

FARKLI MALZEME ÖZELLİKLERİNE SAHİP PLAKALARIN DARBE DAVRANIŞLARININ SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ İLE İNCELENMESİ

Kadir GÖK*, **Yasin KİŞİOĞLU ****

*kadirgok67@hotmail.com Dumlupınar Üniversitesi, Makine Programı, 43100-Kütahya

** ykisioglu@kocaeli.edu.tr Kocaeli Üniversitesi, Makine Eğitimi Bölümü, 41380-Kocaeli

ÖZET

Darbe dayanımı yüksek bir malzeme seçmek için malzemeye çeşitli darbe testleri uygulanır. Darbe dayanımı malzemelerin tokluğu yani kırılmaya karşı direnci ile ilgili olduğu için, darbe testi ile malzemenin kopma direnci ölçülür. Bu çalışmada, üç farklı malzemedan elde edilmiş plakalara belirli bir uzaklıktan fırlatılan bir cismin oluşturduğu darbe simüle edilerek darbeye karşı dirençleri incelenmiştir. Darbe testi sürecinde, başlangıç hızı olarak 100, 200, and 300m/sn seçilmiştir. Fırlatılan cismin plakalarda oluşturduğu darbe deformasyon ve gerilme değerleri elde edilmiştir. Bilgisayar destekli darbe testleri ANSYS/LS-DYNA program yardımı ile gerçekleştirilmiştir.

Anahtar Sözcükler: Darbe dayanımı, darbe deformasyonu, sonlu elemanlar yöntemi, Darbe testi.

ABSTRACT

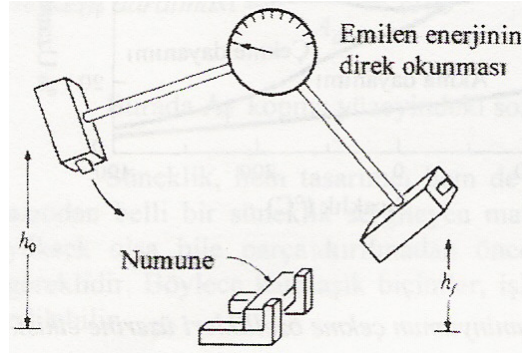
Various impact tests are applied to a material to select a material having high impact strength. The impact strength is depending on the toughness of a material. Failure strength of a material is measured with impact test. In this study, plaques made out of three different materials were tested using a bullet thrown from a certain distance. During the impact test process, initial velocities were selected as 100, 200, and 300m/sec. This application was simulated using ANSYS/LS-DYNA software and then stresses and deformations on the plaques occurred were obtained.

Keywords: Impact strength, Impact deformations, Finite Element Method, Impact test.

1. GİRİŞ

Malzemelerin mekanik özellikleri çekme, basma, eğme ve burulma gibi testler yardımı ile tanımlanabilir. Bunun yanında çekme, yorulma, sürünme, sertlik ve darbe testleri malzemelerin mekanik davranışları ilgili bir çok fikir verebilir. Malzemelerin, herhangi bir darbe anındaki davranışlarını ve absorbe ettikleri enerjileri belirlemek için kullanılan darbe testleri de mevcuttur. Charpy testi bu yöntemlerden birisidir. Charpy testinde, Şekil 1'de

görüldüğü gibi h_0 yüksekliğinden bırakılan w ağırlığındaki sarkaç, numuneye çarparak kırar ve daha sonra en düşük h_f yüksekliğine erişir. Sarkacın başlangıç ve son yükseklikleri bilindiğinde potansiyel enerji farkı hesaplanabilir. Bu fark, numunenin kırılması sırasında emilen (absorbe edilen) darbe enerjisidir. Malzemelerin ani darbelere dayanımı, malzemenin tokluğu ile ilişkilidir.



Şekil 1. Şematik Charpy darbe testi düzeneği [1].

Günümüzde darbe ve çarpışma testleri çok maliyet gerektiren işlemlerdir. Bilgisayar işlemcilerinin gelişmesi ile birlikte bu işlemleri bilgisayar ortamında sayısal olarak modellemek daha cazip hale gelmiştir.

Kurtaran ve ark., [2] GT model bir askeri araç kapısında balistik darbe sonucu oluşan hasarın tespitini bilgisayar ortamında yapmışlardır. Hasar tespiti için sonlu elemanlar metodu uygulamaları için ANSYS/LS-DYNA program kullanılmıştır. Aslantaş ve ark., [3] 1018 malzemeden yapılmış çelik bir plakaya uygulanan şok yüklerin plakada meydana getirdiği hasar modellenmeye çalışılmıştır. Nesterenko ve ark., [4] 300-900 m/s aralığındaki hızlarda ucu küt ve konik silindirik parçaları, toz metalurji yöntemiyle üretilen Ti-6Al-4V alaşımına fırlatarak bu malzemenin balistik özelliklerini incelemişlerdir. Aare ve ark., [5] bir darbe esnasında miğfer kabuk sertliğinin ve farklı darbe açılarının insan kafasında nasıl etki ettiğini incelemişlerdir.

Tham ve ark., [6] bir KEVLAR miğfer balistik darbesinin deneysel ve nümerik sonuçlarını AUODYN-3D yazılımı ile karşılaştırmışlardır. Gee., [7] yaptığı çalışmada, eğik olarak sabitlenmiş bir plakaya tungsten alaşımlı bir silindirik çubuk fırlatarak hasar analizini sayısal olarak incelemiştir. MacDonald., [8] basit uçak yapılarının, yüksek enerjili darbesinin simülasyon sonuçlarını göstermiştir.

2. MATERYAL ve METOD

2.1 Materyal

Nikel Alaşımı, Klasik çift doğrusal kinematik hardening model (şekil değiştirmeden bağımsız) bir malzemenin gerilme-şekil değiştirme davranışını göstermek için iki eğimli (elastik ve plastik) olarak kullanılır. Gerilme ve şekil değiştirme davranışı yalnızca tek bir sıcaklıkta belirtilir. Bu 1018 çelik, nikel ve titanyum alaşımı malzeme modellerinin mekanik özellikleri Tablo 1’de verilmiştir. C ve P Cowper-Symonds şekil değiştirme hızı parametreleri, ϵ_p ise efektif plastik şekil değiştirmedir. Aynı zamanda hedefe fırlatılan cismin mekanik özellikleri de Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 1. Deneyde kullanılan plaka malzemelerin mekanik özellikleri [9].

| Özellikler | Titanyum Alaşımı | Steel 1018 | Nikel Alaşımı |
|-------------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| Elastikiyet Modülü (Pa) | 100x10 ⁹ | 200 x10 ⁹ | 180 x10 ⁹ |
| Yoğunluk (kg/m ³) | 4650 | 7865 | 8490 |
| Poisson Oranı | 0.36 | 0.27 | 0.31 |
| Akma Dayanımı (Pa) | 70x10 ⁶ | 310 x10 ⁶ | 900 x10 ⁶ |
| Teğetsel Modülü (Pa) | 112 x10 ⁶ | 763 x10 ⁶ | 445 x10 ⁶ |
| C (Cs-1) | - | 40 | - |
| P | - | 5 | - |
| ε _p | - | 0.75 | - |

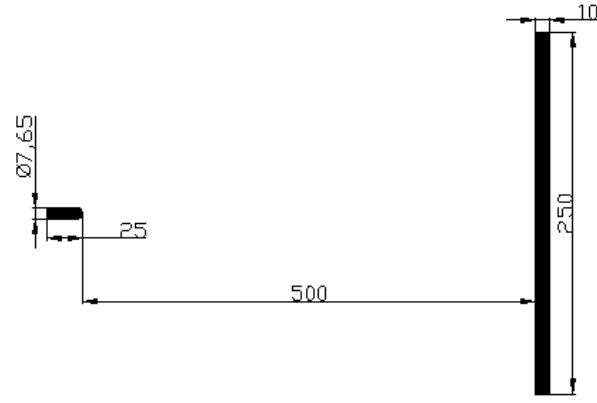
Tablo 2. Fırlatılan cismin mekanik özellikleri

| Özellikler | Steel |
|-------------------------------|-----------------------|
| Elastikiyet Modülü (Pa) | 207 x 10 ⁹ |
| Yoğunluk (kg/m ³) | 7580 |
| Poisson Oranı | 0.3 |

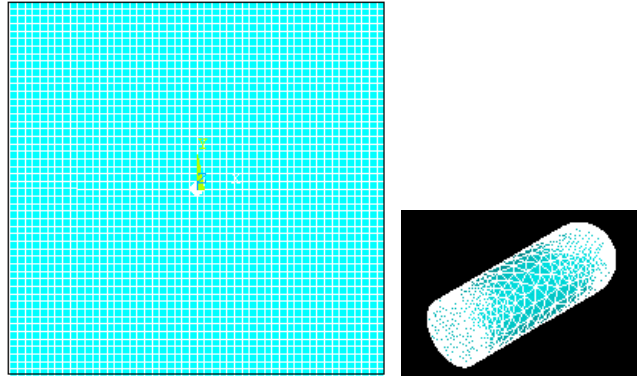
2. 2 Sonlu Elemanlar Metodu

Bu çalışmada, 3 farklı malzeme özelliklerine sahip olan plakalara, belirli uzaklıktan fırlatılan cismin plakada meydana getirdiği deformasyonlar incelenmiştir. Bu işlem ANSYS/LS-DYNA paket program ile gerçekleştirilmiştir.

İki eleman ile gerçekleştirilen bu problemde, hareketli ve rijit olarak tanımlanan cismin adı “mermi”, sabit olan diğer eleman ise “hedef” olarak adlandırılmıştır. Hedef için Thin Shell 163, mermi için ise 3D Solid 164 eleman tipi seçilmiştir. Hedef bütün kenarlarından her yöne hareketsiz kalacak şekilde kısıtlanmıştır. Mermi ve hedef elemanlarının geometrik boyutlandırılması ve ağ yapıları Şekil 2’de verilmiştir. Ayrıca mermi ile hedef arasında yüzey–yüzey (surface to surface) temas tipi seçilmiş ve aralarındaki sürtünme ihmal edilmiştir. Problem her bir adım 10⁻⁴ sn olmak üzere 100 adımda çözülmüştür, toplam çözüm süresi 0.01 sn olarak tanımlanmıştır. Modellemede kullanılan geometrilerde, hedef için 2500 eleman 2601 düğüm kullanılırken, mermi için 28631 eleman 5511 düğüm kullanılmıştır. Plaka kalınlığı 10 mm seçilmiş ve mermiye 100-200 ve 300m/sn lik başlangıç hızları uygulanmıştır.



a)



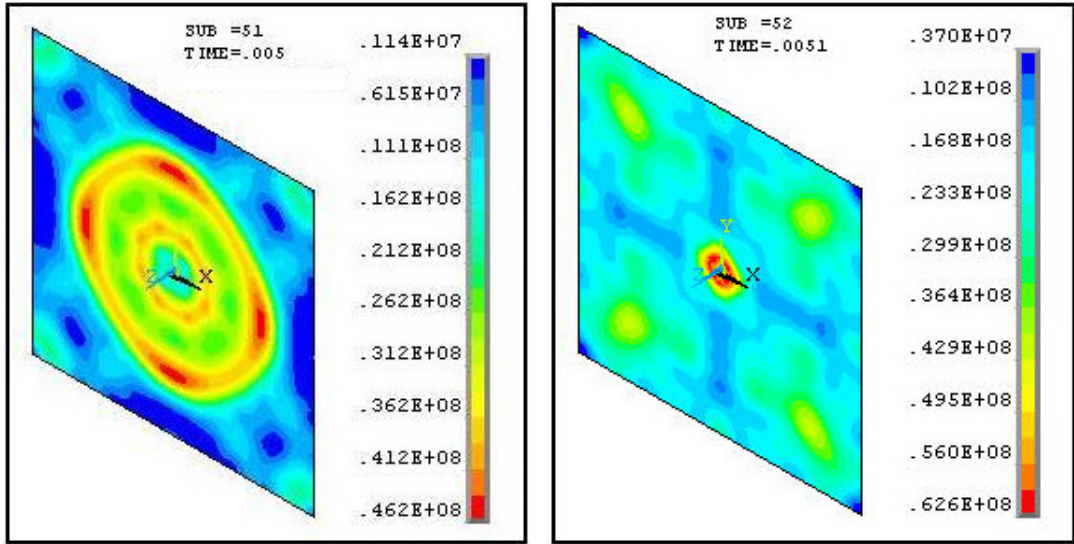
b)

Şekil 2.a) Geometrik boyutlar, b) Mermi ve hedef elemanının ağ yapısı.

3. SONUÇLAR

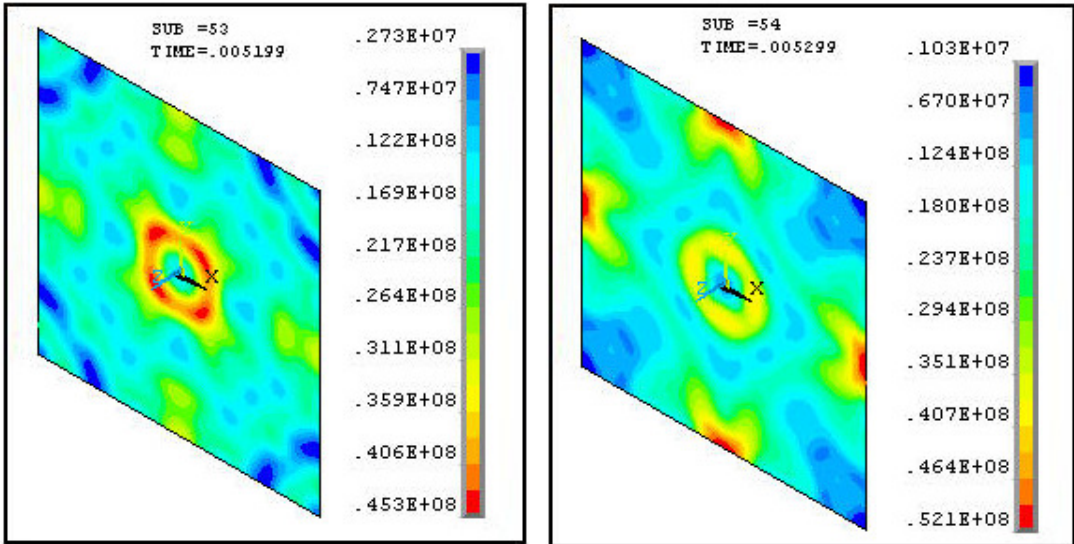
3. 1 Titanyum Alaşımı Plaka Üzerinde Meydana Gelen Gerilmeler

Titanyum alaşımı plaka ile 100m/sn hızında yapılan analiz sonucunda elde edilen Von-Misses gerilmeleri Şekil 3'de görülmektedir. Mermi hedefe 51. sub-step de (adımda) temas etmektedir. İlk olarak, maksimum gerilmelerin, plakanın merkezinden dışarı doğru bir daire şeklinde olduğu gözlenmiştir. 52. ve 53. adımlarda maksimum gerilmenin tam orta noktalarda minimum gerilmelerin ise plaka kenarlarında olduğu görülmüştür. 54. adımda ise maksimum gerilmeler plakanın kısıtlama kenarlarının tam orta noktalarında oluşmuştur.



a) Adım 51

a) Adım 52



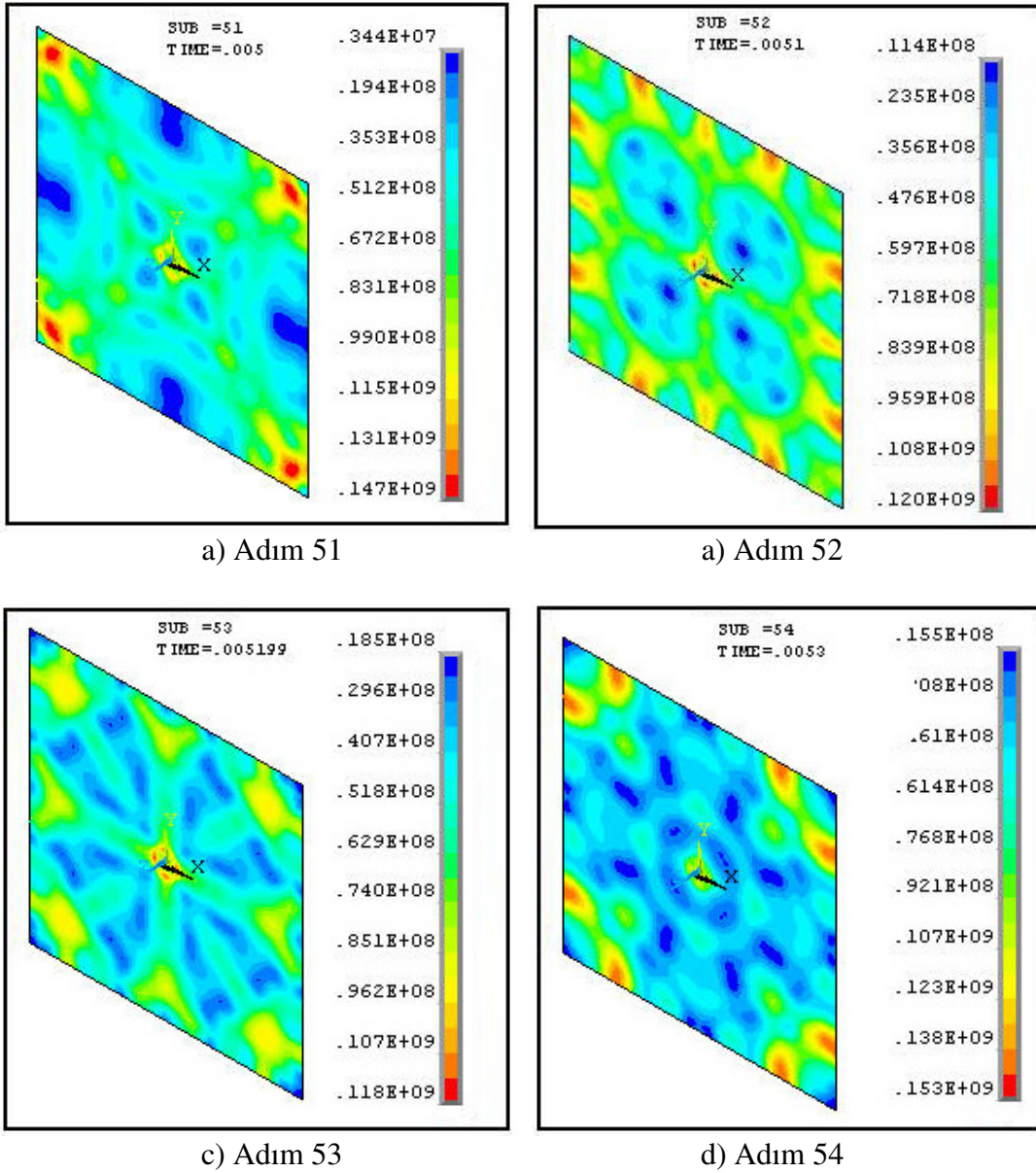
c) Adım 53

d) Adım 54

Şekil 3. Titanyum alaşımı plakada elde edilen Von-Mises gerilmeleri (Birimler Pa).

3. 2 1018 Çelik Plaka Üzerinde Meydana Gelen Gerilmeler

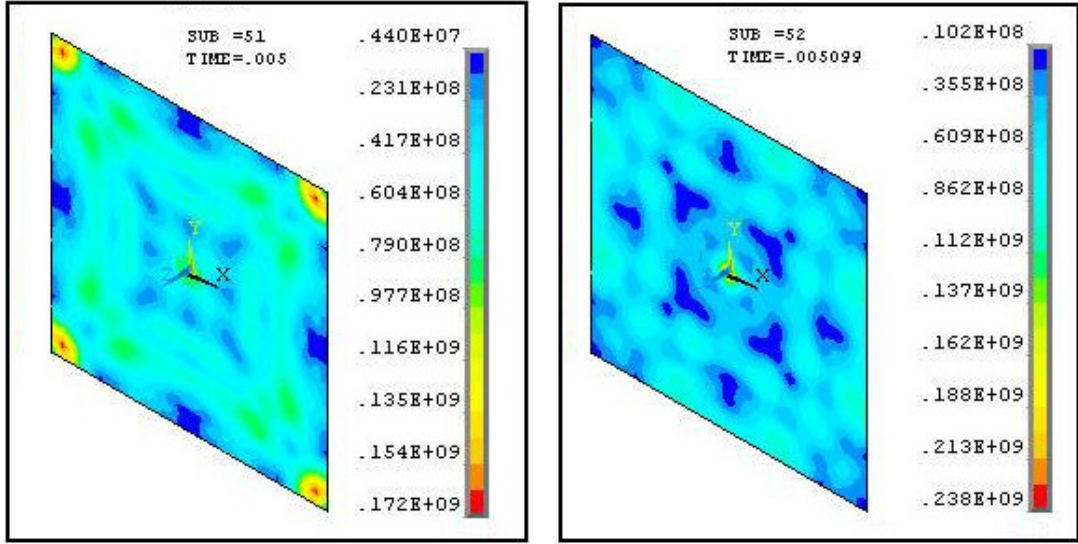
1018 Çelik plaka ile 100 m/sn hızında yapılan analiz sonucunda elde edilen Von-Mises gerilmeleri Şekil 4'de görülmektedir. Şekilde gösterilen tüm adımlarda maksimum gerilmelerin plaka kenarlarında meydana geldiği gözlenmiştir.



Şekil 4. 1018 Çelik plakada elde edilen Von-Misses gerilmeleri (Birimler Pa).

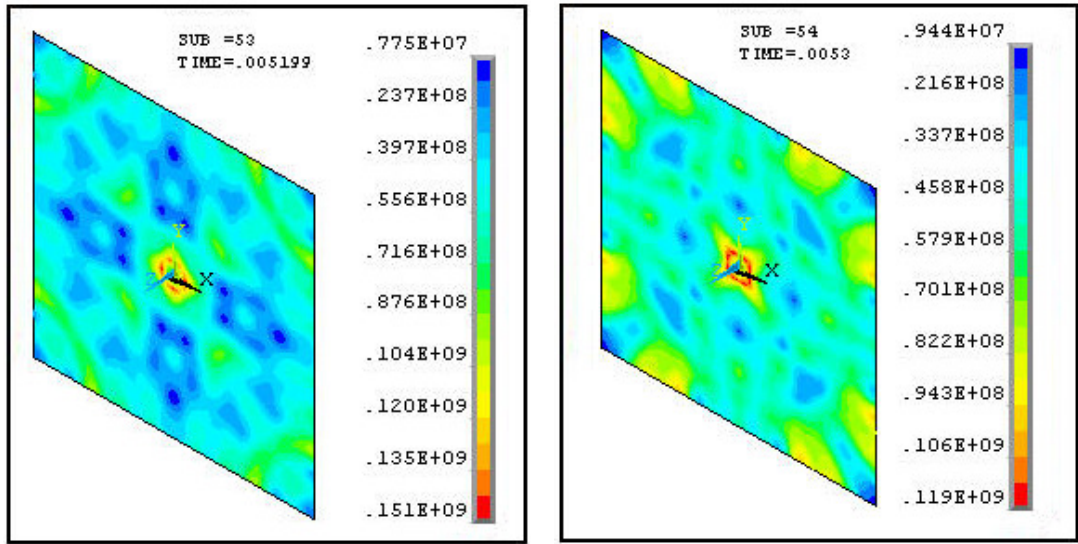
3. 3 Nikel Alaşımı Plaka Üzerinde Meydana Gelen Gerilmeler

Nikel alaşımı plaka ile 100 m/sn hızında yapılan analiz sonucunda elde edilen Von-Misses gerilmeleri Şekil 5 de görülmektedir. 51. adımda maksimum gerilmeler plakanın uç kenarlarında meydana gelirken, 52. adımda tam orta noktada meydana gelmiştir. 53 ve 54. adımlarda ise maksimum gerilmeler orta noktada ve plaka kenarlarında görülmektedir.



a) Adım 51

a) Adım 52

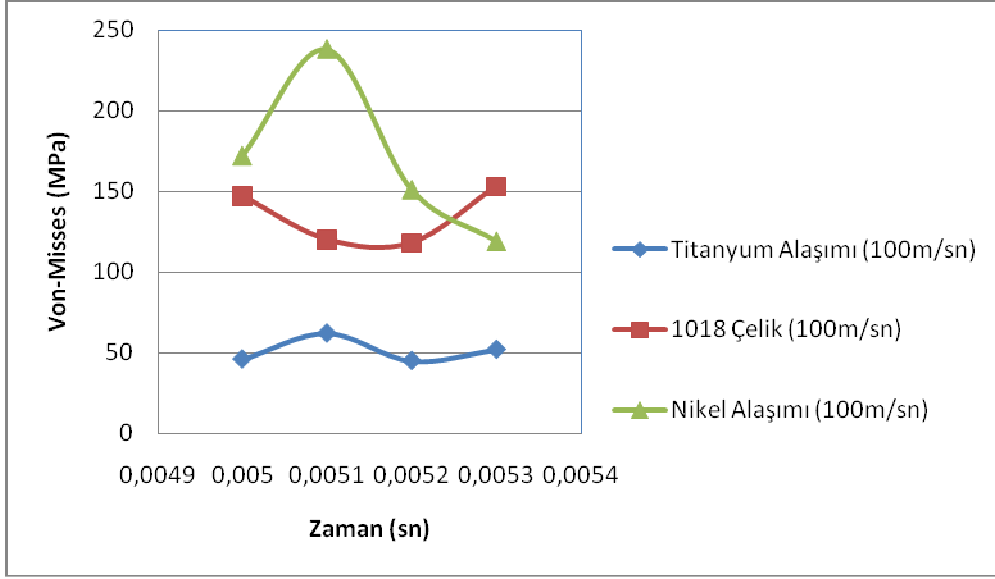


c) Adım 53

d) Adım 54

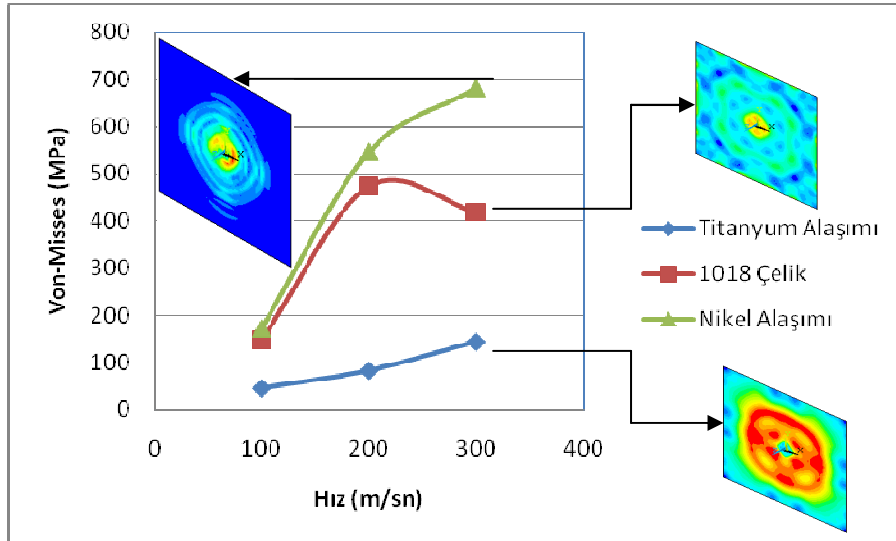
Şekil 5. Nikel alaşımı plakada elde edilen Von-Misses gerilmeleri. (Birimler Pa).

3 farklı malzemeye göre 4 adımda meydana gelen maksimum gerilme dağılımları Şekil 6'da bir grafik halinde sunulmuştur. Şekilde en az gerilmelerin titanyum alaşımında meydana geldiği görülmektedir. En yüksek gerilmeler ise nikel alaşımında meydana gelmiştir.

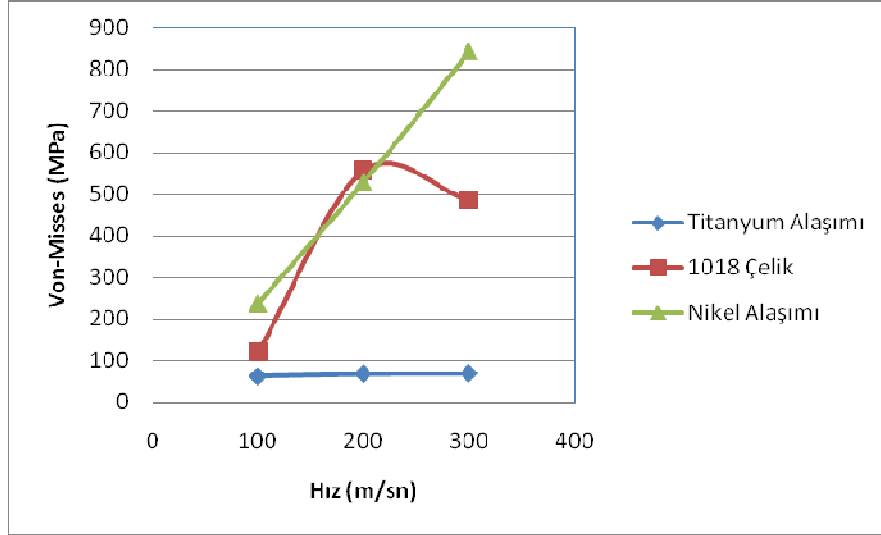


Şekil 6. 3 farklı malzemeye göre 4 adımda meydana gelen maksimum gerilme dağılımları.

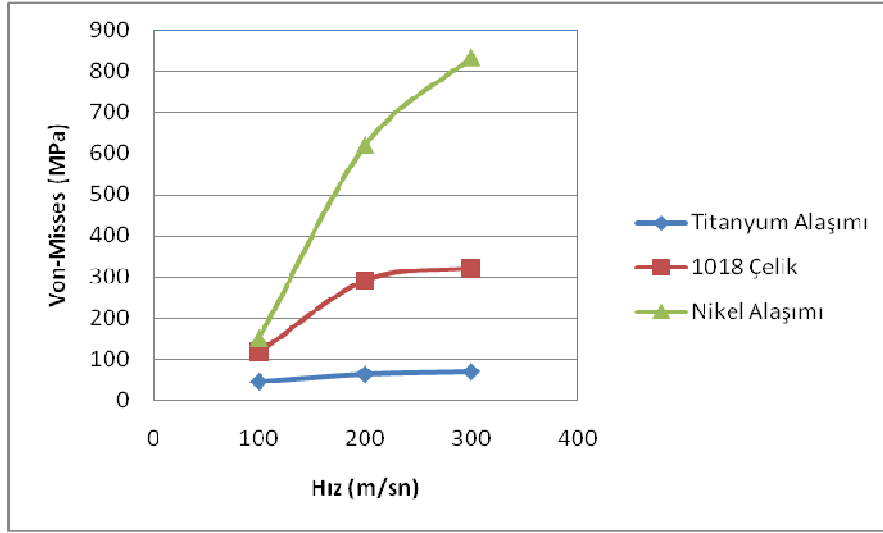
Şekil 7’de üç farklı başlangıç hızı ile merminin hedefe ilk çarpma anından itibaren 4 adımda, malzemelerde meydana gelen Von-Misses gerilme dağılımları verilmiştir. Fırlatma hızı ile birlikte malzemelerde meydana gelen gerilmelerde bir artış gözlenmiştir. 200m/sn den sonra oluşan Von-Misses gerilmelerinin nikel ve titanyumun alaşımı plakaların akma dayanımı geçtiği gözlenmiştir. Titanyum ve nikel alaşımı plakalar bu hızda yapılan darbe sonucu kalıcı deformasyona uğramaktadır.



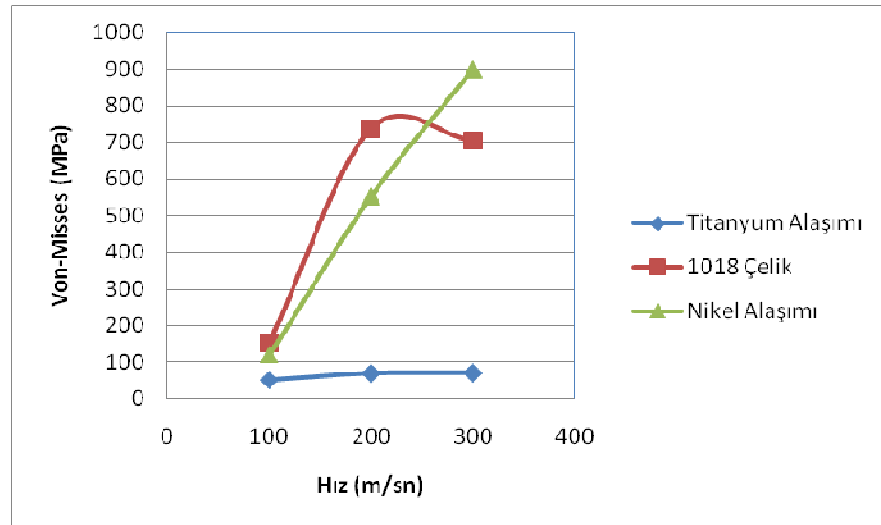
a)



b)



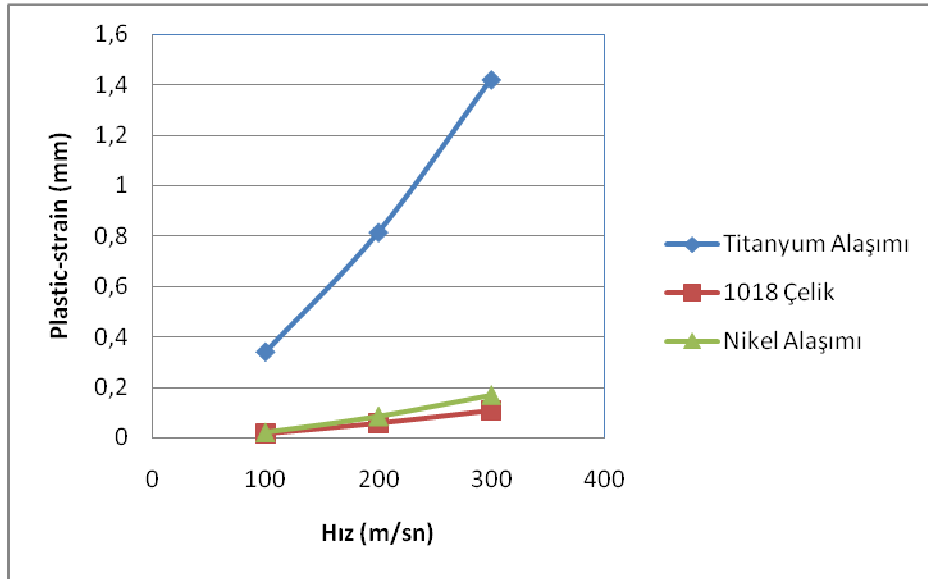
c)



d)

Şekil 7. 3 farklı fırlatma hızlarında malzemelerde meydana gelen gerilme dağılımları, a) 1. adım, b) 2.adım, c) 3. adım, d) 4. adım.

Aynı zamanda darbe sırasında plakalarda meydana gelen plastik – şekil değiştirme değerleri elde edilmiş (Şekil 8) ve bu değerler farklı hızlar ile bu malzemelerin kopma uzamaları ile karşılaştırılıp, kopma sınırını aşmışmadıkları kontrol edilmiştir (Şekil 9).

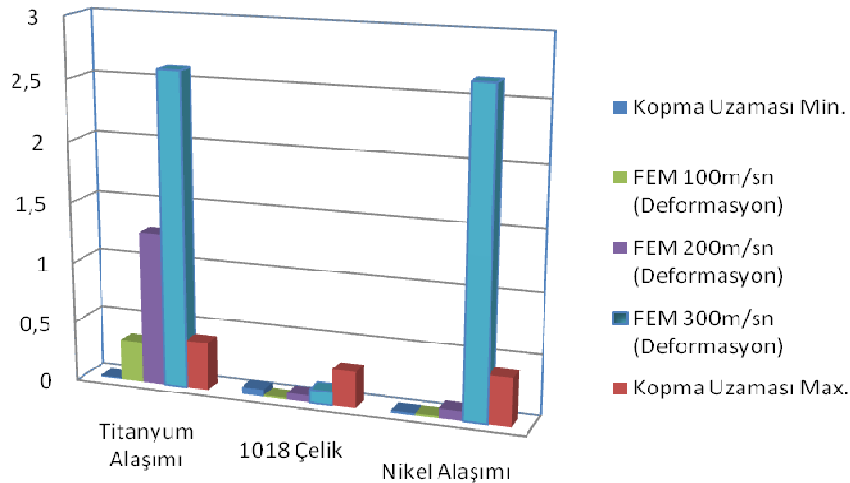


Şekil 8. 3 farklı fırlatma hızlarında malzemelerde meydana gelen plastik şekil değiştirme değerleri

Bir malzeme ne kadar sünek ise, deformasyon da o kadar fazla oluşur. Yani daha fazla kopma uzaması meydana gelir. Şekil 9. da titanyum ve nikel alaşımı plakaların analiz sonuçlarında oluşan plastik şekil değiştirme değerlerinin, kopma uzamasının (Tablo 3) max. ve min değerlerini aştığı görülmüştür. Çelik ise bu değerler arasında kalmıştır. Bu durum çeliğin elastikiyet modülünün diğer malzemelere göre daha yüksek olması ile açıklanabilir. Elastikiyet modülü yüksek olan bir malzemenin sertliği de yüksek olacaktır.

Tablo 3. Malzemelerin kopma uzamaları [10]

| Malzeme Adı | Kopma Uzaması |
|------------------|---------------|
| Titanyum Alaşımı | %10-40 |
| 1018 Çelik | %6-30 |
| Nikel Alaşımı | %2-40 |



Şekil 9. Plastik deformasyon ve kopma uzamalarının karşılaştırılması.

4. DEĞERLENDİRME

Bu çalışmada, farklı malzeme özelliklerine sahip plakaların belirli bir uzaklıktan 3 farklı fırlatma hızı ile mermi fırlatılmıştır. Darbeler sonucu plakaların sergileyeceği mekanik davranışlar incelenmiştir. Fırlatma hızının artması ile birlikte plakalarda meydana gelen Von-Misses gerilmelerinde de bir artış gözlenmiştir. Özellikle 200m/sn fırlatma hızı ve sonrasında plakalarda meydana gelen Von-Misses gerilmelerin, Titanyum ve Nikel alaşımı plakalarının akma dayanımlarını aştığı gözlenmiş ve darbe sonucu kalıcı deformasyona uğramışlardır. Aynı zamanda fırlatma hızının artması ile birlikte plakalarda meydana gelen plastik şekil değiştirmede de bir artış söz konusudur. Plastik – şekil değiştirme değerleri ile malzemelerin kopma uzamaları karşılaştırılıp, kopma sınırını aşıp aşmadıkları kontrol edilmiştir. Titanyum ve nikel alaşımı plakalar ile yapılan darbe analizinde meydana gelen plastik şekil değiştirme değerlerinin, malzemelerin kopma uzamasının max. ve min değerlerini aştığı görülmüştür. Çelik ise bu değerler arasında kalmıştır. Bu durum çeliğin elastikiyet modülünün diğer malzemelere göre daha yüksek olması ile açıklanabilir. Elastikiyet modülü yüksek olan bir malzemenin sertliği de yüksek olacaktır.

5. KAYNAKLAR

- [1] ERDOĞAN, M., **Malzeme Bilimi ve Mühendislik Malzemeleri**, Nobel Yayın Dağıtım, 111-112, (1998).
- [2] KURTARAN, H., BÜYÜK M., Sonlu Elemanlar Metoduyla Balistik Darbe Sonucu GT Model Askeri Araç Kapısında Oluşan Hasarın Tespiti, **SAVTEK 2002, Savunma Teknolojileri Kongresi**, ODTÜ, Ankara, (2002).
- [3] ASLANTAŞ, K., ÇOLAKOĞLU M., Çelik Bir Plakanın Şok Yüklemeler Altındaki Davranışının Nümerik Olarak Modellenmesi, **Teknolojik Araştırmalar**, (3), 22-30, (2004).
- [4] NESTERENKO, V.F., GOLDSMITH, W., INDRAKANTI, S.S., AND YABEI Gu., Response of Hot Isostatically Pressed Ti-6Al-4V Targets to Normal Impact by Conical and Blunt Projectiles, **International Journal of Impact Engineering**, Vol.28, pp 137–160, (2003).
- [5] AARE, M., KLEIVEN, S., Evaluation of head response to ballistic helmet impacts using the finite element method, **International Journal of Impact Engineering**, 34, 596-608, (2007).
- [6] THAM, CY., TAN, V.B.C., LEE, H.P., Ballistic impact of a KEVLAR® helmet: Experiment and simulations, **International Journal of Impact Engineering**, 35, 304-318, (2008).
- [7] GEE, D.J., Plate Perforation by Eroding Rod Projectiles, **International Journal of Impact Engineering**, Vol.28, pp 377–390, (2003).
- [8] MACDONALD, B.J., A computational and experimental analysis of high energy impact to sheet metal aircraft structures, **Journal of Materials Processing Technology**, 124, 92-98, (2002).

[9] ANSYS R10 Kullanım Kılavuzu.

[10] <http://w3.balikesir.edu.tr/~ay/lectures/mt1/mt1.pdf> (Eriřim Tarihi: 2010).