

**ARAÇLARDA KULLANILAN EMNİYET KEMERİNİN
KAZA ANINDA İNSAN SAĞLIĞINA OLAN OLUMSUZ
ETKİLERİNİN AZALTILMASI**

Reşat Oğuzhan SÜMER



T.C.
BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ARAÇLARDA KULLANILAN EMNİYET KEMERİNİN KAZA ANINDA
İNSAN SAĞLIĞINA OLAN OLUMSUZ ETKİLERİNİN AZALTILMASI**

Reşat Oğuzhan SÜMER
ORCID NO: 0000-0002-7656-473X

Prof. Dr. Agah UĞUZ
ORCID NO: 0000-0002-9244-3671
(Danışman)

YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA – 2020

Her Hakkı Saklıdır.

TEZ ONAYI

Reşat Oğuzhan SÜMER tarafından hazırlanan "ARAÇLARDA KULLANILAN EMNİYET KEMERİNİN KAZA ANINDA İNSAN SAĞLIĞINA OLAN OLUMSUZ ETKİLERİNİN AZALTILMASI" adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Bursa Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman : Prof. Dr. Agah UĞUZ

Üye : Prof. Dr. Agah UĞUZ
ORCID NO: 0000-0002-9244-3671
Bursa Uludağ Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi
Makine Mühendisliği Bölümü

İmza



Üye : Prof. Dr. Mustafa Cemal ÇAKIR
ORCID NO: 0000-0003-0816-4029
Bursa Uludağ Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi
Makine Mühendisliği Bölümü

İmza



Üye : Doç. Dr. Hüseyin LEKESİZ
ORCID NO: 0000-0003-3350-1509
Bursa Teknik Üniversitesi
Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi
Makine Mühendisliği Bölümü

İmza



Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Hüseyin Aksel EREN

Enstitü Müdürü

03 / 02 / 2020

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

- tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

03 / 02 / 2020

İmza

R. Ö. Sumer

Reşat Oğuzhan SÜMER

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

ARAÇLARDA KULLANILAN EMNİYET KEMERİNİN KAZA ANINDA İNSAN SAĞLIĞINA OLAN OLUMSUZ ETKİLERİNİN AZALTILMASI

Reşat Oğuzhan SÜMER

Bursa Uludağ Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Agah UĞUZ

Otomotiv endüstrisinde araç ve yolcu güvenliği son derece kritik bir öneme sahiptir. Otomotiv üreticisi firmalar, estetik, konfor, yüksek motor performansı, düşük yakıt tüketimi ve yüksek menzil gibi otomobilden beklenen özellikleri karşılarken, özellikle araç, yolcu ve yaya güvenliğinden ödün vermeden bu kriterleri sağlamaktadırlar. Otomotiv sektöründe kullanılan güvenlik ekipmanlarından bir tanesi de emniyet kemeri sistemleridir. Pasif güvenlik sistemi olarak kullanılan emniyet kemeri sistemleri, zaman içerisinde standart ve zorunlu bir ürün haline gelmiştir. Emniyet kemeri kullanımının artmasıyla araç içerisindeki yolcuların güvenlik seviyeleri arttırılmış, kazalardan sonra görülen ölüm oranlarında ciddi azalma olduğu saptanmıştır.

Emniyet kemeri sistemlerinin olumlu sonuçlarının yanında bazı olumsuzluklara da yol açtığı belirlenmiştir. Mevcut emniyet kemeri sistemlerinin kaza esnasında açığa çıkan enerjiyi tam olarak absorbe edemediği görülmüştür. Bunun neticesinde, emniyet kemeri kullanan sürücü ya da yolcuların özellikle göğüs bölgelerinde ciddi yaralanmalar, kaburga kemiği kırıkları, deri üzerinde morarmalar olduğu ve hatta bu durumların sonucunda emniyet kemeri kullanımının ölümlere bile sebebiyet verdiği gözlemlenmiştir.

Bu tez çalışması kapsamında, emniyet kemeri sistemlerinin mevcut faydalarından ödün vermeden, kaza esnasında açığa çıkan enerjiyi absorbe edebilecek, alüminyum köpük takviyeli yeni bir enerji sönmeme sistemi için gereken çalışmalar yapılmıştır. Enerji sönmeme sistemi için gereken tasarım çalışmaları CATIA yazılımı kullanılarak yapılmıştır. Gereken sonlu elemanlar analizleri ise ABAQUS yazılımı kullanılarak çözülmüştür. Bu çalışma sonucunda ortaya çıkan yeni sönmeme sisteminin otomotiv sektöründeki her segment araca entegre edilmesi ve kaza esnasında açığa çıkan kuvvetlerin sönmelenerek emniyet kemerinin olumsuz etkilerinin minimize edilmesi hedeflenmektedir.

Anahtar Kelimeler: Emniyet kemeri, enerji absorbe edici sistem tasarımı, sonlu elemanlar analizi, alüminyum köpük

2020, viii + 56 sayfa.

ABSTRACT

MSc Thesis

MINIMIZING SEAT BELT NEGATIVE EFFECTS ON THE HUMAN HEALTH IN VEHICLE DURING ACCIDENT

Reşat Oğuzhan SÜMER

Bursa Uludağ University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Mechanical Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Agah UĞUZ

The vehicle and passenger safety are major importance for automotive industry. Automotive manufacturers supply these requirements such as aesthetics, comfort, high engine performance, low fuel consumption and high range, besides manufacturers must supplying these criterias without compromising vehicle, passenger and pedestrian safety. One of the standart safety components in the automobile industry is the seat belt system. Seat belt systems which use as passive safety system become a standard and compulsory product in time. The security level of passengers in the vehicle were increased considerably by using seat belts. Also, number of casualties were decreased after the traffic accident by using them.

The seat belt systems may cause some negative effects on human body. For example, the present seat belt systems do not absorb the energy up to desired during the accident. In addition to this, it is revealed that the present seat belt systems have inferior energy absorbing performance resulting in undamped forces which causes different wounding on the occupant body during the accident, commonly as chest injuries, rib fractures, skin injuries and fatalities.

In this thesis study, necessary studies have been made for a new energy damping system with aluminum foam reinforcement that can absorb the energy released during the accident without sacrificing the existing benefits of the seat belt systems. The CAD model of energy absorbing system was generated by using CATIA Software. The finite element analyses for aluminum foam were solved by ABAQUS software. As a result of this study, the energy absorbing system will be accommodated in each segment of automobiles so that the main target will be executed for minimizing negative effects of seat belt during the crash.

Key words: Seat belt, energy absorbing system design, finite element method, aluminum foam

2020, viii + 56 pages.

TEŞEKKÜR

Hayatımın her aŐamasında yanımda olan ve desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen biricik aileme, tez yazımda motivasyonumun sürekli yüksek kalmasını sağlayan canım ablam Yasemin BALÇIN'a, tez çalışmamda ve yüksek lisans eğitimim boyunca bana yol gösteren, bilgi, birikim ve tecrübelerimin artmasını sağlayan kıymetli hocalarım Prof. Dr. Agah UĞUZ'a ve Prof. Dr. M. Cemal ÇAKIR'a, tez çalışmamda değerli bilgileriyle yardımcı olan Dr. Öğr. Üyesi Betül GÜLÇİMEN ÇAKAN'a, ArŐ. Gör. Dr. Cihat ENSARİOĞLU'na ve Doç. Dr. Murat REİS'e, tez çalışmamın TÜBİTAK projesinin (3181080 numaralı, "Aktif Gergili Emniyet Kemerlerine Entegre Alüminyum Köpük Takviyeli Darbe Sönümleme Sisteminin Tasarımı ve Üretimi" isimli proje) bir bölümü olması nedeniyle proje ortağı olan aynı zamanda çalışmakta olduğum şirketim AVROTAS A.Ő. firmasının sahipleri Zafer ÇAKMAK'a ve Muharrem ÇAKMAK'a, bir diğer proje ortağı olan ALUPAM A.Ő. firmasına ve kendisine her danıŐtıđımda yanımda olup bana katkı sağlayan değerli arkadaşım Berk BİLBAY'a teşekkürlerimi sunarım.

Reşat Oğuzhan SÜMER

03 / 02 / 2020

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
İÇİNDEKİLER	iv
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	v
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ	viii
1. GİRİŞ.....	1
2. KURAMSAL TEMELLER VE KAYNAK ARAŞTIRMASI.....	4
2.1. Emniyet Kemer Sistemi Elemanları.....	5
2.1.1. Emniyet Kemer	6
2.1.2. Emniyet Kemer Dili ve Tokası	7
2.1.3. Emniyet Kemer Sütun Döngüsü	8
2.1.4. Emniyet Kemer Sabitleme Noktası.....	9
2.1.5. Emniyet Kemer Geri Sarım Mekanizması	9
2.2. Emniyet Kemer Sistemi Mekanizmaları	11
2.2.1. Emniyet Kemer Kilitleme Mekanizması.....	11
2.2.2. Emniyet Kemer Ön Gergi Mekanizması.....	12
2.2.3. Emniyet Kemer Yük (Kuvvet) Sınırlayıcı	16
3. MATERYAL VE YÖNTEM	22
3.1. Fizibilite Çalışmaları.....	23
3.2. Patent Başvuruları	24
3.3. Alüminyum Köpük Malzemenin Özellikleri ve Otomotivdeki Kullanım Alanları	25
3.4. Alüminyum Köpük Takviyeli Sönümlenme Sistemi Tasarım Çalışmaları.....	29
3.5. Alüminyum Köpük İçin Yapılan Hacim Optimizasyon Çalışmaları	37
3.6. Deneysel Tasarım (DoE) Çalışmaları	38
3.7. Test Platformu Tasarımı ve Üretimi	40
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	46
5. SONUÇ	52
KAYNAKLAR	54
ÖZGEÇMİŞ	56

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

Simgeler	Açıklama
E	Young Modülü
ε	Uzama
σ	Gerilim
σ_{pl}	Plato Gerilimi
ε_D	Yoğunlaşma Uzaması
σ_y	Akma Gerilmesi
ν_e	Elastik Poisson Oranı
ν_p	Plastik Poisson Oranı
k	Basma Akma Gerilmesi Oranı

Kısaltmalar

Kısaltmalar	Açıklama
ABS	Anti-Lock Braking System
ABD	Amerika Birleşik Devletleri
AIS	Abbreviated Injury Scale
BOM	Bill of Material
CAD	Computer Aided Design
DoE	Design of Experiment
ECU	Electronic Control Unit
FMVSS	Federal Motor Vehicle Safety Standards
NHTSA	National Highway Traffic Safety Administration
OEM	Original Equipment Manufacturer
PCT	Patent Cooperation Treaty

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1. İki noktalı emniyet kemeri	4
Şekil 2.2. Üç noktalı emniyet kemeri	5
Şekil 2.3. Otomotiv emniyet kemeri sistemini oluşturan komponentler.....	6
Şekil 2.4. Otomotiv emniyet kemeri	6
Şekil 2.5. Emniyet kemeri tokası	7
Şekil 2.6. Emniyet kemeri dili.....	8
Şekil 2.7. Emniyet kemeri sütun döngüsü.....	8
Şekil 2.8. Emniyet kemeri sabitleme noktası	9
Şekil 2.9. Emniyet kemeri geri sarım mekanizması.....	10
Şekil 2.10. Emniyet kemeri geri sarım mekanizmasının araç içerisine konumlandırılması	10
Şekil 2.11. Emniyet kemeri kilitleme mekanizması	11
Şekil 2.12. Elektronik tip ön gergi mekanizması	13
Şekil 2.13. Piroteknik tip ön gergi mekanizması	14
Şekil 2.14. Geri sarım mekanizmasıyla akuple çalışan ön gergi mekanizması	15
Şekil 2.15. Emniyet kemeri tokasıyla akuple çalışan ön gergi mekanizması	15
Şekil 2.16. Emniyet kemeri sabitleme noktasıyla akuple çalışan ön gergi mekanizması	16
Şekil 2.17. Mekanik tip yük sınırlayıcı	17
Şekil 2.18. Burulma çubuğu kullanılan tip yük sınırlayıcı.....	18
Şekil 2.19. Ön taraftaki yolcunun kaza anındaki hareket yönü.....	20
Şekil 2.20. Araç içerisindeki deformasyon	20
Şekil 3.1. Emniyet kemeri kullanımının neden olduğu yaralanmalar	22
Şekil 3.2. Sönümlenme sisteminin konumlandırılacağı hacim	24
Şekil 3.3. Sönümlenme sistemine ait bir patent çizimi	25
Şekil 3.4. Alüminyum köpük malzemenin gerilim-uzama eğrisi	26
Şekil 3.5. Alüminyum köpük	27
Şekil 3.6. Alüminyum köpüğün otomotiv çarpışma kutusunda kullanımı.....	27
Şekil 3.7. Alüminyum köpüğün araç A-sütununa entegrasyonu	28
Şekil 3.8 Alüminyum köpüğün araç yan eşiği içinde kullanılması.....	29
Şekil 3.9. Alüminyum köpüğü içerisinde barındıran sönümlenme sistemi	30
Şekil 3.10. Sönümlenme sisteminin montaj sıralaması.....	31
Şekil 3.11. Sönümlenme sisteminin montaj sıralamasının devamı.....	32
Şekil 3.12. Alüminyum köpük takviyeli enerji sönümlenme sisteminin sürücü tarafındaki emniyet kemeri sistemine entegre edilmiş hali	33
Şekil 3.13. Alüminyum köpüğü içerisinde barındıran alternatif sönümlenme sistemi	34
Şekil 3.14. Alternatif sönümlenme sisteminin montaj sıralaması.....	35
Şekil 3.15. Alüminyum köpük takviyeli sönümlenme sisteminin sürücü tarafındaki emniyet kemeri sistemine entegre edilmiş hali	36
Şekil 3.16. Alüminyum köpük için belirlenen kritik ölçüler	37
Şekil 3.17. Test platformu ve alt bileşenler.....	41
Şekil 3.18 Test platformunun açık haldeki üstten görünüşü	42
Şekil 3.19. L formundaki parçaların hareket etmiş son halleri	43
Şekil 3.20. Test platformunun kapalı haldeki üstten görünüşü	43

Şekil 3.21. Test platformunun düşürme testi tablasına montajlanmış hali	44
Şekil 3.22. Test platformunun imal edilmiş ve düşürme test cihazına adapte edilmiş hali.....	45
Şekil 4.1. Yük sınırlayıcıya ait emniyet kemeri yük-salınım grafiği	47
Şekil 4.2. DP600 kılıf için elde edilen a)eşdeğer gerilme ve b)plastik şekil değiştirme değerleri.....	48
Şekil 4.3. 20 mm x 70 mm x 140 mm boyutlarındaki alüminyum köpük içeren a)DP600 kılıf ve b)rijit kılıf modelleri için köpüğe ait eşdeğer gerilme değerleri	49
Şekil 4.4. 20 mm x 70 mm x 140 mm boyutlarındaki alüminyum köpük içeren a)DP600 kılıf ve b)rijit kılıf modelleri için köpüğe ait plastik şekil değiştirme değerleri	50
Şekil 4.5. 20 mm x 70 mm x 140 mm boyutlarındaki alüminyum köpüğe ait kuvvet-yer değiştirme grafiği	50
Şekil 4.6. 20 mm x 70 mm x 140 mm boyutlarındaki alüminyum köpüğe ait enerji-zaman grafiği.....	51

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 1.1. Yaralanmaların sınıflandırılmasında kullanılan AIS skor kategorisi.....	2
Çizelge 3.1. Sönümlleme sistemini oluşturan alt komponentlere ait BOM listesi.....	30
Çizelge 3.2. Alternatif sönümlleme sistemini oluşturan alt komponentlere ait BOM listesi	34
Çizelge 3.3. Alüminyum köpük için belirlenen maksimum ölçüler	38
Çizelge 3.4. Deneysel tasarımda kullanılan faktör ve seviye sayıları.....	39
Çizelge 3.5. Tam faktöriyel deneysel tasarım (DoE) matrisi.....	39
Çizelge 3.6. Kısmi faktöriyel deneysel tasarım (DoE) matrisi	40
Çizelge 4.1. Alüminyum köpük malzemenin mekanik özellikleri.....	46

1. GİRİŞ

Otomotiv endüstrisinde araç ve yolcu güvenliği son derece kritik bir öneme sahiptir. Otomotiv üreticisi firmalar, estetik, konfor, yüksek motor performansı, düşük yakıt tüketimi gibi otomobilden beklenen kriterleri sağlarken özellikle araç, yolcu ve yaya güvenliğini de göz önünde bulundurmaktadırlar. Bu nedenlerle araçlarda temel olarak aktif ve pasif güvenlik sistemleri kullanılmaktadır. ABS, elektronik stabilite kontrolü, adaptif hız sabitleme sistemleri, lastik basınç uyarı sistemleri, kör nokta algılama sistemleri otomotiv sektöründe kullanılan aktif güvenlik sistemlerindedir. Hava yastıkları, yolcu boyun koruma sistemleri, çocuk koruma sistemleri, yaya koruma sistemleri ve emniyet kemer sistemleri ise otomotiv sektöründe kullanılan pasif güvenlik sistemleridir.

Otomotiv endüstrisinde pasif güvenlik sistemi olarak kullanılan emniyet kemer sistemleri, zaman içerisinde standart ve zorunlu bir ürün haline gelmiştir. NHTSA verilerine göre, 2017 yılında Amerika Birleşik Devletleri (ABD)'nde yapılan araştırmalara göre emniyet kemeri kullanımı sayesinde 14 955 kişinin hayatta kaldığı tahmin edilmektedir. NHTSA verilerine göre 2017 yılında ABD'de yapılan bir diğer araştırmada, 37 133 kişinin motorlu araç kazalarında öldüğü ve ölen kişilerin %47'sinin emniyet kemeri kullanmadığı için hayatını kaybettiği bilgisine ulaşılmıştır. Amerikan halkının büyük bir kısmı emniyet kemeri kullanımının hayat kurtarıcı etkisinin farkına varmış ve 2018 yılında halk arasında emniyet kemeri kullanım oranının %89.6 seviyelerine çıktığı görülmüştür (Anonim 2019a).

Binek araçlar için önde oturan yolcular emniyet kemeri kullandığında, kazanın ölümle sonuçlanması ihtimali %45 oranında düşmektedir. Ayrıca yine emniyet kemeri kullanıldığında kazadan ciddi yara alma ihtimali %50 oranında düşmektedir. Hafif ticari araçlar için ise araç içerisindeki yolcuların emniyet kemeri kullandığı durumda, kazanın ölümle sonuçlanma riski %60 oranında azalmaktadır. Ek olarak yine hafif ticari araçlar için yolcuların emniyet kemeri kullandığında kazadan ciddi yara alma ihtimali %65 oranında azalmaktadır (Anonim 2019a).

Emniyet kemeri kullanımının kaza anında birçok faydasının olduğu, önceki paragraflarda bahsedilen istatistiki veriler ışığında açıklanmıştır. Ancak trafik kazaları ile ilgili bazı olumsuz veriler de söz konusu olabilmektedir. ABD’de gerçekleşen ölümcül kazaların verileri incelendiğinde, önden çarpışmanın olduğu kazalarda 34-64 yaş grubu aralığındaki sürücülerin %50’sinin hayatını kaybettiği belirlenmiştir (Kent ve ark. 2005). Yapılan bir diğer araştırmaya göre ise önden çarpışmanın olduğu kazalarda sürücülerin %84’ünün öldüğü, bunun yanında önden çarpışma sonucunda sürücülerin büyük çoğunluğunun ciddi göğüs bölgesi yaralanmalarına (AIS3+) maruz kaldığı görülmüştür (Cuerden ve ark. 2007). Yaralanmaların sınıflandırılması için Abbreviated Injury Scale (AIS) sınıflandırma sistemi kullanılmaktadır. Yaralanmaların sınıflandırılması için kullanılan AIS Skor Kategorisi Çizelge 1.1’de gösterilmiştir.

Çizelge 1.1. Yaralanmaların sınıflandırılmasında kullanılan AIS skor kategorisi (Cuerden ve ark. 2007)

AIS Skoru	Tanım
0	Yaralanma Yok
1	Önemsiz
2	Orta Dereceli
3	Ciddi
4	Şiddetli
5	Kritik
6	Maksimum

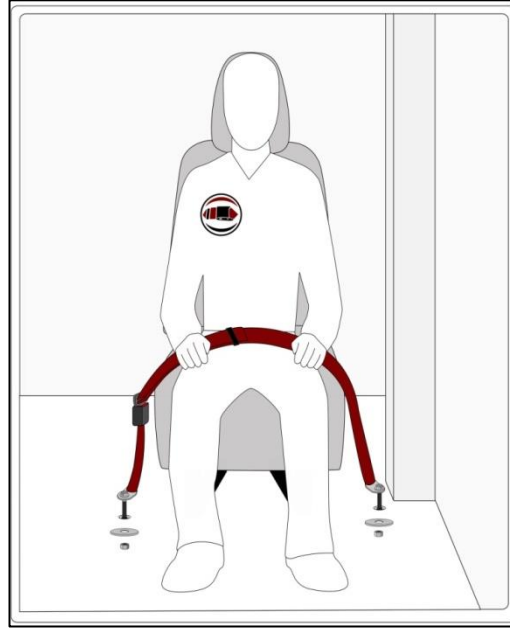
Otomotiv sektöründe yolcu güvenliğini arttırmak için hava yastığı sistemleri de kullanılmaktadır. Emniyet kemerlerinin, hava yastığı sistemleriyle birlikte kullanılmasıyla araç içerisindeki yolcuların güvenlik seviyeleri de üst düzeye çıkarılmıştır. Yapılan araştırmalar neticesinde otomotivde hem emniyet kemeri hem de hava yastığı sistemlerinin bir arada kullanıyor olması, kazalarda görülebilecek ölümcül risklerin %61 oranında azalmasına imkan vermektedir (Bean ve ark. 2009). Emniyet kemerleri ve hava yastıklarının birlikte kullanılması ölüm riskini azaltsa da 2007 yılında ABD’de yapılan araştırmalara göre önden çarpışmanın olduğu kazalarda emniyet kemeri ve hava yastığı aktif olarak kullanılsa bile 4 835 farklı yolcu, ölümcül göğüs bölgesi yaralanmalarına maruz kaldığı tespit edilmiştir (Rudd ve ark. 2009).

Emniyet kemer sistemleri, kaza esnasında açığa çıkan kuvvetleri tam olarak sönümleyemediğinden, araç içerisindeki yolcuların göğüs, omuz, karın bölgelerinde yaralanmalara, deri üzerinde çeşitli morarmalara ve kaburga kemiklerinde ise kırıklara sebebiyet verebilmektedir. Bu ciddi yaralanmalar ve kırıklar ölümlere sebebiyet verebilmektedir.

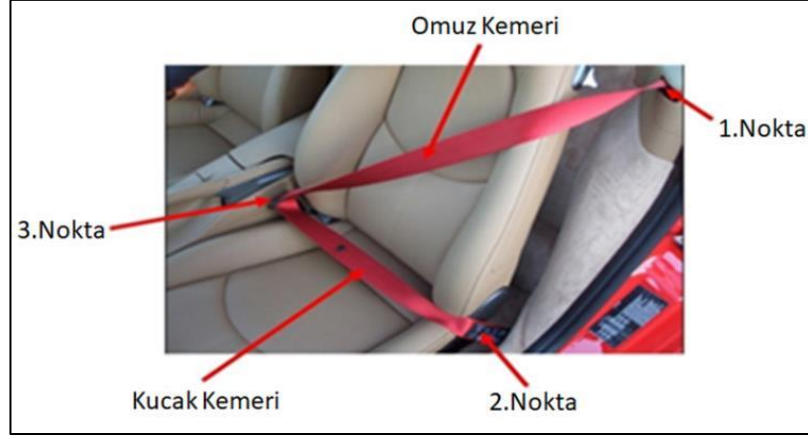
Bu yüksek lisans tezi kapsamında, emniyet kemer sistemlerinin mevcut faydalarından ödün vermeden, emniyet kemeri sistemlerini daha güvenli bir hale getirebilecek, emniyet kemeri sistemlerine kolaylıkla entegre edilebilir, emniyet kemerinin araç içerisindeki yolcular üzerinde meydana getirdiği çeşitli yaralanma, morarma, kaburga kemiği kırıklarını minimize edecek, enerji sönülmeye yardımcı bir sistemin geliştirilmesi yapılmıştır. Bu enerji sönümleyici sistem için gerekli olan tasarımlar CATIA V5 CAD yazılımında gerçekleştirilmiştir. Yapılan tasarımın gerçek koşullarda nasıl davranış sergileyeceği sonlu elemanlar analizleriyle doğrulanmıştır. Sonlu elemanlar analizlerinin gerçekleştirilmesinde ABAQUS yazılımı kullanılmıştır.

2. KURAMSAL TEMELLER ve KAYNAK ARAŞTIRMASI

Otomotiv sektöründe genel olarak iki farklı tipte emniyet kemeri kullanılmaktadır. Bunlar iki noktalı emniyet kemerleri ve üç noktalı emniyet kemerleridir. İki noktalı emniyet kemerleri, iki farklı noktadan sabitlenerek fonksiyonellik göstermektedir (Şekil 2.1). İki noktalı emniyet kemerleri araç içerisindeki yolcuların yalnızca kucak ya da bel kısımları üzerine etki ettiğinden daha sınırlı bir alanda faaliyet göstermektedir. Üç noktalı emniyet kemerleri ise üç farklı noktadan sabitlenerek fonksiyonellik göstermektedir (Şekil 2.2). Üç noktalı emniyet kemerleri, araç içerisindeki yolcuların hem kucak bölgelerine hem de omuz bölgelerine tesir ettiğinden, iki noktalı emniyet kemerlerine göre koruma oranları daha yüksektir. Üç noktalı emniyet kemerleri, omuz ve kucak kemerinin bir arada kullanıldığı kemer tipi olarak da düşünülebilir.



Şekil 2.1. İki noktalı emniyet kemeri (Vishal 2017)

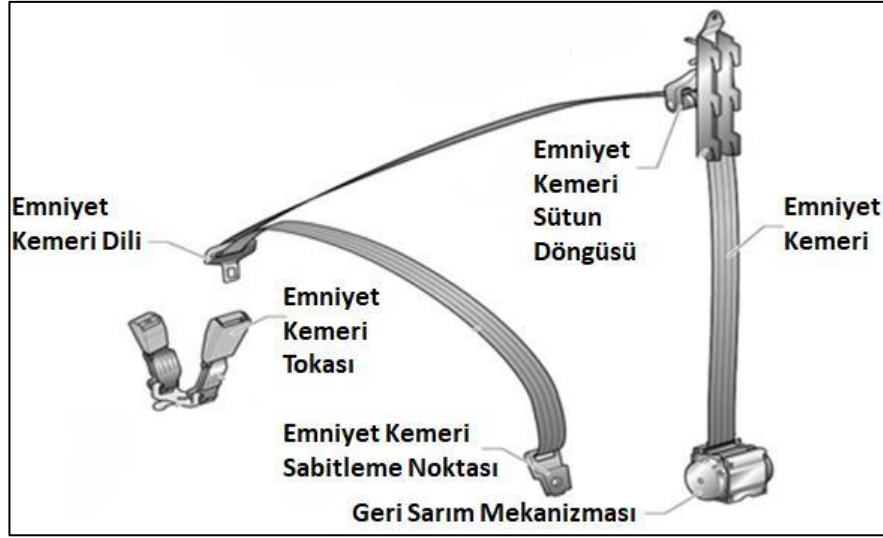


Şekil 2.2. Üç noktalı emniyet kemeri (Diwan 2019'dan değiştirilerek alınmıştır)

Üç noktalı emniyet kemeri, 1959 yılında Volvo firmasında çalışan Nils Bohlin tarafından tanıtılmıştır. Bohlin, emniyet kemeri tasarımıyla ilgili almış olduğu patenti, emniyet kemerinin binlerce insanın hayatını kurtaracağını düşünerek, tüm OEM ve güvenlik ekipmanı üreticilerin kullanabilmesi için açık hale getirmiştir. Otomotiv sektöründe o tarihten bu yana üç noktalı emniyet kemeri sistemleri sürekli geliştirilerek kullanılmaktadır. Volvo firmasının yapmış olduğu açıklamalara göre, üç noktalı emniyet kemerinin otomotiv sektöründe kullanılmaya başlanmasından 2000'li yılların başlarına kadarki süre zarfında, dünya genelinde yaklaşık bir milyon insanın hayatta kaldığı belirtilmiştir.

2.1. Emniyet Kemerı Sistemi Elemanları

Otomotiv emniyet kemeri sistemleri, farklı işlev ve görevleri bulunan birçok komponentten oluşmaktadır. Emniyet kemeri, emniyet kemeri tokası, emniyet kemeri dili, emniyet kemeri sütun döngüsü, emniyet kemeri sabitleme noktası ve geri sarım mekanizması emniyet kemeri sistemini oluşturan alt ekipmanlardandır. Şekil 2.3'te otomotiv emniyet kemeri sistemini oluşturan komponentler gösterilmiştir.



Şekil 2.3. Otomotiv emniyet kemeri sistemini oluşturan komponentler (Anonim 2019b'den değiştirilerek alınmıştır)

2.1.1. Emniyet Kemer

Otomotiv emniyet kemer sisteminin bir parçası olan emniyet kemerleri, genellikle polyester malzemeden imal edilmektedir. Emniyet kemeri, kaza esnasında araç içerisindeki sürücünün ya da yolcunun araç kokpitine veya araç içindeki herhangi bir yere çarpmasını engellemektedir. Ayrıca emniyet kemeri, kaza esnasında ön tarafta oturan sürücü ya da yolcunun ön camdan dışarı çıkmasını engellemektedir. Ek olarak, emniyet kemeri, arka tarafta oturan yolcular için de ciddi oranda koruma sağlamaktadır ve olası kaza anında yolcuların ön koltuklara çarpmasını veya yolcuların aracın önüne doğru tehlikeli bir şekilde hareket etmesini kısıtlamaktadır. Şekil 2.4'te otomotiv sektöründe kullanılan emniyet kemeri gösterilmiştir.



Şekil 2.4. Otomotiv emniyet kemeri (Anonim 2019c)

2.1.2. Emniyet Kemerini Dili ve Tokası

Emniyet kemeri dili ve emniyet kemeri tokası, otomotiv emniyet kemeri sistemlerini oluşturan alt komponentlerin içerisinde yer almaktadır. Emniyet kemeri dili ve emniyet kemeri tokası birbirine akuple halde çalışmaktadır. Emniyet kemeri tokası, sürücü ya da yolcunun emniyet kemerini aktif olarak kullanıp bağlamasına olanak sağlayan ekipmandır. Emniyet kemerinin bağlı olup olmadığını tespit etmek için kullanılan manyetik sensör, emniyet kemeri tokasının içerisine konumlandırılmaktadır. Bu sensör sayesinde emniyet kemeri takılı olmadığı durumlarda sürücü ya da yolculara sesli uyarı verilmektedir. Ayrıca emniyet kemeri tokası, kemerin kullanımının gerekmediği durumlarda çözülmesine de yardımcı olan komponenttir. Emniyet kemeri dili ise emniyet kemeri üzerinde bulunan, T şeklinde forma sahip, genellikle metal malzemeden imal edilen ve emniyet kemerinin toka içerisine bağlanmasına olanak sağlayan yapıdır. Şekil 2.5'te emniyet kemeri tokası, Şekil 2.6'da emniyet kemeri dili gösterilmiştir.



Şekil 2.5. Emniyet kemeri tokası (Anonim 2019d)



Şekil 2.6. Emniyet kemeri dili (Anonim 2019e)

2.1.3. Emniyet Kemerinin Sütun Döngüsü

Otomotiv emniyet kemeri sistemlerinde kullanılan bir diğer komponent ise emniyet kemeri sütun döngüsüdür. Emniyet kemeri sütun döngüsü, üç noktalı emniyet kemeri sistemlerinde kullanılmaktadır. Genellikle araç B sütununun üzerine, sürücü ya da yolcu omuz bölgesinin üst hizasına karşılık gelen bölgeye adapte edilmektedir. Temel görevi, emniyet kemerinin kullanıcının omuz bölgesi üzerinden başlayarak çapraz bir şekilde göğüs bölgesinden geçip, emniyet kemerinin etkinliğini arttırmaktır. Şekil 2.7’de emniyet kemeri sütun döngüsü komponenti gösterilmiştir.



Şekil 2.7. Emniyet kemeri sütun döngüsü (Anonim 2019f)

2.1.4. Emniyet Kemerinin Sabitleme Noktası

Otomotiv emniyet kemeri sistemlerinde kullanılan bir diğer bileşen ise emniyet kemeri sabitleme noktasıdır. Emniyet kemeri sistemlerinin araç içerisine sabitlenmesinde kullanılmaktadır. Yolcunun bel bölgesine karşılık gelen kucak kemerinin, düzgün bir şekilde işlev gösterebilmesi için kucak kemerinin bir ucunun araç B sütununun alt kısmına sabitlenmesinde kullanılmaktadır. Ayrıca emniyet kemeri sabitleme noktası, emniyet kemeri sisteminin diğer alt bileşenlerinden biri olan emniyet kemeri tokasının da araç şasisine sabitlenmesinde kullanılmaktadır. Hem kucak kemeri hem de emniyet kemeri tokasının sabitlenebilmesi için emniyet kemeri sabitleme noktasıyla birlikte farklı çap ve boy ölçülerinde cıvatalar da kullanılmaktadır. Şekil 2.8’de emniyet kemeri sabitleme noktası gösterilmiştir.



Şekil 2.8. Emniyet kemeri sabitleme noktası (Anonim 2019g)

2.1.5. Emniyet Kemerinin Geri Sarım Mekanizması

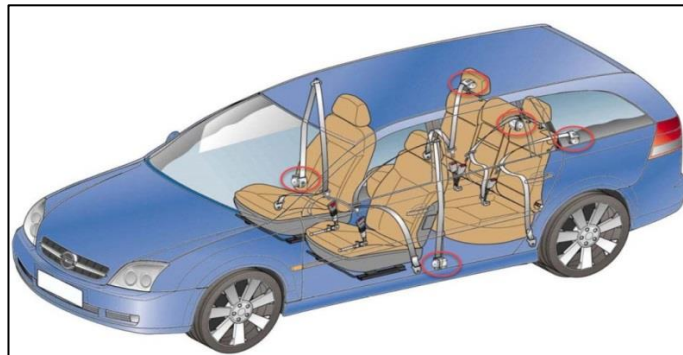
Otomotiv emniyet kemeri sistemlerinde kullanılan bir diğer komponent ise geri sarım mekanizmasıdır. Geri sarım mekanizması içerisinde merkezi eleman olarak makara kullanılmaktadır. Geri sarım mekanizması içerisinde kullanılan bir diğer ekipman olan spiral şeklindeki yaydır. Bu yay sayesinde açığa çıkan rotasyonel kuvvetler makaranın

kendi eksenini etrafında dönmeye olanak sağlamaktadır. Bu sayede geri sarım mekanizması, emniyet kemerinin hem sarılıp toplanmasına hem de gevşeyip serbest kalmasına olanak sağlamaktadır. Şekil 2.9’da emniyet kemeri sistemlerinde kullanılan geri sarım mekanizması gösterilmiştir.



Şekil 2.9. Emniyet kemeri geri sarım mekanizması (Anonim 2019h)

Aracın ön tarafında kullanılan geri sarım mekanizmaları, araç B sütununun içerisine konumlandırılmaktadır. Aracın arka tarafında kullanılan geri sarım mekanizmaları ise yolcu omuz hizasında, araç C sütunu içerisine konumlandırılmaktadır. Şekil 2.10’da emniyet kemeri geri sarım mekanizmalarının araç içerisinde konumlandırıldığı bölgeler gösterilmiştir.



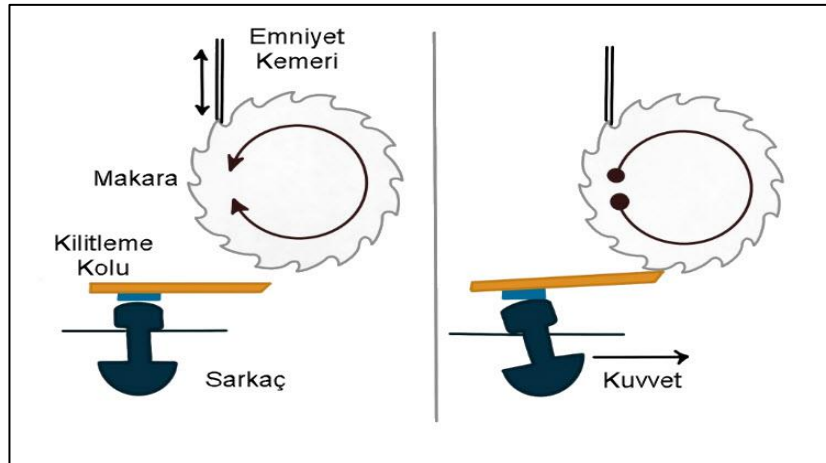
Şekil 2.10. Emniyet kemeri geri sarım mekanizmasının araç içerisine konumlandırılması

2.2. Emniyet Kemerinin Mekanizmaları

Sürücü/yolcu güvenlik seviyelerini arttırmak amacıyla otomotiv emniyet kemeri sistemlerinde çeşitli mekanizmalar kullanılmaktadır. Bu mekanizmaların emniyet kemeri sistemlerindeki temel kullanım amacı, sürücü ya da yolcuların olası bir trafik kazasından minimum hasarla kurtulabilmesidir. İlerleyen bölümlerde detaylı olarak bahsedilecek olan bu mekanizmalar emniyet kemeri kilitleme mekanizması, ön gergi mekanizması ve kuvvet (yük) sınırlayıcılarıdır.

2.2.1. Emniyet Kemerinin Kilitleme Mekanizması

Emniyet kemeri sisteminin ana komponentlerinden olan geri sarım mekanizmasıyla birlikte çalışmaktadır. Kilitleme mekanizmasının görevini yerine getirmesi için sarkaç ve kilitleme kolu kullanılmaktadır. Sarkaç eylemsizlik kuvvetlerinin etkisiyle hareket ederek kilitleme kolunu devreye sokmaktadır. Kilitleme kolunun devreye girmesiyle, geri sarım mekanizması içerisinde yer alan emniyet kemerinin sarılıp toplanmasına ve gevşeyip serbest kalmasına yardımcı olan makaranın dönmesi engellenir. Böylelikle emniyet kemerinin hareketi kısıtlanarak kilitlemesi sağlanmış olur. Bu mekanizmanın temel kullanım amacı kaza esnasında sürücü ve yolcuların hareketinin kısıtlanarak sabit kalmalarını sağlamaktır. Şekil 2.11’de emniyet kemeri kilitleme mekanizması gösterilmiştir.



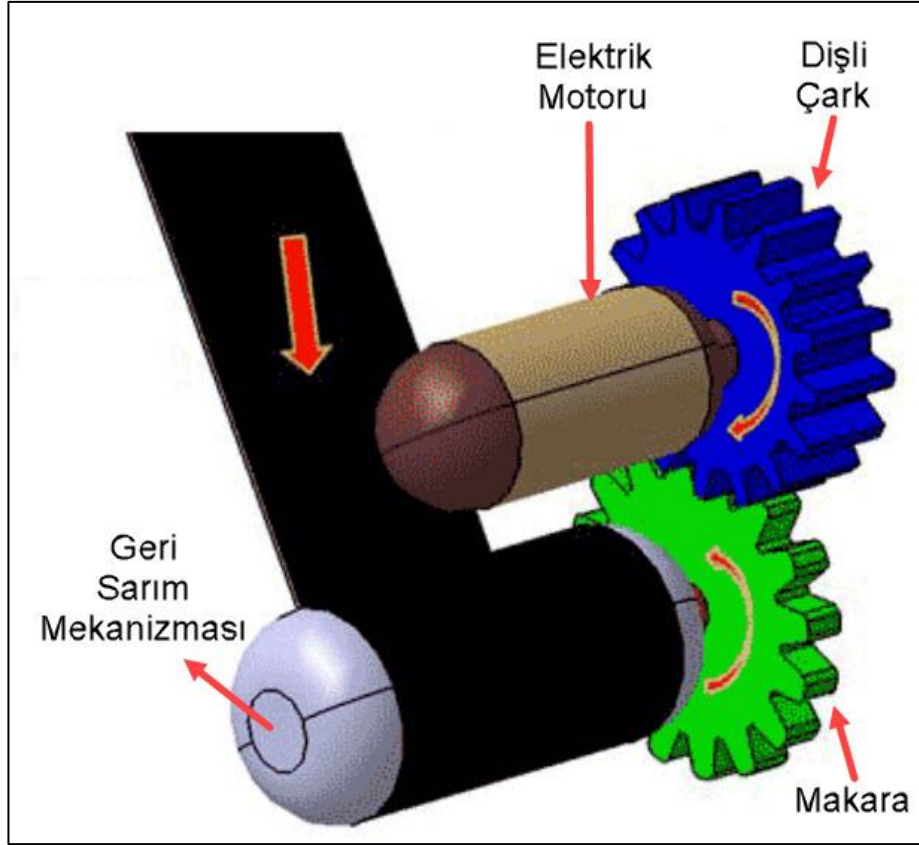
Şekil 2.11. Emniyet kemeri kilitleme mekanizması (Anonim 2019ı’ndan değiştirilerek alınmıştır)

2.2.2. Emniyet Kemerinin Ön Gergi Mekanizması

Emniyet kemeri sistemlerinde kullanılan bir diğer mekanizma ise ön gergi mekanizmasıdır. Kaza anında emniyet kemeri kilitleme mekanizması devreye girer ve emniyet kemeri araç içerisindeki sürücü veya yolcuların araç içindeki yapılara çarpmasını engeller. Amaç potansiyel yaralanmaların önüne geçmek ve olası yaralanmaları minimize etmektir. Emniyet kemerinin işlevini tam olarak yerine getirebilmesi için kemerin sıkı ve boşluksuz olması gerekmektedir. Kaza meydana geldiğinde, emniyet kemerinin boşluğunu alarak elimine eden mekanizma ön gergi mekanizması olarak adlandırılmaktadır.

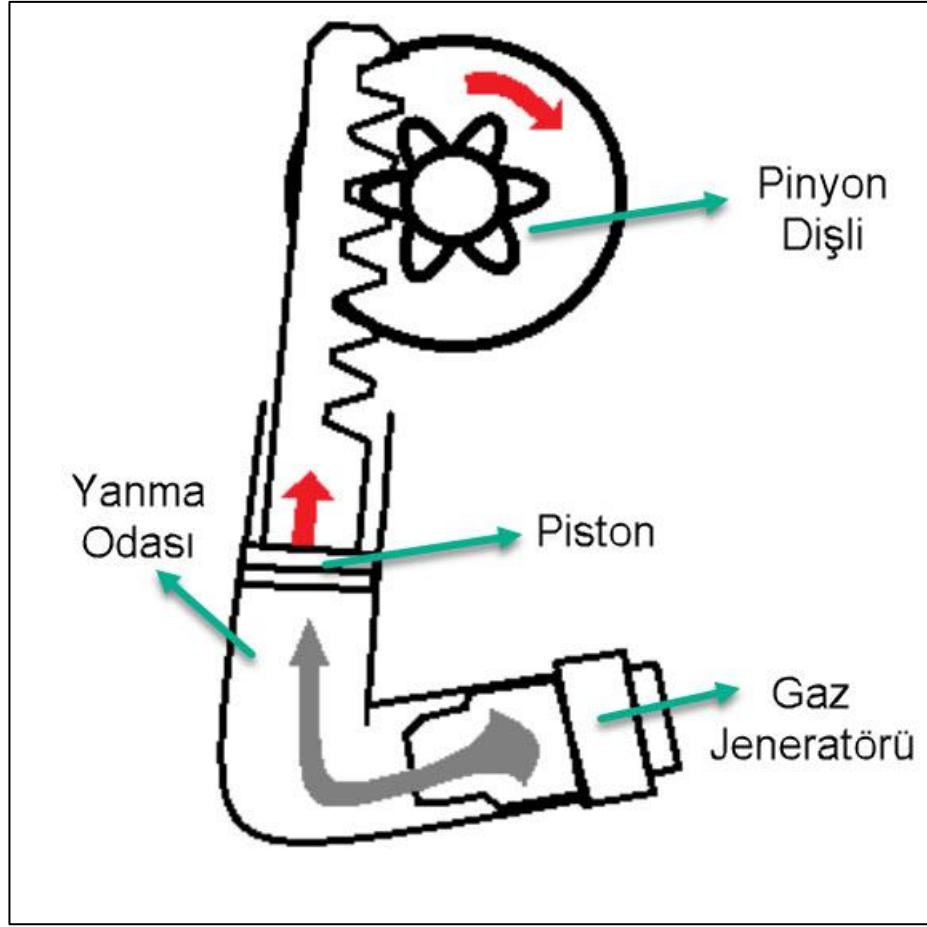
Otomotiv sektöründe mekanik, elektronik ve piroteknik tip olmak üzere üç farklı tip ön gergi mekanizması kullanılmaktadır. Mekanik tipteki ön gergi mekanizması, bu üç farklı tip mekanizma arasında en eski teknolojiye sahip olan mekanizmadır. Bu mekanizma emniyet kemerine güçlü bir yay vasıtasıyla bağlanmıştır. Ani ivmelenme ya da yavaşlama anında, mandal aracılığıyla kilidin açılıp yayın serbest kalmasıyla emniyet kemerinin boşluğu alınır. Bu teknolojinin dezavantajı, sistem aktive olup işlevini yerine getirdikten sonra yerine yeni bir sistemin kullanılması gereksinimidir.

Otomotiv sektöründe kullanılan ön gergi mekanizmalarının bir diğer çeşidi ise elektronik tip ön gergi mekanizmalarıdır. Bu mekanizma ECU ile bağlantılı şekilde çalışmaktadır. Mekanizmanın devreye girebilmesi için ivmeölçerden sinyal alınmaktadır. Aynı sensör, hava yastıklarının açılması için de kullanılmaktadır. Ani yavaşlama anında bu sensör gerekli olan algılama işlemini gerçekleştirir ve sinyal gönderir. Bu sinyalle birlikte, sistemde kullanılan elektrik motoru devreye girer ve elektrik motoruyla entegre halde çalışan dişli mekanizması hareket ettirilir. Dişli mekanizması da geri sarım mekanizmasının içerisinde bulunan makarayla birlikte çalışmaktadır. Dişli mekanizması ve makara zıt yönde çalıştığından emniyet kemerinin boşluğu alınarak sıkı bir hale getirilmiş olur. Şekil 2.12'de elektronik tip ön gergi mekanizması gösterilmiştir.



Şekil 2.12. Elektronik tip ön gergi mekanizması (Stanfill 2011)

Günümüzde piroteknik tip ön gergi mekanizmaları modern araçlarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Hafif kazalarda ön gergi mekanizması hava yastığının açılmasına bağlı olmadan devreye girerken, ciddi kazalarda ön gergi mekanizması hava yastığının açılmasıyla ilişkili olarak devreye girmektedir. Piroteknik tip ön gergi mekanizmalarında kolay tutuşabilir gaz, ateşleyici materyal, piston, pinyon dişli, gaz jeneratörü, yanma odası gibi elemanlar kullanılmaktadır. Kaza olduğu anda, gaz jeneratörü aktif hale gelerek yanma odasını kolay tutuşabilir gaz malzemeyle dolmasına yardımcı olur. Daha sonra ateşleyici materyal yardımıyla piston hareket ettirilerek yanma odası içerisindeki gaz basıncı artırılır ve piston yukarı yönde hareket eder. Pistonun yukarı yönde hareketiyle pinyon dişli de döndürülmüş olur. Böylelikle emniyet kemerinin boşluğu alınarak kemer gergin bir hale getirilir. Şekil 2.13'te piroteknik tip ön gergi mekanizması gösterilmiştir.



Şekil 2.13. Piroteknik tip ön gergi mekanizması (Rentschler 2015)

Emniyet kemeri ön gergi mekanizmaları, genellikle emniyet kemeri sistemi komponentlerinden olan emniyet kemeri tokası ya da emniyet kemeri geri sarım mekanizmasıyla ilişkili halde çalışmaktadır. Ek olarak, bazı otomobillerde ön gergi sistemi emniyet kemeri sabitleme noktasıyla da akuple halde çalışabilmektedir. Şekil 2.14'te ön gergi mekanizmasının geri sarım mekanizmasıyla; Şekil 2.15'te emniyet kemeri tokasıyla ve Şekil 2.16'da emniyet kemeri sabitleme noktasıyla akuple halde çalıştığı durumlar gösterilmiştir.



Şekil 2.14. Geri sarım mekanizmasıyla akuple çalışan ön gergi mekanizması (Anonim 2019i)



Şekil 2.15. Emniyet kemeri tokasıyla akuple çalışan ön gergi mekanizması (Anonim 2019i)



Şekil 2.16. Emniyet kemeri sabitleme noktasıyla akuple çalışan ön gergi mekanizması (Anonim 2019j)

2.2.3. Emniyet Kemerinin Yük (Kuvvet) Sınırlayıcı

Otomotiv emniyet kemeri sistemlerinde kullanılan bir diğer mekanizma ise yük (kuvvet) sınırlayıcıdır. Yük sınırlayıcılar, otomotivlerde opsiyonel olarak kullanılmaktadır. Çoğunlukla üst segment araçlarda tercih edilmektedirler. Bazı araçlarda sadece sürücü tarafındaki emniyet kemeri sistemlerinde bu yük sınırlayıcılar kullanılırken bazı araçlarda ise sürücü ve ön tarafta seyahat eden yolcunun emniyet kemeri sisteminde yük sınırlayıcılar kullanılmaktadır.

Emniyet kemeri sistemlerinde kullanılan yük sınırlayıcıların fonksiyonlarını yerine getirebilmeleri için hava yastıklarıyla birlikte çalışmaları gerekmektedir. Yük sınırlayıcılar, kaza anında devreye girerek emniyet kemerinin gevşemesine imkan verip sürücünün ya da yolcunun patlayan hava yastığına temas etmesini sağlamaktadır. Böylelikle sürücü ya da yolcunun kazadan minimum hasarla kurtulabilmesi hedeflenmektedir. Yük sınırlayıcılar, kullanıcı ile emniyet kemeri arasındaki yükü azaltma ve kontrol altında tutma eğilimindedirler.

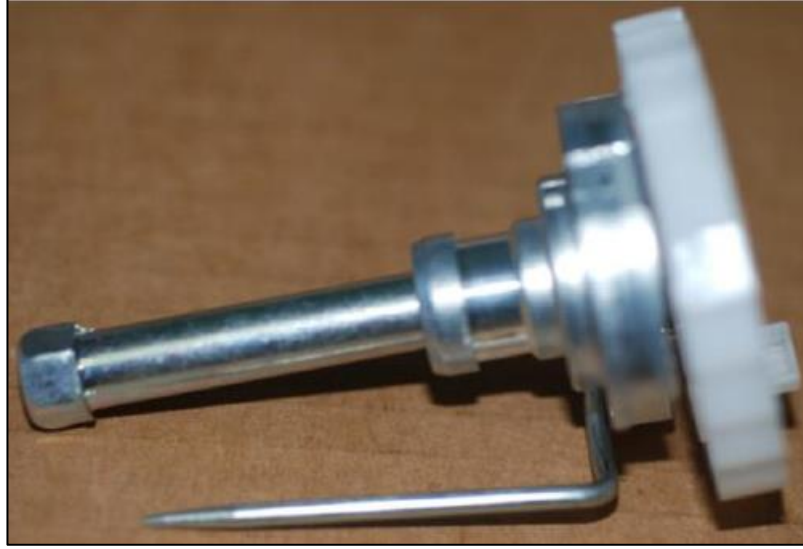
Günümüzde otomotiv sektöründe mekanik tip ve burulma çubuğu kullanılan tip olmak üzere iki çeşit yük sınırlayıcı kullanılmaktadır. Mekanik tipteki yük sınırlayıcılar, emniyet kemeri geri sarım mekanizmasıyla akuple halde çalışmaktadır. Araç B sütununun içerisine monte edilen mekanik tip yük sınırlayıcılar, metal dişler içeren bir yapıya sahiptir. Kaza anında ortaya çıkan kuvvetin şiddetine göre bu metal dişler plastik deformasyona uğrayarak kullanıcı üzerine gelen kuvvetlerin kademeli olarak sönmülmesine ve emniyet kemerinin bir miktar gevşetilerek kullanıcının araç x ekseninde hava yastığına doğru hareket etmesine olanak sağlamaktadır. Böylelikle kullanıcının kazadan en az yaralanma seviyesinde kurtulabilmesi amaçlanmaktadır. Şekil 2.17’de metal dişler içeren bir yapıya sahip olan mekanik tip yük sınırlayıcı gösterilmiştir.



Şekil 2.17. Mekanik tip yük sınırlayıcı (Van Arsdell ve ark. 2016)

Bir diğer yük sınırlayıcı çeşidi ise burulma çubuğu kullanılan tip yük sınırlayıcılardır. Burulma çubuğu kullanılan tip yük sınırlayıcılar, mekanik tip yük sınırlayıcılar gibi emniyet kemeri geri sarım mekanizmasıyla akuple halde çalışmaktadır. Bu tip yük sınırlayıcılarda ise metal silindirik formda bir çubuk kullanılmaktadır. Bu çubuk, emniyet kemeri sistemi üzerine etkileyen kuvvetler belirli bir sınır değerini geçtikten sonra burularak deformasyona uğramaktadır. Burulma işleminin sonucunda ise emniyet kemeri gevşeyip serbest kalmaktadır. Bunun sonucunda kullanıcının araç x ekseninde hava yastığına doğru hareket etmesi amaçlanmakta ve kullanıcının en az hasarla kazayı

atlatılması hedeflenmektedir. Şekil 2.18’de burulma çubuğu kullanılan tip yük sınırlayıcı gösterilmiştir.



Şekil 2.18. Burulma çubuğu kullanılan tip yük sınırlayıcı (Van Arsdell ve ark. 2016)

Otomotiv emniyet kemeri sistemlerinde opsiyonel olarak kullanılan yük sınırlayıcılar, kaza anında devreye girerek, emniyet kemerinin salınımına olanak sağlayarak araç içerisindeki sürücü ya da yolcuların hava yastığına temas edebilecek şekilde bir miktar hareketine imkan sağlamaktadırlar. Bunun amacı, sürücü ya da yolcuların vücutları üzerinde özellikle de göğüs bölgeleri üzerinde emniyet kemeri kullanımından dolayı açığa çıkabilecek yaralanmaların en alt düzeylere indirilmesidir.

Otomotiv emniyet kemeri sistemlerinde opsiyonel olarak kullanılan yük sınırlayıcıların avantajlarının yanında dezavantajları da bulunmaktadır. İdeal durumda, yük sınırlayıcılar kaza esnasında emniyet kemerini bir miktar serbest bırakarak, kullanıcının araç x eksenine doğrultusunda hareket ederek hava yastığına temasını sağlamaktadır. Ancak yapılan araştırmalarda, bu ideal durumun her zaman gerçekleşmediği, kemerin salınımından dolayı kullanıcının araç içerisindeki direksiyon kolunu, ön konsol gibi yapılara hızlı bir şekilde çarparak ciddi yaralanmalara maruz kaldığı saptanmıştır. Ek olarak, hava yastıklarının kaza esnasında verimli çalışmama olasılığından dolayı yük sınırlayıcılarının kullanımından dolayı çeşitli travmalar da görülebilmektedir (Meyer ve ark. 2015)

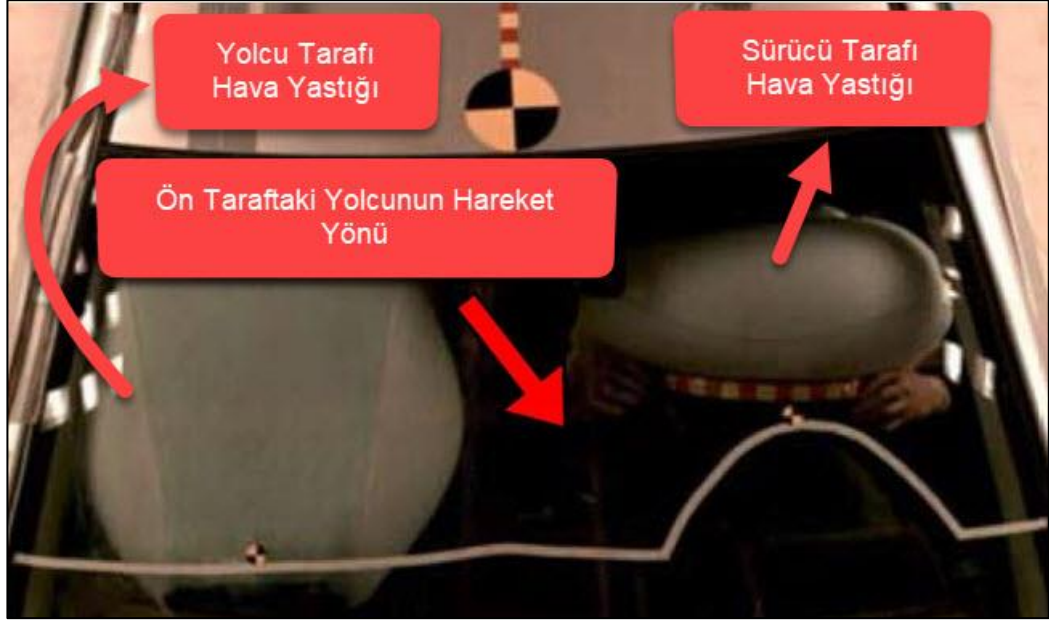
Bir diğerk araştırmada, 123 adet yolcu aracı için önden arpıřmalđ test kazaların sonuçları irdelenmiştir. Yapılan irdeme sonucunda, yk sınırlayıcı kullanımından ötürü emniyet kemeri kullanıcısının baş bölgesini n hava yastığına ve direksiyon simidine çarptığı tespit edilmiştir. Kaza esnasında kullanıcının baş bölgesi ivmelenmesinin de yüksek olduğu saptanmıştır. Yine aynı çalışmada yer alan bilgilere göre, emniyet kemeri sisteminde yk sınırlayıcı kullanılan araçların %52'sinde test mankenlerinin baş bölgelerini direksiyon simidine çarptığı; ancak yk sınırlayıcı kullanılmayan araçların sadece %20'sinde test mankenlerinin baş bölgelerini direksiyon simidine çarptığı görülmüştür (Brumbelow ve ark. 2007).

Brumbelow ve ark. (2007), makalelerinde 1996 ile 2003 yılları arasını kapsayan trafik kazalarının ölüm analiz raporlarını ve gerçek hayattaki kazalarda emniyet kemeri sisteminde kullanılan yük sınırlayıcıların etkilerini incelemişlerdir. Sundukları rapora göre yk sınırlayıcıların ölüm riskini azaltmadığı hatta bazı kazalarda ölüm riskini arttırdığı kanısına varmışlardır.

Meyer ve ark. (2015), gerçek kaza verilerini incelemişlerdir. Toyota Yaris marka otomobil için önden çarpışmanın gerçekleştiği durumdaki veriler incelenmiştir. Bu kazada araç içerisinde bulunan erkek sürücü, yaklaşık 77-82 kg ağırlık ve 178 cm boya sahiptir. Aracın emniyet kemeri sisteminde yk sınırlayıcı kullanıldığından ötürü kaza gerçekleştiği esnada emniyet kemeri yaklaşık 304 mm serbest bırakılmıştır. Kaza yapan araçtaki sürücü, bu salınımdan dolayı baş bölgesini araç A-sütununa armış, bu nedenle de kafatasında kırık ve beyinde kalıcı hasara rastlanılmıştır.

Meyer ve ark. (2015), Kia Forte marka otomobil için önden çarpışmanın grldği durumu da incelemişlerdir. Bu kazada araç içerisinde bulunan kadın yolcu, sürücü yanındaki sağ n koltukta oturmaktadır. Kadın yolcu yaklaşık 114 kg ağırlık ve yaklaşık 150-152 cm arasında boy uzunluğuna sahiptir. Kaza anında yk sınırlayıcı kullanımından dolayı emniyet kemeri 280 mm serbest kalmıştır. Otomobillerde sürücü hava yastığının tamamen aktif hale gelmesiyle yolcu hava yastığının aktif hale gelmesi arasında milisaniyeler mertebesinde bir fark vardır. Bu nedenle emniyet kemerinin salınımindan dolayı araç x ekseninde n tarafa doğru hareket eden yolcu, iki hava

yastığı arasındaki zamanlama farkından dolayı baş bölgesini araç kokpitine çarpmış ve ciddi bir şekilde yaralanmıştır. Yük sınırlayıcı kullanımından ötürü emniyet kemeri sütun döngüsü komponentinde de ciddi aşınmalar görülmüştür. Şekil 2.19’da yolcunun kaza esnasındaki hareket yönü, Şekil 2.20’de ise kazanın etkisiyle araç içerisinde oluşan hasar gösterilmiştir.



Şekil 2.19. Ön taraftaki yolcunun kaza anındaki hareket yönü (Meyer ve ark. 2015)



Şekil 2.20. Araç içerisindeki deformasyon (Meyer ve ark. 2015)

Meyer ve ark. (2015), Toyota Prius marka otomobil için kavşak içerisinde gerçekleşen bir kazayı incelemişlerdir. Araç, öncelikle kavşak içerisinde başka bir araçla çarpışmış, daha sonra da yol üzerinde konumlandırılmış olan bariyerlere çarpmıştır. Yani birden fazla önden çarpmanın gerçekleştiği bir durum söz konusudur. Araç emniyet kemeri sisteminde yük sınırlayıcı kullanımından dolayı emniyet kemeri yaklaşık 590 mm salınım yapmıştır. İlk çarpmada, hava yastığı devreye girerek işlevini tamamlamıştır. Ancak ikinci çarpışmada hava yastığı herhangi bir katkı sağlayamamıştır. Yük sınırlayıcı ise hem ilk hem de ikinci çarpışma anında kemerinin serbest kalmasını sağlayarak kullanıcının araç x ekseninde hareketine imkan vermiştir. Sürücünün öne doğru hareketlenmesinden ve hava yastığının işlevini tam olarak yerine getirememesinden dolayı ölümcül baş, göğüs ve karın bölgesi yaralanmalarının olduğu gözlemlenmiştir. Erkek sürücü yaklaşık olarak 183 cm boyunda ve 109 kg ağırlığındadır.

Meyer ve ark. (2015), Mini Cooper marka otomobil için önden çarpışmanın gerçekleştiği durumdaki kaza verilerini incelemişlerdir. Kaza anında hava yastığı devreye girmemiştir. Yük sınırlayıcı, emniyet kemerinin 432 mm salınımına sebebiyet vermiştir. 183 cm boyunda ve 111 kg ağırlığındaki erkek sürücü, baş bölgesini araç A-sütununa çarpmış, kafatasında çok fazla sayıda kırık meydana gelerek hayatını kaybetmiştir.

Xiao ve ark. (2017), yapmış oldukları çalışmada iki farklı tip emniyet kemer sistemini karşılaştırmışlardır. Yük sınırlayıcı kullanılmayan emniyet kemer sistemi geleneksel emniyet kemeri sistemi olarak isimlendirilmiştir. Yük sınırlayıcı kullanılan emniyet kemeri sistemlerinde, kullanıcı üzerinde oluşan kaburga kemiği kırıklarının, geleneksel emniyet kemeri sistemiyle karşılaştırıldığında daha fazla ve riskli düzeyde olduğu kanısına varılmıştır. Ayrıca yük sınırlayıcı kullanılan sistemlerde, kaburga üzerindeki gerilme-gerinim değerlerinin, geleneksel emniyet kemeri sistemlerine göre daha yüksek olduğu belirtilmiştir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Trafik kazalarında emniyet kemerinin kullanımı sayesinde birçok insanın hayatta kaldığı bilinmektedir. Ancak emniyet kemeri kullanımı zaman zaman araç içerisindeki sürücü ve yolcularda çeşitli yaralanmalara da sebebiyet verebilmektedir. Sürücü ve yolcuların göğüs, bel, karın, kalça, omuz, kafa, boyun bölgelerinde kaza esnasında emniyet kemeri kullanımından dolayı ciddi hasarlar meydana gelebilmektedir (Şekil 3.1.). Kaza esnasında emniyet kemeri ve hava yastıkları aktif olarak görev yaptığı halde sürücü ve yolcuların özellikle göğüs bölgelerinde oluşan yaralanmalar ciddi travmalara, kalıcı hasarlara ve hatta ölümlere sebebiyet verebilmektedir.



Şekil 3.1. Emniyet kemeri kullanımının neden olduğu yaralanmalar (Al-Ozaibi ve ark. 2016)

OEM ve otomotiv güvenlik ekipmanı üreten firmalar, emniyet kemeri kullanımından dolayı ortaya çıkan olumsuz durumları minimize etme adına bugüne kadar çok çeşitli projeler gerçekleştirmişlerdir. Önceki bölümlerde bahsedilen ön gergi mekanizmaları ve yük sınırlayıcılar emniyet kemer sistemlerine entegre edilerek kullanıcının konforunun

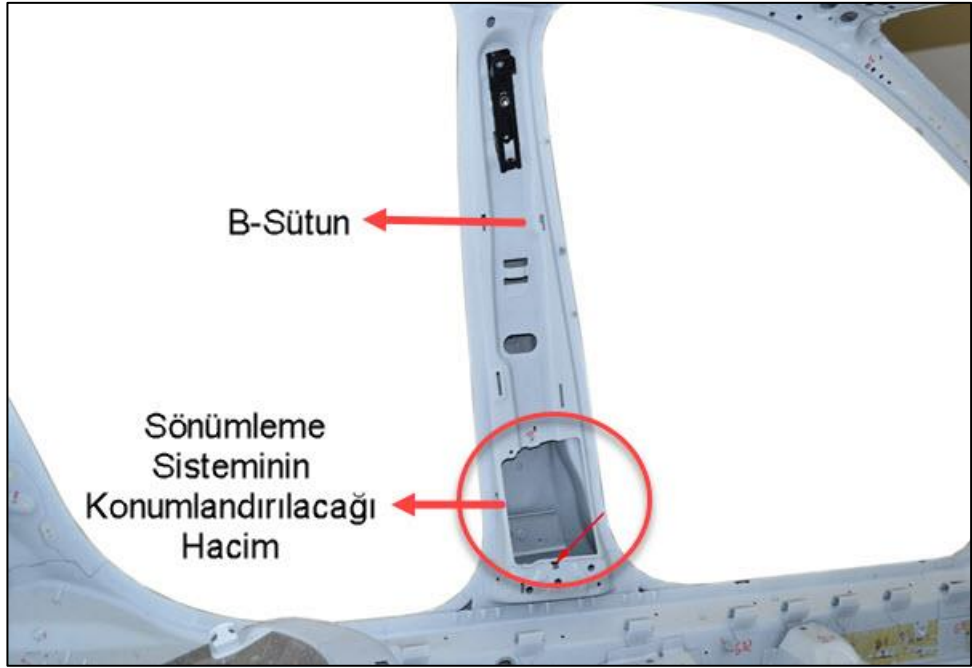
artması, kazadan olabildiğince az hasarla kurtarılması hedeflenmiştir. Bu sistemlerin kullanımının bazı avantajları olduğu gibi dezavantajları da bulunmaktadır. Yük sınırlayıcıların çalışma prensibinden dolayı emniyet kemerinin serbest kalmasına izin vermesi çeşitli problemleri de beraberinde getirmiştir. Sürücü ya da yolcular yük sınırlayıcı kullanımından dolayı, baş, boyun, göğüs gibi yaşamsal fonksiyonlar için önemli olan vücut bölümlerini, araç A-sütununa, ön konsoluna ve direksiyon simidine çarparak ciddi şekilde yaralanmışlardır. Hatta kaza verileri incelendiğinde bazı sürücü ve yolcuların hayatlarını kaybettikleri tespitine ulaşılmıştır.

Bu tez çalışması kapsamında, otomotiv emniyet kemeri sistemlerini daha işlevsel, daha fonksiyonel, daha güvenilir bir hale getirmek için kaza esnasında oluşan enerjiyi sönmüleyecek yeni bir sistem geliştirilmiştir. Bahsedilen bu sistem alüminyum köpük içerikli enerji sönmüleme sistemidir. Alüminyum köpük malzemenin enerji absorbe etme özelliğinden yararlanılarak, kaza esnasında açığa çıkan ve sürücü/yolcu üzerine etki edip çeşitli yaralanmalara hatta ölümlere sebebiyet veren kuvvetlerin sönmülenmesi hedeflenmiştir. Alüminyum köpük içerikli enerji sönmüleme sistemi otomotiv emniyet kemeri sistemiyle entegre halde çalışmaktadır.

3.1. Fizibilite Çalışmaları

Alüminyum köpük takviyeli enerji sönmüleme sisteminin otomotiv emniyet kemeri sistemine adaptasyonu ile ilgili gereken fizibilite çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Fizibilite çalışmaları kapsamında otomotiv emniyet kemeri sistemlerini oluşturan alt komponentler, mekanizmalar, bu komponentlerin ve mekanizmaların araç içerisine montajlandığı bölgeler detaylı bir şekilde incelenmiştir. Yapılan detaylı incelemeler neticesinde, alüminyum köpük içeren sönmüleme sisteminin araç içerisinde hangi bölgelere konumlandırılabilceği üzerine çalışılmıştır. Birinci alternatif olarak, sönmüleme sisteminin araç orta konsolunun alt kısmına ve emniyet kemeri tokasıyla entegre çalışması düşünülmüştür. İkinci alternatif olarak, sönmüleme sisteminin emniyet kemeri sabitleme noktasıyla entegre çalışması düşünülmüştür. Üçüncü alternatif olarak, sönmüleme sisteminin araç B-sütunu içerisine ve emniyet kemeri sütun döngüsüyle entegre çalışması düşünülmüştür. Dördüncü alternatif olarak ise sönmüleme

sisteminin araç B-sütunu içerisine, emniyet kemeri geri sarım mekanizmasıyla entegre halde çalışması düşünülmüştür. Emniyet kemeri sisteminin çalışma prensibi ve belirtilen sönümlenme mekanizması için gerçekleştirilen paketleme çalışmaları da dikkate alındığında, belirlenen alternatifler arasından dördüncüsünün en uygun olduğu görülmüştür. Enerji sönümlenme sisteminin araç içerisine konumlandırılması için gerekli olan boşluğun araç B-sütunu içerisinde, geri sarım mekanizmasının alt kısmında olduğu saptanmıştır. Şekil 3.2’de enerji sönümlenme sisteminin araç içerisinde konumlandırılacağı bölge gösterilmiştir.

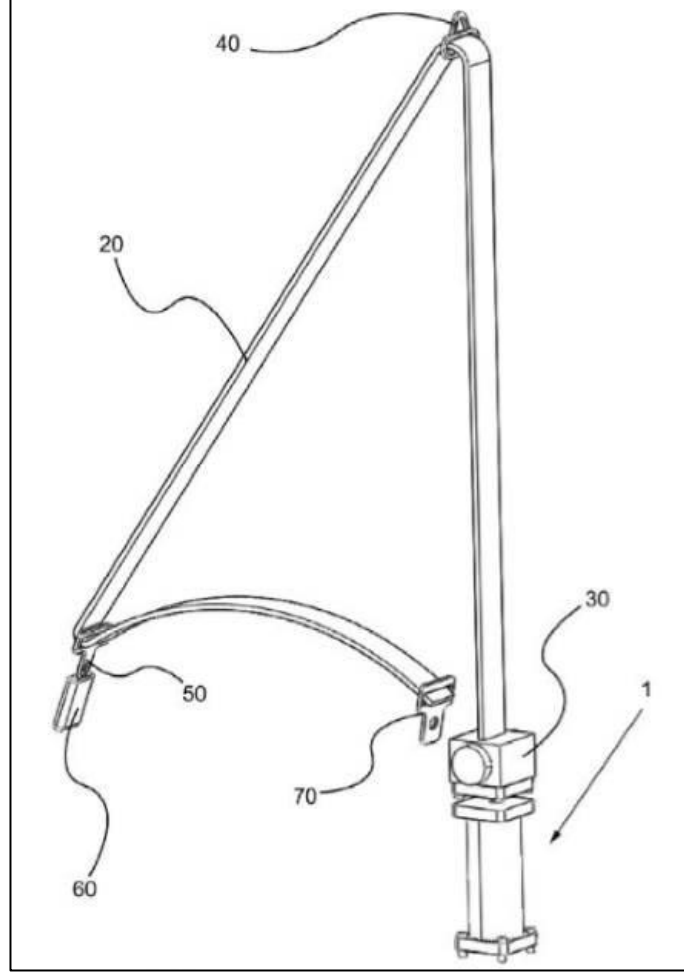


Şekil 3.2. Sönümlenme sisteminin konumlandırılacağı hacim

3.2. Patent Başvuruları

Tez çalışmasına konu olan alüminyum köpük takviyeli enerji sönümlenme sistemiyle ilgili olarak hem yurt içi hem de yurt dışı patent başvuruları tamamlanmış olup değerlendirme aşamasındadır. Türk Patent ve Marka Kurumu’na, başvuru numarası 2018/10057 ve buluş başlığı “Darbe Sönümleyici” olan ana patent başvurusu yapılmıştır. Ayrıca başvuru numarası 2019/08575 ve buluş başlığı “Emniyet Kemeri Geri Sarım Mekanizmasına Darbe Önleyici Yerleştirilmesi” olan ek patent başvurusu tamamlanmıştır. Türk Patent ve Marka Kurumu’na yapılan ana patent ve ek patent

başvurularının ardından, başvuru numarası PCT/TR2019/050546 ve buluş başlığı “Emniyet Kemerini Darbe Sönümleme Sistemi” olan PCT başvurusu tamamlanmıştır. Böylelikle patent başvurularıyla birlikte enerji sönümleme sistemi hem ulusal hem de uluslararası alanda koruma altına alınmıştır.



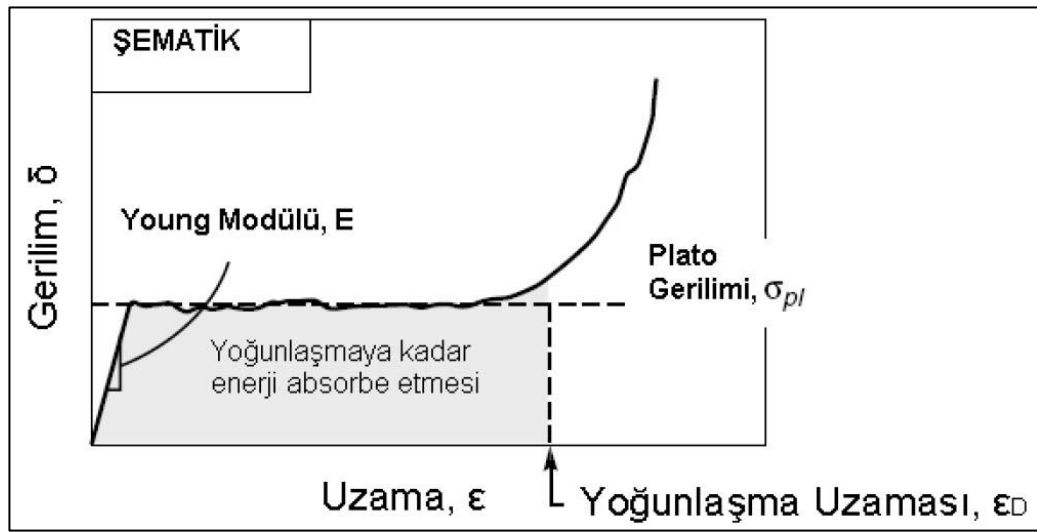
Şekil 3.3. Sönümleme sistemine ait bir patent çizimi

3.3. Alüminyum Köpük Malzemenin Özellikleri ve Otomotivdeki Kullanım Alanları

Gözenekli bir yapıya sahip olan ve içerisinde alüminyum, titanyum, nikel, çinko gibi metaller barındıran yapıların genel ismi metal köpük olarak adlandırılmaktadır. Bu tez çalışması kapsamında, otomotiv emniyet kemeri sistemlerine alüminyum ihtiva eden metal köpük entegre edilmiştir. Son zamanlarda, alüminyum köpük malzemelerin başta otomotiv sektörü olmak üzere gemi, havacılık, savunma gibi alanlarda da kullanımı

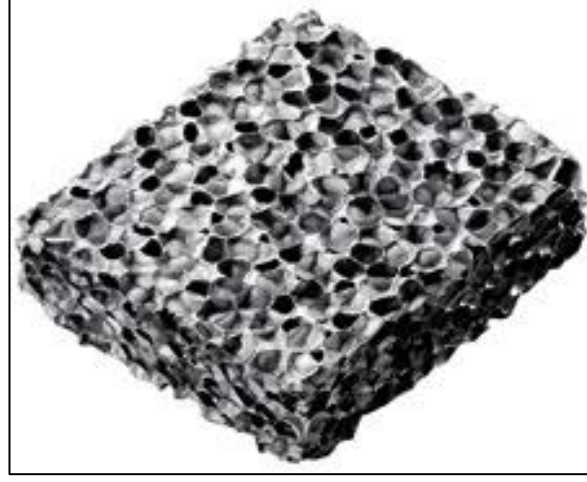
yaygınlaşmaya başlamıştır. Özellikle yüksek rijitlik ve yüksek mukavemet özelliklerinin yanında düşük yoğunluğa sahip olması alüminyum köpük malzemelerin kullanım alanının artmasını sağlamıştır. Ek olarak, enerji sönümlene kabiliyetlerinin yüksek olması, düşük termal iletkenlik ve düşük manyetik geçirgenliğe sahip olmaları alüminyum köpük malzemelerin avantajlarından. Ayrıca alüminyum köpük malzemelerin geri dönüşümleri de mümkündür. Alüminyum köpük metallerin, ses yalıtımına yardımcı olma ve vibrasyonu azaltma gibi özellikleri de bulunmaktadır.

Alüminyum köpük malzemeler, ezilip sıkıştırıldığında plato stresi özelliğini göstermektedir. Malzemenin maruz kaldığı yükten dolayı şekil değişimine uğraması ve yoğunlaşma uzaması noktasına kadar yatay bir eğri oluşturması malzemenin plato stresi özelliğine sahip olduğunu göstergesidir. Bahsedilen plato stresi özelliği, Şekil 3.4'te Gerilim – Uzama grafiğinde gösterilmiştir. Alüminyum köpük malzemelerin göstermiş olduğu bu malzeme karakteristiği nedeniyle, absorbe edilen enerji miktarları da ciddi ölçüde artmaktadır. Çelik, dökme demir, alüminyum gibi malzemeler ezilip sıkıştıklarında plato stresi özelliğini göstermemektedirler. Ayrıca alüminyum köpük malzemeler, deformasyon sırasında poisson oranında değişiklik göstermektedirler. Ek olarak, çeliğin özgül ağırlığı $7,8 \text{ g/cm}^3$, alüminyumun özgül ağırlığı $2,7 \text{ g/cm}^3$ iken alüminyum köpüğün özgül ağırlığı ise $0,2-0,9 \text{ g/cm}^3$ değer aralığındadır (Sığırtaç 2010).



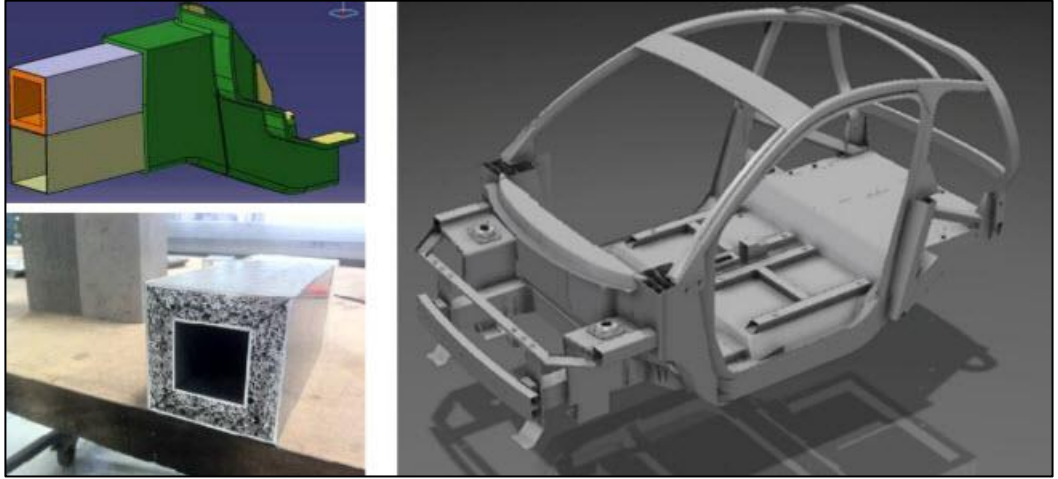
Şekil 3.4. Alüminyum köpük malzemenin gerilim-uzama eğrisi (Sığırtaç 2010)

Gözenekli bir yapıya sahip olan alüminyum köpük malzemenin bir görünümü Şekil 3.5'te gösterilmiştir.



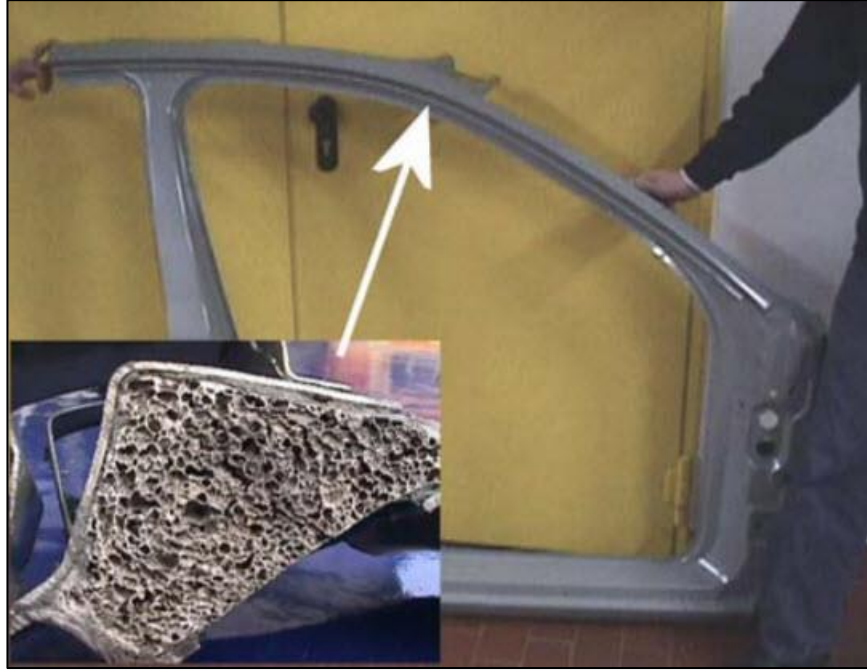
Şekil 3.5. Alüminyum köpük (Roush 2006)

Alüminyum köpük otomotiv sektöründe tercih edilen bir malzemedir. Elektrikli prototip bir aracın, çarpışma kutusunda dikdörtgen alüminyum profillerinin içinde alüminyum köpük kullanılarak malzemenin enerji absorbe özelliğinden yararlanılmak istenmiştir (Şekil 3.6).



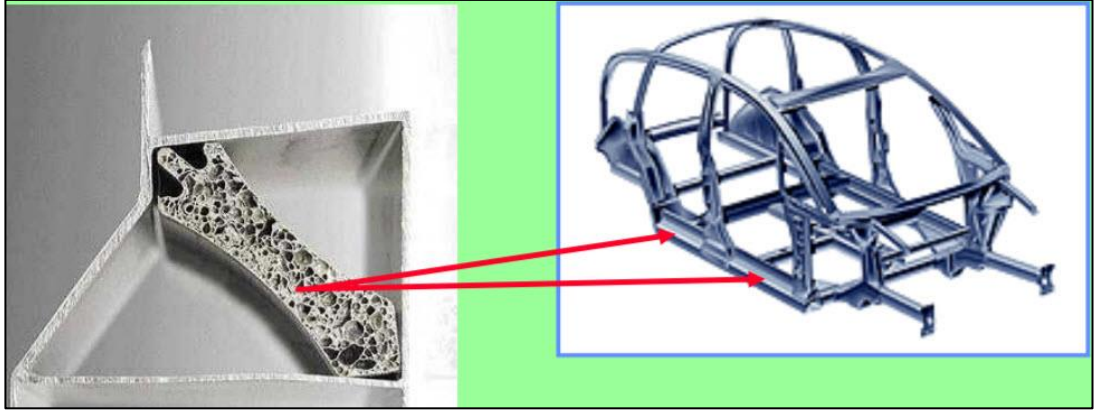
Şekil 3.6. Alüminyum köpüğün otomotiv çarpışma kutusunda kullanımı (Moreno 2016)

Alüminyum köpüğün otomotiv sektöründeki bir diğer uygulaması ise araç A-sütununda kullanılmasıdır. Aracı daha güvenli bir seviyeye getirmek için özgül ağırlığı düşük, enerji absorbe etme yeteneği yüksek olan alüminyum köpük malzeme, A-sütunu içerisine bölgesel olarak konumlandırılmıştır. Şekil 3.7’de alüminyum köpüğün araç A-sütununa entegrasyonu gösterilmiştir (Stöbener ve ark. 2009).



Şekil 3.7. Alüminyum köpüğün araç A-sütununa entegrasyonu (Stöbener ve ark. 2009)

Alüminyum köpüğün otomotiv sektöründeki bir diğer uygulaması ise Audi marka otomobilin yan eşik parçası içerisinde kullanılması olmuştur. Bu uygulamayla, özellikle yandan çarpışmanın olduğu kazalarda araç şasisinin korunması amaçlanmıştır. 2001 yılında gerçekleştirilen bu uygulama, alüminyum köpüğün otomotiv sektöründeki seri imalat koşullarında gerçekleştirilen ilk denemedir. Şekil 3.8’de bahsedilen uygulama görsel olarak verilmiştir (Simancik ve ark. 2015).

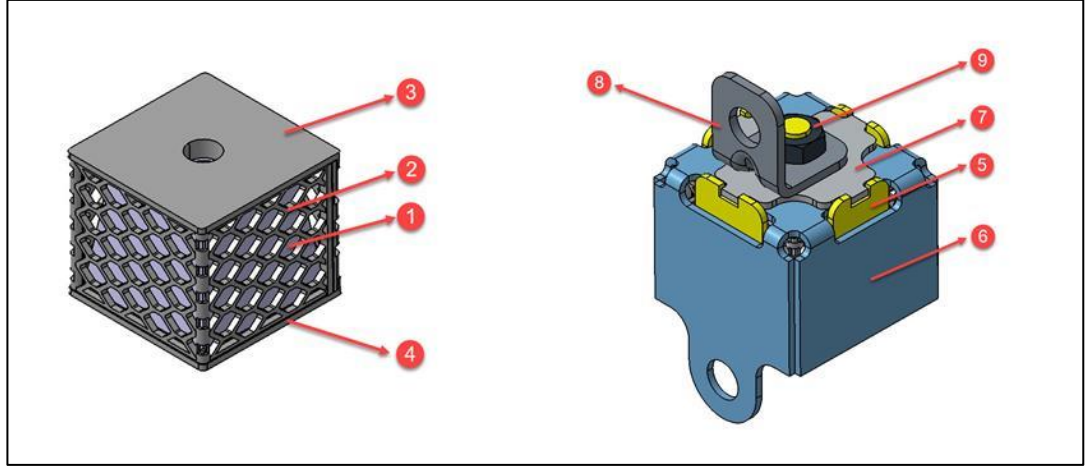


Şekil 3.8. Alüminyum köpüğün araç yan eşiği içinde kullanılması (Simancik ve ark. 2015)

3.4. Alüminyum Köpük Takviyeli Sönümlenme Sistemi Tasarım Çalışmaları

Alüminyum köpük takviyeli enerji sönümlenme sisteminin otomotiv emniyet kemeri sistemine entegre edilebilmesi için gerekli olan tasarım çalışmaları, CATIA V5 bilgisayar destekli tasarım programı aracılığıyla tamamlanmıştır. Daha önceki bölümlerde de bahsedildiği gibi ilgili sönümlenme sisteminin, yapılan fizibilite çalışmaları neticesinde emniyet kemeri geri sarım mekanizmasıyla ilişkili çalışacağı öngörülerek tasarım faaliyetleri bu çerçevede gerçekleştirilmiştir.

Sönümlenme sisteminin otomotiv emniyet kemerine adapte edilebilmesi çeşitli tasarım alternatifleri üzerinde çalışılmıştır. Birinci tasarım alternatifi olarak, sönümlenme sisteminin dokuz adet farklı alt komponentten oluşması düşünülmüştür. Bu alt komponentler, alüminyum köpük, koruyucu kılıf, koruyucu kılıf üst kapak, koruyucu kılıf alt kapak, iç kılıf, sınırlandırıcı dış kılıf, dış kılıf üst destek, braket ve somun şeklindedir. Şekil 3.9'da bahsedilen sönümlenme sistemi ve alt komponentleri numaralandırılmış olarak gösterilmiştir.



Şekil 3.9. Alüminyum köpüğü içerisinde barındıran sönümleme sistemi

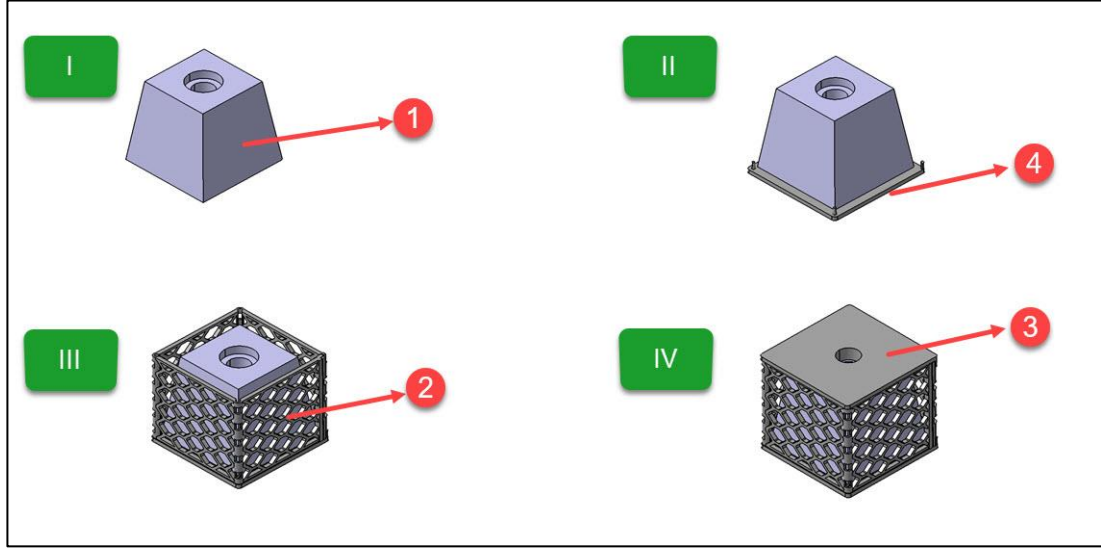
Çizelge 3.1’de ise sönümleme sistemini oluşturan numaralandırılmış alt bileşenlerle ilgili olarak BOM listesi verilmiştir.

Çizelge 3.1. Sönümleme sistemini oluşturan alt bileşenlere ait BOM listesi

BOM	
NO	AÇIKLAMA
1	Alüminyum Köpük
2	Koruyucu Kılıf
3	Koruyucu Kılıf Üst Kapak
4	Koruyucu Kılıf Alt Kapak
5	İç Kılıf
6	Sınırlandırıcı Dış Kılıf
7	Dış Kılıf Üst Destek
8	Braket
9	Somun

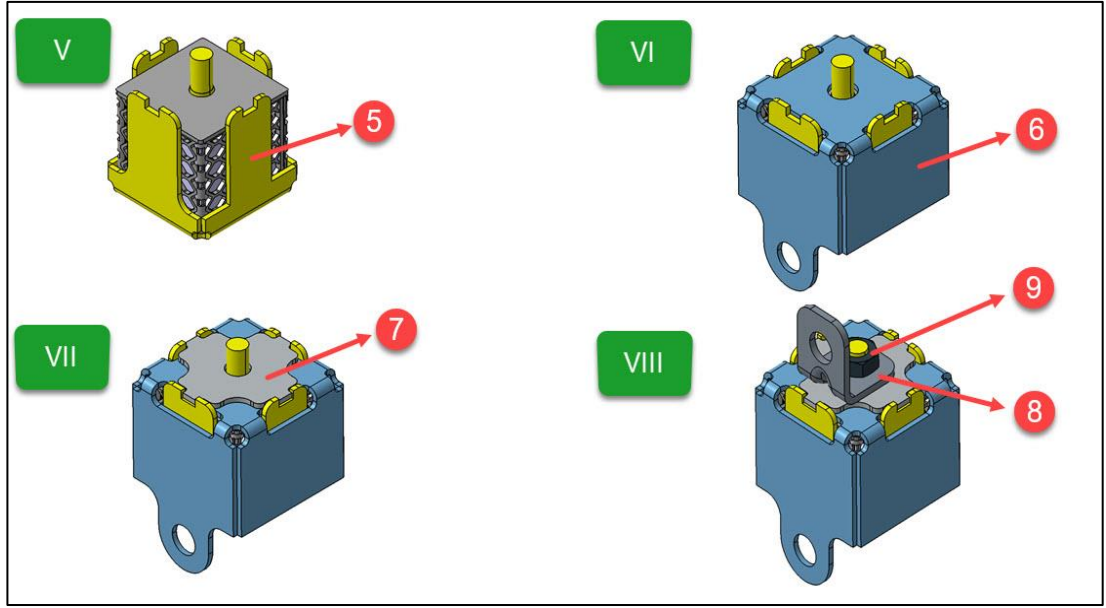
Tasarlanmış olan sönümleme sistemini oluşturan alt bileşenlerin montaj sıralaması şu şekilde şeklindedir: Öncelikle alüminyum köpüğün (1) alt yüzeyine temas eden koruyucu kılıf alt kapak (4) bileşeni montaj edilir. Daha sonra koruyucu kılıf (2), alt kapağa monte edilir. Sonrasında da koruyucu kılıf üst kapak (3), koruyucu kılıfa monte edilerek alüminyum köpük kapalı bir kafes yapısı haline getirilmiş olur. Montaj sıralaması, Şekil 3.10’da I, II, III ve IV şeklinde sıralı olarak açıklanmıştır. Çizelge

3.1'deki BOM listesine göre de ilgili elemanlar 1, 2, 3 ve 4 şeklinde numaralandırılmıştır.



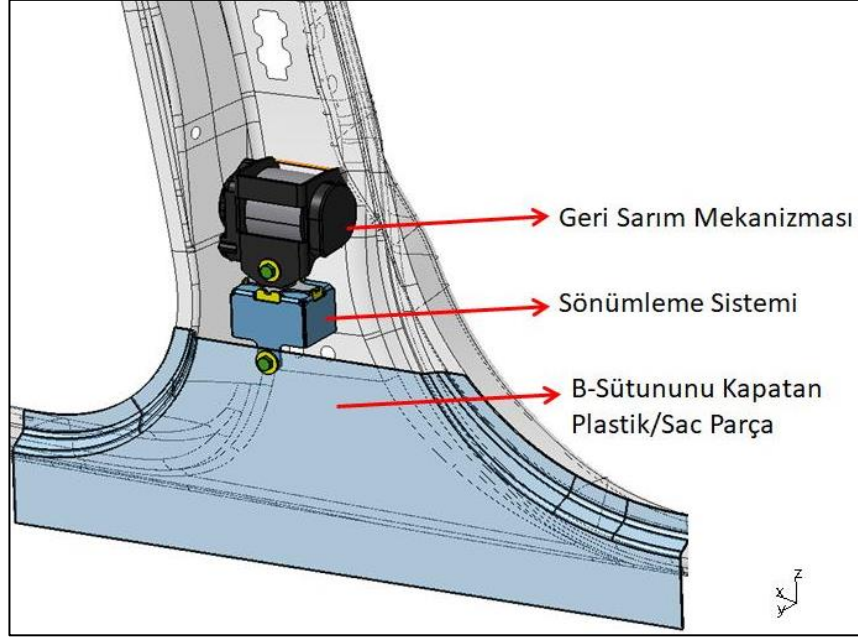
Şekil 3.10. Sönümlenme sisteminin montaj sıralaması

Şekil 3.11'de gösterildiği gibi; alüminyum köpüğü içerisinde barındıran kafes yapısı şeklindeki sistemi oluşturan parçaların merkezinden delik açılmıştır. İç kılıf parçası (5), bu delikten geçirilerek yapıya monte edilmektedir. İç kılıfın montajından sonra, sönümlenme mekanizmasının en dışında yer alan, kafes sistemiyle iç kılıfı da içerisinde barındıran sınırlandırıcı dış kılıfın (6) montajı yapılmaktadır. Sınırlandırıcı dış kılıf büküm yoluyla sac malzemeden imal edilen bir komponenttir. Sonrasında dış kılıf üst destek parçası (7), sınırlandırıcı dış kılıfın üst yüzeyine kaynak edilerek oturtulur. Dış kılıf üst destek parçasının montajlanma işlemi bittikten sonra braket (8), dış kılıf destek parçasının üst yüzeyine kaynak edilir. Kullanılan bu braket vasıtasıyla sönümlenme mekanizması, emniyet kemeri geri sarım mekanizmasıyla irtibatlı hale gelmektedir. Son olarak somun elemanın montajıyla sönümlenme mekanizmasının montaj işlemi tamamlanmış olmaktadır. Montaj sıralaması, Şekil 3.11'de V, VI, VII ve VIII şeklinde sıralı olarak açıklanmıştır. Çizelge 3.1'deki BOM listesine göre de ilgili elemanlar 5, 6, 7, 8 ve 9 şeklinde numaralandırılmıştır.



Şekil 3.11. Sönümlenme sisteminin montaj sıralamasının devamı

Otomotiv emniyet kemeri sistemlerine entegre edilmesi planlanan alüminyum köpük içerikli enerji sönümlenme sistemi, çalışma prensibi göz önünde bulundurularak tasarlanmıştır. Enerji sönümlenme sistemi, üst kısmından braket yardımıyla geri sarım mekanizmasıyla irtibatlandırılmıştır. Enerji sönümlenme sistemi alt kısmından ise sınırlandırıcı dış kılıfın tasarımından dolayı, otomotivin B-sütununun bir kısmını kapatan plastik ya da sac parçayla irtibat halindedir. Sönümlenme sistemi, araç B-sütunu içerisinde yer alan boşluklu alan içerisine konumlandırılmıştır. Alüminyum köpük içerikli sönümlenme sisteminin otomotiv içerisine montajlanmış hali Şekil 3.12’de gösterilmiştir. Şekilde gösterilen sistem, sürücü tarafında kullanılan emniyet kemeri sistemine adaptasyonu göstermektedir. Şekil üzerinde yer alan x, y, z koordinat sistemi otomotiv tasarımcılarının kullandığı geleneksel koordinat sistemini ifade etmektedir. Mekanizmanın çalışma prensibi de bu koordinat sistemi kullanılarak tanımlanacaktır.

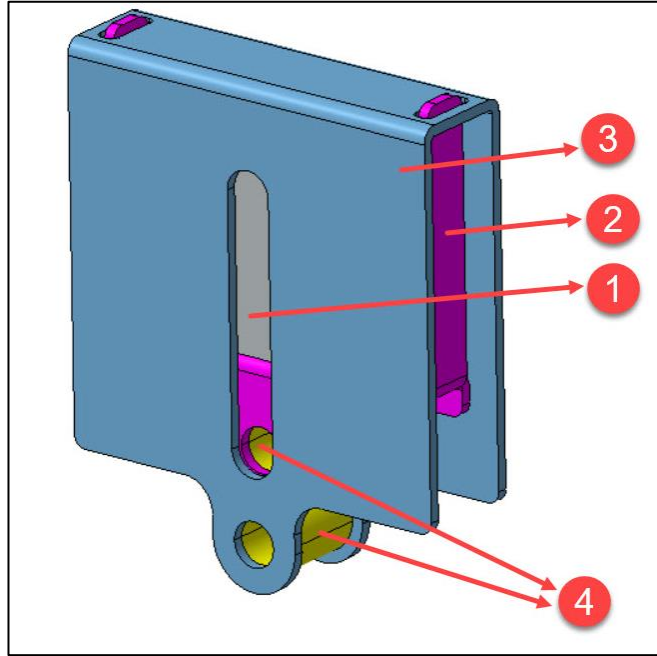


Şekil 3.12. Alüminyum köpük takviyeli enerji sönümlenme sisteminin sürücü tarafındaki emniyet kemeri sistemine entegre edilmiş hali

Tasarlanan sönümlenme sisteminin çalışma prensibi şu şekildedir: Alüminyum köpüğü içerisinde barındıran sönümlenme sistemi, alt taraftan cıvata yardımıyla araç B-sütununun bir kısmını kapatan plastik (trim) ya da sac parçaya bağlanarak sabitlenmiştir. Sönümlenme sisteminde kullanılan, Çizelge 3.1’de 8 numara ile gösterilen braket ve cıvata yardımıyla da sönümlenme sistemi üst tarafından geri sarım mekanizmasına bağlanmıştır. Kaza gerçekleştiği anda, oluşan kuvvetlerin etkisiyle geri sarım mekanizması araç z ekseni yönünde bir miktar hareket etmektedir. Bu esnada Çizelge 3.1’de 6 numara ile gösterilen sınırlandırıcı dış kılıf sabit kalmaktadır. Çizelge 3.1’de 5 numara ile gösterilen iç kılıf ise geri sarım mekanizmasının hareket ettiği yönde yani araç z ekseni yönünde hareket edebilir özelliktedir. İç kılıfın bu hareketiyle, sönümlenme sistemi içerisinde yer alan alüminyum köpük sıkışıp ezilerek enerji absorbe etme özelliğini yerine getirecektir. Bu sayede kaza esnasında açığa çıkan ve sürücü ya da yolcunun üzerine etkileyen kuvvetlerin ortaya çıkardığı olumsuz etkiler minimize edilecektir.

İkinci tasarım alternatifi olarak, enerji sönümlenme sisteminin dört farklı alt komponentten oluşması düşünülmüştür. Bu alt komponentler, alüminyum köpük,

hareketli iç parça, sabit dış kılıf ve burçlardır. Şekil 3.13'te ikinci tasarım alternatifi olarak belirlenen sönümlenme sistemi ve sistemi oluşturan alt komponentler numaralandırılmış halde gösterilmiştir.



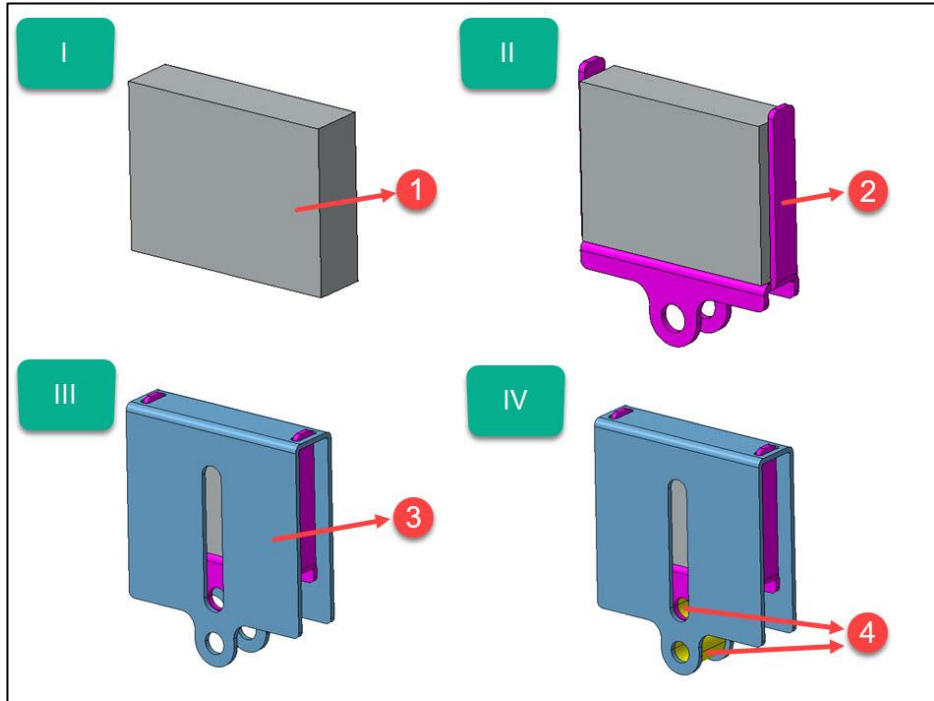
Şekil 3.13. Alüminyum köpüğü içerisinde barındıran alternatif sönümlenme sistemi

Çizelge 3.2'de ise alternatif sönümlenme sistemini oluşturan numaralandırılmış alt komponentlerle ilgili olarak BOM listesi verilmiştir.

Çizelge 3.2. Alternatif sönümlenme sistemini oluşturan alt komponentlere ait BOM listesi

BOM	
NO	AÇIKLAMA
1	Alüminyum Köpük
2	Hareketli İç Parça
3	Sabit Dış Kılıf
4	Burçlar

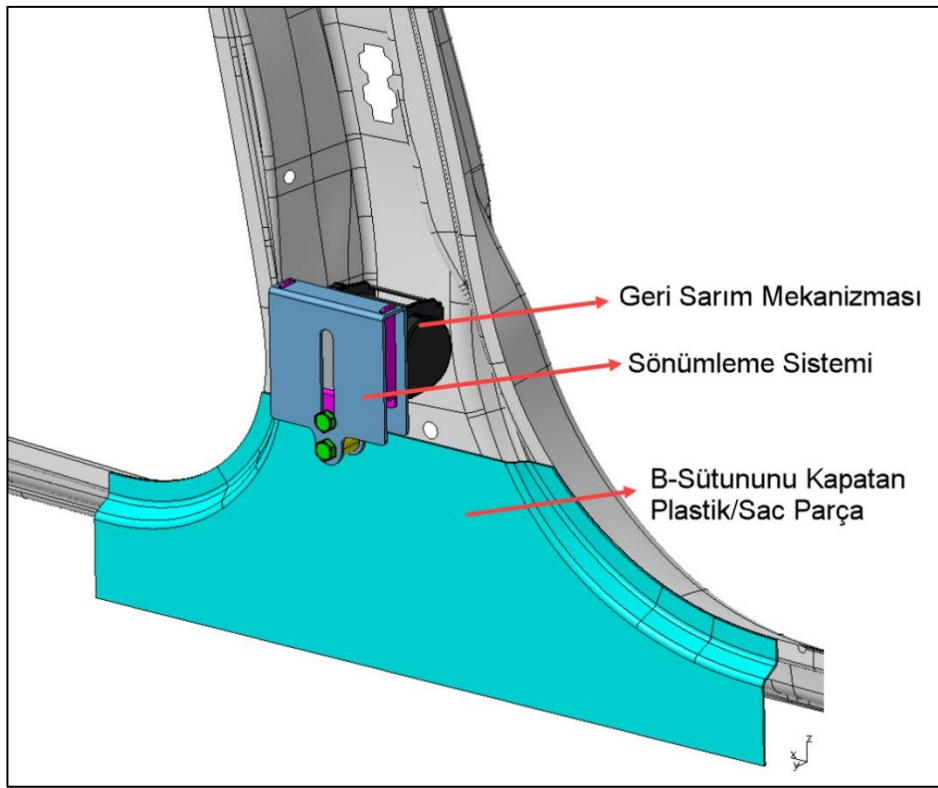
Tasarlanmış olan alternatif sönümlleme sistemini oluşturan alt komponentlerin montaj sıralaması şu şekildedir: Öncelikle alüminyum köpüğü (1) içerisinde barındıran ve köpüğün yan yüzeylerinin temas edeceği hareketli parça (2) ile alüminyum köpüğün montajı yapılır. Daha sonra alüminyum köpük ve hareketli parçayı içerisinde barındıran, tasarımından dolayı sönümlleme sisteminin geri sarım mekanizmasına bağlanmasını sağlayan sabit dış kılıfın (3) montajı yapılmaktadır. Son olarak sönümlleme mekanizmasının geri sarım mekanizması ve araç B-sütununun bir kısmını kapatan plastik (trim) ya da sac parçayla irtibatını sağlayacak cıvatalar için yataklama görevini üstlenecek olan burçların (4) montajı yapılmaktadır. Montaj sıralaması, Şekil 3.14'te I, II, III ve IV şeklinde sıralı olarak gösterilmiştir. Çizelge 3.2'deki BOM listesine göre de ilgili elemanlar 1, 2, 3 ve 4 şeklinde numaralandırılmıştır.



Şekil 3.14. Alternatif sönümlleme sisteminin montaj sıralaması

Otomotiv emniyet kemeri sistemine entegre edilmesi planlanan alüminyum köpük içerikli alternatif sönümlleme sistemi, çalışma prensibi göz önünde bulundurularak tasarlanmıştır. Sönümlleme sistemi, bir ucundan emniyet kemeri geri sarım mekanizmasıyla irtibat halindeyken, diğer ucundan da araç B-sütununun bir kısmını kapatan plastik ya da sac malzemeden imal edilen parçayla irtibat halindedir.

Sönümlenme sisteminin araç içerisinde montaj yapılabilmesi için yataklama görevini üstlenen burçlar ve bağlantıyı sağlayan cıvatalar kullanılmıştır. Alüminyum köpük içerikli alternatif sönümlenme sisteminin otomotiv içerisinde montajlanmış hali Şekil 3.15'te gösterilmiştir. Şekilde gösterilen sistem, sürücü tarafında kullanılan emniyet kemeri sistemine adaptasyonu göstermektedir. Şekil üzerinde yer alan x, y, z koordinat sistemi otomotiv tasarımcılarının kullandığı geleneksel koordinat sistemini ifade etmektedir. Mekanizmanın çalışma prensibi de bu koordinat sistemi kullanılarak açıklanacaktır.



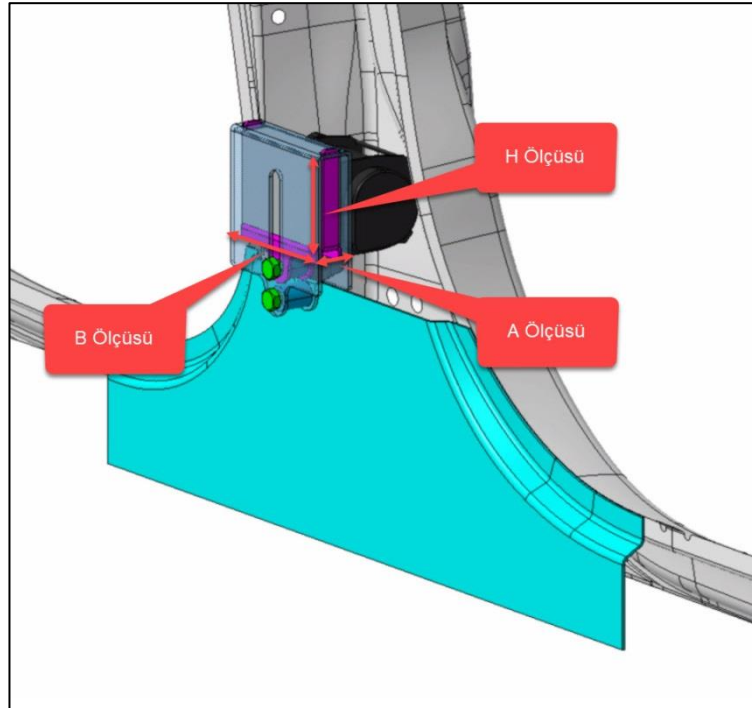
Şekil 3.15. Alüminyum köpük takviyeli sönümlenme sisteminin sürücü tarafındaki emniyet kemeri sistemine entegre edilmiş hali

Tasarlanan alternatif sönümlenme sisteminin çalışma prensibi şu şekildedir: Alüminyum köpüğü içerisinde barındıran sönümlenme sistemi, bir ucundan cıvata yardımıyla araç B-sütununun bir kısmını kapatan plastik (trim) ya da sac parçaya bağlanarak sabitlenmiştir. Sönümlenme sistemi bir ucundan da yine cıvata yardımıyla geri sarım mekanizmasına bağlanmıştır. Kaza gerçekleştiği anda, oluşan kuvvetlerin etkisiyle geri sarım mekanizması araç z eksenine yönünde bir miktar hareket etmektedir. Bu esnada

Çizelge 3.2’de 3 numara ile gösterilen sabit dış kılıf durağan pozisyonda kalmaktadır. Çizelge 3.2’de 2 numara ile gösterilen hareketli iç parça ise geri sarım mekanizmasının hareket ettiği yönde yani araç z ekseni yönünde hareket edebilir özelliktedir. Hareketli iç parçanın göstermiş olduğu bu davranış neticesinde, sönümleme sistemi içerisinde yer alan alüminyum köpük, hareketli iç parça ile sabit dış kılıf arasında sıkışıp ezilerek enerji absorbe etme özelliğini yerine getirecektir. Bu sayede kaza esnasında açığa çıkan ve sürücü ya da yolcunun üzerine etkiyen kuvvetlerin ortaya çıkardığı olumsuz etkiler minimize edilecektir.

3.5. Alüminyum Köpük İçin Yapılan Hacim Optimizasyon Çalışmaları

Araç içerisinde kullanılacak alüminyum köpüğün konumlandırılacak bölge ve fonksiyonellik açısından prizmatik formda kullanılması öngörülmüştür. Farklı model araçların B-sütunu yapıları incelendiğinde, araç içerisinde kullanılacak alüminyum köpük malzeme için sınır değerleri belirlenmiştir. Alüminyum köpük malzemenin araca entegrasyonu için kritik görülen A, B ve H ölçüleri Şekil 3.6’da gösterilmiştir.



Şekil 3.16. Alüminyum köpük için belirlenen kritik ölçüler

Bahsedilen A, B ve H ölçülerin maksimum değerleri Çizelge 3.3'te gösterilmiştir.

Çizelge 3.3. Alüminyum köpük için belirlenen maksimum ölçüler

Ölçü	Maksimum Değer
A	30 mm
B	90 mm
H	180 mm

3.6. Deneysel Tasarım (DoE) Çalışmaları

Alüminyum köpüğün boyutlarının belirlenmesinde, mühendislik çalışmalarında sıklıkla kullanılan deneysel tasarım (DoE) aracına başvurulmuştur. Maksimum değerleri belirlenen A, B ve H ölçüleri için üçer adet ölçü değerleri belirlenmiştir. Deneysel tasarımdaki deney sayısı belirlenirken, faktör sayısı ve faktörlerdeki seviye sayılarının tespit edilmesi gerekmektedir. Deneysel tasarımda 3 adet faktör kullanılmıştır (A Ölçüsü, B Ölçüsü, H Ölçüsü). Faktörlerdeki seviye sayısı olarak da her bir ölçü değeri için 3 farklı ölçü belirlenmiştir ve bu 3 farklı ölçü faktörlerdeki seviye sayısını göstermektedir. Deneysel tasarımda kullanılacak deney sayısının hesaplanmasında Denklem 3.1'deki formül kullanılmaktadır. Denklemden N ile belirtilen deney sayısını, x ile belirtilen faktör sayısını, y ile belirtilen ise faktörlerdeki seviye sayısını ifade etmektedir.

$$N = y^x \quad (3.1)$$
$$N = 3^3 = 27$$

Deneysel tasarımda kullanılacak faktör sayısı ve faktörlerdeki seviye sayısını gösteren değerler Çizelge 3.4'te verilmiştir.

Çizelge 3.4. Deneysel tasarımda kullanılan faktör ve seviye sayıları

Faktör (3 Faktör)	Faktördeki Seviye Sayıları (3 Seviye)
A Ölçüsü	20 mm, 25 mm, 30 mm
B Ölçüsü	70 mm, 80 mm, 90 mm
H Ölçüsü	120 mm, 140 mm, 160 mm

Yukarı verilen bilgiler ışığında 3^3 'lük 27 adet deney sayısı içeren tam faktöriyel DoE matrisi oluşturulmuştur. Çizelge 3.5'te oluşturulan DoE matrisine yer verilmiştir.

Çizelge 3.5. Tam faktöriyel deneysel tasarım (DoE) matrisi

Deney No	A Ölçüsü (mm)	B Ölçüsü (mm)	H Ölçüsü (mm)
1	20	70	120
2	20	70	140
3	20	70	160
4	20	80	120
5	20	80	140
6	20	80	160
7	20	90	120
8	20	90	140
9	20	90	160
10	25	70	120
11	25	70	140
12	25	70	160
13	25	80	120
14	25	80	140
15	25	80	160
16	25	90	120
17	25	90	140
18	25	90	160
19	30	70	120
20	30	70	140
21	30	70	160
22	30	80	120
23	30	80	140
24	30	80	160
25	30	90	120
26	30	90	140
27	30	90	160

27 adetlik deney sayısının fazla olması nedeniyle deney sayısını azaltmak ve optimum sonucu daha kısa bir zaman diliminde elde edebilmek için deneysel tasarım tekniklerinden kısmi faktöriyel yöntemi uygulanmıştır. İlk etapta, belirlenen 3 farklı H ölçüsünden ortalama değer olan 140 mm değeri alınarak deney sayısının düşürülmesi hedeflenmiştir. A ölçüsü için başlangıçta belirlenen 20 mm, 25 mm ve 30 mm değerleri alınmıştır. B ölçüsü için ise yine başlangıçta belirlenen 70 mm, 80 mm ve 90 mm değerleri alınmıştır. Bu değerler kullanılarak, kısmi faktöriyel yöntemi uygulanarak elde edilen DoE matrisi Çizelge 3.6'da gösterilmiştir.

Çizelge 3.6. Kısmi faktöriyel deneysel tasarım (DoE) matrisi

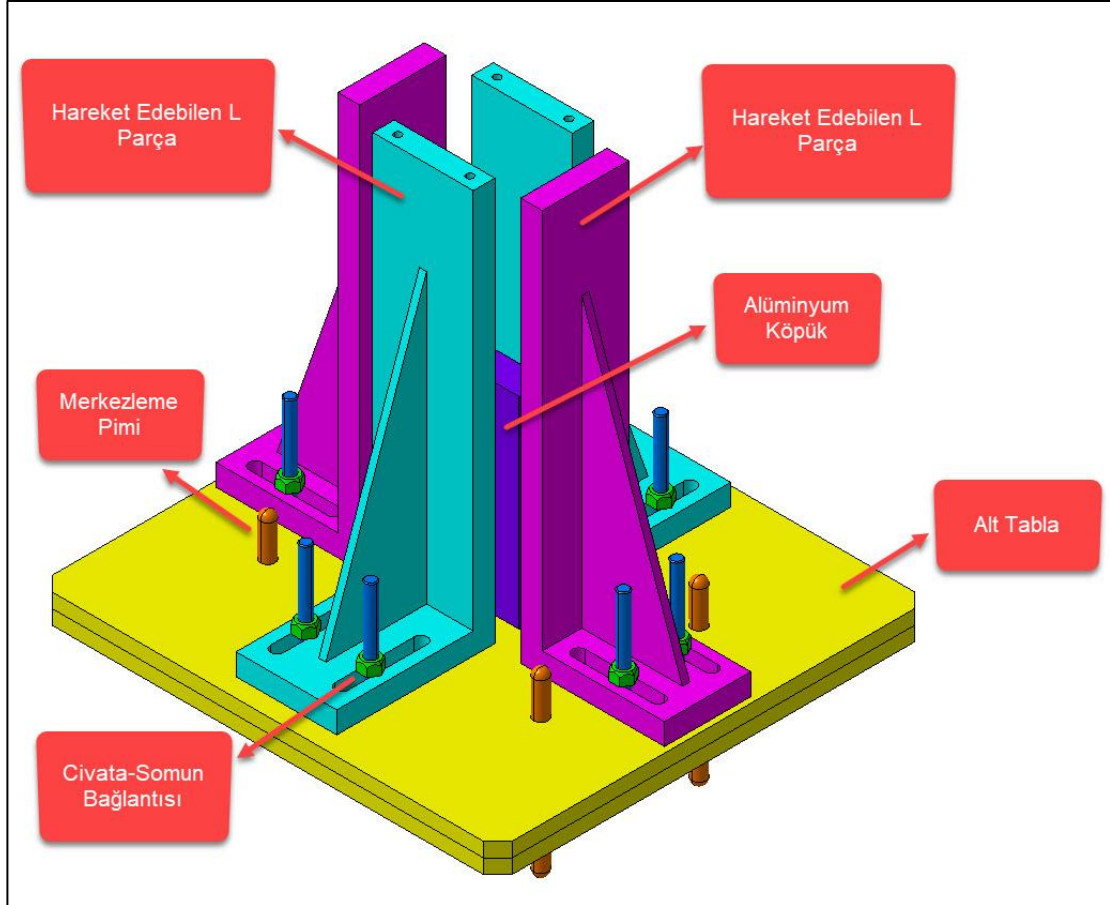
Deney No	A Ölçüsü (mm)	B Ölçüsü (mm)	H Ölçüsü (mm)
1	20	70	140
2	20	80	140
3	20	90	140
4	25	70	140
5	25	80	140
6	25	90	140
7	30	70	140
8	30	80	140
9	30	90	140

3.7. Test Platformu Tasarımı ve Üretimi

Deneysel tasarım çalışmaları sonucunda elde edilen kısmi faktöriyel deneysel tasarım matrisinde yer verilen ölçülerdeki alüminyum köpük malzemelerin, fiziksel olarak test edilebilmesi için bir test platformunun tasarımı ve üretimi gerçekleştirilmiştir. Yeni test platformu, Uludağ Üniversitesi laboratuvarında kullanılan düşürme testi cihazına adapte edilebilecek şekilde tasarlanmış olup düşürme testi cihazının tablasına entegre edilebilir özelliktedir.

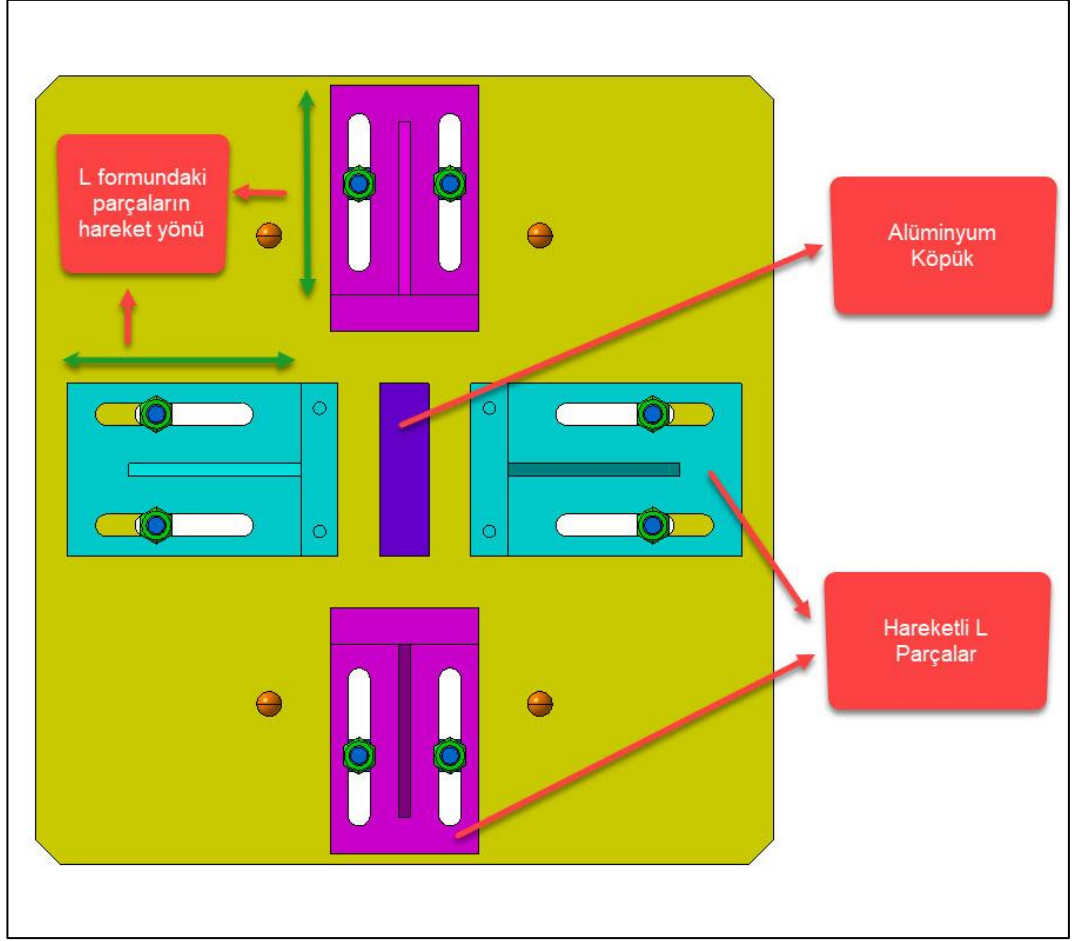
Yeni test platformu, hareket edebilen L formundaki parçalardan, merkezleme pimlerinden, civata-somun bağlantılarından ve alt tabladan oluşmaktadır. Alt tablanın üzerinde yer alan kanallar sayesinde L formundaki parçalar hem alt tablaya bağlanmış, hem de tabla üzerinde hareket edebilme imkanı sağlanarak farklı ölçülerde alüminyum köpüğün test edilmesine olanak sağlanmıştır. L formundaki hareketli parçaların alt

tablaya bağlanması T formundaki özel cıvatalar ve somunlar aracılığıyla sağlanmaktadır. Test platformu, düşürme testi üzerinde yer alan tablaya merkezleme pimleri aracılığıyla monte edilmektedir. Şekil 3.17’de bahsedilen test platformunun tasarımı ve test platformunu oluşturan alt komponentler gösterilmektedir.



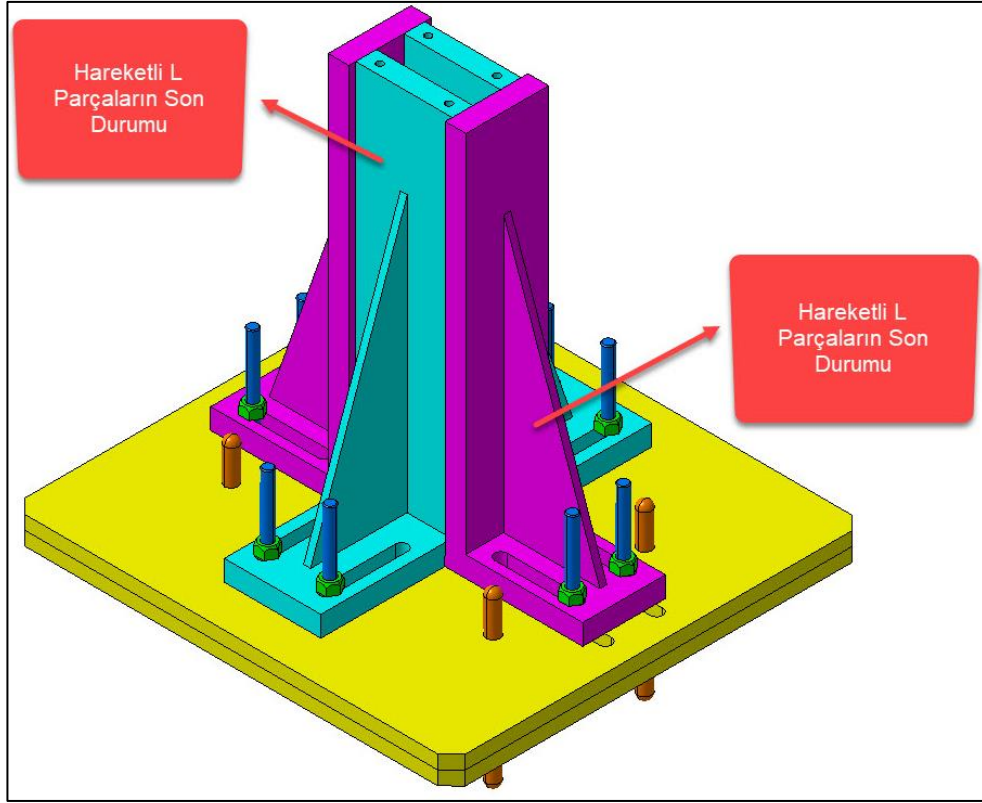
Şekil 3.17. Test platformu ve alt bileşenler

Tabla üzerinde konumlandırılan L formundaki parçalar, belirli yönlerde hareket ederek alüminyum köpüğün sabitlenmesini sağlamaktadır. Şekil 3.18’de ise alüminyum köpüğün tabla üzerinde konumlandırıldığı yer, L formundaki parçaların hareket yönü ve test platformunun açık haldeki üstten görünüşü verilmiştir.

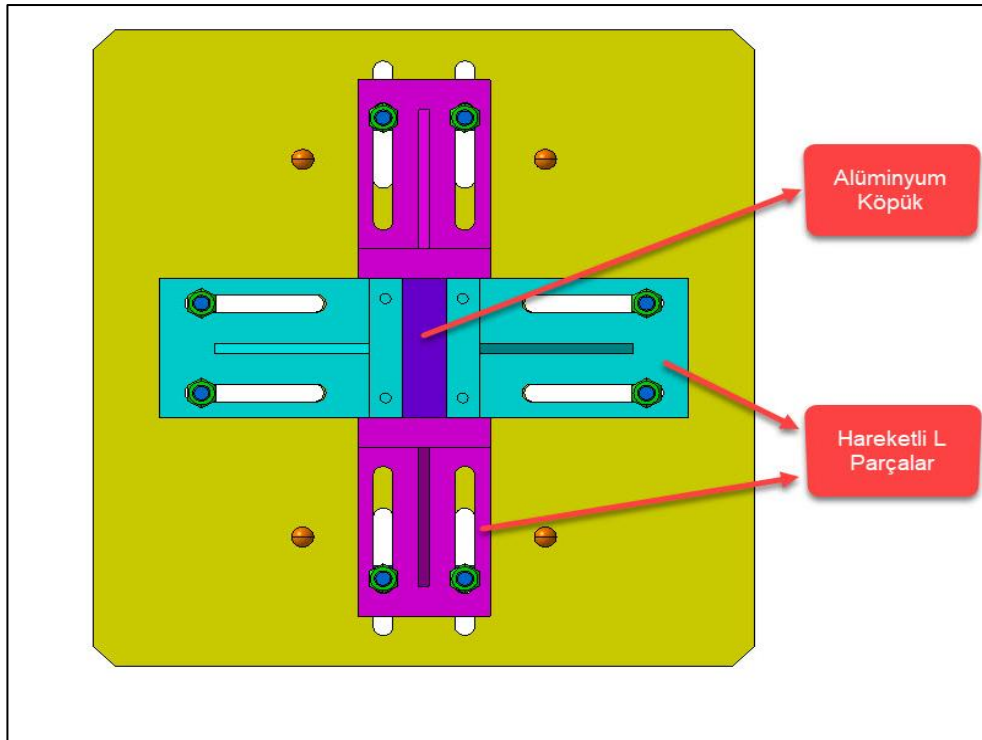


Şekil 3.18. Test platformunun açık haldeki üstten görünüşü

Düşürme testi cihazında alüminyum köpüğün test edilebilmesi için L formundaki parçaların hareket etmesi ve alüminyum köpüğe kılavuzluk etmesi gerekmektedir. Alüminyum köpüğün fonksiyonunu tam olarak yerine getirebilmesi için hareketli parçalar bir nevi kılıf görevi görecek ve alüminyum köpük tablanın tam merkezine yerleştirilerek ezilme işlemi gerçekleştirilecektir. Şekil 3.19’da L formundaki parçaların hareket etmiş son halleri, Şekil 3.20’de ise test platformunun kapalı haldeki üstten görünüşü verilmiştir.

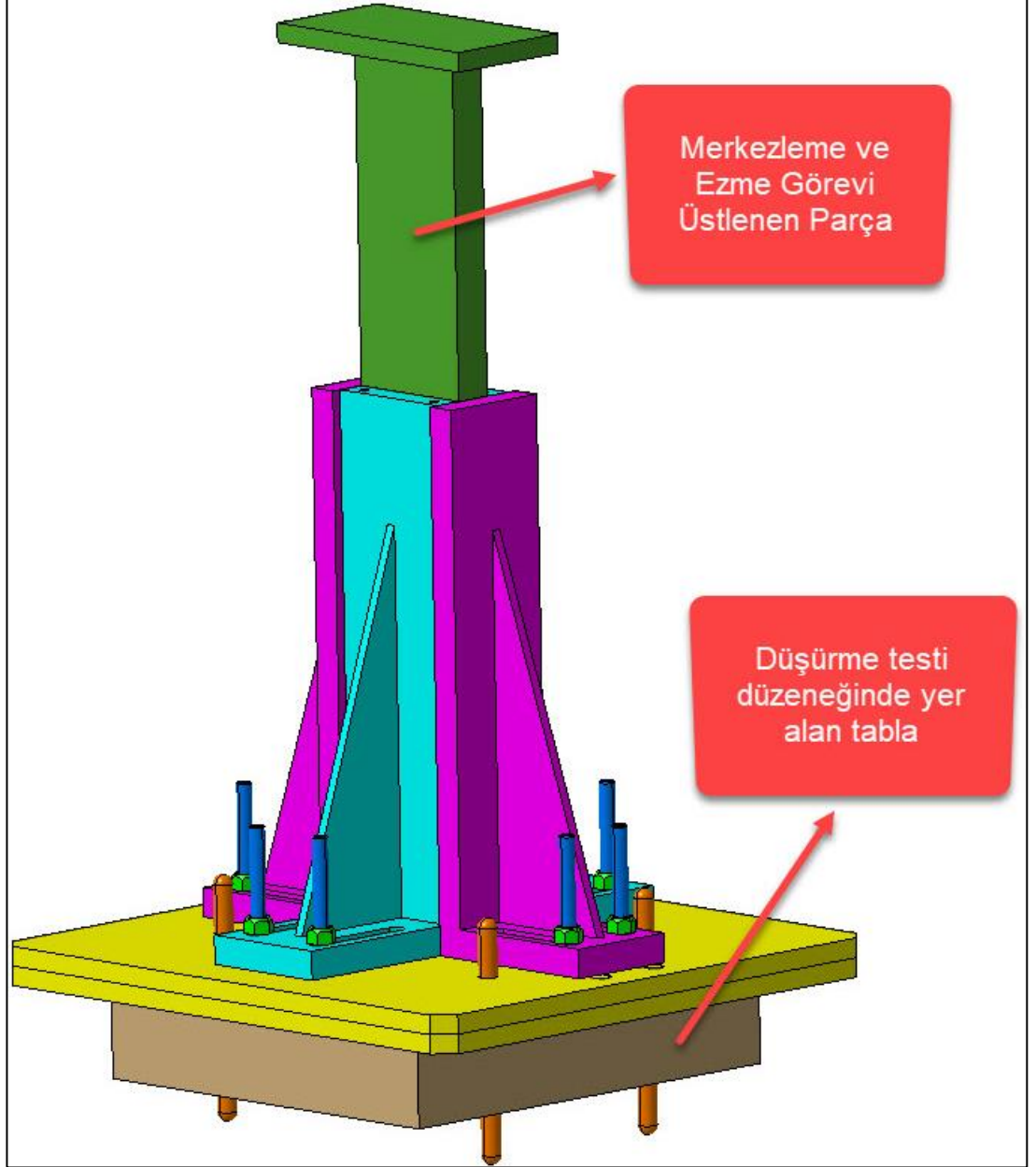


Şekil 3.19. L formundaki parçaların hareket etmiş son halleri



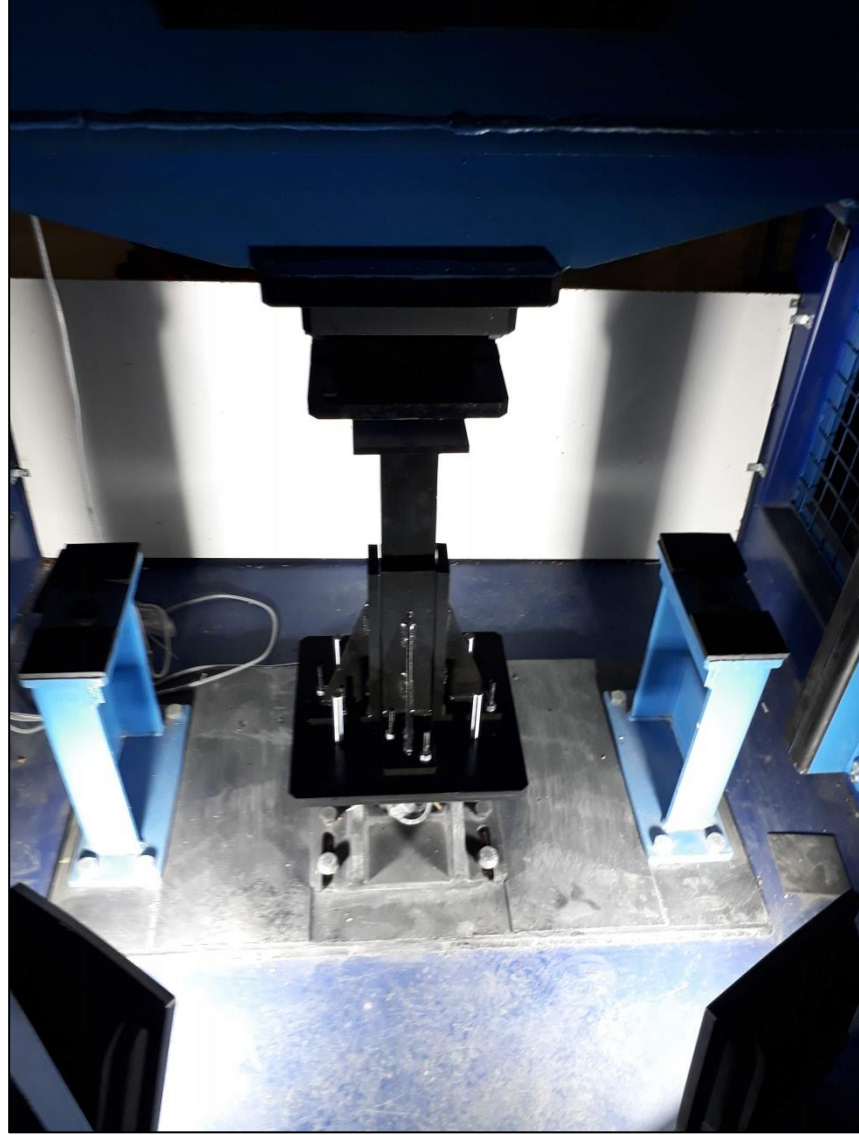
Şekil 3.20. Test platformunun kapalı haldeki üstten görünüşü

Şekil 3.21’de ise test platformunun düşürme testinde yer alan tablanın üzerine montajlanmış hali ve test esnasında alüminyum köpüğün ezilmesine yardımcı olacak parçanın konumu gösterilmiştir. Alüminyum köpük, fiziksel doğrulama testinde görselde verildiği gibi test edilecektir.



Şekil 3.21. Test platformunun düşürme testi tablasına montajlanmış hali

St37 malzemeden imal edilen ve galvaniz kaplama işlemine tabii tutulan test platformunun, Uludağ Üniversitesi laboratuvarındaki düşürme testi cihazına adapte edilmiş hali final hali Şekil 3.22’de gösterilmiştir.



Şekil 3.22. Test platformunun imal edilmiş ve düşürme test cihazına adapte edilmiş hali

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

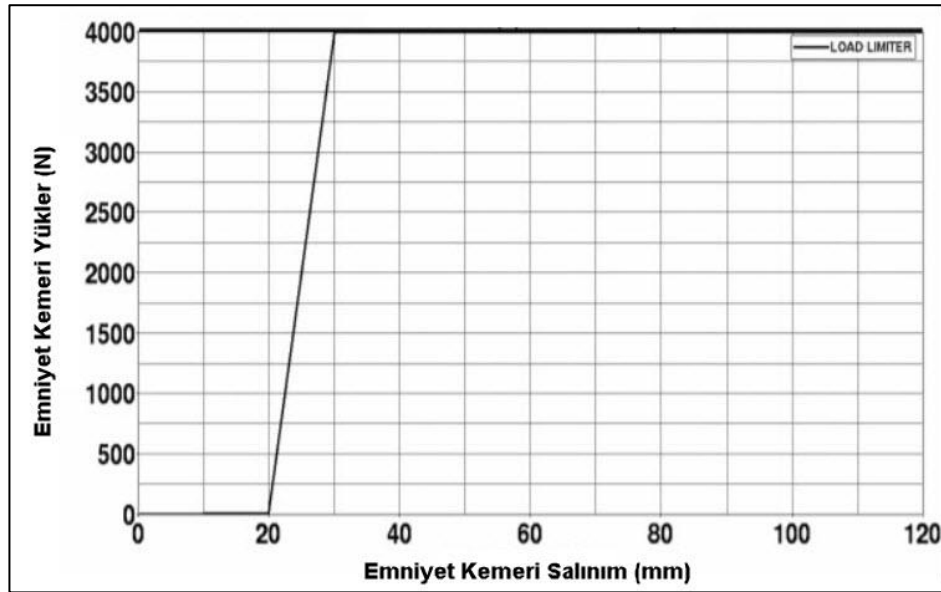
Tez çalışması kapsamında, otomotiv emniyet kemeri sistemlerine entegre edilmesi planlanan alüminyum köpük takviyeli enerji sönümlenme sisteminin, enerji emilim performansını incelemek için Abaqus Sonlu Elemanlar yazılımı kullanılmıştır. Kaza anında açığa çıkan enerjinin büyük bir kısmının koruyucu kılıf içerisinde yer alan alüminyum köpük malzeme tarafından absorbe edilmesi beklendiğinden, araç içerisindeki hacme uygun olarak farklı ölçülerdeki alüminyum köpük modellerinin analizleri gerçekleştirilecek ve enerji absorbe etme performansı en iyi olan alüminyum köpük ölçüleri belirlenmeye çalışılacaktır.

Alüminyum köpüğün elasto-plastik davranışını gerçeğe yakın olarak modellemek amacıyla Deshpande-Fleck'in teorik modeline dayanan crushable foam plasticity modeli seçilmiştir (Gulcimen Cakan ve ark. 2019). Bu modelde, alüminyum köpük için standart numunelerle gerçekleştirilen basma testlerinden elde edilen gerilme-birim şekil değiştirme değerleri, Abaqus Sonlu Elemanlar yazılımında tanımlanmıştır. Alüminyum köpüğe ait mekanik özellikler, Çizelge 4.1'de gösterilmiştir. Katı olarak modellenen köpük malzemelerin elemanlarına ayrılmasında C3D8R eleman tipi kullanılmıştır. Farklı ölçülerdeki alüminyum köpük malzemeler için mesh boyutu 3 mm olarak belirlenmiştir.

Çizelge 4.1. Alüminyum köpük malzemenin mekanik özellikleri (Gulcimen Cakan ve ark. 2019)

Mekanik Özellikler	Değer
Elastisite Modülü [MPa]	67
Akma Gerilmesi (σ_y) [MPa]	2
Elastik Poisson Oranı (ν_e)	0,3
Plastik Poisson Oranı (ν_p)	0
Basma Akma Gerilmesi Oranı (k)	1

Alüminyum köpüğü içerisinde barındıran sönümlenme sisteminin, kaza anında araç içerisindeki sürücü veya yolcuların üzerine gelen kuvvetleri minimize etmesi hedeflenmektedir. Otomotiv sektöründe yapılan güvenlik testlerinde birden çok çarpışma senaryosu kullanılmaktadır. Bu çalışma kapsamında, FMVSS 208 regülasyonu referans alınarak, otomobilin 56 km/sa'lık hızla rijit bir duvara çarptığı senaryo seçilmiştir. Kazaya maruz kalan sürücü ya da yolcu ağırlığı olarak 80 kg belirlenmiştir. Analiz kurgusu yapılırken bu hız ve kütle değerleri de dikkate alınmıştır. Bahsedilen çarpışma hızı ve sürücü/yolcu kütlesi değerleri baz alınarak, yaklaşık 380 J'luk bir enerjinin sönümlenmesi gerektiği kanısına varılmış ve bu enerji değerini sönümleyebilecek alüminyum köpük malzeme için optimum değerlerin (ölçü, yoğunluk vb.) elde edilmesi hedeflenmiştir. Ayrıca enerji hesabı yapılırken, otomotiv sektöründe üst segment bazı araçlarda kullanılan yük sınırlayıcılara (load limiter) ait grafikler de incelenmiştir. Önceki bölümlerde de bahsedildiği gibi yük sınırlayıcılar, emniyet kemerinin bir miktar serbest kalmasına izin vererek enerjiyi absorbe etmeye çalışmaktadırlar. Alüminyum köpük takviyeli enerji sönümlenme sisteminin yük sınırlayıcılara alternatif olarak kullanılması düşünülmektedir. Şekil 4.1'de yük sınırlayıcıya ait emniyet kemeri yük- salınım grafiği verilmiştir. Grafiğin altında kalan alan sönümlenen enerjiyi verdiği için grafikte 380 J'luk enerji değerine ulaşılmıştır. Enerji hesabı yapılırken bu grafik de dikkate alınmıştır.

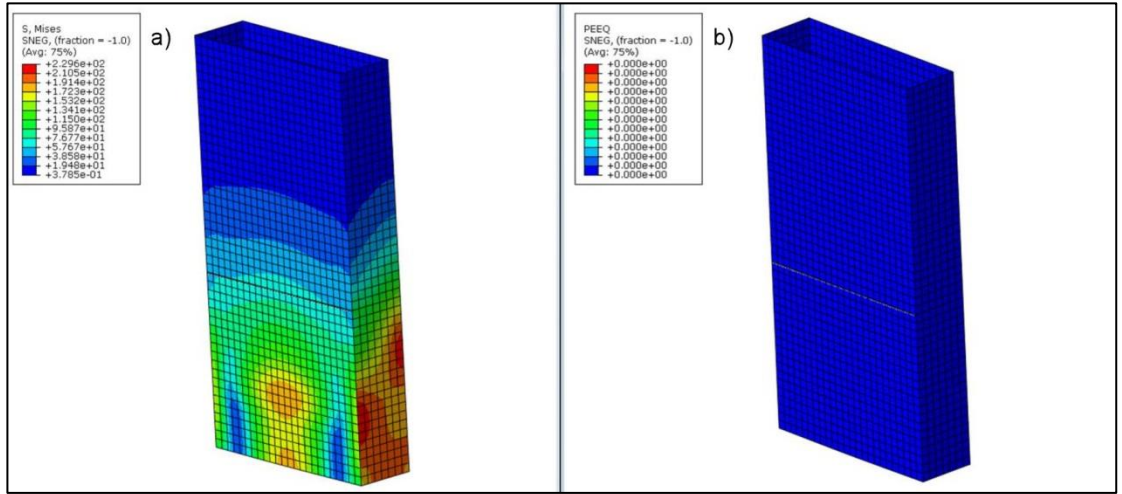


Şekil 4.1. Yük sınırlayıcıya ait emniyet kemeri yük-salınım grafiği (Rao ve ark. 2006)

Sonlu elemanlar analizleri yapılırken, alüminyum köpüğün dışında koruyucu kılıf modellenmiştir. Alüminyum köpüğün burkulmaya uğramadan enerji sönmleme özelliğini tam olarak gösterebilmesi için koruyucu kılıf kullanılması gerekli görülmüştür. Kılıf, karşılaştırmak amacıyla rijit ve şekil değiştirebilen özellikte modellenmiştir. Şekil değiştirebilen kılıf modeli için DP600 çeliği seçilmiştir.

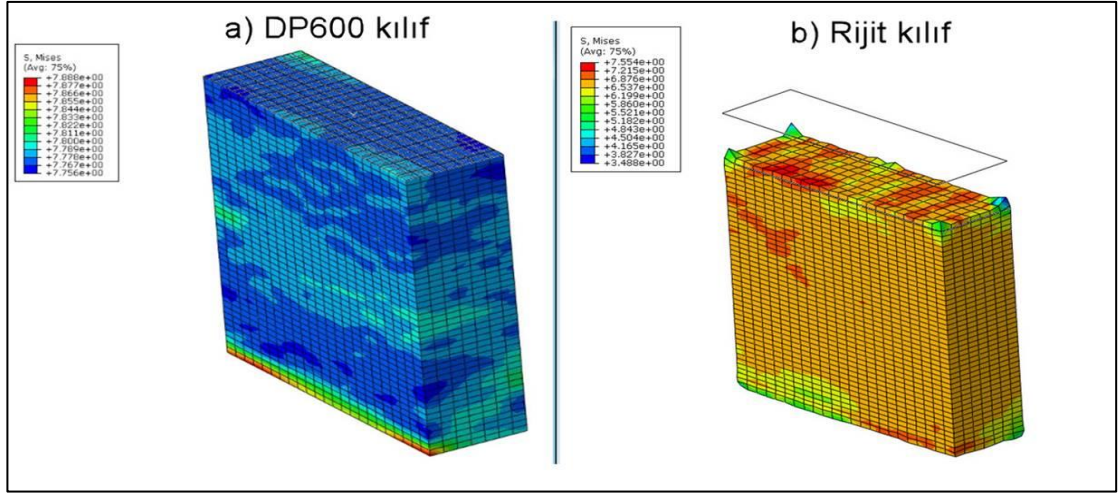
Çizelge 3.6'daki kısmi faktöriyel deneysel tasarım matrisinde elde edilen ölçü değerlerinden ilki olan, 20 mm x 70 mm x 140 mm ölçülerinde alüminyum köpük malzeme için analizler gerçekleştirilmiştir.

Şekil 4.2'de yapılan analiz sonucunda, DP600 kılıf üzerinde oluşan eşdeğer gerilme ve plastik şekil değiştirme dağılımı gösterilmiştir. DP600 kılıf üzerinde, analiz sonuçlarına göre 229,6 MPa'lık gerilme değeri görülmüştür. Malzemedeki gerilme değerleri, akma mukavemeti sınırını geçmediğinden parçada herhangi bir plastik şekil değişimi gözlemlenmemiştir.



Şekil 4.2. DP600 kılıf için elde edilen a) eşdeğer gerilme ve b) plastik şekil değiştirme değerleri

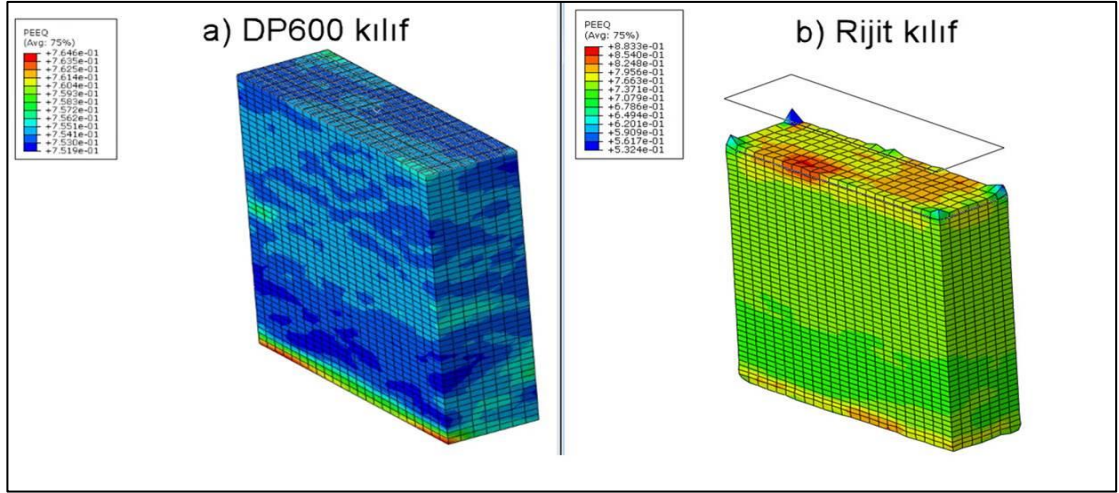
Şekil 4.3'te, DP600 kılıf ve rijit kılıf kullanılan modellerde, alüminyum köpük malzemede oluşan eşdeğer gerilme sonuçları gösterilmiştir.



Şekil 4.3. 20 mm x 70 mm x 140 mm boyutlarındaki alüminyum köpük içeren a)DP600 kılıf ve b)rijit kılıf modelleri için köpüğe ait eşdeğer gerilme değerleri

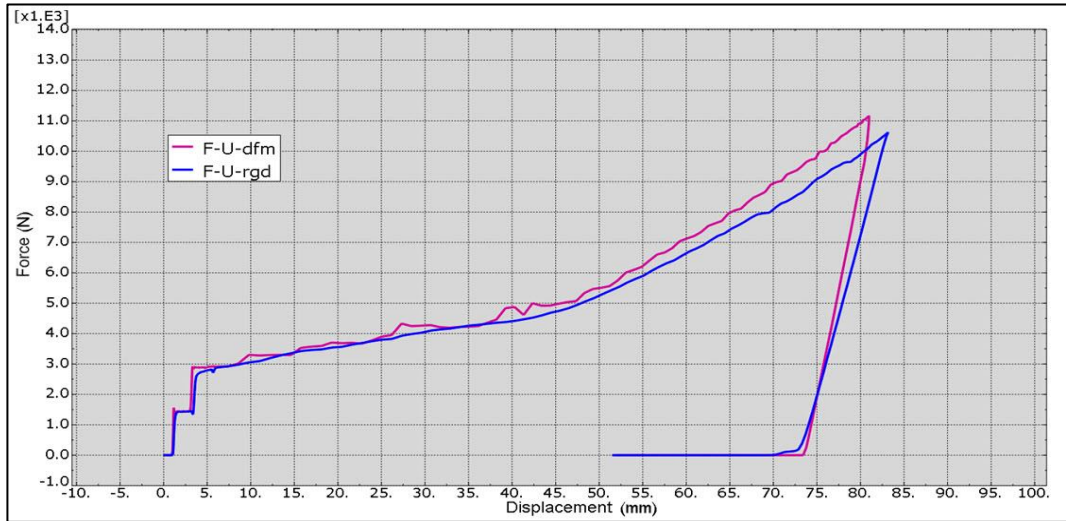
Şekil 4.3'te yer alan analiz sonuçlarına göre DP600 kılıf içerisinde yer alan alüminyum köpükteki maksimum gerilme değeri 7,88 MPa olarak, rijit kılıf içerisinde yer alan alüminyum köpükteki maksimum gerilme değeri ise 7,55 MPa olarak belirlenmiştir. DP600 kılıf ve rijit kılıf içerisindeki alüminyum köpükte gözlemlenen maksimum gerilme değerleri birbirine oldukça yakındır.

Şekil 4.4'te ise dışında DP600 kılıf ve rijit kılıf kullanılan alüminyum köpük malzeme için plastik şekil değiştirme miktarları verilmiştir. DP600 kılıf içerisindeki alüminyum köpük için birim şekil değiştirme miktarı %76,46 iken rijit kılıf içerisindeki alüminyum köpük için birim şekil değiştirme miktarı %88,33 olarak belirlenmiştir. Birim şekil değiştirme miktarının fazla olması alüminyum köpükteki deformasyonun fazla olduğunu ve enerji emilim performansının yüksek olduğunu göstermektedir.



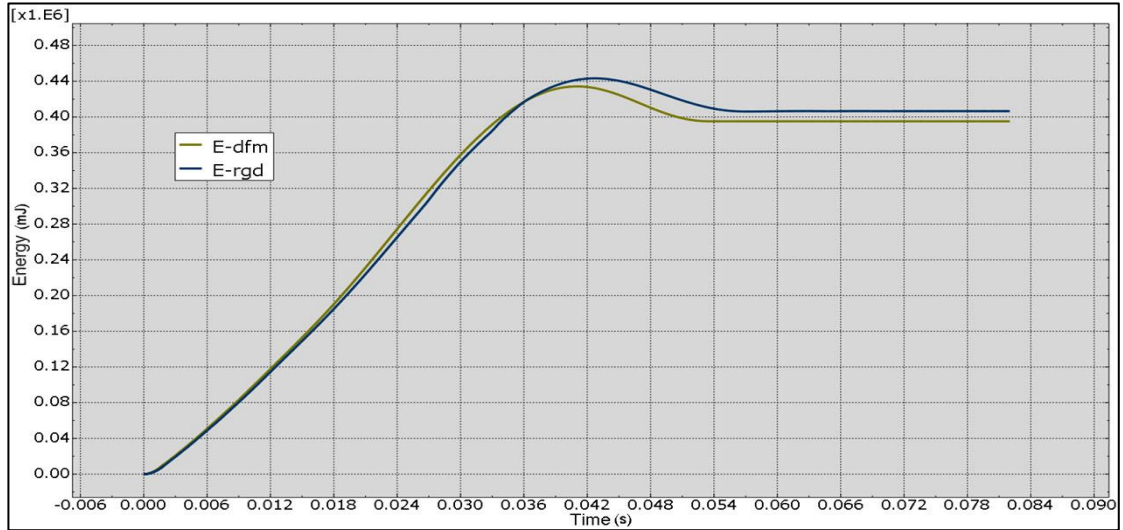
Şekil 4.4. 20 mm x 70 mm x 140 mm boyutlarındaki alüminyum köpük içeren a)DP600 kılıf ve b)rijit kılıf modelleri için köpüğe ait plastik şekil değiştirme değerleri

Şekil 4.5'te 20 mm x 70 mm x 140 mm ölçülerindeki alüminyum köpüğe ait kuvvet (N) – yer değiştirme (mm) grafiğine yer verilmiştir. Grafikte rijit kılıf kullanılan durum için oluşan eğri mavi renkle, deforme olabilen DP600 kılıf kullanılan durum için ise pembe renkli eğri kullanılmıştır. Grafik incelendiğinde, kuvvet değerlerinin maksimum 11 kN'a ve alüminyum köpüğün yer değiştirme değerlerinin ise maksimum 83 mm'ye tekabül ettiği görülmektedir. İlk boyu 140 mm olan alüminyum köpük, yaklaşık olarak %60 oranında sıkışma göstermiştir.



Şekil 4.5. 20 mm x 70 mm x 140 mm boyutlarındaki alüminyum köpüğe ait kuvvet-yer değiştirme grafiği

Şekil 4.6’da ise 20 mm x 70 mm x 140 mm ölçülerindeki alüminyum köpüğe ait enerji (mJ) – zaman (s) grafiğine yer verilmiştir. Grafikte rijit kılıf kullanılan durum için oluşan eğri mavi renkle, deforme olabilen DP600 kılıf kullanılan durum için ise yeşil renkli eğri kullanılmıştır. Grafik incelendiğinde, enerji değerlerinin maksimum 440 J değerlerine ulaştığı görülmüştür. Beklenildiği gibi rijit kılıf ve DP600 kılıflı modelin enerji sönümlenme değerlerinin çok yakın olduğu görülmüştür. Sistem sadece köpüğü ezecek şekilde tasarlandığı için DP600 kılıfta enerji sönümlemeden ziyade köpüğü deformasyon sırasında bir arada tutacak şekilde görev yapmıştır. Analiz sonuçlarına göre, analizler yapılmadan önceki sönümlenmesi gereken enerji değeri olarak belirlenen 380 J’luk enerjinin, 20 mm x 70 mm x 140 mm ölçülerindeki alüminyum köpük kullanılarak rahatlıkla sönümlenebileceği gösterilmiştir.



Şekil 4.6. 20 mm x 70 mm x 140 mm boyutlarındaki alüminyum köpüğe ait enerji-zaman grafiği

5. SONUÇ

Bu çalışmada, alüminyum köpük takviyeli enerji sönümlenme sisteminin, otomobil emniyet kemeri sistemlerinde kullanılabilmesi için gerekli olan çalışmalar yapılmıştır. Öncelikle alüminyum köpük takviyeli enerji sönümlenme sisteminin araç içerisine adapte edilebilmesi için gereken fizibilite çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Emniyet kemeri sistemini oluşturan alt komponentler ve bu komponentlerin çalışma prensipleri incelenmiştir. Tamamlanan fizibilite ve inceleme çalışmaları neticesinde, alüminyum köpük takviyeli enerji sönümlenme sisteminin araç içerisine montajı için en uygun yerin, emniyet kemeri geri sarım mekanizmasının altında, araç B-sütunu içerisinde yer alan boşluklu hacim olduğu tespitine varılmıştır. Enerji sönümlenme sistemi, üst kısmından emniyet kemeri geri sarım mekanizmasıyla, alt kısmından ise araç B-sütununu kapatan plastik ya da sac parçayla bağlantılı haldedir. Bu çalışma koşulları göz önünde bulundurularak enerji sönümlenme sistemi için gerekli olan tasarım çalışmaları tamamlanmıştır.

Alüminyum köpük malzemenin prizmatik formda olmasına karar verilmiştir. Paketleme çalışmaları neticesinde alüminyum köpük için maksimum ebatlar belirlenmiştir. Bu üç ölçü değeri için, A ölçüsü maksimum 30 mm, B ölçüsü maksimum 90 mm ve H ölçüsü maksimum 180 mm olarak belirlenmiştir. Bu maksimum ölçüler baz alınarak, 20 mm x 70 mm x 140 mm ebatlarındaki alüminyum köpüğün araç içerisine entegre edilebileceği belirlenmiştir. Bu ölçü değerlerinin enerji absorbe etme performansını ve malzeme davranışını gözlemlemek için sonlu elemanlar analizleri gerçekleştirilmiştir. Analizler sonucunda, malzemenin şekil değiştirme dağılımı, eşdeğer gerilme dağılımı, kuvvet-yer değiştirme ve enerji-zaman grafikleri irdelenmiştir. Analizler gerçekleştirilmeden önce belirlenmiş olan 380 J'luk enerji değerinin, belirlenen ebatlarla sönümlenebildiğinin kanısına varılmıştır. Grafikler incelendiğinde kuvvet değerlerinin maksimum 11 kN'a ulaştığı ve alüminyum köpüğün maksimum 83 mm ezildiği (yaklaşık %60 oranında bir sıkışma) tespit edilmiştir.

Çalışma neticesinde, alüminyum köpük takviyeli enerji sönümlenme sisteminin, emniyet kemeri sistemlerinin mevcut faydalarından ödün vermeden, sürücü ve yolcuların

güvenlik seviyelerini arttırıcı yönde olumlu katkılar sağlayacağını kanısına varılmıştır. Alüminyum köpük takviyeli enerji sönümlenme sisteminin, özellikle üst segment otomobillerin emniyet kemeri sistemlerinde kullanılan yük sınırlayıcıların yerine alternatif olarak kullanımının mümkün olabileceği belirlenmiştir.

Tez çalışması kapsamında elde edilen alüminyum köpük takviyeli enerji sönümlenme sistemi ürününün, otomotiv sektöründe hazır ürün halinde kullanılabilmesi için yapılan çalışmalar neticesinde ortaya çıkacak nihai ürünün, akredite kuruluşlarda test edilmesi ve ilgili raporların alınması gerekmektedir. İlerleyen süreçlerde, ürünün otomotiv sektörüne kazandırılması için gereken tüm çalışmalar yapılacaktır. Bu sayede, otomotiv emniyet kemeri sistemlerinin daha güvenli bir hale getirilmesi hedefi gerçekleştirilmiş olacaktır.

KAYNAKLAR

- Anonim, 2019a.** Statistical data about seat belts of NHTSA. <https://www.nhtsa.gov/risky-driving/seat-belts> - (Erişim tarihi: 27.06.2019).
- Anonim, 2019b.** Technical documentation safety. <https://www.baylissgraphics.com/project/technical-documentation-safety/> - (Erişim tarihi: 03.07.2019).
- Anonim, 2019c.** Car seat belt. <https://www.goldenacresdogs.com/car-seat-belt.html> - (Erişim tarihi: 03.07.2019).
- Anonim, 2019d.** Seat belt buckle. <https://oemseatbelts.com/products/4-metal-bracket-buckles> – (Erişim tarihi: 03.07.2019).
- Anonim, 2019e.** Seat belt tongue. <http://www.safetybeltsolutions.co.uk/products/tongues> - (Erişim tarihi: 03.07.2019).
- Anonim, 2019f.** Seat belt pillar loop. <https://www.beltupsafety.com/components/pillar-loops/wire-pillar-loop> - (Erişim tarihi: 03.07.2019).
- Anonim, 2019g.** Seat belt anchoring point. <https://www1.discountsale.co/emniyet-kemerleri-ve-dolgu/13036-emniyet-kemeri-otomobil-uec-nokta-tipi-sandalye-emniyet-kemeri-elektrikli-arac-emniyet-kemeri-emniyet.html> - (Erişim tarihi: 05.09.2019).
- Anonim, 2019h.** Seat belt retractor. <https://www.autoliv.com/products/passive-safety/seatbelts> – (Erişim tarihi: 06.09.2019).
- Anonim, 2019i.** Seat belt locking mechanism. <https://www.safetyrestore.com/blog/how-does-a-seatbelt-work/> - (Erişim tarihi: 06.09.2019).
- Anonim, 2019j.** Seat belt pretensioner. <https://www.ptseatbelt.com/products/seat-belt-pretensioner/> - (Erişim tarihi: 10.09.2019).
- Al-Ozaibi, L., Adnan, J., Hassan, B., Al-Mazroui, A., Al-Badri, F. 2016.** Seat Belt Syndrome: Delayed or Missed Intestinal Injuries, a Case Report and Review of Literature. *Int J Surg Case Rep*, (20): 74-76.
- Bean, J.D., Kahane, C.J., Mynatt, M., Rudd, R.W., Rush, C.J., Wiacek, C. 2009.** Fatalities in Frontal Crashes Despite Seat Belts and Air Bags – Review of All CDS Cases – Model and Calendar Years 2000-2007 – 122 Fatalities. Office of Vehicle Safety National Highway Traffic Safety Administration, Washington, DC 20590.
- Brumbelow, M., Baker, B., Nolan, J. 2007.** Effects of Seat Belt Load Limiters on Driver Fatalities in Frontal Crashes of Passenger Cars. 20th International Technical Conference on the Enhanced Safety of Vehicles (ESV), June 18-21, 2007.
- Cuerden, R., Cookson, R., Massie, P., Edwards, M. 2007.** A review of the european 40% offset frontal impact test configuration. International Technical Conference on the Enhanced Safety of Vehicles, 18-21 June, 2007, Lyon, France.
- Diwan, A., 2019.** Seat belt: why is it important to wear it while driving. <https://carbiketech.com/seat-belt/> - (Erişim tarihi: 01.07.2019).
- Gulcimen Cakan, B., Ensarioğlu, C., Cakir, M.C. 2019.** Farklı oranlarda alüminyum köpük takviyeli çarpışma kutularının mekanik performanslarının karşılaştırılması. *BAUN Fen Bil. Enst. Dergisi*, 21(1): 295-305.

- Kent, R., Henary, B., Matsuoka, F. 2005.** On the fatal crash experience of older drivers. Annual proceedings. *Association for the Advancement of Automotive Medicine*, 49: 371–391.
- Meyer, S.E., Nelson, A.O., Hock, D.A., McMillin, J.T., Herbst, B.R. 2015.** Assessing the Effects of Load Limiting Retractors on Occupant Motion. Proceedings of the IRCOBI Conference, 2015.
- Moreno, F.G. 2016.** Commercial Applications of Metal Foams: Their Properties and Production. *Materials* , 9(2), 85.
- Rao, A., Hassan, J., Nusholtz, G. 2006.** Effect of airbag porosity, mass flow and load limiter on the 5th and 50th hybrid dummies in a 35 mph crash. SAE World Congress, 2006, Detroit, Michigan.
- Rentschler, M., 2015.** Seat belt pretensioning system. https://cecas.clemson.edu/cvel/auto/ECE470_Projects_2015/Matthew_Rentschler_project.html – (Erişim tarihi:10.09.2019).
- Roush, W., 2006.** Aluminum Foam. <https://www.technologyreview.com/s/406080/aluminum-foam/> - (Erişim tarihi: 17.09.2019).
- Rudd, R.W., Bean, J., Cuentas, C., Kahane, C.J., Mynatt, M., Wiacek, C. 2009.** A study of the factors affecting fatalities of air bag and belt-restrained occupants in frontal crashes. International Technical Conference on the Enhanced Safety of Vehicles, 15-18 June, 2009, Stuttgart, Germany.
- Sığırtmaç, T. 2010.** Metal köpük malzemelerin üretim sonrası kesme ve birleştirme işlemlerinin deneysel verilerden yararlanarak modellenmesi. *Doktora Tezi*, BUÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Bursa.
- Simancik, F., Spisak, J., 2015.** Lightweight materials for future cars. https://www.cvtisr.sk/buxus/docs/symposium/presentations_2015/China_Innovation_forum_Simancik.pdf – (Erişim tarihi: 18.09.2019).
- Stanfill, C., 2011.** Seat belt pretensioning system. https://cecas.clemson.edu/cvel/auto/AuE835_Projects_2011/Stanfill_project.html - (Erişim tarihi: 10.09.2019).
- Stöbener, K., Rausch, G. 2009.** Aluminium foam-polymer composites: processing and characteristics. *Journal of Material Science*, 44: 1506-1511.
- Van Arsdell, W., Weber, P., Stankewich, C., Larson, B., Hoover, R., Watson, R. 2016.** Load-limiters effect on occupant restraint system performance (No:2016-01-1505). *SAE Technical Paper*.
- Vishal, A., 2017.** Two point seat belt. <https://www.quora.com/What-is-an-invention-everybody-uses-but-the-inventor-didnt-make-any-money-from-it> – (Erişim tarihi: 01.07.2019).
- Xiao, S., Yang, J., Crandall, J.R. 2017.** Investigation of chest injury mechanism caused by different seatbelt loads in frontal impact. *Acta of Bioengineering and Biomechanics*, 19 (3): 53-62.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Reşat Oğuzhan SÜMER
Doğum Yeri ve Tarihi : Orhaneli/Bursa, 04.08.1993
Yabancı Dil : İngilizce

Eğitim Durumu
Lise : Turhan Tayan Anadolu Lisesi / 2011
Lisans : Yıldız Teknik Üniversitesi, Makine Mühendisliği / 2016
Yüksek Lisans : Uludağ Üniversitesi, Konstrüksiyon ve İmalat Anabilim Dalı, Makine Mühendisliği / 2020

Çalıştığı Kurum/Kurumlar : Bosch San. ve Tic. A.Ş. - Part Time Öğrenci (Kasım 2015 - Ekim 2016)
Avrotas Avrupa Tasarım Mühendislik İç ve Dış. Tic. A.Ş. - Makine Mühendisi (Mayıs 2017 - Devam ediyor)

İletişim (e-posta) : resat.sumer.16@gmail.com

Yayımları :

Sumer, R.O., Gulcimen Cakan, B., Çakır, M.C., Uguz, A. 2019. Araçlarda kullanılan emniyet kemerlerinin kaza anında insan sağlığına olan olumsuz etkilerinin azaltılması için bir sistem geliştirilmesi. *Uludağ University Journal of The Faculty of Engineering*, 24(3): 183-198.