

TAŞIT ÇARPIŞMA ANALİZLERİNİN SAC METAL ŞEKİLLENDİRME GEÇMİŞİ DİKKATE ALINARAK İNCELENMESİ

Ali Rıza Yıldız *

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

Selçuk Karagöz

Öğr. Gör.,
Bursa Teknik Üniversitesi,
Doğa Bilimleri,
Mimarlık ve Mühendislik Fakültesi,
Makine Mühendisliği Bölümü, Bursa
selcuk.karagoz@btu.edu.tr

ÖZ

Son yıllarda trafikteki taşıt sayısının artması ile birlikte birçok trafik kazası meydana gelmekte, alınan tüm önlemlere rağmen, trafik kazalarında büyük oranda can ve mal kayıpları yaşanmaktadır. Trafikte en çok karşılaşılan taşıt kaza türlerinden biri de önden çarpışmalı kazalardır. Bu çalışma kapsamında, önden çarpışmalı kaza durumu için pasif güvenlik sistemlerinden biri olan enerji yutucular sonlu elemanlar yöntemi ile sayısal olarak test edilmiş ve çarpışma performansları incelenmiştir. Çalışma kapsamında, farklı karakteristik özelliklerde 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 modelinin ortaya konulması hedeflenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Sac metal şekillendirme, otomobil tasarımı, çarpışma analizi

INVESTIGATION ON VEHICLE CRASH ANALYSIS CONSIDERING SHEET METAL FORMING HISTORY

ABSTRACT

Depending on the increasing number of vehicles in recent years, accidents resulting in serious injuries and death increased significantly and this situation made it necessary to design and manufacture vehicles with extra safety cautions. Frontal collision accidents are one of the most common types of vehicle accidents. In this study, crash performances of the energy absorbers are investigated numerically with using finite element method. For this purpose, energy absorbers with different geometrical characteristics are designed and tested to develop a new crash box which has better crash performance than initial design.

Keywords: Sheet metal forming, vehicle design, crash analysis

* İletişim Yazarı

Geliş tarihi : 06.03.2015
Kabul tarihi : 15.06.2016

Yıldız, A. R., Karagöz, S. 2015. "Taşıt Çarpışma Analizlerinin Sac Metal Şekillendirme Geçmişi Dikkate Alınarak İncelenmesi," Mühendis ve Makina, cilt 56, sayı 667, s.46-52.

1. GİRİŞ

Her geçen gün motorlu taşıt sayısının artması ve bu taşıtların yaygın kullanılması ile birlikte trafik kazalarının sayısında da artış görülmektedir. Yolcu güvenliği için, kazayı önlemeye yönelik güvenlik sistemleri taşıtlarda kullanılmasına rağmen, kazanın kaçınılmaz olduğu durumlarda kazanın etkisini azaltmak için pasif güvenlik sistemleri kullanılmaktadır. Bu çalışmada, pasif güvenlik sistemlerinin bir parçası olan enerji yutucular incelenmiştir.

Günümüzde, enerji yutucuların çarpışma performansını arttırmak için birçok çalışma yürütülmektedir. Bu çalışmaların temel amacı, taşıtta bulunan enerji yutucuların, çarpma anında ortaya çıkan enerjiyi mümkün olduğu kadar sönmüleyebilmesi ve bu sayede yolculara gelebilecek zararların en aza indirilmesi hedeflenmektedir [1, 2, 8].

Enerji yutucuların performansını belirlemek üzere çarpışma analizlerinin gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Bu kapsamda yapılan çarpışma analizlerinde, gerçeğe yakın sonuçların alınması büyük önem arz etmekte, özellikle bilgisayar kapasitelerinin artması ve analiz programlarında kullanılan algoritmaların gelişmesi ile birlikte yapılan analizlerde hata payları çok düşük olmaktadır.

Ancak yapılan bu çarpışma analizlerinde, özellikle sacdan mamul olan ve soğuk şekillendirme yöntemleri ile üretilen parçalar için çoğu zaman üretim yöntemlerinden meydana gelen parça kesitlerindeki kalınlık değişimleri ve kalıntı gerilmeleri hesaba katılmamaktadır [1]. Bu durumda, elde edilen sonuçlar ise gerçek değerleri yansıtamamakta ve enerji yutucuların çarpışma performansının belirlenmesinde hatalı sonuçlara sebep olmaktadır [2].

Bu çalışma kapsamında, enerji yutucuların üretimi esnasında, üretim yöntemine bağlı olarak oluşan kalınlık değerinin uniform olmayan dağılımı ve oluşan artık gerilmeler dikkate alınarak çarpışma analizi yapılması ve gerçeğe daha yakın sonuçların alınması hedeflenmektedir [10].

2. ENERJİ YUTUCULAR

Enerji yutucular, taşıtların ön kısmında bulunan ve çarpışma anında ortaya çıkan kinetik enerjiyi deforme olmak suretiyle şekil değiştirme enerjisine dönüştüren elemanlardır (Şekil 1). Buradaki şekil değişiminin ise sönmülenen enerji miktarının daha büyük olabilmesi için plastik bölgede olması istenmektedir. Plastik bölgede oluşan şekil değişimi ile enerji yutucularda kalıcı şekil deformasyonu oluşmakta ve bunun sonucunda sönmülenen enerji büyük oranda geri dönüşümsüz olarak sönmülenmektedir [3]. Deforme olabilen enerji yutucuları, ince duvarlı tüpler (dairessel ve kare kesitli veya prizmatik), çok köşeli kolonlar, tüp şeklinde yüzükler,



Şekil 1. Taşıt Şasisi Üzerindeki Enerji Yutucular [4]

peteksi yapılar, sandviç düzlemler şeklinde imal edilebilir. Çarpışma sonucu açığa çıkan kinetik enerjinin, enerji yutucu tarafından sönmülenme miktarı çarpışma hızına, çarpışma şekline, enerji yutucunun geometrisine, deformasyon biçimlerine ve malzeme özellikleri gibi parametrelere bağlıdır [5-9].

Literatürde enerji yutucuların performansını belirlemeye yönelik birçok tanım ortaya konmuştur. Çarpışma analizlerinin sonuçlarının yorumlanmasında ve tasarım değişkenlerinin belirlenmesi esnasında bu tanımlardan yararlanılır. Bu tanımlardan bazıları ise aşağıda açıklanmıştır.

Emilen Toplam Enerji: Çarpışma anında bir enerji yutucu tarafından yutulan toplam enerji (E_T), çarpma kuvvetinin yaptığı iş olarak tanımlanabilir ve Denklem 1 ile ifade edilir [6].

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

Burada F (kN), eksenel yöndeki ezilme kuvvetini; S (mm), yer değiştirmeyi; S_b , kuvvetin ilk uygulandığı andaki başlangıç konumu ve S_s , sönmülemenin bittiği andaki son konumu ifade etmektedir. Çarpma verilerinden elde edilen kuvvet-yer değiştirme grafiğinde, kuvvet eğrisinin altında kalan alan olarak da ifade edilmektedir.

Maksimum (Pik) Çarpma Kuvveti: Çarpışma anında enerji yutucu üzerine eksenel yönde gelen yükler çarpma kuvvetini oluşturmaktadır. Genelde çarpışmanın ilk anlarında ilk temasta kalıcı şekil değiştirmenin başlaması ile birlikte ortaya çıkan en yüksek kuvvete maksimum (pik) çarpma kuvveti denilmektedir. Bu değer in olabildiğince düşük olması istenmektedir, aksi halde enerji yutucunun sönmüleyemediği büyük

kuvvetler taşıt içerisindeki yolculara aktarılacak ve güvenliği olumsuz yönde etkileyecektir.

Ortalama Çarpma Kuvveti: Denklem 1 ile tanımlanan enerji yutucunun emdiği toplam enerjinin, eksenel yöndeki toplam ezilme mesafesine oranı olarak ifade edilmektedir [7-9].

$$F_{ort} = \frac{E_T}{S_s - S_b} \quad (2)$$

Çarpma Kuvveti Verimi: Ortalama çarpma kuvvetinin, maksimum (pik) çarpma kuvvetine oranı olarak ifade edilmektedir.

$$\eta = \frac{F_{ort}}{F_{maks}} \quad (3)$$

Çarpma kuvveti veriminin yüksek olması arzu edilen bir durumdur. Çarpma kuvveti eğrisinin nispeten düz ve maksimum çarpma kuvvetinin düşük olması istenmektedir. Bu sayede, yolculara iletilen kuvvet daha az olmakta ve yolcu güvenliği artmaktadır.

Özgül Enerji Emilimi: Bir enerji yutucunun emdiği toplam enerjinin, enerji yutucunun kütlesine oranı olarak ifade edilmektedir [6-9].

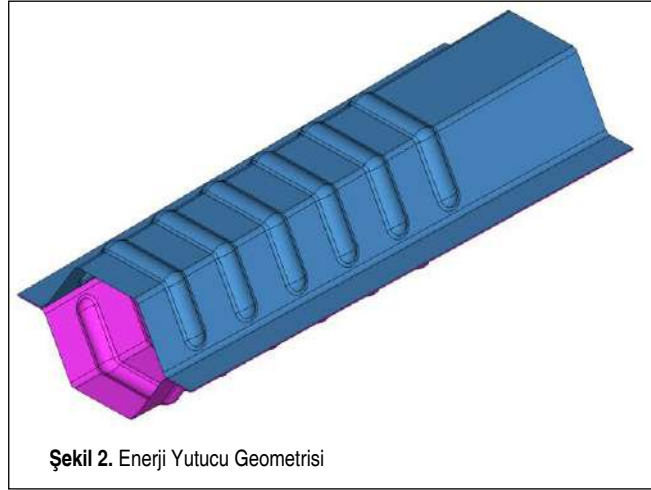
$$E_m = \frac{E_t}{m} \quad (4)$$

Burada E_m , özgül enerji emilimini; m ise enerji yutucunun kütlesini ifade etmektedir. Tasarlanan enerji yutucuların çarpışma performansının yanı sıra, hafif olmaları da arzu edilmektedir. Bu sebeple bu tanım, tasarım açısından önemli bir parametredir. Bu büyüklük, verilen bir kütle için enerji sönmüleme açısından hangi sönmüleme elemanının daha verimli olduğunu belirlemeye yardımcı olur.

3. ENERJİ YUTUCU SONLU ELEMANLAR ANALİZLERİ

3.1 Enerji Yutucu Tasarımı

Enerji yutucuların tasarımında istenilen temel özellikler, emilen toplam enerjinin mümkün olduğunca fazla olması, pik kuvvetin düşük ve reaksiyon kuvvetlerinin ortalama çarpma kuvvetine yakın olması şeklindedir [8]. Bu amacı karşılamak için enerji yutucular çeşitli geometrilerde tasarlanmaktadır. Bu çalışma kapsamında, enerji yutucu için, kesiti altıgen olacak şekilde iki parçadan oluşan, konik (tapered) geometrili ve çarpışma esnasında katlanmayı tetikleyici olukları bulunan geometri seçilmiştir (Şekil 2).



Tasarımına karar verilen enerji yutucu geometrisinin, ölçüleri taşıtlarda kullanılan enerji yutucular ile örtüşecek şekilde, 3B modellemesi CATIA yazılımında yapılmıştır.

3.2 Sonlu Elemanlar Modeli ve Sac Metal Şekillendirme Analizi

Bu çalışma kapsamında, soğuk şekil verilerek imal edilen bir enerji yutucunun çarpışma performansı incelenecektir. Bu sebeple, ilk olarak enerji yutucunun imalatı esnasında parçada meydana gelecek incelme ve kalınlaşmaların ve de artık gerilmelerin dağılımını gösterecek olan sac metal şekillendirme analizi yapılmıştır. Bu analiz için HyperForm yazılımının Incremental Radioss ara yüzü kullanılmıştır.

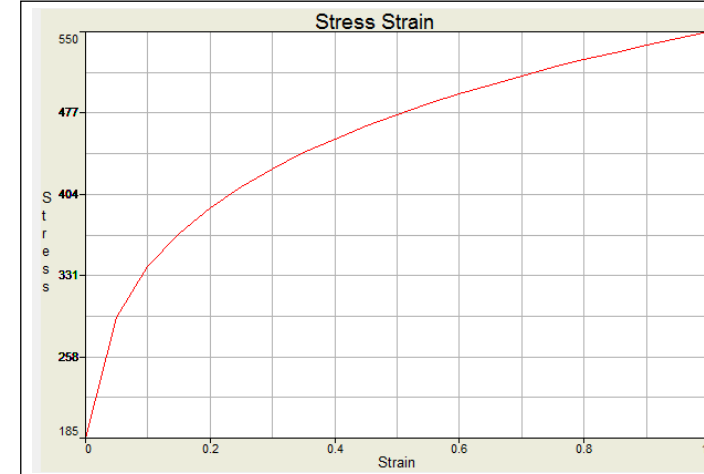
Enerji yutucunun soğuk şekillendirme analizi için, şekil verilecek parçaya uygun dişi ve erkek kalıp tasarımları çift etkili kalıba uygun şekilde hazırlanmıştır.

Bu çalışma kapsamında, enerji yutucu malzemesi olarak soğuk haddelenmiş çelik kullanılmıştır. Bu malzemenin mekanik özellikleri aşağıdaki gibidir:

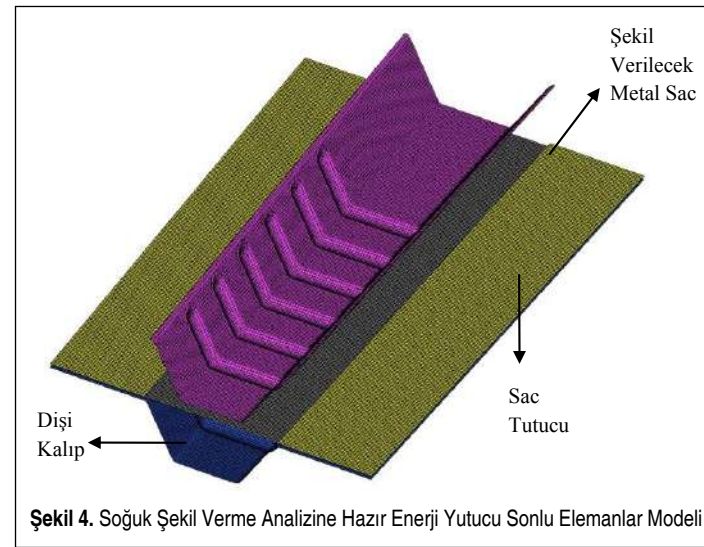
Malzemenin Yoğunluğu,	ρ	=	780 kg/m ³
Elastisite Modülü,	E	=	210 GPa
Poisson Oranı,	ν	=	0.3
Akma Gerilmesi,	σ_y	=	185 MPa

Kullanılan çelik malzemenin plastik bölgedeki davranışını temsil eden gerçek gerilim–gerinim eğrisi Şekil 3 ile gösterilmektedir.

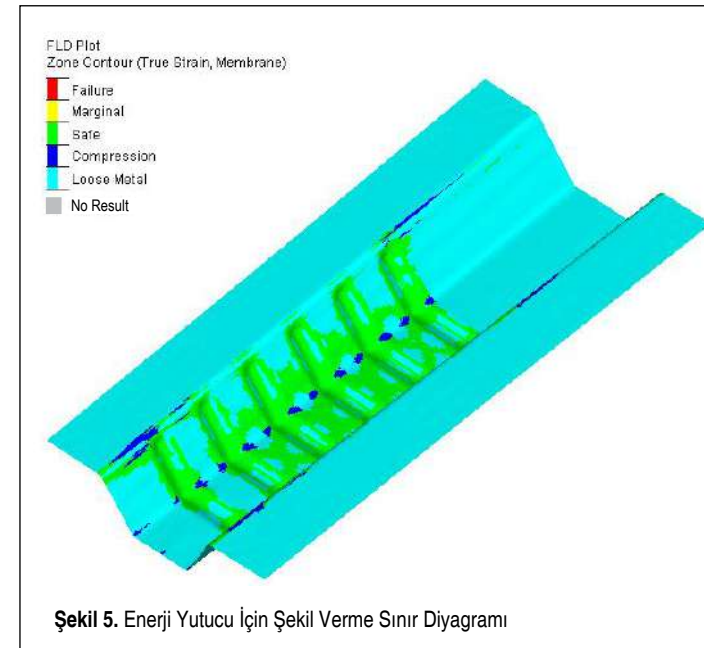
Enerji yutucunun soğuk şekil verme analizini gerçekleştirmek için dişi kalıp, erkek kalıp, metal sac ve sac tutucunun sonlu eleman modeli 2×2 ağ yapısı boyutunda kabuk eleman olarak oluşturulmuştur (Şekil 4). Şekil verme analizinin gerçekleştirilebilmesi için gerekli olan işletme şartları aşağıdaki gibidir:



Şekil 3. Çelik Malzeme İçin Gerçek Gerilme–Gerinim Eğrisi (Plastik Bölge)



Şekil 4. Soğuk Şekil Verme Analizine Hazır Enerji Yutucu Sonlu Elemanlar Modeli



Şekil 5. Enerji Yutucu İçin Şekil Verme Sınır Diyagramı

Erkek kalıp hızı, $V_p = 3500$ mm/s
Sac tutucu kuvveti, $F_b = 100$ kN

Sonlu eleman modelleri, oluşturulan parça ve kalıpları için verilen işletme şartları altında Radioss çözücüsü ile yapılan şekil verme analizi sonucunda enerji yutucusuna ait şekil verme sınır diyagramı Şekil 5’te görüldüğü gibidir. Burada, parça üzerinde yırtılmaların olmadığı, kayıpların yaşanmadığı, bununla birlikte bazı küçük bölgelerde bir miktar kalınlaşmaların meydana geldiği görülmektedir.

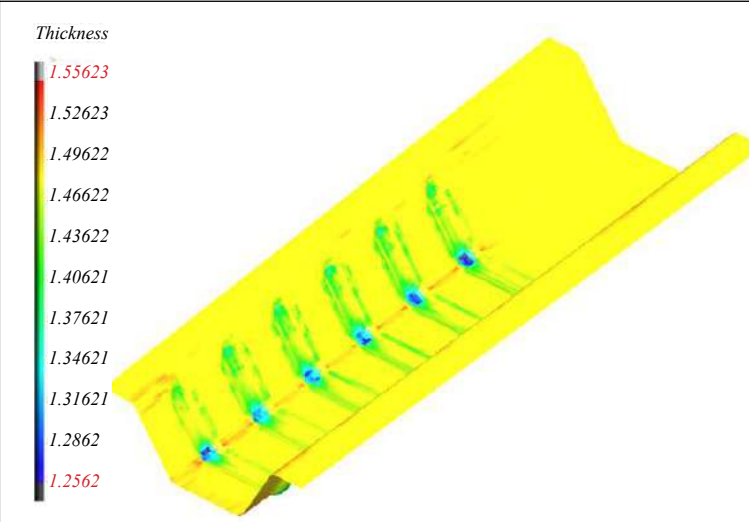
3.3 Enerji Yutucu İçin Çarpışma Analizi

Çarpışma analizi için CATIA yazılımında hazırlanan geometrik model, HyperMesh yazılımının LsDyna ara yüzüne aktarılmış ve sonlu elemanlar modeli hazırlanmıştır. Sonlu elemanlar modeli 2×2 ağ yapısı boyutunda kabuk eleman olarak oluşturulmuştur.

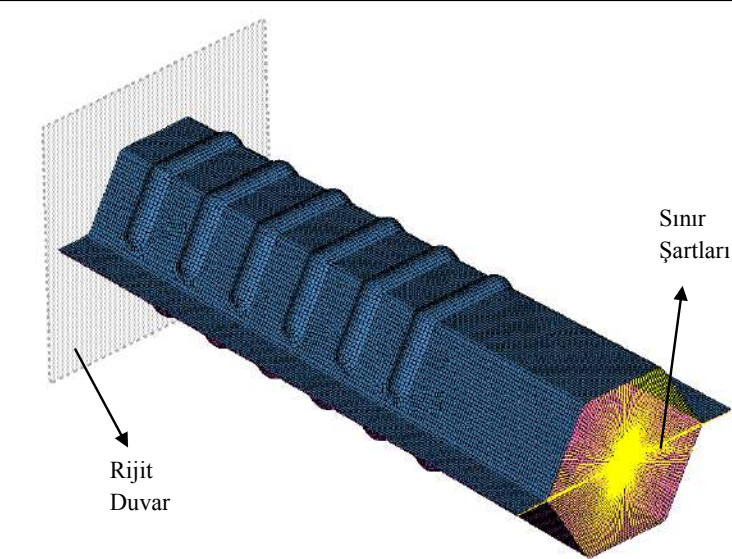
Çarpışma analizleri, şekillendirme geçmişinin dikkate alınarak ve şekillendirme geçmişinin dikkate alınmadan yapıldığı iki durum için hazırlanmıştır. Şekillendirme geçmişinin aktarılabilmesi için HyperCrash yazılımının Result Mapper ara yüzü kullanılmıştır [10]. Çarpışma analizi yapılacak parçalara kalınlık değişimlerinin ve artık gerilmelerin aktarılması bu şekilde sağlanmıştır (Şekil 6).

Çarpışma analizlerinde, enerji yutucular için malzeme olarak şekillendirme analizinde de kullanılan soğuk haddelenmiş çelik kullanılarak iki analiz arasında korelasyon sağlanmıştır.

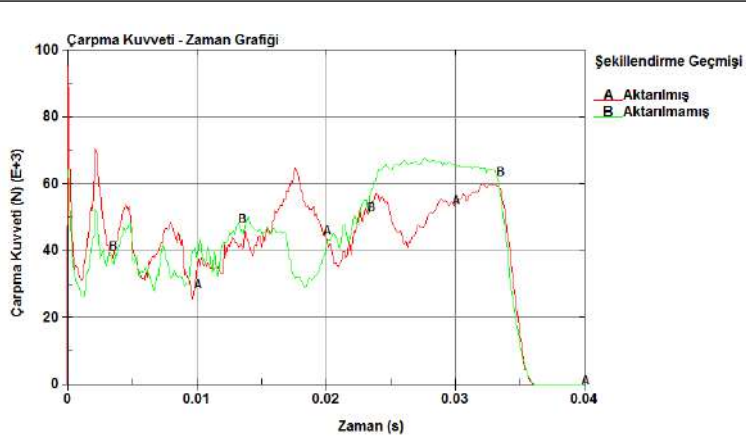
Alt parça ve üst parça olmak üzere iki parça olarak hazırlanan enerji yutucular, birbirlerine punta kaynağı ile bir-



Şekil 6. Şekillendirme Geçmişinin Aktarıldığı Enerji Yutucu (Kalinlık Dağılımı)



Şekil 7. Çarpışma Analizine Hazır Enerji Yutucu Sonlu Elemanlar Modeli



Şekil 8. Enerji Yutucular İçin Çarpma Kuvveti-Zaman Grafiği

leştirilmiş ve tanımlamaları bu şekilde yapılmıştır. Enerji yutucuların çarpışma analizinde, sınır şartları tanımlaması açısından, enerji yutucunun geniş olan bölgesi araç şasisine bağlı olarak tanımlanmış ve enerji yutucu bu bölgeden 6 serbestlik derecesinde de kısıtlanarak sabitlenmiştir.

Enerji yutucuların çarpışma analizinde son olarak enerji yutucuya çarpacak olan rijit duvar tanımlaması yapılacaktır. Burada rijit duvarın kütlesi 100 kg olarak tanımlanmıştır. Ayrıca rijit duvar, sabitlenmiş enerji yutucuya eksenel yönde 15,6 m/s hız ile çarptırılmıştır. Enerji yutucular ve rijit duvarın çarpışması anında oluşacak temas durumları için “Automatic Single Surface” temas kartı kullanılmıştır (Şekil 7).

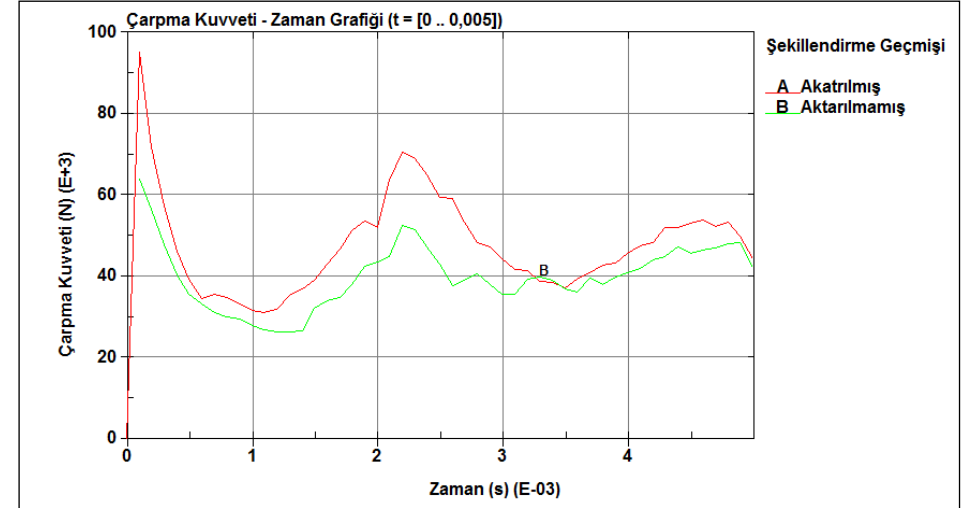
Sonlu elemanlar modelleri oluşturulan enerji yutucuların çarpışma analizi için LsDyna yazılımının çözücüsü kullanılarak analizler tamamlanmıştır. Çarpışma analizleri ile 0,04 saniyelik model simüle edilmiş ve buna göre maksimum (pik) çarpma kuvveti, toplam enerji emilimi ve enerji yutucunun toplam ezilme mesafesi hesaplanmıştır.

4. SONUÇ

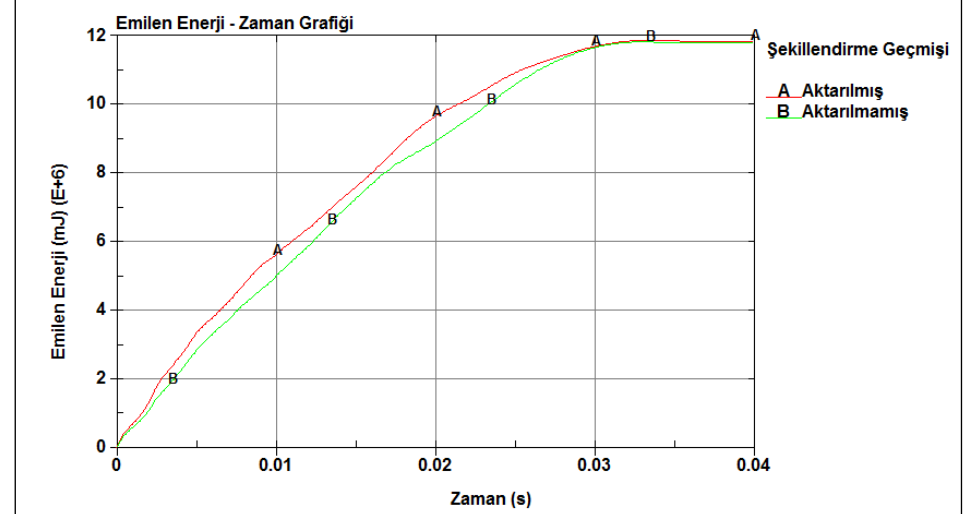
Çarpma simülasyonu, gerçek koşullara en yakın olabilmesi için enerji yutucunun şekillendirme geçmişi ile ilgili bilgiler simülasyona aktarılmış ve kontrol amacıyla aynı geometriye sahip; fakat şekillendirme geçmişinin aktarılmadığı enerji yutucunun çarpışma analizi ile karşılaştırılmıştır.

Karşılaştırmada, ilk olarak enerji yutucuda, zamana göre meydana gelen çarpma kuvvetini, şekillendirme geçmişinin aktarıldığı durum ve şekil değiştirme geçmişinin aktarılmadığı durum için gösteren grafik (Şekil 8) ve maksimum (pik) çarpma kuvvetinin görülebilmesi için aynı grafiğin zaman aralığının 0 ile 0.005 s arasındaki grafik (Şekil 9) görülebilmektedir.

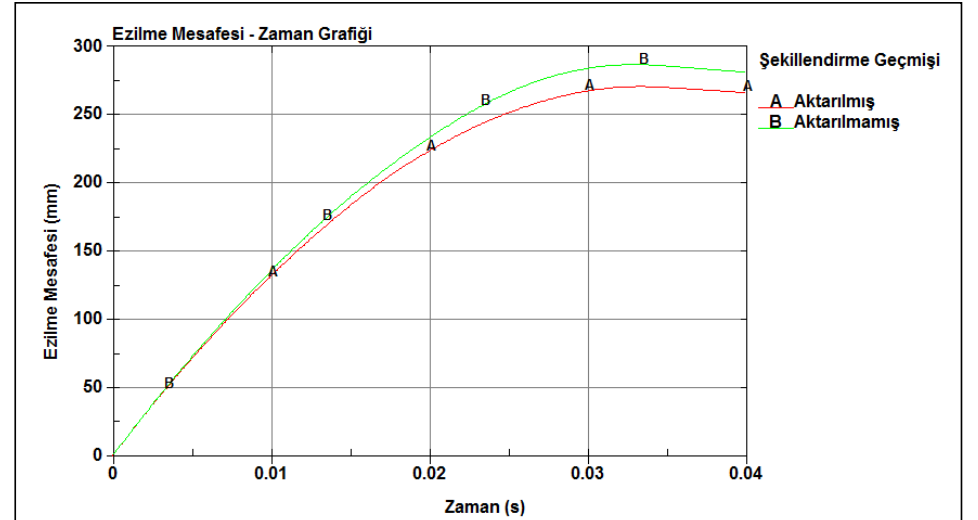
Karşılaştırılan iki farklı durumdaki enerji yutucular için maksimum (pik) çarpma kuvveti incelendiğinde (Tablo 1), şekillendirme geçmişinin dikkate alındığı çarpışma analizinden elde edilen maksimum (pik) çarpma kuvveti, şekillendirme geçmişinin aktarılmadan gerçekleştirilen çarpma analizindeki maksimum (pik) çarpma kuvvetinin %49’u kadar fazla çıkmıştır. Özellikle soğuk şekillendirme sonrasında malzemelerin sertleştiği ve bu durumda tepki kuvvetini arttırdığı için sonuç beklendiği gibi çıkmıştır.



Şekil 9. Enerji Yutucular İçin Maksimum (Pik) Çarpma Kuvveti-Zaman Grafiği



Şekil 10. Enerji Yutucular İçin Emilen Enerji-Zaman Grafiği



Şekil 11. Enerji Yutucular İçin Ezilme Mesafesi-Zaman Grafiği

Tablo 1. Çarpışma Analiz Sonuçları

	Pik Kuvvet (kN)	Pik Kuvvet Değişimi (%)	Emilen Enerji (kJ)	Enerji Değişimi (%)	Ezilme Mesafesi (mm)	Ezilme Mesafesi Değişimi (%)
Şekillendirme Geçmişi Aktarılmayan	63,869	0	11,833	0	287,09	0
Şekillendirme Geçmişi Aktarılan	95,178	49,02	11,878	0,38	270,97	-5,62

Şekil 10’da bulunan Emilen Enerji–Zaman Grafiğine bakıldığında, şekillendirme geçmişinin aktarılmış olduğu, analizdeki çarpma kuvvetlerinin büyük çıkmasının da bir sonucu olarak, şekillendirme geçmişinin aktarılmış olduğu enerji yutucuların sönümlediği toplam enerji, şekillendirme geçmişinin aktarılmadığı enerji yutucuların sönümlediği toplam enerjiden daha fazla olduğu görülmektedir (Tablo 1).

Son olarak, çarpışma analizlerindeki enerji yutucuların ezilme miktarlarını gösteren grafiğe bakıldığında (Şekil 11), şekillendirme geçmişinin aktarıldığı enerji yutucunun ezilme mesafesinin, şekillendirme geçmişinin aktarılmadığı enerji yutucuya göre %5,6 daha az olduğu görülmektedir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışmayı, 0302.STZ.2013-2 kodlu SANTEZ Projesi kapsamında maddi olarak destekleyen Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı’na teşekkür ederiz.

SEMBOLLER

E	: Elastisite Modülü
E_m	: Özgül Enerji Emilimi
E_T	: Toplam Enerji Emilimi
F	: Eksenel Yöndeki Ezilme Kuvveti
F_b	: Sac Tutucu Kuvveti
F_{ort}	: Ortalama Ezilme Kuvveti
F_{maks}	: Maksimum (Pik) Ezilme Kuvveti
m	: Enerji Yutucu Kütlesi
S	: Deformasyon Miktarı
V_p	: Erkek Kalıp Hızı
ρ	: Malzeme Yoğunluğu
σ_y	: Akma Gerilmesi
ν	: Poisson Oranı
η	: Çarpma Kuvveti Verimi

KAYNAKÇA

1. Huh, H., Kim, K. P., Kim, S. H., Song, J. H., Kim, H. S., Hong, S. K. 2003. "Crashworthiness Assessment of Front Side Members in an Auto-Body Considering the Fabrication Histories," International Journal of Mechanical Science, vol. 45, p. 1645-1660.
2. Clees, T., Steffes-lai, D., Helbig, M. 2010. "Statistical Analysis And Robust Optimization of Forming Processes and Forming-To-Crash Process Chains," International Journal of Material Forming, vol. 3, Suppl 1, p. 45-48.
3. Nagel, G. 2005. "Impact and Energy Absorption of Straight and Tapered Rectangular Tubes," PhD Thesis, The School of Civil Engineering, Queensland University, Queensland.
4. <https://d2t1xqejof9utc.cloudfront.net/pictures/filef/17800/large.jpg?1359046003>, son erişim tarihi: 15 Ocak 2015.
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. Yildiz, 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. Alghamdi, A. A. A. 2001. "Collapsible Impact Energy Absorbers: An Overview," Thin-Walled Structures, vol. 39, p. 189-213.
10. Govik, A., Moshfegh, R., Nilsson, L. 2014. "The Effects of Forming History on Sheet Metal Assembly," International Journal of Material Forming, vol. 7, p. 305-316.