

BALİSTİK ÇARPMA ETKİSİNİN SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİYLE İNCELENMESİ

¹İlknur ÖZER, ²Mithat Gökhan ATAHAN, ³Ahmet YAPICI

^{1,2,3}Mustafa Kemal Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makina Müh. Böl., 31200, İskenderun/HATAY
¹ilknur_ozler85@hotmail.com, ²mgatahan@mku.edu.tr, ³ayapici@mku.edu.tr

(Geliş/Received: 01.11.2013; Kabul/Accepted in Revised Form: 24.11.2013)

ÖZET: Bu çalışmada yüksek hızlı darbeye maruz Titanyum, TI 6%AL4%V ve Çelik 4340 levhalarının artan levha kalınlığı ve değişen vurucu geometrisine bağlı olarak dinamik cevabı sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak araştırılmıştır. Darbe uygulanacak levhalar 200×200 mm ebatlarında ve 1 mm, 2 mm, 3 mm, 4 mm, 5 mm, 6 mm ve 7 mm kalınlık değerlerine sahip olacak şekilde modellenmiştir. Vurucu malzemesi olarak Çelik 4340 seçilmiş olup bütün analizler 350 m/s'lik çarpma hızlarında gerçekleştirilmiştir. Kullanılan levhalar dört kenarından ankastre olarak mesnetlenmiş ve darbe levhanın merkezine gelecek şekilde uygulanmıştır. Sonlu elemanlar analizi ANSYS/Workbench programı Autodyn modülü ile yapılmış; yer değiştirme-kalınlık ve sönmülenen enerji-kalınlık değişimleri grafikler halinde karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Yüksek hızlı çarpma, Balistik, Sonlu elemanlar yöntemi, Levha

Study of Ballistic Impact Effect with Finite Element Method

ABSTRACT: In this study, dynamic response of exposure to a high-speed impact of Titanium, TI 6%AL4%V and Steel 4340 plates were investigated depending on increasing thickness of plates and the changing impactor geometry using finite element method. The plates were modeled using 200×200 mm size and 1 mm, 2 mm, 3 mm, 4 mm, 5 mm, 6 mm and 7 mm thickness. The impactor's material is Steel 4340 and for all analysis it has 350 m/s velocity. Four edges of the plates are fixed and the impact loads applied to center of the plates. Finite element analysis was performed using ANSYS/ Workbench/ Autodyn. As a result, the relation between displacement - thickness and damped energy - thickness are given in graphics.

Keywords: High speed impact, Ballistic, Finite element method, Plate

GİRİŞ (INTRODUCTION)

Mühendislik alanında kullanılan birçok malzeme yabancı cisimler tarafından darbeye maruz kalabilir. Darbeden kaynaklanan hasar şekilleri, üretim, bakım ve servis işlemlerinden kaynaklı olarak meydana gelebilir. Uçağın kalkış ve iniş sırasında lastiklerin yüksek hız kazanmasından sonra pistten fırlayan taş ve küçük parçacıkların yaptığı darbe kullanım anında meydana gelen darbeye örnek olarak verilebilir. Darbe etkisi malzemelerde gözle muayenede belirlenemeyen iç hasarlar oluşturur. Bu iç hasar mukavemette azalmaya sebep olur ve yük altında büyür (Yapıcı, 2012). Kompozit, yüksek performanslı alüminyum ve titanyum esaslı alaşım zırhların geliştirilmesine yönelik çalışmalar günümüzde oldukça önemli bir yere sahiptir.

Balistik, mermi ve füzelerin itme kuvvetini, uçuşunu ve çarpma etkisini inceleyen bilim dalıdır. Bu konuda çeşitli standartlar geliştirilmiştir. En yaygın kullanılan standartlar Amerika Birleşik

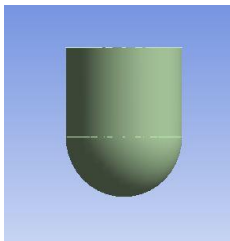
Devletlerinin NIJ, Avrupa Birliğinin CEN ve NATO'nun STANAG'tır. Bu standartlar merminin kalibresi, kütlesi, hızı, kinetik enerjisi, malzemesi, ateşlenen silah ve hedef tipine göre sağlanması gereken şartları içerir.

Karamuş ve arkadaşları laminer metal matrisli kompozit (MMC) numunelerin balistik performanslarını inceleyerek deformasyon davranışlarına ilişkin değerlendirmelerde bulunmuşlardır (Karamuş, 2009). Şimşir ve arkadaşları çekiç düşürme deneyi vasıtasıyla çelik zırh plakaların düşük hızlarda balistik karakterizasyonunun belirlenmesi üzerine çalışmalar yapmışlardır (Şimşir, 2002). Çalışmalarında balistik limit değerlerinin değişiminin bağlı olduğu parametreler üzerine incelemelerde de bulunmuşlardır. Farklı açılarda sabitlenmiş kompozit zırha fırlatılan bir merminin zırhı delmesi ve bunun sonucunda hedef ve zırhta oluşan etkiler Acar tarafından araştırılmıştır (Acar, 2002). Balistik analiz sonucunda farklı karakteristikte deformasyon tipleri görülmektedir. Iqbal ve Gupta tabakalı alüminyum levhaların balistik limit değerlerini karşılaştırmalı olarak sonlu elemanlar yöntemi ve deneysel çalışma ile araştırmıştır (Iqbal, 2011). Tabakaların kalınlıkları birbirinden farklılık göstermektedir. Levhalarda oluşan deformasyon şekilleri simülasyon görselleri ile desteklenmiştir. Singh ve arkadaşları Ti 6%AL4%V malzemesinin balistik performansını 7.62 mm mermi kullanarak deneysel olarak incelemişlerdir (Singh, 2012). Yossifon ve arkadaşları rijit bir merminin penetrasyon etkisini teorik ve sayısal olarak araştırmışlardır (Yossifon, 2001). Sciuvaa ve arkadaşları Inconel 718 döküm plakalarına düşük ve yüksek hızlı darbe uygulayarak balistik limit analizleri üzerine incelemede bulunmuşlardır (Sciuvaa, 2003). Kim ve arkadaşları cam elyaf takviyeli kompozit ile Zr bazlı amorf alaşım (LM1alloy) malzeme üzerinde balistik etkileri incelemişlerdir (Kim, 2011). Yaptıkları bu çalışma sonrasında cam elyaf takviyeli kompozit malzemenin LM1 alaşımdan daha iyi balistik performans gösterdiğine ilişkin sonuçlar elde etmişlerdir. Şanlı çelik ve alüminyum gibi farklı malzemelerden oluşan kompozit bir yapıya sahip malzemelerin balistik darbe altındaki davranışını simülasyon yoluyla incelemiştir (Şanlı, 2008). Çalışmasında mermideki ivmelenme, hız, iç ve kinetik enerji değişimleri ile kompozit plakalardaki iç enerji ve deformasyonu göze önüne almıştır.

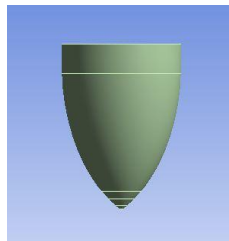
Bu çalışmada, farklı kalınlıklardaki üç farklı malzemenin balistik çarpmaya maruz bırakılması sonucunda kalınlık artışına bağlı olarak delinme/sehim ve sönmümlenen enerjideki değişim araştırılmıştır.

MATERYAL VE METOT (MATERIAL AND METHOD)

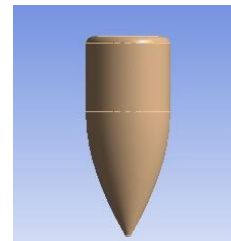
Malzeme olarak Titanyum, Ti 6%AL4%V ve Çelik 4340 levhalar kullanılmıştır. Bu levhalar 200×200 mm ebatlarında ve 1 mm, 2 mm, 3 mm, 4 mm, 5 mm, 6 mm ve 7 mm kalınlık değerlerine sahiptir. Vurucu 3 farklı tipte modellenmiştir. Bunlar yarı küresel uç, yarı sivri uç ve sivri uçtur. Vurucu kütlesi yarı küresel geometriye sahip uç için 4.8318×10^{-3} kg, yarı sivri uç için 3.6181×10^{-3} kg, sivri uç için 6.6709×10^{-3} kg'dır. Balistik darbe hızı bütün analiz türleri için sabit 350 m/s değerindedir. Titanyum, Ti 6%AL4%V ve Çelik 4340 malzemelerin mekanik özellikleri program veri tabanından alınmıştır.



(a) Yarı Küresel Uç



(b) Yarı Sivri Uç

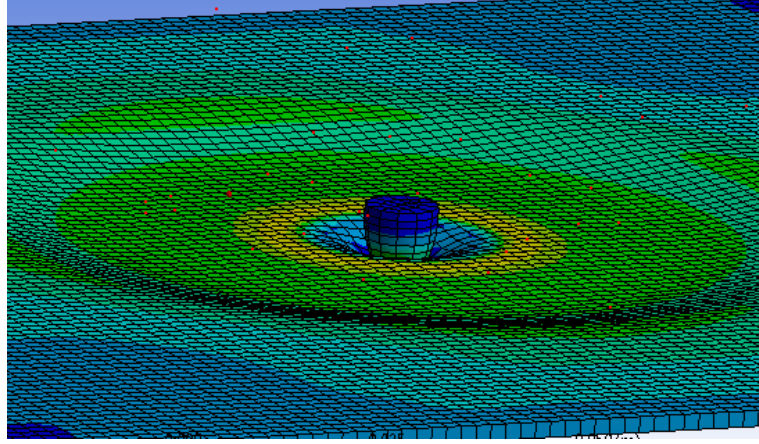


(c) Sivri Uç

Şekil 1. Vurucu profilleri (Impactor profiles)

SONLU ELEMANLAR ANALİZİ (FINITE ELEMENT ANALYSIS)

Vurucu profilleri ve plakalar modellendikten sonra sınır şartları uygulanmıştır. Buna göre plakalar dört taraftan ankastre olarak bağlanmıştır. Sonlu elemanlara bölme işleminde otomatik yöntem tercih edilmiş olsa da bazı bölgelerde lokal iyileştirmeler yapılmıştır. Problemlerde eleman sayısı kalınlığa bağlı olarak değişse de ortalama olarak 25000 eleman kullanılmıştır. Autodyn modülü kullanılarak 3 farklı profil ve 7 farklı kalınlık parametrelerine göre analizler yapılmıştır. Şekil 2’de çarpma anındaki gerilme dağılımı ve deformasyon görülmektedir.



Şekil 2. Çarpışma anındaki gerilme dağılımı ve deformasyon (Stress distribution and deformation under impact)

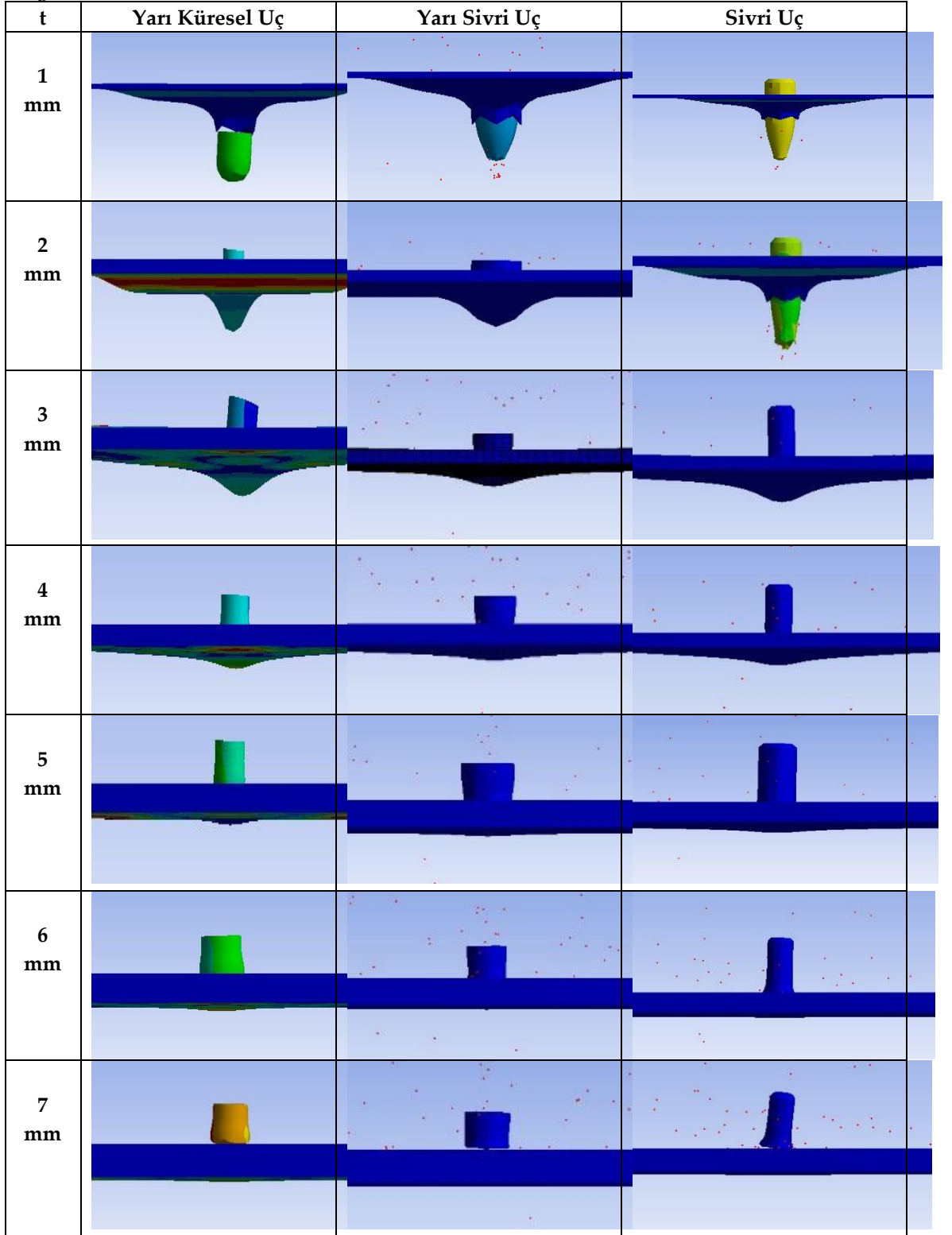
Çelik 4340 malzemesi için yapılan analizler sonucunda oluşan deformasyon şekilleri Şekil 3’te verilmiştir. Şekiller incelendiğinde 1 mm kalınlık değerine sahip levhalarda 3 vurucu tipi içinde delinme meydana geldiği görülmektedir. Buna karşın 2 mm kalınlık değerine sahip levhada delinme olayına sebep olan tek vurucu tipi sivri uca sahip vurucudur. 6 mm ve 7 mm kalınlığında ki levhalarda darbe esnasında vurucuların ciddi oranlarda deformasyona uğradığı simülasyon sonuçlarından gözlenmiştir.

t	Yarı Küresel Uç	Yarı Sivri Uç	Sivri Uç
1 mm			
2 mm			
3 mm			
4 mm			
5 mm			
6 mm			
7 mm			

Şekil 3. Çelik 4340 malzemesinin çarpışma simülasyonu (Impact simulation of steel 4340 material)

Benzer şekilde Titanyum malzemesine ait sonuçlar incelendiğinde 1 mm kalınlıktaki levhaların her üç profilde de delindiği, 2 mm kalınlık değerinde ise sadece sivri uca sahip vurucunun levhayı

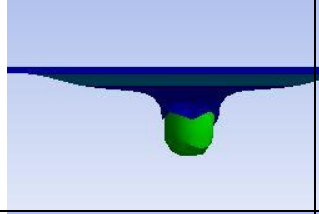
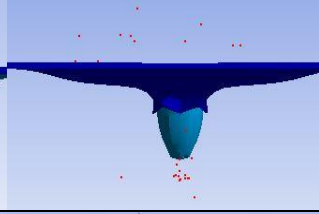
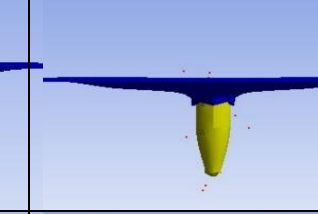
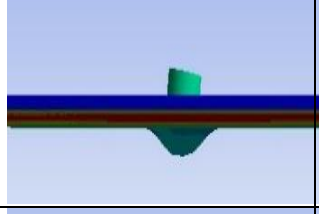
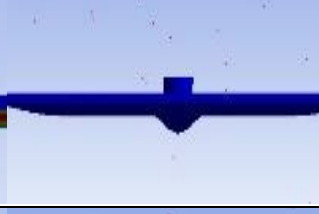
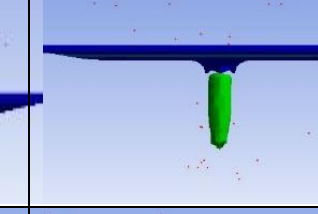
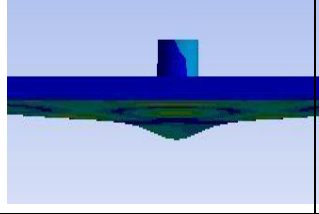
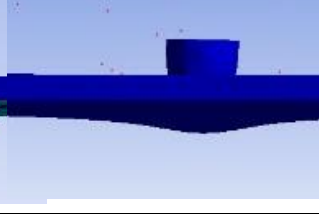
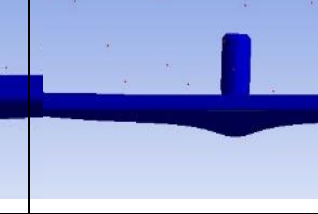
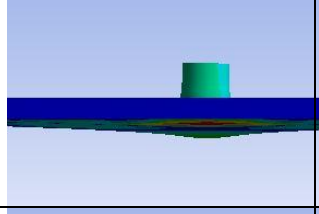
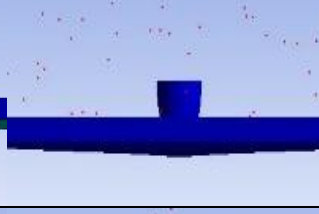
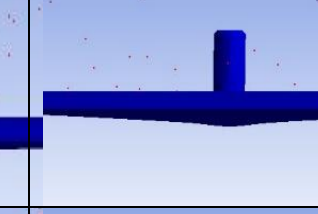
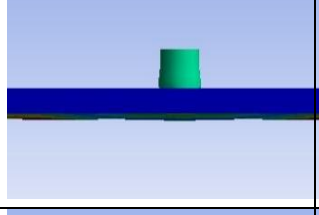
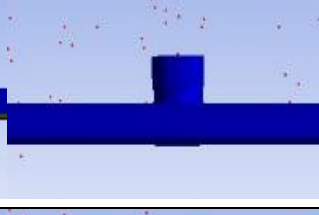
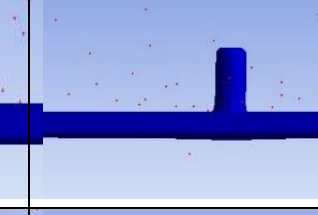
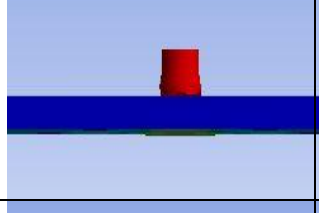

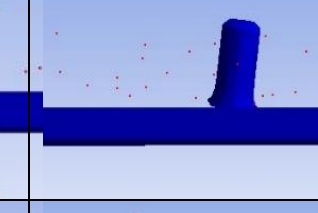
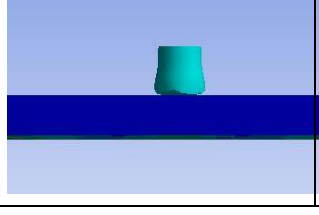
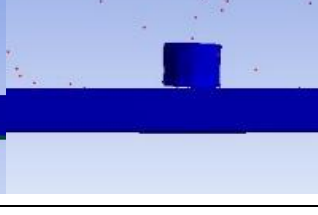
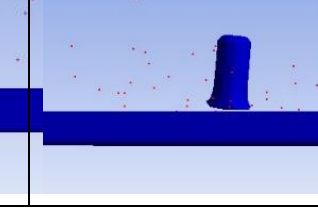
deldiği görülmektedir (Şekil 4). Kalınlığın artmasına bağlı olarak mermilerdeki şekil değişimi açık bir şekilde görülmektedir.



Şekil 4. Titanyum malzemesinin çarpışma simülasyonu (Impact simulation of titanium material)

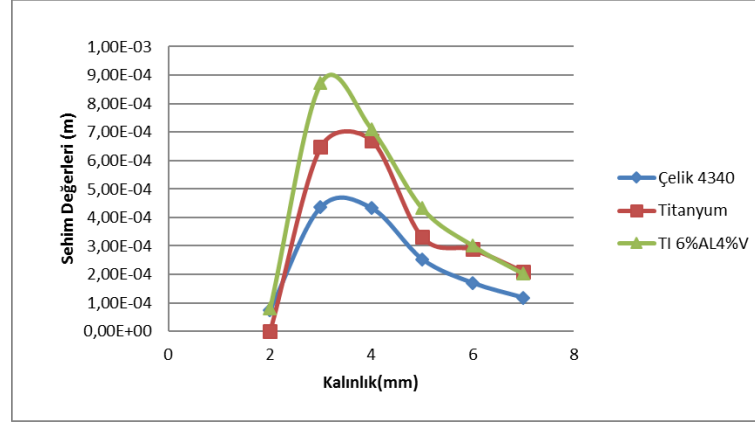
Titanyuma belirli oranlarda Alüminyum ve Vanadyum katılması ile elde edilen titanyum alaşımı TI 6%AL4%V için yapılan analizler sonucunda oluşan deformasyon şekilleri de şekil 5'te verilmiştir. Çelik 4340 ve Titanyum levhalarda görülen 1 mm kalınlık değerinde 3 vurucu tipinin, 2 mm

kalınlık değerinde ise sadece sivri uca sahip vurucunun levhayı delmesi TI 6%AL4%V malzemesi içinde görülmektedir. Bununla birlikte 6 mm ve 7 mm kalınlığında ki levhalarda darbe esnasında levhalarda çok büyük deformasyonlar gzkmezken vurucuların büyük oranda deformasyona uğradığı simülasyon sonuçlarındandır gözlenmiştir.

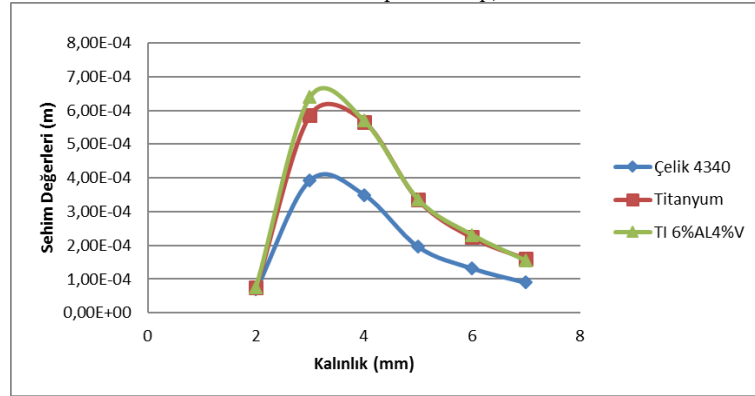
t	Yarı Küresel Uç	Yarı Sivri Uç	Sivri Uç
1 mm			
2 mm			
3 mm			
4 mm			
5 mm			
6 mm			
7 mm			

şekil 5. TI 6%AL4%V malzemesinin çarpışma simülasyonu (Impact simulation of TI 6%AL4%V material)

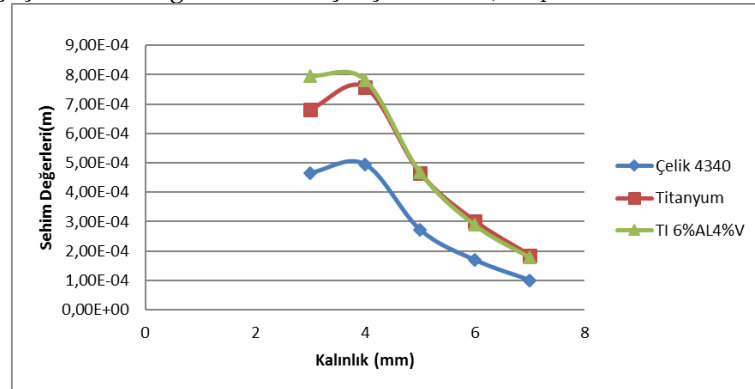
Analizlerin sonucunda 3 farklı malzemeye göre elde edilen deformasyonlar Şekil 6'da verilmiştir. Bu deformasyonlar delinmenin gerçekleşmediği kalınlıklardan itibaren ele alınmıştır. Yarı küresel ve yarı sivri profiller için 2 mm (Şekil 6. (a) - (b)) ve sivri profil için 3 mm kalınlıktan itibaren (Şekil 6. (c)) deformasyonlar dikkate alınmıştır.



(a) Yarı küresel uç için sehim değerlerinin karşılaştırılması (Comparison of deflection values for semi-spherical tip)



(b) Yarı sivri uç için sehim değerlerinin karşılaştırılması (Comparison of deflection values for semi-pointed tip)



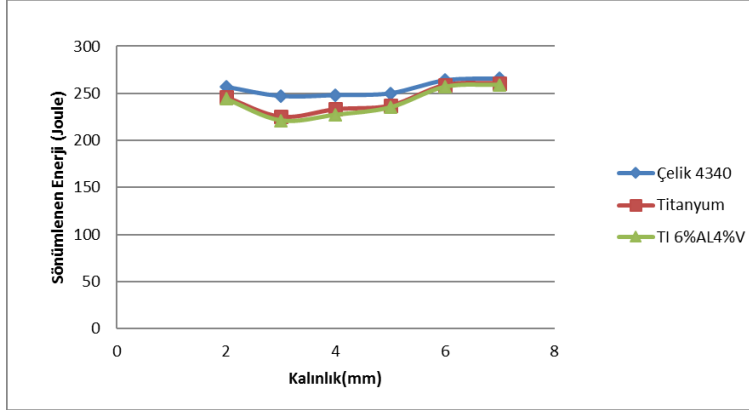
(c) Sivri uç için sehim değerlerinin karşılaştırılması (Comparison of deflection values for pointed tip)

Şekil 6. Farklı vurucu tipleri için levha kalınlığına bağlı sehim değerlerindeki değişim (Change of deflection-thickness of the plate for different impactor tips)

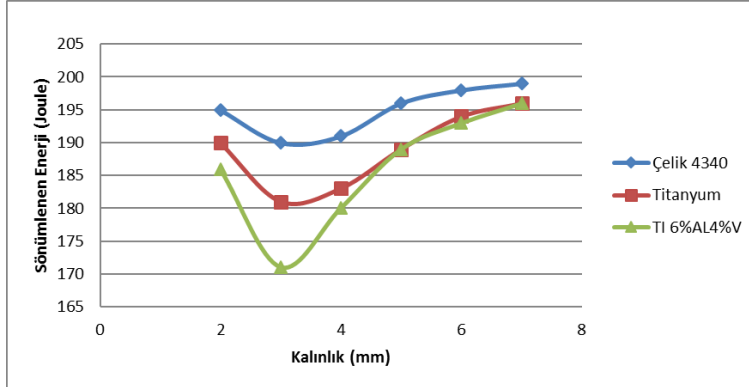
Şekil 6 incelendiğinde delinmeden hemen sonraki kalınlıklarda sehimde artış olduğu gözlenmektedir. Fakat 4 mm'den sonraki kalınlık değerlerinde, kalınlık artışı ile orantılı olarak sehim değerlerinde azalma görülmektedir. Oluşan sehim değerleri karşılaştırıldığında ise TI 6%AL4%V malzemesinin her 3 vurucu profili için en yüksek sehim değerlerine sahip olduğu görülmektedir. Bunun

sebebi alüminyumun malzemeye süneklik kazandırmasıdır. En yüksek sehime değeri ise 9.10^{-4} m olarak yarı küresel vurucunun çarpması sonucunda TI 6%AL4%V malzemesinde oluşmaktadır.

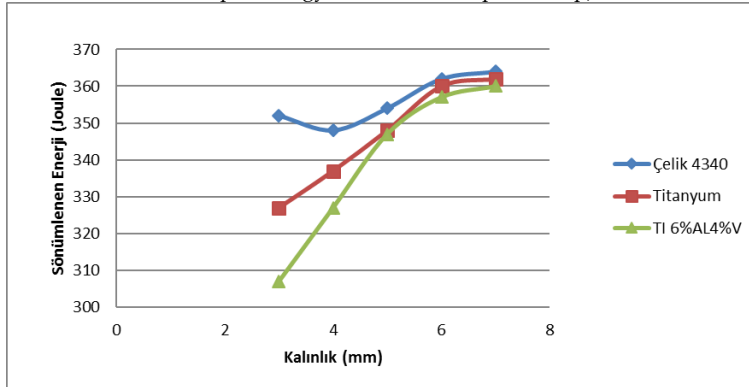
Vurucu, ince levhalarda, sahip olduğu kinetik enerjinin bir kısmını elemanların parçalanmasında kullandığı için delinen levhalarda çok az sehime sebep olmaktadır. Delinmeden hemen sonraki kalınlıklarda ise enerjinin bir kısmı şekil değiştirme enerjisine dönüşerek sehimde artış meydana getirmektedir. Fakat 4 mm'den daha büyük kalınlıklarda malzemeler enerjiyi sönümleyerek daha az deformasyona sebep olmaktadır. Şekil 7'de levhaların kalınlıklara bağlı olarak sönümledikleri enerji ilişkileri görülmektedir.



(a) Yarı küresel uç için levhalar tarafından sönümlenen enerji miktarının karşılaştırılması (Comparison of damped energy values for semi-spherical tip)



(b) Yarı sivri uç için levhalar tarafından sönümlenen enerji miktarının karşılaştırılması (Comparison of damped energy values for semi-pointed tip)



(c) Sivri uç için sönümlenen enerji miktarının karşılaştırılması (Comparison of damped energy values for pointed tip)

Şekil 7. Farklı vurucu tipleri için levhalar tarafından sönümlenen enerji miktarının levha kalınlığına bağlı değişimi (Change of damped energy- thickness of the plate for different impactor tips)

Şekil 6 ve Şekil 7 birlikte değerlendirildiğinde kalınlık artışıyla birlikte sehim değerinde azalma meydana gelirken, malzemenin sönümlediği enerjide artış olmuştur. Sönümlenen enerji miktarının bir kısmı darbe yönünde bir deformasyon oluştururken bir kısmı da levha yüzeyinde dalga oluşumuna (Rayleigh waves) sebep olmaktadır (Şekil 2).

SONUÇLAR (RESULTS)

Bu çalışmada sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak çeşitli vurucu profilleri ile farklı malzemelere uygulanan yüksek hızlı darbe analizleri yapılmıştır. Analiz sonucunda levhalarda oluşan sehim değerleri ve levhaların sönümlediği enerji miktarları karşılaştırmalı olarak gösterilmiştir.

Kalınlığı 1 mm olan levhalar bütün vurucu ve malzeme tiplerinde delinirken, 2 mm kalınlıktaki levhalar da ise sadece sivri uçlu vurucuya maruz kalanlar delinmiştir. Vurucu rijit olarak modellenmediği için enerjinin bir bölümü vurucunun şekil değişimine harcanmakta ve kalınlığa bağlı olarak artmaktadır. Levhaların deformasyon değerlerine bakıldığında her üç vurucu tipinde de TI6%AL4%V levhalar içeriğindeki alüminyumun da etkisiyle en yüksek değerlere sahiptir. Sönümlenen enerji değerleri karşılaştırıldığında en yüksek değer Çelik 4340 malzemesinde ve sivri uçlu vurucunun çarpmasıyla gerçekleştiği görülmektedir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- Acar, B., "Kompozit Zırhlarda Penetrasyonun Eksplisit Yöntemlerle Simülasyonu", *Savunma Teknolojileri Kongresi*, Ankara, 25-34, 24-25 Ekim 2002.
- Iqbal, MA., Gupta, NK., 2011, "Ballistic Limit of Single and Layered Aluminium Plates", *An International Journal for Experimental Mechanics-Strain*, Vol. 47, pp. 205-219.
- Karamış, MB., Nair, F., Cerit, AA., 2009, "The Metallurgical and Deformation Behaviours of Laminar Metal Matrix Composites After Ballistic Impact", *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 209, pp. 4880-4889.
- Kim, GS., Son, CY., Lee, SB., Lee, SK., 2011, Song, YB., Lee, S., "Ballistic Impact Properties of Zr-Based Amorphous Alloy Composites Reinforced with Woven Continuous Fibers", *Metals & Materials Society and ASM International*, Vol. 43, pp. 870-881.
- Sciuva, MD., Frolaa, C., Salvano, S., 2003, "Low and High Velocity Impact on Inconel 718 Casting Plates: Ballistic Limit and Numerical Correlation", *International Journal of Impact Engineering*, Vol. 28, pp. 849-876.
- Singh, BB., Sukumar, G., Bhattacharjee, A., Kumar, KS., Bhat, TB., Gogia, AK., 2012, "Effect of Heat Treatment on Ballistic Impact Behavior of TI 6%AL4%V against 7.62 mm Deformable Projectile", *Materials & Design*, Vol. 36, pp. 640-649.
- Şanlı, F., 2008, *Darbe Tesiri Altındaki Kompozit Levhanın Sonlu Elemanlar Yöntemi ile Simülasyonu*, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Şimşir, C., Yıldırım, O., Ögel, B., "Çelik Zırh Plakaların Çekiç Düşürme Deneyi ile Düşük Hızlarda Balistik Karakterizasyonu", *Savunma Teknolojileri Kongresi*, Ankara, 35-43, 24-25 Ekim 2002.
- Yapıcı, İ., Yapıcı, A., 2012, "E-Camı/Epoksi Tabakalı Kompozitlerde Düşük Hızlı Darbe Davranışının Sonlu Elemanlar Yöntemiyle İncelenmesi", *Niğde Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, Cilt 1, Sayı 2, ss. 48-60.
- Yossifon, G., Rubin, MB., Yarin, AL., 2001, "Penetration of a Rigid Projectile into a Finite Thickness Elastic - Plastic Target Comparison between Theory and Numerical Computations", *International Journal of Impact Engineering*, Vol. 25, pp. 265-290.

