T.C.
ERCİYES ÜNİVERSİTESİ
BİLİMSEL ARAŞTIRMA PROJELERİ
KOORDİNASYON BİRİMİ

PROJE BAŞLIĞI

Düşük Hızlı Çarpma Yükleri Altında Fonksiyonel Kademelendirilmiş Plakaların Lineer Olmayan Mekanik Davranışlarının İncelenmesi

Proje No:
FBY-09-827

Proje Türü
Tez Projesi, Yüksek Lisans

SONUÇ RAPORU

Proje Yürütücüsü:
Yrd. Doç. Dr. Recep GÜNEŞ
Mühendislik Fakültesi / Makina Mühendisliği Bölümü

Öğrenci:
Murat AYDIN
Sivil Havacılık Yüksek Okulu / Uçak Gövde-Motor Bölümü

Mart 2011
KAYSERİ

TEŞEKKÜR

Proje ekibi, bu projeyi destekleyen Erciyes Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi'ne teşekkür eder.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa No
ÖZET	5
ABSTRACT	6
1. GİRİŞ	7
2.GEREÇ VE YÖNTEM	7
3.DENEYSEL ALTYAPI	17
4.SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME	19
5.KAYNAKLAR	30
6.EKLER	31

ÖZET

Genel olarak malzemeler tek biçimlidirler, kendi içlerinde malzeme özelliği olarak değişim göstermezler. Buna karşın bir tarafının özellikleri diğer tarafınınkinden farklı olan ve bu farklı bölgeler arasında fonksiyonel bir geçişin olduğu malzemeler fonksiyonel kademelendirilmiş malzemeler (Functionally Graded Materials = FGMs) olarak adlandırılır. Fonksiyonel kademelendirilmiş malzemeler zor çalışma şartlarına sahip darbeli ortamlarda veya balistik amaçlı olarak da kullanılabilirler. Bu nedenle bu malzemelerin darbe dayanımlarının da belirlenmesi oldukça önemlidir.

Bu çalışmasında, fonksiyonel kademelendirilmiş dairesel plakaların düşük hızlı darbe davranışları sayısal ve deneysel olarak incelendi. Yapılan sayısal analizler bir sonlu elamanlar paket programı olan LS-DYNA ile gerçekleştirildi. Analizler farklı katman sayısı, malzeme kompozisyonu, vurucu hızları ve farklı plaka çapları (R/h) için tekrarlandı. Fonksiyonel kademelendirilmiş dairesel plaka kenarlarından ankastre bağlanmış ve seramik zengin yüzeyden merkezi çarpmaya maruz bırakılmıştır. Kompozisyonu kalınlık boyunca değişen dairesel plaka, seramik (SiC) ve metal (Al) fazlardan oluşmuştur. Seramik ve metal katmanlar arasında kalan fonksiyonel kademelendirilmiş bölgenin mekanik özelliklerinin plaka kalınlığı boyunca sürekli olarak bileşenlerin hacimsel oranlarındaki değişime bağlı olarak bir üstel kanuna göre değiştiği varsayılmıştır. Kademelendirilmiş bölgedeki lokal malzeme özelliklerinin hesaplanmasında mikromekanik model olarak Mori-Tanaka şeması kullanıldı. Elasto-plastik analizler için iki farklı bileşene sahip yapılarda bileşenlerin tek eksenli gerilme-şekil değiştirme değerlerini kullanarak kompozit malzemenin gerilme şekil değiştirme eğrisini veren TTO (Tamura-Tomota-Ozowa) model kullanıldı.

Deneysel çalışmada kullanılan fonksiyonel kademelendirilmiş dairesel plakalar Erciyes Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Kompozit Malzemeler Laboratuvarında katmanlama yöntemi ile beş farklı malzeme kompozisyonu için (n=0.1, n=0.5, n=1, n=5 ve n=10) üretildi. Numunelerin üretimi için seramik faz olarak 50 mikron boyutlarında Silisyum Karbür, metal faz olarakta 10 mikron boyutlarında Alüminyum tozlar kullanıldı. Üretilen numunelerin düşük hızlı çarpma testleri ise Mekanik Laboratuvarında bulunan CEAST marka düşük hızlı darbe test cihazında farklı malzeme kompozisyonları için üç farklı hızda (v=1, 1.5 ve 2 m/s) gerçekleştirildi. Elde edilen deneysel ve sayısal veriler mukayese edilerek sayısal model iyileştirilmeye çalışıldı.

Anahtar Kelimeler: Fonksiyonel kademelendirilmiş malzemeler (FGM); Düşük hızlı darbe, Elasto-plastik analiz; Sonlu elemanlar metodu.

ABSTRACT

Generally materials become in a unique form, thus, the material properties don't change inside. On the other hand, the material properties of structures made of functionally graded material (FGM) vary continuously in the macroscopic sense from one surface to the other surface. FGMs have special applications such as aerospace, nuclear and automobile industries. Therefore, it is important to determine the mechanical properties and material characterization of the functionally graded materials. FGMs are also used for ballistic purposes or percussive applications where the operating conditions are severe. Therefore, it is necessary to know the behaviours of FGMs under impact loadings.

In this study, the low speed impact behaviors of functionally graded circular plates were investigated numerically and experimentally. A finite element program LS-DYNA was used for the numerical analysis. The effects of layer number, material composition, impactor velocity and plate radius on the impact behaviour of FGM plates were investigated. Functionally graded circular plate was subjected to a central impact load on its ceramic surface for the clamped boundary condition. The mechanical properties of the material are assumed to vary continuously through the plate thickness between the metal (Al) and ceramic (SiC) layers according to a power-law distribution of the volume fraction of the constituents. The locally effective material properties were evaluated using homogenization method based on the Mori-Tanaka scheme. The TTO (Tamura-Tomota-Ozowa) model which relates the uniaxial stress and strain of a two-phase composite to the corresponding average uniaxial stresses and strains of the two constituent materials were used for the elasto-plastic analysis.

For the experimental studies, functionally graded circular plates with five different material compositions (n=0.1, 0.5, 1, 5 and 10) were manufactured with powder stacking-hot pressing method at the Composite Materials Laboratory in Erciyes University. SiC powder of 50 micron as ceramic phase and Al powder of 10 micron as metal phase were used in order to produce of FGM specimens. Low speed impact tests were carried out in the Mechanic Laboratory in Erciyes University by using CEAST drop-weight impact device. Experiments were carried out for three different impact velocities (v=1, 1.5 and 2 m/s). Experimental results were compared to numerical results in order to improve the numerical model.

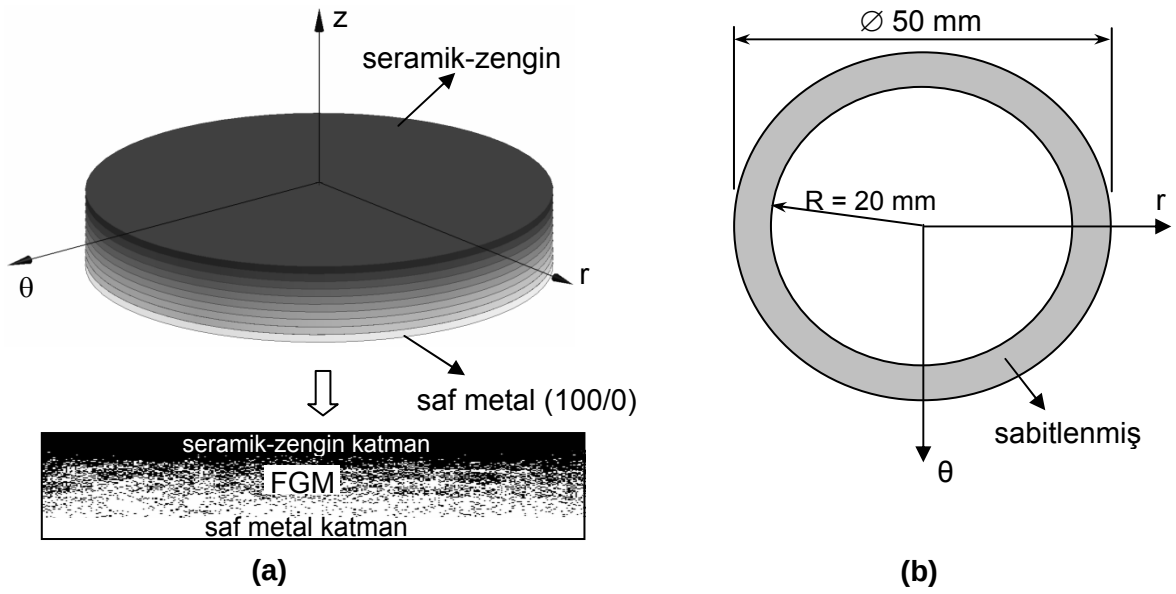
Keywords: Functionally graded materials (FGMs); Low velocity impact; Elasto-plastic analysis, Finite element method.

1.GİRİŞ

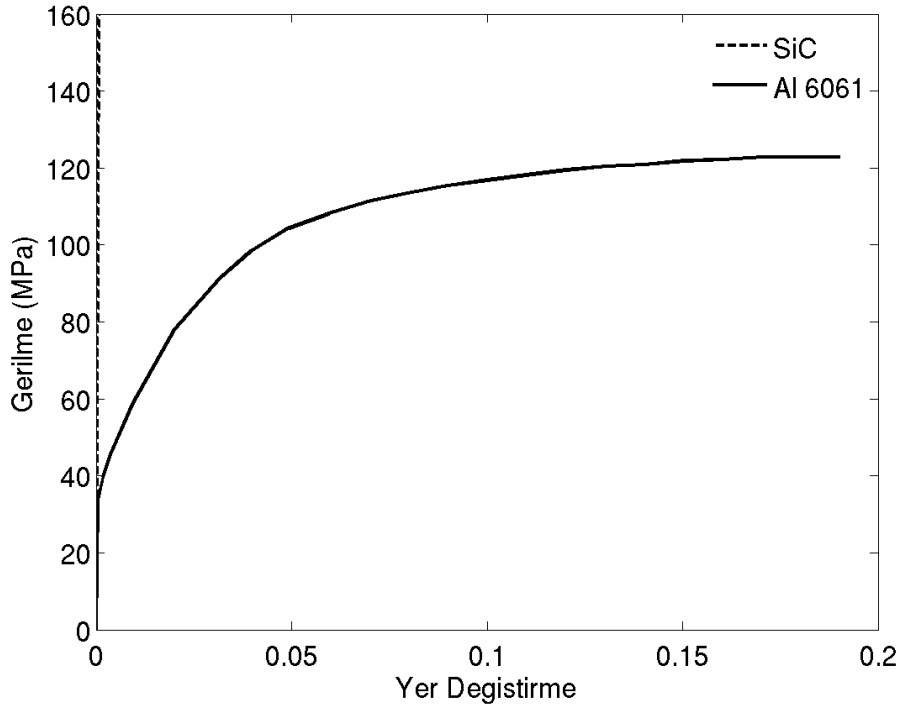
Fonksiyonel kademelendirilmiş plakaların düşük hızlı çarpma yükleri altındaki elasto-plastik davranışları sayısal ve deneysel olarak incelenmiştir. Çarpma enerjisi ve malzeme kompozisyonunun fonksiyonel kademelendirilmiş diresel plakaların çarmaya karşı cevabı üzerindeki etkisini anlayabilmek için ağırlık düşürme darbe cihazı kullanılarak bazı çarpma testleri yapılmıştır. Sayısal analizler LS-DYNA sonlu elemanlar yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Fonksiyonel kademelendirilmiş dairesel plakaların elasto-plastik davranılarını simüle edebilmek için TTO model, LS-DYNA kodu içine gömülmüştür. Elde edilen sayısal sonuçlar ile deneysel veriler mukayese edilmiştir.

2.GEREÇ VE YÖNTEM

Al/SiC fonksiyonel kademelendirilmiş dairesel plakaların (Şekil 1) düşük hızlı darbe analizleri LS-DYNA sonlu elemanlar programında yapıldı. TTO model gereğince alüminyum bileşenin elasto-plastik, seramik bileşenin ise lineer elastik olarak davrandığı kabul edildi. Şekil 2 metal (Al6061) ve seramik (SiC) fazların gerçek gerilme-şekil değiştirme eğrilerini göstermektedir. Metal fazın akma gerilmesi gerilme-şekil değiştirme eğrisinden kaydırma kuralı ile (%0.2 kaydırma) bulundu. Buna göre, alüminyumun akma gerilmesi 36 MPa ve akma şekil değiştirmesi ise 0.0006 olarak tespit edilmiştir. Alüminyum ve silisyum karbür için mekanik özellikler Tablo 1'de verilmiştir.



Şekil 1. (a) Fonksiyonel kademelendirilmiş dairesel plaka, (b) uygulanan sınır şartı.



Şekil 2. Al6061 ve SiC'ün gerçek gerilme-şekil değiştirme eğrileri.

Tablo 1. Alüminyum, Silisyum Karbürün mekanik özellikleri [5]

Malzeme	Young Modülü (GPa)	Poisson Oranı	Yoğunluk (kg/m^3)	Akma Gerilmesi (MPa)	Sertleşme Katsayısı, n_0
Alüminyum	67	0.33	2702	36	5.35
Silisyum Karbür	302	0.17	3100		

Plaka kalınlığı boyunca lokal malzeme özellikleri Mori-Tanaka şeması [1,2] kullanılarak hesaplandı. Al/SiC fonksiyonel kademelendirilmiş dairesel plakaların elasto-plastik davranışları ise TTO (Tamura-Tomota-Ozowa) modeli ile tanımlanmıştır.

İki fazlı fonksiyonel kademelendirilmiş bir plakada 1 indisi metal fazı, 2 indisi ise seramik fazı ifade etmektedir. Fonksiyonel kademelendirilmiş malzemenin lokal etkili hacim modülü K ve kayma modülü G Mori-Tanaka tarafından şu şekilde hesaplanır

$$\frac{K-K_2}{K_1-K_2}=\frac{V_1}{\left[1+(1-V_1)\frac{3(K_1-K_2)}{3K_2+4G_2}\right]} \tag{1}$$

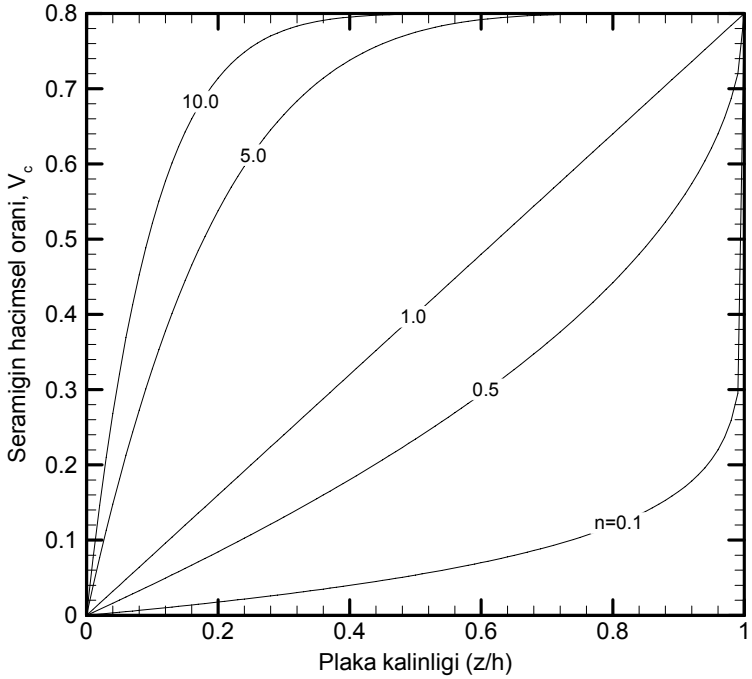
$$\frac{G-G_2}{G_1-G_2}=\frac{V_1}{\left[1+(1-V_1)\frac{(G_1-G_2)}{G_2+f_2}\right]} \tag{2}$$

$$f_2=\frac{G_2(9K_2+8G_2)}{6(K_2+2G_2)} \tag{3}$$

burada V faz malzemelerin hacimsel oranlarıdır ve $V_1+V_2 = 1$ ilişkisine sahip olup V_1 aşağıdaki gibi tanımlanır:

$$V_1(z)=\left(\frac{z}{h}\right)^n \tag{4}$$

burada n hacimsel oranı tarifleyen üstür. Şekil 3 plaka kalınlığı boyunca seramik bileşenin hacimsel oranındaki değişimi seramik-zengin üst yüzey ile saf metal alt yüzey arasında n = 0.1, 0.5, 1.0, 5.0 ve 10.0 için göstermektedir.



Şekil 3.Fonksiyonel kademelendirilmiş plakada çeşitli n değerleri için seramik fazın hacimsel oranındaki değişim.

Etkili Young modülü ve Poisson oranı ise aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$E = \frac{9KG}{3K + G} \tag{5}$$

ve

$$\upsilon = \frac{3K - 2G}{2(3K + G)} \tag{6}$$

Mori-Tanaka şeması malzeme yoğunluğunu hesaplayamaz. Fonksiyonel kademelendirilmiş malzemenin her bir katmanının yoğunluğu aşağıdaki lineer karışım kuralıyla hesaplanabilir:

$$\rho = V_1\rho_1 + V_2\rho_2 \tag{7}$$

Metal/seramik fonksiyonel kademelendirilmiş malzemelerin elasto-plastik davranışları ilk olarak Tamura ve arkadaşları [3] tarafından kullanılan ve daha sonra Williamson ve arkadaşları [4] tarafından fonksiyonel kademelendirilmiş malzemelere adapte edilen bir ortalama karışım yasası olan TTO model ile tanımlandı. TTO modele göre iki fazlı yapıya sahip fonksiyonel kademelendirilmiş malzemenin herbir katmanı izotropik olarak davranır ve kompozitin tek eksenli gerilme σ ve şekil değiştirme ε davranışı bileşen fazların tek eksenli gerilme şekil değiştirme davranışlarının ortalamasıyla ilişkilidir:

$$\sigma = V_1\sigma_1 + V_2\sigma_2 \quad , \quad \varepsilon = V_1\varepsilon_1 + V_2\varepsilon_2 \tag{8}$$

burada σ_i ve ε_i (i = 1, 2) bileşen fazların sırasıyla ortalama gerilme ve şekil değiştirme değerleridir, ve V_i (i = 1, 2) ise hacimsel oranlardır. TTO modelde q parametresi ise şu şekilde kullanılır:

$$q = \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{|\varepsilon_1 - \varepsilon_2|}, \qquad 0 < q < \infty \tag{9}$$

burada q iki faz arasındaki gerilme-şekil değiştirme transfer oranıdır. q parametresi sisteme bağlı olarak sıfır ile sonsuz arasında değer alabilir. Örneğin, q=0 iken bileşen elemanlar eşit gerilme dağılımına sahipken, q= +∞ olduğunda ise eşit şekil değişimi dağılımına sahip olurlar. q'nun uygun değerinin seçimi ana malzemenin tipine bağlı olması sebebiyle, nümerik veya deneysel olarak bulunmalıdır. Al/SiC için q'nun değeri araştırmacılar tarafından [5]

deneysel olarak 91.6 GPa bulunmuştur ve bu değer çalışmamızda Al/SiC fonksiyonel kademelendirilmiş plakanın katmanlarının gerilme-şekil değiştirme (σ-ε) eğrilerinin hesaplanmasında kullanılmıştır. Seramik/metal fonksiyonel kademelendirilmiş kompozitlerin plastik deformasyonları için TTO model, metal bileşen aktığında kompozitinde aktığını varsayar. Buna göre, kompozitin akma gerilmesi σ_Y aşağıdaki gibidir:

$$\sigma_Y(V_2) = \sigma_0\left[V_2 + \frac{q+E_2}{q+E_1}\frac{E_1}{E_2}(1-V_2)\right] \tag{10}$$

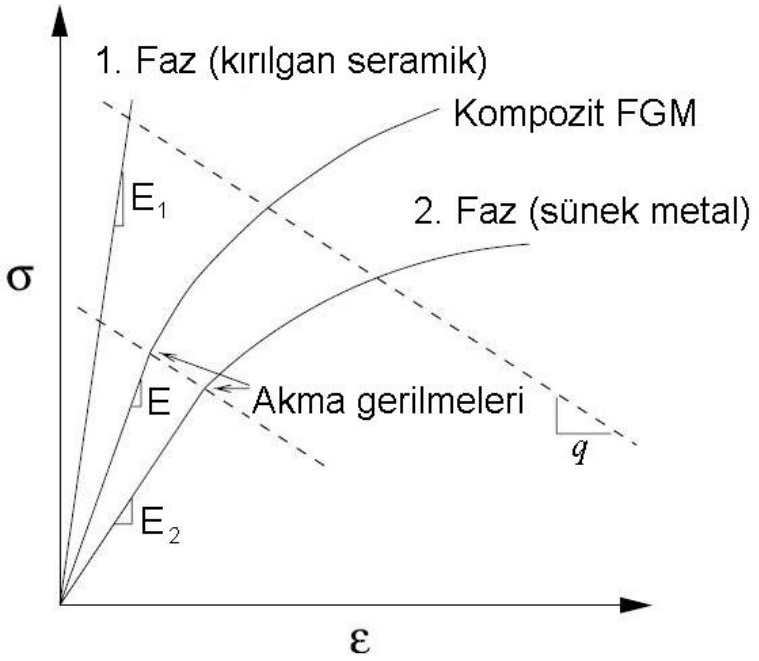
burada σ_0 metal fazın akma gerilmesidir. Yukarıdaki denklemden de görülebileceği gibi kompozitin akma gerilmesi metalin akma gerilmesi, metalin hacimsel oranı, bileşen fazların Elastiklik modülleri, ve q parametresine bağlıdır. Aşağıdaki parametrik denklemler kullanılarak kompozit için gerilme-şekil değişrme (σ-ε) eğrisi hesaplanır.

$$\begin{aligned}\frac{\varepsilon}{\varepsilon_Y} &= \frac{V_1 E}{q+E_1}\frac{\sigma_2}{\sigma_Y} + \frac{(q+V_2E_1)E}{(q+E_1)E_2}\frac{\sigma_0}{\sigma_Y}\left(\frac{\sigma_2}{\sigma_0}\right)^{n_0} \\ \frac{\sigma}{\sigma_Y} &= \frac{V_2 q+E_1}{q+E_1}\frac{\sigma_2}{\sigma_Y} + \frac{V_1 qE_1}{(q+E_1)E_2}\frac{\sigma_0}{\sigma_Y}\left(\frac{\sigma_2}{\sigma_0}\right)^{n_0}\end{aligned} \tag{11}$$

burada $\varepsilon_Y = \frac{\sigma_Y}{E}$ kompozitin akma şekil değiştirme değeri, n_0 ise metalin sertleşme katsayısıdır. Aşağıdaki denkleme en küçük kareler metodu uygulanarak n_0 değeri hesaplanır.

$$\varepsilon_2 = \varepsilon_0\left(\frac{\sigma_2}{\sigma_0}\right)^{n_0} \tag{12}$$

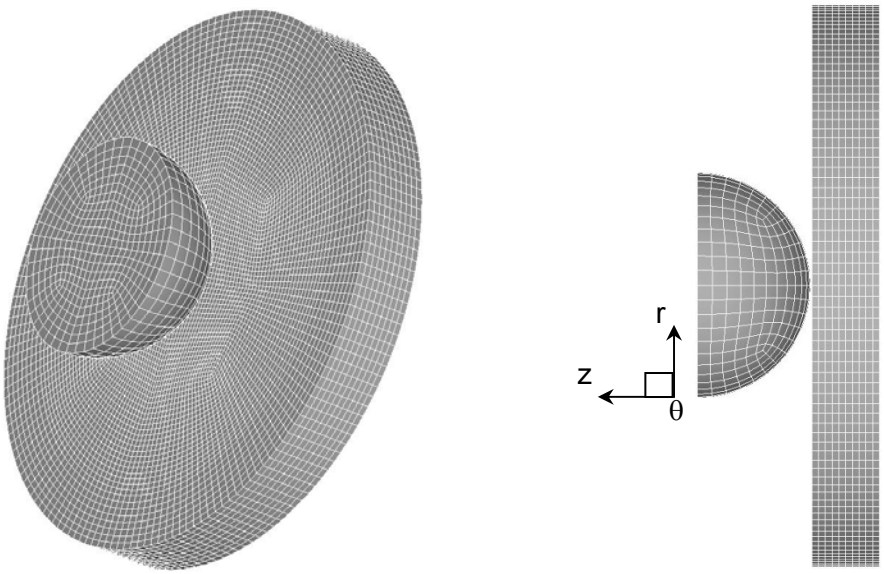
Burada $\varepsilon_0 = \frac{\sigma_0}{E_2}$ metalin akma şekil değiştirme değeridir. Şekil 4 kompozitin TTO model tarafından hesaplanan gerilme-şekil değiştirme eğrisini şematik olarak göstermektedir.



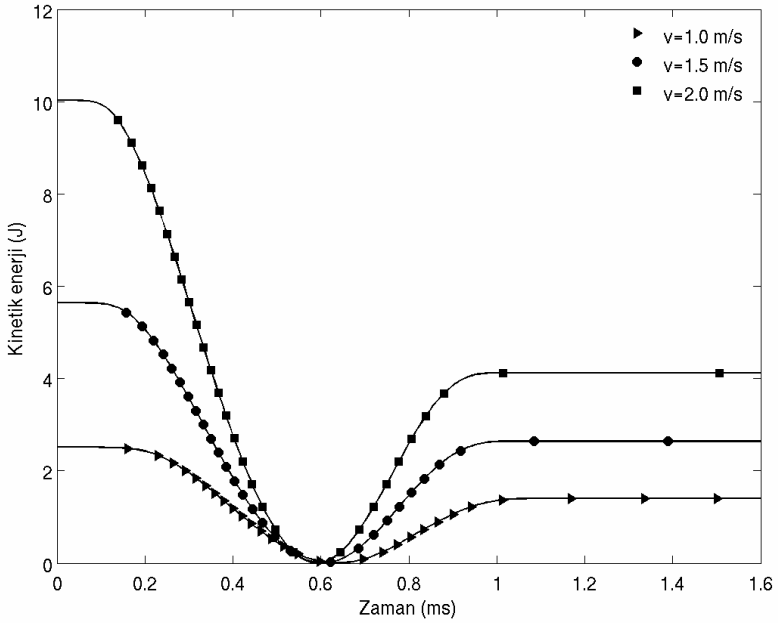
Şekil 4. TTO modelin şematik gerilme-şekil değiştirme eğrisi [6,7].

Düşük hızlı çarpma analizleri explicit sonlu elemanlar kodu LS-DYNA [8] kullanılarak yapıldı. Fonksiyonel kademelendirilmiş malzemeler için bir elasto-plastik model kod içine gömüldü. Çarpışma esnasındaki dinamik temas kuvvetlerinin hesaplanabilmesi için vurucu ve fonksiyonel kademelendirilmiş dairesel plakanın seramik-zengin üst yüzeyi arasında surface-to-surface temas modeli kullanıldı. Vurucu ve fonksiyonel kademelendirilmiş plakalar 8 düğüm noktalı katı eleman kullanılarak modellendi. Deneysel sınır şartları dikkate alınarak, dairesel plakanın alt ve üst yüzeylerinde merkezden 20 mm yarıçap dışındaki tüm düğüm noktaları x, y z yönlerinde sabitlenmiştir. (Şekil 1b). Dairesel plakalar, kalınlığı boyunca 10 elemana bölünmüş ve herbir eleman bir katmanı temsil etmektedir. Yapılan seri analizler, artan mesh yoğunluğunun sonlu elemanlar çözümünde hesaplama süresini önemli ölçüde artırdığını buna karşın çözüm hassasiyeti üzerinde önemli bir etkisinin olmadığını göstermiştir. Bu nedenle, vurucu ve plaka için Şekil 5'de gösterilen sonlu eleman meshi kullanılmıştır. Tüm simülasyonlar 8 işlemcili 2.5GHz, 32GB RAM kapasiteli iş istasyonunda yapılmıştır. Analizler için üç farklı vurucu hızı (v = 1.0, 1.5, ve 2.0 m/s) kullanılmıştır. Bununla birlikte malzeme kompozisyonunun (n) Al/SiC fonksiyonel kademelendirilmiş dairesel plakaların düşük hızlı darbe davranışları üzerindeki etkisini görebilmek için analizler n = 0.1, 0.5, 1.0, 5.0 ve 10.0 için tekrarlanmıştır.

Şekil 6'da vurucu hızları v = 1.0, 1.5 ve 2.0 m/s için vurucunun kinetik enerji historileri görülmektedir (n = 1.0). Artan vurucu hızı ile kinetik enerji artmakta ve temas süresi azalmaktadır. Ayrıca, vurucu hızları 1.0, 1.5 ve 2.0 m/s için sırasıyla vurucu kinetik enerjilerinin %10, %27 ve %44 lik kısımları fonksiyonel kademelendirilmiş dairesel plaka tarafından plastik deformasyon olarak absorbe edilmiştir. Absorbe edilen enerji artan vurucu hızıyla önemli oranda artmaktadır.



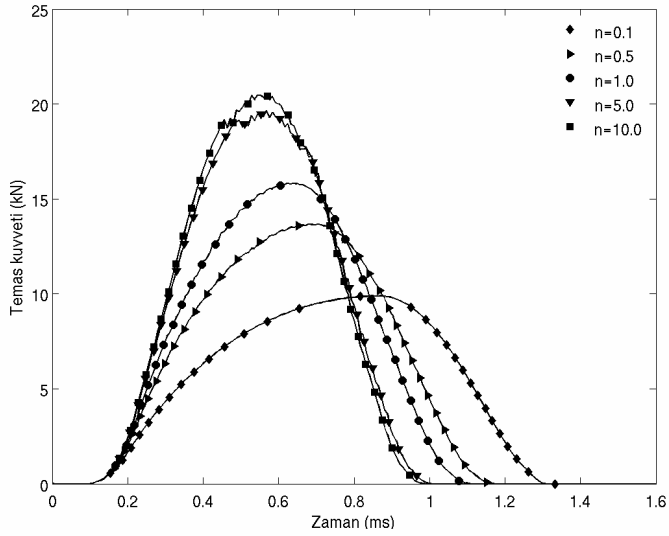
Şekil 5. Fonksiyonel kademelendirilmiş dairesel plakanın ve yarı küresel vurucunun sonlu eleman modeli.



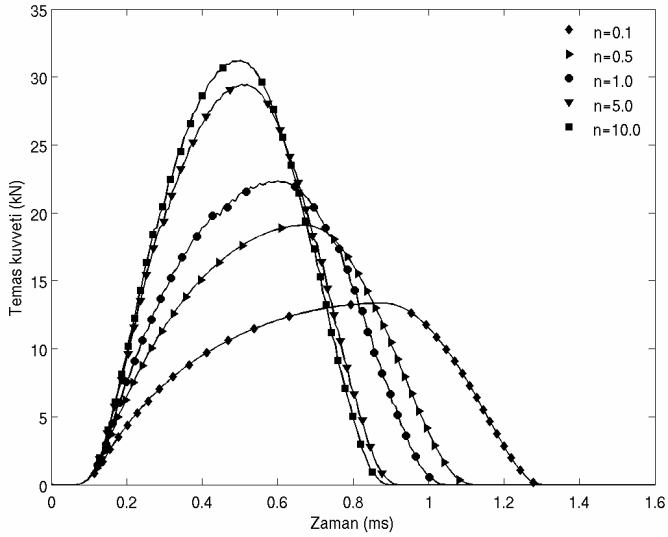
Şekil 6. Farklı vurucu hızları için kinetik enerji historisi (n = 1.0)

Şekil 7'de farklı vurucu hızlarında (v = 1.0, 1.5 ve 2.0 m/s) kompozisyonel gradyantın (n = 0.1, 0.5, 1.0, 5.0 ve 10.0) temas kuvveti historisine etkisi görülmektedir. Artan kompozisyonel gradyant ile temas kuvveti artmakta ve temas süreleride kısalmaktadır. Ayrıca plaka kalınlığı boyunca malzeme kompozisyonu seramik-zengin (n = 10.0) bir yapıdan metal-zengin (n = 0.1) bir yapıya değiştikçe temas kuvvetinin eğimi dikkate değer ölçüde azalmaktadır. Bunun nedeni, azalan malzeme kompozisyonu ile plaka metal-zengin bir yapıya kavuşmakta ve TTO model gereğincede plastik deformasyon için daha fazla şekil değiştirme enerjisini absorbe edebilmektedir. Yine artan vurucu hızı ile temas kuvveti artmakta ve temas süresinin ise azaldığı görülmektedir.

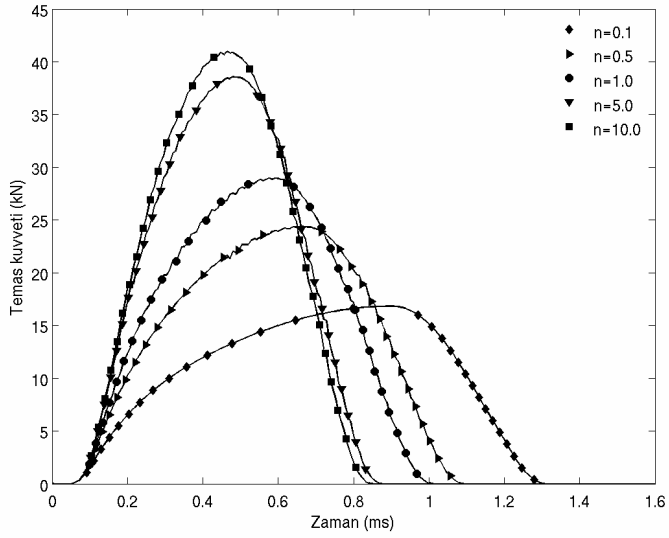
a)



b)

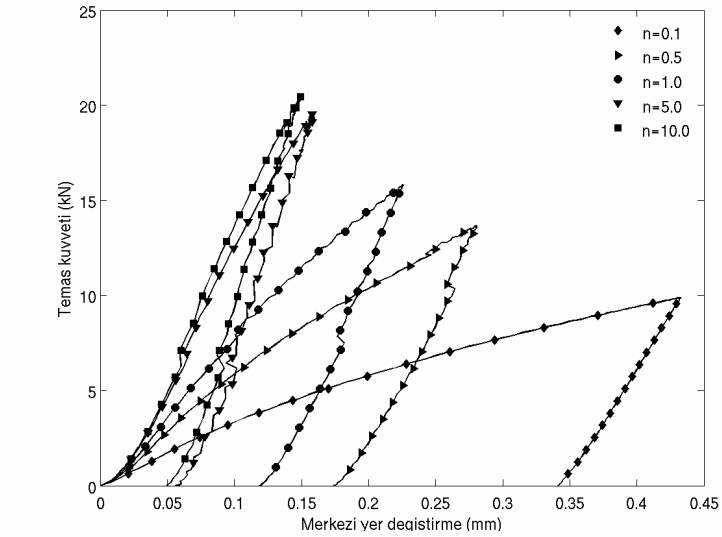


c)

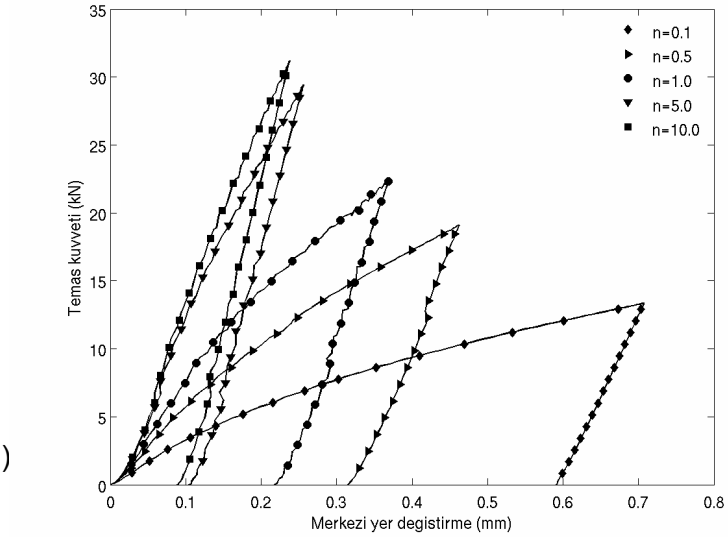


Şekil 7. Kompozisyonel gradyantın (n) fonksiyonel kademelendirilmiş dairesel plakanın temas kuvveti historisine etkisi a) v= 1.0 m/s, b) v = 1.5 m/s ve c) v = 2.0 m/s.

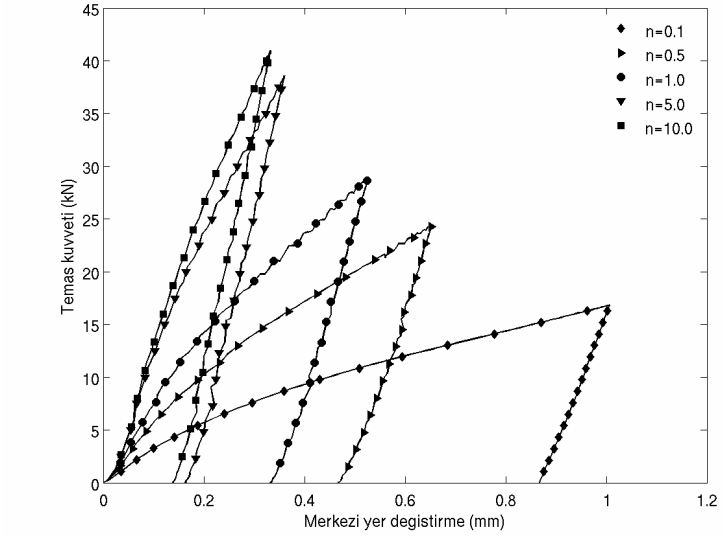
a)



b)



c)



Şekil 8. Fonksiyonel kademelendirilmiş dairesel plakada kompozisyonel gradyantın temas kuvveti-yerdeğiştirme ilişkisi üzerine etkisi a) v= 1.0 m/s, b) v = 1.5 m/s ve c) v = 2.0 m/s.

Şekil 8'de kompozisyonel gradyantın (n = 0.1, 0.5, 1.0, 5.0 ve 10.0) üç farklı vurucu hızında (v = 1.0, 1.5 ve 2.0 m/s) temas kuvveti-yerdeğiştirme ilişkileri görülmektedir. Burada malzeme kompozisyonunun seramik-zenginden metal-zengine değişmesiyle fonksiyonel kademelendirilmiş dairesel plakanın rijitliği azalmakta, bu durum plakada oluşan kalıcı deformasyon değerinin artmasıyla sonuçlanmaktadır. Artan vurucu hızı ile de hem temas kuvvetlerinin hemde kalıcı deformasyon miktarlarının arttığı gözlemlenmiştir.

3.DENEYSEL ALTYAPI

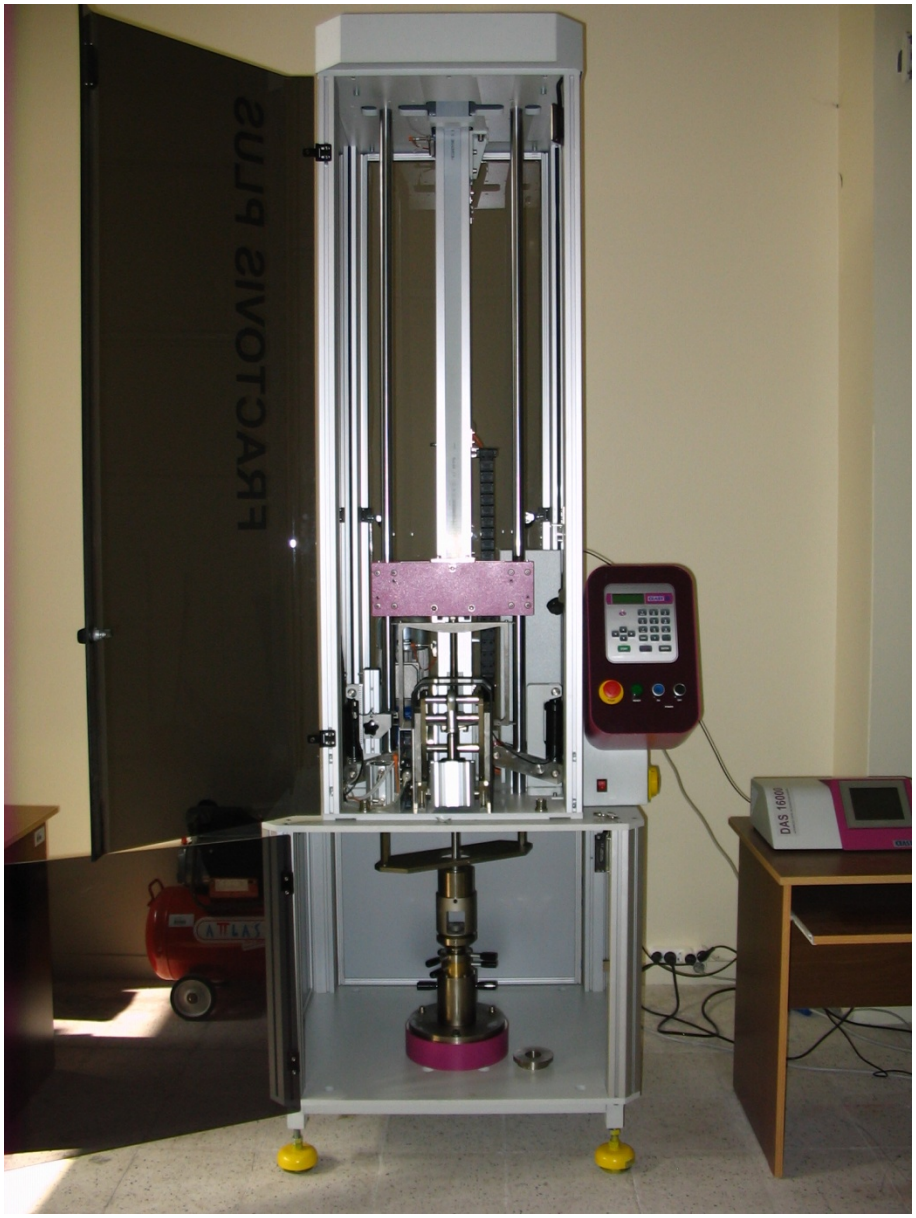
Düşük hızlı çarpma yüklerine maruz Al/SiC fonksiyonel kademelendirilmiş dairesel plakaların elasto-plastik cevapları konusunda deneysel bir inceleme de yapılmıştır. Deneyler 10 mikron Alüminyum (Al6061) tozu ve 50 mikron Silisyum Karbür (SiC) tozlarının belirli hacimsel oranlarda karıştırılmasıyla üretilen dairesel numuneler kullanılarak yapılmıştır. Kalınlıkları boyunca 10 katmanlı olarak üretildilen fonksiyonel kademelendirilmiş dairesel numunelerin seramik bileşeni, kompozisyonel gradyantın (n) alacağı değere bağlı olarak kalınlık boyunca % 0'dan %80'e kadar lineer (n=1) ve nonlineer (n≠1) olarak değişmektedir. Buna göre, en alt katman saf metal iken en üst katman %20 metal, %80 seramik içermektedir (Şekil 1). Fonksiyonel kademelendirilmiş plakalar beş farklı malzeme kompozisyonunda hazırlanmış olup, Şekil 3'de metal alt yüzey (100/0) ile seramik-zengin üst yüzey (20/80) arasında plakanın kalınlığı boyunca n = 0.1, 0.5, 1.0, 5.0 ve 10.0 için seramiğin hacimsel oranındaki değişim görülmektedir. Al/SiC fonksiyonel kademelendirilmiş dairesel numuneler 50 mm çapında ve 6 mm kalınlığında olup her bir katman yaklaşık olarak 0.6 mm kalınlığa sahip olacak şekilde tasarlanmıştır.



Şekil 9. Fonksiyonel kademelendirilmiş dairesel plakalar

Tüm numuneler toz istifleme-sıcak presleme yöntemiyle üretildi. İyi bir mekanik alaşımlama elde etmek için Alüminyum ve Silisyum Karbür tozları belirlenmiş farklı oranlarda 5 saat süreyle özel olarak tasarlanmış bir karıştırıcıda karıştırıldı. Gerekli miktarda karıştırılmış Al

ve SiC tozları tartılarak sıcak iş çeliğinden üretilmiş olan dairesel bir kalıbın içerisine transfer edildi ve kalınlığı doğrultusunda 1 dakika süreyle 70 MPa basınca maruz bırakıldı ve daha sonra basınç kaldırıldı, böylece ilk katman oluşturulmuş oldu. Daha sonra diğer katmanlar içinde bu işlemler tekrarlandı. Herbir katmanın kalınlığınn aynı olması sağlandı. Kalıp içinde soğuk olarak sıkıştırılmış numune daha sonra 100MPa basınç altında 640-650 °C'de 1 saat süreyle sinterlendi. Sinterleme işlemi koruyucu Argon gazı atmosferinde yapıldı. Daha sonra numunelerin çarpılmalarını önlemek amacıyla basınç altında kontrollü olarak soğutularak kalıptan çıkarıldılar (Şekil 9).

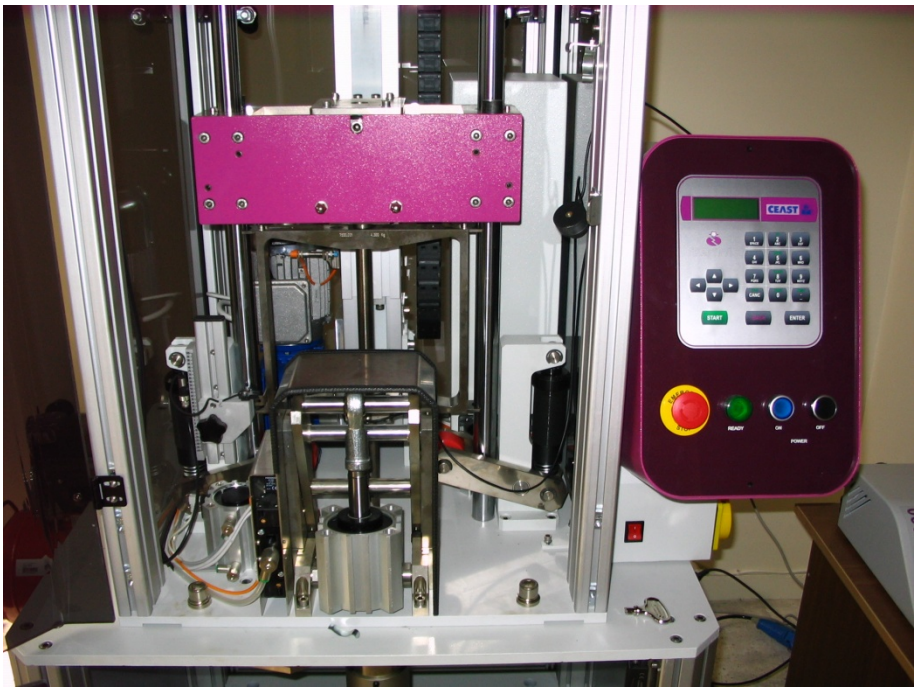


Şekil 10. CEAST Fractovis ağırlık düşürme darbe cihazı

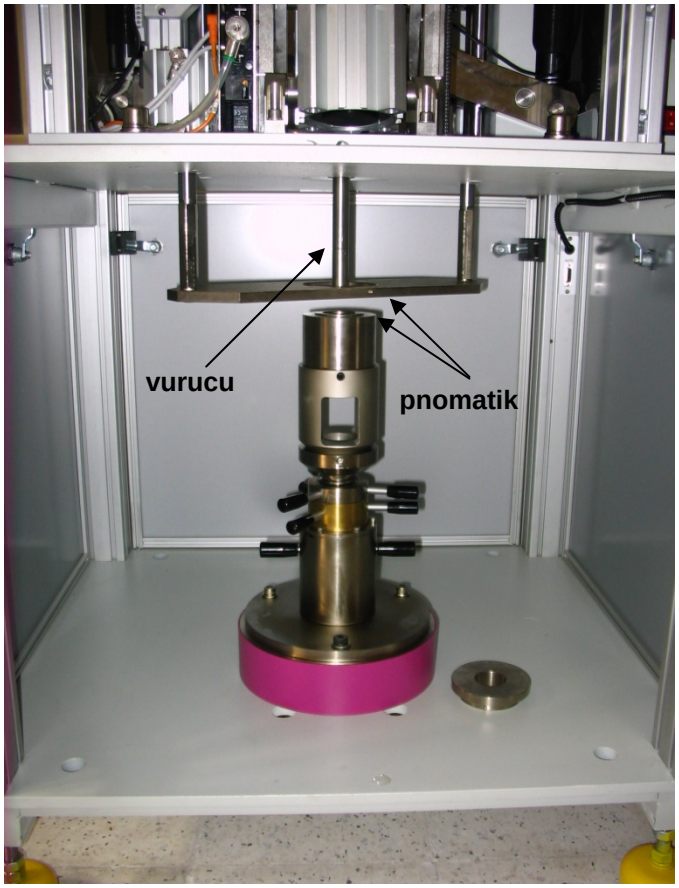
Fonksiyonel kademelendirilmiş plakalara (n = 0.1, 0.5, 1.0, 5.0 ve 10.0) sırasıyla v = 1.0, 1.5 ve 2.0 m/s çarpma hızlarına tekabül eden 2.52, 5.67 ve 10.09 Joule çarpma enerjilerinde testler yapıldı. Çarpma enerjileri vurucunun düşürülme yüksekliği değiştirilerek ayarlandı. Deneyler için CEAST Fractovis ağırlık düşürme test cihazı kullanıldı (Şekil 10). Numuneler seramik zengin yüzeyinden çarpmaya maruz bırakıldı ve vurucunun tekralı çarpmasını önlemek için anti-rebound sistem (Şekil 11) kullanıldı. Vurucu yarıçapı 20 mm olan yarıküresel bir geometriye sahip olup 40 kN kapasiteli bir kuvvet transdüserüne bağlıdır ve toplam kütlesi ise 5.045 kg'dır. 50 mm çapında olan fonksiyonel kademelendirilmiş dairesel numuneler, iç çapı 40 mm olan dairesel bir destek tarafından pnomatik bir sistem ile tutulmaktadır (Şekil 12). Çarpma testleriyle elde edilen veriler bir veri toplama sistemi yardımıyla (DAS16000) alınmakta ve VisualIMPACT programı ile yük trandüserinden gelen yük historisinden zamana bağlı hız, yer değiştirme ve absorbe edilen enerji değerleri hesaplanmaktadır.

4.SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Çarpma testleri beş farklı malzeme kompozisyonuna (n= 0.1, 0.5, 1.0, 5.0 ve 10.0) üç farklı çarpma hızında (v = 1.0, 1.5 ve 2 m/s) yapıldı.



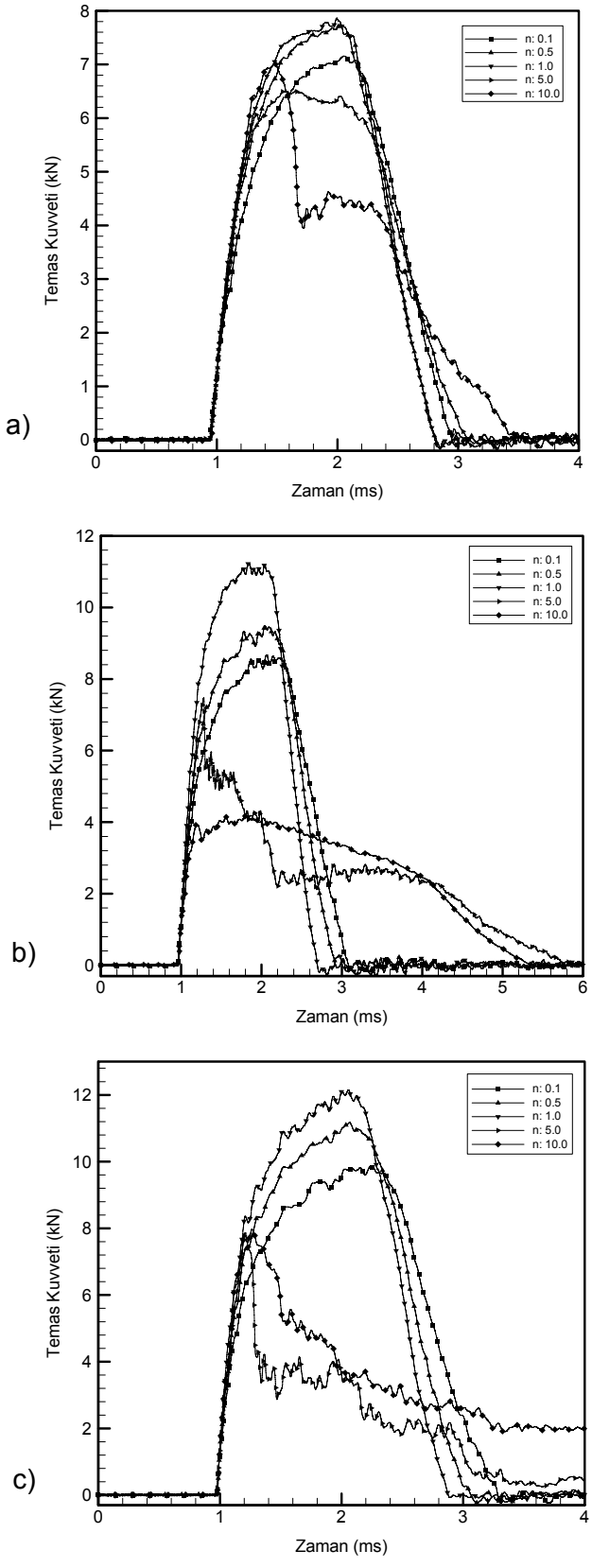
Şekil 11. Anti-rebound sistem



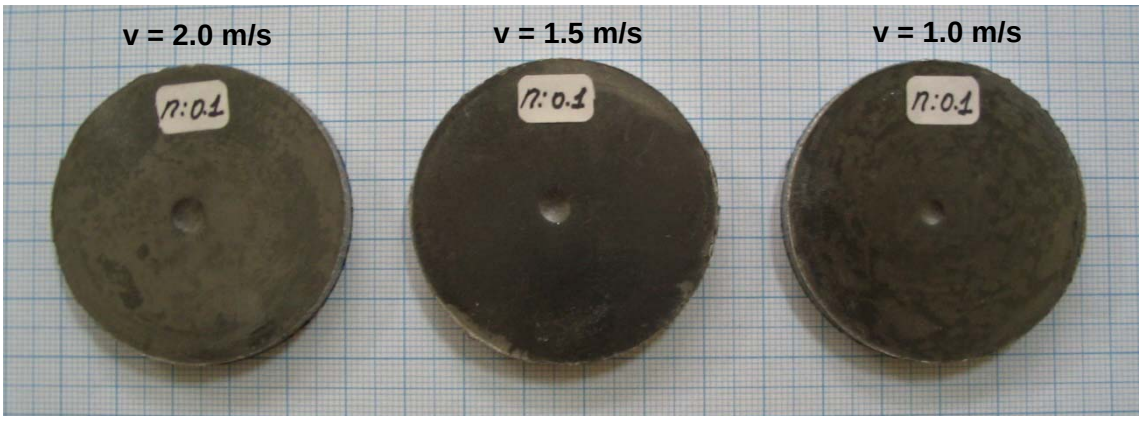
Şekil 12. Çarpma cihazı numune bağlantı aparatı

Şekil 13'de deneysel olarak, farklı vurucu hızlarında (v = 1.0, 1.5 ve 2 m/s) fonksiyonel kademelendirilmiş plaka kalınlığı boyunca kompozisyonel gradyantın (n = 0.1, 0.5, 1.0, 5.0 ve 10.0) temas kuvveti historisine etkisi görülmektedir. Tüm hızlarda malzeme kompozisyonu metal-zengin (n = 0.1) bir yapıdan lineer (n = 1.0) bir yapıya doğru gittikçe temas kuvvetinin arttığı, buna karşın lineer (n = 1.0) bir yapıdan seramik-zengin (n = 10.0) bir yapıya doğru değişen malzeme kompozisyonlarında ise meydana gelen hasar nedeniyle temas kuvvetlerinin azaldığı görülmektedir. Kompozisyonel gradyant değeri arttıkça (n > 1.0) daha kırılgan bir yapıya kavuşan plakaların çarpma yükleri altında hasara uğradıkları görülmüştür. Hasarın oluşmadığı plakalarda, artan kompozisyonel gradyant değeri ile daha rijit yapıya kavuşan plakalar ve vurucu arasındaki temas süresinin ise azaldığı da görülmektedir.

Şekil 14'te metal-zengin malzeme kompozisyonuna (n = 0.1) sahip Al/SiC fonksiyonel kademelendirilmiş dairesel plakalarda vurucu hızına bağlı olarak artan temas kuvveti nedeniyle fonksiyonel kademelendirilmiş plakada oluşan plastik deformasyonun da arttığı görülmektedir.

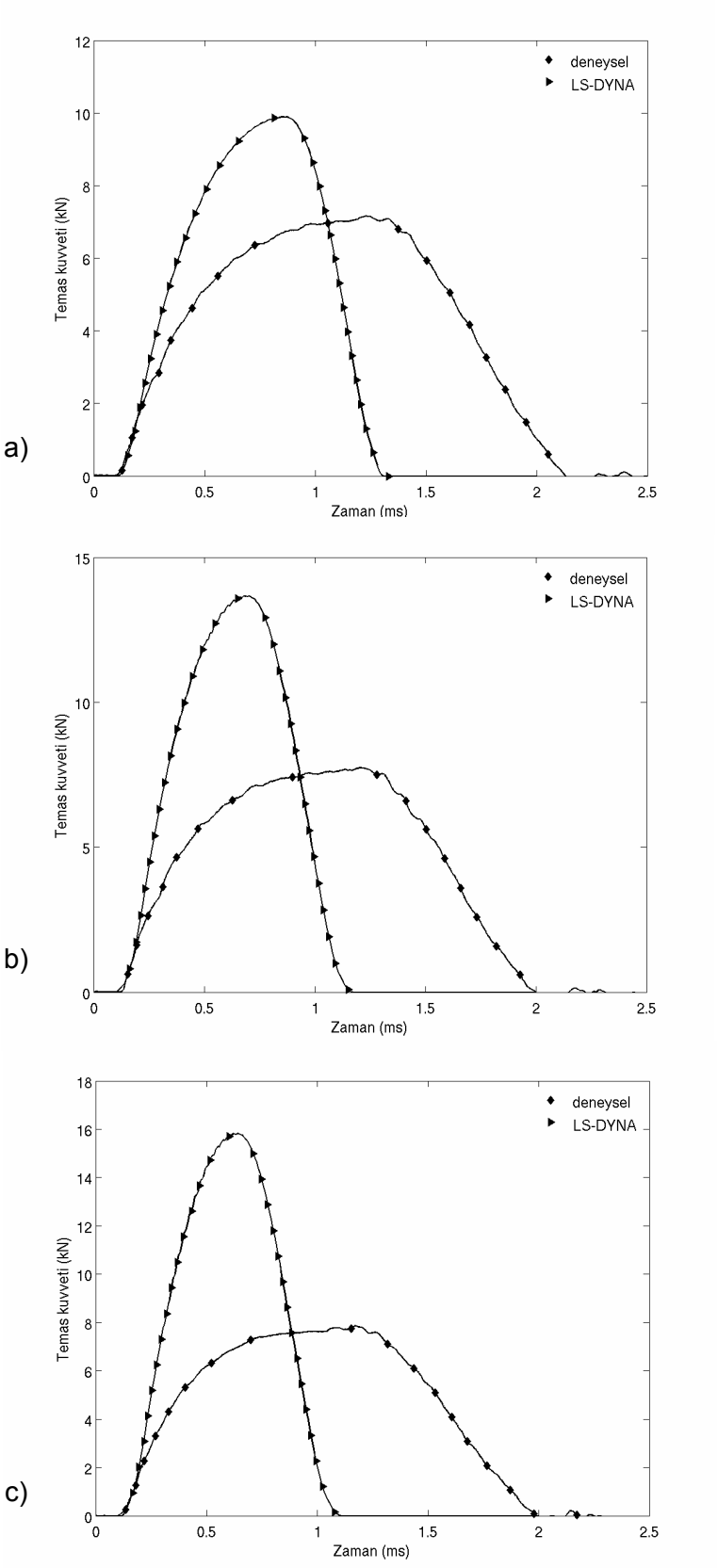


Şekil 13. Fonksiyonel kademelendirilmiş dairesel plakaların kalınlıkları boyunca malzeme kompozisyonunun ve vurucu hızının temas kuvveti değişimine etkisi a) v=1m/s, b) v=1.5m/s, ve c) v=2m/s. (vurucu kütlesi=5.045kg)



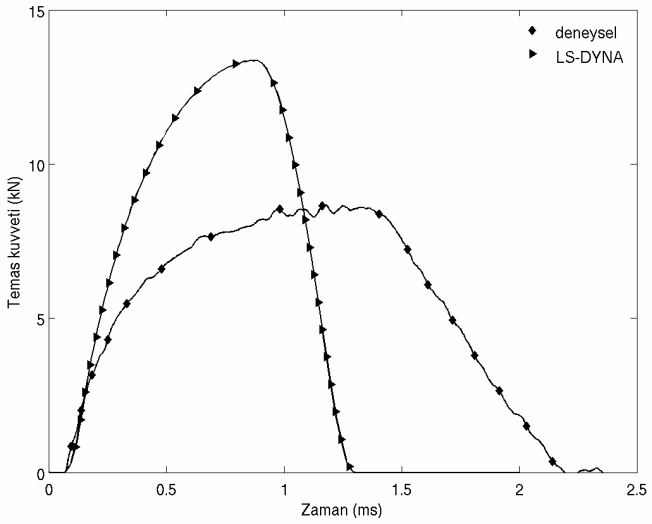
Şekil 14. Vurucu hızının plastik deformasyona etkisi (n = 0.1)

Şekil 15-17'da hasarın oluşmadığı malzeme kompozisyonları için (n = 0.1, 0.5 ve 1.0) üç farklı vurucu hızında (v = 1.0, 1.5 ve 2.0 m/s) gerçekleştirilen deneysel çarpma testleri ile aynı şartlardaki sayısal analizlerden elde edilmiş olan temas kuvvetlerinin zamana göre değişimleri görülmektedir. Sayısal analizler için de alt yüzeyi %100 Al, üst yüzeyi %20 Al-%80 SiC olacak şekilde toplam 10 katman olarak modellenen Al/SiC fonksiyonel kademelendirilmiş dairesel plaka 6 mm kalınlığa sahiptir ve vurucu ise rijit olarak modellenmiştir. Deneysel çalışmadaki sınır şartlarına uygun olarak sayısal analizlerde de 50 mm çapındaki dairesel plakanın kenarlarından 5 mm mesafeden alt ve üst yüzeyler her yönde sabitlenmiştir. Sonuçlar göstermektedir ki, yapılan elasto-plastik analizlerde toplam çarpma süresi deneysel sonuçlara kıyasla daha kısa buna karşın temas kuvveti değerleri ise daha yüksektir. Söz konusu bu farkın temel nedeni olarak sayısal model daha katı davranırken, üretilen deney numunelerinin çarpma yüklerine karşı gereken mukavemeti tam anlamıyla gösterememeleri söylenebilir. Burada laboratuvar şartları dahilinde numunelerin üretimi için seçilen üretim tekniği önemli bir parametredir. Henüz literatürde böyle bir çalışmaya rastlanılmamış olması nedeniyle elde edilen sonuçların ileriki çalışmalar için önemli bir basamak teşkil edeceği düşünülmektedir.

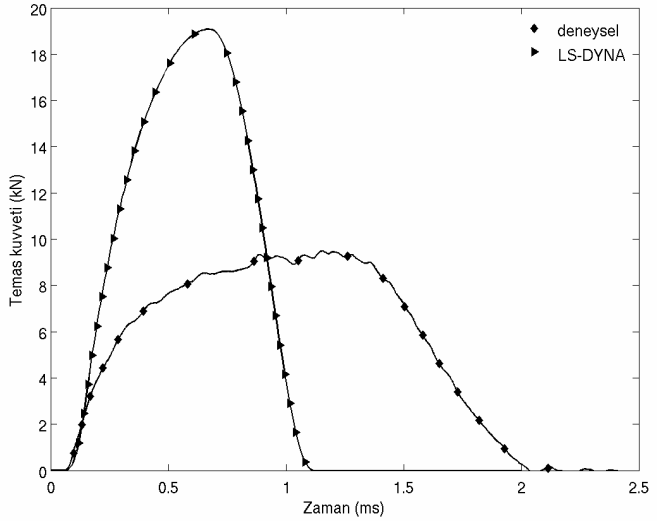


Şekil 15. Fonksiyonel kademelendirilmiş dairesel plakalarda sayısal ve deneysel temas kuvvetlerinin zamana göre değişimi a) n = 0.1, b) n = 0.5, c) n = 1.0 (v = 1 m/s)

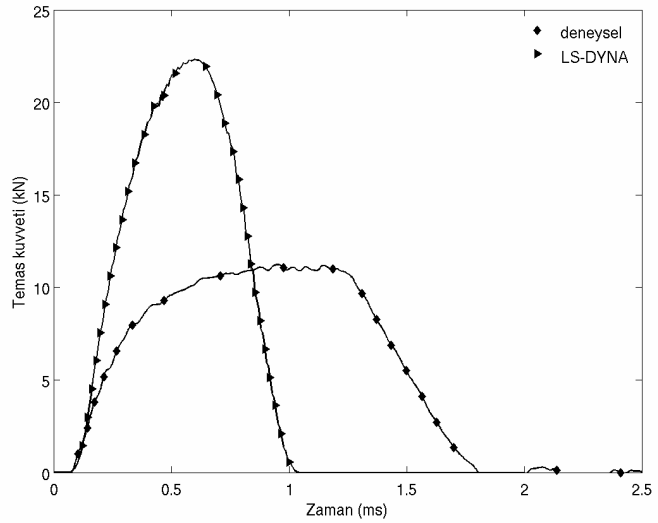
a)



b)

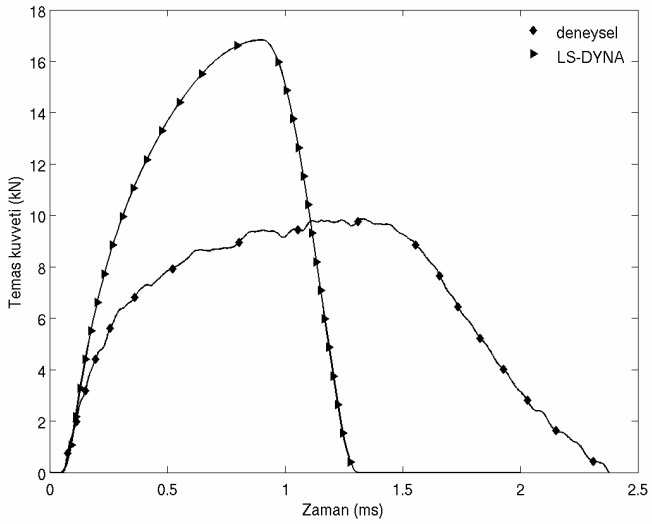


c)

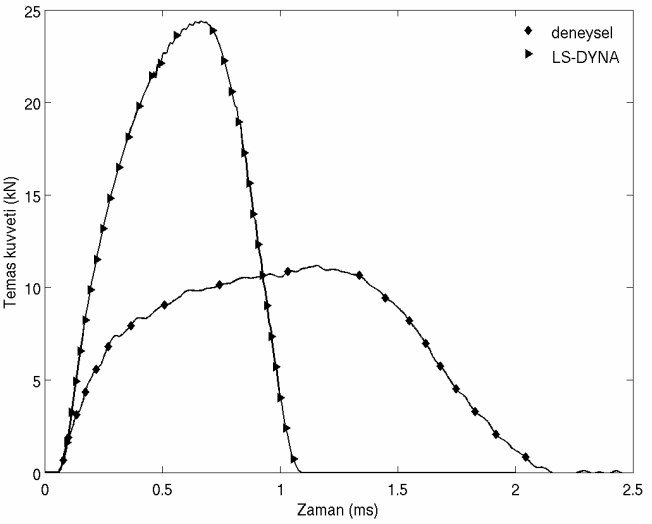


Şekil 16. Fonksiyonel kademelendirilmiş dairesel plakalarda sayısal ve deneysel temas kuvvetlerinin zamana göre değişimi a) n = 0.1, b) n = 0.5, c) n = 1.0 (v = 1.5 m/s)

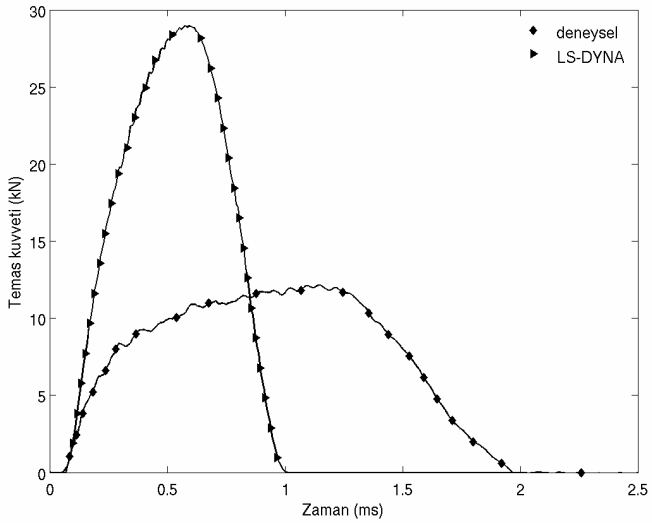
a)



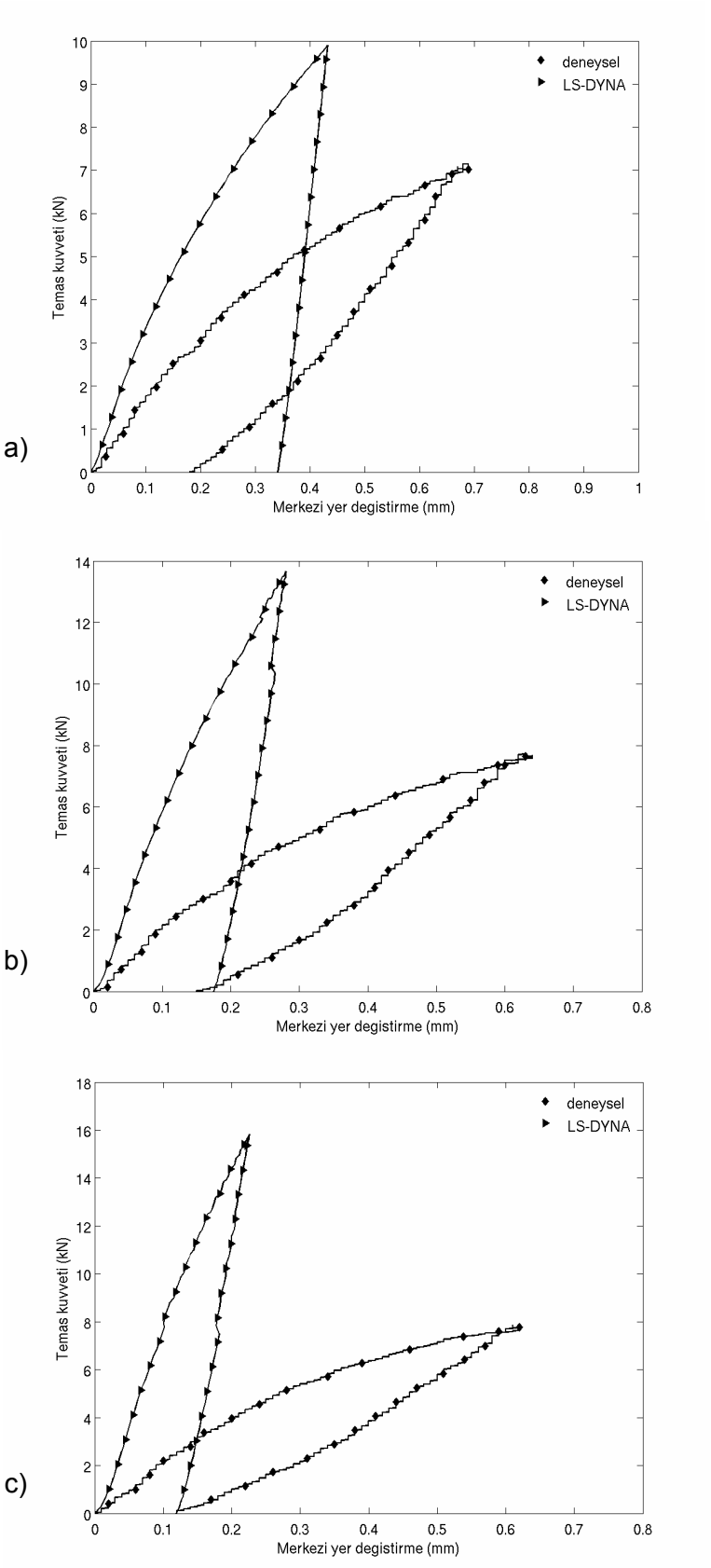
b)



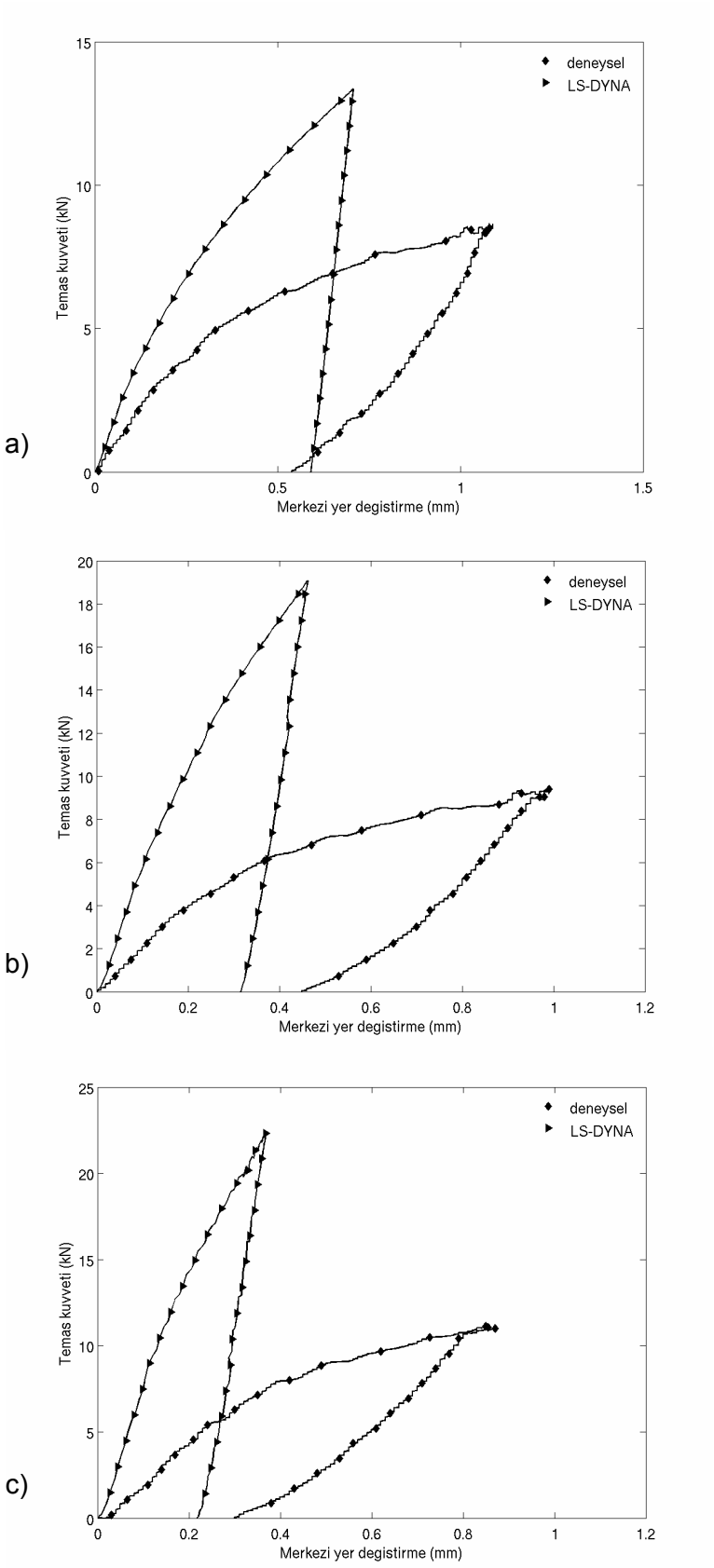
c)



Şekil 17. Fonksiyonel kademelendirilmiş dairesel plakalarda sayısal ve deneysel temas kuvvetlerinin zamana göre değişimi a) n = 0.1, b) n = 0.5, c) n = 1.0 (v = 2 m/s)

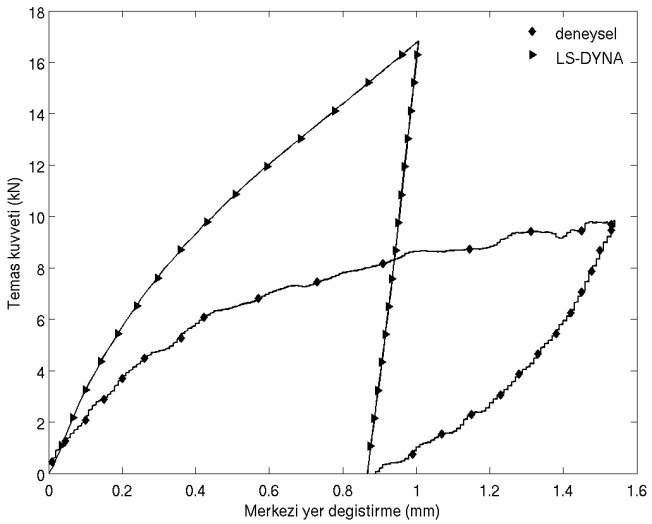


Şekil 18. Sayısal ve deneysel temas kuvveti-yerdeğiştirme ilişkisi a) n = 0.1, b) n = 0.5, c) n = 1.0 (v = 1 m/s)

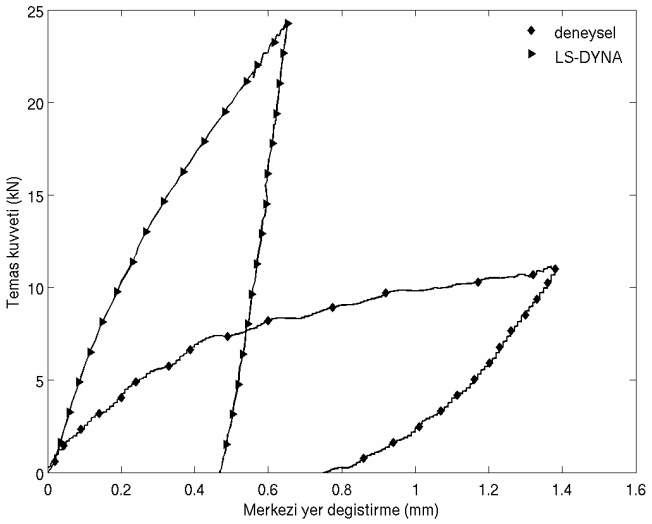


Şekil 19. Sayısal ve deneysel temas kuvveti-yerdeğiştirme ilişkisi a) n = 0.1, b) n = 0.5, c) n = 1.0 (v = 1.5 m/s)

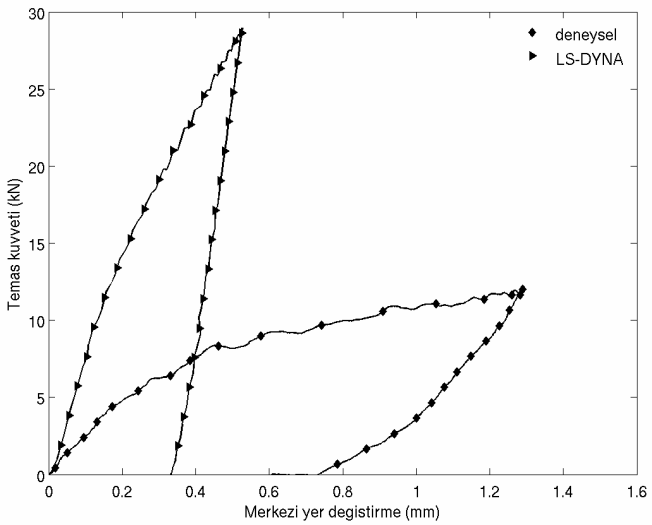
a)



b)



c)



Şekil 20. Sayısal ve deneysel temas kuvveti-yerdeğiştirme ilişkisi a) n = 0.1, b) n = 0.5, c) n = 1.0 (v = 2.0 m/s)

Şekil 18-20 sayısal ve deysel olarak elde edilmiş temas kuvveti-yer değiştirme ilişkileri görülmektedir. Artan vurucu hızı ile temas kuvveti ve yer değiştirme değerleri artmaktadır. Tüm vurucu hızlarında (v = 1.0, 1.5 ve 2.0 m/s) kompozisyonel gradyant (n) arttıkça merkezi yer değiştirme değeri azalırken temas kuvveti değerlerinin ise bir miktar arttığı görülmektedir. Sayısal ve deneysel olarak elde edilen temas kuvveti-yer değiştirme eğrileri mukayese edildiğinde; sayısal olarak modellenen fonksiyonel kademelendirilmiş plakalarda daha yüksek temas kuvvetiyle daha düşük merkezi yer değiştirmelerin meydana geldiği görülmektedir. Bunun nedeni ise yukarıda da bahsedildiği gibi sayısal modelin daha katı bir yapıya sahip olması ve deneysel olarak üretilen numunelerin üretiminden kaynaklanan sebeplerden dolayı daha düşük mukavemetli bir yapıya sahip olmalarıdır. Kuvvet-yer değiştirme eğrisi altındaki alan plakalar tarafından absorbe edilen şekil değiştirme enerjisini ifade etmektedir. Buna göre sayısal analizlerde yüksek kuvvet, düşük yer değiştirme davranışı gözlenirken, deneysel analizlerde düşük kuvvet, yüksek yer değiştirme davranışının ortaya çıktığı görülmektedir. Böylece sayısal ve deneysel olarak hesaplanan absorbe edilen şekil değiştirme enerjileri birbirine yakın değerlerdedir.

5.KAYNAKLAR:

[1]. T. Mori, K. Tanaka, Average stress in matrix and average elastic energy of materials with misfitting inclusions, ActaMetallurgica 21 (1973) 571-574.

[2]. Y. Benveniste, A new approach to the application of Mori-Tanaka's theory in composite materials, Mech. Mater. 6 (1987) 147-157.

[3]. I. Tamura, Y. Tomato, H. Ozawa, Srength and ductulity of Fe-Ni-C alloys composed of austenite and martensite with various strength. In: Proceedings of the Third Conference on Strength of Metals and Alloys, vol. 1, Cambridge: Institute of Metals (1973) 611-615.

[4]. R.L. Williamson, B.H. Rabin, J.T. Drake, Finite Element Analysis of Thermal Residual Stresses at Graded Ceramic/Metal Interfaces, Part I: Model Description and Geometrical Effects, Journal of Applied Physics 74 (1993) 1310-1302.

[5]. M. Bhattacharyya, S. Kapuria, A.N. Kumar, On the stress to strain transfer ratio and elastic deflection behavior for Al/SiC functionally graded material, Mech. Adv. Mater. Struct. 14 (2007) 295-302.

[6]. Z.H. Jin, R.H. Dodds, Cohesive growth resistance behaviour of a functionally graded material: computational studies, Engineering Fracture Mechanics 71 (2004) 1651-1672.

[7]. A.E. Giannakopoulos, S. Suresh, M. Finot, M. Olsson, Elastoplastic analysis of thermal cycling: Layered materials with compositional gradients, Acta Metall. Mater. 43 (1995) 1335-1354.

[8]. Livermore Software Technology Corporation (LSTC), 2009. LS-DYNA Keyword User's Manual, Version 971.

6.EKLER

Yrd. Doç. Dr. Recep GÜNEŞ danışmanlığında **Murat AYDIN** tarafından hazırlanan **"Düşük Hızlı Çarpma Yükleri Altında Fonksiyonel Kademelendirilmiş Dairesel Plakaların Mekanik Davranışlarının İncelenmesi"** adlı bu çalışma, jürimiz tarafından Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Mühendisliği Anabilim Dalında **Yüksek Lisans** tezi olarak kabul edilmiştir.

06/07/2009

JÜRİ :

Başkan : Prof. Dr. M. Kemal APALAK

Üye : Doç. Dr. Cem SİNANOĞLU

Üye : Yrd. Doç. Dr. Recep GÜNEŞ

ONAY :

Bu tezin kabülü Enstitü Yönetim Kurulunun 21/07/2009 tarih ve 2009/23-20 sayılı kararı ile onaylanmıştır.

21 / 07 / 2009

Prof. Dr. Nusret AYYILDIZ
Enstitü Müdürü