

E-CAMI/EPOKSİ TABAKALI KOMPOZİTLERİN DÜŞÜK HIZLI DARBE DAVRANIŞINA NUMUNE BOYUTLARININ ETKİSİ

Mesut UYANER, Memduh KARA ve Necati ATABERK

Selçuk Üniversitesi, Kadınhanı Faik İçil Meslek Yüksekokulu, Kadınhanı, Konya, Türkiye

ÖZET

Bu çalışmada düşük hızlı darbeye maruz E-camı/epoksi tabakalı kompozitlerde plaka boyutlarının malzemede oluşan hasara etkileri belirlenmiştir. Tek yönlü takviyelendirilmiş tabakacıklar $[0^\circ, -45^\circ, +45^\circ, 0^\circ, 90^\circ, 0^\circ, +45^\circ, -45^\circ, 0^\circ]$ şeklinde düzenlenerek E-camı/epoksi tabakalı kompozit malzeme üretilmiştir. Darbe testleri özel olarak imal edilen düşey ağırlık düşürme test cihazı ile yapılmıştır. Darbe testlerinde kullanılan vurucu 24 mm çapında, yarı küresel uçlu bir geometriye sahiptir. Vurucu kütlesi 30 kg'dır. 2.5 m/s'lik çarpma hızında testler yapılmıştır. Çalışmalarda 180×50 mm, 180×100 mm, 180×150 mm boyutlarında karşılıklı iki tarafı serbest diğer iki tarafı ankastre kompozit levhalar kullanılmıştır ve darbe her bir levhanın merkezine yapılmıştır. Deneylerden elde edilen kuvvet zaman değişimleri ile bunlardan hesaplanan diğer değişimler grafikler halinde verilmiştir.

Anahtar Kelimeler: boyut etkisi, düşük hızlı darbe, plastik matrisli kompozitler.

SIZE EFFECT ON LOW VELOCITY IMPACT BEHAVIOR OF LAMINATED E-Glass COMPOSITE

ABSTRACT

The importance of the impact velocity, the dimensions of the composite plates are determined for laminated composites subjected to low velocity impact in this study. $[0^\circ, -45^\circ, +45^\circ, 0^\circ, 90^\circ, 0^\circ, +45^\circ, -45^\circ, 0^\circ]$ s oriented uni-directionally reinforced E-glass/epoxy laminates studied were manufactured. The impact tests were conducted with a specially developed vertical drop weight testing machine. Impact tests were performed at impactor mass of 30 kg and impact velocity of 2.5 m/s. Hemispherical impactor, 24 mm in diameter was used in all tests. The tests were carried out on plate dimensions of 180×50 mm, 180×100 mm, 180×150 mm with two opposite ends were clamped and the other two ends free and impact load were applied at the center of each plate. Force-time data obtained from experiments and calculated values were given in forms of graphs.

Keywords: Size effect, low-velocity impact, plastic matrix composites

1. GİRİŞ

Tabakalı kompozitler birçok mühendislik alanında kullanılır ve yabancı cisimler tarafından darbeye maruz kalabilirler. Darbeden kaynaklanan hasar, üretim, bakım ve servis işlemleri sırasında ortaya çıkabilir. Kullanım sırasındaki darbeye örnek olarak uçağın kalkış ve iniş sırasında lastiklerin yüksek hız kazanmasından sonra pistten fırlayan taş ve küçük parçacıkların yaptığı darbe verilebilir. Üretim ve bakım sırasında kullanılan takımlar yapı üzerine düşürülebilir. Bu durumda darbe hızları küçük fakat etkisi büyüktür. Tabakalı kompozit yapılar benzer metalik yapılara nazaran darbe hasarına daha duyarlıdır. Kompozit yapılarda darbe gözle muayenede belirlenemeyen iç hasarlar oluşturur. Bu iç hasar mukavemette azalmaya sebep olur ve yük altında büyür. Bu nedenle kompozit yapılar üzerine yabancı cisim darbelerinin etkileri anlaşılmalıdır ve tasarım aşamasında uygun önlemler dikkate alınmalıdır. Darbelerin kompozit yapıların performansına etkileri kompozit malzemelerin kullanımında kısıtlayıcı bir etkidir. Bu nedenlerle kompozit malzemelerin düşük hızlardaki darbe problemi önemli pratik ve teorik uygulamaları temsil eder.

Tabakalı kompozit malzemelerin düşük hızlı darbeye vermiş oldukları cevap ile ilgili birçok deneysel çalışmalar yapılmıştır ve analitik yöntemler geliştirilmiştir. Goo ve Kim [1] düşük hızlı darbe altında tabakalı kompozit plakaların dinamik temas analizini yapmışlardır. Düzeltilmiş Hertz temas kanunu gibi basit kanunlar, kompozit plakaların dinamik temas durumuna uyarlamak için kullanılmıştır. Rijit bir küre ile darbe yapılan kompozit sandviç plakanın dinamik cevabı nümerik ve deneysel olarak Lee ve ark. [2] tarafından araştırılmıştır. Wang ve Vukhann [3] karbon elyaf bulunan PEEK çapraz katlı tabakaların düşük hızdaki darbesini iki basit yaklaşım kullanarak araştırmıştır. Whittingham ve ark. [4] ön gerilme altındaki karbon fiber/epoksi tabakaların düşük hızlı darbe cevabını araştırmışlardır. Ön gerilme altındaki numunede oluşan vurucu dalma miktarı, vurucu delme miktarı, yutulan enerji ve en büyük darbe kuvveti deneysel olarak tespit edilmiştir. Belingardi ve Vadori [5] karbon-elyaf/epoksi kompozit malzemelerde plaka kalınlığının düşük hızlı darbe davranışına etkilerini araştırmışlardır. Üç farklı kalınlıktaki deney numunelerine yarı-statik ve dinamik darbe yüklemesi yapılmıştır. Kuvvet-yer değiştirme eğrileri çıkarılarak numunelerin farklı darbe hızlarındaki enerji yutma kabiliyetlerini araştırmışlardır. Mitrevski ve ark. [6] farklı vurucu geometrilerinin kompozit malzeme üzerindeki darbe etkilerini incelemişlerdir. Karbon-epoksi tabakalara yarı küresel, konik ve sivri vurucularla darbeler yapmışlardır. Kuvvet-zaman değişimini ve numunelerin yuttuğu enerji miktarlarını deneysel olarak tespit ederek vurucu geometrilerinin etkilerini değerlendirmişlerdir. Hosseinzadeh ve ark. [7] fiberle güçlendirilmiş kompozit levhaların düşen ağırlık darbelerindeki hasar cevabını incelemişlerdir. Dört farklı fiberle güçlendirilmiş tabakalı kompozit plakalara düşük hızlı darbeler yapmışlardır. Numunelerdeki hasar bölgelerinin haritalarını çıkararak darbe enerjisi-hasar çapı değişimi elde etmişlerdir. Farklı numunelerdeki değişimleri rapor etmişlerdir. Sugun ve Rao [8] cam, karbon ve kevlar takviyeli kompozitlere tekrarlı düşürme testleri yaparak düşük hızlı darbe karakteristiklerini çalışmışlardır. Kompozit plakalar üzerine delinme oluncaya kadar tekrarlı darbeler yapmışlardır. En büyük kuvvet-darbe sayısı değişimi ve darbe enerjisi-darbe sayısı değişimlerini deneysel olarak tespit etmişlerdir. Son darbeden sonra numunelerdeki hasar bölgelerinin haritaları çıkarılarak incelenmiştir. E-camı/epoksi tabakalı kompozit plakaların darbe altındaki davranışı Mili ve Necip [9] tarafından deneysel olarak çalışılmıştır. Ağırlık düşürme darbe cihazı kullanmışlardır. Vurucu hızlarının ve tabakalanma sırasının kompozit plağın davranışına etkilerini değerlendirmişlerdir. Aslan ve ark. [10] ile Aslan ve Karakuzu [11] düşük hızlı darbeye maruz fiber takviyeli tabakalı kompozitlerin dinamik davranışını değerlendirmişlerdir. Cam fiber/epoksi kompozitin zamana bağlı analizi üzerine deneysel ve nümerik araştırma yapmışlardır. Nümerik olarak hesaplanan

temas kuvveti-zaman değerleri, deneysel sonuçlar ile karşılaştırılmıştır. Düşük hızlı darbeye maruz tabakalı kompozitlerde darbe hızının, darbe kütlelerinin, kompozit plağın boyutlarının ve kalınlığının önemini belirlemişlerdir. Baucom ve Zikry [12] E camı kompozit sistemlerde düşük hızlı darbedeki hasar ilerlemelerini incelemişlerdir. Numunede delinme oluşuncaya kadar aynı enerji seviyesinden düşük hızlı darbeler yapılmış ve buna bağlı olarak en büyük temas kuvveti-darbe sayısı ve enerji dağılımı-darbe sayısı grafikleri elde ederek incelemişlerdir. Belingardi ve Vadori [13] cam fiber epoksi matris kompozit plakaların düşük hızlı darbe davranışlarını incelemişlerdir. Tek yönlü ve örgülü olarak üç farklı yönlenebilir kompozit malzemeye serbest dart düşürme cihazı ile testler yapmışlardır. Darbe enerjisi-hasar değeri, temas kuvveti-zaman değişimleri elde edilerek farklı özellikleri olan numunelerin darbe davranışı değerlendirilmiştir.

2. DENEYSEL ÇALIŞMA

2.1 Malzemeler

Bu çalışmada 18 tabakadan oluşan E-camı/epoksi tabakalı kompozit malzemeler kullanılmıştır. Tek yönlü takviyelendirilmiş tabakacıklar $[0^\circ, -45^\circ, +45^\circ, 0^\circ, 90^\circ, 0^\circ, +45^\circ, -45^\circ, 0^\circ]_s$ şeklinde düzenlenerek kompozit malzeme üretilmiştir. Çalışmalarda 180×50 mm, 180×100 mm, 180×150 mm boyutlarında iki tarafı serbest iki tarafı ankastre kompozit levhalar kullanılmıştır ve darbe her bir levhanın merkezine yapılmıştır.

2.2 Mekanik Deneyler

Darbe üretmek için birçok test tekniği kullanılmaktadır. Bununla birlikte kompozit malzemelerin darbe davranışını karakterize etmek için standart bir test tekniği veya farklı ülkeler, kuruluşlar ve araştırmacılar arasında yaygın bir şekilde kabul edilen herhangi bir teknik mevcut değildir. Bu durum, farklı kaynaklardan alınan sonuçların karşılaştırılacağı zaman problem oluşturmaktadır. Çünkü kompozit malzemelerin darbe cevabı için uygun bir model geliştirme girişimleri zorlaşmaktadır. Bu olumsuzluklara rağmen kompozit malzemelerin darbe dirençlerinin belirlenmesi amacıyla günümüzde çeşitli şekillerde geliştirilen test cihazları yaygın olarak kullanılmaktadır.

Bu çalışmanın yapılabilmesi için öncelikle Selçuk Üniversitesi Kadınhanı Meslek Yüksekokulu laboratuvarında özel bir ağırlık düşürme test cihazı geliştirilmiştir. Darbe testleri özel olarak geliştirilen düşey ağırlık düşürme test cihazı ile yapılmıştır.

Farklı boyutlardaki deney numunelerine düşük hızlı darbeler yapılmıştır. Darbe sonucu kuvvetin zamana göre değişimini veren grafikler elde edilmiştir. Ayrıca ivme-zaman, hız zaman, yer değiştirme-zaman ve kuvvet-yer değiştirme grafikleri çıkarılmıştır.

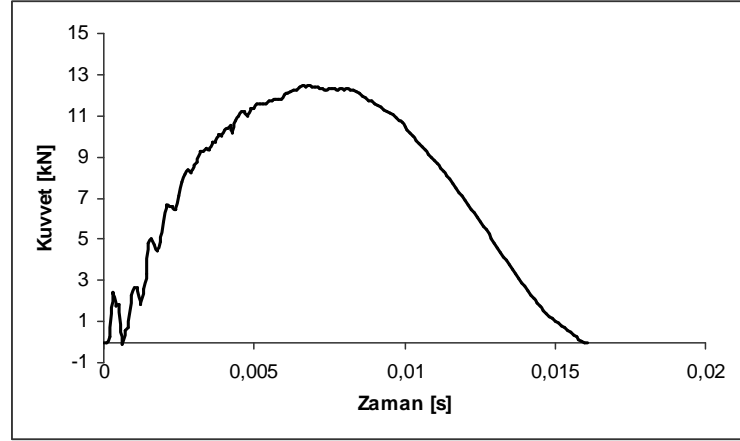
3. DENEY SONUÇLARI ve TARTIŞMA

3.1 Vurucu ile Deney Numunesi Arasındaki Temas Kuvvetleri

Düşük hızlı darbe deneyleri 2.5 m/s çarpma hızında 30 kg kütleli vurucu ile yapılmıştır. Bu çalışmada sadece ilk darbenin etkileri araştırılmıştır. Bu amaçla ilk darbeden sonra vurucu tutulmuştur.

Elde edilen kuvvet-zaman değişimlerinin çingirak eğrisi şeklinde olduğu görülmektedir. Bütün şekillerde kuvvet hızla artarak bir azami kuvvet değerine ulaşmaktadır ve daha sonra sıfıra düşmektedir. Her bir grafikte darbenin başlangıcında bir salınım meydana geldiği görülmektedir. Bu durum numunenin merkezi üzerinde hasar mekanizması oluştuğunu göstermektedir. Ayrıca darbe başlangıcında numunede meydana gelen titreşim sonucunda

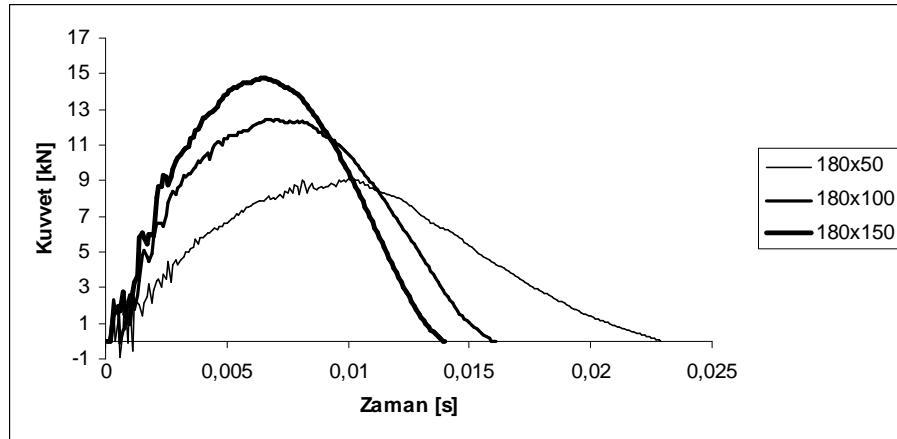
kuvvet algılayıcı üzerinde bir normal kuvvet oluşturduğu ve bunun sonucu olarak darbe başlangıcında salınım meydana geldiği düşünülmektedir. Kuvvet en yüksek değerine ulaşıncaya kadar hasar oluşumunun hızla devam ettiği düşünülmektedir. Salınım miktarı arttıkça oluşan hasar miktarı da artmaktadır. Şekil 3.1’de 2.5 m/s çarpma hızında 180×100 mm boyutlardaki deney numunesi için temas kuvvetinin zamana bağlı değişimi görülmektedir.



Şekil 3.1 2.5 m/s çarpma hızında 180×100 mm boyutlarındaki deney numunesi için temas kuvveti-zaman değişimi

3.2 Numune Boyutlarının Temas Kuvvetine Etkisi

Sabit bir çarpma hızında (sabit bir darbe enerjisi) numune boyutlarının temas kuvvetine etkisini görebilmek için deney değerleri uygun bir şekilde gruplanmış ve değişimler Şekil 3.2’de grafik halinde gösterilmiştir. Şekildeki grafiklerde 2.5 m/s çarpma hızında kuvvetin zamana göre değişimi görülmektedir. Grafikte farklı numuneler ayrı birer seri olarak verilmiştir. Her bir deneyde numunelerin iki kenarı ankastre diğer iki kenarın serbest olacak şekilde bağlanmıştır. Bu durumda numune iki tarafı ankastre bağlı kiriş gibi davranmıştır. Numune genişliği büyüdükçe numunenin kompliyansı da düşmektedir. Bu durumda kuvvetler karşısında numune daha az çöker. Bunun neticesinde darbe süresi azalır. Grafiklerden ayrıca numunenin genişliği arttıkça darbe süresinde gelişen en büyük kuvvetin de arttığı görülmektedir.



Şekil 3.2 Değişik numunelerde 2.5 m/s çarpma hızında kuvvet-zaman değişimi

Çizelge 3.1’de 2.5 m/s çarpma hızında, farklı boyutlardaki deney numunelerinde darbe süresi boyunca ölçülen en büyük temas kuvveti ve temas süresi değerleri verilmiştir. Çizelgedeki değerler incelendiğinde numune boyutu arttıkça vurucunun temas süresi azalırken elde edilen en büyük temas kuvveti arttığı görülmektedir.

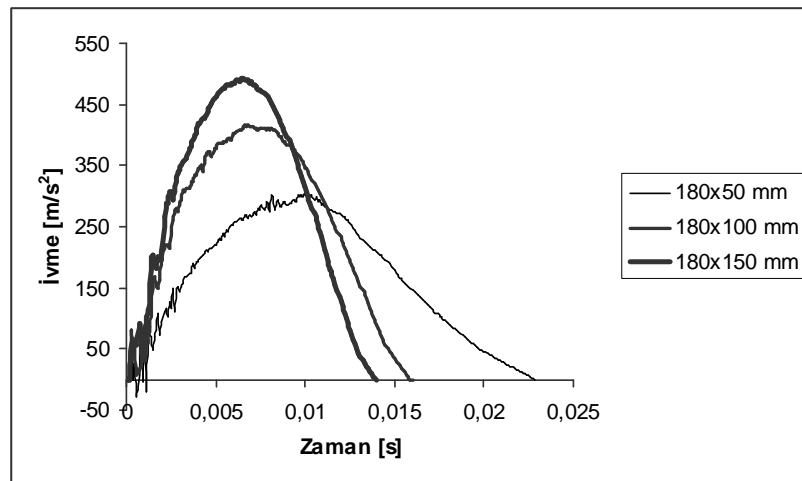
Çizelge 3.1 Düşük hızlı darbe deneylerinde elde edilen en büyük temas kuvveti ve vurucu temas süresi değerleri

Çarpma Hızı [m/s]	Numune Boyutları [mm]	En Büyük Temas Kuvveti [kN]	Temas Süresi [s]
2.5	180×50	9,122	0,0228
	180×100	12,458	0,0161
	180×150	14,760	0,0140

3.3 Kinetik Analiz Neticesinde Elde Edilen Değerler

Tüm deney değerleri üzerinde yapılan hesaplamalar neticesinde ivme-zaman, hız-zaman, yer değiştirme-zaman, kuvvet-yer değiştirme değişimleri elde edilmiştir. Her bir deney numunesi için elde edilen grafikler, karakteristik olarak diğer numuneler için elde edilene benzemektedirler. Bu nedenle değişimleri göstermesi amacıyla 180×50 mm, 180×100 mm ve 180×150 mm boyutlarındaki deney numunelerinde 2.5 m/s çarpma hızı için elde edilenler grafikler sırasıyla verilmiştir.

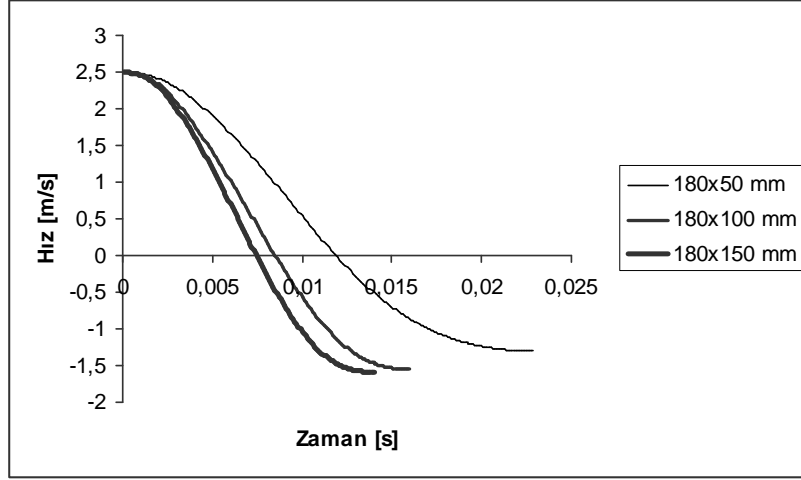
İvmenin zamana bağlı değişimi bir parçacık için Newton’un II kanununun uygulanmasıyla kuvvet-zaman değerlerinden elde edilmiştir. İvmenin zaman göre değişimi temas kuvvetinin zamana göre değişimine benzemektedir. Şekil 3.3’de değişik numunelerde 2.5 m/s çarpma hızında ivme-zaman değişimi verilmiştir.



Şekil 3.3 Değişik numunelerde 2.5 m/s çarpma hızındaki ivme-zaman değişimi

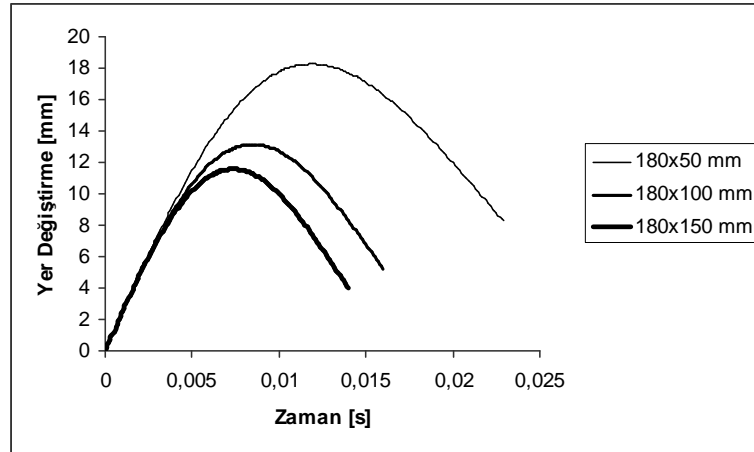
Hızın zamana bağlı değişimi, ivme-zaman değerlerinden iki veri arasındaki değişimin doğrusal olması yaklaşımı ile sayısal integral yöntemlerinden yamuklar kuralı yardımıyla elde

edilmiştir. Hızın zaman göre değişimi katı cisim darbe teorisiyle verilen değişime benzer çıkmıştır. Şekil 3.4’de değişik numunelerde 2.5 m/s çarpma hızındaki hız-zaman değişimi örnek olarak sunulmuştur.



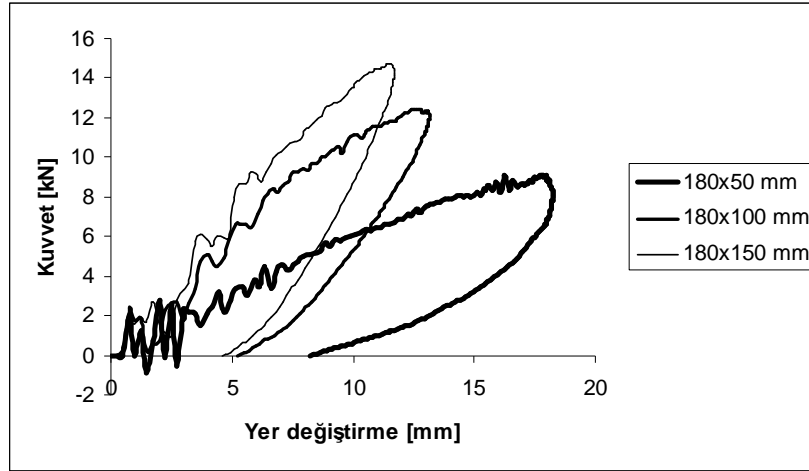
Şekil 3.4 Değişik numunelerde 2.5 m/s ve çarpma hızındaki hız-zaman değişimi

Yer değiştirmenin zamana bağlı değişimi, hız-zaman değerlerinden iki ivme verisi arasındaki değişimin doğrusal olması yaklaşımı ile sayısal entegral yöntemlerinden yamuklar kuralı yardımıyla elde edilmiştir. Şekil 3.5’te değişik numunelerde 2.5 m/s çarpma hızındaki yer değiştirme-zaman değişimi örnek olarak verilmiştir.



Şekil 3.5 Değişik numunelerde 2.5 m/s çarpma hızındaki yer değiştirme-zaman değişimi

Kuvvetin yer değiştirmeye göre değişimi katı cisim darbe teorisiyle verilen değişime benzer çıkmıştır. Kuvvet-yer değiştirme grafiği altında kalan alan numune üzerinde yapılan işi (numunede yutulan enerjiyi) vermektedir. Şekil 3.6’da değişik numunelerde 2.5 m/s çarpma hızında kuvvet-yer değiştirme değişimi görülmektedir.



Şekil 3.6 Değişik numunelerde 2.5 m/s çarpma hızında kuvvet–yer değiştirme değişimi

4. SONUÇLAR

Her bir deneyde numunelerin iki kenarı ankastre diğer iki kenarın serbest olacak şekilde bağlanması nedeniyle numune iki tarafı ankastre bağlı kiriş gibi davranmıştır. Numune genişliği büyüdükçe numunenin kompliyansı da düşmektedir. Bu durumda kuvvetler karşısında numune daha az çökmekte ve darbe süresi azalmaktadır. Grafiklerden ayrıca numunenin genişliği arttıkça darbe süresinde gelişen en büyük kuvvetin de arttığı görülmektedir. İvmenin zaman göre değişimi temas kuvvetinin zamana göre değişimine benzemektedir. Numune genişliği arttıkça malzeme üzerindeki kalıcı yer değiştirme miktarı azalmaktadır.

KAYNAKLAR

1. Goo, N.S. & Kim, S.J., “Dynamic Contact Analysis of Laminated Composite Plates under Low Velocity Impact”, *AIAA Journal*, 35, 1518-1521. 1997.
2. Lee, L.J., Huang, K.Y., & Fann, Y.J., “Dynamic Responses of Composite Sandwich Plate Impacted By Rigid Ball”, *Journal of Composite Materials*, 27, 1238-1256. 1993.
3. Wang, H., & Vukhanh, T. “Damage Extension in Carbon Fiber/PEEK Cross Ply Laminates under Low-Velocity Impact”, *Journal of Composite Materials*. 28,684-704. 1994.
4. Whittingham, B., Marshall, I.H., Mitrevski, T., Jones, R., “The Response of Composite Structures with Pre-Stress Subject to Low Velocity Impact Damage” *Composite Structures*, 66, 685-698. 2004.
5. Belingardi, G., Vadori, R., “Influence of Laminate Thickness in Low Velocity Impact Behavior of Composite Material Plate” *Composite Structures*, 61, 27-38. 2003.
6. Mitrevski, T., Marshall, I.H., Thomson, R., Jones, R. Whittingham, B., “The Effect of Impactor Shape on the Impact Response of Composite Laminates”, *Composite Structures*, 67, 139-148. 2004.
7. Husseinzadeh, R., Shokrieh, M.M. and Lessard, L., “Damage Behavior of Fiber Reinforced Composite Plates Subjected to Drop Weight Impacts”, *Composite Science and Technology*, 66, 61-68. 2006.
8. Sugun, B.S., and Rao, R.M.V.G.K., “Low Velocity Impact of Glass, Carbon and Kevlar Composites Using Repeated Drop Tests”, *Journal of Reinforced Plastics and Composites*. Vol.23,No.15, 1583-1599. 2004.
9. Mili, F., and Necip, B. “Impact Behavior of Cross-Ply Laminated Composite Plates under Low Velocities”, *Composite Structures*. 51, 237-224. 2001.
10. Aslan, Z., Karakuzu, R. and Okutan, B. “The Response of Laminated Composite Plates under Low-Velocity Impact Loading”. *Composite Structures*, 59, 119-127. 2003.
11. Aslan, Z. and Karakuzu, R. “Transient Dynamic Analysis of Laminated Composite Plate Subjected to Low-Velocity Impact”. *Mathematical & Computational Applications*, Vol. 7, No.1, 73-82. 2002.

12. Baucom, J.N., and Zikry, M.A.. “Low Velocity Impact Damage Progression in Woven E-glass Composite Systems”. **Composites Part A, Applied science and manufacturing**, 36, 658-664. 2005.
13. Belingardi, G., Vadori, R. “Low Velocity Impact Tests of Laminate Glass-Fiber-Epoxy Matrix Composite Material Plates”. **International Journal of Impact Engineering**, 27, 213-229. 2002.