

**ARAÇLARIN KARŞILIKLI ÇARPIŞMASINDA SÜRÜCÜYE
ETKİYECEK KUVVET VE İVME DEĞİŞİMLERİNİN ANALİZİ**

Fatma TEMİZ

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
TRAFİK PLANLAMASI VE UYGULAMASI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**HAZİRAN 2008
ANKARA**

Fatma TEMİZ tarafından hazırlanan ARAÇLARIN KARŞILIKLI
ÇARPIŞMASINDA SÜRÜCÜYE ETKİYECEK KUVVET VE İVME
DEĞİŞİMLERİNİN ANALİZİ adlı bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak uygun
olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. Mehmet EROĞLU
Tez Danışmanı, Makina Mühendisliği A. B. D.

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Trafik Planlaması ve Uygulaması
Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Mecit SİVRİOĞLU
Makina Mühendisliği A. B. D., Gazi Üniversitesi

Prof. Dr. Mehmet EROĞLU
Makina Mühendisliği A. B. D., Gazi Üniversitesi

Yrd. Doç. Dr. Ebru Vesile ÖCALIR
Trafik Planlaması ve Uygulaması A. B. D., Gazi Üniversitesi

Tarih : 13 / 06/ 2008

Bu tez ile G.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu Yüksek Lisans
derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Nermin ERTAN
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanıp, çalışmada orijinal olmayan her türlü kaynağa eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Fatma TEMİZ

ARAÇLARIN KARŞILIKLI ÇARPIŞMASINDA SÜRÜCÜYE ETKİYECEK KUVVET VE İVME DEĞİŞİMLERİNİN ANALİZİ

(Yüksek Lisans Tezi)

Fatma TEMİZ

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

Haziran 2008

ÖZET

İnsan hayatını ilgilendiren projelerin emniyetinin yüksek olması gerektiği, buna karşılık, oluşacak fiziksel niceliklerin ne olacağının gözlenip değerlendirilmesi için gerçek ortamda iki aracın farklı hızlarla çarpıştırılması deneylerinin ise uygulama bakımından bir hayli zahmetli ve maliyetli olması nedeniyle, bu imkanı bilgisayar ortamında sağlayan simülasyon, mühendislikte büyük öneme sahiptir. Amacı, çarpışmanın sonucunu ağırlaştıran faktörlerden yüksek hızın yanında, büyük kütlenin de çarpışmanın şiddetine katkısını göstermek olan bu çalışmada, araçlara herhangi bir dış kuvvetin etki etmeyip sürtünmenin ihmal edildiği ortamda, özellikleri korunmuş olan otomobilin, kendisi ile aynı özelliklere sahip bir otomobil ve kütlesi, kendi kütlesinden 10 kat daha fazla olan bir kamyonla 50 km/saat ve 120 km/saat lik hızlarla esnek olarak karşılıklı çarpışması sırasında, otomobil ile ağırlığı 70 kg. olarak alınan otomobil sürücüsünün aynı etki süresinde maruz kalacakları kuvvet ile ivme değerlerinin büyüklükleri arasındaki farklılıklar bilgisayar programı kullanılarak gösterilmiştir.

Bilim Kodu : 916.1.012
Anahtar Kelimeler : Trafik kazaları, çarpışma, momentum
Sayfa Adedi : 103
Tez Yöneticisi : Prof. Dr. Mehmet EROĞLU

**ANALYSIS OF FORCE AND ACCELERATION CHANGES ACTING ON
THE DRIVER DURING CRASHES IN OPPOSITE DIRECTION**

(M. Sc. Thesis)

Fatma TEMİZ

**GAZİ UNIVERSITY
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY**

June 2008

ABSTRACT

One of the most crucial aspect of todays traffic is that drivers do not have enough information about technical characteristics and boundaries of the vehicles they use even though they have deep knowledge of capabilities of the vecihles. In addition they have difficulty in understanding and estimating magnitude of force and energy that needs to be absorbed/applied on the driver and vecihles in case of a accident resulting with crash. Since deaths caused by traffic accidents are regarded as natural occurances in Turkey, they do not get special attention by society other than people directy affected. It is general belief that deaths/injuries caused by traffic accidents are directly propotional to the speed of the vehicles. Being a great factor speed is not the only big factor that produces great amount of energy during collision/crash. Total masses of the vehicles is major factor to increas energy created during collision/crash. Two object with the same speed but with different masses produce different impact on the objects they collide. Because of that intrinsic knowledge, we try to avoid a collision with a big truck but ignore a butterfly with the same speeds. Because of increasing awerness in safety of products, justification of safety is a growing engineering busines. Since the cost of carrying out tests for every case of usage of the products is very big, computer aided simulation to estimate behavior of products is getting increasingly important.

Aim of the study is to show the variation of physical properties of vehicles after the collision using a software. Study is focused on elastic collision of a automobile with a truck having a 10 times bigger mass with speeds of 50 km/h and 120 km/h.

Science Code : 916.1.012
Key Words : Traffic accidents, collision, momentum
Page Number : 103
Adviser : Prof. Dr. Mehmet EROĞLU

TEŞEKKÜR

Teşekkür edeceğim insanları iki grupta topluyorum. Yaklaşık bir yıl içinde tamamlanıp buradaki hali ile ortaya çıkmış olan çalışmamın içeriğini besleyen bilgileri alıp, kaynaklar kısmında isimlerini belirtmiş olduğum kitap yazarları, konu ile ilgili çalışma yapmış ve içerisinden bazı bilgileri kullandığım makale , yazı ve bildirileri hazırlamış olan kişilerin oluşturduğu ilk gruptakiler ile yaptığım iş nedeniyle her gün trafik kazaları ile ilgili analiz yapmama rağmen, oluş nedenleri fiziksel açıdan incelendiğinde, her bir ayrıntısı ayrı bir tez konusu olacak olan böylesine karmaşık , ancak bir o kadar da zevkli bu konuda bana yardımda bulunan başta danışman hocam Prof. Dr. Mehmet EROĞLU olmak üzere ailem, özellikle ağabeyim Makina Mühendisi Kılıç Ali TEMİZ “TUSAŞ” ve eşi Havacılık Mühendisi Ayşe TEMİZ “TUSAŞ” ile çalışmama katkısı olan Yrd.Doç.Dr.Hüseyin SARI’nın “Ankara Üniversitesi” dahil olduğu bu ikinci grubu oluşturan kişilere de içtenlikle teşekkür ediyorum.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vii
İÇİNDEKİLER.....	viii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	x
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	xi
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xiii
1. GİRİŞ.....	1
2. TRAFİK KAZALARINDA TÜRKİYE’NİN DURUMU.....	6
2.1. Kazalara Karışmış Sürücülerin Eğitim Durumları.....	11
2.2. Kazalarda Ağır Vasıtaların Etkisi.....	15
3. ARAÇLARIN KİNETİĞİ.....	19
3.1. Çarpışma.....	19
3.2. Enerji.....	25
3.3. Momentum.....	26
3.4. Kuvvet.....	28
3.5. Hooke Yasası.....	30
3.6. Biomekanik Sınır Değerler.....	32
3.7. Antropometri.....	37
4. ÇARPIŞMA ANALİZ ÖRNEKLEMELERİ.....	39
4.1. Durum I.....	42
4.1.1. Durum I’deki kinetik enerji.....	45
4.1.2. Durum I’deki momentum.....	46
4.1.3. Durum I’deki kuvvet.....	48
4.2. Durum II.....	53
4.2.1. Durum II’deki kinetik enerji.....	56
4.2.2. Durum II’deki momentum.....	57
4.2.3. Durum II’deki kuvvet.....	59

	Sayfa
4.3. Durum III.....	63
4.3.1. Durum III'deki kinetik enerji.....	67
4.3.2. Durum III'deki momentum.....	68
4.3.3. Durum III'deki kuvvet.....	69
4.4. Durum IV.....	73
4.4.1. Durum IV'deki kinetik enerji.....	76
4.4.2. Durum IV'deki momentum.....	77
4.4.3. Durum IV'deki kuvvet.....	79
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	82
KAYNAKLAR.....	99
EKLER.....	101
EK-1 CD içeriği.....	102
ÖZGEÇMİŞ.....	103

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. Türkiye’de 1996-2006 yılları arasındaki motorlu araç sayısı ve nüfus artışı.....	9
Çizelge 2.2. Türkiye’de 2007 yılında polis ve jandarma bölgesi olmak üzere şehir içi ve şehir dışında meydana gelen kazalardaki ölü ve yaralı sayıları ile maddi hasar durumu.....	10
Çizelge 2.3. Ağır vasıta sürücülerinin öğrenim durumu ve yaş grupları itibariyle dağılımı.....	16
Çizelge 2.4. Sürücülerin düşüncelerine göre trafik kazalarının önlenmesi için öncelik verilmesi gereken hususlar.....	17
Çizelge 3.1. Tek boyutlu çarpışmaların sınıflandırılması.....	24
Çizelge 3.2. İnsan vücudunun biomekanik sınır değerleri.....	34
Çizelge 4.1. Araçların hız ve kütlelerini belirten 4 durum.....	41
Çizelge 4.2. Araçlar ve ortamın özellikleri.....	42
Çizelge 4.3. Araçlar ve ortamın özellikleri.....	53
Çizelge 4.4. Araçlar ile ortamın özellikleri.....	64
Çizelge 4.5. Araçlar ile ortamın özellikleri.....	73
Çizelge 5.1. Otomobilin kendisi ile aynı kütleye sahip otomobille çarpışması sırasında etkiyecek kuvvet ve ivmeler.....	85
Çizelge 5.2. Otomobilin, kütlesi 10 ton olan kamyonla çarpışması sırasında etkiyecek kuvvet ve ivmeler.....	86

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. 2005 yılına ait yurtiçi şehirlerarası yolcu ve yük taşımaları.....	7
Şekil 2.2. Yolcu taşımacılığında ulaşım türlerini kullanma oranları.....	8
Şekil 2.3. 2005 yılında trafik kazasına karışmış olan sürücülerin eğitim seviyeleri.....	14
Şekil 3.1. Önden çarpma.....	20
Şekil 3.2. Yandan çarpma.....	20
Şekil 3.3. Arkadan çarpma.....	19
Şekil 3.4. Esnek çarpışma.....	22
Şekil 3.5. Esnek olmayan çarpışma.....	23
Şekil 3.6. Çarpışma sırasında ortaya çıkan etki-tepki kuvvetleri.....	29
Şekil 3.7. Önden çarpma sırasında sürücünün durumu.....	33
Şekil 3.8. Sürücünün kafası ile göğsünü çarptığı an.....	33
Şekil 3.9. İnsan vücudunda meydana gelen yaralanma oranları.....	34
Şekil 3.10. Çarpma esnasında aracın ve sürücünün kafasının ivmesinin değişimi.....	35
Şekil 3.11. Tedavi edilebilen beyin zedelenmesi için ivme sınırları.....	36
Şekil 3.12. 2000 yılı standartlarına göre 70kg. lık sürücünün kafasının boyutları.....	38
Şekil 3.13. 70 kg. lık sürücünün göğsünün yaklaşık alanı.....	38
Şekil 4.1. Çarpışma öncesi her iki otomobilin konumları.....	43
Şekil 4.2. Çarpışma sonrası 1.otomobilin en son konumu.....	44
Şekil 4.3. 1.otomobilin hızındaki değişme.....	45
Şekil 4.4. $t_1=0,84$. saniyede 1. otomobilin momentum değerleri.....	47
Şekil 4.5. Otomobillerin çarpıştıkları an.....	48
Şekil 4.6. Çarpma anında sürücünün başı ile göğsüne etkiyecek olan kuvvetler.....	51
Şekil 4.7. Çarpışma öncesi her iki otomobilin konumları.....	52
Şekil 4.8. Çarpışma sonrası 1.otomobilin en son konumu.....	55
Şekil 4.9. 1.otomobilin hızının zamana göre değişimi.....	56
Şekil 4.10. $t_1=0,34$. saniyede 1. otomobilin momentum değerleri.....	58
Şekil 4.11. Otomobillerin birbirlerine isabet ettikleri an.....	59

Şekil	Sayfa
Şekil 4.12. Toyotasa tarafından yapılan “ <i>Kendini Frenle</i> ” kampanyasında kullanılan afiş.....	61
Şekil 4.13. Çarpışma öncesi otomobil ile kamyonun konumları.....	64
Şekil 4.14. Çarpışma sonrası otomobilin aldığı konum.....	65
Şekil 4.15. Otomobilin hızındaki değişme.....	66
Şekil 4.16. $t_1=0,86$. saniyede otomobilin momentum değerleri.....	68
Şekil 4.17. Araçların birbirlerine isabet ettikleri an.....	70
Şekil 4.18. Otomobil ile kamyonun çarpışma öncesi konumları.....	74
Şekil 4.19. Otomobilin çarpışma sonrasındaki konumu.....	75
Şekil 4.20. Otomobilin hızındaki değişme.....	76
Şekil 4.21. $t_1= 0,34$. saniyedeki otomobilin momentum değerleri.....	77
Şekil 4.22. Araçların birbirleriyle etkileştikleri an.....	79
Şekil 5.1. Otomobilin, otomobille farklı hızlarla çarpışması sırasında otomobile ve sürücüye etki edecek kuvvetler.....	87
Şekil 5.2. Otomobilin, kamyonla farklı hızlarla çarpışması sırasında otomobile ve sürücüye etki edecek kuvvetler.....	88
Şekil 5.3. Otomobilin, farklı hızlarla diğer otomobille çarpışmasında sürücünün maruz kalacağı ivme değerleri.....	90
Şekil 5.4. Otomobilin, farklı hızlarla kamyonla çarpışmasında sürücünün maruz kalacağı ivme değerleri.....	91

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış bazı simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklama
a	İvme
e	Esneklik Katsayısı
E	Esneklik Modülü
E_k	Kinetik Enerji
F	Kuvvet
g	Yerçekimi İvmesi
m	Kütle
P	Momentun
V	Hız
σ	Gerilme
Kısaltmalar	Açıklama
A. B. D.	Amerika Birleşik Devletleri
E. G. M.	Emniyet Genel Müdürlüğü

1. GİRİŞ

Aslında amaçları insanların hayatlarını daha da kolaylaştırmak olan, bu sebeple de özellikleri sürekli iyi yönde geliştirilerek insanların kullanımına sunulan araçlar , doğru kullanılmadıkları takdirde hizmetlerine sunuldukları insanların hayatlarına mal olabilmektedirler. Kaza sonrası ortaya çıkacak her türlü kaybı azaltmak amacıyla sürekli yeni tasarımlarla fonksiyonları arttırılan araçlarla aralarındaki ilişkileri yeterli derecede gelişmemiş olan sürücüler, teknik özellikleri ile düşük ve yüksek hızlardaki davranışlarını bilmedikleri ve hareket ile enerji bağlantısını bilgi eksiklikleri yüzünden kuramadıkları araçlarının sahip oldukları kinetik enerjinin, kendi kontrolleri dışında boşalmaya çalışması durumu olan herhangi bir çarpışma sırasında, maruz kalacakları enerji miktarı ile kuvveti de anlamakta güçlük çekmektedirler.

Canlıların zarar görüp, daha da ötesinde hayatlarını kaybetmeleri, vücutlarına, dayanma sınırlarının üzerinde taşıyamayacakları kadar aşırı enerji ya da kuvvetlerin yüklenmesiyle gerçekleşir. Elimizle temas ettiğimiz 2 voltluk elektrik akımı bizim için bir tehlike oluşturmazken, aynı işlemi, 220 voltluk şehir akımı ile yapmak istediğimizde ise elektrik çarpması yüzünden hayatımızı kaybedebilmekte, ya da hafif bir tokatla canımız fazla yanmazken, çok kısa sürede tatbik edilmiş bir yumruk nedeniyle ise çok büyük zararlar görebilmekteyiz.

Bugün itibariyle dünyada 100 metre 9,9 saniyede koşulabilmektedir. Bu, en hızlı koşan insanın, bir saniyede yaklaşık 10 metre koşması, dolayısıyla da saatte 36 km. koşabileceği anlamına gelir. Her insan bu hızla koşamayacak ise de, insan vücudunun doğal olarak dayanabileceği limit olarak düşünülebilecek bu hızın üzerinde olan her hız, insan hayatı için tehlike oluşturmaktadır. Değil bu hızla, bu hıza yakın bir hız ile koşarken düşüldüğünde bile vücudun birçok yeri zarar görüp, kırılabilir.

Ölümlerin herhangi bir doğal afet gibi toplu değil, geniş zamana dağılmış olması sebebiyle çalışma sahası trafik olan ilgililer ve kaza nedeniyle bir yakını kaybeden

kişiler dışında pek de farkedilmeyen, ya da gerçek boyutu tam olarak algılanamayan, ancak ülkemizde cinayet boyutlarına varan ve kimi ülkelerin üç yılda savaşta kaybettikleri insan sayısından çok daha fazla insanın bir yılda kaybedildiği trafik kazalarının sonuçlarını ağırlaştıran tek faktör, elbette sadece hız değildir; hızla birlikte araçların toplam kütleleri de çarpışmanın şiddetine katkıda bulunur.

Kütleleri ne kadar büyük olursa olsun durgun halde iken herhangi bir tehlike oluşturmayan, ancak bir hız ile harekete geçirildikten sonra dış kuvvet uygulanarak durdurulmak istendiklerinde ise, sahip oldukları momentumlar nedeniyle kontrolleri zorlaşacak ve hareketten dolayı sahip oldukları kinetik enerjiler yüzünden de hemen duramayıp, hızın sönümlenmesi için gerekli mesafeyi katettikten sonra duracak olan taşıtların kinetik enerji değişimleri hızın karesinin fonksiyonu olduğundan, kazaların şiddeti birinci derecede taşıt hızı ile ilişkilidir. Ancak şiddete, hız kadar taşıtların sahip oldukları kütleler de etki eder. Aynı hıza, fakat farklı kütlelere sahip iki cismin, karşılına çıkan herhangi bir cisme verebilecekleri zararlar oldukça farklıdır. Bu farklılığın nedeni, kütlelerinden dolayı taşıdıkları hareket miktarının (momentumun) farklı oluşudur. Bu nedenledir ki büyük kütleden dolayı ağır vasıta kazalarında ölüm ve yaralanma riski daha fazladır ve yine bu nedenledir ki teknik olarak nedenini bilmesek de sağduyusal olarak bu etkiyi bildiğimiz için aynı hızlarla üzerimize doğru gelen kamyondan kaçarken, keleşe ise fazlaca önemsemeyiz [5].

Ülkemizde 1999 yılında ağır vasıtaların karışmış olduğu kazalarda, her 100 kişiden 21,3 kişi yaşamını yitirmiştir [20]. Bu kazalarda ölüm oranının bu kadar yüksek olması, çarpışmanın şiddetinin sadece aracın hızı ile değil, kütlesi ile de doğru orantılı olmasıyla ilişkilidir. Bu yüzden ki, hem artan hız nedeniyle aracın yüklendiği toplam enerjinin, hem de büyük kütle nedeniyle fazlalaşan momentumun, buna bağlı olarak da çarpışma sırasında ortaya çıkan kuvvetin, insan vücudunun dayanabileceğinin çok üzerinde aşırı yükselmiş olmasıyla, ağır vasıtalarla çarpışan otomobil gibi küçük araçların sürücüleri ile yolcularının, *etki-tepki* çiftleri olarak ortaya çıkan bu kuvvetlerden, kütleleri ile ters orantılı olarak etkilenecek olmaları sebebiyle, bu kazalarda hayatlarını kaybetme oranları daha yüksektir.

Sadece geride bıraktığımız 2007 yılında meydana gelen 825 583 adet trafik kazasında ölenlerin sayısı 5 004 , yaralananların sayısı 188 383 ve bu kazalardaki toplam maddi kayıp da 1 560 409 662 YTL olmuştur [13]. Üstelik belirtilen bu ölü sayısı, sadece olay yerinde ölenlerin sayısı olup, takip edilmediği için kazadan belli bir zaman sonra kazaya bağlı olarak ölenlerin sayılarının derlenememesi nedeniyle istatistiklerde yer almadığı dikkate alındığında, trafik kazalarında ülkemizin işgücü ve maddi kaybının istatistiklerde belirtilenlerden daha fazla olacağı açıktır.

Yaklaşma, çarpışma ve ayrılma olmak üzere üç etap olan araçların çarpışması, genelde mekanikte cisimlerin çarpışması olarak işlem görmektedir. Her üç fazda da araç hareketlerini belirleyen lastik kuvvetlerine tahrik kuvveti, fren kuvveti, yön verme, viraj, savrulma, rüzgar, iniş ve yokuş dirençleri de tesir etmektedir. Çarpışma fazında bunlara ek olarak deformasyon kuvvetleri ortaya çıkmaktadır [2].

Deformasyon ile sürtünmenin hesaba katılmaması sebebiyle yüzeyin sürtünmesine harcanacak enerjinin gözardı edilip, çarpışma sırasında sürücüyü koruyup, üzerine etki edecek darbe kuvvetini bertaraf etmeye yönelik herhangi bir güvenlik elemanını içeren tedbirlerin de dikkate alınmadığı ve araçların karşılıklı olarak esnek çarpıştırılmasının incelendiği bu çalışmanın, hızın değişmesiyle oluşacak ivme ve kuvvetlerin büyüklükleri arasındaki farkın gösterilmesinin amaçlandığı ilk bölümünde, 70 kg. lık kütleli sürücüsü ile birlikte toplam kütlesi 1 000 kg. olarak alınan otomobilin, aynı kütle ve özelliklere sahip diğer bir otomobil ile 50 km/saat ve 120 km/saat hızlarla çarpıştıkları durumlar ; ikinci bölümünde ise, kütlenin çarpışmaya olan katkısını göstermek amacıyla aynı otomobilin bu kez , kütlesi, kendi kütlesinden 10 kat daha fazla olan 10 ton kütleli kamyonla, otomobille çarpışmış olduğu hızlarla çarpıştığı durumlar incelenerek, araçların bu dört durumda da $t=2$ saniye içerisinde gerçekleşen çarpışmaları sırasında etkileşim içerisinde oldukları $\Delta t= 0,02$ saniyelik etki süresinde otomobilin ve ağırlığı 70 kg. alınmış sürücünün karşı karşıya kalacak oldukları kuvvet ile ivme değerlerinin yalın büyüklükleri arasındaki oldukça anlamlı olan değişimler gösterilerek, bu değerlerin insan vücudunun biomekanik kırılma yük değerleriyle karşılaştırılması yapılmıştır.

Trafiğin, insan-taşıt-yol üçlüsünün sağlıklı etkileşimine bağımlı ve çok bileşenli bir konu olması sebebiyle doğal olarak bu üç konunun her birinin trafik ile ilişkisi açısından birçok araştırma ve tez yapıp, bildiri ve makaleler yayınlanmıştır. Yapılan bu çalışmanın kapsamlı olması açısından, konuyla doğrudan ya da dolaylı olarak ilgili olan kaynaklar , yapılmış tezler ve bu konudaki makaleler araştırılmıştır.

“Araçlarda Çarpışma Etkisini Direkt Karşılayan Şasi Ön Kolonlarının Tepki Kuvveti-Enerji Yutma Optimizasyonu” adlı tez çalışmasında, araçlarda performans artışına paralel olarak hafifleyen karoserinin, çarpma anında oluşan ve hayati önem arzeden bazı olumsuzlukları bertaraf edecek şekilde dizayn edilmeleri için yapılan geometrik ve konstrüktif değişiklikler üzerinde durularak, güvenlik açısından en tehlikeli durum olan direkt karşıya çarpma hali ile bunun doğuracağı yüksek tepki kuvvetleri ve deformasyon mekanizması incelenmiştir [Eren,2002] [14].

*“Şehiriçi Ölümlü Trafik Kazalarının Analizi”*nin yapıldığı tez çalışmasında , Ankara’da meydana gelen 100 kazadan ölümle sonuçlanan kazalar analiz edilerek, araçların kaza mahallindeki hız limitlerine riayet etmeleri durumunda kazadan kaçınabilme ihtimali ve ölümün teorik olarak gerçekleşmemesi için araç hızlarının ne olması gerektiği tesbit edilmiş ve meydana gelen kazalarda insan vücudunun biomekanik kırılma yük değerlerine göre maruz kaldığı enerji miktarının, taşıt hızı ve ağırlığı ile insan ağırlığına bağlı olarak hesaplanması yapılmıştır [Erhan, 2004] [3].

Trafik kazaları ve sonrası gelişen kaza tesbit işlemlerinin titizlikle analizinde, kesinlikle eğitilmiş elemanların olması gerektiği mesajlarının verilmeye çalışıldığı *“Çarpışma Mekaniği ve Örneklerle Trafik Kazalarının Rekonstrüksiyonu”* ile ilgili yayınlanmış çalışmada da, çarpışan iki aracın mekaniği konusunda bilgiler verilir, özellikle çarpışma öncesi ve sonrası araç hızlarının hesaplanması için kullanılan metodlar açıklanmış; rekonstrüksiyon pratiğini arttırıcı bazı örnekler çözümlü olarak ele alınmış, ayrıca kaza rekonstrüksiyonunda çok önemli yer tutan fren izlerinin analizi ve araç hızlarının hesaplanmasının daha iyi anlaşılabilmesi amacıyla fren sistemleri ve mekaniği hakkında bilgiler verilmiştir [Kuralay,1994] [2].

Ağır vasıta sürücülerinin yaşam koşulları ile trafik güvenliği hakkındaki görüşlerinin tespit edilip, karıştıkları kazaların azaltılmasıyla ilgili alınacak tedbirlere ışık tutacağına amaçlandığı “*Ağır Vasıta Sürücülerinin Çalışma Koşulları ve Trafik Kazaları*” adlı çalışmada, yarıdan fazlasının ilkokul mezunu olup, eğitimlerine olan büyük itimadlarının kendilerini ‘yolların hakimi’ ve sürücülük mesleğinin ‘en ehil’ bireyi kılmakta olduğu bu sürücülerin % 81’inin Emniyet tarafından düzenlenmiş sınavlarda başarı göstererek sürücü belgesi almış olmalarının kendi sürücülüklerine duydukları güvene ilave bir katkı sağladığı belirtilmiştir [Sönmez,1999] [10].

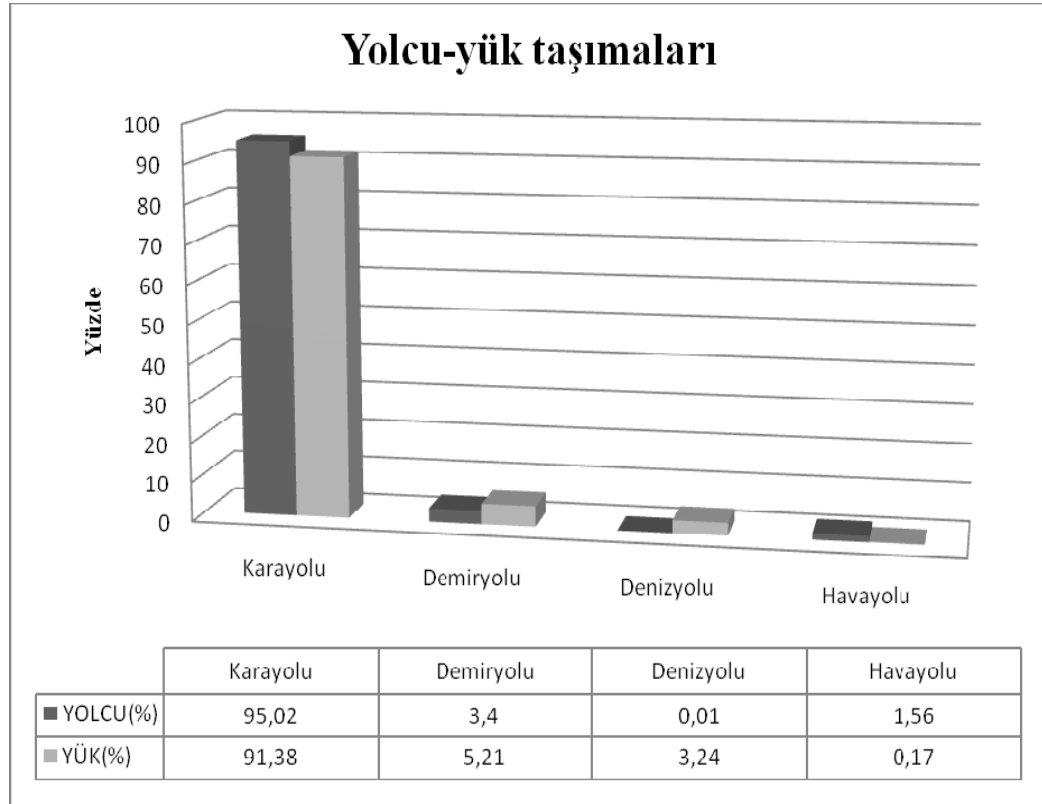
Yüksek hız ve büyük kütlenin, çarpışmanın şiddetine olan katkısının gösterilmesine yönelik olarak yapılan bu çalışma temel olarak 4 (dört) kısımdan oluşmaktadır. Trafik kazalarının ülkemizdeki sayıları ile bu kazalara karışmış sürücülerin eğitim durumlarına değinilen birinci kısım akabindeki kısımda, araçların karşılıklı olarak esnek çarpıştırılmış olduğu analiz örneklemelerinde bahsi geçen ve araçların kinetiği ile ilgili olan çarpışma, çarpışma tipleri, esnek çarpışma ile bu tür çarpışmanın özellikleri, esneklik, esneklik katsayısı, enerji, momentum ve kuvvet kavramlarının yanında, yine örneklemelerde bahsi geçen Young Modülü ve Poisson Oranı ile gerilme kavramlarının anlaşılması açısından da Hooke Yasası; çalışmalarda elde edilen kuvvet ve ivme değerlerinin büyüklüğünün ne anlama geldiğinin görülmesi için, insan vücudunun biomekanik sınır değerlerinin ne olduğu ile çalışmada kütlesi 70 kg. olarak alınan sürücünün antropometrik ölçülerde hangi yüzdelik kısma girdiğini belirtmek açısından da Antropometri konusunda verilen bilgilerin sonrasındaki üçüncü kısımda, modelleme yapılan otomobilin, aynı kütleye sahip diğer otomobil ve kütlesinden 10 kat büyük kütleye sahip kamyonla 50 km/saat ve 120 km/saat hızlarla çarpıştırıldığı çarpışma analiz örneklemeleri incelenmiş, son kısmında da örneklemelerde elde edilen bilgilerin değerlendirilmesi yapılarak bu bilgilerin sürücülere neden ve nasıl anlatılması gerektiği yönünde önerilerde bulunulmuş olan bu çalışmanın, bütün sürücülere, özellikle de sonuçları çok vahim olan kazaların aktörleri olan ağır vasıta sürücülerine yönelik verilecek eğitimler ile kitlesel bilince yönelik oluşturulacak kamuoyu baskısı için yapılacak olanlara ışık tutacağı düşünülmüştür.

2. TRAFİK KAZALARINDA TÜRKİYE’NİN DURUMU

Yolcu ulaşımında başlangıç ve varış noktaları, yük taşımacılığında ise üretim ve tüketim noktaları arasında aktarmasız bir ulaşım olanağı vermesi, taşıma kapasitesi ve güzergah seçiminde esneklik sağlaması, parça yüklerin daha kolay ve belli mesafelere kadar daha hızlı taşınabilmesi, karayolu taşımacılığının başlıca özellikleridir. Bu özelliklerinin yanında, genelde aktarmalı taşımanın söz konusu olduğu demiryolu, denizyolu ve hava taşımalarında tamamlayıcı bir tür olması sebebi ile tüm dünyada karayolu taşımacılığı diğer taşıma türlerine göre daha hızlı bir gelişme göstermiştir [9].

Ülkemizde ulaşımın % 95’lik kısmının karayolu ile yapılması nedeniyle toplam taşıt içinde ağır vasıtaların oranı da yüksektir. Bir ağır vasıtaya Almanya’da 19,65, Avusturya’da 11,81 ve Bulgaristan’da 11,63 otomobil düşerken Türkiye’de ise bu oran 2,89’dur. Karayolu kullanımının yüksek olması ve ağır vasıta sayılarının çokluğu genel olarak trafik kazalarının artmasına neden olduğu gibi, kazaya karışan ağır vasıta sayısını, dolayısıyla ağır vasıtaların karışmış olduğu bu kazalardaki ölü ve yaralı sayılarını da arttırmaktadır. 1999 yılında trafik kazaları nedeniyle hayatını kaybeden her 100 kişiden, Avusturya’da 2,4’ü, Fransa’da 3,0’ı, Romanya’da 2,5’i ve Almanya’da ise 3,5’i ağır vasıta kazalarında yaşamını yitirirken, Türkiye’de ise bu oran 21,3 gibi yüksek bir rakamdır. Aynı şekilde bu yıl içerisinde her 100 trafik kazasındaki yaralanmaların, Avusturya ve Fransa’da 2,7’si, Romanya’da 2,3’ü ve Almanya’da 2,9’u ağır vasıta kazalarında olurken, Türkiye’de bu oran 7,0’dır. Bu da gösteriyor ki; ülkemizde ağır vasıta kazalarındaki ölümlerin toplam kazalardaki ölümlere oranı ile ağır vasıta kazalarındaki yaralanmaların toplam kazalardaki yaralanmalara oranı, Batı Avrupa ülkelerindeki oranlardan yüksektir [20].

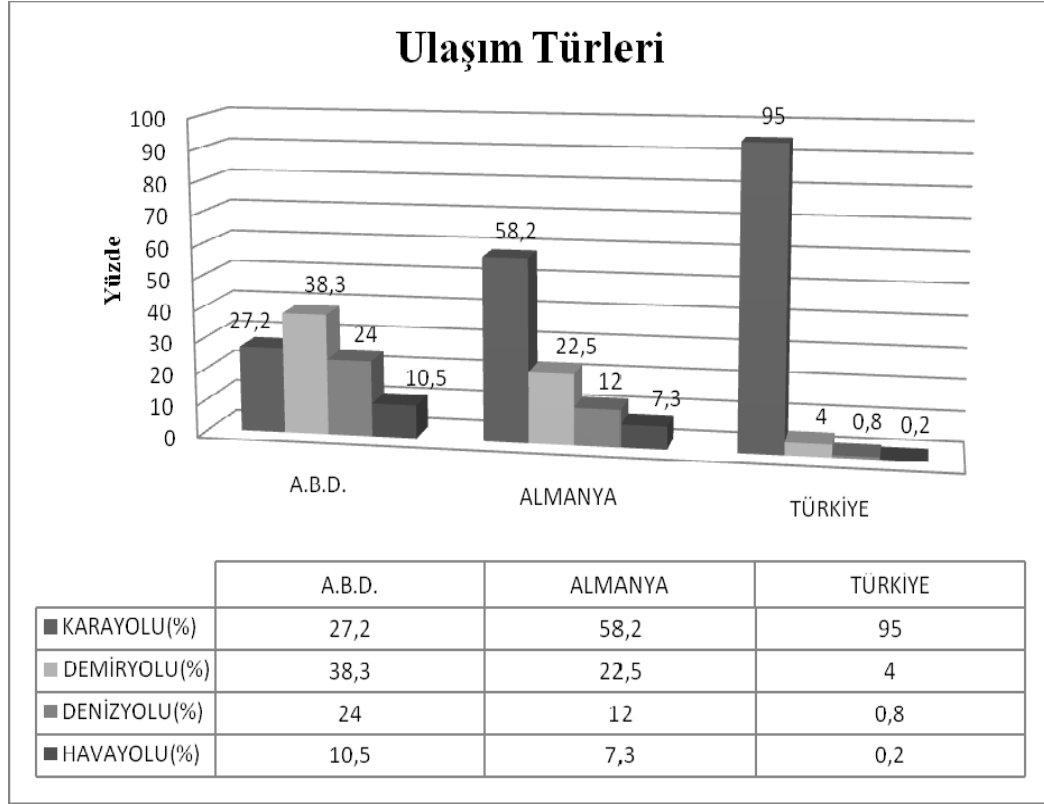
Türkiye’de yaşayan bir bireyin motorlu araçlar tarafından kat edilen her birim mesafe başına bir trafik kazası sonucu ölme riski, İngiltere’de yaşayan bir bireyinkinden 13,5 kat, Amerika Birleşik Devletleri’nde yaşayan bir bireyinkinden 10 kat, Japonya’da yaşayan bir bireyinkinden ise 7,2 kat daha fazladır [10].



Şekil 2.1. 2005 yılına ait yurtiçi şehirlerarası yolcu ve yük taşımaları

2005 yılına ait yurtiçi şehirlerarası yolcu ve yük taşıma oranlarını gösteren Şekil 2.1 incelendiğinde, Türkiye’de yolcu ve yükün taşınma talebinde karayoluna düşen payın, diğerlerine oranla aşırı bir fazlalık göstermekte olduğu ve yük taşımalarının % 91’inin, yolcu taşımalarının ise % 95’inin karayolu ile yapılmakta olduğu görülmektedir .

Demiryolu taşımasının seyahat süresi ve konforu yönünden daha cazip hale getirilmesi çalışmalarının zaman alacağı, havayolu taşımasında da gözlenen hızlı artışın sınırlı kalıp ancak % 5’ler mertebesine çıkabileceği gerçeği karşısında, şehirlerarası ulaşımında karayolu taşıması, uzunca bir süre daha ana taşıma aracı olarak kalacak gibi gözükmemektedir [9].



Şekil 2.2. Yolcu taşımacılığında ulaşım türlerini kullanma oranları

Türkiye’de trafik kazalarının ana nedenlerinin başında yük ve yolcu taşımacılığında karayoluna ağırlık verilmesi gelmektedir. Trafik güvenliği iyi olan ülkelerde ise ulaşım türlerini (Kara, Demir, Deniz ve Hava Yolları) kullanma oranları bizdeki kadar karayolu lehinde yüksek değildir . Ülkemiz ile A.B.D. ve Almanya’daki yolcu taşımada karayolunu kullanma oranının gösterildiği Şekil 2.2’ nin incelenmesinden, demiryoluna göre 18, havayoluna göre ise 27 kat daha tehlikeli olan karayolunu kullanma oranının, A. B. D. ’de % 27,2, Almanya’da % 58,2 olmasına karşılık Türkiye’de ise otomobil ve sanayinin devi olan bu ülkelerden çok fazla olarak % 95 mertebesinde olduğu görülmektedir [20].

Çizelge 2.1. Türkiye’de 1996-2006 yılları arasındaki motorlu araç sayısı ve nüfus artışı

Yıllar	Motorlu Araç Sayısı	Artış %	Nüfus	Artış %	1 000 Kişiye Düşen Araç Sayısı	Sürücü Belgesi Sayısı	Artış %	Kaza Sayısı	Artış %
1996	6.305.707	6,07	62.909.000	1,82	100	10.242.628	9,10	344.641	23,23
1997	6.863.462	8,13	64.064.000	1,80	107	11.297.235	10,30	387.533	12,44
1998	7.371.241	6,89	65.215.000	1,76	113	12.277.101	8,67	440.149	13,58
1999	7.758.511	4,99	66.350.000	1,71	117	13.151.950	7,13	438.338	-0,41
2000	8.320.449	6,75	67.420.000	1,59	123	14.109.116	7,28	500.663	14,21
2001	8.521.956	2,36	68.365.000	1,38	125	14.767.116	4,67	442.960	-11,53
2002	8.655.170	1,54	69.302.000	1,35	125	14.994.960	3,48	439.958	-0,68
2003	8.903.843	2,79	70.231.000	1,32	127	15.488.493	3,29	455.667	3,45
2004	10.236.358	13,02	71.152.000	1,29	144	16.151.623	4,28	537.384	17,93
2005	11.145.826	8,88	72.065.000	1,28	155	16.604.724	2,81	621.183	15,59
2006	12.227.393	9,70	72.987.400	1,28	168	17.962.895	8,17	728.756	17,31

Ülkemizde 1996-2006 yıllarını kapsayan 10 (on) yıllık süreçte, nüfus artışı ile birlikte sürücü belgesi , motorlu taşıt ve 1 000 kişiye düşen araç ile kaza sayılarını gösterir Çizelge 2.1’in incelenmesinden görüleceği üzere, 1996 yılında nüfus 62 909 000 iken, nüfusun yaklaşık % 16’sı olan 10 242 628 kişinin sürücü belgesine sahip olduğu , bu sayıya karşılık motorlu araç sayısının nüfusun % 10’una tekabül eden 6 305 707, aynı yıl içerisinde 1 000 kişiye düşen araç sayısının 100, kaza sayısının da 344 641 olduğu; aradan geçen 10 (on) yıllık süre sonrası gelinen 2006 yılında ise, nüfusun % 16 artarak 72 987 400’e yükseldiği, aynı süre içerisinde sürücü belgesine sahip olma oranının ise % 75 artarak nüfusun yaklaşık % 25’i olan 17 962 895 kişiye , 1 000 kişiye düşen araç sayısının da % 68 artarak 168’e yükselmiş olduğu bu yıl, kaza sayısının ise on yıl öncesine göre % 111 artarak 728 756’ya yükseldiği görülmüştür [1].

Ülkemizde 1996-2006 yılları arasında geçen 10 (on) yıllık sürede, nüfus artışı 1,16, sürücü belgesi sahipliği 1,75 , 1 000 kişiye düşen araç sayısı da 1,68 kat artmasına karşılık, kaza sayılarının artışı ise 2,11 kat olmuştur.

Çizelge 2.2. Türkiye’de 2007 yılında polis ve jandarma bölgesi olmak üzere şehir içi ve şehir dışında meydana gelen kazalardaki ölü ve yaralı sayıları ile maddi kayıp miktarı

KAZA	E.G.M.	ŞEHİRİÇİ	665 458
		ŞEHİRDİŞİ	83 998
		TOPLAM	749 456
	JANDARMA	TOPLAM	76 127
	GENEL TOPLAM		825 583
ÖLÜ	E.G.M.	ŞEHİRİÇİ	1219
		ŞEHİRDİŞİ	2240
		TOPLAM	3459
	JANDARMA	TOPLAM	1545
	GENEL TOPLAM		5004
YARALI	E.G.M.	ŞEHİRİÇİ	96 081
		ŞEHİRDİŞİ	53 059
		TOPLAM	149 140
	JANDARMA	TOPLAM	39243
	GENEL TOPLAM		183 383
MADDİ KAYIP(YTL)	E.G.M.	ŞEHİRİÇİ	988 492 982
		ŞEHİRDİŞİ	358 251470
		TOPLAM	1 346 744 452
	JANDARMA	TOPLAM	213 665 210
	GENEL TOPLAM		1 560 409 662

Trafik kazaları her ülke için sorun olsa da, bu sorun ülkemiz için trajik boyutlara ulaşmıştır. Artan nüfusla beraber sürücü belgesi sahipliğinin artmasının doğal sonucu olarak trafikteki araç sayısı da artmaktadır. Çizelge 2.2’nin incelenmesinden görüleceği üzere 2007 yılında Türkiye’deki toplam kaza sayısının 825 583 , bu kazalardaki *ölü sayısının 5 004*, yaralı sayısının da 188 383 olduğu görülmektedir [13]. Ancak, her yıl olduğu gibi bu yılın sonunda da yapılan istatistiklere yansıyan bu ölü ve yaralı sayılarının kaynağı, sadece kaza yerinde doldurulan *Trafik Kazası Tesbit Tutanağı*’ndaki olayın olduğu andaki durumu yansıtan kaza yeri verileridir. Kazada yaralananlardan yolda, hastahaneye taşınırken veya olay yerinde yaralanıp, olaydan sonra (dünyada kabul gören 30 gün) kazaya bağlı olarak gerçekleşen ölümler takip edilip derlenemediği ve doğal olarak bu ölümler Trafik Kazası Tesbit Tutanağı’na yansımadağı için kazada ölenlerin sayıları istatistiklerde gösterilen bu rakamlardan daha fazladır.

Benzer durum, kazalarda meydana gelen maddi kayıp için de sözkonusudur ve istatistikler gerçek değerin çok altında kayıp göstermektedir. Bunun sebebi, kazalarda meydana gelen yük hasarının istatistiklere girmemesi, ayrıca araçlarda oluşan hasarların kaza tutanaklarında son derece düşük gösterilmesidir. 2007 yılında meydana gelen kazaların toplam *maddi boyutu da 1 560 409 662 YTL* olarak hesaplanmıştır [9,13].

Ankara Ticaret Odası tarafından 2003 yılında yapıp kamuoyuna sunulmuş olan "*Trafik Trajik*" araştırmasına göre trafik kazalarında her yıl bir ilçenin, her on yılda da bir ilin haritadan silindiği ile aynı süre içerisinde bir milyonu aşan büyük bir kent nüfusu kadar sakatlanma ve yaralanmaların meydana geldiği belirtilmektedir [7].

Trafik kazalarında Türkiye'de son on yılda yüz bin kişinin yaşamını yitirdiği belirtilen aynı araştırmada, kazalarda, 8 milyonu aşkın kişinin etkilenip, 1,2 milyon kişinin de yaralandığı ya da sakat kaldığı ile *kazaların maddi boyutunun 100 milyar dolar* olduğu ve bu rakamla bir yıl boyunca 2 417 000 kişinin istihdam edilip işsizlik sorununun ; 500 000 okul yapılmasıyla da eğitim sorununun çözüleceği ile 4 kişilik 8 250 000 ailenin bir yıl boyuncaki gıda, eğitim, konut, giyim, ulaşım, haberleşme, elektrik ve su masraflarının karşılanabileceği belirtilmektedir.

2.1. Kazalara Karışmış Sürücülerin Eğitim Durumları

"*Taksir*" , tedbirsizlik, dikkatsizlik, meslek ve sanatta acemilik, emir ve nizamlara uymama gibi hususlardan oluşur. Öğretide de taksirli suçlardan sorumluluğu açıklama konusunda en güçlü kuram "*öngörülebilme*" kuramıdır. Bu kurama göre, taksirin cezalandırılmasının nedeni, eylemin yarattığı zarar verici sonucun önceden tahmin edilerek bu eylemden kaçınma olanağı varken bunun yapılmamış olmasıdır. Taksiri kazadan ayıran nokta, birincisinde failin, işlediği eylemden ya da ihmaliinden doğacak sonuçları tahmin edebilecek durumda olması; buna karşılık ikincisinde ise, failin, eyleminin sonuçlarını düşünerek gerekli önlemleri almasına karşın eylemden tahmin edilemeyen sonuçların doğmasıdır. Bu nedenle taksir cezalandırmaya yol açarken; kaza, fail için ceza sorumluluğu doğurmaz [18].

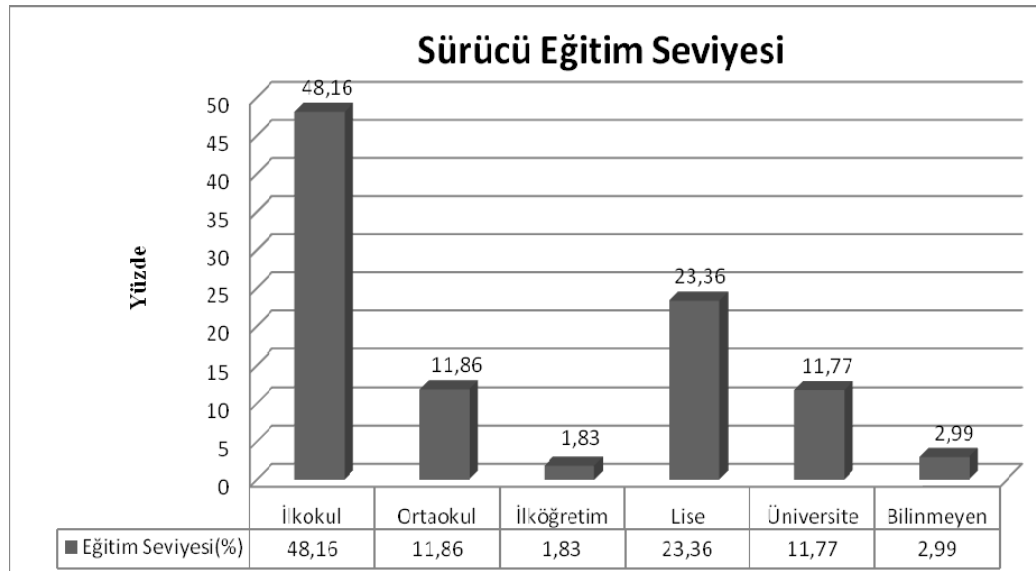
Bir yandan yaşamımızı kolaylaştıran araçlar, bir diğer taraftan ise taşıdığı riskler yüzünden “*trafik*” olgusu ile ülkemizdeki en önemli sorunlardan biri olan “*trafik kazalarına*” sebep olmaktadır. Ancak ülkemizde meydana gelen bu kazaların çoğu, hızlı teknoloji doğrultusunda gelişen araçlara karşın, aynı süre içerisinde aynı değişimi gösteremeyen ya da bilerek kural ihlali yapan bu araçları kullanan eğitimsiz sürücülerin taksirli hareketlerinden kaynaklanmaktadır.

“*Kaza*” , sebepleri önceden belli olan “*olay*” dan farklı olarak, beklenmedik şekilde birdenbire oluşan ve kişinin elinde olmayıp önüne geçilip önlenemeyen istem dışı sebeplerden kaynaklanırken, ülkemizde “*trafik kazası*” olarak tanımlanan olayların çoğu ise, dikkat, denetim ve özen eksikliği gibi önlenabilir sebeplerden dolayı meydana gelmektedir. Bu durumda ülkemizde trafik kazası olarak tanımlanan bu kazaların(!) çoğunun, zarar doğuracak sebepleri önceden bilinen ve hiçbir istem dışı olarak nitelendirilemeyecek olan , yasal hız sınırını aşma, trafik işaret ve işaretlemelerine uymama gibi eğitimsizlikten/bilgisizlikten ya da dikkatsizlik, tedbirsizlik ve ihmalden kaynaklanması sebebiyle kaza tanımı ile pek örtüşmediği ve bunların birer kaza değil, taksirli suç kapsamında değerlendirilecek olay olduğu söylenebilir. Bu nedenledir ki trafik kazalarının önlenmesinde takip edilecek uzun süreçte, öncelikle önem verilmesi gereken husus insanın eğitimidir. Ancak, sadece eğitim yetmez; verilen eğitimin etkin şekilde denetimi ve eğitim almış olan sürücünün trafikte takibi de gerekmektedir. Çünkü oluşan kazalardaki sorumluluk sadece kazayı yapan yeterli eğitime sahip olmayan sürücüye ait değildir; sürücünün aldığı bu yetersiz eğitimin düzenlenmesi ve denetlenmesinden sorumlu olduğu halde kendileri yetersiz kalarak ve önlenabilir sebeplerden kaynaklanan olayları da “*kaza(!)*” olarak nitelendirerek aslında çaresizlik göstermiş olanlar da en az kazayı yapan sürücü kadar sorumludurlar. Sürücülere verilecek eğitimin içeriğinden sorumlu olanlar gibi, alınan bu eğitim sonrası sürücünün trafikteki denetiminden sorumlu olanların sorumlulukları, yalnızca, artan nüfusla beraber artan taşıt sayısı ve her yıl ne kadar sürücü belgesi verildiği ile yıl sonlarında aylara göre kaza(!) istatistikleri çıkarıp, bu kazalarda ölen ve yaralananların sayılarının profilleriyle ilişkilendirildiği grafikleri çıkarıp kamuoyuna duyurmakla sınırlı kalmamalıdır.

Neredeyse bir haftada gerçekleşen ölüm sayısının Avrupa ülkelerindeki yıllık ölüm sayısına eşit olduğu ve maalesef “*trafik kültürünün*” olmadığı, aksine hep birlikte “*kuralsızlığın kültürünü*” oluşturduğumuz ülkemizde, sürücüler kısa sürede ve iyi bir eğitim almadan sürücü belgesi sahibi oluyor; sonuçta da, kurslarda öğrenmeleri gereken bilgileri trafikte yaşarken öğrenmek, hatta bazen hiç öğrenmeden hayatlarını kaybetmek durumuyla karşı karşıya kalıyorlar. Ne hayat ne de fizik hata kabul etmediği ve trafiğin de, hataları pek tolere edebilecek bir olgu olmaması sebebiyle, trafikteki her sürücü , merkezkaç kuvvetin ne demek olduğunu bilmemesi nedeniyle hızlı girdiği dönemeç sonrası savrulduğu şarampolden sağ-salim şekilde yürüyerek çıkma ve bu hatalı hareketinden ders alma şansına sahip olamadığından, sürücünün kendisine verilmemiş, ancak bilmesi gereken bu bilgileri trafikte denemeyanıyla öğrenmeye çalışması şeklinin, kaybedilen canlar ve heba olan milli servet dikkate alındığında, hem çok pahalı olduğu hem de doğru olmadığı kolayca görülebilir.

Ceza yaptırımı , suçla/sorunla mücadelede tek enstrüman değildir. Bilmediğinden kişiyi sorumlu tutarak cezalandırmak yönündeki uygulama sorunun çözümüne katkı sağlamadığı için bugün ülkemizde büyük bir sorun olan trafik kazalarının azaltılması, sadece çıkarılacak olan ve yeterli eğitim almamış sürücülere uygulanacak daha da ağır yaptırımlara sahip kanun ve yönetmelikler ile mümkün gözükmemektedir. Suçun isnat edilebilmesi , ancak suçu oluşturan hareketin, suçlanan tarafından önceden bilinip de uygulanmaması ile mümkündür. Vermediğinizi, karşınızdakinden bekleyip, istenenin gerçekleşmemesi durumunda da sırf, elde ettiğiniz sonucun bütün sorumluluğunu/kusurunu yüklediğiniz karşınızdakini suçlayıp, cezalandırmak yönündeki yaklaşımın sorunu çözmediği, yeni Türk Ceza Kanunu’nda trafik kazasında ölüme neden olan sürücünün davasının, cinayet işlemiş kişi gibi Ağır Ceza Mahkemesinde görüldüğü halde kazaları azaltmadığı dikkate alındığında, kazaları önlemeye yönelik çözümün ağır yaptırımlarla çıkarılacak olan daha daha yeni kanunlarda değil, eğitimde olduğu açıktır. Yasalar ve cezalar sürekli güncelleştirilse de, eğitimdeki açık giderilmedikçe, yapılan çalışmalar istenilen sonucu vermeyecektir.

Artan nüfusla beraber sürücü belgesi sahipliğinin artmasının doğal sonucu olarak trafikteki araç sayısı artmakta ve her yerde olduğu gibi, nicelikte bir artış olduğu zaman nitelikte zafiyetler, arkasından da sorunlar çıkmaya başlamaktadır. Trafik gibi çok bileşenli ve sorunlu bir konuda kısa sürede çözüme ulaşılmmasının mümkün görünmemesi, aynı zamanda böyle bir beklentinin içine girilmesinin de gerçekçi olmaması sebebiyle, sayısı fazla olan ülkemizdeki trafik kazalarının önlenmesinde takip edilecek uzun süreçte, öncelikle önem verilmesi gereken unsur insanın eğitimidir. Ne kadar mükemmel araçlar yapılsa da, aracı kullanacak kişinin aracı kullanmak için bilgi yeterliliği az ise, sonuç pek memnun edici olmayacaktır. Bu nedenle, her ne kadar teknolojik gelişmelere paralel olarak, yeni sistemlerle sürücülerden kaynaklanabilecek kusurların azaltılmasıyla sürücü, istese de bazı hataları yapamayacaksa da, bu sistemler iyi eğitilmiş bir sürücünün yerini alamayacağından, trafik probleminin çözümünde ilk ele alınacak olan trafiğin en önemli unsurunu oluşturan insanın bilgilendirilip-bilinçlendirilerek eğitilmesi gerekmektedir.



Şekil 2.3. 2005 yılında trafik kazasına karışmış olan sürücülerin eğitim seviyeleri

Şekil 2.3'ün incelenmesinden ,Türkiye genelinde 2005 yılında meydana gelen ölümlü ve yaralanmalı trafik kazasına karışmış olan erkek ve kadın olmak üzere 109 636 sürücünün eğitim düzeylerinin belirlenmesi için yapılan tasnif sonucunda, bu sürücülerin, % 48,16'sını ilköğretim, % 11,86'sını ortaokul, % 1,83'ünü ilköğretim, % 23,36'sını lise, % 11,77'sini ise üniversite mezunlarının, % 2,99'unu da eğitim seviyesi tespit edilemeyenlerin oluşturduğu görülmektedir [16]. Kazaya karışan bu sürücülerin yaklaşık % 62'sini ilköğretim ve ortaokul mezunu kişilerin oluşturduğunun görülmesiyle, öğrenim düzeyi ile kaza yapma olasılığı arasında anlamlı ilişkiler olduğu ve eğitim seviyesinin artması ile kaza(!) sayılarının azalacağı söylenebilir.

2.2. Kazalarda Ağır Vasıtaların Etkisi

2007 yılı haziran itibariyle toplam 12 590 092 olan kayıtlı araç sayısından karayollarında en çok bulunan aracın toplam sayının yaklaşık % 50'sine tekabül eden 6 289 612'lik sayı ile otomobil olması sebebiyle doğal olarak otomobil sürücülerinin herhangi bir kazaya karışma oranları da yüksektir. 2007 yılında trafik kazalarına karışan 1 395 120 aracın cinslerine göre yapılan tasnifte kazaya karışan araçların 827 850'sini otomobil oluştururken, 268 570' ini kamyonet, 75 464'ünü kamyon, 75 111'ini minibüs ve 55 921'ini de otobüs oluşturmaktadır [13]. Görüldüğü gibi otomobil dışındaki ve otomobilden daha fazla ağırlığa sahip olan araçların toplam sayısı 475 066 olmaktadır ve bu sayı otomobil sayısının yaklaşık yarısıdır. Ancak, otomobil sayısına nazaran az olmalarına rağmen yolcu ve yük taşımacılığında karayolu kullanımının yüksek olduğu ülkemizde, karayollarında bulunma sıklıklarının fazla olması sebebiyle kazaya karışma oranları da fazla olan ağır vasıtaların karışmış oldukları kazalardaki, ölü ve yaralı sayıları ile hasar miktarları, büyük kütlelerinin fazlalığı nedeniyle diğer küçük araçların birbirleriyle karıştığı kazalara nazaran daha fazla olmaktadır. Bu nedenle bu araçların karıştığı kazaların önlenmesi için bu kazaların aktörleri olan *ağır vasıta kullanıcılarından* kaynaklanan hataların en az seviyeye indirilmesi için çaba gösterilmelidir.

Çizelge 2.3. Ağır vasıta sürücülerinin öğrenim durumu ve yaş grupları itibariyle dağılımı

	Yaş Grupları											
Öğrenim Durumu	18-29		30-39		40-49		50-59		60-70		Toplam	
	sayı	%	sayı	%	sayı	%	sayı	%	sayı	%	sayı	%
İlkokul terk	0	0.0	3	75.0	1	25.0	0	0.0	0	0.0	4	0.4
İlkokul mez.	62	12.1	204	39.8	195	38.0	46	9.0	6	1.2	513	51.6
Ortaokul terk	41	26.1	66	42.0	44	28.0	6	3.8	0	0.0	157	15.8
Ortaokul mez.	24	19.0	60	47.6	34	27.0	8	6.3	0	0.0	126	12.7
Lise terk	13	23.6	31	56.4	8	14.5	2	3.6	1	1.8	55	5.5
Lise mezunu	29	26.6	50	45.9	28	25.7	2	1.8	0	0.0	109	11.0
Üniversite terk	8	38.1	7	33.3	6	28.6	0	0.0	0	0.0	21	2.1
Üniv. Mezunu	2	22.2	5	55.6	1	11.1	1	11.1	0	0.0	9	0.9
Toplam	179	18.0	426	42.9	317	31.9	65	6.5	7	0.7	994	100

Çizelge 2.3’ün incelenmesinden, ağır vasıta sürücülerinin yaşlarının genellikle 50 (elli) altında, çoğunlukla da 30 (otuz) ile 50 (elli) arasında olduğu ile 60 (altmış) yaşını aştıktan sonra ise, bu işi meslek olarak icra edenin neredeyse yok denecek düzeyde olduğu ve sürücülerden yaşları 30-50 arasında olanların yaklaşık % 39 gibi bir oranla ilkokul mezunu oldukları; ilkokul mezunlarının toplam ağır vasıta sürücülerinin sayısı içerisindeki oranlarının da % 51,6 olduğu görülmektedir.

Profesyonel yaklaşımda, bilgisi daha fazla olana daha büyük çaplı işler ve değerler teslim edilirken, ne yazık ki trafikte bunun tam tersi yaşanmakta ve yük ile yolcu taşımacılığında karayolu kullanımının yüksek olduğu ülkemizde, ağır vasıtaların teslim edildiği ağır vasıta kullanıcılarının eğitimleri ise, kullandıkları araçların trafikte kapladıkları hacimleriyle ters orantılı durumdadır. Resmi öğrenim sürecinin herhangi bir basamağından isteyerek ya da zorunlu nedenlerle çekilmelerin, toplumsal tabakalaşma hiyerarşisinin alt taraflarına sıkıştırdığı bu ağır vasıta sürücülerinin, trafik kazalarının önlenmesinde öncelik verilmesini istedikleri hususlarda birinci sırayı ise “yeterli sürücü eğitimi” nin aldığı görülmektedir [10].

Çizelge 2.4. Sürücülerin düşüncelerine göre trafik kazalarının önlenmesi için öncelik verilmesi gereken hususlar

Öncelik Verilmesi Gereken Husus	öncelik sırası (%)			
	birinci	ikinci	üçüncü	Toplam
1. Yeterli sürücü eğitimi	58.3	17.1	13.4	29.6
2. Yeterli ve zamanında denetim	6.0	16.8	12.7	11.8
3. Yol alt yapısı ve işaretlemenin iyileştirilmesi	13.1	31.8	21.4	22.1
4. Bölünmüş yol ve otoyol yapılması	15.7	21.6	27.3	21.5
5. Mevzuatın güncelleştirilmesi	4.6	7.4	16.2	9.4
6. Cezaların artırılması	1.0	2.6	4.8	2.8
7. Diğer	1.3	2.8	4.2	2.7
Toplam	100	100	100	100

Çizelge 2.4, ağır vasıta sürücülerinin önemli bir kısmının (% 58,3) yeterli sürücü eğitiminin, mevcut alt yapının ve işaretleme sisteminin iyileştirilmesi ile birarada yürütülmesi halinde trafik kazalarının önlenmesinde önemli mesafeler kat edilebileceği ile cezaların arttırılmasının ise önemli bir yer tutmadığı düşüncesinde olduklarını göstermektedir.

Özetle, öğrenim düzeyi ile kaza yapma olasılığı arasında anlamlı ilişkiler olduğu ve ilkökul mezunu gibi az eğitilmiş sürücülerin kaza yapma oranının diğer sürücülere göre daha fazla olduğu görülmüştür. Buradan hareketle genel olarak bütün sürücülerin, ancak, oluşan trafik kazalarından, yolcu ve yük taşımacılığında karayoluna düşen payın fazla olduğu ülkemizde, karayolunda bulunma sıklıkları fazla olan ve sonuçları diğer kazalara nazaran daha ağır olan kazaların ağır vasıtaların karıştığı kazalar olduğu dikkate alınırsa, bu kazaların baş aktörleri olan ve *eğitimleri, kullandıkları araçların trafikte kapladıkları hacimleriyle ters orantılı olan ağır vasıta sürücülerinin*, daha iyi denetlenmesi ve eğitimlerine daha fazla ağırlık verilmesi gerektiği sonucu ortaya çıkmaktadır.

Ancak, kazaların önlenmesinde eğitimin rolünün açık olması ve ilkokul mezunu gibi az eğitilmiş sürücülerin kaza yapma oranının diğer sürücülere göre daha fazla olduğu gibi bir sonuç ortadayken, diğer küçük araç kazalarına nazaran ölü ve yaralı sayılarının daha fazla olduğu ağır vasıta kazalarının mimarları olan ağır vasıta sürücülerinden, yük ve yolcu taşımayı düzenleyen 4925 sayılı *Karayolları Taşıma Kanunu*'nuna bağlı yönetmelikte, yolcu taşımacılığı yapılacak araçlarda çalışacak olanların en az lise veya dengi okullardan birini bitirmiş olmaları (Madde 60/b) şartı varken, eşya ve kargo taşımacılığında ise böyle bir zorunluluk olmayıp, bu taşıtlarda çalışacak sürücülerin ilköğretim okullarından birini bitirmiş olmalarının (Madde 60/c) yeterli olduğu belirtilmektedir. Eğer, ikisi de ağır vasıta olmasına rağmen birinde can taşınması olmadığı için böyle bir ayırım yapılmış ise, eşya veya kargo taşıyan ve sürücülerinin ilkokul mezunu olmaları yeterli görülen bu vasıtaların da diğer can taşıyan araçlar kadar karayolunda yer kapladığı düşünülürse, 45 yolcu taşıyan bir otobüsün bir otomobil ile çarpışmasıyla aynı ağırlığa sahip eşya/kargo taşıyan bir aracın bu otomobille çarpışmasında ne değişecektir? Her ikisinde de büyük ihtimalle otomobil sürücüsü acı bir şekilde hayatını kaybedecektir.

3. ARAÇLARIN KİNETİĞİ

3.1. Çarpışma

Çarpışma, fizikte, iki ya da daha çok cismin ani ve kuvvetli bir biçimde doğrudan etkileşime girmesi demektir. Cisimleri oluşturan malzemenin özelliklerinin yanı sıra, çarpışmanın sonucunu belirleyen iki temel etmen, çarpma kuvveti ile çarpışan cisimlerin birbirlerine değme süresidir. Sert çelik bir bilye, çelik bir levha üzerine düştüğünde, yaklaşık olarak bırakıldığı konuma sıçrar; buna karşılık kurşun ya da macundan bir bilye ise bu kadar geri sıçramaz. Çelik levha ile çelik bilye arasındaki bu çarpışmaya *esnek çarpışma*, kurşun ya da macun bilye ile levha arasında olan bu çarpışmaya ise, *esnek olmayan çarpışma* denir. Tümüyle esnek ya da esnek olmayan çarpışma türlerinin arasında, çeşitli esneklik derecelerinden çarpışmalar vardır. Yalnızca atom düzeyinde görülebilen tümüyle esnek çarpışmalarda, çarpışan cisimlerin kinetik enerjileri tümüyle korunur; tümüyle esnek olmayan çarpışmalarda ise, kinetik enerji kaybı en yüksek düzeye ulaşır.

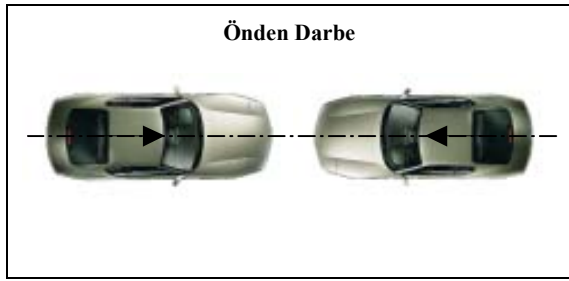
Bilardo toplarının birbirine, golf sopasının golf topuna, çekicin çiviye çarpması gibi çarpışma türlerinde, cisimlerin birbirlerine değme süresi çok kısa , çarpma kuvveti ise çok büyüktür. Limit halde sonsuz büyüklükte bir kuvvetin , sonsuz küçüklükte bir zaman diliminde uygulanması durumunda, cismin hızında ani bir değişim ortaya çıkar, ama değme süresince konumunda hiçbir değişiklik olmaz. Bu tür kuvvetlere impuls (darbe ya da vuru) kuvveti denir ve bunların ölçülmesi ya da kestirilmesi çok zor olduğundan, etkileri, cismin momentumunda (kütle x hız) ortaya çıkan değişimle ölçülür.

İki cisim çarpıştığında, eşit ve zıt impuls kuvvetleri, iki cisimli bu sistemin iç kuvvetleridir ve bu nedenle sistemin toplam momentumunda bir değişikliğe yol açmazlar. Bu olgu, cisimlerin çarpışmadan önceki momentumlarının toplamının, çarpışmadan sonraki momentumlarının toplamına eşit olduğunu gösterir.

Çarpışmadan önceki ve sonraki kinetik enerjiler arasındaki ilişki, cisimlerin esnekliğine bağlıdır. Cisimlerin başlangıç hızları bilindiğinde, momentum ve enerji denklemlerinin birlikte çözülmesi yoluyla son hızlar hesaplanabilir.

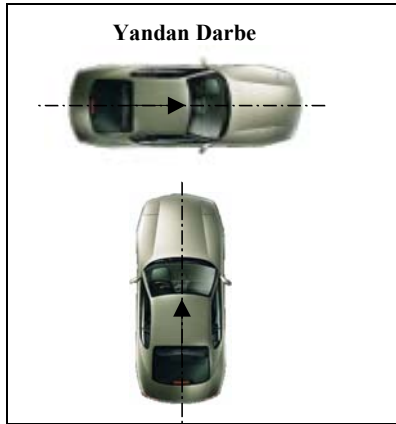
Karayolunda taşıtların birbirleriyle çarpışmaları sonucu meydana gelen kazaların ortak bir tanıma sahip olabilmeleri için sınıflandırılmaları gerekmektedir. Meydana gelen taşıt kazalarında en sıklıkla görülen çarpışma tipleri, önden çarpma (karşılıklı çarpışma), yandan çarpma ve arkadan çarpmadır[8].

•**Önden çarpma (karşılıklı-merkezi çarpışma):** Taşıtın, diğer taşıt ile ya da sabit veya hareketli bir engelle/engelle ön kısmından çarpması/çarpışmasıdır.



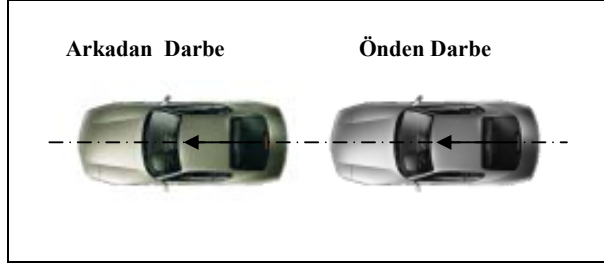
Şekil 3.1. Önden çarpma

•**Yandan çarpma (çarpışma):** Taşıtlardan birinin önden, diğerinin yandan çarpmaya uğramasıyla meydana gelen çarpmalardır.



Şekil 3.2. Yandan çarpma

• **Arkadan çarpma:** Taşıtlardan birinin ön kısmıyla diğer taşıta veya sabit ya da hareketli engele arkadan çarpmasıdır.



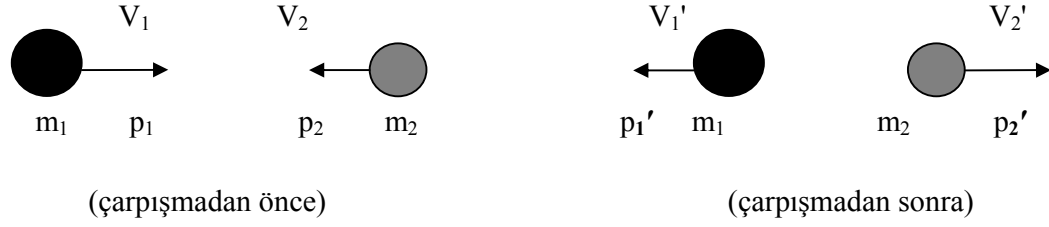
Şekil 3.3. Arkadan çarpma

Çarpışma ve esneklik

Esneklik, belirli kuvvetlerin etkisi altında biçim değişikliğine (deformasyon) uğrayan bir cismin, bu kuvvetler kaldırıldığında eski biçimine ve boyutlarına dönme yeteneğidir. Fizikte esnekliklerine göre 3'e ayrılan cisimlerden, esneklik yeteneği olan, yani tesir eden kuvvetler ortadan kalktığı zaman ilk şekline dönebilen cisimlere **esnek (elastik) cisimler**; etki eden kuvvetler cisimde bir değişikliğe neden oluyor ancak, kuvvetin etkisi ortadan kalktığında cisim ilk şekline dönemiyorsa, bu cisimlere **esnek olmayan (plastik) cisimler**, uygulanan kuvvet sonunda cisimde hiçbir değişiklik olmuyorsa bu tür cisimlere de **rijit cisimler** denir.

Esnek çarpışma:

Çarpışma sırasında cisimlerde ezilme, kırılma gibi kalıcı şekil değişikliklerinin olmaması sebebiyle kinetik enerji kaybının olmadığı (*çarpışmadan önceki toplam kinetik enerji, çarpışmadan sonra da yine kinetik enerji olarak açığa çıkar, ancak genellikle çarpışan cisimler arasında öncekinden farklı paylaşılır*), dolayısıyla çarpışmadan sonra toplam kinetik enerjinin değişmeyip korunduğu çarpışmalardır. Bu çeşit çarpışmada m_1 ve m_2 kütlelerine sahip cisimler çarpıştıktan sonra birbirlerinden ayrılarak, V_1' ve V_2' hızları ile hareket ederler. Bütün çarpışmalarda momentum korunumu olmasına rağmen kinetik enerjinin korunumu sadece esnek çarpışmalarda vardır.



Şekil 3.4. Esnek çarpışma

- Enerjinin Korunumu:

Kapalı bir sistemde (*dış kuvvetin etki etmediği*) etkileşim halinde bulunan cisimlerin enerjilerinin sabit kalacağını belirten ilke. Bu ilkeye göre , kütlesi $\mathbf{m_1}$ ve hızı $\mathbf{V_1}$ olan 1.cisim ile kütlesi $\mathbf{m_2}$ ve hızı $\mathbf{V_2}$ olan 2.cismin esnek çarpışmasında, cisimlerin çarpışmadan önceki kinetik enerjilerinin toplamı ile çarpışmadan sonra birbirlerinden ayrılan cisimlerin kütlelerinin çarpışma sonrası hızlar olan $\mathbf{V_1'}$ ve $\mathbf{V_2'}$ ile oluşturdukları kinetik enerjilerin toplamı birbirine eşittir; enerji kaybı olmaz. Yani,

$$\frac{1}{2}m_1V_1^2 + \frac{1}{2}m_2V_2^2 = \frac{1}{2}m_1V_1'^2 + \frac{1}{2}m_2V_2'^2 + \Delta\epsilon \quad \text{dir.} \quad (3.1)$$

- Momentumun Korunumu:

Yalnızca iç kuvvetlerin (*dizgenin kendi parçaları arasındaki kuvvetler*) etkisi altında olan, dış kuvvetlerin etki etmediği kapalı bir sistemde, çarpışmadan önceki momentumların toplamı, çarpışmadan sonraki momentumların toplamına eşittir. Yani, kütlesi $\mathbf{m_1}$ ve hızı $\mathbf{V_1}$ olan 1.cisim ile kütlesi $\mathbf{m_2}$ ve hızı $\mathbf{V_2}$ olan 2.cismin çarpışmadan önceki kütle ve hızlarının çarpımları olan $\mathbf{p_1}$ ve $\mathbf{p_2}$ momentumlarının toplamları, çarpışmadan sonra cisimlerin hızları olan $\mathbf{V_1'}$ ve $\mathbf{V_2'}$ nün kütlelerinin çarpımlarıyla oluşturdukları $\mathbf{p_1'}$ ve $\mathbf{p_2'}$ momentumlarının toplamlarına eşittir.

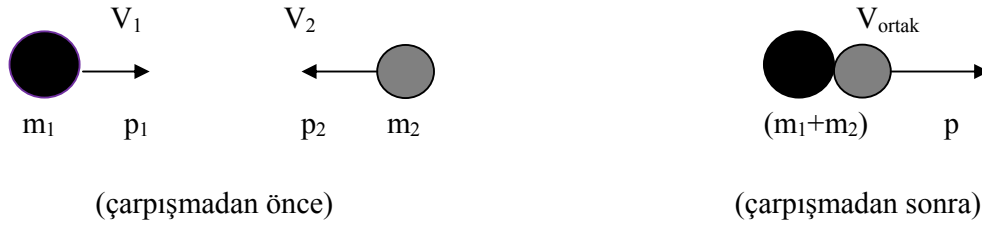
$$m_1V_1 + m_2V_2 = m_1V_1' + m_2V_2' \quad \text{yani,}$$

$$p_1 + p_2 = p_1' + p_2' \quad \text{dür.} \quad (3.2)$$

Esnek olmayan çarpışma:

Çarpışmadan sonra toplam kinetik enerjinin değiştiği (bu değişme azalma şeklindedir; kaybolan enerji katılarda ısıya, kimyasal maddelerde kimyasal enerjiye dönüşür) çarpışmadır. Çarpışmada cisimler üzerinde ezilme, kırılma ve burulma gibi kalıcı şekil değişikliklerinin olması için gereken enerjinin, cisimlerin kinetik enerjilerinden sağlanması sebebiyle kinetik enerjinin bir kısmı ısıya dönüşeceğinden kinetik enerjinin korunmadığı ve cisimlerin çarpıştıktan sonra birbirlerine yapışarak V_{ortak} hızıyla birlikte hareket ettikleri bu çarpışmada momentum korunumu prensibine göre ,

$$m_1V_1 + m_2V_2 = (m_1 + m_2)V_{\text{ortak}} \quad \text{yazılabilir.} \quad (3.3)$$



Şekil 3.5. Esnek olmayan çarpışma

Kütlesi m_1 ve hızı V_1 olan 1.cisim ile kütlesi m_2 ve hızı V_2 olan 2.cismin esnek olmayacak şekilde çarpışmaları sonucunda, birbirlerine yapışan cisimlerin m_1 ve m_2 olan kütlelerinin oluşturduğu bu birleşik kütle ortak hızla hareket edecek ve oluşan bu yeni sistemin momentumu da bu birleşik kütlenin V_{ortak} hızıyla çarpımından oluşacaktır. Böylece bu çarpışmada momentum,

$$p = (m_1 + m_2)V_{\text{ortak}} \quad \text{olacaktır.} \quad (3.4)$$

Sonuçta, eğer çarpışmadan önceki ve sonraki toplam kinetik enerji değişimi olan,

$$\Delta \varepsilon = 0 \quad \text{ise, } \mathbf{\text{çarpışma esnek}},$$

$$\Delta \varepsilon \neq 0 \quad \text{ise, } \mathbf{\text{çarpışma esnek olmayan çarpışmadır.}}$$

Burada $\Delta \varepsilon$, çarpışma sırasında ortaya çıkan kinetik enerji değişimidir.

Esnek çarpışmalarda, çarpışma sonrası hızları bulmak için momentum korunumu ve kinetik enerji korunumundan yararlanılarak yazılan denklemler kullanılacağından, hızın karesi gibi ifadelerin bulunması çözümü zorlaştıran bir unsurdur. Bu yüzden de **esneklik ya da sıçrama katsayısı (coefficient of restitution) (e)** adı verilen bir kavram çözüm yöntemini kolaylaştırır. Esnek ve esnek olmayan çarpışma, her iki cismin çarpma öncesi ve sonrasındaki hız farklarının oranı ile sembolize edilmektedir.

$$e = \frac{V_2' - V_1'}{V_1 - V_2} \quad (3.5)$$

Mekanikte cismin değil, çarpışmanın gerçek bir özelliği olan ve çarpışmadan hemen önce ile hemen sonra, çarpışan noktaların rölatif hızlarının oranı olup, mükemmel esnek çarpışmada $e=1$ olan bu katsayı, tümüyle esnek ya da esnek olmayan çarpışma türlerinin arasındaki çeşitli esneklik derecelerinden olan çarpışmalarda ise $[0,1]$ aralığındadır. Yani,

$e = 1$ ise, çarpışma tam esnek (elastik) ,

$e = 0$ ise, çarpışma tam esnek olmayan (plastik) çarpışmadır.

Çizelge 3.1. Tek boyutlu çarpışmaların sınıflandırılması

Tip	Kinetik Enerji	Esneklik Katsayısı
Tam Esnek	Korunur	$e= 1$
Kısmen Esnek	Korunmaz	$0 < e < 1$
Tam Plastik	Maksimum Kayıp	$e= 0$

Tek boyutlu çarpışmaların sınıflandırılmasını gösterir Çizelge 3.1 incelendiğinde, çarpışmalarda çarpma dayanımını belirleyen esneklik katsayısının $e=1$ olduğu durum olan tam esnek çarpışmalarda, cisimler üzerinde deformasyonun olmaması sebebiyle çarpışan cisimlerin kinetik enerjileri tümüyle korunur ; buna karşılık $e=0$ olduğu durum olan tam plastik çarpışmalarda ise cisimlerin çarpışma sonrası birbirlerine yapışması nedeniyle kinetik enerji kaybı en yüksek düzeye ulaşır.

3.2. Enerji

Herhangi bir cismin veya fiziksel sistemin iş yapabilme yeteneğine *enerji* denir ve eğer bir cisim veya sistem iş yapılabiliyorsa enerjisi var demektir. Hareket eden bir cismin sadece hızı nedeni ile sahip olduğu ve genellikle hareket enerjisi olarak tanımlanıp, cisim üzerinde yapılan net işten doğan ve kütlesi **m**, hızı **V** olan cisim için,

$$E_k = \frac{1}{2} m V^2 \quad (3.6)$$

şeklinde sembolize edilen kinetik enerji ile etkileşmekte olan parçacıkların oluşturduğu bir sistemde, parçacıkların düzenlenişlerinden (konumlarından) dolayı sahip oldukları enerji olarak tanımlanan potansiyel enerjinin (depolanmış enerji) toplamı olan mekanik enerji, sistemde sürtünmeden dolayı enerji kaybı yoksa , değişmez. Yani kapalı bir sistemde, potansiyel enerjinin kinetik enerjiye veya kinetik enerjinin potansiyel enerjiye dönüşü sırasında, birindeki artma diğerindeki azalmaya eşit olacağından sistemdeki enerjinin değeri sabittir.

Mekanik Enerji= Kinetik Enerji+ Potansiyel Enerji

$$E = K + U = Sabit \quad (3.7)$$

Doğadaki tüm olgular için geçerli olan bu *Enerjinin Korunumu Yasasına* göre, doğada gerçekleşen tüm değişimler sırasında, sisteme etki eden kuvvetler ister korunumlu, ister korunumsuz olsun, sistemin toplam enerji miktarı değişmez. Enerji, belirli bir sistemde, birçok değişik biçimde bulunabilir ve enerjinin korunumu yasası çerçevesinde, bir biçimden ötekine dönüştürülebilir. Bu değişik biçimler, kütleçekimi enerjisi, kinetik enerji, ısı enerjisi, elektrik enerjisi, kimyasal enerji, ısıtım enerjisi, çekirdek enerjisi ve kütle enerjisidir. Ancak “*Enerjinin Korunumu*”, her durumda geçerliliğini koruyan bir kural olmaktan çok , belirli bir an için matematiksel olarak gösterilebilecek bir ilkedir. Eğer zaman içinde bir an öteki anlardan belirli biçimde farklıysa, farklı anlarda oluşan aynı fiziksel olgular farklı miktarda enerjiye gereksinme gösterecek ve böylelikle de enerji korunmuş olmayacaktır.

3.3. Momentum

Hareketin belirgin özelliği olup, bir doğru boyunca hareket eden (sadece öteleme hareketi yapan) cismin hareket miktarının (taşıdığı hareketin) bir ölçüsü olan doğrusal momentum, eğer cismin hızı $\mathbf{V}$ ve kütlesi $\mathbf{m}$ ise, kütle ve hızın çarpımı olarak tanımlanır [4]. Bütün nesneler az ya da çok bir kütleye sahip olduğundan, eğer nesne hareketli ise, o zaman nesnenin kütlesi ve bu hızından dolayı momentumu da vardır.

Cismin eylemsizliğinin ölçüsü olup, dış kuvvet yokken korunumlu bir nicelik olan ve iki değişkene sahip olması nedeniyle ne kadar hareket edildiği ile ne hızla hareket edildiği kavramlarını kapsayan momentum,

$$p = mV \text{ olarak ifade edilir.} \quad (3.8)$$

Hız ve momentum vektörleri birbirine bağlı olmakla beraber, bize farklı bilgiler verirler. Hız vektörü, cismin hangi yönde hareket ettiğini ve bu hareketin ne kadar çabuk olduğunu belirtir; Momentum ise, cismin hareket yönünü ve cismi harekete geçirmek veya durdurmak için gerekli itmeleri belirtir.

Hız vektörel olduğundan, momentum($\mathbf{p}$) da vektörel bir niceliktir ve hız ile aynı yönlüdür. Nasıl ki ivme cismin hızındaki değişimin, enerji de iş yapabilmenin bir ölçüsü ise, momentum da cismin sahip olduğu hareket miktarının bir ölçüsüdür ve bir cismin momentumunu değiştiren en önemli fiziksel etken, bu cisme dışarıdan uygulanan bir $F_{Dış}$ kuvvetidir. Eğer,

$$F_{Dış} = 0 \text{ ise, hareketli cismin momentumu değişmez,}$$

$$F_{Dış} \neq 0 \text{ ise, hareketli cismin momentumu değişir.}$$

Hareketli bir cismin momentumunun zamana göre değişimi de, bu cismi birim zamanda durdurmak için gereken kuvvete eşdeğerdir [4,5].

$$F = \frac{dp}{dt} \quad (3.9)$$

• İmpuls (itki - darbe ya da vuru):

Parçacığın momentumundaki değişimdir. Başka bir deyişle, bir cisme uygulanan dengelenmemiş F kuvveti ile bu kuvvetin uygulanma süresinin (t) çarpımına denir. Bir cisim üzerinde çok kısa bir zaman aralığı içinde etkiyen F kuvveti ile bu kuvvetin etki süresinin çarpımından oluşan değer olan ve I ile gösterilen impuls,

$$I = F.t \quad \text{dir.} \quad (3.10)$$

$$F.\Delta t = m\Delta V = \Delta p \quad (3.11)$$

Burada,

$\Delta v \longrightarrow$ hızdaki değişim,

$\Delta p \longrightarrow$ momentumdaki değişim,

$\Delta t \longrightarrow$ kuvvetin etki süresidir.

Bir kütlenin hızını belli bir miktar değiştirmek için, ya küçük bir kuvvet uzun bir süre ya da büyük bir kuvvet daha kısa süre uygulanmalıdır. Eğer kütle öncekinin 2 (iki) katı olduğunda, bu kütleye yine aynı Δv hız değişimi kazandırılmak isteniyorsa, ya kuvvet iki katına çıkartılmalı ya da aynı F kuvveti $2\Delta t$ süresince uygulanmalıdır. Kamyon bir saman yığınının girdiğinde küçük bir kuvvetle fakat uzun sürede durabilmekte, duvara çarptığında ise, büyük bir kuvvetle fakat daha kısa sürede durmaktadır. Buradan , cisimlerin hareketliliğini arttırmak veya azaltmak için gerekli olan kuvvetin,

- cismin kütlesi ve hız değişimi ile doğru,
- uygulama süresi ile ters orantılı olduğu anlaşılır.

Sonuç olarak impuls (itme- I), bir cisme etkiyen kuvvet ile bu kuvvetin etki süresinin çarpımından oluşan vektörel değerdir.

$$F.\Delta t = m.\Delta V \quad (3.12)$$

İtme-Momentum Teoremi olarak bilinen bu teoreme göre , bir cisme uygulanan itme miktarı, cismin son momentumundan ilk momentumun çıkarılmasıyla bulunan momentum değişimine eşit olmaktadır.

3.4. Kuvvet

Hem büyüklüğü, hem de doğrultusu olduğundan bir vektör niceliği olup, devinime değil, ivmeye neden olan kuvvet, mekanikte, bir cismin konumunu değiştirmeye, korumaya ya da biçimini değiştirmeye yönelik etki ya da eylemlerin ortak adıdır. Hareketi ve harekete neden olan kuvveti inceleyen dinamiğin temel ilkelerini oluşturan **Newton Yasaları** da, sadece ölçülebilen mesafe ve zaman vasıtasıyla belirlenen ivme ve hız kavramlarını değil, kütle ve kuvvet gibi kavramları da içerir.

• **Newton'un Birinci Yasasına** göre, hareketsiz ya da düz bir hat üzerinde sabit hızla yol alan bir cisim, üzerine dışarıdan herhangi bir kuvvet etkilemediği sürece bu durumunu korur. Yani cisme etkiyen kuvvetlerin bileşkesi sıfır ise, cisim ya durmaktadır, ya da sabit hızla hareket etmektedir. Kütle m , doğrultusu ve yönü bulunan bir nicelik olarak gözönüne alınan hızın birim zamandaki değişimi (ivmesi) de a olan cisme etkiyen toplam kuvvet,

$$F = m.a \quad \text{dır.} \quad (3.13)$$

Eğer, cisme dışarıdan bir kuvvet etkilemezse, yani,

$$F_{Dış} = 0 \quad \text{ise,} \quad a = 0 \quad \text{dır.}$$

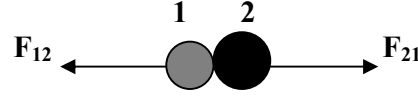
Net kuvvetin sıfır olduğu durumları açıklayan Newton'un bu birinci yasası, "**Eylemsizlik İlkesi**" ile ilgilidir. Bu ilke, durmakta olan cisimlerin durma istemiyle, hareket etmekte olan cisimlerin de hareket etme istemiyle tanımlanır.

• **İkinci Yasaya** göre, üzerine dışarıdan bir kuvvet etkiyen cisim, kuvvet doğrultusunda bir ivme kazanır. İvmenin büyüklüğü, dış kuvvetin büyüklüğü ile doğru, cisimdeki madde miktarıyla (kütle) ise ters orantılıdır. Yani,

$$a = \frac{F}{m} \quad \text{dir.} \quad (3.14)$$

Net kuvvetin sıfırdan farklı olduğu durumları tanımlayan ve "**Dinamiğin Temel İlkesi**" olan bu ikinci yasa, kütleyle ters orantılı olarak, uygulanan kuvvet yönünde ivmelenen cismin, üzerine ne kadar büyük bir net kuvvet etki ederse, ivmesinin de o kadar büyük olacağını belirtir.

• **Newton'un Üçüncü Yasasına** göre, herhangi bir cisim ikinci cisim üzerinde kuvvet uyguladığında, ikinci cisim de birinci cisim üzerine eşit, ancak zıt yönlü kuvvet uygular.



$$F_{12} = -F_{21} \quad (3.15)$$

Şekil 3.6. Çarpışma sırasında ortaya çıkan etki-tepki kuvvetleri

Kendi zıttı ile birlikte varolan, yani çift olan evrendeki bütün kuvvetler “*Etki-Tepki İlkesi*” olarak bilinen Newton’un bu Üçüncü Yasası’na uyarlar. Momentum Korunumunun temeli olan bu yasa, iki cisim etkileştiğinde, 1. cismin 2. cisme etkidiği F_{21} kuvvetinin, 2. cismin 1. cisme etkidiği F_{12} kuvvetine eşit büyüklükte, ancak zıt yönlü olduğunu belirtir. İki cisim herhangi bir zaman aralığında karşılıklı olarak etkileştiğinde, F_{12} kuvvetinin 1. parçacığın momentumunda yaptığı değişme, F_{21} kuvvetinin 2. parçacığın momentumunda yaptığı değişmeye vektörel olarak eşit ve karşıttır. Böylece, “*bu parçacık çiftinin etkileşmesinden ileri gelen momentum değişimi sıfırdır*” sonucuna varılır. Bu sonuç, herhangi bir parçacık çiftinin etkileşmesi başka parçacıkların varlığından etkilenmezse, tüm parçacık çiftleri için geçerlidir [6].

Ancak burada belirtilmesi gereken en önemli nokta, etki ve tepki olarak kuvvet çifti oluşturan bu F_{21} ve F_{12} kuvvetlerinin ayrı cisimlere etkidiğidir. Bir cismin momentumunun zamanla değişim oranının, cisme etkiyen kuvvetle orantılı olduğunu belirten bu yasanın belirli bir cisme uygulanmasında, yalnızca o cisme etkiyen kuvvet alınmalıdır. Eşit ve karışit yöndeki kuvvet, yalnızca öteki cismin devinimini etkiler. Momentum ile kuvvet arasındaki ilişki de,

$$F = m.a = m.\frac{dV}{dt} = \frac{d(mV)}{dt} = \frac{dp}{dt} \quad \text{dir.} \quad (3.16)$$

Bu formül, “*bir cismin momentumundaki değişme hızının, cisme etkiyen net kuvvete eşit*” olduğunu ifade eder [5].

3.5. Hooke Yasası

Her katının, kuvvete karşı koyabilme ve eski haline dönebilme gücü olan ve maddenin cinsine bağlı olarak değişen *esneklik* denilen bir özelliği vardır. *Hooke Yasası* da, esneklik kuramının temelini oluşturup, belli gerilme değerleri için cisimde meydana gelen şekil değişikliğinin, uygulanan gerilmeyle orantılı olduğunu ve gerilmenin ortadan kalkması halinde cismin eski boyutlarına döndüğünü ortaya koyan yasadır.

Bir malzemeye kuvvet uygulandığında, malzemede meydana gelen uzamalar, elastik sınırlar içerisinde gerilmelerle orantılıdır. Cisimlerin esneklik özelliklerini, ancak kuvvet ile biçim değişikliğinin birbiriyle orantılı olduğu sınırlar içinde açıklayabilen bu yasaya göre, cisimlerdeki görece küçük biçim bozukluklarında (deformasyon), yer değiştirme ya da biçim değişikliği miktarı, değişikliği yaratan kuvvet ya da yük ile doğru orantılıdır. Bu koşullarda cisim, üzerindeki yük kaldırıldığında eski boyutlarına geri döner ve eski biçimini alır. Cisme uygulanan kuvvet büyük değilse, meydana gelen deformasyon da bu kuvvet ile orantılıdır. İdeal bir elastik malzemenin davranışının temsil edildiği Hooke Yasası,

$$F = k \cdot x \quad \text{eşitliğiyle gösterilir.} \quad (3.17)$$

Burada **F**, biçim değişikliğine neden olan ve katı bir cisme, cismi gererek, sıkıştırarak, ezerek, eğerek ya da burarak uygulanan kuvvet; **x**, yer değiştirme miktarı ya da uzunluktaki değişiklik; **k** ise, sözkonusu esnek malzemenin cinsine, boyutlarına ve biçimine bağlı bir sabittir.

Hooke Yasası, katıların esneklik ilkeleri olan gerilim (zor) ve gerinim (zorlanma) cinsinden de ifade edilebilir. *Gerilim (zor-stress)*, cisim üzerine etki eden ve cisimde bozunmaya neden olan dış kuvvettir. Daha açık bir ifadeyle, birim yüzeye etki eden dik kuvvettir. *Gerinim (zorlanma-strain)* ise, cisme uygulanan zor etkisiyle cisimde meydana gelen değişimin, bozunma miktarının derecesinin bir ölçüsü, kısaca, cismin boyundaki artışın, ilk boyuna oranıdır.

$$\text{Gerilim (zor-}\sigma\text{)} = \frac{F}{A} \quad , \quad \text{Gerinim (zorlanma-}\epsilon\text{)} = \frac{\Delta L}{L} \quad \text{dir.} \quad (3.18)$$

Burada,

$F \longrightarrow$ birim yüzeye etki eden dik kuvvet,

$A \longrightarrow$ kuvvetin uygulandığı birim alan,

$\Delta L \longrightarrow$ cismin değişen uzunluğu,

$L \longrightarrow$ cismin başlangıç uzunluğudur.

Hooke Yasasına göre, katı bir cisim için, görece küçük gerilimlerde gerilim (zor) ile gerinim (zorlanma) birbiriyle orantılıdır ve cismin esnekliği olan bu sabit oran *Young Modülü (Esneklik Sabiti - Elastisite Modülü - Gerilme Katsayısı)* adını alır.

Gerilim (zor)/ gerinim (zorlanma)= sabit= Young Modülü

$$\frac{\sigma}{\epsilon} = E \quad (3.19)$$

Farklı zorlanmalara bağlı olarak değişen farklı gerilmelerin oranı olarak tanımlanan ve bir katının sertliğini ölçmede kullanılan birim olan Young Modülü, esneklik sınırları içerisinde zorun, zorlanmaya oranıdır ve verilen bir malzeme için bu oran sabit olup, maddenin özelliklerine bağlıdır. Diğer bir deyişle kuvvetin derecesi olan zor, deforme olma miktarı olan zorlanma ile doğru orantılıdır. Hooke Yasası da zor ile zorlanma arasındaki bu bağıntıdır.

Tek yönlü çekme ya da sıkıştırma yükü etkisi altındaki bir katı malzemenin esneklik özelliklerini tanımlayan sayısal sabit olan ve malzemenin boylamasına eksenine doğrultusundaki çekme ve sıkıştırma yükleri etkisi altında uzunluk değişimine karşı direnme yeteneğinin ölçüsü olup, dış yükün kaldırılması durumunda malzemenin ilk boyutlarına döndüğü gerilim bölgesinde geçerli olan ve bu bölge dışında gerilim arttıkça sabit kalmayıp azalan Young Modülünün boyutu, gerilimin boyutu ile aynı ve Newton/m^2 (*Pascal*) ya da dyn/cm^2 dir.

Katı cisimler bir yönde deformasyona uğratıldıklarında (x), diğer yönlerde de (y-z) bu deformasyona ters işaretli olan bir deformasyona maruz kalırlar. Dikdörtgenler prizması şeklindeki metal, boyu kısaltılacak şekilde deforme edilirse, eni ve genişliği, zorlanmış bir büyüme eylemi gösterir. Sonuç olarak, zorlanmış şekil değiştirme miktarının, ilk olarak uygulanan şekil değişimine oranına malzemenin o yöndeki *Poisson Oranı* denir.

Elastik malzemelerde kuvvetin uygulandığı yöndeki deformasyonun, kuvvete dik eksenindeki deformasyonuna, başka deyişle, cismin enlemesine gerinimin, boylamasına gerinime, ya da enine birim deformasyonun boyuna birim deformasyona oranı olan ve mükemmel bir katı için (sıkıştırılmaz) 0,5 olan bu oran, kesinlikle bu 0,5 değerini geçemez.

$$PoissonOranı = \frac{eninedeformasyon}{boyunadeformasyon} \quad (3.20)$$

3.6. Biomekanik Sınır Değerler

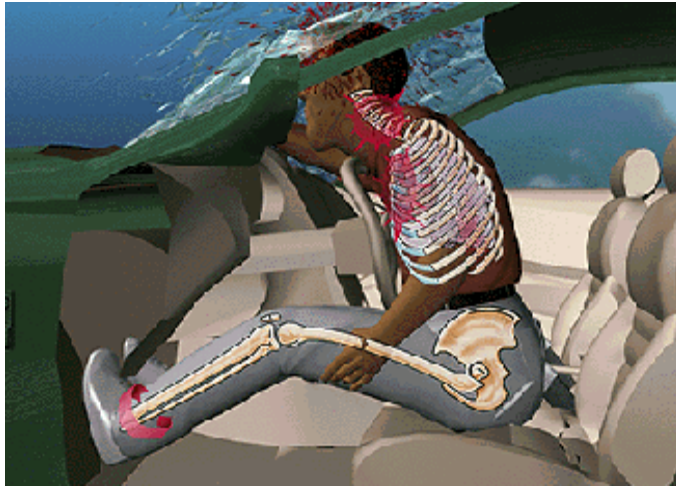
İnsanoğlunun varoluşundan beri sahip olduğu hareket yeteneğinin fizik kurallarınca açıklanması olan *Biomekanik*, fiziğin önemli dallarından biri olan mekanikteki prensiplerin biyolojiye uygulanmasıdır.

Araçlardaki emniyet araştırmasının en önemli hedefi, insan-makine arasındaki optimal bağının tesbitidir. Bu nedenle, yolculuğun her aşamasında sürücüyle ilişkisi olan ve trafik güvenliğine doğrudan etki edip, oluşacak bir kaza sonrası hasarı azaltmak için gerek, araçlar için alçak bir ağırlık merkezi, uygun bir aks yükü dağılımı, amortisörler ve uygun bir fren sistemi gibi aktif, gerekse de bir kaza esnasında yaralanma tehlikesini mümkün mertebe azaltan her şeyi kapsayan pasif emniyet tedbirlerin alınabilmesi ve geliştirilebilmesi için insan vücudunun mukavemetinin, yani insanın tahammül edebileceği kuvvet ve ivmelerin bilinmesi gerekmektedir [3,12].

Önden çarpışmalarda, ileriye doğru olan hareket birden kesilir ve sürücü, koltuğa daha derin bir şekilde itilerek ön konsüle doğru hareket eder [11].



Şekil 3.7. Önden çarpma sırasında sürücünün durumu



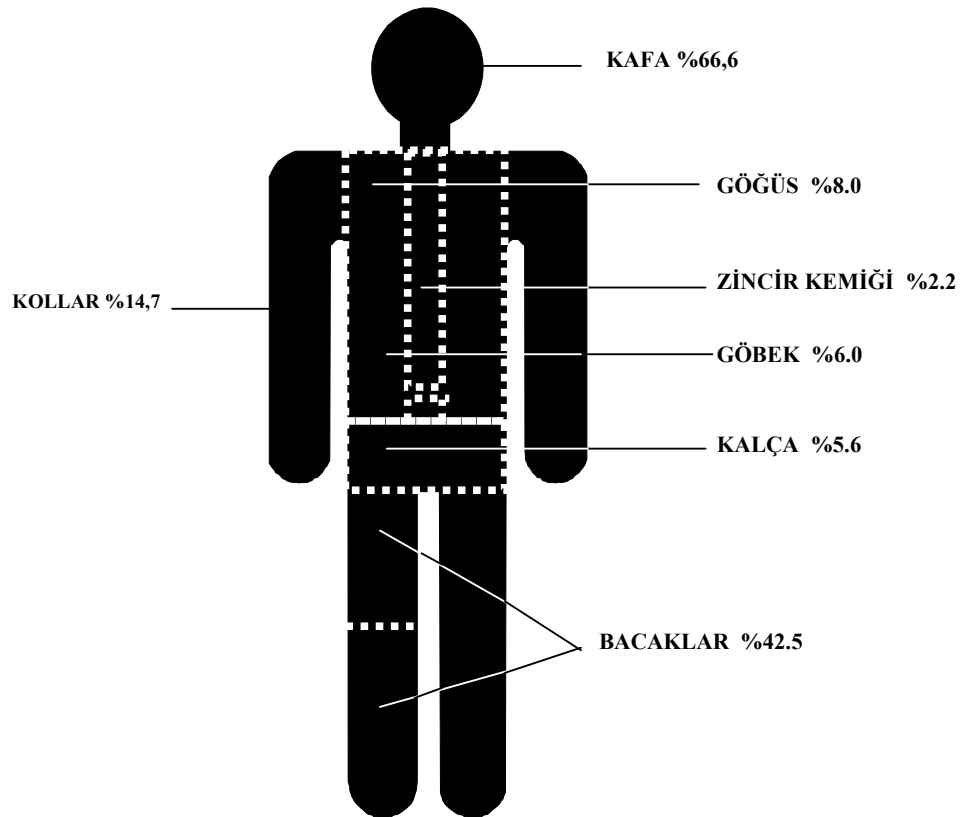
Şekil 3.8. Sürücünün kafası ile göğsünü çarptığı an

Önden çarpışmada eğer emniyet kemeri takılı değilse, aracın hızı kesilmesine rağmen eylemsizlik (atalet) nedeniyle vücut ileri doğru hareket etmek isteyeceğinden sürücünün kafası, direksiyona, ön konsüle veya cama çarptığında kafa travmaları oluşurken, göğüs kafesi ve karın organları da zarar görebilir [11].

Çizelge 3.2. İnsan vücudunun biomekanik sınır değerleri

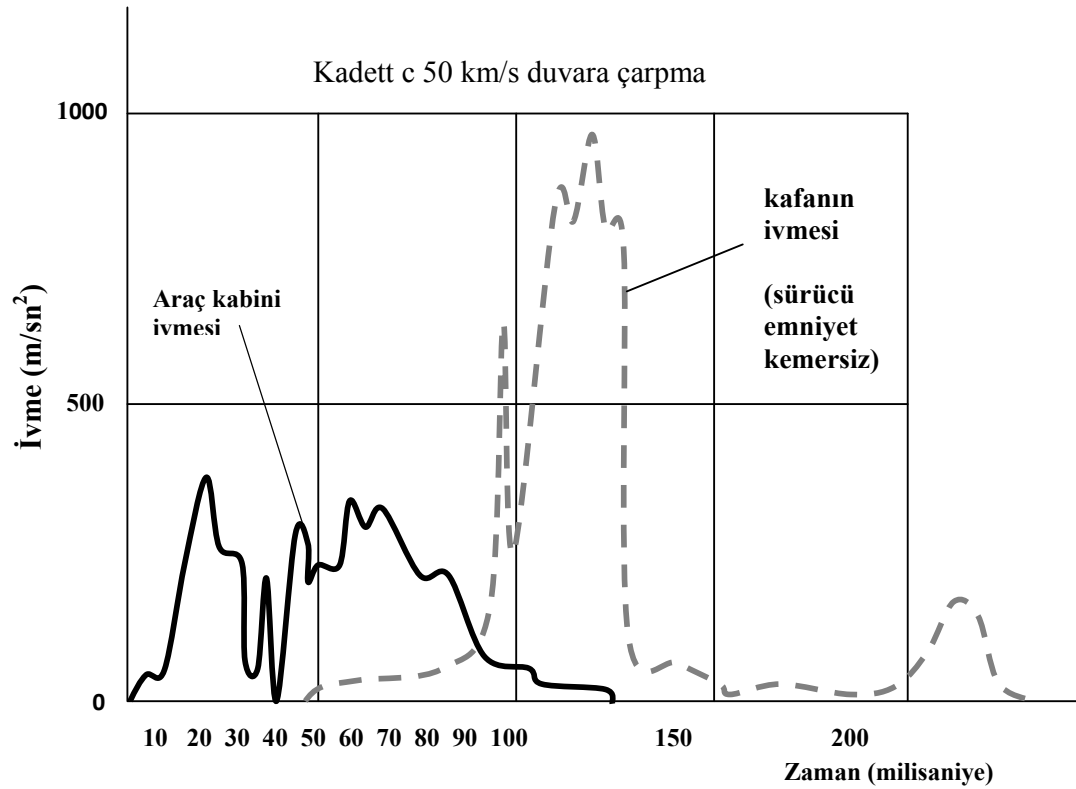
KAFATASI	KIRILMA YÜKÜ (3 cm ² zımba ile)	ALIN	500- 1 100N
	KIRILMA YÜKÜ (3 cm ² zımba ile)	ŞAKAK	2 500 N
	KIRILMA YÜKÜ (3 cm ² zımba ile)	ÇENE KEMİĞİ	1 000N
KABURGA	KIRILMA YÜKÜ (10 cm. genişlikte kirişle)		1 500-6 000N
ET	ÇEKME MUKAVEMETİ		170 N/cm²
DERİ	ÇEKME MUKAVEMETİ		170 N/cm²

Çizelge 3.2'nin incelenmesinden görüleceği üzere, kafasının kemikleri çarpmalara karşı oldukça dayanıklı olan insanın, trafik kazaları nedeniyle vücudunda meydana gelen yaralanma oranları da aşağıdaki şekilde verilmiştir:



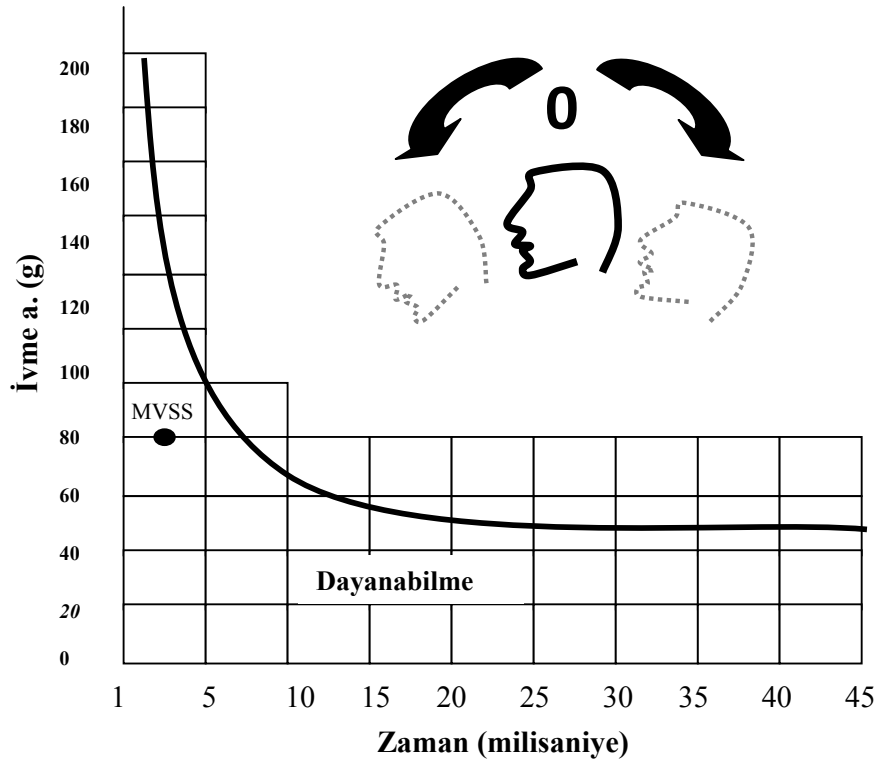
Şekil 3.9. İnsan vücudunda meydana gelen yaralanma oranları

İnsanın, kafatası ve kaburgası ile et ve derisinin dayanabileceği kuvvet miktarlarını gösteren Çizelge 3.2 ile vücudundaki yaralanma oranlarını gösterir Şekil 3.9'un birlikte incelenmesinden , çarpışmalarda en çok yaralanan bölge olan kafatası (% 66,6) kemiklerinin çarpmalara karşı oldukça dayanıklı olduğu ve kafatasının 3 cm² lik alanı için kırılma yük değerlerinin, alında 500 - 1 100N arasında, şakak kemiğinde 2 500N ve çene kemiğinde ise 1 000N olduğu görülmektedir.



Şekil 3.10. Çarpma esnasında aracın ve sürücünün kafasının ivmesinin değişimi

Şekil 3.10, 50 km/h hızla sabit bir engelle çarpan araçta, kabinin ve emniyet kemerini takmamış sürücünün başının ivme durumunu göstermektedir. Sürücünün başının ivmesi araç kabini ivmesinden daha büyük olmaktadır. Çünkü sürücü, emniyet kemeri takmadığından araç içerisinde savrulmakta ve aracın durmasına yakın, iç kısımlara çarpmaktadır. Emniyet kemerinin kullanılması halinde baş ivmesi oldukça azalır.



Şekil 3.11. Tedavi edilebilen beyin zedelenmesi için ivme sınırları

Prof. Patrik'in araştırmalarına göre beynin önden arkaya doğru hareketinde, beyin zedelenmelerinin tekrar iyileşebilmesi için ivme tesirinin devamı, yani çarpma zamanının büyüklüğü önemli bir rol oynamaktadır. Yük sınırı 60 g ($g=9,81\text{m/sn}^2$) ye ulaşan insan beyni, çok kısa devam etmesi halinde çok büyük ivmelere dayanabilmektedir.

Birçok konuda söz konusu edilen 80 g / 3 ms noktası Şekil 3.11'de gösterilmiştir. İnsan beyninin 3ms sürmesi halinde 80 g' ye ulaşan ivme değerine dayanabileceğini gösteren bu nokta, ölümden kurtulma sınırı olmayıp, beyinde meydana gelen zedelenmelerin herhangi bir kalıntıya sebebiyet vermeden iyileşmesini öngörmektedir [3].

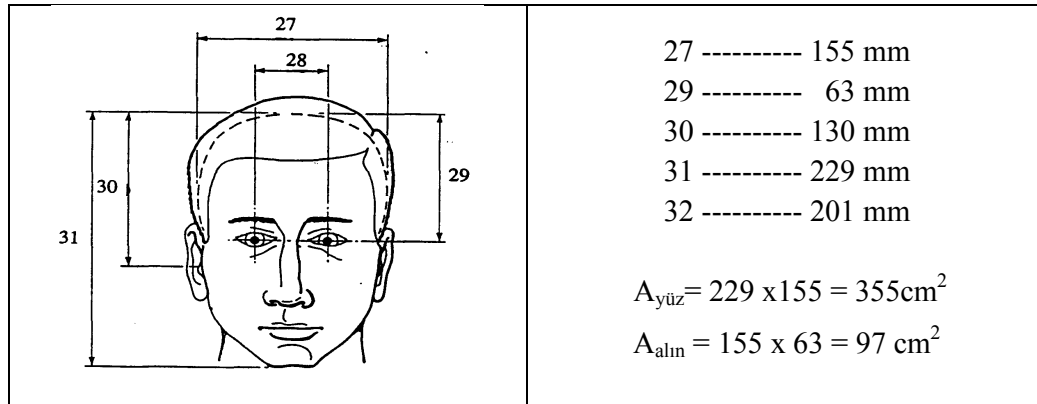
3.7. Antropometri

Antropometri, insan vücudunun uzunluk, genişlik, yükseklik, ağırlık ve çevre gibi farklı teknikleri içeren boyutları ile ilgilenen özel bir bilim dalıdır. İnsan vücudunun ölçülerini elde ederken bu ölçülerin çeşitli topluluklar, meslekler, yaş ve cinse göre farklı oluşlarını etkileyen etmenlerin araştırılması da antropometrinin araştırma konuları arasına girer. Antropometrinin biyomekanik yaklaşımı ise genelde, hareket hudutları, kuvvet gereksinimi, davranış hızı gibi yaklaşımlarda insan vücudu boyutlarının etkisini inceler [15].

Antropometrik çalışma yapılırken ölçülerin, çalışanların büyük bir kısmına uygun olması gerekir. İşbilime ait kaynaklarda genellikle çalışanların % 90 oranındaki bir bölümüne uygun ölçülendirme esas alınmaktadır. Bu oran normal dağılım eğrisi üzerindeki % 5 , % 50 ve % 95 'lik oranlar arasına karşılık gelmektedir.

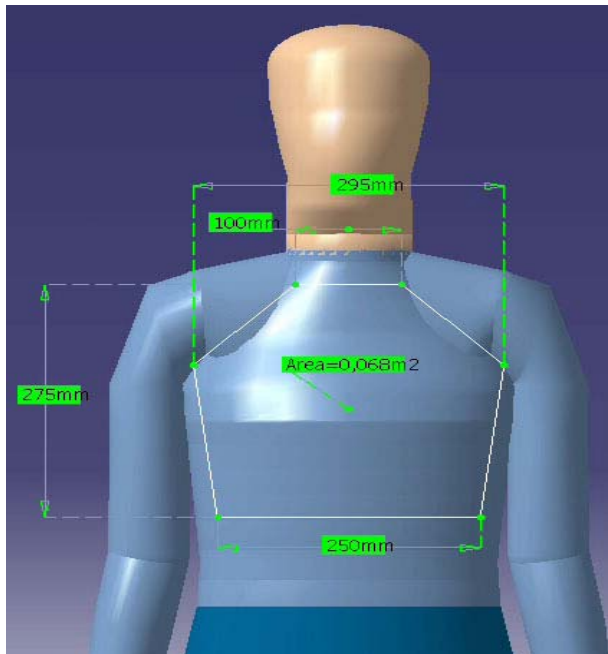
Antropometrik tasarım sırasında hacim ölçüleri için en büyük ölçü olan % 95'e göre, uzanma alanı tasarımında ise en küçük ölçü olan % 5'e göre ayarlamalar yapılmalıdır.

Antropometri bilimi, bireyler veya gruplar arasında, anatomi, coğrafi bölge ve meslek grupları gibi çeşitli faktörlerden kaynaklanan farklılık ve benzerlikleri saptayarak daha geniş bir insan kitlesine uygun tasarımlar yapma imkanı sağlar. Bu tasarımlar için belirlediği vücut ölçüleri arasında, vücut hareketsiz ve belirli bir standart pozisyondayken alınan yapısal vücut ölçüleri (*statik antropometri*) ve vücut hareket halindeyken alınan fonksiyonel vücut ölçüleri (*dinamik antropometri*) bulunur.



Şekil 3.12. 2000 yılı standartlarına göre 70 kg. lık sürücünün kafasının boyutları

Şekil 3.12’de çalışmada kütlesi 70 kg. alınan sürücünün, antropometrik ölçülerdeki % 50 lik erkek standartlarının ve 2000 yılı değerlerinin baz alınmasıyla kafa ölçüleri ve yüzü ile alınının yaklaşık alanlarının değerleri görülmektedir [15].



Şekil 3.13. 70 kg. lık sürücünün göğsünün yaklaşık alanı

Şekil 3.13’de , 70 kg. lık sürücünün, CATIA V5 R14 programı kullanılarak yaklaşık göğüs ölçüleriyle, yaklaşık göğüs alanının $A_{göğüs} = 0,068 \text{ m}^2$ olduğu hesaplanmıştır.

4. ÇARPIŞMA ANALİZ ÖRNEKLEMELERİ

Araçların karşılıklı olarak esnek çarpıştırıldığı çalışmada, kullanılan bilgisayar programında otomobil ve kamyon modellemeleri yapılarak, antropometri ölçülerinde 2000 yılı standartlarına göre % 50 lik kısımdaki ölçüleri baz alınan ve kafasının kütlesi 3,50 kg., göğsünün alanı 0,068 m² , yüzünün alanı 355 cm², alnının alanı da 97 cm² alınan 70 kg. kütleli sürücüsü ile birlikte ortalama araç ağırlıkları gözönünde bulundurulduğunda otomobilin kütlesi 1 000 kg., kamyonun kütlesi ise 10 000 kg. alınmış ve çarpışma sırasındaki kuvveti hesaplamak için araçlara bir dış kuvvetin etki etmemesi gerektiğinden ortamda sürtünmenin olmadığı varsayılmıştır.

Aslında tamamen sürtünmesiz bir ortam elde etmenin çok zor ve böyle bir ortamın sadece uzay boşluğunda elde edilebilecek olması sebebiyle araçlar arasında meydana gelen gerçek bir çarpışma, hiç bir zaman, sürtünmesiz yalıtılmış bir ortamda rijit iki kürenin çarpışması gibi kinetik enerjinin korunduğu esnek çarpışma olamaz. Çünkü, tüm malzemeler yük altında deforme olurlar. Bu nedenle çarpışma sırasında araçlar üzerinde meydana gelen ezilme, burkulma ve çökme gibi oluşumlar (deformasyonlar) ile yüzeyin sürtünmesine, araçların sahip oldukları kinetik enerjilerin bir kısmı harcanacağı için araçlar arasında gerçekleşecek olan çarpışma, çarpışma sonrasındaki enerjinin, çarpışma öncesindekinden daha az olacağı esnek olmayan çarpışmadır.

Çarpışma sırasındaki deformasyonun gösterilmediği bilgisayar programında, çarpışma sırasında oluşacak kuvvetin bulunabilmesi için , araçlara herhangi bir dış kuvvetin etki etmeyip sürtünmenin ihmal edildiği çalışmada, dört durumda da esnek olarak karşılıklı çarpıştırılmış araçlarda deformasyonun gerçekleşmediği varsayılarak, deformasyona ve sürtünmeye harcanacak olan kinetik enerji miktarı gözardı edilmiş, dolayısıyla da sürtünmeye harcanacak olan enerji ile çarpışma sırasında araçların deformasyonuna harcanacak enerjinin hesaplarda yer almaması sebebiyle, *elde edilecek olan bu yalın değerler*, sürtünme olan gerçek ortamdaki değerlerden doğal olarak daha fazla olacaktır.

Ancak daha büyük başka kuvvetlerin yanında ikincil öneme sahip olduğundan, problemi basitleştirmek amacıyla sürtünme kuvvetinin gözardı edildiği çalışmada, böyle bir varsayım nedeniyle tabidir ki bir miktar hata payı barındıran yaklaşık bir çözüm elde edildiği için, sürtünme kuvveti de hesaba katılarak yapılacak olan çalışmalarda, sürtünmeye ve çarpışma sırasında araçların ön kısımlarına harcanacak enerji miktarları ile sürücüyü koruyup üzerine etki edecek darbe kuvvetinin etkisini azaltmaya ve çarpma sırasında eylemsizlik etkisini bertaraf etmeye yönelik olan emniyet kemeri gibi pasif güvenlik elemanlarının etkisi ile çarpışmalardaki çarpma dayanımını belirleyen gerçek sıçrama katsayısının da hesaba katılmasıyla daha isabetli ve gerçekçi çözümlere ulaşmak da mümkündür.

Çarpışma sonrasında çarpışan cisimlerin kinetik enerjilerinin tümüyle korunduğu ve esneklik katsayısının $e=1$ olduğu mükemmel esnek çarpışmaların, yalnızca atom düzeyinde görülebilen çarpışmalar olmaları; $e=0$ olduğu durumun da plastik çarpışma olup, çarpışma sonrası iki noktanın hızları arasındaki farkın sıfır olmasıyla cisimlerin birbirlerine yapışacak olmaları ve momentum korunumu geçerli iken, enerjinin korunumunun geçerli olmayacağı sebebiyle, araçların, dört durumda da esnek olarak çarpıştırıldığı çalışmada, çarpma sırasında çarpma dayanımını belirleyen ve mekanikte cismin değil, çarpışmanın gerçek bir özelliği olup, çarpışmadan hemen önce ve sonra, çarpışan noktaların rölatif hızlarının oranı olan *“Esneklik(Restitution) Katsayısı”* $e=0,1$ olarak alınmıştır.

Bilgisayar programında yapılan otomobil ve kamyon modellemelerinde kütle yoğunluklarının 129 kg/m^3 , Esneklik Modülünün (Young Modülü-E) $2e^{+11}$ Pascal ve Poisson Oranının 0,29 olarak alındığı araçların esnek olarak çarpıştırıldığı çalışmada, özellikleri böyle olan araçların gerçekte çarpışmaları sırasında bu esneklik katsayısının ne olduğunun bilinmemesi nedeniyle, çalışmada elde edilen sonuçlarda yüzdelik hata payının ne kadar olduğu söylenememiştir.

Dolayısıyla araçların ön kısmında enerjinin absorbe edilmediği ile çarpışma sırasında sürücüyü koruyup, üzerine etki edecek darbe kuvvetinin azaltılmasına yönelik aktif

ve pasif güvenlik tedbirlerinin alınmadığının varsayıldığı ve esneklik katsayısının $e=0,1$ olarak alınıp , *sadece hızın ve kütlenin artması ile sürücüye aynı etki süresi içerisinde etkiyecek olan fiziksel niceliklerden kuvvet ve ivme değerlerinin ne kadar değişebileceğinin gösterilmesinin amaçlandığı bu çalışmada*, hızın çarpışmaya olan etkisini göstermek açısından otomobil önce aynı kütleye sahip diğer otomobille 50 km/saat ve 120 km/saat hızlarla; kütlenin çarpışmanın şiddetine olan katkısını göstermek açısından da, aynı otomobil bu kez kendi kütlesinden 10 kat büyük kütleye sahip kamyonla aynı hızlarla çarpıştırıldığında, sürücünün, kuvvetin etki süresi olan aynı $\Delta t= 0,02$ saniyelik sürede karşı karşıya kalacak olduğu ivme ile kuvvet değerlerindeki anlamlı değişimler gösterilmeye ve elde edilen bu değerlerin insan vücudunun biyomekanik sınır değerleriyle karşılaştırılması yapılarak, her bir çarpışma sırasında sürücünün karşılaşıacağı kırılma yükleri irdelenmiştir.

Çizelge 4.1. Araçların hız ve kütlelerini belirten 4 durum

Durum	1. Araç		2. Araç	
	Hız (km/s)	Kütle (kg)	Hız (km/s)	Kütle (kg)
I	50	1000	50	1000
II	120	1000	120	1000
III	50	1000	50	10000
IV	120	1000	120	10000

Çizelge 4.1, araçların, çarpışmanın etkisinin toplam net dış kuvvetten etkilenen tüm kütlenin yoğunlaştığı tek bir parçacık gibi davranan *kütle merkezlerinden* geçtiği karşılıklı çarpışma ile esnek çarpıştırıldığı çalışmada yapılan analizlerin, 4 örnek durum göz önüne alınarak yerine getirildiğini göstermektedir. Durum I’de 1 000 kg kütleye sahip aracın (1.otomobil), kendisi ile aynı kütleye sahip araçla (2.otomobil) 50 km/saat hızla, Durum II’de ise araçların 120 km/saat hız ile çarpışmaları; Durum III’de 1 000 kg kütleye sahip aracın (1.otomobil) bu kez kütlesi, kendi kütlesinden 10 kat daha fazla kütleye sahip olan 10 000 kg lık araçla (kamyon) 50 km/saat hız ile Durum IV’de de aynı araçların 120 km/saat ile çarpışmaları incelenmiştir.

4.1. Durum I

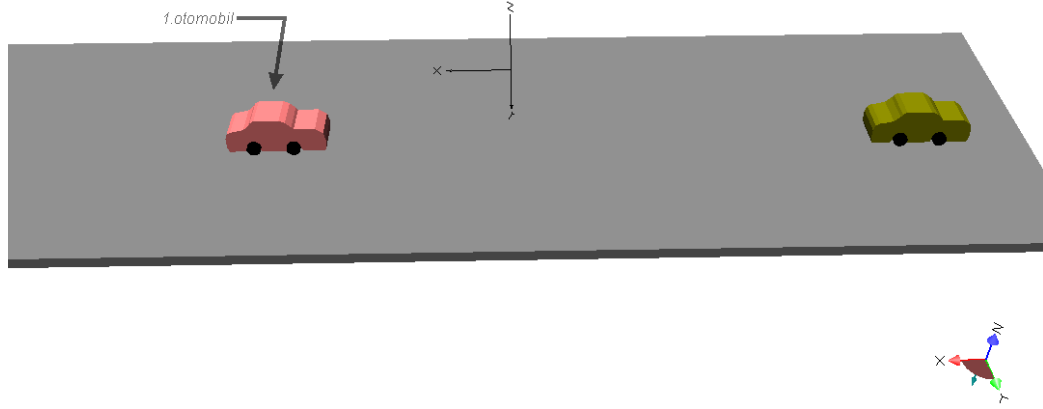
Çalışmanın ilk bölümü olan Durum I’de, yapılan modellemeye Esneklik Modülü(E)= $2e^{+11}$ Pascal, Poisson Oranı= 0,29 olan ve antropometri ölçülerinde % 50 lik dilime giren 70 kg.’lık sürücüsü ile birlikte toplam kütlesi 1 000 kg. olarak alınan 1. otomobil ile kütlesiyle beraber bütün özellikleri kendisiyle aynı olan diğer 2. otomobilin, birbirlerine 50 km/saat hızlarla yaklaşarak karşılıklı ve esnek çarpıştıkları durum incelenerek, çarpışma anında kuvvetin etki süresi olan Δt = 0,02 saniyede otomobil ile otomobil sürücüsünün maruz kalacak oldukları kuvvet ve ivme değerleri hesaplanmıştır.

Bu Durum I’de kullanılan girdi değerleri aşağıdaki gibidir ve bu değerlere sahip araçların çarpıştırılması durumunda elde edilen hız, momentum, enerji ve kuvvet değerleri EK-1 de verilmiştir.

Çizelge 4.2. Araçlar ve ortamın özellikleri

	1. Otomobil	2.Otomobil
Toplam ağırlık (kg)	1 000	1 000
Hız (m/saniye)	-13,8	13,8
Konumlar (x-doğrultusu)	+12	-16
Çarpışmanın Esneklik (restitution) Katsayısı (e)	0,1	
Çarpışma Süresi (saniye)	2	2
Esneklik Modülü (E) (Pascal)	$2e^{+11}$	$2e^{+11}$
Poisson Oranı	0,29	0,29
Kuvvetin Etki süresi (Δt) (saniye)	0,02	

Aralarındaki mesafe $x=28$ metre olan otomobillerin, çarpışmadan önceki ilk pozisyonları ve sahip oldukları hız değerleri şöyledir;



Şekil 4.1. Çarpışma öncesi her iki otomobilin konumları

x-doğrultusunda hareket eden araçlardan 2.otomobilin hızının yönünün (+) olarak alınması nedeniyle, 1.otomobilin hızının yönü de doğal olarak (-) olacaktır.

Her ikisi de 50 km/saat hız ile x-doğrultusunda hareket ettikleri için saniyede 13,8 metre yol katederek birbirlerine yaklaşan araçların diğer y ve z doğrultularındaki hızlarının sıfır olması nedeniyle $t=0$ anında hızlarının büyüklüğü de aynı şekilde ;

$$V_{(1.otomobil)x} = -13,8 \text{ m/sn}$$

$$V_{(1.otomobil)y} = 0$$

$$V_{(1.otomobil)z} = 0$$

$$V_{(2.otomobil)x} = 13,8 \text{ m/sn}$$

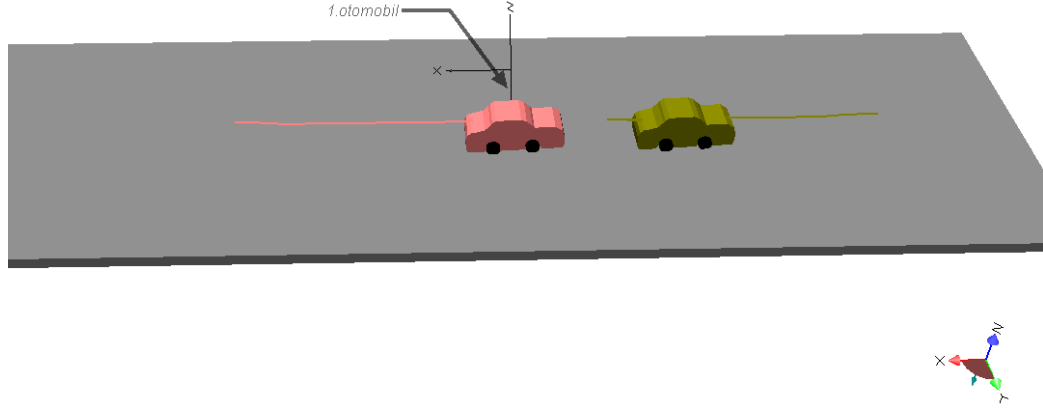
$$V_{(2.otomobil)y} = 0$$

$$V_{(2.otomobil)z} = 0$$

$$V = \sqrt{V_x^2 + V_y^2 + V_z^2} \quad \text{bağıntısından,} \quad (4.1)$$

$|V| = 13,8 \text{ m/sn}$ olarak bulunur.

Çarpışma için belirlenmiş olan $t=2$ saniyelik zaman sonrasında 1. otomobilin aldığı son konum ve hızı;



Şekil 4.2. Çarpışma sonrası 1.otomobilin en son konumu

Otomobillerin kütleleri ile birlikte bütün özelliklerinin aynı olması sebebiyle x-doğrultusunda birbirlerine yaklaşıp karşılıklı çarpışmaları sonrasında her iki araç da birbirini aynı hızla ve kuvvetle öteleyecek oldukları için, her iki aracın da çarpışma sonrası hızları aynı, ancak hızlarının yönleri çarpışma öncesi hızlarının yönünün tersi olacaktır. Yani , başlangıçtaki hızının yönü (-) olan 1. otomobilin çarpışma sonrası hızının yönü, tersine hareket etmesi nedeniyle (+) , çarpışma öncesi hızının yönü (+) olan 2.otomobilin hızının yönü ise (-) olacaktır.

“Kütle merkezindeki çarpışmalarda, çarpışmadan sonraki hızlar, aynı doğrultuda fakat zıt yönlüdür.”

$$V_{(1.otomobil)x} = 1,38 \text{ m/sn}$$

$$V_{(1.otomobil)y} = 0,106 \text{ m/sn}$$

$$V_{(1.otomobil)z} = 6,85e^{-10} \text{ m/sn}$$

$$|V| = 1,38 \text{ m/sn}$$

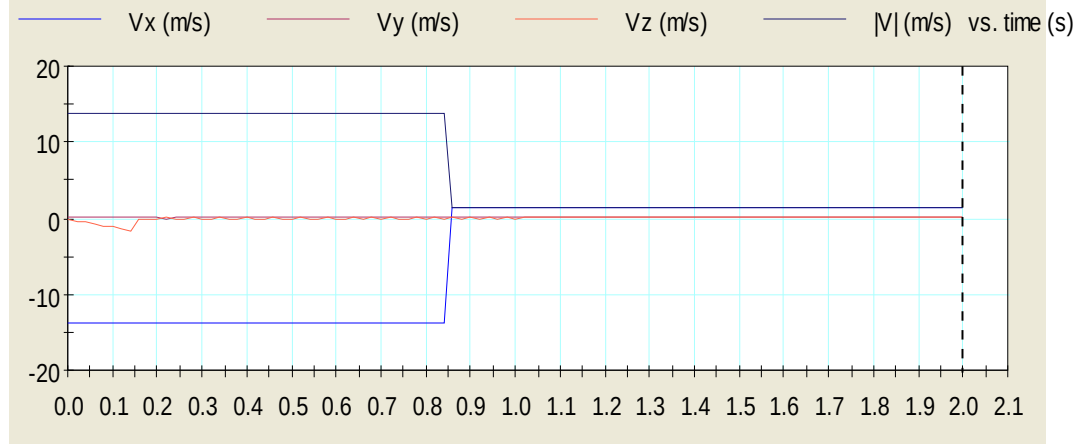
$$V_{(2.otomobil)x} = -1,38 \text{ m/sn}$$

$$V_{(2.otomobil)y} = 0,0792 \text{ m/sn}$$

$$V_{(2.otomobil)z} = 6,6e^{-10} \text{ m/sn}$$

$$|V| = 1,38 \text{ m/sn}$$

$t=2$ saniye sonunda zamana bağlı olarak 1.otomobilin hızındaki değişme;



Şekil 4.3. 1.Otomobilin hızındaki değişme

Çarpışma öncesi x- doğrultusundaki hızı $V_{(1.otomobil)x} = -13,8$ m/sn olan 1.otomobil, ortamda sürtünmenin olmaması nedeniyle aynı doğrultuda kendisiyle aynı hızda ancak zıt yönlü seyreden diğer otomobille kütle merkezlerinden çarpışana kadar hızını korurken, 2.otomobille birbirlerine temas ettikleri an olan $t_2=0,86$. saniyeden sonra hızı azalacak ve bu noktada sahip olduğu $+1,38$ m/sn lik hız ile çarpışma öncesi hızının tersi yönünde hareketine devam edecektir.

4.1.1. Durum I'deki kinetik enerji

Birbirlerine, belirlenmiş olan $t=2$ saniyenin $t_2=0,86$. saniyesinde isabet eden otomobillerden 1.otomobilin, çarpışmanın hemen öncesi ile hemen sonrasında sahip olduğu kinetik enerji değerleri şu şekildedir;

Temel iki mekanik enerjiden biri olan ve hareket eden bir cismin, hızı nedeni ile sahip olduğu enerji olan kinetik enerjinin,

$$E_k = \frac{1}{2} m V^2 \quad (4.2)$$

olduğu hatırlanacak olursa;

Diğer 2. otomobile isabet etme öncesinde $t_1=0,84$. saniyede x- doğrultusundaki hızı $V_x = -13,8$ m/sn olan 1 000 kg. lık 1. otomobilin, bu anda sahip olduğu kinetik enerji değeri;

$$E_{k(1.otomobil)} = 95,22 \text{ kJ olur iken,}$$

Çarpışma anı olan $t_2=0,86$. saniyede aynı doğrultudaki hızı $V_x = 1,38$ m/sn iken sahip olduğu kinetik enerji değeri ise;

$$E_{k(1.otomobil)} = 0,95 \text{ kJ olmuştur.}$$

Aynı anlarda, kütlesi, kendi kütlesiyle aynı olan 2.otomobilin sahip olduğu kinetik enerji değerleri de aynı şekilde ,

$$E_{k(2.otomobil)} = 95,22 \text{ kJ } (t_1 = 0,84. \text{ saniyede}) \text{ ve}$$

$$E_{k(2.otomobil)} = 0,95 \text{ kJ } (t_2 = 0,86. \text{ saniyede}) \text{ dur.}$$

İki aracın etkileşme anındaki (0,86. saniyedeki) toplam kinetik enerji değeri de,

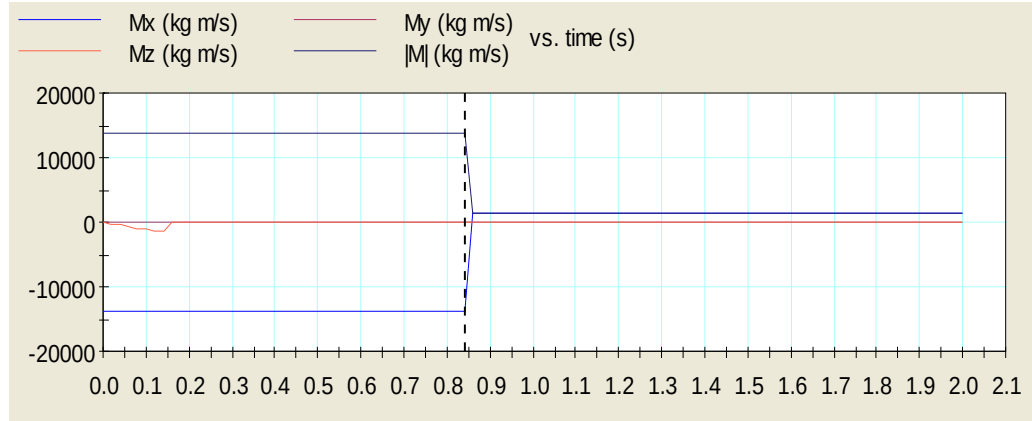
$$0,95 + 0,95 = 1,9 \text{ kJ dur.}$$

Çarpışan iki araç, karşısındaki araca kendi enerjisi oranında etki edeceğinden, taşıdığı enerji 0,95 kJ olan 1.otomobilin, araçların toplam enerjisi içindeki payı $(0,95/1,9) \times 100 = \% 50$ olurken, aynı anda taşıdığı enerji 0,95 kJ olan 2.otomobilin payının da yine % 50 olması sebebiyle bu Durum I'de, kütleleri ve hızları ile bütün özellikleri aynı olan iki aracın etkileşme anında birbirlerine yapacakları etkiler de aynıdır.

4.1.2. Durum I'deki momentum

Çarpışma sırasında oluşacak kuvveti bulmak için 1.otomobilin, çarpışmanın hemen öncesi ile hemen sonrasında sahip olduğu çizgisel momentum değerleri bulunmalıdır;

a) $t_1=0,84$. saniyede 1.otomobilin sahip olduğu momentum değerleri;



Şekil 4.4. $t_1=0,84$. saniyede 1. otomobilin momentum değerleri

$p = mV$ bağıntısından,

$t_1=0,84$. saniyedeki x, y ve z doğrultularındaki hızları ile hızının büyüklüğü,

$$V_{(1.otomobil)x} = -13,8 \text{ m/sn}$$

$$V_{(1.otomobil)y} = 0,00191 \text{ m/sn}$$

$$V_{(1.otomobil)z} = 9,26e^{-10} \text{ m/sn}$$

$|V|=13,8 \text{ m/sn}$ olan 1 000 kg. kütleye sahip 1.otomobilin bu noktadaki momentum değerleri ile momentumunun büyüklüğü de,

$$P_{(1.otomobil)x} = -1,38^{+4} \text{ kg.m/sn}$$

$$P_{(1.otomobil)y} = 1,62 \text{ kg.m/sn}$$

$$P_{(1.otomobil)z} = -7,24e^{-7} \text{ kg.m/sn}$$

$$|P| = 1,38e^{+4} \text{ kg.m/sn olurken;}$$

b) $t_2=0,86$. saniyede sahip olduğu momentum değerleri ise;

$t_2=0,86$. saniyede x, y ve z doğrultularındaki hızları ile hızının büyüklüğü,

$$V_{(1.otomobil)x} = 1,38 \text{ m/sn}$$

$$V_{(1.otomobil)y} = 0,106 \text{ m/sn}$$

$$V_{(1.otomobil)z} = 9,93e^{-5} \text{ m/sn}$$

$|V|=1,39 \text{ m/sn}$ olan otomobilin bu noktadaki momentum değerleri ile momentumunun büyüklüğü ise,

$$\begin{aligned}
P_{(1.otomobil)x} &= 1,38e^{+3} \text{ kg.m/sn} \\
P_{(1.otomobil)y} &= 4,32 \text{ kg.m/sn} \\
P_{(1.otomobil)z} &= 0,818 \text{ kg.m/sn} \\
|P| &= 1,38e^{+3} \text{ kg.m/sn} \text{ olmuştur.}
\end{aligned}$$

Kuvvetin etki süresi olan ve $t_2=0,86$ ile $t_1=0,84$ zamanları arasında geçen,

$t_2 - t_1 = \Delta t = 0,02$ saniyelik süre içerisinde 1.otomobilin momentumunda meydana gelen değişim ise;

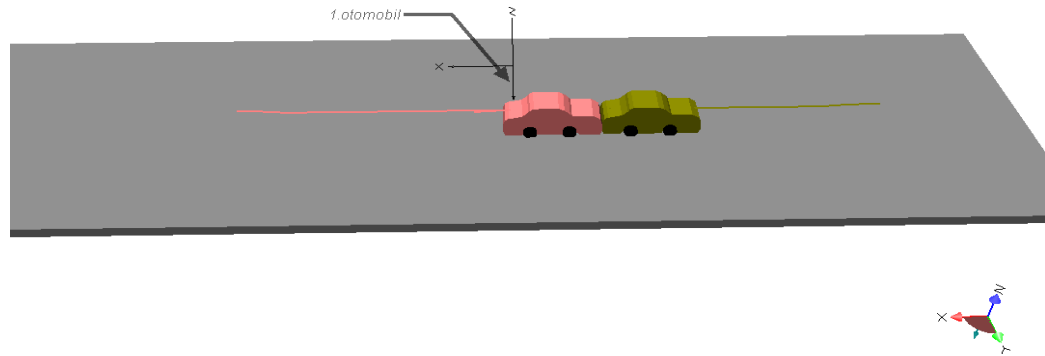
$$dp = p_2 - p_1 = 1,38e^{+3} - (-1,38e^{+4}) = 15\,180 \text{ kg.m/sn olmuştur.}$$

Aynı şekilde $t_1=0,84$. saniyedeki momentumu $p_1 = -966 \text{ kg.m/sn}$, $t_2=0,86$. saniyedeki momentumu ise $p_2 = 96,60 \text{ kg.m/sn}$ olan 70 kg. kütleli sürücünün $\Delta t = 0,02$ saniyelik süre içerisindeki momentum değişimi de,

$$dp = p_2 - p_1 = 96,60 - (-966) = 1\,062,60 \text{ kg.m/sn olmuştur.}$$

4.1.3. Durum I'deki kuvvet

Belirlenmiş $t = 2$ saniyenin $t_2=0,86$. saniyesinde birbirlerine isabet etmiş olan araçlardan 1.otomobile ve ağırlığı 70 kg. olan sürücüye $\Delta t = 0,02$ saniyelik etki süresinde etkiyecek olan kuvvetler hesaplanmak istenirse;



Şekil 4.5. Otomobillerin çarpıştıkları an

Çarpışmanın hemen sonrası ile hemen öncesi arasında geçen ve kuvvetin etki süresi olan $t_2=0,86$ ile $t_1=0,84$ saniyeleri arasındaki $\Delta t=0,02$ saniyelik zaman diliminde momentumda gerçekleşen değişim, o anda araca etkiyecek olan kuvveti verir.

Momentumundaki değişimi $15\ 180\text{ kg.m/sn}$ olarak bulunan 1.otomobile, $\Delta t=0,02$ saniyelik zaman diliminde etkiyecek olan kuvvetin;

$$\frac{dp}{dt} = \frac{15180}{0,02}$$

$F_{(1.otomobil)} = 759\ 000\text{ N}$ olduğu bulunurken;

Momentumundaki değişimi $1\ 062,60\text{ kg.m/sn}$ olarak bulunan sürücünün de $\Delta t=0,02$ saniyelik etki süresinde bu kuvvetin;

$$\frac{dp}{dt} = \frac{1062,60}{0,02}$$

$F_{\text{sürücü}} = 53\ 130\text{ N}$ luk kısmına maruz kalacağı bulunur.

Sürücüsü ile birlikte toplam $1\ 000\text{ kg.}$ kütleyle sahip olan 1.otomobil 50 km/saat hızla seyir halinde iken, aynı hızla seyir halinde olan kendisi ile aynı özelliklere ve kütleyle sahip diğer 2.otomobille çarpışması sırasında, kuvvetin etki süresi olan $\Delta t=0,02$ saniyelik süre zarfında $75\ 900\text{ kg.}$ lık yani yaklaşık 76 tonluk bir kuvvetle, aynı sürede otomobilin 70 kg. lık sürücüsü de bu kuvvetin 5 tonundan fazla bir kısmıyla karşı karşıya kalacaktır.

Evrende hiç bir kuvvet tek olmayıp, çift olduğu için, herhangi bir yere uygulanmış olan kuvvet, büyüklüğü aynı olan , ancak zıt bir kuvvetle karşılık bulur. Yani, iki cismin birbirine etkisi her zaman eşit fakat zıt yöndedir; bir başka deyişle, *her bir etki kuvvetine karşı eşit ancak zıt yönde bir tepki kuvveti vardır.* Elinizle duvara yumruk attığınızda (*etki*), duvara uygulamış olduğunuz kuvvetin zıt yönde olanını da duvar sizin elinize uygulayacaktır (*teпки*). Ama bu temastan, kütlesi elinize oranla çok büyük olan duvar hiç etkilenmezken, elinizdeki ağırlı hissi bir hayli fazla olacaktır.

Elde edilen bu değer, çarpışma sırasında araçların birbirlerine karşılıklı olarak etki edecek oldukları kuvvet değeridir. Etki-tepki prensibi nedeniyle, 1.otomobil 2. otomobile bu 75,9 tonluk kuvvetle etki ederken, 2. otomobil de 1.otomobile bu kuvvetin aynı değerdeki ancak zıt yönüsü (-75,9 ton) ile etki edecektir. Bu Durum I'de her iki araç da aynı kütleyle sahip olduğu için, bu kuvvetten aynı şekilde etkilenecek ve bu kuvvetlerin kütlelerine oranının da aynı olması sebebiyle her iki araç da,

$$a = 759\,000 \text{ N} / 1\,000 \text{ kg}$$

$$a_{(\text{otomobil})} = 759 \text{ m/s}^2 \quad \text{lik bir ivme ile birbirlerine}$$

uyguladıkları kuvvet yönünde ivmeleneceklerdir.

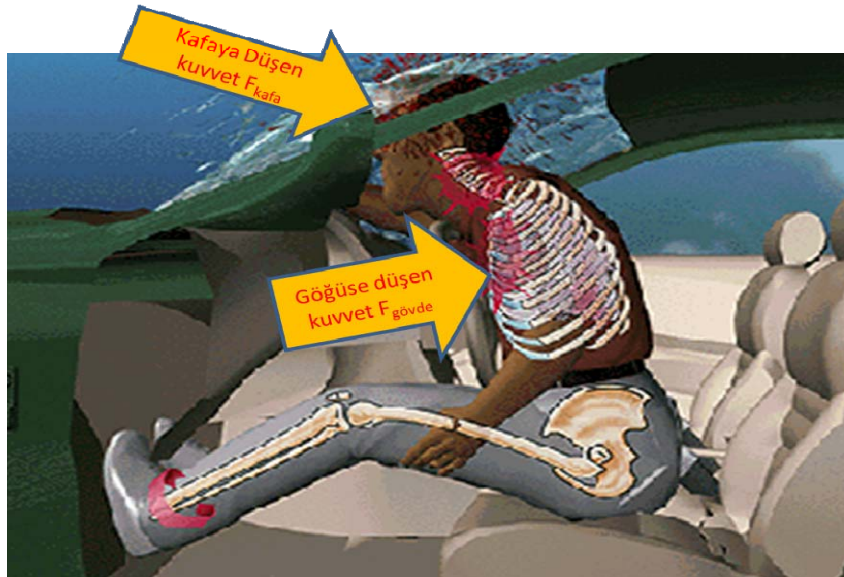
Cismin ivmesinin büyüklüğü, kendisine etkiyen toplam kuvvetin büyüklüğü ile doğru, cisimdeki madde miktarıyla (kütle) ise ters orantılıdır. Yani, kuvvet ne kadar büyük ise, ivme de o kadar büyük olur. Bu Durum I'de kütleleri aynı olan otomobiller, çarpıştıktan sonra, aynı değerdeki ivmelerle başlangıçtaki hızlarının tersi yönünde birbirlerini iteceklerdir.

Otomobil içerisindeki 70 kg. ağırlığa sahip sürücü de,

$$a_{(\text{sürücü})} = 53\,130 \text{ N} / 70 \text{ kg}$$

$$a_{(\text{sürücü})} = 759 \text{ m/s}^2 \quad \text{lik ivme ile bulunduğu otomobile}$$

uygulanan kuvvet yönünde ivmelenecektir. Sürücüye kuvvetin etki süresi olan $\Delta t = 0,02$ saniyelik zaman diliminde etkiyecek olan bu yavaşlatıcı ivme miktarının, yaklaşık 77 g ($g = 9,81 \text{ m/s}^2$) ye ulaşmasıyla sürücü üzerine aynı şekilde, kendi ağırlığının yaklaşık 77 katı kadar kuvvet etki edecektir.



Şekil 4.6. Çarpma anında sürücünün başı ile göğsüne etkiyecek olan kuvvetler

Elde edilen bu 53 130N luk kuvvet, çalışmada kütlesi 70 kg. alınan sürücünün bütün vücuduna etkiyecek olan kuvvettir. Antropometri ölçülerinde baz alınan % 50 lik standartlara göre göğsünün alanı yaklaşık $0,068 \text{ m}^2$ (680cm^2) , yüzünün alanı 355 cm^2 , alnının alanı da 97 cm^2 olan sürücünün, ortalama bir insan kafasının, vücudun 1/8'i olması sebebiyle [17], kütlesi 3,50 kg. olarak alınan kafasını, eylemsizlik etkisiyle vücuduna göre daha hızlı hareket edeceği için, araçların birbirlerine temas ettikleri an olan $t=0,86$. saniyede , bulunduğu otomobilin çarpışma öncesi sahip olduğu 50 km/saat hızla öne doğru hareket ettiğinde, vücuduna gelecek olan toplam kuvvetten payına düşen kısım ile araç camına çarpacaktır.

Sürücünün kütlesi,

$$m_{\text{sürücü}} = 70 \text{ kg.}$$

Hız,

$$V = 50 \text{ km/saat (13,8 m/sn)}$$

Kuvvetin etki süresi,

$$\Delta t = 0,02 \text{ sn (20 ms)}$$

Araca etkiyen toplam kuvvet,

$$F_{\text{otomobil}} = 759\,000 \text{ N (75\,900 kg.)}$$

Sürücüye etkiyen toplam kuvvet,

$$F_{\text{sürücü}} = 53\,130 \text{ N (5\,313 kg.)}$$

Sürücüye etkiyen ivme,

$$a_{\text{sürücü}} = 759 \text{ m/sn}^2 (77g)$$

Sürücünün kafasının kütlesi (vücudun 1/8'i), $m_{\text{kafa}} = 3,50 \text{ kg.}$

$$\begin{aligned}
&\text{Sürücünün alnının alanı,} & A_{\text{aln}} &= 97\text{cm}^2 \\
&\text{Sürücünün kafasına etkiyen kuvvet,} & F_{\text{kafa}} &= m_{\text{kafa}} \cdot a_{\text{sürücü}} \\
& & F_{\text{kafa}} &= 2\,656,50\text{N}
\end{aligned}$$

Sürücünün, vücuduna gelen toplam 53 130 N'luk kuvvetten kafasına gelen kısım olan 2 656,50N luk bu kuvveti, alanı 97cm^2 olan tüm alnı ile karşıladığı değerlendirildiğinde alnın kırılma yükü (gerilme),

$$\begin{aligned}
\sigma_{\text{aln}} &= F_{\text{kafa}} / A_{\text{aln}} \\
\sigma_{\text{aln}} &= 27,38\text{N/cm}^2 \text{ olmaktadır.}
\end{aligned}$$

Sürücünün alnına gelen bu kuvvetin yapacağı gerilme etkisinin (kırılma yükünün) derecesinin görülmesi açısından insan vücudunun mukavemetini gösteren biomekanik değerlerdeki alan ile karşılaştırılması gerekmektedir.

$$\begin{aligned}
&\text{Alnın kırılma yükü} \longrightarrow 500 - 1\,100\text{ N} \\
&\text{(3 cm}^2 \text{ zımba ile)}
\end{aligned}$$

Alında 3 cm^2 lik alanda biomekanik kırılma yük üst değeri =1 100 N dur.

Elde edilen 2 656,50N luk bu kuvvetin biomekanik değerlerdeki gibi alında aynı 3cm^2 lik alanla karşılandığı varsayılırsa,

$$\frac{2656,50\text{N}}{1100\text{N}} = 2,41 \text{ olur.}$$

Bu değer, 3 cm^2 lik alan için alnın kırılma yük üst değerinin yaklaşık 2,5 katı (% 241 üstü) olan bir gerilme değeridir.

Araçlar birbirleriyle 50 km/saat ile çarpıştığında sürücü, kuvvetin etki süresi olan $\Delta t = 0,02$ saniyede (20 milisaniye), etkisi altında kaldığı ivmenin, yerçekimi ivmesinin 77 katı olan 759 m/sn^2 lik bir değere ulaşmasıyla kendi ağırlığının 77 katı olan 5 tondan fazla bir kuvvete maruz kalmakta ve bu kuvvetin kafasına düşen kısmını alnında 3 cm^2 lik alan ile karşılarsa, aynı alan için kırılma yük üst değerinin yaklaşık 2,5 katı (% 241 üstü) olan bir değere tekabül eden 265,65 kg. lık bir kuvvet ile alnını aracın camına çarpmaktadır.

4.2. Durum II

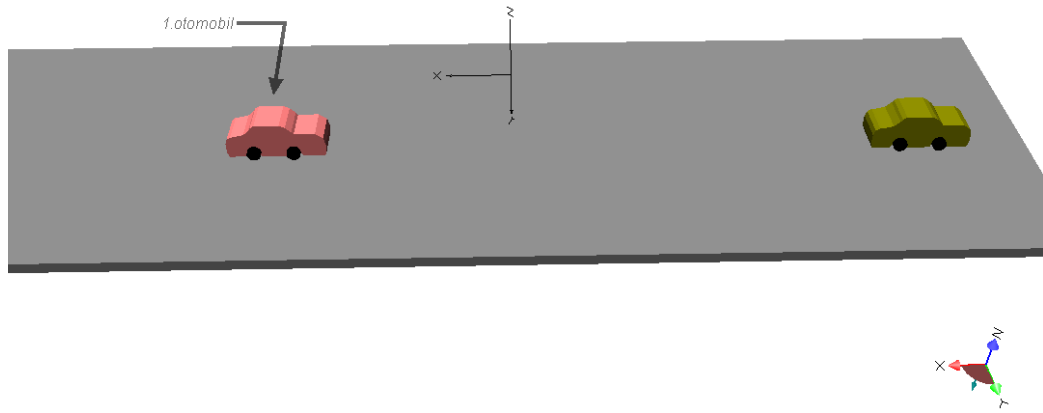
Araç hızının artması, beraberinde birçok riski de arttırmaktadır. Durum II’de, Durum I’de elde edilen değerlerin hız ile ne kadar değişebileceğinin görülmesi açısından, sahip oldukları özellikler ile kütleleri ve aralarındaki mesafe de aynı kalmış olan otomobillerin, bu kez birbirlerine 120 km/saat hızlarla yaklaşarak karşılıklı çarpıştıkları durumda aynı etki süresi içerisinde otomobil ile otomobil sürücüsüne etkiyecek kuvvet ve ivme değerleri incelenmiştir.

Bu durumdaki girdi değerleri aşağıdaki gibidir ve elde edilen hız, momentum, enerji ve kuvvet değerleri de EK-1’de verilmiştir.

Çizelge 4.3. Araçlar ve ortamın özellikleri

	1. Otomobil	2.Otomobil
Toplam ağırlık (kg)	1 000	1 000
Hız (m/saniye)	-33,3	33,3
Konumlar (x-doğrultusu)	+12	-16
Çarpışmanın Esneklik (restitution) Katsayısı (e)	0,1	
Çarpışma Süresi (saniye)	2	2
Esneklik Modülü (E) (Pascal)	$2e^{+11}$	$2e^{+11}$
Poisson Oranı	0,29	0,29
Kuvvetin Etki Süresi (Δt) (saniye)	0,02	

Çarpışma öncesi araçların ilk konumları ve sahip olduğu hız değerleri;



Şekil 4.7. Çarpışma öncesi her iki otomobilin konumları

Bu kez, çarpışma eksenini olan x-doğrultusunda her ikisi de 120 km/saat hız ile hareket etmelerinden dolayı saniyede 33,3 metre yol katederek birbirlerine daha hızlı yaklaştıkları için daha kısa sürede birbirleriyle etkileşecek olan araçların diğer y ve z doğrultularındaki hızlarının sıfır olması nedeniyle $t=0$ anında hızlarının büyüklüğü aynı şekilde ;

$$V_{(1.otomobil)x} = -33,3 \text{ m/sn}$$

$$V_{(1.otomobil)y} = 0$$

$$V_{(1.otomobil)z} = 0$$

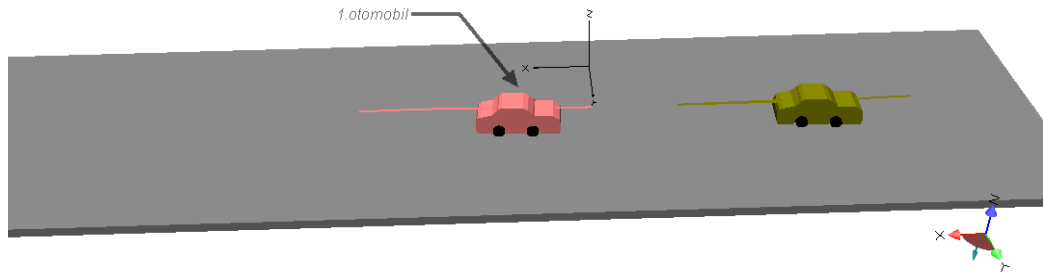
$$V_{(2.otomobil)x} = 33,3 \text{ m/sn}$$

$$V_{(2.otomobil)y} = 0$$

$$V_{(2.otomobil)z} = 0$$

$|V| = 33,3 \text{ m/sn}$ olarak bulunur.

Belirlenmiş $t = 2$ saniyelik süre sonunda 1.otomobilin izlediği yol ve aldığı en son konum;



Şekil 4.8. Çarpışma sonrası 1.otomobilin en son konumu

Durum II’de de yine kütleleri ile birlikte bütün özellikleri aynı olan otomobillerin x-doğrultusunda birbirlerine yaklaşıp karşılıklı kütle merkezlerinden çarpışmaları sonrasında her iki araç da birbirini aynı hızla ve kuvvetle öteleyecek oldukları için, her iki aracın da çarpışma sonrası hızları çok yaklaşık aynı, ancak yönleri yine çarpışma öncesi hızlarının yönlerinin tersi olacaktır.

$$V_{(1.otomobil)x} = 3,39 \text{ m/sn}$$

$$V_{(1.otomobil)y} = -0,042 \text{ m/sn}$$

$$V_{(1.otomobil)z} = 2,59e^{-10} \text{ m/sn}$$

$$|V| = 3,39 \text{ m/sn}$$

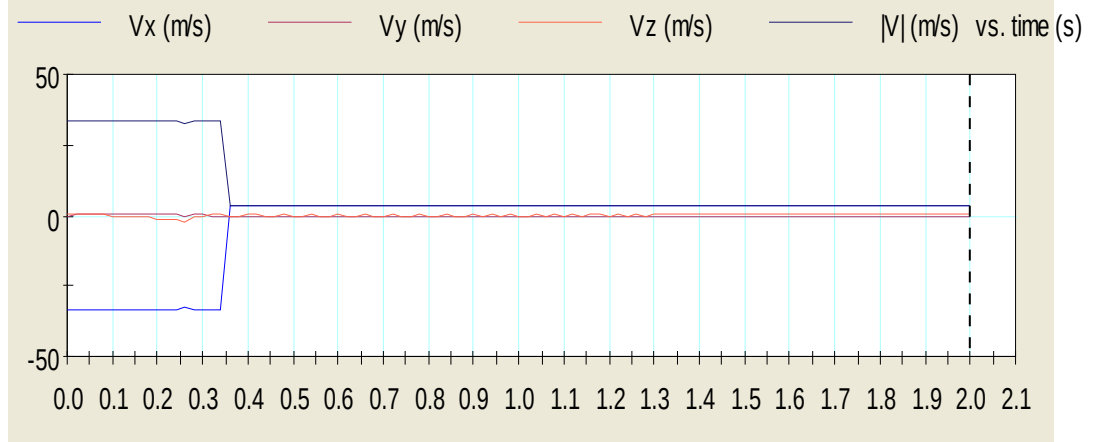
$$V_{(2.otomobil)x} = -3,27 \text{ m/sn}$$

$$V_{(2.otomobil)y} = -0,0701 \text{ m/sn}$$

$$V_{(2.otomobil)z} = 3,23e^{-10} \text{ m/sn}$$

$$|V| = 3,27 \text{ m/sn dir.}$$

Zamana bağılı olarak 1.otomobilin hızındaki değişme;



Şekil 4.9. 1.Otomobilin hızının zamana göre değişimi

Çarpışma öncesi x- doğrultusundaki hızı $V_{(1.otomobil)x} = -33,3$ m/sn olan ve ortamda sürtünmenin olmaması nedeniyle aynı doğrultuda kendisine zıt yönlü olarak aynı hızla seyreden diğer otomobille çarpışana kadar hızını koruyan 1.otomobil, 50 km/saat hız ile seyrederken belirlenmiş olan $t=2$ saniyenin 0,86. saniyesinde temas etmiş olduğu 2. otomobille, bu kez her iki aracın da 120 km/saat hız ile seyretmeleri nedeniyle aynı zamanın daha kısa süresinde etkileşecek ve *birbirlerine temas ettikleri an olan $t_2=0,36$. saniyeden sonra azalarak 3,39 m/sn* ye düşen hız ile çarpışma öncesindeki hızının tersi yönünde hareketine devam edecektir.

4.2.1. Durum II'deki kinetik enerji

$t=2$ saniyenin daha kısa süresi olan $t_2=0,36$. saniyede birbirlerine isabet eden otomobillerden 1.otomobilin, diğer 2.otomobille çarpışma öncesi ve sonrasında sahip olduğu kinetik enerji değerleri hesaplanmak istenirse;

$t_1=0,34$. saniyede x- doğrultusundaki hızı $V_{(1.otomobil)x} = -33,3$ m/sn olan 1 000 kg.lık 1.otomobilin, bu noktada sahip olduğu kinetik enerji değeri yaklaşık,

$$E_k (1.otomobil) = 554,45 \text{ kJ olmuştur.}$$

Hızı 50 km/saat iken, çarpışma öncesi sahip olduğu kinetik enerji 95,22 kJ olan bu otomobilin, 120 km/saat hız ile seyir halinde iken, çarpışma öncesi sahip olacağı kinetik enerji miktarı yaklaşık 6 kat artarak, 554,45 kJ'lük bir değere ulaşmıştır.

Etkileşme anı olan $t_2=0,36$. saniyede aynı doğrultudaki hızı $V_{(1.otomobil)x} = 3,39$ m/sn iken sahip olduğu kinetik enerji değeri ise;

$$E_{k(1.otomobil)} = 5,75 \text{ kJ olmuştur.}$$

Aynı anlarda, kütlesi, kendi kütlesiyle aynı olan 2.otomobilin sahip olduğu kinetik enerji değerleri de aynı şekilde ,

$$E_{k(2.otomobil)} = 554,45 \text{ kJ } (t_1 = 0,34. \text{ saniyede}) \text{ ve}$$

$$E_{k(2.otomobil)} = 5,75 \text{ kJ } (t_2 = 0,36. \text{ saniyede}) \text{ dur.}$$

İki aracın etkileşme anındaki (0,36. saniyedeki) toplam kinetik enerjisi de,

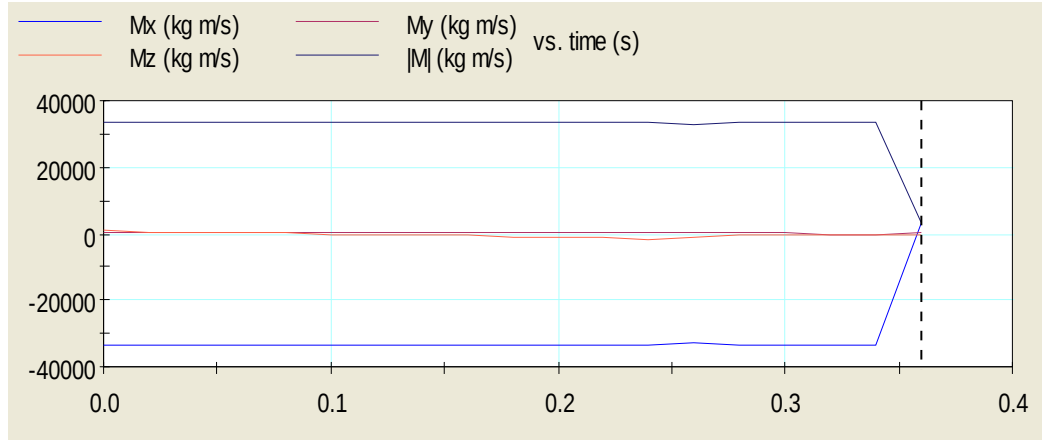
$$5,75 + 5,75 = 11,5 \text{ kJ dur.}$$

Çarpışma sırasında karşısındaki araca kendi enerjisi oranında etki edecek olan 1.otomobilin, araçların toplam enerjisi içindeki payı $(5,75/11,5) \times 100 = \% 50$ olurken, 2.otomobilin payı da yine % 50 dir. Bu Durum II'de de, araçların kütleleri ile hızları aynı olduğundan, tıpkı Durum I'de olduğu gibi, araçlar birbirlerine eşit derecede etki ederler. Ancak, 50 km/saat'lik hızla çarpıştıklarında birbirlerine etki edecek oldukları enerji miktarı temas anında 1,9 kJ olurken, araçlar 120 km/saat'lik hız ile çarpıştıklarında ise bu miktar 6 kat artarak 11,5 kJ olmuştur.

4.2.2. Durum II'deki momentum

Çarpışma sırasında oluşacak kuvveti hesaplamak için 1.otomobilin, diğer otomobille etkileşme anından öncesi ile sonrasında sahip olduğu çizgisel momentum değerlerindeki değişimler bulunacak olursa;

a) 1.otomobilin $t_1=0,34$. saniyedeki momentum değerleri ;



Şekil 4.10. $t_1=0,34$. saniyede 1. otomobilin momentum değerleri

$t_1=0,34$. saniyedeki x, y ve z doğrultularındaki hızları ile hızının büyüklüğü,

$$V_{(1.otomobil)x} = -33,3 \text{ m/sn}$$

$$V_{(1.otomobil)y} = -0,0141 \text{ m/sn}$$

$$V_{(1.otomobil)z} = 0,00407 \text{ m/sn}$$

$|V|=33,3 \text{ m/sn}$ olan 1 000 kg. kütleye sahip 1.otomobilin bu noktadaki momentum değerleri ile momentumunun büyüklüğü ,

$$P_{(1.otomobil)x} = - 3,32^{+4} \text{ kg.m/sn}$$

$$P_{(1.otomobil)y} = -4,51 \text{ kg.m/sn}$$

$$P_{(1.otomobil)z} = -76,3 \text{ kg.m/sn}$$

$$|P| = 3,32e^{+4} \text{ kg.m/sn olurken;}$$

b) Çarpışma anı olan $t_2=0,36$. saniyedeki momentum değerleri ise;

Otomobilin $t_2=0,36$. saniyedeki x, y ve z doğrultularındaki hızları ile hızının büyüklüğü,

$$V_{(1.otomobil)x} = 3,39 \text{ m/sn}$$

$$V_{(1.otomobil)y} = -0,0425 \text{ m/sn}$$

$$V_{(1.otomobil)z} = -0,00655 \text{ m/sn}$$

$|V|=3,39 \text{ m/sn}$ olan otomobilin, bu noktadaki momentum değerleri ile momentumun büyüklüğü ise,

$$\begin{aligned}
P_{(1.otomobil)x} &= 3,39e^{+3} \text{ kg.m/sn} \\
P_{(1.otomobil)y} &= 20,8 \text{ kg.m/sn} \\
P_{(1.otomobil)z} &= -18,3 \text{ kg.m/sn} \\
|P| &= 3,39e^{+3} \text{ kg.m/sn} \text{ olmuştur.}
\end{aligned}$$

Kuvvetin etki süresi olan $t_2=0,36$ ve $t_1=0,34$ zamanları arasında geçen $\Delta t=0,02$ saniyelik süre içerisinde 1.otomobilin momentumunda meydana gelen değişim ise;

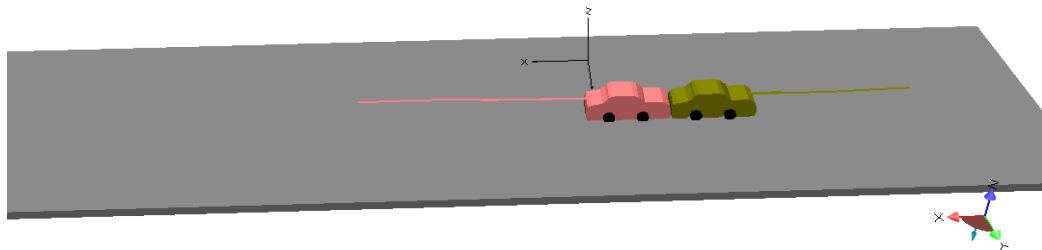
$$dp = p_2 - p_1 = 3,39e^{+3} - (-3,32e^{+4}) = 36\,590 \text{ kg.m/sn olmuştur.}$$

Aynı şekilde $t_1=0,34$. saniyedeki momentumu $p_1 = -2\,331 \text{ kg.m/sn}$, $t_2=0,36$. saniyedeki momentumu ise $p_2 = 237,30 \text{ kg.m/sn}$ olan 70 kg. kütleye sahip sürücünün $\Delta t = 0,02$ saniyelik süre içerisindeki momentum değişimi de,

$$dp = p_2 - p_1 = 237,30 - (-2\,331) = 2\,568,30 \text{ kg.m/sn olmuştur.}$$

4.2.3. Durum II'deki kuvvet

Momentumdaki değişimlerden sonra, $\Delta t=0,02$ saniyelik etki süresinde araçlara çarpışma anında etkiyecek olan kuvvetler hesaplanırsa;



Şekil 4.11. Otomobillerin birbirlerine isabet ettikleri an

Yaklaşıp birbirlerine $t_1=0,36$ saniyede isabet etmiş olan araçlardan, momentumundaki değişimi $36\,590\text{ kg.m/sn}$ olarak bulunan 1.otomobile, etki süresi olan $\Delta t=0,02$ saniyelik zaman diliminde etkiyecek olan kuvvet,

$$F_{(1.otomobil)} = 1\,829\,500\text{ N olarak bulunurken,}$$

Aynı anda momentum değişimi $2\,568,30\text{ kg.m/sn}$ olan 70 kg. lık otomobil sürücüsüne de bu kuvvetin,

$$F_{(sürücü)} = 128\,415\text{ N luk bir kısmının etki edeceği bulunur.}$$

$1\,000\text{ kg}$ kütleyle sahip ve 120 km/saat hızla seyreden otomobil, aynı hızla seyir halinde olan kendisi ile aynı kütleyle sahip otomobille karşılıklı çarpışması sırasında kuvvetin etki süresi olan $\Delta t=0,02$ saniyelik süre zarfında $182\,950\text{ kg.}$ lık yani yaklaşık 183 tonluk bir kuvvete, aynı sürede otomobil sürücüsü de bu kuvvetin yaklaşık 13 tonuna yakın bir kısmıyla karşı karşıya kalacaktır.

Aralarındaki mesafe sabit tutulan iki cismin 5 saniyelik bir süre içerisinde çarpışmalarıyla, $0,02$ saniye gibi bir sürede çarpışmaları arasında, oluşacak kuvvetler bakımından fark vardır. Çarpışma, hız nedeniyle ne kadar kısa sürede gerçekleşirse, yani temas öncesi ile temas sonrası arasında geçen zaman farkı olan kuvvetin etki süresi Δt ne kadar küçük ise, bu çok kısa süre içerisinde oluşacak olan büyük ivme nedeniyle çarpışmanın şiddeti de o derece fazla olacağından, birincisinde yaklaşım daha yavaş olduğu için düşük kuvvet nedeniyle çarpışmanın şiddeti hafif olurken, ikinci durumda ise hızlı etkileşme nedeniyle şiddet bir önceki durumdan daha fazla olacaktır. Tıpkı, duvara belli bir mesafeden 5 saniyelik süre içerisinde temas ettirdiğiniz yumruğunuz nedeniyle hissettiğiniz acıma derecesinin, yumruğunuzu duvara aynı mesafeden çok daha kısa bir sürede vurduğunuzda hissettiğiniz acıma derecesinden daha az olacağı bu durum, en basit ve akılda kalıcı şekilde Toyota'nın, Japonya ve Avrupa'da yürüttüğü sosyal sorumluluk paylaşımı projelerinden “*Trafik ve Yol Güvenliği*” projesi çerçevesinde yapılan ve sürücülere aşırı hızın tehlikelerini çarpıcı bir şekilde aktarmayı amaçlayan kampanyada kullanılan “*Kendini Frenle*” (Şekil 4.12) afişinde etkili biçimde vurgulanmıştır.

Burada anlatılmak istenen, kütle aynı olmasına rağmen hızın az miktarda artmasının dahi etkiyecek olan kuvvette nasıl anlamlı bir farklılık olacağıdır.



Şekil 4.12. Toyotasa tarafından yapılan “Kendini Frenle” kampanyasında kullanılan afiş

Buradan hareketle, otomobiller 50 km/saat hızla hareket ederken çarpıştıklarında, $t=2$ saniyelik sürenin $t_2=0,86$. saniyesinde birbirleriyle etkileştiklerinde $\Delta t=0,02$ sn etki süresinde yaklaşık 76 tonluk bir kuvvetle karşı karşıya kalacak olan 1. otomobil ile bu miktarın 5 tondan fazla kısmına maruz kalacak olan sürücünün, kütleleri aynı olmasına rağmen, araçların 120 km/saat hız ile çarpışmaları sırasında ise, belirlenmiş bu $t=2$ saniyenin daha kısa süresi olan $t_2=0,36$. saniyede birbirleriyle daha hızlı etkileşecekler ve aynı etki süresi olan $\Delta t=0,02$ sn de yüksek bir değere ulaşan ivme nedeniyle maruz kalacak oldukları kuvvetler de daha fazla artacak ve bu kez otomobil yaklaşık 183 ton, sürücü de bu miktarın yaklaşık 13 tonluk bir kısmıyla karşı karşıya kalacaktır.

Etki-tepki sebebiyle, çarpışma sırasında ortaya çıkan yaklaşık bu 183 tonluk kuvvete 1.otomobil maruz kalırken, 2.otomobil de bu kuvvetin zıt yönlü olanına (-183 ton)

maruz kalacak ve ortaya çıkan bu kuvvetten kütleleriyle ters orantılı olarak etkilenecek olan her iki araç, kütlelerinin aynı olmasıyla bu kez çarpışma sonrası,

$$a_{(otomobil)} = 1\,829,5\, \text{m/sn}^2 \text{ lik aynı ivme ile uygulanan kuvvet}$$

yönünde ivmeleneceklerdir.

Aynı şekilde sürücü de ,

$$a_{(sürücü)} = 1\,834,5\, \text{m/sn}^2 \text{ olan üzerine etkiyen bu yavaşlatıcı}$$

ivme miktarının bu kez 187 g ($g = 9,81\, \text{m/s}^2$) ye ulaşmasıyla, kendi ağırlığının 187 katı kadar kuvvete maruz kalacaktır.

Sürücünün kütlesi,

$$m_{sürücü} = 70\, \text{kg}.$$

Hız,

$$V = 120\, \text{km/saat} (33,3\, \text{m/sn})$$

Kuvvetin etki süresi,

$$\Delta t = 0,02\, \text{sn} (20\, \text{ms})$$

Araca etkiyen toplam kuvvet,

$$F_{otomobil} = 1\,829\,500\, \text{N} (182\,950\, \text{kg})$$

Sürücüye etkiyen toplam kuvvet,

$$F_{sürücü} = 128\,415\, \text{N} (12\,841,5\, \text{kg})$$

Sürücüye etkiyen ivme,

$$a_{sürücü} = 1\,834,5\, \text{m/sn}^2 (187g)$$

Sürücünün kafasının kütlesi (vücudun 1/8'i),

$$m_{kafa} = 3,50\, \text{kg}.$$

Sürücünün alnının alanı,

$$A_{aln} = 97\, \text{cm}^2$$

Sürücünün kafasına etkiyen kuvvet,

$$F_{kafa} = m_{kafa} \cdot a_{sürücü}$$

$$F_{kafa} = 6\,420,75\, \text{N}$$

Sürücünün, vücuduna gelen 128 415 N'luk kuvvetten kafasına düşen kısım olan 6 420,75 N luk bu kuvveti, alanı 97cm² olan tüm alnı ile karşıladığı düşünüldüğünde alnın kırılma yükü (gerilme) bu kez,

$$\sigma_{aln} = F_{kafa} / A_{aln}$$

$$\sigma_{aln} = 66,19\, \text{N/cm}^2 \text{ olmaktadır.}$$

Sürücünün alnına gelen bu kuvvetin yaratacağı gerilme etkisinin (kırılma yükünün) ne anlama geldiğinin belirlenmesi için yine alındaki mukavemeti gösteren biomekanik değerler ile karşılaştırılması yapılmalıdır.

$$\text{Alnın kırılma yükü} \longrightarrow 500 - 1\,100\, \text{N} \\ (3\, \text{cm}^2 \text{ zımba ile})$$

Alında 3 cm² lik alanda biomekanik kırılma yük üst değeri =1 100 N dur.

Elde edilen 6 420,75 N luk bu kuvveti, sürücünün, biomekanik değerdeki gibi alında 3 cm² lik alan ile karşıladığı varsayılırsa,

$$\frac{6420,75N}{1100N} = 5,83 \text{ olur.}$$

Bu değer ise, alnın 3 cm² lik kısmı için kırılma yük üst değerinin yaklaşık 6 katı (% 583 üstü) olan bir gerilme değeridir.

Kütleleri aynı olan iki otomobilden 1.otomobil sürücüsü, araçların 50 km/saat ile çarpışmaları sırasında yerçekimi ivmesinin 77 katı olan 5 tondan fazla bir kuvvete maruz kalıyor ve alnını da, alnın kırılma yük üst değerinin 2,5 katı olan 265,65 kg. lık bir kuvvetle araç camına çarpıyorken; aynı araçların, 120 km/saat ile çarpışmasında ise sürücü, aynı etki süresi olan $\Delta t = 0,02$ saniyede (20 milisaniye), etkisi altında kaldığı ivmenin, yerçekimi ivmesinin 187 katı olan 1 834,5 m/sn² lik bir ivmeye ulaşmasıyla kendi ağırlığının 187 katı olan yaklaşık 13 tonluk bir kuvvete maruz kalmakta ve vücuduna gelen kuvvetin kafasına düşen kısmını alnında 3 cm² lik alan ile karşılarsa, çarpışma anında alnını da aracın camına, alında 3 cm² lik alan için alnın kırılma yük üst değerinin yaklaşık 6 katı olan (% 583 üstü) ve bir önceki duruma nazaran 2,41 kat fazla olan 642,07 kg. lık bir kuvvet ile çarpmaktadır.

4.3. Durum III

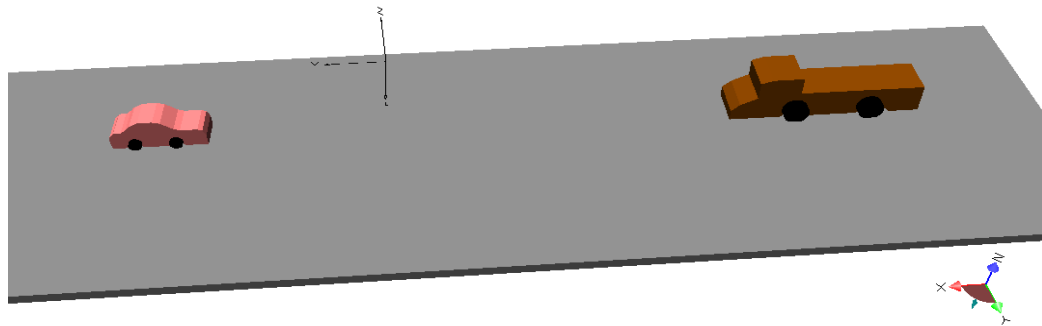
Çarpışmanın şiddetini belirleyen etkenlerden hızın etkisi fazla bilinmesine karşılık kütlenin etkisi bu kadar dikkat çekmemektedir. Bu kısımda, kütle fazlalığının çarpışmanın şiddetine katkısını göstermek açısından, araçlar arasındaki mesafe aynı kalacak şekilde, 1 000 kg. kütleyle sahip aynı otomobilin, bu kez kendi kütesinden 10 kat daha fazla kütleyle sahip olan 10 tonluk kamyon ile aynı kütleli 2. otomobille çarpıştığı 50 km/saat ve 120 km/saat'lik hızlarla karşılıklı ve yine kütle merkezlerinden esnek olarak çarpışması sırasında otomobil ile ağırlığı yine 70 kg. olan sürücünün aynı $\Delta t = 0,02$ sn lik etki süresinde karşı karşıya kalacak oldukları kuvvet ve ivmelerin büyüklükleri arasındaki farklılıklar gösterilmeye çalışılmıştır.

1 000 kg. kütleye sahip otomobilin, 10 tonluk kamyonla, birbirlerine 50 km/saat hızlarla yaklaşarak karşılıklı çarpıştıkları durumda kullanılan girdi değerleri de aşağıdaki gibidir ve bu değerlere sahip araçların çarpıştırılması durumunda elde edilen hız, momentum, enerji ve kuvvet değerleri de EK-1’de verilmiştir.

Çizelge 4.4. Araçlar ile ortamın özellikleri

	Otomobil	Kamyon
Toplam ağırlık (kg)	1 000	10 000
Hız (m/saniye)	-13,8	13,8
Konumlar (x-doğrultusu)	+12	-16
Çarpışmanın Esneklik (restitution) Katsayısı (e)	0,1	
Çarpışma Süresi (saniye)	2	2
Esneklik Modülü (E) (Pascal)	$2e^{+11}$	$2e^{+11}$
Poisson Oranı	0,29	0,29
Kuvvetin Etki Süresi (Δt) (saniye)	0,02	

Otomobil ile kamyonun, çarpışma öncesindeki konumları ile hızlarının büyüklükleri;



Şekil 4.13. Çarpışma öncesi otomobil ile kamyonun konumları

Çarpışma doğrultusu olan x-doğrultusunda 50 km/saat hız ile saniyede 13,8 metre yol katederek birbirlerine zıt yönlü hareket eden araçlardan hızının yönü yine (-) alınan otomobil ile hızının yönü (+) olan kamyonun ikisinin de diğer y ve z doğrultularındaki hızlarının sıfır olması nedeniyle $t=0$ anındaki hızlarının büyüklüğü aynı şekilde ;

$$V_{(otomobil)x} = -13,8 \text{ m/sn}$$

$$V_{(kamyon)x} = 13,8 \text{ m/sn}$$

$$V_{(otomobil)y} = 0$$

$$V_{(kamyon)y} = 0$$

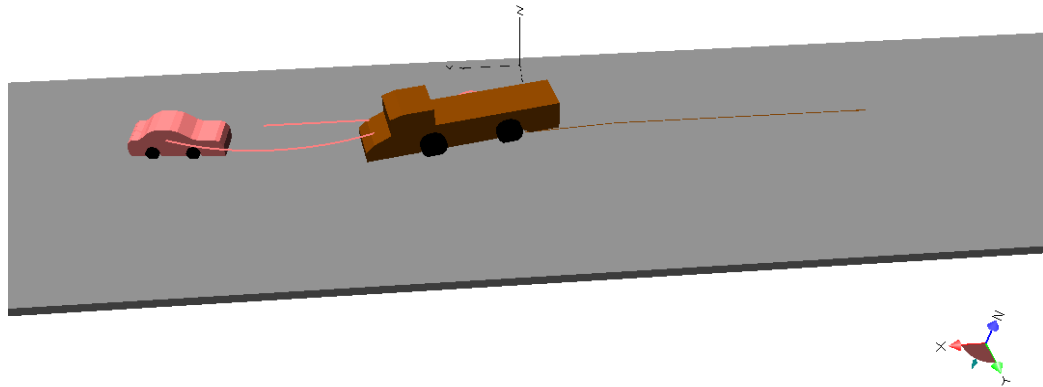
$$V_{(otomobil)z} = 0$$

$$V_{(kamyon)z} = 0$$

$|V| = 13,8 \text{ m/sn}$ olarak bulunur.

Çarpışmayı gerçekleştirmeden ve hiç hesaplama yapmadan dahi, bu özelliklerdeki otomobil ile kamyonun aynı hızlarla karşılıklı olarak birbirleriyle çarpışmaları sonrasında, kamyonun, kütlelerinin fazla olması nedeniyle çarpışma sonrasında otomobili kendi hızının doğrultusunda, dolayısıyla çarpışma öncesi otomobilin kendi seyir hızının tersi yönündeki doğrultuda öteleyip savuracağı ve bu çarpışmadan otomobilin daha fazla zarar göreceği teknik bilgisi olmayanlarca da kolayca söylenebilir.

Otomobilin, $t=2$ saniyelik zaman sonrasında izlediği yol, aldığı son konum ve hızı;



Şekil 4.14. Çarpışma sonrası otomobilin aldığı konum

Kütlesi çarpıştığı otomobilden 10 kat daha fazla olan kamyon, karşılıklı olarak kütle merkezinden çarpıştığı otomobili, kütlelerinin büyüklüğü nedeniyle çarpışma öncesi kendi hızının doğrultusunda ötelemesiyle, otomobilin çarpışma öncesi hızının tersi yönünde daha yüksek bir hızla hareket etmesine sebep olacaktır. Yani , başlangıçtaki hızının yönü (-) olan otomobilin çarpışma sonrası hızı, kamyonun ötelenmesiyle çarpışma öncesine göre artarak kamyonun hızının yönü ile aynı şekilde (+) olurken, otomobili ötelemesi nedeniyle kamyonun hızı ise azalacak, ancak çarpışma anında ortaya çıkan kuvvet, kütlelerinin fazlalığı nedeniyle çarpışma öncesindeki doğrultusunda bir değişmeye neden olamayacaktır.

$$V_{(otomobil)x} = 15,1 \text{ m/sn}$$

$$V_{(otomobil)y} = -10 \text{ m/sn}$$

$$V_{(otomobil)z} = -3,65e^{-6} \text{ m/sn}$$

$$|V| = 18,3 \text{ m/sn}$$

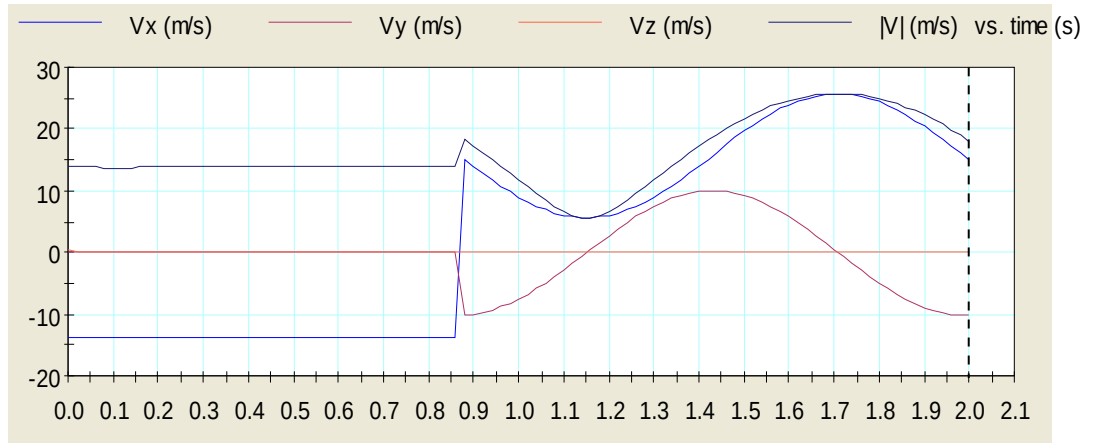
$$V_{(kamyon)x} = 10,2 \text{ m/sn}$$

$$V_{(kamyon)y} = 0,803 \text{ m/sn}$$

$$V_{(kamyon)z} = 1,51e^{-8} \text{ m/sn}$$

$$|V| = 10,2 \text{ m/sn olur.}$$

Zamana bağlı olarak otomobilin hızındaki değişme;



Şekil 4.15. Otomobilin hızındaki değişme

Şekil 4.15'in incelenmesinden görüleceği üzere, $t=2$ saniyelik süre zarfında, $t=0$ anında çarpışma öncesi x - doğrultusundaki hızı $V_{(otomobil)x} = -13,8$ m/sn olan otomobil, ortamda sürtünmenin olmaması nedeniyle aynı doğrultuda kendisine zıt yönlü seyreden ve kütlesi kendi kütlesinden 10 kat fazla olan kamyonla çarpışana kadar hızını korurken, *birbirlerine temas ettikleri an olan $t_2=0,88$. saniyede ise*, kamyonun ötelemesi ile kamyonun seyir yönünde çarpışma öncesindeki hızından daha fazla olan 15,1 m/sn lik hızı ile hareketine devam eder.

4.3.1. Durum III'deki kinetik enerji

Otomobil ile otomobilin çarpıştığı kamyonun, etkileşme öncesi ile sonrasında sahip oldukları kinetik enerji değerleri de bir önceki gibi hesaplanırsa;

Sürtünmenin olmaması nedeniyle kamyonla çarpışana kadar hızı değişmemiş ve kamyonu isabet etmesi öncesi $t_1=0,86$. saniyede x - doğrultusundaki hızı $V_x = -13,8$ m/sn olan otomobilin, bu noktada sahip olduğu kinetik enerji değeri ,

$$E_k (otomobil) = 95,22 \text{ kJ olur iken,}$$

Kamyonla etkileşmesinin hemen sonrası olan $t_2=0,88$. saniyede aynı doğrultudaki hızı $V_x = 15,1$ m/sn iken sahip olduğu kinetik enerji değeri ise, çarpışma ile kütlesinden 10 kat daha büyük kütleli kamyonun ötelemesi ile hızlanması sebebiyle, artan bu hızı yüzünden daha fazlalaşarak,

$$E_k (otomobil) = 114,00 \text{ kJ olmuştur.}$$

Aynı anlarda kamyonun kinetik enerji değerleri ise şu şekildedir;

$$E_k (kamyon) = 952,20 \text{ kJ (0,86. saniyede } V_{x(kamyon)} = 13,8 \text{ m/sn)}$$

$$E_k (kamyon) = 540,80 \text{ kJ (0,88. saniyede } V_{x(kamyon)} = 10,4 \text{ m/sn)}$$

Etkileşme anında (0,88. saniyede) her iki aracın toplam kinetik enerjisi de,

$$114,00 + 540,80 = 654,80 \text{ kJ dur.}$$

Otomobilin, toplam çarpışma enerjisi içerisindeki payı,

$$(114,00 / 654,80) \times 100 = \% 17,4 \text{ olurken,}$$

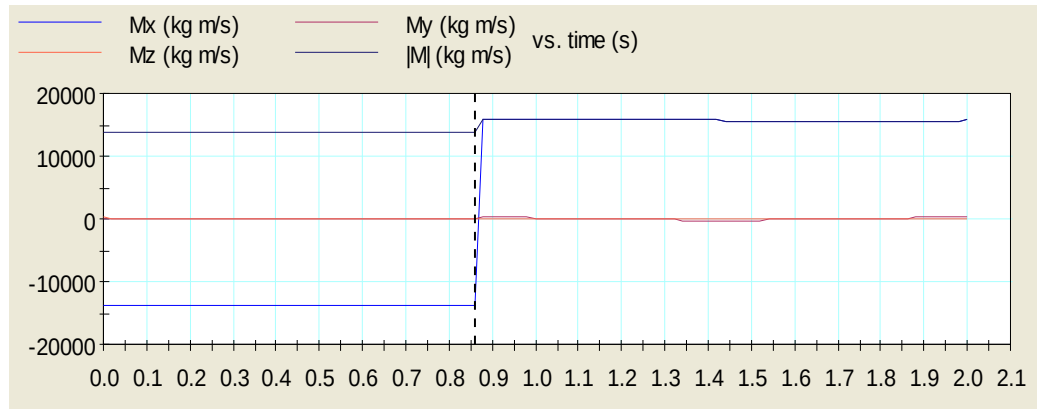
Kamyonun payı ise, $(540,80 / 654,80) \times 100 = \% 82,6$ olmaktadır.

Çarpışan araçlardan her bir araç, karşısındaki araca kendi enerjisi oranında etki edecek olduğundan, kamyonun otomobile yapacağı etki, otomobilin kamyonu yapacağı etkiden $540,80 / 114,00 = 4,7$ kat daha büyük olacak, dolayısıyla böyle bir çarpışmada otomobildekilerin zarar görmeleri de , kamyonu nazaran bu oranda daha fazlalaşacaktır.

4.3.2. Durum III'deki momentum

Bu hızla çarpışan araçların, $\Delta t = 0,02$ saniyedeki etki süresinde birbirlerine etki edecek oldukları kuvvetlerin hesaplanabilmesi için, çarpışmadan hemen önce ile hemen sonra sahip oldukları çizgisel momentum değerlerindeki değişimler ise;

a) Otomobilin $t_1 = 0,86$. saniyedeki hız ve momentum değerleri;



Şekil 4.16. $t_1 = 0,86$. saniyede otomobilin momentum değerleri

$t_1 = 0,86$. saniyedeki x, y ve z doğrultularındaki hızları ile hızının büyüklüğü,

$$V_{(\text{otomobil})x} = -13,8 \text{ m/sn}$$

$$V_{(\text{otomobil})y} = 0,0034 \text{ m/sn}$$

$$V_{(\text{otomobil})z} = 1,43e^{-11} \text{ m/sn}$$

$|V| = 13,8 \text{ m/sn}$ olan 1 000 kg. kütleye sahip otomobilin bu noktadaki momentum değerleri ile momentumunun büyüklüğü de,

$$P_{(otomobil)x} = -1,38^{+4} \text{ kg.m/sn}$$

$$P_{(otomobil)y} = 2,72 \text{ kg.m/sn}$$

$$P_{(otomobil)z} = 1,29e^{-8} \text{ kg.m/sn}$$

$$|P| = 1,38e^{+4} \text{ kg.m/sn olurken;}$$

b) Otomobilin $t_2=0,88$. saniyedeki momentum değerleri ise;

$t_2=0,88$. saniyedeki x, y ve z doğrultularındaki hızları ile hızının büyüklüğü,

$$V_{(otomobil)x} = 15,1 \text{ m/sn}$$

$$V_{(otomobil)y} = -10,1 \text{ m/sn}$$

$$V_{(otomobil)z} = -0,00739 \text{ m/sn}$$

$$|V| = 18,2 \text{ m/sn olan otomobilin, bu noktadaki momentum}$$

değerleri ile momentumunun büyüklüğü ise,

$$P_{(otomobil)x} = 1,57e^{+4} \text{ kg.m/sn}$$

$$P_{(otomobil)y} = 212 \text{ kg.m/sn}$$

$$P_{(otomobil)z} = 6,34 \text{ kg.m/sn}$$

$$|P| = 1,57e^{+4} \text{ kg.m/sn olmuştur.}$$

Kuvvetin etki süresi olan $t_2=0,88$ ve $t_1=0,86$ zamanları arasında geçen $\Delta t=0,02$ saniyelik süre içerisinde 1.otomobilin momentumunda meydana gelen değişim ise;

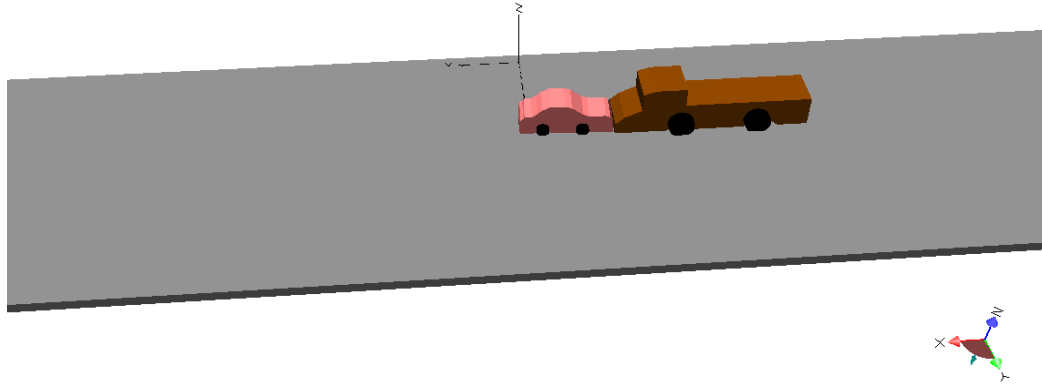
$$dp = p_2 - p_1 = 1,57e^{+4} - (-1,38e^{+4}) = 29\,500 \text{ kg.m/sn olmuştur.}$$

Aynı şekilde $t_1=0,86$. saniyedeki momentumu $p_1 = -966 \text{ kg.m/sn}$, $t_2=0,88$. saniyedeki momentumu ise $p_2 = 1\,057 \text{ kg.m/sn}$ olan 70 kg. lık sürücünün $\Delta t = 0,02$ saniyelik süre içerisindeki momentum değişimi de,

$$dp = p_2 - p_1 = 1\,057 - (-966) = 2\,023 \text{ kg.m/sn olmuştur.}$$

4.3.3. Durum III'deki kuvvet

Belirlenmiş $t = 2$ saniyelik sürenin $t_2=0,88$. saniyesinde kamyonu isabet eden otomobil ile bu otomobilin sürücüsüne etkiyecek olan kuvvetler hesaplanmak istenirse;



Şekil 4.17. Araçların birbirlerine isabet ettikleri an

Çarpışmanın (etkileşmenin) hemen öncesi ile hemen sonrası arasında geçen $\Delta t=0,02$ saniyelik zaman diliminde, momentumundaki değişimi $29\,500\text{ kg m/sn}$ olarak bulunan otomobile bu sürede etkiyecek olan kuvvet;

$$F_{(\text{otomobil})} = 1\,475\,000\text{ N olur.}$$

Bu sürede sürücü de, bu miktarın kendi payına düşen,

$$F_{(\text{sürücü})} = 101\,150\text{ N luk bir kuvvetin etkisi altında kalır.}$$

1 000 kg kütleyle sahip olan otomobil 50 km/saat hızla seyir halinde iken aynı hızla seyir halinde olan 10 000 kg. kütleyle sahip kamyonla çarpıştığında kuvvetin etki süresi olan $\Delta t=0,02$ saniyede 147 500 kg. lık yani yaklaşık 148 tonluk bir kuvvete maruz kalıyorken, bu süre içerisinde otomobilin 70 kg. lık sürücüsü de, otomobile etkiyecek olan bu kuvvetin, yaklaşık 10 tonluk bir kısmıyla karşı karşıya kalacaktır.

Çarpışma sırasında ortaya çıkan ve otomobile 147,50 ton olarak etkiyecek olan bu kuvvet, etki-tepki prensibi gereğince , aynı büyüklükte fakat zıt yönlü olarak (-147,50 ton) kamyonu da etkiyecektir. Ancak araçlar ortaya çıkan bu etki-tepki kuvvetlerinden, kütleleriyle ters orantılı olarak etkileneceklerinden, uygulanan bu kuvvet, kütlesi 1 000 kg. olan otomobili,

$a_{\text{otomobil}} = 1\,475\text{ m/sn}^2$ lik bir ivme ile kuvvet yönünde ivmelendirirken, otomobil içerisindeki sürücüyü de ,

$a_{\text{sürücü}} = 1\,445\text{ m/sn}^2$ lik ivme ile ivmelendirecek,

Ancak kütlesi otomobile nazaran 10(on) kat daha fazla olan kamyonu ise,

$a_{\text{kamyon}} = 147,5\text{ m/sn}^2$ olan 10(on) kat daha küçük bir ivme ile uygulanan kuvvet yönünde ivmelendirecektir.

Eylemsizlik (atalet), kuvvet uygulanan cisimlerin, hareketsiz iseler kendilerini harekete geçirmeye , hareket halindeyseler hızlarının büyüklüğünü ya da doğrultusunu değiştirmeye yönelik olarak uygulanan kuvvete karşı gösterdikleri dirençtir. Bir cismin sürmekte olan durumunun dış kuvvet olmaması halinde korunması eğilimi olan ve cismin kütlesi ne kadar büyükse, uygulanan kuvvetin yol açtığı değişimin o kadar küçük olduğunu anlatan eylemsizlik kuvveti, sistemin ivmesiyle zıt yönde oluşur. Aynı kuvvet uygulanan bir bilye ile bir kamyonun, kütlesi daha az olan bilyenin hızında daha büyük bir değişiklik yapılabilir. Buradan hareketle elde edilen bu değerlerden görüleceği üzere, cismin kütlesi arttıkça, o cismi ivmelendirmek için daha büyük kuvvete ihtiyaç duyulacak olması nedeniyle kamyon bu ivme değeri ile otomobilin kendisine uyguladığı kuvvet yönünde ivmelenecek, ancak ortaya çıkan kuvvet, kütlesinin büyüklüğü nedeniyle kamyonun çarpışma öncesindeki doğrultusunda bir değişiklik yapamayacakken (cisim, kütlesi ne kadar büyükse, uygulanan belli bir kuvvetin etkisi altında o kadar az ivme kazanır), otomobil ise 147 g ($g=9,81\text{ m/sn}^2$)'ye ulaşan bu ivme ile kamyonu uyguladığı kuvvetin zıt yönlüsü olan aynı kuvvetten kütlesinin azlığı nedeniyle daha fazla etkilenecek ve kuvvetin yaptığı büyük etki ile çarpışma öncesindeki hızının yönünün aksi yönünde ivmelenecek, yani bu yönde hareket edecektir. Böylece , sağduyusal olarak bilinen, kamyonla otomobil arasındaki çarpışmada kamyonu nazaran otomobilin daha fazla zarar alacağı sonucu teknik olarak görülmüştür.

Sürücünün Kütlesi,

$$m_{\text{sürücü}} = 70\text{ kg.}$$

Hız,

$$V = 50\text{ km/saat } (13,8\text{ m/sn})$$

Kuvvetin etki süresi ,

$$\Delta t = 0,02\text{ sn } (20\text{ ms})$$

Araca etkiyen toplam kuvvet,	$F_{\text{otomobil}} = 1\,475\,000\text{ N (147\,500 kg.)}$
Sürücüye etkiyen toplam kuvvet,	$F_{\text{sürücü}} = 101\,150\text{ N (10\,115 kg.)}$
Sürücüye etkiyen ivme,	$a_{\text{sürücü}} = 1\,445\text{ m/sn}^2\text{ (147 g)}$
Sürücünün kafasının kütlesi (vücudun 1/8'i),	$m_{\text{kafa}} = 3,50\text{ kg.}$
Sürücünün alnının alanı,	$A_{\text{aln}} = 97\text{ cm}^2$
Sürücünün kafasına etkiyen kuvvet,	$F_{\text{kafa}} = m_{\text{kafa}} \cdot a_{\text{sürücü}}$
	$F_{\text{kafa}} = 5\,075\text{ N}$

Eğer sürücünün, vücuduna gelen 101 150 N' luk bu kuvvetten kafasına gelen 5 075 N luk kısmını, alanı 97 cm² olan tüm alnı ile karşıladığı değerlendirilirse alnının kırılma yükü (gerilme),

$$\sigma_{\text{aln}} = F_{\text{kafa}} / A_{\text{aln}}$$

$$\sigma_{\text{aln}} = \mathbf{52,31\text{ N/cm}^2} \text{ olur.}$$

Ancak sürücünün alnına gelen bu kuvvetin oluşturacağı gerilme etkisinin derecesinin görülmesi için, önceki durumlarda olduğu gibi kırılma yükünün insan vücudunun mukavemetinin biomekanik değerlerdeki aynı alan ile karşılaştırılmasının yapılması gerekmektedir.

$$\text{Alnın kırılma yükü} \longrightarrow \mathbf{500 - 1\,100\text{ N}}$$

(3 cm² zımba ile)

Alında 3 cm² lik alanda biomekanik kırılma yük üst değeri =1 100 N dur.

Elde edilen 5 075 N luk bu kuvvetin altında aynı 3 cm² lik alanla karşılandığı varsayılırsa,

$$\frac{5075\text{ N}}{1100\text{ N}} = 4,61 \text{ elde edilir.}$$

Bu değer, 3cm² lik alan için alnın kırılma yük üst değerinin 4,6 katı (% 461 üstü) olan bir gerilme değeridir.

Otomobil, 50 km/saat hızla kendisi ile aynı kütleye sahip otomobille çarpıştığında sürücü 5 tondan fazla bir kuvvete maruz kalıyor ve alnını da aracın camına, kafasına gelen kırılma yük üst değerinin % 241 üstü olan 265,65 kg. lık bir kuvvet ile çarpıyor

iken; aynı otomobil, aynı hızla, ancak bu kez kütlesinden 10 kat daha fazla büyük 10 tonluk kamyonla çarpıştığında ise, karşı karşıya kalacağı kuvvet yaklaşık 2 kat artarak kendi ağırlığının 147 katı olan 10 tona, kuvvetin etki süresi olan $\Delta t = 0,02$ saniyede (20 milisaniye) ise, etkisi altında kaldığı ivme de yerçekimi ivmesinin 147 katı olan $1\,445\text{ m/sn}^2$ lik bir değere ulaşmakta ve vücuduna gelen kuvvetin kafasına düşen kısmını alnında 3 cm^2 lik alan ile karşılarsa, çarpışma anında alnını da aracın camına alında 3 cm^2 lik alan için kırılma yük üst değerinin 4,6 katı (% 461 üstü) olan 507,50 kg. lık bir kuvvet ile çarpılmaktadır.

4.4. Durum IV

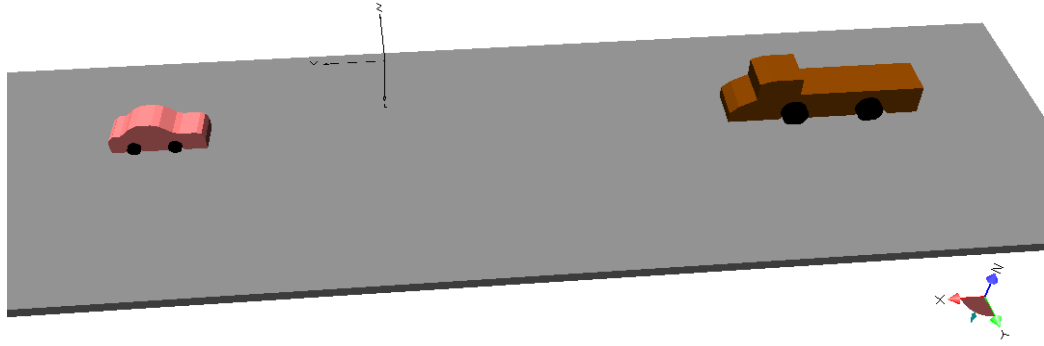
Bu son bölümde de, otomobil ile kamyonun aralarındaki mesafe ile birlikte bütün özellikleri korunarak, bu kez birbirleriyle 120 km/saat hızla karşılıklı çarpıştıklarında, otomobil ve sürücüsünün aynı etki süresi olan $\Delta t = 0,02$ saniyede maruz kalacak oldukları kuvvet ve ivmelerin değerleri gösterilmiştir.

Girdi değerleri aşağıdaki gibi olan araçların çarpıştırılması durumunda elde edilen hız, momentum, enerji ve kuvvet değerleri EK-1’de verilmiştir

Çizelge 4.5. Araçlar ile ortamın özellikleri

	Otomobil	Kamyon
Toplam ağırlık (kg)	1 000	10 000
Hız (m/saniye)	-33,3	33,3
Konumlar (x-doğrultusu)	+12	-16
Çarpışmanın Esneklik (restitution) Katsayısı (e)	0,1	
Çarpışma Süresi (saniye)	2	2
Esneklik Modülü (E) (Pascal)	$2e^{+11}$	$2e^{+11}$
Poisson Oranı	0,29	0,29
Kuvvetin Etki Süresi (Δt) (saniye)	0,02	

Belirlenmiş $t=2$ saniyelik sürede çarpışacak olan araçların, çarpışma öncesi olan $t=0$ anındaki konumları şu şekildedir;



Şekil 4.18. Otomobil ile kamyonun çarpışma öncesi konumları

Aralarındaki mesafe ve diğer bütün özellikleri aynı olan otomobil ile kamyon, bu kez, 120 km/saat hızla hareket etmelerinden dolayı, her ikisi de saniyede 33,3 metre yol katederek birbirlerine yaklaştıkları için, doğal olarak aradaki mesafeyi daha kısa sürede kapatacak olduklarından, $t=0,36$ saniyede birbirleriyle etkileşmektedirler.

Diğer doğrultudaki hızları sıfır olan otomobil ile kamyonun, $t=0$ anında çarpışma doğrultusu olan x-doğrultusundaki hızları ile hızlarının büyüklüğü,

$$V_{(otomobil)x} = -33,3 \text{ m/sn}$$

$$V_{(otomobil)y} = 0$$

$$V_{(otomobil)z} = 0$$

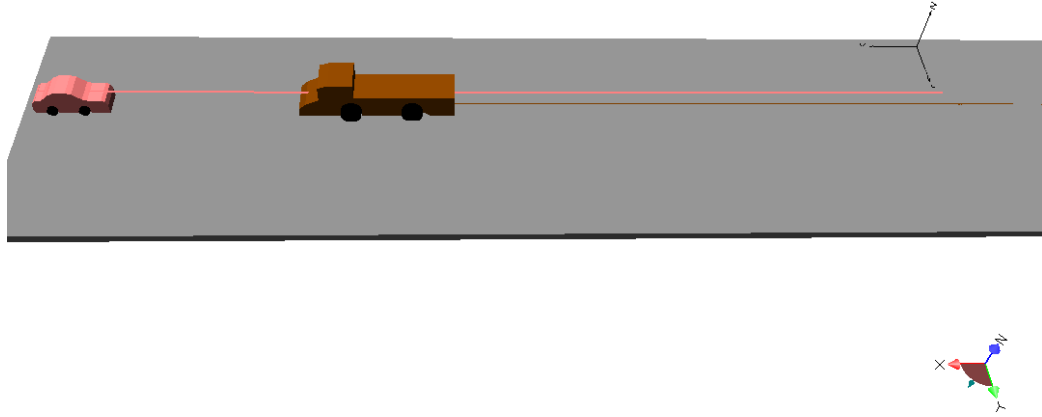
$$V_{(kamyon)x} = 33,3 \text{ m/sn}$$

$$V_{(kamyon)y} = 0$$

$$V_{(kamyon)z} = 0$$

$$|V| = 33,3 \text{ m/sn dir.}$$

Otomobilin, $t=2$ saniyelik zaman sonrasında izlediği yol, aldığı son konum ve hızı;



Şekil 4.19. Otomobilin çarpışma sonrasındaki konumu

Kütlesi, çarpıştığı otomobilden 10 kat daha fazla olan kamyon, bu kez 120 km/saat ile karşılıklı olarak çarpıştığı otomobili çok daha yüksek bir hızla kendi hızının doğrultusunda ötelerken, otomobil ise kamyonun ötelemesi ile çarpışma öncesi hızının tersi yönünde hareket edeceğinden, başlangıçtaki hızının yönü (-) iken, çarpışma sonrası hızı, kamyonun ötelemesiyle tersine hareket etmesinden dolayı kamyonun hızının yönü ile aynı şekilde (+) olacaktır.

$$V_{(otomobil)x} = 32,4 \quad \text{m/sn}$$

$$V_{(otomobil)y} = -0,000526 \quad \text{m/sn}$$

$$V_{(otomobil)z} = 1,35e^{-12} \quad \text{m/sn}$$

$$|V| = 32,4 \quad \text{m/sn}$$

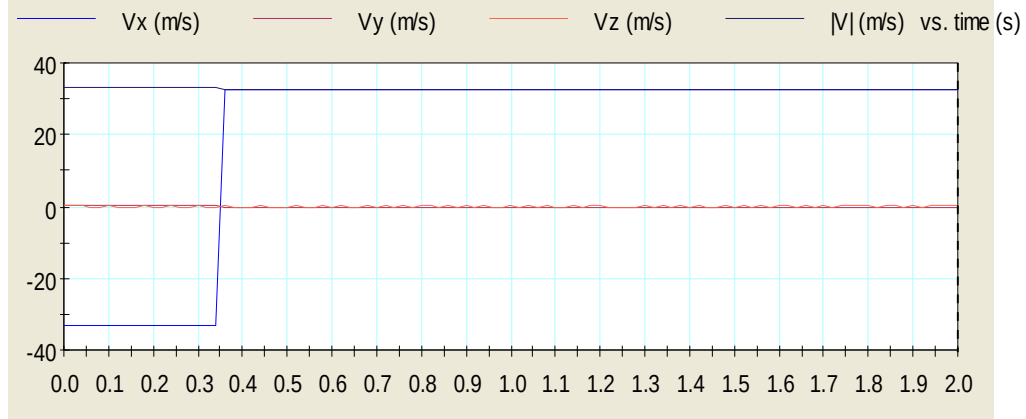
$$V_{(kamyon)x} = 25,8 \quad \text{m/sn}$$

$$V_{(kamyon)y} = 0,00707 \quad \text{m/sn}$$

$$V_{(kamyon)z} = -2,35e^{-10} \quad \text{m/sn}$$

$$|V| = 25,8 \quad \text{m/sn olur.}$$

Otomobilin $t=2$ saniyelik süre sonrasında zamana bağlı olarak hızındaki değişme;



Şekil 4.20. Otomobilin hızındaki değişme

Şekil 4.20' nin incelenmesinden görüleceği üzere, 120 km/saat hız ile seyretmesinden dolayı x- doğrultusundaki hızı $V_{(otomobil)x} = -33,3$ m/sn olan otomobil aynı doğrultuda kendisine zıt yönlü seyreden kamyonla çarpışana kadar sürtünmenin olmaması nedeniyle hızında bir değişiklik olmazken, *birbirlerine temas ettikleri an olan $t_2=0,36$. saniyede ise*, kamyonun ötelemesi ile çarpma sonrası kamyonun seyir yönünde hızlanarak 32,5 m/sn olan hızı ile çarpışma öncesi kendi hızının ters yönü olan kamyonun seyir yönünde hareketine devam eder.

4.4.1. Durum IV'deki kinetik enerji

Kamyonla isabet ettiği noktanın öncesindeki $t_1=0,34$. saniyede x-doğrultusundaki hızı $V_x = -33,3$ m/sn olan otomobilin, bu noktada sahip olduğu kinetik enerji değeri yaklaşık,

$$E_{k(otomobil)} = 554,45 \text{ kJ olur iken,}$$

Çarpışma sonrası $t_2=0,36$. saniyede aynı doğrultudaki hızı $V_x=32,5$ m/sn iken sahip olduğu kinetik enerji değeri ise;

$$E_{k(otomobil)} = 528,13 \text{ kJ olmuştur.}$$

Aynı anlarda çarpıştığı kamyonun kinetik enerji değerleri de şöyledir;

$$E_k(\text{kamyon}) = 5\,544,45 \text{ kJ} \quad (0,34. \text{ saniyede } V_{x(\text{kamyon})} = 33,3 \text{ m/sn})$$

$$E_k(\text{kamyon}) = 3\,328,20 \text{ kJ} \quad (0,36. \text{ saniyede } V_{x(\text{kamyon})} = 25,8 \text{ m/sn})$$

Etkileşme anında (0,36. saniyede) her iki aracın toplam çarpışma enerjisi ise,

$$528,13 + 3\,328,20 = 3\,856,33 \text{ kJ olmuştur.}$$

Otomobilin, toplam çarpışma enerjisi içerisindeki payı,

$$(528,13 / 3\,856,33) \times 100 = \% 13,7 \text{ olurken,}$$

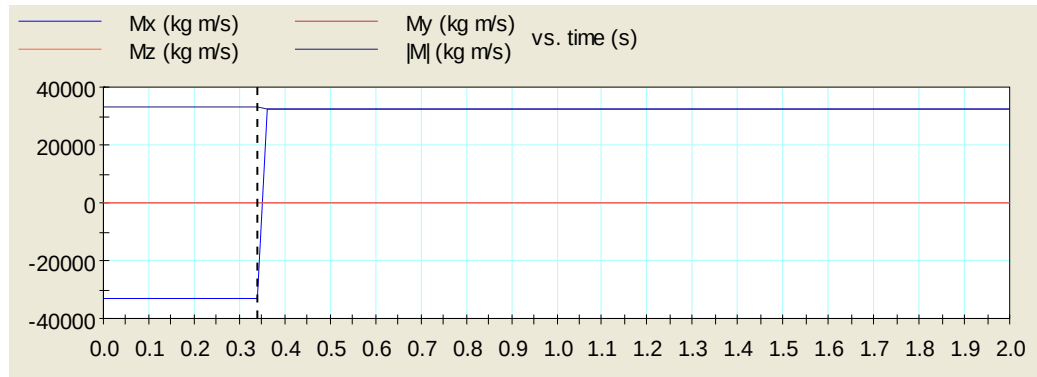
Kamyonun payı ise, $(3\,328,20 / 3\,856,33) \times 100 = \% 86,3$ olmaktadır.

Çarpışan araçlar, karşılarındakine kendi enerjileri oranında etki edecek olduklarından, yüksek enerjisi nedeniyle kamyonun otomobile yapacağı etkinin, otomobilin kamyonu yapacağı etkiden $3\,328,20 / 528,13 = 6,3$ kat daha büyük olduğunun görülmesiyle, böyle bir çarpışmada, otomobildeki hasar ile muhtemel ölüm oranı da kamyonunkinden 6,3 kat daha fazla olacaktır.

4.4.2. Durum IV'deki momentum

Çarpışmanın hemen öncesi ile sonrasında çarpışan araçların momentumlarındaki değişimler görülmek istenirse;

a) Otomobilin $t_1 = 0,34$. saniyedeki momentum değerleri ;



Şekil 4.21. $t_1 = 0,34$. saniyedeki otomobilin momentum değerleri

$t_1=0,34$. saniyedeki x, y ve z doğrultularındaki hızları ile hızının büyüklüğü,

$$V_{(otomobil)x} = -33,3 \text{ m/sn}$$

$$V_{(otomobil)y} = 0,00163 \text{ m/sn}$$

$$V_{(otomobil)z} = -6,11e^{-8} \text{ m/sn}$$

$|V|=33,3 \text{ m/sn}$ olan 1 000 kg. kütleye sahip otomobilin bu noktadaki momentum değerleri ile momentumunun büyüklüğü ,

$$P_{(otomobil)x} = -3,33e^{+4} \text{ kg.m/sn}$$

$$P_{(otomobil)y} = 0,666 \text{ kg.m/sn}$$

$$P_{(otomobil)z} = -4,72e^{-5} \text{ kg.m/sn}$$

$$|P| = 3,33e^{+4} \text{ kg.m/sn olurken;}$$

b) Otomobilin $t_2=0,36$. saniyedeki momentum değerleri ise;

$t_2=0,36$. saniyedeki x, y ve z doğrultularındaki hızları ile hızının büyüklüğü ise,

$$V_{(otomobil)x} = 32,5 \text{ m/sn}$$

$$V_{(otomobil)y} = -0,000202 \text{ m/sn}$$

$$V_{(otomobil)z} = 0,013 \text{ m/sn}$$

$|V|=32,5 \text{ m/sn}$ olan otomobilin, bu noktadaki momentum değerleri ile momentumunun büyüklüğü de,

$$P_{(otomobil)x} = 3,25e^{+4} \text{ kg.m/sn}$$

$$P_{(otomobil)y} = -4,09 \text{ kg.m/sn}$$

$$P_{(otomobil)z} = 135 \text{ kg.m/sn}$$

$$|P| = 3,25e^{+4} \text{ kg.m/sn olmuştur.}$$

Kuvvetin etki süresi olan $t_2=0,36$ ve $t_1=0,34$ zamanları arasında geçen $\Delta t=0,02$ saniyelik süre içerisinde otomobilin momentumunda meydana gelen değişim;

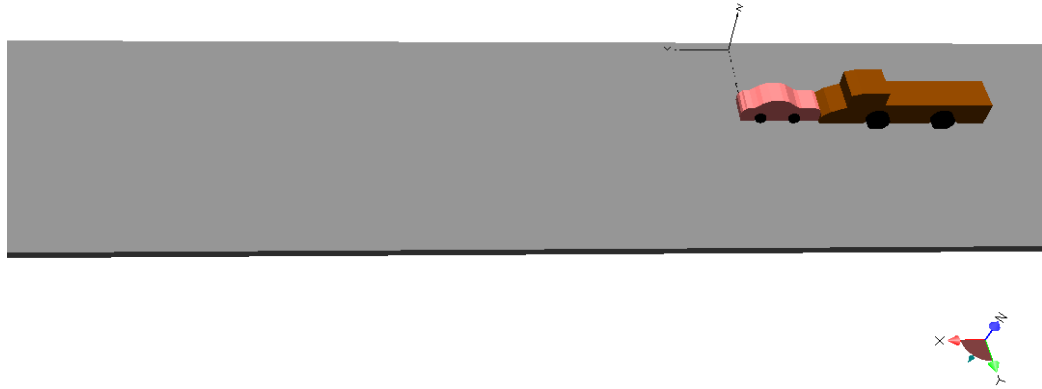
$$dp = p_2 - p_1 = 3,25e^{+4} - (-3,33e^{+4}) = 65\,800 \text{ kg.m/sn olmuştur.}$$

Aynı şekilde $t_1=0,34$. saniyedeki momentumu $p_1 = -2\,331 \text{ kg.m/sn}$, $t_2=0,36$. saniyedeki momentumu ise $p_2 = 2\,275 \text{ kg.m/sn}$ olan 70 kg. lık sürücünün $\Delta t = 0,02$ saniyelik süre içerisindeki momentum değişimi de,

$$dp = p_2 - p_1 = 2\,275 - (-2\,331) = 4\,606 \text{ kg.m/sn olmuştur.}$$

4.4.3. Durum IV'deki kuvvet

Otomobil ve sürücüsüne etki süresi olan $\Delta t=0,02$ saniyede etkiyecek olan kuvvetler şu şekildedir;



Şekil 4.22. Araçların birbirleriyle etkileştikleri an

Momentum değişimi $65\,800\text{ kg m/sn}$ olan otomobilin üzerine etkiyecek kuvvet,

$$F_{\text{otomobil}} = 3\,290\,000\text{ N olurken,}$$

Momentum değişimi $4\,606\text{ kg.m/sn}$ olan sürücüye de bu anda bu miktarın,

$$F_{\text{sürücü}} = 230\,300\text{ N luk kısmı etki edecektir.}$$

$1\,000\text{ kg.}$ kütleyle sahip olan otomobil, kendi kütesinden 10 kat fazla kütleyle sahip $10\,000\text{ kg.}$ kütleli kamyonla 120 km/saat hızla çarpıştığında, kuvvetin etki süresi olan $\Delta t=0,02$ saniyede $329\,000\text{ kg.}$ yani 329 tonluk bir kuvvete; aynı bu süre içerisinde sürücü de bu kuvvetin yaklaşık 23 tonluk kısmına maruz kalmaktadır. Elde edilen bu kuvvet, otomobilin aynı kamyonla 50 km/saat hızla çarpışması sırasında sürücünün maruz kaldığı kuvvetin 2,3 kat fazlasıdır.

Çarpışma sırasında otomobile 329 ton olarak etkiyecek olan bu kuvvet, etki-tepki prensibi gereğince , aynı büyüklükte fakat zıt yönlü olarak (-329 ton) kamyonla da

etkiyecektir. Ancak araçlar bu kuvvetten, kütleleriyle ters orantılı olarak etkilenecek olduklarından, kütlesi 1 000 kg. olan otomobil,

$a_{(otomobil)} = 3\,290\text{ m/sn}^2$ lik bir ivme ile etkiyecek olan kuvvet yönünde ivmelenirken, aynı şekilde otomobilin sürücüsü de bu ivme değerine maruz kalacak ve

$a_{(sürücü)} = 3\,290\text{ m/sn}^2$ olan yerçekimi ivmesinin 335 katı bu ivme değeri nedeniyle sürücünün ağırlığı da aynı şekilde 335 kat artacaktır.

Kütlesi otomobile nazaran 10(on) kat daha fazla olan kamyon ise,

$a_{(kamyon)} = 329\text{ m/sn}^2$ olan ve otomobile etkiyecek ivmeden 10(on) kat küçük ivme ile kendisine etkiyecek kuvvet yönünde ivmelenecektir.

İvmelenmeye neden olan kuvvet ne kadar büyükse, ivme de o oranda büyümecektir. Ancak cismin kütlesi ne kadar büyükse, uygulanan kuvvetin cisim üzerinde yol açtığı değişim o kadar küçük olacağı için çarpışma sırasında ortaya çıkan bu kuvvetten, kütleleri nedeniyle farklı etkilenecek olan araçlardan otomobil, kütlesinin azlığı nedeniyle bu kuvvet etkisi altında fazla ivmelenirken; kütlesinin fazlalılığı nedeniyle aynı kuvvetin fazla etkilemeyeceği kamyonun konumunda çarpma sonrasında fazla değişiklik olmayacak ve kamyon, yine çarpma öncesindeki hızı doğrultusunda ancak ötelemediği otomobil nedeniyle azalan hızı ile hareketine devam edecektir.

Sürücünün Kütlesi,	$m_{sürücü} = 70\text{ kg.}$
Hız,	$V = 120\text{ km/saat (33,3 m/sn)}$
Kuvvetin etki süresi,	$\Delta t = 0,02\text{ sn (20 ms)}$
Araca etkiyen toplam kuvvet,	$F_{otomobil} = 3\,290\,000\text{ N (329\,000 kg.)}$
Sürücüye etkiyen toplam kuvvet,	$F_{sürücü} = 230\,300\text{ N (23\,030 kg.)}$
Sürücüye etkiyen ivme,	$a_{sürücü} = 3\,290\text{ m/sn}^2\text{ (335 g)}$
Sürücünün kafasının kütlesi (vücudun 1/8'i),	$m_{kafa} = 3,50\text{ kg.}$
Sürücünün alnının alanı,	$A_{aln} = 97\text{ cm}^2$
Sürücünün kafasına etkiyen kuvvet,	$F_{kafa} = m_{kafa} \cdot a_{sürücü}$
	$F_{kafa} = 11\,515\text{ N}$

Sürücünün, vücudunun maruz kaldığı toplam 230 300 N'luk kuvvetten kafasına gelen 11 515N luk kuvveti, alanı 97cm² olan tüm alını ile karşıladığı değerlendirildiğinde alının kırılma yükü (gerilme),

$$\sigma_{\text{alın}} = F_{\text{kafa}} / A_{\text{alın}}$$

$$\sigma_{\text{alın}} = \mathbf{118,71 \text{ N/cm}^2} \text{ olur.}$$

Sürücünün alnına gelen bu kuvvetin oluşturacağı etkinin boyutunun görülmesi için, aynı alan için insanın alnında dayanabileceği kırılma yükünün biomekanik değerleri ile karşılaştırılması gerekmektedir.

$$\text{Alnın kırılma yükü} \longrightarrow \mathbf{500 - 1\ 100 \text{ N}}$$

(3 cm² zımba ile)

Alında 3 cm² lik alanda biomekanik kırılma yük üst değeri =1 100 N dur.

Elde edilen 11 515N luk bu kuvvetin alında aynı 3 cm² lik alanla karşılandığı varsayılırsa,

$$\frac{11515N}{1100N} = 10,46 \text{ değeri elde edilir.}$$

Bu değer, alında 3 cm² lik alan için kırılma yük üst değerinin yaklaşık 10,5 katı (% 1 046 üstü) olan bir gerilme değeridir.

Otomobil kamyonla 50 km/saat hız ile çarpışırken, sürücü, yaklaşık 10 tonluk bir kuvvete maruz kalıyor ve alnını da aracın camına kırılma yük üst değerinin 4,6 katı olan 507,50 kg. lık bir kuvvet ile çarpıyorken;, aynı otomobil, kamyonla 120 km/saat hız ile çarpıştığında ise bu değer artarak, sürücünün karşı karşıya kalacak olduğu kuvvet, kendi ağırlığının yaklaşık 335 katı olan 23 tonluk bir değere, $\Delta t = 0,02$ saniyede (20 milisaniye) etkisi altında kaldığı ivme de yerçekimi ivmesinin 335 katı olan 3 290 m/sn² lik bir değere ulaşmakta ve çarpışma anında alnını da aracın camına bu kez, vücuduna gelen kuvvetten kafasına düşen kısmı yine alnında 3 cm² lik alan ile karşılarsa, alında 3 cm² lik alan için kırılma yük üst değerinin yaklaşık 10,5 katı (% 1 046 üstü) olan 1 151,5 kg. lık bir kuvvet ile çarpmaktadır.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Çarpışma sırasında ve sonrasında yaralanma ve ölümleri en az düzeye indirme görevi yapıp araç içerisindekiler için hayati önem taşıyarak, bu kişilere etki eden *ivme ve kuvvetleri* en aza indirmeye yönelik olan taşıt gövdesinin deformasyon davranışı, yolcu kabininin dayanımı, engelleme sistemi, taşıtın iç kısmındaki çarpma alanları, direksiyon sistemi, araçların ön kısmında enerjinin absorbe edildiği enerji yutucu kasalar gibi “aktif güvenlik” ile çarpışma sırasında sürücüyü koruyup, üzerine etki edecek darbe kuvvetinin azaltılmasına yönelik hava yastıkları ve emniyet kemerleri gibi “pasif güvenlik” elemanlarından herhangi bir güvenlik elemanını içeren tedbirler ile deformasyona ve sürtünmeye harcanacak enerjinin dikkate alınmayıp, *yalnızca hız ile kütlenin, çarpışmanın şiddetine olan katkısını yalın bir şekilde* göstermek amacıyla yapılan bu çalışmanın ilk bölümünde hızın, ikinci bölümünde ise kütlenin artması durumunda aynı otomobil ve sürücüsünün aynı etki süresinde maruz kalacak oldukları kuvvet ile ivme değerlerindeki artışlar gösterilmiştir.

Hız ve kütle, ayrı-ayrı olarak ya da birlikte çarpışmanın şiddetini arttıran iki önemli etkidir. Ancak bu etkenlerden hızın etkisi çok fazla bilinirken, ağır vasıta kazalarında sonucu ağırlaştıran etkili faktör olan kütlenin çarpışmanın şiddetine olan katkısı ise çok fazla bilinmemektedir.

Amacı, trafik kazalarında karşılıklı gerçekleşen çarpışmalarda, hız ve kütlenin artması ile aynı etki süresi içerisinde toplam kütlesi 1 000 kg. olan otomobil ile kütlesi 70 kg. olan otomobil sürücüsüne etkiyecek kuvvet ve ivme değerlerinin de artacağını gösterilmesi olan ancak, deformasyon ile herhangi bir dış kuvvetin ve sürtünmenin dikkate alınmadığı çalışmada, otomobilin, otomobille ve kamyonla temel olarak 50 km/saat ve 120 km/saat’lik hızlarla çarpıştırılmasının dışında, araçlar 70 km/saat ve 100 km/saat hızlarla da çarpıştırılarak, etkiyecek olan kuvvetler ile ivmelerin ayrı ayrı hesaplaması yapılmıştır.

Yapılan çalışma sonunda ulaşılan sonuçlar özetle şunlardır:

- Durum I’de yapılan çalışmayla kütlesi 1 000 kg. olan 1. otomobil, kütlesi kendisi ile aynı olan diğer 2. otomobil ile 50 km/saat hızla çarpıştığında; araçların, belirlenmiş $t=2$ sn lik sürenin $t_2=0,86$. saniyesinde birbirleriyle etkileştikleri ve bu etkileşme anındaki toplam kinetik enerjinin 1,9kJ olduğu; kütleleri aynı olan otomobillerin her birinin toplam enerji içerisindeki paylarının % 50 olması sebebiyle birbirlerine eşit derecede etki edecekleri; $\Delta t =0,02$ sn (20 milisaniye) olan kuvvetin etki süresinde de 1.otomobil yaklaşık 76 tonluk, kütlesi 70 kg. olan sürücü de bu kuvvetin 5 tondan fazla bir kısmına ve yerçekimi ivmesinin yaklaşık 77 katı olan 759 m/sn^2 ($g= 9,81\text{m/sn}^2$) lik ivmeye maruz kalmakta; bu hızla gerçekleşen çarpışma anında sürücünün bütün vücuduna gelen toplam kuvvetten, kafasına düşen miktar olan 2 656,50 N luk kuvveti de alınının 3 cm^2 lik kısmı ile karşıladığında, aynı alan için biomekanik kırılma yük üst değerinin yaklaşık 2,5 katı (% 241 fazlası) olan 265,65 kg. lık bir kuvvet ile alını aracın camına çarpmakta olduğu görülmüştür.

- Aynı araçların 120 km/saat hız ile çarpıştıkları Durum II’de ise, daha hızlı hareket etmelerinden dolayı araçların etkileşmelerinin aynı sürenin $t_2= 0,36$. saniyesinde gerçekleştiği ve etkileşme anındaki toplam kinetik enerjinin bir önceki durumdan 6 kat fazla olarak 11,5 kj olduğu, kütleleri aynı olan araçların her birinin toplam bu enerji içerisindeki paylarının yine % 50 olması sebebiyle birbirlerine eşit derecede etki edecekleri; ancak bu kez aynı etki süresinde otomobilin maruz kalacağı kuvvet 183 tona , sürücünün maruz kalacağı kuvvet de yaklaşık 13 tona, araçların kütleleri aynı olmasına rağmen, hızın artması ile çarpışma sırasında oluşan kuvvetin büyüklüğü nedeniyle ivme de artarak yerçekimi ivmesinin 187 katı olan $1 834,5 \text{ m/sn}^2$ ye ulaşmakta; bu hızla gerçekleşen çarpışma anında sürücünün kafasına gelen toplam 6 420,70 N luk kuvveti alınının 3 cm^2 lik kısmı ile karşıladığında, bu kez aynı alan için biomekanik kırılma yük üst değerinin 5,8 katı (% 583 fazlası) olan 642,07 kg. lık bir kuvvet ile alını araç camına çarpmakta olduğu görülmüştür.

•Durum III'de yapılan çalışmayla da kütlesi 1 000 kg. olan aynı otomobil kendi kütlesinden 10 kat daha fazla kütleye sahip olan 10 tonluk kamyon ile 50 km/saat lik hız ile çarpıştığında ise araçların, $t=2$ sn lik sürenin $t_2=0,88$. saniyesinde etkileştikleri, etkileşme anındaki toplam kinetik enerjinin 654,80 kJ olduğu ve bu enerjinin % 17,4'üne otomobilin, % 82,6'sına ise kamyonun sahip olması sebebiyle kamyonun etkileşme anında otomobile 4,7 kat daha fazla etki edeceği; $\Delta t = 0,02$ sn lik etki süresinde otomobil, aynı hızla diğer otomobille çarpışırken maruz kalacağı kuvvetin 2 katı olan 147 tona, 10 tonluk bir kuvvet ile yerçekimi ivmesinin 147 katı olan $1\,445\text{m/sn}^2$ ye ulaşan bir ivme değerine maruz kalmakta olan sürücünün de, çarpışma anında vücuduna gelen bu 10 tonluk kuvvetten kafasına düşen miktar olan 5 075 N luk kuvveti alnının 3 cm^2 lik alanı ile karşıladığında , aynı alan için biomekanik kırılma yük üst değerinin 4,6 katı (% 461 fazlası) olan 507,5 kg.lık bir kuvvet ile alnını araç camına çarpmakta olduğu görülmüştür.

•En son çalışılan Durum IV'de de otomobille kamyon 120 km/saat hız ile çarpıştığında ise, araçların, $t=2$ sn lik sürenin $t_2=0,36$. saniyesinde etkileştikleri ve etkileşme anında bir önceki durumdan 5,88 kat fazlası olarak 3 856,33 kJ olan toplam kinetik enerjiden otomobilin % 13,7 lik kısma, kamyonun ise % 86,3 lük kısma sahip olması sebebiyle kamyonun otomobile etkileşme anında 6,3 kat daha fazla etki edeceği ; aynı etki süresinde otomobil 329 tona, sürücü de 23 tonluk kuvvet ile yerçekimi ivmesinin yaklaşık 335 katı olan $3\,290\text{ m/sn}^2$ lik ivmeye maruz kalmakta; çarpışma sırasında ise sürücünün bu kez alnını, kafasına gelen toplam 11 515 N luk kuvveti alnında 3 cm^2 lik alan ile karşılarsa, aynı alan için kırılma yük üst değerinin yaklaşık 10,5 katı (% 1 046 fazlası) olan 1 151,5 kg. lık bir kuvvet ile araç camına çarpmakta olduğu görülmüştür.

Elde edilen bu değerler çizelgeler ile gösterilirse;

Çizelge 5.1. Kendisi ile aynı kütleye sahip otomobille çarpışması sırasında 1. otomobil ile sürücüsüne etkiyecek kuvvet ve ivmeler

Hız (km/saat)	F_(otomobil) (ton)	F_(sürücü) (ton)	a_(sürücü) (m/sn²) (g=9,81m/sn²)
50	75,90	5,31	759 (77 g)
70	106,85	7,50	1068 (108 g)
100	152,45	10,68	1524,5 (155 g)
120	182,95	12,84	1834,5 (187 g)

Çizelge 5.1, hızın artması durumunda oluşacak kuvvetlerin büyüklükleri arasındaki farkın gösterilmesi amacıyla aynı kütleli iki aracın 50 km/saat ile çarpıştırıldığı Durum I'den sonra araçların 120 km/saat ile çarpıştırıldığı Durum II'de de elde edilen değerlerin yanında, 70 km/saat ile 100 km/saat'lik ara hızlarla da karşılıklı çarpıştırıldıklarında 1.otomobil ile bu otomobil sürücüsüne etki edecek değerler ile kuvvetin etki süresi olan $\Delta t = 0,02$ saniyelik (20 milisaniye) süre içerisinde sürücünün maruz kalacağı ivme değerlerini göstermektedir.

50 km/saat hız ile karşılıklı çarpışan aynı 1 000 kg. kütleli iki otomobilin birbirlerine etki edecek oldukları etki-tepki kuvveti yaklaşık 76 tona, bu süre zarfında üzerine etkiyen toplam kuvvet 5 tondan fazla olan sürücü de yerçekimi ivmesinin 77 katı olan 759 m/sn² lik ivmeye maruz kalmakta; aynı otomobiller 120 km/saat hız ile çarpıştıklarında ise aynı etki süresinde 1.otomobile etkiyecek olan bu kuvvet yaklaşık 2,5 kat artarak 183 tona , aynı zaman diliminde üzerine etkiyecek kuvvet yaklaşık 13 ton olan otomobil sürücüsünün maruz kalacağı ivmenin de 2,4 kat artarak yerçekimi ivmesinin 187 katı olan 1 834,5 m/sn² lik bir değere ulaşmakta olduğu görülmüştür.

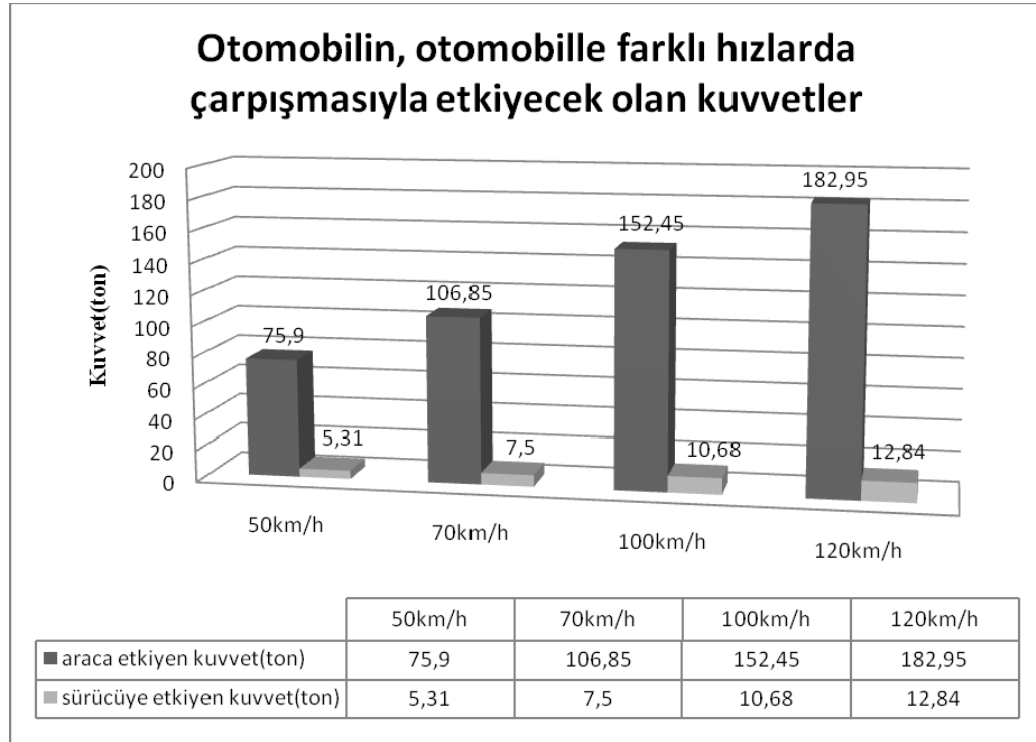
Çizelge 5.2. Kütlesi 10 ton olan kamyonla çarpışması sırasında 1.otomobil ile sürücüsüne etkiyecek kuvvet ve ivmeler

Hız (km/saat)	F_(otomobil) (ton)	F_(sürücü) (ton)	a_(sürücü) (m/sn²) (g=9,81m/sn²)
50	147,50	10,11	1445 (147 g)
70	192,50	13,48	1925 (196 g)
100	273,50	19,15	2735 (278 g)
120	329,00	23,03	3290 (335 g)

Çizelge 5.2 ise, kütlenin artması durumunda oluşacak kuvvetlerin büyüklükleri arasındaki farkın gösterilmesi amacıyla 1 000 kg. lık otomobilin kendisi ile aynı kütleye sahip olduğu diğer 2. otomobille çarpışmış olduğu hızlarla bu kez kütlesinden 10(on) kat büyük kütleli kamyonla 50 km/saat ile çarpıştırıldığı Durum III ve 120 km/saat ile çarpıştırıldığı Durum IV’de elde edilen değerlerin yanında, 70 km/saat ile 100 km/saat’lik ara hızlarla da karşılıklı çarpıştırılan araçlardan 1.otomobil ile bu otomobil sürücüsüne etki edecek değerleri ile kuvvetin etki süresi olan $\Delta t = 0,02$ saniyelik (20 milisaniye) süre içerisinde sürücünün maruz kalacağı ivme değerlerini göstermektedir. Araçlar 50 km/saat lik hız ile çarpıştıklarında otomobil ile sürücüye etki edecek kuvvetler, 147,50 ton ve 10,15 ton mertebesinde ve ivme de 1 445 m/sn² iken, araçlar 120 km/saat lik hız ile çarpıştıklarında ise , bu değerlerden araca etkiyen kuvvet 329 tona, sürücüye etkiyecek olan kuvvet ise 2,26 kat artarak 23 tona , ivme de 3 290 m/sn² lik bir değere ulaşmıştır.

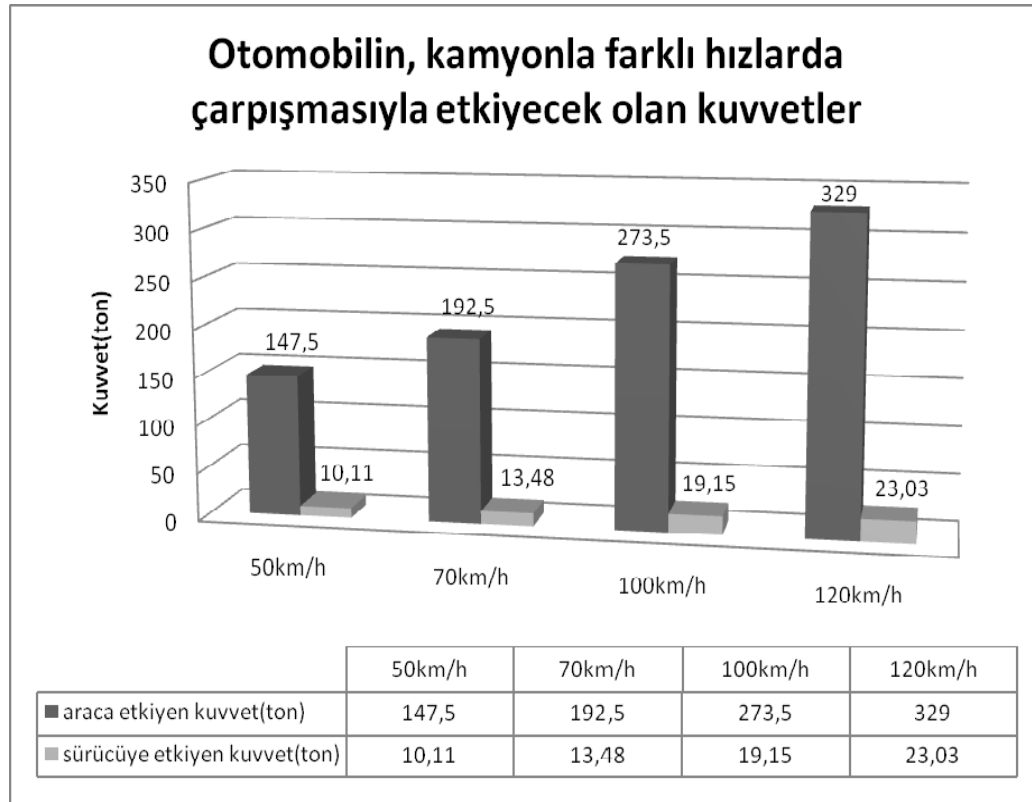
Her iki çizelgeden 1 000 kg lık otomobilin , kendisi ile aynı kütleye sahip olan otomobille çalışmadaki en düşük hız olan 50 km/saat ile çarpıştığında , sürücünün maruz kalacağı kuvvet 5,3 ton iken, aynı hızla 10 kat büyük kütleli kamyonla çarpıştığında ise bu kuvvetin yaklaşık 2 kat artarak 10 ton olduğu ; otomobilin, 10 kat büyük kütleli kamyonla 70 km/saat ile çarpışırken maruz kalacağı yaklaşık 13,5 ton değerindeki kuvvete ise, kendisiyle aynı kütleye sahip diğer otomobille 120 km/saat hızla çarpışırken bile erişemediği görülmüştür.

Elde edilen değerler grafiklerle gösterilecek olursa;



Şekil 5.1. Otomobilin, otomobille farklı hızlarla çarpışması sırasında otomobile ve sürücüye etki edecek kuvvetler

Otomobilin , yerleşim yeri içerisinde belirlenmiş işletme hızı olan ve çoğu kişi tarafından düşük sayılan 50 km/saat ile seyir halinde iken , aynı hıza ve kütleye sahip otomobil ile çarpıştığında bile sürücünün karşılaşacağı kuvvet 5,3 ton olmakta; aynı araçların 120 km/saat hız ile seyrederken çarpışmaları sırasında ise sürücünün maruz kalacağı kuvvet yaklaşık 2,5 kat artarak yaklaşık 13 tona ulaşmaktadır.



Şekil 5.2. Otomobilin, kamyonla farklı hızlarla çarpışması sırasında otomobile ve sürücüye etki edecek kuvvetler

Otomobil, kendisinden büyük kütleli kamyonla çok yüksek hızla çarpışmasa da, düşük kütleli araçla yüksek hızla çarpışırken maruz kaldığı kuvvete erişmektedir. Şekil 5.1 ile Şekil 5.2'nin birlikte incelenmesinden görüleceği üzere, kütlesinden 10 kat fazla kütleli kamyonla 50 km/saat ile çarpışan otomobil sürücüsünün maruz kalacağı 10 tonluk kuvvete, kendisi ile aynı kütleyle sahip otomobil ile 100 km/saat ile çarpışırken ulaştığı ile otomobilin kamyonla 50 km/saat hız ile çarpıştığında, aynı hızla kendisi ile aynı kütleli otomobille çarpıştığında maruz kalacağı kuvvetin yaklaşık 2 katı bir kuvvete maruz kaldığı görülmektedir.

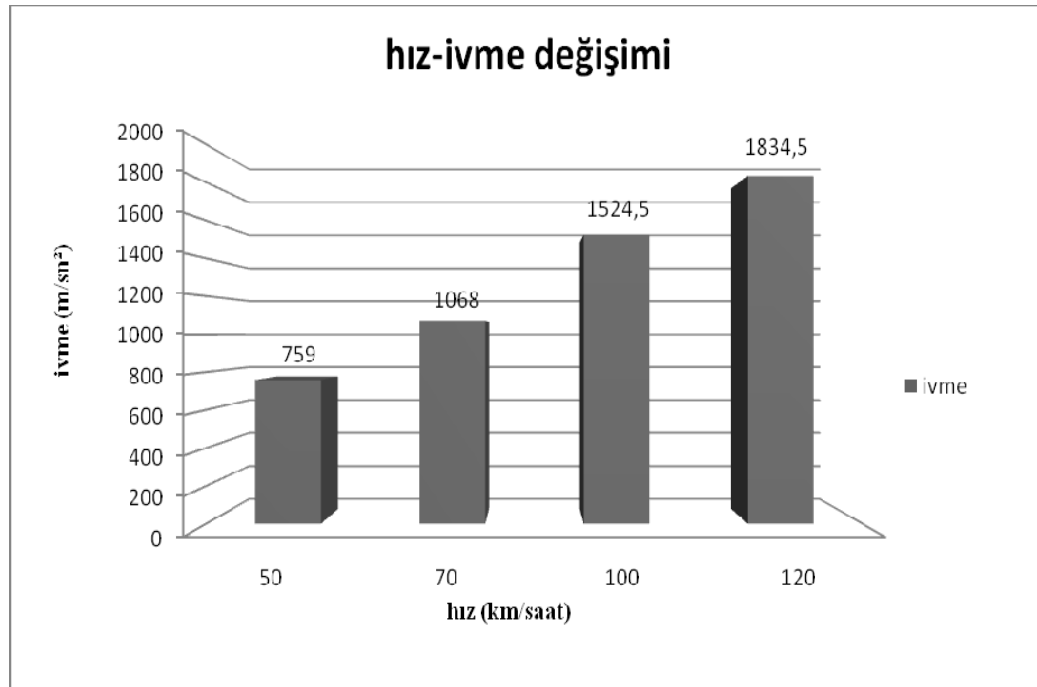
Çarpışma sırasında ortaya çıkan zıt yönlü etki-tepki kuvvet çiftlerinin, çarpışan cisimlerin kütleleri ile ters orantılı olması sebebiyle kamyonla çarpışan otomobilin alacağı zarar, çarpışma sırasında ortaya çıkan kuvvetten, kütlesinin fazlalığı nedeniyle az etkilenecek olan kamyonu nazaran daha fazla olacaktır.

Trafik kazalarından karşılıklı şekilde gerçekleşen çarpışmalarda, çarpışma ile ileriye doğru olan hareket birden kesileceğinden sürücü, koltuğa daha derin bir şekilde itilecek ve emniyet kemeri takılmadığı takdirde atalet nedeniyle vücuduna göre daha hızlı hareket edeceği için en tehlikeli bölge olan kafasını aracın camına çarpacaktır. Bu nedenle bu tür çarpışmalarda sürücünün hayatını kaybetme oranı, artan hız ve kütle ile birlikte çarpışma anında ivmenin ve kuvvetin de fazlalaşacak olması sebebiyle kafasını cama daha büyük kuvvetle vuracak olduğundan artmaktadır.

Çalışmanın dört durumunda elde edilen bu kuvvet değerleri, antropometri ölçülerinde % 50 lik kısma giren ve 3,50 kg. olarak alınan kafasının kütlesi ile birlikte toplam kütlesi 70 kg. olarak alınan sürücünün çarpışma sırasında tüm vücuduna etkiyecek olan kuvvet değerleridir. Eğer, dört durumda bu hızlarla çarpıştırılan araçlardan 1.otomobil sürücüsünün kütlesi daha fazla olur ise, doğal olarak kafasının kütlesi de fazlalaşacak ve bunun sonucunda çarpışma sırasında vücudu ile kafasına etkiyecek olan kuvvetlerle birlikte ivmeler de artacaktır.

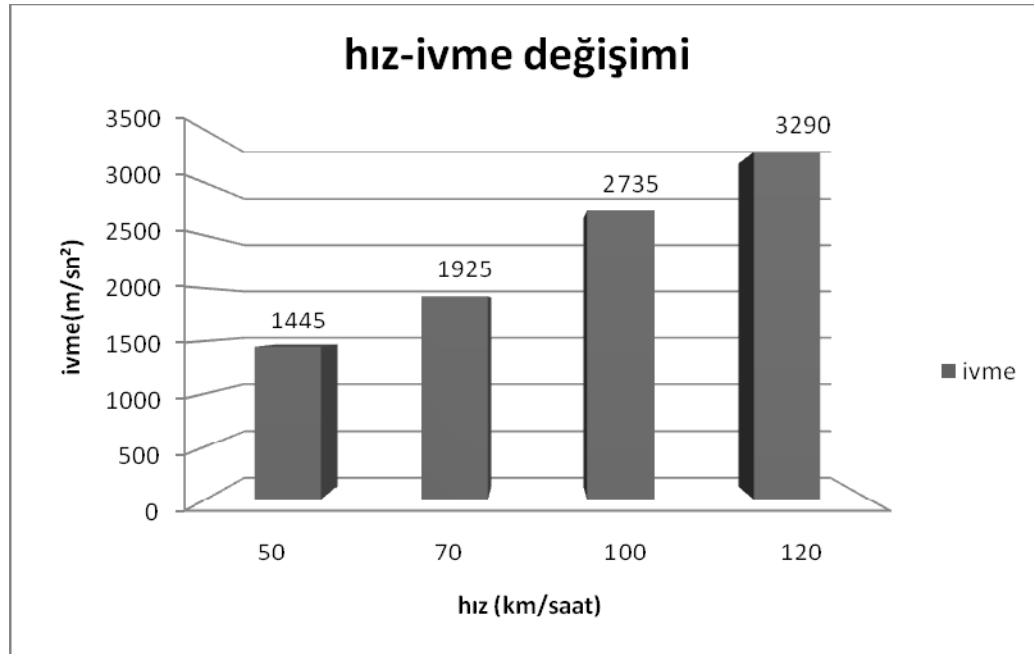
Önden çarpışma sırasında aracın hareketi birden kesilecek, ancak emniyet kemeri takılı olmadığında eylemsizlik (atalet) nedeniyle sahip olduğu hız ile araç içerisindeki hareketini sürdürmek isteyecek olduğunda, ilk olarak kafasını araç camına çarpacak olan sürücünün, çalışmanın dört durumunda da vücuduna gelen toplam kuvvetlerden kafasına gelen kuvvetleri alanı 97 cm^2 olarak alınan alındaki 3 cm^2 lik alan ile karşıladığı varsayılarak bu alan için biomekanik yük üst değerleri ile karşılaştırılması yapılmıştır. Ancak, genellikle bir çarpışma sırasında kuvvet , alnın tümü ile değil alında daha küçük bir alan ile karşılanır. Eğer, çarpışma sırasında araç içerisinde savrulacak olan sürücü, gerçek çarpışmalarda sıklıkla gerçekleştiği gibi savrulma esnasında araç içerisindeki sivri uçlu kesici parçalara kafasını çarparsa, kuvvetin etki ettiği alanın daha küçük , buna bağlı olarak da birim yüzeye etkiyecek olan dik kuvvetin daha fazlalaşacak olması sebebiyle alnın kırılma yük değerinin artmasıyla kafanın darbe altındaki hasar görme durumu da doğal olarak artacaktır.

Hız ve kütle değişimleri ile kuvvetin etki süresi olan $\Delta t = 0,02$ (20 milisaniye) saniyede sürücünün maruz kalacak olduğu ivme değerleri de grafiklerle gösterilecek olursa;



Şekil 5.3. Otomobilin, farklı hızlarla diğer otomobille çarpışmasında sürücünün maruz kalacağı ivme değerleri

Otomobilin kendisi ile aynı kütleyle sahip olan diğer otomobille farklı hızlarla çarpışması sırasında sürücüye etki edecek olan ivme değerlerini gösterir Şekil 5.3'ten görüleceği üzere, otomobillerin 50 km/saat ile çarpışmaları sırasında etki süresi olan $\Delta t = 0,02$ sn. de sürücünün maruz kalacağı ivme değeri, $g=9,81$ m/sn² olan yerçekimi ivmesinin yaklaşık 77 katı olan 759 m/sn² ye, 120 km/saat ile çarpışmaları sırasında ise yaklaşık 187 katı olan 1 834,5 m/sn² ye ulaşmıştır (Uçuş simülatörlerinde yapılan denemelerde 6 g'lik bir ivmenin etkisinde kalan bir pilotun yüzündeki tüm etlerin geriye doğru çekildiği, kemiklerinin fırladığı görülmüştür [12]).



Şekil 5.4. Otomobilin, farklı hızlarla kamyonla çarpışmasında sürücünün maruz kalacağı ivme değerleri

Şekil 5.4, otomobilin kamyonla çarpışması sırasında kuvvetin etki süresi olan $\Delta t = 0,02$ sn süre içerisinde sürücünün karşılaşacağı ivme değerlerini göstermektedir. Otomobil kamyonla 50 km/saat hız ile çarpıştığında, sürücünün maruz kalacağı ivme değeri, aynı hızla kendisi ile aynı kütleye sahip otomobille çarpıştığında maruz kalacağı ivme değerinin yaklaşık 2 katı olan 147 g'ye tekabül eden 1 445 m/sn² ye, 120 km/saat hız ile çarpışırken de, bu hızla otomobille çarpıştığında maruz kalacağı ivmenin 1,8 katı fazlasıyla 335 g'ye ulaşarak 3 290 m/sn² olmuştur.

Çarpışma sırasında ortaya çıkacak olan kuvvet ivmeye neden olur ve ivmelenmeye neden olan bu kuvvet ne kadar büyükse, ivme de o oranda büyümektedir. Otomobilin, kütlesiyle aynı kütleye sahip diğer otomobil ve kütlesinden 10 kat daha fazla kütleli kamyonla karşılıklı olarak çarpıştığının incelendiği çalışmada elde edilen bu ivme değerlerine bakılacak olursa, her iki otomobilin, en düşük hız olan 50 km/saat ile çarpıştıkları durumda sürücünün, kuvvetin etki süresi olan $\Delta t = 0,02$ sn süre içerisinde karşı karşıya kalacak olduğu 5,3 tonluk kuvvete karşılık ivme değeri 759 m/sn²

olurken, otomobilin kamyonla 120 km/saat ile çarpışması sırasında ise sürücü, *cismin kütlesi arttıkça, o cismi ivmelendirmek için daha büyük bir kuvvete ihtiyaç duyulacağından*, aynı etki süresinde artarak 23 tona ulaşan kuvvetle orantılı bir şekilde artarak $3\,290\,m/sn^2$ lik bir değere ulaşan ivme ile karşı karşıya kalmaktadır.

İnsanlara zarar veren, maruz kalınan kuvvetler gibi ivmelerin de etki süreleri önemlidir. Ancak ivmelenmeye neden olan kuvvetin tatbik süresi ne kadar kısa ise, yani temas öncesi ile temas sonrası arasında geçen zaman farkı olan kuvvetin etki süresi (cisimlerin birbirlerine değme süresi) olan Δt ne kadar küçük ise, çarpma kuvvetinin çok büyük olması nedeniyle çarpışmanın şiddeti daha fazla zarar verici olacaktır. Bu şu demektir; ne kadar büyük olursa olsun, bir kuvveti uzun bir sürede bir yere tatbik etmekle, aynı kuvveti milisaniyeler mertebesinde o yere tatbik etmek arasında büyük bir fark vardır; ilkinde, kütle ne kadar büyük olursa olsun şiddet az, ikincisinde ise kütle aynı olmasına rağmen şiddet ilk durumdan kat-kat fazladır.

Etki eden kuvvetin, tatbik süresinin kısa olmasıyla şiddeti artmasına karşın, hızın değişim hızı olan ivme de ise durum farklıdır. İvmeye maruz kalınan etki süresinin kısa olmasıyla değil, aksine uzun olmasıyla bırakacağı zarar etkisi artmaktadır. Çünkü çok kısa devam etmesi halinde insan beyni, çok büyük ivmelere dayanabilmektedir. Ancak, birçok konuda söz konusu edilen $80\,g / 3\,ms$ noktası (Bkz. Şekil 3.11) , yani 3 milisaniye sürmesi halinde $80\,g$ ($g=9,81m/sn^2$) ye ulaşan bir ivmeye beynin dayanabileceğini belirten bu nokta, ölümden kurtulma sınırı olmayıp, yapılan araştırmalarda yük sınırı $60\,g$ 'ye ulaşan insan beyninde meydana gelen zedelenmelerin herhangi bir kalıntıya sebebiyet vermeden iyileşmesini öngören bir değerdir. Tabi ki bu $80\,g$ değerinin altındaki ivmelerde de hayat kaybedilebilir, ya da daha üstündeki değerlerde hayatta kalınabilir. Ancak insan beyni, çok kısa sürede yüksek ivmelere, uzun sürede ise düşük ivmelere dayanabilmekte ve bu şartlar altında insan beyninde bir kalıntıya sebebiyet verilmediği ile iyileşmelerin mümkün olduğu öngörülmektedir.

Çalışmada elde edilen ivme değerleri, belirlenmiş $t=2$ saniye içerisinde çarpışan araçların birbirlerine etki ettikleri anda kuvvetin etki süresi olan ve saniyenin $1/50$ 'sine tekabül eden $\Delta t = 0,02$ saniyelik (20 milisaniye) sürede elde edilen değerlerdir. Çalışmanın ilk kısmı olan araçların en düşük hız olan 50 km/saat hız ile çarpışmalarında bile ortaya çıkan ivme değeri, yerçekimi ivmesinin 77 katı olan 759 m/sn^2 ; çalışmanın en son kısmı olan otomobilin 10 kat büyük kütleli kamyonla en yüksek hız olan 120 km/saat ile çarpıştığı durumda ise, sürücünün maruz kalacağı ivme, yerçekimi ivmesinin 335 kat fazlası olarak $3\,290 \text{ m/sn}^2$ olmuştur. Takdir edilir ki elde edilen en düşük değerdeki bu ivme değerine bile , insanın beyinde meydana gelen zedelenmelerin kalıntıya sebebiyet vermeden iyileşmesini öngören süre olan 3 ms nin yaklaşık 7(yedi) katı fazlası olan $\Delta t = 0,02 \text{ sn} = 20 \text{ ms}$ maruz kalacak olan sürücünün beyindeki zedelenmelerin boyutlarının artık geri dönüşü olmayan nitelikte olduğu ve $3\,290 \text{ m/sn}^2$ lik ivme değerine ise 20 ms maruz kalan sürücünün hayatta kalma ihtimalinin gittikçe azalacağı aşıkardır.

Çarpışmalar, milisaniyeler mertebesinde gerçekleşmektedir ve çarpışmalarda araçların birbirlerine temas ettikleri anlarda ortaya çıkan enerjiler inanılmaz derecede büyüktür. İki otomobilin çalışmadaki en düşük hız olan 50 km/saat ile çarpışmasında bile araçların çarpma anında birbirlerine etki edecek oldukları toplam enerji miktarı 1,9kj; otomobil ile kamyonun çalışmanın en yüksek hızı olan 120 km/saat ile çarpışmasında ise, çarpma anında araçların sahip oldukları enerji miktarı 3 856,33 kJ olmaktadır.

Sunulan bu bilgiler doğrultusunda şu önerilerin uygulanması uygun görülmektedir:

- Son derece ciddi olan trafik konusuna kaderci yönden değil, bir Devlet politikası olarak bilimsel açıdan bakılmalı ve araç nedeniyle makina, aracın hareketi nedeniyle fizik, hareketli aracın seyrettiği yol nedeniyle de inşaat konularını kapsayan *Trafik Mühendisliği* adı altında bir meslek dalı oluşturulmalıdır.

- Kaza istatistiklerini hazırlamakla görevli olan kurumlar bu işi, sadece yapmaları gereken zorunlu bir iş olarak görmeyip, daha sonraki kazalardan sakınabilmek ve gelecekte yapılması gerekenlere yol gösterebilmek adına bilimsel olarak hazırlamalıdır.

- Birçok kazanın nedeni, bu kazaları yapan sürücülerin bilgisizliklerinden, sürücülerin bilgisizlikleri de, kendilerine sürücü adayları iken sürücü kurslarında verilen eğitimlerin yetersizliğinden kaynaklanmaktadır. Kazaların azaltılması için ilk şart, insanları trafik konusunda daha fazla bilinçlendirmek ve eğitmektir. Çoğu sürücü, sürücü belgelerini aldıklarında, değil hız ve kütlenin çarpışmaya olan etkisini, direksiyonun başına geçemeyecek ya da trafik işaret levhalarının çoğunun ne anlama geldiğini bilemeyecek kadar bilgisiz durumdadır. Eğitim eksikliğinin trafik kazalarını doğrudan etkileyen bir faktör olduğunun görülmesiyle, eğitilmiş ve gerekli donanımına sahip insanların sürücü olarak yetiştirilmesi için sürücü kurslarındaki eğitimlerin nitelikleri ile içerikleri yeniden gözden geçirilmelidir.

- Sürücü kursu açma kriterleri yeniden belirlenmeli ve öncelikle sürücü eğitiminde görev alacak eğitmenlerin taşıt dinamiği, trafik ve çevre koşullarına göre sürüş pratiği konularında ciddi bir eğitim almalarının sağlanarak denetimlerinin iyi yapılması gerekmektedir.

- Eğitimleri, bilinçleri ve kültürleri farklı olmasına rağmen trafikte meydana gelebilecek herhangi bir kazada hayatta kalmak ile hayatı kaybetmekte bütün sürücüler aynı şansa sahip olduğundan trafik bilgisi yeterli olup iyi, dikkatli ve kurallara uygun olarak araç kullanan sürücü, son derece yetersiz bilgiye sahip diğer bir sürücü nedeniyle karışmış olduğu kazada hayatını kaybedebildiği için, tek başına çok fazla yarar sağlamayacak olan *kişisel bilinç yerine kitlesel bilincin oluşturulup*, güvenli ve verimli bir trafik düzeninin sağlanması için çözümlenmesi gereken esas problem, farklı sosyo-ekonomik çevrelerden gelmeleri sebebiyle kültür algılamaları ve bilinçleri de farklı olan çok sayıdaki taşıt kullanıcısının, trafikteki fiziksel olguları aynı şekilde anlayıp-algılayabilecek şekilde eğitilmeleri gerekmektedir.

•Sürücü belgesi alma sürecinin değiştirilmesinin yanında sürücü kurslarında verilen eğitimlerin içerikleri de değiştirilerek, taşıt tekniği ile ilgili bilgileri içeren eğitimler verilmelidir. Aldığı eğitimde dört zamanlı bir motorun çalışması anlatılmış olan bir sürücü, araçta meydana gelen bir motor arızasını giderememekte, profesyonel yardım çağırmakta olduğundan, sürücülere, çok fazla kullanamayacak ve müdahale edemeyecek oldukları konularla ilgili bilgileri vermek yerine, araç kullanmaları sırasında en küçük bir hız arttırımında bile araçtaki kontrolün ne kadar kolay kaybedileceği, yükün durma mesafesine ne gibi katkı sağlayacağı ya da hangi hızla gidildiğinde ne kadar sürede ve mesafede durulabildiği gibi konuları içeren eğitimler verilmeli; ayrıca kurslarda verilen teorik bilgilerin geniş uygulamalarla desteklenip, direksiyon eğitimi ders saatlerinin arttırılması ve deneme süresi uygulamasına başlanılarak bu sürede sürücü adaylarının denetimin en üst seviyeye çıkarılarak takip edilmesi gerekmektedir.

•Araç kullanıcılarına, farkındalıklarının arttırılmasına yönelik olarak, çarpışma sırasında eylemsizlik kuvvetini bertaraf etmeye yönelik olan emniyet kemerini takmalarını ya da hızın küçük bir miktar artması durumunda virajdaki savrulmanın hızın karesi mertebesinde artacağı sebebiyle hız limitlerine uymalarını salık veren ve fizik kanunları doğrultusunda uzun süren denemeler sonucu ile belirlenip konulan trafikteki kural ve yasaklara , cezadan değil, kendilerinin tehlikelerden kurtulmaları için uymak zorunda olduklarının anlatılması gerekmektedir.

•Çözüm sürecinde de artık tüm suçu “*Trafik Canavarı*” gibi sanal sorumlulara yükleyip bu tür gerçek dışı kavramlarla sürücüleri etkilemeye çalışarak, insanlarda , hata nedeniyle ortaya çıkmış olan sonucun sorumluluğu kendilerine değil de başka bir unsura atmış hissi yaratan, bir başka deyişle insanların kendi sorumluluğunu yok sayacak uygulamalarla zaman kaybetmek yerine, sürücü adaylarına sürücü kurslarında , araç kullanırken kendilerine yarayabilecek gerçek olan en temel fizik kanunlarının basit şekilde anlatılması gerekmektedir.

• Bilgisizlikten ya da bilerek hız tahditinin aşılmasının, en çok ihlal edilen ancak en tehlikeli kural ihlali olduğu söylenebilir. Yeterli risk bilgisine sahip olmadığından kendi güvenliği için seyrettiği yolda belirlenmiş olan hızdan daha fazla bir hızla seyrettiğinde aracının sahip olduğu , ancak bilmediği momentum , buna bağlı olarak çarpışma sırasındaki enerji ve kuvvetin artması sonucu kendi hayatı ile birlikte birkaç kişinin daha hayatını kaybetmesine sebep olmuş olan sürücünün, meydana getirmiş olduğu bu kaza ile ilgili görülen dava sırasında görüş alınan Bilirkişinin düzenlemiş olduğu raporda, hatası nedeniyle kendisine atfedilen kusuru öğrenip, belki daha sonraki kazalardan sakınmak için bu hatayı tekrarlamamak gibi ikinci şansı olmadığından, sürücülere, hızlarını küçük bir miktarda arttırmaları durumunda bile , hangi riskleri üzerlerine aldıkları ve aracı kullanırken tercih etmiş oldukları her davranışın bir sonraki adımda kendilerine ne getireceğinden haberdar olabilmeleri için yapacakları hatalı hareketlerin sonuçlarının, bir fayda sağlamaması sebebiyle ölümlerinden sonraki raporlarda değil, hayatta iken anlatılması daha akılcı olacaktır.

• Farklı profillere sahip çok sayıdaki taşıt kullanıcısına, tokat ve yumruk örneği gibi fiziksel niceliklerin özelliklerinin basit, ancak etkili ve kolay bir şekilde akılda kalacak yöntemlerle öğretilip anlatılması yönüne gidilerek, fizikle profesyonel olarak ilgileri olmayan , ama araç kullanmaları sebebiyle kendileri farkında olmasalar da, fizik kurallarının etkisi altında olan kullanıcıların, kendilerine yarayacak bu teknik bilgileri öğrenmelerinin amaç olduğu çalışmaların yapılması gerekiyor. Tıpkı "*Trafik ve Yol Güvenliği*" projeleri paralelinde sürücülere aşırı hızın tehlikelerini çarpıcı bir şekilde aktarmayı amaçlayan kampanyada vurgulandığı gibi, kütle aynı olmasına rağmen hızın az miktarda artmasının dahi etkiyecek olan kuvvette nasıl anlamlı bir farklılık olacağını gösteren '*Kendini Frenle*' afişindeki (Bkz. Şekil 4.12) gibi, 60 km/s hızla yapılan bir kazada dahi hayatta kalma ihtimalinin ne kadar düşük olduğunun gösterildiği , etkileyici ve akılda kalıcı olan afişlerle toplum bilincinin oluşturulması maksadıyla yaygın iletişim araçlarıyla kamuoyu baskısı oluşturulup, sadece sürücülerin değil sürücüler ile birlikte trafikte yer alan bireylerin tümünün eğitilmesi amaçlanmalıdır.

- Trafikte en büyük ağırlığa ve hacme sahip araçları kullanmalarına rağmen yarıdan fazlasının ilkokul mezunu olduğu ağır vasıta sürücülerinden, yolcu veya eşya taşımacılığını düzenleyen 4925 sayılı *Karayolları Taşıma Kanunu*'nuna bağlı yönetmelikte, yolcu taşımacılığı yapacak olanların en az lise veya dengi okullardan birini bitirmiş olmaları gerektiği belirtilirken; eşya ve kargo taşımacılığı yapılacak taşıtlarda çalışacak sürücülerin ise ilköğretim okullarından birini bitirmiş olmalarının yeterli olduğu belirtilmektedir. Bu yanlış bir uygulamadır; çünkü her iki taşımada da kullanılan ağır vasıta ve kütlenin ya da yüksek hızın etkisi her iki araç için aynı olduğundan yolcu taşımacılığı yapılacak olan araçlardaki sürücülerin lise veya dengi okullardan birini bitirmiş olmaları şartı yine bir ağır vasıta olan eşya/kargo taşımacılığı yapılan araç sürücüleri için de zorunlu kılınmalıdır.

- Eğer, yük ve yolcu taşımacılığının neredeyse tamamına yakınının karayolu ile yapıldığı ülkemizde, karayolunu kullanma payı yakın bir gelecekte makul seviyeye indirilemeyecekse, bu taşımaları gerçekleştiren ve yarıdan fazlasının ilkokul mezunu olduğu ağır vasıta kullanıcılarına, kullandıkları araçların özelliklerinin yanında hız ve kütle kavramları ve bu kavramların azalması/artması durumu ile bir çarpışma sırasında kullandıkları bu araçların sahip olacakları fiziksel niceliklerin, şaşırtacak derecede ne kadar değişebileceği ile bu niceliklerin çarpışmanın şiddetine ne kadar etki edeceğinin anlatılacağı eğitimlerin verilmesi ve bu bilgiler öğrenilmeden de artık trafiğe çıkılmasına izin verilmemesi gerekmektedir.

- Trafik kazalarının bütünüyle ortadan kaldırılması imkansız ise de, sayılarının aza indirilmesi adına çaba gösterilebilir ve gösterilmelidir. Kazaların çoğunun nedeni kural dışı hareketler, bilgisizlik ya da bilerek yapılan kural ihlallerinden kaynaklanmaktadır. Bu itibarla sorunun çözüm sürecinde, eğitimin etkisi büyüktür. Ancak, sonuçları uzun sürede alınan ve pahalı bir uğraş olan eğitim nedeniyle ihlallerin, buna bağlı olarak da kazaların birden bire azalacağı düşünülmemeli; kişilerin trafikteki doğru davranış kurallarını özümseyerek içselleştirmesi için uzun vadede aileden başlayarak trafik eğitimi insanlara hayatın her devresinde verilmelidir.

• Herkes her mesleği yapamayacağına göre sürücü kursuna giden herkese mutlaka kurs sonunda sürücü belgesi sahibi olacak gözüyle bakılmamalı ve zorunlu kurs ücretini ödeyip, bir şekilde mevcut olan eğitimi de geçmiş olan kişilerin trafiğe sürücü olarak çıkmaları öncesinde, psikolojik dengelerinin de kontrol edilmesi gerekmektedir. Trafik için sadece araç kullanılması ya da trafik işaretlerinin öğrenilmesi yetmediği için sürücülerin, insana sevgi ve saygı gibi kavramlarla olan ilişkileri de gözönünde tutulmalıdır. Eğitimi az olduğu halde kendisini yolların hakimi addeden ve her nasılsa bir şekilde sürücü belgesi almış olan kişiler daha fazla risk alabilmekte ve kendilerinin bu keyfi hareketleri nedeniyle başkalarının hayatı ile kolayca oynayabilmektedirler. Bu nedenle ister sürücü belgesi sahipliliğinin fazla gösterilmesi için, isterse de ticari amaçlarla nitelikten taviz verilerek yapılan eğitimler sonucunda bir şekilde sürücü belgesi almış olanların, trafikte iken araç kullanmalarının yeterli ve uygun görülmemesi halinde aldıkları ehliyetlerin iptali yönüne gidilen uygulamalar yapılmalıdır.

• Trafik istatistiklerindeki ölüm sayısını gösteren her bir rakam sadece bir rakam değil, bir insanın sahip olduklarından en değerlisi ve kaybedince geri gelmeyecek olan hayatıdır. Eğer, pek çok kişinin, nedenleri hakkında fazla bilgiye sahip olmasa da üzerinde rahatça konuşabildiği, ancak pek az kişinin sorumluluk alıp çözüm önerileri sunabildiği trafik kazalarının nedenlerini doğuran bilgi eksikliği kaynaklı etkenler doğru olarak belirlenebilirse, çözüm yolları da doğru olarak bulunabilecektir. Aksi takdirde daha uzun süreler yapılabilecek olan sadece , trafikten sorumlu olan ancak, çözüm üretmekten çok sorunları anlatmakla yetinenlerin, görevleri olduğu için her yıl kazalarda kaybedilen insanların toplam sayılarının aylara göre grafiklerini çizmekten, kanun yapıcıların ise yenisi çıkana kadar kağıt üzerinde kalan ve çözüme katkısı olmayan kanunların çıkarılmalarıyla uğraşmaktan ve devletin de , kötü yetiştirmiş olduğu araç sürücüsünün hatasını ödemekten ibaret kalacaktır.

KAYNAKLAR

1. İnternet: Karayolları Genel Müdürlüğü, “Trafik Kazaları Özeti 2006”, <http://www.kgm.gov.tr/kaza2k.doc> (2007).
2. Kuralay, N.S., “Çarpışma Mekaniği ve Örneklerle Trafik Kazalarının Rekonstruksiyonu”, Çarpışma Mekaniği, *TMMOB Makina Mühendisleri Odası Yayınları*, İzmir, 158: 9 (1994).
3. Erhan, R., “Kazaların Çevresel ve Teknik Araştırması”, Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 90-91 (2004).
4. Halliday, D., Resnick, R., “The Dynamics of Systems of Particles”, Fundamentals of Physics, 2nd ed., *John Wiley & Sons*, New York, 140 (1981).
5. İnternet: “Doğrusal Momentum”, <http://science.ankara.edu.tr/~hsari/dersnotlari-mekanik-bolum9.pdf> (2003).
6. Kittel, C., Knight, W.D., Ruderman, M.A., Helmholtz, A.C., Moyer, B., “Çizgisel ve Açısız Momentumun Korunumu”, Mekanik, Çeviren O.Özaltın, *Berkeley Fizik Programı*, Ankara, 1: 174-175 (1965).
7. İnternet: “ATO’dan Trafik Trajik Araştırması ”, <http://www.atonet.org.tr/yeni/index.php?p=126&l=1> (2003).
8. Eroğlu, M., Aktürk, N., “Çarpışma Tipleri”, *EGM Karayolu Trafik Polisi Okulu Eğitim Seti*, Ankara, 5-6 (1998).
9. İnternet: “9. Kalkınma Planı Karayolu Ulaşımı Özel İhtisas Komisyonu Raporu”, http://plan9.dpt.gov.tr/oik33_karayolu/karayol.pdf (2006).
10. İnternet: “Ağır Vasıta Sürücülerinin Çalışma Koşulları Ve Trafik Kazaları, Bir Birey Olarak Ağır Vasıta Sürücüsü”, A. Sönmez, http://www.trafik.gov.tr/arastirma_inceleme/arastirma_inceleme_tam_yayinlari.asp (1999).
11. İnternet: “Trafik Kazaları ve Bilinçli Yaklaşım”, Ekşi, A., Kaba, H., Anık, N., Ünlüoğlu, İ., Kolaç, Z., <http://www.trafik.gov.tr/icerik/bildiriler/A5-26.doc> (2002).
12. İnternet: “Taşıt Güvenlik Sistemleri”, Çetinkaya, S., http://w3.gazi.edu.tr/web/selimc/trafik/guvenlik/trafik_guvenligi.htm (2000).

13. İnternet: Emniyet Genel Müdürlüğü, “Trafik Eğitim ve Araştırma Dairesi Başkanlığı- Aylık İstatistik Bülteni 2007”,
<http://www.egm.gov.tr/teadb/istatistikler/orta.htm> (2008).
14. Eren, İ., “Araçlarda Çarpışma Etkisini Direk Karşıllayan Şasi Ön Kolonlarının Tepki Kuvveti-Enerji Yutma Optimizasyonu”, Doktora Tezi, **Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Balıkesir, 8 (2002).
15. “Teknolojik Tasarım İçin Temel İnsan Vücudu Ölçümleri”, **Türk Standartları Enstitüsü**, Ankara, 22-23 (2007).
16. “Trafik Kaza İstatistikleri (Karayolu)”, **Emniyet Genel Müdürlüğü-Türkiye İstatistik Kurumu**, Ankara, 86 (2005).
17. Günöz, H., Öcal, G., Yordan, N., Kurtoğlu, S., “Normal Büyüme”, **Pediyatrik Endokrinoloji**, Ankara, 2:47 (2003).
18. “Taksirli Suç”, Ana Britannica Ansiklopedisi, **Ana Yayıncılık ve Sanat Ürünlerini Pazarlama Sanayi ve Ticaret A.Ş.**, İstanbul, 29: 179 (1994).
19. İnternet: “Artvin Gelişme Planı”,
http://www.artvin.gov.tr/igp/agip_teknik_alt_yapi.pdf (2005).
20. İnternet: “Türkiye ve Dünyada Karayolu Trafik Kazaları Değerlendirmeleri II”,
http://www.trafik.gov.tr/arastirma_inceleme_/arastirma_inceleme_tam_yayinlari.asp. (2001).

EKLER

EK-1 CD içeriği

Çalışmada kullanılan bilgisayar programında yapılmış olan ve *VM3D* dosyası içerisindeki çalışma dosyaları olan,

- ***OTO-OTO.50.VM3***
- ***OTO-OTO.70.VM3***
- ***OTO-OTO.100.VM3***
- ***OTO-OTO.120.VM3***
- ***OTO-KAMYON.50.VM3***
- ***OTO-KAMYON.70.VM3***
- ***OTO-KAMYON.100.VM3***
- ***OTO-KAMYON.120.VM3*** ile dosyaların video görüntülerinin bulunduğu
- ***OTO-OTO.50.avi***
- ***OTO-OTO.70.avi***
- ***OTO-OTO.100.avi***
- ***OTO-OTO.120.avi***
- ***OTO-KAMYON.50.avi***
- ***OTO-KAMYON.70.avi***
- ***OTO-KAMYON.100.avi***
- ***OTO-KAMYON.120.avi*** dosyaları.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı,adı : TEMİZ, Fatma
 Uyuğu : T. C.
 Doğum tarihi ve yeri : 01.Kasım.1967, Rize
 Medeni hali : Bekar
 Telefon : 0(312) 323 62 19
 e-mail : fatemiz@yahoo.com

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Lisans	Ankara Üniversitesi/Fizik Müh. Bölümü	1991
Lise	Etlik Lisesi-Ankara	1984

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2004-2008	Adli Tıp Kurumu	Mühendis
1993-2004	Ankara Emniyet Müdürlüğü	Programcı

Yabancı Dil

İngilizce

Hobiler

Yüzme ve Okuma