

**T.C.
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
OTOMOTİV MÜHENDİSLİĞİ**

**ELEKTRİKLİ VE KONVANSİYONEL ARAÇLARA AİT İKİ
ŞASİ TASARIMININ YANDAN ÇARPIŞMA
DEFORMASYONLARININ İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MUHAMMET ÇİMENDAĞ

DENİZLİ, OCAK - 2022

**T.C.
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
OTOMOTİV MÜHENDİSLİĞİ**



**ELEKTRİKLİ VE KONVANSİYONEL ARAÇLARA AİT İKİ
ŞASİ TASARIMININ YANDAN ÇARPIŞMA
DEFORMASYONLARININ İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MUHAMMET ÇİMENDAĞ

DENİZLİ, OCAK - 2022

Bu tezin tasarımı, hazırlanması, yürütülmesi, araştırmalarının yapılması ve bulgularının analizlerinde bilimsel etiğe ve akademik kurallara özenle riayet edildiğini; bu çalışmanın doğrudan birincil ürünü olmayan bulguların, verilerin ve materyallerin bilimsel etiğe uygun olarak kaynak gösterildiğini ve alıntı yapılan çalışmalara atfedildiğine beyan ederim.

MUHAMMET ÇİMENDAĞ

ÖZET

ELEKTRİKLİ VE KONVANSİYONEL ARAÇLARA AİT İKİ ŞASI TASARIMININ YANDAN ÇARPIŞMA DEFORMASYONLARININ İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MUHAMMET ÇİMENDAĞ

PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

OTOMOTİV MÜHENDİSLİĞİ

OTOMOTİV MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

(TEZ DANIŞMANI: DR. ÖĞR. ÜYESİ EYLEM YILMAZ ULU)

DENİZLİ, OCAK - 2022

Otomobiller insanlık tarihinde devrim niteliği taşıyan ve yaşam standardına yeni bir boyut kazandıran icatlardan olup yüzyılı aşkın bir süredir yaygın olarak kullanılmakta ve her geçen yılda yapılan değişiklikler ve yenilikleriyle daha çok rağbet görmektedir. Bunun yanı sıra otomobiller hayat kalitemizi arttırsa da fosil yakıt ile çalışmaları dolayısıyla, CO yayılımına neden olmaktadır. Bu gazın çevre ve insan sağlığına verdiği zarar sebebiyle yakıt olarak yenilenebilir enerji kullanabilen hibrit veya elektrikli otomobillere ilgi artmıştır. Ancak elektrikli araçlarda harekete geçirici parçalar konvansiyonel araçlara nazaran daha farklı olduğu için aracın belirli kısımlarında tasarım farklılıklarına gidilmiştir. Araç tasarımı alanında kazaların önlenmesi veya kaza anında can ve mal hasarını en aza indirmek için çarpışma önlemleri otomotiv firmaları tarafından önemsenmekte olup, bu konuda geniş araştırmalar ve deneysel faaliyetler sürdürülmektedir. Bu çalışmada yandan çarpışma anında elektrikli araç ve konvansiyonel araçların şasi üzerindeki yük dağılımı incelenmiştir. Yapılan literatür taraması ve mühendislik hesaplamalarının ardından Solidworks programı kullanılarak her iki tür araç için aynı segmentte şasiler tasarlanmıştır. Tasarımı tamamlanan şasiler ANSYS Workbench programında bulunan Explicit modülünde Yan Darbe Testi ve Kutup Darbe Testinde belirlenen hız sınırlarının ortalaması alınarak 40 km/h hızla çarpışma analizi gerçekleştirilmiştir. Çarpışma sırasında oluşan yük sebebiyle elektrikli araç şasisinde 150,72 mm, konvansiyonel araç şasisinde ise 403,78 mm deformasyon meydana gelmiştir. Deformasyonlar sonucunda elektrikli araç şasi tabanında 1228,2 MPa, konvansiyonel araç şasi tabanında 1000,2 MPa gerilme meydana gelmiştir. Bu gerilmeler tasarlanan şasi tabanlarında akma sınırını aşarak kalıcı şekil değişikliğine sebep olmuş fakat herhangi bir kopma durumu oluşmamıştır. Gerçekleştirilen analiz ile araç şasileri üzerindeki yük dağılımı oluşturulan simülasyon ve grafikler kullanılarak karşılaştırılmıştır.

ANAHTAR KELİMELER: Çarpışma Analizi, Yandan Çarpışma Testi, Elektrikli Araçlar

ABSTRACT

EXAMINATION OF SIDE COLLISION DISTORTIONS OF TWO CHASSIS DESIGNS FOR ELECTRIC AND CONVENTIONAL VEHICLES

MSC THESIS

MUHAMMET ÇİMENDAĞ

PAMUKKALE UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE

AUTOMOTIVE ENGINEERING

DEPARTMENT OF AUTOMOTIVE ENGINEERING

(SUPERVISOR:ASSIST. PROF. EYLEM YILMAZ ULU)

DENİZLİ, JANUARY 2022

Automobiles are one of the inventions that have revolutionized human history and added a new dimension to the standard of living and have been widely used for over a century and are more popular with their changes and innovations made every year. In addition, although cars increase our quality of life, their work with fossil fuels causes CO emissions. Due to the damage this gas causes to the environment and human health, interest has increased in hybrid or electric cars that can use renewable energy as fuel. However, since the mobilizing parts in electric vehicles are different from conventional vehicles, design differences have been made in certain parts of the vehicle. In the field of vehicle design, collision measures are taken into consideration by automotive companies in order to prevent accidents or minimize life and property damage in the event of an accident, and extensive research and experimental activities are carried out in this regard. In this study, the load distribution on the chassis of electric vehicles and conventional vehicles at the time of impact was examined. After the literature review and engineering calculations, chassis in the same segment were designed for both types of vehicles using the Solidworks program. The chassis, which was designed, were performed in the Explicit module in the ANSYS Workbench program, taking the average speed limits determined in the Side Impact Test and Polar Impact Test and performing collision analysis at 40 km/h. During the collision, 150,72 mm in the electric vehicle chassis and 403,78 mm deformation in the conventional vehicle chassis has occurred. As a result of deformations, 1228.2 MPa in the electric vehicle chassis base, 1000.2 MPa stress on the base of the conventional vehicle chassis. These stresses have caused the permanent shape change in the designed chassis bases, but no break conditions have occurred. The load distribution on the vehicle chassis was compared using the simulation and graphics created on the vehicle chassis.

KEYWORDS: Crash Analysis, Side Crash Test, Electric Vehicles

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	v
ABSTRACT	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ŞEKİL LİSTESİ	ix
TABLO LİSTESİ	xi
GRAFİK LİSTESİ	xii
SEMBOL LİSTESİ	xiii
KISALTMALAR.....	xiv
ÖNSÖZ.....	xv
1. GİRİŞ.....	1
2. TEZİN ÖNEMİ.....	3
3. ŞAŞI ve ŞAŞI ÇEŞİTLERİ.....	11
3.1 ŞAŞI	11
3.2 OTOMOBİL ŞAŞILARININ TARİHİ.....	12
3.3 ŞAŞININ ÖNEMİ	13
3.4 ŞAŞI MALZEMELERİ.....	15
3.5 OTOMOBİL ŞAŞI ÇEŞİTLERİ	15
3.5.1 MERDİVEN ŞAŞI.....	16
3.5.2 X-ŞAŞI.....	17
3.5.3 MONOKOK ŞAŞI.....	17
3.5.4 UZAY KAFES ŞAŞI	18
3.5.5 PLATFORM ŞAŞI	19
3.6 ELEKTRİKLİ ARAÇ ŞAŞISI	19
4. ARAÇLARDA GÜVENLİK SİSTEMLERİ ve GÜVENLİK TESTLERİ.....	26
4.1 ARAÇ GÜVENLİK TARİHİ.....	26
4.1.1 İLK ARAÇ GÜVENLİK EKİPMANI	26
4.1.2 GEÇMİŞTEN GÜNÜMÜZE KÜRESEL YOL GÜVENLİĞİ	27
4.2 TAŞIT GÜVENLİK SİSTEMLERİ	29
4.2.1 HAVA YASTIKLARI.....	30
4.2.2 EMNİYET KEMERLERİ.....	31
4.2.3 ÇOCUK KOLTUKLARI.....	31
4.2.4 ACİL MÜDAHALE SİSTEMİ.....	32
4.2.5 ELEKTRONİK DENGE KONTROLÜ.....	32
4.2.6 EMNİYET KEMERİ HATIRLATICILARI	33
4.2.7 HIZ YARDIM SİSTEMLERİ	34
4.2.8 TAMPONLAR.....	34
4.3 GEÇMİŞTEN GÜNÜMÜZE ARAÇ GÜVENLİK SİSTEMLERİNDEKİ DEĞİŞİM	35
4.4 EURO NCAP ÇARPIŞMA TESTLERİ.....	37
4.4.1 OFSETLİ DEFORME OLABİLİR BARIYER TESTİ	38
4.4.2 TAM GENİŞLİK ÖN DARBE TESTİ.....	40
4.4.3 YAN DARBE TESTİ	41
4.4.4 KUTUP DARBE TESTİ.....	42
4.4.5 TRAVMA TESTİ	43
4.4.6 ÇOCUK KORUMA PERFORMANS TESTİ	44
4.4.7 YAYA KORUMASI.....	45
4.4.8 YETİŞKİN YOLCU KORUMASI.....	47

4.5	TÜRKİYE’NİN İLK ÇARPIŞMA TESTİ	47
4.6	TEZİN AMACI	48
5.	ŞASİ TASARIMI	49
5.1	SONLU ELEMANLAR	49
5.1.1	DİNAMİK DENGİ DENKLEMİ	52
5.1.1.1	GERİLMELER VE DENGİ.....	54
5.1.1.2	SINIR KOŞULLARI.....	56
5.1.1.3	GERİNİM-DEPLASMAN İLİŞKİSİ.....	57
5.1.1.4	GERİLME-GERİNİM İLİŞKİSİ	58
5.1.1.5	VON MİSES GERİLMESİ (EŞ DEĞER GERİLME)	59
5.1.1.6	EXPLICIT VE İMPPLICIT YÖNTEM	61
5.2	ŞASİ TASARIM SÜRECİ	63
6.	BULGULAR ve TARTIŞMA	69
7.	SONUÇ ve ÖNERİLER	79
8.	KAYNAKLAR	81
9.	ÖZGEÇMİŞ	88

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 3.1: Sedan Araç Şasisi	11
Şekil 3.2: Motorwagen, 1885	12
Şekil 3.3: Elektrikli Araç Şasisi	13
Şekil 3.4: Şasiye Gelen Farklı Noktalara Dağılması	14
Şekil 3.5: Konumuna Göre Farklı Malzemeleri Kullanılan Araç Şasisi	15
Şekil 3.6: Merdiven Şasi	16
Şekil 3.7: X-Şasi	17
Şekil 3.8: Monokok Şasi	18
Şekil 3.9: Uzay Kafes Şasi	18
Şekil 3.10: Platform Şasi	19
Şekil 3.11: 1904 Yılında Alman Elektrikli Arabası	20
Şekil 3.12: Detroit Elektrik Arabası Şarj Olurken	21
Şekil 3.13: Thomas Edison ve bir Detroit Elektrik arabası,1913	22
Şekil 3.14: The Henney Kilowatt, 1961	22
Şekil 3.15: Tabanına Pil Yerleştirilmiş Elektrikli Araç Şasisi	23
Şekil 3.16: Elektrikli Araçlarda Birimlerin Yerleşim Yapısı	24
Şekil 3.17: Elektrikli Araç ile Konvansiyonel Aracın Yan Darbe Testi	25
Şekil 4.1: Eski Dönem Çarpışma Testi	26
Şekil 4.2: Hidrolik Fren Sistemi	27
Şekil 4.3: Açılmış Hava Yastıkları	30
Şekil 4.4: Emniyet Kemerleri	31
Şekil 4.5: Çocuk Koltuğu	31
Şekil 4.6: Araçlarda Acil Müdahale Sistemi Çalışma Döngüsü	32
Şekil 4.7: Araçlarda Elektronik Denge Kontrol Sistemi	32
Şekil 4.8: Emniyet Kemer Simgesi	33
Şekil 4.9: Hız Yardım Sistemi Simgesi	34
Şekil 4.10: Araç Tamponu	35
Şekil 4.11: Solda 1959 Chevrolet Impala Sağda 2009 Chevrolet Malibu	36
Şekil 4.12: Çarpışan İki Araç	37
Şekil 4.13: Euro NCAP Çarpışma Testleri Süreci	38

Şekil 4.14: Euro NCAP Ofsetli Deforme Olabilir Bariyer Testi	38
Şekil 4.15: Euro NCAP Tam Genişlik Ön Darbe Testi	40
Şekil 4.16: Euro NCAP Yan Darbe Testi	41
Şekil 4.17: Euro NCAP Kutup Darbe Testi	42
Şekil 4.18: Euro NCAP Travma Testi	43
Şekil 4.19: Euro NCAP Çocuk Koruma Performans Testi	44
Şekil 4.20: Euro NCAP Baş Darbe Testi	46
Şekil 4.21: Euro NCAP Üst Bacak Darbe Testi	46
Şekil 4.22: Euro NCAP Alt Bacak Darbe Testi	47
Şekil 4.23: Anadol Marka Aracın Çarpışma Testi	48
Şekil 5. 1: Skewness Mesh Değerlendirme Ölçütü Kriteri	51
Şekil 5.2: Üç Boyutlu Gövde	54
Şekil 5.3: Eleman Hacminin Dengesi	55
Şekil 5.4: Gövde Yüzeyinde Hacimsel Bir Eleman	56
Şekil 5.5: Küçük Deformasyona Uğramış Eleman Yüzeyi	57
Şekil 5.6: Konvansiyonel Araç Şasi Tasarımı	64
Şekil 5.7: Konvansiyonel Araç Şasi Tasarımının Açınımı	65
Şekil 5.8: Farklı Elektrikli Araç Markaların Şasi Tasarımları	66
Şekil 5.9: Elektrikli Aracın Pil Yuvası Yapısı	67
Şekil 5.10: Elektrikli Araç Şasi Tasarımı	67
Şekil 5.11: Elektrikli Araç Şasi Tasarımının Açınımı	68
Şekil 6.1: Sonlu Elemanlar Arayüzü	69
Şekil 6.2: Konvansiyonel Araç Şasisinin Mesh İşlemi	70
Şekil 6.3 : Elektrikli Araç Şasisinin Mesh İşlemi	70
Şekil 6.4 : Konvansiyonel Araç Şasisinin Detay Mesh İşlemi	71
Şekil 6.5 : Elektrikli Araç Şasisinin Detay Mesh İşlemi	71
Şekil 6.6 : Skewness Kriterine Göre Mesh Kalitesinin Değerlendirilmesi	72
Şekil 6.7: Skewness Kriterine Göre Mesh Kalitesinin Değerlendirilmesi	72
Şekil 6.8 : Elektrikli Araç Şasisi 40km/h Çarpışma Analizi	74
Şekil 6.9: Konvansiyonel Araç Şasisi Deformasyon-Zaman Grafiği	74
Şekil 6.10: Elektrikli Araç Pil Yuvası Deformasyonu	76
Şekil 6.11: Konvansiyonel Araç Şasisi Taban Sacı Deformasyonu	76
Şekil 6.12: Elektrikli Araç Şasisi Von-Mises Gerilmesi	77
Şekil 6.13: Konvansiyonel Araç Şasisi Von-Mises Gerilmesi	78

TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Tablo 3.1: Şasi Çeşitleri	16
Tablo 4.1: Trafik Güvenliğini Oluşturan Etkenler	30
Tablo 5. 1: Sonlu Elemanlar Metoduyla Analiz Adımları	50
Tablo 5.2: Dinamik Denge Denklemi Adımları	53
Tablo 5.3: Tasarım Süreci Aşamaları	64
Tablo 5.4: AISI 4150 Malzeme Özellikleri	66
Tablo 5.5: Al 7075-T6 Malzeme Özellikleri	66

GRAFİK LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Grafik 4.1: 2010-2020 Trafik Kazası Ölümlerinin Sayısı	29
Grafik 5.1: Hook Eğrisi	59
Grafik 6.1: Elektrikli Araç Şasisi Deformasyon-Zaman Grafiği	74
Grafik 6.2: Konvansiyonel Araç Şasisi 40km/h Çarpışma Analizi Grafiği	75
Grafik 6.3: Elektrikli Araç Pil Yuvası Deformasyon Grafiği	76
Grafik 6.4: Konvansiyonel Araç Şasisi Taban Sacı Deformasyon Grafiği	77
Grafik 6.5: Elektrikli Araç Şasisi Von-Mises Gerilme Grafiği	78
Grafik 6.6: Konvansiyonel Araç Şasisi Von-Mises Gerilme Grafiği	78

SEMBOL LİSTESİ

σ	: Normal Gerilme
τ	: Kayma Gerilmesi
ε	: Gerinim
σ_{von}	: Von-Mises Gerilmesi
u	: Sınır Koşulları
f	: Birim Hacim Başına Düşen Kuvvet
dA	: Yüzey Alanı
E	: Elastik Modülü (Young modülü)
F	: Kuvvet
G	: Rijitlik Modülü
ν	: Poisson oranı
U	: Kullanım Faktörü
R	: Akma Gerilmesi
S	: Yüzey Alanı
S_T	: Sınır Alanı
t	: Zaman
Δt	: Zaman Adımları
a	: İvme
ρ	: Yoğunluk
V	: Hacim
m	: Ağırlık
n	: Birim Yüzeye Dik Vektör
γ	: Kesme Gerinimleri
ε	: Dikey Gerinimler
ε	: Gerinim Hızı
γ	: Kesme Gerinimleri
ε	: Dikey Gerinimler
ε	: Gerinim Hızı

KISALTMALAR

ABD	: Amerika Birleşik Devletleri
AB	: Avrupa Birliği
ACL	: Ön Çapraz Bağ
AISI	: American Iron and Steel Institute
AL	: Alüminyum
CAD	: Computer Aided Design
CAE	: Computer Aided Engineering
CAPE	: The Center for Advanced Product Evaluation
CE	: Avrupa Uygunluğu
CO	: Karbon Monoksit
ESC	: Elektronik Denge Kontrolü
Euro NCap	: Euro New Car Assessment Programme
FEM	: Finite Element Method
IIHS	: Yol Güvenliği Sigorta Enstitüsü
IMMI	: Yol Güvenliği Sigorta Enstitüsü
ISO	: Uluslararası Standartlar Teşkilatı
IRTAD	: Uluslararası Trafik Güvenliği Veri ve Analiz Grubu
MARTOY	: Motorlu Araçlar ve Römorkları Tip Onayı Yönetmeliği
MCL	: İç Yan Bağ
PCL	: Arka Çapraz Bağ
SBR	: Emniyet Kemeri Hatırlatıcısı
TSE	: Türk Standardları Enstitüsü

ÖNSÖZ

Öncelikle aileme, yıllar süren değer biçilemez maddi ve manevi destekleri ile birlikte rehberlikleri için minnet duyduğumu ifade etmek isterim. Akademik hayatımın destekçileri olmalarının yanı sıra bana olan inançları için, şükranlarım siz değerli ailem ve Hümeysra'ya...

Aynı zamanda, bilginin sınırlarını zorlamam, sorgulamam ve alternatiflerini oluşturmam için bana ilham veren ve her zaman yol gösteren akademik danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Eylem YILMAZ ULU'ya teşekkür ederim, değerli hocama saygılarımla.

1. GİRİŞ

Günümüzde araç teknolojisi çevresel faktörler ile yenilik ve değişime açıktır. Özellikle tüketici toplum tarafından otomobil güvenliği ve yakıt ekonomisi önem arz etmektedir. Bu sebeple otomobil yapısında araç güvenliği ve yakıt ekonomisi açısından hafif ama dayanıklı bir şasi sistemi geliştirilmesi üzerinde çalışmalar devam etmektedir. Ayrıca yenilenebilir enerjiyi kullanabilen hibrit ve elektrikli araç üzerindeki çalışmalar artmıştır. Bu çalışmalarda birinci öncelik yakıt ekonomisi olsa da aracın kaza anındaki dayanıklılığı için şasi üzerinde tasarım ve mühendislik çalışmalarına da ayrıca önem verilmiştir. Dış görünüş olarak konvansiyonel araçlara benzer yapıda olmasına rağmen şasi ve güç aktarım organları birbirinden farklı olduğu için elektrikli araçların kaza anında en çok hasar gören parçaları göz önünde bulundurularak gerek tasarım gerek malzeme yapısı üzerinde çalışılacaktır. Yakıt ekonomisi sebebiyle tercih edilen elektrikli araçlara yönelim olmasıyla birlikte elektrikli araçlarda da kaza anında can ve mal kaybını en aza indirmek için dışarıdan gelecek darbeleri sönmülmesi ve yaşam alanını etkilememesi için çeşitli güvenlik önlemleri alınmıştır.

Bir otomobil kazası sırasında otomobil gövdesinde bulunan plastik parçalar yüksek oranda enerjiyi sönmüleyebilmek için deformasyona uğramaktadır. Bu nedenle; emniyetin, yakıt ekonomisi ile birlikte kontrol edilebilmesi için çeşitli testler uygulanmaktadır. Güvenliğin değerlendirilebilmesinin iki yolu vardır; birincisi gerçek bir çarpışma testi yapmak, ikincisi ise ANSYS Workbench ve LS-DYNA gibi bazı sonlu elemanlar simülasyonları kullanmaktır. Birinci seçenek daha doğru ve güvenilir olsa da geniş zaman ve yüksek maliyet gerektirir. Doğruluk, maliyet ve zaman faktörleri göz önüne alındığında daha pratik çözüm olarak sonlu elemanlar yöntemi tercih etmek uygun olacaktır. Mühendisler uygun başlangıç koşulları, yük ve eleman formülasyonları ile birlikte gerçek bir kazada oluşabilecek çarpışma tepkisini sonlu elemanlar yöntemiyle analiz edebilirler. Son yıllarda dünya üzerinde sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak yapılan gerilim analizleri mühendislik dünyasına önemli katkı sağlamaktadır. Özellikle bilgisayar yazılımları sayesinde şasi üzerinde oluşan gerilim ve deformasyon değerleri minimum hata ile gerçeğe yakın hesaplanabilmektedir.

Aynı zamanda bu çalışmanın konusu olan; araçlarda çarpışma testi ve simülasyonları başlığı altında, elektrikli araç şasisi ile birlikte konvansiyonel araç şasilerinin kaza sırasında gelen darbeye karşı göstereceği tepkiler bilgisayar destekli yazılımlar ile sonlu elemanlar metodu kullanılarak analiz gerçekleştirilecektir.

2. TEZİN ÖNEMİ

Bu tezde, elektrikli ve konvansiyonel otomobillerin tasarım ve metot teknikleri yolcu güvenliği esas alınarak yapılmış çalışmalar ile araçlara ait iki şasi tasarımının yandan çarpışma sırasında deformasyon performansları incelenerek mühendislik çalışması yapılmıştır. Elektrikli otomobiller ve çarpışma testleri hakkında yabancı literatürdeki yapılan çalışmaların derlenmesi ile bu alana yönelik gerçekleştirilecek olan yerli literatüre katkı sağlanması amaçlanmıştır. Herhangi bir mühendislik ve tasarım çalışmasına başlamadan önce hâlihazırda neler yapıldığını görmek faydalı olacaktır. Bu bölümde söz konusu çalışma hakkında daha önceden yapılmış araştırmalardan bazılarına yer verilmiştir.

Malkusson ve Karlsson (1998) yaptıkları çalışmada, B-Sütunu çökme hızının yan çarpışma testlerinde Viskoz Kriteri ile doğrudan ilişkisini incelemişlerdir. Bu teze göre öncelikle Avrupa Yan Çarpışma Test Regülasyonu ve Federal Motorlu Araçlar Güvenlik Standardı testleri için araç yan yapısının hareketine bağlı olarak çökme hız karakteristikleri tespit edilmiştir. Buna göre belirlenen karakteristiklerin tasarım parametrelerine çevrilmesi için sonlu elemanlar simülasyon metodu oluşturulmuştur. Geliştirilen yöntem test edilmiş ve çıkan sonuçlar açıklanmıştır. B-Sütunu optimizasyonu üzerinde yapılan çalışmalar yaygın olmasına karşın B-Sütununun farklı kısımlara bölünerek her kısma farklı kalınlığın atandığı ve bu kısımların kaynakla birleştirildiği TWB yapılar konusunda yapılan optimizasyon çalışmaları yeterli olmamıştır. Bu konuda yapılan bir çalışmada bor çeliğinden üretilmiş B-Sütunu ile araç sonlu elemanlar modeli analiz edilmiş ve ardından çözüm süresini kısaltmak için B-Sütunu yalnız bırakılarak komple araç modelinden elde edilen sınır şartları B-Sütununa uygulanmıştır. İki sonuç karşılaştırılarak sonuçların benzerlik gösterdiği görüldükten sonra B-Sütunu kısımlara ayrılarak bu kısımların et kalınlıkları ve yükseklikleri tasarım değişkeni olarak tanımlanmıştır. Bu konu üzerine yapılan başka bir çalışmada seçilen bir aracın tavan ezilmesi ve yan çarpışma sonlu elemanlar simülasyonları yapılmış ve yan çarpışma simülasyonu fiziksel testle doğrulanmıştır. Daha sonra B-Sütunu yan çarpışma ve tavan ezilmesindeki fonksiyonu göz önünde bulundurularak üç kısma ayrılmış ve bu kısımlardaki et kalınlıkları tasarım değişkeni olarak tanımlanmıştır. B-Sütunu çökme miktarı ile çökme hızı amaç fonksiyonu olarak, farklı kısımlardaki et kalınlıkları ve B-Sütunu kaynak yüksekliği ise tasarım

değişkeni olarak tanımlanmıştır. B-Sütunu orta kısmındaki çökme miktarı ve hızı ile üst kısmındaki çökme miktarı için farklı meta sezgisel yöntemlerle yanıt fonksiyonları elde edilmiş ve bu yöntemler arasında tasarım noktalarını en iyi şekilde yakalayan tasarım fonksiyonları için optimizasyon yapılmıştır. Optimizasyon sonucunda pareto-optimum noktalar bulunmuş ve yandan çarpışmalarda klasik sabit et kalınlığına sahip yapılara nazaran performans artışları sağladığı görülmüştür.

Öztürk (2008) yaptığı tez çalışmasında, %100 ve %40 offsetli çarpışmaya maruz kalan otomobillerin ön tampon ve darbe emici sisteminin enerji sönmülmesine katkı sağladığı rapor edilmiştir. Buna göre çarpışma istatistiklerine uygun olarak %40 ve %100 offsetli çarpma modeli oluşturulmuştur. Optimizasyon amaç fonksiyonu olarak, yakıt sarfiyatını azaltmaya yönelik minimum ağırlık seçilmiştir. Bu amaçla lineer olmayan sonlu elemanlar modeli oluşturulmuş ve Ls-Dyna yazılımı ile çözülmüştür. Deneysel tasarımı metodu ile yaklaşık tasarım fonksiyonları oluşturulmuş ve toplam ağırlığın minimize edilmesi için boyut optimizasyon problemi tanımlanmıştır.

Waterman (2011) kaleme aldığı makalesinde uzay çerçeveli şasiye sahip elektrikli bir yarış arabası tasarlanmış, kullanılan akünün şasiye olan etkisi incelenmiştir. Şasiyi tasarlarken sürücüyü pillerden korumak ve şasi sağlamlığının artırılması hedeflenmiştir. Oluşturulan tasarımlar sonlu elemanlar yöntemiyle analiz edilmiş ve gerekli değişiklikler yapılmıştır. Araştırma sonunda gerilimli pil kutularının şasiye mükemmel burulma sertliği sağlamasına karşın ağırlığı sebebiyle istenmeyen sonuçlara neden olmaktadır.

Bayat (2012) yaptığı tez çalışmasında; araçların karayolunu bir sebepten dolayı terk ederek araç içerisindeki yaşam alanı için risk arz eden durumları önlemek amacıyla EN 1317 Avrupa Yol kenar Emniyet sistemine uygun olarak A ve B ray tipine sahip H1 seviye yeni otokorkulukların tasarım, nümerik analiz ve çarpışma test sonuçlarının geliştirilmesini incelemiştir. Bu teze göre, otokorkuluk sistemleri en hafifinden en ağırına kadar olan araçları karayolu içerisinde tutmak için özel olarak tasarlanmaktadır. Analizler için otokorkuluklara ait 2 adet sonlu elemanlar modeli oluşturulmuştur. Modellerde dikme aralığı 2,00 m alınmış ve A veya B farklı ray tiplerine sahip olarak tasarlanmıştır. Üç boyutlu katı modeller SOLİDWORKS' de ve

sonlu elemanlar modelleri LS PREPOST' da hazırlanmış; EN 1317 (Avrupa Standardı Karayolu Güvenliği Aracı Yolda Tutma Sistemleri Bölüm 2) standardında belirtilen çarpışma derecelerinden TB11 ve TB42' ye göre çarpışma testleri yapılmış ve çarpışma simülasyonları LS-DYNA yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Ortaya çıkan gerçek çarpışma değerleri ile sanal ortamda elde edilen değerler EN 1317 standardına göre araç cinsi, çarpma hızı ve açısı, otokorkuluk yanal deformasyonu ve çarpışma şiddet derecesine göre değerlendirilmiştir. Bulgulardan hareketle EN 1317-2' ye göre minimum standardı sağladığından dolayı vasıtaların yol içerisinde kaldığı sonucu ortaya çıkmıştır. Bu sonuç tasarlanan H1 sınıfı yeni nesil otokorkuluk sisteminin başarılı olduğunu, tasarlanan iki farklı ray tipi için de test sonuçlarının benzer olduğunu ve birbiri yerine kullanılabilirliğini göstermiştir. Bununla birlikte yeni otokorkuluk sisteminin hafif, düşük maliyetli, imalat, montaj ve uygulanabilirlik açısından avantajlar içermektedir.

Kurtuluş (2015) yaptığı tez çalışmasında; H1 koruma sınıfına sahip bir otokorkuluk sisteminin bilgisayar ortamında çarpışma testlerinin simüle edilmesi ve çarpışma performansını arttırmaya yönelik tasarımların gerçekleştirilmesini incelemiştir. Bu teze göre, tasarımda farklı kesitlere sahip çelik dikme profil, çelik ray, bağlantı plakası ve civatalar kullanılmıştır. Analizler için farklı tasarım değişkenleriyle tasarlanmış 25 farklı kesite sahip dikme profili oluşturulmuş, dikme aralıkları 2,00 m alınmış ve otokorkuluk sistemleri buna göre tasarlanmıştır. Üç boyutlu katı modeller CATIA ile tasarlanmış, sonlu eleman modelleri HYPERMESH ile oluşturulmuş, EN 1317 standardında belirtilen çarpışma testlerinden TB11 ve TB42'ye göre çarpışma simülasyonları RADIOSS ile gerçekleştirilmiştir. Oluşturulan 25 farklı tasarım; ağırlık, otokorkuluk çalışma genişliği ve çarpma şiddetine (ASI) göre değerlendirilmiştir. 25 tasarımdan 2 modelde otokorkuluk sisteminin aracı yolda tutmada başarısız olduğu gözlenmiş, bu modeller hariç tutularak mevcut 23 tasarım üzerinden sezgisel optimizasyon metotlarından yerçekimsel arama algoritmasıyla en uygun tasarım elde edilmeye çalışılmıştır. Optimizasyon sonucunda çarpışma şiddeti derecesi (ASI) ve ağırlık minimum olacak şekilde bir optimum tasarım elde edilmiştir.

Enriquez (2016) yaptığı tez çalışmasında; Trafikte oluşabilecek kazalarda elektrikli bir araçta bulunan pillerin kaza anında önden çarpmalarda konvansiyonel araçlara göre aracın ön kısmında motor, vites kutusu vb. parçalara sahip olmadığı için

araç üzerinde nasıl bir yük oluşturacağını analizini gerçekleştirmiş, analiz sonuçlarına göre gerek duyulan revizyonlar gerçekleştirilmiştir. Kullanılan sonlu elemanlar yöntemi ile tasarımcının yeni paketleme ve işlevsellik olasılıklarını keşfetmesine izin verir. Sonuç olarak, önden çarpışmalarda tasarımı optimize edilmiş elektrikli araç ile konvansiyonel araçların şasi tiplerinin avantaj ve dezavantajları gösterilmiştir.

Güven ve Rende (2017) elektrikli araçların menzilinın kısa olması, pil dolum süresinin uzunluğu ve satış fiyatının yüksek olması elektrikli araçların yaygınlaşmasının önündeki önemli engel olduklarını saptamışlardır ve bu kapsamda menzili artırmak için daha düşük yoğunluğa sahip alternatif malzeme kullanarak araç hafifletmeyi amaçlamışlardır. Böylece aynı pil kapasitesi ile daha uzun yol kat etmek hedeflenmektedir. Araçların imalatında kullanılan bu malzemelerin seçiminde bulunabilirlik, çevresel etki, dayanım, maliyet ve seçilecek malzemenin geri dönüştürülebilir olması gibi unsurlar dikkate alınmıştır. Bu çalışma kapsamında, elektrikli araçların hafifletilmesi amacı ile kullanılan malzemeler ve bu malzemelerin seçiminde dikkat edilmesi gereken hususlar irdelenmiştir.

Ikpe ve diğ. (2017) yazdıkları makalede Hypermesh ve Catia V5 yazılımlarını kullanarak B Sütununun sonlu eleman analizini gerçekleştirmişlerdir. Bu çalışmadaki tasarım hedefleri, B Sütununun maksimum yer değiştirme, ağırlık ve maksimum gerilim değerinin akma dayanımı ve darbeye dayanıklı özelliklerinden ödün vermeden en aza indirileceği şekilde B Sütununu optimize etmektir. Bu, bir aracın çarpışmaya dayanıklılığının iyileştirilmesi ve yol kazaları sırasında yolcuların güvenliğinin sağlanması için önemlidir. Başlangıçta B sütununa 140 kN kuvvet uygulandıktan sonra B sütununda, 1646MPa'lık Von-Mises gerilimi ve 5.9 mm'lik sapma oluşturulduğu tespit edilmiştir. EuroCAP direktiflerinin karşılanmasını sağlamak için B Sütunu, iç yüzeyine ekstra çelik plakalar eklenmiş ve füzyonlarını tespit etmek amacıyla dikiş kaynağı uygulanarak güçlendirilmiştir, daha sonra ise 140kN kuvvet kullanılarak analiz edilmiştir. Güçlendirilmiş B-Sütunu tasarımının analizi, 2.39 mm'lik bir maksimum yer değiştirme değeri ile 673 MPa'lık maksimum Von-Mises gerilimi oluşturulmuştur. Başlangıçta 6 kg olan B sütunu optimize edilerek B Sütunu tasarımı, 4,2 kg daha sonrasında eklenen 1,7 kg çelik plakalar ile birlikte orijinal B sütunundan daha az ağırlığa sahip olmuştur. Gerçekleştirilen optimizasyon ile birlikte, Von-Mises gerilimi ve orijinal B Sütunundan daha düşük yer değiştirme

oraniyla 140 kN'lik bir kuvvete direnebilmenin yanı sıra daha az ağırlığa sahiptir. Bu nedenle, trafik kazaları sırasında araçlar yana doğru hareket ederek çarpışma kuvvetlerine karşı gerilme mukavemeti, sertliği ve darbeye dayanıklı davranışta iyileşme olduğunu gösterir. Bu tür araçları ve yolcuları can ve mal kaybına neden olabilecek ciddi hasarlardan kurtarabilir. Sonuç olarak, B Sütunu mevcut standartlara göre tasarlanmalı ve öngörülemeyen felaketleri önlemek için araçlara monte edilmeden önce test edilmelidir.

Islam ve diğ. (2017) makalelerinde; mevcut bir B sütunu parçasını 3D optik tarayıcı ile, bilgisayar destekli CAD yazılımı olan CATIA V5 ortamına aktarılmıştır. Mevcut B sütunu beş parçaya bölünerek farklı kalınlıklar tanımlanmıştır. Homojen kalınlığa sahip olmayacağı için soğuk şekillendirme işlemi uygulanmıştır. Ayrıca farklı kalınlıktaki parçaları optimize etmek amacıyla araştırmalar yapılmıştır. B sütununu oluşturan parçalardaki optimum kalınlıklar sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak elde edilmiştir. Gerçekleştirilen optimizasyon ile birlikte ağırlık azaltılmasıyla birlikte B sütunu mevcut ağırlığı azaltılmıştır.

Öztürk (2017) gerçekleştirdiği çalışmada; yan darbelerde araç çökme hızını düşüren ve çarpışma enerjisini sönmüleyen B-Sütunu için çok amaçlı kriterleri sağlayan hızlandırılmış bir tasarım yaklaşımı geliştirilerek zaman ve maliyetten tasarruf edilmesi hakkında incelemesini tamamlamıştır. Bu teze göre, B-Sütunu malzeme karakteristikleri düşen ağırlık darbe testi ile belirlenmiş ve aynı testin sonlu elemanlar benzetimi yapılarak elde edilen sonuçlar test sonuçları ile doğrulanmıştır. Aracın Euro NCAP yan darbe test benzetimi sonlu elemanlar yöntemi ile yapılmış ve analizlerden yararlanılarak B-Sütunu iki ayrı kısma ayrılmış hem TWB hem de TRB yapılı B-Sütunu ile analiz edilmiş ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. B-Sütunu için tek malzemeli-tek amaçlı, iki malzemeli-tek amaçlı ve iki malzemeli-çok amaçlı optimizasyon çalışmaları yapılmıştır. Bu amaçla deney tasarımı yöntemi ile analizler yapılarak farklı metotlarla yanıt yüzeyler oluşturulmuş analiz kısıtlamaları programa tanımlanmıştır. Sonuç olarak, tek malzemeli-tek amaçlı optimizasyon çalışmasında ağırlıktan %17,6 ve iki malzemeli-tek amaçlı optimizasyon çalışmasında ise ağırlıktan %20 tasarruf sağlanmış olup, İki malzemeli-çok amaçlı optimizasyon çalışması ile pareto sınır eğrisi bulunarak B-Sütunu için geniş bir tasarım alternatifi elde edilmiştir.

Aşkar (2018) tez çalışmasında; pasif taşıt güvenliğinin en önemli yapı elemanı olan ön tampon sisteminin kaza esnasında emdiği enerji ve yolcu kabinine aktardığı tepki kuvveti sonuçlarını farklı sac kalınlıkları kullanarak incelemiştir. Bu teze göre, birebir ölçekli bir taşıt ön tampon sistemi ve basitleştirilmiş bir taşıt gövde kafesi modellenmiş ve ardından bu sistemin 64 km/h hızla rijit duvara önden çarpması bilgisayar destekli olarak analiz edilmiştir. Ön tampon sisteminin ve kafes yapının SEM, gelişmiş sonlu eleman analiz paket programı olan ANSYS programının Explicit Dynamics modülünde oluşturulmuş ve tampon kirişi ile darbe emicilerin et kalınlıkları değiştirilerek analiz gerçekleştirilmiş ve elde edilen sonuçlar değerlendirilerek, ön tampon sisteminin emdiği enerji ve kafes yapıya gelen tepki kuvvetlerinden optimizasyona en uygun olanları seçilmiştir. Optimizasyon problemini tanımlayan fonksiyonlar bu verilere göre oluşturulmuş ve bu problem MATLAB programında çözdürülerek en yüksek emilen enerji / tepki kuvveti oranını sağlayan darbe emicinin kalınlık değeri bulunmuştur.

Koca ve diğ. (2018) makalelerinde, elektrikli bir araç için sağlam ve hafif bir şasi tasarlanması üzerinde çalışma yapmışlardır. Bu çalışmada, tasarım ölçütleri ve sınırlamaları TÜBİTAK elektromobil yarış kurallarından edinilmiş olup, birbirinden farklı şasi tipleri farklı geometrilerde oluşturulmuş ve 18 adet tasarım, bilgisayar destekli tasarım yazılımıyla tamamlanmıştır. Tasarımlar, sonlu elemanlar analizi yazılımıyla analiz yapılmış ve sonuçlara göre yapısal olarak optimize edilmiştir. Elde edilen optimum final tasarımı, alüminyum 5042-H19 malzemeli uzay çatı şasi tipinde ve 28.163 kg ağırlığındadır. Tasarımın maksimum Von-Mises gerilmesi 15.465 MPa'dır ve bu değer malzemenin 345 MPa olan akma dayanımının çok altındadır. Şasinin burulma direnci 2.495 mm maksimum burulma deformasyonundan elde edilmiş ve 1828.289 Nm/deg olarak hesaplanmıştır.

Hangül (2018) yaptığı tez çalışmasında, elektrikli araçların son zamanlarda içten yanmalı motorlara cazip bir alternatif olarak görülmesi üzerine elektrikli araçların ağırlık hafifletilmesi üzerinde durmuştur. Bu teze göre; Sera gazı emisyonlarının azaltılması noktasında elektrikli araçlar önemli rol oynamaktadır. Bununla birlikte hem yakıt tüketiminin hem de emisyonların azaltılmasının en önemli aşaması daha hafif araçlar üretmektir. Araç şasisi, taşıtın dinamik davranışı üzerindeki çok yönlü rolü nedeniyle, araç yapısının en önemli elemanlarından biridir. Ana

hedefler, ağırlığın azaltılması için yeni bir şasi tasarımı, doğru malzeme seçiminin yapılması, şasinin pil modülü bölmesine kolaylıkla takılıp çıkarılabilen bir akü modülünün tasarlanması ve nihayetinde tüm yapının statik analize dayanan şasi deformasyonu değerlendirilerek gerekli düzenlemeler yapılmıştır. Bu çalışmada, araç ile ilgili tasarımlar ve analizler Catia V5 R20 yazılımı ile tasarlanmış ayrıca şasi hafifletmesi için AL6061, ST-37 ve karbon fiber malzemeler tercih edilmiştir.

Liu ve diğ. (2019) makaleleri için temel bir elektrikli araç versiyonu geliştirmiş ve tasarlamışlardır. Pil takımı ve diğer yeni enerji kaynakları gibi yüksek voltajlı bileşenler, araç ağırlığını artırmakta ve yapısal alanın büyük bir bölümünü kaplamaktadır. Bu etki, gelenekselleşmiş yapısal tasarımların kullanımını sınırlandırmaktadır. ABD Sigortası kapsamında iyi bir değerlendirme elde edebilecek tasarımı; çarpışma standartları, yasa ve yönetmelikler ile belirlenmiş olan araç gövde yapısıyla belirleyecek olup, bir kombinasyon kullanarak kelebek diyagram analizi, bükülme momenti yönetimi, kesit kuvvetleri ve diğer bilgisayar destekli simülasyon ve analiz teknikleri kullanılarak yapılmaktadır.

Küresel pazarda binek araçların popülaritesinin devam etmesi, geleneksel araçlardan kaynaklanan çevre sorunları ile birlikte araç emisyonları giderek göze batmaktadır. Bu nedenle birçok ülke aktif olarak yeni enerji türü geliştirmiş ve elektrikli araçlara yönelik çalışmalar başlatmıştır. Elektrikli araçlardaki farklılıklar ile çarpışma testlerinde araç güvenlik değerlendirmesinin doğru yapılabilmesi için çarpışma testlerinde yeni kriterler oluşmaktadır. Yapılan analizler sonucunda kuvvet aktarım yolu, B sütunu deformasyon şekli ve eşik destek yapısının optimizasyonu sayesinde, IIHS yan darbe koşulları altında canlı yaşam alanında oluşabilecek tehlikeler iyileştirilmiştir. Simülasyon sonuçları ve IIHS tarafından yan kapı işgal nefogramı üzerinden değerlendirme yapılmış ve gerçekleştirilen optimizasyon açıkça görülmüştür. Ayrıca simülasyon sonuçları, gövde yapısının IIHS değerlendirmesini tatmin etmiştir.

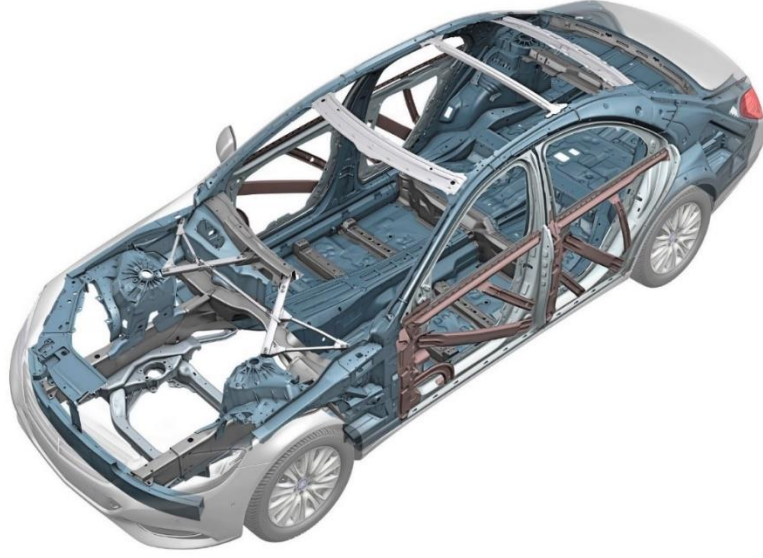
Işılak (2020) ele aldığı makalesinde elektrikli araçların konvansiyonel araçlara göre gövde, şasi ve iç trim açısından tasarım farklılıkları üzerinde çalışmışlardır. Bu çalışmada elektrikli araçların konvansiyonel araçlara göre şasi, gövde ve iç trim açısından tasarım farklılıkları ele alınmış olup elektrikli araçların çevreye ve yakıt ekonomisine olan katkısını açıkça göz önüne sermektedir.

Tez kapsamında yapılan literatür taramasında ağırlıklı olarak yandan çarpışma testlerinde araç şasisindeki B sütununun da tasarım ve malzeme optimizasyonu üzerine çalışmalar yapılarak, yolcu güvenliği ve yakıt ekonomisi sağlaması hedeflenmiştir. Çalışmamızda ise elektrikli ve konvansiyonel araçlara ait iki şasi tasarımının yandan çarpışma deformasyonları incelenmiştir ve yapılan literatür araştırmasında bu konuda çalışma yapılmadığı tespit edilmiştir. Çalışmamızda elektrikli ve konvansiyonel araçlar için şasi tasarlanarak dayanım ve yakıt sarfiyatı sağlaması hedeflenmiştir. Mühendislik ve tasarım açısından yakıt ekonomisini sağlarken aynı zamanda araç güvenliğini arttırmak büyük önem taşımaktadır. Çalışmamızda elektrikli ve konvansiyonel araçlarda yandan çarpışma deformasyonları karşılaştırılmış ve literatüre katkı sağlanması hedeflenmiştir. Tez kapsamında mühendislik hesaplamaları kullanılarak her iki tip araç için farklı şasi tasarımları geliştirilmiş ve sonlu elemanlar metodu kullanılarak yandan çarpışma analizleri yapılmıştır.

3. ŞASİ ve ŞASİ ÇEŞİTLERİ

3.1 ŞASİ

Aracın taban kısmını oluşturan ve karoser dahil parçaların tek noktada toplanan kısmı kısacası otomobilin iskeletidir. Otomobilin karoser ile yürüyen sistemlerin bağlantısını sağlayan ve otomobili bir arada tutan kısımdır (Şekil 3.1).



Şekil 3.1: Sedan Araç Şasisi (17.URL)

Bir şasiden beklenen özellikler şunlardır:

- Hafif ağırlığa sahip olması.
- Minimum sayıda parçadan oluşması.
- Bagaj ve yolcu bölümüne yeterli hacmi sağlaması.
- Hareket esnasında burulma ve titreşimlere karşı sönümleyici olması.
- Kazalara karşı mukavemet sağlayabilir olması.
- Üretilbilir ve düşük maliyetli olması.
- Dinamik ve statik yükleri homojen dağıtılabilir olması.
- Bir kuvvete maruz kaldığı zaman kuvveti karşılayabilecek direnci sağlayabilir bir sisteme sahip olmasını beklenmektedir.

3.2 OTOMOBİL ŞASİLERİNİN TARİHİ

13. Yüzyılda, Roger Bacon'ın Guillaume Humbert'e yazdığı bir mektupta, at ile çekilmeden, kendi kendine ve hızla hareket edebilecek bir aracın yapılabileceğinden söz etmiştir. Fransız ordusunda görevli topçu subay mühendise, topları taşımak için buharlı bir taşıt yapımı emri verilince tarihin ilk otomobili denebilecek fardier à vapeur (buhar yükleyici) icat edilmiştir. Buhar yükleyici araç ile insanlık yeni bir teknolojiye ve gerçekleşmiş bir hayale sahip olmuştur.

1885 yılında Karl Benz tarafından üretilen Motorwagen gerçek anlamda otomobil diyebileceğimiz ilk tasarım olarak ortaya çıkmıştır. Motorwagen devrinin en iyisi olmuştur (Şekil 3.2). Yolcu kabini ve motoru bir arada olup 1856 yılında Sir Henry Bessemer'in çelik üretim yöntemi icadı ile şasi, kaynaklı karbonlu çelikten yapılmış, yolcu kabini ise ahşaptan oluşturulmuştur. 1829 yılında Charles Good Years tarafından vulkanizasyon yöntemi kullanılan güçlendirilmiş kauçuk tekerlekler kullanılmıştır (Genta ve diğ. 2014).



Şekil 3.2: Motorwagen, 1885 (25.URL)

1902 yılında Ferdinand Porsche tarafından hibrit bir otomobil üretilmiştir. 1905 yılında ise Simms Welbeck tampon tasarlamıştır. Ford model T ile 1908 yılında şasi yay ve tamponları krom vanadyum çelikten oluşan, otomobil imalatı ve üretim felsefesi ile seri imalata geçecek sanayi devriminde yeni bir başlangıç oluşturmuştur. 1924 yılında Citroen B10 modeli tamamen çelik karosere sahip olarak tasarlanan ilk araç olup, bu tasarımdan sonra tüm araçlarda karoserli üretime geçilmiştir. 1930'lu yıllara gelindiğinde otomobilin genel hatları günümüzdeki araçların üretim ve tasarım mantığına benzer olarak oluşturulmuştur. 1930'lu yıllardan sonra, malzeme seçimi ve tasarımda yapılan farklılıklar önem kazanmıştır. Bu sayede otomobiller daha verimli, konforlu, ekonomik ve en önemlisi güvenli hale getirilmesi amaçlanmıştır (Genta ve diğ. 2014).

3.3 ŞASİNİN ÖNEMİ

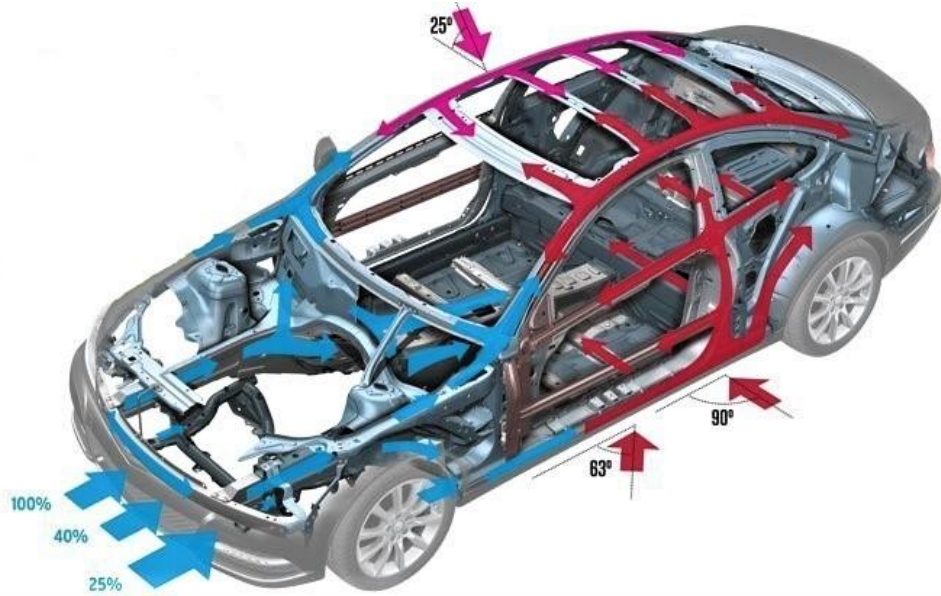
Şasinin en önemli özelliği, kaza anında direncin büyük kısmını sönümleyerek araç içerisindeki canlıların en az zarar görmesini sağlamaktır. Şekil 3.3'te de elektrikli araç şasisi gösterilmektedir. Bir çerçeveden oluşan şasi, bir ya da birden fazla ana parçaya sahip olduğu için tasarımı ve imalatı önem arz etmektedir.



Şekil 3.3: Elektrikli Araç Şasisi (24.URL)

Alüminyum, karbon, demir ve çelik gibi metallerle şekillendirilen şasi, daha uzun ömürlü olması için imalat yöntemi olarak döküm veya presleme kullanılmaktadır. Her

geçen zaman ile gelişen bu parça sayesinde günümüz otomobillerinin merkez sütunları direkt olarak şasiye bağlanmakta, sebebi ise kaza anında şasiye gelen kuvveti en iyi şekilde farklı noktalara dağıtabilmektir. Şasi, çarpışma esnasında ortaya çıkan kinetik enerjiyi şekil değiştirerek sönmleyen yapısal elemanıdır. Şasi tarafından sönmlenen enerji geri dönüşebilir veya geri dönüşümsüz olabilir. Ancak şasi için istenilen durum, kalıcı şekil deformasyonu ile çarpışma enerjisinin büyük bölümünün geri dönüşümsüz olarak sönmlenmesidir. Gelen darbelerin şasi parçalarına dağılması ile bu durum desteklenmektedir (Şekil 3.4). Çarpışma anında ortaya çıkan enerjinin geri dönüşümsüz olarak şasiye aktarılması; çarpışma hızına, çarpışma şekline, deformasyon biçimlerine ve malzeme yapısı gibi birçok etkene bağlıdır (Kumar ve Patnaik 2007).



Şekil 3.4: Şasiye Gelen Farklı Noktalara Dağılması (11.URL)

Şasi tasarlanırken dikkat edilmesi gereken bir diğer husus ezilme kuvvetleridir. Çarpışma anında şasinin maruz kaldığı darbe kuvvetlerinin yeterince sönmlememesi, bu kuvvetlerin direkt olarak taşıt yolcu bölümüne aktarılmasına neden olmaktadır. Bu durum hem araç içerisindeki canlı yaralanmalarına hem de taşıtta daha fazla hasara sebebiyet vermektedir. Şasinin tasarım aşamasında, ortalama ezilme kuvvetlerinin olabildiğince yüksek olması, ortaya çıkan ilk tepki kuvvetinin ise düşük olması hedeflenmelidir. Böylece hem enerji emilimi yüksek olacak hem de taşıt yolcu kabinine aktarılan anlık yüksek kuvvetlerin sönmlemesini sağlayacaktır. Bu nedenle enerji yutucunun deforme edilebilir ve uygun geometrik yapıda olması gerekmektedir.

3.4 ŞASI MALZEMELERİ

Şasi tasarımında malzeme seçimi en önemli kısımdır. Seçilen malzeme, ağırlık faktörü ile doğrudan aracın performansına etki etmektedir. Fakat ağırlık faktörünü göz önünde bulundururken şasi güvenliği de unutulmamalıdır. Otomotiv sektöründe yapılan araştırmalar sonucunda, şaside kullanılan malzemeler tahta ve demir ile başlayıp karbonfiber ve türevlerine kadar çeşitlilik kazanmıştır. Günümüzde alternatif olmakla başlayıp yaygınlaşan ve gelecekte tamamen yer edinecek kompozit malzeme kullanımı hafiflik ve dayanım açısından tercih edilmiştir. Şekil 3.5'te araç şasideki malzeme çeşitliliği ifade edilmektedir. Günümüzde şasi tasarım ve üretiminde çelik, alüminyum, kompozit malzemeler, magnezyum ve titanyum gibi malzemeler kullanılmaktadır (Wallentowitz ve diğ. 2003, Henriksson 2017).

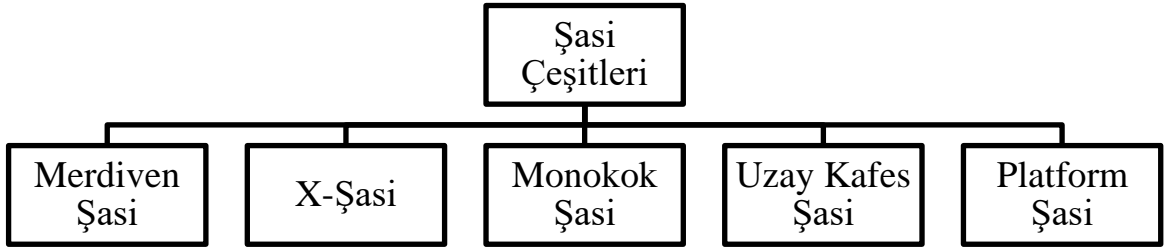


Şekil 3.5: Konumuna Göre Farklı Malzemeleri Kullanılan Araç Şasisi (22.URL)

3.5 OTOMOBİL ŞASI ÇEŞİTLERİ

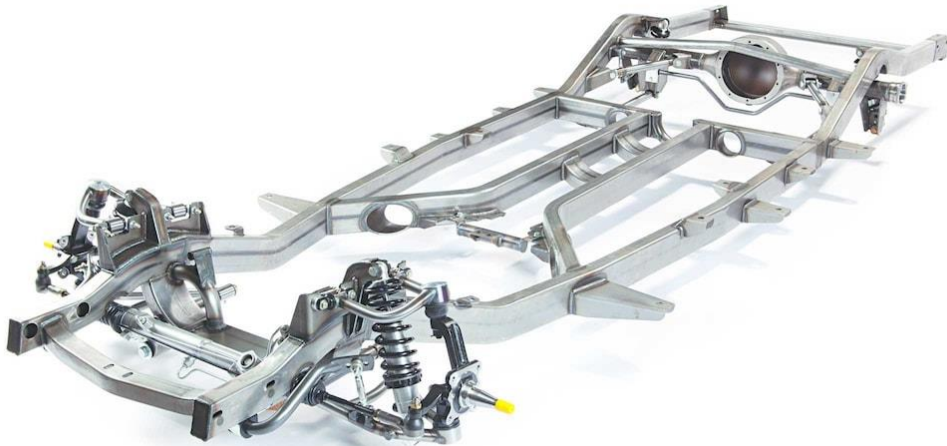
Şasi; uygulama şekli, araç tipi ve kullanım amacına göre farklı formlarda kullanılmaktadır (Tablo 3.1). Kullanılacak şasi tipi belirlenirken şasi üzerine gelecek karoser ve yük faktörü dikkate alınmaktadır (Mithun 2012).

Tablo 3.1: Şasi Çeşitleri



3.5.1 MERDİVEN ŞASI

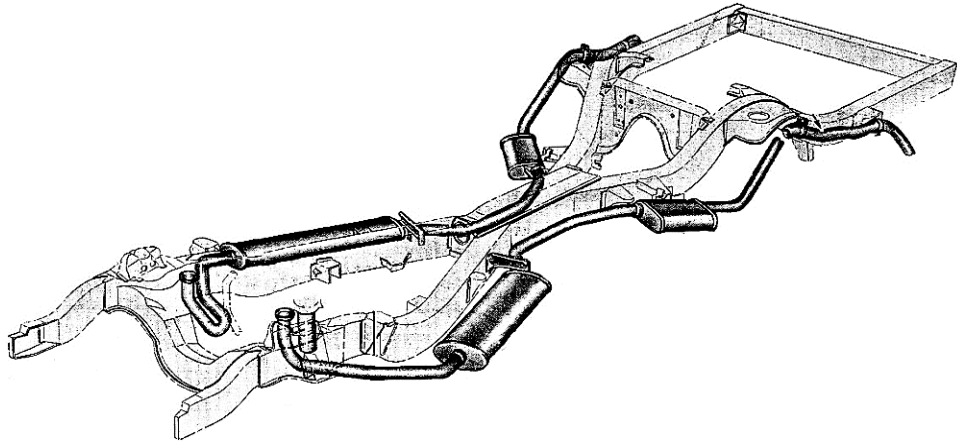
Merdiveni andıran tasarımından adını alan merdiven tipi şasi, bugüne kadar yapılmış tüm tasarımların en eskisi olmakla birlikte basit bir tasarıma sahiptir (Şekil 3.6). Merdiven tipi olarak bilinen bu şasi tipi otomobilin gövdesinden bağımsızdır. Bu sistem, 1930’lu yıllara kadar tüm araçlarda kullanılmıştır. Teknik ve teknolojik olarak yetersiz olması sebebiyle günümüzde sadece kamyon, otobüs gibi büyük araçlarda kullanılıyor olup otomobillerde tercih edilmemektedir (Mithun 2012, Crolla 2009).



Şekil 3.6: Merdiven Şasi (27.URL)

3.5.2 X-ŞASI

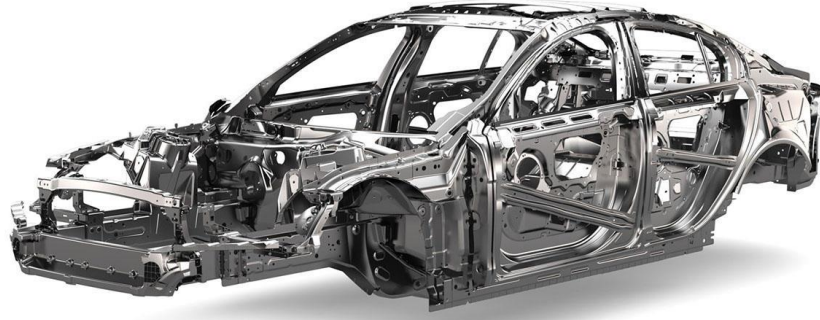
Merdiven tipi şasiye çok benzer bir tiptir, farklı olarak 2 boyutlu sabit yapı yerine genellikle dikdörtgen kesitli güçlü tüplerden oluşmaktadır (Şekil 3.7). Bu yapılar aracın hareket eksenini boyunca orta kısımda çaprazlanarak kemik bir yapı oluşturur. Gövde, ön ve arka süspansiyon alanlarının birbirine bağlanması ile oluşturulan yapının üzerine yerleştirilir. Bu şasi tipi merdiven tipi şasi gibi günümüz modern araçlarında tercih edilmemektedir (Mithun 2012, Crolla 2009).



Şekil 3.7: X-Şasi (16.URL)

3.5.3 MONOKOK ŞASI

Bu şasi tipi dış yüzeylerin de yapısal yükü taşıdığı bir tasarımdır. Başka bir deyişle, yaşam alanı yani gövde ve şasi bir bütün olarak elde edilir. Geleneksel merdiven tipi şasi mimarisi, günümüzde çoğu otomobilde kullanılan unibody şasi yapısına doğru kaymıştır (Şekil 3.7). Yakın zamanda tanıtılan Tesla Cybertruck kamyonetinde unibody şasi kullanılmıştır. Şaside kullanılan çelik Starship'de de kullanılmıştır (Mithun 2012, Crolla 2009).



Şekil 3.8: Monokok Şasi (1.URL)

3.5.4 UZAY KAFES ŞASI

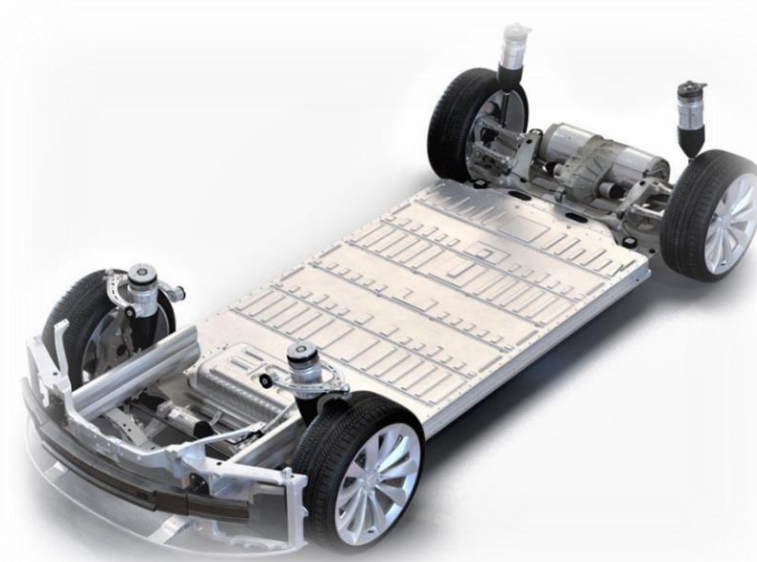
Bu şasi tipinde genelde her yönde aynı mukavemet göstermesi nedeniyle dairesel kesitli profiller kullanılmaktadır. Bu profiller kaynak yardımı ile kompleks bir şekilde birbirine bağlanarak kafes benzeri bir yapı oluşturulur (Şekil 3.8). Günümüzde gelişen üretim teknolojileri sayesinde, bu şasi tipinde montaj kolaylığı sağlayan dikdörtgen kesitli profiller ya da pres ile elde edilen geometriler kullanılabilir. Bu şasi tipi her yönde yüksek mukavemet sağlamakla birlikte üretimi maliyetli ve zordur (Mithun 2012, Crolla 2009).



Şekil 3.9: Uzay Kafes Şasi (7.URL)

3.5.5 PLATFORM ŞASI

X-Şasi ve Merdiven Şasi tipine benzer bir tip olmasının yanında günümüz modern tasarım ve üretim felsefesine uygun olarak üretilmiştir. Bu tasarımda sürücü ve yolculara küvet diye tabir edilebilecek bir yaşam alanı sağlanmış olup ana kısma ek olarak aracın yürüyen aksamını taşıyan ön ve arka bağlantılar montajlanarak aracın ana iskeleti elde edilmiş olur (Şekil 3.10). Genellikle bu şasi tipinde alüminyum alaşımlar ya da karbon fiber gibi malzemeler kullanılmaktadır (Kumar ve Patnaik 2007, Mithun 2012, Crolla 2009).



Şekil 3.10: Platform Şasi (21.URL)

3.6 ELEKTRİKLİ ARAÇ ŞASİSİ

Elektrikli otomobiller 19.yy'ın ortalarından günümüze kadar popülerliğini korumuştur. Şekil 3.11'de 1904 yılında üretilmiş elektrikli otomobil görülmektedir. Elektrikli otomobiller konforu ve kullanım kolaylığı ile içten yanmalı otomobillere göre daha çok ilgi çekmiştir. Konvansiyonel araçların geniş çeşitliliği, daha hızlı bir şekilde enerji yüklenebilmesi, gelişen petrol altyapısı, Ford Motor şirketi gibi şirketlerin seri konvansiyonel araç üretiminin sonucu olarak konvansiyonel otomobillerin, elektrikli otomobiller ile aynı fiyat bandına gelmesine hatta daha uygun

fiyatlı olmasına sebep olmuştur. Konvansiyonel araçların daha uygun olması sebebiyle 1930'lu yıllarda elektrikli otomobillerin ABD piyasasından silinmesine neden olmuştur. Ancak, son yıllarda konvansiyonel otomobillerin çevresel etkileri hakkındaki endişeler, yüksek benzin fiyatları, pil teknolojisindeki gelişmeler ve petrol fiyatlarının yükselme ihtimali; elektrikli otomobillere yeniden ilgi görmesini sağlamıştır. 1990'lı yıllardaki başarısız girişiminden sonra yeni elektrikli otomobiller daha çevre dostu ve ilk satın alma masraflarına karşın çalıştırılması ve kullanımı daha uygun fiyatlıdır (Ünlüsoy 2021).



Şekil 3.11: 1904 Yılında Alman Elektrikli Arabası (10.URL)

Türkiye'deki ilk elektrikli otomobil 1888 yılında II. Abdülhamit tarafından İngiltere'de faaliyet gösteren Messrs Immisch & Co şirketinden sipariş edilmiştir. Şirketin mühendisleri Magnus Volk ve Moritz Immisch'in özel olarak hazırladıkları bu otomobilin ön kısmında tek bir büyük teker yerine birbirine yakın iki küçük teker olacak şekilde, ceviz ağacı ve çelikten şasiye sahip 20 Amper 48 Volt 1 beygirlik motorlu olarak tasarlanmıştı.

Elektrikli otomobiller, geçmişte birçok hız ve mesafe rekoruna sahip olmuşlardır. Bu rekorlar arasında en dikkat çekici olan Camille Jenatzy tarafından 29 Nisan 1899'da kendisine ait roket tipli aracı Jamais Contente ile 100 km/s hız

rekorunun 106 km/s' lik bir hızla kırılmasıdır. 1920'li yıllardan önce elektrikli otomobiller, konvansiyonel otomobiller ile şehir içinde kullanım kalitesi olarak rekabet içerisindeydi (N.P. ve N.D. 2009). Şekil 3.12'de şarj edilen elektrikli araç gösterilmektedir.



Şekil 3.12: Detroit Elektrik Arabası Şarj Olurken (2.URL)

ABD'deki ilk ticari elektrikli araçların kullanımı, 1897 yılında New York şehrinde bulunan Filedelfiya Elektrikli taşıma ve vagon şirketi tarafından taksi filosu olarak uygulanmıştır. Konvansiyonel araçlarla karşılaştırıldığında daha yavaş olmasına rağmen, 1900'lü yılların başında sarsıntı, koku ve gürültü gibi olumsuz etkilere neden olmadığı için daha çok tercih edilmiştir.

Elektrikli otomobiller, uzun menzilin gerekmeyeceği şehir içi ulaşımda tercih sebebi olmuştur. Ayrıca konvansiyonel otomobillerde bulunan vites değiştirme gibi sürücü yoran mekanizmalar bulunmamaktaydı. Konvansiyonel otomobillerin diğer dezavantajı ise motoru çalıştırmak için elle kurulan bir kola gereksinim duymasıydı, kolun kurulması için fiziksel olarak bir çaba harcamak gerekmekteydi. Elektrikli otomobillerin çalıştırılması için böyle bir sistem kullanılmadığı için özellikle kadınlara kullanım kolaylığı sağlamaktaydı (Kirsch 2000).

1911 yılında New York Times gazetesi tarafından temiz, sessiz ve ekonomik olması sebebiyle ideal olarak kabul ettiği elektrikli otomobiller o yıllarda Thomas Edison'un otomobil pillerine olan güven eksiklikleri günümüzde halen tartışılmaktadır (Şekil 3.13) (Robert 2010).



Şekil 3.13: Thomas Edison ve bir Detroit Elektrik arabası,1913 (18.URL)

1970 ve 1980 yıllarındaki enerji krizleri, hidrokarbon enerji piyasasındaki dalgalanmalardan etkilenmemesi sebebiyle elektrikli otomobillere olan ilgi tekrar artmıştır (Şekil 3.14) (Boschert 2006).



Şekil 3.14: The Henney Kilowatt, 1961 (29.URL)

2000'li yılların sonlarında ekonomideki küresel durgunluk sebebiyle otomobil üreticileri tarafından lüks olarak görülen fazla yakıt tüketimine sahip spor araçlar azaltılarak, hibrit, elektrikli ve küçük motor hacmine sahip arabaların yaygınlaştırılması üzerine artan talepler ile, Kaliforniyalı otomobil üreticisi Tesla Motors 2004 yılında Tesla Roadster üzerine geliştirme çalışmalarına başlamış ve 2008 yılında ilk defa piyasaya sunmuştur (Şekil 3.15) (Shepardson 2012).



Şekil 3.15: Tabanına Pil Yerleştirilmiş Elektrikli Araç Şasisi (13.URL)

Elektrikli araçlarda ağırlığın neredeyse yarısı pillerden kaynaklanmaktadır. Elektrikli araçların menzilleri; pillerin kapasitesi, büyüklüğü ve kalitesi ile belirlenmektedir. Pillerin kalitesini artırmak maliyet artışına sebebiyet vermekte, öte yandan pillerin kalitesini sabit tutup büyüklüğünü artırmak ise bir takım tasarım kısıtlamaları getirmektedir. Elektrikli araçların aynı kapasitedeki pil ile menzili arttırabilmeleri için ağırlıklarının azaltılması gerekir. Ağırlığının azaltılması ile daha az pil kapasitesine ihtiyaç duyacağından önemli bir maliyet unsuru olan pillerin miktarının azaltılması sağlanabilir (Hodkinson ve Fenton 2001, Larminie ve Lowry 2003).

Elektrikli araçların çevresel etkisine bakıldığında, emisyonlarının olabildiğince düşürülebilmesi için kullanılan malzemelerin üretim, kullanım, bakım ve geri dönüşüm aşamalarının değerlendirilmesi gerekmektedir. Malzemenin hafif, hammaddeyi ürüne dönüştürmek için uygulanan işlemlerin de çevreci ve geri dönüştürülebilir olması gerekmektedir. Güvenliğin sağlanabilmesi açısından malzemenin yanı sıra geometri de önem taşımaktadır. Bu sebeple malzemenin kullanılacağı yere göre şekillendirilebilme, dayanım ve enerji sönümlenme gibi ihtiyaçları karşılaması gerekmektedir (Chan 2001, 30.URL).

Günümüzde araç tipi ve tasarım ihtiyaçlarına göre farklı pil konumlandırılmaları yapılmaktadır. Pillerin araç içerisindeki bu dağılımı araç süspansiyonlarının ve araç gövdesinin tasarımını etkilemektedir. Ayrıca pillerin şasi üzerinde konumlandırılması da oldukça önem taşımaktadır. Konvansiyonel araçlardaki motor ve güç aktarma organları sebebiyle aracın ön bölümüne dağılmış yük, elektrikli araçlarda pillerin araç tabanına konumlandırılması ile araç tabanına yayılması sağlanmaktadır (Şekil 3.16). Bu sayede elektrikli araçlar konvansiyonel araçlara göre daha iyi yol tutuşuna ve dengeye sahiptirler (Larminie ve Lowry 2003, Watarai 2006).



Şekil 3.16: Elektrikli Araçlarda Birimlerin Yerleşim Yapısı (26.URL)

Ayrıca Şekil 3.16'deki gibi araç tabanına yerleştirilmiş piller sayesinde kaza anında gelen darbelerin yaşam alanına etkisi büyük ölçüde önlenmiştir. Piller yanıcı olması sebebiyle, dışarıdan gelecek darbelere karşı oluşabilecek olumsuz durumları önlemek amacıyla pil yuvalarına yerleştirilmiştir. Pil yuvaları, pilleri darbelere karşı korumasının yanı sıra yandan gelecek olan darbelerin sönmülmesinde aktif rol oynamaktadır. Şekil 3.17'de elektrikli araçların yandan çarpışmalardaki performansı açıkça görülmektedir. Bu tez kapsamında tasarlanan araç şasileri kullanılarak gerçekleştirilecek analizler ile elektrikli araçlarda kullanılan pil yuvaları sayesinde elektrikli araç şasilerinin yan çarpışmalarındaki gösterdiği performans üzerinde çalışılacaktır.



Şekil 3.17: Elektrikli Araç ile Konvansiyonel Aracın Yan Darbe Testi (34.URL)

4. ARAÇLARDA GÜVENLİK SİSTEMLERİ ve GÜVENLİK TESTLERİ

4.1 ARAÇ GÜVENLİK TARİHİ

İrlandalı bir gök bilimci olan Mary Ward, bilim insanı olarak tarihe geçmesinin yanı sıra trafik kazası sebebiyle hayatını kaybeden ilk insan olmuştur. Bu olay 1869 yılında Mary Ward, eşi ve buharlı otomobili icat eden kuzenleri ile seyahat ettiği esnada araçtan düşüp tekerleklerin altında kalması sonucu gerçekleşmiştir. Böylece araç güvenliğinin önemi tarihte gerçekleşen ilk ölümlü trafik kazalarından sonra başlamıştır (Turner 2017). Bu olay çarpışma testlerini, araç sürücülerinin emniyetini sağlamak ve yayaları korumak amacıyla ihtiyaç haline getirmiştir (Şekil 4.1).

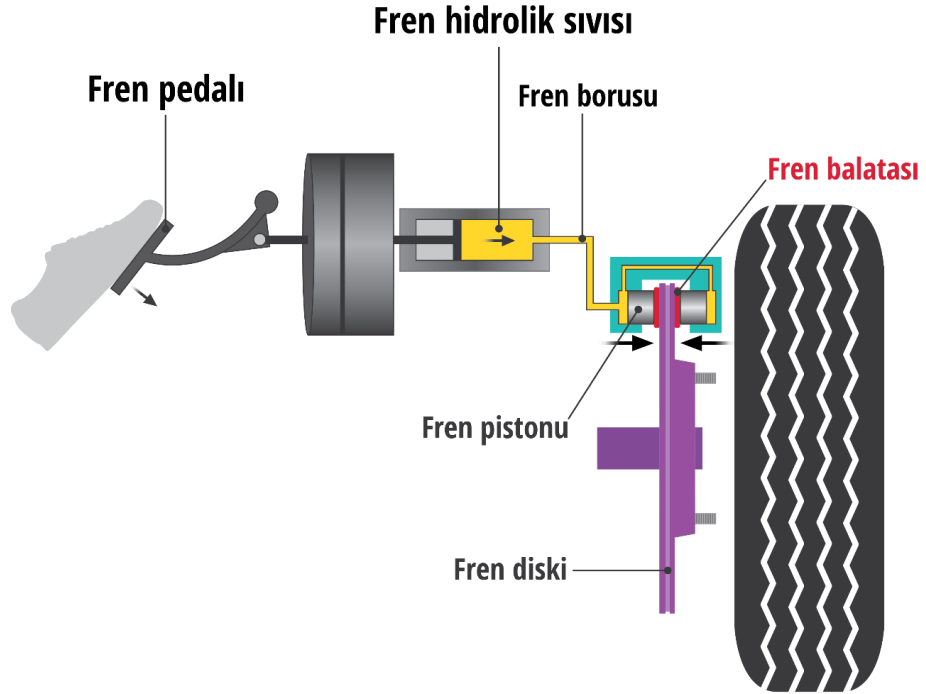


Şekil 4.1: Eski Dönem Çarpışma Testi (33.URL)

4.1.1 İLK ARAÇ GÜVENLİK EKİPMANI

Hidrolik frenler birçok pistonun, fren pedalına ve fren disklerinin olduğu merkezi bir bölüme bağlanmakta olup bu bölüm içerisinde su ve alkolden oluşturulmuş bir karışım ile çalışmaktaydı. Pistonların çaplarındaki değişiklik ile sistem içerisindeki

karışım aynı ölçüde olup bu basıncın fren pedalına uygulanması ile aracın durması sağlanmaktaydı. Daha önceki frenleme sistemlerine göre daha sert bir yöntem olan bu fren sistemi, araçların çok daha hızlı bir şekilde durmasını sağlamaktadır (Csere 1988). Şekil 4.2'de araçlarda kullanılan hidrolik fren sisteminin şematik hali gösterilmektedir.



Şekil 4.2: Hidrolik Fren Sistemi (23.URL)

4.1.2 GEÇMİŞTEN GÜNÜMÜZE KÜRESEL YOL GÜVENLİĞİ

Motorlu taşıt güvenlik örgütleri; sürücü, yolcu ve yayalar için güvenlik kurallarını etkin bir şekilde yürütmek üzere ilgili Ulaştırma Bakanlığı ile koordineli olarak çalışmaktadırlar. Araştırmalar, otomobil üreticilerinin araç güvenlik özelliklerini geliştirmelerine katkı sağlamaktadır.

Uluslararası Taşımacılık Forumu'nun yol güvenliğine yönelik daimî çalışma grubu IRTAD (Uluslararası Trafik Güvenliği Veri ve Analiz Grubu) veri tabanı, karayolu kazalarına ilişkin uluslararası verileri toplar ve bir araya getirir. Günümüzde veri tabanı 34 ülke için onaylanmış karayolu güvenliği verilerini içermektedir. IRTAD, uluslararası karşılaştırmalar ve daha etkili yol güvenliği politikaları için ampirik bir temel sağlar. IRTAD Grubu, 40'tan fazla ülkede, ulusal karayolu idareleri, karayolu güvenliği araştırma enstitüleri, otomobil birlikleri, sigorta şirketleri, otomobil

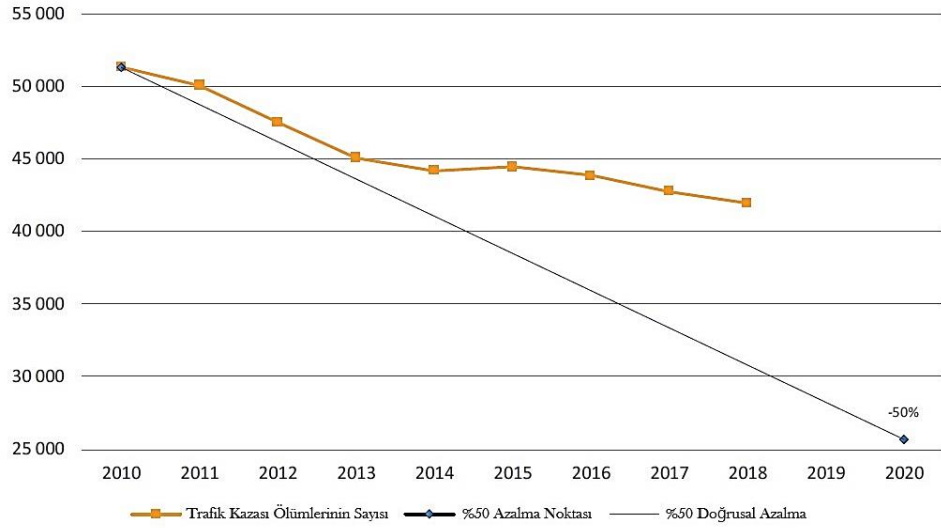
üreticileri ve uluslararası organizasyonlarda 80 üyesi ve gözlemcisi ile karayolu güvenliği uzmanlarını bir araya getirmektedir (9.URL).

2020 yılı şubat ayında Stockholm'de gerçekleştirilen 3. Küresel Bakanlar Konferansında karayolu güvenliğine ilişkin konu en üst düzeye yerleştirilmiştir. Stockholm Deklarasyonu, bir hız sınırı ve Güvenli Sistem ilkelerinin geniş çapta uygulanması çağrısında bulunarak, trafik ölümlerini ve ciddi yaralanmaları azaltmak için önemli bir adım atmıştır. Ağustos ayında, Birleşmiş Milletler Genel Kurulu, A/RES/74/299 “Küresel Yol Güvenliğini İyileştirme” kararını kabul etmesi ile 2030 yılına kadar karayolu ölümlerinin sayısını %50 azaltmak için yeni bir hedef belirlemiştir.

2020'de yol güvenliği için bir diğer önemli etken pandemi süreci olmuştur. Covid-19 pandemisi, dünya genelindeki tüm olumsuz etkilerine rağmen 2020 yılının ilk aylarında trafik kazalarının sayısını önemli ölçüde düşmesini sağlamıştır. Bunun ana nedeni, Covid-19 pandemisi sebebiyle birçok ülkede önlem olarak uygulanan karantinedir. Virüsün yayılmasını azaltmayı amaçlayan sıkı sınırlama önlemleri, ekonomik ve insan aktivitelerinin azalması dolayısıyla yoldaki can kaybının sayısında düşüşü beraberinde getirmiştir. Ancak, yapılan araştırmalar sonucunda ölümlü trafik kazalarının sayısının trafikteki düşüşle orantılı olarak azalmadığı tespit edilmiştir. IRTAD 2020 Yol Güvenliği Yıllık Raporunda tam bir analizin yapılabilmesi için, karantina önlemlerinin türü ve ölçeğini; sürüş davranışı ve trafiğin bileşimi üzerindeki etkisi dikkate alınmalıdır.

Sistematik kayıtların başlamasından bu yana 23 ülkede, nihai verilere göre, 2018 yılında yollar 2015-2017 dönemindeki ortalamaya göre daha güvenli hale gelmiştir. 2015-2017 dönem ortalaması ile karşılaştırıldığında, doğrulanmış verilere sahip 34 ülkeden 23'ünde (%68) karayolu ölümlerinin sayısı azalmıştır. 34 ülkenin tamamında, karayolu ölümlerinin sayısı 2018'de önceki üç yılın ortalamasına kıyasla ortalama %2,5 azalmıştır. Genel olarak, 2018'de 2010'a göre %6,9 daha az trafik ölümlü yaşanmıştır. Ortalama rakamların arkasında, ülkelerin uzun vadeli karayolu güvenliği performansları arasındaki önemli farklılıklar yatmaktadır. 2010 verileriyle kıyaslandığında, 2018'de 34 ülkeden 26'sında (%76) trafik ölümlerinin sayısı

düşmüştür. Genel olumlu eğilime rağmen, çoğu ülkede karayolu ölümlerindeki azalma oranı son yıllarda yavaşlamıştır (Grafik 4.1) (9.URL).



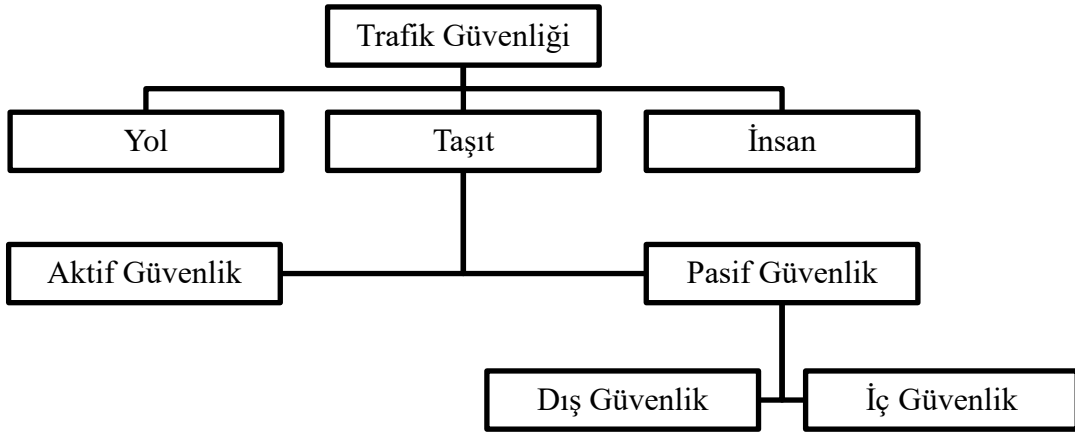
Grafik 4.1: 2010-2020 Trafik Kazası Ölümlerinin Sayısı (9.URL)

Rapor incelendiğinde, düşük gelirli ülkelerde ölümlü trafik kazaları oranı, yüksek gelirli ülkelerdeki oranın iki katından fazla olduğu vurgulamaktadır. Afrika Bölgesi trafik kazaları sebebiyle en yüksek ölüm oranlarına sahip olmaya devam ederken, en düşük oranlar özellikle yüksek gelirli ülkeler olmakla birlikte, ülkelerdeki önleyici faaliyetler ile araç sayısının artmasına rağmen ölüm oranlarında azalma sağlanmaktadır (9.URL).

4.2 TAŞIT GÜVENLİK SİSTEMLERİ

Taşıtlarda bulunan güvenlik sistemleri aktif ve pasif olmak üzere ikiye ayrılmaktadır (Tablo 4.1). Aktif güvenlik sistemleri, sürücünün kaza esnasında müdahale edebildiği ve taşıtın kaza esnasında veya öncesinde sürücüye çeşitli uyarılar verebilen birimlerdir. Pasif güvenlik sistemleri ise daha çok taşıtın tasarım aşamasında belirlenip bir kaza gerçekleşmesi halinde aracın, yolcuların ve hatta çarpılan nesnenin en az zarara uğramasına sebep olacak şekilde taşıtın gövde ve tampon kısımlarındaki yapı elemanlarına ve yolcu kabinindeki birimlere uygulanan tedbirleri kapsamaktadır (Arslan 2020).

Tablo 4.1: Trafik Güvenliğini Oluşturan Etkenler



4.2.1 HAVA YASTIKLARI

Araçlarda bulunan birçok araç güvenlik cihazından biri hava yastıklarıdır. Araç üreticileri yıllar boyunca, daha iyi ve daha güvenilir bir hava yastığının geliştirilmesi için yalnızca araç sürücüsünü korumakla kalmayıp tüm yolcuları korumak amacıyla yoğun bir çalışma gerçekleştirmişlerdir.

Hava yastıklarının açılma süresi üzerinde durulmuş olup, çeşitli otomobil üreticileri tarafından çarpışma sensörlerinin bir çarpışma tespit edildikten sonra saniyenin yaklaşık yirmi beşte birinde şişebilen hava yastıklarını geliştirmişlerdir (Şekil 4.3). Gelişmeler sayesinde önden çarpışmalar sırasındaki ölüm riski yüksek oranda azaltılmıştır. Ayrıca kapıya yerleştirilen hava yastıkları, kafa hava yastıklarından daha hızlı bir şekilde açılacak şekilde ayarlanmıştır (Arslan 2020).



Şekil 4.3: Açılmış Hava Yastıkları (12.URL)

4.2.2 EMNİYET KEMERLERİ

Özellikle kaza sırasında aracın sürücü ve yolcularına önemli ölçüde koruma sağlamaktadır. Emniyet kemerleri, yolcuların kaza esnasında ön cama doğru hareket etmesini veya araçtan fırlamasını önlemektedir (Şekil 4.4) (Arslan 2020).



Şekil 4.4: Emniyet Kemerleri (12.URL)

4.2.3 ÇOCUK KOLTUKLARI

Araca sabitlenen çocuk emniyet koltukları, araçta bulunan emniyet kemerlerinin çocuk yolculara uygun olmaması sebebiyle yetişkinler için emniyet kemerinin sahip olduğu etkili koruma görevini üstlenir (Şekil 4.5). Çocuk yolcuyu kaza anında koruyarak yaşama tutunmasını sağlar. Aracın orta arka koltuğu, çocuk emniyet koltuğu için en güvenli yerdir (Arslan 2020).



Şekil 4.5: Çocuk Koltuğu (14.URL)

4.2.4 ACİL MÜDAHALE SİSTEMİ

Acil durum müdahale sistemi, sürücüleri acil durum personeli veya operatörlerle kaza sonrası iletişim kurmak ve yardım çağrısında bulunmak için geliştirilmiş bir sistemdir (Arslan 2020, Otomotiv Teknoloji Platformu 2014). Şekil 4.6'da araçlarda acil müdahale sistemi çalışma döngüsü gösterilmektedir.



Şekil 4.6: Araçlarda Acil Müdahale Sistemi Çalışma Döngüsü (28.URL)

4.2.5 ELEKTRONİK DENGE KONTROLÜ

Elektronik Denge Kontrolü (ESC) ile donatılmış otomobillerin kazalara daha az maruz kalması ile 2012 yılı ile piyasaya sürülen tüm yeni otomobil modellerinin standart olarak ESC ile donatılması gerekmiştir. Şekil 4.7'de ESC sisteminin çalışması ifade edilmiştir.

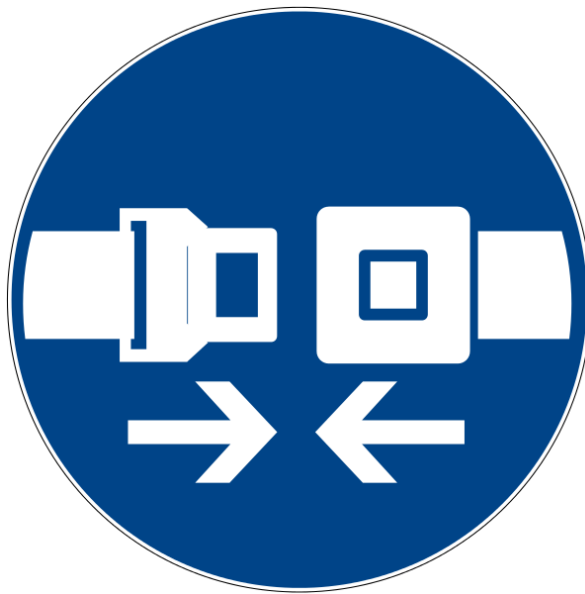


Şekil 4.7: Araçlarda Elektronik Denge Kontrol Sistemi (31.URL)

2009 senesi itibariyle Euro NCAP, ESC'nin tüm model aralığında standart olarak yerleştirildiği veya aralığın tamamında isteğe bağlı olduğu ancak satılan araçların %95'inden fazlasının bulunduğu üç 'güvenlik desteği' noktası vererek ESC'nin daha hızlı bir şekilde benimsenmesini teşvik etmek için yola çıkmıştır. 2011 yılından bu yana Euro NCAP, 80 km/h (50mil/h) 'de' dinamiği 'olarak bilinen dinamik çift şeritli bir değişim testi ile uyum gereksinimini desteklemiştir. Esas olarak robotik bir sürücü sistemi tarafından çalıştırılan araç, bitişik bir şeritte aniden sarsılmak üzere üretilmiştir. Araç sabit kalmalı, şerit değiştirmeyi tamamlamalı ve manevradan sonra düz bir yol izlemelidir (Arslan 1976, Liebmenn ve diğ. 2021).

4.2.6 EMNİYET KEMERİ HATIRLATICILARI

Emniyet kemerleri İngiltere'deki etkili ve en önemli güvenlik sistemi olarak görülmektedir. Kazalarda ölen araç kullanıcılarının üçte birinden fazlası emniyet kemeri takmamaktadır. Yolcuların emniyet kemeri hatırlatıcısı (SBR) ile donatılmış araçlarda kemer takmaları çok daha olasıdır, bu nedenle Euro NCAP etkili SBR sistemlerinin uyumunu teşvik eder ve ödüllendirir. Sesli uyarıların, ses yüksekliği ve süresi, herhangi bir görsel uyarının konumu ve netliği ile birlikte çeşitli senaryolarda test edilmektedir. Sürücü, yolcu ve arka koltuk hatırlatma sistemleri için puan verilmektedir (Arslan 2020). Emniyet kemeri görsel uyarı simgesi Şekil 4.8'de belirtilmiştir.



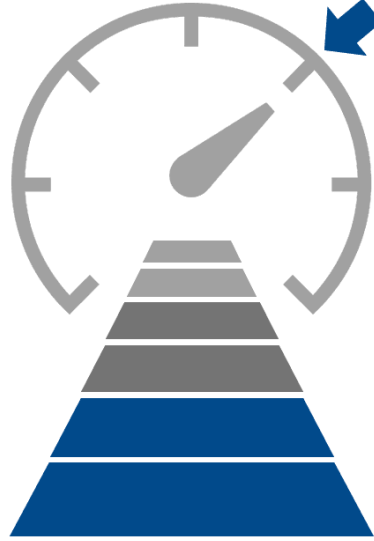
Şekil 4.8: Emniyet Kemerı Simgesi (3.URL)

4.2.7 HIZ YARDIM SİSTEMLERİ

Euro NCAP, sürücülerin hızlarını kontrol etmelerine ve yerel hız sınırlarına uymalarına yardımcı olan isteğe bağlı hız destek sistemlerinin uyumuna teşvik etmektedir. Hız yardım sistemi simgesi Şekil 4.9’da belirtilmiştir.

Sistemler doğruluk, netlik ve dikkat dağıtımı için değerlendirilir ve aşağıdakilerden birini veya birkaçını yapabilir:

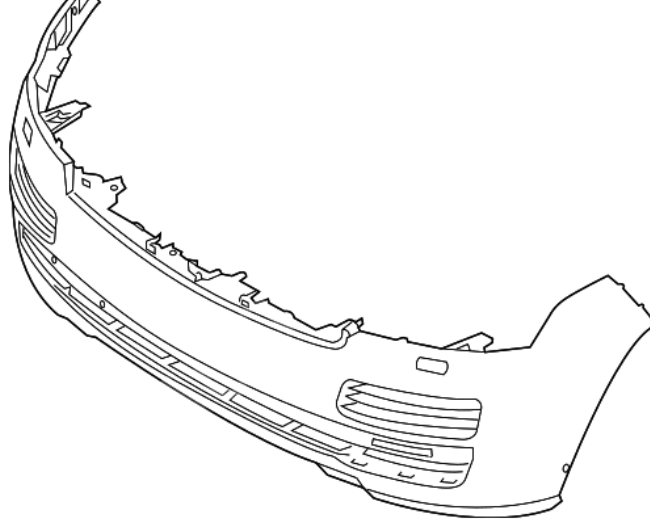
- Sürücüye mevcut hız sınırını belirtmek
- Hız ayarlanan eşiği aştığında sürücüyü uyarmak
- Aracın hızının ayarlanmış bir eşiği geçmesini aktif olarak engellemek (Arslan 2020).



Şekil 4.9: Hız Yardım Sistemi Simgesi (4.URL)

4.2.8 TAMPONLAR

Kara taşıtlarında arka ve önde bulunan şok emici katman, tampondur. 1901 yılında İngiliz Frederick Simms tarafından icat edilen tampon, her taşıt türüne göre farklılık gösterse de genellikle plastik ve kompozit maddelerden imal edilmektedir. Tampon, herhangi bir kaza durumunda çarpma gücünü emerek karosere en az zarar gelmesini sağlamak amacıyla geliştirilmiştir (Şekil 4.10). Ayrıca kaza masraflarını en aza indirmektedir (Arslan 2020).



Şekil 4.10: Araç Tamponu (8.URL)

4.3 GEÇMİŞTEN GÜNÜMÜZE ARAÇ GÜVENLİK SİSTEMLERİNDEKİ DEĞİŞİM

Konvansiyonel otomobillerde kullanılmaya başlanmasının üzerinden geçen 130 senede otomobiller teknolojik olarak inanılmaz bir şekilde geliştirilmiştir. Sadece performans, sürüş ve konfor özellikleri değil güvenlik ve sağlamlık özellikleri üzerinde de ciddi ilerlemeler kaydedilmiştir.

Gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerin birçoğunda otomobiller bazı güvenlik ve sağlamlık testlerini geçmekle yükümlüdür. Hiçbir otomobil üreticisi asgari şartları sağlamadan yeni modellerini satışa çıkartamamaktadır. Bir örnek vermek gerekirse; ülkemizde üretilen otomobil ve ticari araçlar TSE'nin "Araçların İmal, Tadil ve Montajı Hakkında Yönetmelik", "Motorlu Araçların ve Bunlar için Tasarlanan Römorklar, Sistemler, Aksamalar ve Ayrı Teknik Ünitelerin Genel Güvenliği ile İlgili Tip Onayı Yönetmeliği" ve "Motorlu Araçlar ve Römorkları Tip Onayı Yönetmeliği" şartlarına uyum sağlamalıdır. Ayrıca Avrupa Birliği ve dünya ülkelerine de otomobil ve ticari araç satışı yapıldığı için ISO'nun "IATF 16949- Otomotiv Kalite Yönetim Sistemi" ve CE gibi standartların da sağlanması gerekmektedir.

İlk çarpışma testlerinin yapılmaya başlanmasından günümüze kadar, gerek devletlerin güvenlik ve sağlamlık konusunda belirlediği kanunlar ve standartlar, gerek otomobil üreticilerinin çalışmaları ve bağımsız kuruluşların çeşitli çarpışma testleri

sayesinde günümüzde otomobiller kazalara karşı daha dayanıklı ve güvenilir olarak sunulmaktadır. Ayrıca çarpışma testleri sırasında test edilen ve denenmiş güvenlik donanımları ile daha az can kaybı ve yaralanmayı sağlamaktadır.

Geçmiş dönemlerin heybetli görünüşleri ile güven veren otomobillerinin aslında sadece psikolojik bir varsayım olduğu, metalürji ve malzeme teknolojisindeki global gelişmeler ile daha hafif ve dayanımı yüksek malzemeler kullanılarak üretimi yapılmış parçaların, güvenli donanım ve tasarım teknikleri ile birleştirilmesi sayesinde kanıtlanmıştır (Şekil 4.11).



Şekil 4.11: Solda 1959 Chevrolet Impala Sağda 2009 Chevrolet Malibu (32.URL)

Örneğin; buldukları dönemlerde birbirlerine denk segmentlerde bulunan 1750 kg ağırlığa sahip 1959 model Chevrolet Bel Air ile 1550 kg ağırlığa sahip olan 2009 model Chevrolet Malibu araçları çarpışma testine tabii tutulmuştur. Bu testte 1959 model Chevrolet Bel Air'ın ağırlığı ile daha fazla zarar vereceği ve daha az hasar alacağı tahmin edilmiştir ancak yapılan bu çarpışma testi sonucunda, Chevrolet Bel Air modelindeki araç ağır hasar almasının yanı sıra sürücü alanı, yaşam alanı bırakmayacak şekilde deforme olmuştur. İlerleyen teknoloji ve yapılan testlerin analiziyle yıllarda otomobil sağlamlığı ve yolcu güvenliği konusunda ciddi ilerlemelerin yapıldığı saptanmıştır (Şekil 4.11).



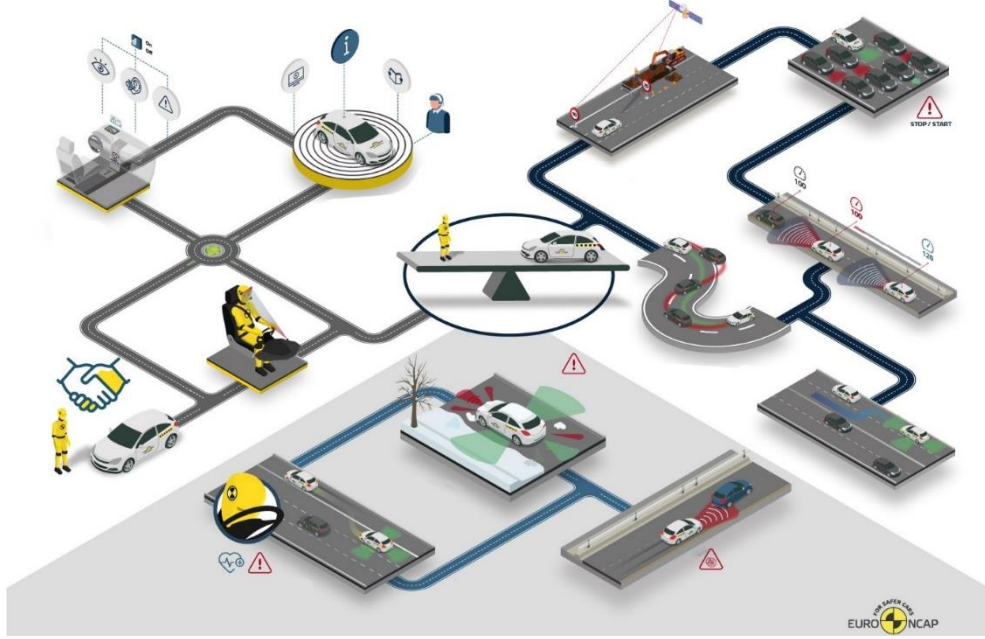
Şekil 4.12: Çarpışan İki Araç (32.URL)

Binek araçlar ve hafif ticari araçların bir kısmı için çarpışma testleri gelişmiş yöntemler ile oldukça yaygın olarak uygulanmaktadır. Ancak kamyon, tır ve otobüs gibi büyük araçlar için çarpışma testlerine, çoklu ekipman ve geniş test pisti gereksinimi nedeniyle, bu boyuta sahip araç üreticileri genellikle kendi olanakları ile belirli şartlar altında test etmektedir. Ayrıca ülkemiz sınırları içerisindeki çeşitli yetersizliklerden dolayı finansal destekler ile yurtdışında bulunan test merkezlerine gidilmesi gerekmektedir. Fakat gelişen teknoloji ile birlikte bilgisayar destekli tasarım programları veya simülasyonlar sayesinde bu testlerin sanal ortamda yapılabilmesine olanak sağlamaktadır. Diğer bir alternatif olarak ABD kaynaklı IMMI firmasının CAPE departmanı öne çıkmaktadır. Dünyada benzeri bulunamayan bu departman büyük kamyon ve otobüslerin çarpışma testlerini yapabilecek düzeyde türlü olanağa sahiptir. Kuzey Amerika’da bulunması nedeniyle otomobil üreticileri tarafından çok yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Günden güne gelişen güvenlik anlayışı sebebi ile yakın gelecekte bu tip araçların da Euro NCAP ve IIHS gibi kuruluşlar tarafından test edilebileceği ön görülmektedir (32.URL).

4.4 EURO NCAP ÇARPIŞMA TESTLERİ

Avrupa mevzuatı, arabaların AB’de satışa sunulabilmeleri için uyması gereken asgari güvenlik standartlarını tanımlar. Euro NCAP testleri, mevzuatta belirtilen asgari güvenlik standartlarının üstüne çıkmaktadır. Ön ve yan darbe testleri gibi Euro NCAP testlerinin bazıları, yapılandırma açısından yasama testleri ile benzerlik göstermesine

rağmen kutup ve travma testi gibi ciddi test koşulları ve performans kriterleri ile değerlendirilmektedir. Şekil 4.13'te Euro NCAP test sürecinin şematik olarak gösterilmektedir.



Şekil 4.13: Euro NCAP Çarpışma Testleri Süreci (19.URL)

4.4.1 OFSETLİ DEFORME OLABİLİR BARIYER TESTİ

Deforme olabilen bariyere %40 ofsetle önden çarpışma testleri ile 64 km/h hızda, sürücü ve ön yolcu koltuklarına yetişkin mankenler ile arka koltuklara çocuk kuklalar yerleştirilerek gerçekleştirilmektedir (Şekil 4.14).



Şekil 4.14: Euro NCAP Ofsetli Deforme Olabilir Bariyer Testi (19.URL)

Ciddi ve ölümcül yaralanmaya neden olan en yaygın çarpışma tipini temsil eden ofsetli deforme olabilir bariyer testi; yaşam alanının bütünlüğü ve dengesi, emniyet sisteminin (kemer ve hava yastıkları) performansını test edebilmektedir.

Değerlendirme, test sırasında kaydedilen video ve kukla verilerinin bir kombinasyonuna ve aracın ayrıntılı bir incelemesine dayanmaktadır. Farklı vücut ölçülerine sahip insan bedenleri ve farklı oturma pozisyonları göz önünde bulundurularak olası kaza senaryoları ile değerlendirilmektedir. Ofsetli deforme olabilir bariyer testi ile zaman içerisinde;

- Yolcu kabini mukavemeti ve stabilitesi geliştirilmiştir.
- Emniyet kemeri ön gerdiricileri, yük sınırlayıcıları ve çift kademeli hava yastıkları kullanılmıştır.
- Dizlerin etkilenebileceği alanlarda, tehlikeli sert yapılar iyileştirilmiş ve diz hava yastıkları kullanılmıştır.
- Alt bacak yaralanma riskini azaltmak amacıyla düşük ayak boşluğu girişimi ve pedal hareketleri kontrol altına alınmıştır.

Ofsetli önden çarpma testlerinde yetişkin sürücü kuklanın korunma sınır değerleri aşağıdaki gibidir;

- Baş kısmı için HIC sınırı ve 3 ms sonunda baş ivmesi sınır değerleri sırasıyla 700 ve 80 G'dir.
- Boyun yaralanması için sınır değerleri; kesme kuvvetinde 3,1 kN (0 ms), 1,5 kN (25 35 ms), 1,1 kN (45 ms), çekme kuvvetinde 3,3 kN (0 ms), 2,9 kN (35 ms), 1,1 kN (60 ms), uzama momentinde 57 Nm'dir.
- Göğüs kısmı için %25'ten fazla yaralanma riski taşıyan sınır değerleri; göğüs ezilmesinde 42 mm, viskoz ölçüsü 1 m/s'dir.
- Diz, kalça ve leğen kemiği için sınır değerleri; kalça kemiğinde 9 kN (0 ms) ve 7,56 kN (>10 ms), kritik bağ doku hasarı riski taşımak üzere dizde kayma ezilme yer değiştirmesi 15 mm'dir.
- Alt bacak bölgesi için sınır değerleri %10 kırılma riskini taşımak ile birlikte sınır değerleri; kaval kemiği indeksi 1,3 ve ezilme kuvveti 8 kN'dur.
- Ayak/Bilek kısmı için sınır değeri; pedalın geri yönde yer değiştirmesi 200 mm'dir (Euro NCAP 2018).

4.4.2 TAM GENİŞLİK ÖN DARBE TESTİ

Ocak 2015'ten itibaren Euro NCAP, 50 km/h'lik hız ve tam örtüşme ile gerçekleşen sert bir bariyer testi eklemiştir. Test, otomobil emniyet sistemlerinin, araç karoseri sertliğindeki genel bir artışın neden olduğu yüksek yavaşlama ivmesi ile başa çıkma yeteneğini test etmek amacı ile tasarlanmıştır. Küçük vücut ölçülerine sahip veya yaşlı kişiler yaralanmalara karşı daha savunmasız oldukları için sürücü ve arka yolcu yan koltuğunda küçük vücut ölçülerine sahip dişi kukla kullanılmaktadır (Şekil 4.15).



Şekil 4.15: Euro NCAP Tam Genişlik Ön Darbe Testi (19.URL)

Tam genişlikli önden çarpma testlerinde, yetişkin sürücü kuklanın korunma sınır değerleri şu şekildedir;

- Hem sürücü hem de arka koltuktaki yolcu kukla için HIC sınırı ve 3 ms sonunda baş ivme sınır değerleri sırasıyla 700 ve 80 G'dir.
- Boyun yaralanması için sınır değerleri; kesme kuvvetinde 1,95 kN, çekme kuvvetinde 2,62 kN ve uzama momenti 49 Nm iken yalnızca sürücü için korunma sınırları kesme kuvvetinde 2,7 kN, çekme kuvvetinde 2,9 kN ve uzama momentinde 57 Nm'dir.
- Göğüs kısmı için sınır değerleri; göğüs ezilmesinde 42mm, viskoz ölçüsü 1m/s dir.
- Diz, kalça ve leğen kemiği için sınır değerleri; kalça kemiğinde ezilme kuvveti sınırı 6,2 kN'dur (Euro NCAP 2016).

4.4.3 YAN DARBE TESTİ

Deforme edilebilir bariyere sahip 30mil/h (50km/h) hızla test aracının, durmakta olan otomobile yandan çarpmasıdır. Yandan darbe testinde yalnızca sürücü koltuğunda kukla bulunmaktadır (Şekil 4.16).



Şekil 4.16: Euro NCAP Yan Darbe Testi (19.URL)

Yandan darbe testleri, ölümcül ve ciddi yaralanmalardan sorumlu en yaygın ikinci kaza konfigürasyonunu temsil etmektedir. Değerlendirme sırasında, çarpışma testi mankeni verilerinin yanı sıra araçta oluşan deformasyonun derecesi dikkate alınmaktadır. Yan darbe hava yastıkları bu testin sonucu olarak yaygınlaşmıştır.

Yandan bariyer çarpması ve rijit direğe yandan eğimli çarpma testlerinde yetişkin sürücü kuklanın baş, göğüs, karın boşluğu ve alt karın bölgelerinde korunma sınır değerleri şu şekildedir;

- Taşıt yandan darbe testinde baş kısmı için HIC sınırı ve 3 ms sonunda baş ivme sınır değerleri sırasıyla 700 ve 80 G'dir.
- Rijit direğe yandan çarpma testinde baş kısmı korunmasında; HIC sınırı ve baş ivmesi pik değerleri sınırı sırasıyla 700 ve 80 G'dir.
- Göğüs için taşıta yandan darbe testinde, yanal ezilme sınır değeri 50 mm'dir.
- Rijit direğe yandan çarpma testinde göğüs için, yanal ezilme sınır değeri 55 mm'dir.

- Karın bölgesi için yanal ezilme sınır değeri 65 mm'dir.
- Alt karın bölgesi için düşük performansta, kasık bitişme kuvveti 2,8 kN'dur (Euro NCAP 2011).

4.4.4 KUTUP DARBE TESTİ

Ciddi ve ölümcül kazaların dörtte biri, iki aracın çarpışması ya da aracın lamba ya da lamba direği gibi sabit bir nesneye çarpmalarından kaynaklanmaktadır. Euro NCAP, perde ya da baş koruma hava yastıklarının kullanımını teşvik etmek ve sağladıkları korumayı değerlendirmek amacıyla 2000 yılında kutup testini uygulamaya başlamıştır.

Araç, 18mil/h'de (29km/h) hız ile sert bir direğe itilerek test edilmektedir. Kutup nispeten dardır ve genellikle aracın darbe aldığı tarafa nüfuz etmektedir (Şekil 4.17).



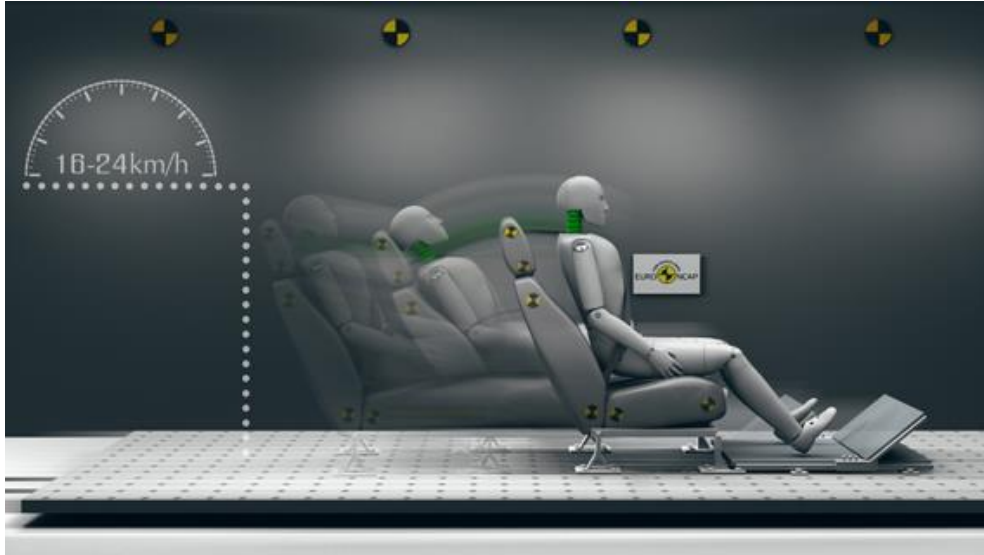
Şekil 4.17: Euro NCAP Kutup Darbe Testi (19.URL)

Başlangıçta opsiyonel olarak uygulanan bir test olmasına rağmen 2009 yılından bu yana Euro NCAP'in model notunun standart bir parçası olmuştur. Değerlendirme, bir yan darbe mankeni tarafından kaydedilen baş, göğüs ve abdominal yaralanmalar dikkate alınarak değerlendirilmektedir (Euro NCAP 2018).

4.4.5 TRAVMA TESTİ

Travma Testi, araç çarpışmalarında yaralanmalara, uzun süre ağrılı ve güçsüzleştirici semptomlara yol açabilmektedir. Yaşam alanında bulunan kişileri etkileyen bu hareket, kişide oluşturduğu hasara bakıldığında en fazla arkadan çarpılarda etkilidir ancak ön ve yan çarpışmalarda da meydana gelmektedir. Euro NCAP, 2009 yılı itibariyle darbelere karşı korumayı değerlendirmek amacıyla testlere başlamıştır.

Euro NCAP testleri, baş dayanağı geometrisi ve kullanım kolaylığı dahil olmak üzere iyi koltuk tasarımına teşvik etmektedir. Değerlendirmeler, hem test kızıağı üzerine monte edilmiş bir koltuk kullanılarak, hem de koltuğun geometrik ve dinamik test (düşük, orta, yüksek şiddetli) arka darbe testlerine dayanmaktadır (Şekil 4.18).



Şekil 4.18: Euro NCAP Travma Testi (19.URL)

Bu testte, başlık temas anı (T-HRC), alt boyun bölgesinin üzerindeki yük hücrelerinin her iki tarafından ileri yöndeki ivmelerini, üst boyun kesme ve çekme kuvvetlerini, ileriye doğru baş tepme hızını ve buna bağlı boyun yaralanma riskinin hesaplanması için kafa arkası bağlantıdan alınan x yönündeki hız ivmeleri hesaplanması için ön-arka yönündeki ilerleme kuvveti ile birlikte dönme momentleri gibi boyun bölgesinden elde edilen sonuçlar hesaplanarak değerlendirme yapılmaktadır (Euro NCAP 2014).

4.4.6 ÇOCUK KORUMA PERFORMANS TESTİ

Euro NCAP testlerinde, çocuk koltuklarının ön darbe dayanıklılığı çocuk kukla yardımıyla yapılmaktadır. Değerlendirmeye tabi olan veriler, çocuk koruma skoru olarak adlandırılmaktadır. Bu veriler; baş hareketi, boyun yükleri ve göğüs hızlandırmalarıdır. Kuklalar bir, iki, üç yaşlarındaki çocuklara ait genel fiziksel özellikleri taşımaktadır (Şekil 4.19).



Şekil 4.19: Euro NCAP Çocuk Koruma Performans Testi (19.URL)

Euro NCAP, 2012 yılı itibariyle tüm yaş gruplarında birçok çocuk koruma sistemini kullanarak çocuk koltuğu darbe dayanıklılık testini gerçekleştirmektedir. Değerlendirme, emniyet kemeri uzunluğu, kemer toka konumu, ISOFIX ankrajlarının erişilebilirliği ve çocuk koruma sistemlerinin dayanıklılığı gibi unsurlar dikkate alınarak yapılmaktadır.

Euro NCAP, kullanıcılara test sonuçları hakkında daha açık bilgi sunmak için çocuk yolcu koruma değerlendirmesine 2003 yılında başlamıştır. Çocuk koruması 2009 yılında tam güvenlik derecelendirmesinin tamamlayıcı bir parçası haline gelmiştir. Daha öncesinde 18 aylık ve 3 yaşındaki çocuk kuklalar kullanılırken 2016 yılında 6 ve 10 yaşındaki çocuk kuklalar (Q6 ve Q10) kullanılmıştır.

Ön darbe testinde Q6 ve Q10 kuklalar vücut kısımlarının sınır değerleri şöyledir;

- Başın HIC korunma sınır değeri 800, 3 ms içinde ivme sınır değeri 80 G'dir. Baş sapması sınır değeri Q6 ve Q10 için 550 mm dir.
- Üst boyun için sınır çekme kuvvet değeri 2,62 kN iken uzama momenti Q6 için 36 Nm ve Q10 için 49 Nm'dir.
- Göğüs kısmı için 3 ms'lik ivme sınırı Q10 için 55 g'dir. Q6 için uygulanamaz. (Göğüs ivme sonuçlarında ön gerdirmeli emniyet kemeri sebebiyle oluşan pik değerleri dikkate alınmaz.)
- Alt karın bölgesi için de uygulanamaz.

Yan darbe testlerinde belirli vücut bölgelerinin sınır değerleri şöyledir;

- Baş kısmında sert darbe olması halinde HIC korunma sınır değeri 800'dür, sert darbe yoksa 3 ms'lik ivme cevabı korunma sınırı olan 80 G dikkate alınır.
- Üst boyun bölgesinde tepki kuvvetinin sınır değeri Q6 için 2,4 kN ve Q10 için 2,2 kN'dur.
- Göğüs kısmında 3 ms'lik tepki ivmesi sınır değeri 67 G'dir.

Puanlandırmada, dinamik test maksimum 24 puanla en yüksek paya sahipken, CRS kurulumu ve araç bazlı değerlendirme maksimum 12 ve 13 puanla yaklaşık aynı paya sahiptir (Euro NCAP 2017).

4.4.7 YAYA KORUMASI

Euro NCAP yaya testleri, aracın çarpması sonucu tampon ve kaputun yayaları ağır şekilde yaralayan bölgelerini değerlendirmektedir. Bu testlerde tek tip kukla kullanmak doğru değildir, çünkü yayaların farklı vücut ölçülerine sahip olması ve aracın çarpma biçimi nedeniyle farklı vücut ölçülerini temsil eden kuklalar kullanılmalıdır. Testler, 40km/h (25mil/h) hıza sahip kazaları simüle eden araçtaki tampon ve kaput bölgelerine yayayı temsil eden kuklayı vücut parçaları fırlatılarak gerçekleştirilmektedir. Yaya koruma sınır değerleri şu şekildedir;

- Baş için yapılan darbe testinde HIC değeri kıstas alınır. HIC için belirlenen aralık değerleri ve karşılık renk sınırları şoyledir: 650 altı yeşil, 650-1000 arası sarı, 1000-1350 arası turuncu, 1350-1700 arası kahverengi, 1700 üstü kötü sınır olarak kırmızıdır (şekil 4.20).



şekil 4.20: Euro NCAP Baş Darbe Testi (19.URL)

- Üst bacak darbe testi sınır değerler: eğilme momenti 350 Nm, toplam kuvvet 6 kN (şekil 4.21).



şekil 4.21: Euro NCAP Üst Bacak Darbe Testi (19.URL)

- Alt bacak darbe testi sınır değerleri: kaval kemiği eğilme momenti 340 Nm, iç yan bağ (MCL) uzaması 22mm, n/arka çapraz bağ. (ACL/PCL) uzaması 10 mm'dir (Şekil 4.22) (Euro NCAP 2017).



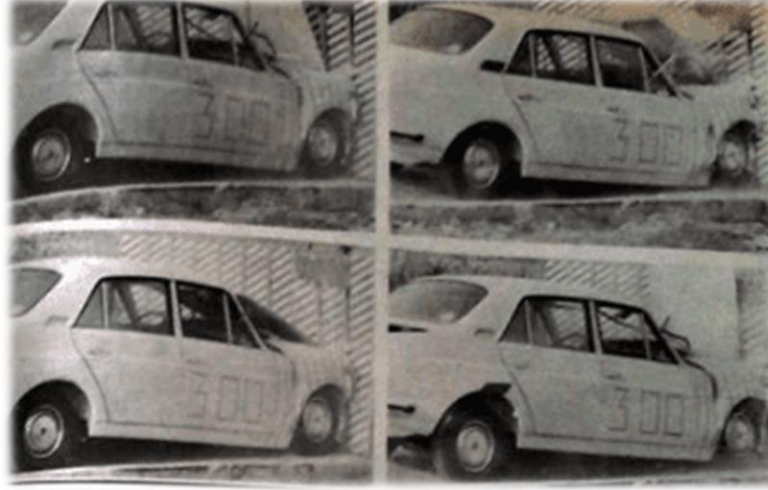
Şekil 4.22: Euro NCAP Alt Bacak Darbe Testi (19.URL)

4.4.8 YETİŞKİN YOLCU KORUMASI

Çarpışma testlerinde yetişkin yolcu korumasının değerlendirilmesi, taşıt önden ve yandan çarpma testleri ve boyun koruma testi olmak üzere 5 farklı testin sonuçları göz önünde bulundurularak belirlenmektedir.

4.5 TÜRKİYE'NİN İLK ÇARPIŞMA TESTİ

Türkiye'de ilk çarpışma testi Anadol markası üzerinde uygulanmıştır. retimine 1966 Aralık ayında baŐlanan Anadol otomobilleri, 1984 yılında durdurulana kadar 87 bin adetlik satış rakamına ulaŐmıŐtır. 1970-1981 yılları arasında 35.668 adet üretilen Anadol A2, 1972 yılında bu koŐullarda çarpışma testine dahil edilmiştir. Yol testleri için deneme alanları olarak Kocaeli Cengiz Topel Havaalanı ile E-5 Karayolu'nun İstanbul-Adapazarı bölümü seçilirken Anadol'un çarpışma testi KoŐuyolu'ndaki Ford Otosan fabrikasında gerçekleştirilmiştir (Şekil 4.23).



Şekil 4.23: Anadol Marka Aracın Çarpışma Testi (6.URL)

Dört kapılı Anadol A2, Şekil 4.23 görüldüğü üzere tam rijit önden çarpma testi uygulanmıştır. Sınırlı imkanlarla yapılan testler sonucunda elde edilen test sonuçlarına göre araçta yapısal düzenlemeler gerçekleştirilmiştir (6.URL).

Günümüzde çeşitli özel kuruluşlar kendi bünyelerinde proje bazlı çarpışma testleri gerçekleştirmektedir.

4.6 TEZİN AMACI

Bu tez çalışmasında, sıklıkla yakıt ekonomisi ve çevre duyarlılığı sebebiyle tercih edilen elektrikli araçların yandan çarpışmalarda yolcu güvenliği performansının değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Deformasyon değerlendirmesinin doğru yapılabilmesi için elektrikli ve konvansiyonel araç şasisi tasarlanmıştır. Tasarım teknikleri ve elektrikli araçlarda kullanılan pillerin konumu, yolcu güvenliği esas alınarak belirlenmiştir. Konumu belirlenen pillerin yandan çarpışmalarda, yaşam alanına olumlu etki kazandırması hedeflenmiştir. Elektrikli ve konvansiyonel araç şasi tasarımları ve çarpışma analizleri gerçekleştirilerek her iki tip araç şasisinde meydana gelen deformasyon karşılaştırılmış ve sebepleri irdelenmiştir. Çalışma, literatürde bu konuda yapılan ilk çalışma olması nedeni ile yerli ve yabancı literatüre büyük katkı sağlayacaktır.

5. ŞAŞI TASARIMI

5.1 SONLU ELEMANLAR

Doğada gerçekleşen süreçler birçok değişkene bağlı olması ve karmaşıklığı nedeniyle çoğunlukla matematiksel modeller ile ifade edilerek çözülmeye çalışılmaktadır. Bu matematiksel ifadeler ile fizik, kimya, biyoloji gibi pozitif bilimlerin yanı sıra ekonomi gibi alanlarda da çeşitli süreçlerin ve dağılımların basitleştirilmesi hedeflenmektedir. Mühendislik problemlerinde de bir süreci çözümleyebilmek için sonlu elemanlar yöntemi (*Finite Element Method, FEM*) esas alınmaktadır. Sonlu elemanlar analizi ise kullanılan yazılım araçlarının gelişmesine paralel olarak yaygınlaşmıştır.

Sonlu elemanlar yöntemi; çeşitli mühendislik problemlerini kendi içerisinde alt parçalarına ayrılarak genel çözüme ulaşılmasını sağlayan sayısal bir yöntemdir. Kullanılacak olan matematiksel model problemin niteliğine göre belirlenmektedir. Örneğin; katı cisimleri kapsayan mekanik problemlerde genellikle gerilme analizi ve yer değiştirme çözümleri beklenir. Bu durumda ikinci dereceden kısmi diferansiyel denklemler ile yaklaşık çözüm bulunmaktadır (Gere ve Goodno 2009, Budynas ve Nisbett 2008).

Normal Gerilme

$$\sigma = \frac{P}{A} \quad (5.1)$$

Şekil Değiştirme

$$\varepsilon = \frac{\sigma}{E} \quad (5.2)$$

Yer Değiştirme

$$\varepsilon = \frac{L_f - L_0}{L_0} \quad \varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0} \quad \Delta L = \varepsilon L_0 \quad (5.3)$$

Gerilme analizi örneği üzerinden devam edersek; alt parçalarına ayrılmış bir yapı ya da sistemden bahsedildiğinde parçaların birleşim noktalarında çok sayıda denge

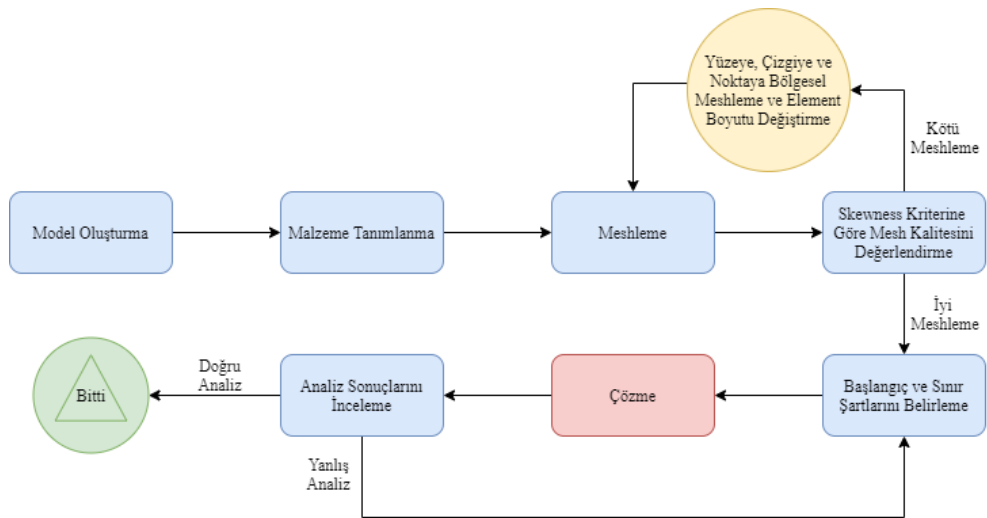
denklemleri elde edilmektedir. Bilgisayar yazılımlarının kullanımı bu noktada önem kazanmış ve CAE yazılımları ile sonlu elemanlar analizi (*Finite Element Method, FEM*) çalışmaları geliştirilmiştir. Önceki yıllarda analiz etmek için yüksek maliyetlerde gerçekleştirilen deneylerin yerini, yazılımlar sayesinde henüz tasarım aşamasındayken yapılabilen bilgisayar destekli yapısal analizler almıştır.

Sonlu elemanlar analizi üç temel aşamada uygulanır;

- Sonlu elemanlar ağı oluşturma (*mesh generation*): Matematiksel model kurulduktan sonra alt elemanlar ve bağlantı noktalarının oluşturduğu yapı ağı görünümündedir. Ağ yoğunluğunun doğru artırılması daha iyi sonuç verir.
- Etki eden kuvvetlerin belirlenmesi (*load application*): Kütle kuvvetleri, tekil ve yayılı kuvvetler başta olmak üzere sistem üzerinde etkili olan kuvvetler belirlenir.
- Sınır şartlarının belirlenmesi (*boundary conditions*): Bir sistemde doğal olarak bulunan ya da yapay olarak oluşturulmuş sınır şartları bulunur. Örneğin yapısal analizde elastik yer değiştirmeler, sınır şartları referans alınarak hesaplanabilir.

Analiz aşamaları Tablo 5.1’ de belirtilen adımlar takip edilerek tamamlanmaktadır. Analiz sonuçlarının değerlendirilmesi ile gerek görülen durumlarda model üzerinde iyileştirmeler yapılarak istenilen ürün ortaya çıkarılabilmektedir.


Tablo 5. 1: Sonlu Elemanlar Metoduyla Analiz Adımları



Sonlu elemanlar ağı oluşturma yani mesh işlemi bilgisayar destekli sonlu elemanlar analizinin en önemli adımudur. Mesh işlemi, analiz edilecek parçaları, boyutları belirlenmiş elementler ile çok küçük alanlara bölme işlemi olarak tanımlanmaktadır. Analiz sonuçlarının gerçeği yansıtması için doğru mesh yapılması önem taşımaktadır. Parça geometrisi ve yüzey alanına göre uygulanacak mesh boyutu ve şekli değişkenlik göstermektedir. Genel ve bölgesel mesh ayarlarından sonra mesh işleminin uygunluk düzeyini belirlenmesi amacıyla bu çalışmada yaygın olarak kullanılan Skewness Kriteri kullanılmaktadır (Şekil 5.1). Skewness Kriteri, aşağıda verilen formülle hesaplanır;

$$\text{Skewness} = \frac{\text{Optimum Element Boyutu} - \text{Aktif Element Boyutu}}{\text{Optimum Element Boyutu}} \quad (5.4)$$

$$\text{Skewness: } \max \left[\frac{\theta_{max} - \theta_e}{180 - \theta_e}, \frac{\theta_e - \theta_{min}}{\theta_e} \right] \quad (5.5)$$



Mükemmel	Çok İyi	İyi	Kabul Edilebilir	Kötü	Kabul Edilemez
0-0.25	0.25-0.50	0.50-0.80	0.80-0.94	0.95-0.97	0.98-1.00

Şekil 5. 1: Skewness Mesh Değerlendirme Ölçütü Kriteri (ANSYS Confidential 2016)

FEA analizleri farklı sınır şartları altında (sıcaklık, sabitleme vb.) ve farklı yükleme şartlarına maruz kalan problemin çözümünde pratik olarak kullanılabilir. Bu esnekliği analitik yaklaşımlarda bulmak oldukça zordur. Bilgisayar destekli sonlu elemanlar analizi ile tasarlanan ürünün yeni sınır şartları altında görevini yerine getirip getirmediğini belirlenebilir, Tasarım aşamasındaki ürünün imalatından önce sistemin verilen şartların karşılandığını kanıtlanmasında kullanılarak ürün optimizasyonu için birçok avantaj sağlamaktadır. Ayrıca araç çarpışma testlerindeki süreyi kısaltmak ve maliyetleri düşürmek için sanal ortamda yapılan çalışmalar ile spesifik parçaların optimizasyonuna büyük katkı sağlamaktadır.

Sonlu elemanlar analizi için özel olarak geliştirilmiş ANSYS Workbench, MSC/NASTRAN, Algor gibi yazılımların haricinde, Catia ve SolidWorks gibi CAD yazılımlarına entegre edilmiş analiz modülleri de kullanılmaktadır. Yazılımlar beraberinde birçok avantaj getirir;

- Her çeşit malzeme ve kompleks geometri için uygulanabilir olması diğer sayısal yöntemlere göre üstünlüğüdür.
- Özellikle havacılık, otomotiv ve biyomekanik endüstrisinde analiz yazılımları ile rijitlik, mukavemet ve çarpışma gibi testler prototipten önce görsel olarak tecrübe edilir ve maliyetleri önemli ölçüde azaltır.
- Mühendislik tasarımlarının üretim aşamasına geçmesini oldukça hızlandırır.
- Daha başarılı ilk tasarım örneklerinin ortaya koyulmasını sağlar.
- Matematiksel olarak farklı problemlerin çözümünde kullanılabilir (Ovalı ve Esen 2018).

5.1.1 DİNAMİK DENGE DENKLEMİ

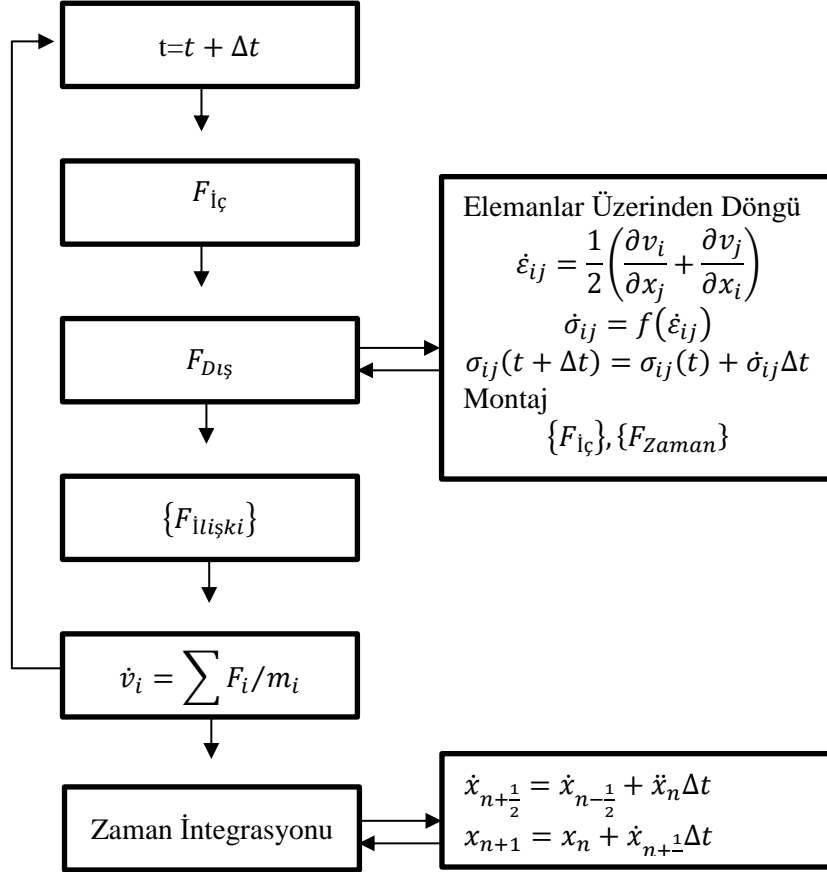
Araç şasi tasarımı gerçekleştirilirken kaza sırasında gelecek darbelere karşı mukavim olması ve yakıt tasarrufu sağlanması için belirli ağırlıklara sahip olmalıdır. Tasarımı tamamlanan aracın seri imalatına başlanılmadan önce araç güvenlik performansının değerlendirilmesi için Dinamik Çarpma Testi en çok tercih edilen modeldir. Oluşturulacak hesap modeli nonlineer geometrik, nonlineer malzeme davranışı ve nonlineer sınır koşullarından oluşan oldukça karmaşık bir hesap modeli olarak değerlendirilmelidir. Hesap modeli temelde geçici dinamiklerin denge denklemleridir (Denklem 9.1).

$$[M] \left\{ \frac{d^2u}{dt^2} \right\} + C \left\{ \frac{du}{dt} \right\} + K\{U\} = \{F_{ext}(t)\} \quad (5.6)$$

Dinamik testte kullanılan sonlu elemanlar hesaplama modeli statik hesaplama modelinden farklı özellikler taşımaktadır. Nonlineer sonlu elemanlar denklemleri statik analizden farklı olarak merkez farkı zaman integrali yöntemiyle iteratif adımlı olarak çözülmektedir. Uygulanacak hesaplama modeli birden fazla sonlu elemanlar ağı ve eleman formülasyonundan oluşmaktadır. Statik analizden farklı olarak kuvvet veya yutulması gereken enerji hesaplama sınır koşullarını, dinamik hesaplama modelinde ise çarpma kütlelerinin ilk hızları ve maksimum dinamik yük, hesaplamada sınır koşullarını ve başlangıç koşullarını oluşturmaktadır. Hesaplama modeli analizi gerçekleştirilecek parçaların temas yöntemini kullanmaktadır. Bu yöntem ile sistem sonlu elemanlar ağı üzerine zamana bağlı dinamik kuvvet aktarımı sağlamaktadır.

Analiz gerçekleştirilirken, (Tablo 5.2) diyagramda bulunan temel niceliklerin başlangıç ve sınır şartları belirtilerek çıktı olarak gerilmeler elde edilmektedir (Genta ve diğ. 2014).

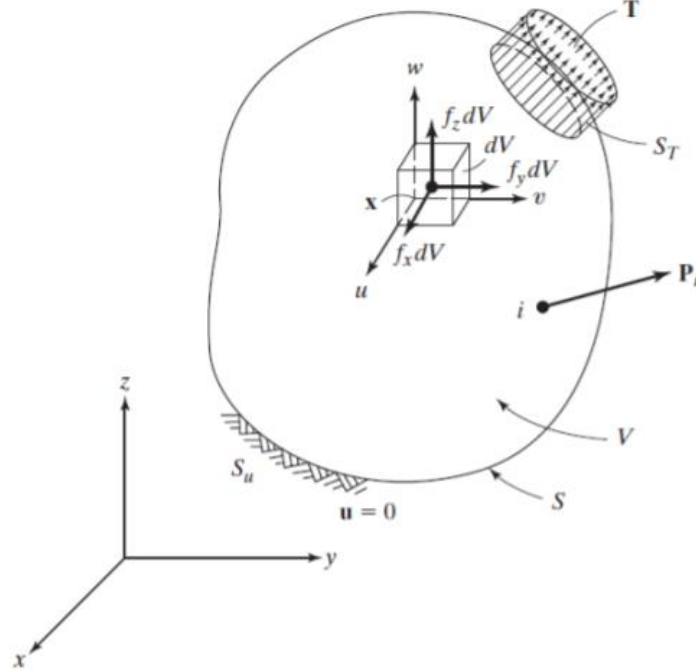
Tablo 5.2: Dinamik Denge Denklemi Adımları (Altair University 2020)



Eğer $\Delta t \leq \Delta t_{kritik}$ ise çözüm kararlıdır.

5.1.1.1 GERİLMELER VE DENGE

V hacmi ve S yüzey alanına sahip üç boyutlu gövdedeki noktalar x, y ve z koordinatlarıyla tanımlanmıştır (Şekil 5.3).



Şekil 5.2: Üç Boyutlu Gövde (Chandrupatla ve Belegundu 2002)

Gövde S_u kısmından sınırlandırılarak, S_T alanına dağıtılmış T yükü uygulanmıştır. Uygulanan yük ile gövde deforme olmuştur. Bir x ($[x, y, z]^T$) noktasının yer değişim vektörü üç bileşeni tarafından verilmektedir, (Denklem 5.7):

$$u = [u, v, w]^T \quad (5.7)$$

Birim hacim başına düşen kuvvet f vektörü, (Denklem 5.8):

$$f = [f_x, f_y, f_z]^T \quad (5.8)$$

Gövde üzerine düşen T kuvveti bileşenleri, (Denklem 5.9):

$$T = [T_x, T_y, T_z]^T \quad (5.9)$$

i noktasında etkili olan P yükünün üç bileşeni, (Denklem 5.10):

$$P_i = [P_x, P_y, P_z]_i^T \quad (5.10)$$

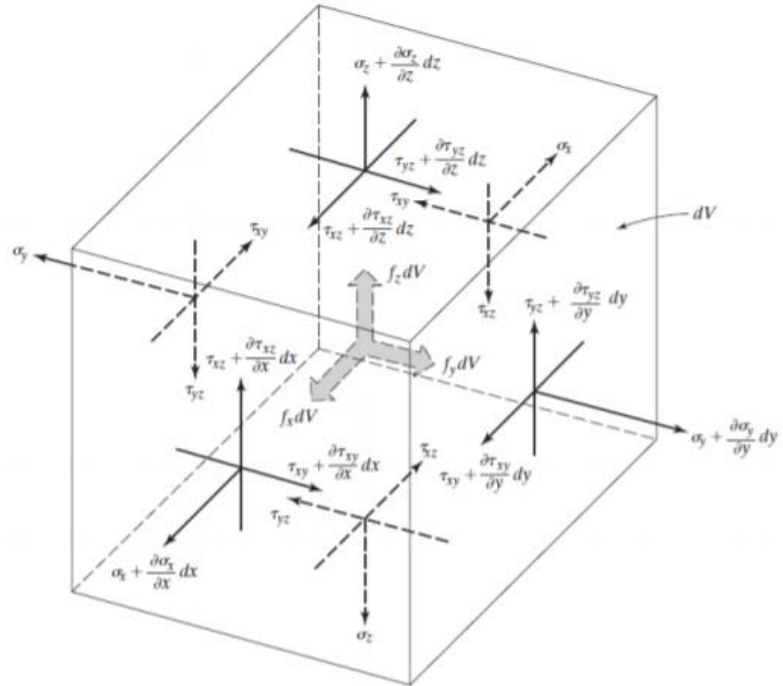
olarak belirtilmiştir (Chandrupatla ve Belegundu 2002).

Şekil 5.4'te dV hacmine etki eden gerilme tensörü bileşenleri 3x3 simetrik bir matrisle temsil edilir. Matrisin simetrik olması ile yalnızca 6 bağımsız bileşene sahiptir. Matristeki $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$ normal gerilme ve $\tau_{xy}, \tau_{yz}, \tau_{zx}$ kayma gerilme bileşenlerini temsil etmektedir.

$$\sigma = [\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z, \tau_{xy}, \tau_{yz}, \tau_{zx}]^T \quad (5.11)$$

Gerilmelerin ilgili alanla çarpılması ile Şekil 9.3'te yüzeydeki kuvvetler elde edilmektedir. Denge denklemlerinde $\sum F_x=0, \sum F_y=0, \sum F_z=0$ ve $dV = d_x d_y d_z$ yazıldığında aşağıdaki şekilde hesaplanmaktadır (Chandrupatla ve Belegundu 2002):

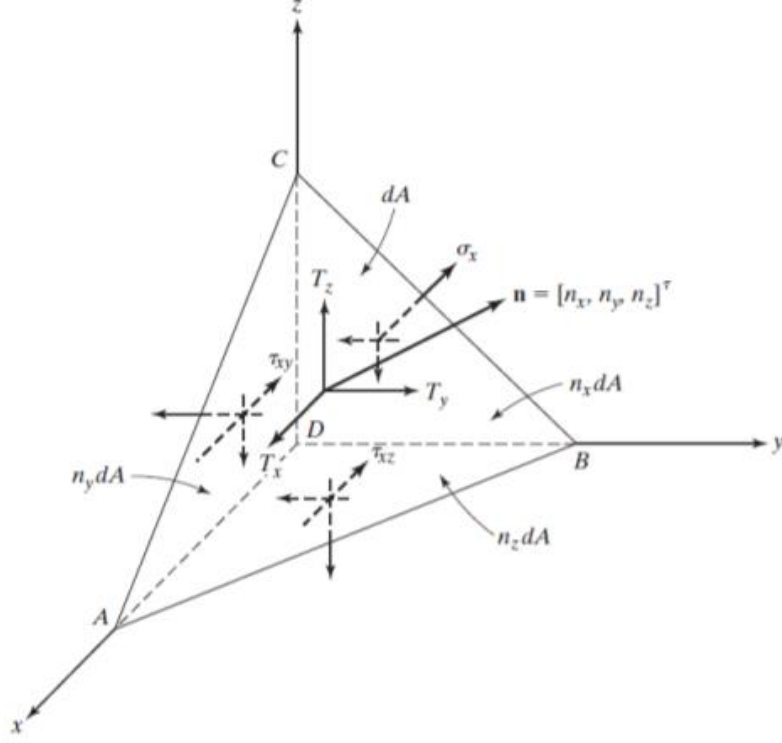
$$\begin{aligned} \frac{\partial \sigma_x}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial z} + f_x &= 0 \\ \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_y}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial z} + f_y &= 0 \\ \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial y} + \frac{\partial \sigma_z}{\partial z} + f_z &= 0 \end{aligned} \quad (5.12)$$



Şekil 5.3: Eleman Hacminin Dengesi (Chandrupatla ve Belegundu 2002)

5.1.1.2 SINIR KOŞULLARI

Şekil 5.3'te belirtilen u , gövdenin yer değiştirme sınır koşulları ve yüzey yükleme koşulları yüzeyindeki (S_u) deplasmanında belirtilmiş ise $u = 0$ olmaktadır. Böylece $u = a$ sınır koşullarını dikkate alabiliriz.



Şekil 5.4: Gövde Yüzeyinde Hacimsel Bir Eleman (Chandrupatla ve Belegundu 2002)

Şekil 5.5'te gösterilen elemanda DA , DB ve DC sırası ile x , y ve z eksenleriyle paralel olduğu ve $ABCD$ 'nin temel bir tetrahedron dengesi ifade edilmektedir. Ayrıca ABC alanı yüzeyde dA olarak ifade edilmektedir. $\mathbf{n} = [n_x, n_y, n_z]^T$ vektörü dA 'nın birim dik vektörü olarak tanımlandığında, $BDC = n_x dA$, $ADC = n_y dA$, $ADB = n_z dA$ olarak ifade edilmektedir. Böylece elemandaki üç eksen yönü boyunca denge göz önüne alındığında T vektörünün bileşenleri denklem (5.13)'den hesaplanmaktadır.

$$\begin{aligned} \sigma_x n_x + \tau_{xy} n_y + \tau_{xz} n_z &= T_x \\ \tau_{xy} n_x + \sigma_y n_y + \tau_{yz} n_z &= T_y \\ \tau_{xz} n_y + \tau_{yz} n_y + \sigma_z n_z &= T_z \end{aligned} \quad (5.13)$$

Bu koşullar, çekişlerin uygulandığı sınır olan S_T 'de sağlanmalıdır ve denklemlerde, nokta yükleri küçük fakat sınırlı alanlara dağıtılmış yükler olarak ele alınmalıdır (Chandrupatla ve Belegundu 2002).

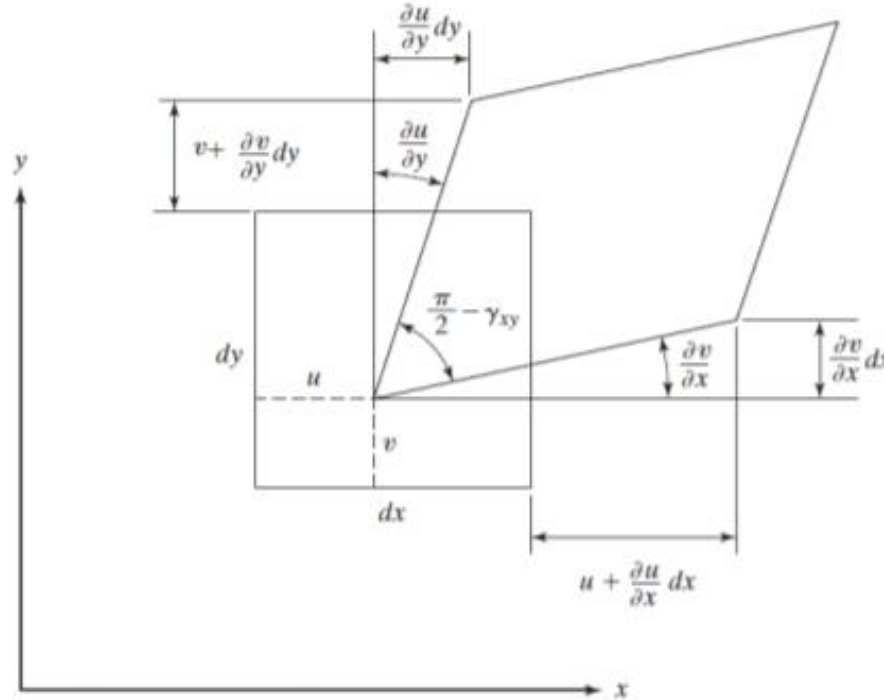
5.1.1.3 GERİNİM-DEPLASMAN İLİŞKİSİ

Denklem (5.14), denklem (5.11)'deki gerilmelere karşılık gelen bir vektör biçiminde temsil edilmektedir.

$$\varepsilon = [\varepsilon_x, \varepsilon_y, \varepsilon_z, \gamma_{xy}, \gamma_{yz}, \gamma_{zx}]^T \quad (5.14)$$

Dikey gerinimler $\varepsilon_x, \varepsilon_y, \varepsilon_z$ ve mühendislik kesme gerinimleri $\gamma_{xy}, \gamma_{yz}, \gamma_{zx}$ olarak ifade edilmiştir. Şekil 9.5'te $dx - dy$ yüzünün küçük deformasyonunu göstermektedir. Tüm yüzeyleri aldığında gerinim bileşenleri denklem (5.15)'deki gibi olmaktadır. Bu gerinim ilişkileri küçük deformasyonlar için geçerlidir (Chandrupatla ve Belegundu 2002).

$$\varepsilon = \left[\frac{\partial u}{\partial x}, \frac{\partial v}{\partial y}, \frac{\partial w}{\partial z}, \frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial y}, \frac{\partial w}{\partial y} + \frac{\partial u}{\partial z}, \frac{\partial w}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial z} \right]^T \quad (5.15)$$



Şekil 5.5: Küçük Deformasyona Uğramış Eleman Yüzeyi (Chandrupatla ve Belegundu 2002)

5.1.1.4 GERİLME-GERİNİM İLİŞKİSİ

Doğrusal elastik malzemeler için, gerilme-gerinim ilişkileri Hook kurallarına, izotropik malzemeler için malzeme özellikleri, Young modülü (E) ve Poisson oranına (ν) bağlı türetilmektedir. Gövde içerisindeki herhangi bir eleman üzerindeki gerilme-gerinim ilişkisi Hook kurallarına bağlı olarak aşağıdaki gibidir.

$$\begin{aligned}\varepsilon_x &= \frac{\sigma_x}{E} + \nu \frac{\sigma_y}{E} + \nu \frac{\sigma_z}{E} \\ \varepsilon_y &= -\nu \frac{\sigma_x}{E} + \frac{\sigma_y}{E} - \nu \frac{\sigma_z}{E} \\ \varepsilon_z &= -\nu \frac{\sigma_x}{E} - \nu \frac{\sigma_y}{E} + \frac{\sigma_z}{E}\end{aligned}\quad (5.16)$$

$$\gamma_{xy} = \frac{\tau_{xy}}{G}$$

$$\gamma_{xz} = \frac{\tau_{xz}}{G}$$

$$\gamma_{yz} = \frac{\tau_{yz}}{G}$$

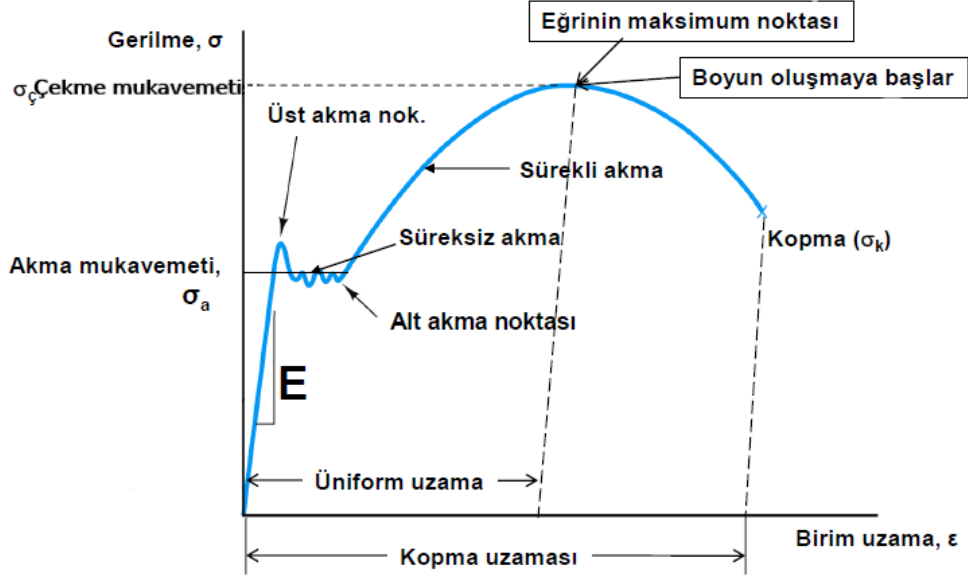
G, rijitlik modülü denklem (5.17)' deki gibi hesaplanmaktadır:

$$G = \frac{E}{2(1+\nu)} \quad (5.17)$$

Hook Kanununa göre (5.16) ilişkilendirildiğinde;

$$\varepsilon_x + \varepsilon_y + \varepsilon_z = \frac{(1-2\nu)}{E} (\sigma_x + \sigma_y + \sigma_z) \quad (5.18)$$

Hook kurallarına bağlı $\boldsymbol{\sigma} = \mathbf{D} \boldsymbol{\varepsilon}$ denklemine, denklem (5.11), (5.14) ve (5.16) yerine konulduğunda aşağıdaki D, simetrik 6x6 matrisi oluşmaktadır (Chandrupatla ve Belegundu 2002). Grafik 5.1 bir parça için gerilme ve gerinim arasındaki ilişkiyi incelerken kullanacağımız gerilme-gerinim diyagramıdır.



Grafik 5.1: Hook Eğrisi (Yıldız 2021)

$$\begin{Bmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \sigma_z \\ \tau_{xy} \\ \tau_{yz} \\ \tau_{zy} \end{Bmatrix} = \frac{E}{(1+\nu)(1-2\nu)} \begin{bmatrix} 1-\nu & \nu & \nu & 0 & 0 & 0 \\ \nu & 1-\nu & \nu & 0 & 0 & 0 \\ \nu & \nu & 1-\nu & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0.5-\nu & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0.5-\nu & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.5-\nu \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \varepsilon_z \\ \gamma_{xy} \\ \gamma_{yz} \\ \gamma_{zy} \end{Bmatrix} \quad (5.19)$$

(5.19), (5.15) ve (5.12) denklemlerinin, (5.13)'teki sınır koşulları altında çözülmesi ile gerilme, gerinim ve yer değişim miktarları bulunmaktadır. Yapısal mühendislik değişimleri ikinci mertebeden kısmi diferansiyel denklemlerin çözümünü gerektirmektedir. Basit geometriler ve sınır koşulları için bu denklemler analitik yöntemlerle çözülebilmektedir. Fakat mühendislikte karmaşık geometrilere ve sınır koşullarına sahip sorunlar karşılaştığı için denklemler sonlu elemanlar yöntemiyle çözülmektedir (Chandrupatla ve Belegundu 2002).

5.1.1.5 VON MİSES GERİLMESİ (EŞ DEĞER GERİLME)

Von-Mises gerilmesi çeşitli matematiksel kanıtlamalar yardımı ile elemanlar üzerinde oluşan gerilmeleri ve kayma gerilmelerin ortalamasıdır ve sünek malzemelerde akma başlangıcını belirlemede kullanılmaktadır. Bu kriter üç boyutta meydana gelen 6 farklı vektörel gerilme bileşenini tek ve sayısal veriye çevirmektedir, böylece bu kriter rahatlıkla malzemenin akma mukavemetiyle kıyaslanmaktadır. Von-

Mises gerilmesinin başarısızlık kriteri, malzemenin akma gerilmesinden daha düşük olması olarak belirtilmektedir.

$$\sigma_{VonMises} \leq \sigma_Y \quad (5.20)$$

Von-Mises gerilmesi, (Denklem 5.20):

$$\sigma_{VonMises} = \sqrt{I_1^2 + 3I_2} \quad (5.21)$$

I_1 ve I_2 gerilmenin ilk iki değişmezidir. Denklem tarafından verilen genel gerilim, (Denklem 5.21):

$$\begin{aligned} I_1 &= \sigma_x + \sigma_y + \sigma_z \\ I_2 &= \sigma_x\sigma_y + \sigma_y\sigma_z + \sigma_z\sigma_x - \tau_{yz}^2 - \tau_{xz}^2 - \tau_{xy}^2 \end{aligned} \quad (5.22)$$

Temel gerilmeler σ_1 , σ_2 ve σ_3 açısından iki değişmez (Denklem 5.22) deki gibi yazılabilir:

$$\begin{aligned} I_1 &= \sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3 \\ I_2 &= \sigma_1\sigma_2 + \sigma_2\sigma_3 + \sigma_3\sigma_1 \end{aligned} \quad (5.23)$$

Denklem 9.16' da verilen Von-Mises gerilmesinin (Denklem 5.23)' deki şekilde ifade edildiğinde kontrol etmesi daha kolay olmaktadır.

$$\sigma_{VonMises} = \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2} \quad (5.24)$$

Düzlem gerilmesinde elimizde, (Denklem 5.24):

$$\begin{aligned} I_1 &= \sigma_x + \sigma_y \\ I_2 &= \sigma_x\sigma_y - \tau_{xy}^2 \end{aligned} \quad (5.25)$$

Düzlem geriniminde ise, (Denklem 5.25):

$$\begin{aligned} I_1 &= \sigma_x + \sigma_y + \sigma_z \\ I_2 &= \sigma_x\sigma_y + \sigma_y\sigma_z + \sigma_z\sigma_x - \tau_{xy}^2 \end{aligned} \quad (5.26)$$

Denklem (5.26) için;

$$\sigma_z = v(\sigma_x + \sigma_y) \quad (5.27)$$

Üç boyutlu elemanda Von-Mises gerilmesi Denklem (5.27)'deki gibi hesaplanmaktadır (Robert 2010). Normal gerilmeleri $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$ ve kayma gerilmeleri $\tau_{xy}, \tau_{yz}, \tau_{zx}$ olarak ifade edilmektedir. Asal gerilmeler ile de hesaplanabilen Von-Mises Gerilmesi üç boyut durumunda birbirine dik olan üç düzlemde sıfır kayma gerilmelerine karşı gelen normal gerilmeler olarak adlandırılmaktadır ($\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$). Sonuç olarak kayma gerilmeleri sıfır olduğu için Von-Mises gerilmesi (9.24)'daki gibi hesaplanmaktadır (Chandrupatla ve Belegundu 2002).

$$\sigma_{VonMises} = \sqrt{\frac{(\sigma_x - \sigma_y)^2 + (\sigma_z - \sigma_y)^2 + (\sigma_x - \sigma_z)^2 + 6(\tau_{xy}^2 + \tau_{xz}^2 + \tau_{yz}^2)}{2}} \quad (5.28)$$

$$\sigma_{VonMises} = \sqrt{\frac{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_3 - \sigma_2)^2 + (\sigma_1 - \sigma_3)^2}{2}} \quad (5.29)$$

5.1.1.6 EXPLICIT VE İMPPLICIT YÖNTEM

Bilgisayar destekli sonlu elemanlar yöntemi ile hareket denklemlerini zamana bağlı sayısal yaklaşımlar elde edilmesi için normal ve kısmi diferansiyel denklemleri Explicit ve İmplicit yöntemleri kullanılmaktadır. Explicit yöntem ile çözüm yapılırken, sistemin gelecek zamandaki durumunu o andaki durumundan hesaplarken, implicit yönteminde, sistemin hem mevcut durumunu hem de ileri zamandaki durumunu içeren bir denklemi çözerek hesaplamaktadır. Statik ve yarı statik analizler implicit yöntemi, çarpışma gibi yüksek gerilme ve deformasyon veya yüksek hızlara maruz kalan ve kısa zaman dilimlerinde gerçekleşen dinamik analizler için explicit dinamik yöntemi tercih edilmektedir (Shepardson 2012).

Sayısal yaklaşımlarda, $Y(t)$ mevcut sistem durumu, $Y(t + \Delta t)$ sonraki zamandaki durumu ve Δt küçük bir zaman adımı olarak ifade edildiğinde, Explicit yöntem için

$$Y(t + \Delta t) = F(Y(t)) \quad (5.30)$$

İmplicit yöntem için denklem (9.26) çözüldüğünde $Y(t + \Delta t)$ elde edilmektedir.

$$G(Y(t), Y(t + \Delta t)) = 0 \quad (5.31)$$

İmplicit yöntemler ekstra bir hesaplama gerektirmekte ve uygulanması zordur. İmplicit yöntemler ile sonuçtaki hatayı sınırlı tutmak için (Δt) küçük zaman adımları kullanılmaktadır. Böylece pratikte ortaya çıkabilecek birçok sorunun önüne geçilmektedir. Belirli bir doğruluğa ulaşmak için, her zaman adımında denklem (5.30)'un çözülmesi gerektiği hesaba katılsa bile, daha büyük zaman adımlarına sahip implicit yöntemi kullanmak hesaplama süresini iyileştirecektir. Ayrıca, modelin çözülmesinde explicit veya implicit yöntem kullanılırsa çözülecek problem belirleyicidir.

İmplicit yöntem her tür diferansiyel operatör için gerçekleştirilemediği için, bazen operatör bölme yöntemi olarak adlandırılan yöntemden yararlanılması önerilmektedir. Bu, diferansiyel operatörün iki tamamlayıcı operatörün toplamı olarak yeniden yazılması anlamına gelmektedir.

$$Y(t + \Delta t) = F(Y(t + \Delta t)) + G(Y(t)) \quad (5.32)$$

Biri explicit, diğeri implicit olarak kullanılan denklem; olağan uygulamalar için implicit bölüm doğrusal olarak seçilirken, explicit bölüm doğrusal olmayabilir.

Lagrange yönteminde modelin ağ yapısındaki deformasyonlar malzeme yapısında kaymalara neden olmakta ve böylece kütlenin korunması sağlanmaktadır (5.32). Modelin herhangi bölgesinin herhangi bir zamandaki yoğunluk miktarı, modelin anlık hacmi ve başlangıç kütesine, momentum korunması ivme-gerilme tensörüne bağlıdır (5.33). Enerji korunumu ise denklem (5.34)'de belirtilmiştir (Bathe ve Wilson 1976).

Kütlenin korunumu,

$$\frac{\rho_0 V_0}{V} = \frac{m}{V} \quad (5.33)$$

Momentumun korunumu,

$$\begin{aligned} \rho \ddot{x} &= b_x + \frac{\partial \sigma_x}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_{xy}}{\partial y} + \frac{\partial \sigma_{xz}}{\partial z} \\ \rho \ddot{y} &= b_y + \frac{\partial \sigma_{yx}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_y}{\partial y} + \frac{\partial \sigma_{yz}}{\partial z} \\ \rho \ddot{z} &= b_z + \frac{\partial \sigma_{zx}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_{zy}}{\partial y} + \frac{\partial \sigma_z}{\partial z} \end{aligned} \quad (5.34)$$

Enerjinin korunumu,

$$\dot{e} = \frac{1}{\rho} (\sigma_x \dot{\epsilon}_x + \sigma_y \dot{\epsilon}_y + \sigma_z \dot{\epsilon}_z + 2\sigma_{xy} \dot{\epsilon}_{xy} + 2\sigma_{yz} \dot{\epsilon}_{yz} + 2\sigma_{zx} \dot{\epsilon}_{zx}) \quad (5.35)$$

Explicit dinamik yönteminde analizlerde kütle ve momentum denklemlerinin korunması zorunludur ancak çok iyi modellenmemiş sistemde enerji denkleminin korunması zorunlu değildir.

Sistemin $t = n$ anında ayrı ayrı hareket denklemleri (5.35)'de belirtilmiştir. Denklemden M kütle matrisi, \ddot{x} düğüm noktalarındaki ivme bileşeni, P dış ve gövde kuvvetleri, F gerilim ıraksama vektörü ve H hourglass direncini temsil etmektedir (Önoğlu 2018). (5.36)'da $t = n - 1/2$ anında ivmeler belirlenmiş ise, $t = n + 1/2$ 'deki hız denklemleri hesaplanmaktadır. Konum denklemleri denklem (5.37)'de gösterilmiş ayrıca (5.34) hız denklemlerinin integrali alındığında da elde edilmektedir.

$$M\ddot{x}^n = P^n - F^n + H^n \quad (5.36)$$

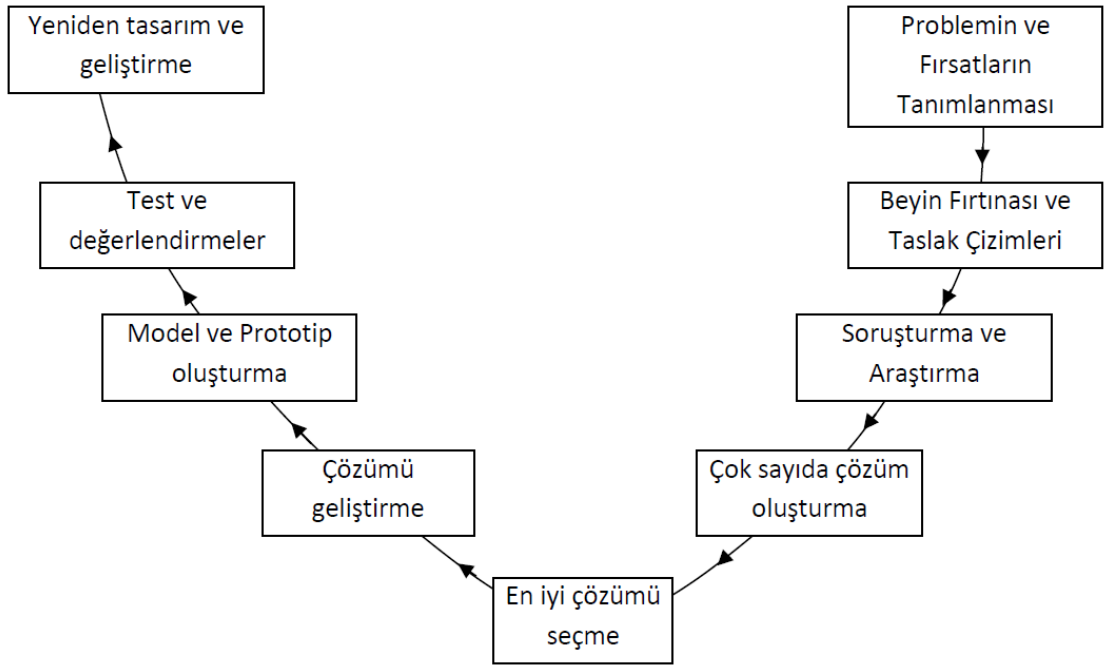
$$(\dot{x}_i)^{n+1/2} = (\dot{x}_i)^{n-1/2} + (\ddot{x}_i)^n \Delta t^n \quad (5.37)$$

$$x_i^{n+1} = x_i^n + (\dot{x}_i)^{n+1/2} \Delta t^{n+1/2} \quad (5.38)$$

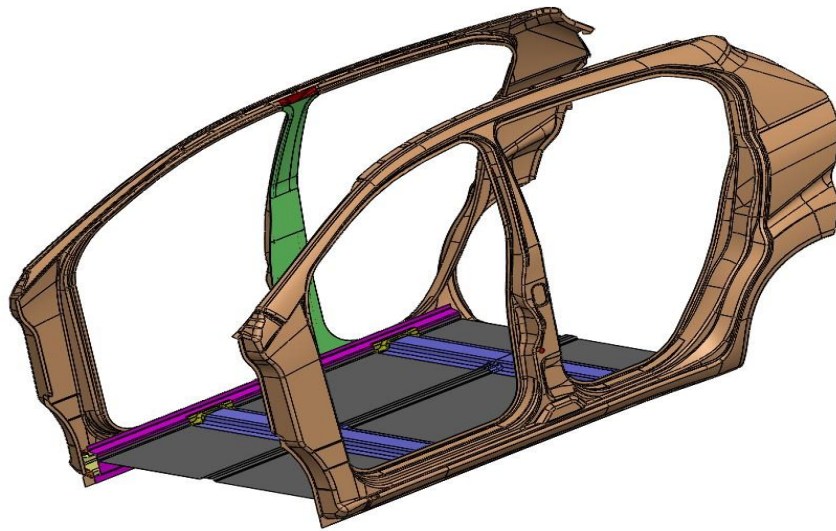
5.2 ŞAŞİ TASARIM SÜRECİ

Çalışma, parçanın tasarımı ve sonlu elemanlar yöntemi ile analizi olmak üzere iki aşamadan oluşmaktadır. Herhangi bir ürünün üretimine başlanmadan önce tasarım sürecinden geçmesi gerekmektedir. Parçanın tasarım aşamasında kullanılacağı yerdeki görevine uygun olacak şekilde tasarım gerçekleştirilmesi hedeflenmektedir. Tasarlanan modelde üretilebilirlik, işlevsellik ve estetik gibi özellikler göz önünde bulundurulmuştur. Gerçekleştirilen tasarımın uygulanacak analizler öncesi kullanılacağı bölgedeki görevini yerine getirip getiremeyeceği belli değildir. Tasarımın doğruluğuna karar verilebilmesi için gerekli mühendislik hesaplarının ve analizlerinin yapılması gerekmektedir. Mühendislik tasarımı Tablo 5.3' teki adımları takip ederek tamamlanmaktadır. Modeller SolidWorks programında tasarlanarak ANSYS Workbench programında analizlerinin yapılması için step formatında kaydedilmiştir.

Tablo 5.3: Tasarım Süreci Aşamaları (15.URL)

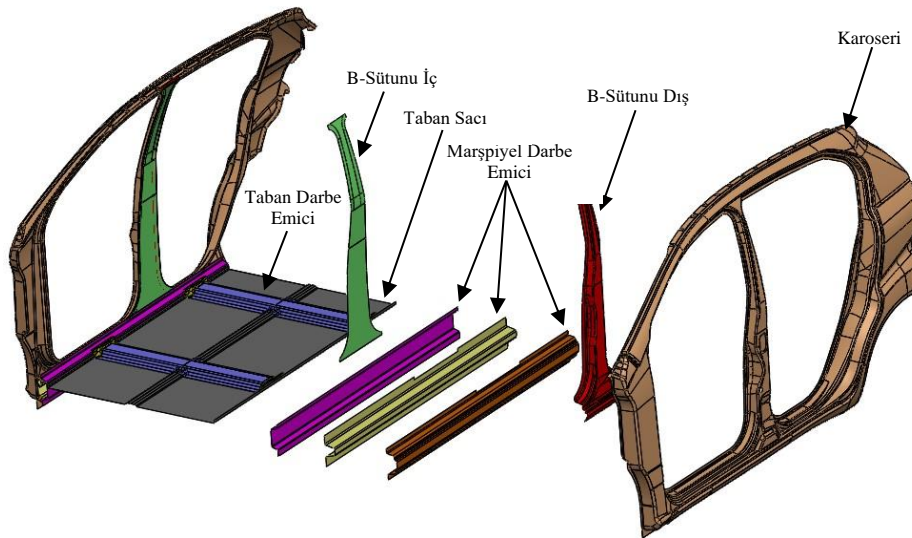


Döngüde cevabını merak ettiğimiz sorulara uygun çözümü belirledikten sonra çözümü geliştirmeye yönelik adımlar belirtilmektedir. Tasarlanan model deneme modelleri oluşturma, test etme ve geliştirme adımlarından geçtikten sonra Şekil 10.1'deki halini almıştır. Şasi tasarımında temel amaç daha fazla enerji emebilen, çarpışma kuvvetleri minimuma indirilerek canlı yaşam alanına zarar vermeyecek yapılar tasarlamaktır. Bu hususlar göz önünde bulundurularak, taslak çizimlerden nihai modele kadar devam eden tasarım süreci yapılan test, analizler ve araştırmalar ile tamamlanmıştır.



Şekil 5.6: Konvansiyonel Araç Şasi Tasarımı

Konvansiyonel araç şasisinin tasarımı sürecinde TSE standartlarına uygun olacak şekilde MARTOY Yönetmeliği göz önünde bulundurularak gerçekleştirilmiştir. Yönetmelik gereği 1. Sınıf M1 sınıfı AB gövde tipine sahip hatchback 5 kapı araç şasisi olarak tasarlanmıştır. Tasarım sürecinde şasiden hafif, kazalara karşı mukavemet sağlayabilir, düşük maliyetli, üretilebilir, minimum sayıda parçadan oluşması ve son olarak bir kuvvete maruz kaldığı zaman kuvveti karşılayabilecek direnci sağlayabilir bir sisteme sahip olması hedeflenerek tasarlanmıştır. Bu unsurlar sebebiyle Şekil 5.7’de görüldüğü gibi araçların kaza anında yandan gelebilecek büyük kaza etkilerini engelleyebilmesi amacıyla 3 farklı yapıda darbe sönümleyici parça düşünülmüş, üretilebilir olması için daha karmaşık yüzeylere sahip yapılar yerine daha basit parçalar kullanılarak bir konvansiyonel aracın şasi tasarımı tamamlanmıştır.



Şekil 5.7: Konvansiyonel Araç Şasi Tasarımının Açınımı

Ayrıca yaşam alanını arttırmak amacı ile daha çok eski dönem araçlarda karşılaşılan araç tabanında bulunan şaft tüneli ortadan kaldırılmıştır. Şasiyi oluşturan parçaların tasarımında üretilebilirlik, hafiflik, yakıt tasarrufu ve darbe sönümlenme mesafesi göz önüne alındığında malzeme olarak darbe emici parçalarda düşük alaşımlı çelik AISI 4150, diğer parçalarda ise Al 7075-T6 tercih edilmiştir.

Tablo 5.4: AISI 4150 Malzeme Özellikleri (Ansys GRANTA EDUPACK, CES EduPack 2019)

Yoğunluk	$7,9e^3 \text{ kg/m}^3$
Possion Oranı	0,295
Elastisite Modülü	212 GPa
Gerilme Kuvveti	$1,27e^3 \text{ MPa}$
Akma Dayanımı	810 MPa
Uzaman Yüzdesi	14 % strain

Tablo 5.5: Al 7075-T6 Malzeme Özellikleri (Ansys GRANTA EDUPACK, CES EduPack 2019)

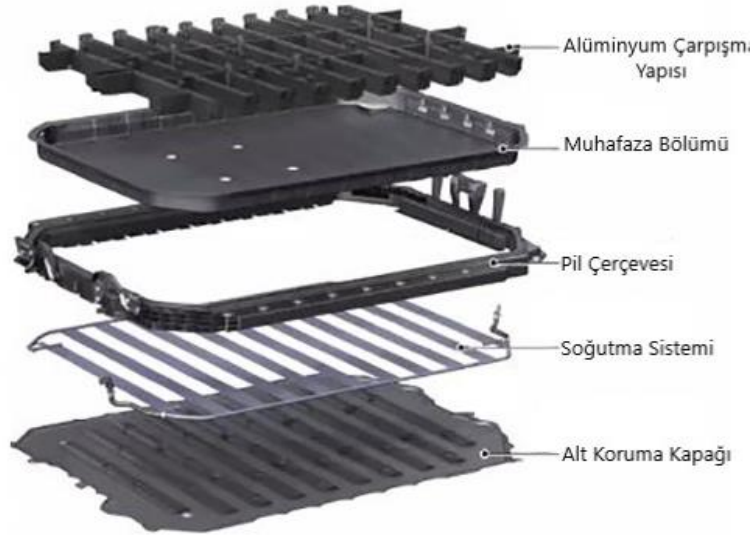
Yoğunluk	$2,83e^3 \text{ kg/m}^3$
Possion Oranı	0,335
Elastisite Modülü	76 GPa
Gerilme Kuvveti	580 MPa
Akma Dayanımı	530 MPa
Uzaman Yüzdesi	10 % strain

Elektrikli araçlarda araç ağırlığının büyük bir bölümünü pillerin ağırlığı oluşturmaktadır. Günümüzde araç tipi ve tasarım ihtiyaçlarına göre araç şasi tasarımları Şekil 5.8'deki gibi değişiklik göstermektedir.

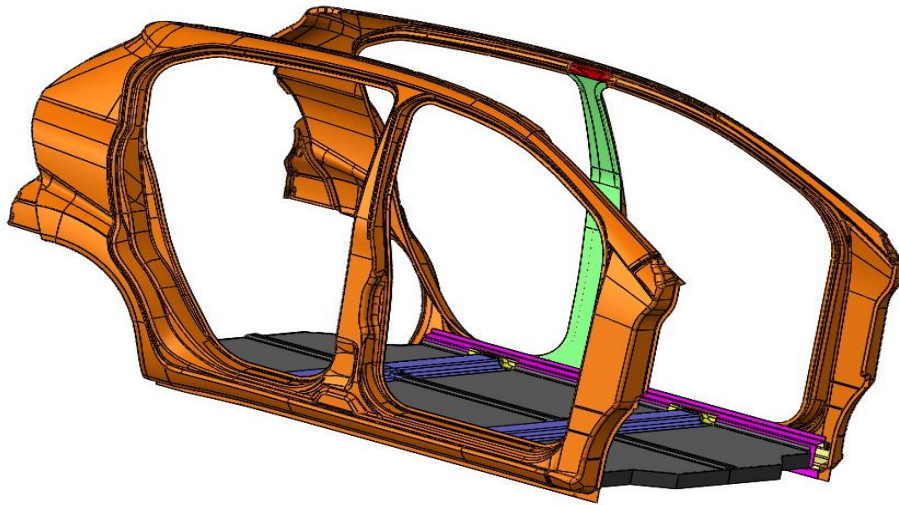


Şekil 5.8: Farklı Elektrikli Araç Markalarının Şasi Tasarımları (5.URL)

Tasarımı tamamlanan konvansiyonel araç şasisi Şekil 5.8 ve Şekil 5.9 dikkate alınarak gerçekleştirilen tasarım ile Şekil 5.10'da gösterilen elektrikli araç şasisine dönüşümünü tamamlamıştır.



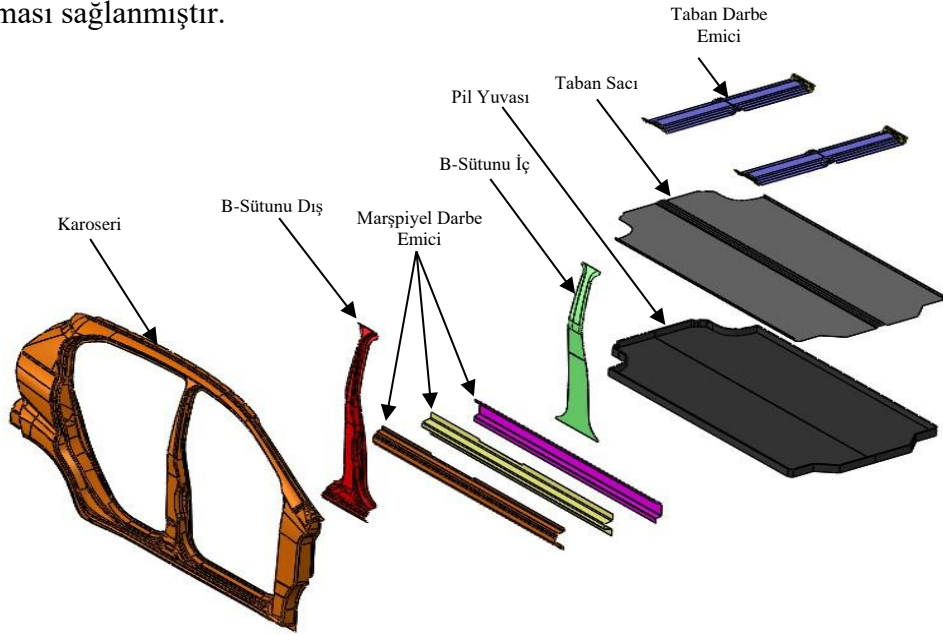
Şekil 5.9: Elektrikli Aracın Pil Yuvası Yapısı (20.URL)



Şekil 5.10: Elektrikli Araç Şasi Tasarımı

Pillerin araç içerisindeki dağılımı şasisinin tasarımını etkilemektedir. Fakat çalışmada her iki tip şasi deformasyonunun kıyaslanabilmesi adına konvansiyonel araç şasi tasarımının ilerleyen süreçte elektrikli araç şasisine basit adımlarla evirilebilmesi öngörülerek Tablo 5.3'teki mühendislik tasarım aşamaları izlenmiştir.

Tasarlanan elektrikli araç şasi tasarımı sürecinde TSE standartlarına uygun olacak şekilde MARTOY Yönetmeliği göz önünde bulundurularak gerçekleştirilmiştir. Yönetmelik gereği 1. Sınıf M1 sınıfı AB gövde tipine sahip hatchback 5 kapı araç şasisi olup piller tabana yerleştirilmiştir. Hatchback 5 kapı Şekil 5.11’ de açılımı verilen modelde; pillerin, aracın tabanına konumlandırılması ile konvansiyonel araçlardaki öne dağılmış yükün, elektrikli araçlarda aracın tabanına yayılması sağlanmıştır.



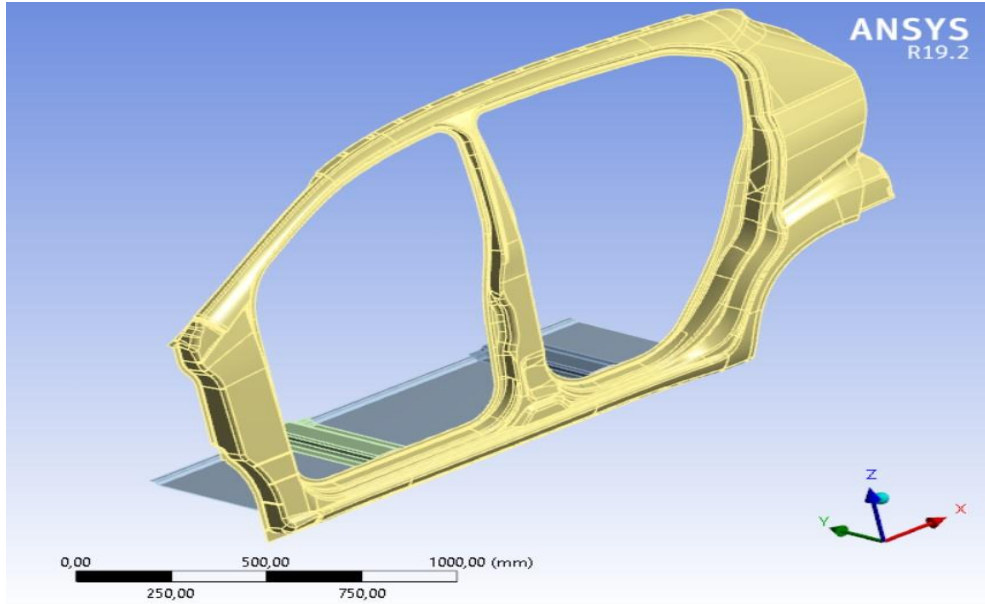
Şekil 5.11: Elektrikli Araç Şasi Tasarımının Açılımı

Böylece elektrikli araçların konvansiyonel araçlara göre daha iyi yol tutması ve dengeye sahip olması sağlanmaktadır. Ayrıca aracın hareket edebilmesi için herhangi bir güç aktarma organına ihtiyacı yoktur ve böylece konvansiyonel araç tabanında bulunan şaft tüneli ortadan kaldırılarak yaşam alanı artırılmıştır.

Tasarımı tamamlanan elektrikli araç şasisi, üstlendikleri görev açısından emisyonların olabildiğince düşürülebilmesi için kullanılan malzemenin üretim, kullanım, bakım ve geri dönüşüm aşamalarına da dikkat edilmesi gerekmektedir. Elektrik enerjisini depoladığı pillerden kaynaklı fazla ağırlık malzeme seçimini etkilemektedir. Malzemenin hafif olması, hammaddeyi ürüne dönüştürmek için uygulanan işlemlerde çevreci olması, ömürlerini tamamladıktan sonra geri dönüştürebilir olması ve deformasyon mesafesinin kısa olması amaçlanmaktadır. Bu gibi etkenler göz önüne alındığında malzeme olarak darbe emici parçalarda ve pil yuvasında AISI 4150, diğer parçalarda ise Al 7075-T6 tercih edilmiştir.

6. BULGULAR ve TARTIŞMA

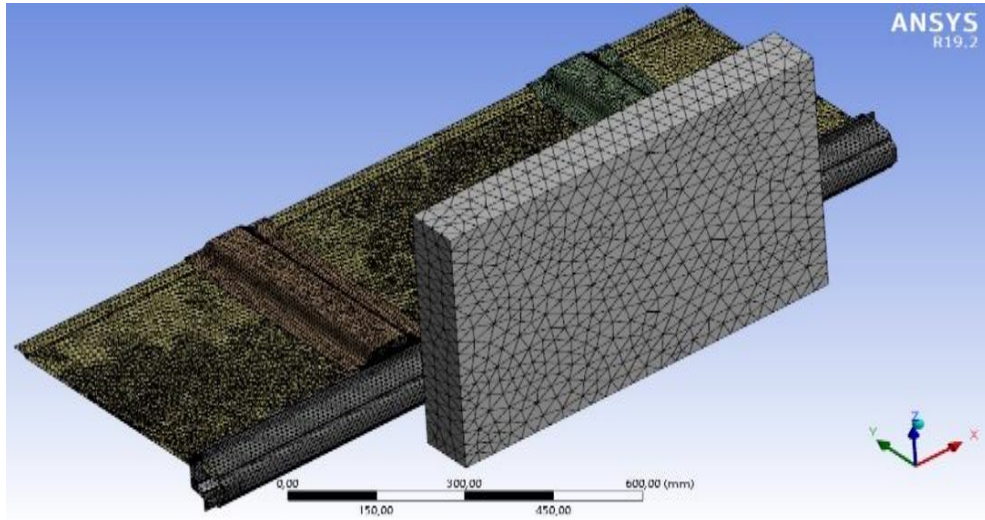
Sonlu Elemanlar Metodu mühendislik alanında karşılaşılan birçok problemin çözümünde en etkin ve yaygın kullanılan sayısal metottur. Sonlu Elemanlar Metodu karmaşık yapıların, üzerinde hesaplama yapılabilecek daha küçük yapılar ile modelleme esasına göre çalışmaktadır. Sonlu elemanlar analizinin amacı, çözümü evrensel kümede aramak yerine küçük bir alt kümeye indirgemektir. Bu sayede doğru sonuçlara daha kısa ve doğru şekilde ulaşılabilir. Tasarlanan model, analize hazır hale getirilmelidir. Şekil 6.1’de tasarlanan modelin Explicit modülünün sonlu elemanlar arayüzü gösterilmektedir. Bu bölümde iki farklı tip şasi için yandan çarpışma analizleri gerçekleştirilerek elde edilen sonuçlar incelenmiş ve karşılaştırılmıştır.



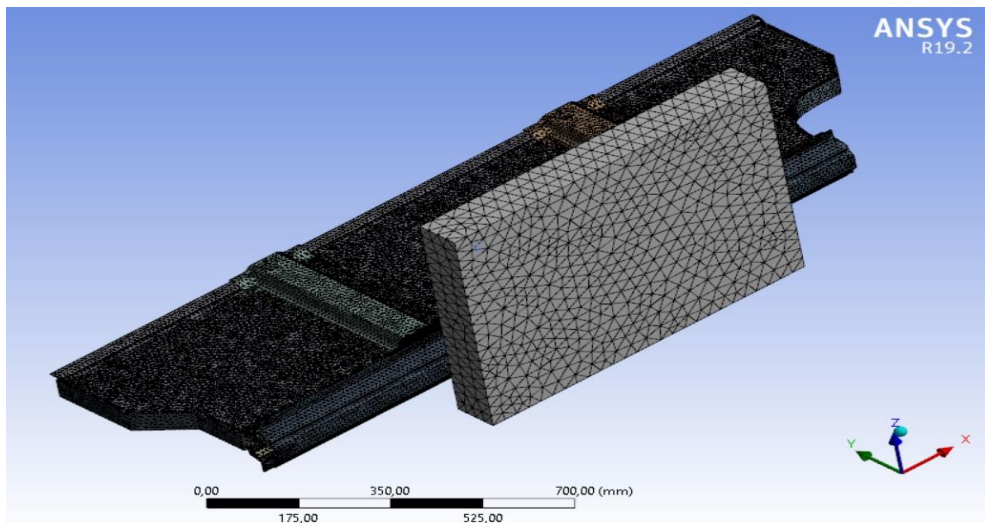
Şekil 6.1: Sonlu Elemanlar Arayüzü

Tasarlanan araç şasi modellerinin analize uygun bir sonlu eleman modelini elde etmek için öncelikle uygun geometrik model oluşturulmalı, tanımlı malzeme seçilmeli, doğru tip ve sayıda mesh oluşturulmalıdır. Ayrıca yükleme şartları için analizin ilk hız, yerçekimi ivmesi, sabitlenmiş elemanlar, rijit veya şekil değiştirebilen gövdeler, sistem elemanları arasındaki sürtünmeler, sisteme etkiyen sabit kuvvetler veya momentler gibi hususlardan oluşan başlangıç ve sınır şartları belirlenmelidir. Fakat sonlu elemanlar metodu ile yapılan analizler ile gerçek deneylerle yapılan analiz sonuçları birebir çıkmayacaktır. Bunun nedeni gerçek hayattaki şartların bilgisayar modeline aktarılmasının imkânsız olmasıdır.

Sonlu elemanlar metodundaki temel çalışma mantığı, karmaşık bir problemi basite indirgeyerek çözümünü ulaştırmaktır. Model küçük parçalardan oluşan temel elemanlara bölünür. Elemanların köşelerinde düğüm noktaları modelin analiz sırasında ortaya çıkan gerilme seviyelerini vermektedir. Analiz sonuçları bu noktaların üzerindeki değerlerdir. Tasarlanan şasi ve modelleme metoduna göre mesh tipleri farklı alınabilir. Sonlu eleman modeli çizgi şeklinde, düzlem şeklinde ve katı model şeklinde tercih edilebilir. Modelleme şekline göre eleman tipi değişiklik göstermektedir. Böylece analiz hızlı ve sonuçlar verecektir. Şekil 6.2 ve Şekil 6.3'te görüldüğü gibi aracın darbe alacağı kısımlar rijit duvara göre daha yoğun olarak mesh işlemi uygulanmıştır. Fakat yanlış boyut seçimi, hatalı sonuçlara sebep olmaktadır. Dolayısıyla yapılacak herhangi bir mesh hatası ya simülasyonu çalıştırmayacak ya da hatalı sonuçlar verecektir.

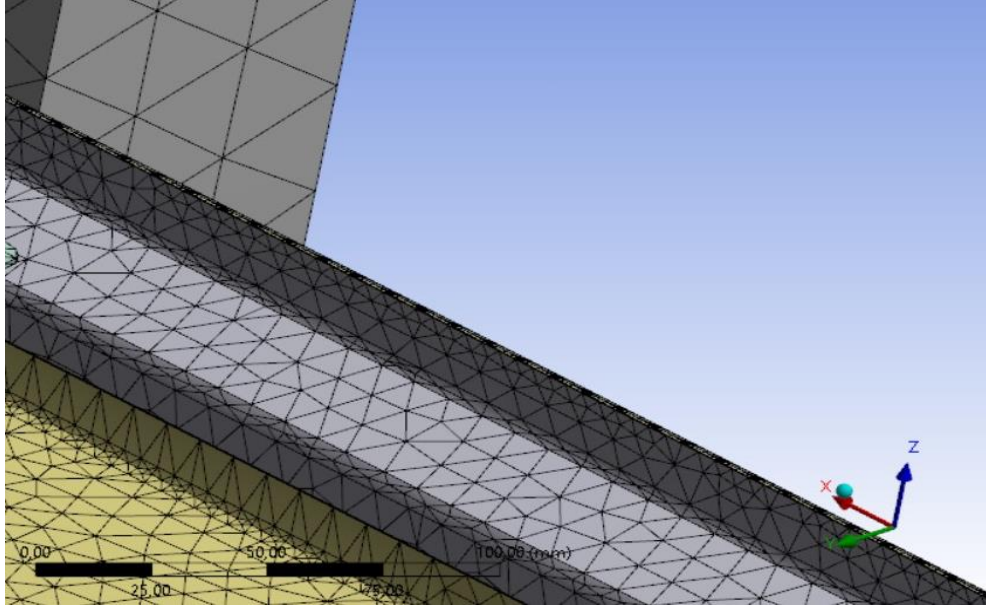


Şekil 6.2: Konvansiyonel Araç Şasisinin Mesh İşlemi

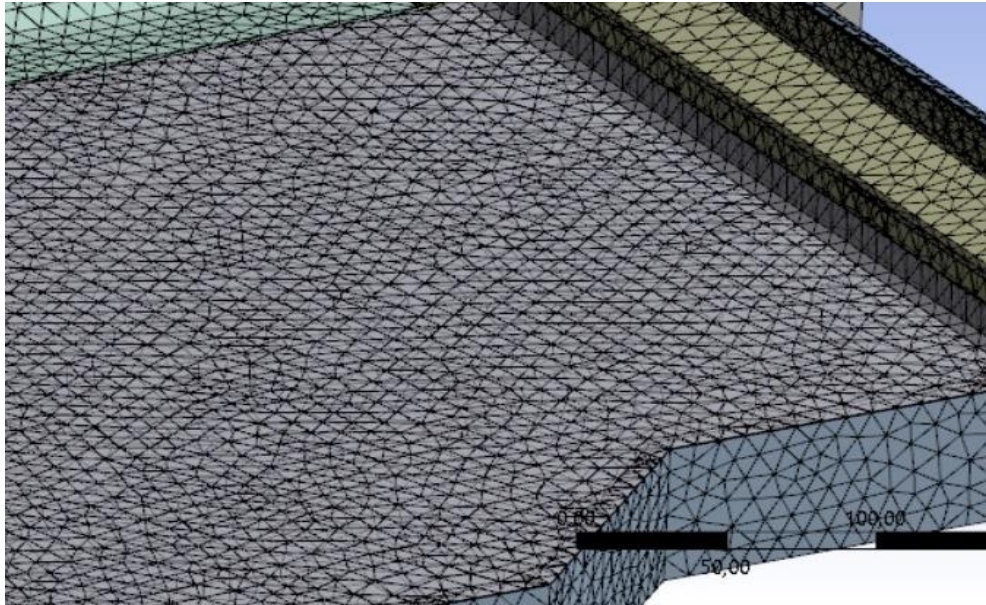


Şekil 6.3: Elektrikli Araç Şasisinin Mesh İşlemi

Sonlu eleman modelleri oluşturulurken, sonuçlardaki istenilen doğruluk ve analiz süresi de göz önüne alındığında mesh metodu olarak Tetrahedrons metodu tercih edilmiştir. Ayrıca mesh kalitesi Fine olarak belirlenerek ilk mesh işlemi başlatılmıştır. Başlangıç olarak Şekil 6.4 ve Şekil 6.5'te sonlu elemanlar ağ yapısı gösterilmiştir.

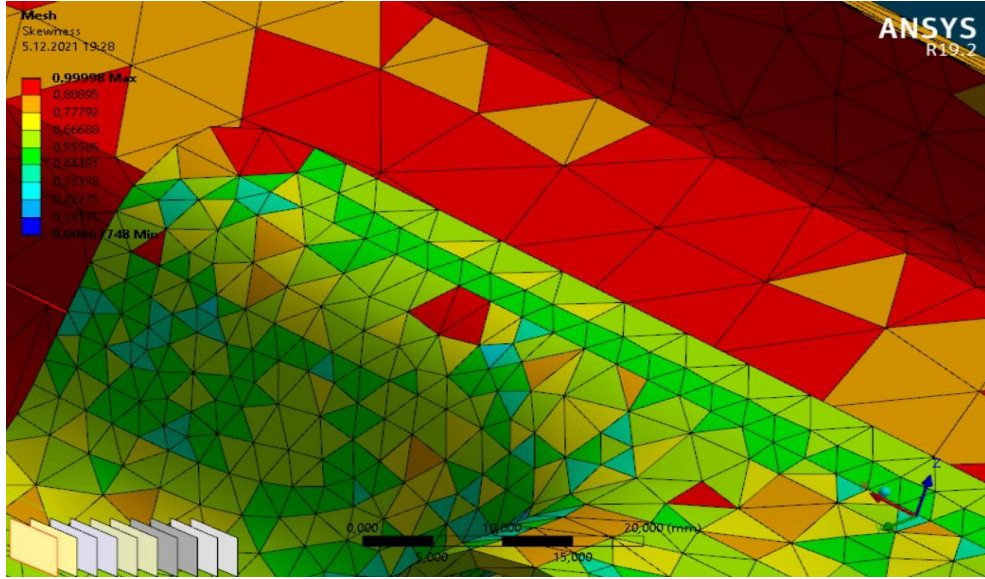


Şekil 6.4: Konvansiyonel Araç Şasisinin Detay Mesh İşlemi



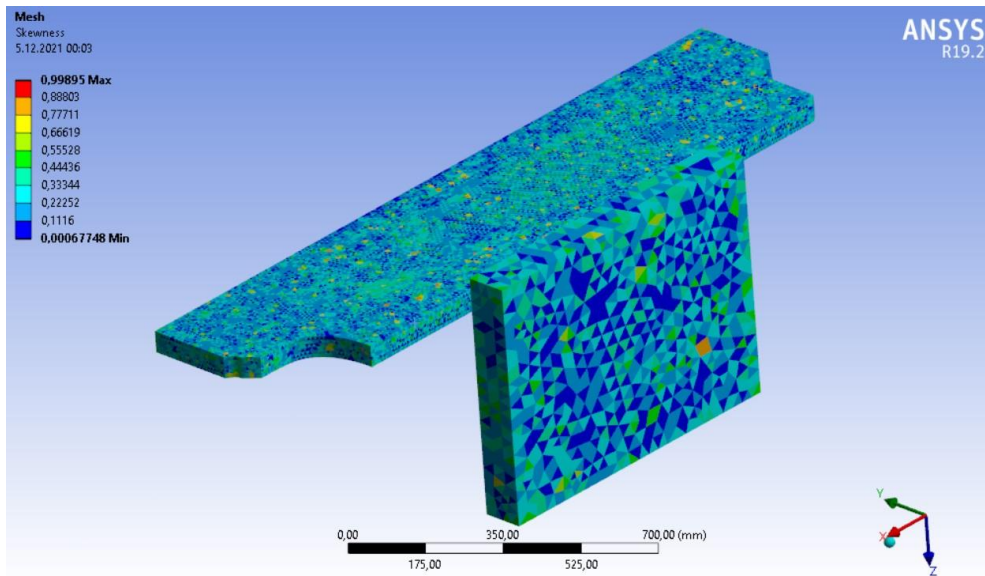
Şekil 6.5: Elektrikli Araç Şasisinin Detay Mesh İşlemi

Bu aşamadan sonra gerçekleşen mesh işleminin doğruluğunu ve kalitesini değerlendirmek için Skewness kriteri tercih edilmiştir. İlk mesh işleminin Skewness kriterine göre Şekil 6.6’ da görüldüğü üzere kabul edilemez olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 6.6: Skewness Kriterine Göre Mesh Kalitesinin Değerlendirilmesi

Bu şekilde analize başlanması hem analizin doğruluğunu hem de analiz süresini doğrudan etkileyecektir. Durumun düzeltilmesi için tespit edilmiş yüzeylere, noktalara ve çizgilere uygun lokal mesh işlemleri uygulanarak Skewness kriterine göre değerlendirildiğinde Şekil 6.7’deki mükemmel yakın mesh elde edilmiştir.

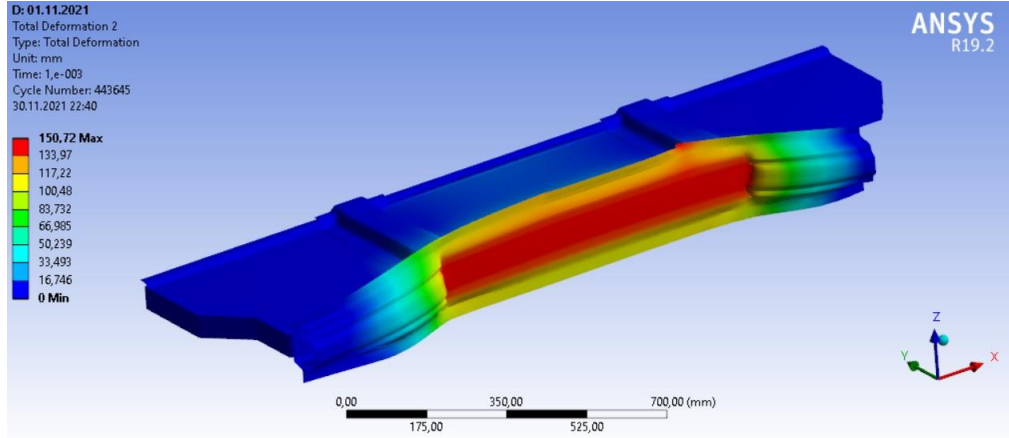


Şekil 6.7: Skewness Kriterine Göre Mesh Kalitesinin Değerlendirilmesi

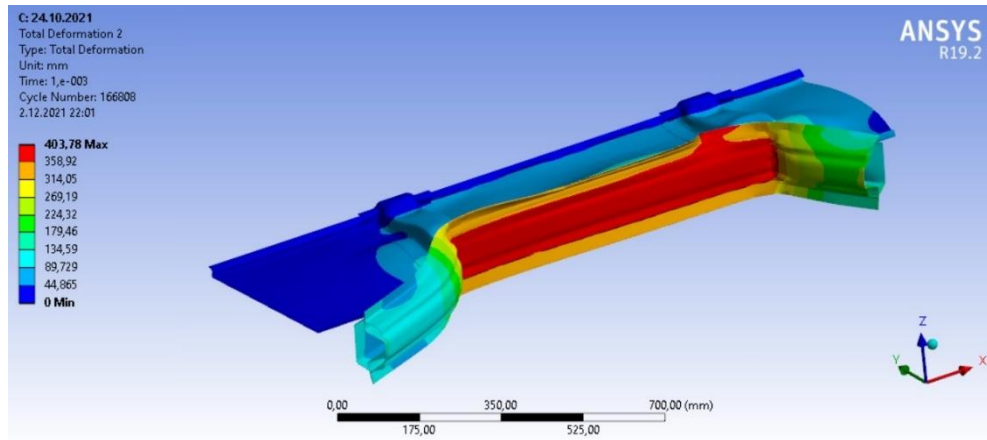
Mesh işlemi sonrasında yapının gerçek çalışma koşullarına uygun yük ve sınır şartları belirlenmektedir. Kuvvet, moment, yer çekimi ivmesi gibi yükler, kontak bölgeleri ve sınır şartları belirlenir. Araç şasislerine belirli şartlarda dayanımı yükleme koşullarına bağlı olmaktadır. Araç şasislerinin bu zorlamalar karşısında yeterli dayanıma sahip olmaları gerekmektedir. Bu durumlar Euro NCAP standardında belirtilen yük durumları altında belirlenmiştir. Bu sebeple analizler sonucunda elde edilen gerilimlerin, malzeme akma gerilimlerinin altında olması gerekmektedir. Ayrıca araç şasisinin kaza anında oluşan darbeleri yaşam alanında bulunan canlılara zarar vermeden sönmüleyerek ortadan kaldırması beklenmektedir.

Tasarlanan şasisler analiz süresini azaltmak için ANSYS Workbench programına şasenin yarısı tanımlanmış fakat analiz başlamadan önce simetrisi alınmıştır. Bu sayede analiz süresi oldukça azalmıştır. Yapıda kullanılan malzemeler Flexible olarak belirlenmiştir. Bu sayede analiz sonuçlarında tasarlanan yapının olabilecek deformasyon durumları ortaya çıkacaktır. Tanımlanan modellerde Fixed Support modülü ile sabitlenmiştir. Analiz programında bulunan Contacts modülü ile yapı kaynak metodu kullanılarak montajlanacağı tanımlanmıştır. Araç şasisleri ile çarpışmayı gerçekleştirecek duvar rijit olarak tanımlanmış olup araca doğru 1000 kg ağırlığa sahip Yan Darbe Testi ve Kutup Darbe Testinde belirlenen hız sınırlarının ortalaması alınarak 40 km/h hız tanımlanmasından sonra 3 ile 5 saat arasında süren analiz çözümlemesi tamamlandığında, program analiz sonuçlarını raporlamaktadır.

Çalışmanın bu kısmında aracın darbeye karşı nasıl davrandığı ve darbeyi sönmülemek için hangi parçalardan destek aldığı tespit edilmiştir. Şekil 6.8 ve Şekil 6.9'da görüldüğü üzere aracın tampon bölgesi, darbenin etkisiyle en fazla hasara uğrayan bölümdür.

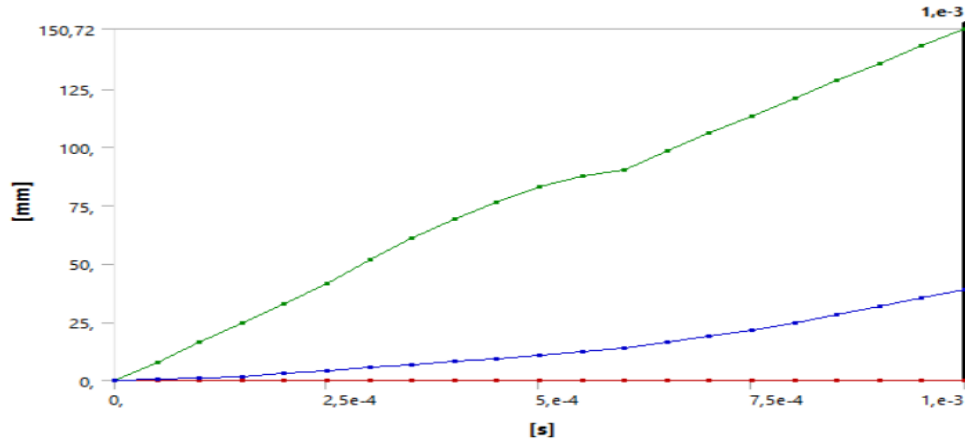


Şekil 6.8: Elektrikli Araç Şasisi 40km/h Çarpışma Analizi

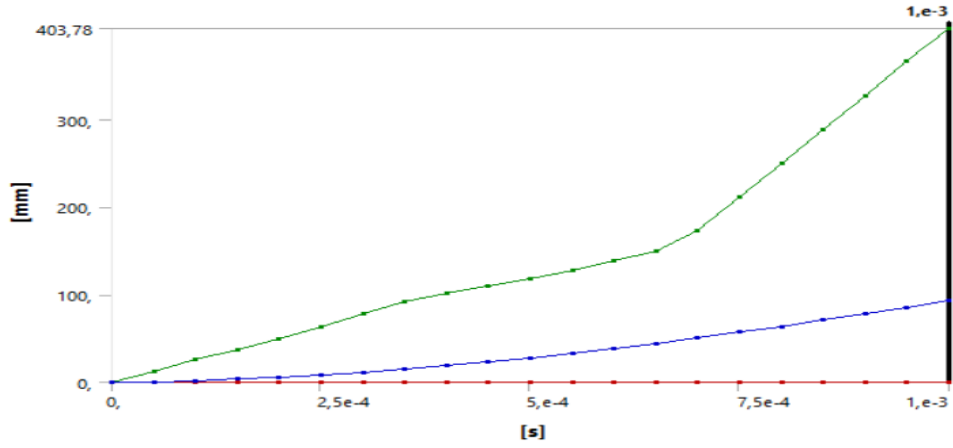


Şekil 6.9: Konvansiyonel Araç Şasisi Deformasyon-Zaman Grafiği

Grafik 6.1 ve Grafik 6.2'deki grafiklere bakıldığında konvansiyonel araç şasisi 403,78 mm deformasyona uğrarken elektrikli araç şasisi 150,72 mm deformasyona uğramıştır. Elektrikli araç şasisinde oluşan bu olağan üstü performans elektrikli araçlarda tabana yerleştirilmiş piller ile sağlanmıştır.



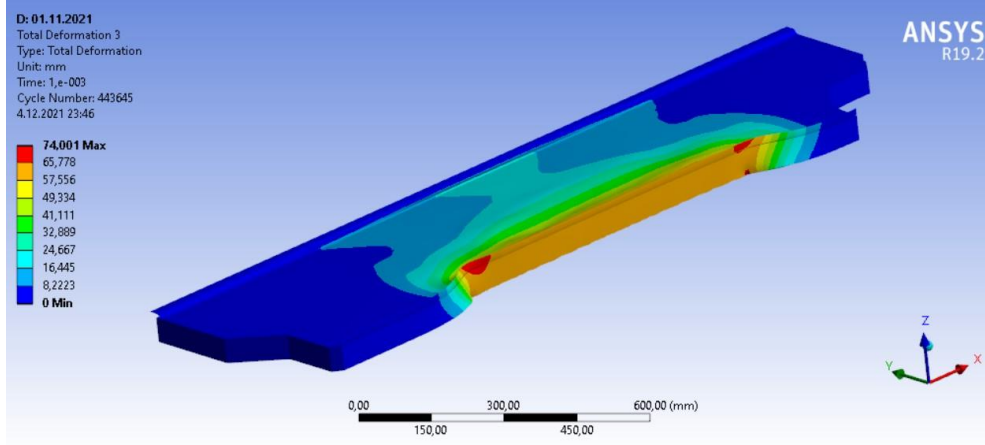
Grafik 6.1: Elektrikli Araç Şasisi Deformasyon-Zaman Grafiği



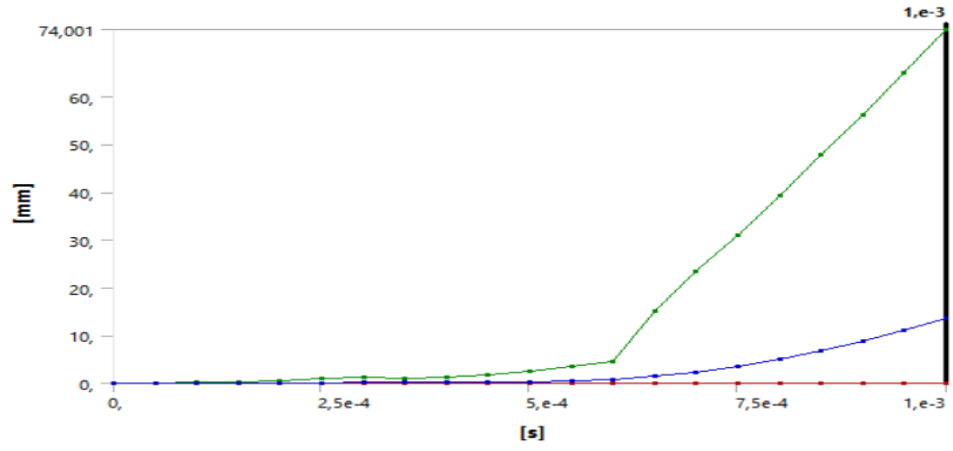
Grafik 6.2: Konvansiyonel Araç Şasisi 40km/h Çarpışma Analizi Grafiği

Pil yuvaları gelebilecek darbelere karşı oluşabilecek olumsuz durumların önüne geçilebilmesi için oldukça sağlam yapılara sahiptirler. Bu yapı yalnızca elektrikli araçların enerji kaynağı olan pilleri korumakla kalmamış Şekil 6.8, Şekil 6.9 ve Grafik 6.1 ve Grafik 6.2’de görüldüğü üzere aracın çarpışma anında yandan gelen darbeleri büyük bir farkla sönümleyerek aracın çarpışma anında yaşam alanında bulunan canlılara zarar verme ihtimalini ortadan kaldırdığı belirlenmiştir. Fakat konvansiyonel araç şasisinin kabul edilemez biçimde deformasyona uğradığı tespit edilmiştir.

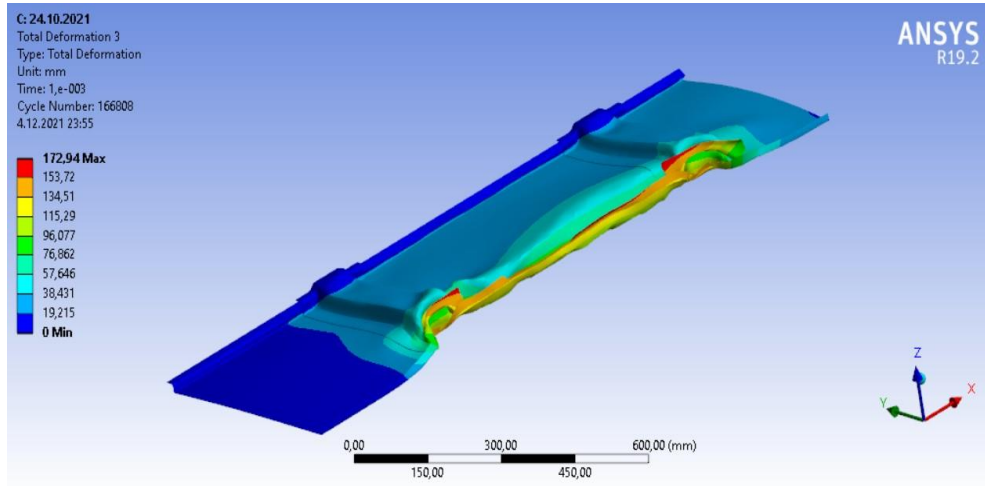
Şekil 6.10 ve Şekil 6.11’e ait deformasyon grafikleri Grafik 6.3 ve Grafik 6.4’te gösterilmiştir. Grafikler incelendiğinde zamana bağlı olarak araçtaki deformasyonun sürekli arttığı görülmektedir. Deformasyonun artması olumsuz bir sonuç olarak görülse de asıl istenen etki bu şekildedir. Çünkü araç deformasyonu sırasında üzerine gelen yükleri böylece sönümleyebilmektedir. İstenmeyen durum ise; gelen herhangi bir darbenin araçtaki yaşam alanına etki etmesidir. Yapılan analizlerde aynı tampon darbe emici parçalarının belli bir oranda sönümlediği yükün kalan bölümünü pil yuvası minimum deformasyon ile sönümleyen, konvansiyonel araç şasisi yaşam alanında bulunan canlıların hayatını tehlikeye atacak uzunluktaki mesafede sönümleyebilmektedir. Elektrikli araçlarda bu durumun önüne geçilebilmesindeki en büyük etkenin pil yuvasına sahip olmasıdır.



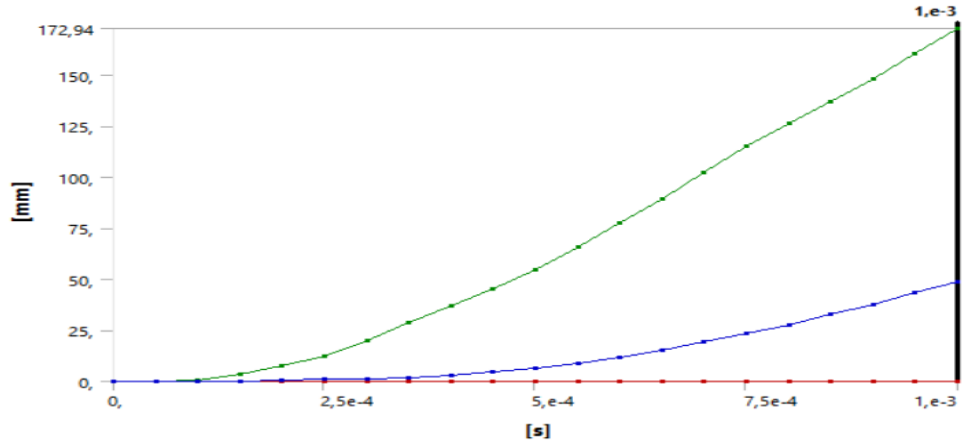
Şekil 6.10: Elektrikli Araç Pil Yuvası Deformasyonu



Grafik 6.3: Elektrikli Araç Pil Yuvası Deformasyon Grafiği

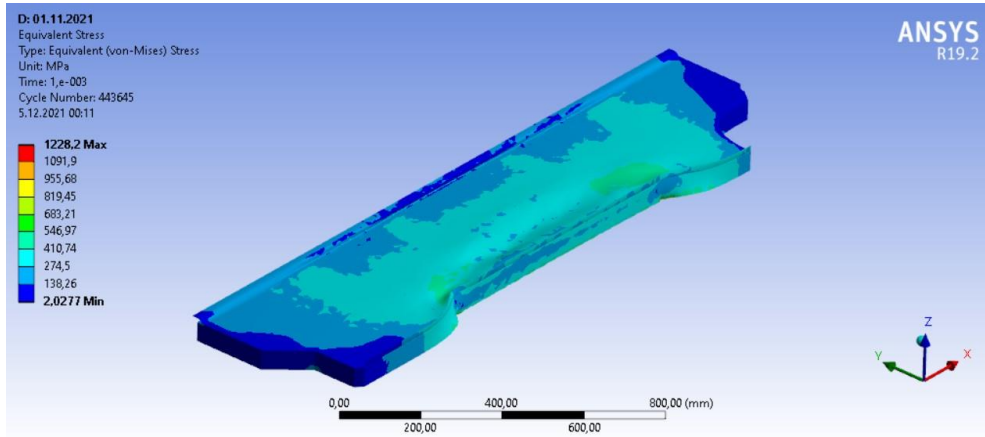


Şekil 6.11: Konvansiyonel Araç Şasisi Taban Sacı Deformasyonu

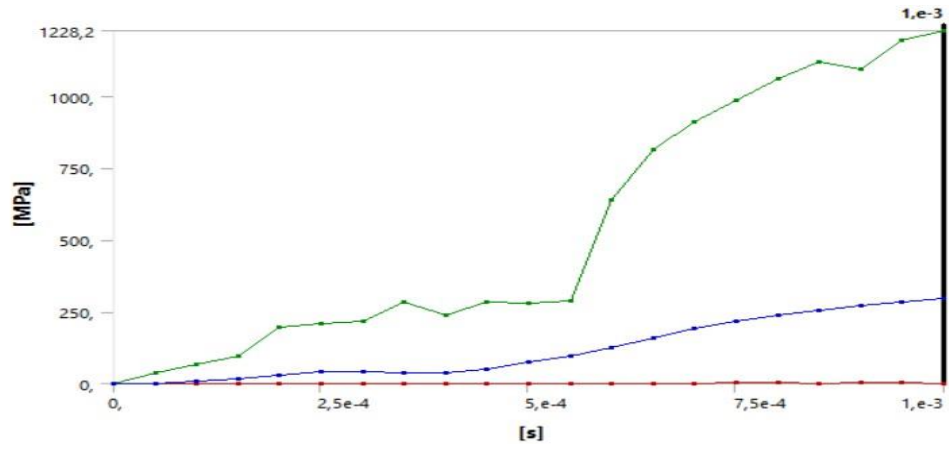


Grafik 6.4: Konvansiyonel Araç Şasisi Taban Sacı Deformasyon Grafiği

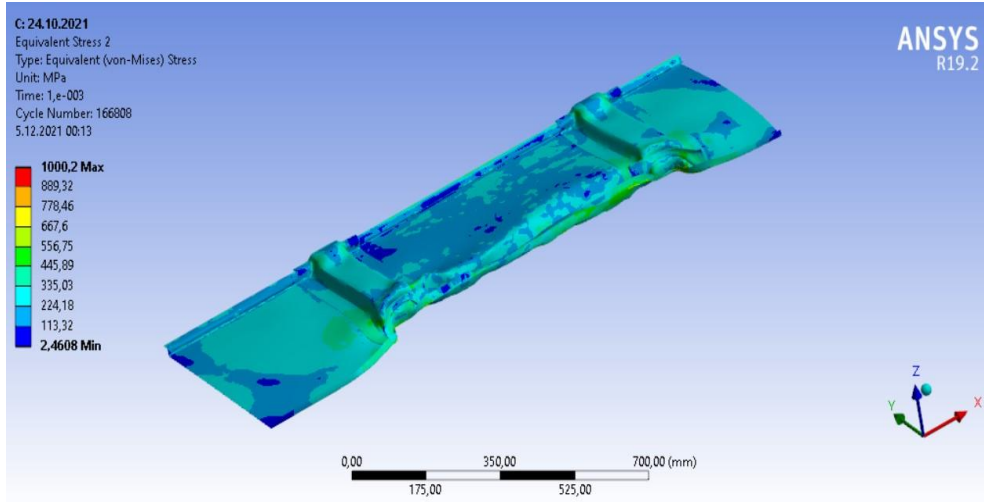
Şekil 6.12 ve Şekil 6.13'e ait Von-Mises gerilme grafikleri Grafik 6.5 ve Grafik 6.6'da gösterilmiştir. Her iki araç şasisi de akma sınırında çok uzak sonuçlar elde etmeyi başararak yapılarda akma gerçekleşmiş fakat kopma gerçekleşmeden darbeyi sönmülemeyi başarmıştır. Analiz sonuçlarına bakıldığında elektrikli araç şasisi daha kısa sürede darbeyi sönmülemiştir. Dolayısıyla grafiklere bakıldığında elektrikli araç şasisinde daha fazla gerilmenin oluştuğu görülmüştür. Sonuç olarak her iki şasi gerilme grafikleri incelendiğinde çarpışma sırasında akma gerçekleşmiş olup kopma veya yırtılma gerçekleşmediği tespit edilmiştir.



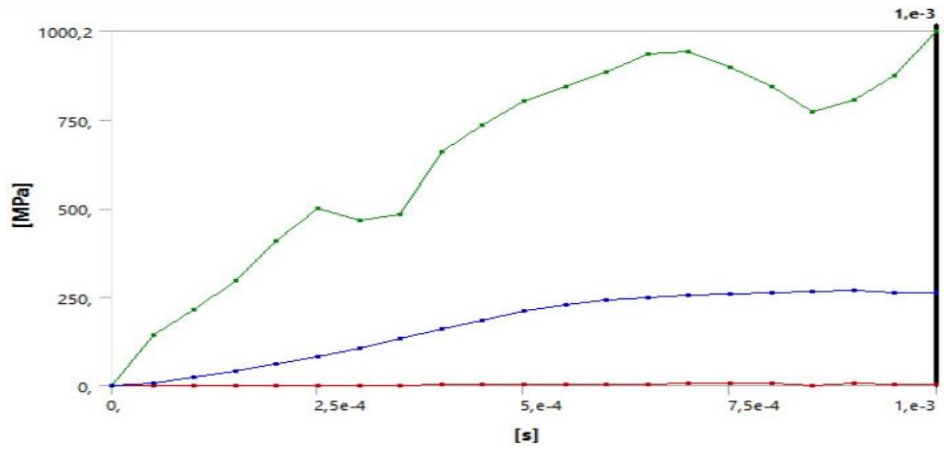
Şekil 6.12: Elektrikli Araç Şasisi Von-Mises Gerilmesi



Grafik 6.5: Elektrikli Araç Şasisi Von-Mises Gerilme Grafiği



Şekil 6.13: Konvansiyonel Araç Şasisi Von-Mises Gerilmesi



Grafik 6.6: Konvansiyonel Araç Şasisi Von-Mises Gerilme Grafiği

7. SONUÇ ve ÖNERİLER

Gerçekleştirilen çalışma kapsamında, trafik kazalarında elektrikli araç şasileri ile konvansiyonel araç şasilerinin sahip olduğu olumlu ve olumsuz yapısal özellikleri, ANSYS Workbench analiz programı kullanılarak incelenmiştir.

Tez kapsamında ilk olarak literatürde konvansiyonel ve elektrikli araçlarda araç çarpışma testleri araştırılmıştır. Literatürdeki çalışmalar, analiz programlarının önemini destekler nitelikte olduğu belirlenmiştir. Analiz Programları, henüz üretim aşamasına geçmemiş çalışmaların eksikliklerinin iyileştirilmesi veya ortadan kaldırılmasında önemli rol üstlenmektedir. Böylece gerçek hayatta yaşanabilecek olumsuzluklara karşı henüz üretim aşamasına geçmeden önlem alınabilmektedir. Böylece zaman ve maddi kayıplar minimuma indirgenerek mühendislik çalışmalarına destek olunmaktadır.

Testlerde aracı oluşturan parçalardan beklenen özellikler şunlardır:

1. Çarpma kuvvetlerini sönmemesi,
2. Gelen darbeyi diğer parçalara iletirken darbe etkisini azaltması,
3. Minimum çökmede maksimum sönmeme yeteneğine sahip olması,
4. Çökme hızının düşük olması,
5. Araç içinde bulunan yaşam alanına etkisini en az düzeye çekmesi,
6. Parçaların çarpışma anında kopmasının engellenerek gelen darbeyi sönmemesi istenir.

Bu çalışma ile elektrikli ve konvansiyonel araç şasi tasarımının yandan çarpışma performansı, gerçekleştirilen analizler yardımıyla incelenmiştir. Yapılan analizler, tasarlanan konvansiyonel araç şasisi ile elektrikli araç şasisi üzerinde gerçekleştirilmiştir. Şasiler arasındaki en büyük farkın elektrikli araçlarda bulunan pil yuvası olduğu tespit edilmiştir. Pil yuvası araç ağırlığını arttıran bir unsurdur. Fakat elektrikli araçların sahip oldukları fazla ağırlıklar güvenlik açısından olumlu bir etkiye sahiptir. Tasarlanan elektrikli araçta pil yuvası tabana konumlandırılmıştır. Bu sayede konvansiyonel araçlarda motor ve güç aktarma organları sebebi ile aracın önüne doğru dağılan yük, araç merkezine konumlanmıştır. Böylece yandan gelecek büyük darbelere karşı aracın takla atma ihtimalinin gerçekleştirilen test ve analizler ile minimum

olduğu belirlenmiştir. Ayrıca tabana konumlandırılan pil yuvası ile yandan gelen darbe daha kısa mesafede sönümlenerek, yaşam alanına daha az etki ettiği belirlenmiştir. Fakat bu durumu konvansiyonel araçlar için söylemek mümkün değildir. Araç tabanında yandan gelen darbeyi sönümleyecek darbe emici parçaların dışında, pil yuvası gibi bir yapıya sahip olmadığı için istenmeyen sonuçlar elde edilmiştir. Tasarlanan her iki araç şasisine etki eden yüklerin oluşturduğu gerilmeler değerlendirildiğinde; şaside yüke maruz kalan parçalarda akma gerçekteştiği, fakat herhangi bir kopma veya kırılma oluşmadığı sonucuna varılmıştır.

Çalışmamızın tasarım sürecinden analiz sürecine kadarki aşamalarda en doğru veriyi alabilmek için yapılan literatür taramaları, araştırmalar ve mühendislik hesaplamalarının, analizlerimizi desteklediği tespit edilmiştir. Yapılan analiz sonuçlarına göre; pillerin yerleşiminin araç merkezinde olması, yol tutuğu ve ağırlık dengelenmesinin yanı sıra çarpışmalarda gerçekteşen darbelerin sönümlenmesinde de rol almaktadır. Yapılan analizlerde yandan gelen darbeyi konvansiyonel araç şasisi 403,78 mm, elektrikli araç şasisi 150,72 mm deformasyona uğrayarak sönümlenmiştir. Konvansiyonel araç şasisinin 403,78 mm'lik darbeyi sönümleme mesafesi, yolcu güvenliği konusunda tehlike oluşturmuştur. Elektrikli araç şasisi, gelen darbeyi 150,72 mm'de sönümlenmiş böylece yaşam alanına herhangi bir zarar vermeyerek yolcu güvenliği konusunda tehlike oluşturmamıştır. Şasilerdeki gerilmeler incelendiğinde şasi parçaları kalıcı olarak şekil değiştirmiş fakat herhangi bir kopma veya kırılma meydana gelmemiştir. Yapılan analizlerde, elektrikli araçların, pillerin şasi tabanına yerleştirilmesi durumunda yandan çarpışma testlerinde daha güvenilir olduğu tespit edilmiş ve Euro NCAP'te yapılan çarpışma testlerinde elektrikli bir aracın, yan çarpışma testlerinden 5 yıldız almış bir konvansiyonel araca göre daha emniyetli olduğu sonucuna varılmıştır.

8. KAYNAKLAR

Altair University, *Introduction to Explicit Analysis with Altair Radioss*, 3rd Edition, s.33-34, (2020).

ANSYS Confidential, *ANSYS Meshing Advanced Techniques, PADT Lunch & Learn Series- 2016*, (2017).

Ansyes GRANTA EDUPACK, CES EduPack 2019, (2021).

Arslan, Y., “Aktif ve Pasif Güvenlik Sistemleri”, Gazi Üni., (2020).

Aşkar, M. T., “Bilgisayar Destekli Çarpışma Analizi ile Otomobil Ön Tampon Optimizasyonu”, Yüksek Lisans, *Fen Bilimleri Enstitüsü*, Sakarya, (2018).

Bathe, K. J., Wilson E. L., *Numerical Methods in Finite Element Analysis*, Prentice-Hall, (1976).

Bayat, E., “Çarpışma Testi ve Simülasyon Kullanarak Yeni Nesil H1 Seviye Otokorkuluk Geliştirilmesi”, Yüksek Lisans, *Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, (2012).

Boschert, S., *Plug-in Hybrids: The Cars that will Recharge America*, New Society Publishers, Gabriola Island, Canada. ss. 15-28, (2006).

Budynas, R. G., Nisbett, J. K., *Shigley's Mechanical Engineering Design*, 9th Edition, The McGraw-Hill Companies, (2008).

Chan, C. C., *Modern Electric Vehicle Technology*, Oxford University Press, New York, (2001).

Chandrupatla, T. R., Belegundu, A. D., *Introduction to Finite Elements in Engineering*, 3rd Edition, New Jersey: Prentice Hall, Upper, Chapter 1, (2002).

Crolla, D. A., *Automotive Engineering Powertrain, Chassis System and Vehicle Body*, 1. Edition, Butterworth-Heinemann, (2009).

Csere, C., *10 Best Engineering Breakthroughs*, Car and Driver, s.61, (1988).

Enriquez, J., “Body in White Architecture for an Electric Vehicle Concept”, Master of Science, *Chalmers University of Technology*, Sweden, (2016).

Euro NCAP, “*European New Car Assessment Programme Assessment Protocol-Child Occupant Protection*” Version 7.2.1, (2017).

Euro NCAP, “*European New Car Assessment Programme Assessment Protocol – Pedestrian Protection*” Version 9.0.2, (2017).

Euro NCAP, “*European New Car Assessment Programme Full Width Frontal Impact Testing Protocol*”, Version 1.0.3, (2016).

Euro NCAP, “*European New Car Assessment Programme The Dynamic Assessment Of Car Seats For Neck Injury Protection Testing Protocol*” Version 3.2, (2014).

Euro NCAP, “*European New Car Assessment Programme Oblique Pole Side Impact Testing Protocol*” Version 7.0.4, (2018).

Euro NCAP, “*European New Car Assessment Programme Offset Deformable Barrier Frontal Impact Testing Protocol*”, Version 7.1.3, (2018).

Euro NCAP, “*European New Car Assessment Programme Side Impact Testing Protocol*”, Version 5.2, (2011).

Genta, G., Morello, L., Cavallino, F., Filtri, L., *The Motor Car Past, Present and Future*, London: Springer, (2014).

Gere, J. M., Goodno, B. J., *Mechanics of Materials*, 8th Edition, SI Edition, (2009).

Hangül, F., “Static Analysis of Two Seater Extended Range Electric Vehicle”, Yüksek Lisans, *Fen Bilimleri Enstitüsü*, Adana, (2018).

Henriksson, F., *Introducing New Materials in the Automotive Industry*, Linköping University: Linköping, (2017).

Hodkinson, R., Fenton, J., *Lightweight Electric/Hybrid Vehicle Design*, Butterworth Heinemann, (01.06.2001).

Ikpe, A. E., Owunna, I. B., Satope, P., “Desing Optimization of a B-Pillar for Crashworthiness of Vehicle Side Impact”, *Journal of Mechanical Engineering and Sciences*, <https://doi.org/10.15282/jmes.11.2.2017.11.0245>, (2017).

Islam, M. T., Abdullah, A. B., Mahmud, M. Z., “Reverse Engineering of B-Pillar with 3D Optical Scanning for Manufacturing of Non-uniform Thickness Part”, *MATEC Web of Conference*, 10.1051/mateconf/20179001007, (2017).

Işılak, C., “Elektrikli Araçların Konvansiyonel Araçlara Göre, Şasi ve İç Trim Açısından Tasarım Farklılıkları”, *Uluslararası Bilim, Teknoloji ve Tasarım Dergisi*, Vol.1, No.1, (2020).

Kirsch, D. A., *“The Electric Vehicle and the Burden of History”*, Rutgers University: New Jersey, (2000).

Koca, E., Yaşar, A., Bircan, D. A., “Elektrikli Bir Araç Şasisinin Tasarım, Analiz ve Optimizasyonu”, *Ç. Ü. Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, Vol.32, No.2, (2015).

Kumar H., Patnaik P.R., *“Automobile Chassis and Body Engineering”*, Government Junior College: Amadalavalasa, (2007).

Kurtuluş, E., “Yeni Nesil Otokorkuluk Sistemlerinin Çarpışma Analizleri ve Sezgisel Optimizasyon Yöntemleri Kullanarak Geliştirilmesi”, Yüksek Lisans, *Fen Bilimleri Enstitüsü*, Bursa, (2015).

Larminie, J., Lowry, J., *Electric Vehicle Technology Explained*, John Willey & Sons LTD: Oxford, (2003).

Liebemann, E. K., Meder, K. J., Nenninger, G., "Safety and Performance Enhancement: the Bosch Electronic Stability Control (ESP)", *Robert Bosch GmbH*, SAE 2004-21-0060, (2021).

Liu, X., Liang, M., Luo, Q., “Innovative Electric Vehicle Body Desing Based on Insurance Institute for Highway Safety Side Impact Conditions”, *Automotive Innovation*, <https://doi.org/10.1007/s42154-019-00070-4>, (2019).

Malkusson, R., Karlsson, P., “Simulation Method for Establishing and Satisfying Side Impact Design Requirements”, *International Body Engineering Conference & Exposition*, Detroit, Michigan, (1998).

Mithun S. K., “Automotive Chassis”, M S Ramaiah School of Advanced Studies: Hindistan, (2012).

N.P., N.D., “Electric Automobile ”, *Encyclopaedia Britannica*, (05.10.2009).

Otomotiv Teknoloji Platformu, “Otomotiv Teknoloji Platformu Stratejik Araştırma Eylem Planı Raporu” Versiyon 3.0 (08.2014). 16-21, (2014).

Ovalı, İ., Esen, C., *Ansys Workbench*, 2. Baskı, KODLAB: İstanbul, (2018).

Önoğlu, E. F., “Projektilerle Çarpışma Durumunda Fonksiyonel Olarak Değişen Plakaların Dinamik Davranışının İncelenmesi”, Yüksek Lisans, *Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, (2018).

Öztürk, İ., “Çok Amaçlı Kriterleri Sağlayan Hızlandırılmış Tasarım Yaklaşımı ile Taşıtlarda Darbeye Maruz Kalan Elemanların Tasarımı”, Doktora, *Fen Bilimleri Enstitüsü*, Bursa, (2017).

Öztürk, İ., "Otomobil Ön Tampon Çarpışma Analizi ve Optimizasyonu", Yüksek Lisans, *Fen Bilimleri Enstitüsü*, Bursa, (2008).

Robert, B., "5 Myths About Green Energy", *Washington Post. ss. B4*, (2010).

Shepardson, D., "Tesla To Deliver First Model S Electric By June", *The Detroit News*, (2012).

Turner, G. L., "Ward, Mary (1827–1869)", *Oxford Dictionary of National Biography*, (2017).

Ünlüsoy, Y. S., *ME466 Performance Of Road Vehicles*, (2015), Middle East Technical University, (2021).

Wallentowitz H., Leyers J., Parr T., "Materials for Future Automobile Body Structures", *Springer*, (2003).

Watarai, H. "Trend of Research and Development for Magnesium Alloys-Reducing the Weight of Structural Materials in Motor Vehicles," *Science and Technology Trends*, vol. 2, (2006).

Waterman, B. J., "Desing and Construction of a Space-Frame Chassis", Final Year Project Thesis, *University of Western Australia, Australia*, (2011).

Yıldız, A. R., *MAK 305 Makine Elemanları-1 Bölüm 2- Statik Mukavemet Sınırları, Değişken Zorlamalar ve Yorulma*, (06.12.2015), Bursa Teknik Üniversitesi, (2021)

1.URL: "¿En qué se diferencian chasis y carrocería? [online]", (29.03.2021), <https://www.autofacil.es/tecnica/2020/08/01/diferencian-chasis-carroceria/57615.html>, (01.08.2020).

2.URL: "Andrew Sullivan'ın yer aldığı THE DAILY DİSH için 2006-2011 arşivleri", (29.03.2021), <https://keyfiyazilarim.com/2017/02/06/elektrikli-otomobil-teknolojisi-hakkinda/>, (06.02.2017).

3.URL: "Car seat Seat belt, car, blue, text, warning Sign png [online]", (28.03.2021), <https://www.pngwing.com/en/free-png-mqkzr>.

4.URL: "Circle Logo Preview [online]", (28.03.2021), <https://www.cleanpng.com/png-motor-vehicle-speedometers-gauge-clip-art-cruise-c-2586087/preview.html>.

5.URL: "Electric Vehicle Battery Box [online]", (20.05.2021), <https://www.aec.org/page/electric-vehicle-battery-box>.

- 6.URL: “İşte Tüekiye’nin ilk çarpışma testi [online]”, (21.03.2021), <https://e-motoring.com/iste-turkiyenin-ilk-carpisma-testi>, (10.11.2016).
- 7.URL: “Kafes Şasi [online]”, (21.03.2021), <http://www.motosiklet.net/forum/moto-sohbet/108696-kafes-sase-nedir.html>, (28.17.2010).
- 8.URL: “LAND ROVER Ön Tampon [online]”, (21.03.2021), <https://www.humaoto.com/u-run/on-tampon-lr071955>.
- 9.URL: “Road Safety Annual Report 2020”, “*International Transport Forum*”, (22.11.2021), <https://www.itf-oecd.org/road-safety-annual-report-2021-impact-covid-19>, (05.08.2020).
- 10.URL: “Scherl Bilderdienst Ulaşım Kabinleri [online]”, (29.03.2021), <https://www.hayretedeceksin.com/ilk-elektrikli-araba/>, (14.02.2015).
- 11.URL: “Crash protection – Crumple Zones [online]”, (21.03.2021), <https://performancedrivingaustralia.com/module-7/crumple-zones/crash-course-load-paths-2-photo-492942-s-original/>, (19.08.2015).
- 12.URL: “Güvenlik [online]”, (21.03.2021), <http://elektromot.com/tag/guvenlik/>, (26.07.2015).
- 13.URL: 3d_Molier International, “Tesla Model S Frameand Chassis Riggend [online]”, (01.05.2021), https://static.turbosquid.com/Preview/2016/09/19__05_45_19/TeslaModelSFram eandChassisRiggend3dmodel007.jpg7F79EABF-CF6F-4A5D-841C-DA2BDB54B6BBDefaultHQ.jpg, (20.09.2017).
- 14.URL: Araba Gurmesi, “Araçlarda çocuk koltuğu nasıl olmalı? [online]”, (21.03.2021), <http://www.arabagurmesi.com/araclardacocukkoltugu/>, (22.03.2016).
- 15.URL: Çayiroğlu, İ., “Bilgisayar Destekli Tasarım (CAD) [online]”, (06.07.2019), www.ibrahimcayiroglu.com.
- 16.URL: Dave, N., “Chevrolet's X-Frame Chassis [online]“, (04.09.2021), <http://www.xframechevy.com/about/x-frame/>, (10.11.2010).
- 17.URL: Davis, W. J., “2014 Mercedes S-Class Crash Test Photos eMercedes-Benz [online]”, (29.03.2021), <https://mercedesbenz.com/autos/mercedesbenz/sclass/2014-mercedes-s-class-crash-test-photos/>, (04.06.2013).

- 18.URL: Edison, A., F., “Edison and an electric car [online]”, (21.03.2021), https://americanhistory.si.edu/edison/ed_d22.htm, (1913).
- 19.URL: Euro NCAP, “Derecelerin Açıklamaları [online]”, (28.03.2021), <https://www.euroncap.com/en>.
- 20.URL: GEHM, R., “Constellium develops new alloys for EV battery enclosures [online]”, (20.04.2021), <https://www.sae.org/news/2021/02/constellium-aluminum-ev-battery-enclosures>, (19.02.2021).
- 21.URL: Greencheck, “Just put a bot on it! [online]”, (21.04.2021), <https://greencheck.nl/?p=6646>, (23.04.2018).
- 22.URL: Guy, M., “Volvo’s First Electric Car Is Built Like a Proverbial Tank [online]”, (25.07.2021), <https://www.wheels.ca/news/volvos-first-electric-car-is-built-like-a-proverbial-tank/>, (25.09.2019).
- 23.URL: Gürsönmez, N., “Hidrolik Fren Sistemi [online]”, (23.09.2021), <https://bilimgenc.tubitak.gov.tr/makale/hidrolik-fren-sistemi-tasarlayalim>, (09.03.2020).
- 24.URL: Halvorson, B., “Tesla Model Y [online]”, (29.03.2021), https://www.greencarreports.com/news/1127457_tesla-model-y-specs-released-at-last-no-towing-and-some-other-surprises, (16.04.2020).
- 25.URL: Hum3D., “Benz Patent-Motorwagen 1885 [online]”, (29.03.2021), <https://free3d.com/3d-model/benz-patent-motorwagen-1885-321.html>, (16.09.2020).
- 26.URL: Kane, M., “2017 BMW i3 With 114 Mile Battery [online]”, (01.05.2021), <https://insideevs.com/photo/3967206/2017-bmw-i3-with-114-mile-battery-just-1200-more-from-44595/>, (11.06.2016).
- 27.URL: Morrison, A., “ART MORRISON 1949-1954 CHEVY CAR CHASSIS [online]”, (21.03.2021), <https://chassisguys.com/car-chassis-for-sale/art-morrison-1949-1954-chevy-car-chassis/>.
- 28.URL: OEAMTC, “ECALL [online]”, (25.04.2021), [https://www.oeamtc.at/the ma/ecall/#wozu-ecall-23964653](https://www.oeamtc.at/the%20ma/ecall/#wozu-ecall-23964653), (31.03.2018).
- 29.URL: Roberson, D., “1960 Henney Kilowatt [online]”, (29.03.2021), <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Kilowatt.jpg>, (21.09.2005).

- 30.URL: Rouilloux, G., Znojek, B., “Plastics. The Future for Automakers and Chemical Companies [online]”, (08.07.2021), https://www.atkearney.com/documents/10192/244963/Plastics-The_Future_for_Automakers_and_Chemical_Companies.pdf, (2012).
- 31.URL: Sağlam, N., “Bosch ESP’nin 25 yılı: Savrulmaya son – Yol güvenliğinde dönüm noktası [online]”, (28.03.2021), <https://www.bosch.com.tr/kesfet/2020/2020-06-10-bosch-espnin-25-yili-savrulmaya-son/>, (10.06.2020).
- 32.URL: Sekiz Silindir, “Geçmişten Günümüze Araçlar Ne Kadar Güvenilir Hale Geldi? [online]”, (12.01.2019), <https://www.sekizsilindir.com/2016/02/carpisma-testi-gecmis-gelecek.html>, (23.02.2016).
- 33.URL: Taş, İ., “Çarpışma testlerinin arka yüzü: NHTSA ve IIHS [online]”, (12.01.2019), <https://otopark.com/2016/03/16/carpisma-testlerinin-arka-yuzu-nhtsa-ve-iihs/>, (16.03.2016).
- 34.URL: YOUCAR., “Tesla Model 3 vs Volvo S60 CRASH TEST [online]”, (13.01.2022), <https://www.youtube.com/watch?v=wcZkkGL85AI>, (2017).

