h = \left(\frac{z}{y}\right) \left(L \times \left(\frac{M_2}{M}\right) - f\right) + r \quad (4.148)$$

f = Ağırlık merkezinin yatay düzlemde ön dingilden uzaklığı (cm)

h = Ağırlık merkezinin yerden yüksekliği (cm)

z = Taşıtın ön dingilleri yukarı kaldırılmış konumda iki dingil arası mesafenin izdüşüm uzunluğu (cm)

M = Taşıtın sürücü dahil kütlesi (kg)

M₁ = Arka dingile düşen kütle (kg)

M₂ = Ön dingil yukarı kaldırılmış konumda iken arka dingile düşen kütle (kg)

y = Ön dingilin normal konumundan yukarı kaldırılma mesafesi (cm)

r = Tekerlek yarıçapı (cm)

L = İki dingil arası mesafe (cm)

Örnek: Kaza sonrası taşıtın ağırlık merkezinin bulunması gerekti ve taşıt incelemeye alındı. Taşıt içindeki sürücüsü ile birlikte 1630 kg olarak ölçüldü. Arka dingillere düşen kütle ise 680 kg olarak ölçüldü. Daha sonra ön dingil 76.2 cm yukarı kaldırıldı ve bu durumda yapılan ölçümde arka dinile düşen kütle 748 kg olarak ölçüldü. Tekerlek yarıçapı 35.5 cm olduğuna göre; taşıtın ağırlık merkezinin konumunu bulunuz. (Şekil 4.4.54)

Bilinenler:

Taşıtın sürücü dahil kütlesi = 1630 kg

Normal konumda taşıtın arka dingillerine düşen kütle = 680.4 kg

Taşıt yukarı kaldırılmış durumda iken taşıtın arka dingillerine düşen kütle.. = 748 kg

Ön dingillerin yukarı kaldırılma mesafesi = 76.2 cm

İki dingil arası mesafe = 284.4 cm

Tekerlek yarıçapı = 35.5 cm

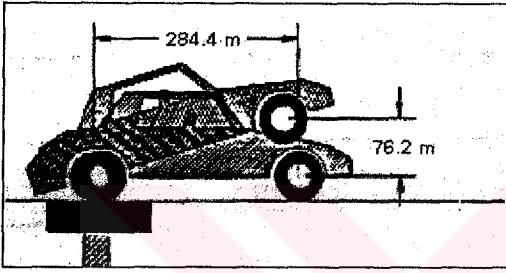
Ağırlık merkezinin yatay düzlemde ön dingilden uzaklığı:

$$f = \frac{680.4 \times 284.4}{1630} = 118.7 \text{ cm}$$

Ağırlık merkezinin yerden yüksekliği

$$z = \sqrt{(284.4^2 - 76.2^2)} = 274 \text{ cm}$$

$$h = \left(\frac{274}{76.2} \right) \left(284.4 \times \left(\frac{748.4}{1630} \right) - 118.7 \right) + 35.5 = 78.21 \text{ cm}$$



Şekil 4.4.54: Taşıtın ağırlık merkezini bulabilmek için taşıt arka veya ön dingilden yukarı kaldırılır.

Not: Tezin bu bölümünde kullanılan tüm formül ve uygulamalarda aşağıdaki kaynaklardan yararlanılmıştır.

- 1) TAAR SAFETY ENGINEERING 'Accident Investigation Handbook'
- 2) Maine Computer Group. 'Accident Reconstruction for Windows, Version 4' bilgisayar programı.
- 3) E.A. LIVESAY Collision Software, 'Compute-A-Crash for Windows/Dos'' bilgisayar programı.
- 4) Roy BUCHANAN , Accident Reconstruction Formulae 'RECFORMS for Windows' bilgisayar programı.
- 5) James J. PERRY, 'Icar 2.4 for Dos' bilgisayar programı.
- 6) Steven WAGNER, 'Accident Reconstruction Calculator for Windows 2.52' bilgisayar programı.
- 7) Dr. Helmann STEFFAN, 'PC-CRASH 4.2 for Windows 3.1 / 95 Accident-Simulation Program'

SONUÇLAR

Tez sonucu, trafik kazalarının meydana geliş sebeplerinin üç kısımda toplandığı görölmüştür.

- 1) Sürücünün hareketleri,
- 2) Taşıtın hareketleri,
- 3) Yol ve hava durumudur.

Hava koşulları hariç, diğer tüm faktörler trafik kazalarının azaltılması yönünde yapılacak çalışmalar ile geliştirilebilirler. Taşıt teknolojisindeki gelişmelerin trafik kazalarının azaltılmasında olumlu etkilerinin bulunmasına karşın hiçbir zaman 'bilinçli sürücü' kavramının yerini tutamazlar.

İstatiksel olarak trafik kazalarının %30'u önden %25 'i yandan meydana gelmektedir. Son zamanlarda, bu nedenle önden ve yandan hava yastığı teknolojisi kullanımı yaygınlaşmıştır. Hava yastığı teknolojisi bu alanda başarılar sağlamasına rağmen gelişimini tamamlamamıştır.

Kaza analizleri kadar, kazalarda meydana gelen yaralanmaların biomekanik incelenmesi bize kaza nedenleri hakkında önemli ipuçları veririler. Beyin travmaları ve yaya-taşıtlar kazaları sıkça görülen ölümcül kaza türleridir.

Sonuç olarak trafik kaza analizleri, kaza nedenlerinin ortaya çıkarılmasında önemli rol oynarlar. Kaza sonrası polis raporlarından alınacak olan kayma izi, fren izi, çarpışma açısı, yol ve hava koşulları, taşıtların yönü gibi bilgiler kaza analizinin yapılmasına yardımcı olurlar. Fakat kaza analizinin geçerli olabilmesi, polis raporlarının bilimsel olarak hazırlanması gerekir.

KAYNAKLAR:

BADGER Joseph E.: 'Lamp Examination to Determine On or Off in a Collision', Harris Technical Services pp: 1-5

BMW F.I.R.S.T. safety concept Catalogue 1996

GERMAN Alan, Dalmotas Dainius J., McClafferty Kevin, 1996: 'Real-World Collision Experience For Air Bag Technology' Proceedings of Canadian Society for Mechanical Engineering Forum on the Theory of Machines and Mechanism and Advances in Transportation Systems; Hamilton Ontario.

JENKINS P.E 1993: 'Modeling of a Sliding Phase in Accident Reconstruction' SAE Accident Reconstruction: Technology and Animation III pp 35-40 , SAE Paper 930655

McHENRY Brian G. 1995: 'Accident Reconstruction Techniques and Accuracy' Mchenry Software

MESTREAU Erie, Löhner Rainald 1996: 'Airbag Simulation Using Fluid/Structure Coupling' 34th Aerospace Meeting & Exhibit 1996, Reno , AIAA-96-0798 pp: 1-10

NAHUM Alan M , Gomez Mark A., 1994.: 'Injury Reconstruction: The Biomechanical Analysis of Accidental Injury' SAE Accident Reconstruction: Technology and Animation IV pp 69-79, SAE Paper 940568.

NH&MRC Road Accident Research Unit University of Adelaide, Division of Tissue Pathology Institute of Medical and Veterinary Science Australia: 1989 : 'A Clinical Evaluation of Fatal Brain Injury In Pedestrians' Head Injury Mechanisms, Association for the Advancement of Automotive Medicine pp 9-19.

NORIN H, Nilsson-Ehle, Saretok E. 'Injury-reducing effect of seat belts on rear seat passengers' Reopt by Volvo Car Corporation and Swedish Road Safety Office pp:1-13

LÖK Alpay 1992, çeviri 'Knorr-Bremse ABS fren Sistemi' Frenteknik

PILHALL Stig, Korner Johnny, Ouchterlony Bengt, 1994 : 'SIPSBAG - A New, Seat - Mounted Side Impact Airbag System', 14th ESV Conference GERMANY, Volvo Car Safety Report Paper No:94 pp 1-9

REIZES Haim, Reizes Amit, 1993 'Traffic Accident Analysis and Reconstruction (TAAR) Handbook' TAAR Engineering pp:1-80

ROBINETTE Ric D., Fay Richard J. Fay, Paulsen Rex E. Fay Engineering: 1994 'Delta-V: Basic Concepts, Computational Methods, and Misunderstandings' SAE Accident Reconstruction: Technology and Animation IV pp 309-332, SAE Paper 940915

SAAB Automobile Catalogue. 1995

WOODROW M. Poplin 1993 : 'Speed Evaluation- Working With the Vehicle Accident Reconstructionist', Fall issue of South Carolina TRIAL LAWYER BULLETIN.

ZAOUK Abdullatif K., Bedewi E. Nabih, Kan Cing-Dao 1995: 'Evalutaion of Multi-Purpose Truck Using Full Scale Crash Data with Appication to Highway Barrier Impacts' FHWA/NHTSA National Crash Analysis Center, The George Washington University, Ashburn, Virginia.

EK - 1 (Minimum Hız Denklemine Çıkarılışı)



Minimum Hız Denklemine Çıkarılışı:

Ke= Kinetik enerji, hareket halindeki taşıtın bu hareketi nedeniyle sahip olduğu enerjidir.

Taşıt hareketi boyunca belli bir kinetik enerjiye sahip olur. Taşıt yavaşlamaya başladığı an kinetik enerji tekerlek ile yol arasında ısı haline dönüşür.

Kinetik enerji denklemi Newtonun hareket kanunlarından türetilmiştir.

$$Ke = \frac{1}{2} \times M \times V^2$$

$$M = \frac{W}{g} = \frac{W}{9.81}$$

M= Objenin kütlesi (kg)

W= Objenin ağırlığı (N)

g = Yerçekim ivmesi (9.81 m/s²)

V = Objenin hızı (m/s)

Kinetik enerji ayrıca işe bağlı olarakda belirtilebilir.

$$Ke = f \times D$$

f= İki yüzey arasındaki sürtünme kuvveti (N)

D= Yavaşlama mesafesi (m)

Sürtünme Kuvveti

$$f = M \times A$$

M= Objenin kütlesi (kg)

A = Yerçekimi ivme faktörü (m/s²)

$$A = f \times g$$

Taşıtın kayma safhasında sahip olduğu kinetik enerji; ağırlık,kuvvet ve kayma süresince aldığı mesafenin çarpımına eşittir.

$$f = M \times A$$

Denkleminde M yerine $\frac{W}{g}$ ve A yerine $f \times g$ yazılacak olursa

$$f = \frac{W}{g} \times g \times f$$

$$f = \frac{W}{g} \times g \times f$$

g değerini yok etmek için denklemi tekrar yazarsak:

$$f = \frac{W}{g} \times \frac{g}{1} \times \frac{f}{1} \text{ haline gelir.}$$

Denklemden geriye:

$$f = W \times f \text{ kalır.}$$

Ke = f × D denkleminde f yerine W × f yazarsak

$$Ke = W \times f \times D \text{ halini alır.}$$

Ke = W × f × D denklemini Ke = $\frac{1}{2} \times M \times V^2$ ile birleştirerek tekrar yazarsak.

$$W \times f \times D = \frac{1}{2} \times M \times V^2$$

M yerine $\frac{W}{g}$ yazarsak

$$W \times f \times D = \frac{1}{2} \times \frac{W}{g} \times V^2$$

Denklemin her iki tarafında W (ağırlık) olduğuna göre, denklemin her iki tarafını

$\frac{1}{W}$ ile çarparak yok edebiliriz.

$$\frac{1}{W} \times \frac{W}{1} \times f \times D = \frac{1}{2} \times \frac{W}{g} \times V^2 \times \frac{1}{W}$$

Görüldüğü gibi ağırlık matematiksel olarak denklemden yok edildi. İşte bu nedenle ki, **taşıtların ağırlığının kayma mesafesine etkisi yoktur.**

Denklem tekrar yazılacak olursa;

$$f \times D = \frac{1}{2g} \times V^2$$

Hızı yalnız bırakmak için denklemin her iki tarafını $\frac{2g}{1}$ ile çarparsak:

$$\frac{2g}{1} \times f \times D = \frac{1}{2g} \times V^2 \times \frac{2g}{1} \text{ ve denklemini tekrar yazalım.}$$

$$2g \times f \times D = V^2$$

g yerine 9.81 m/s² yazarak, denklemini tekrar oluşturalım.

$$2 \times 9.81 \times f \times D = V^2 \text{ ve}$$

$$19.62 \times f \times D = V^2$$

Basitleştirmek için, hız ifadesini denklemin soluna atarsak,

$$V^2 = 19.62 \times f \times D$$

Bu denklemde hız ifadesi m/s birimindedir. Eger bu birimi km/h 'e çevirmek istersek;

$V = 0.278 \times S$ denklemini yukarıdaki denklemde yerine yazalım.

$$(0.278 \times S)^2 = 19.62 \times f \times D \text{ denklemini açarsak}$$

$$0.278^2 \times S^2 = 19.62 \times f \times D \text{ olur. Buradan;}$$

$$S^2 = \frac{19.62}{0.278^2} \times f \times D = 254 \times f \times D \text{ ve sonuç olarak;}$$

$$S = \sqrt{254 \times f \times D}$$

S= Taşıtın hızı (km/h)

f= Yol - tekerlek arası sürtünme katsayısı

D= Kayma mesafesi (m)

Hatta denklem biraz daha geliştirilebilir. n= Fren uygulama yüzdesi kabul edilirse (%)

$$S = \sqrt{254 \times f \times D \times n} \text{ olarak son halini alır.}$$

EK - 2 (Kaza Analizinde Kullanılan Bazı Bilgiler)



HIZLANMA/YAVAŞLAMA İVME ORANLARI

Taşıt Türü	İvme (m/sec ²)
BİNEK ARABALARI, NORMAL İVMELENME	
< 20 MPH (32 KPH)	1.60
20 - 40 MPH (32 - 64 KPH)	1.06
> 40 MPH (64 KPH)	0.53
BİNEK ARABALARI, HIZLI İVMELENME	
< 20 MPH (32 KPH)	3.23
20 - 40 MPH (32 - 64 KPH)	1.60
> 40 MPH (64 KPH)	1.06
BİNEK ARABALARI, YAVAŞLAMA *(Coasting)	
< 20 MPH (32 KPH)	1.06
20 - 40 MPH (32 - 64 KPH)	0.20
> 40 MPH (64 KPH)	0.40
KAMYONET, NORMAL İVMELENME	
< 20 MPH (32 KPH)	1.06
20 - 40 MPH (32 - 64 KPH)	0.53
> 40 MPH (64 KPH)	0.33
YÜKLÜ KAMYON, NORMAL İVMELENME	
< 20 MPH (32 KPH)	0.53
20 - 40 MPH (32 - 64 KPH)	0.33
> 40 MPH (64 KPH)	0.10
YAYA (Normal adımlarla yürüyor)	0.53
PEDESTRIAN (Acele yürüyor)	1.06

* Coasting: Taşıtın motordan güç almadan kendi ivmesi ile hareket etmesi. Örneğin; taşıtın yokuş aşağı kendi ataleti ile gitmesi.

FRENLEME VERİMİ

TAŞIT TÜRÜ	%
BİNEK ARABALARI	
Sadece ön tekerlekler kilitleniyor	60 - 70
Sadece arka tekerlekler kilitleniyor	30 - 40
ABS frenleme sistemine sahip	100+
TİCARİ OTOBÜSLER	70 - 80
YÜKLÜ YARI TRAKTÖR	60 - 75
YARI TRACTOR (Bob Tail)	
Ön frenler yok	30 - 40
Ön frenler çalışıyor	60 - 70
YARI TRACKTÖR (Cab Over)	30 - 40
KAMYON	50 - 60
MOTOSİKLET	
Sadece ön tekerlekler fren yapıyor	35 - 45
Arka tekerlekler kilitleniyor	60 - 80
Kayarak veya kaymadan tam frenleme	100+

YAYA YÜRÜME HIZI**YAYA YÜRÜME HIZI**

CİNSİYET VE YAŞ	MPH	FPS	KPH	MPS
-----------------	-----	-----	-----	-----

ERKEKLER:

< 55 genç	3.7	5.4	5.9	1.6
-----------	-----	-----	-----	-----

> 55 yaşlı	3.4	5.0	5.5	1.5
------------	-----	-----	-----	-----

KADINLAR:

< 50 genç	3.1	4.5	5.0	1.4
-----------	-----	-----	-----	-----

> 50 yaşlı	2.9	4.3	4.7	1.3
------------	-----	-----	-----	-----

HAMİLE KADIN:

Ortalama	1.6	2.3	2.6	0.7
----------	-----	-----	-----	-----

ÇOCUKLAR (>6, <10):

Ortalama	2.5	3.7	4.0	1.1
----------	-----	-----	-----	-----

YETİŞKİNLER:

Ortalama	4.0	5.9	6.4	1.8
----------	-----	-----	-----	-----

JOGGING YAPANLAR

Ortalama	9.0+	6.1+	9.8+	2.7+
----------	------	------	------	------

180° dönen yaya , hızlı:	0.5 s
--------------------------	-------

180° dönen yaya , normal:	1.3 s
---------------------------	-------

180° dönen yaşlı yaya , normal:	2 to 2.5 s
---------------------------------	------------

YAKLAŞAN TAŞIT KARŞISINDA YAYA YÜRÜME HIZI

TAŞIT MESAFESİ	MPH	FPS	KPH	MPS
----------------	-----	-----	-----	-----

> 8 sn uzakta	2.7	4.0	4.3	1.2
---------------	-----	-----	-----	-----

< 6 sn uzakta	2.8	4.1	4.5	1.2
---------------	-----	-----	-----	-----

< 4 sn uzakta	3.2	4.7	5.1	1.4
---------------	-----	-----	-----	-----

< 2 sn uzakta	4.4	6.5	7.1	2.0
---------------	-----	-----	-----	-----

YOL İLE TEKERLEK ARASI SÜRTÜNME KATSAYISI

İNŞAAT MÜHÜRÜ
İNŞAAT MÜHÜRÜ

ZEMİN KAPLAMASI (Yüzey)	KURU	ISLAK
Beton - yeni	0.60 - 0.99	0.40-0.85
Beton - cilalanmış	0.50 - 0.85	0.50 - 0.80
Beton - eskimiş	0.60 - 0.90	0.40 - 0.85
Asfalt - yeni	0.60 - 0.99	0.50 - 0.80
Asfalt - eskimiş	0.60 - 0.90	0.40 - 0.85
Asfalt - cilalanmış	0.50 - 0.85	0.40 - 0.80
Asfalt - yağlı	0.35 - 0.60	0.25 - 0.55
Çakıl - gevşek	0.40 - 0.70	0.40 - 0.70
Çim	0.40 - 0.60	0.20 - 0.45
Çamur	0.35 - 0.65	0.35 - 0.65
Kar - yığın halinde	0.30 - 0.55	0.30 - 0.55
Kar - gevşek	0.10 - 0.25	0.10 - 0.40
Buz	0.05 - 0.25	0.05 - 0.15
Metal - sert yüzey	0.40 - 0.50	0.40 - 0.50
Elbiseli insan	0.50 - 0.60	0.50 - 0.60
Çıplak insan	1.1	
Ezilmiş - kaya	0.55 - 0.70	0.55 - 0.70

Not: Yukarıdaki tablolar 'Equation Directory for the Reconstructionist, First Edition, 1995 by Daniel J. Parkka.' kitabından alınmıştır.

ÖZGEÇMİŞ

Doğum Tarihi	03 Ocak 1972	
Doğum Yeri	Eskişehir	
Eğitim	1986 - 1988	İstanbul Bahçelievler Lisesi
	1989 - 1993	Yıldız Teknik Üniversitesi Makina Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü
	1993 -	Yıldız Teknik Üniversitesi F.B.E. Makina Mühendisliği Anabilim Dalı Enerji Programı.

T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ

