



Alüminyum Köpük Malzemenin Plastik ve Alüminyum Kılıf ile Kullanılmasının Çarpışma Kutularındaki Enerji Emilimine Etkisi

Harun Yeni¹, Hafize Çelik¹

¹Tofaş Türk Otomobil Fabrikası A.Ş., Ar-Ge Merkezi, Bursa, Türkiye

Corresponding Author: Harun YENİ, harun.yeni@tofas.com.tr,

Özet

Araçlarda en önemli güvenlik elemanlarından biri ön çarpışma traversidir. Çarpışma traversleri aracın ön veya arkasına bağlantı elemanlarıyla montajlanan yapılardır. Görevleri; çarpışma esnasında gelen yükleri sönmüleyerek önemli bileşenlere (motor ve motor boşluğunda bulunan parçalar, gövde vb.) zarar verilmesini önlemek, aynı zamanda sürücü ve yolcu kabinine zarar gelmemesi için sönmüleme sonrasındaki kuvvetleri aracın şase kollarına aktarmaktır. Çarpışma traverslerindeki en önemli elemanlar çarpışma kutularıdır. Çarpışma kutuları enerjinin büyük oranda emilimini sağlamaktadırlar. Bu makalede, çarpışma kutularında alüminyum köpüğün plastik kılıf ve alüminyum kılıf ile kullanılmasının enerji emilimine etkisi incelenmiştir. Alüminyum köpüğün enerji emilimi davranışında kılıf olarak kullanılan malzemenin önemli bir etkisi olduğu ve alüminyum kılıf malzemenin plastik kılıf malzemeye göre daha üstün olduğu görülmüştür.

Article Info

Research Article
Received: 15/10/2021
Accepted: 28/03/2021

Anahtar Kelimeler

Alüminyum Köpük, Ön çarpışma traversi, Arka çarpışma traversi, Çarpışma Kutusu

Öne Çıkanlar

Sonlu elemanlar yöntemi yardımıyla düşürme testinin simülasyonu

The Effect of Using Aluminium Foam Material with Plastic and Aluminium Sheath on Energy Absorption in Crash Boxes

Abstract

One of the most important safety elements in vehicles is front crash beams. Crash beams are structures that are mounted to the front or rear of the vehicle with fasteners. Their duties are to prevent damage to important components (engine and parts

Keywords

Aluminium Foam, Front crash cross member, Rear crash cross member, Crash Box,

in the engine compartment, body, etc.) by absorbing the loads during the collision, and to transfer the forces to the chassis arms of the vehicle after damping in order to prevent damage to the driver and passenger cabin. The most important elements in crash beams are crash boxes. Crash boxes provide a large amount of energy absorption. In this article, the comparison of using aluminium foam with plastic and aluminium sheath on energy absorption in crash boxes was investigated. It has been seen that the material used as the sheath has a significant effect on the energy absorption behavior of the aluminum foam, and the aluminum sheath material is superior to the plastic sheath material.

Highlights

*Simulation of drop test
using finite element
method*

1. Giriş

Otomotiv endüstrisinin hızlı gelişimi, akaryakıt ve yağ türevlerinde azalmaya yol açmaktadır. Ayrıca yakıt tüketiminin artmasına bağlı olarak CO₂ emisyonlarının azaltılması zorunluluğu otomotiv üreticilerinin yeni araştırmalar yapmasına neden olmaktadır. Bir aracın ağırlık dağılımının büyük bir kısmı gövdeden kaynaklanmaktadır. Alüminyum (Al) malzeme gövde tasarımında diğer malzemelere alternatif olarak tercih edilen malzemelerden biridir. Alüminyum malzeme ile istenilen mukavemet, esneklik ve korozyon direncine göre parça üretimi mümkündür. Alüminyum malzeme ile hem hafif hem de seri üretime uygun (ekstrüzyon yöntemiyle üretim ve parçaların alüminyum kaynak işlemi ile birleştirilmesi) ve fiyat/performans dengesi ile diğer malzemelerin önüne geçmektedir. Özellikle çarpışma traverslerinde de yüksek mekanik değerler, düşük ağırlık avantajlarından dolayı alüminyum malzeme tercih edilmektedir.

Çarpışma dayanıklılığı (crashworthiness), bir aracın çarpışma esnasında yolculara zarar gelmeyecek kadar yeterli alan sağlaması ve ivmelenme kuvvetlerini düşürmesi şartları altında, çarpışma enerjisini emme kapasitesini tanımlamaktadır [Rao ve ark., 2016]. Otomotiv endüstrisinde kullanılan çarpışma kutuları, daha çok, ince cidarlı metal boş kutular olarak karşımıza çıkmaktadır [Nia ve Hamedani, 2010; Kuznetsov ve ark. 2016]. Çarpışma kutuları; aracın ön/arka tarafında kullanılan, motor, motor boşluğundaki parçalar, gövde vs. önemli parçaları, çarpma esnasında zarar görmesini engellemek amacıyla kullanılan, çarpışma traversindeki en önemli enerji sönmüleme ve enerjiyi yönlendirme parçasıdır. Çarpışma kutuları mevcutta çoğunlukla ince sac malzemeden içi boş olarak üretilmektedir. Fakat son zamanlarda, çarpışma dayanıklılığını arttırmak adına, çarpışma kutularına köpük takviyesi, dikkat çeken konular arasına girmiştir [Zhang ve Cheng, 2007; Shahbeyk ve ark., 2005]. Köpük metaller; düşük yoğunluk, yüksek mukavemet/kütle oranı ve yüksek özgül enerji emilimi (ÖEE) sayesinde otomotiv endüstrisinin yararlanmak istediği bir malzeme olmuştur. Özellikle darbe emici özelliğinden dolayı ilk akla gelen kullanım alanı çarpışma kutuları olsa da aracın daha farklı noktalarında da örneğin araç sütunlarında (pillars) kullanım alanı bulmuştur. Raylı taşıtlarda da otomobillerde olduğu gibi çarpışma kutusunda ya da hafifletme amacıyla farklı yapısal elemanlarda kullanılmaktadır [Rabiei ve Vendra, 2009; Garcia Moreno, 2016]. Köpük metallerin farklı kullanım alanları bulması ve prototiplerin geliştirilmesi

adına nümerik çalışmalar da hız kazanmıştır. Nümerik modellerde kullanılmak üzere, köpüklerin yarı-statik ve dinamik basma davranışının belirlenmesi gerekmektedir [Fiedler ve ark., 2015; Sulong ve ark., 2015; Balcha ve ark., 2005]. Aynı deformasyon mesafesinde boş dairesel kesitli çarpışma kutularına alüminyum köpük doldurmak enerji sönümlenme kapasitesini yaklaşık altı kat arttırdığı tespit edilmiştir. Çarpışma kutularının et kalınlığı ve içerisine yerleştirilen köpük miktarının artması ezilme kuvveti verimini arttırmıştır. Ancak bu durum maksimum deformasyon kuvvetinin de artmasına neden olmuştur [Altın M., 2017]. Çarpışma kutularının içerisine alüminyum köpük malzeme yerleştirmek enerji sönümlenme kapasitesini yaklaşık 4 kat arttırmıştır [Altın M. ve Yücesu S., 2019]. Alüminyum köpük malzemesinin yarı-statik basma testleri gerçekleştirilerek malzeme modeli oluşturulmuştur. Bu malzeme modeli; farklı oranlarda alüminyum köpük takviyesi yapılmış çarpışma-kutularının mekanik performansını, boş çarpışma-kutularıninki ile karşılaştırmak amacıyla, sanal çarpışma analizlerinde kullanılmıştır. Köpük takviyeli çarpışma-kutularının, köpük oranıyla artacak şekilde; plato kuvveti, çarpışma süresi, deformasyon davranışı ve enerji emilimi yönünden daha üstün olduğu görülmüştür [Cakan B., Ensarioğlu C., ve Çakır C., 2019].

Bu çalışmada, alüminyum köpük malzemenin çarpışma kutularında kullanımının aracın çarpışma performansı üzerindeki etkisi, nümerik ve deneysel olarak incelenmiştir. Çalışma alüminyum köpük malzemenin plastik ve alüminyum kılıf ile kullanılmasının çarpışma kutularındaki enerji emilimine etkisini incelemek için yapılmıştır.

2. Materyal ve Yöntem

Kapalı gözenekli alüminyum AluPam A.Ş. (Türkiye)'den temin edilmiştir. Köpük metalin üretimi ergiyik yöntem ile gerçekleştirilmiştir. Ana malzeme olarak saf Al içerisine SiC ve MgO alaşım elementleri ilave edilmiş ve CaCO₃ ajanıyla köpürtülmüştür. Üretilen köpük metalin ortalama yoğunluğu 0,44 g/cm³ olarak belirlenmiştir.

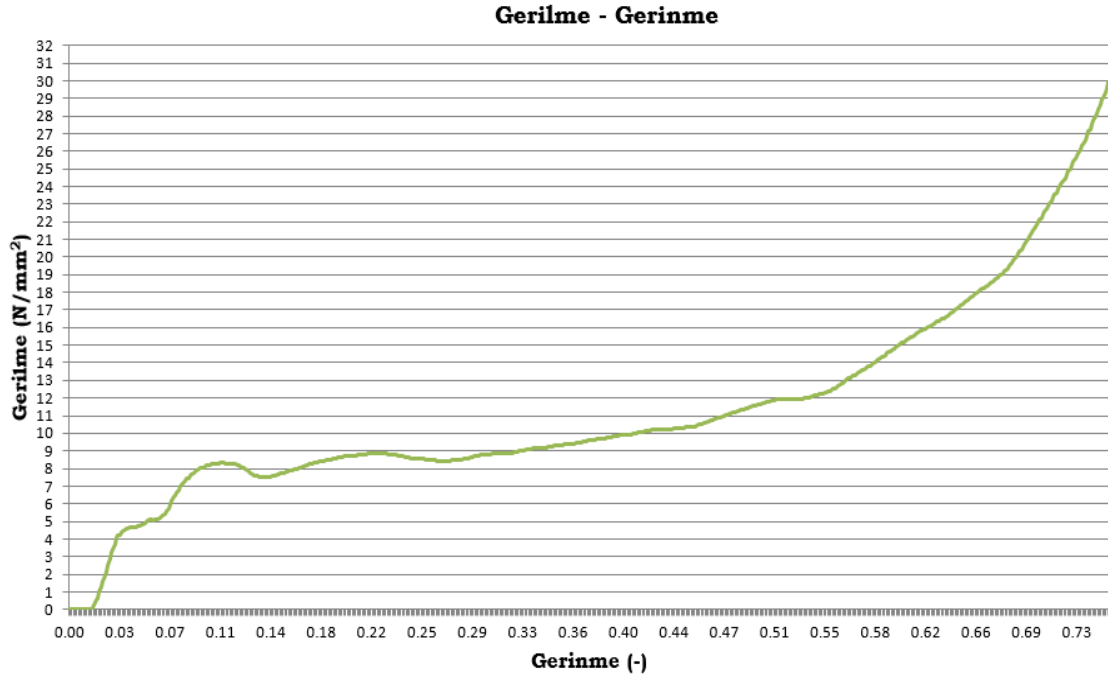
Al köpük malzemenin üretiminde; malzemenin yoğunluğunu, hücre boyutunu ve dağılımını, mekanik özelliklerini etkileyecek parametreler bulunmaktadır. Bunlar temel olarak; kullanılan ana alaşım, alaşıma eklenen sert parçacıkların cinsi ve oranı, köpürtme sıcaklığı, köpürtücü madde cinsi ve oranı, köpürtme süresi, karıştırma hızı olarak sayılabilir.

Çarpışma kutusunda kullanılacak alüminyum köpük, sıkışma oranı yüksek (yoğunluğu düşük) ve mukavemeti yüksek olmalıdır. Böylece hem deplasman hem de gerilme değerleri yüksek olacak ve malzeme tarafından emilen spesifik enerji de (birim hacimdeki enerji, enerji yoğunluğu) o kadar yüksek çıkacaktır. Literatürde kapalı gözenekli 0,3-0,8 g/cm³ yoğunluğa sahip alüminyum köpük malzemelerin basma mukavemetleri 2-10 MPa arasında değişmektedir.

Alüminyum köpük malzeme, diğer köpük malzemeler gibi plato gerilmesi göstermektedir. Akma gerilmesi değerinden, yoğunlaşmanın başladığı noktadaki birim şekil değiştirmeye denk gelen gerilme değerine kadarki kısım plato bölgesi olarak da adlandırılır. Gerilme değerindeki ilk artış bölgesinin ardından, gerilme artarken gerilme

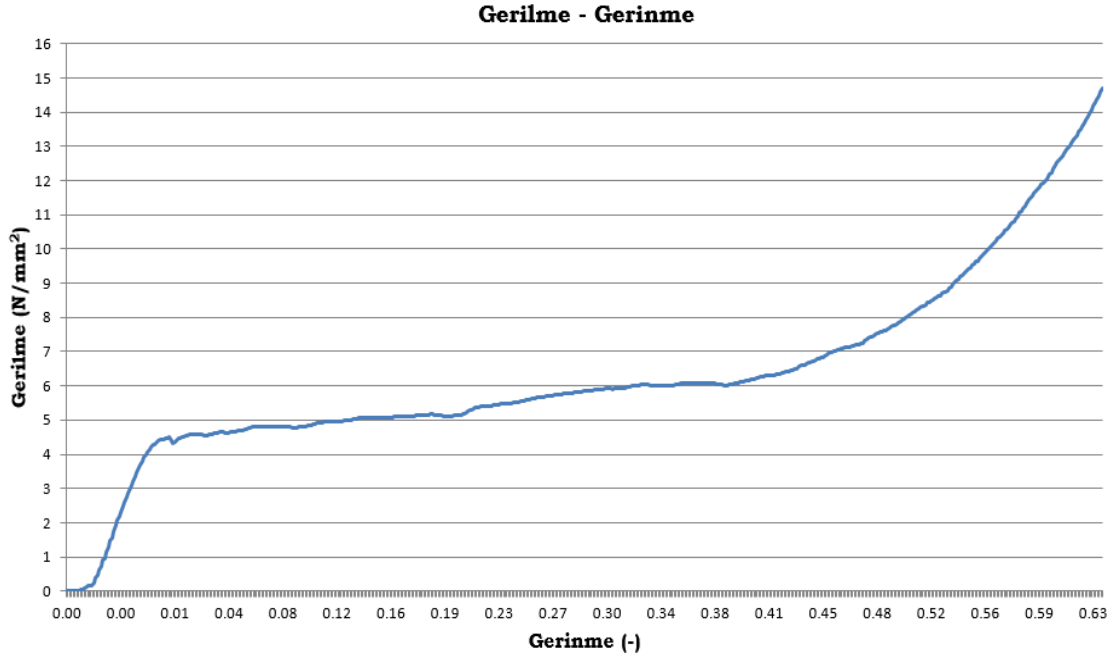
neredeysi sabit kalmaktadır. Bu ise, neredeyse sabit kuvvetler altında yüksek enerji emilimi sağlamaktadır.

AC249 kodlu Al köpük malzemenin gerilme-gerinme diyagramı Şekil 1’de görülmektedir. Malzemenin yoğunluğu $0,77 \text{ g/cm}^3$ ’tür. Plato gerilmesi yaklaşık 9 MPa olmuştur.



Şekil 1. $0,77 \text{ g/cm}^3$ yoğunluklu AC249 kodlu Al köpük için basma testi sonucu

AC248 kodlu Al köpük malzemenin gerilme-gerinme diyagramı ise Şekil 2’de verilmiştir. Malzemenin yoğunluğu $0,44 \text{ g/cm}^3$ ’tür. Plato gerilmesi yaklaşık 5,5 MPa olarak gerçekleşmiştir.



Şekil 2. 0,44 g/cm³ yoğunluklu AC248 kodlu Al köpük için basma testi sonucu

Buna göre, gerilme/yoğunluk oranlarına bakıldığında yüksek olan değer AC248’de elde edilmiştir. Al köpüğe ait görüntü Şekil 3’te görüldüğü gibidir.



Şekil 3. 0,44 g/cm³ yoğunluklu AC248 kodlu Al köpük malzeme

Gerilme/yoğunluk oranlarına bakıldığında kılıflı malzemelerde kullanılacak dolgu alüminyum köpük olarak, Şekil 3’te görülen AC248 kodlu malzeme seçilerek devam edilmiştir.

Çalışmada kullanılan kılıf malzemesi ve kalınlığı, köpük malzeme bilgisi ve yoğunluk bilgileri ait bilgiler tablo 1’de gösterildiği gibidir.

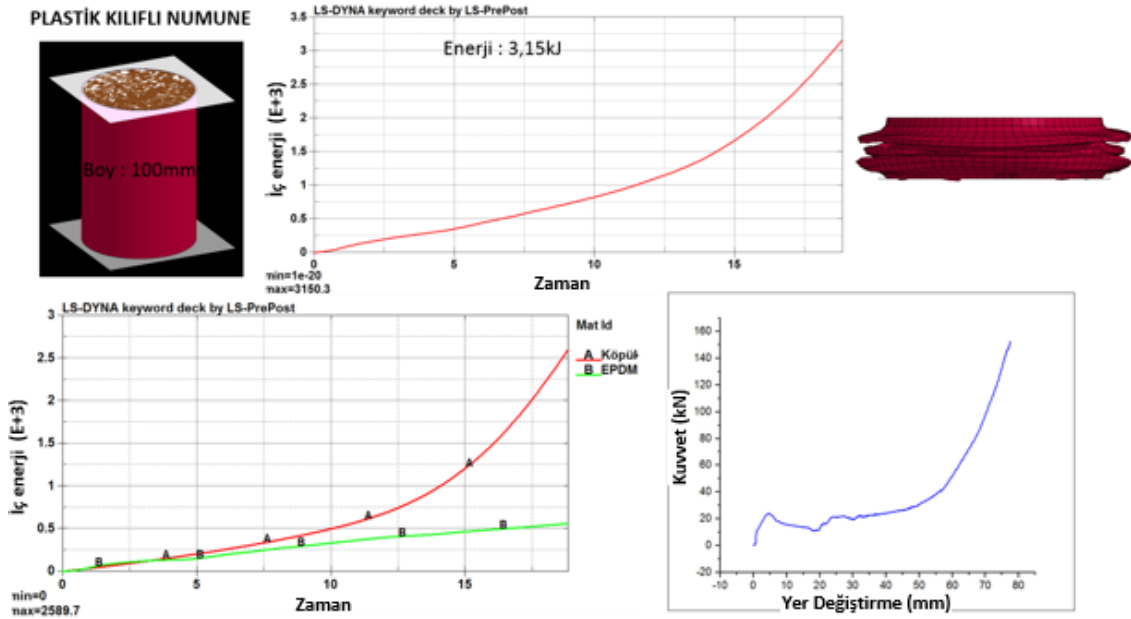
Tablo 1. Testlerde kullanılan malzemelerin bilgileri

Kılıf Malzemesi	Kılıf Malzemesinin Kalınlığı	Köpük Malzeme	
		Malzeme	Yoğunluk
%20 EPDM Katkılı P6 Malzeme	1,5 mm	AC 248	0,44 g/cm ³
	3 mm		
	4 mm		
	5 mm		
Alüminyum 6063	2 mm		

3. Bulgular

3.1. Simülasyon Testleri

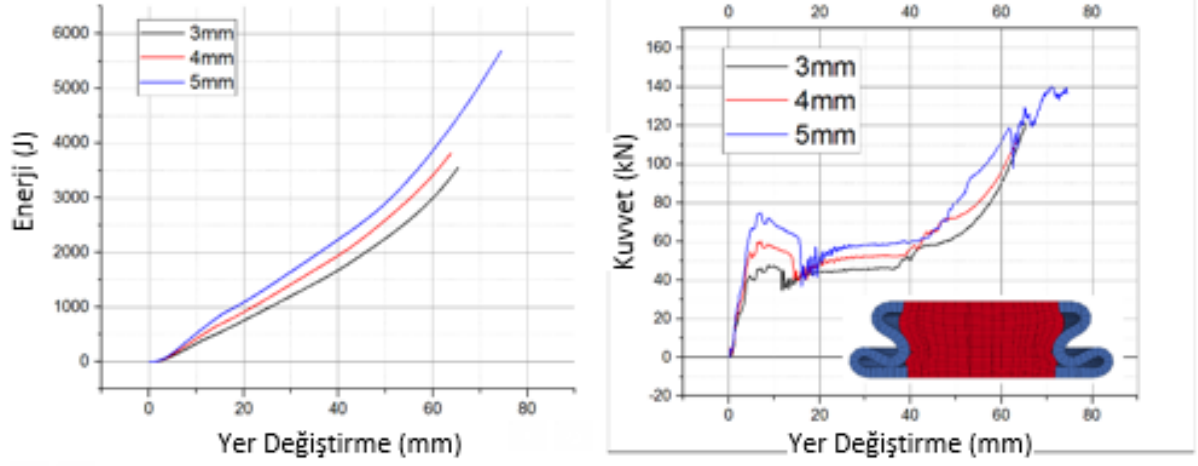
%20 EPDM katkıli P6 malzemeden 1,5 mm et kalınlığına sahip plastik kılıf içerisine Al köpük takviyesi yapılarak gerçekleştirilen simülasyonlar, enerji emilimi değerlerinin 3,15 kJ seviyelerinde kaldığını göstermiştir. Plato bölgesinde üst kesitte ölçülen kuvvet yaklaşık 25 kN seviyelerinde kalmıştır (Şekil 4).



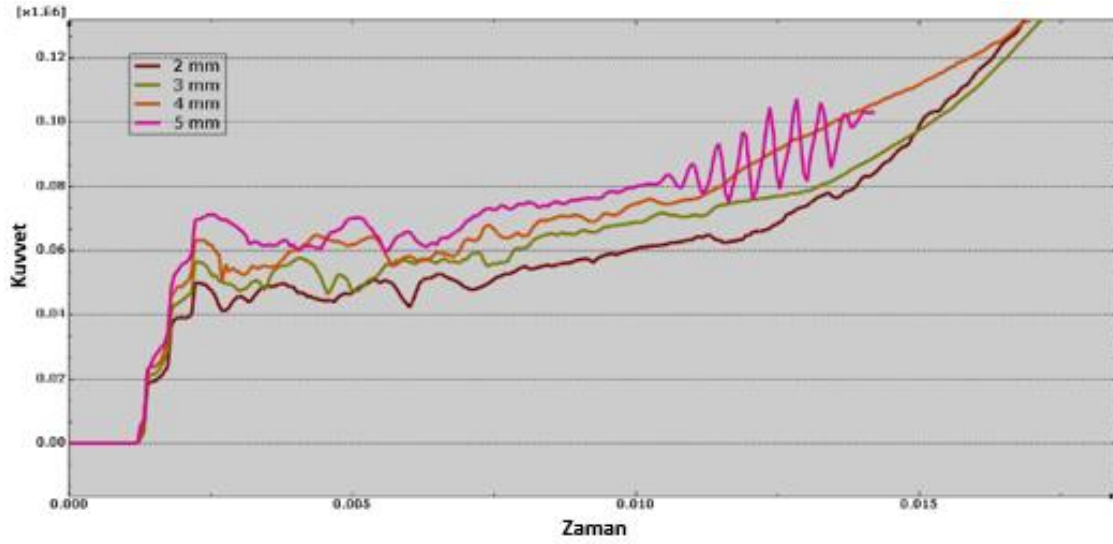
Şekil 4. Plastik kılıflı çarpışma kutusu için simülasyon sonuçları Al köpük takviyeli, %20 EPDM katkıli P6 malzeme, 1,5 mm et kalınlığı

Bu kılıf malzemesinin 1,5 mm et kalınlığında istenilen sonuçları vermemesi üzerine et kalınlığı arttırılmıştır. Ancak 5 mm et kalınlığında dahi enerji emilimi 5,5 kJ seviyelerine

ulaşabilmiştir. 3-4-5 mm et kalınlıkları için LS-DYNA (Şekil 5) ve ABAQUS (Şekil 6) yazılımlarında elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.



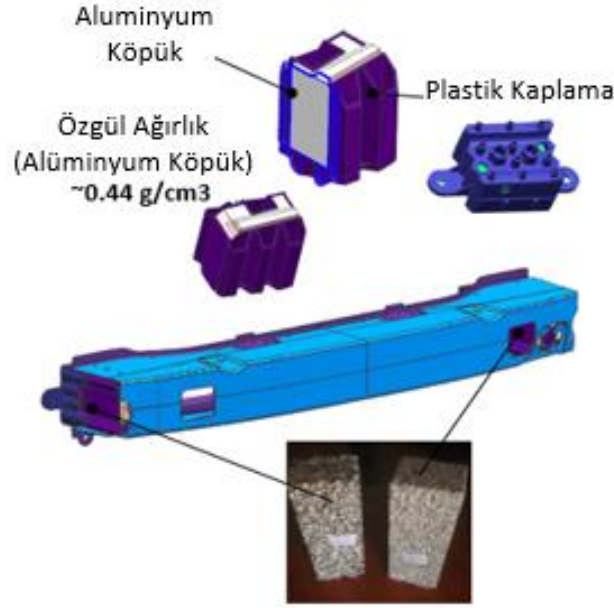
Şekil 5. Al köpük takviyeli, %20 EPDM katkıli P6 plastik kılıf için farklı et kalınlıklarına ait simülasyon sonuçları (LS-DYNA)



Şekil 6. Al köpük takviyeli, %20 EPDM katkıli P6 plastik kılıf için farklı et kalınlıklarına ait simülasyon sonuçları (ABAQUS)

3.2. Fiziksel Testler

Yapılan sanal analizler neticesinde AC248 kodlu yoğunluğu $0,44 \text{ g/cm}^3$ olan malzeme ile çarpışma kutusu ve traversi tasarlanmıştır (Şekil 7).



Şekil 7. Al köpük ($0,44 \text{ g/cm}^3$) takviyeli, %20 EPDM katkıli P6 plastik kılıf kullanılan çarpışma kutusu ve traversi çalışması

Numune olarak AluPam A.Ş. tarafından üretilen çarpışma kutuları kullanılarak düşürme testleri yapılmıştır.

4,81 mm/ms hızla 605 kg'lık bir kütlenin çarpışmasına denk potansiyel enerji (1,25 m yükseklikten 570 kg kütlenin serbest düşmeye bırakılması) kullanılarak düşürme testleri gerçekleştirilmiştir. Düşürme testi yapılmasında kullanılan cihaz Şekil 8'de gösterildiği gibidir.

Dinamik düşürme test cihazı FIAT'ın İtalya'daki otomotiv test merkezinde yapılan çarpışma testlerine uygun şekilde tasarlanıp yerli Fouren firması tarafından imal edilmiştir. Bu test cihazı ile, çarpışma kutusu ve çarpma traversi için düşürme testleri gerçekleştirilebilmektedir.

Cihazdaki vurucu koç, üzerine konulan ağırlıklarla 600 kg'a kadar çıkabilmekte ve 1,5 m'ye kadar çıkarılabilmektedir. Bu durumda, test düzeneğine bağlanan numuneye yaklaşık 9 kJ enerji ile düşürme testi uygulanabilmektedir.

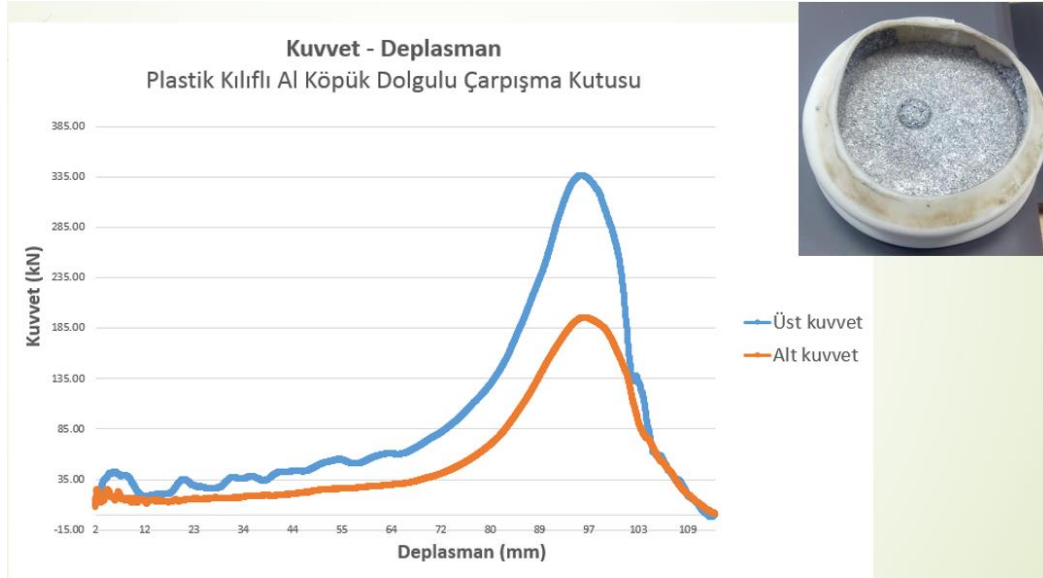
İki mesnetten bağlantı yapılabilmektedir. İlk mesnette (koçun vurduğu mesnet) iki adet 250 kN'luk, ikinci mesnette ise bir adet 100 kN'luk dinamik yük hücresi bulunmaktadır. Bu yük hücreleri, traversin arka kısmına (şaseye) gelen kuvvetleri ölçmekte kullanılmaktadır. Vurucu koçta da 500 kN'luk bir yük hücresi vardır. Bu yük hücresi ise, traversin üst kısmında deformasyonu gerçekleştiren kuvveti ölçmektedir.

Vurucu koça bağlı deplasman sensörü, test süresince deplasman değişimini ölçmektedir. Ayrıca, test sürecinde hızlı kamera kullanılarak deformasyon süreci kayıt altına alınmaktadır. Gerekli görüldüğünde, görüntü işleme yöntemiyle bu kayıtlardan da deplasman verisi alınabilmektedir.

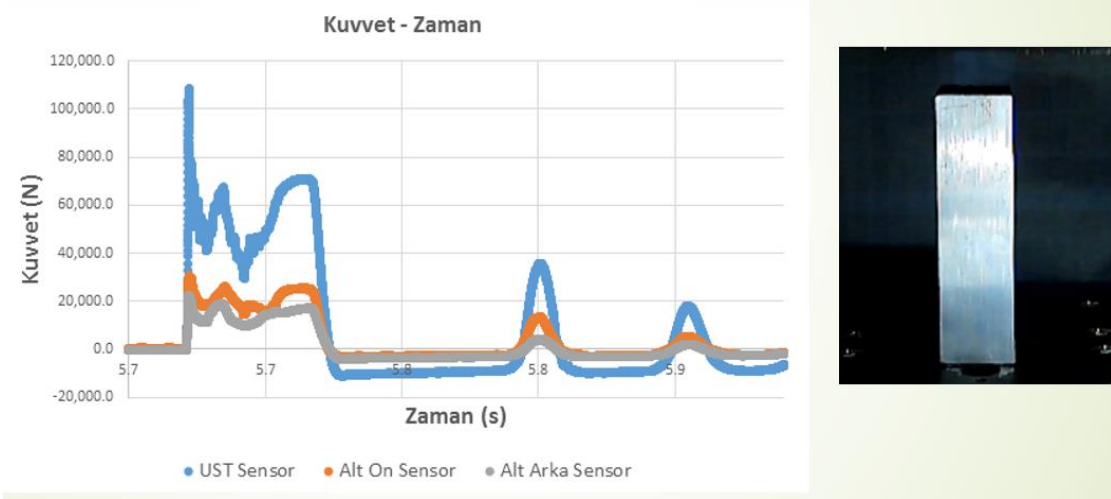


Şekil 8. Düşürme test cihazı ve test öncesine ait görseller

Temin edilen alüminyum köpükler ile takviye edilmiş numuneler düşürme testine tabi tutulmuştur. Denemelerde, kılıf malzemesi olarak %20 EPDM katkıli P6 plastik (Şekil 9) ve Al 6063 alüminyum (Şekil 10) malzeme kullanılmıştır.



Şekil 9. Al köpük takviyeli, %20 EPDM katkıli P6 plastik malzemeden kılıf kullanılarak yapılan düşürme testi sonuçları



Şekil 10. Al köpük takviyeli, Al 6063 alüminyum malzemeden kılıf kullanılarak yapılan düşürme testi sonuçları

Alüminyum köpük takviyesi yapılan %20 EPDM katkılı P6 plastik malzeme yetersiz kalmıştır. Yaklaşık 3,5 kJ enerji emilimi sağlanmıştır. Al 6063 malzeme kullanılan numune ise yeterli performansı göstermiş ve 8 kJ'luk enerjinin tamamını emmiştir. Al köpük takviyesi yapılmamış Al 6063 kılıfla yapılan, aynı yüklemenin uygulandığı testte ise, kılıf 20 mm'ye kadar sıkışmış, arkaya iletilen kuvvet ise 650 kN gibi yüksek ve kabul edilemez değerlere çıkmıştır.

4. Sonuç

Bu çalışmada, çarpışma kutularında kullanılan Al köpüğün yoğunluğu (test edilen aralık dahilinde) azaldıkça artan deplasman değerlerine bağlı olarak, enerji emiliminin artmakta olduğu gözlemlenmiştir. Al köpük takviyesi kütle artışına neden olsa enerji emiliminde önemli artış sağlamıştır. Plastik kılıf kullanımında et kalınlığının artırılmasının enerji emilimine büyük oranda katkı sağlamadığı görülmüştür. Alüminyum kılıfın plastik kılıfa göre yüksek oranda enerji emilimi sağladığı tespit edilmiştir.

Finansal Destek

Yazarlar, TEYDEB 3150096 projesi kapsamındaki mali destek için Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu'na (TÜBİTAK) teşekkür eder.

Çıkar Çatışması

Bu makale ile ilgili herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Yazar Katkısı

Yazarlar çalışmanın her aşamasında eşit katkı sunmuştur.

5. Kaynaklar

Rao C.L., Narayanamurthy V., Simha K. R. Y. (2016), *Applied Impact Mechanics*, John Wiley & Sons, West Sussex, United Kingdom.

Zhang X., Cheng G., (2007), “A comparative study of energy absorption characteristics of foam-filled and multi-cell square columns” *INT J IMPACT ENG*, Vol.34, pp 1739–1752.

Shahbeyk S., Vafai A., Petrinic N., (2005), “Axial crushing of metal foam-filled square columns: Foam density distribution and impactor inclination effects”, *THIN-WALLED STRUCT*, Vol.43, pp 1818–1830.

Garcia-Moreno F.,(2016), “Commercial Applications of Metal Foams: Their Properties and Production”, *Materials*, Vol.9, 85;pp.1–27 doi:10.3390/ma9020085.

Nia A.A., Hamedani J.H. (2010), “Comparative analysis of energy absorption and deformations of thin walled tubes with various section geometries” *THIN-WALLED STRUCT Structures*, Vol.48,pp 946–954.

Kuznetsov A., Telichev I., Wu C.Q., (2016) “Effect of thin-walled tube geometry on its crashworthiness performance”, 14th International LS-DYNA Users Conference, Detroit, USA. 12-14 June.

Rabiei A., Vendra L.J. (2009). “A comparison of composite metal foam's properties and other comparable metal foams”, *Materials Letters*, Vol. 63,pp 533–536

Fiedler T., Taherishargh M., Krstulović-Opara L., Vesenjok M., (2015). “Dynamic compressive loading of expanded perlite/aluminum syntactic foam” *Mater Sci Eng A*, Vol. 626, pp 296–304.

Sulong M.A., Taherishargh M., Belova I.V., Murch G.E., Fiedler T. (2015). “On the mechanical anisotropy of the compressive properties of aluminium perlite syntactic foam.” *Comput Mater Sci*, Vol. 109,pp 258–265.

Balcha D.K., O'Dwyer J.G., Davis G.R., Cady C.M., Gray G.T, Dunand D.C., (2005) “Plasticity and damage in aluminum syntactic foams deformed under dynamic and quasistatic conditions”, *Mater Sci Eng A*, Vol. 391 408–41.

Altın M. “Taşıtlarda kullanılan metalik köpük içeren çarpışma kutularının enerji sönümlene kapasitelerinin araştırılması” *Doktora Tezi* (2017).

Altın M. ve Yücesu H. S., “Farklı geometrik yapılarıdaki çarpışma kutularının içerisine yerleştirilen alüminyum köpük malzemenin enerji sönümlene kapasitesi üzerine etkisinin incelenmesi”, *Politeknik Dergisi*, 22(1): 141-148, (2019).

Cakan B., Ensarioğlu C., ve akır C., “Farklı oranlarda alüminyum köpük takviyeli çarpışma-kutularının mekanik performanslarının karşılaştırılması”, Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, (2019).