

# YÜKSEK PERFORMANSLI ENERJİ YUTUCULAR İLE TAŞIT ÇARPIŞMA GÜVENLİĞİNİN GELİŞTİRİLMESİ

Ali Rıza Yıldız \*

Doç. Dr.,  
Bursa Teknik Üniversitesi,  
Doğa Bilimleri Mimarlık ve Mühendislik  
Fakültesi,  
Makine Mühendisliği Bölümü, Bursa  
aliriza.yildiz@btu.edu.tr

Emre Demirci

Arş. Gör.,  
Bursa Teknik Üniversitesi,  
Doğa Bilimleri Mimarlık ve Mühendislik  
Fakültesi,  
Makine Mühendisliği Bölümü, Bursa  
emre.demirci@btu.edu.tr

## ÖZ

Trafikteki taşıt sayısının son yıllarda artması ile birlikte, trafik kazaları da önemli ölçüde artmıştır. Bu kazaların en yaygın türü de önden çarpışmadır. Bu çalışmada, enerji yutucuların çarpışma performansı sonlu elemanlar yöntemiyle ve deneysel olarak incelenmiştir. Farklı geometrilerdeki enerji yutucular tasarlanmış ve başlangıç modeli olarak ele alınan enerji yutucuya göre daha fazla enerji emebilen, reaksiyon kuvvetleri ve maliyetlerinin azaltıldığı yeni bir enerji yutucu modeli geliştirilmiştir. Çarpışma analizleri sonucunda, geliştirilen enerji yutucunun kütlesi 0,02 kg azaltılmış, özgül enerji emilimi ise 170 J/kg artırılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Bilgisayar destekli tasarım, enerji yutucu, taşıt güvenliği, önden çarpışma

## IMPROVING THE VEHICLE CRASH SAFETY WITH HIGH PERFORMANCE ENERGY ABSORBERS

## ABSTRACT

Depending on the increasing number of vehicles in recent years, traffic accidents have been increasing significantly. Frontal crash is the most common types of vehicle accidents. In this study, crash performances of the energy absorbers were investigated using finite element method and experimentally. Energy absorbers with different geometry are designed and a new energy absorber which has better crash performance, peak force and cost than initial design is developed. The numerical crash analysis results show that the weight reduction is 0,02 kg and increasing the amount of the specific energy absorption is 170 J/kg for the best design.

**Keywords:** Computer aided design, energy absorbers, vehicle safety, frontal crash

\* İletişim Yazarı

Geliş tarihi : 30.11.2014

Kabul tarihi : 10.04.2015

Demirci, E., Yıldız, A. R. 2015. "Yüksek Performanslı Enerji Yutucular ile Taşıt Çarpışma Güvenliğinin Geliştirilmesi," Mühendis ve Makina, cilt 56, sayı 663, s. 40-45.

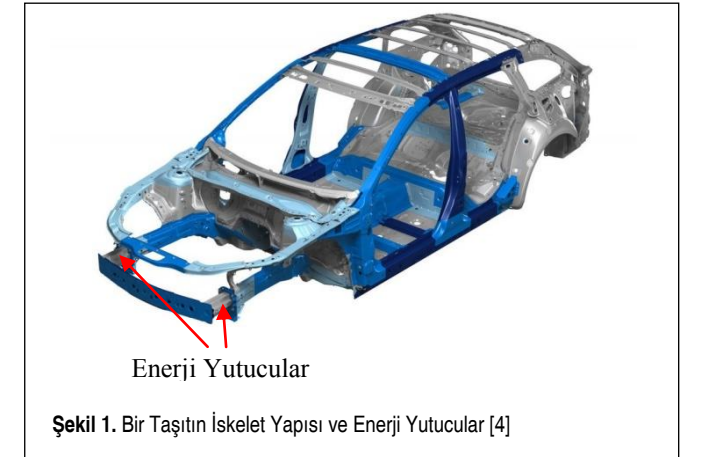
## 1. GİRİŞ

Günümüzde kara yolu ulaşımı, diğer ulaşım türlerine göre yaygın şekilde kullanılmakta ve kara yolu taşıtlarının sayısı da her geçen gün artmaktadır. Artan taşıt sayısına paralel olarak, meydana gelen çok sayıda trafik kazası otomotiv tasarımcılarını daha güvenli araçlar geliştirmeye yönlendirmiştir. Trafikte en çok karşılaşılan taşıt kaza türlerinden biri önden çarpışmalı kazalardır. Bu kazalar iki aracın karşılıklı önden çarpışması olabileceği gibi, bir aracın duran bir cisme veya araca çarpması şeklinde de gerçekleşmektedir. Emniyet Genel Müdürlüğü ve Türkiye İstatistik Kurumu'nun ortak yaptığı çalışmaya göre, 2013 yılında Türkiye'de meydana gelen toplam 161.306 adet trafik kazasından, karşılıklı çarpışma sonucu meydana gelen kaza sayısı 10.297, arkadan çarpma sonucu meydana gelen kaza sayısı 14.976, duran bir cisme ya da araca çarpma sonucu meydana gelen kaza sayısı ise 14.008'dir [1]. Aynı çalışmadaki verilere göre, önden çarpışmalı kaza durumlarında toplam 1.040 kişi hayatını kaybetmiş ve 72.894 kişi de yaralanmıştır.

Otomotiv tasarımcıları, öncelikle kazaların önlenmesi ve eğer kaza kaçınılmazsa, kaza sonrası kayıpların azaltılması için taşıtlarda uygulanan birçok güvenlik sistemi geliştirmiştir. Bu güvenlik sistemleri, aktif ve pasif güvenlik sistemleri olmak üzere iki ana grup altında irdelenebilir. Aktif güvenlik sistemleri, kaza olasılığı durumunda kaza öncesinde kazadan korunmak için devreye giren güvenlik sistemleridir. Pasif güvenlik sistemleri ise aktif güvenlik sistemlerinin yetersiz kaldığı ve kazanın meydana geldiği durumlarda, kazanın hem insan sağlığı hem de maddi açıdan olumsuz sonuçlarını olabildiğince azaltmak amacıyla yapılan bütün yapısal ve tasarım özelliklerini kapsamaktadır. Bu çalışma kapsamında, pasif güvenlik sistemlerinden biri olan enerji yutucular ele alınmıştır. Başlangıç modeli olarak ele alınan enerji yutucuya göre daha fazla enerji emebilen, reaksiyon kuvvetleri ve maliyetlerinin azaltıldığı yeni bir enerji yutucu modelinin ortaya konulması hedeflenmiştir.

## 2. ENERJİ YUTUCULAR

Enerji yutucular, çarpışma esnasında ortaya çıkan kinetik enerjiyi şekil değiştirme enerjisine dönüştüren taşıt yapısal elemanlarıdır (Şekil 1). Enerji yutucular tarafından emilen enerji, geri dönüşebilir veya geri dönüşümsüz olabilir [2, 3]. Ancak enerji yutucular için istenilen durum, kalıcı şekil deformasyonu ile çarpışma enerjisinin büyük bölümünün geri dönüşümsüz olarak sönmülmesidir. Çarpışma anında ortaya çıkan enerjinin geri dönüşümsüz olarak enerji yutucuya aktarılması, çarpışma hızına, çarpışma şekline, enerji yutucunun geometrisine, deformasyon biçimlerine ve malzeme gibi birçok parametreye bağlıdır [5- 11].



Şekil 1. Bir Taşıtın İskelet Yapısı ve Enerji Yutucular [4]

Enerji yutucuların çarpışma performansının belirlenmesi için birçok tanım ortaya konulmuştur. Tasarım parametreleri belirlenirken ve çarpışma analizi sonuçları değerlendirilirken bu tanımlamalardan faydalanılır. Bu tanımlamalardan bazıları aşağıda açıklanmıştır.

**Emilen Toplam Enerji:** Çarpışma anında bir enerji yutucu tarafından yutulan toplam enerji ( $E_T$ ), ezilme kuvvetinin yaptığı iş olarak tanımlanır. Bu enerji, Denklem 1 ile hesaplanabilir [6].

$$E_T = \int_{S_b}^{S_s} F \cdot dS \quad (1)$$

Burada  $F$  (kN), eksenel yöndeki ezilme kuvvetini;  $S$  (mm) ise yer değiştirmeyi ifade etmektedir.

**Özgül Enerji Emilimi:** Bir enerji yutucunun emdiği toplam enerjinin, enerji yutucunun deforme olmamış haldeki kütlesine bölünmesi ile birim kütle başına emilen enerji, yani özgül enerji emilimi Denklem 2'deki gibi hesaplanmış olur [6, 9].

$$E_m = \frac{E_T}{m} \quad (2)$$

Burada  $E_m$ , özgül enerji emilimini;  $m$  ise çarpışma öncesindeki enerji yutucunun kütlesini ifade etmektedir. Tasarlanan enerji yutucunun çarpışma performansının iyi olması kadar hafif olması da beklenmektedir. Bu nedenle, özgül enerji emilimi önemli bir parametre olarak ele alınmalıdır.

**Ortalama Ezilme Kuvveti:** Denklem 1'de tanımlanan enerji yutucunun emdiği toplam enerjinin, eksenel yöndeki toplam ezilme mesafesi oranı ortalama ezilme kuvvetini ( $F_{ort}$ ) verir [7, 9].

$$F_{ort} = \frac{E_T}{S_s - S_b} \quad (3)$$

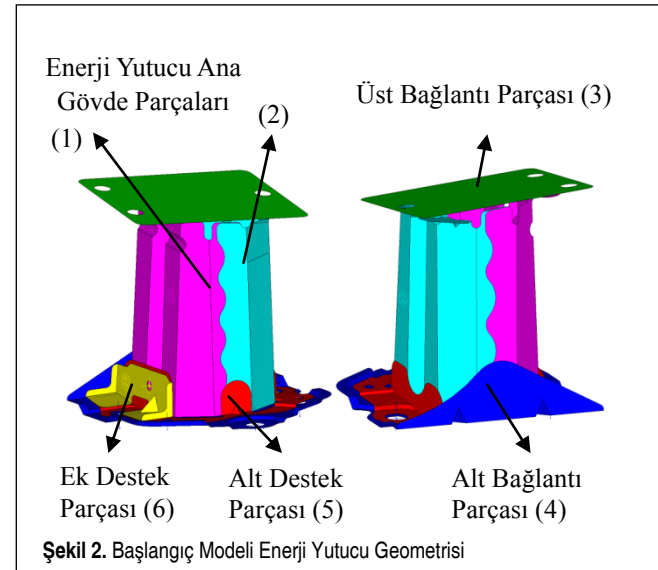
**Maksimum (Pik) Ezilme Kuvveti:** Çarpışma anında enerji yutucu üzerine aksel yönde gelebilecek yükler, enerji yutucuda ezilme kuvvetleri oluşturur. Genel olarak enerji yutucu üzerinde deformasyonun ilk başladığı anlarda oluşan en yüksek kuvvete maksimum (pik) ezilme kuvveti ( $F_{maks}$ ) adı verilir. Maksimum ezilme kuvvetinin çok yüksek olması, enerji yutucunun işlevini yerine getirememesine ve ortaya çıkan kuvvetlerin direkt olarak taşıt iskelet yapısına, dolayısıyla taşıta içerisindeki sürücü ve yolculara aktarılmasına sebep olacaktır. Bu nedenle, maksimum ezilme kuvvetinin oldukça düşük ve ortalama ezilme kuvvetine yakın bir değerde olması istenir. Çarpışma anında ezilme kuvvetinin düşük tutulması için, enerji yutucunun aksel yönde global burkulmaya maruz kalmaması ve düzgün bir ezilme karakteristiği göstermesi gerekir [12, 13]. Maksimum ezilme kuvvetini azaltmak için uygulanan bir diğer yöntem de enerji yutucu üzerine oluk benzeri yapılar eklemektir [14].

### 3. ENERJİ YUTUCU SONLU ELEMANLAR ANALİZLERİ

#### 3.1 Alternatif Enerji Yutucu Tasarımları

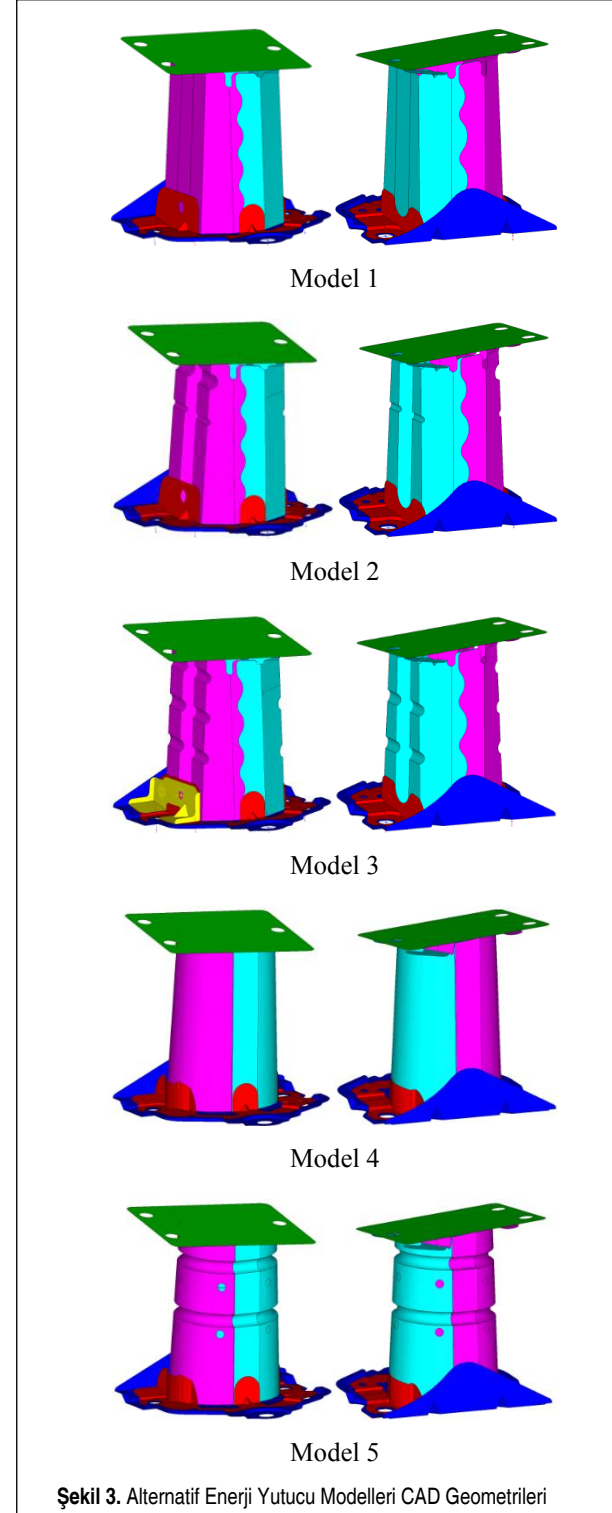
Enerji yutucuların tasarımında temel amaç, daha fazla enerji emebilen ve reaksiyon kuvvetlerinin ve ağırlığın minimize edildiği enerji yutucuları tasarlamaktır.

Bu çalışma kapsamında, mevcut enerji yutucunun enerji emilimini arttırmak ve oluşan maksimum reaksiyon kuvvetlerini düşürmek için, CAD ortamında yeniden tasarım işlemleri gerçekleştirilmiş, farklı tipte 45 adet enerji yutucu, yüzey olarak modellenmiştir. Başlangıç modeli olarak ele alınan enerji yutucu altı farklı parçadan oluşmaktadır (Şekil 2). Bu parçalar; enerji yutucu ana gövde parçaları (1) ve (2), üst bağlantı parçası (3), alt bağlantı parçası (4), alt destek parçası (5) ve ek destek parçası (6).



ek destek parçasıdır (6). Enerji yutucuların çarpışma analizlerine, ana gövdelerin yanında, enerji yutucuyu tampona ve araca bağlayan alt ve üst bağlantı parçaları ve bağlantı destek parçaları da dâhil edilmiştir.

Yapılan çalışmalarda, mevcut enerji yutucunun geometrisi, et kalınlıkları ve enerji yutucu parçalarının birleştirilmesin-



Şekil 3. Alternatif Enerji Yutucu Modelleri CAD Geometrilere

de kullanılan punta kaynakların sayısı ve uygulama yerleri değiştirilmiş ve geometriye oluklar eklenmiştir. Ayrıca maliyeti azaltmak için enerji yutucu parçalarında da değişiklikler yapılmıştır. Tasarlanan alternatif enerji yutucu modellerinden seçilmiş olan 5 farklı enerji yutucunun CAD modeli geometrileri Şekil 3'te gösterilmiştir.

#### 3.2 Sonlu Elemanlar Modeli ve Çarpışma Analizi

Başlangıç enerji yutucu modeli ve Catia yazılımında tasarlanan alternatif enerji yutucu modellerinin geometrileri HyperMesh yazılımının Ls-Dyna arayüzüne aktarılmış ve sonlu elemanlar modeli oluşturulmuştur. Bu çalışma kapsamında incelenen enerji yutucular, ince cidarlı tüpler oldukları için yüzey olarak tasarlanmıştır. Bu nedenle, enerji yutucular ve bağlantı parçalarının sonlu elemanlar ağ yapısı 3x3 ağ yapısı boyutunda kabuk elemanlar ile oluşturulmuştur.

Bu çalışma kapsamında, enerji yutucu malzemesi olarak SPC 440 kodlu çelik kullanılmıştır. Sonlu elemanlar modelinde malzeme tanımlaması, elasto-plastik malzeme türü ile gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda, Ls-Dyna yazılımı kütüphanesindeki \*MAT 24 (Piecewise Linear Isotropic Plasticity) malzeme modeli kullanılmıştır. Çelik malzemenin mekanik özellikleri aşağıdaki gibidir:

Malzemenin Yoğunluğu (RO)= 7850 kg/m<sup>3</sup>

Elastisite Modülü (E)= 206 GPa

Poisson Oranı (PR)= 0.3

Akma Gerilmesi, SIGY= 318 MPa

Kullanılan çelik malzemenin plastik bölgedeki davranışını temsil eden gerçek gerilme-gerinim eğrisine ait değerler Tablo 1'de verilmiştir.

Enerji yutucuların yüksek hızlarda deformasyonu anında ortaya çıkan gerinim oranların, malzemenin mekanik özelliklerine olan etkisi Cowper-Symonds denklemi (Denklem 4) ile sonlu elemanlar modeline aktarılmıştır.

$$\sigma_y^d = \sigma_y \left[ 1 + \left( \frac{\dot{\epsilon}}{C} \right)^{\frac{1}{P}} \right] \quad \dot{\epsilon} > 0 \quad (4)$$

Burada  $\dot{\epsilon}$ , gerinim hızı oranını;  $\sigma_y^d$ , dinamik akma gerilmesini;  $\sigma_y$ , statik akma gerilmesini; C ve P ise gerinim hızı parametrelerini ifade etmektedir. Abramowicz ve Jones [15, 16], yaptıkları çalışmalarda, çelik malzemenin dinamik ezilme davranışlarını incelemiş ve gerinim hızı parametreleri olarak C=6844 s<sup>-1</sup> ve P=3,91 değerlerini elde etmişlerdir. Bu

Tablo 1. Çelik Malzeme İçin Gerçek Gerilme-Gerinim Değerleri

$\sigma$ [MPa]	318,0	363,4	435,3	478,4	508,2	532,1	551,6	564,6
$\epsilon$	0	0,021	0,050	0,081	0,113	0,147	0,184	0,225

çalışma kapsamında da aynı gerinim hızı parametre değerleri kullanılmıştır.

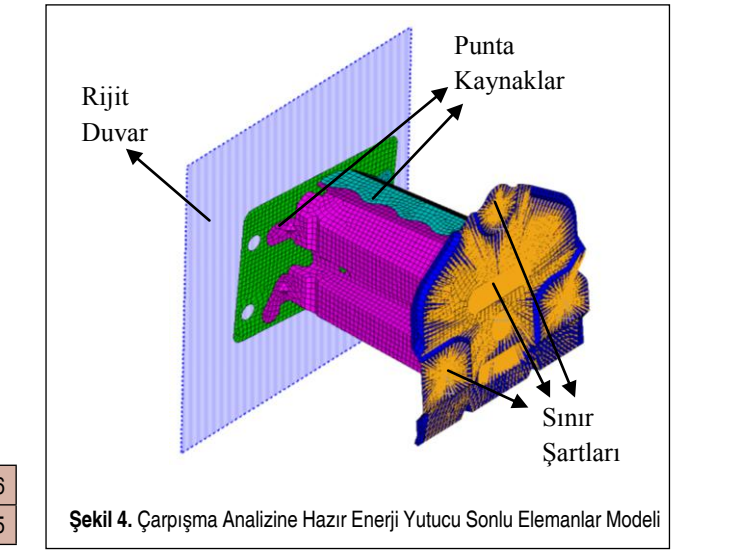
Sonlu elemanlar modelleri oluşturulan enerji yutucular, iki adet ana gövde parçasından ve taşıta bağlantı parçalarından oluşmaktadır. Bu farklı parçaların birbirleri ile birleştirilmesi punta kaynak tanımlamaları ile yapılmıştır. Tablo 2'de, başlangıç modeli enerji yutucu ve alternatif enerji yutucu modellerine ait kullanılan toplam sac parça sayısı, toplam kütle, ana gövde parçaları sac kalınlıkları ve toplam punta kaynak sayıları gibi sayısal bilgiler verilmiştir.

Enerji yutucuların çarpışma analizini gerçekleştirmek için, enerji yutucular alt parçalarından sabitlenmiş ve hareketli bir rijit duvar ile aksel yönde çarpıştırılmıştır. Rijit duvarın hızı 15,6 m/s, kütlesi ise 80 kg olarak tanımlanmıştır (Şekil 4). Enerji yutucular ve rijit duvarın çarpışması anında oluşacak temas durumları için "Automatic Single Surface" temas kartı kullanılmıştır [17].

Sonlu elemanlar modelleri oluşturulan enerji yutucu modelleri Ls-Dyna yazılımında çarpışma analizine tabi tutulmuştur. Çarpışma analizleri bütün modellerde 90 mm'lik ezilme mik-

Tablo 2. Mevcut ve Alternatif Enerji Yutucu Modellerine ait Bazı Sayısal Bilgiler

Enerji Yutucu Modeller	Sac Kalınlığı (mm)	Parça Sayısı (adet)	Kaynak Sayısı (adet)	Kütle (gram)
Mevcut	1,2	6	23	1069,09
Model 1	1,3	6	23	1014,8
Model 2	1,25	5	23	1049,11
Model 3	1,2	6	23	1070,61
Model 4	1,4	5	21	975,62
Model 5	1,6	5	21	1057,04



Şekil 4. Çarpışma Analizine Hazır Enerji Yutucu Sonlu Elemanlar Modeli

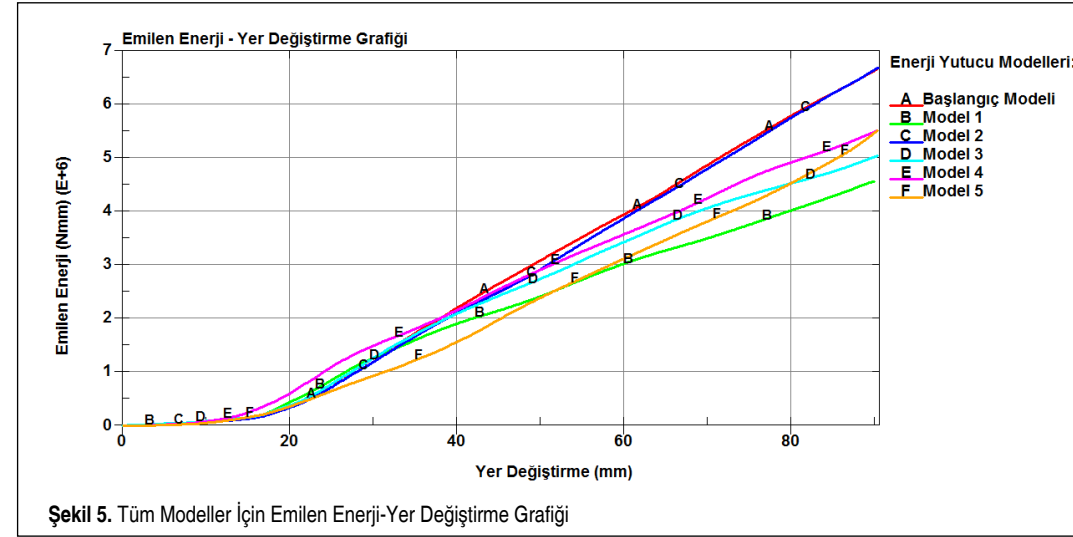
tarı için ele alınmıştır. Buna göre, toplam enerji emilimi, maksimum (pik) ezilme kuvveti, ortalama ezilme kuvveti ve birim kütle başına emilen enerji miktarı hesaplanmıştır.

#### 4. SONUÇ

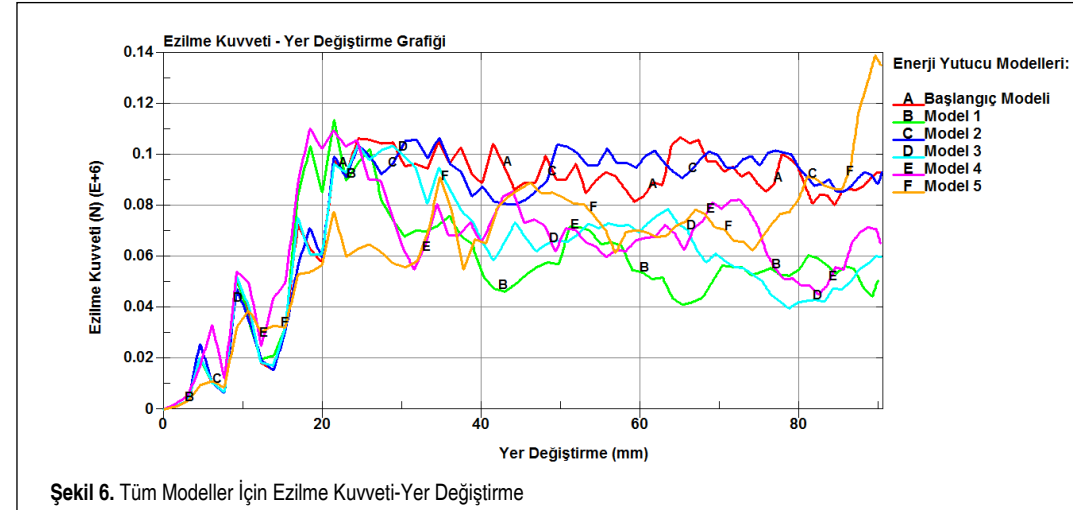
Bu çalışma kapsamında incelenen alternatif enerji yutucula-

rın özgün geometrileri, mevcut bir enerji yutucunun başlangıç modeli seçilmesi ile oluşturulmuştur. Bu nedenle, enerji yutucuların çarpışma performanslarının kıyaslanması kendi aralarında yapılmıştır.

Başlangıç modeli enerji yutucu ve 5 farklı alternatif enerji yutucunun enerji emilimleri ve maksimum (pik) ezilme kuvvetleri 90 mm deformasyon miktarı için incelenmiş ve karşılaştırılmaları grafikler üzerinden yapılmıştır. Şekil 5 ve 6'da enerji yutucuların enerji emilimleri ve ezilme kuvvetleri kıyaslanmıştır. Grafiklerden de anlaşıldığı üzere, enerji yutucu ana gövde geometrisi, ana gövde sac kalınlığı ve enerji yutucu üzerine yerleştirilen oluk yapıları, emilen enerji miktarını ve ezilme kuvveti karakterini önemli derecede etkilemektedir. Enerji yutucu modellerinin çarpışma performans ve sonuçları Tablo 3'te belirtilmiştir. Enerji ve kuvvet değişimlerinde başlangıç modeli esas alınmıştır.



Şekil 5. Tüm Modeller İçin Emilen Enerji-Yer Değişime Grafiği



Şekil 6. Tüm Modeller İçin Ezilme Kuvveti-Yer Değişime

Tablo 3. Çarpışma Analiz Sonuçları

Enerji Yutucu Modelleri	Emilen Enerji (kJ)	Enerji Değişimi (%)	Birim Kütle Başına Emilen Enerji (kJ/kg)	Pik Kuvvet (kN)	Pik Kuvvet Değişimi (%)
Mevcut	6,65	0	6,22	107	0
Model 1	4,57	-31,28	4,50	50,78	-52,54
Model 2	6,7	3,01	6,39	106	-0,94
Model 3	5,05	-24,06	4,72	103,97	-2,83
Model 4	5,51	-17,14	5,65	110,74	3,50
Model 5	5,51	-17,14	5,21	139,18	30,08

Tablo 2 ve Tablo 3 birlikte incelendiğinde, 2 numaralı modelin, başlangıç modeline göre daha üstün olduğu gözlemlenmiştir. Özgün enerji emiliminde 170 J/kg artış, maksimum kuvvette ise azalış meydana gelmiştir. Böylece enerji emilimi ve reaksiyon kuvvetlerinin istenilen düzeyde kalması sağlanmıştır. Buna ek olarak, hem ağırlık 0,02 kg azaltılmış hem de bir parça eksiltilerek üretim maliyeti düşürülmüştür. Ayrıca farklı tasarımlardaki enerji yutucular için aşağıdaki genel sonuçlara ulaşılmıştır:

- Enerji yutucu ana gövde et kalınlığı artırıldığında, enerji emiliminde de artış olduğu görülmüştür. Ancak bu durumun maksimum ezilme kuvvetinde de artışa sebep olduğu gözlemlenmiştir.
- Enerji yutucu gövdeleri üzerine yerleştirilen oluk, delik gibi yapıların maksimum ezilme kuvvetini azalttığı tespit edilmiştir.
- Çokgen kesit yapısındaki enerji yutucuların, dairesel kesitli enerji yutuculara göre daha verimli olduğu belirlenmiştir.

#### SEMBOLLER

- $C, P$  : Gerinim Hızı Parametreleri  
 $E$  : Elastisite Modülü  
 $E_m$  : Özgün Enerji Emilimi  
 $E_T$  : Toplam Enerji Emilimi  
 $F$  : Eksenel Yöndeki Ezilme Kuvveti  
 $F_{ort}$  : Ortalama Ezilme Kuvveti  
 $F_{maks}$  : Maksimum (Pik) Ezilme Kuvveti  
 $m$  : Enerji Yutucu Kütleli  
 $S$  : Deformasyon Miktarı  
 $\dot{\epsilon}$  : Gerinim Hızı  
 $\rho$  : Malzeme Yoğunluğu  
 $\sigma_{ort}$  : Ortalama Ezilme Gerilmesi  
 $\sigma_y$  : Akma Gerilmesi

#### TEŞEKKÜR

Bu çalışmayı, 01348.STZ.2012-1 kodlu SANTEZ Projesi kapsamında maddi olarak destekleyen Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı'na teşekkür ederiz.

#### KAYNAKÇA

1. Emniyet Genel Müdürlüğü ve Türkiye İstatistik Kurumu. 2014. Karayolu Trafik Kaza İstatistikleri 2013, ISBN: 978-975-19-6244-7, TÜİK, Ankara.
2. Nagel, G. 2005. "Impact and Energy Absorption of Straight and Tapered Rectangular Tubes," PhD Thesis, The School of Civil Engineering Queensland University, Queensland.
3. Nia, A. A., Parsapour, M. 2014. "Comparative Analysis of Energy Absorption Capacity of Simple and Multi-Cell Thin-Walled Tubes with Triangular, Square, Hexagonal and Octagonal Sections," Thin-Walled Structures, vol. 74, p. 155-165.

4. <http://www.boronextrication.com/2013/07/03/2014-mazda-6-body-structure/>, son erişim tarihi: 5 Ocak 2014.
5. Alghamdi, A. A. A. 2001. "Collapsible Impact Energy Absorbers: An Overview," Thin-Walled Structures, vol. 39, p. 189-213.
6. Chathbai, A. 2007. "Parametric Study of Energy Absorption Characteristic of a Rectangular Aluminum Tube Wrapped with E-Glass/Epoxy," Master Thesis, Wichita State University, Mechanical Engineering Department, Kansas, USA.
7. Jin, S. Y., Altenhof, W. 2007. "Comparison of the Load/Displacement and Energy Absorption Performance of Round and Square Aa6061-T6 Extrusions under a Cutting Deformation Mode," International Journal of Crashworthiness, vol. 12 (3), p. 265-278.
8. Yıldız, A. R., Solanki, K. 2012. "Multi-Objective Optimization of Vehicle Crashworthiness Using a New Particle Swarm Based Approach," International Journal of Advanced Manufacturing Technology, vol. 59 (1-4), p. 367-376.
9. Guler, M. A., Cerit, M. E., Bayram, B., Gerçekler, B., Karakaya, E. 2010. "The Effect of Geometrical Parameters on the Energy Absorption Characteristics of Thin-Walled Structures under Axial Impact Loading," International Journal of Crashworthiness, vol. 15 (4), p. 377-390.
10. Zhang X., Zhang H., Wen Z. 2014. "Experimental and Numerical Studies on the Crush Resistance of Aluminum Honeycombs with Various Cell Configurations," International Journal of Impact Engineering, vol. 66, p. 48-59.
11. Nia, A. A., Hamedani, J. H. 2010. "Comparative Analysis of Energy Absorption and Deformations of Thin Walled Tubes with Various Section Geometries," Thin-Walled Structures, vol. 48, p. 946-954.
12. Song, J., Chen, Y., Lu, G. 2012. "Axial Crushing of Thin-Walled Structures with Origami Patterns," Thin-Walled Structures, vol. 54, p. 65-71.
13. Karagiozova, D., Jones, N. 2008. "On the Mechanics of the Global Bending Collapse of Circular Tubes under Dynamic Axial Load—Dynamic Buckling Transition," International Journal of Impact Engineering, vol. 35, p. 397-424.
14. Eyvazian, A., Habibi, M. K., Hamouda, A. M., Hedayati, R. 2014. "Axial Crushing Behavior and Energy Absorption Efficiency of Corrugated Tubes," Materials and Design, vol. 54, p. 1028-1038.
15. Abramowicz, W., Jones N. 1984. "Dynamic Axial Crushing of Square Tubes," International Journal of Impact Engineering, vol. 2 (2), p. 179-208.
16. Abramowicz, W., Jones, N. 1986. "Dynamic Progressive Buckling of Circular and Square Tubes," International Journal of Impact Engineering, vol. 4 (4), p. 243-270.
17. Livermore Software Technology Corporation, Livermore. 2012. Ls-Dyna Keyword User's Manual Volume I, California.