



T.C.

SELÇUK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MELEZ KOMPOZİT LEVHALARIN DÜŞÜK HIZLI DARBE CEVABINA NUMUNE GENİŞLİĞİNİN ETKİSİNİN İNCELENMESİ

Mehmet TEMEL

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Makine Mühendisliği Anabilim Dalını

Temmuz-2015
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

ÖZET

YÜKSEK LİSAN

MELEZ KOMPOZİT LEVHALARIN DÜŞÜK HIZLI DARBE CEVABINA NUMUNE GENİŞLİĞİNİN ETKİSİNİN İNCELENMESİ

Mehmet TEMEL

Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Ömer Sinan ŞAHİN

2015, 74 Sayfa

Jüri
Doç. Dr. Ömer Sinan ŞAHİN
Yrd. Doç. Dr. Gürol ÖNAL
Yrd. Doç. Dr. Hakan Burak KARADAĞ

Bu çalışmada, düşük hızlı darbe uygulanan farklı genişlikteki melez kompozit levhaların dinamik cevabı ve hasar davranışları incelenmiştir. Kullanılan malzemeler melez kompozit malzeme olup E-cam/epoksi ve karbon/epoksi tabakalardan oluşmaktadır. Tabakalanmanın etkisinin incelenmesi için tabakalar faklı yığınlama sıralamaları ile üretilmiştir. Üretilen melez kompozit malzemeler farklı genişlikte hazırlanarak genişliğin darbe davranışlarına etkisi gözlenmiştir. Düşük hızlı darbe deneyleri, geliştirilen ağırlık düşürme test cihazında gerçekleştirilmiştir. Farklı darbe hızlarında, farklı sınır şartlarında, farklı konfigürasyonlarda ve farklı numune genişliklerinde gerçekleştirilen deneyler sonrasında malzemelerin dinamik cevabı, oluşan hasarlar ve elastik özelliklerdeki değişim incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Melez Kompozit, Düşük Hızlı Darbe, Genişlik Etkisi, Hasar

ABSTRACT

MS THESIS

INVESTIGATION OF EFFECTS OF SPECIMEN WIDTH TO LOW VELOCITY IMPACT RESPONSE OF HYBRID STACKED COMPOSITE PLATES

Mehmet TEMEL

Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Mechanical Engineering

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Ömer Sinan ŞAHİN
2015, 74 Pages

Jury
Assoc. Prof. Dr. Ömer Sinan ŞAHİN
Assist. Prof. Dr. Gürol ÖNAL
Assist. Prof. Dr. Hakan Burak KARADAĞ

In this study, dynamic response and damage characteristics of hybrid composite plates of different widths subjected to low velocity impact have been investigated. The hybrid composites are consisting of glass/epoxy and carbon/epoxy layers produced in different stacking sequences for investigating the effect of stacking sequence. The produced hybrid composite materials prepared in different widths and the effect of specimen width on the dynamic response were observed. Low velocity impact test were performed on the developed drop weight test stand. The dynamic response, damage characteristics and retention elastic properties were investigated after the experiments performed under different impact velocities, boundary conditions, stacking sequences and specimen widths.

Keywords: Hybrid Composite, Low Velocity Impact, Width Effect, Damage Formation.

ÖNSÖZ

Bu çalışmanın tamamlanmasında her türlü desteğini esirgemeyen tez danışmanım Sayın Doç. Dr. Ömer Sinan ŞAHİN ’e minnet ve şükranlarımı sunarım.

Tabakalı kompozit malzemelerin üretimini gerçekleştiren İzoreel firmasına, yardımlarından dolayı Arş. Gör. Aydın GÜNEŞ’e ve en önemlisi bu çalışmayı hazırlamamda büyük bir sabırla bana destek olan aileme teşekkürü bir borç bilirim.

Mehmet TEMEL

KONYA-2015

İÇİNDEKİLER

ÖZET ..... **iv**

ABSTRACT ..... **v**

ÖNSÖZ ..... **vi**

İÇİNDEKİLER ..... **vii**

SİMGELER VE KISALTMALAR ..... **viii**

1. GİRİŞ **1**

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI **2**

3. MATERYAL VE YÖNTEM **9**

3.1. Materyal 9
3.1.1. Kompozit malzeme 9
3.1.2. Kompozit malzemelerin avantajları ve dezavantajları 11
3.1.3. Tabakalı kompozit malzeme 12
3.1.4. Kompozit malzemelerin hasar mekanizmaları ve kırılma davranışları 13
3.2. Yöntem 16
3.2.1. Düşük hızlı darbenin kinematik analizi 16
3.2.1. Deney setinin kurulması 18
3.2.2. Deney Numunelerinin Hazırlanması 22

4. DENEYSEL ÇALIŞMA VE ANALİZ **28**

4.1. Geometrinin Etkisi 28
4.1.1. Kuvvetin zamana bağlı olarak değişimi 28
4.1.2. Kuvvetin yer değiştirmeye bağlı olarak değişimi 34
4.1.3. Enerji transferinin zamana bağlı olarak değişimi 39
4.1.4. Birim kesit alanda yutulan ve iade edilen enerjinin konfigürasyon ve genişliğe bağlı değişimi 44
4.2. Düşük Hızlı Darbe Sonrası Oluşan Hasar Bölgelerinin İncelenmesi 47

5. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME **59**

6. KAYNAKLAR **62**

ÖZGEÇMİŞ **66**

SİMGELER VE KISALTMALAR

F : Kuvvet

V : Hız

M : Kütle

M' : Hedefin kütlesi

m : Kütle

W : Darbe esnasında yapılan iş (numunede yutulan enerji)

Ep : Potansiyel enerji (darbe enerjisi)

a_i : İvme

V_y : İzafi hız

g : Yer çekimi ivmesi

s : Yer değiştirme

k : Sabit

E_1 : Fiber yönündeki elastisite modulü

E_2 : Fiber yönüne dik doğrultudaki elastisite modulü

ν_{12} : Poisson oranı

G_{12} : Kayma modulü

t : numunenin kalınlığı

N :Tabaka sayısı

k :Tabaka sırası

z :Her bir tabakanın merkeze olan uzaklığı

1. GİRİŞ

Dünyadaki kaynaklar mevcut teknolojinin gelişmesiyle beraber insanların artan ihtiyaçlarına cevap verememektedir. Bu yüzden yeni malzeme üretimi ihtiyaç olmuştur. Dolayısıyla hem ekonomik, hem mukavemetli hem de hafif malzeme üretimi için çalışmalar hız kazanmıştır.

Kompozit malzemelerde çıplak gözle görülemeyen iç hasarlar kompozit malzemenin genel karakteristiğidir. Malzemeler üzerinde ki hasarlar bu şekilde başlayarak kompozit malzemelerin mukavemetinde ve rijitliğinde azalmaya sebep olur ve yük altında bu etki daha da büyür. (Şahin, Y. 2000. Kompozit Malzemelere Giriş)

Bu çalışmada amacımız, 3 farklı genişlikteki melez kompozit levhaların, düşük hızlı darbeye verdikleri cevabın belirlenmesi ve düşük hızlı darbe sonrası malzemenin mekanik özelliklerindeki değişimlerin tespit edilmesidir.

Deneylerimizde S.Ü. Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümünde tarafımızca üretilen ağırlık düşürme test cihazı kullanılmıştır. Vurucu ağırlığı 5,6 kg olup maksimum 1 metre yükseklikten serbest düşmeye bırakılabilmekte ve farklı darbe hızlarında deneyler yapılabilmektedir. Hareketli vurucu kütlesinin yükseklik ayarı gövdede bulunan çelik cetvel ve pnömatik başlatma kolu yardımıyla yapılarak serbest düşmeye bırakılmaktadır. Bu çalışmada kullanılan deney numuneleri 90 mm × 30 mm, 90 mm × 35 mm boyutlarında 18 tabakalı olup melez yapıda tasarlanmış E camı/epoksi ve karbon/epoksi kompozit malzemeden İZOREEL firması tarafından üretilerek hazırlanmıştır. Numune kalınlıkları 4 mm'dir. Kullanılan malzemeler 2 farklı konfigürasyondadır. Birinde karbonlar orta kısımda diğerinde ise karbonlar dış kısımdaki tabakada konumlandırılmıştır. 2 farklı genişlikte ve farklı konfigürasyonlarda üretilen deney malzemelerine basit ve ankastre mesnette üç farklı hızda düşük hızlı darbeler uygulandığında kuvvetin zamana göre değişimi, kuvvetin yer değiştirmeye göre değişimi ve yutulan enerjinin zamana göre değişimi ile ilgili grafiklere ulaşılmış ve darbenin etkisi incelenmiştir.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Melez kompozit malzemelerin düşük hızlı darbeye vermiş oldukları cevapla ilgili geçmişten günümüze kadar birçok deneysel çalışmalar yapılmıştır. Yapılan bu çalışmalarda genel olarak kompozit malzemenin parametreleri, konfigürasyonu ve kompozit malzemeye uygulanan darbe kuvveti ile ilgili konular irdelenmiştir.

Bu alandaki önemli çalışmaların bir kısmı şunlardır:

Goo ve Kim (1997) tarafından yapılan çalışmada düşük hızlı darbe altında tabakalı kompozit plakaların dinamik temas analizi yapılmıştır. Düzeltilmiş Hertz temas kanunu gibi kanunlar, kompozit plakaların dinamik temas durumuna uyarlamak için kullanılmıştır.

Pierson ve Vaziri (1996) tarafından yapılan çalışmada tabakalı kompozit plakaların darbe cevabı için analitik bir model sunulmuştur.

Lal (1982,1983) tarafından yapılan çalışmada grafit/epoksi tabakaların enine darbe davranışı ile ilgili deneysel ve analitik bir çalışma yapılmıştır. Basit bir enerji yayma modeli darbe sonrası numunenin kalıntı mukavemetini belirlemek için geliştirilmiştir.

Lee ve ark. (1993) tarafından yapılan çalışmada rijit bir küre ile darbe yapılan kompozit sandviç plakanın dinamik cevabı nümerik ve deneysel olarak araştırılmıştır.

Wang ve Vukhann (1994) tarafından yapılan çalışmada karbon elyaf bulunan PEEK çapraz katlı tabakaların düşük hızdaki darbesi iki basit yaklaşım kullanarak araştırılmıştır.

Mili ve Necip (2001) tarafından yapılan çalışmada E-camı/epoksi tabakalı kompozit plakaların darbe altındaki davranışı deneysel olarak çalışılmıştır. Ağırlık düşürme darbe cihazı kullanılmıştır. Vurucu hızlarının ve tabakalanma sırasının kompozit plağın davranışına etkileri değerlendirilmiştir.

Nandlall ve ark. (1998) tarafından yapılan çalışmada kompozit malzemelerde hasarı incelemek için bir paket program geliştirilmiştir. Bu program ile S2-cam-lifli takviyeli plastik tabaka üzerine mermi simulasyonu tasarlanmıştır. Simulasyon sonunda elde edilen verilerin deneysel verilerle paralel olduğu görülmüştür.

Abrate (1998) tarafından yapılan çalışmada darbe uygulanan malzemede tabaka ayrılmaları oluyorsa düşük hız, malzemede delinme meydana geliyorsa yüksek hız olarak adlandırılmıştır.

Hou ve ark. (2000), tarafından yapılan çalışmada darbe yüklemesi sırasında meydana gelen delaminasyonun sebebinin, matris çatlağı ve fiber hasarının meydana getirdiği tabakalar arası kayma gerilmeleri olduğu ifade edilmiştir.

Freitas ve Reis (2000) tarafından yapılan çalışmada farklı konfügürasyonlarda üretilmiş kompozit plakalara darbe testleri uygulanmıştır. Oluşan hasarı belirlemek için C-scan analizi yardımıyla içyapı değerlendirilmiştir. Bu değerlendirmenin sonucunda delaminasyon alanının darbe yükünden dolayı tabakalar arası arayüzlerin sayısına bağlı olduğu görülmüştür. Darbe sonucu oluşan hasarın plakaların kalınlığı ve dizilim sırasından etkilendiği görülmüştür.

Im ve ark. (2001) tarafından yapılan çalışmada çapraz takviyeli 16 ve 24 tabakalı karbon/epoksi ve karbon/polietereterketon malzemelere darbe testleri uygulanmıştır. Sıcaklığın artmasıyla delaminasyon alanının azaldığı, düşük ve yüksek sıcaklıklar için darbe enerjisi ve delaminasyon alanı arasında lineer bir ilişkinin olduğu ve karbon/polietereterketon malzeme için delaminasyon alanın sıcaklığın azalmasıyla arttığı sonuçlarına ulaşılmıştır.

Park ve Jang (2001) tarafından yapılan çalışmada tabakaların ince yapıda ve farklı konfügürasyonlarda dizilmiş olmasının oluşan hasarı nasıl etkilediği incelenmek için aramid fiber /cam fiber melez kompozit malzemeler kullanılmış ve sonuçta darbe aramid tabaka tarafında olduğu zaman daha yüksek bir darbe enerjisi ile karşılaşılmıştır.

Aslan ve ark. (2003) ile Aslan ve Karakuzu (2002) tarafından yapılan çalışmalarda düşük hızlı darbe uygulanmış fiber takviyeli tabakalı kompozitlerin dinamik davranışı incelenerek cam fiber/epoksi kompozitin zamana bağlı analizi üzerine deneysel ve nümerik araştırma yapılmıştır. Nümerik kuvvet-zaman değerleri, deneysel sonuçlar ile karşılaştırılmış ve düşük hızlı darbe uygulanmış tabakalı kompozit malzemelerde darbe hızının, darbe kütlesinin, kompozit plağın boyutlarının ve kalınlığının etkili olduğu sonuçlarına ulaşılmıştır.

Wittingham ve ark. (2004) tarafından yapılan çalışmada öngerilme altındaki karbon fiber/epoksi tabakaların düşük hızlı darbeye karşı cevabı araştırılmıştır. Ön gerilme altındaki numunede oluşan vurucunun dalma miktarı, vurucu delme miktarı, yutulan enerji ve maksimum darbe kuvvetinin önemi deneysel olarak ortaya çıkarılmıştır.

Sugun ve Rao (2004) tarafından yapılan çalışmada cam, karbon ve Kevlar takviyeli kompozit malzemelere tekrarlı düşük hızlı darbeler uygulanarak karakteristikleri incelenmiştir. Kompozit plakalar üzerine delinme oluncaya kadar tekrarlı darbeler yapılmıştır. Maksimum kuvvet-darbe sayısı değişimi ve darbe enerjisi-darbe sayısı

değişimleri grafikleri ve son darbeden sonra numunelerdeki hasar bölgelerinin haritaları oluşturulmuştur.

Imielinska ve ark. (2004) tarafından yapılan çalışmada iki farklı dokuma açısındaki cam-aramid fiber/epoksi tabaka suya daldırılmış ve devamında düşük hızlı darbe uygulanmıştır. Deney sonucunda darbe sonrası plakalar hasarın değerlendirilmesinde, darbe enerjisinin absorbe edilmesinin, su absorbe edilmesiyle önemli bir şekilde etkilenmediği sonuçları ortaya konulmuştur.

Wan ve ark. (2005) tarafından yapılan çalışmada karbon / kevlar melez kompozit malzemeler kullanılarak düşük hızlı darbe deneyleri yapılmıştır ve buldukları sonuçlara göre belirli oranlarda kevlar malzemenin hacimsel oranı arttıkça darbe mukavemeti ve kayma mukavemetinin arttığı ancak eğilme özelliklerinin azaldığı görülmüştür.

Rio ve ark. (2005) tarafından yapılan çalışmada tek yönlü, [0°/90°] fiber açılı, izotrop ve örgü karbon/epoksi kompozit plakalara oda sıcaklığından daha düşük sıcaklıklarda düşük hızlı darbe testleri yapılmıştır ve darbe sonrası oluşan hasar Cscan analizi ile araştırılmıştır. Sıcaklığın azalmasıyla birlikte kompozit malzemede matris çatlağı ve delaminasyon oluşmuş, fiber-matris ayrılması oluşmuş ve numune arka yüzeyinde fiber kırılması meydana gelmiştir. Sıcaklığın azalması ve darbe enerjisinin artmasıyla, yutulan enerji ve hasar alanının arttığı sonuçlarına ulaşılmıştır.

Husseinzadeh ve ark. (2006) tarafından yapılan çalışmada dört farklı fiber takviyeli kompozit plakalara ağırlık düşürme test cihazı ile farklı darbe enerjileri ve momentler uygulanarak darbe testleri yapılmıştır ve cam fiber takviyeli melez kompozit malzemelere aynı enerji için iki farklı ağırlık ile darbe uygulandığında ağır olan kütle için daha büyük bir hasar oluştuğu görülmüştür. Karbon fiber takviyeli melez kompozit malzemede ise en iyi özellikler düşük hızlı darbede meydana gelmiştir. Sonuç olarak Ansys programında hasar incelendiğinde modellemede sadece hasarın ilk değerinin tahmin edilebildiği, hasar sonuçlarının test sonuçları ile aynı olmadığı verilerine ulaşılmıştır. Ayrıca numunelerdeki hasar bölgelerinin haritaları çıkarılarak darbe enerjisi - hasar çapı değişimi grafikleri ortaya çıkarılmıştır.

Akceylan (2009) tarafından yapılan çalışmada E-Camı/epoksi tabakalı kompozit malzemelerdeki düşük hızlı darbenin cevabı araştırılmıştır. Numuneler rijit bir zemine serbest olarak bırakılmıştır. Ağırlık düşürme test cihazı yardımıyla 24 mm çaplı yarı-küresel uca sahip vurucu ile numune üzerine düşük hızlı darbeler uygulanmıştır. Çarpma hızları 2, 2.5 ve 3 m/s olarak seçilmiştir. Vurucu kütlesi 30 kg‟dır. 180/50 mm, 180/100 mm, 180/150 mm boyutlarında 7 mm kalınlığında 18 tabakalı deney

numuneleri kullanılmıştır. Deneylerden elde edilen kuvvet-zaman değişimleri incelenmiştir. Ayrıca her bir vurucunun numune üzerinde oluşturduğu hasar alanları değerlendirilmiştir.

Erdem (2010) tarafından yapılan çalışmada mühendislikte, darbe sonucu oluşan enerjinin bertaraf edilmesi amacıyla darbe enerjisini soğurup ısı enerjisine dönüştüren bir darbe emici çeşidi üzerine araştırma yapılmıştır. Çelik talaşı ile belli oranlarda karıştırılan ve farklı basınçlarda soğuk silikon matrisli kompozit malzemeden 5 farklı karışım oranında ve 3 farklı presleme basıncında 15 çift üretilmiştir. Üretimde numune boyutlarını standartlaştırmak adına değişken kütle - sabit hacim kuralı esas alınmış ve düşük hızlı darbe deneyleri uygulanmıştır. Deney sonucu olarak kuvvet - zaman, kuvvet - yer değiştirme grafikleri elde edilmiştir. Bu grafikler yardımıyla toplam enerjiyi yutma ve yansıtma oranlarındaki değişimler incelenmiştir.

Naik ve arkadaşları (2011) tarafından yapılan çalışmada, kompozit malzemeye düşük hızlı darbe deneyi yapılmış, kompozit malzeme olarak da E-camı/epoksi kullanılmıştır. Çalışmalarında kompozit malzemenin darbe uygulanmayan yüzeyinden sabit basınç uygulanmıştır. Böylece kompozit malzemeye uygulanan tek taraflı darbe yüklemesinin basınç etkisi altında kompozit malzemede meydana getirdiği hasarlar tespit edilmeye çalışılmıştır.

Azouaoui ve arkadaşları (2010) tarafından yapılan çalışmada, tabakalandırılmış E-cam/epoksi kompozit malzemesine uygulamış oldukları düşük hızlı darbeler sonucu meydana gelen hasarın yorulma davranışı üzerine etkisi incelenmiş ve yapıda oluşan delaminasyon ve çatlak gibi hasarları SEM görüntüleri ile gösterilmiştir.

Tiberkak ve arkadaşları (2008) tarafından yapılan çalışmada kompozit levhalarda darbe yüklemeleri neticesinde oluşabilecek olan hasarların tahmin edilmesi ile ilgili çalışma yapılmıştır. Yapılan bu çalışmada sonlu elemanlar yöntemi ve analitik yöntemler kullanılarak konu incelenmiş ve bu iki yöntemle elde edilen sonuçlar birbiriyle karşılaştırılmıştır.

Mal (2002) tarafından yapılan çalışmada tabakalı kompozit malzemelerin bünyesinde bulundurabileceği delaminasyon ve çatlak gibi olumsuzlukların tespit edilmesinde elastik dalgalardan faydalanılmıştır. Deneylerinin yapılmasında tabakalı kompozit malzemeye gönderilen dalgaların geri yansıma durumlarına göre malzeme üzerindeki hasarlar tespit edilmeye çalışılmıştır. Ayrıca çalışmalarında tabaka açılarının malzeme içerisindeki elastik dalga hareket hızına ve mevcut hasarların gözlenebilirliğine etkisi incelenmiştir.

Bouvet ve arkadaşları (2009) tarafından yapılan çalışmada tabakalı kompozit malzemenin üzerine uygulanan düşük hızlı darbe yüklemeleri neticesinde kompozit malzemeyi oluşturan tabakalar arasındaki hasar yapıları incelenmiştir. İncelemeler neticesinde kompozit malzemenin tabakaları arasında meydana gelebilecek delaminasyonları mikrograflar yardımıyla göstererek kompozit malzemenin darbe davranışı ve darbe sonrası oluşan hasarların ilerleme biçimleri incelenmiştir.

Mathivanan ve arkadaşları (2010) tarafından yapılan çalışmada cam-epoksi tabakalı kompozit malzemesine uygulanan düşük hızlı darbe yüklemeleri neticesinde kompozitin darbe davranışı karakteristiği incelenmiş ve çalışmalarında grafiksel ve SEM görüntülerine yer verilmiştir.

Mitrevski ve arkadaşları (2004) tarafından yapılan çalışmada farklı vurucu uç geometrisinin kompozit malzeme üzerindeki darbe etkileri araştırılmıştır. Karbon-Epoksi tabakalara yarı küresel, konik ve sivri vurucularla darbeler yapılmıştır. Kuvvet-zaman değişimi ve numunelerin yuttuğu enerji miktarları deneysel olarak tespit ederek vurucu geometrilerinin etkileri araştırılmıştır.

Belingardi ve Vadori (2002) tarafından yapılan çalışmada cam fiber ve epoksi kompozit plakalara ağırlık düşürme testi uygulanmıştır. Konpozit malzemede darbe yüklemeleri neticesinde temas kuvvetinin ve yutulan enerjinin değişimi incelenmiştir. Kompozit malzemedeki fiberlerin malzeme içerisindeki açısal konumunun malzemenin enerji absorbsiyon kapasitesine etki ettiği yapılan çalışmalarda tespit edilmiştir.

Cantwell ve arkadaşları (2010) tarafından yapılan çalışmada kompozit malzemelerin darbe yüklemeleri neticesinde göstermiş oldukları davranışları incelemiş ve kompozit malzemede oluşabilecek darbe hasarı ve bu darbe hasarının gelişimi üzerine çalışılmıştır.

Li ve arkadaşları (2006) tarafından yapılan çalışmada tabakalı kompozit levhaların darbe yüklemelerine maruz kalması sonucunda tabakalar arası meydana gelebilecek modlar ve bu modların karakterizasyonları ile ilgili analizde bulunulmuştur.

Ataş ve arkadaşları (2010) tarafından yapılan çalışmada, onarılmış cam/epoksi kompozit plakların darbe davranışları deneysel olarak incelenmiştir. Deneyde kullanılan numuneler, vakum destekli reçine infüzyon sistemi kullanılarak üretilmiştir. Numunelerin üretiminde, farklı açılara sahip cam-fiber kumaşlar kullanılmıştır. Deneyde serbest düşme darbe cihazı kullanılmıştır. Bu çalışmada, çeşitli parametrelerin onarılmış kompozit plakların darbe davranışına etkileri incelenmiştir. Onarım yönteminin (el yatırması, vakum destekli reçine infüzyonu), yama derinliğinin ve test

sıcaklığının (-50°C, 20°C, 90°C) etkileri araştırılmıştır. Bulunan sonuçlar çeşitli grafikler halinde bir arada değerlendirilmiş ve hasarlı numuneler ile mukayeseler yapılarak tartışılmış ve parametrelerin hasar mekanizmalarına katkısı değerlendirilmiştir. Onarılmış numuneler ile hasarsız numunelerin darbeli yüklere karşı cevapları ve hasar mekanizmaları da karşılaştırılmıştır.

Wang ve arkadaşları (2010) tarafından yapılan çalışmada karbon fiber takviyeli tabakalı kompozit malzemesinin düşük hızlı darbe davranışını ve uygulanan yükleme sırasındaki gerilme dayanımı incelenmiştir. Çalışmalarında sonlu elemanlar yöntemi ile darbe hasarının gelişimini modellenmesi amaçlanmış ve bunun içinde ABAQUS sonlu elemanlar programı kullanılmıştır. Düşük hızlı darbe neticesinde elde edilen veriler nümerik analiz neticesinde elde edilen verilerle kıyaslanmıştır.

Gonzalez ve arkadaşları (2011) tarafından yapılan çalışmada düşük hızlı darbeye maruz kalan tabakalı kompozit malzemelerde tabaka açısının kompozit malzemenin dinamik cevabına etkisi incelenmiştir. Çalışmalarında yapmış oldukları analitik analizin yanı sıra tabakalı kompozit malzemenin darbeye maruz kaldığı esnada meydana gelen titreşimin malzeme üzerindeki etkileri de incelenmiştir.

Hosur ve arkadaşları (2005) tarafından yapılan çalışmada farklı konfigürasyonlarda tabakalı melez kompozit malzemeler düşük hızlı darbe yüklemelerine maruz bırakılmışlardır. Deneysel çalışmalarda kullanılan kompozit malzemeler, epoksi reçinenin vakumlu kalıp yardımıyla çapraz örgü karbon kumaş ve düz örgü camın kullanılmasıyla elde edilmiştir. Yapılan çalışmalar neticesinde, tabakalı melez kompozit malzemelerin karbon/epoksi tabakalı kompozit malzemesine göre daha az rijitlik özelliği göstermesine rağmen yük taşıma kapasitesinin daha fazla olduğu görülmüştür.

Aymerich ve arkadaşları (2008) tarafından yapılan çalışmada düşük hızlı darbe yüklemesine maruz kalan tabakalı kompozitlerde çatlak oluşumu, tabakalar arası oluşabilecek kaymalar ve malzemedeki meydana gelebilecek kırılma durumları incelenmiştir. Grafit/epoksi tabakalı kompozit malzemenin kullanıldığı çalışmada, darbe sonrasında kompozit malzemeye uygulanan sabit basınç neticesinde tabakalar arası durumlar incelenmiştir. Deney sırasında kullanılan kompozit malzemelerin darbe neticesinde bünyesinde oluşan olumsuzluklar SEM görüntüleriyle beraber gösterilmiştir.

Bu çalışmada daha önce Bozkurt (2011) tarafından aynı konfigürasyonda 25 mm genişliğinde aynı sınır şartlarında ve aynı darbe hızlarında aynı test cihazı ile deneyler yapılmış ve sonuçlar yüksek lisans tezinde irdelenmiştir. Bu çalışmada aynı şartlar

altında test edilen 30 mm ve 35 mm kalınlığındaki numunelerden elde edilen sonuçlar ile genişlik etkisi irdelenecektir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal

3.1.1. Kompozit malzeme

Kompozit malzeme tasarımda aranan özellikleri verebilecek daha uygun bir malzeme oluşturmak için birbiri içerisinde pratik olarak çözünmeyen makro-seviyede iki ya da daha fazla malzemenin birleştirilmesi sonucu elde edilen yeni malzemedir. Makro yapıdan kasıt malzemenin makroskobik olarak her tarafta eşit olmasıdır. Malzemelerden biri Matris (gövde malzeme) olarak adlandırılır ve görevi diğer eklenecek malzemeleri bir arada tutmaktır. Diğer malzemelere de takviye malzemeler denir. Tanecik, sürekli lifler ve süreksiz lifler halinde olan katkı malzemeler istenilen özellikleri sağlayacak oryantasyonlarla matris malzeme içerisine eklenerek kompozit malzemeler elde edilir.

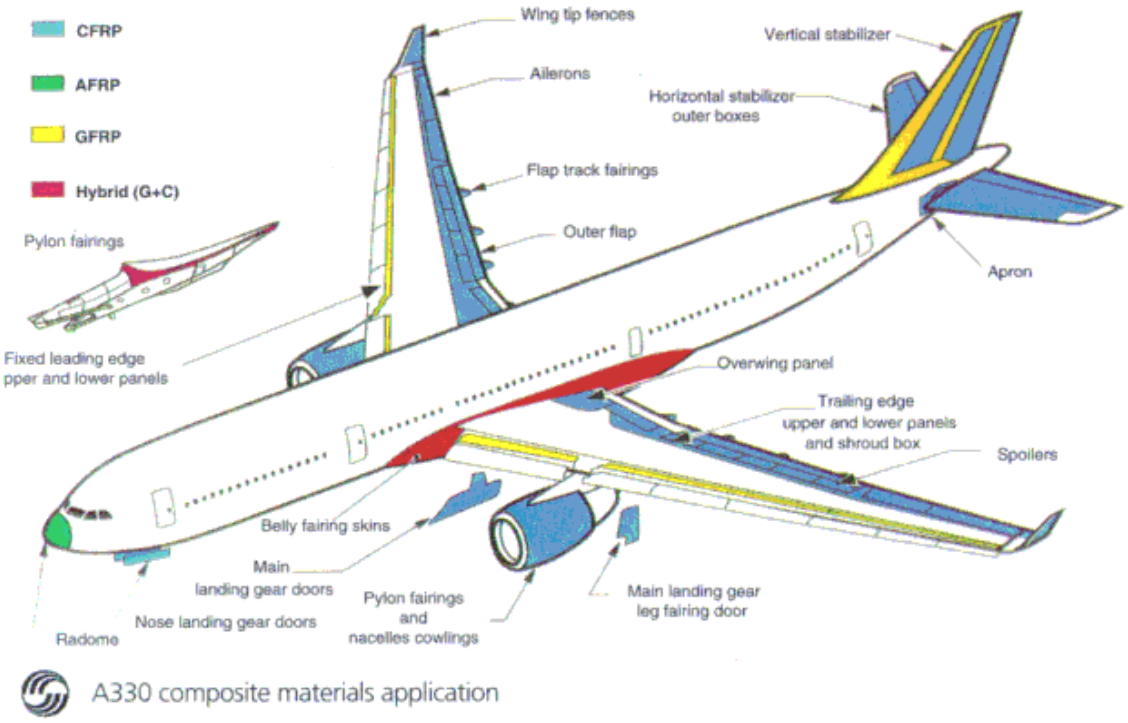
Kompozit malzeme kullanılarak üretilecek parçalar tasarlanırken, parçanın hangi alanda kullanılacağı ve kullanıma yönelik özel ihtiyaçların neler olduğunun bilinmesi gerekir. Kompozit bir parça tasarlanırken maliyet, ham malzeme özellikleri, çevre koşullarının parçaya etkisi, imalat yöntemi, kalite kontrol metodları gibi bir dizi faktör birlikte değerlendirilmelidir.

Tasarımda en büyük zorluklardan birisi kompozit malzemelerin izotropik özellikler göstermemesidir. Bu yüzden tasarımcı, parçaya her yönden ne kadar yük geleceğini ve parçanın hangi noktasında ne kadar mukavemete ihtiyaç olduğunu iyi anlayıp, fiberin yerleşim açılarını ona göre hesaplamalıdır. Kompozit malzemelerin, parça bütünlüğü, hafifliği, yüksek çeki ve bası mukavemeti, darbeye dayanımı ve uzun kullanım ömrü gibi özellikleri geniş kullanım alanlarında avantajlar sağlamaktadır.
Örneğin cam elyafı elastik bir malzemedir. Yük altında düzgün olarak kopma noktasına kadar uzayan cam elyafı, çekme yükünün kalkması sonucunda herhangi bir akma özelliği göstermeden başlangıç boyutuna geri döner. Metallerde ve organik liflerde bulunmayan bu elastiklik ve yüksek mukavemet özellikleri; cam elyafına büyük miktarda enerjiyi, kayıtsız olarak depolama ve bırakma olanağı sağlamaktadır. Bu özellik, dinamik yorulma dayanımı, aşınmaya karşı korunması koşulu ile otomobil ve kamyon amortisör yayları ile mobilya yayları gibi ürünlerin cam elyafı takviyeli plastik malzemeden yapılabilmesini sağlamaktadır. Cam elyafı takviyeli plastiklerde, cam

elyafı takviyesinin yönü önemli bir etkendir ve bu, cam elyafının reçine ile kaplanabilirliğini de etkiler. Dolayısıyla takviye miktarının artışı ile birlikte cam elyafının mukavemeti de artar.

Kompozit malzemelerin bu üstün özelliklerine karşın, yük taşıma yetilerinde zaman içerisinde azalma görülmektedir.

Melez kompozit malzemelerin uzay ve havacılık sanayinde kullanımı başta hafiflik ve sağlamlık nitelikleri sayesindedir. Şekil 3.1'de Airbus A330 uçaklarda kompozit malzeme kullanımı gösterilmiştir. Daha az yakıt harcamak, daha yüksek hıza ulaşmak ve verimliliği sağlamak esastır. Özellikle titreşim, yorulma ve ısı dayanımı gibi nitelikler uzay ve havacılık sanayinde Melez kompozit malzemelerin önde gelen avantajlarıdır. Melez kompozit malzemeler, uzay ve havacılık alanında giderek daha fazla kullanılmaktadır. Bugün bir bombardıman uçağında melez kompozit malzeme kullanımı toplam uçak ağırlığının yarısına kadar ulaşmış bulunmaktadır.



Şekil 3.1. Airbus A330 uçaklarda kompozit malzeme kullanımı (www.ndt.net/article/aero1197/aero5145/a330.gif)

3.1.2. Kompozit malzemelerin avantajları ve dezavantajları

Kompozit malzemelerin özgül ağırlıklarının düşük oluşu hafif konstrüksiyonlarda kullanımda büyük bir avantaj sağlamaktadır. Aynı zamanda fiber takviyeli kompozit malzemelerin korozyona dayanımları, ısı, ses ve elektrik izolasyonu sağlamaları da ilgili kullanım alanları için bir üstünlük sağlamaktadır. Kompozit malzemelerin dezavantajlı yanlarını ortadan kaldırmaya yönelik teorik çalışmalar yapılmakta olup, bu çalışmaların olumlu sonuçlanması halinde kompozit malzemelerin kullanım alanı daha da artacaktır. Kompozit malzemelerin avantajlarını ve dezavantajlarını kısaca ele alacak olursak;

Yüksek Mukavemet : Kompozitlerin çekme ve eğilme mukavemeti oldukça yüksektir. Ayrıca kalıplama özelliklerinden dolayı kompozitlere istenen yönde ve bölgede gerekli mukavemet verilebilir. Böylece malzemeden tasarruf yapılarak, daha hafif ve ucuz ürünler elde edilir.

Kolay Şekillendirebilme : Büyük ve kompleks parçalar tek işlemle bir parça halinde üretilebilir.Böylece malzeme ve işçilikten kazanç sağlanabilir.

Elektriksel Özellikler: Uygun malzemelerin seçilmesiyle üstün elektriksel özelliklere sahip kompozit ürünler elde edilebilir. Bugün büyük enerji nakil hatlarında kompozit malzemeler iyi bir iletken ve gerektiğinde de iyi bir yalıtkan olarak kullanılabilirler.

Korozyona ve Kimyasal Etkilere Karşı Mukavemet : Kompozit malzemeler, hava etkilerinden, korozyondan ve istenilen kimyasallara dirençli olarak üretilebilirler. Bu özellikleri nedeniyle kompozit malzemeler kimyevi madde tankları, boru ve aspiratörler, tekne ve diğer deniz araçları yapımında yaygın bir şekilde kullanılmaktadır.

Isıya ve Ateşe Dayanıklılığı : Isı iletim katsayısı düşük malzemelerden üretilen kompozit malzemelerin ısıya dayanıklılık özelliği, yüksek ısı altında kullanılabilmesine olanak sağlamaktadır.

Kalıcı Renklendirme : Kompozit malzeme üretimi esnasında reçineye ilave edilen renk pigmentleri sayesinde istenen renk verilebilir.Bu işlem ek bir masraf ve işçilik gerektirmez.

Titreşim Sönümleme : Kompozit malzemelere istenilen süneklik özelliği kazandırılıp titreşim ve şok sönümleme gereği olan alanlarda yaygın bir şekilde kullanılarak çatlak yürümesi olayı da böylece minimize edilmiş olmaktadır.

Bütün bu olumlu yanların dışında kompozit malzemelerin uygun olmayan yanları da şu şekilde sıralanabilir:

• Kompozit malzemelerdeki hava zerrecikleri malzemenin yorulma özelliklerini olumsuz etkilemektedir.

• Kompozit malzemeler değişik doğrultularda değişik mekanik özellikler gösterirler.
• Aynı kompozit malzeme için çekme, basma, kesme ve eğilme mukavemet değerleri farklılıklar gösterir.
• Kompozit malzemelerin delik delme, kesme türü operasyonları liflerde açılmaya neden olduğundan, bu tür malzemelerde hassas imalattan söz edilemez.

Görüldüğü gibi kompozit malzemeler, bazı dezavantajlarına rağmen çelik ve alüminyuma göre birçok avantaja sahiptir. Bu özellikleri ile kompozitler otomobil gövde ve tamponlarından deniz teknelerine, bina cephe ve panolarından komple banyo ünitelerine, ev eşyalarından tarım araçlarına kadar bir çok sanayi kolunda problemleri çözümleyecek bir malzemedir.

3.1.3. Tabakalı kompozit malzeme

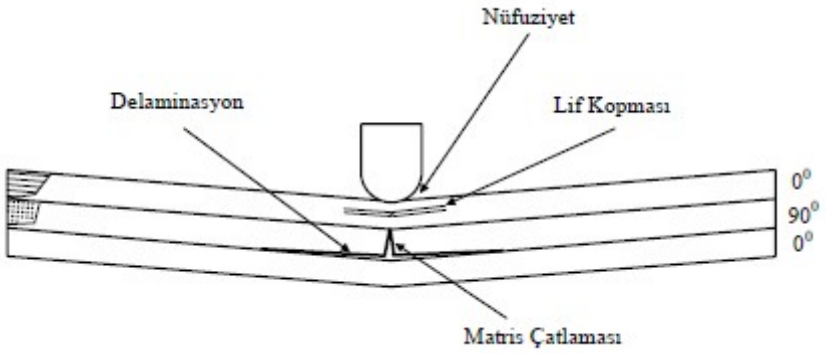
Tabakalı kompozitler bilinen en eski kompozit malzeme şeklidir. En az iki değişik levha malzemenin tabakalar halinde dizilerek oluşturduğu malzemelere tabakalı kompozit malzemeler denir. Ayrıca; tabakalar halinde bulunması her tabakanın ayrı bir kompozit olmasına izin vermektedir. Tabakalı kompozitlerin tasarım, üretim, standartlaştırma ve kontrolü diğer kompozitlerden daha kolay olmaktadır. Bu kompozitlerde özel gereksinimleri karşılamak amacıyla birden çok tabaka birlikte kullanılabilir. Bunlara sandviç malzeme de denir. Tabakalama işlemiyle kompozit malzemenin mukavemeti, katılığı, aşınma direnci, ısıl yalıtım özellikleri iyileştirilebilir.
Tabakalı kompozit malzemeler en az iki tabakadan oluşurlar. Ancak, dayanım ve mekanik özelliklerin özellikle önem taşıdığı hallerde, malzemenin bu özelliklere sahip olabilmesi için en az üç veya daha fazla tabaka kullanılmaktadır. Bu tabakaları oluşturan malzemeler farklı olabileceği gibi, aynı tür malzemeden de yapılabilmektedir.
Tabakalı kompozitlerin üretiminde, genel olarak tabaka niteliğindeki her türlü malzeme kullanılabilmektedir. Burada ilke birbirlerinin özelliklerini olumlu yönde takviye edecek bir kompozisyonun oluşturulmasıdır.
Tabakalı kompozitlerin üretiminde farklı türden veya tekbir türden malzeme kullanılabilmektedir. Tabakalı kompozitleri, üretimde kullanılan malzemelerin türlerinden hareketle,
• Farklı malzemelerden oluşan tabakalı kompozit malzemeler
• Tek tür malzemelerden oluşan tabakalı kompozit malzemeler,
şeklinde iki gurupta toplamak mümkündür.

3.1.4. Kompozit malzemelerin hasar mekanizmaları ve kırılma davranışları

Elyaf takviyeli tabakalar, anizotropik ve heterojen yapılarından dolayı genel olarak dört farklı önemli darbe hasar modunun ortaya çıkmasına müsaittirler. Bu modların tabakalı bir kompozit üzerindeki modeli Şekil 3.2'de görüldüğü gibidir. (Kara, M., 2012, Doktora Tezi).

1. Matris kırılması: Çatlama liflere paralel meydana gelir. Bunun nedeni basma gerilmesi ve kesme gerilmeleridir.
2. Delaminasyon modu: Tabakalar arası eğilme cevabı uyumsuzluğundan ortaya çıkar.
3. Elyaf kırılması: Gerilme altındaki lif kopar, sıkıştırma altındaki lif eğilir.
4. Nüfuziyet: Çarpan cisim kompozit malzemeye tamamıyla nüfuz eder.

Bunların dışında daha birçok hasar modundan bahsetmek mümkündür. Bu önemli hasar modlarına ilave olarak yapışma kusuru (debonding), fiber sıyrılması (pull out) eklenebilir.



Şekil 3.2. Darbe sonucu kompozit malzemede oluşan hasar çeşitleri (Kara,2006)

Matris çatlamaları, tek yönlü liflerden oluşmuş tabakalarda genellikle lif doğrultusuna paralel düzlemlerde oluşur. Darbeden sonra, tahmin edilmesi çok zor olan ve karmaşık bir düzende bulunan matris çatlakları vardır. Çekme çatlakları, düzlem için normal gerilmelerin tabakacığın enine kayma mukavemetini açtığı zaman ortaya çıkar. Kayma çatlakları orta düzlemden belli bir açıda bulunurlar ki bu durum enine kayma gerilmelerin bu tür çatlakların oluşumunda önemli rolü oynadığını göstermektedir. Kalın tabakalı kompozitler de yüksek yerel gerilmeler nedeniyle matris çatlakları

vurucunun çarptığı ilk katmanda meydana gelir. Hasar, yukarıdan aşağıya doğru bir çam ağacı görüntüsü oluşturacak şekilde ilerler. Önce tabakalı kompozitler için, kompozitin arka yüzündeki eğilme gerilmeleri en alt katmanda matris çatlağına neden olur. Bu da matris çatlakları ve delaminasyonları başlatarak ters çevrilmiş çam ağacı şeklinde bir hasar görüntüsü verir.

Delaminasyon, farklı elyaf yönlendirmelerine sahip tabakalar arasında meydana gelen ayrılmadır. Tabakalı kompozit malzemede katmanlar arasındaki farklı elyaf yönlenmelerinden dolayı bu katmanların eğilme rijitlikleri farklılık gösterir. Delaminasyonun en önemli sebebi; tabakalar arasındaki bu eğilme rijitlik farklılığı ve eğilme kaynaklı kayma gerilmeleridir. Delaminasyonu malzeme özellikleri, sıralanma düzeni ve tabaka kalınlığı gibi faktörler etkiler.

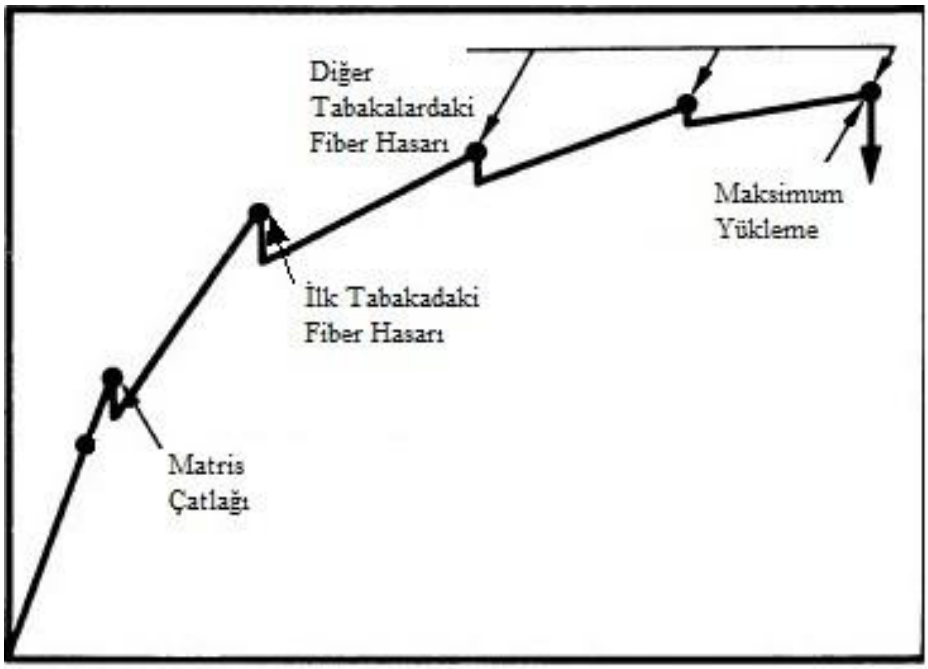
Elyaf kopması, matris çatlaması ve delaminasyondan sonra meydana gelir. Yüksek yerel gerilmeler ve nüfuziyetin neden olduğu etkiler çarpan cismin hemen altında gerçekleşir. Yüksek eğme gerilmeleri de darbeye maruz kalmayan yüzde meydana gelen gerilmelerdir.

Nüfuziyet, çarpan cismin delme miktarını ifade eder. Elyaf hacim oranlarının aynı olduğu farklı boyutlardaki malzemelerde çarpan cismin nüfuziyet alanı yaklaşık olarak aynıdır. (Bozkurt, 2011)

Malzemedeki hasar modlarının belirlenmesi sadece darbe olayı hakkında bilgi edinmek için değil, ayrıca yapının kalıcı mukavemeti hakkında fikir edinmeyi sağlaması açısından da çok önemlidir. Hasar modları arasındaki etkileşmeyi anlamak, hasar modunun başlaması ve ilerlemesini anlamak açısından da çok önemlidir.

Kompozit malzemelerin kırılma tokluğuna veya gerilme şiddet faktörüne etki eden sebeplerden biriside takviyenin geometrisidir (Harel ve ark. 1980; Sayer, 2009). Bu takviye geometrisi tek yönde veya açılı olabilir. Kompozit malzeme tabakalardan meydana gelmişse kırılma tokluğunda değişmeler olabilir.

Matris çatlaklarının oluşumu şekil 3.3’ de görüldüğü gibi kuvvet-yer değiştirme ve kuvvet-zaman eğrilerinde küçük salınımlar şeklinde karakterize edilebilir.(Jones, R.M.) Kuvvetteki ani düşüşlerse çoğunlukla tabakalar arası delaminasyon ve/veya elyaf kopması gibi ağır hasarlar olarak düşünülür. Kuvvet-yer değiştirme eğrisindeki eğim değişikliği tabakalı kompozit malzemelerin eğilme rijidliğini düşüren hasar modu olan deleminasyon olarak karakterize edilebilir.



Şekil 3.3. Tabakaların Deformasyonu (Jones, R.M.)

Melez kompozit malzemelerin düşük hızlı darbe davranışlarını incelemek için önce malzeme konfigürasyonları belirlenerek iki farklı genişlikte malzemeler üretildi. Üretilen malzemelerin mekanik özelliklerinin belirlenmesi için, malzemeler yakma ve çekme testlerine tabi tutuldu.

Deneyler iki farklı malzeme genişliğinde (30 mm - 35 mm), iki farklı konfigürasyonda (K1,K2), iki farklı sınır şartı altında (A=Ankastre B=Basit) ve üç farklı darbe hızında (2 m/s, 2.5 m/s, 3 m/s) gerçekleştirilmiştir. Bu deneylere 25 mm genişliğinde aynı sınır şartlarında ve eşit vurucu kütleli eşit darbe hızlarında yapılan Bozkurt'un (2011) deneyleri de eklenerek yorumlanacaktır.

Belirlenen hız değerlerinin vurucu kütlesinin serbest düşmesiyle elde edilebilmesi için vurucu kütlesi denklem (3.13)'de verilen denklemden hesaplanan bir ilk yükseklikte sabitlenmiştir. Burada hava sürtünmeleri ve cihazın iç sürtünmeleri ihmal edilmiştir. Bu deneyde kullanılan parametreler Çizelge 3.1'de verilmiştir.

Çizelge 3.1 Deneylerde kullanılan parametreler

	Konfigürasyon	Mesnet Tipi	Genişlik [mm]	Darbe hızı [m/s]
1	K1	A	30	2
2	K1	A	30	2,5
3	K1	A	30	3
4	K1	A	35	2
5	K1	A	35	2,5
6	K1	A	35	3
7	K1	B	30	2
8	K1	B	30	2,5
9	K1	B	30	3
10	K1	B	35	2
11	K1	B	35	2,5
12	K1	B	35	3
13	K2	A	30	2
14	K2	A	30	2,5
15	K2	A	30	3
16	K2	A	35	2
17	K2	A	35	2,5
18	K2	A	35	3
19	K2	B	30	2
20	K2	B	30	2,5
21	K2	B	30	3
22	K2	B	35	2
23	K2	B	35	2,5
24	K2	B	35	3

3.2. Yöntem

3.2.1. Düşük hızlı darbenin kinematik analizi

Newton'un II. Kanununa göre bir parçacığın momentumundaki değişim ona etki eden kuvvetle orantılıdır ve doğrultusu etki eden kuvvetle aynı doğrultudadır.

$$\frac{d(M\mathbf{V})}{dt} = \mathbf{F} \tag{3.1}$$

Burada kütle sabit olduğundan

$$\mathbf{V}(t) - \mathbf{V}(0) = M^{-1}\int_0^t \mathbf{F}(t').dt' \equiv M^{-1}\mathbf{P}(t) \tag{3.2}$$

Denklemi elde edilir.

Burada düşük hızlı darbe için başlangıç şartları t=0 iken F_i=0 ve buradan

$$v = \sqrt{2gh} \tag{3.3}$$

elde edilir.

Darbe sırasındaki temas kuvvetleri F_i Newton'un II. kanununa göre aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$a_i=F_i/m \tag{3.4}$$

Burada F_i ölçüm sisteminden alınan $4x10^{-5}$ sn aralıklarla alınan kuvvet değerleridir. a_i ise bu zaman aralığı için gerekli olan ivme değeridir. Uyaner ve Kara (2006) tarafından yapılan çalışmada düşük hızlı darbe için ivmenin zamanın lineer fonksiyonu olarak kabul edilebileceği gösterilmiştir. Bu durumda

$$a(t)=kt+c \tag{3.5}$$

Burada k ve c birer katsayı olup her zaman artışı için $\Delta t=t_i-t_{i-1}$ değeri yeniden hesaplanmalıdır burada k ve c değerleri aşağıdaki şekilde bulunabilir. (Uyaner ve Kara, 2006)

$$k=(a_i-a_{i-1})/(t_i-t_{i-1}) \tag{3.6}$$

$$c=(t_ia_{i-1}-t_{i-1}a_i)/(t_i-t_{i-1}) \tag{3.7}$$

Bu durumda

$$dV(t) = a(t)dt; \int_{Vi-1}^{V} dV(t) = \int_{ti-1}^{t} a(t)dt \tag{3.8}$$

$$dS(t) = V(t)dt; \int_{Si-1}^{Si} dS(t) = \int_{ti-1}^{ti} V(t)dt \tag{3.9}$$

Denklemleri yazılabilir.

Darbe sırasında meydana gelen impuls aşağıdaki şekilde ifade edilebilir.

$$J = \int_{0}^{tf} F(t)dt \tag{3.10}$$

Yutulan enerji ise

$$W = \int_0^{sf} F(s)ds \tag{3.11}$$

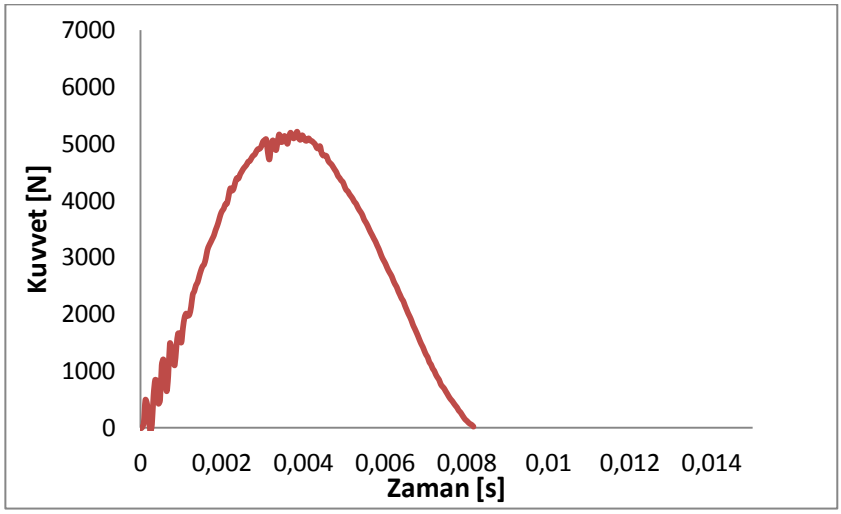
Serbest düşmeye bırakılan ağırlığın ilk hız sıfırdır;

$$v = \sqrt{2gh} \tag{3.12}$$

h yüksekliğinde vurucu kütlesinin sahip olduğu potansiyel enerji ise;

$$E_p = m.g.h \tag{3.13}$$

Deney sırasında oluşan zamana bağlı olarak alınan temas kuvvetleri deney cihazından elde edilmiştir. Şekil 3.4'de tipik kuvvet-zaman grafiği verilmiştir. Daha sonra hız-zaman, yer değiştirme-zaman, yer değiştirme-hız eğrileri elde edilmiştir. Darbe sonrasında malzemede oluşan hasar modları stereo mikroskop yardımıyla incelenmiştir. Devamında malzemelerin hasar sonrası kalan rijitliklerinin belirlenmesi amacıyla sabit yük altında üç noktadan eğme testi uygulanmıştır.

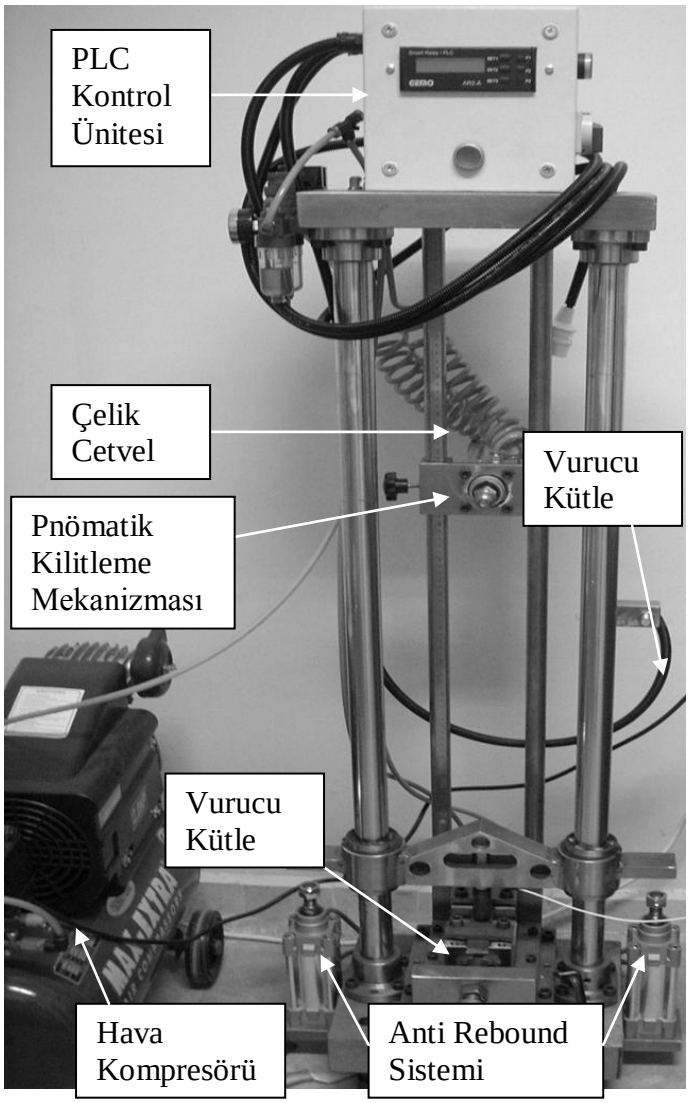


Şekil 3.4. Tipik kuvvet-zaman değişimi

3.2.1. Deney setinin kurulması

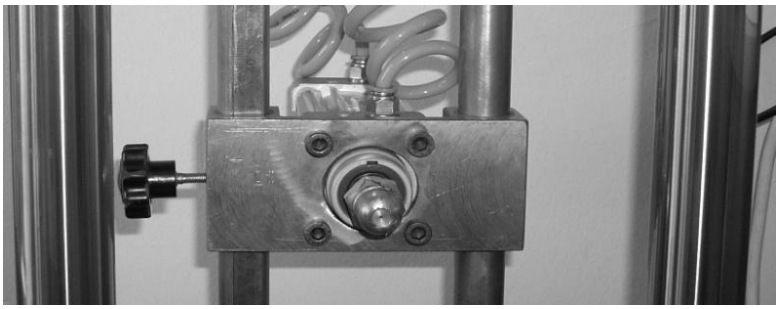
Şekil 3.5'de görülen düşük hızlı darbe deneyi düzeneği S.Ü. Mühendislik Mimarlık Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümünde bulunmaktadır. Vurucu kütlesi 5,6 kg olup, maksimum düşme yüksekliği 1 metredir. Vurucu kütlenin istenilen mesafeden bırakılabilmesi için istenilen yerde konumlanabilen pnömatik kilitleme mekanizması vardır. Bu mekanizmanın yüksekliği pnömatik kilitleme mekanizmasının

hareket ettiği kolonların birindeki çelik cetvel ile belirlenebilmektedir. Böylece farklı darbe hızlarında deneylerin yapılması mümkün olmaktadır. Aynı zamanda vurucunun pnömatik anti rebound sistemi ile deney numunesine sadece bir kez darbe uygulaması sağlanmıştır.



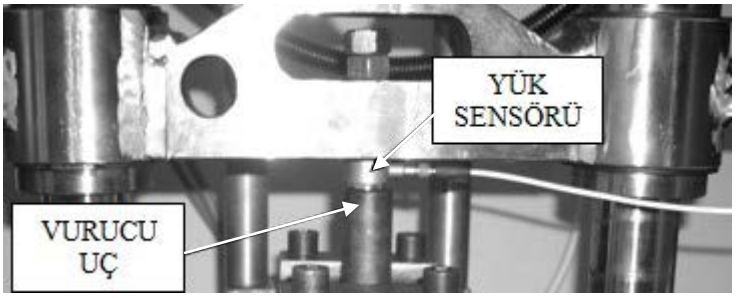
Şekil 3.5. Düşük hızlı darbe deneyi düzeneği

Şekil 3.6'da sistem yeterli basınca ulaştıktan sonra vurucu kütleyi serbest bırakacak hareketli pnömatik kilit mekanizması görülmektedir.



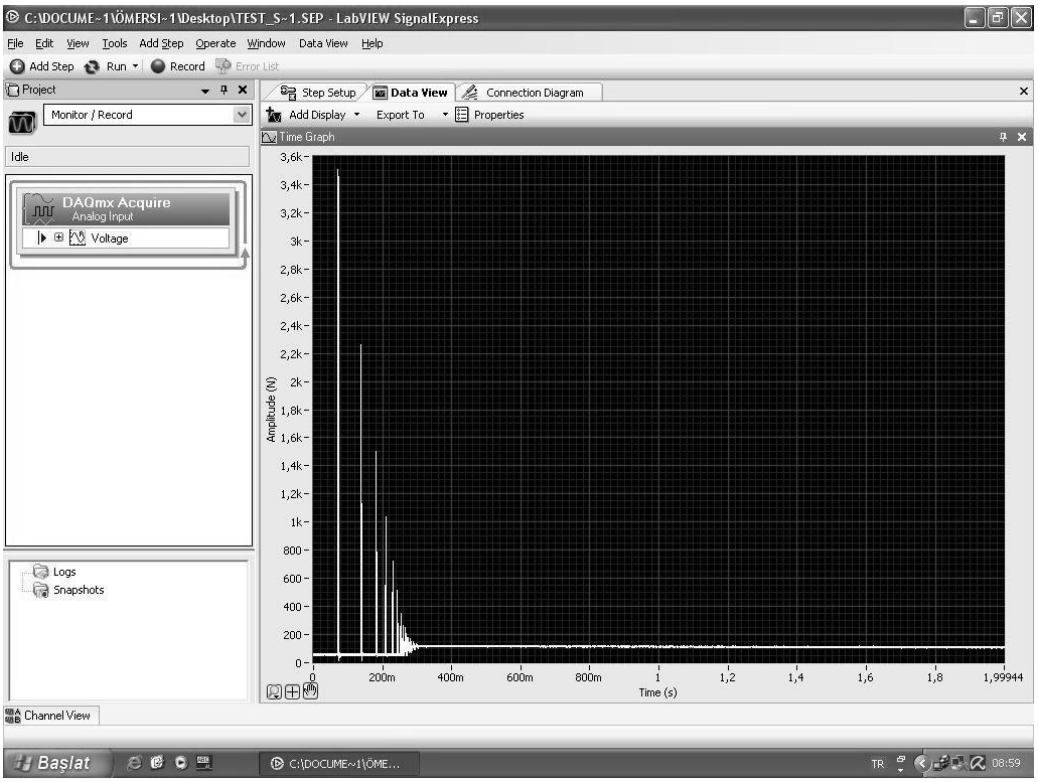
Şekil 3.6. Pnömatik kilit mekanizması

Şekil 3.7'de vurucu kütle ile kuvvet sensörü bağlantısı görülmektedir. Deneyde kullanılan vurucu geometrisi 12 mm çapında, yarı küresel uçludur. Kuvvet sensörü vurucu kütlesi ile vurucu arasına yerleştirilmiştir. Kuvvet sensörüne bağlanan teflon kablo yardımı ile elde edilen sinyal Labwiew sinyal expres yazılımı ile elektronik kontrol ünitesine iletilmektedir.



Şekil 3.7. Vurucu-Kuvvet sensörü bağlantısı

Elektronik kontrol ünitesinde kuvvet sensöründen gelen sinyali algılayıp yükselten bir sinyal şartlandırıcı bulunmaktadır. Kuvvet sensörü ile sinyal şartlandırıcı arasındaki bağlantı teflon kablo ile yapılmıştır. Teflon kablonun amacı kuvvet sensöründen gelen sinyali, özelliğini kaybetmeden iletmektir. Sinyal şartlandırıcıda yükseltilen sinyalin veri kartına iletilmesi bağlayıcı blok ile sağlanmıştır. Sinyalin doğrudan veri kartına verilmesi risk taşımaktadır. Veri kartının yanmasına veya işlevini yitirmesine sebep olabileceği için yükseltilen sinyal bir bağlayıcı blok üzerinden iletilmektedir. Sistemin uyumlu çalışabilmesi için bağlayıcı blok kullanılmıştır. Ayrıca mevcut sistemle beraber çalıştırılacak cihazlar için veri kartı tarafında üretilen gerilim bu bağlayıcı blok üzerinden alınabilmektedir. Ana kart üzerine yerleştirilen veri kartı ise gelen sinyali algılayıp işleyen karttır. Veri kartı aynı anda birbirinden farklı birçok sinyali alıp işleyebilme özelliğine sahiptir. Şekil 3.8' de örnek bir sinyal verilmiştir.



Şekil 3.8. Örnek sinyal görüntüsü

Yapılan yazılım ile zamana göre kuvvetin değişim grafiği elde edilmiştir. Bu yazılım sayesinde sinyalin özellikleri kolaylıkla belirlenebilmektedir. Örneğin; kaç saniye boyunca sinyal alınacağı, saniyede kaç veri alınacağı ayarlanabilmektedir. Şekil 3.9'da sinyal şartlandırıcı ve bağlantı bloğu görülmektedir.



Şekil 3.9. Elektronik kontrol ünitesi

Tedarikçi firmadan kuvvet sensörü kalibrasyonu yapılmış olarak gelmiştir. Bu kalibrasyonun geçerli olması için üretici tarafından 2000 lb"luk bir ön yükleme altında çalıştırılma gereği belirlenmiştir. Bunun için 2000 lb (yaklaşık olarak 8896,4 N'a

karşılık gelmektedir) bu ön yükleme değerine karşılık gelecek şekilde vurucu uç ve kayar kütle arasına yerleştirilen sensöre bir tork uygulanmış ve bağlantı sabitlenmiştir.

3.2.2. Deney Numunelerinin Hazırlanması

Bu çalışmada kullanılan deney numuneleri 90 mm x 30 mm ve 90 mm x 35 mm boyutlarındadır. Numuneler 18 tabakadan oluşturulmuş ve aşağıdaki konfigürasyonlarda üretilmiştir.

KONFÜGÜRASYON-1

[$0_C°$, $45_G°$,$+45_G°$,$0_G°$,$90_G°$,$0_G°$,$+45_G°$, $45_G°$,$0_G°$,$0_G°$,$-45_G°$,$+45_G°$,$0_G°$,$90_G°$,$0_G°$,$+45_G°$,$-45_G°$,$0_C°$]

KONFÜGÜRASYON-2

[$0_G°$, $45_G°$,$+45_G°$,$0_G°$,$90_G°$,$0_G°$,$+45_G°$, $45_G°$,$0_C°$,$0_C°$,$-45_G°$,$+45_G°$,$0_G°$,$90_G°$,$0_G°$,$+45_G°$,$-45_G°$,$0_G°$]

Şeklinde tasarlanmış E camı/epoksi tabakalı kompozit malzemeden İZOREEL firmasında üretilerek hazırlanmıştır. Numuneler 4 mm kalınlığındadır. İki tipte malzeme kullanıldı. İlkinde karbonlar orta kısımda diğerinde karbonlar dış kısımda konumlandırıldı. Konfügürasyon-1 ve konfügürasyon-2 şeklinde iki farklı sınır şartı altında deneyler yapılmıştır. Çizelge 3.2'de kompozit malzemenin bileşenlerine ait özellikler sunulmuştur.

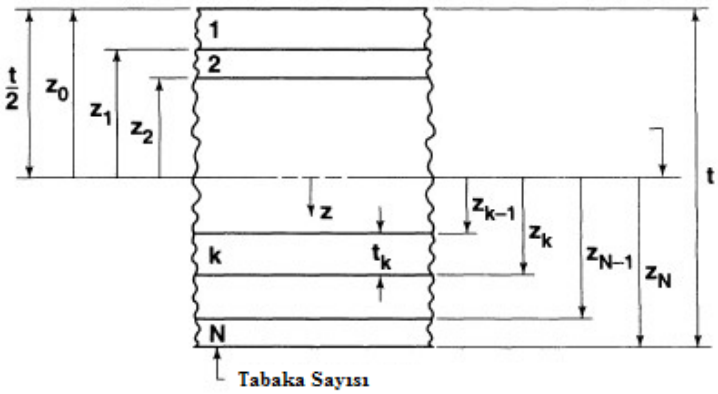
Çizelge 3.2 Melez kompozit malzeme bileşenlerinin özellikleri (Bozkurt, 2011)

Tek yönlü karbon	**Tek yönlü cam elyaf**
Karbon elastisite modulü= 230 GPa	E camın elastisite modulü= 72 GPa
E_1=136,93 GPa	E_1=47,16 GPa
E_2=7,18 GPa	E_2=7,76 GPa
Karbonun çekme mukavemeti=40GPa	E camın çekme mukavemeti=2,4 GPa
Poisson oranı ν_{12} =0,30	Poisson oranı ν_{12} =0,27
Yoğunluk=360 gr/m^2	Yoğunluk=250gr/m^2
Kayma modulü G_{12}=0,052 GPa	Kayma modulü G_{12}=0,024 GPa
10 cm genişlikte 22 adet roving	10 cm genişlikte 40 adet roving
Reçine Hexion EPR840-EPH875	Reçine Hexion EPR840-EPH875
Curing şartları 120ºC 4 saat	Curing şartları 120ºC 4 saat

Tabakalı kompozit malzemelerde kullanılan elyafların mekanik özellikleri Çizelge 3.2'de verilmiştir. Tabakalı kompozit malzemelerin konfigürasyonlarının belirlenmesinde üretim maliyetlerinin eşit olduğu, benzer iki malzemenin hangisinin daha dirençli olduğunun belirlenmesi amaçlanmıştır. Darbe yüklemesi esnasında

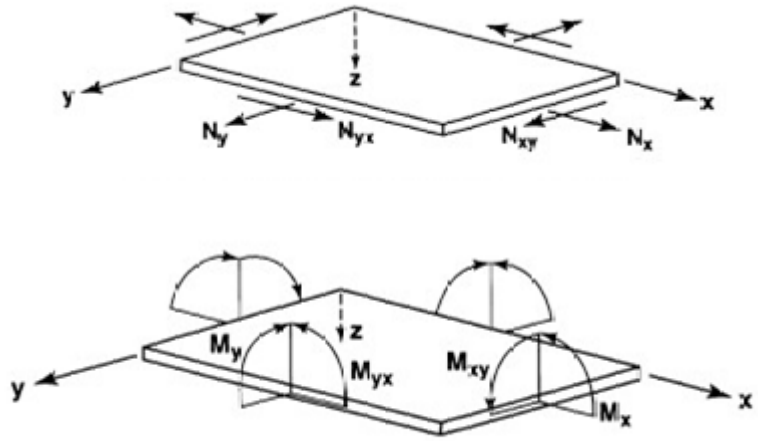
tabakalı kompozit malzemede kullanılan karbon elyafların iç kısımda olduğu konfigürasyonda karbon tabakalar kayma gerilmesine maruz kalacaktır, karbon elyafların dış kısımda olduğu konfigürasyonda eğilmeye daha fazla direnç göstermesinin yanı sıra karbon elyafların darbeye karşı dirençli olmayışı göz önünde bulundurulması gereken bir durumdur.

Karbon tabakaların dış kısımda veya iç kısımda olması durumunda eğilme rijitliğindeki değişim teorik olarak hesaplanmıştır. Burada tabakalı kompozit malzemelerin tabaka dizilimlerindeki karbonun yerinin etkisi belirlenmiştir. (Jones, R.M.) Şekil 3.9' de tabakalı kompozit malzemelerin tabaka dizilimleri gösterilmiştir.



Şekil 3.9 Tabakalı kompozit malzemelerde tabakaların gösterimi (Jones, R.M.)

Şekil 3.10' de tek bir tabaka üzerine uygulanan yüklemeler neticesinde meydana gelen kuvvet ve bu kuvvetler neticesinde meydana gelen momentler şematik olarak gösterilmiştir. Her bir tabaka için kuvvet ve moment değerleri toplanarak tabakalı kompozit malzemenin tamamı için kuvvet ve moment değerleri elde edilebilir. Aynı zamanda kuvvet ve moment ifadeleri matris şeklinde de elde edilebilir. (Jones, R.M.)



Şekil 3.10 Bir tabakada meydana gelen kuvvet (N) ve moment (M) (Jones, R.M.)

$$\begin{bmatrix} Nx \\ Ny \\ Nxy \end{bmatrix} = \int_{-t/2}^{t/2} \begin{bmatrix} \sigma x \\ \sigma y \\ \tau xy \end{bmatrix} dz = \sum_{k=1}^{N} \int_{Zx-1}^{Zx} \begin{bmatrix} \sigma x \\ \sigma y \\ \tau xy \end{bmatrix}_k dz \qquad (3.14)$$

$$\begin{bmatrix} Mx \\ My \\ Mxy \end{bmatrix} = \int_{-t/2}^{t/2} \begin{bmatrix} \sigma x \\ \sigma y \\ \tau xy \end{bmatrix} z.dz = \sum_{k=1}^{N} \int_{Zx-1}^{Zx} \begin{bmatrix} \sigma x \\ \sigma y \\ \tau xy \end{bmatrix}_k z.dz \qquad (3.15)$$

Tabakalı kompozit malzemelerde kuvvetle yer değiştirmeler arasındaki ilişki denklem 3.14-3.15' de verilmiştir. 3.14-3.21 denklemlerde görüldüğü üzere kuvvet ve moment ifadeleri rijitlik matrisleri şeklinde ifade edilmektedir. (Jones, R.M.) Burada Q_{ij} rijitlik matrisidir.

$$A_{ij} = \sum_{k=1}^{N} (\bar{Q}_{ij})_k (z_k - z_{k-1})$$
$$B_{ij} = \frac{1}{2} \sum_{k=1}^{N} (\bar{Q}_{ij})_k (z_k^2 - z_{k-1}^2)$$
$$D_{ij} = \frac{1}{3} \sum_{k=1}^{N} (\bar{Q}_{ij})_k (z_k^3 - z_{k-1}^3) \qquad (3.16)$$

$$(\bar{Q}_{11})_k = \frac{E_1^k}{1 - \nu_{12}^k \nu_{21}^k} \qquad (\bar{Q}_{12})_k = \frac{\nu_{12}^k E_1^k}{1 - \nu_{12}^k \nu_{21}^k} \qquad (\bar{Q}_{22})_k = \frac{E_2^k}{1 - \nu_{12}^k \nu_{21}^k}$$
$$(\bar{Q}_{16})_k = 0 \qquad (\bar{Q}_{26})_k = 0 \qquad (\bar{Q}_{66})_k = G_{12}^k \qquad (3.17)$$

Ayrıca A_{ij} uzama rijitliğini, B_{ij} uzama-eğilme rijitliğini ve D_{ij} eğilme rijidliğini temsil etmektedir. Çalışmalarımızı gerçekleştirdiğimiz tabakalı kompozit malzemelerin simetrik malzemeler olması nedeniyle B_{ij} bu matris çözümünde sıfır olarak değerlendirildi.

$$\begin{bmatrix} Nx \\ Ny \\ Nxy \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_{11} & A_{12} & A_{16} \\ A_{12} & A_{22} & A_{26} \\ A_{16} & A_{26} & A_{66} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \varepsilon_x^o \\ \varepsilon_y^o \\ \gamma_{xy}^o \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} B_{11} & B_{12} & B_{16} \\ B_{12} & B_{22} & B_{26} \\ B_{16} & B_{26} & B_{66} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} K_x \\ K_y \\ K_{xy} \end{bmatrix} \tag{3.18}$$

$$\begin{bmatrix} Mx \\ My \\ Mxy \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} B_{11} & B_{12} & B_{16} \\ B_{12} & B_{22} & B_{26} \\ B_{16} & B_{26} & B_{66} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \varepsilon_x^o \\ \varepsilon_y^o \\ \gamma_{xy}^o \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} D_{11} & D_{12} & D_{16} \\ D_{12} & D_{22} & D_{26} \\ D_{16} & D_{26} & D_{66} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} K_x \\ K_y \\ K_{xy} \end{bmatrix} \tag{3.19}$$

Dolayısıyla denklem 3.18 ve 3.19' deki $[B_{ij}]$ matrisi silinerek denklem 3.20 ve 3.21 elde edilir.

$$\begin{bmatrix} Nx \\ Ny \\ Nxy \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_{11} & A_{12} & 0 \\ A_{12} & A_{22} & 0 \\ 0 & 0 & A_{66} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \varepsilon_x^o \\ \varepsilon_y^o \\ \gamma_{xy}^o \end{bmatrix} \tag{3.20}$$

$$\begin{bmatrix} Mx \\ My \\ Mxy \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} D_{11} & D_{12} & 0 \\ D_{12} & D_{22} & 0 \\ 0 & 0 & D_{66} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} K_x \\ K_y \\ K_{xy} \end{bmatrix} \tag{3.21}$$

Çizelge 3.2' de verilen elastisite modülü değerlerinden faydalanılarak yukarıdaki ifadelerin her bir tabakalı kompozit malzeme için hesaplanması sonucunda tabakalı kompozit malzemenin tamamı için tek bir rijitlik matrisleri elde edilmiştir. Çizelge 3.3' de görüldüğü üzere D_{11} matris değeri tabakalı kompozit malzemenin eğilme rijitliğini göstermektedir. (Jones, R.M.) Konfigürasyon-1 dizilimine sahip tabakalı kompozit malzemenin konfigürasyon-2 dizilimine sahip tabakalı kompozit malzemeye nazaran eğilme rijitliği daha fazla olduğu görülmektedir.

Denklemler 3.18-3.21 arasında ifade edilen düzlem içi kuvvetler olan N_x, N_y, N_{xy} değerleri "N/m" cinsinden ifade edilmiş olup, ilgili denklemlerde ifade edilen A_{ij}, B_{ij}, D_{ij} terimleri birim genişlikli levha için ifade edilmiştir. Levhalara ait rijitlik değerlerinin gerçek boyutlar üzerinden ifade edilmesi için A_{ij}, B_{ij}, D_{ij} katsayılarının

numune genişliği ile çarpılması gerekir. Bu durum levhaların eğilme rijitliklerinin genişlikleri ile doğru orantılı olduğu sonucunu doğurur.

Çizelge 3.3 Tabakalı kompozit malzemenin toplam rijitlik değerleri

	Konfigürasyon-1 (GPa)	Konfigürasyon-2 (GPa)
A11	695,9	695,9
A12	118,2	118,2
A22	273,0	273,0
A16	81,1	81,1
A26	81,0	81,0
A66	101,9	101,9
B11	0	0
B12	0	0
B22	0	0
B16	0	0
B26	0	0
B66	0	0
D11	27457,4	14530,5
D12	3133,4	3133,4
D22	6792,6	6802,0
D16	2170,8	2170,8
D26	2168,2	2168,2
D66	2726,5	2726,5

ASTM-D2584 kurallarına uygun olarak S.Ü. Mühendislik Mimarlık Fakültesi Makine Mühendisliği laboratuarında matris ve takviye malzemesinin hacimsel oranını hesaplamak için yakma testi yapıldı. Deney numuneleri konfigürasyon-1 ve konfigürasyon-2 şeklinde üretilmiş olup 3 cm ve 3,5 cm genişliğinde, 4,5 cm uzunluğunda, 0,4 cm kalınlığındadır. Malzemelerin hacmi dikdörtgenler prizması şeklinde olduğundan en, boy, yükseklik değerleri çarpılarak 5,4 cm^3 ve 6,3 cm^3 olarak hesaplandı. Daha sonra malzemeler hassas terazide tartılarak ağırlıkları tespit edildi.

Malzemeler daha sonra 600ºC' ye ayarlanmış olan fırına konuldu ve bu sıcaklıkta 180 dakika yakma işlemine tabi tutuldu. Soğumanın ardından malzemeler hassas terazide yeniden tartılıp elde edilen hacim ve ağırlık değerlerini kullanarak, melez kompozit malzemelerin yoğunluğu tespit edilerek A_1=1,79 gr/cm3 ve A_2=1,88 gr/cm3 değerleri bulundu.

$$V_f = \frac{W_f / \rho_f}{W_c / \rho_c} \tag{3.22}$$

Burada Wf ve Wc elyaf ve melez kompozit malzemenin ağırlıkları, ρ_f ve ρ_c ise elyaf ve melez kompozit malzemenin yoğunluklarıdır. Burada cam yoğunluğu ρ=2.0 g/cm3 alınmıştır. Bu çalışmada kullanılan malzemelerin yakma deneyi sonucunda elyaf hacimsel oranları (Vf) A_1=0,59 (%59 elyaf) A_2=0,64 (%64 elyaf) olarak hesaplanmıştır.

4. DENEYSEL ÇALIŞMA VE ANALİZ

Bu bölümde yapılan deneylerden elde edilen veriler değerlendirilecektir. Üç farklı hızda, 2 farklı konfigürasyonda, 2 farklı mesnet tipinde ve 2 farklı geometride toplam 24 adet numuneye yapılan darbe deneyleri sonucunda elde edilen veriler, Levent Bozkurt (2011) tarafından yapılan çalışmadaki aynı konfigürasyondaki darbe testlerine maruz bırakılmış 25 mm genişliğindeki numunelere ait sonuçlar ile kıyaslanarak birlikte sunulmuştur.

Şekillerdeki K1 ve K2 numunenin konfigürasyonunu göstermektedir. K1 ifadesi karbonun dış kısımda olduğu konfigürasyon-2' yi gösterirken K2 ise karbon tabakanın ortada olduğu konfigürasyon-1' e ait olduğunu göstermektedir.

4.1. Geometrinin Etkisi

4.1.1. Kuvvetin zamana bağlı olarak değişimi

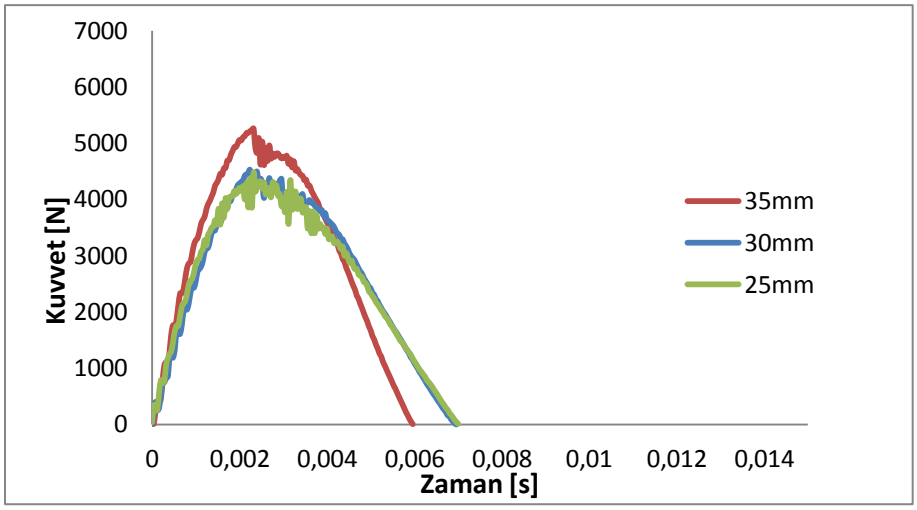
Şekil 4.1-4.12 arasında 2 farklı konfigürasyon, 2 farklı mesnet, 3 farklı hız ve 3 farklı genişlikteki malzeme için temas kuvvetinin zamana bağlı değişimi görülmektedir. Birçok kaynakta da belirtildiği gibi temas kuvvetinin zamana bağlı değişimi çan eğrisi formundadır. Görüldüğü gibi darbe hızının artmasıyla birlikte kuvvet-zaman eğrilerinde bulunan titreşimler de artmaktadır. Oluşan bu değişimler düşük hızlı darbe yüklemesinin temel karakteristiklerindendir ve vurucu ile deney numunesi arasında oluşan temas ve deformasyon durumu ile ilgilidir.

Şekil 4.1 de görüldüğü üzere konfigürasyon 1 ankastre mesnet ve 2 m/s için 25-30 mm – 35 mm malzeme genişliğindeki numunelerin maksimum temas kuvvetlerine bakılacak olursa en büyük temas kuvveti 5500 N ile 35 mm genişliğindeki numunede meydana gelmiştir. Sırasıyla 30 mm genişliğindeki numunede meydana gelen maksimum temas kuvveti 4500 N ve 25 mm genişliğindeki numunede meydana gelen maksimum temas kuvveti 4100 N dur. Şekil 4.2 de hız değeri 2.5 m/s olarak yapılan deneyden elde edilen maksimum temas kuvvetleri 35 mm genişliğindeki numune için 6000 N, 30 mm genişliğindeki numune için 5200 N, 25 mm genişliğindeki numune için 4800 N dur. Şekil 4.3 de hız değeri 3 m/s olarak yapılan deneyden elde edilen maksimum temas kuvvetleri 35 mm genişliğindeki numune için 6700 N, 30 mm genişliğindeki numune için 5500 N, 25 mm genişliğindeki numune için 5200 N dur.

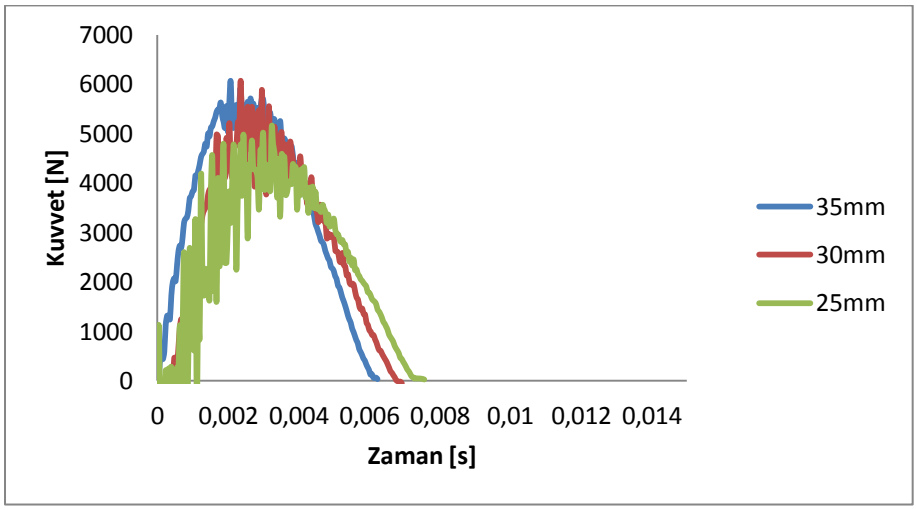
Aynı konfigürasyon için aynı hızlarda basit mesnetli yapılan deneylerin grafikleri şekil 4.4-4.6 de verilmiştir. Bu grafiklerde de genişlikle maksimum temas kuvvetinin arttığı görülmektedir. Yine aynı şekilde şekil 4.7-4.12 de konfigürasyon 2 için ankastre mesnet ve basit mesnette, 2 m/s, 2,5 m/s, 3 m/s hızlar ile yapılan deneyler incelendiğinde maksimum temas kuvvetinin genişlikle arttığı görülmektedir. Şekiller 4.1-4.12'de görüldüğü gibi numune genişliğinin artmasıyla birlikte darbe sırasında oluşan kuvvetin maksimum değerinde artış görülmektedir. Bu durum numune genişliğinin artışıyla birlikte numunenin rijitleşmesine bağlanabilir. Numune genişliği ile eğilme rijitliği arasındaki ilişki bölüm 3'te teorik olarak açıklanmıştır.

Deneyler ankastre ve basit mesnet olmak üzere iki farklı sınır şartında gerçekleştirilmiştir. Şekillerden anlaşıldığı üzere ankastre mesnetli durumda test edilen numunelerdeki maksimumu temas kuvvetleri basit mesnetli duruma göre biraz daha yüksektir. Bu durum bütün test parametrelerinde ve her iki malzeme konfigürasyonu için de geçerlidir. Bu durumda ankastre mesnedin eğilmeye daha az izin vermesi ve şekil değiştirme geliştikçe bağlantının daha da rijitleşmesinin (stres stiffening) etkisi olduğu düşünülebilir.

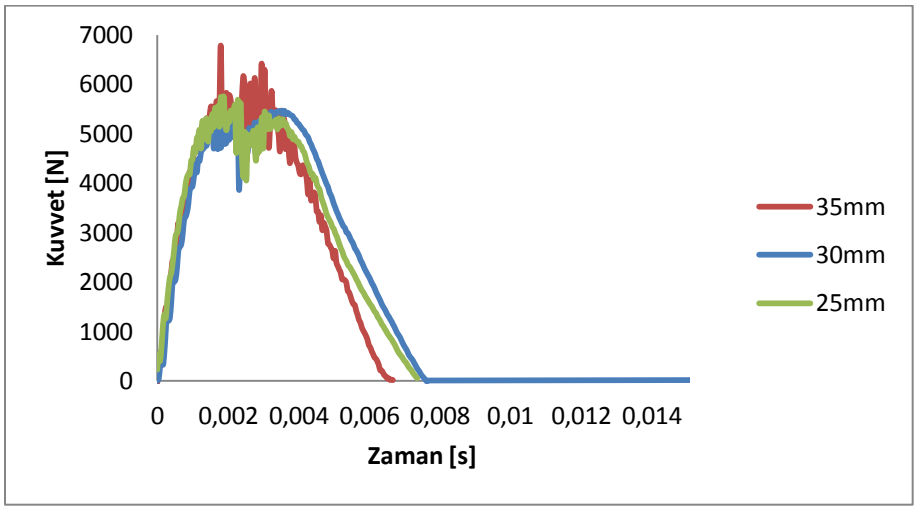
Kuvvet-zaman eğrilerinde gözlemlenen ani kuvvet düşüşleri hasar gelişimini göstermektedir. Şekillerde görüldüğü gibi ankastre sınır koşullarında test edilen karbon tabakanın iç kısımda olduğu konfigürasyonlu malzemelerde kuvvette anlık bir kuvvet düşüşü gözlenmiştir. Bu durumda belirtilen numunede hasar geliştiğinin göstergesidir. Şekil 4.9 incelendiğinde kuvvet değerindeki ani düşüşler mikro yapıdaki delaminasyon veya fiber kopması gibi ciddi hasarlar oluştuğunun göstergesi olarak kabul edilebilir.



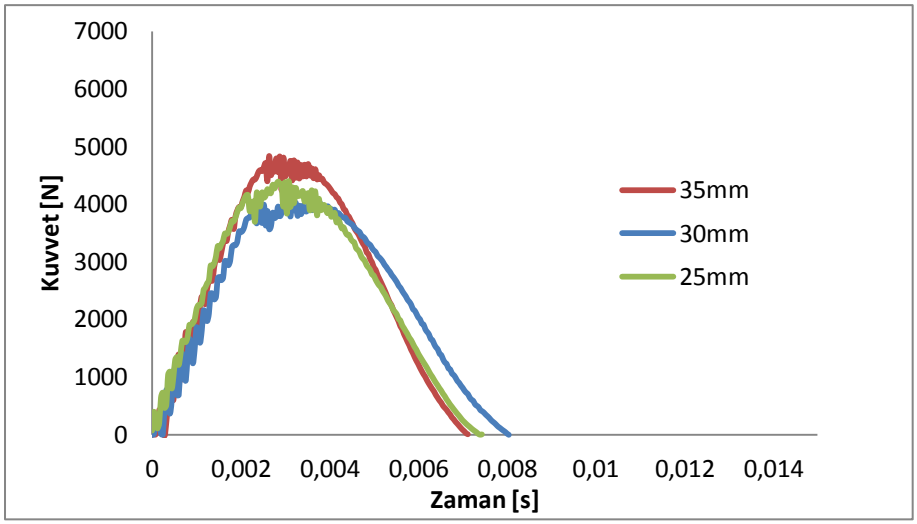
Şekil 4.1. Temas kuvvetinin zamana bağlı değişimi (K1, Ankastre mesnet, 2 m/s)



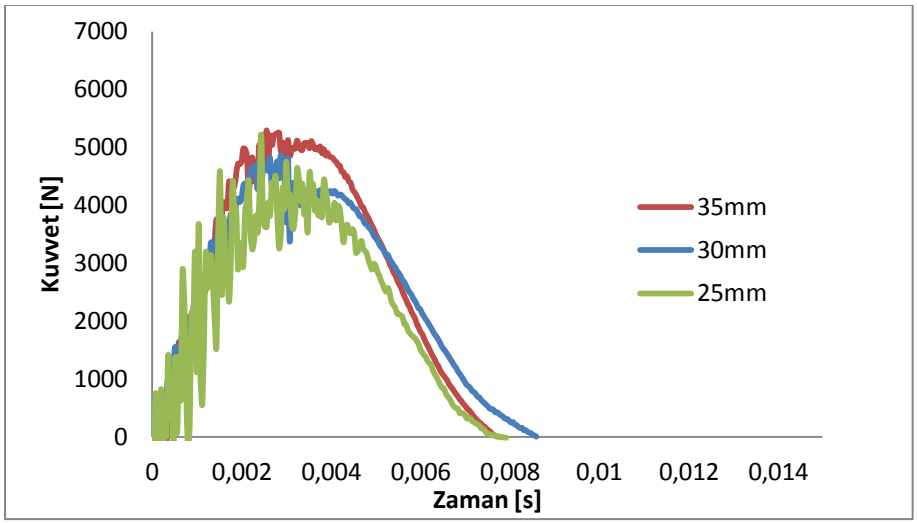
Şekil 4.2. Temas kuvvetinin zamana bağlı değişimi (K1, Ankastre mesnet, 2,5 m/s)



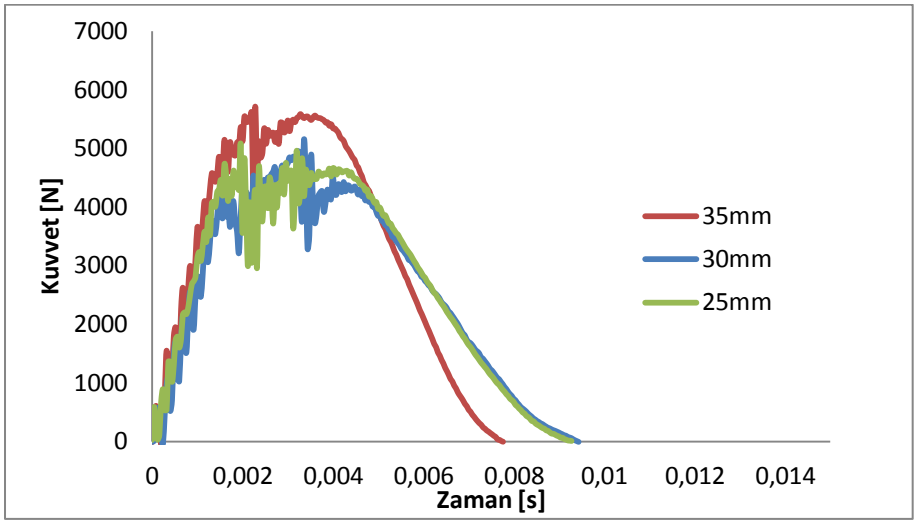
Şekil 4.3. Temas kuvvetinin zamana bağlı değişimi (K1, Ankastre mesnet, 3 m/s)



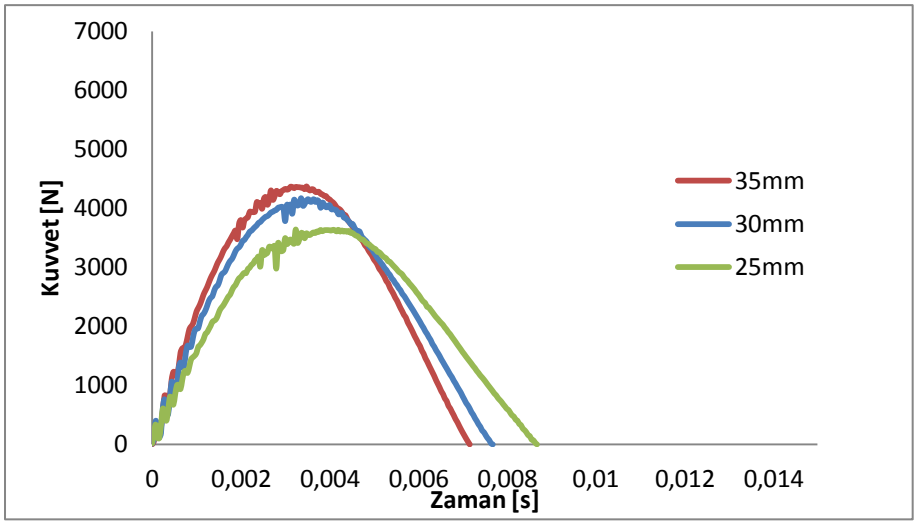
Şekil 4.4. Temas kuvvetinin zamana bağlı değişimi (K1, Basit mesnet, 2 m/s)



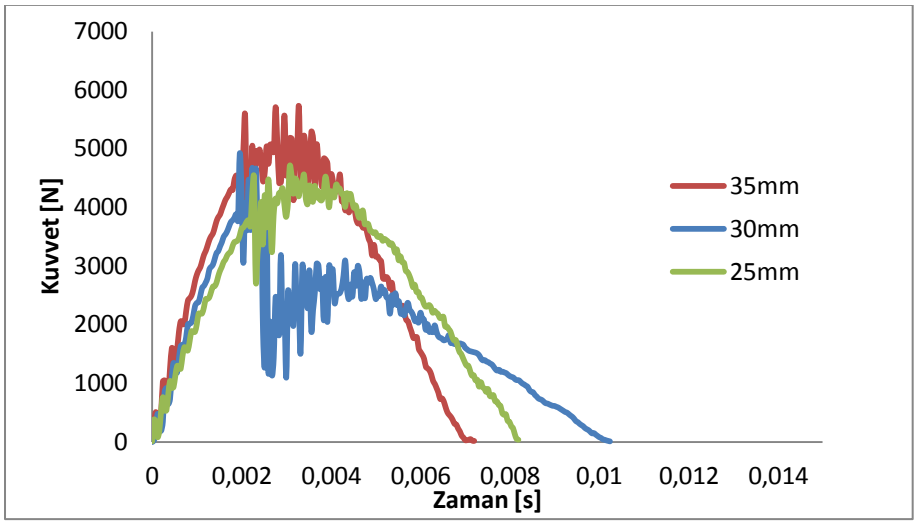
Şekil 4.5. Temas kuvvetinin zamana bağlı değişimi (K1, Basit mesnet, 2,5 m/s)



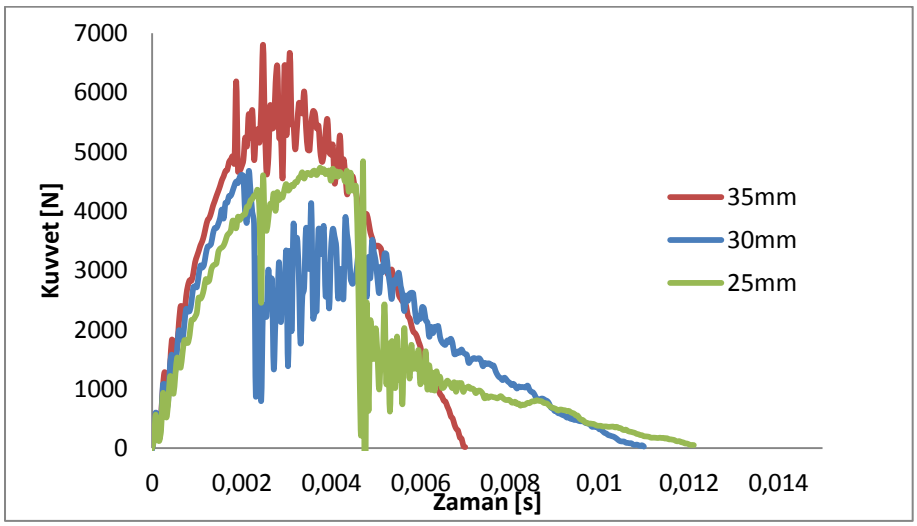
Şekil 4.6. Temas kuvvetinin zamana bağlı değişimi (K1, Basit mesnet, 3 m/s)



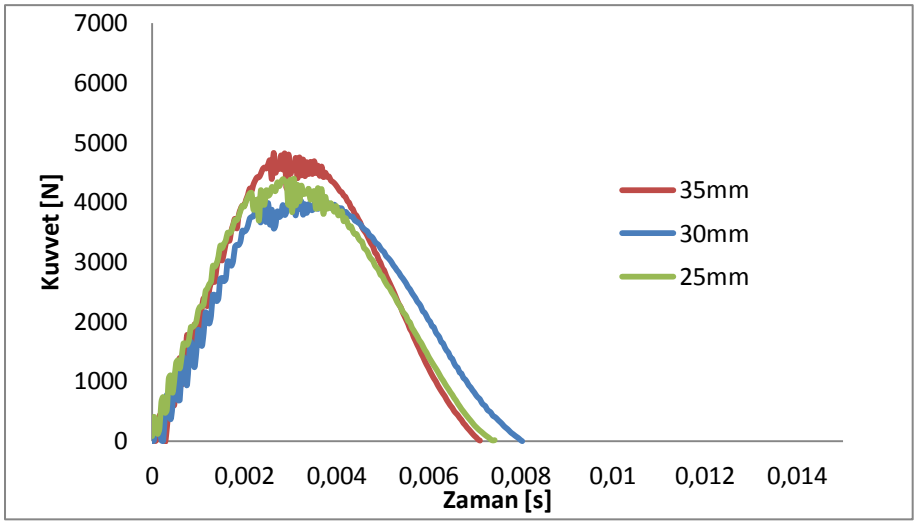
Şekil 4.7. Temas kuvvetinin zamana bağlı değişimi (K2, Ankastre mesnet, 2 m/s)



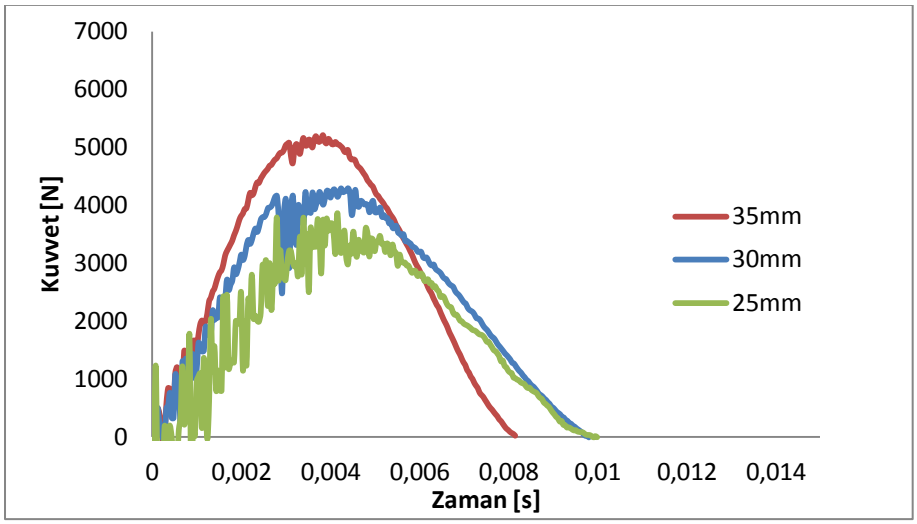
Şekil 4.8. Temas kuvvetinin zamana bağlı değişimi (K2, Ankastre mesnet, 2,5 m/s)



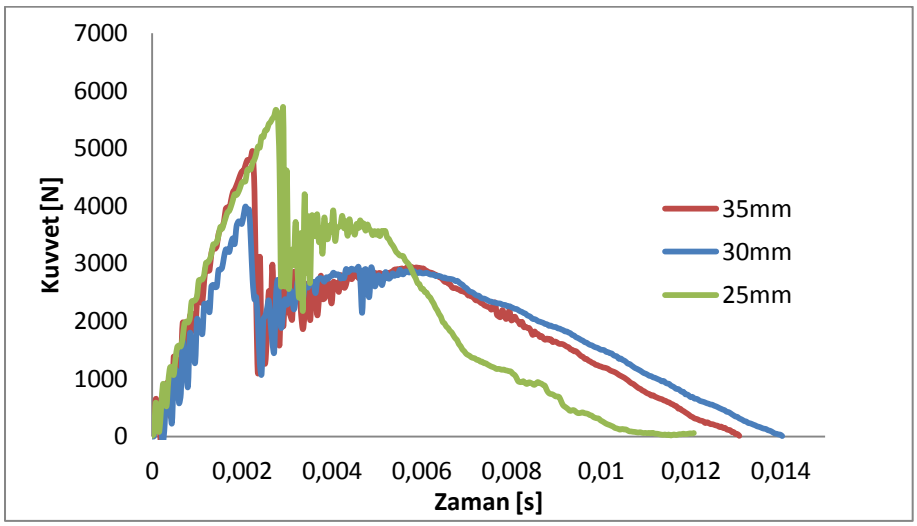
Şekil 4.9. Temas kuvvetinin zamana bağlı değişimi (K2, Ankastre mesnet, 3 m/s)



Şekil 4.10. Temas kuvvetinin zamana bağlı değişimi (K2, Basit mesnet, 2 m/s)



Şekil 4.11. Temas kuvvetinin zamana bağlı değişimi (K2, Basit mesnet, 2,5 m/s)



Şekil 4.12. Temas kuvvetinin zamana bağlı değişimi (K2, Basit mesnet, 3 m/s)

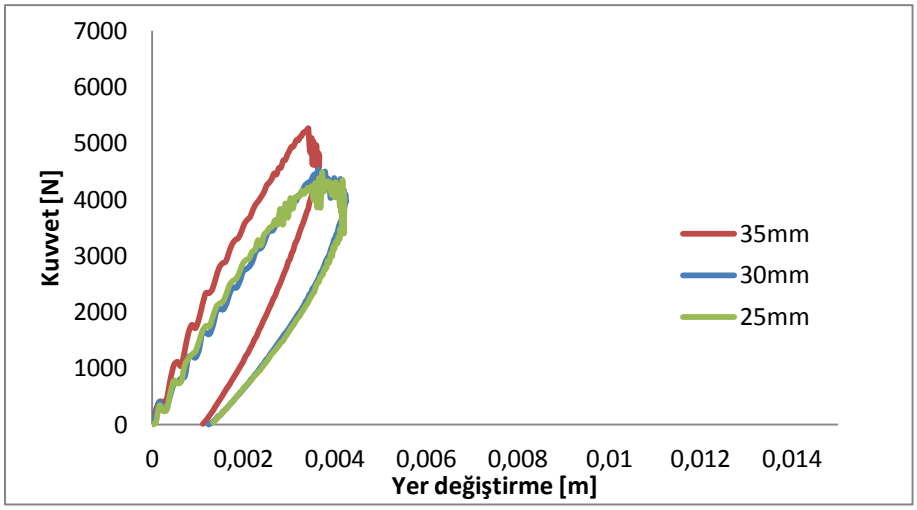
4.1.2. Kuvvetin yer değiştirmeye bağlı olarak değişimi

Kuvvet-yer değiştirme eğrilerinin eğimleri eğilme rijitliğini temsil etmektedir. Şekil 4.13-4.24 incelendiğinde deney numunelerinin genişliğinin artması ile eğilme rijitliklerinin de arttığı açıkça görülmektedir. Bölüm 3'te teorik olarak ortaya koyulan eğilme rijitliğinin numune genişliği ile arttığı deney sonuçlarında da belirgin bir şekilde görülmüştür.

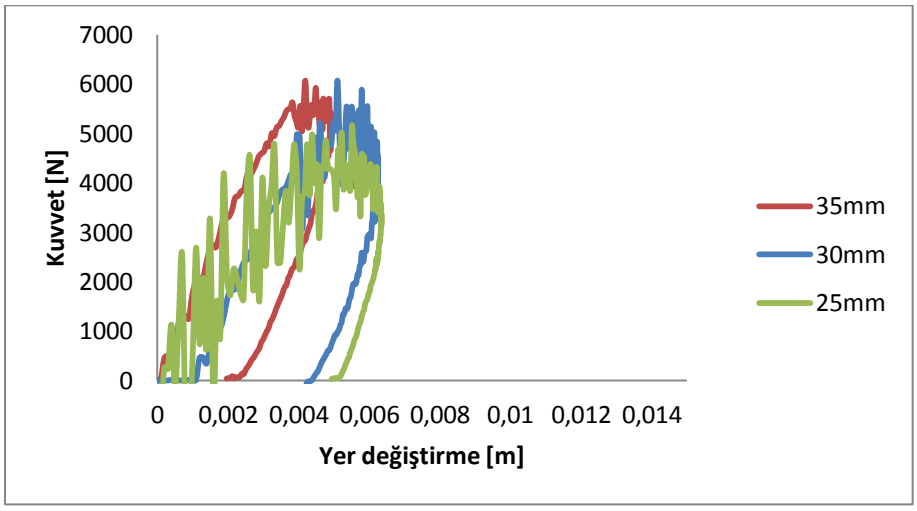
Şekiller 4.13-4.24 incelendiğinde genel olarak çarpma hızının artışıyla birlikte temas kuvvetinin maksimum değerinde artış görülmektedir. Bu artışla birlikte yer değiştirmenin de artış gösterdiği görülmektedir. Kuvvetin maksimum değere ulaşmasının ardından kuvvetteki azalma ile birlikte yer değiştirme negatif yönde değişmektedir. Yükleme sonucunda geriye kalan yer değiştirme miktarı da deney numunesindeki hasar gelişimini göstermektedir.

Kuvvet-yer değiştirme eğrilerinin eğimi eğilme rijitliği olarak tanımlanmıştır. Kuvvetin uygulanması ve geri kaldırılması durumları için eğilme rijitliğinde azalma yolunda değişiklik olduğu görülmektedir. Bu durum 2 m/s hızla uygulanan darbelerde kendini çok fazla göstermemektedir, fakat 2,5 m/s ve 3 m/s hızlarda uygulanan darbelerde hasar gelişiminin göstergesi olarak açık bir biçimde görülmektedir. Bu bağlamda geometrinin etkisi de açık bir biçimde görülmektedir. Delaminasyon gibi ağır hasarların neticesinde malzemenin eğilme rijitliği azalmaktadır. Bu eğilme rijitliğindeki azalmanın malzeme genişliği arttıkça daha az olduğu söylenebilir.

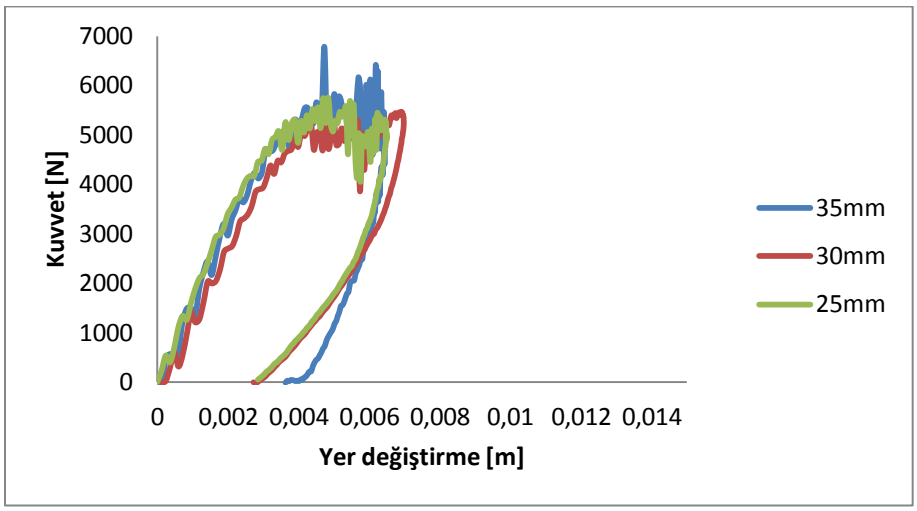
Şekiller 4.13-4.24 incelendiğinde konfigürasyon-2'ye sahip olan numunelerde hem ankastre hem de basit olarak mesnetlenmiş numunelerden 2,5 ve 3m/s hızda darbeye maruz bırakılan numunelerde ani kuvvet düşüşleri gözlemlenmiştir. Konfigürasyon-1'e sahip olan numunelerden de yukarıda ifade edilen davranışı gösteren numuneler bulunmaktadır. Ancak 2m/s ve 2,5 m/s hızda çok belirgin değildir. Belirtilen davranış 3 m/s hızla uygulanan darbelerde daha belirgindir. Bu durumda konfigürasyon-2'ye sahip olan numunelerde benzer şartlar altında test edilen ve konfigürasyon-1' e sahip olan numunelere kıyasla daha çok hasar geliştiği anlaşılmaktadır. Bu hasar malzeme genişliğinin azalmasıyla daha da artmaktadır. Kuvvet-yer değiştirme eğrilerinde mesnet etkisi de belirgin bir şekilde görülmektedir. Basit mesnette yapılan deneylerdeki kuvvet-yer değiştirme eğrilerinin eğiminin yani eğilme rijitliğinin ankastre mesnettekilere göre daha düşük olduğu açıkça görülmektedir.



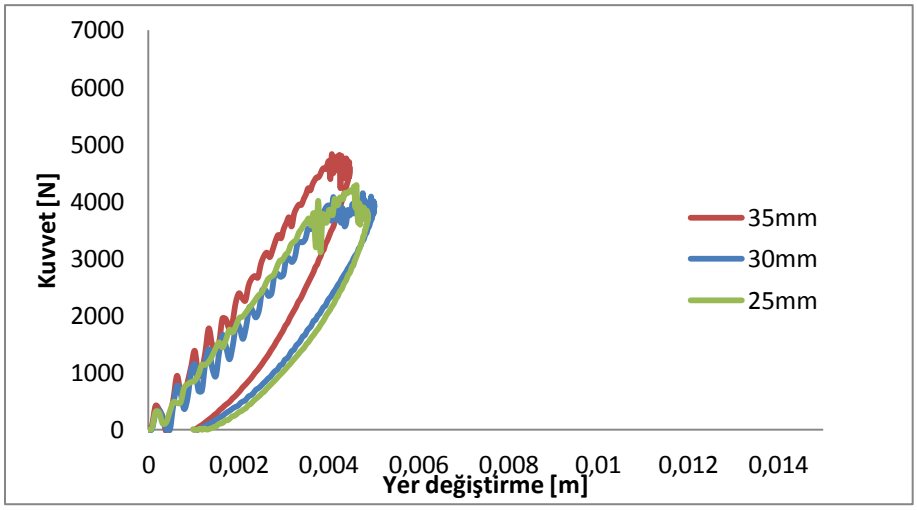
Şekil 4.13 Temas kuvvetinin yer değiştirmeye bağlı değişimi (K1, Ankastre mesnet, 2 m/s)



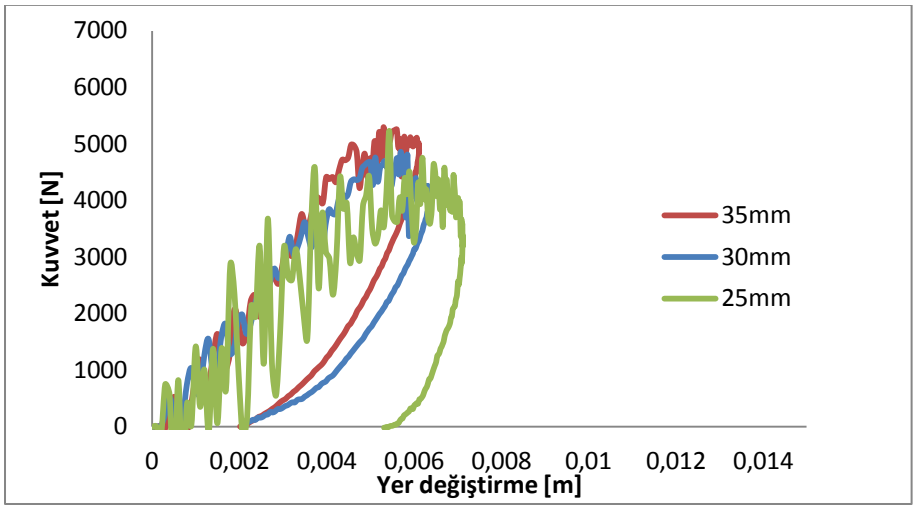
Şekil 4.14 Temas kuvvetinin yer değiştirmeye bağlı değişimi (K1, Ankastre mesnet, 2,5 m/s)



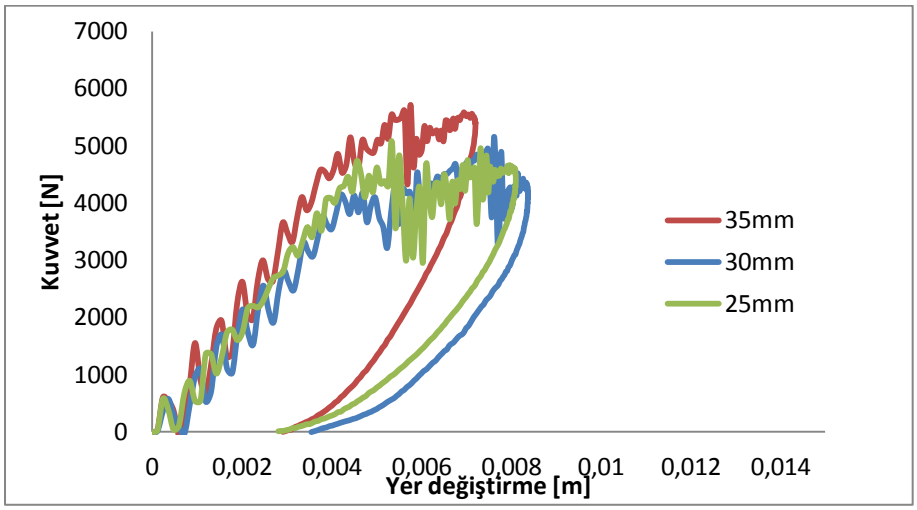
Şekil 4.15 Temas kuvvetinin yer değiştirmeye bağlı değişimi (K1, Ankastre mesnet, 3 m/s)



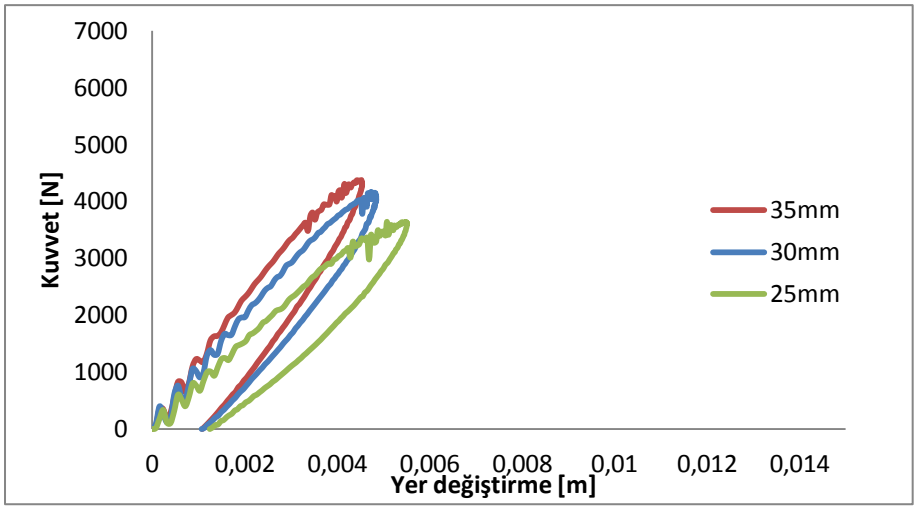
Şekil 4.16 Temas kuvvetinin yer değiştirmeye bağlı değişimi (K1, Basit mesnet, 2 m/s)



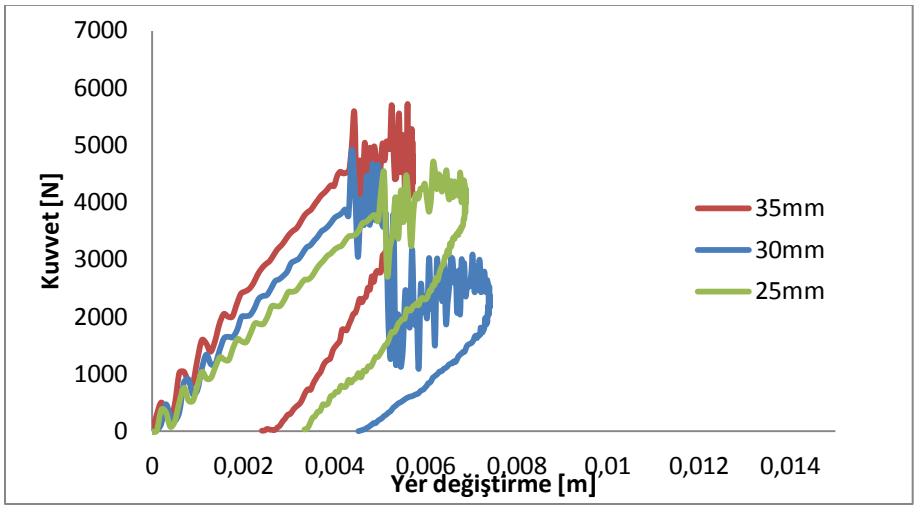
Şekil 4.17 Temas kuvvetinin yer değiştirmeye bağlı değişimi (K1, Basit mesnet, 2,5 m/s)



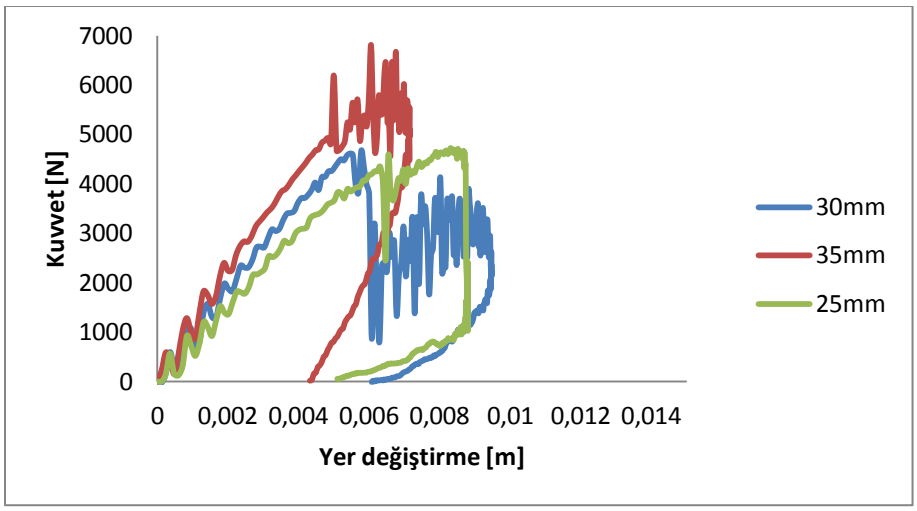
Şekil 4.18 Temas kuvvetinin yer değiştirmeye bağlı değişimi (K1, Basit mesnet, 3 m/s)



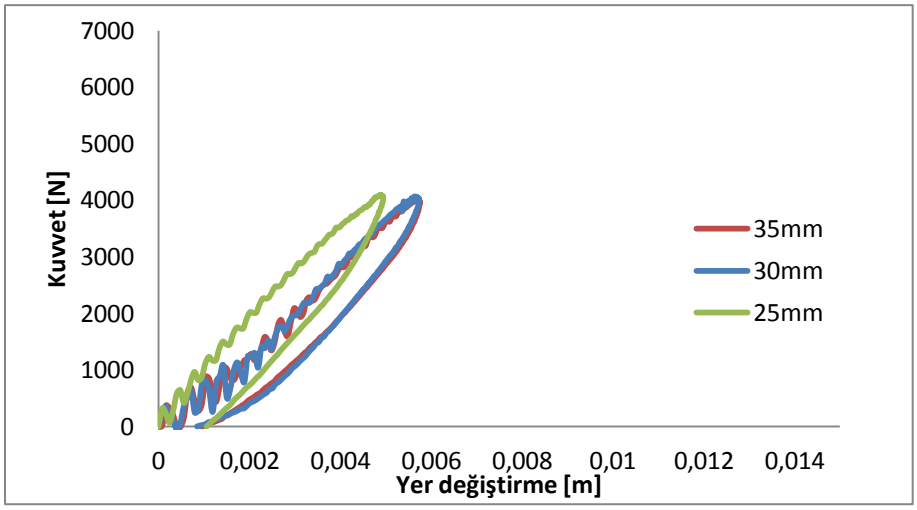
Şekil 4.19 Temas kuvvetinin yer değiştirmeye bağlı değişimi (K2, Ankastre mesnet, 2 m/s)



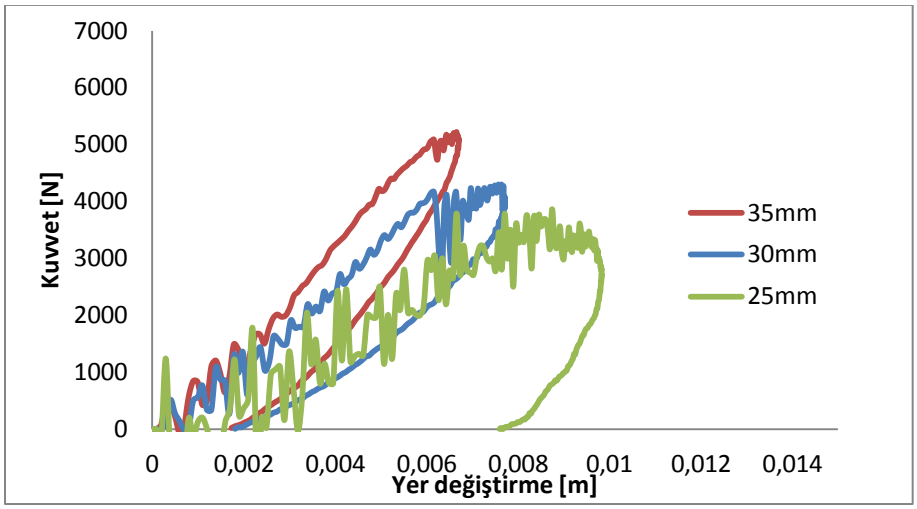
Şekil 4.20 Temas kuvvetinin yer değiştirmeye bağlı değişimi (K2, Ankastre mesnet, 2,5 m/s)



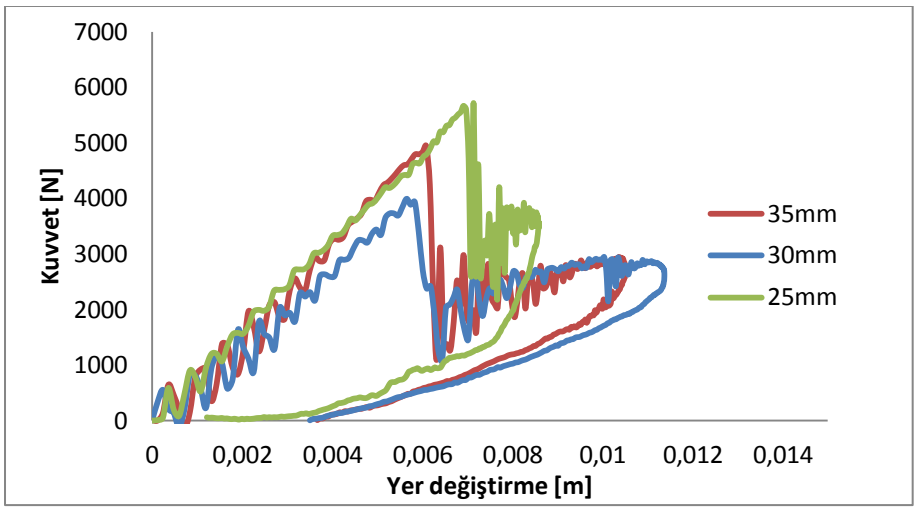
Şekil 4.21 Temas kuvvetinin yer değiştirmeye bağlı değişimi (K2, Ankastre mesnet, 3 m/s)



Şekil 4.22 Temas kuvvetinin yer değiştirmeye bağlı değişimi (K2, Basit mesnet, 2 m/s)



Şekil 4.23 Temas kuvvetinin yer değiştirmeye bağlı değişimi (K2, Basit mesnet, 2,5 m/s)



Şekil 4.24 Temas kuvvetinin yer değiştirmeye bağlı değişimi (K2, Basit mesnet, 3 m/s)

4.1.3. Enerji transferinin zamana bağlı olarak değişimi

Şekil 4.25-4.36 arasında 2 farklı konfigürasyon, 2 farklı mesnet, 3 farklı hız ve 3 farklı genişlikteki malzeme için birikimli enerji absorbsiyon kapasiteleri görülmektedir. Grafiklerin elde edilmesinde daha önce de belirtildiği gibi birikimli enerji metodu kullanılmıştır.

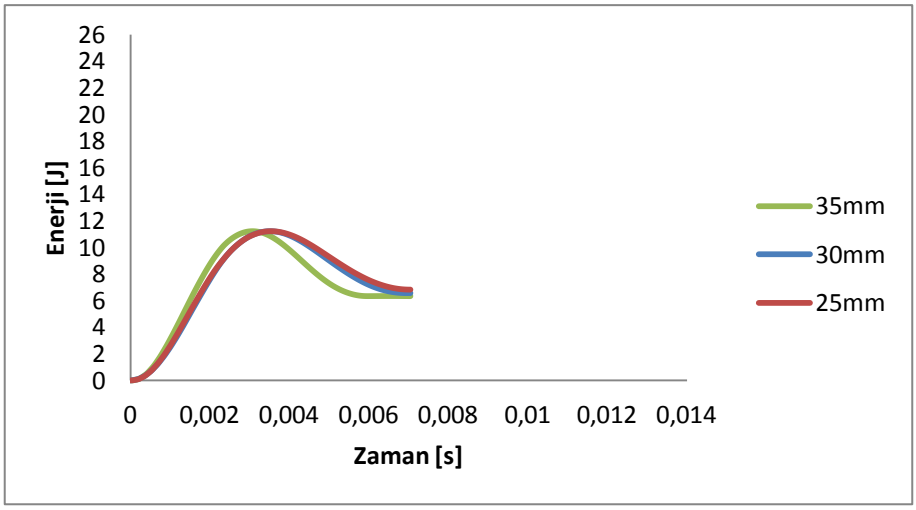
Kompozit malzemelerin maruz kaldıkları darbe yüklemeleri karşısında yapısal bütünlüğünü koruması ve rijitliğini olabildiğince muhafaza etmesi istenir. Kompozit malzemedeki hasar gelişimi malzemenin enerji absorbsiyonu ile orantılıdır.

Eğrilerin maksimum olduğu nokta toplam darbe enerji miktarını, eğrinin bittiği nokta ise kompozit malzeme tarafından absorbe edilen enerji miktarını göstermektedir. Bu iki nokta arasındaki enerji farkı ise uygulanan darbe sonrası iade edilen enerji miktarını göstermektedir.

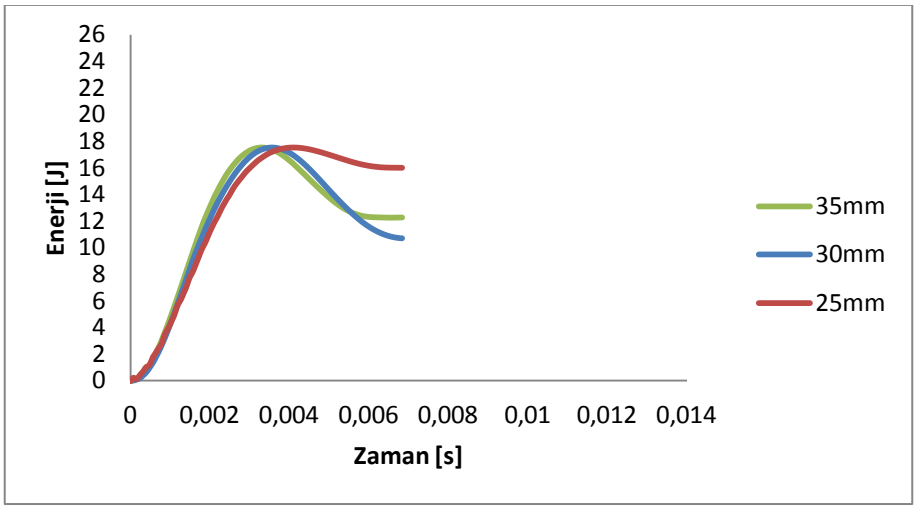
Grafikler incelendiğinde karbon tabakanın dış kısımda olduğu malzemelerde, karbon tabakanın iç kısımda olduğu malzemelere göre darbe yüklemesine verilen cevap süresinin daha kısa olduğu görülmektedir. Bu cevap süresinin kısa olması enerji transferinin daha hızlı olduğu anlamına gelir ve elastik dalga hareketi daha etkili olur.

Grafiklerin incelenmesi neticesinde görülmektedir ki karbon tabakanın yeri malzemelerin enerji absorbsiyon kapasitelerini ciddi bir şekilde etkilemektedir. Karbon tabakanın iç kısımda olması durumunda daha fazla enerji absorbe edilerek daha az enerji iade edilmektedir. Buna karşın karbon tabakanın dış kısımda olması durumunda darbe yüklemeleri neticesinde karbonun iç kısımda olmasına nazaran daha fazla enerji iade edilmektedir. Bu durum bölüm 3 de gösterilen teorik yaklaşımla hesaplanan malzeme katsayıları ile tutarlılık göstermektedir ve karbon tabakanın dışarıda olması durumunda eğilme elemanı elastik yani yay gibi, içte olması durumunda da sönümleme elemanı gibi davranmaktadır.

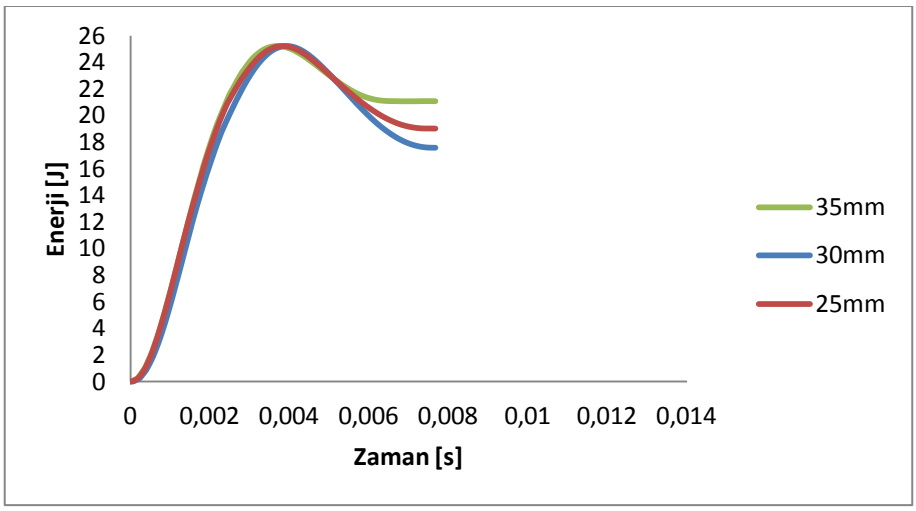
Grafiklerin incelenmesi neticesinde farklı malzeme konfigürasyonu, farklı sınır şartları ve farklı darbe hızlarında genişliğin etkisinin hep aynı olduğu görülmektedir. aynı konfigürasyon, aynı sınır şartları, ve aynı darbe hızları için genişliğin artmasıyla birlikte absorbe edilen enerji miktarı düşmüş iade edilen enerji miktarı artmıştır. Aynı zamanda grafiklerde görülen kırılma noktaları ayrı bir enerji harcama mekanizması olan delaminasyona karşılık gelmektedir.



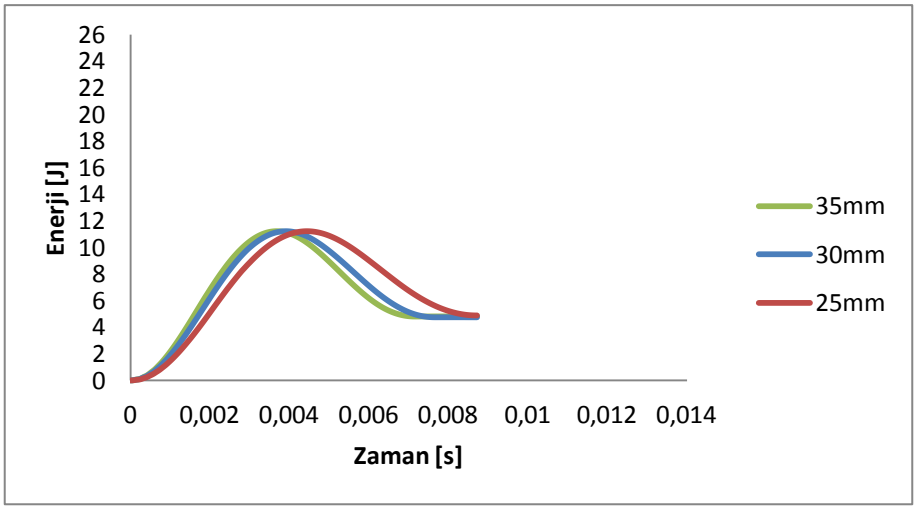
Şekil 4.25 Birikimli enerjinin zaman bağlı değişimi (K1, Ankastre mesnet, 2 m/s)



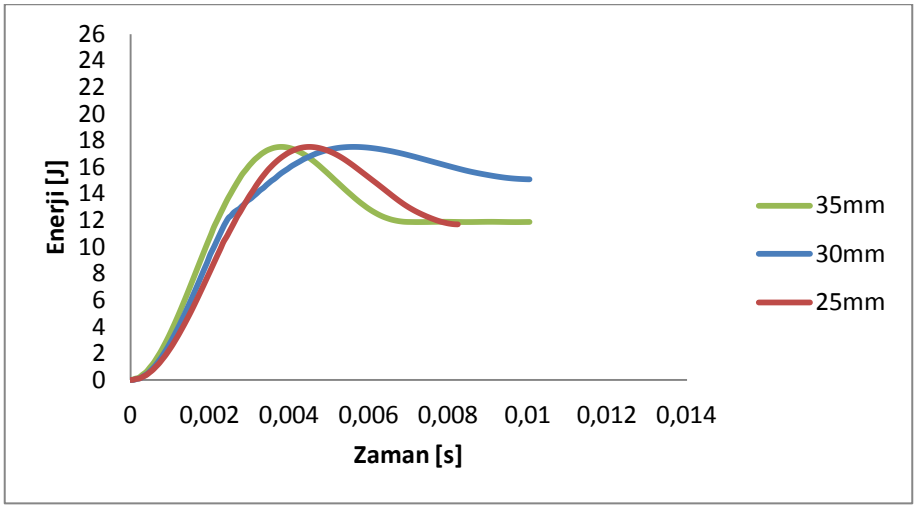
Şekil 4.26 Birikimli enerjinin zaman bağlı değişimi (K1, Ankastre mesnet, 2,5 m/s)



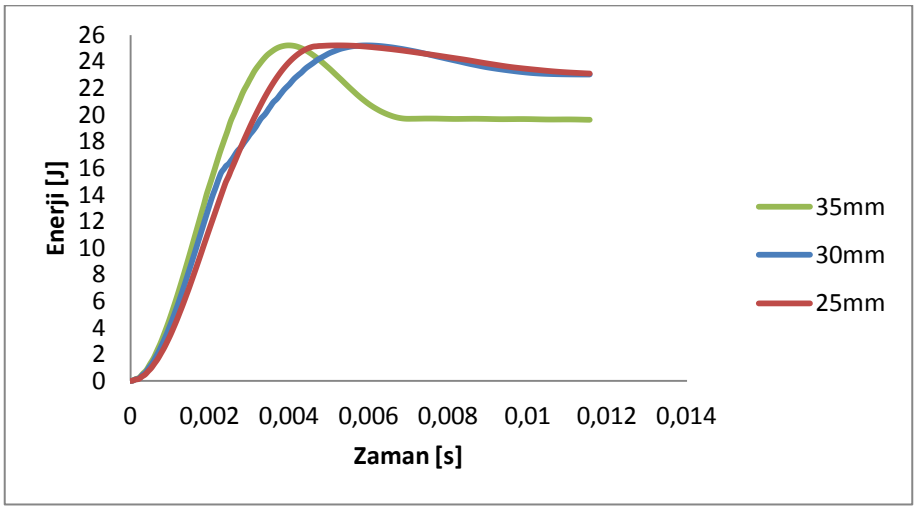
Şekil 4.27 Birikimli enerjinin zaman bağlı değişimi (K1, Ankastre mesnet, 3 m/s)



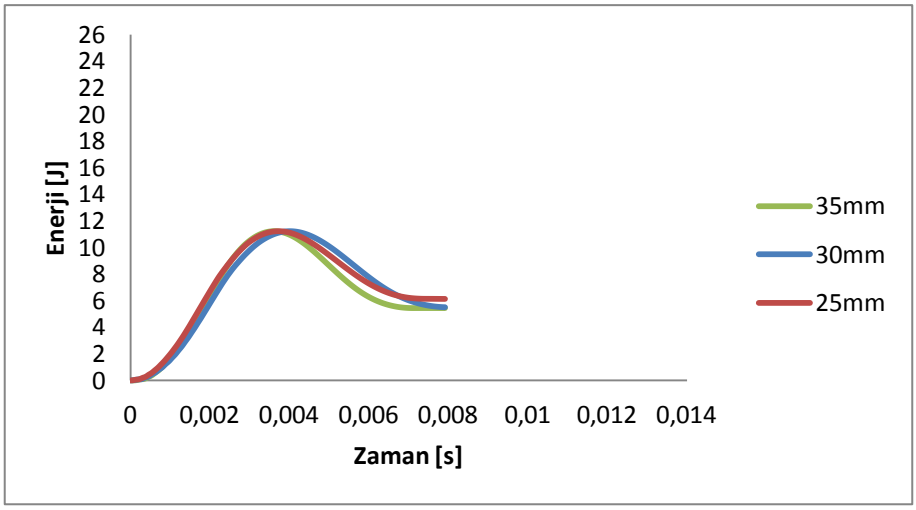
Şekil 4.28 Birikimli enerjinin zaman bağlı değişimi (K2, Ankastre mesnet, 2 m/s)



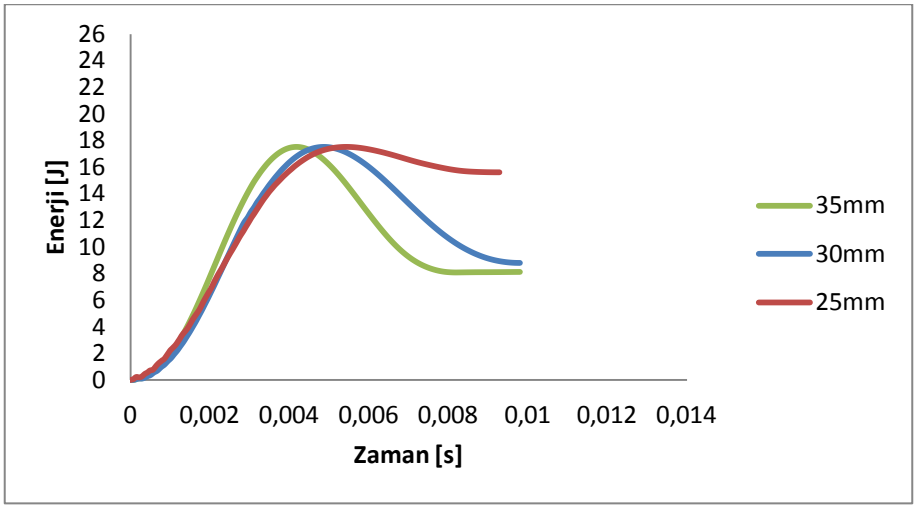
Şekil 4.29 Birikimli enerjinin zaman bağlı değişimi (K2, Ankastre mesnet, 2,5 m/s)



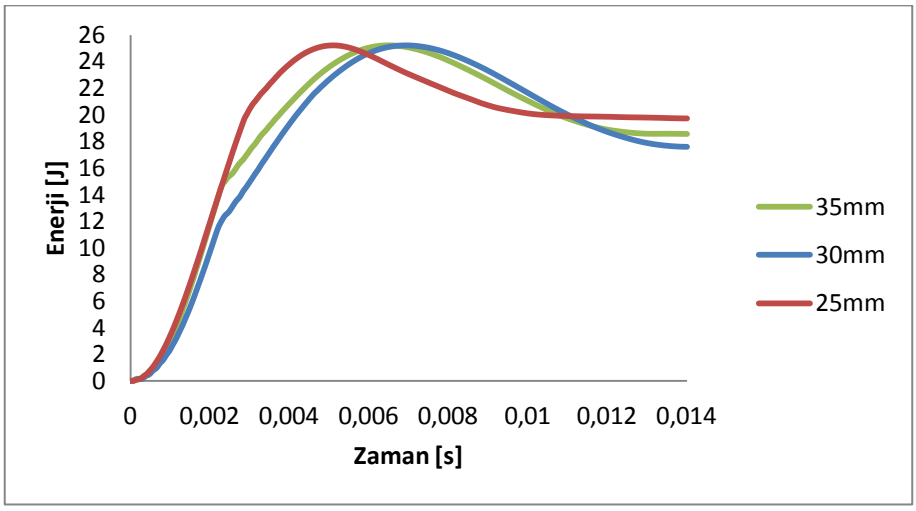
Şekil 4.30 Birikimli enerjinin zaman bağlı değişimi (K2, Ankastre mesnet, 3 m/s)



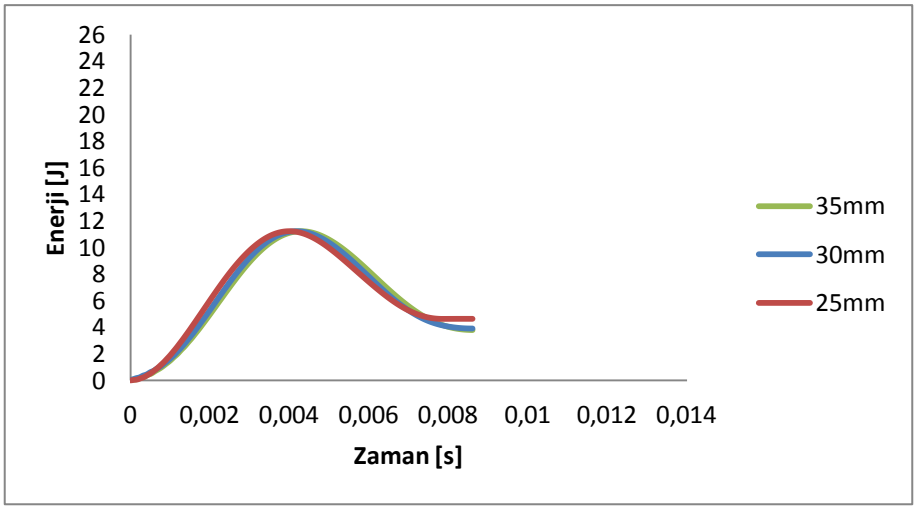
Şekil 4.31 Birikimli enerjinin zaman bağlı değişimi (K1, Basit mesnet, 2 m/s)



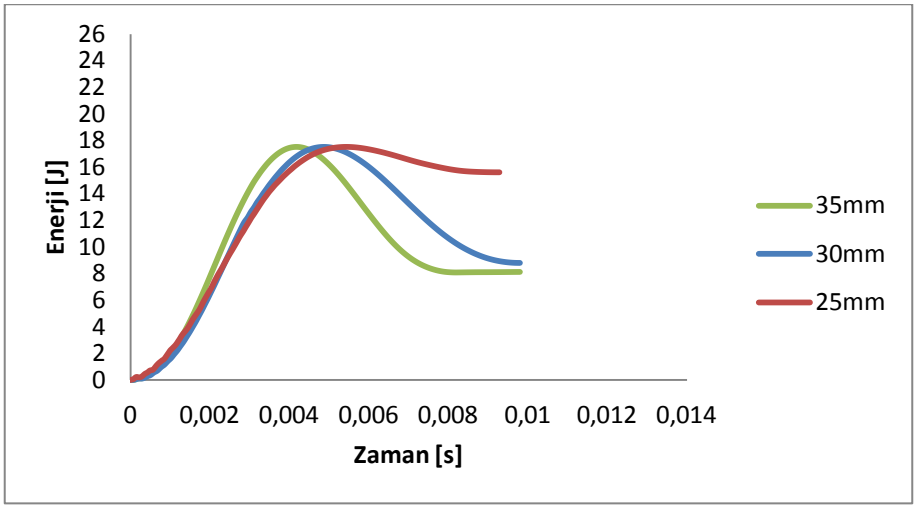
Şekil 4.32 Birikimli enerjinin zaman bağlı değişimi (K1, Basit mesnet, 2,5 m/s)



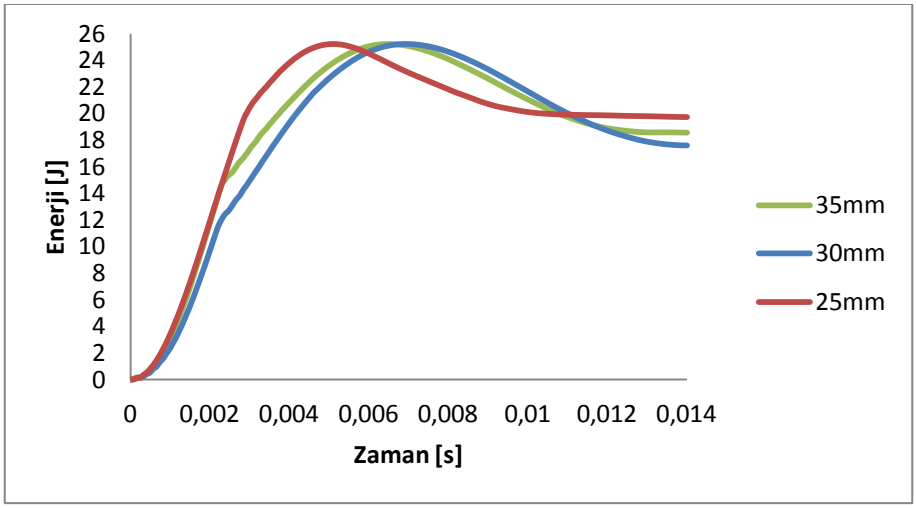
Şekil 4.33 Birikimli enerjinin zaman bağlı değişimi (K1, Basit mesnet, 3 m/s)



Şekil 4.34 Birikimli enerjinin zaman bağlı değişimi (K2, Basit mesnet, 2 m/s)



Şekil 4.35 Birikimli enerjinin zaman bağlı değişimi (K2, Basit mesnet, 2,5 m/s)



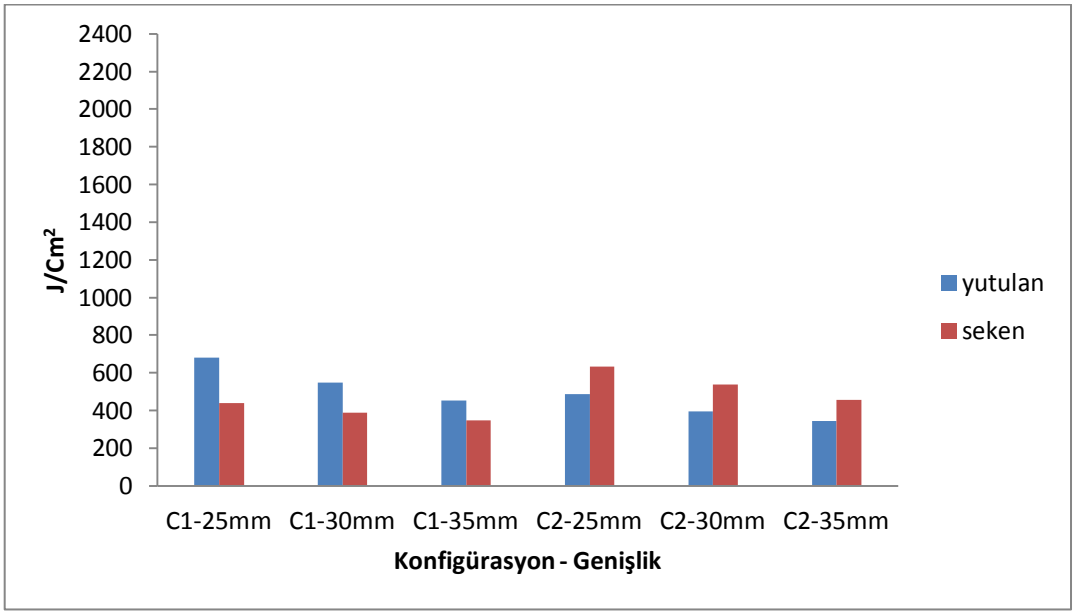
Şekil 4.36 Birikimli enerjinin zaman bağlı değişimi (K2, Basit mesnet, 3 m/s)

4.1.4. Birim kesit alanda yutulan ve iade edilen enerjinin konfigürasyon ve genişliğe bağlı değişimi

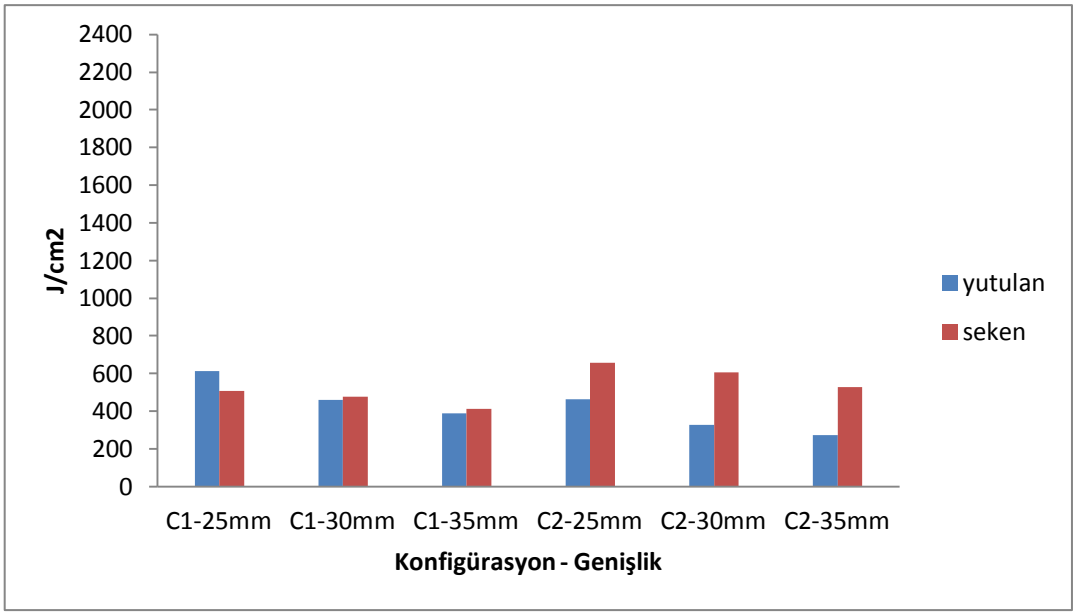
Şekiller incelendiğinde mesnet etkisinin birim alanda yutulan enerjiye etkisi yoktur. 2m/s ve 2,5m/s hızlarda yapılan deneyler sonucunda genel olarak karbon tabakanın içte olduğu durumda karbon tabakanın dışta olduğu duruma göre birim alanda yutulan enerji miktarı daha azdır. 3m/s de ise azaldığı söylenebilir fakat farklılık göstermektedir. Bu farklılığın sebebi de şekil 4.43'de gösterilen ve 3m/s darbe hızında aktive olduğu görülen bir diğer hasar modu olan (pull out) fiber sıyrılması denilebilir.

2 m/s'de malzemede ciddi bir hasar oluşmadığı için elastik davranış daha baskındır. Bu sebepten dolayı sınır şartlarına, konfigürasyona ve genişliğe bağlı olarak seken ve yutulan enerji değerlerindeki değişimin beklentiler doğrultusunda olduğu görülmektedir. Yani genişlik arttıkça birim alanda yutulan enerji miktarı azalmıştır. Buradan da anlaşıldığı üzere 2m/s büyük hasarlar (delaminasyon ve/veya fiber kopması) için eşik değerdir denilebilir.

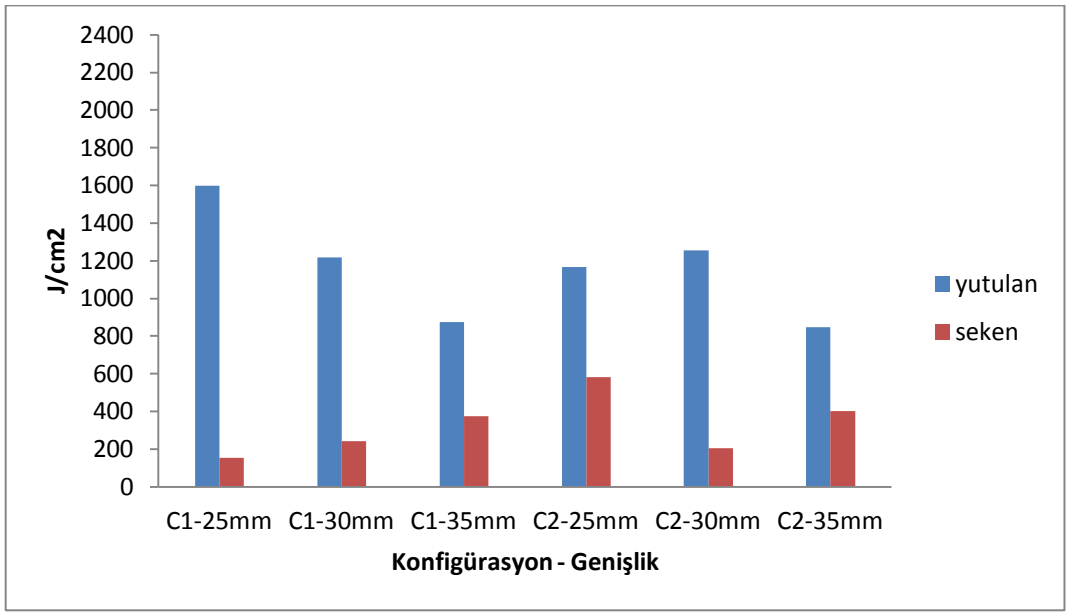
Melez kompozit malzemenin birim kesit alanda yuttuğu ve iade ettiği enerjinin gösterimi;



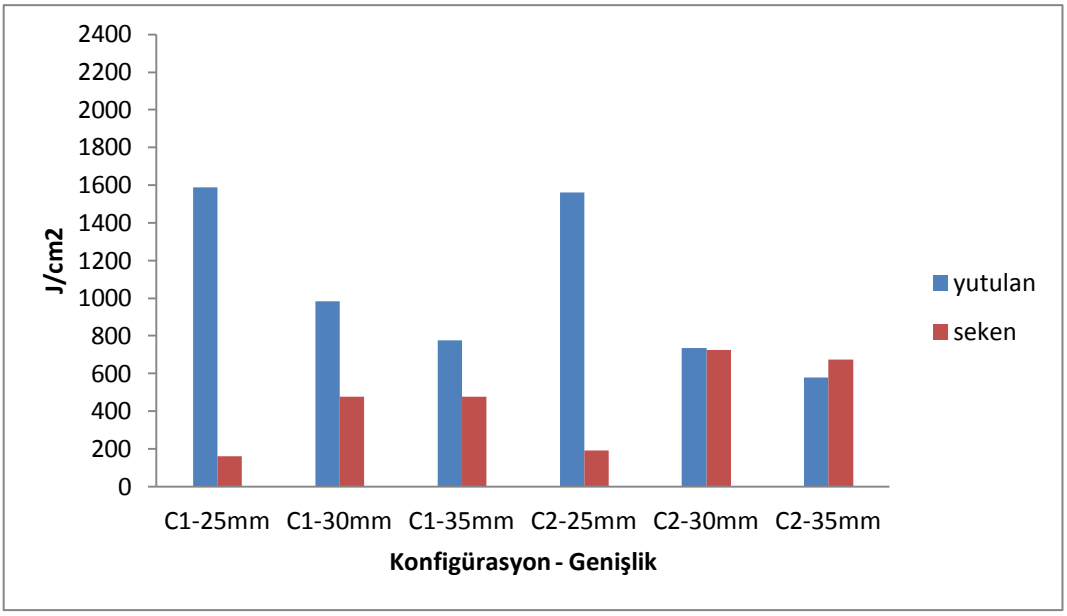
Şekil 4.37 Enerji/kesit alanın konfigürasyon- malzeme genişline bağlı değişimi (Ankastre mesnet, 2 m/s)



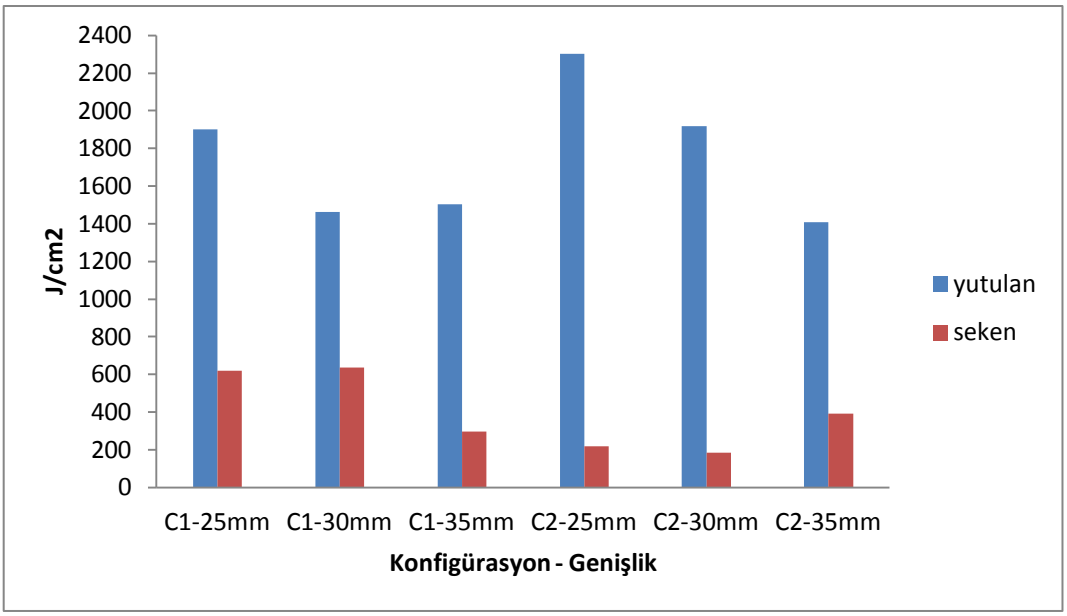
Şekil 4.38 Enerji/kesit alanın konfigürasyon- malzeme genişline bağlı değişimi (Basit mesnet, 2m/s)



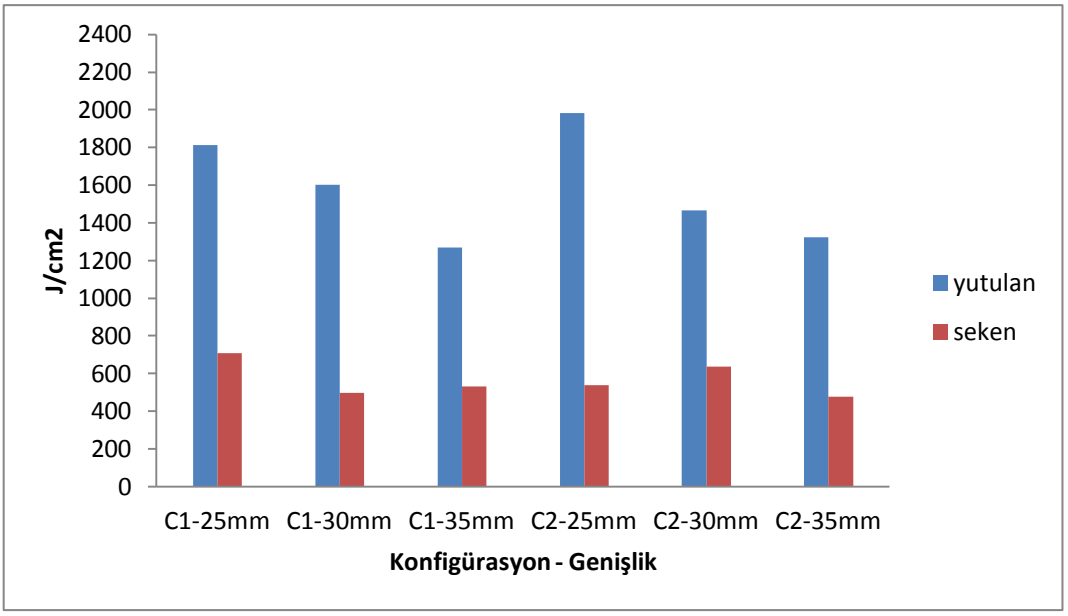
Şekil 4.39 Enerji/kesit alanın konfigürasyon- malzeme genişline bağlı değişimi (Ankastre mesnet, 2,5m/s)



Şekil 4.40 Enerji/kesit alanın konfigürasyon- malzeme genişline bağlı değişimi (Basit mesnet, 2,5m/s)



Şekil 4.41 Enerji/kesit alanın konfigürasyon- malzeme genişline bağlı değişimi (Ankastre mesnet, 3 m/s)



Şekil 4.42 Enerji/kesit alanın konfigürasyon- malzeme genişline bağlı değişimi (Basit mesnet, 3 m/s)

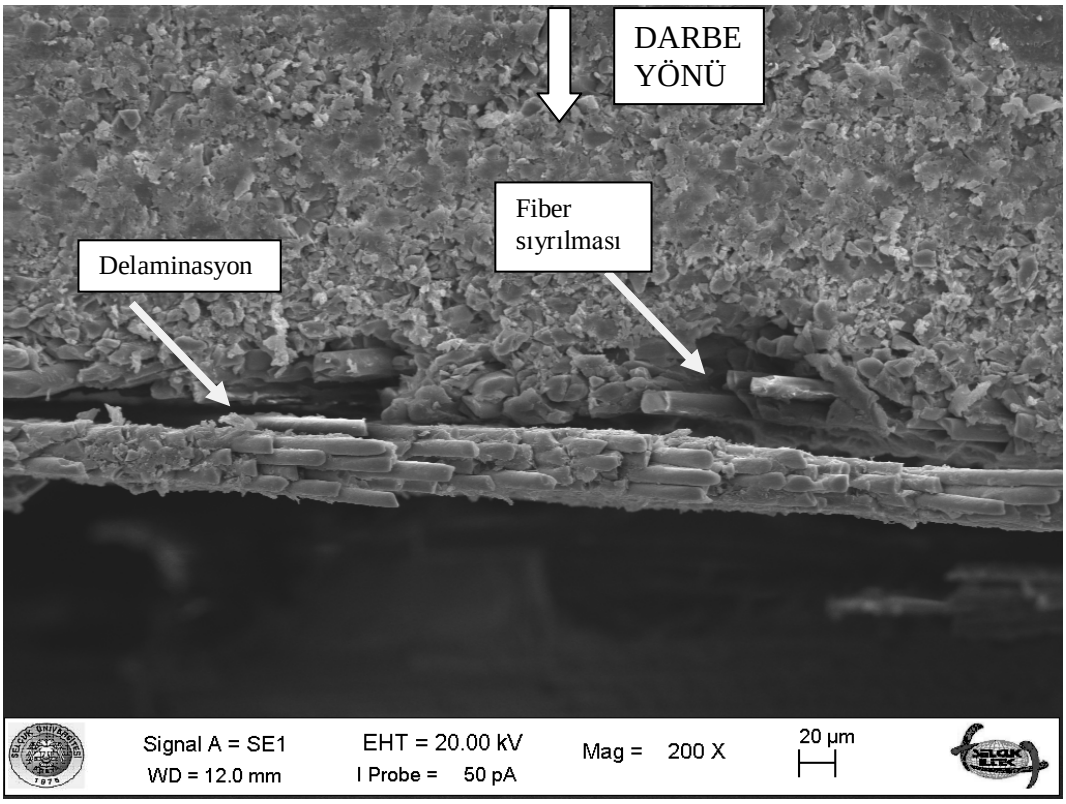
4.2. Düşük Hızlı Darbe Sonrası Oluşan Hasar Bölgelerinin İncelenmesi

Bu bölümde düşük hızlı darbe yüklemelerine maruz bırakılmış melez tabakalı kompozit malzemelerde darbe sonrasında oluşan hasarlar taramalı elektron mikroskobu (SEM) görüntülerinden faydalanılarak değerlendirilmiştir. Numunelerin elektron mikroskobunda incelenebilmesi için darbenin uygulandığı noktadan numuneden enine kesit alınmıştır.

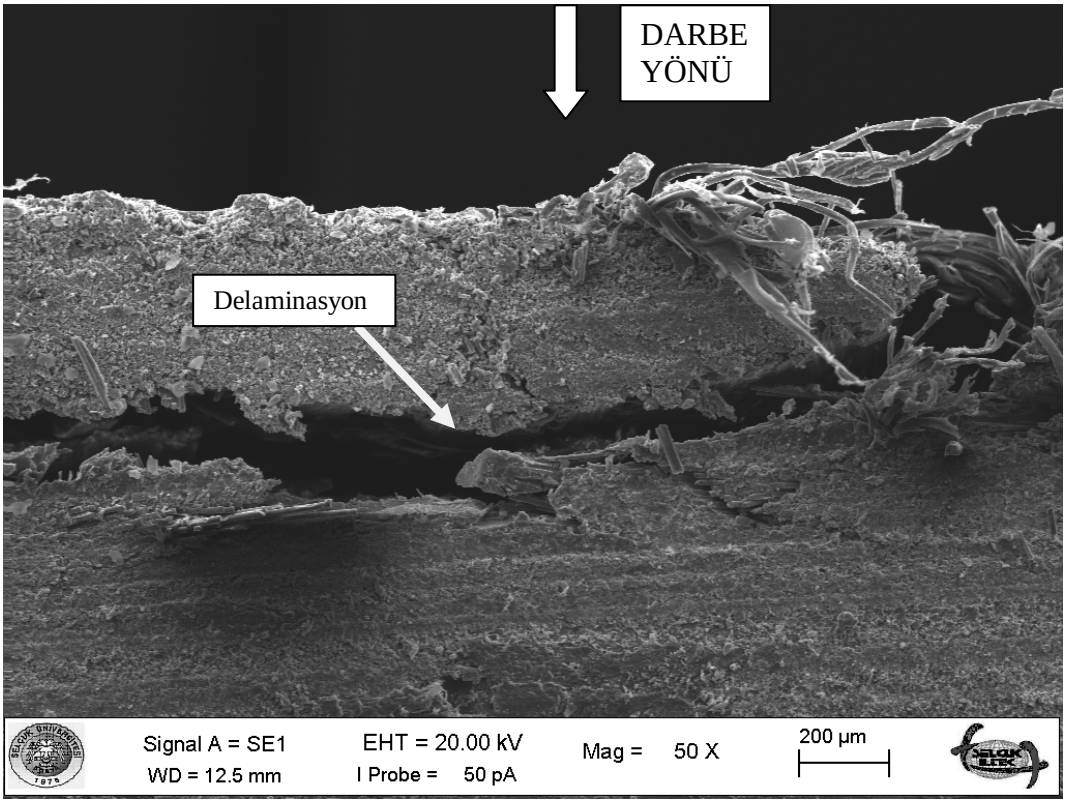
Her iki konfigürasyonlu 30 mm ve 35 mm genişliğindeki deney numuneleri basit ve ankastre mesnette 3 m/s hızda yapılan testin sonucunda numunede oluşan hasarlar Şekil 4.43-4.50 de gösterilmiştir. Şekillerden de anlaşıldığı gibi mesnet etkisinin hasar modlarına bariz bir etkisi olmamakla birlikte, ankastre mesnetli numunelerde hasar boyutunun daha küçük olduğu gözlemlenmiştir.

Şekillerden de görüldüğü üzere karbon tabakanın dışta olduğu numunelerde delaminasyon karbon tabakalar ile cam elyaf tabakalar arasındadır. Kayma gerilmesinin en fazla olduğu numunenin ortasında herhangi bir hasara rastlanmamaktadır. Bu durumun temel nedeni tabakalar arasındaki rijitlik farkıdır.

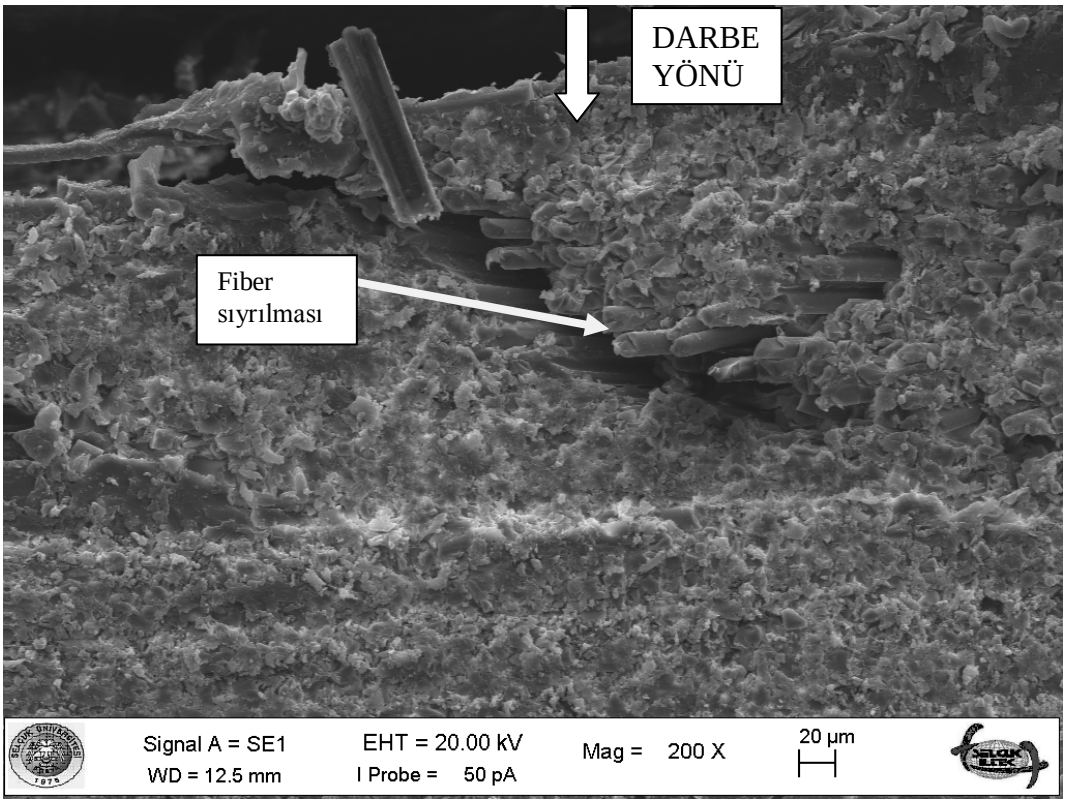
Karbon tabakaların dışta olduğu deney numuneleri incelendiği zaman; en dıştaki karbon tabakası darbenin etkisiyle ayrılmış olabilir. Fakat bazı numunelerde ortasına doğru cam tabakalar arasında oluşan ve/veya cam tabakalar arasına doğru eğilme etkisiyle delaminasyon görülmektedir.


DARBE
YÖNÜ
Fiber
sıyrılması
Delaminasyon
Signal A = SE1
WD = 12.0 mm
EHT = 20.00 kV
I Probe = 50 pA
Mag = 200 X
20 µm

a)

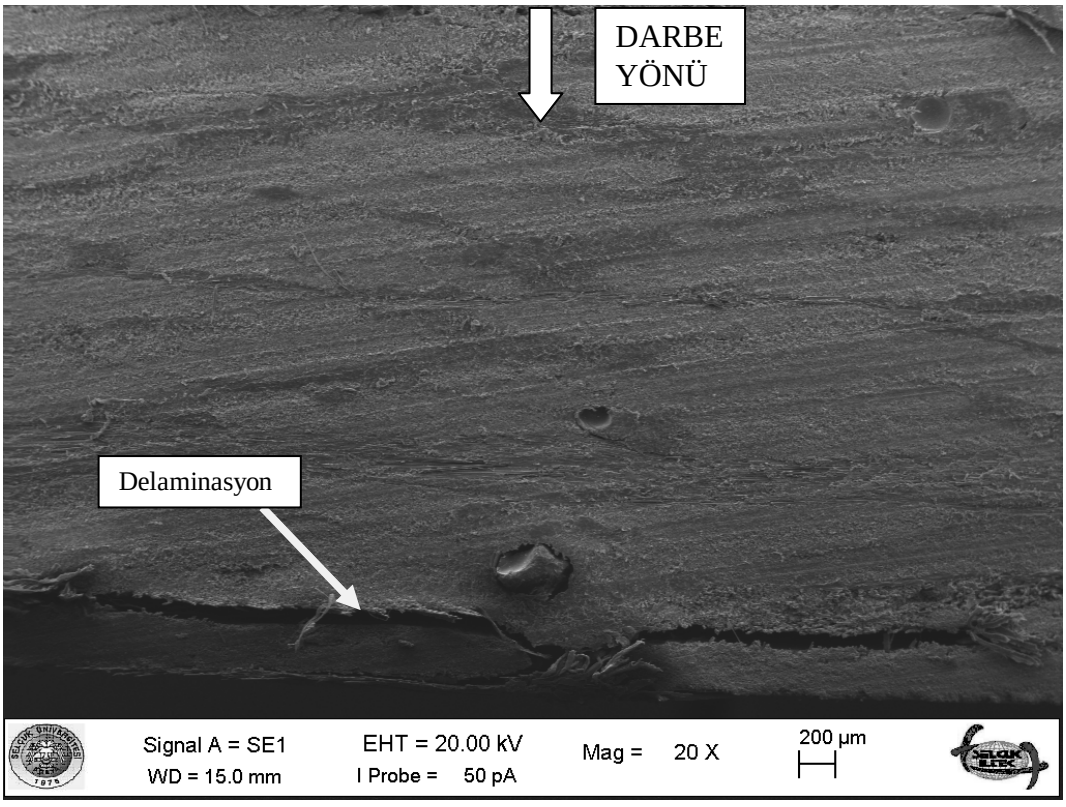

DARBE
YÖNÜ
Delaminasyon
Signal A = SE1
WD = 12.5 mm
EHT = 20.00 kV
I Probe = 50 pA
Mag = 50 X
200 µm

b)

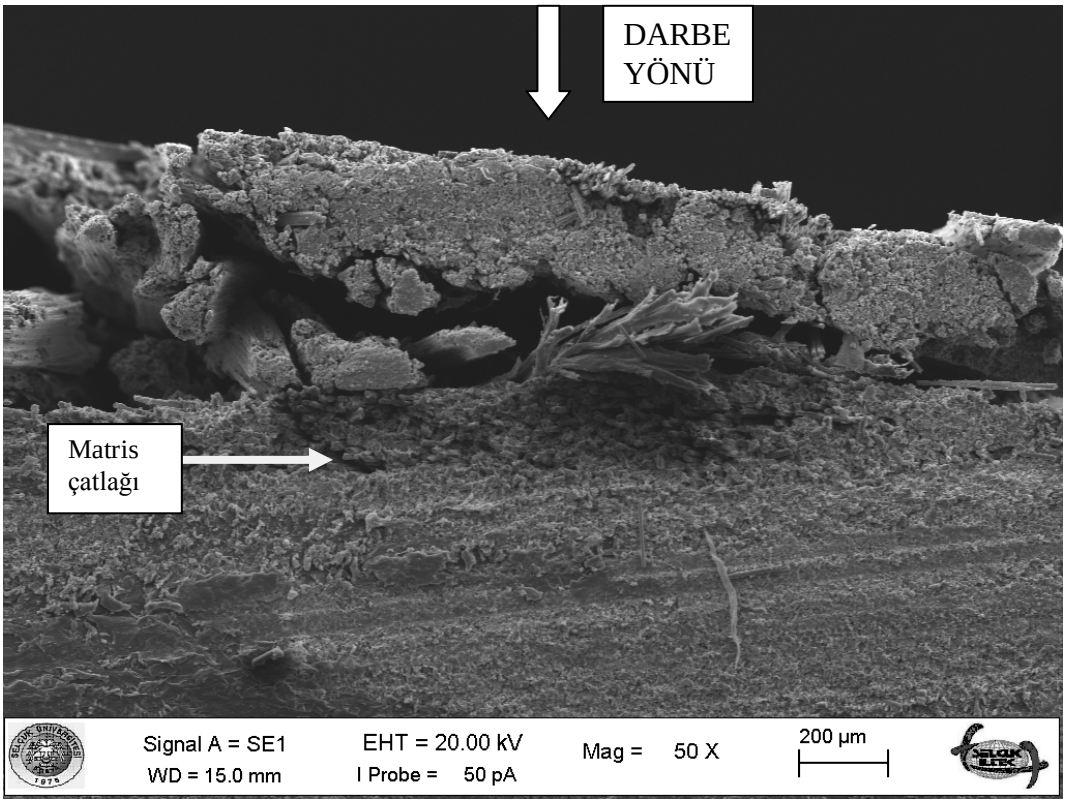


c)

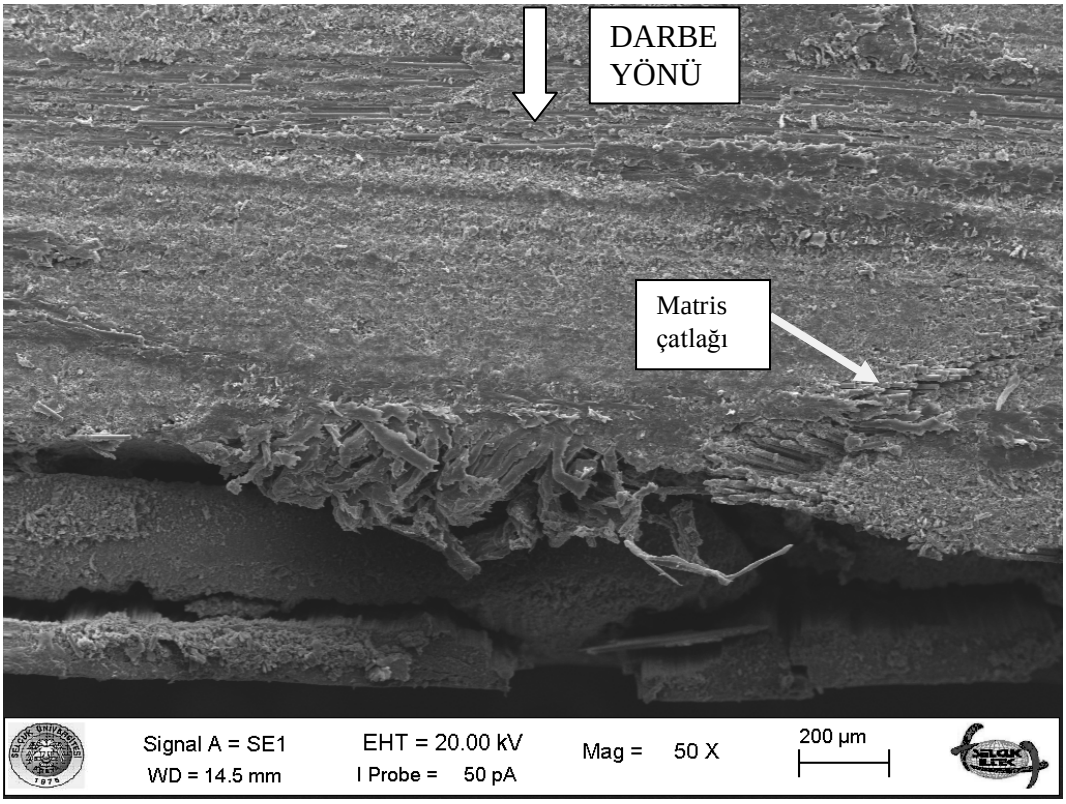
Şekil 4.43. Taramalı elektron mikroskobu görüntüsü **(**K1, 3 m/s, ankastre mesnet, 30 mm genişlik)



a)

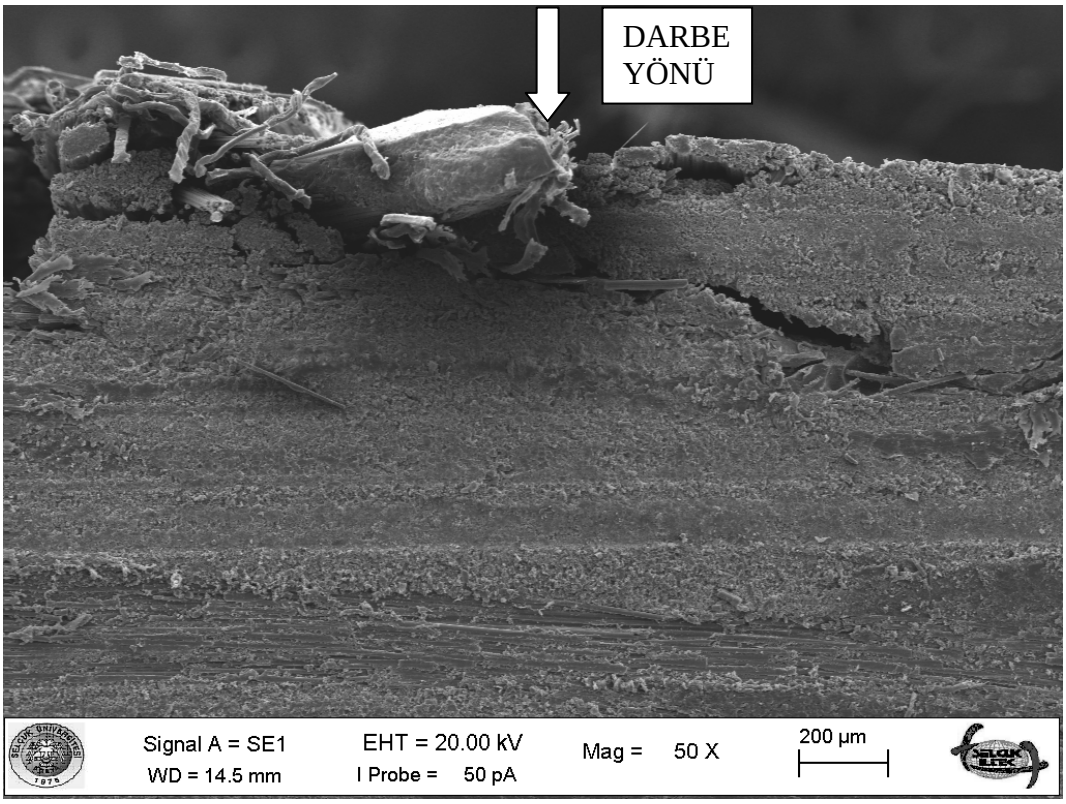


b)

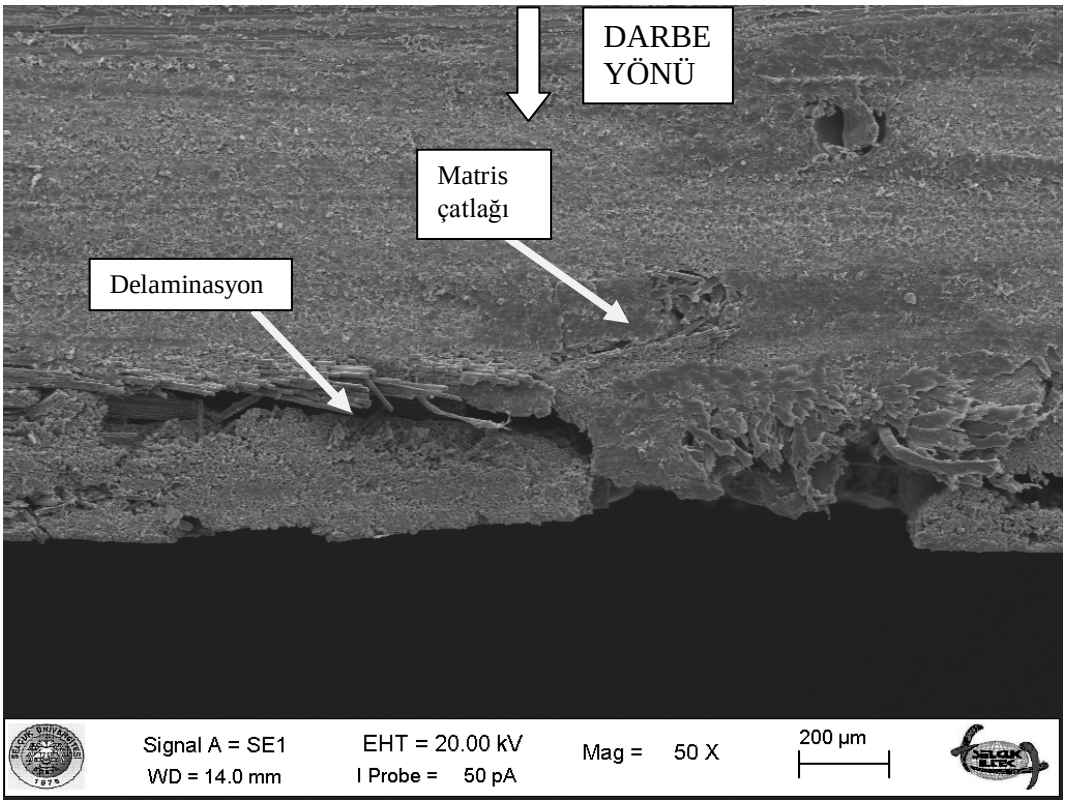


c)

Şekil 4.44. Taramalı elektron mikroskobu görüntüsü **(**K1, 3 m/s, basit mesnet, 30 mm genişlik)

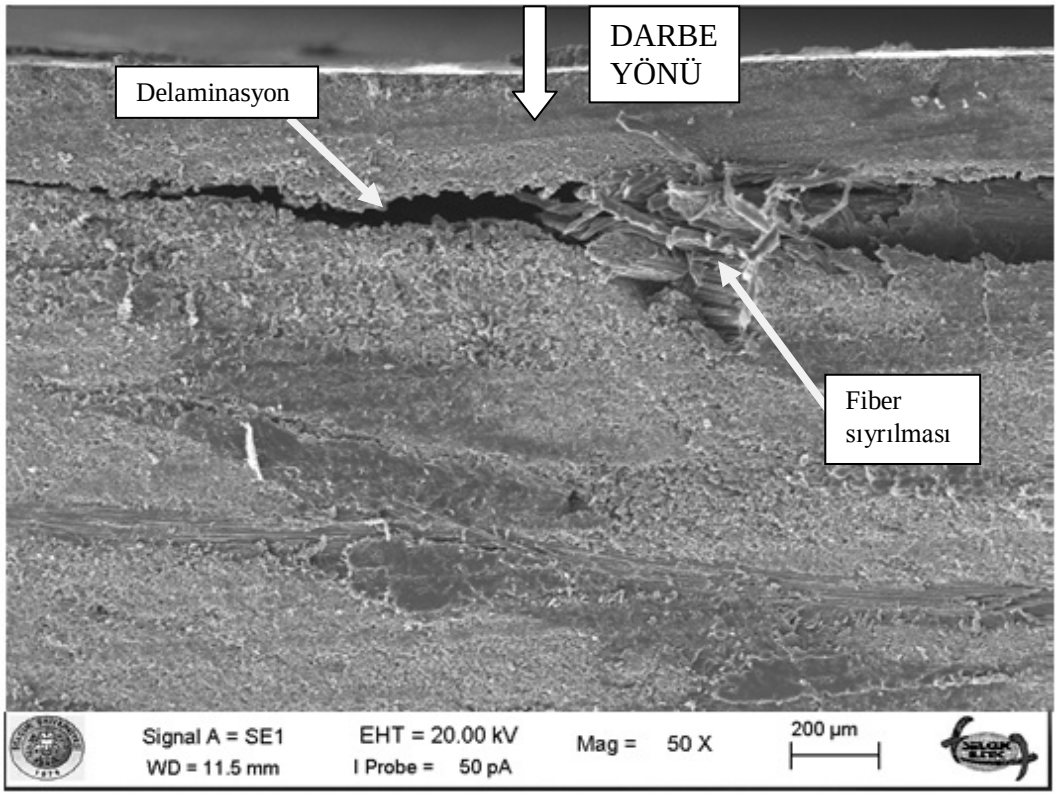


a)

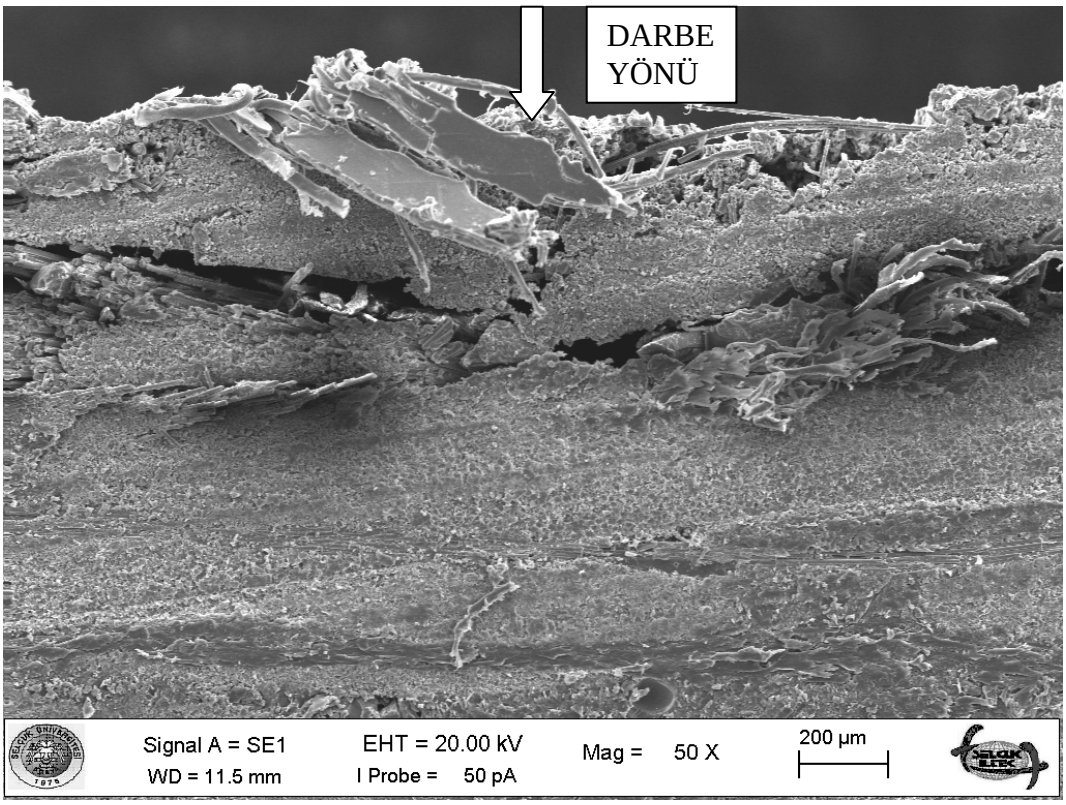


b)

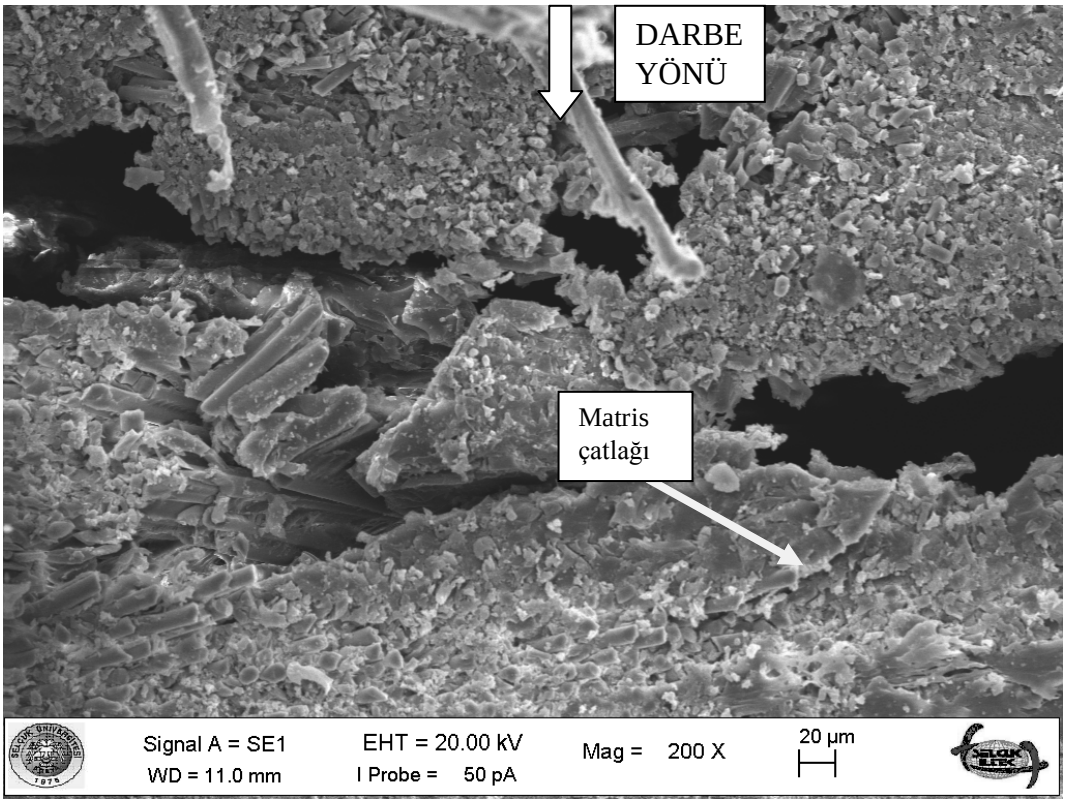
Şekil 4.45. Taramalı elektron mikroskobu görüntüsü **(**K1, 3m/s, ankastre mesnet, 35 mm genişlik)


DARBE
YÖNÜ
Delaminasyon
Fiber
sıyrılması
Signal A = SE1
WD = 11.5 mm
EHT = 20.00 kV
I Probe = 50 pA
Mag = 50 X
200 µm

a)

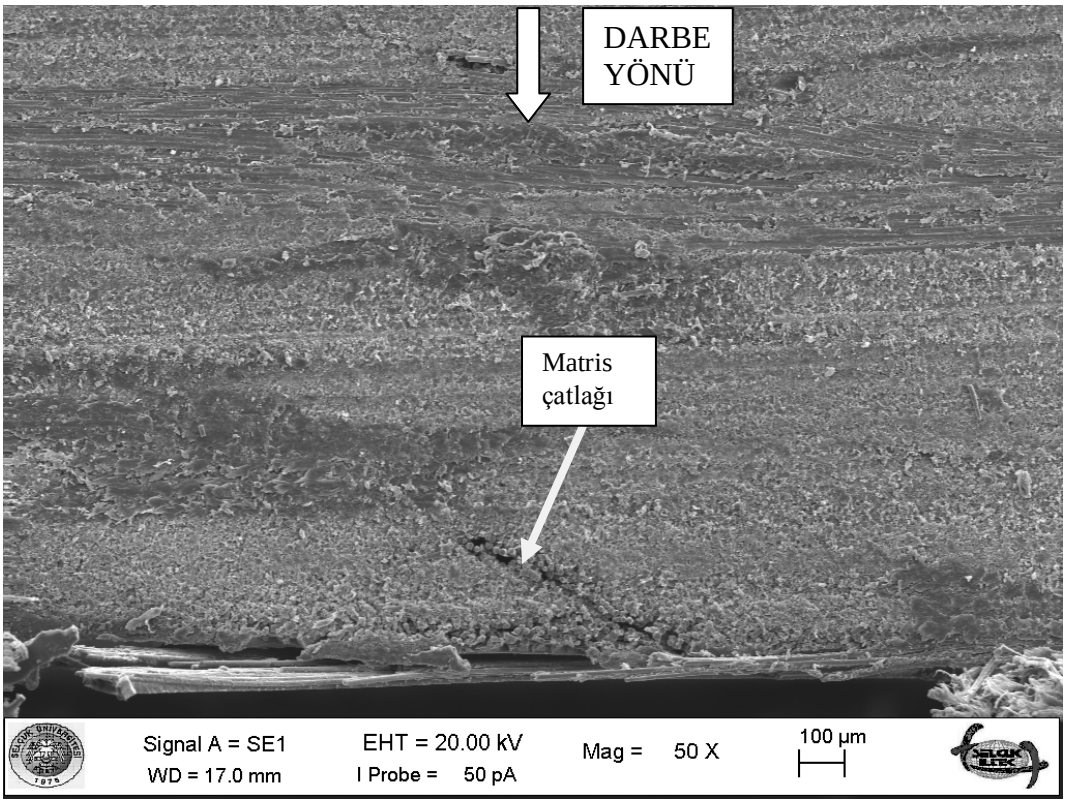

DARBE
YÖNÜ
Signal A = SE1
WD = 11.5 mm
EHT = 20.00 kV
I Probe = 50 pA
Mag = 50 X
200 µm

b)

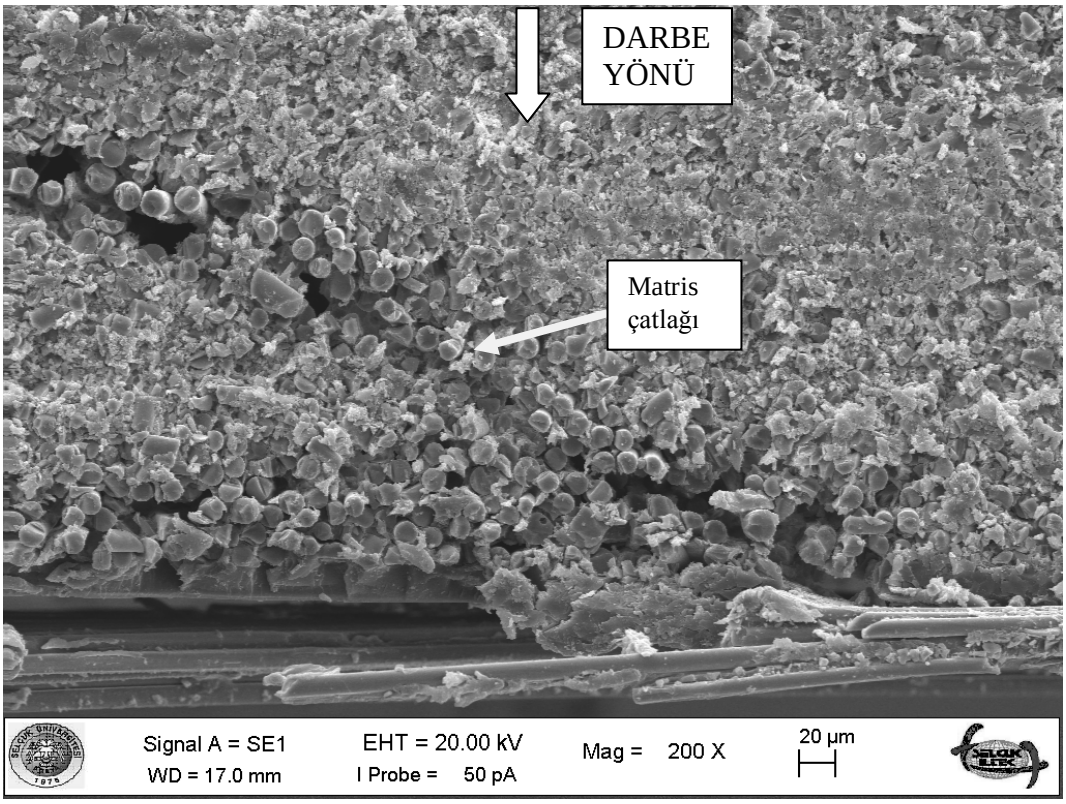


c)

Şekil 4.46. Taramalı elektron mikroskobu görüntüsü **(**K1, 3m/s, basit mesnet, 35 mm genişlik)

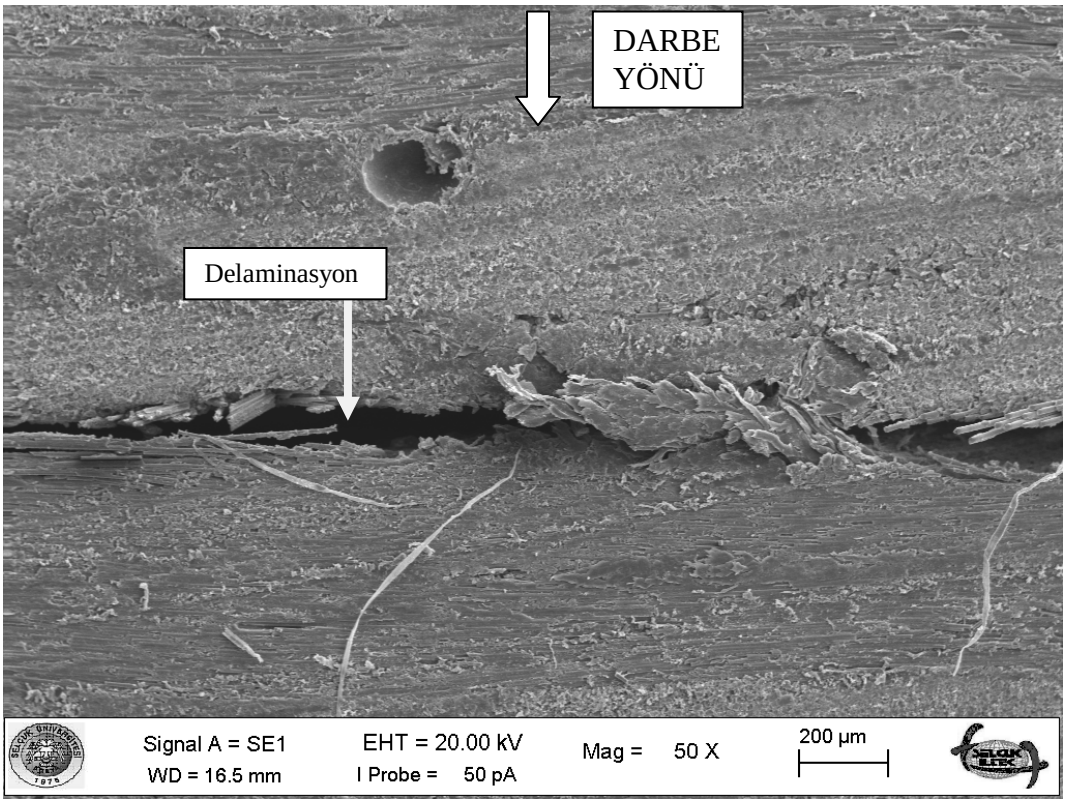


a)

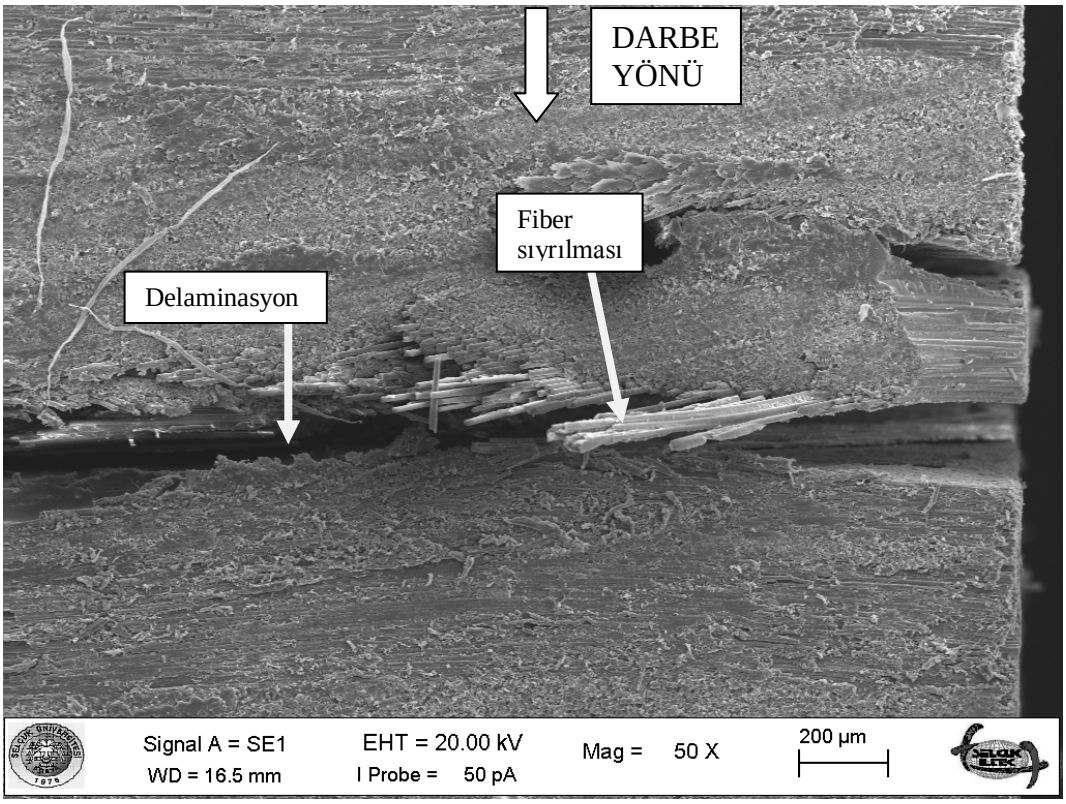


b)

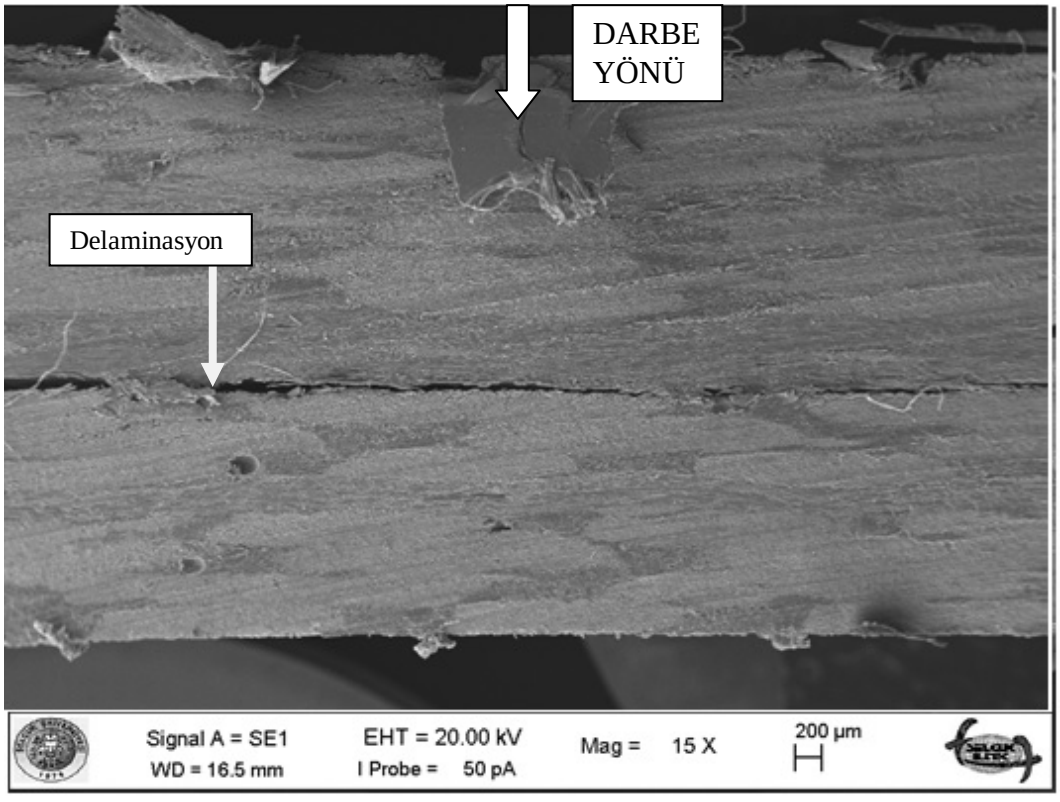
Şekil 4.47. Taramalı elektron mikroskobu görüntüsü **(**K2, 3 m/s, ankastre mesnet, 30 mm genişlik)



a)

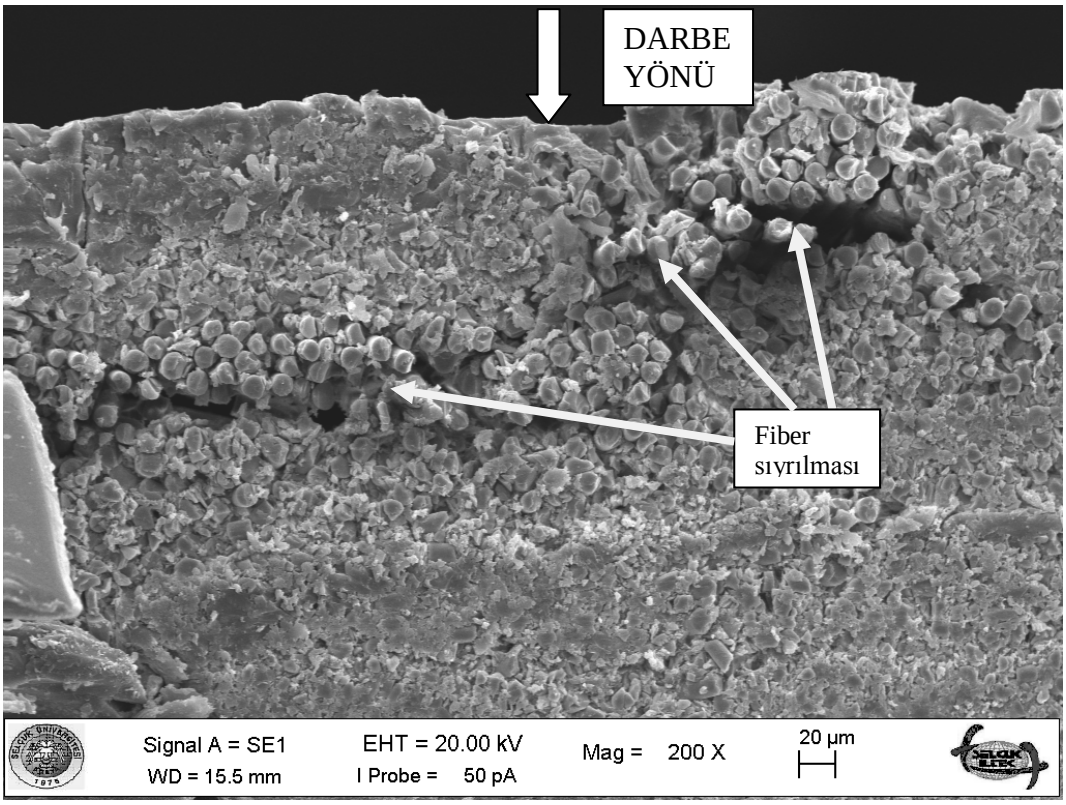


b)

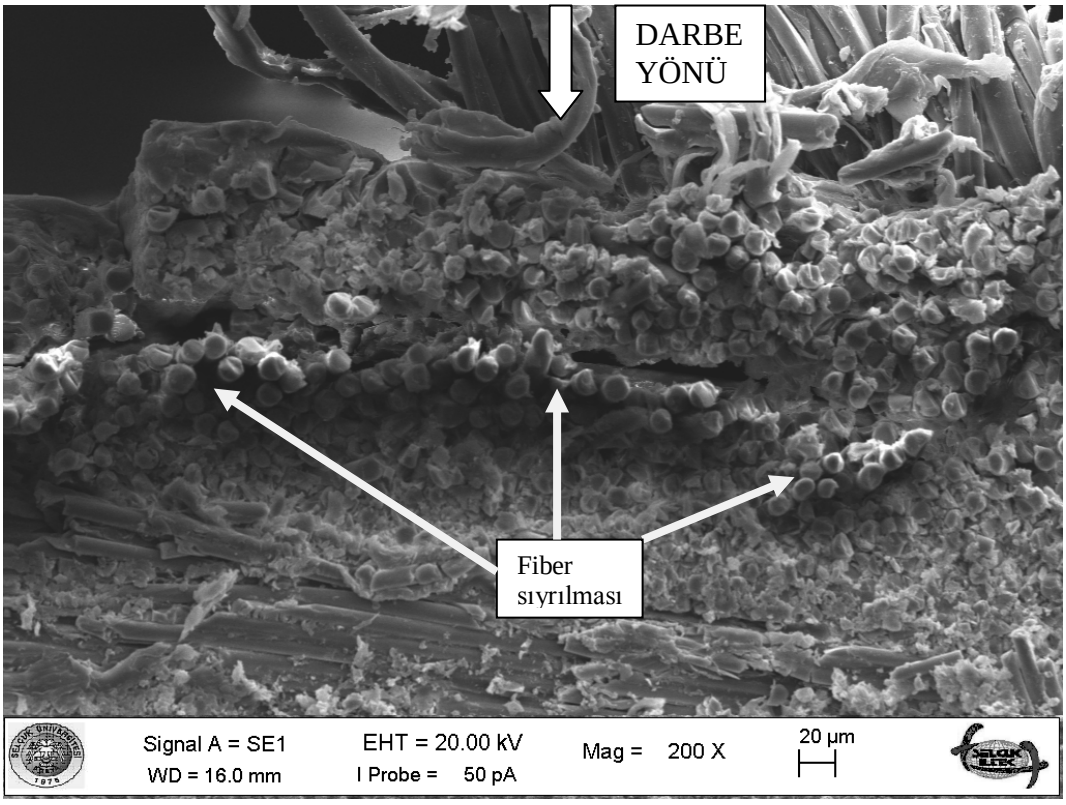


c)

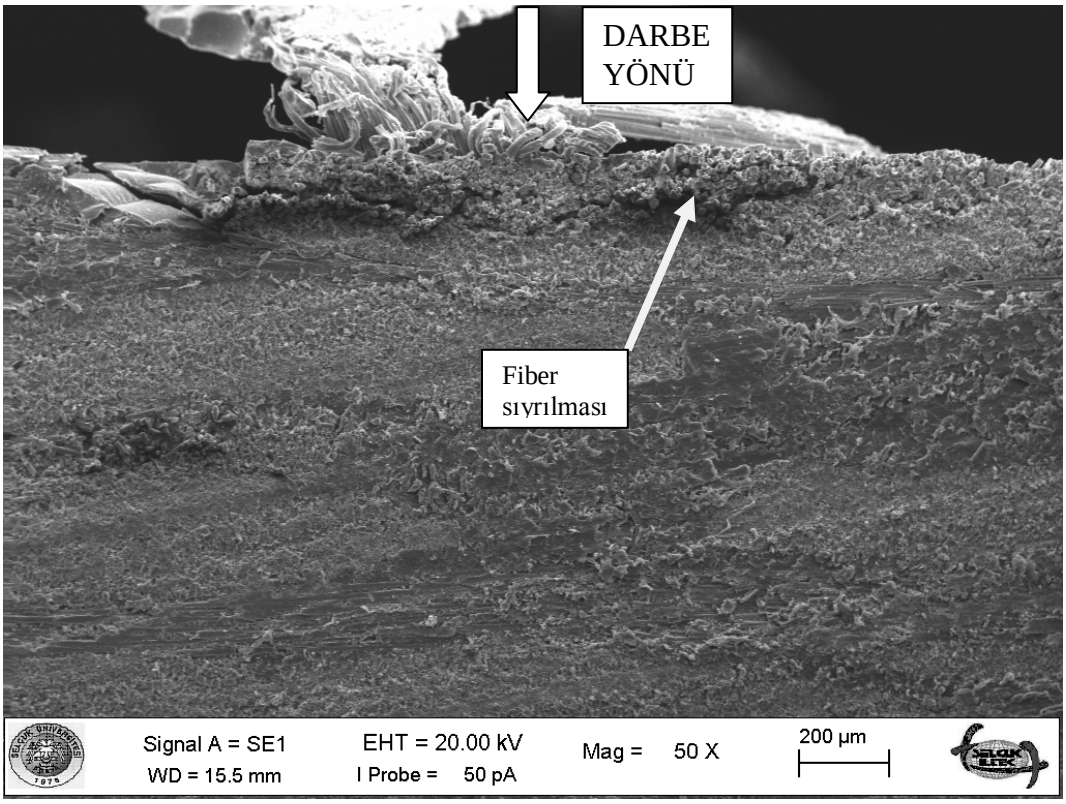
Şekil 4.48. Taramalı elektron mikroskobu görüntüsü **(**K2, 3 m/s, basit mesnet, 30 mm genişlik)


DARBE
YÖNÜ
Fiber
sıyrılması
Signal A = SE1
WD = 15.5 mm
EHT = 20.00 kV
I Probe = 50 pA
Mag = 200 X
20 µm

a)

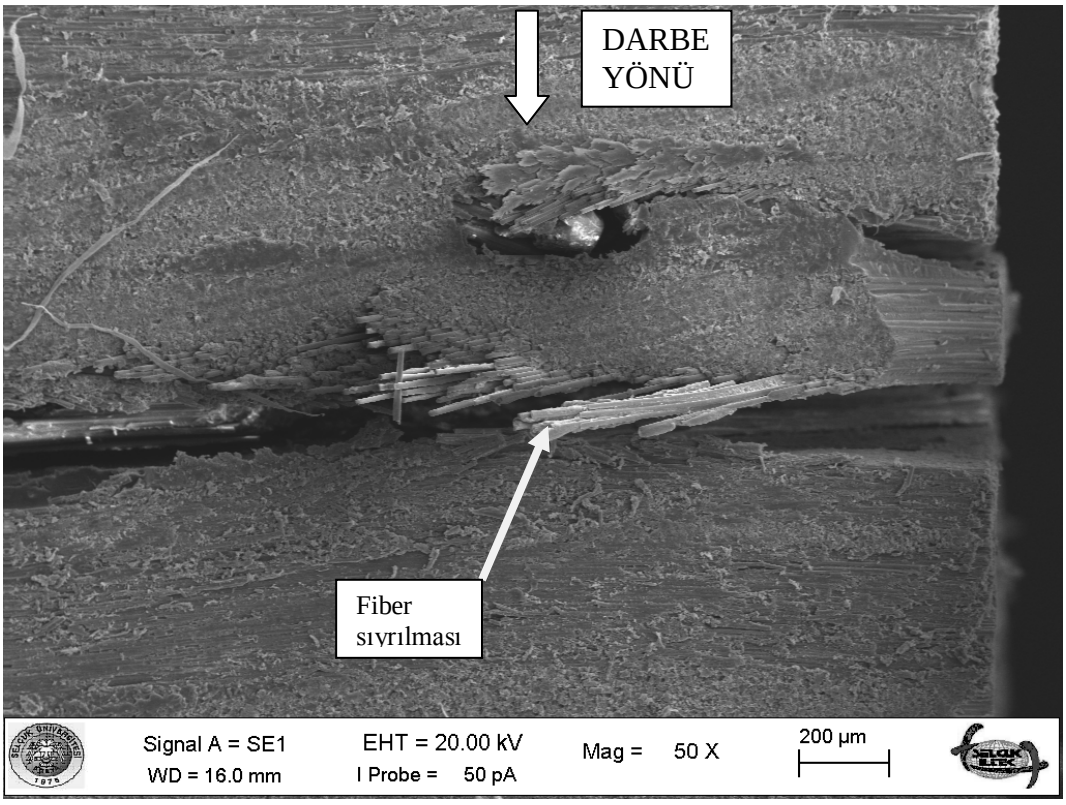

DARBE
YÖNÜ
Fiber
sıyrılması
Signal A = SE1
WD = 16.0 mm
EHT = 20.00 kV
I Probe = 50 pA
Mag = 200 X
20 µm

b)

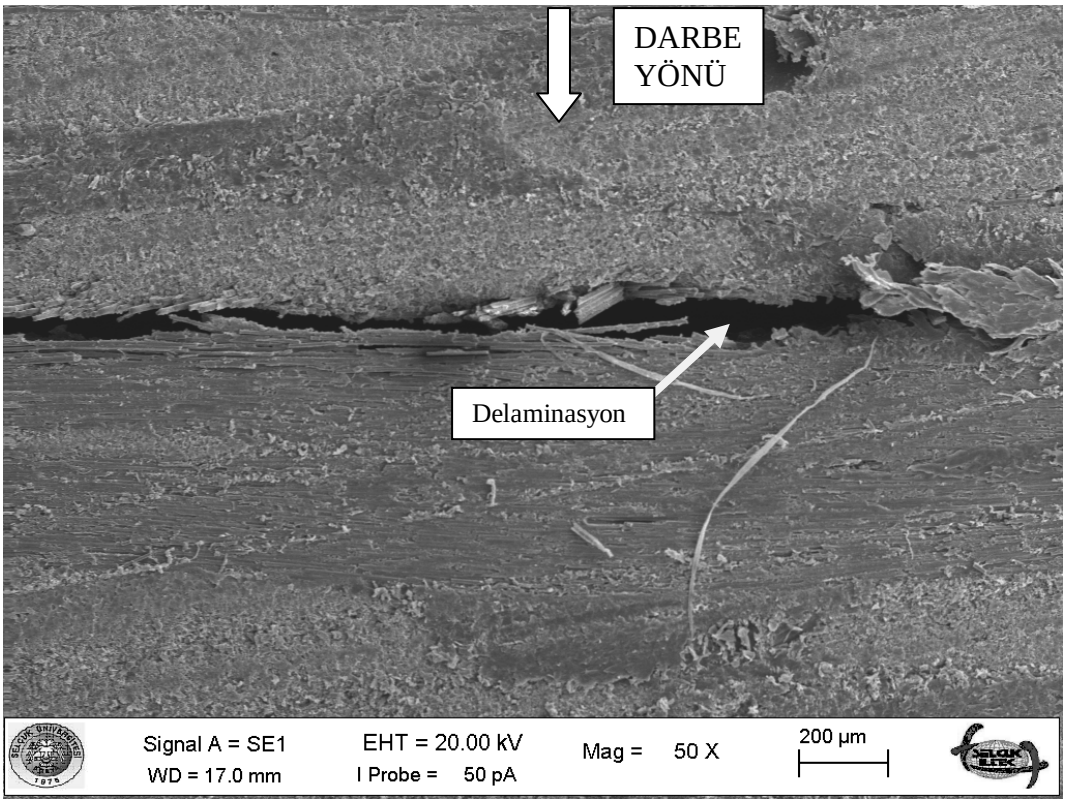


c)

Şekil 4.49. Taramalı elektron mikroskobu görüntüsü **(**K2, 3 m/s, ankastre mesnet, 35 mm genişlik)



a)



b)

Şekil 4.50. Taramalı elektron mikroskobu görüntüsü **(**K2, 3 m/s, basit mesnet, 35 mm genişlik)

5. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Bu çalışmada tabakalı melez kompozit malzemelerin düşük hızlı darbe davranışını incelemek amacıyla bir ağırlık düşürme test cihazı tasarlanmış ve imal edilmiştir. Cihazımız için tasarlanan otomasyon sistemi ile darbeden elektrik sinyalleri elde edilmiştir. Deneyler 90 mm x 30 mm ve 90 mm x 35 mm genişliğindeki, 4 mm kalınlığındaki 18 tabakadan oluşan, konfigürasyonu;

[$0_C°$, $45_G°$,$+45_G°$,$0_G°$,$90_G°$,$0_G°$,$+45_G°$, $45_G°$,$0_G°$,$0_G°$,$-45_G°$,$+45_G°$,$0_G°$,$90_G°$,$0_G°$,$+45_G°$,$-45_G°$,$0_C°$]

[$0_G°$, $45_G°$,$+45_G°$,$0_G°$,$90_G°$,$0_G°$,$+45_G°$, $45_G°$,$0_C°$,$0_C°$,$-45_G°$,$+45_G°$,$0_G°$,$90_G°$,$0_G°$,$+45_G°$,$-45_G°$,$0_G°$]

şeklinde olan E cam/epoksi ve karbon/epoksi tabakalı kompozit malzemeden üretilmiştir. Yapılan bu çalışmaya, aynı malzeme özelliklerine sahip genişliği 25 mm olan ve aynı sınır şartlarında ve hızlarda yapılan Bozkurt'un (2011) yüksek lisans tezindeki deney verileri ile birlikte incelenip elde edilen sonuçlar aşağıda sıralanmıştır.

- Temas kuvvetinin başlamasıyla birlikte, 3 farklı darbe hızı, 2 farklı sınır şartı için düşük hızlı darbe uygulanmış olan 2 farklı konfigürasyon ve 3 farklı genişlikteki tabakalı kompozit malzemelerin her birinde deformasyon oluşmaya başlamış ve temas kuvveti maksimum değerine ulaştığı zaman yer değiştirme de aynı şekilde maksimum değerine ulaşmıştır. Temas kuvvetinin azalmasıyla yer değiştirme değeri de azalmaya başlamış fakat ilk başta sahip olduğu değere ulaşmamıştır. Çünkü malzemede artık bir miktar kalıcı hasar meydana gelmiştir.

- Eğilme rijitliği olarak tanımlanan kuvvet-yer değiştirme eğrilerinin eğiminde, kuvvetin uygulanması ve geri kaldırılması ile birlikte azalma yolunda değişiklik görülmektedir. Bu durum 2 m/s hızla uygulanan darbelerde çok belirgin değildir ancak 2,5 m/s ve 3 m/s hızların uygulandığı darbelerde kuvvet – yer değiştirme eğrilerindeki azalma kalıcı hasar gelişiminin göstergesi olarak açık bir biçimde görülmektedir.

- Karbon tabakanın dış kısımda (konfigürasyon-1) olduğu konfigürasyonlu numunelerin eğilme rijitliğinin karbon tabakanın iç kısımda olduğu (konfigürasyon-2) konfigürasyonlu numunelere nazaran daha yüksektir. Bunun sonucu olarak karbon tabakaların dışta olduğu konfigürasyonda kalıcı yerdeğiştirme karbon tabakarın iç kısımda oluğu konfigürasyona göre daha azdır, yani numune daha elastik davranmıştır.

- Karbon tabakaların içte olduğu numunerlerde meydana gelen masimum temas kuvveti karbon tabakaların dışta olduğu numunelere nazaran daha düşüktür ve temas süresi de aksi yönde daha uzun sürmektedir. Aynı zamanda büyük hasarların meydana geldiği deney sonuçları incelendiğinde karbon tabakaların içte olduğu numunelerdeki hasar gelişiminin, karbon tabakaların dışta olduğu numunelerdeki hasar gelişimine nazaran daha düşük kuvvetlerde başladığı açık bir biçimde görülmektedir.

- Eşit genişlikteki ve aynı konfigürasyondaki her bir numune için eşit hızlarda yapılan testlerin sonuçlarına göre ankastre sınır şartında test edilen numunelerde maksimum temas kuvveti basit mesnetli duruma göre bir miktar daha yüksektir. Bu durumun sebebini ankastre mesnedin eğilmeye daha az izin vermesi ve kalıcı şekil değiştirme geliştikçe bağlantının daha da rijitleşmesinin (stres stiffening) etkisi olarak kabul edilebilir.

- Numune genişliği arttıkça delaminasyon gibi ağır hasarların neticesinde malzemenin eğilme rijitliği azalmaktadır. Bu eğilme rijitliğindeki azalmanın malzeme genişliği arttıkça daha az olduğu söylenebilir.

- Farklı genişlikteki aynı konfigürasyondaki her bir malzeme için, aynı sınır şartında ve aynı hızlarda yapılan testlerin sonuçlarına göre hazırlanan temas kuvvetinin zamana göre değişimi grafikleri deney numunesinin genişliğinin artmasıyla maksimum temas kuvvetinin arttığını ancak temas süresinin azaldığını göstermektedir.

- Kuvvet-zaman eğrilerinde gözlemlenen ani kuvvet düşüşleri malzemede kalıcı hasar meydana geldiğini göstermektedir. Ankastre sınır koşullarında ve 2,5 m/s ve 3 m/s hızlarda test edilen karbon tabakanın içte olduğu konfigürasyonlu (konfigürasyon 2) 3 farklı genişlikteki malzemelerde test sonucunda oluşturulan eğrilerdeki kuvvette anlık düşüş açık bir şekilde gözlenmiştir. Bu durum belirtilen numunelerdeki kalıcı hasarın açık bir göstergesidir. Eğrilerdeki kuvvet değerlerinin anlık düşüşünden ve birikimli enerji grafiklerindeki absorbe edilen enerjilerden genişlik arttıkça malzemedeki kalıcı hasarın azaldığı görülmüştür.

- Malzeme genişliği arttıkça yutulan enerjinin toplam enerjiye oranı azalmaktadır. Aynı geometride aynı sınır şartında ve aynı test parametrelerinde darbe enerjisi arttıkça yutulan enerjinin toplam enerjiye oranı artmaktadır.
- Genişlik artıkça birim alanda yutulan enerji miktarı azalmıştır. Bu durum da genişlik arttıkça hasar oluşumunun azaldığını göstermektedir.

6. KAYNAKLAR

Abrate, S., (1998). Impact on Composite Structures. Cambridge, Cambridge University Press. 135-160.

Akceylan, V., 2010, Rijit Bir Zemin Üzerindeki Tabakalı Kompozit Levhanın Düşük Hızlı Darbe Hasarı, Yüksek Lisans Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya.

Akdemir, A., Tarakcioglu, N., Avci, A., 2001, Stress corrosion crack growth in glass/polyester composites with surface crack, Composites Part B: Engineering, 32:123-129.

Akgün, Y., 2010, Onarılmış Kompozit Plakların Darbe Davranışları, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.

ASTM Standards and Literature Referances for Composite Materials. (1990) D 2584. *American Society for Testing and Materials*, Philadelphia, PA.

Atas, C., Akgun, Y., Dagdelen, O., Icten, Bulent M., Sarikanat, M., 2011, An experimental investigation on the low velocity impact response of composite plates repaired by VARİM and hand lay-up processes. Composite Structures 93:1178-1186.

Avci, A., Sahin, Ö.S., Tarakcioglu, N., 2007, Fatigue behavior of surface cracked filament wound pipes with high tangential strength in corrosive environment, Composites Part A: Applied Science and Manifacturing, 38:1192-1199.

Aymerich, F., Priolo, P., 2008, Characterization of fracture modes in stitched and unstitched cross-ply laminates subjected to low-velocity impact and compression after impact loading., International Journal of İmpact Engineering 35:591-608.

Azouaoui, K., Azari, Z., Pluvinage, G., 2010, Evaluation of impact fatigue damage in glass/epoxy composite laminates, International Journal of Fatigue, 32:443-452.

Belingardi, G., Paolino, D.S., Koricho, E.G., 2011, Investigation of influence of tab types on tensile strength of E-glass/epoxy fiber reinforced composite materials, Engineering Procedia, 10:3279-3284.

Belingardi, G., Vadori, R., 2002, Low velocity impact tests of laminate glass-fiber-epoxy matrix composite material plates, International Journal of İmpact Engineering, 27:213-229.

Bouvet, C., Castanie, B., Bizeul, M., Barrau, J., 2009, Low velocity impact modeling in laminate composite panels with discrete interface elements, International Journal of Solids and Structures, 46:2809-2821.

Bozkurt, L., 2011, Hibrit kompozit levhaların düşük hızlı darbe hasar davranışlarının incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya

Choi, N., Chang, J., Kwak, S., Gu, J., 2010, Impact surface fractures of glass-fiber/epoxy lamina-coated glass plates by small steel-ball, Composites Science and Technology, 70: 2056-2062.

Evci, C., 2009, Seramik Kompozit Zırh Sistemlerinin Darbe ve Balistik Özelliklerinin Belirlenmesi, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

Gonzalez, E.V., Maimi, P., Camanho, P.P., Lopes, C.S., Blanco, N., 2011, Effects of ply clustering in laminated composite plates under low-velocity impact loading, Composite Science and Technology, 71:805-817.

Harel, H., Marom, G., Fischer, S., Roman, I., 1980, Effect of Reinforcement Geometry on Stress Intensity factor Calibration in Composites, Composites. April: 69-72.

Hebert, M., Rousseau, C., Shukla, A., 2008, Shock loading and drop weight impact response of glass reinforced polymer composites, Composite Structures, 84:199-2008.

Hosur, M., V., Abdullah, M., Jeelani, S., 2005, Studies on the low velocity impact response of woven hybrid composites. Composite Structures, 67: 253-262.

Itou, S., 2010, Dynamic stress intensity factors for two parallel interface cracks between a nonhomogeneous bonding layer and two dissimilar elastic half-planes subject to an impact load., International Journal of Solids and Structures, 47:2155-2163.

Jones, Robert M., Mechanics of Composite Materials, Second Edition. 426-453.

Kara, M., 2006, Düşük Hızlı Darbeye Maruz Tabakalı Kompozitlerin Dinamik Cevabı, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya

Karaca, D., 2010, Farklı Kalınlık ve Oryantasyon Yüzdelerindeki Tabakalı Kompozit Levhaların Düşük Hızlı Darbe Enerjileri Altında Davranışlarının Deneysel İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü , Ankara.

Kill Shin, D., Lee, J.J., 2001, Fracture parameters of interfacial crack of bimaterial under the impact loading. International Journal Of Solids and Structures, 38:5303-5322.

Kulkardi, M.D., Goel, R., Naik, N.K., 2011, Effect of back pressure on impact and compression-after-impact characteristics of composites, Composite Structures, 93:944-951.

Li, S., Reid, S.R., Zou, Z., 2006, Modelling damage of multiple delaminations and transverse matrix cracking in laminated composites due to low velocity lateral impact., Composites Science and Technology, 66:827-836.

Liu Y.W., 2007, Improving the abrasion resistance of hydraulic-concrete containing surface crack by adding silica fume., Construction and Building Materials, 21:972-977.

Mal, A., 2002, Elastic waves from localized sources in composite laminates, International Journal of Solids and Structures, 39:5481-5494.

Mathivanan, N.R., Jerald, J., 2010, Experimental investigation of low velocity impact characteristics of woven glass fiber epoxy matrix composite laminates of EP3 grade, Materials and Design, 31:4553-4560.

Mili, F., Necib, B., 2001, Impact behavior of cross-ply laminated composite plates under low velocities, Composite Structures, 51:237-244.

Mishra, A., Naik, N.K., 2010, Failure initiation in composite structures under low-velocity impact: Analytical studies, Composite Structures, 92:436-444.

Mitrevski, T., Marshall, I.H., Thomson, R., Jones, R., Whittingham, B., 2005, The effect of impactor shape on the impact response of composite laminates, Composite Structures, 67:139-148.

Sayer, M., 2009, Hibrit Kompozitlerin Darbe Davranışlarının İncelenmesi, Doktora Tezi, *Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Denizli

Schoeppner, G.A., Abrate, S., 2000, Delamination threshold loads for low velocity impact on composite laminates, Composites Part A: Applied Science and Manufacturing, 31:903-915

Shyr, T., Pan, Y., 2003, Impact damage resistance and damage characteristics of composite laminates, Composite Structures, 62:193-203.

Sutherland, L.S., Soares, C., 2007, Scaling of impact on low fibre-volume glass-polyester laminates, Composites Part A: Applied Science and Manufacturing, 38:307-317

Şahin, Y. 2000. Kompozit Malzemelere Giriş, Gazi Kitabevi, Ankara.

Taşkıran, C., 2010, Tabakalı Kompozit Levhaların Sıcaklığa Bağlı Düşük Enerjili Darbe Davranışlarının İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniveristesi Fen Bilimleri Enstitüsü,* Ankara.

Tay, T.E., Tan, V.B.C., Deng, M., 2003, Element-failure concepts for dynamic fracture and delamination in low-velocity impact of composites, International Journal of Solids and Structures, 40:555-571.

Tiberkak, R., Bachene, M., Rechak, S., Necib, B., 2008, Damage prediction in composite plates subjected to low velocity impact. Composite Structures 83:73-82.

Ueda, S., 2002, Impact response of a piezoelectric layered composite plate with a crack, Theoretical and Applied Fracture Mechanics, 38:221-242.

Uyaner, M., Kara, M., Ataberk, N., 2007, E-camı / Epoksi Tabakalı Kompozitlerin Düşük Hızlı Darbe Davranışına Numune Boyutlarının Etkisi, 8.Uluslararası Kırılma Konferansı Bildiriler Kitabı, *Selçuk Üniversitesi Kadınhanı Faik İçil Meslek Yüksekokulu*, Konya.

Wang, S., Wu, L., Ma, L.,2010, Low velocity impact and residual tensile strength analysis to carbon fiber composite laminates, Materials and Design, 31:118-125.

Yang, F.J., Cantwell, W.J., 2010, Impact damage initiation in composite materials, Composites Science and Technology, 70:336-342.

Yeşildal, S., 2010, Darbe Yüklerine Maruz Denizel Kompozitlerde Hasar Mekanizmaları, Yüksek Lisans Tezi, *Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İzmir.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Mehmet TEMEL
Uyruğu : T.C.
Doğum Yeri ve Tarihi : KAYSERİ - 1983
Telefon : 0 533 626 39 97
Faks : -
e-mail : temelmehmet38@gmail.com

EĞİTİM

Derece	**Adı, İlçe, İl**	**Bitirme Yılı**
Lise	: Sema Yazar Anadolu Lisesi, KAYSERİ	2001
Üniversite	: Selçuk Üniversitesi Makine Mühendisliği, KONYA	2008
Yüksek Lisans	: -	
Doktora	: -	

İŞ DENEYİMİ

Yıl	**Kurum**	**Görevi**
2008-2009	Hürsan Hidrolik Pres A.Ş.	Ar-Ge Mühendisi
2009-2011	Gelişim End. Oto. Ltd. Şti.	İmalat Mühendisi
2011-2014	Hürsan Hidrolik Pres A.Ş.	Ar-Ge Müdürü
2014- DEVAM	Adnan Menderes Üniversitesi	Öğretim Görevlisi

UZMANLIK ALANI

Makine tasarımı

YABANCI DİLLER

İngilizce, Almanca