





ARAÇLARDA KULLANILAN EMNİYET KEMERLERİNİN KAZA ANINDA İNSAN SAĞLIĞINA OLAN OLUMSUZ ETKİLERİNİN AZALTILMASI İÇİN BİR SİSTEM GELİŞTİRİLMESİ

Reşat Oğuzhan SÜMER *
Betül GÜLÇİMEN ÇAKAN *
Mustafa Cemal ÇAKIR *
Agah UĞUZ *

Alınma: 17.06.2019 ; kabul: 27.09.2019

Öz: Emniyet kemeri sistemleri, otomotiv endüstrisinde kullanılan standart güvenlik ekipmanlarından. Emniyet kemeri kullanımı sayesinde araç içerisindeki yolcuların güvenlik seviyeleri artırılmış ve ciddi yaralanmaların önüne geçilmiştir. Özellikle emniyet kemerinin hava yastığıyla birlikte kullanımı sonucunda, yolcuların kafalarının araç kokpitine çarpmasının önüne geçilerek olası travmaların en alt seviyelere indirilmesi hedeflenmektedir. Ancak mevcut emniyet kemeri sistemlerinin kaza sırasında açığa çıkan enerjiyi tam olarak absorbe edemediği anlaşılmıştır. Tam olarak sönmülemeyen bu kuvvetin araç içerisindeki yolcular üzerinde kaburga kemiği kırıkları, deri üzerindeki morarmalar gibi çeşitli yaralanmalara sebep olduğu gözlemlenmiştir. Bu kapsamda, emniyet kemeri sisteminin mevcut faydalarından ödün vermeden, insan bedeni üzerinde oluşan travmayı minimize edecek bir sönmüleme sistemi tasarlanmış ve bu sistem için gerekli olan analizler yapılmıştır. Bahsi geçen bu sönmüleme sistemi CATIA yazılımı kullanılarak modellenmiş, gerekli olan analizler ise ABAQUS yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Sönmüleme görevini gerçekleştirecek olan alüminyum köpüğün farklı formları için sonlu elemanlar analizleri yapılmıştır. Analizler sonucunda kesik piramit modelinin optimum sonucu verdiği görülmüştür. Bu çalışmada, emniyet kemeri sistemleri için tasarlanmış olan yeni sönmüleme sistemi sayesinde kaza anında açığa çıkan enerji absorbe edilerek, bu enerjinin yolcular üzerindeki çeşitli olumsuz etkilerinin ortadan kaldırılması hedeflenmektedir.

Anahtar Kelimeler: Emniyet Kemeri, Enerji Absorbe Edici Sistem Tasarımı, Sonlu Elemanlar Metodu, Alüminyum Köpük

Developing a System for Minimizing Seat Belt Negative Effects on the Human Health in the Vehicle during the Accident

Abstract: One of the standard safety elements in the automobile industry is the seat belt system. The security level of passengers in the vehicle is increased considerably by using seat belts. Notably, the use of the seat belt in conjunction with the airbag during traffic accidents is intended to reduce the number of traumas. Also, the seat belts prevent passengers' head from crashing into the vehicle's dashboard. Nevertheless, it is revealed that the present seat belt systems have inferior energy absorbing performance resulting in undamped forces which causes various injuries on the human body during a crash, commonly as rib fractures and severe bruises. In this study, a novel system with aluminium foam for energy absorbing purposes is designed which is suitable to be integrated into the seat belt system. The CAD model is constituted in CATIA software, and the finite element analyses for determining the most

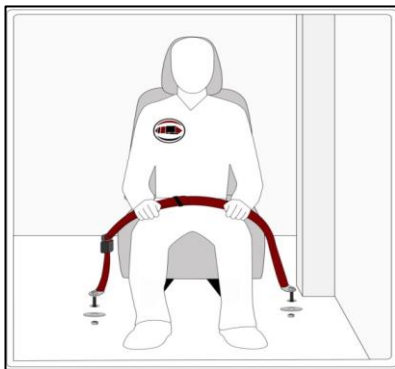
* Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Görükle Kampüsü, 16059 Bursa
İletişim Yazarı: Reşat Oğuzhan Sümer (resat.sumer.16@gmail.com)

efficient energy absorbing geometry for the aluminium foam are carried out by ABAQUS software. Among the different forms of aluminium foams, the truncated pyramid is found to be the optimum geometry to be used in the new system which will help to minimize the negative effects of an undamped force on the human body during an accident.

Keywords: Seat Belt, Energy Absorbing System Design, Finite Element Method, Aluminum Foam

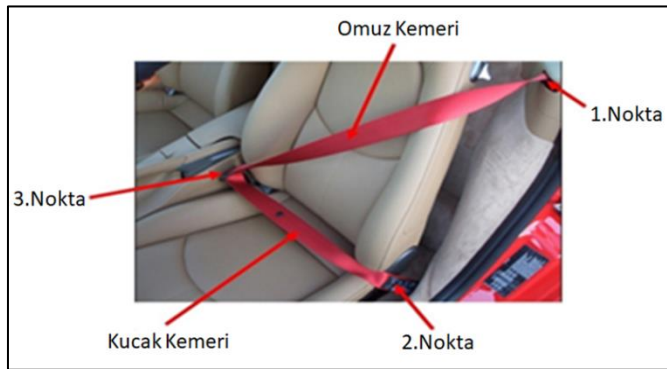
1. GİRİŞ

Emniyet kemeri sistemleri, otomotiv sektöründe kullanılan pasif güvenlik ekipmanlarından. Otomotiv sektöründe kullanılan emniyet kemeri temelde iki farklı yapıdadır. Bunlar 2 noktalı ve 3 noktalı emniyet kemeri sistemleridir. Literatürde noktalı olarak ifade edilmesiyle anlatılmak istenen kemerin bağlantı noktası sayısıdır. 2 noktalı emniyet kemeri, kucak kemeri olarak da isimlendirilir. Yani kemer 2 noktadan sabitlenerek işlev göstermektedir (Şekil 1). 3 noktalı emniyet kemeri ise omuz ve kucak kemerlerinin bir nevi birleştirilmiş halidir ve kemer 3 noktadan sabitlenerek işlev göstermektedir (Şekil 2). 3 noktalı emniyet kemeri ilk kez Nils Bohlin tarafından 1959 yılında tanıtılmıştır. 3 noktalı emniyet kemeri, insan vücudunun hem üst (göğüs, omuz) hem de alt (bel, kalça) kısmını güvende tutabilmesi özelliğiyle ciddi avantajlar sağlamıştır. Bohlin, 28 Mart 1965- 28 Mart 1966 tarihleri arasında İsveç'te yapmış olduğu 28.000 adet kaza üzerinde çalışmalar yaparak 3 noktalı emniyet kemeri etkinliğini kanıtlamıştır (Bohlin, 1967). Kemer takmayan yolcuların, farklı hız değerlerinde meydana gelen kazalarda ölümcül yaralanmalara maruz kaldığını; ancak kemer kullanan yolcuların, özellikle 96 km/sa 'lık hız değerinin altında gerçekleşen kazalarda ölümcül yaralanmalarla karşı karşıya gelmediğini ispatlamıştır (Bohlin, 1967). Volvo, 3 noktalı emniyet kemeri kullanılmaya başlandığı 1959 yılından 2000'li yılların başlarına kadar geçen sürede, dünya çapında 1 milyondan fazla insanın hayatının kurtulduğunu açıklamıştır. National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA) verilerine göre ise Amerika Birleşik Devletleri sınırları içerisinde 2017 yılında yapılan araştırmada, 37.133 kişinin motorlu araç kazalarında öldüğü, bunların %47'sinin emniyet kemeri kullanmadığından dolayı hayatını kaybettiği belirlenmiştir. 2017 yılında, 14.955 kişinin kaza esnasında emniyet kemeri kullandığından dolayı hayatta kaldığı tahmin edilmektedir (<https://www.nhtsa.gov/risky-driving/seat-belts>).



Şekil 1:

2 noktalı emniyet kemeri
(<https://www.quora.com/>)



Şekil 2:

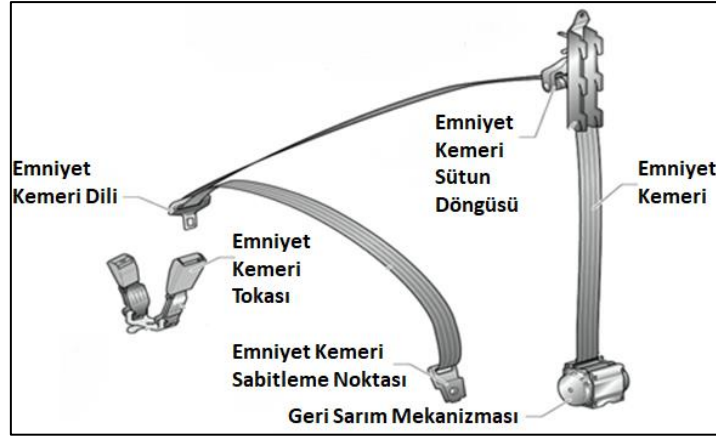
3 Noktalı Emniyet Kemeri
(<https://carbiketech.com/seat-belt/>)

Emniyet kemeri kullanımının yukarıda da bahsedildiği gibi birçok avantajının yanı sıra bazı dezavantajları da mevcuttur. Amerika'daki ölümlerle sonuçlanan kazalar incelendiğinde, önden çarpışmanın olduğu kazalarda sürücülerin %50'sinin öldüğü tespit edilmiştir (Vazquez, 2014).

Önden çarpışmanın olduğu kazalardan dolayı ölen sürücülerin %84'ünde ciddi göğüs bölgesi yaralanmalarının (AIS3+) olduğu gözlemlenmiştir. (Yaralanmaların sınıflandırılması için Abbreviated Injury Scale(AIS) kullanılmaktadır, AIS1-Önemsiz; AIS2-Orta Dereceli; AIS3-Ciddi; AIS4-Şiddetli, AIS5-Kritik; AIS6-Tedavi Edilemez) Göğüs bölgesi yaralanmalarının şiddetinin belirlenebilmesi için kırılan kaburga kemiği sayısı önemli bir indikatördür (Vazquez, 2014).

Emniyet kemeri sistemlerinin hava yastıklarıyla birlikte kullanılması durumunda, olası trafik kazalarının ölümlerine sonuçlanma olasılıklarının azaldığı saptanmıştır. Önden çarpışmanın olduğu kazalarda, emniyet kemeri ve hava yastıklarının birlikte kullanılması ölüm riskini %61 oranında azaltmaktadır; ancak 2007 yılında Amerika'da elde edilen verilere göre, önden çarpışmanın olduğu kazalarda emniyet kemeri ve hava yastığı kullanılmamasına rağmen 4.835 kişide göğüs bölgesi yaralanmalarının ölümlere sebebiyet verdiği de görülmüştür (Vazquez, 2014).

Emniyet kemeri sistemlerini oluşturan alt bileşenler şu şekildedir: Emniyet kemeri, geri sarım mekanizması, emniyet kemeri tokası, emniyet kemeri dili ve emniyet kemeri sütun döngüsü. Emniyet kemeri, çarpışma anında yolcunun hareketini kısıtlayarak kazanın etkilerini minimize etmeye çalışan ve polyster malzemeden imal edilmiş bir bileşendir. Geri sarım mekanizması, içerisinde barındırdığı makaralar yardımıyla emniyet kemerinin gerekli durumlarda sarılmasını, gerekli durumlarda da serbest kalmasını sağlayan bileşendir. Emniyet kemeri tokası ve emniyet kemeri dili ise birlikte çalışan bileşenlerdir. Emniyet kemeri tokası, çok küçük kuvvetlerle kemerin bağlanmasını veya geriye çözülmesini sağlayan mekanizmadır. Emniyet kemeri dili ise kemerin güvenli bir şekilde toka içerisine bağlanmasını sağlamaktadır. Emniyet kemeri sütun döngüsü ise 3 noktalı emniyet kemerlerinde kullanılan, yolcunun omuz bölgesinin üzerinde konumlandırılmış, kemerin omuz bölgesi ile göğüs kafesi üzerinden çapraz bir şekilde geçmesini sağlayan bileşendir (Şekil 3).



Şekil 3:

Emniyet Kemer Sistemi ve Alt Bileşenleri

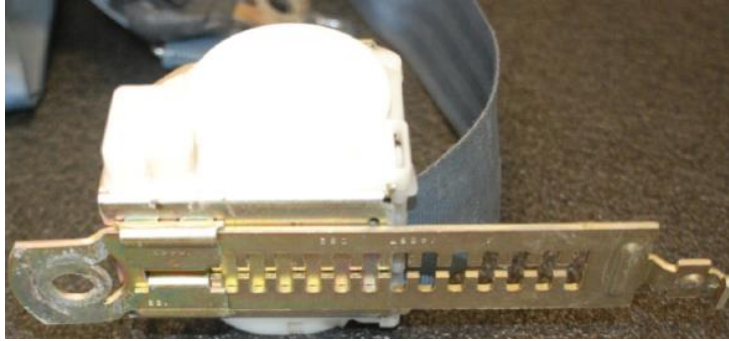
(<https://www.baylissgraphics.com/project/technical-documentation-safety/>)

Emniyet kemeri sistemlerinde kullanılan bileşenlere ek olarak yolcu güvenlik seviyelerini arttırmak için bazı mekanizmalar da kullanılmaktadır. Bunlardan ilki emniyet kemeri kilitleme mekanizmasıdır. Bu mekanizma, eylemsizliğin etkisiyle hareket eden sarkacın kilitleme kolunu devreye sokarak, geri sarım mekanizmasının içerisinde yer alan makaranın dönmesi engeller ve bunun sonucunda kemerin hareketi sınırlandırılmış olur. Emniyet kemeri sistemlerinde kullanılan bir diğer mekanizma ise ön-gergi mekanizmasıdır. Ön-gergi mekanizması ise kaza meydana geldiğinde emniyet kemerindeki boşluğu alarak kemerin

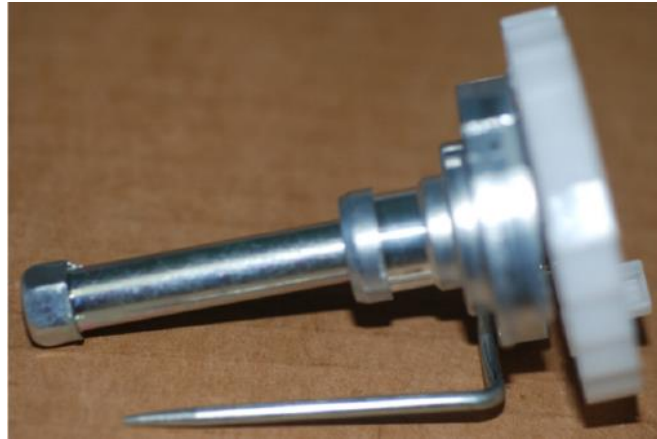
gerginliğini arttırmak için kullanılmaktadır. Amaç, araç içerisindeki yolcunun kaza anında direksiyona ya da ön konsola çarpmasını engellemektir. Mekanik, elektirikli ve pyroteknik tip olmak üzere 3 farklı tip ön-gergi sistemi kullanılmaktadır. Ön-gergi mekanizması, geri sarım mekanizması veya emniyet kemeri tokasıyla ilişkili çalışarak emniyet kemerinin gevşekliğini/boşluğunu alabilmektedir. Emniyet kemeri sistemlerinde opsiyonel olarak yük/kuvvet sınırlayıcı mekanizmaları da kullanılabilir. Yük sınırlayıcıların temel görevi, kaza anında emniyet kemerini bir miktar gevşetip sürücünün hava yastığına doğru hareket etmesini sağlayarak olası yaralanmaları en aza indirmektir. Bu yük sınırlayıcılar, mekanik ve burulma çubuğu kullanılan tip şeklinde olabilmektedir.

Emniyet kemeri sistemlerinde kullanılan yük sınırlayıcı çeşitlerinden ilki mekanik tip yük sınırlayıcıdır. Mekanik tip yük sınırlayıcılar, kuvvetin kademeli olarak sönmünebilmesi için tırnaklı bir yapıya sahiptir (Şekil 4). Geri sarım mekanizması, bahsedilen bu tırnaklı yapı üzerine monte edilmiştir. Kaza esnasında açığa çıkan kuvvetlerin etkisiyle, geri sarım mekanizması mekanik tip yük sınırlayıcı üzerinde hareket eder ve bu kuvvetlerin etkisiyle tırnaklar bükülerek deforme olur. Bu sayede, kaza esnasında açığa çıkan kuvvetler kademeli olarak sönmünebilir. Emniyet kemeri sistemlerinde mekanik tip yük sınırlayıcı kullanılarak, yük altında emniyet kemerinin kontrollü bir şekilde serbest kalması ve sürücünün/yolcunun hava yastığına doğru hareket etmesi sağlanmaktadır (Van Arsdell ve diğ., 2016).

Emniyet kemeri sistemlerinde kullanılan bir diğer yük sınırlayıcı çeşidi ise burulma çubuğu tipi yük sınırlayıcıdır (Şekil 5). Kaza esnasında emniyet kemeri üzerine gelen kuvvetler belirli bir eşik değerini aştıktan sonra, burulma çubuğu plastik deformasyona uğrayarak emniyet kemerinin serbest kalmasını sağlamaktadır. Emniyet kemerinin serbest kalmasıyla sürücünün/yolcunun hava yastığına doğru hareket etmesi hedeflenmektedir (Van Arsdell ve diğ., 2016).



Şekil 4:
Mekanik Tip Yük Sınırlayıcı (Van Arsdell ve diğ., 2016)



Şekil 5:
Burulma Çubuğu Kullanılan Tip Yük Sınırlayıcı (Van Arsdell ve diğ., 2016)

Emniyet kemeri sistemlerinde kullanılan ön-gergi mekanizmalarının devreye girme yükü 1,5 kN olarak, emniyet kemeri sistemlerinde opsiyonel olarak kullanılan yük sınırlayıcıların devreye girme yükü ise 2–6 kN olarak belirlenmiştir (Kitagawa ve diğ., 2013).

Yukarıda çalışma prensibi ve çeşitlerinden bahsedilen yük sınırlayıcıların bazı dezavantajları da bulunmaktadır. Yük sınırlayıcılar, çalışma prensiplerinden dolayı, kaza anında emniyet kemerini takan sürücünün/yolcunun bedeni üzerine gelen kuvvetleri sönmek amacıyla, emniyet kemerini gevşeterek öne, hava yastığına doğru harekete olanak sağladığından, sürücünün/yolcunun araç kokpiti içerisindeki yapılara çarparak ciddi şekilde yaralanmalarına sebebiyet verebilmektedir. Ayrıca yük sınırlayıcılar, hava yastığı sistemiyle de ilişkili halde çalıştıklarından, özellikle hava yastığının açılmadığı durumlarda oluşabilecek yaralanmaların şiddeti de artabilmektedir (Meyer ve diğ., 2015).

Brumbelow ve diğ. (2007) Haziran 2006'da 123 adet yolcu aracının önden çarpma test verilerini incelediklerinde, emniyet kemeri sistemlerinde yük sınırlayıcı kullanılan araçların %52'sinde çarpışma testi sırasında kullanılan mankenlerin baş bölgesinin direksiyon kolonuna temas ettiğini saptamışlardır. Emniyet kemeri sistemlerinde yük sınırlayıcı kullanılmayan araçların ise sadece %20'sinde çarpışma testi esnasında kullanılan mankenlerin baş bölgesinin direksiyon kolonuna temas ettiği belirlenmiştir.

Meyer ve diğ. (2015) yapmış oldukları çalışmada, Toyota Yaris marka araç için yapılan çarpışma testinde, emniyet kemeri sisteminde kullanılan yük sınırlayıcıdan dolayı emniyet kemerinin 304 mm gevşediği ve sürücü bölgesinde konumlandırılan test mankeninin hava yastığına doğru hareket etmesi beklenirken, mankenin başının araç A-sütununa çarptığı belirlenmiştir. Baş bölgesinin araç içerisinde herhangi bir bölgeyle temas etmesi, insan beyninde kalıcı hasarlara neden olabilmektedir. Bu çarpışma testinde kullanılan manken, 1,78 m boyunda ve 77-82 kg ağırlığında erkek bir sürücüyü temsil etmektedir.

Meyer ve diğ. (2015) yapmış oldukları çalışmada, ön tarafta sürücünün yanında konumlanan yolcunun kaza esnasındaki davranışını da incelemişlerdir. Kia Forte marka araç için yapılan önden çarpışma testinde, emniyet kemeri sisteminde kullanılan yük sınırlayıcıdan dolayı emniyet kemerinin 280 mm salındığı saptanmıştır. Ön tarafta sürücünün yanında konumlanan manken, 1,50-1,52 m boyunda ve 114 kg ağırlığında kadın bir yolcuyu temsil etmektedir. Çarpışma testi verileri incelendiğinde, sürücü hava yastığı açılma süresi ile yolcu hava yastığı açılma süresi arasında zaman farkı olduğu saptanmış ve yolcunun kaza esnasında iki hava yastığı arasına doğru hareket ederek başını araç kokpitine çarptığı görülmüştür. Ön tarafta sürücünün yanında konumlanan yolcunun araç içerisindeki hareket yönü Şekil 6'da gösterilmiştir.

Xiao ve diğ. (2017) yaptıkları çalışmada, yük sınırlayıcı kullanılan emniyet kemerleri ile yük sınırlayıcı kullanılmayan geleneksel emniyet kemerleri arasında kıyaslamalar yapmıştır. Geleneksel emniyet kemeri sistemlerinde, kaza esnasında göğüs yer değiştirme değerleri artarken, yaralanma risklerinin azaldığı görülmüştür. Yük sınırlayıcı kullanılan emniyet kemeri sistemlerinin ise kaza esnasında göğüs yer değiştirme değerini düşürdüğü; ancak yaralanma riskini arttığı saptanmıştır. Ayrıca, yük sınırlayıcı kullanılan emniyet kemeri sistemlerinde görülen olası kaburga kemiği kırık sayılarının, geleneksel emniyet kemeri sistemlerine kıyasla daha fazla olduğu belirlenmiştir.



Şekil 6:

Ön Tarafda Sürücünün Yanında Yer Alan Yolcunun Araç İçerisindeki Hareket Yönü (Meyer ve diğ.,2015)

Bu çalışma kapsamında, emniyet kemeri sistemlerinde opsiyonel olarak kullanılan yük sınırlayıcıların bahsedilen çeşitli olumsuzluklara sebebiyet vermesi nedeniyle, yük sınırlayıcıların yerine kullanılmak üzere emniyet kemeri sistemlerine entegre olabilen alüminyum köpük takviyeli enerji sönmleme sisteminin tasarımı ve analizi yapılmıştır. Ayrıca, bu sönmleme sistemi, mevcut emniyet kemeri sistemlerinin faydalarından ödün vermeden, yük sınırlayıcı kullanılmayan geleneksel emniyet kemeri sistemlerine de entegre edilebilmektedir. Kaza esnasında açığa çıkan kuvvetlerin, sürücünün/yolcunun göğüs bölgesinde ciddi yaralanmalara sebebiyet verdiği ve neticesinde bu olumsuz durumun ölümlere yol açtığı görülmüştür. Bu çalışmada, emniyet kemeri sistemlerinde alüminyum köpük takviyeli sönmleme sistemi kullanılarak, kaza sırasında sürücü/yolcu üzerinde görülen yaralanmaların en aza indirgenmesi amaçlanmıştır.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

Motorlu araç kazaları neticesinde görülen yaralanma ve bu yaralanmalara bağlı ölümlerin sebepleri incelendiğinde, ana sebeplerden bir tanesinin ciddi göğüs bölgesi yaralanmaları olduğu saptanmıştır. Yapılan araştırmalarda, önden çarpışmanın olduğu kazalarda emniyet kemeri ve hava yastığı kullanılmasına rağmen göğüs bölgesi yaralanmalarının ölümlere sebebiyet verdiği görülmüştür.

Emniyet kemeri kullanımı zorunlu olan motorlu araçlarda, kaza anında yüksek miktarda enerji açığa çıkmaktadır. Emniyet kemeri sistemi de sürücünün/yolcunun savrulmasını önlemek için kendini kilitlemektedir. Bu esnada emniyet kemeri kullanıcıları, yüksek miktarda enerjiye maruz kalmakta ve bu enerjiden dolayı kullanıcıların göğüs kafesi, omuz ve bel bölgelerinde ciddi yaralanmalar görülmektedir (Şekil 7). Bu çalışma çerçevesinde geliştirilen alüminyum köpük takviyeli enerji sönmleme mekanizmasının temel amacı, mevcut emniyet kemeri sistemlerinin faydalarından ödün vermeden, kaza esnasında açığa çıkan kuvveti, yolcuya en az hasar vereceği seviyelere indirip minimize etmektir.

Bu çalışma kapsamında, alüminyum köpük takviyeli enerji sönmleme sisteminin, araç üzerinde entegre edilmesiyle ilgili ön fizibilite çalışmaları yapılmıştır. İlk olarak, emniyet kemeri sistemini oluşturan yapıların araç içerisindeki konumları incelenmiştir. İnceleme sonucunda sönmleme sisteminin, emniyet kemeri geri sarım mekanizmasının alt kısmına, emniyet kemeri tokasının alt kısmına, emniyet kemeri sabitleme noktasının alt kısmına ve

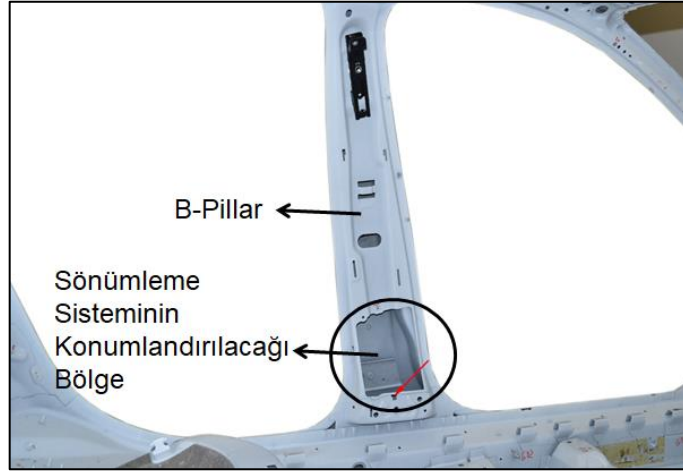
emniyet kemeri sütun döngüsü komponentinin alt kısmına konumlandırılabilceği öngörüsüne varılmıştır. Ancak yapılan ön paketleme (hacim optimizasyon) çalışmaları neticesinde, bahsedilen dört alandan en uygun olanının Şekil 8’te gösterildiği gibi geri sarım mekanizmasının alt tarafında kalan boşluklu alan olduğu belirlenmiştir. Alüminyum köpük takviyeli sönümlenme sisteminin üst tarafı geri sarım mekanizması ile irtibat halindedir. Alt tarafı ise araç B-Sütununu kapatan plastik ya da sac metal malzemededen imal edilen bir parça ile irtibat halindedir.



Şekil 7:

Emniyet Kemeri Kullanımının Kaza Esnasında Sebep Olduğu Yaralanmalar
(<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4818312/>)

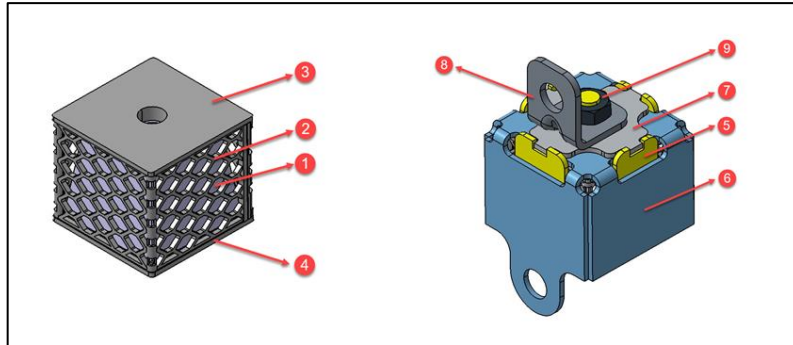
Alüminyum köpük takviyeli enerji sönümlenme sisteminin araçlarda kullanılmasıyla ilgili olarak 2018/10057 başvuru numaralı “Emniyet Kemeri Darbe Sönümlenme Sistemi” konulu yurt içi patent başvurusu Türk Patent ve Marka Kurumu’na yapılmıştır. Bahsedilen sönümlenme sistemi için gerekli olan tasarım çalışmaları, CATIA V5 bilgisayar destekli tasarım programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Şekil 9’da gösterildiği gibi sönümlenme sistemi; alüminyum köpük, koruyucu kılıf, koruyucu kılıf üst ve alt kapak, iç kılıf ve sınırlandırıcı dış kılıf, üst destek, braket ve somun gibi alt komponentlerden oluşmaktadır. Tablo 1’de ise sönümlenme sistemini oluşturan komponentlerin numaralandırılmış halde listesi verilmiştir. Şekil 10’da bahsedilen sönümlenme sisteminin araç içerisine entegrasyonu gösterilmiştir.



Şekil 8:

Sönümlenme Sisteminin Adaptasyonu İçin Yapılan Paketleme Çalışması

Şekil 10'da gösterilen sistemin çalışma prensibi şu şekildedir: Sönümlenme sistemi alt kısmından B-Sütununu kapatan plastik/sac parçaya sabitlenmiştir. Sönümlenme sistemi üst kısmından geri sarım mekanizmasıyla irtibatlı haldedir. Kaza esnasında emniyet kemeri üzerine gelen kuvvet dolayısıyla geri sarım mekanizması araç z yönünde (Şekil 10'da gösterilen koordinat sistemi) hareket etme eğiliminde olacağından, sönümlenme sistemi içerisinde yer alan ve Şekil 9'da 5 numara ile gösterilen iç kılıfın araç z yönünde hareket etmesiyle alüminyum köpük ezilerek sönümlenme görevini yapacaktır.

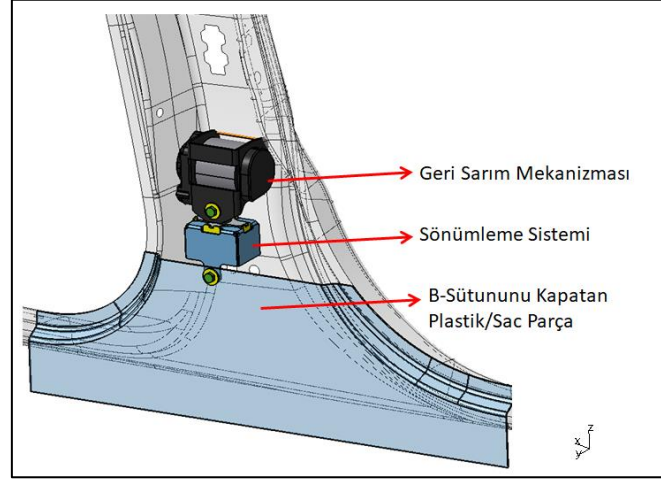


Şekil 9:

Sönümlenme Sisteminin 3 Boyutlu Geometrisi

Tablo 1. Sönümlenme Sistemini Oluşturan Alt Komponentler

BOM	
NO	TANIM
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



Şekil 10:

Sönümlenme Sisteminin Araç İçerisine Entegre Edilmiş Halinin 3 Boyutlu Geometrisi

Alüminyum köpüğü içerisinde barındıran sönümlenme sisteminin, kaza esnasında araç içerisindeki sürücü/yolcu üzerine gelen 800-8000 N aralığındaki kuvvetleri sönümleyebilecek kapasitede olması hedeflenmiştir. Ayrıca kaza anında emniyet kemerinin göğüs kafesine yaptığı baskı sebebiyle oluşan ve kullanıcının yaş, cinsiyet, beden gibi faktörlerine göre değişkenlik gösteren 52-63 mm'lik göğüs deplasman değerlerinin en az %20 oranında azaltılması amaçlanmıştır (Yoganandan ve diğ., 2015). Ek olarak, yine kaza anında göğüs kafesinin maruz kaldığı ortalama 30 g'lık ivmenin en az %20 oranında azaltılması hedeflenmiştir (Carollo ve diğ., 2015). Hedeflenen tüm bu değerler, aracın 56 km/sa hızla rijit bir bariyere önden çarpması durumu için belirlenmiştir (FMVSS No.208).

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Alüminyum köpük içeren sönümlenme sisteminin enerji emilim performansını incelemek için Abaqus Sonlu Elemanlar yazılımı kullanılmıştır. Enerjinin önemli kısmının koruyucu kılıf içerisindeki alüminyum köpük tarafından sönümlenmesi beklendiğinden, bu hacimde yer alacak farklı geometrilerdeki alüminyum köpük modellerinin analizleri gerçekleştirilerek enerji sönümlenme performansı en iyi olan geometrinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

Alüminyum köpüğün elasto-plastik davranışını olabildiğince gerçekçi olarak modellemek amacıyla Deshpande-Fleck'in teorik modeline dayanan crushable foam plasticity modeli seçilmiştir (Deshpande ve diğ., 2000) (Gülçimen ve diğ., 2019). Bu modelde Alüminyum köpüğün gerçek basma testlerinden elde edilen gerilme-birim şekil değiştirme değerleri tablo halinde Abaqus'te tanıtılmıştır. Alüminyum köpüğe ait diğer malzeme özellikleri Tablo 2'de verilmiştir. Katı olarak modellenen köpük malzemenin elemanlarına ayrılmasında C3D8R eleman tipi kullanılmıştır. Farklı modeller için aynı eleman boyutu 1,5 mm kullanılmıştır.

Tablo 2. Alüminyum Köpük Malzemenin Mekanik Özellikleri

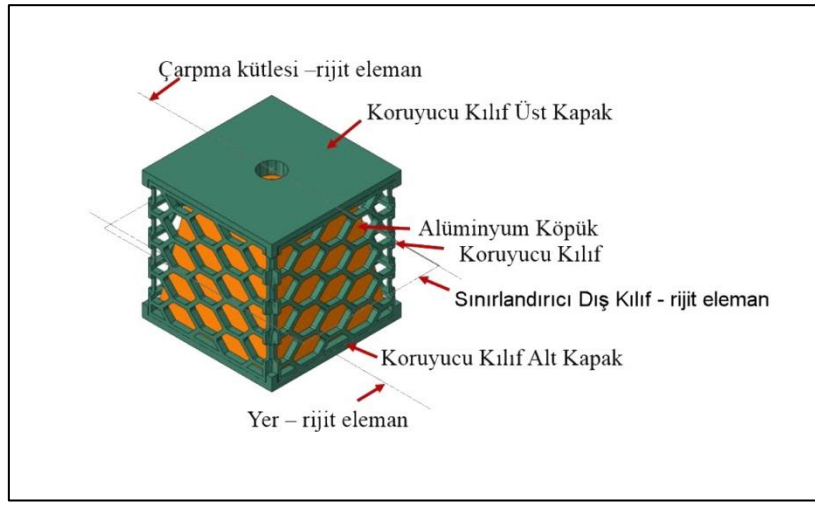
Yoğunluk [g/cm ³]	0,41
Elastisite modülü [MPa]	67
Akma gerilmesi (σ_y) [MPa]	2

Şekil 11'de oluşturulan sonlu elemanlar modeli verilmiştir. Sönümlenme sisteminin üzerine konulduğu alt plaka ve sönümlenme sistemine çarpan üst plaka rijit olarak modellenmiş; üst plakaya çarpışma regülasyonları göz önüne alınarak 80 kg'lık çarpma kütlesi ve 56 km/sa'lik bir

çarpışma hızı tanımlanmıştır (FMVSS No.208). Koruyucu kılıfı saran sınırlayıcı dış kılıfın da deformasyon alanının kısıtlayıcı fonksiyonu temel alınarak rijit olarak modellenmiştir. Kılıfın katlanması esnasında kendi içerisinde oluşacak kontaklar da göz önüne alınarak, tüm model için explicit genel kontak tanımlanmıştır.

Koruyucu kılıf malzemesi Al6063 olarak seçilmiş ve malzeme modeli gerinim hızına bağlı Johnson-Cook malzeme tipi seçilip, Tablo 3'te verilen malzeme katsayıları kullanılmıştır (Gülçimen ve diğ., 2019) (Kruszka ve diğ., 2012).

Enerji sönümlenme performansı belirlemek amacıyla analizlerde farklı alüminyum köpük geometrileri kullanılmıştır (Şekil 12). Modeller sırasıyla kesik piramit, kesik konik, geniş kesitli kesik piramit ve 2 farklı kesik piramit olmakla beraber boyutlar Tablo 4'te verilmiştir. İlk üç model tek parçadan oluşmakla beraber, son modelde üstte dar altta geniş kesitli 2 adet kesik piramit kullanılmıştır. Son modelde, enerji sönümlenmede etkisi olmamakla beraber, 2 adet kesik piramitin düzgün çalışabilmesi için 1,2 mm kalınlığında sac levha da kullanılmıştır.

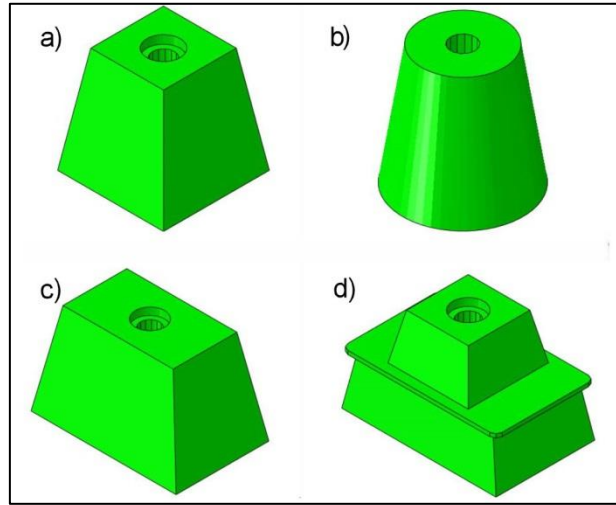


Şekil 11:

Alüminyum Köpük İçeren Sönümlenme Sisteminin Sonlu Elemanlar Modeli

Tablo 3. Alüminyum Kılıfa Ait Johnson-Cook Sabitleri (Kruszka ve diğ., 2012)

Malzeme Sabitleri	Değer
A [MPa]	111,82
B [MPa]	241,40
n	0,415
C	0,012
m	1,003



Şekil 12:

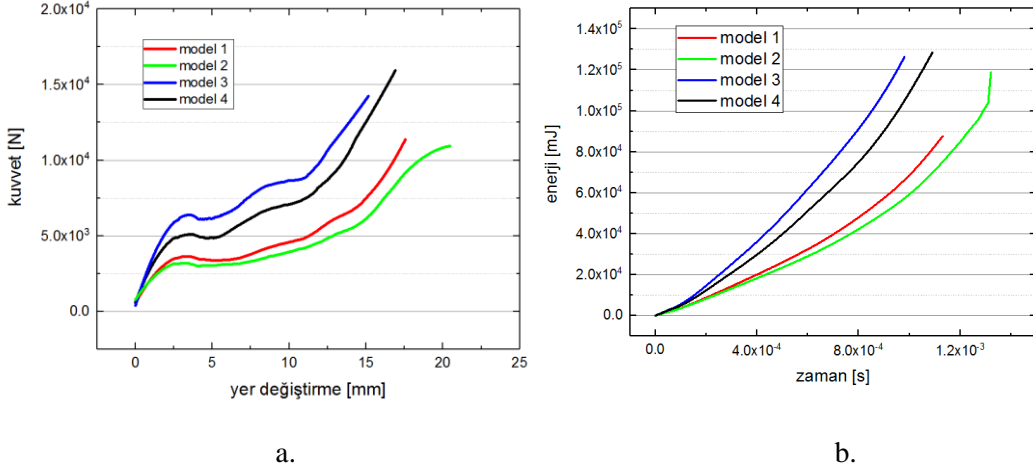
Analizlerde Kullanılan Farklı Alüminyum Köpük Geometrileri;

- a. Model 1: Kesik Piramit b. Model 2: Kesik Konik c. Model 3: Geniş Kesitli Kesik Piramit d. Model 4: 2 Farklı Kesik Piramitten Oluşan Model**

Her bir modele ait kuvvet-yer değiştirme ve enerji-zaman eğrileri Şekil 13’te yer almaktadır. En yüksek sıkışma miktarı Model 4’te gerçekleşmiş olup, Model 3’te daha yüksek kuvvet değerlerine ulaşılması sebebiyle bu 2 Model için toplam sönmelenen enerji miktarları yakın olmuştur. İlk 2 modelin ise daha düşük sıkışma miktarı ve kuvvet değerlerine sahip olmaları enerji sönmeme değerlerinin daha düşük kalmasına sebep olmuştur. Model 4 her ne kadar enerji sönmeme özelliği açısından iyi sonuçlar verse de üretim kolaylığı düşünülerek Model 3 yani geniş kesitli kesik piramit modelinin uygun geometri olduğu sonucuna varılmıştır.

Tablo 4. Analizlerde Kullanılan Farklı Alüminyum Köpük Geometrilerine Ait Boyutlar

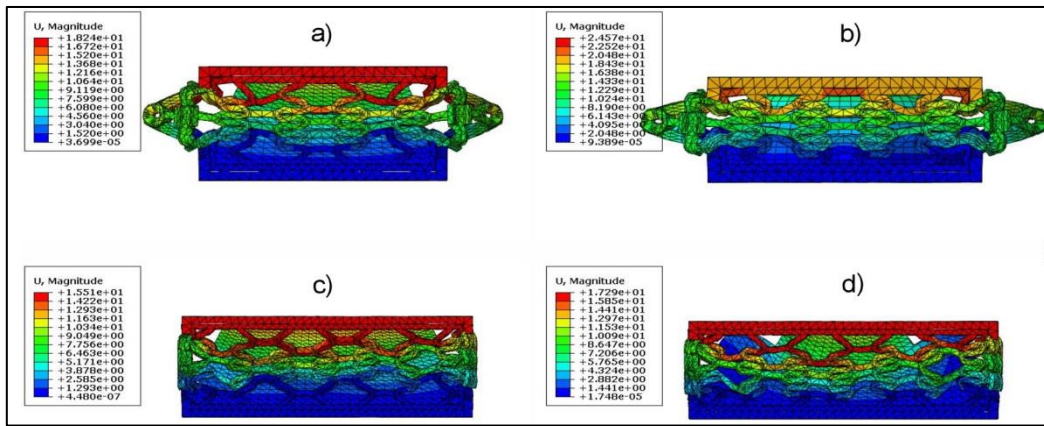
Model No	Taban (kenarlar/çap) [mm]	Tavan (kenarlar/çap) [mm]	Yükseklik [mm]	Hacim [mm ³]
Model 1	32x32	22x22	32	22306
Model 2	22	32	32	17469
Model 3	50x32	38x22	32	37047
Model 4 üst piramit	26x26	20x20	14,8	31092
alt piramit	50x32	44x28	16	
aradaki sac	50x30	-	1,2	
Model 3 üst dar	50x32	20x20	32	28791



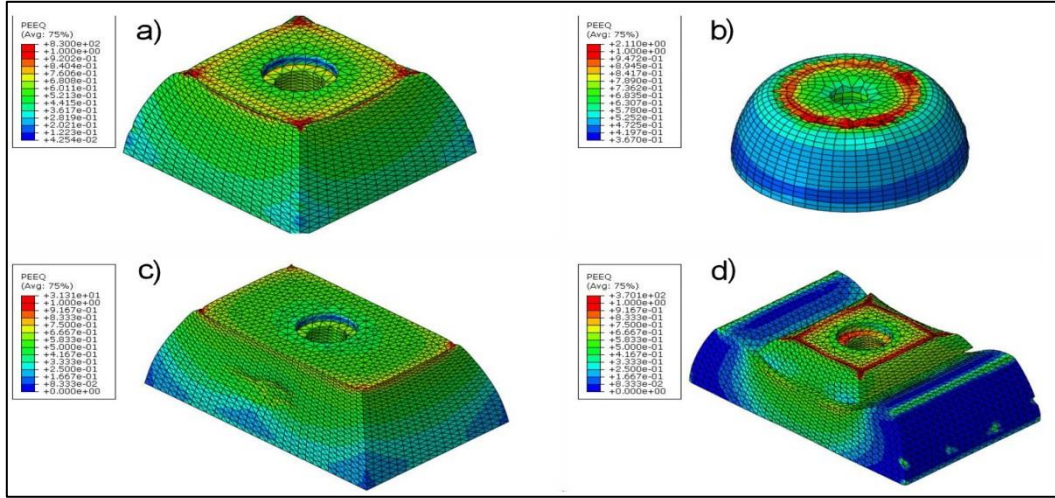
Şekil 13:
Her Bir Modele Ait;
a. Kuvvet-Yer Değişirme Eğrisi b. Enerji-Zaman Eğrisi

Tüm modellerin nihai deforme olmuş halleri ve sıkıştırılma miktarları Şekil 14’te gösterilmiştir. Koruyucu kılıfın model 1 ve 2’de en çok yanal deformasyon gösterdiği görülmektedir. Şekil 15 ve Şekil 16’da her bir model için alüminyum köpüğün plastik şekil değiştirme ve eşdeğer gerilme dağılımları verilmiştir. En yüksek değerler her iki nicelik için de daha çok çarpma yüzeyinde oluşmaktadır.

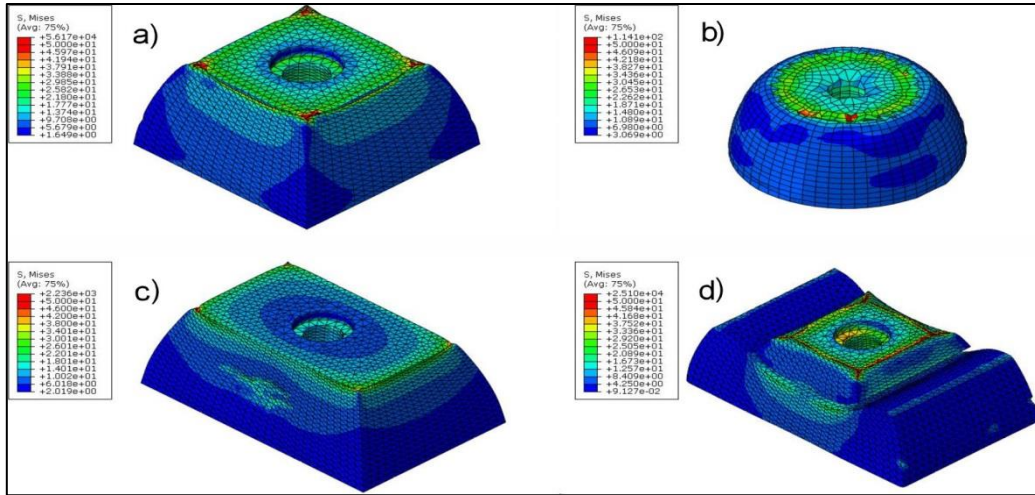
Kesik piramit geometrisinin en iyi sonuçları vermesi sebebiyle, bu geometride farklı kesitlere sahip modeller ayrıca incelenmiştir (Şekil 17). Model 1 ve Model 3’ün dışında daha dar kesitlere sahip olan bir kesit piramit modeli varolan modellerle karşılaştırılmıştır (bkz Tablo 4). Şekil 18’de verilen farklı kesitlere sahip kesik piramit modellerin kuvvet-yer değiştirme ve enerji-zaman eğrileri incelendiğinde, en sonuncu üst dar modelin yani tavan kesiti taban kesitine diğerlerine göre en küçük olan modelin en uygun sonucu verdiği görülmüştür. Bu modelin, sönmülenen enerji değeri açısından yakın değerlere sahip Model 3’ten daha düşük çarpışma kuvvetine sahip olmasına rağmen, ulaşılan daha yüksek sıkışma miktarları sayesinde en iyi enerji sönmüleme kapasitesine sahip olduğu saptanmıştır. Ayrıca Model 3’e göre hacimce küçük olması, birim kütle başına sönmülenen enerji olan özgül enerji emiliminin de daha yüksek olduğunu göstermektedir.



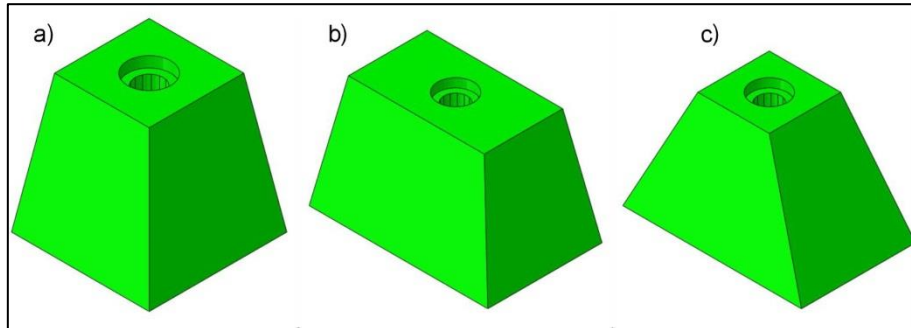
Şekil 14:
Her Bir Modele Ait Yer Değişirme Dağılımı;
a. Model 1 b. Model 2 c. Model 3 d. Model 4



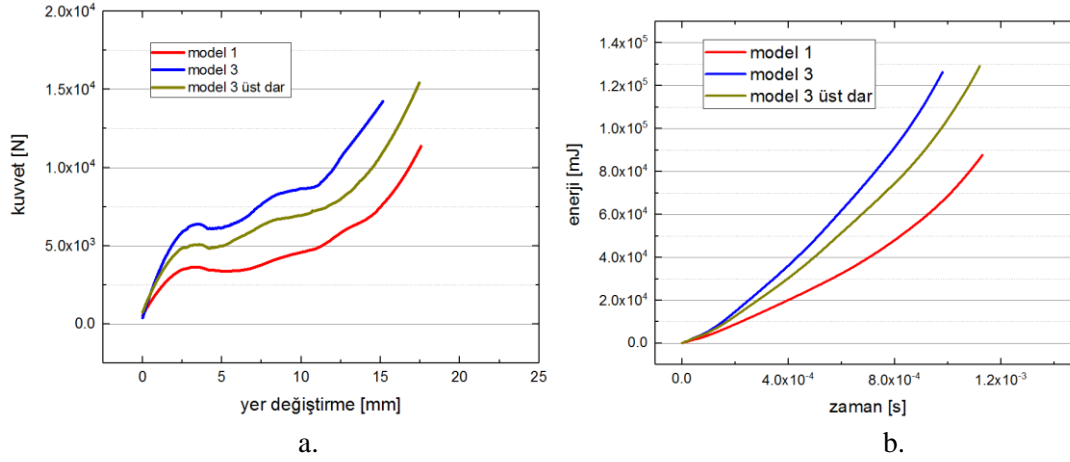
Şekil 15:
Her Bir Modele Ait Plastik Şekil Değişirme Dağılımı;
a. Model 1 b. Model 2 c. Model 3 d. Model 4



Şekil 16:
Her Bir Modele Ait Eşdeğer Gerilme Dağılımı;
a. Model 1 b. Model 2 c. Model 3 d. Model 4



Şekil 17:
Kesik Piramit Modellerinin İncelenmesi;
a. Model 1 b. Model 3 c. Model 3 Üst Dar



Şekil 18:
Kesik Piramit Modellerine Ait;
a. Kuvvet-Yer Değişirme Eğrisi b. Enerji-Zaman Eğrisi

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, araç emniyet kemeri sistemlerine entegre edilebilecek, alüminyum köpük takviyeli enerji sönmleme sistemi için gerekli olan tasarım ve analiz çalışmaları yapılmıştır. Alüminyum köpük takviyeli enerji sönmleme sisteminin tasarım çalışmaları yapılırken, sönmleme sisteminin efektif bir şekilde çalışması için emniyet kemeri sistemlerinin çalışma prensipleri göz önüne alınarak ilgili çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Ayrıca paketleme çalışmaları da yapılarak tasarlanan sistemin araç içerisine adapte edilebilir olmasına dikkat edilmiştir.

Yapılan paketleme çalışmaları sonucunda, enerji sönmleme sistemi için araç içerisinde konumlandırılacak en uygun yerin, geri sarım mekanizmasının altında yer alan boşluklu alan olduğu belirlenmiştir. Tasarım çalışmaları, bu boşluklu kısmın hacmi referans alınarak gerçekleştirilmiştir. Ek olarak, enerji sönmleme sisteminin düzgün bir şekilde çalışabilmesi için sönmleme sisteminin üst tarafı geri sarım mekanizmasıyla irtibat halindedir. Sönmleme sisteminin alt tarafı ise araç B-Sütununu kapatan plastik ya da sac metal malzemeden imal edilen parçaya sabitlenmiştir.

Çalışma kapsamında gerçekleştirilen analizlerde ise sistemin gerçek ortamda nasıl davranış sergileyeceği simüle edilmiştir. Farklı formlarda alüminyum köpük malzemeler için kuvvet-yer değiştirme grafikleri, enerji-zaman grafikleri, plastik şekil değiştirme dağılımı ve eşdeğer gerilme dağılımı verileri incelenmiştir. İncelenen veriler sonucunda, kesik piramit modelleri arasından tavan kesiti taban kesitine göre en küçük olan model (Model 3 Üst Dar) optimum sonucu vermiştir. Bu modelin diğer modellere kıyasla daha yüksek sıkışma miktarlarına ulaşması nedeniyle en iyi sönmleme kapasitesine sahip olduğu belirlenmiştir.

Çalışma neticesinde, alüminyum köpük takviyeli enerji sönmleme sisteminin, emniyet kemeri sistemlerinde opsiyonel olarak kullanılan ve çeşitli olumsuzluklara sebep olan yük sınırlayıcıların alternatifini olarak kullanılabilirliğinin mümkün olduğu görünmektedir. Ayrıca, enerji sönmleme sisteminin, emniyet kemeri sistemlerinin mevcut faydalarından ödün vermeden, yük sınırlayıcı kullanılmayan geleneksel emniyet kemeri sistemlerine de adapte edilebileceği kanısına varılmıştır.

TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın hazırlanması için desteklerini esirgemeyen AVROTAS Avrupa Tasarım Mühendislik İç ve Dış. Tic. A.Ş. firmasına teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

1. Bohlin, N. (1967). A Statistical Analysis of 28,000 Accident Cases with Emphasis on Occupant Restraint Value, *SAE Technical Paper 670925*. doi:10.4271/670925.
2. Brumbelow, M.L., Baker, B.C., Nolan, J.M. (2007). Effects of Seat Belt Load Limiters on Driver Fatalities in Frontal Crashes of Passenger Cars, Insurance Institute for Highway Safety (IIHS), *20th International Technical Conference on the Enhanced Safety of Vehicles (ESV)*, Paper Number 07-0067, June 18-21, 2007.
3. Carollo, F., Mariotti, G.V., Naso, V. (2015). Biomechanics Parameters in Teenage Cyclist-SUV Accident and Comparison with the Pedestrian, *WSEAS-NAUN conference OTENG'15*, Rome, 7-9 November 2015, Applied Mathematics and Materials, Pag. 77- 87, ISBN 978-1-61804-347-4; ISSN: 2227- 4588.
4. Deshpande, V.S., Fleck, N.A. (2000). Isotropic Constitutive Models for Metallic Foams, *Journal of the Mechanics and Physics of Solids*, 48, 1253-1283.
5. Gulcimen Cakan, B., Ensarioğlu, C., Çakır M.C. (2019). Farklı Oranlarda Alüminyum Köpük Takviyeli Çarpışma Kutularının Mekanik Performanslarının Karşılaştırılması, *BAUN Fen Bil. Enst. Dergisi*, 21(1), 295-305.
6. <https://www.nhtsa.gov/risky-driving/seat-belts>, Erişim Tarihi: 27.05.2019, Konu: *Emniyet Kemerleri İstatistikleri 2017*.
7. <https://www.quora.com/What-is-an-invention-everybody-uses-but-the-inventor-didnt-make-any-money-from-it>, Erişim Tarihi: 27.05.2019, Konu: *Emniyet Kemerleri*.
8. <https://carbiketech.com/seat-belt/>, Erişim Tarihi: 27.05.2019, Konu: *Emniyet Kemerleri*.
9. <https://www.baylissgraphics.com/project/technical-documentation-safety/>, Erişim Tarihi: 27.05.2019, Konu: *Emniyet Kemerleri Sistemi Komponentleri*.
10. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4818312/>, Erişim Tarihi: 27.05.2019, Konu: *Emniyet Kemerleri Yaralanmaları*.
11. Kitagawa, Y., Yasuki, T. (2013). Correlation among Seat Belt Load, Chest Deflection, Rib Fracture and Internal Organ Strain in Frontal Collisions with Human Body Finite Element Models. *Proceedings of the IRCOBI Conference 2013*.
12. Kruszka L., Anaszewicz Ł., Janiszewski J. ve Grazka M. (2012). Experimental and Numerical Analysis of Al6063 Duralumin Using Taylor Impact Test, *EPJ Web of Conferences*, 26, 01062.
13. 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*.
14. Potential Test Procedures for FMVSS No.208, (1999). *Office of Vehicle Safety Research, NHTSA (National Highway Traffic Safety Administration)*.
15. Van Arsdell, W., Weber, P., Stankewich, C., Larson, B. et al (2016). Load-Limiters Effect on Occupant Restraint System Performance, *SAE Technical Paper 2016-01-1505*, 2016. doi:10.4271/2016-01-1505.
16. Vazquez, M.M. (2014). Thoracic Injuries in Frontal Car Crashes Risk Assessment Using a Finite Element Human Body Model, *Thesis for the Degree of Doctor of Philosophy in Machine and Vehicles Systems*, Department of Applied Mechanics Chalmers University of Technology, Gothenburg, Sweden.

17. Yoganandan, N., Nahum, A.M., Melvin, J.W. (2015). Accidental Injury Biomechanics and Prevention, *Springer*, Third Edition.
18. 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*, Vol.19, No.3. doi: 10.5277//ABB-00777-2016-02.