

# **DARBE YÜKLERİNE MARUZ DENİZEL KOMPOZİTLERDE HASAR MEKANİZMALARI**

**Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**  
**Yüksek lisans tezi**  
**Deniz Bilimleri Ana Bilim Dalı, Gemi İnşaatı Programı**

**Sedat YEŞİLDAL**

**Nisan, 2010**

**İZMİR**

## YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU

**SEDAT YEŞİLDAL**, tarafından **YRD. DOÇ. DR. ÇİÇEK ÖZES** yönetiminde hazırlanan “**DARBE YÜKLERİNE MARUZ DENİZEL KOMPOZİTLERDE HASAR MEKANİZMALARI**” başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Yrd. Doç. Dr. Çiçek ÖZES

---

Yönetici

Doç. Dr. Cesim ATAŞ

---

Jüri Üyesi

Yrd. Doç. Dr. Mehmet SARIKANAT

---

Jüri Üyesi

Prof. Dr. Mustafa SABUNCU  
Müdür  
Fen Bilimleri Enstitüsü

## TEŐEKKÜR

Bu tez çalıőmasını yöneten ve çalışma boyunca yardımlarını esirgemeyen Sayın Hocam Yrd. Doç. Dr. iek ZES'e , Doç. Dr. Evren TOYGAR'a ve Doç. Dr. Cesim ATAŞ'a teőekkür ve saygılarımı sunarım.

Ayrıca bu çalışmalar sırasında desteklerini esirgemeyen proje asistanları Yalın AKGÜN, Olgay DAĐDELEN ve Murat SARI'ya teőekkürü borç bilirim.

Sedat YEŞİLDAL

# DARBE YÜKLERİNE MARUZ DENİZEL KOMPOZİTLERDE HASAR MEKANİZMALARI

## ÖZET

Bu çalışmada değişik kalınlıklı jüt – epoksi kompozitlerin darbe davranışları deneysel olarak incelenmiştir.

Kompozit malzemeler günümüzde çok geniş kullanım alanına sahiptir. Deniz taşımacılığı, havacılık ve savunma sanayi, kara taşımacılığı, uzay programları, enerji sektörü, altyapı ürünleri, yapı ve inşaat sektörü, belli başlı kullanım alanları içerisinde yer alırlar.

Özellikle yat ve tekne yapımlarında, su dirençlerinin yüksek olması, metal malzemelere göre daha hafif olması, daha kolay ve ekonomik üretim yapılabilmesi gibi özelliklerinden dolayı kompozit malzemeler tercih edilmektedir.

Doğal lifli takviye elemanı kullanarak kompozit malzeme üretme amacıyla yapılan bu çalışmada jüt bitkisinden elde edilen örme kumaş kullanılmıştır. Jüt antistatik özelliği ve kolay üretimi olan ekonomik doğal bir lif bitkisidir.

Çalışma için gerekli olan jüt – epoksi kompozit malzeme altı farklı kalınlıkta tek plaka halinde üretilmiştir. Üretilen tabaka 100x100 mm ölçülerinde kesilerek deney numuneleri hazırlanmıştır. Her bir numuneye başlangıçta 10J değerinde darbe enerjisi uygulanmış ve numunede delinme hasarı oluşana kadar enerji değeri her denemede 10J arttırılmıştır. Her deneyin sonunda ortaya çıkan grafik ve fotoğraflar üzerinde tartışılmıştır. Daha sonra tüm deneylerin sonuçları karşılaştırılmalı olarak tartışılmıştır.

Sonuçta kalınlık arttıkça numunenin hasara uğraması için gerekli enerjinin de arttığı görülmüştür. Numune kalınlığının delinme eşik enerjisine bağlı grafiği oluşturulmuştur. Elde edilen eğri lineer karakterli olup farklı sonuçlara ulaşmaya olanak tanımaktadır.

**Anahtar sözcükler:** denizel, doğal, kompozit, darbe

**DAMAGE MECHANISMS OF THE MARINE COMPOSITES  
SUBJECTED TO IMPACT LOADING  
ABSTRACT**

In this study, impact behavior, of jute – epoxy composites with various thicknesses were investigated.

Composite materials today very widely used. Among them are marine transportation, aeronautics and defense industries, land transportation, space programs, energy sector, infrastructure, building industry.

Composite materials are especially favored in yacht and boat construction due to their high water resistance, relative low weight compared to metals, easier and cheaper production.

The aim of this study was to problem to produce composite materials using a reinforcing element with natural fiber, and woven cloth produced from jute plant was used. Jute is a fibrous plant, has antistatic properties and is economic to produce.

Jute – epoxy composite material needed for the experiments was produced as a single plaque with six different thicknesses. The produced layer was cut in 100x100 mm. Initially 10J impact energy was applied to each sample and it was increased 10J for each experiment until piercing damage occurred in the sample. Each experiment was discussed with resulting graphics and photographs and then results of all the experiments were discussed comparatively.

It was seen that as the sample thickness increased, so did the energy needed for sample to sustain damage the graphic of samples thickness depending on piercing threshold energy was drawn. The resulting curve was linear and it makes it possible to reach various results.

**Keywords:** marine, natural, composite, impact

## BÖLÜM BİR GİRİŞ

Kompozit malzemeler günümüzde çok geniş kullanım alanına sahiptir. Deniz taşımacılığı, havacılık ve savunma sanayi, kara taşımacılığı, uzay programları, enerji sektörü, altyapı ürünleri, yapı ve inşaat sektörü, sportif ürünler, ev ürünleri, tanklar ve basınçlı kaplar belli başlı kullanım alanları içerisinde yer alırlar.

Özellikle yat ve tekne yapımlarında, su dirençlerinin yüksek olması, metal malzemelere göre daha hafif olması, daha kolay ve ekonomik üretim yapılabilmesi gibi özelliklerinden dolayı kompozit malzemeler tercih edilmektedir.

Doğal lifli takviye elemanı kullanarak kompozit malzeme üretme amacıyla yapılan bu çalışmada jüt bitkisinden elde edilen örme kumaş kullanılmıştır. Jüt antistatik özelliği ve kolay üretimi olan ekonomik doğal bir lif bitkisidir.

Bu bölümde jüt bitkisi hakkında genel bilgi verilmekle birlikte daha önce yapılmış olan darbe deneyi çalışmalarından da bahsedilmiştir.

İkinci bölümde kompozit malzemelerin kısa tarihi gelişimi, avantaj ve dezavantajları, belli başlı kullanım alanları, matris ve takviye elemanları ile kompozitlerin sınıflandırılmaları hakkında bilgi verilmiştir.

Üçüncü bölümde malzeme üretiminden ve jüt epoksi ile labaratuvar şartlarında altı farklı kalınlıkta elde edilen kompozit malzemedeki bahsedilerek darbe deneyi ve deneyde kullandığımız darbe makinesi hakkında bilgi verilmiştir.

Dördüncü bölümde yapılan deneyle ilgili olarak fotoğraf, kuvvet – deplasman grafiği, enerji – zaman grafiği farklı uygulamaları ile birlikte verilerek tartışılmıştır.

### 1.1 Takviye Malzemesi Olarak Jüt

Tabii olarak Hindistan'da yetişir. Çin ve Malezya'da yetiştirilmeye başlanmıştır. Colitorius cinsi Akdeniz memleketlerinde de tanınmış ve yetiştirilmeye başlanmıştır. Amerika'ya ulaşması 1870 senelerine rastlar. Amerika'da Teksas ve Güney Karolina eyaletlerinde üretilmektedir. Dünya jüt üretiminin hemen hemen hepsi Hindistan'a ve Pakistan'a aittir. Üretimin buralarda fazla olmasının bir sebebi de işçiliğin çok ucuz olmasıdır. Jüt bitkisinin toplanması oldukça zordur. Bitki üç ayda yetişkin hale gelir. Çiçek açtığına toplanması gerekir. Tohum dönemine rastlayan mahsul ağır olur, ama lifler kalınlaşmış ve sertleşmiştir. Toplanan ürün balyalanarak havuzlara atılır. Havuzların üzeri orman bitkileri, hatta hayvan gübresi ile örtülerek bekletilir. Bu kirlili ve havasız su içinde jüt kabukları çürüyerek açılır. Kabuklar içinden lifler çıkarılıp serilerek kurutulur. Bundan sonraki işlemlere fabrikalarda makinelerle devam edilir. Pamuk ipliği üretiminde olduğu gibi taraklardan geçirilerek temizlenir, tamamen liflerine ayrılır, bobinlere ip olarak sarılır. İp kalınlıkları maksada göre değişiktir. Jüt lifi elde etmede Bangladeş ve Hindistan'ı Brezilya, Tayvan takip eder.



Şekil 1.1 Jüt bitkisi ve liflerinden elde edilmiş örme kumaş

“Altın lif/elyaf” olarak da adlandırılan jüt elyafı geri dönüşümlü ve çevreci bir elyaftır. Bu yüzden de son dönemde artan çevreci duyarlılık için popüler bir malzemedir. Jüt ürünleri toprakta kolayca çözünür ve organik yapısı nedeni ile toprağı zenginleştirir. Yandığında dumanları toksik olmayıp herhangi bir artık bırakmaz. Jüt, anti-statik kalite özelliğiyle çalışılması kolay bir bitkidir.

## 1.2 Jüt Üzerine Yapılmış Çalışmalar

Gowda ve arkadaşları çalışmalarında dokunmuş jütten imal edilmiş kompozitlerin poisson katsayısı, mukavemet değerleri ve mekanik özellikleri hakkında değerlendirmelerde bulunmuşlardır. Bu çalışmada çeki mukavemeti, bası mukavemeti, eğilme mukavemeti, darbe dayanımı, tabakalar arası ve tabaka içi kayma mukavemeti değerleri verilmiştir. Çalışma deneysel olarak gerçekleştirilmiştir. (Gowdaa, Naidua ve Chhaya, 1999)

Singh ve arkadaşları değişik varyasyonlardaki nem, ısı ve hava koşulları içinde bulunan jüt kompozitlerin fiziksel ve mekanik özellikleri üzerinde çalışmışlardır. Çalışmada Yaşlandırma uygulanmış numunelerin boyutsal stabilitesi, yüzey topografisi ve mekanik özellikleri tespit edilmiştir. Jüt kompozitlerin kuru ve nemli ortamda kullanımının uygunluğunu test edilmiş sonuçlar listelenmiştir. (Singh, Gupta ve Verma, 2000)

Mohanty ve arkadaşları yüksek yoğunluklu jüt kompozitlerin visco elastik ve mekanik özelliklerini deneysel yollarla belirlemiş ve yorumlamışlardır. Hacimsel Fiber miktarı %30 dan yukarı doğru çıktıkça malzemenin çeki eğilme ve darbe mukavemetinin arttığı görülmüştür. İşlenmiş compozitlerde Fiber matrix morfolojisi çekme deneyi sonrası kopmuş (hasara uğramış) numunelerin SEM analizi ile incelenmiştir. (Mohanty a, Verma a ve Nayak, 2006)

Aquino ve arkadaşları çalışmalarında ortotropik polyester reçine iki yönlü örülmüş hibrit cam jüt fiber takviyeli uygulanmış sandviç kompozitlerin nem emiliminin mekanik özellikler üzerindeki etkisinin değerlendirilmesi üzerinde çalışmışlardır. Çeki ve üç noktalı bükme deneyleri yapılmış olup oluşan hasar



mekanizması resmedilmeye çalışılmıştır. Nemli ortamın mekanik özelliklerde yüksek miktarda zayıflama oluşturduğu görülmüştür. Bulunan en önemli karakteristik özellik üç noktalı bükme deneyi için kayma gerilmelerinden oluşan hasarlardır ve bu hasarlar kuru ve nemli ortamlar için de yaklaşık aynı değerlerdedir. (Aquino, Sarmiento ve Oliveira, 2007)

Srivastav ve arkadaşları farklı yükleme oranları karşısında jüt cam hibrit kompozitlerin mekanik davranışlarını incelemiştir. Yüzey geliştirmeleri ile daha yüksek yüzeyler arası bağ kuvvetlerinin oluştuğu görülmüştür. Bulgular değişik yükleme oranlarında hasar mekanizmasını resmetmiştir. (Srivastav, Behera ve Ray, 2007)

Park ve arkadaşları poli-propilen reçineli jüt kompozitlerin mikromekanik özellikleri üzerinde (austik emisyon tekniği ile) çalışmışlardır. Numuneler kaynar su testine tabi tutulmuş sonrasında çeki mukavemeti ve fiber-matrix bağ mukavemetinin düştüğü görülmüştür. (Park, Kim, Jang ve Wang, 2007)

Rahman ve arkadaşları jüt poli-propilen kompozit malzemeler üzerinde çalışmışlardır. normal, oksitlenmiş ve işlenmiş üç tip jüt fiber den imaledilmiş numuneler mikromekanik (SEM) ve makromekanik testlere tabi tutulmuştur. Ayrıca %20 %25 %30 %35 hacimsel fiber oranına sahip örnekler üretilmiş ve bu örneklerin mekanik özellikleri karşılaştırılmıştır. %30 fiber oranına sahip kompozit numunenin en iyi sonuçları verdiği görülmüştür. (Rahman ve Hasan, 2009)

Akil ve arkadaşları jüt-cam ve kenaf-cam hibrit polyester kompozitler üzerinde eğilme testleri uygulamışlardır. Acustik emsiyon deneyleri ile micro analizlerde bulunmuş ve sonuçlarını çalışmalarında sunmuşlardır. (Akila, Rosab, Santulli ve Sarasini, 2010)

### 1.3 Kompozitlerin Darbe Davranışları Üzerine Yapılmış Çalışmalar

Kompozit plakların darbe davranışları ile ilgili yapılmış araştırmalardan bazıları aşağıda özetlenmiştir.

$[(\pm 45, 0_2)_2]_S$  oryantasyonuna sahip karbon-epoksi kompozitlerde düşük hızda darbeye uğrayan ve uğramayan darbeden önce ve darbeden sonra mekanik özellikler belirlenmiştir. Ayrıca kompozit plakların darbeden sonra çeki ve bası yorulma testleri yapılmıştır. (Beheshty ve Haris, 1998)

Karbon fiber ve cam lifi takviyeli plastik tabakalı kompozit kullanarak bunların özelliklerinin yorulma ömrüne etkileri belirlenmiştir. İki numuye de, darbeden sonra yorulma testleri yapılmış ve darbeden sonra yorulma ömürlerinde farklılık görüldüğü belirtilmiştir. (Beheshty, Haris, Adam, 1999)

Camli takviyeli polyester esaslı tabakalı kompozitler enjeksiyon kalıplama tekniği ile üretilerek burulma, çekme, darbeli yorulma ve darbeden sonra yorulma testleri yapılmıştır. Tabakalı kompozitlerin bu durumdaki mekanik özellikleri tespit edilmiştir. (Margueres, Meraghni, Benzaggagh 2000 )

Tabakalı kompozit plaklar, cam lifi-epoksi malzemedeki yapılarak darbe-yorulma hasarını farklı enerjilerde ve düşük darbe hızlarında incelemiştir. Mankowsky'nin hasar teorisini modifiye ederek kendi modellerine uygulamışlardır. Numunelerde oluşan hasar mekanizmaları taramalı elektron mikroskobu yardımıyla tespit edilmiştir. (Azouaoui, Rechak, Azari, Benmedakhene, Laskimi, Pluvinage 2001)

Cam lifi takviyeli vinilester esaslı kompozitler sarkaç tipi vurucu kullanarak tekil ve tekrarlı yüklemelere maruz bırakılarak darbe dirençleri tespit edilmiştir. Kompozitlerin darbeli yorulma davranışlarının belli bir eşik mukavemeti altında olması gerektiğini S-N (yorulma-ömür) diyagramlarını çizerek tespit etmişlerdir. (Roya, Sarkara, Bosep, 2001)

Yorulma yükü altındaki kompozit malzemelerde darbe sonucunda meydana gelen hasar yayılımının önceden belirlenebilmesi için yeni bir yöntem ileri sürülmüş ve sonlu elemanlar metodu kullanılarak çözüm yapılmıştır. Deney numunesi olarak karbon fiber takviyeli polimerik esaslı kompozit levha kullanılmıştır. Çalışmadan çıkarılan teorik sonuçlar ile önceden yapılmış olan deney sonuçları karşılaştırılmıştır. (Attia, Kinloch, Matthews, 2003)

Karbon fiberlerle tek yönde takviye edilerek epoksi reçine emdirilmiş kompozitlerin yorulma özellikleri incelenmiştir. Mengenerlerdeki gerilme yığılmalarının oluşmasını engellemek için özel test aparatları ve yöntemleri geliştirilmiştir. (Meziere, Bunsella, Favlya, Teissedrea, 2005)

Yorulma hasarına, katılığın azaltılmasının (stiffnes) yaptığı etkiyi basitleştirme metodu kullanılarak sonlu elemanlar metoduyla hesaplanmıştır. Hesaplanan darbe kuvvetleri daha önceki nümerik çalışmalardan çıkan sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Sonuçta kullanılan basitleştirme metodunun yorulma hasarını önceden belirleme konusunda verimli olduğu gösterilmiştir. (Kim ve Hwang, 2006)

Bakır takviyeli cam lifi-epoksi kompozit malzemelerin yorulma-kırılma mekanizmaları incelenmiştir. Çatlak ilerlemesinin bakır ve kompozit arasındaki ara yüzeyde yırtılma sonucu olduğu tespit edilmiştir. (Kim, Park, Hsieh, 2006)

Tek yönde karbon fiberler takviyeli kompozit malzemelerde mevcut boşluğun statik eğilme ve eğilmeli yorulma yüklerine etkileri incelenmiştir. Vakum basıncı ile % 0.5–0.6 aralığında boşluk seviyeleri elde edilmiştir. Şekil analizi yardımıyla boşluklar karakterize edilmiştir. Eğilmeli yorulma sonuçları ile statik eğilme mukavemetleri elde edilmiştir. (Chambers, Earl, Squires, Suhot, 2006)

Oda sıcaklığında camlifi takviyeli polyester esaslı (GFRP) kompozitlerin, burulma-eğilme yüklemesi altındaki yorulma davranışları incelenmiştir. Yorulma deneyleri 25 Hz frekanslı sabit-çökme yorulma makinesi ile gerçekleştirilmiştir.

Kompozitlerin burulma-eğilme şeklindeki yorulma deneylerinde hasar kriteri olarak başlangıç momentlerinin % 30 indirgenmiş değeri alınmıştır. GFRP kompozitlerinin hasar durumlarının saptanması için farklı hasar teorileri kullanılarak bir dizi burulmalı-yorulma deneyleri yapılmıştır. Burulma-eğilme yorulması deneylerinden elde edilen S-N eğrileri burulmalı-yorulma deneylerinden elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Sonuçlar, literatürdeki eğilmeli-yorulma ve burulmalı-yorulma mukavemetleri ile karşılaştırıldığında, GFRP kompozitlerinin burulma-eğilme yorulma mukavemetlerinin zayıf olduğu gösterilmiştir. (El-Assal ve Khashaba, 2007)

İki eksenli örgülü karbon-epoksi kompozitler çekme-çekme yorulma yüklemeleri altında küçük iş jeti uygulamaları için incelenmiştir. Çeki-bası yorulma yükleri altında örgü tipi karbon-epoksi kompozitlerin dikişli, dikişsiz ve Z pinli olmaları durumu uçak uygulamaları için incelenmiştir. (Kelkar, Tate, Bolick, 2006)

Cam lifi-epoksi kompozitten üretilmiş orta büyüklükte (750 kW) yatay eksenli rüzgar türbin sistemlerinin (HAWIS) yorulma ömrü S-N hasar grafikleri, yük spektrumu ve ampirik formüllerle tespit edilmiştir. (Kong, Kim, Han, Sugiyama, 2006)

Tabakalar arasında ayrılma hasarlı kompozitlerin yorulma ve kırılması üzerinde çalışılmıştır. Burada kullanılan yöntem, Mod I yüklemesinde örgü tipi camlifi/vinilester kompozitlere uygulanmıştır. Enerji boşalma direncinin, delaminasyon büyümesinin bir fonksiyonu olarak tespit edilmesi için Amerikan test merkezince standardize edilmiş Mod I yüklemesi kullanılarak kırılma deneyleri yapılmıştır. (Shivakumara, Chena, Abalip, Leb, Davis, 2006)

Yorulma hasarı kısa fiber takviyeli kompozit malzemelerde incelenmiştir. Fiber veya fiber-matris ara yüzeyindeki hasarı belirlemek üzere sayısal yöntemler kullanılmıştır. Kompozitlerde fiber oryantasyonları ve fiber oranları hesaba katılarak kompozitlerin mikroskobik hasar özellikleri Weibull dağılımı kullanılarak belirlenmiştir. (Kabir, Lutz, Zhu, Schmauder, 2006)

Camlifi takviyeli epoksi ve polyester reçine emdirilmiş kompozitlerin yorulma özellikleri üzerine çalışılmıştır. Sonuçlar literatürdeki camlifi takviyeli kompozitlerin sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Elektron mikroskopunda hasar mekanizmaları incelenerek kompozitlerin yorulma davranışları üzerine fiber hacim oranının etkileri belirlenmiştir. (Ferreira, Pires, Costa, Zhang, Erajhi, Richardson, 2006)

Camlifi-epoksi kompozitlerin S-N eğrileri belirlenerek yorulma yükleri altındaki rijitlik düşüşü gözlemlenmiştir. Yorulma yükleri altındaki davranışları simüle etmek için bir model kullanılarak maksimum kopma mukavemetini belirlemek için statik çekme deneyleri yapılmıştır. (Salakeen ve Jones, 2007)

## **BÖLÜM İKİ**

### **KOMPOZİT MALZEMELER**

#### **2.1 Kompozit Malzemelere Genel Bakış**

Günümüzde gemi, inşaat, otomotiv ve uzay teknolojisine kadar hemen hemen her alanda çok yaygın bir kullanım alanına sahip olan kompozit malzemelerin üretimi eskilere dayanmaktadır. Kompozit malzeme kavramının ortaya atılması ve konunun bir mühendislik konusu olarak ele alınması 1940' lı yılların başında gerçekleşmiştir.

Kompozit malzemenin ilk örneklerine, doğada bulunan malzemeye yapılan müdahalelerle onun kullanılabilir hale getirilmeye başlanması verilebilir. Bu konudaki en iyi örneklerden biri kerpiç malzemedir. Kerpiç üretiminde killi çamur içine katılan saman, sarmaşık dalları gibi sap ve lifler, malzemenin gerek üretim, gerek kullanım sırasındaki dayanımını artırmaktadır.

Günümüzde kompozit malzemenin donatılmasında yaygın olarak kullanılan liflerle ilgili uygulamanın da çok yeni olmadığı eldeki bulgulardan anlaşılmaktadır. Örneğin cam liflerinin üretimi, eski Mısır'a dayanmaktadır. Daha M.Ö 1600 yıllarında Mısır da ince cam liflerinin yapımının bilindiği, XVIII. Hanedan devrinden kalan, çeşitli karanlık renkte cam lifleriyle bezenmiş amforaların mevcudiyetinden anlaşılmaktadır. Cam liflerinin sanayide kullanımıyla ilgili ilk kayıt, 1877 tarihlidir. Hidrolik bağlayıcılar ve elyaf malzeme kullanılarak yapay taş plakaların üretilmesi yöntemi hakkında bu yüz yılın başında alınmış patentlere rastlanmaktadır. Günlük uygulamalarda en yaygın kullanım olanağı bulmuş olan liflerle donatılmış kompozit malzemelerden ikisi, asbest lifleriyle donatılı kompozit malzemeler ve cam lifleriyle donatılı polyeester kompozitlerdir. İlk kez ince levha yapımında kullanılan çimento ve asbest kompozitleri yıllar boyu önemini koruyarak bu gün hala kullanılan bir malzeme olma özelliğini sürdürmektedir.

1950 li yılların ortalarından itibaren, liflerle donatılı sentetik reçineler endüstride kullanılmaya başlanmıştır. Bu malzemenin en tanınmış grubunu cam lifi donatılı polyeester reçinesi kompozit oluşturmaktadır. Ülkemizde fiberglas diye tanınan bu

malzeme 1960'lı yılların başından itibaren Türkiye de sıvı depoları, çatı levhaları, küçük boyda deniz teknelerinin yapımı gibi alanlarda kullanılmıştır. Ülkemizde seri üretimi yapılmış ilk yerli otomobil olan Anadolu'nun kaportası bu malzemeden üretilmiştir.

## **2.2 Kompozit Malzemelerin Avantaj Ve Dezavantajları**

Kompozitlerin diğer plastik ve metal malzemelere göre avantaj ve dezavantajlarını şu şekilde sıralanabilir:

Tasarım Esnekliği; tasarım açısından basit, küçük, geniş, yapısal, karmaşık, estetik, dekoratif ya da fonksiyonel amaçlı tasarımı yapılabilir.

Kalıplama; kompozit ürünler, çelik türü malzemelerde karşılaşılan çok sayıdaki parçanın birleştirilme ve sonradan monte edilme işini tek parça kalıplama olanağı ile ortadan kaldırmaktadır.

Yüzey uygulamaları ve şeffaflık; polyster reçine, özel pigment katkıları ile renklendirilebilmesinin yanında cam gibi ışığı geçirebilir. ışığı yayması sayesinde, diffüze ışığın önem kazandığı seralarda ve güneş kolektörü yapımında kullanılır.

Boyutsal kararlılık; termoset kompozit ürünler mekanik, çevresel baskılar altında şekillerini koruyabilmektedirler.

Betonun gözenekli yapısı, kompozit'i oluşturan ana malzemelerden polyster reçinenin gözeneklerden sızması ve beton kütle içinde sertleşmesine çok iyi zemin hazırladığı için mükemmel yapışma sağlanır.

Kompozitlerin ahşap yüzeylere de yapışma özelliği vardır. Ahşap kuru olmalı ve stiren ihtiva eden polyster reçine iyice emdirilmelidir.

Demir ve çelik yüzeyler, korozyon etkilerinden korunmak için yüzeydeki pas ve yağ kalıntıları temizlenerek kompozitle kaplanabilir.

Kompozitler, tahta gibi kolay kesilir, delinir, zımparalanır. Bu aletlerin sert çelik veya elmas uçlu olması halinde daha iyi sonuç alınmaktadır.

Dielektrik özelliği;

Korozyon dayanımı;

Kompozitlerin dezavantajları olarak ise şunlar sıralanabilir;

Pahalı olması,

Üretim güçlüğü,

İşleme güçlüğü,

İstenilen yüzey kalitesinin elde edilemeyeşi,

Kırılma uzamasının az olması.

Geri dönüşümünün olmayışı,

### **2.3 Kompozit Teknolojisinin Kullanım Alanları**

İnşaat sektörü kompozit malzemelerin bilinen en eski ve en geniş kullanım alanıdır. Saman ile liflendirilmiş çamurdan yapılan duvarlar ilk kompozit malzeme örneklerinden olup güncel bir örnekte selüloz ve reçineden üretilen kağıttır.

Kompozitlerin başlıca kullanım alanları ile sağlanan avantajlar şu şekilde sıralanabilir; otomobil kaportası parçaları, iç donanımı, bazı motor parçaları, tamponlar ve oto lastikleri, iş makinelerinin kapakları ve çalışma kabinleri yapımında da kompozit malzemeler kullanılmaktadır. Böylece üretim için kullanılan parça sayısı azaltılarak, tek parça üretim mümkün olmaktadır. Ayrıca elektrik izolasyon malzemelerinden de tasarruf sağlanmaktadır.

İnşaat sektöründe inşaat kalıpları, cephe korumaları, soğuk hava depoları, tatil evleri, büfeler, otobüs durakları, kompozit malzemenin uygulama alanları olarak gösterilebilir. Bunun dışında toplu konut yapımında ve çevre güzelleştirme çalışmalarında da kullanılmaktadır. Çok sayıda standart ürünün kısa zamanda imal



edebilmesi, ucuz maliyet olanakları, montaj sorununun olmaması, yüksek yalıtım kapasitesi, hafiflik ve yüksek mekanik dayanım gibi özellikleri üretici ve tüketiciye ayrı ayrı avantajlar sunmaktadır.

Tarımda su boruları, sulama kanalları, sera ve tahıl siloları, yapımında kompozitlerin ayrı bir yeri vardır. Kompozitlerden imal edilen bu örnekler ışık geçirgenliği, tabiat şartlarına ve korozyona dayanıklılık, düşük yatırım ve kolay montaj gibi avantajlar sağlayabilirler.

Birleşik malzemeleri silah üretiminde yaygın olarak kullanılmamakla beraber 3000 bara kadar dayanabilen 60 ve 81 mm gibi küçük çaplı havanlar için çalışmalar yapılmıştır. Bu silahlar hafifliği nedeniyle piyadenin savaş performansını artırıcı özelliğe sahiptir.

Birleşik malzemeler mühimmat üretiminde de kısmen kullanılmaktadır. M19 A/T mayınında gövde ABS reçine ve cam elyaf parçacıklarından, bu mayına ait küçük ve büyük belleville yayları cam doku ve fenolik reçineden yapılmışlardır. 155mm lik ICM mühimmatı gövdelerinde cam elyafı epoksi sargı vardır. Miğfer konusunda kevlar ve değişik reçineler kullanılmaktadır.

Bitişli kevlardan kurşungeçirmez yelekler, balistik testler için zırh levhaları cam ve fenolik reçineler imal edilmekte ve tasarım alternatiflerinin geliştirilmesine paralel olarak bu sahadaki kullanım oranı da artacaktır.

Uzay ve havacılık sanayinde birleşik malzemeler hafiflik ve sağlamlıklarından dolayı tercih edilirler. Amaç az yakıt harcayarak, yüksek hıza ulaşmak ve verimliliği arttırmaktır. Burada sadece ekonomik olmak düşünülmeyp stratejik performanslarda hesap edilmektedir.

## 2.4 Kompozit Malzemelerin Yapısı

Kompozitler çok fazlı malzemelerdir. Sürekli bir ana faz ile onun içinde dağılmış pekiştirici takviye fazından oluşurlar. Otomobil lastikleri, çelik donatılı beton elemanlar, cam elyafı polyester levhalar ve seramik metal karışımı olan sermetler bunlara örnek olarak gösterilebilirler.

Kompozit malzemeler takviye türüne göre lifli, tabakalı ve taneli olmak üzere üç gruba ayrılabilirler; tabakalı ve lifli kompozitler, taneli kompozitlere göre özelliklerde daha fazla artış sağlarlar. Taneli kompozitlere örnek olarak beton, sert tanelilerin sünek bir malzemeyle birleştirilip aglomera haline getirilen kompozitlere örnek olarak da asfalt beton verilebilir.

Taş sert ve gevrek, asfalt viskoz ve düşük mukavemetlidir, kütle halinde fazla şekil değiştirmeden çatlayarak kolayca kırılabilirler. Asfalt ile farklı boyutlardaki kırmataş birleşerek hem sünek hem de yeter mukavemetli olan yol kaplaması malzemesini oluştururlar.

Cam lifli polyesterler düşük elastisite modülü ve mukavemet değerine rağmen uygulanmalarının diğerlerine göre daha ucuz ve kolay olmasından dolayı deniz tekneleri, oto, spor malzemeleri ve yapı elemanları üretiminde yaygın olarak kullanılırlar.

Tungsten karbür (WC) taneciklerinin CO metali ile yüksek sıcaklıkta basınç altında sinterlenmesi ile elde edilen kompozit malzeme çok sert olup yüksek hızlı kesme takımı üretimine elverişlidir.

## 2.5 Kompozit Malzemelerde Bulunan Elemanlar

Kompozit malzemeler, matris malzemeleri, takviye elemanı ve katkı maddeleri olmak üzere üç ana grupta incelenebilirler.

### ***2.5.1 Matris Malzemeleri***

Matrisin kompozit yapılarıdaki üç temel fonksiyonu, elyafları bir arada tutmak, yükü elyaflara dağıtmak ve elyafları çevresel etkilerinden korumak olarak sıralanabilir. Başlangıçta düşük viskoziteye sahipken daha sonra elyafları sağlam ve uygun bir şekilde çevreleyebilecek katı forma kolaylıkla geçebilen matris malzemesi idealdir.

Matrisin mekanik özellikleri kompozitlerde yükü taşıyan elyafların fonksiyonlarını yerine getirmeleri açısından önemlidir. Matris olmadığında yük bir ya da birkaç elyaf tarafından taşınacaktır. Matrisin varlığı ile yük tüm elyaflara eşit olarak dağılacaktır. Yüksek kesme mukavemeti özelliğine sahip matris, elyaflarla iyi yapıştırıldığında kesme yükü altındaki gerilme dayanımı iyi sonuçlar verecektir.

Elyaf ile matris arası bağ kuvvetleri ve matrisin kesme mukavemeti çok yüksekse elyafta veya matriste oluşacak çatlak yön değiştirmeden ilerleyebilir. Böyle bir durumda kompozit gevrek bir malzeme gibi davrandığından kopma yüzeyi temiz ve parlak bir yapı gösterir. Eğer bağ mukavemeti çok olursa elyaflar boşluktaki bir elyaf demeti gibi davranacağından kompozit zayıflar. Orta seviyede bir bağ mukavemetinde ise elyaf veya matristen başlayan enlemesine doğrultuda bir çatlağın elyaf/matris ara yüzeyine dönüp elyaf doğrultusunda ilerlemesi durumunda kompozitte, sünek malzemelerin kopmasına benzer lifli bir yüzey oluşur.

### ***2.5.2 Takviye Elemanı***

Takviye elemanı matris malzeme içinde bulunan kompozit yapının temel mukavemet elemanıdır. Yüksek elastite modülüne ve sertliğe sahip olan elyaflar, düşük yoğunlukludurlar. Bunun yanında kimyasal korozyona dirençlidir. Kompozit yapılarda kullanılan önemli takviye malzemeleri sürekli elyaflardır. Aramid, karbon, grafit, boron, silisyum karbür (SiC), alümina, cam ve polietilen malzemelerin kısa veya uzun sürekli elyaf formunda kullanılırlar. Matrisi hacimce yaklaşık % 60 oranında pekiştirici malzemelerdir.

### ***2.5.3 Katkı Maddeleri***

Kimyasallar, dolgular ve diğer katkılar malzemede farklı özelliklerin oluşturulması ve geliştirilmesi amacıyla matrise ilave edilirler.

Bu gruptaki kompozit malzemeler korozyon dayanımı gerektiren uygulamalarda, denizcilikte, kara taşıtlarında, uçak-uzay sanayinde, savunmada, elektrik-elektronikte ve özel amaçlı uygulamalarda kullanılmaktadır.

## BÖLÜM ÜÇ

### MALZEME ÜRETİMİ VE DARBE TESTLERİ

#### 3.1 Kompozit Malzemenin Üretilmesi

Fiber takviyeli kompozit malzemeler, fiber ile fiber liflerinin arasını dolduran ve yapıştırıcı reçine olan matriks malzemedan meydana gelirler. Fiber yapı, kompozitlerde yüksek mukavemete sahiptir. Matriks fiberleri bir arada tutarak üretilen parçanın şeklini vermesine karşın dayanımı zayıftır. Fiberlere örnek, cam, karbon, kevler, boron lifleri matrikslere ise epoksi, vinil ester, polyester verilebilir. Bu kompozitler genellikle fiber adı-matriks adı sıralamasıyla adlandırılırlar.

Fiberlerin matriks ile birleştirilmesinde fiberlerin bulunduğu kumaşlar tabakalar halinde serilerek her tabaka rulo fırçalar yardımıyla reçine kumaşa emdirilir. Bu yöntemin sakıncalı tarafı kompozit homojenliğinin işçi becerisine bağlı olmasının yanında işçilik ve harcanan zamanın fazlalığıdır. Bu durumu ortadan kaldırmak için önceden hazır olarak reçine emdirilmiş kumaşları kullanılabilir. Prepreg olarak adlandırılan hazır tabakalar istenen boyut ve açılarda kesilerek üst üste dizilir. Kompozitin sıhhati açısından prepreglere çıplak elle temas etmemek önemlidir.

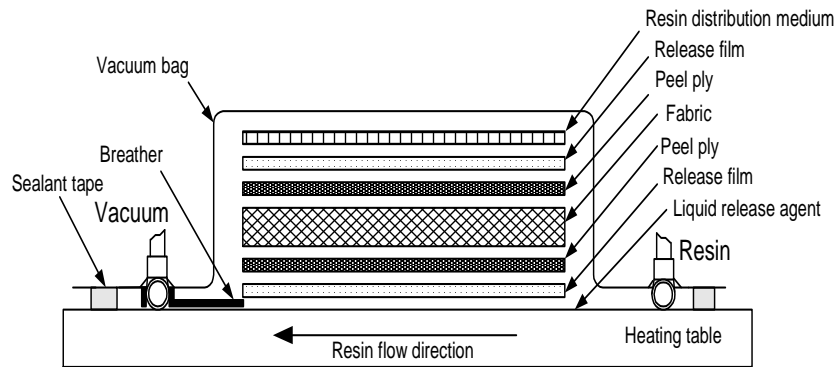
Bu çalışma kapsamında vakum destekli reçine infüzyonu yönteminden yararlanılarak jüt - epoksi kompozit plakalar üretilmiştir. Bu yöntemde kısaca şu aşamalar gerçekleştirilmektedir.

Vakum paketinin içerisine üst üste konan tabakalar yerleştirilir. Paket içerisinde, fazla reçinenin kompozitten atılmasını sağlayan delikli teflon, fazla reçinenin emilmesi işini gören pamuklu kalın bir kumaş, pamuklu kumaşın vakum paketine yapışmasına engel olan ve yüksek sıcaklıklara dayanıklı ayırıcı film ve kompozit plaka bulunmaktadır. Sırasıyla yerleştirilen tabakaların bulunduğu vakum paketi, hava ve reçinenin çıkmasını engelleyen çift tarafı yapışkanlı özel bir bantla yapıştırılır.

Son olarak vakum yardımı ile reçinenin istiflenmiş kumaşlara tamamen nüfuz etmesi sağlanır ve malzeme pişmeye bırakılır. Pişirilmiş plaka paketin içerisinde çıkarıldıktan sonra 100mm x 100 mm boyutlarında kesilir.

Bu çalışmada deney numunesi için seçilen kumaşın özgül ağırlığı 300 gr/m<sup>2</sup> olup örgüdeki atkı - çözgü sayısı ise 100 cm' de 433x433 tür. Deney numunesinin altı farklı kalınlıkta olması tasarlandı. Bu amaçla altı farklı kalınlığa sahip 100x100 cm<sup>2</sup> ölçüsünde bir plaka üretilip 10x10 cm<sup>2</sup> lik küçük parçalar halinde kesilerek 4, 5, 7, 8, 9 ve 10 mm kalınlık ölçülerine sahip numuneler elde edildi.

Aşağıda vakum destekli reçine infüzyonu ile üretim yöntemi şematik olarak, üretim yöntemi de fotoğraflarla gösterilmiştir.



Şekil 3.1 Vakum destekli reçine infüzyonu ile üretim yöntemi şematik gösterimi



Şekil 3.2 Üretimin yapıldığı kalıp makinası



Şekil 3.3 Üretimin aşamaları

### 3.2 Darbe Konusuna Genel Bir Bakış

Kompozitler kullanımları sırasında darbe yüküne maruz kalabilirler. Bu malzeme içerisinde gözle görülemeyen hasarlar oluşabilir. Genellikle tabakaların birbirinden ayrılması şeklinde karşımıza çıkan bu hasarlar malzemenin beklenen mukavemet değerinden daha küçük yüklerde kullanılamaz hale gelebilir.

Mühendislik uygulamalarında, özellikle mekanik uygulamalarda, dışarıdan gelecek herhangi bir darbeye karşı malzemenin gerekli davranışı verebilmesi istenir. Malzeme çok farklı şekillerde darbelere maruz kalabilir. Buna karşın metal ve metal alaşımları darbeli yüklere karşı, elastik uzama ve plastik şekil değiştirme hasarına uğrayabilir ve darbe hasarı genellikle çarpma yüzeyinde başladığı anda kolay bir şekilde tespit edilebilir.

Kompozit malzemelerin darbeye maruz kalmaları neticesinde oluşan hasar, çarpmanın türüne göre darbeye maruz kalmayan yüzeyde de meydana gelebilir. Çok küçük darbe yüklerine maruz kalan kompozitlerde bile tabakalar arasında ayrılma şeklinde hasarlar başlayabilir.

Metal malzemelerde ise darbe hasarı genellikle bir tehlike olarak kabul görülmez. Çünkü metaller plastik şekil değiştirebilme kabiliyetlerinden dolayı, büyük miktarda enerjiyi absorbe edebilirler. Sabit bir gerilme durumunda yapı sertleşmeden önce çok büyük plastik uzamalar gösterdiklerinden oluşacak kopmalar ani ve beklenmedik olmaz.

### 3.3 Yüzeye Dik Darbe

Eğilme nedeni ile kompozit malzemelerin zayıf oldukları yükleme durumu düzlem dışına doğru (tabaka veya fibere dik yükleme) olmalıdır. Kompozit malzemeler, enine darbeye maruz kaldıklarında toplam yük taşıma kapasitelerinde önemli düşümlere sebep olan hasarlara uğrarlar. Kompozitlerin darbe yüklerine karşı göstermiş oldukları cevap, kompoziti meydana getiren her bir bileşenin kendi özellikleri kadar tabaka konfigürasyonuna da bağlı olduğundan çok kompleksdir.



Ayrıca, çarpan cismin geometrisine, hızına ve kütesine de bağlıdır. Bu bileşenler enine darbenin toplam etkisini karakterize etmede etkilidirler. Hasar modları, gözle görülmeyen tabakalar arası küçük ayrılmalardan, plağın delinmesine kadar değişebilen farklı şekillerde mevcuttur. Düşük hızlı darbeler, tabakalar üzerinde gözle görülmeyen hasarlar oluşturabilirler. Bu durum tabaka içerisinde, matris kırılması, delaminasyon ve/veya fiber kırılması şeklinde olabilir. Mukavemette önemli düşüşe sebep olan bu modda, rijitlikte azalma da görülebilir, fakat genellikle dramatik değildir. Yüksek hızlı çarpmada hasar, çarpışma temas bölgesindeki küçük bir alanda yoğunlaşır.

### **3.4 Darbe Testleri**

Tabakalı kompozit malzemelerin darbe direncini incelemek için birçok test tekniği bulunmakla birlikte kompozit malzemelerin darbe dirençlerinin belirlenmesi için kullanılan test yöntem ve cihazları şunlardır; sarkaç testleri (izod ve charpy), hava veya gaz silah testleri, ağırlık düşürme testleri.

Sarkaç testinde çentik açılmış test numunesi, standart yükseklikten bırakılan sarkaç tarafından darbeye maruz bırakılır. Sarkacın ilk yüksekliği ile darbeden sonra geri sıçradığı son yükseklik arasındaki enerji farkı, numune tarafından absorbe edilen darbe enerjisi olarak ölçülür. Darbeden sonra sarkacın geri sıçradığı yükseklik ne kadar az ise, absorbe edilen darbe enerjisi, dolayısıyla malzemenin darbe direnci veya tokluğu da o derece yüksektir.

Balistik testler için yüksek hızlara ihtiyaç duyulmaktadır. Kompozit malzemeye yüksek hızla bir cismin çarpmasını sağlamak için silah sistemlerinden faydalanılır.

Bu çalışmada uygulanan darbe deneylerinde şekil 3.4'de görülen, ağırlık düşürme esasına dayalı olarak çalışan CEAST marka FARCTOVIS PLUS darbe test cihazı kullanılmıştır.



Şekil 3.4 CEAST marka FARCTOVIS PLUS darbe test cihazı

### **3.5 Tabakalı Kompozit Malzemelerde Darbe Hasar Modları**

Fiber takviyeli kompozit yapılarda görülen hasar modları genelde şu dört başlık altında incelenir; matris modu, delaminasyon modu, fiber modu, nüfuziyet ve delinme modu.

#### ***3.5.1 Matris Modu***

Düşük hızda enine darbeye oluşan ilk hasardır. Genellikle matris kırılması şeklinde görülmekle birlikte, fiber ile matris ara yüzeyi arasındaki bağın kopması şeklinde de görülebilir.

### 3.5.2 Delaminasyon Modu

Delaminasyon, farklı fiber oryantasyonlarının bulunduğu tabakalar arasında matris bakımından zengin bölgede oluşan kırılmadır. Delaminasyonun en önemli sebebi; tabakalar arasındaki farklı fiber yönlenmelerinden dolayı katmanların eğilme rijitliklerindeki farklılıklar ve eğilme kaynaklı gerilmelerdir.

### 3.5.3 Fiber Modu

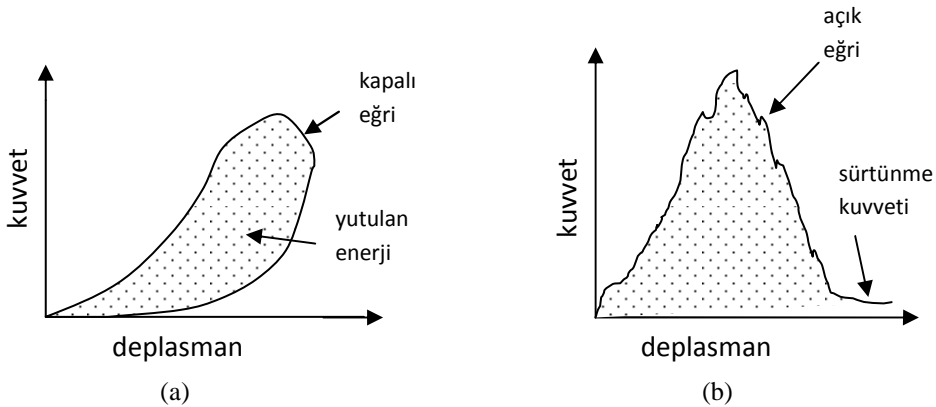
Fiber kopması, genellikle matris kırılması ve delaminasyondan daha ileri olan hasar modudur. Bu hasar numunenin darbeye uğrayan tarafında temas bölgesinde meydana gelebileceği gibi eğilmeden dolayı oluşan gerilme sebebiyle darbeye maruz kalmayan yüzde de meydana gelebilir.

### 3.5.4 Nüfuziyet ve Delinme

Nüfuziyet kısaca çarpan parçacığın veya ucun numuneye saplanması olarak tanımlanırken delinme çarpan ucun numuneyi tamamen delip geçmesi şeklinde ortaya çıkar. Tek yönlü fiber katmanlarında matris kırılmasını tahmin etmek kolay olmasına rağmen, fiberlerin gelişigüzel buldukları katmanlarda daha zordur.

## 3.6 Enerji Profili Diyagramı

Enerji Profili Diyagramı darbeye maruz kalan kompozite etki eden darbe enerjisine karşılık kompozitin absorbe ettiği enerji değişimini gösteren grafikdir. Bir darbe deneyinde genel olarak Şekil 4.2.'de gösterilen iki tip eğri ile karşılaşılır; kapalı ve açık eğri. Bu eğrilerin altında kalan alanlar darbe süresince kompozit malzeme tarafından yutulan enerjiye karşılık gelir.



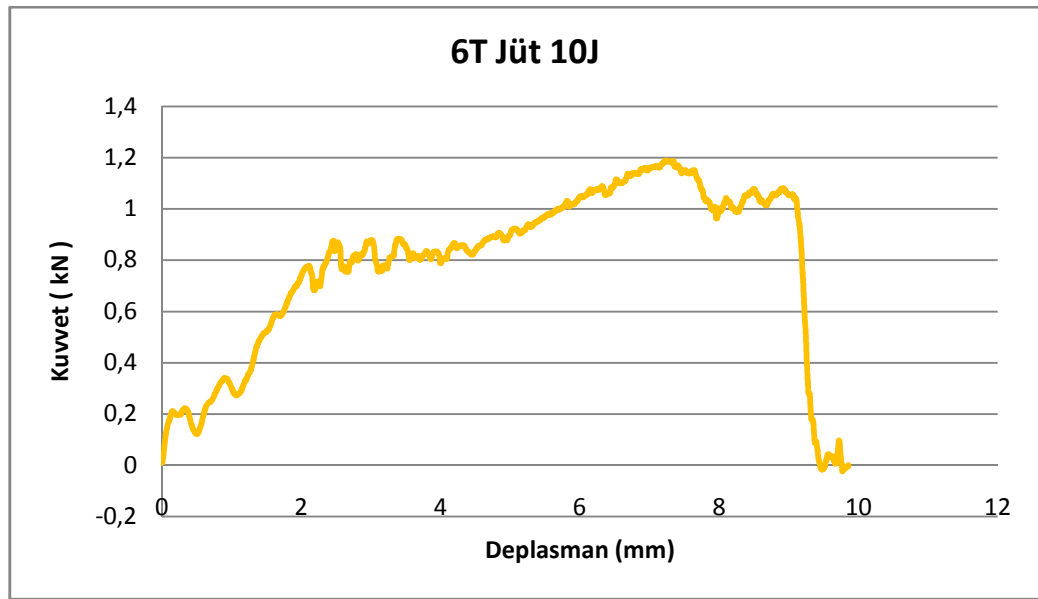
Şekil 3.5 Bir darbe olayında karşılaşılan eğri tipleri: (a) kapalı eğri, (b) açık eğri

## BÖLÜM DÖRT

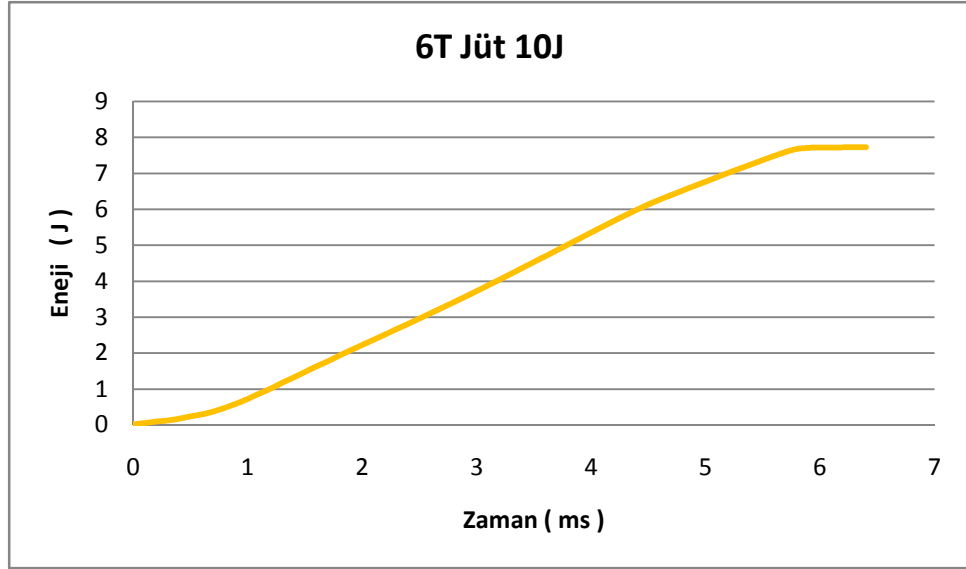
### DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA

Bu çalışmada jüt - epoksi deney numuneleri altı farklı kalınlıkta üretilmiştir. Bu kalınlık farkı, jüt katmanlarının sayısı değiştirilerek sağlanmıştır. Deneylere ait grafik ve fotoğraflar yorumlarken numunenin tabaka sayısına (kalınlığına) göre adlandırılmıştır. “6T Jüt 10J” gibi. Burada “6T” numunenin altı tabaka jüt kullanılarak üretildiğini, “10J” ise numuneye uygulanan darbe enerjisinin değerini belirtmektedir.

Deneylerde, herbir numune için, enerji değeri 10J ile başlatılmış, numunede delinme hasarı oluşuncaya kadar düzenli bir şekilde arttırılmıştır.



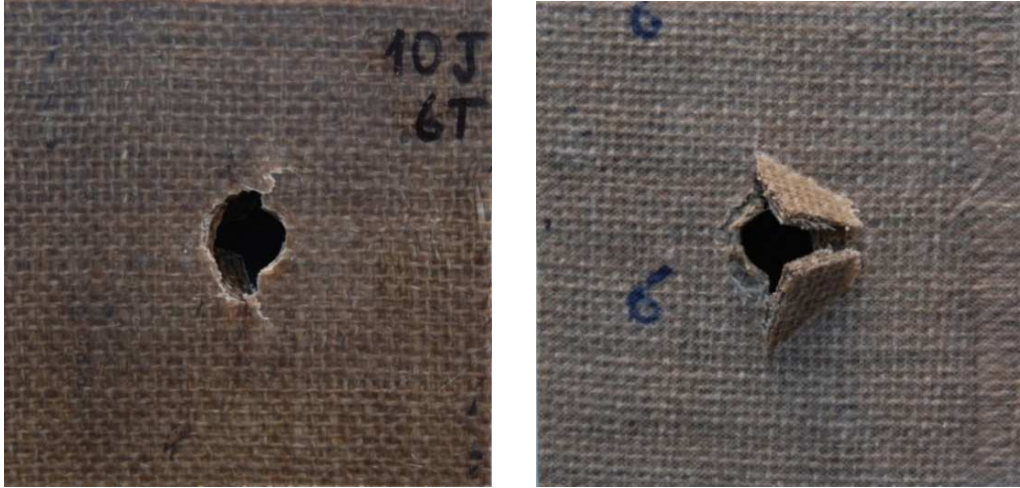
Şekil 4.1 10J Enerji uygulanan 6 tabaka jüt numunesine ait kuvvet – deplasman grafiği



Şekil 4.2 10J Enerji uygulanan 6 tabaka jüt numunesine ait enerji – zaman grafiği

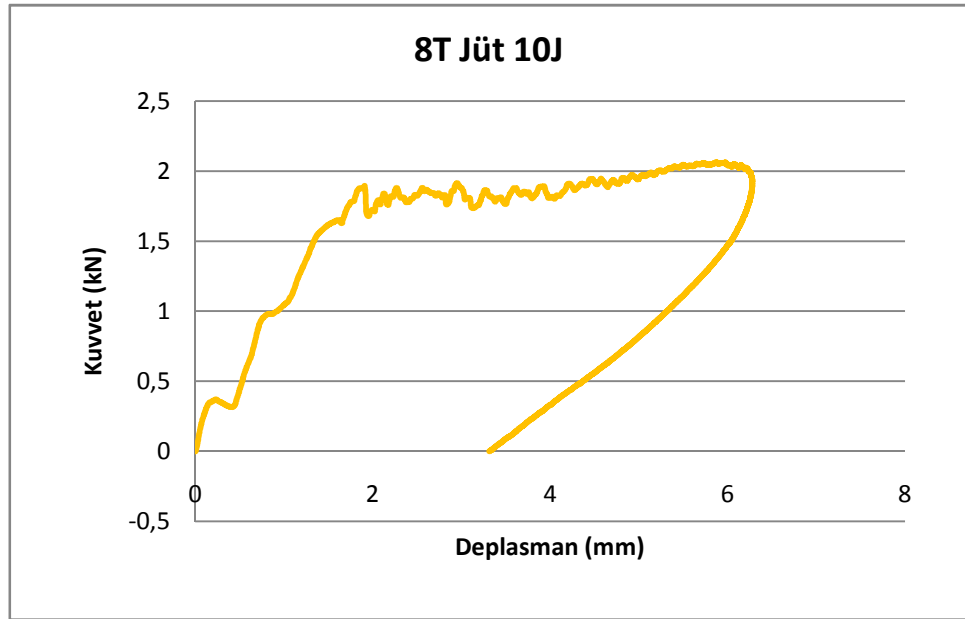
10 J değerindeki enerjiyle numune yüzeyine çarpan darbe ucu malzemeyi tamamen delmiştir. Kuvvet – deplasman grafiğinde görüldüğü gibi kuvvet 0 kN'dan 0,8 kN'a kadar çıkmıştır. Kuvvet yaklaşık 0.8 kN değerine ulaştığında deplasman değeri 4 mm olmuştur. Deplasmanın 4mm'lik değerinden sonra kuvvet – deplasman eğrisinin eğimi azalmış yani numunede çatlak ve kırıklar oluşmaya başlamıştır. Kuvvet 1,9 kN değerine yaklaştığında delici uç numune içinde ilerlemeye başlamış ve tamamen delinerek hasara uğramıştır.

Enerji – zaman grafiğinde ise uygulanan enerjinin 7,8 J de küçük bir eğimle devam etmesi, numunenin delindiğini ve delinme enerjisinin 7,8 J olduğu göstermektedir. Bu eğim darbe ucu ile numune arasındaki sürtünme enerjisinden kaynaklanmaktadır.

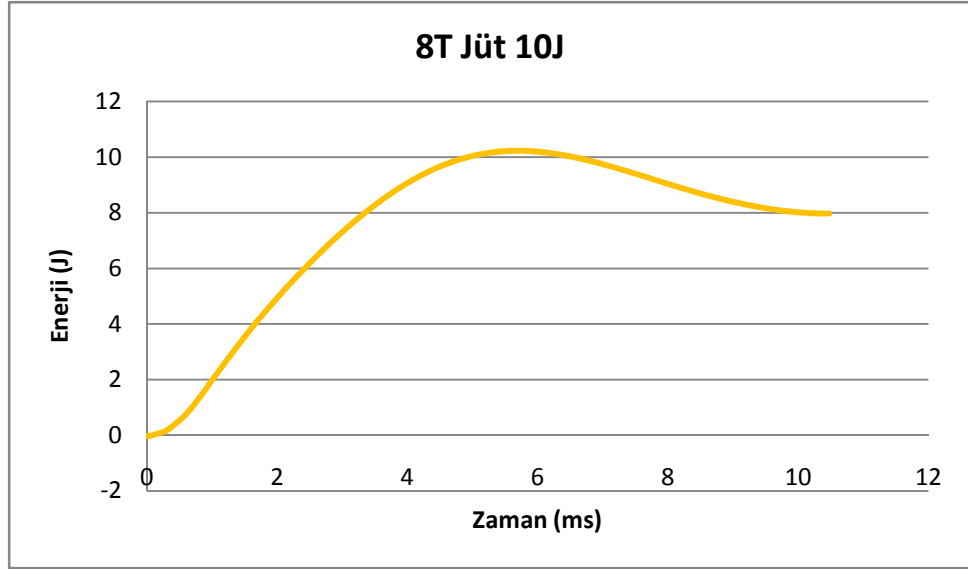


Şekil 4.3 10J Enerji uygulanan 6 tabaka jüt numunesine ait hasar fotoğrafı

Darbe numunede net bir delik oluşacak şekilde hasar meydana getirmiştir. Numunenin ön yüzündeki delikte düzgün bir geometri bulunmamakla birlikte, arka yüzde oluşan delikte ön yüzdeki ile hemen hemen aynı boyutlarda oluşmuştur.



Şekil 4.4 10J Enerji uygulanan 8 tabaka jüt numunesine ait kuvvet – deplasman grafiği

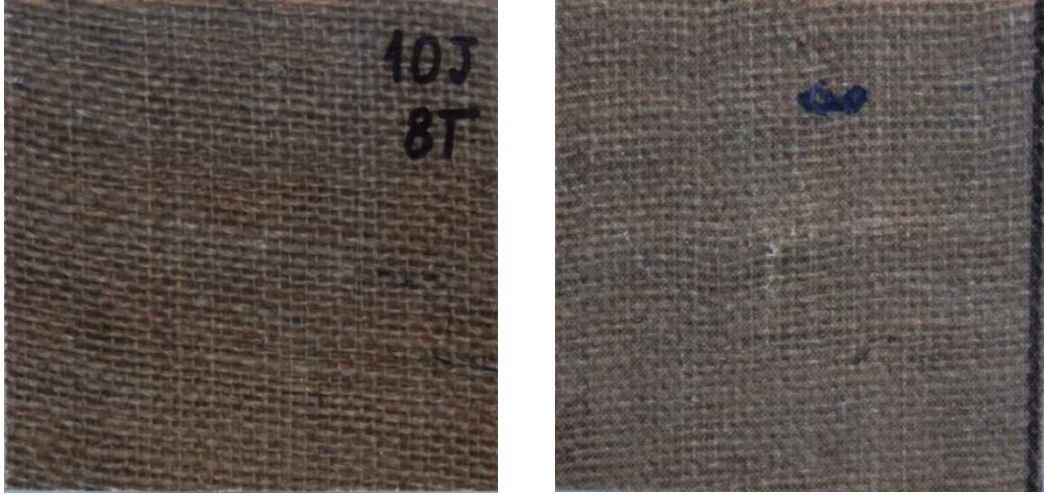


Şekil 4.5 10J Enerji uygulanan 8 tabaka jüt numunesine ait enerji – zaman grafiği

10 J değerindeki enerji numune yüzeyine çarpan darbe ucu malzeme matrisinde çok küçük çatlama meydana getirerek geri sekmiştir.

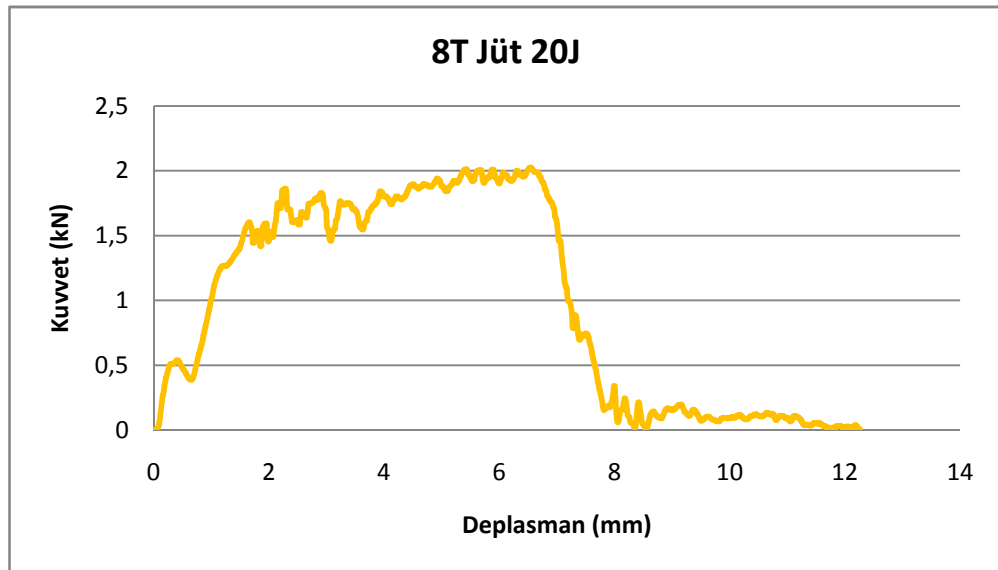
Kuvvet maksimum değerine ulaştıktan sonra sıfır değerine geri dönerken deplasman azalmış ve sıfır değerine ulaşmıştır. Bu durum, numunenin tabakaları arasında kırılma hasarının oluşmadığını gösterir.

Enerji – zaman grafiğinde ise maksimum enerji 10 J değerine ulaştıktan sonra azalarak 8 J değerine gerilemiştir. Enerji değerindeki bu azalma, numune tarafından darbe ucuna geri aktarılmış ve darbe ucunun geri sıçramasına neden olmuştur.



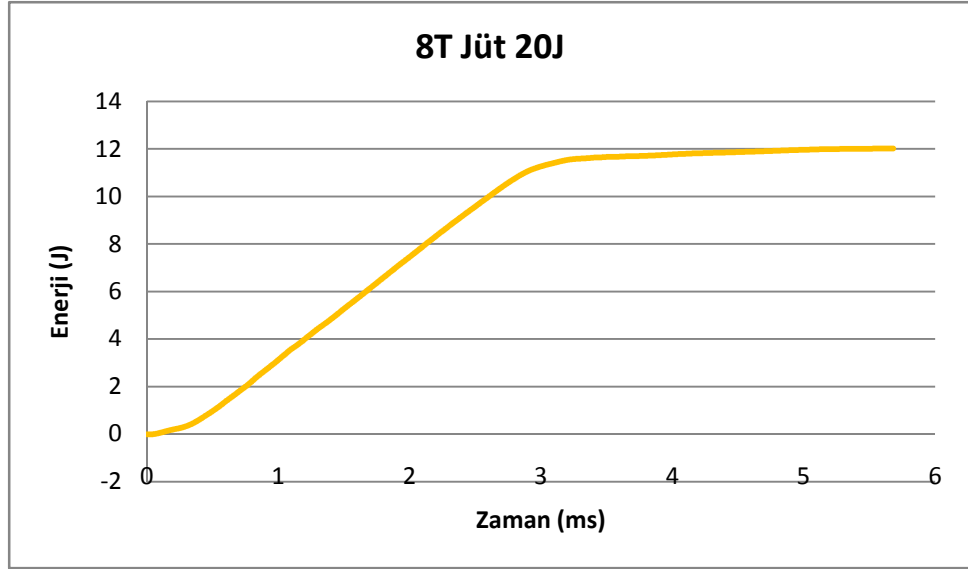
Şekil 4.6 10J Enerji uygulanan 8 tabaka jüt numunesine ait hasar fotoğrafı

Darbe numunede net bir hasar meydana getirmemiştir. Numunenin üstten görünüş fotoğrafında görüldüğü gibi hasarı gözle tespit etmek çok zor, ancak alttan görünüş fotoğrafından anlaşılacağı hafif matris çatlakları meydana gelmiştir. Buradan da iç tabakalar arası kırıkların oluştuğu anlaşılmaktadır.



Şekil 4.7 20J Enerji uygulanan 8 tabaka jüt numunesine ait kuvvet – deplasman grafiği

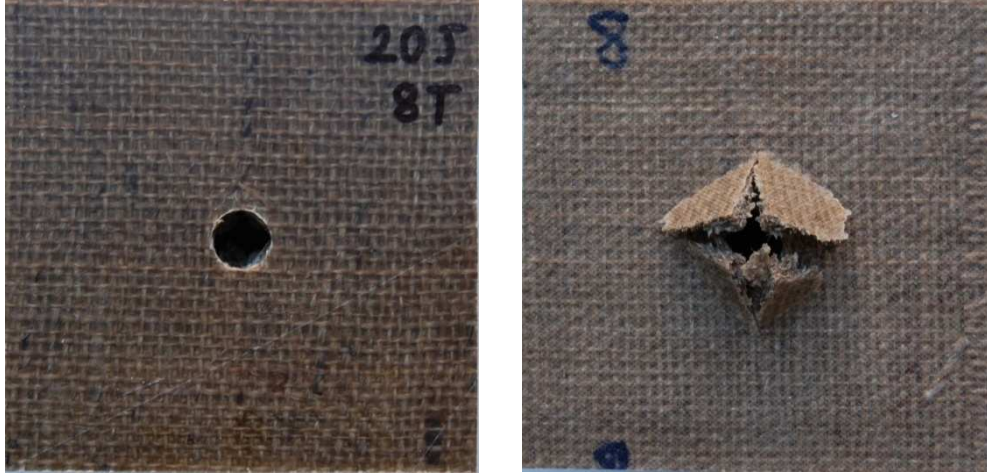




Şekil 4.8 20J Enerji uygulanan 8 tabaka jüt numunesine ait enerji – zaman grafiği

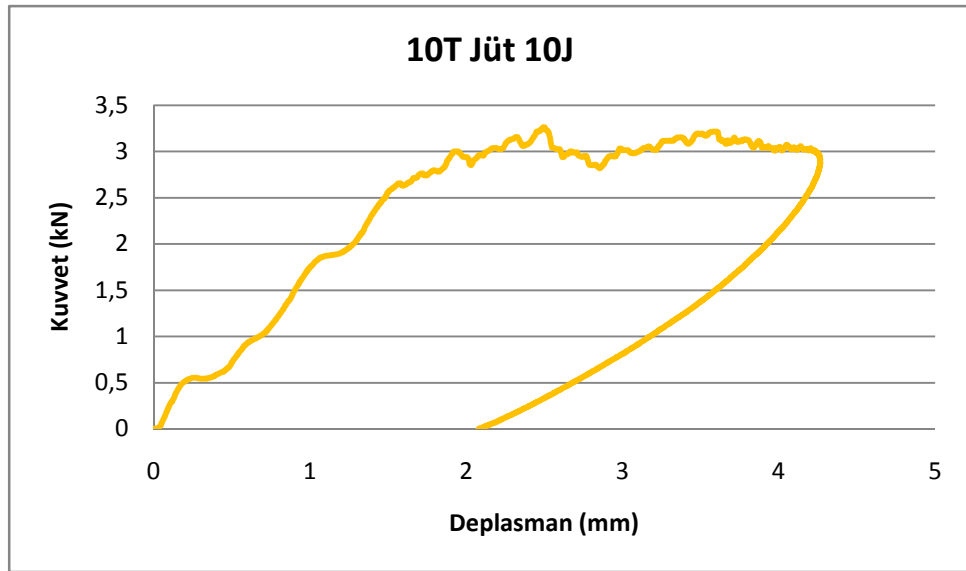
20 J değerindeki enerji ile numune yüzeyine çarpan darbe ucu numuneyi tamamen delmiştir. Kuvvet – deplasman grafiğinde görüldüğü gibi kuvvet maksimum 2 kN değerine ulaşmıştır. Bu kuvvet değerinde numunede delinme gerçekleşmiş olup kuvvet değeri düşerken deplasman değeri artmıştır. Bu sonuç bize numunede oluşan nüfuziyet ve delinme modunun gerçekleştiğini gösterir. Numunede hasar 7 mm'lik deplasman değerinden itibaren görülmeye başlanmıştır.

Enerji – zaman grafiğinde, grafiğin 10,9J'den sonra eğiminin azalması numunede delinme hasarının bu enerji düzeylerinde başladığını gösterir. Eğimin sıfır olmayıp çok küçük bir değer olsa da devam etmesi darbe ucu ile numune arasındaki sürtünme etkisinden kaynaklanmaktadır.

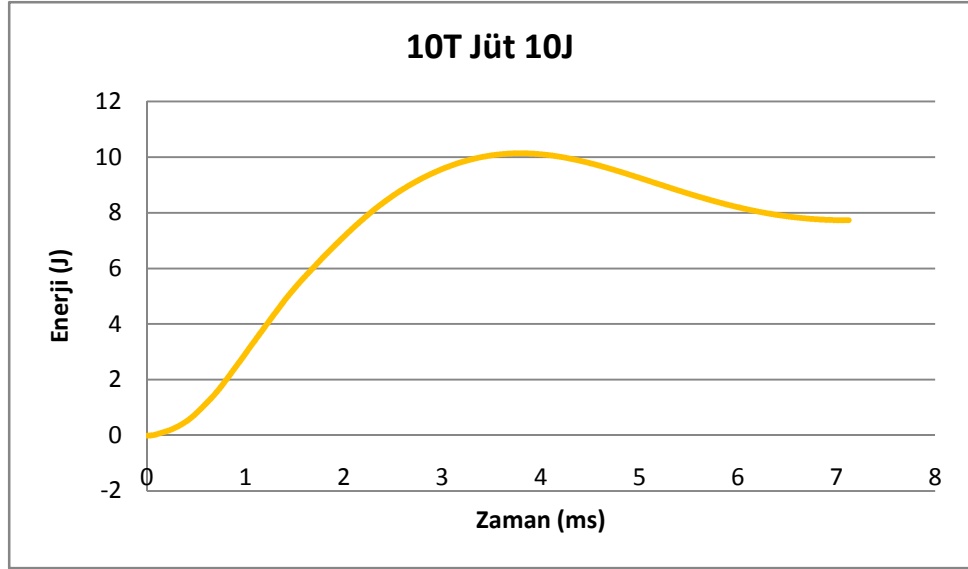


Şekil 4.9 20J Enerji uygulanan 8 tabaka jüt numunesine ait hasar fotoğrafı

8 tabaka keten numunesine uygulanan 20 J değerindeki enerji bir önceki deneyde uygulanan 10J değerindeki enerjiye göre numunede çok fazla hasar meydana getirmiştir. Delinme hasarı 12 J'lük enerji değerinde gerçekleştiğinden 20 J enerji değeri numune için yüksek bir değer olup numunenin ön yüzden görünüş fotoğrafında da görüldüğü gibi hatları düzgün geometrik şekle sahip bir delik oluşmuştur. Bu da darbe ucunun kesme etkisi oluşturduğunu gösterir.



Şekil 4.10 10J Enerji uygulanan 10 tabaka jüt numunesine ait kuvvet – deplasman grafiği



Şekil 4.11 10J Enerji uygulanan 10 tabaka jüt numunesine ait enerji – zaman grafiği

10 J değerindeki enerjiyle numune yüzeyine çarpan darbe ucu malzeme matrisinde çok küçük çatlama meydana getirerek geri sekmiştir.

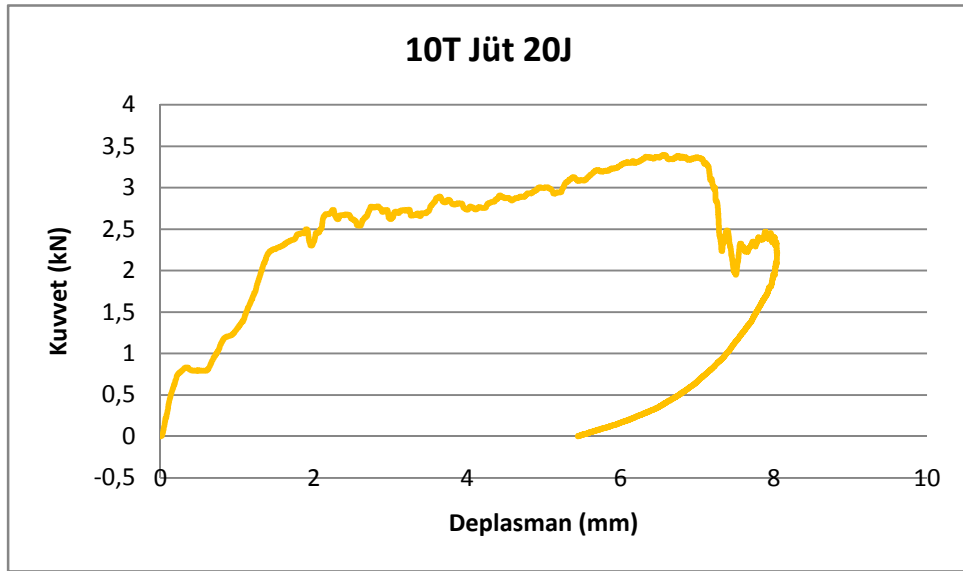
Kuvvet – deplasman grafiğinde kuvvet maksimum değerine ulaştıktan sonra sıfır değerine geri dönerken deplasman değeri azalmış ve sıfır değerine ulaşmıştır. Bu durum, numunenin tabakaları arasında kırılma hasarının oluşmadığını gösterir.

Enerji – Zaman grafiğinde ise maksimum enerji 10 J değerine ulaştıktan sonra azalarak 7,8J değerine gerilemiştir. Enerji değerindeki bu azalma darbe ucunun geri sıçraması için kullanılan enerjiye karşılık gelmektedir.

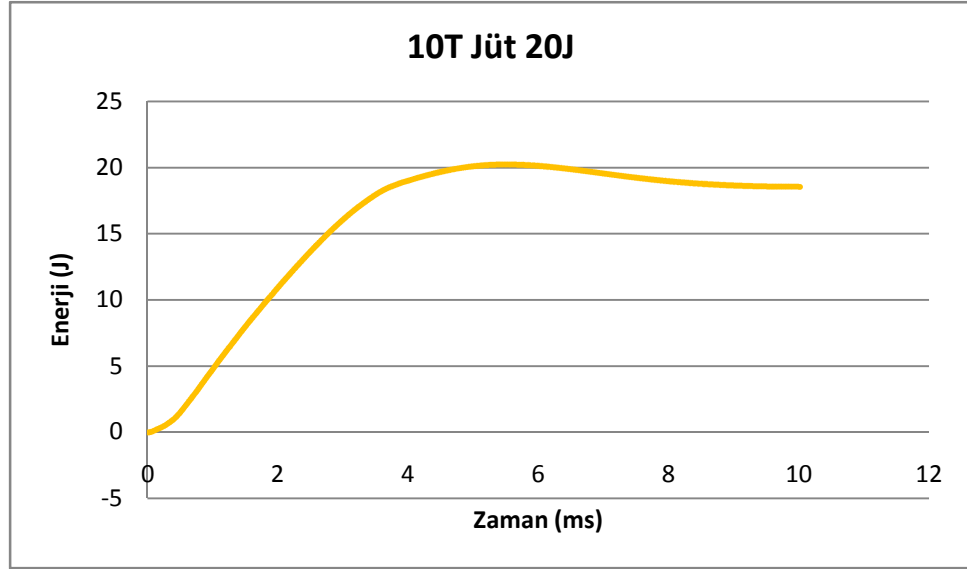


Şekil 4.12 10J Enerji uygulanan 10 tabaka jüt numunesine ait hasar fotoğrafı

10 J değerindeki enerjiyle numune yüzeyine çarpan darbe ucu malzeme matrisinin yüzeyinde 1-2 mm çapında ve derinliksiz denilebilecek kadar az ezilme meydana getirerek geri sekmiştir. Ön yüz fotoğrafında hasar net olarak görülse de arka yüz fotoğrafında net olarak herhangi bir hasar görülmemektedir.



Şekil 4.13 20J Enerji uygulanan 10 tabaka jüt numunesine ait kuvvet – deplasman grafiği



Şekil 4.14 20J Enerji uygulanan 10 tabaka jüt numunesine ait enerji – zaman grafiği

20 J değerindeki enerjiyle numune yüzeyine çarpan darbe ucu numunede kırılma meydana getirerek geri sekmiştir.

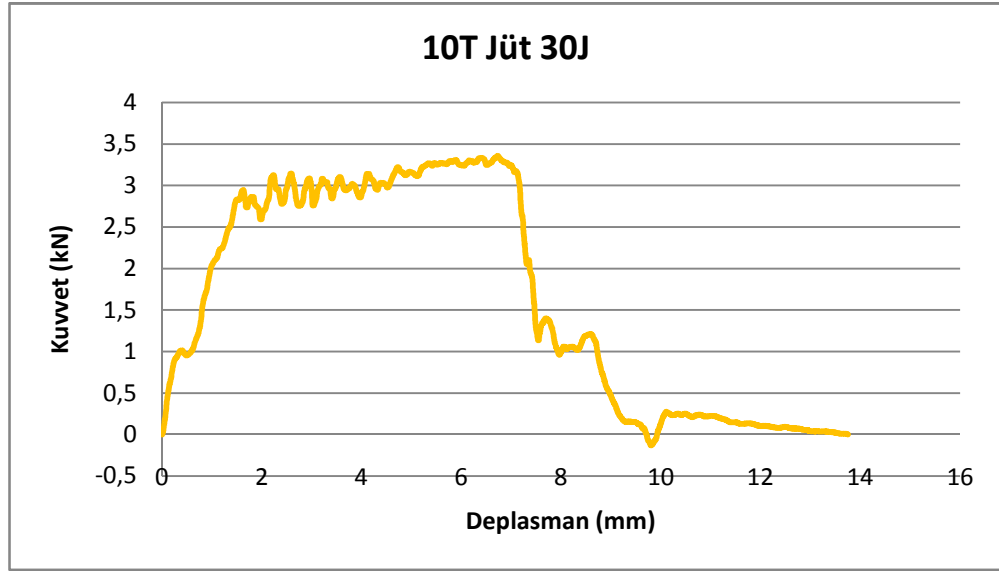
Kuvvet maksimum değeri olan 3,38 kN değerine ulaştığında darbe ucu numunenin içinde ilerlemeye başlamıştır. Kuvvet değeri 2,4 kN değerine geldiğinde ise numune içerisinde ilerleme ve numunede oluşan kırılma hasarı sona ermiştir. Bu noktadaki pikten sonra darbe ucu geri sekmiştir.

Enerji – zaman grafiğinde ise maksimum enerji 20 J değerine ulaştıktan sonra azalarak 18,5 J değerine gerilemiştir. Numunede kırılma hasarı meydana geldiğinden enerji değeri maksimum seviyeden çok fazla aşağı gitmemiş, yani numune tarafından geri verilen enerji az olduğundan darbe ucu sıçraması bir önceki deneye oranla daha az olmuştur.

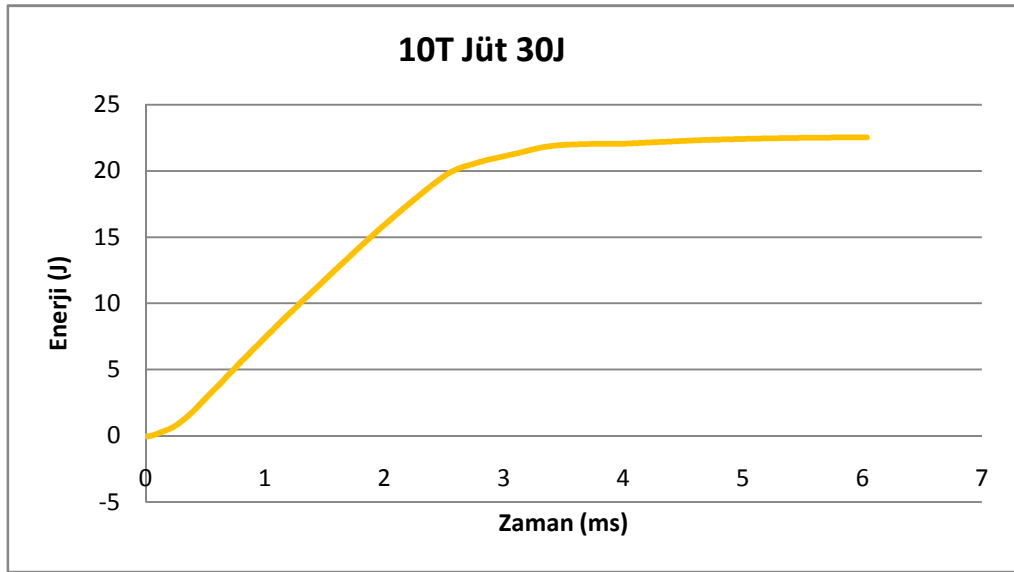


Şekil 4.15 20J Enerji uygulanan 10 tabaka jüt numunesine ait hasar fotoğrafı

Darbe ucu numune içinde bir miktar ilerlemiş tabakada kırık oluşturarak da geri sekmiştir. Bu deneyde diğer deneylerden farklı olarak ne çok az hasar meydana gelmiş, ne de numunede tamamen bir delik oluşmuştur. Darbe ucu numunenin üst yüzeyinden itibaren 1-2 mm ilerlemiştir. Numunenin ön yüzey fotoğrafında görüldüğü gibi darbe ucu matriks yüzeyinde yuva şeklinde iz meydana getirmiştir. Alt yüzey fotoğrafında ise kırıklar oluşmuştur.



Şekil 4.16 30J Enerji uygulanan 10 tabaka jüt numunesine ait kuvvet – deplasman grafiği



Şekil 4.17 30J Enerji uygulanan 10 tabaka jüt numunesine ait enerji – zaman grafiği

30 J değerindeki enerjiyle numune yüzeyine çarpan darbe ucu malzemeyi tamamen delmiştir. Kuvvet – Deplasman grafiğinde görüldüğü gibi kuvvet maksimum 3,3 kN değerine ulaşmıştır. Bu kuvvet değerinde darbe ucu numune içinde ilerlemeye başlamış ve sonunda numunede delinme hasarı oluşmuştur.

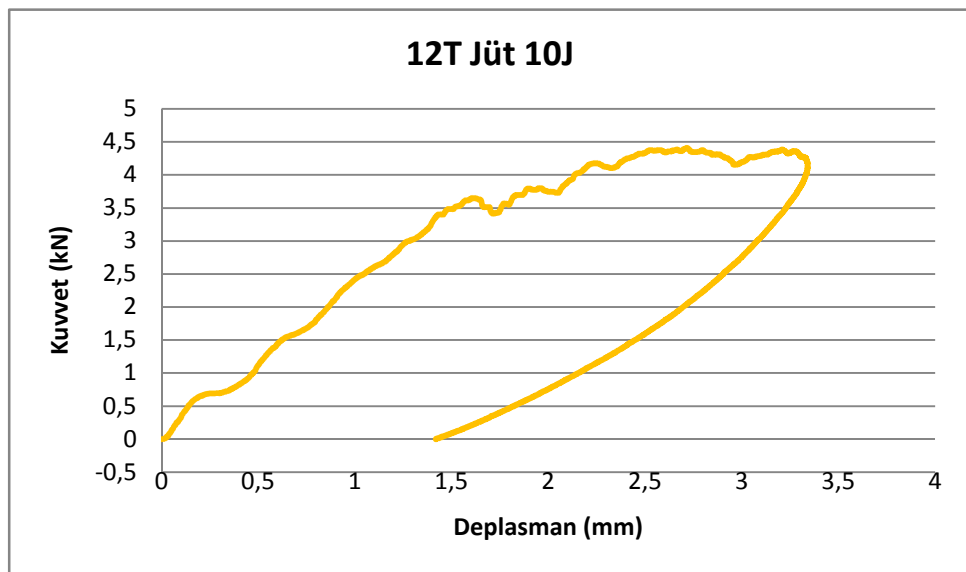
Enerji – Zaman grafiğinde ise maksimum enerji 22,5 J değerine ulaştıktan sonra çok küçük bir eğimle devam etmiştir. Eğimin sıfır olmayıp çok küçük bir değer olsa

da devam etmesi darbe ucu ile numune arasındaki sürtünme etkisinden kaynaklanmaktadır.



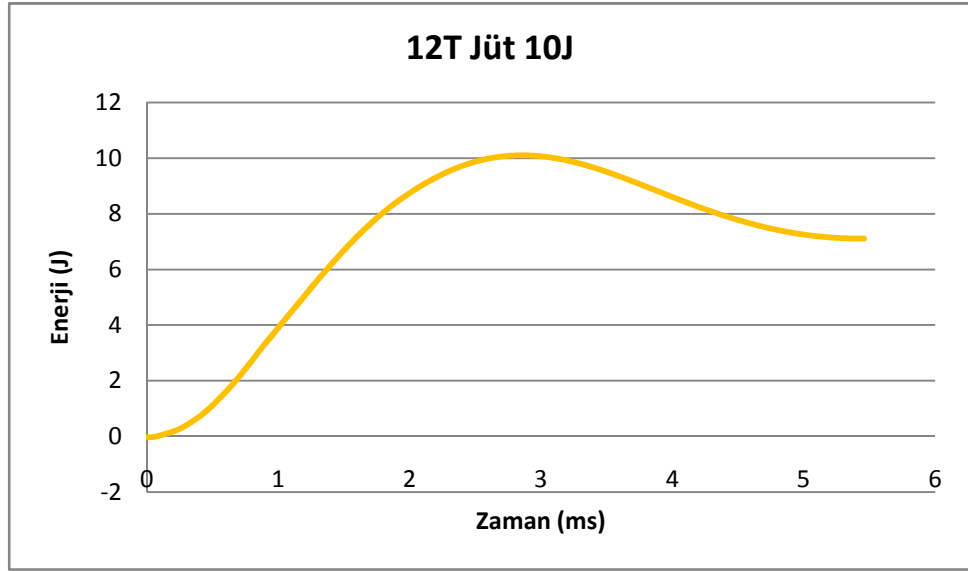
Şekil 4.18 30J Enerji uygulanan 10 tabaka jüt numunesine ait hasar fotoğrafı

10 tabaka keten numunesine uygulanan 30 J değerindeki kuvvet numunede delinme hasarı oluşturmuştur, ancak üst görünüş fotoğrafından da görüldüğü gibi delik üst tarafta sınırları çok düzgün iken alt tarafı ise 4 ana parçaya ayrılmış ve numuneden tamamen kopmamıştır. Bu deney numunesinde önceki deney numunelerine göre arka yüzeyinde meydana gelen hasar daha geniş bir alana yayılmıştır.



Şekil 4.19 10J Enerji uygulanan 12 tabaka jüt numunesine ait kuvvet – deplasman grafiği





Şekil 4.20 10J Enerji uygulanan 12 tabaka jüt numunesine ait enerji – zaman grafiği

10 J değerindeki enerjiyle numune yüzeyine çarpan darbe ucu malzeme matrisinin yüzeyinde 1-2 mm çapında ve derinliksiz bir ezilme meydana getirerek geri sekmiştir.

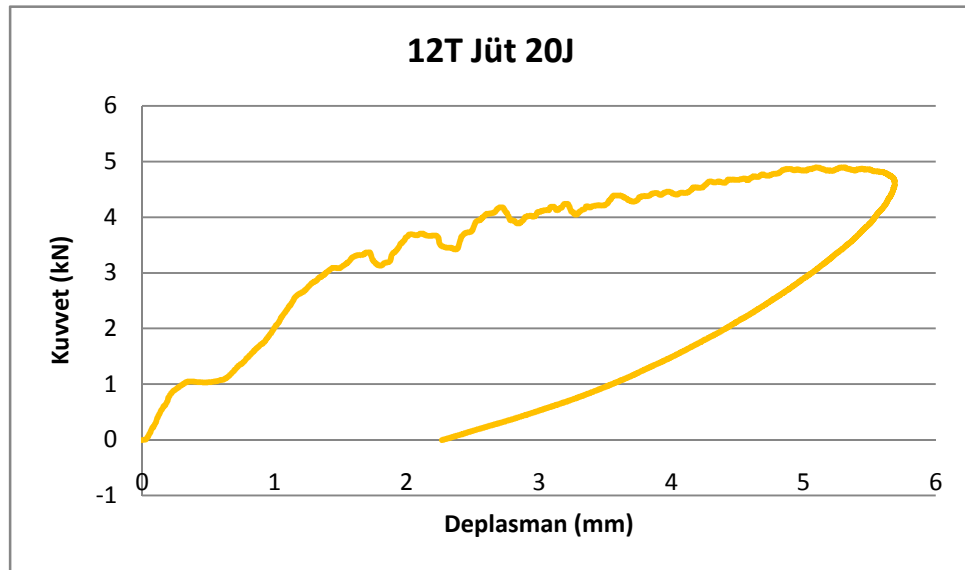
Kuvvet – deplasman grafiğinde kuvvet maksimum değerine ulaştıktan sonra sıfır değerine geri dönerken deplasman azalmış ve sıfır değerine ulaşmıştır. Bu durum, numunenin tabakaları arasında kırılma hasarının oluşmadığını gösterir.

Enerji – Zaman grafiğinde ise maksimum enerji 10 J değerine ulaştıktan sonra azalarak 7J değerine gerilemiştir. Enerji değerindeki bu azalma, numune tarafından darbe ucuna geri aktarılmış ve darbe ucunun geri sıçramasına neden olmuştur.

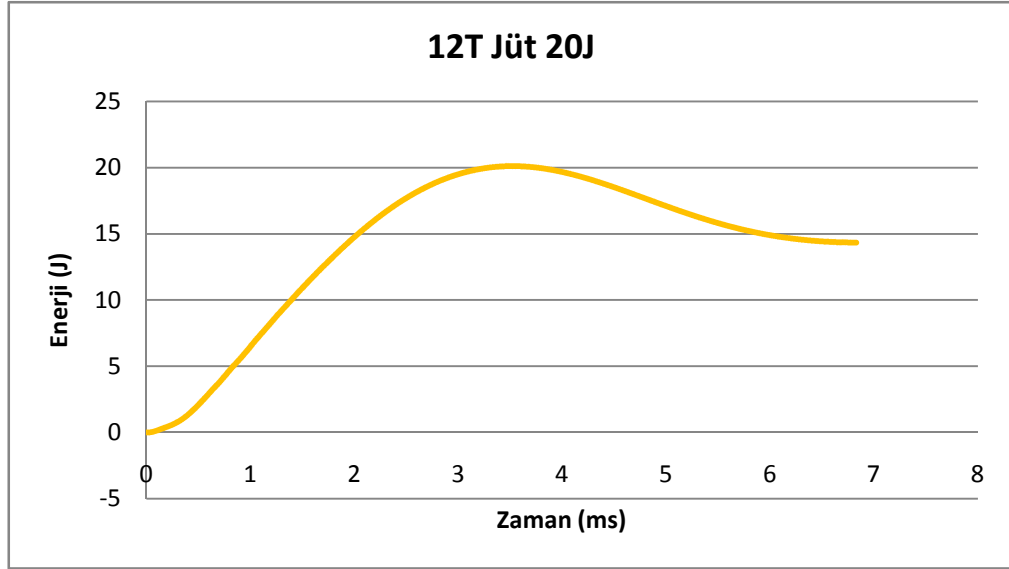


Şekil 4.21 10J Enerji uygulanan 12 tabaka jüt numunesine ait hasar fotoğrafı

Darbe numunede küçük bir hasar meydana getirmiştir. Numunenin üst tarafında, darbe ucunun çarptığı noktada matris yüzeyinde birkaç mm çapında derinliksiz ezilme meydana gelmiştir. Numunenin alt yüzeyinde ise herhangi bir hasar oluşumu gözlenmemiştir.



Şekil 4.22 20J Enerji uygulanan 12 tabaka jüt numunesine ait kuvvet – deplasman grafiği



Şekil 4.23 20J Enerji uygulanan 12 tabaka jüt numunesine ait enerji – zaman grafiği

20 J değerindeki enerjiyle numune yüzeyine çarpan darbe ucu malzeme matrisinin yüzeyinde 1-2 mm çapında ezilme meydana getirerek geri sekmiştir.

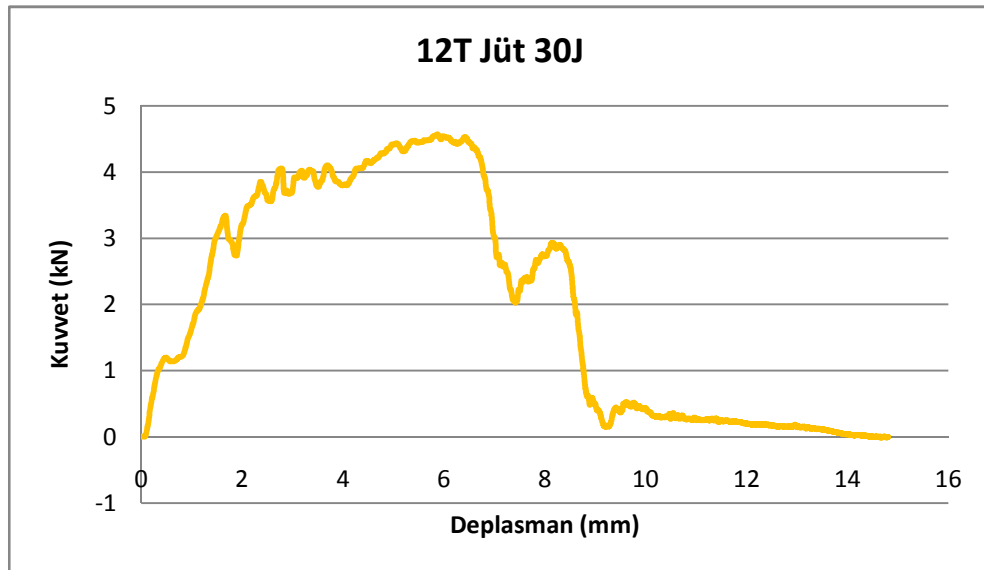
Kuvvet – deplasman kuvvet 4,9 kN olan maksimum değerine ulaştıktan sonra sıfır değerine geri dönerken deplasman azalarak sıfır değerine ulaşmıştır. Bu durum, numunenin tabakaları arasında kırılma hasarının oluşmadığını gösterir.

Enerji – Zaman grafiğinde ise maksimum enerji 20 J değerine ulaştıktan sonra azalarak 14 J değerine gerilemiştir. Enerji değerindeki bu azalma, numune tarafından darbe ucuna geri aktarılmış ve darbe ucunun geri sıçramasına neden olmuştur.

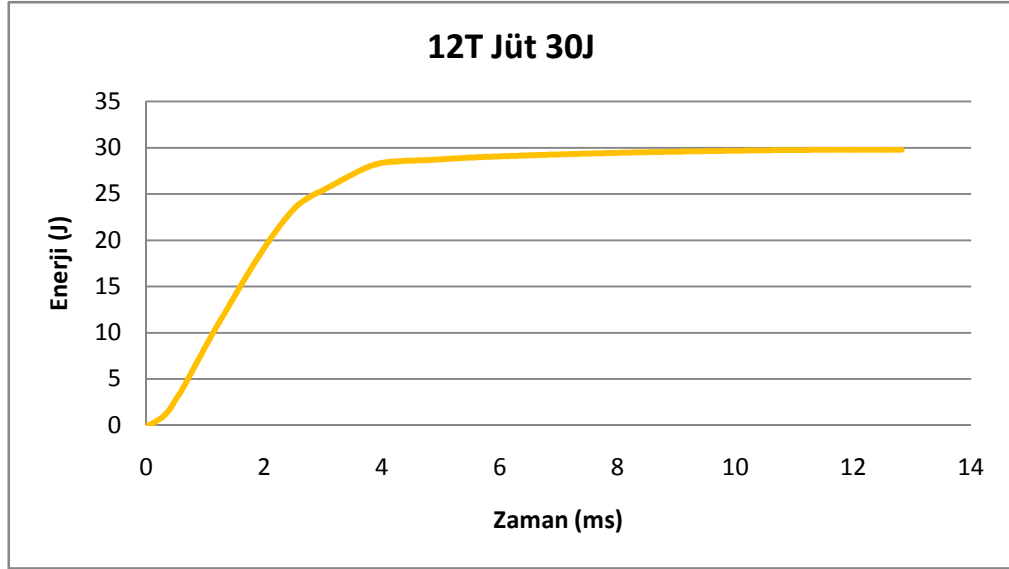


Şekil 4.24 20J Enerji uygulanan 12 tabaka jüt numunesine ait hasar fotoğrafı

Darbe ucu numunenin ön yüz matris yüzeyinde küçük bir ezilme hasarı meydana getirmiştir. Takviye elemanı olan jüt örgünün en üst tabakasinda ezilme – şekil değişikliği şeklinde hasar oluşmuştur. Numunenin alt yüzeyinde ise herhangi bir hasar oluşumu gözlenmemiştir.



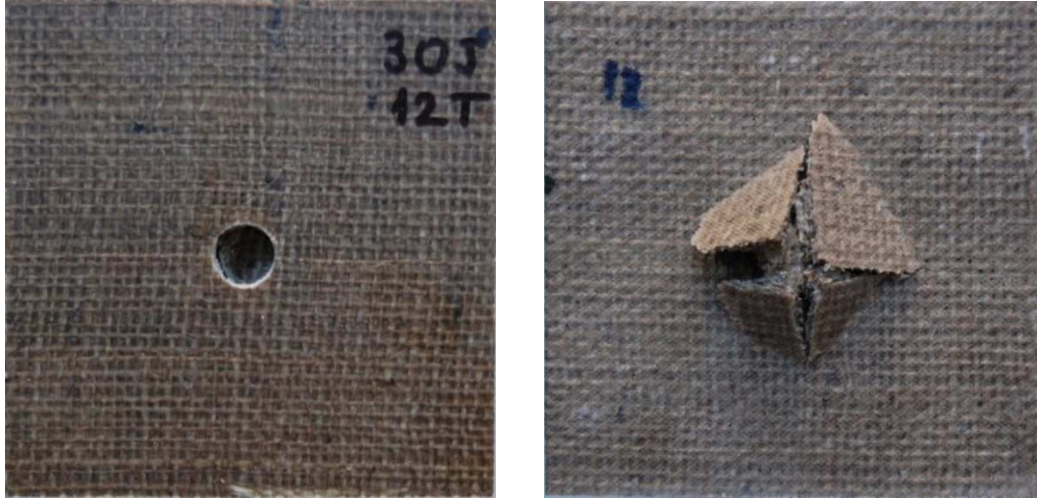
Şekil 4.25 30J Enerji uygulanan 12 tabaka jüt numunesine ait kuvvet – deplasman grafiği



Şekil 4.26 30J Enerji uygulanan 12 tabaka jüt numunesine ait enerji – zaman grafiği

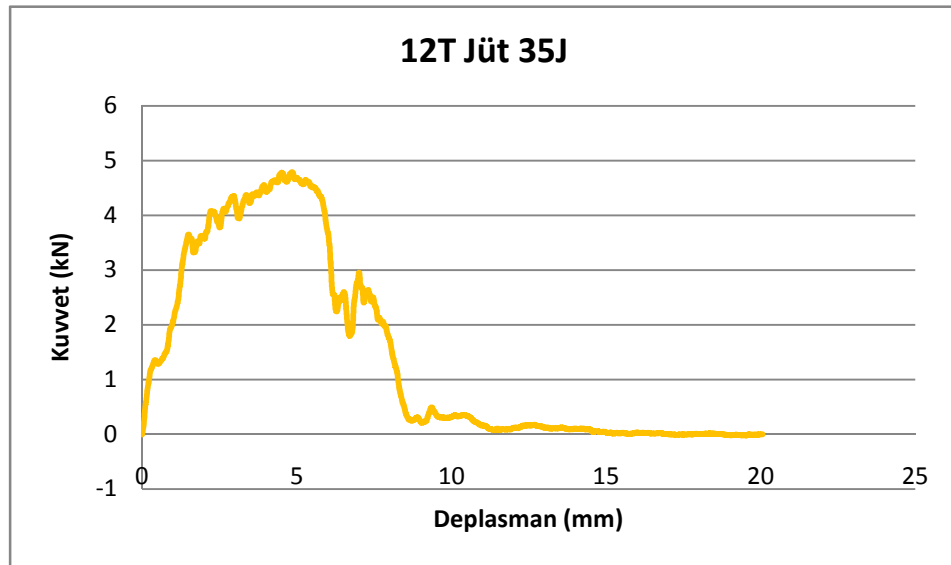
30 J değerindeki enerjiyle numune yüzeyine çarpan darbe ucu malzemeyi tamamen delmiştir. Kuvvet – deplasman grafiğinde görüldüğü gibi kuvvet maksimum 4,5 kN değerine ulaşmıştır. Bu kuvvet değerinde darbe ucu numune içinde ilerlemeye başlamış, kuvvet değeri 2 kN'a geldiğinde numunede delinme gerçekleşmiştir.

Enerji – Zaman grafiğinde ise maksimum enerji 30 J değerine ulaştıktan sonra çok küçük bir eğimle devam etmiştir. Eğimin sıfır olmayıp çok küçük bir değer olsa da devam etmesi darbe ucu ile numune arasındaki sürtünme etkisinden kaynaklanmaktadır.

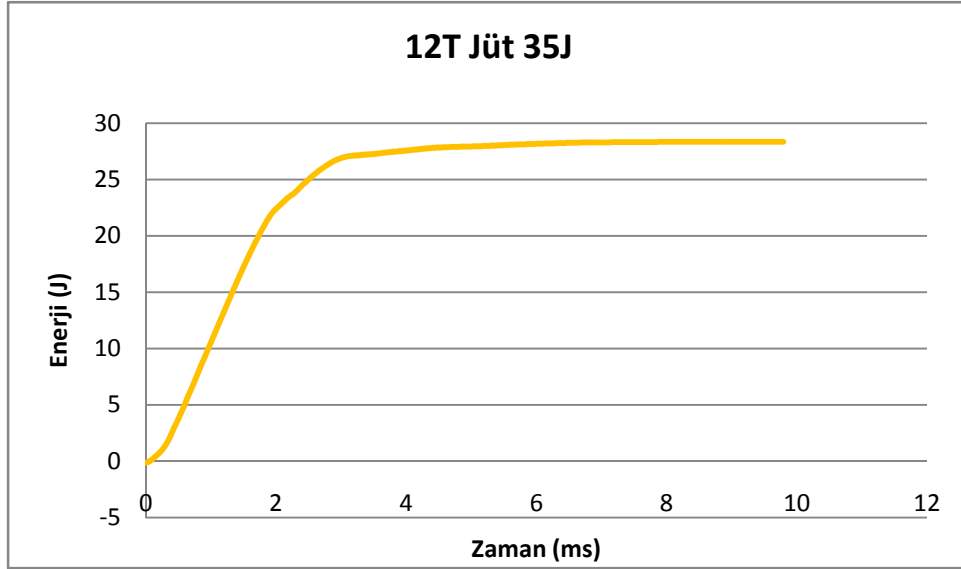


Şekil 4.27 30J Enerji uygulanan 12 tabaka jüt numunesine ait hasar fotoğrafı

Numuneye uygulanan 30 J değerindeki enerji numunede delinme hasarı oluşturmuştur, ancak üst görünüş fotoğrafından da görüldüğü gibi delik üst tarafta sınırları çok düzgün iken alt tarafı ise 4 ana parçaya ayrılmış ve numuneden tamamen kopmamıştır.



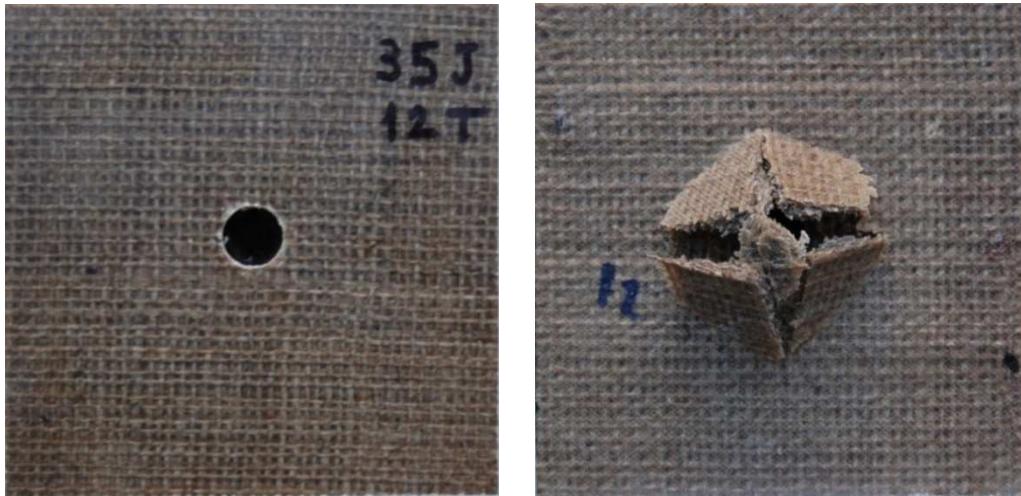
Şekil 4.28 35J Enerji uygulanan 12 tabaka jüt numunesine ait kuvvet – deplasman grafiği



Şekil 4.29 35J Enerji uygulanan 12 tabaka jüt numunesine ait enerji – zaman grafiği

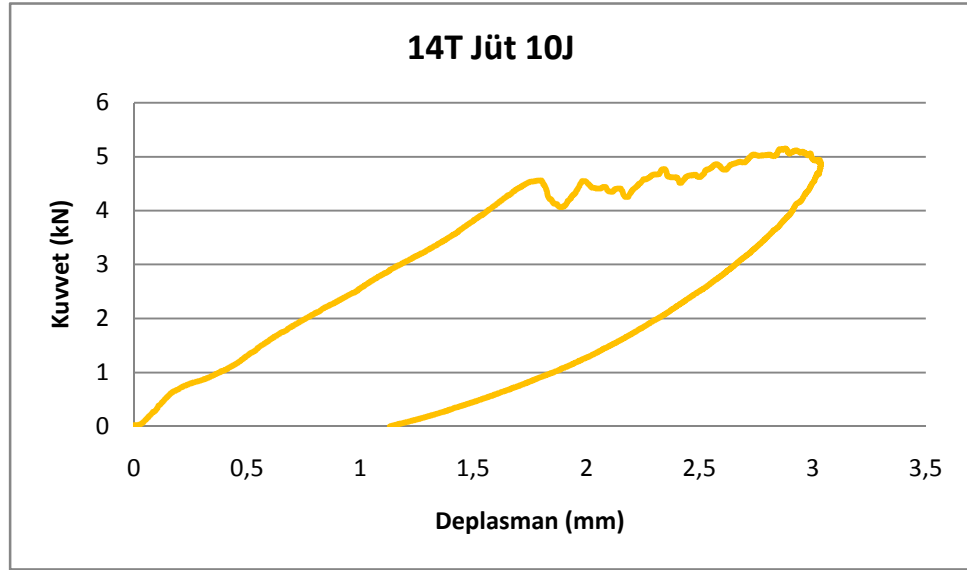
35 J değerindeki enerjiyle numune yüzeyine çarpan darbe ucu malzemeyi tamamen delmiştir. Kuvvet – deplasman grafiğinde görüldüğü gibi kuvvet maksimum 4,8 kN değerine ulaşmıştır. Bu kuvvet değerinde darbe ucu numune içinde ilerlemiş ve numunede delinme gerçekleşmiştir.

Enerji – Zaman grafiğinde ise maksimum enerji 28 J değerine ulaştıktan sonra çok küçük bir eğimle devam etmiştir. Eğimin sıfır olmayıp çok küçük bir değer olsa da devam etmesi darbe ucu ile numune arasındaki sürtünme etkisinden kaynaklanmaktadır.

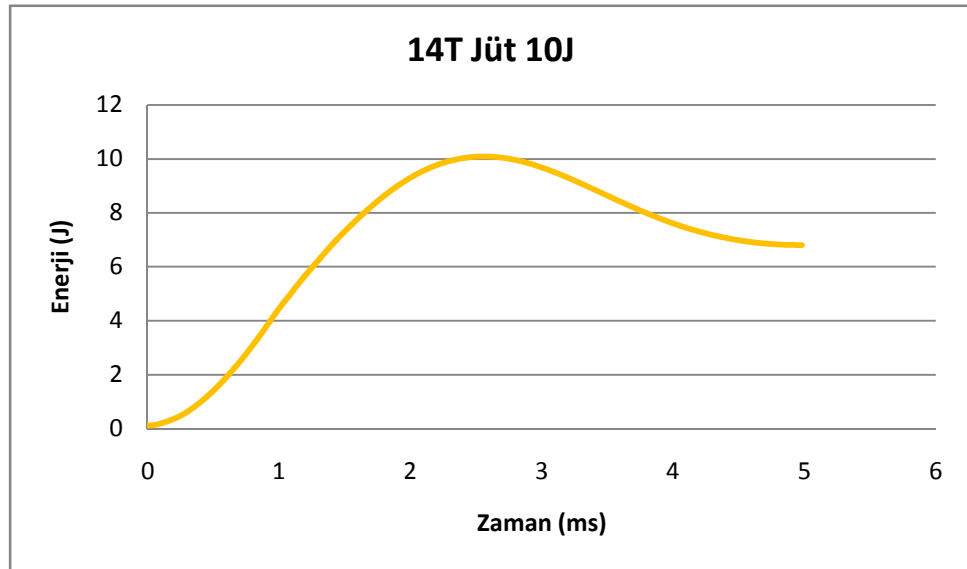


Şekil 4.30 35J Enerji uygulanan 12 tabaka jüt numunesine ait hasar fotoğrafı

Numuneye uygulanan 35 J değerindeki kuvvet numunede delinme hasarı oluşturmuştur, ancak ön görünüş fotoğrafından da görüldüğü gibi delik düzgün geometrik sınırlara sahip olduğu halde arka yüzde ise parçalanma meydana gelmiştir. Ancak arka yüzde hasar 4 ana parçaya ayrılmış ve numuneden tamamen kopmamıştır.



Şekil 4.31 10J Enerji uygulanan 14 tabaka jüt numunesine ait kuvvet – deplasman grafiği



Şekil 4.32 10J Enerji uygulanan 14 tabaka jüt numunesine ait enerji – zaman grafiği

10 J değerindeki enerjiyle numune yüzeyine çarpan darbe ucu numunede veya matris yüzeyinde görünen herhangi bir hasara sebep olmadan geri sekmiştir.



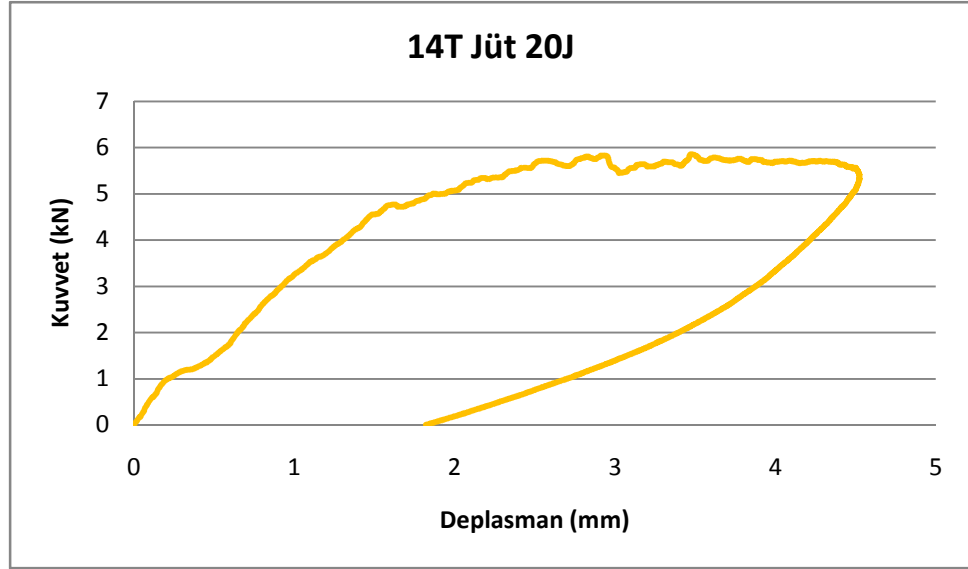
Kuvvet – deplasman grafiğinde kuvvet tek pik yapmıştır. Kuvvet maksimum değerine ulaştıktan sonra sıfır değerine geri dönerken deplasman azalarak sıfır değerine ulaşmıştır. Bu durum, numunenin tabakaları arasında kırılma hasarının oluşmadığını gösterir.

Enerji – Zaman grafiğinde ise maksimum enerji 10 J değerine ulaştıktan sonra azalarak 6,8J değerine gerilemiştir. Enerji değerindeki bu azalma, numune tarafından darbe ucuna geri aktarılmış ve darbe ucunun geri sıçramasına neden olmuştur.

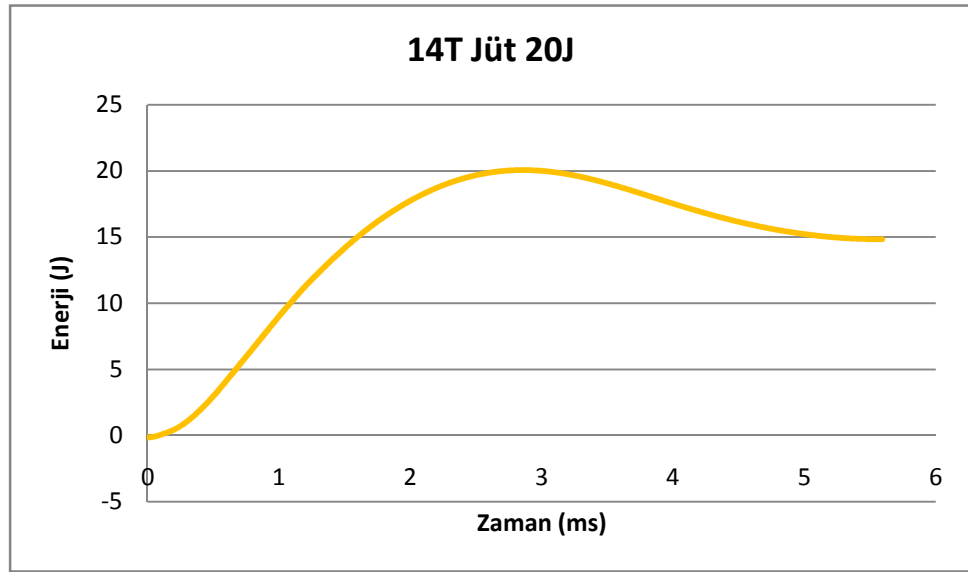


Şekil 4.33 10J Enerji uygulanan 14 tabaka jüt numunesine ait hasar fotoğrafı

Numunenin ön ve arka yüz görünüş fotoğraflarından da görüldüğü gibi numune ve matris yüzeyinde görünür herhangi bir hasar oluşmamıştır.



Şekil 4.34 20J Enerji uygulanan 14 tabaka jüt numunesine ait kuvvet – deplasman grafiği



Şekil 4.35 20J Enerji uygulanan 14 tabaka jüt numunesine ait enerji – zaman grafiği

20 J değerindeki enerjiyle numune yüzeyine çarpan darbe ucu malzeme matrisinin yüzeyinde 1-2 mm çapında ve derinliksiz ezilme meydana getirerek geri sekmiştir.

Kuvvet – deplasman grafiğinde kuvvet tek pik yapmıştır. Kuvvet maksimum değerine ulaştıktan sonra sıfır değerine geri dönerken deplasman azalmış ve sıfır

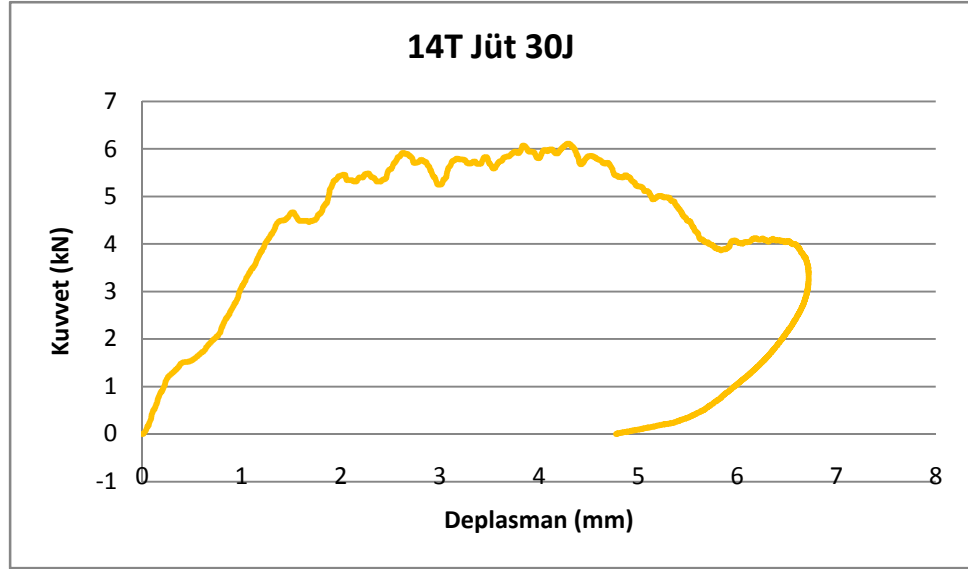
değerine ulaşmıştır. Bu durum, numunenin tabakaları arasında kırılma hasarının oluşmadığını gösterir.

Enerji – Zaman grafiğinde ise maksimum enerji 20 J değerine ulaştıktan sonra azalarak 15J değerine gerilemiştir. Enerji değerindeki bu azalma, numune tarafından darbe ucuna geri aktarılmış ve darbe ucunun geri sıçramasına neden olmuştur.

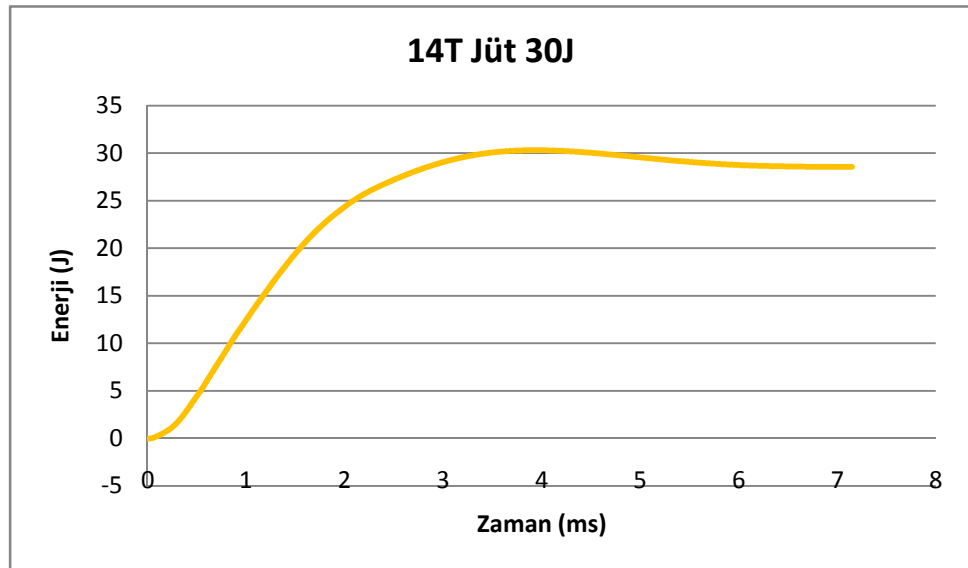


Şekil 4.36 20J Enerji uygulanan 14 tabaka jüt numunesine ait hasar fotoğrafı

Numunenin ön yüz tarafında, darbe ucunun çarptığı noktada matris yüzeyinde yuva şeklinde ezilme meydana gelmiştir. Ayrıca jüt örgünün en üst tabakasında ezilme şeklinde hasar oluşmuştur. Numunenin alt yüzeyinde ise herhangi bir hasar oluşumu meydana gelmemiştir.



Şekil 4.37 30J Enerji uygulanan 14 tabaka jüt numunesine ait kuvvet – deplasman grafiği



Şekil 4.38 30J Enerji uygulanan 14 tabaka jüt numunesine ait enerji – zaman grafiği

30 J değerindeki enerjiyle numune yüzeyine çarpan darbe ucu numune tabakalarında kırılma ve çatlaklar meydana getirmiştir.

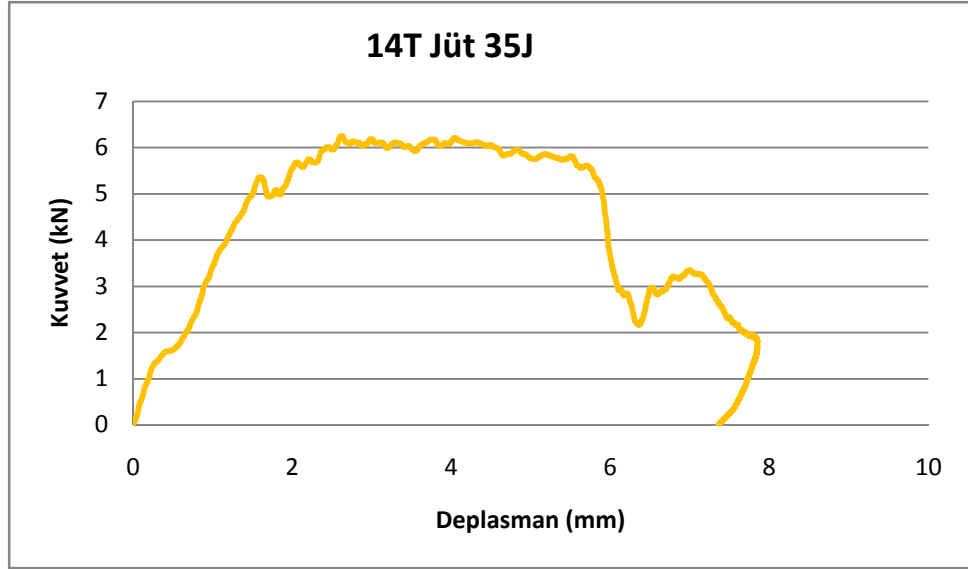
Kuvvet – deplasman grafiğine göre kuvvet maksimum değeri olan 6,1 kN değerine ulaştığında darbe ucu numunenin içinde ilerlemeye başlamıştır. Kuvvet değeri 4 kN değerine geldiğinde ise numune içerisinde ilerleme ve numunede oluşan kırılma hasarı sona ermiştir. Bu noktadaki pikten sonra darbe ucu geri sekmiştir.

Enerji – Zaman grafiğinde ise maksimum enerji 30 J değerine ulaştıktan sonra azalarak 28J değerine gerilemiştir. Enerji değerindeki bu azalma, numune tarafından darbe ucuna geri aktarılmış ve darbe ucunun geri sıçramasına neden olmuştur. Numunede kırılma hasarı meydana geldiğinden, numune tarafından darbe ucuna geri aktarılan enerji çok az olmuştur.

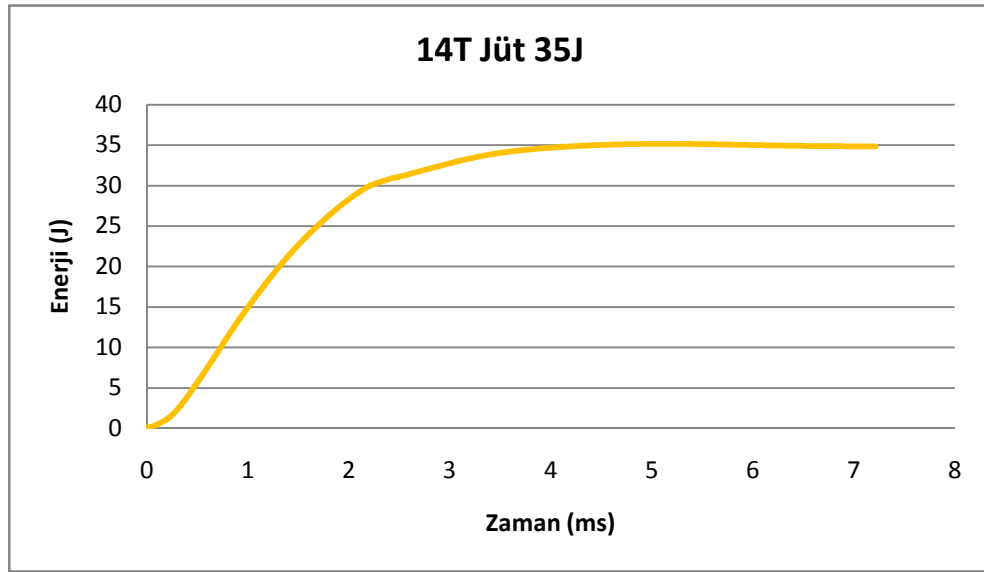


Şekil 4.39 30J Enerji uygulanan 14 tabaka jüt numunesine ait hasar fotoğrafı

Darbe ucu numune içinde bir miktar ilerlemiş tabakada kırık oluşturduktan sonra geri sekmiştir. Numunenin ön yüzeyinde bir miktar ilerlemiştir. Numunenin arka yüzey fotoğrafından da görüldüğü gibi arka yüzeyde ve tabakalar arasında çatlak ve kırılmalar oluşmuştur.



Şekil 4.40 35J Enerji uygulanan 14 tabaka jüt numunesine ait kuvvet – deplasman grafiği



Şekil 4.41 35J Enerji uygulanan 14 tabaka jüt numunesine ait enerji – zaman grafiği

35 J değerindeki enerjiyle numune yüzeyine çarpan darbe ucu numune içinde bir miktar ilerleyip saplanmıştır. Numunede kırılma hasarları meydana gelmiştir.

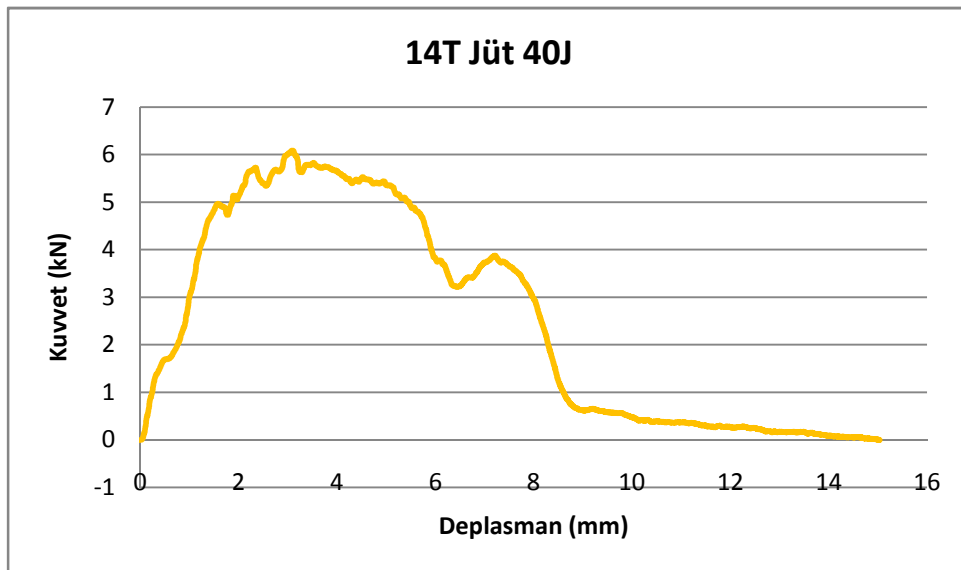
Kuvvet – deplasman grafiğine göre kuvvet maksimum değeri olan 6,1 kN değerine ulaştığında darbe ucu numunenin içinde ilerlemeye başlamıştır. Kuvvet değeri 2 kN değerine geldiğinde ise numune içerisinde ilerleme ve numunede oluşan kırılma hasarı sona ermiştir.

Enerji – zaman grafiğinde ise maksimum enerji 35 J değerine ulaştıktan sonra çok küçük bir eğimle devam etmiştir. Eğimin sıfır olmayıp çok küçük bir değer olsa da devam etmesi darbe ucu ile numune arasındaki sürtünme etkisinden kaynaklanmaktadır.

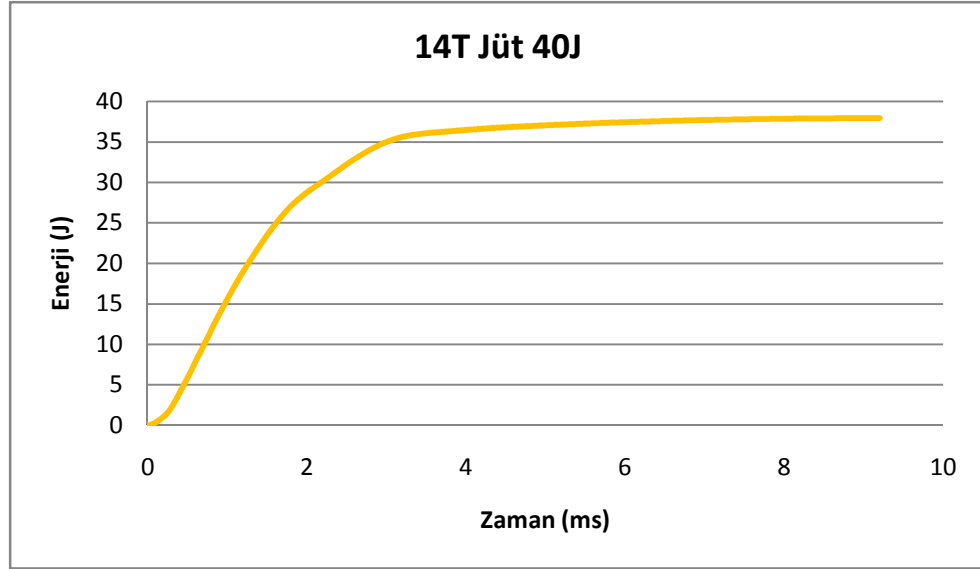


Şekil 4.42 35J Enerji uygulanan 14 tabaka jüt numunesine ait hasar fotoğrafı

Darbe ucu numune içinde bir miktar ilerlemiş ve numune delinmiştir. Numunenin arka yüzey fotoğrafından da görüldüğü gibi oluşan delik sebebiyle alt yüzeyde kırılma ve çatlaklar meydana gelmiş kırıklar numuneden ayrılmamıştır.



Şekil 4.43 40J Enerji uygulanan 14 tabaka jüt numunesine ait kuvvet – deplasman grafiği



Şekil 4.44 40J Enerji uygulanan 14 tabaka jüt numunesine ait enerji – zaman grafiği

40 J değerindeki kuvvetle numune yüzeyine çarpan darbe ucu delme hasarı meydana getirmiştir.

Kuvvet – deplasman grafiğinde görüldüğü gibi kuvvet maksimum 6 kN değerine ulaşmıştır. Darbe ucu numune içinde ilerlemeye başlamış ve numunede delinme gerçekleşmiştir.

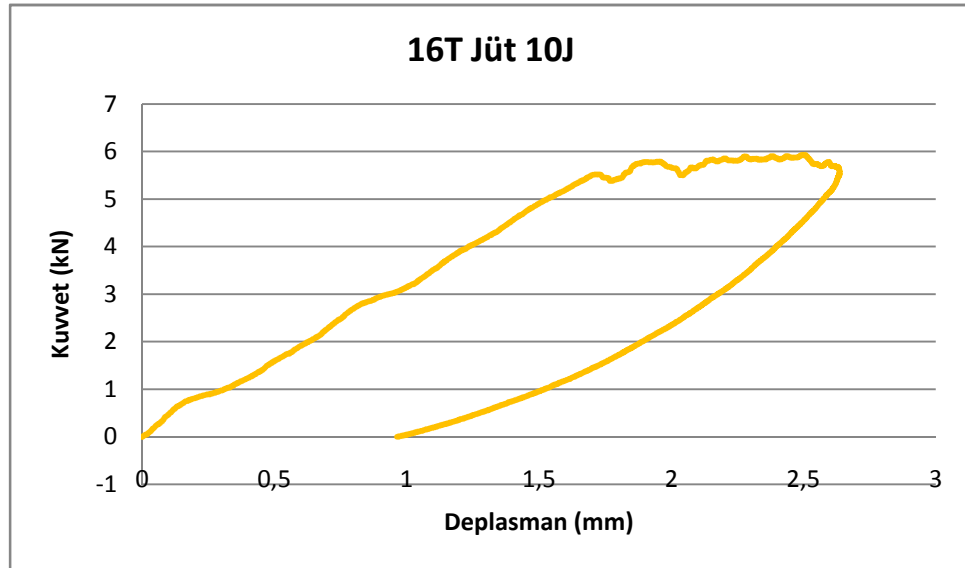
Enerji – zaman grafiğinde ise maksimum enerji 37 J değerine ulaştıktan sonra çok küçük bir eğimle devam etmiştir. Eğimin sıfır olmayıp çok küçük bir değer olsa da devam etmesi darbe ucu ile numune arasındaki sürtünme etkisinden kaynaklanmaktadır.



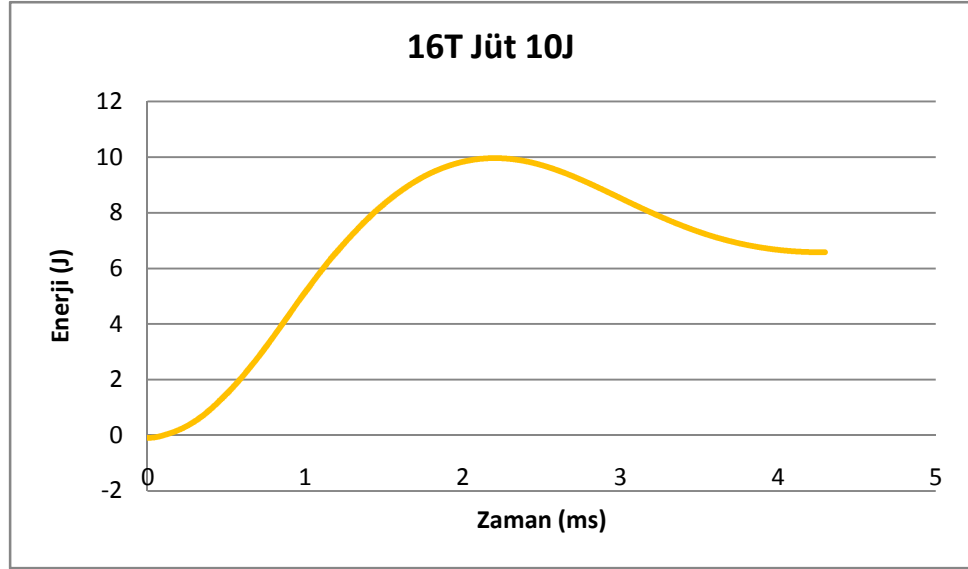


Şekil 4.45 40J Enerji uygulanan 14 tabaka jüt numunesine ait hasar fotoğrafı

Numuneye uygulanan 40 J değerindeki kuvvet numunede delinme hasarı oluşturmuştur, ancak ön yüz görünüş fotoğrafından da görüldüğü gibi delik ön tarafta sınırları düzgün geometrik şekle sahip iken arka yüz görünüşünde ise 4 ana parçaya ayrılmış ve numuneden tamamen kopmamıştır. 14 tabaka numunesinde meydana gelen delinme hasarının ön yüzde şekli ve büyüklüğü hemen hemen aynı olmasına karşın arka yüzde oluşan hasarın alanı diğer numunelere göre daha büyük olmuştur.



Şekil 4.46 10J Enerji uygulanan 16 tabaka jüt numunesine ait kuvvet – deplasman grafiği



Şekil 4.47 10J Enerji uygulanan 16 tabaka jüt numunesine ait enerji – zaman grafiği

10 J değerindeki enerjiyle numune yüzeyine çarpan darbe ucu numunede veya matris yüzeyinde görünen herhangi bir hasara sebep olmadan geri sekmiştir.

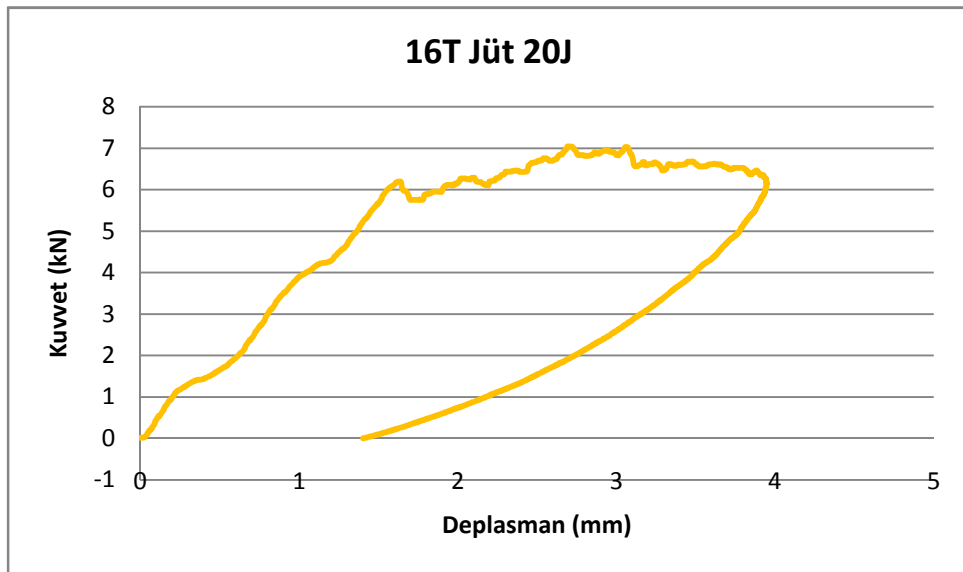
Kuvvet – deplasman grafiğinde kuvvet maksimum değerine ulaştıktan sonra sıfır değerine geri dönerken deplasman azalmış ve sıfır değerine ulaşmıştır.

Enerji – zaman grafiğinde ise maksimum enerji 10 J değerine ulaştıktan sonra azalarak 6,7J değerine gerilemiştir. Enerji değerindeki bu azalma, numune tarafından darbe ucuna geri aktarılmış ve darbe ucunun geri sıçramasına neden olmuştur.

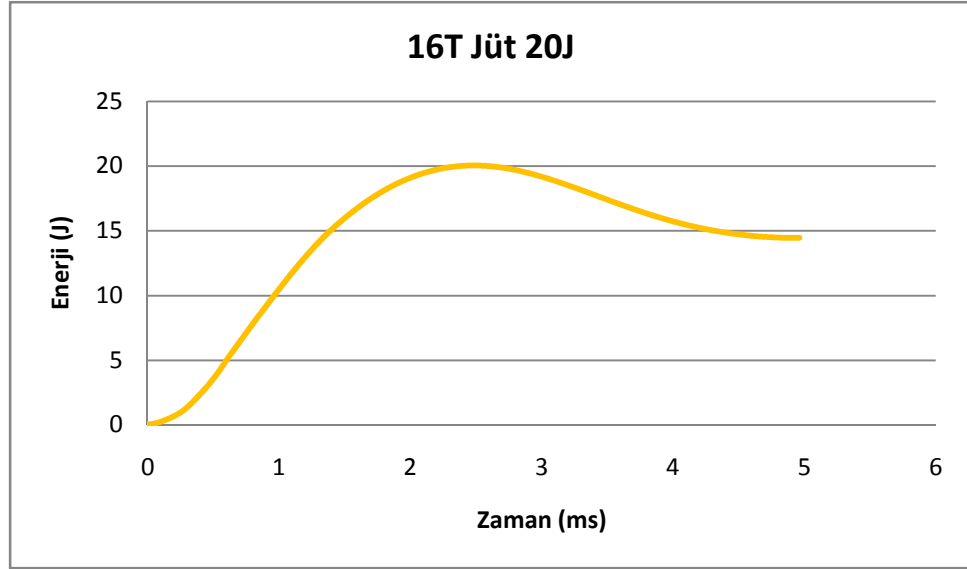


Şekil 4.48 10J Enerji uygulanan 16 tabaka jüt numunesine ait hasar fotoğrafı

Numunenin ön yüz ve arka yüz görünüş fotoğraflarından da görüldüğü gibi numune ve matris yüzeyinde görünen herhangi bir hasar oluşmamıştır.



Şekil 4.49 20J Enerji uygulanan 16 tabaka jüt numunesine ait kuvvet – deplasman grafiği



Şekil 4.50 20J Enerji uygulanan 16 tabaka jüt numunesine ait enerji – zaman grafiği

20 J değerindeki enerjiyle numune yüzeyine çarpan darbe ucu malzeme matrisinin yüzeyinde 1-2 mm çapında ve derinliksiz bir ezilme meydana getirerek geri sekmiştir.

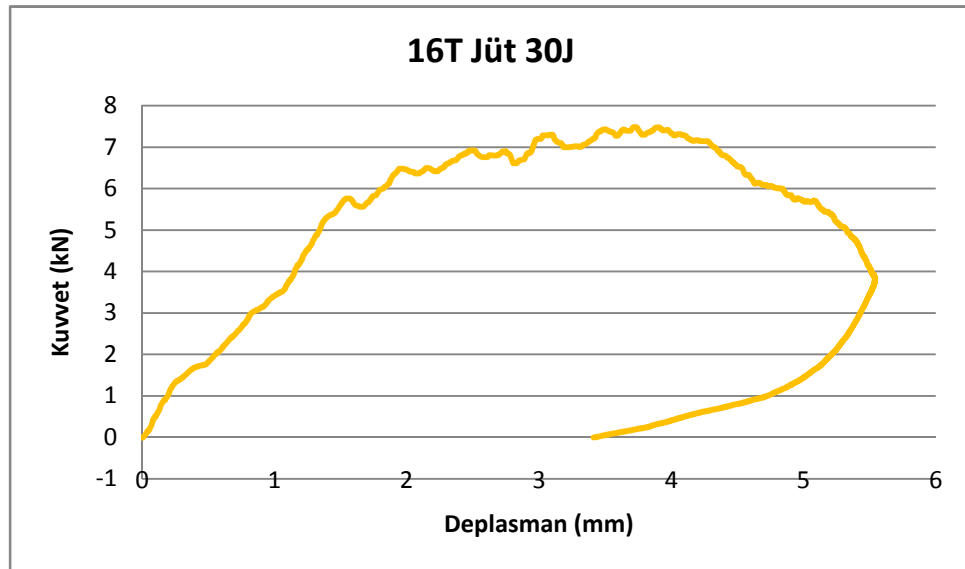
Kuvvet – deplasman grafiğinde kuvvet maksimum değerine ulaştıktan sonra sıfır değerine geri dönerken deplasman azalmış ve sıfır değerine ulaşmıştır.

Enerji – zaman grafiğinde ise maksimum enerji 20 J değerine ulaştıktan sonra azalarak 14 J değerine gerilemiştir. Enerji değerindeki bu azalma, numune tarafından darbe ucuna geri aktarılmış ve darbe ucunun geri sıçramasına neden olmuştur.

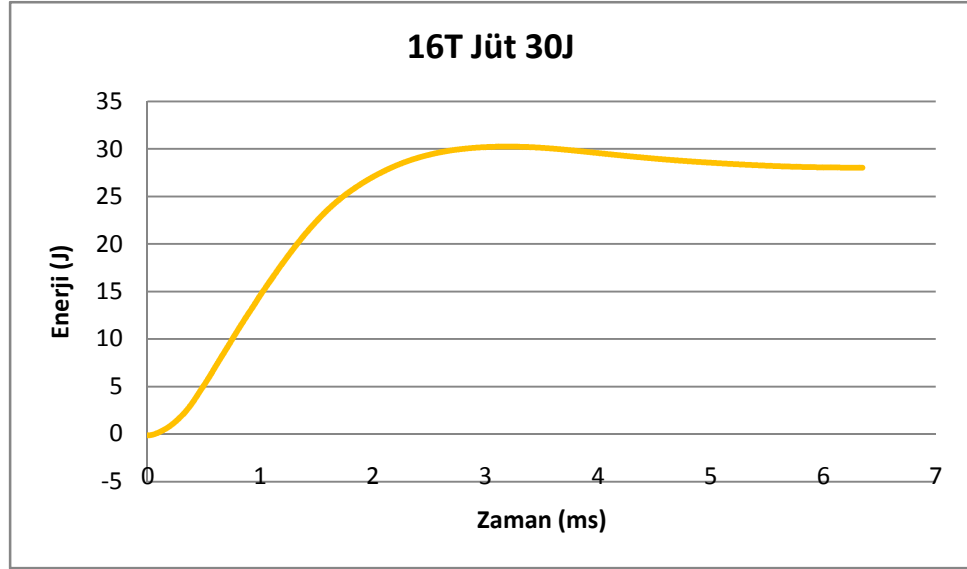


Şekil 4.51 20J Enerji uygulanan 16 tabaka jüt numunesine ait hasar fotoğrafı

Numunenin ön yüz tarafında, darbe ucunun çarptığı noktada matris yüzeyinde yuva şeklinde ezilme meydana gelmiştir. Ayrıca jüt örgünün en üst tabakasında ezilme şeklinde hasar oluşmuştur. Numunenin alt yüzeyinde ise herhangi bir hasar oluşumu meydana gelmemiştir.



Şekil 4.52 30J Enerji uygulanan 16 tabaka jüt numunesine ait kuvvet – deplasman grafiği



Şekil 4.53 30J Enerji uygulanan 16 tabaka jüt numunesine ait enerji – zaman grafiği

30 J değerindeki enerjiyle numune yüzeyine çarpan darbe ucu numune yüzeyinden içeriye doğru bir miktar ilerlemiş ve alt tarafında çatlak şeklinde görülen kırılmalar meydana gelmesine sebep olmuştur.

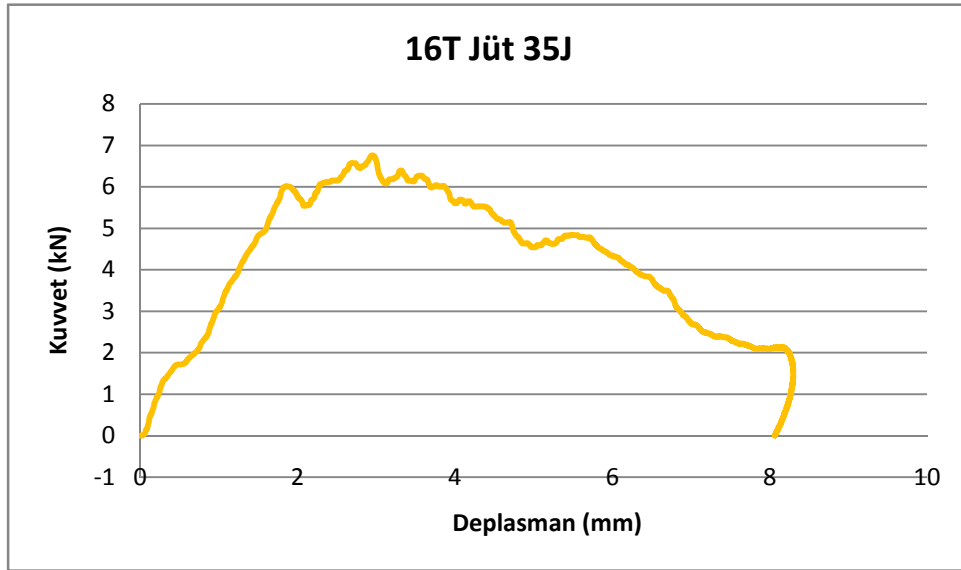
Kuvvet – deplasman grafiğine göre kuvvet maksimum değeri olan 7,4 kN değerine ulaşmış ve darbe ucu numunenin içinde ilerlemiştir. Kuvvet değeri 3,9 kN değerine geldiğinde ise numune içerisinde ilerleme ve numunede oluşan kırılma hasarı sona ermiştir. Bu noktadan sonra darbe ucu geri sekmiştir.

Enerji – Zaman grafiğinde ise maksimum enerji 30 J değerine ulaştıktan sonra azalarak 28J değerine gerilemiştir. Enerji değerindeki bu azalma, numune tarafından darbe ucuna geri aktarılmış ve darbe ucunun geri sıçramasına neden olmuştur. Numunede kırılma hasarı meydana geldiğinden, numune tarafından darbe ucuna geri aktarılan enerji çok az olmuştur.

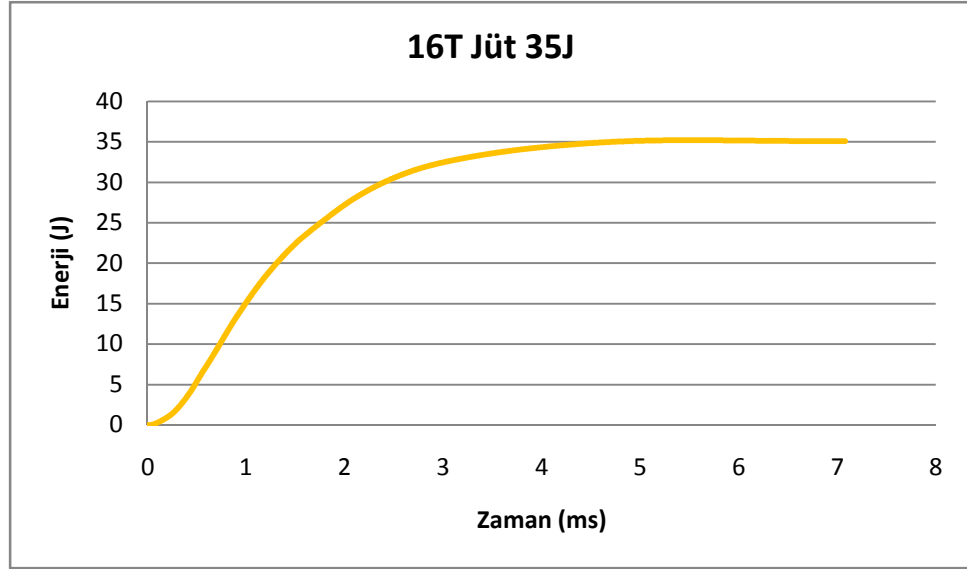


Şekil 4.54 30J Enerji uygulanan 16 tabaka jüt numunesine ait hasar fotoğrafı

Darbe ucu numune içinde bir miktar ilerlemiş tabakada kırık oluşturduktan sonra geri sekmiştir. Numunenin ön yüzeyinde bir miktar ilerlemiştir. Numunenin arka yüzey fotoğrafından da görüldüğü gibi arka yüzeyde ve tabakalar arasında çatlak ve kırılmalar oluşmuştur.



Şekil 4.55 35J Enerji uygulanan 16 tabaka jüt numunesine ait kuvvet – deplasman grafiği



Şekil 4.56 35J Enerji uygulanan 16 tabaka jüt numunesine ait enerji – zaman grafiği

35 J değerindeki enerjiyle numune yüzeyine çarpan darbe ucu numune yüzeyinden içeriye doğru bir miktar ilerlemiş ve alt yüz tarafında kırılmalar meydana gelmesine sebep olmuştur.

Kuvvet – deplasman grafiğinde görüldüğü gibi kuvvet maksimum 6,8 kN değerine ulaşmıştır. Darbe ucu numune içinde ilerlemeye başlamış ve numunede kırılma gerçekleşmiştir.

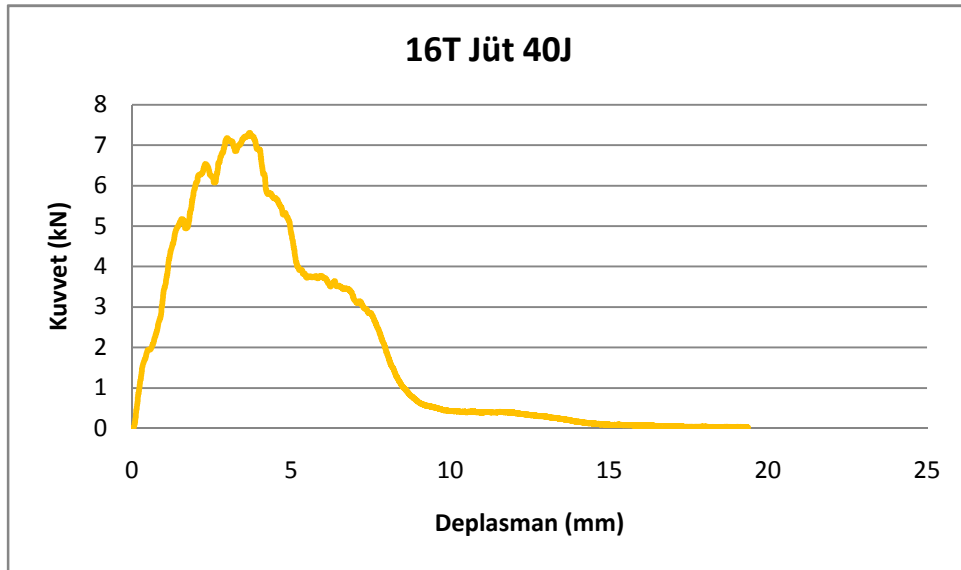
Enerji – zaman grafiğinde ise maksimum enerji 35 J değerine ulaştıktan sonra çok küçük bir eğimle devam etmiştir. Eğimin sıfır olmayıp çok küçük bir değer olsa da devam etmesi darbe ucu ile numune arasındaki sürtünme etkisinden kaynaklanmaktadır.



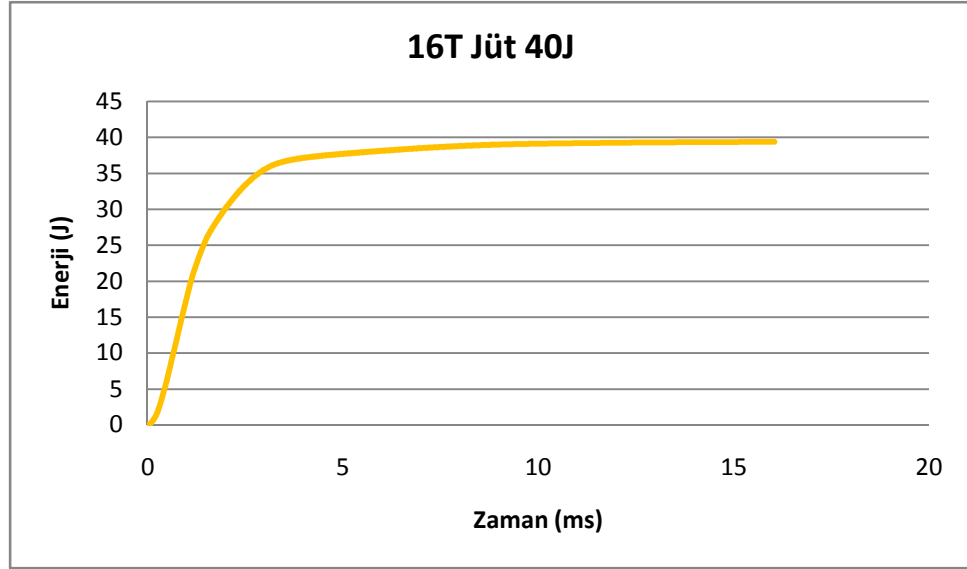


Şekil 4.57 35J Enerji uygulanan 16 tabaka jüt numunesine ait hasar fotoğrafı

Darbe ucu numune içinde bir miktar ilerlemiş ve tabakada kırık oluşturmuştur. Numunenin arka yüzeyinde ise fotoğrafından da görüldüğü gibi tabakalar arasında çatlak ve kırılmalar oluşmuştur. Kırılan parçalar ana gövdeden yer yer ayrılmış ama tamamen kopmamıştır.



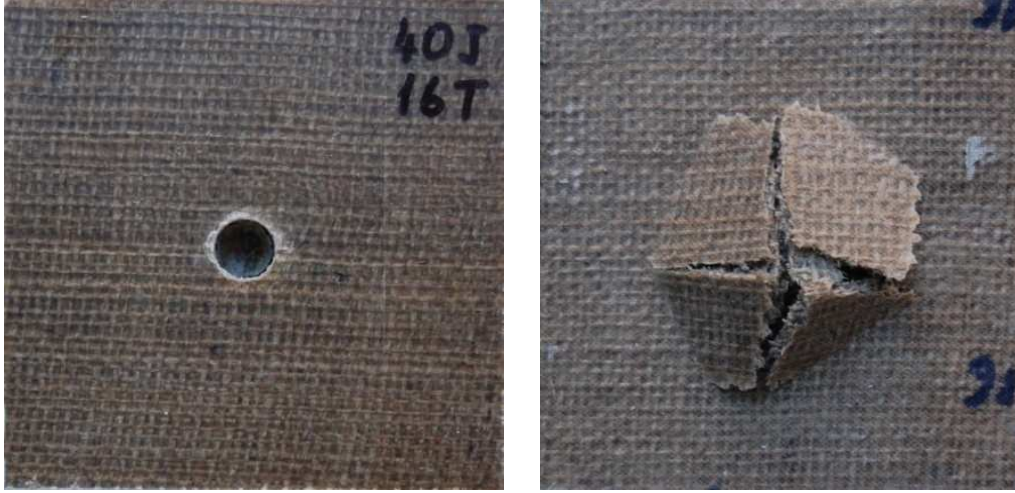
Şekil 4.58 40J Enerji uygulanan 16 tabaka jüt numunesine ait kuvvet – deplasman grafiği



Şekil 4.59 40J Enerji uygulanan 16 tabaka jüt numunesine ait enerji – zaman grafiği

40 J değerindeki enerjiyle numune yüzeyine çarpan darbe ucu numuneyi tamamen delmiştir. Kuvvet – deplasman grafiğinde görüldüğü gibi kuvvet maksimum 7,3 kN değerine ulaşmıştır. Darbe ucu numune içinde ilerlemeye başlamış ve numunede delinme gerçekleşmiştir. Grafik eğrisinin geri dönüş yapmayarak deplasman ekseninde devam etmesi darbe ucunun numuneye saplandığını gösterir.

Enerji – Zaman grafiğinde ise maksimum enerji 40 J değerine ulaştıktan sonra çok küçük bir eğimle devam etmiştir. Eğimin sıfır olmayıp çok küçük bir değer olsa da devam etmesi darbe ucu ile numune arasındaki sürtünme etkisinden kaynaklanmaktadır.

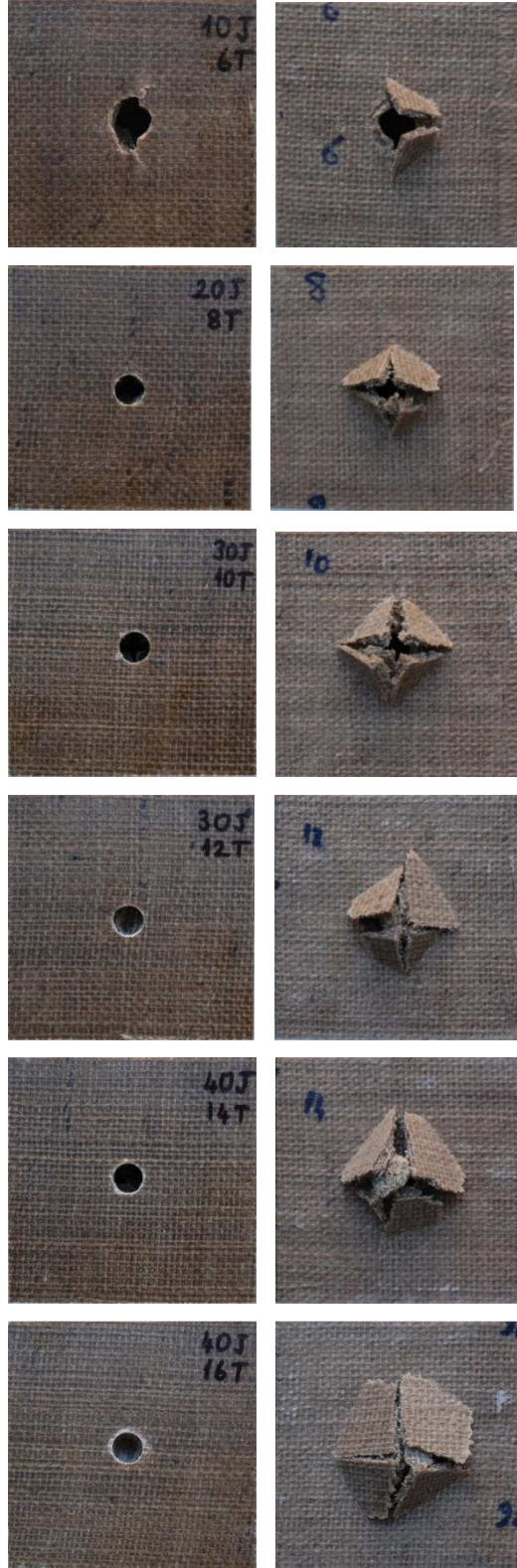


Şekil 4.60 40J Enerji uygulanan 16 tabaka jüt numunesine ait hasar fotoğrafı

Numuneye uygulanan 40 J değerindeki enerji, numunede delinme hasarı oluşturmuş ve darbe ucu numuneye saplanmıştır. Ön yüz fotoğrafında da görüldüğü gibi delik gayet düzgün bir geometriye sahip iken, arka yüz tarafı 4 ana parça halinde kırılmaya uğrayarak ana gövdeden yer yer ayrılmış ama numuneden tamamen kopmamıştır.

Darbe ucu numune içinde bir miktar ilerlemiş ve tabakada kırık oluşturmuştur. Numunenin arka yüzeyinde ise fotoğrafından da görüldüğü gibi tabakalar arasında çatlak ve kırılmalar oluşmuştur. Kırılan parçalar ana gövdeden yer yer ayrılmış ama tamamen kopmamıştır.

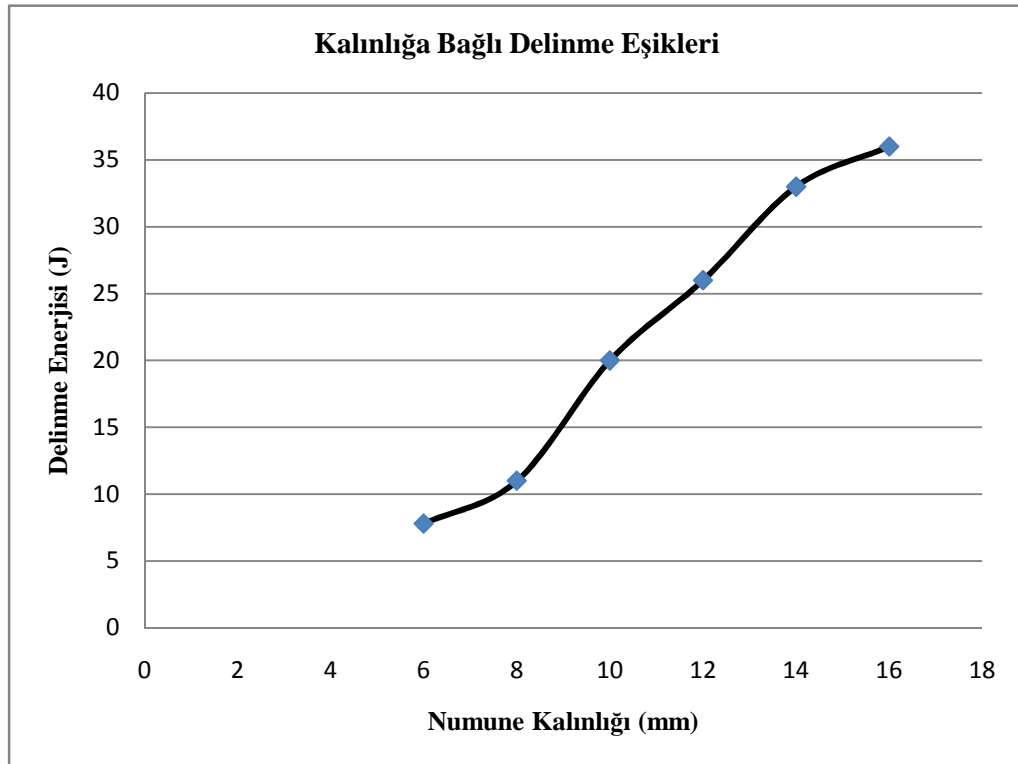
#### 4. 1 Deney Sonuçlarının Karşılaştırılmalı Olarak Fotoğraf Ve Grafiklerle Tartışılması



Şekil 4. 61 Karşılaştırmalı hasar fotoğrafları

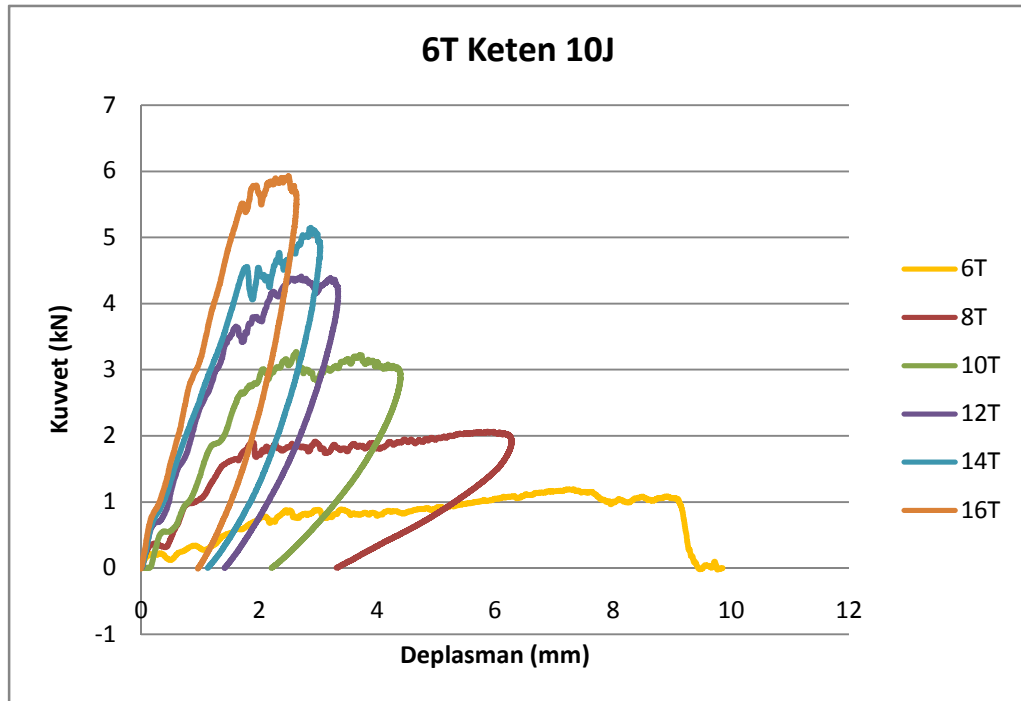
Şekildeki fotoğraflarda; yapılan deney sonucu numunelerde meydana gelen delinme hasarları görülmektedir. Tabaka sayısı 6 (kalınlığı 5mm) olan numunede oluşan delinme hasarında ön yüz görünümünde deliğin düzgün bir geometriye sahip olmamakla birlikte diğer numunelere göre delik çapının daha fazla olduğu görülmektedir. Arka yüzde ise delik çapı diğerlerine göre daha küçük olmuştur. Bu da hasarın numunede bir kesme meydana getirmeden tüm tabakalar boyunca kırılma oluştuğunu göstermektedir.

Yine fotoğraflardan da görüleceği üzere tabaka sayısı arttıkça kalınlık artmakta, doğal olarak numunenin delinme hasarına uğraması için gerekli kuvvet sınırı artmakta buna karşın üst yüzey delinme hasarları giderek küçülmekte ve daha düzgün dairesel geometrik şekle dönüşmektedir. Arka yüzeyde ise hasar daha geniş boyutlara ulaşmaktadır. Tabaka sayısı 16 olan son numune incelendiğinde ön yüzdeki hasarın en küçük çaplı düzgün geometriye sahip dairesel delik şeklinde olmasına karşın arka yüzeyde hasar deney numuneleri içindeki en büyük ölçüye sahiptir.



Şekil 4. 62 Kalınlığa bağlı delinme eşik enerjileri grafiği

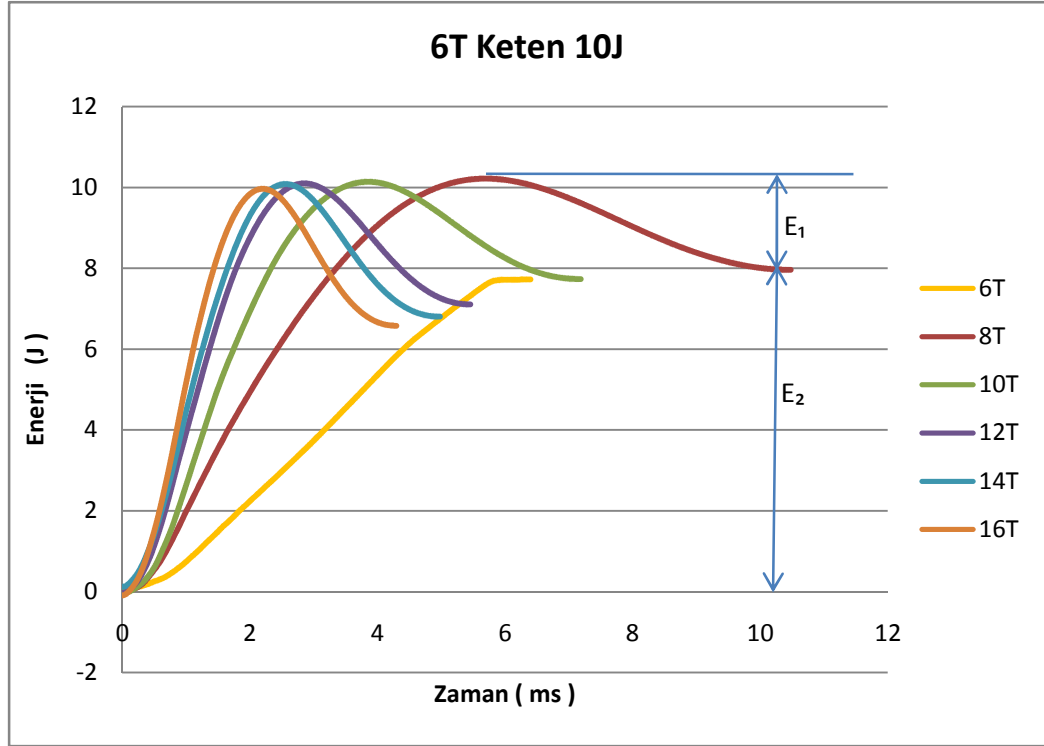
Şekilde kalınlığa bağılı olarak ihtiyaç duyulan delinme enerjileri incelendiğinde grafiğin lineer bir karakter gösterdiği görülmektedir. Doğrunun eğimi yaklaşık olarak 2,8 olarak hesaplanmıştır. Buna göre bu çalışmada kullanılan özelliklere sahip jüt - epoksi kompozit malzemenin farklı kalınlıklardaki versiyonları üretilmeleri amaçlandığında ne kadarlık bir darbe enerjisine dayanabileceği yaklaşık olarak hesaplanabilecektir.



Şekil 5.61 0 J Kuvvetin Her Tabaka İçin Ayrı Olarak Uygulanması (Kuvvet – Deplasman Grafiği)

Şekilde farklı kalınlıktaki deney numunelerinin 10 J değerindeki kuvvet etkisi altında göstermiş oldukları deplasman değeri birlikte gösterilmiştir. Grafikten en az kalınlık değerine sahip olan 6 tabaka numunenin 9,5 mm ile en fazla değere ulaştığı görülmektedir. Deplasman değeri kalınlıkla ters orantılı olarak değişerek azalmış ve en küçük değerine en kalın numune olan 16 tabakalı deney numunesinde ulaşmıştır.

Bu grafikten ayrıca; numune kalınlığı arttıkça eğri eğiminin arttığı yani malzemenin direngenliğinin arttığı sonucuna da ulaşılabilir.



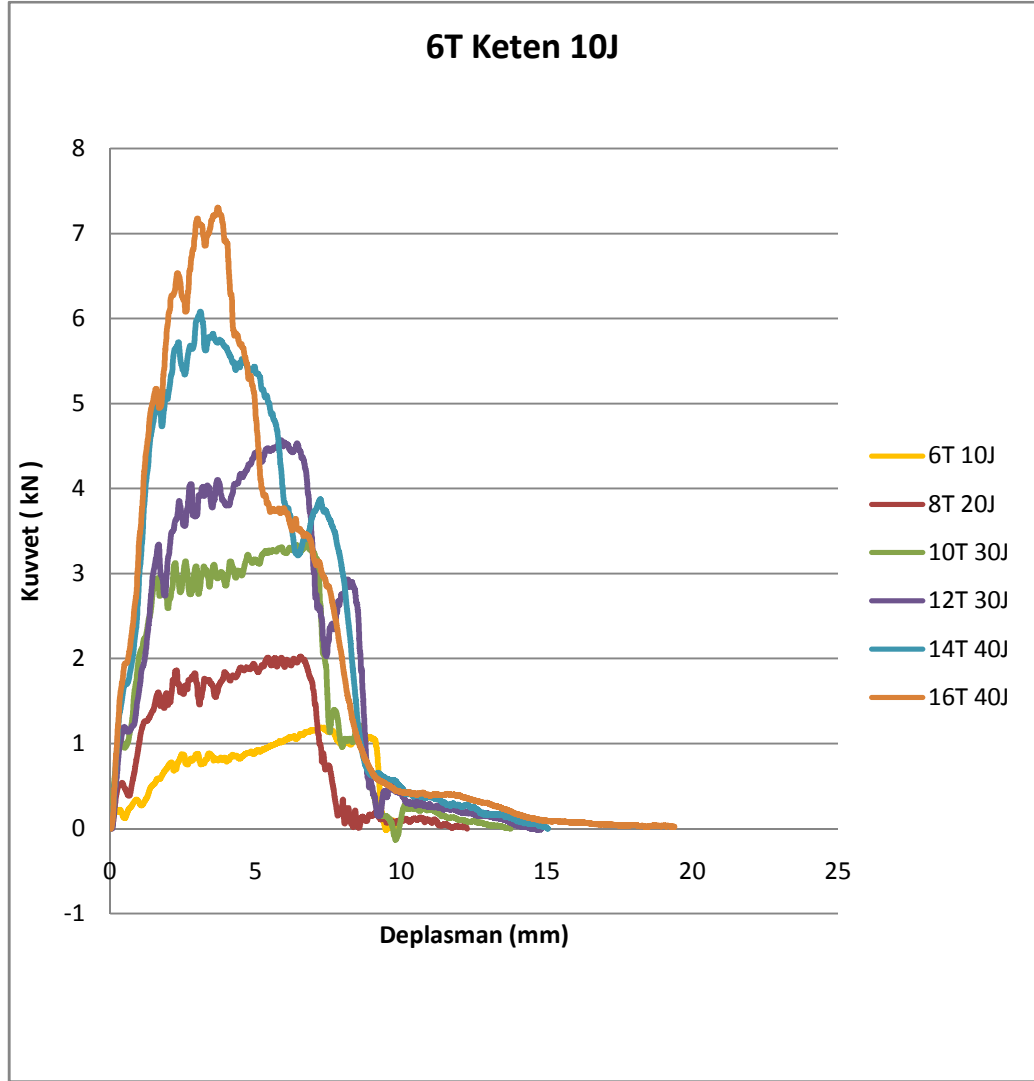
Şekil 4.63 10 J Enerjinin Her Tabaka İçin Ayrı Olarak Uygulanması (Enerji - Zaman Grafiği)

Şekilde verilen her bir numuneye uygulanan 10 J değerindeki enerji grafiğinde 8T isimli numuneye ait grafik üzerinde gösterilen  $E_1$ ; darbe ucunun geri sıçraması için harcanan enerji değerini,  $E_2$  ise malzeme tarafından yutulan enerjiyi gösterir.

6T isimli numunede 10 J değerinde enerji uygulandığında delinme hasarına uğradığı için enerjinin tamamı yutulmuştur. Böylece bu numuneye ait grafik diğerlerinden farklılık göstermektedir.

Numunelere 10 J değerinde enerji verilmesine rağmen grafikte küçükte olsa 10 J lük değer aşıldığı görülmektedir. Bu da darbe ucunun belli yükseklikten bırakıldıktan sonra numuneye çarpma esnasında numunenin bulunduğu konumda sabit kalmayıp deplasman sebebiyle bir miktar aşağı yönde hareketinden kaynaklandığı şeklinde değerlendirilmiştir.

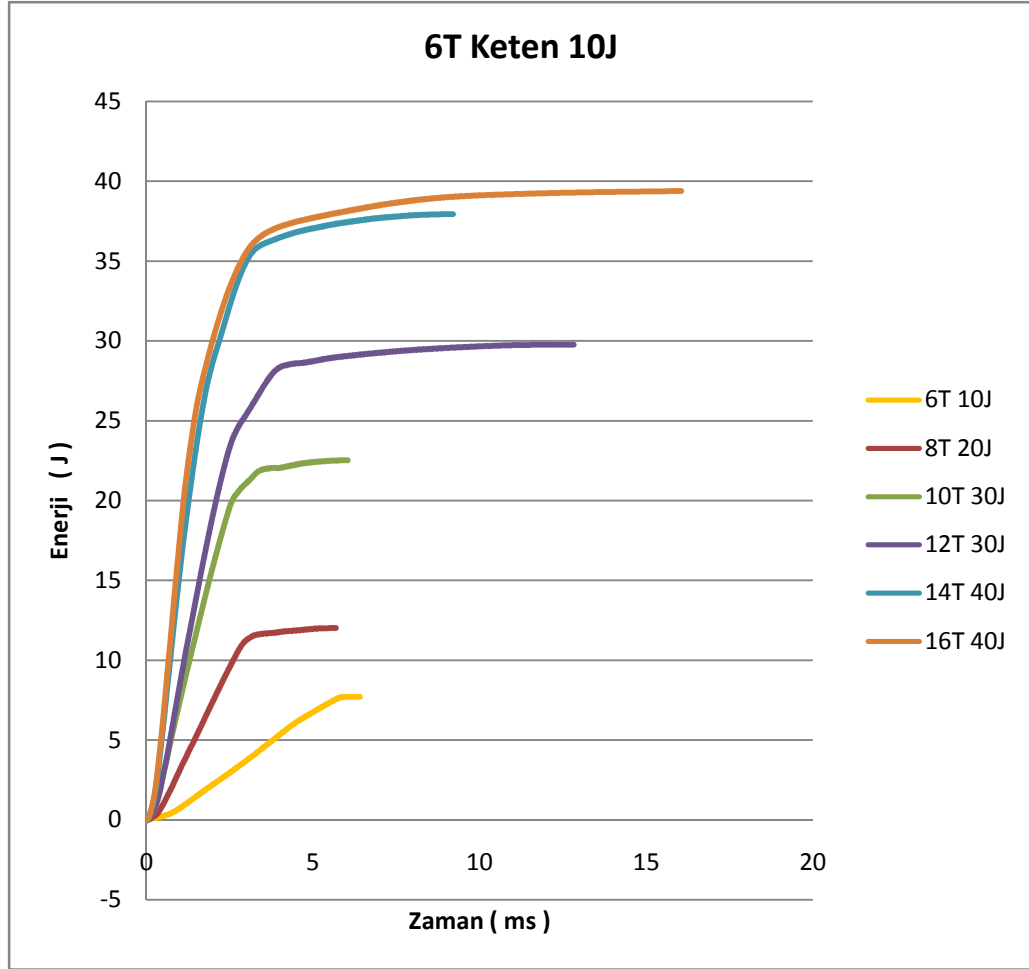
Grafikten ayrıca, numune kalınlığının artması ile numune tarafından yutulan enerjinin azaldığı buna karşılık darbe ucunun geri sıçraması için harcanan enerjinin arttığı görülmektedir.



Şekil 4.64 Her Tabaka İçin Delinme Eşik Kuvveti – Deplasman Grafiği

Şekilde her bir numune için delinme eşik kuvveti ile deplasman grafiği birlikte verilmiştir. Şekilden her numunenin deplasmanının yaklaşık 10mm'ye kadar gittiğini görebiliriz. Burada numune kalınlığı arttıkça delinme eşik kuvveti artmış, grafik eğimi artmış dolayısıyla numunenin direngenliği artmıştır.





Şekil 4.65 Her Tabaka İçin Delinme Eşik Enerji - Zaman Grafiği

Şekilde her numuneye ait delinme eşik enerji grafiği verilmiştir. Burada grafiklerin numune de delinme hasarı başlamasına kadar enerji değerinde artış gözlenmiş, hasarın başlamasıyla birlikte artış azalmıştır. Ancak grafik eğimlerinin hiçbir zaman sıfır olmaması ve küçükte olsa bir eğime sahip olmaları darbe ucu ile numune arasındaki sürtünme kuvveti ile açıklanabilir.

## BÖLÜM BEŞ

### SONUÇLAR

Bu tez çalışması kapsamında gemilerde iç bölme ve dekorasyonlarda kullanılabilir maliyeti düşük, üretimi kolay kompozit malzeme araştırması hedeflenmiştir. Bu hedef doğrultusunda kompozit malzeme oluşturan matris için epoksi, takviye elemanı olarak da jüt bitkisinin liflerinden elde edilen üretilen örme kumaş kullanılmıştır. Bu çalışmada altı farklı kalınlıkta numune üretilerek her bir numunenin darbe deneyleri yapılmış, meydana gelen hasarlar incelenerek, numune kalınlığı ile darbe kuvvetlerine karşı dirençlilik arasındaki bağlantı incelenmiştir. Numune kalınlıkları 4mm ile 10mm arasında değişen çalışmada bu numunelere karşılık gelen delinme eşik kuvvetleri de 1,19N ile 7,3N arasında gerçekleşmiştir. Numune kalınlığı ile delinme eşik kuvveti arasında eğim değeri 2,8 olan lineer karakteristiğe sahip bağıntının bulunduğu görülmüştür. Buradan da aynı özelliklerde üretilecek farklı kalınlıktaki malzemenin yaklaşık olarak kaç N'luk bir darbe kuvvetine dayanabileceği hesaplanabilecektir.

Ayrıca çalışma sonunda numunelere ait hasar fotoğrafları, birlikte sunularak ortak değerlendirme ve kıyaslamalar yapılmıştır. Çalışmanın sonunda her numuneye ait delinme eşik kuvvetleri - deplasman ile delinme eşik enerjileri - zaman grafiklerinin yanında 10J lük enerji uygulandığında her bir numunenin kuvvet - deplasman ve enerji - zaman grafikleri birlikte sunularak değerlendirilmiş ve ihtiyaç duyulması halinde grafik üzerinden farklı konularda değerlendirilme yapılabilmesine olanak sağlanmıştır.

## KAYNAKLAR

Akil H. Md., De Rosa I. M., Santulli C., Sarasini F. “Flexural behaviour of pultruded jute / glass and kenaf / glass hybrid composites monitored using acoustic emission”, *Materials Science and Engineering A* 527 (2010) 2942-2950

Aquino E. M. F., Sarmiento L. P., Oliveira W., “Moisture effect on degradation of jute / glass hybrid composites” *Journal of reinforced plastics and composites*, vol. 26, No. 2/2007

Azouaoui, K., Rechak, S., Azari, Z., Benmedakhene, S., Laskimi, A., Pluinage, G., “Modelling of damage and failure of glass/epoxy composite plates subject to impact fatigue”, *International Journal of Fatigue*, 2001, 23: 877–885.

Attia, O., Kinloch, A.J., Matthews, F.L., “The prediction of fatigue damage growth in impact-damaged composite skin/stringer structures. Part I: theoretical modelling studies”, *Composites Science and Technology*, 2003, 63: 1463–1472.

Azouaoui, K., Rechak, S., Azari, Z., Benmedakhene, S., Laskimi, A., Pluinage, G., “Modelling of damage and failure of glass/epoxy composite plates subject to impact fatigue”, *International Journal of Fatigue*, 2001, 23: 877–885.

Beheshty, M.H., Haris, B., “A constant-life model of fatigue behaviour for carbon-fibre composites: The effect of impact damage”, *Composite Science and Technology*, 1998, 58: 9-18.

Beheshty, M.H., Haris, B., Adam, T., “An empirical fatigue-life model for high-performance fibre composites with and without impact damage”, *Composites: Part A*, 1999, 30: 971–987.

- Chambers, A.R., Earl, J.S., Squires, C.A., Suhot, M.A., “The effect of voids on the flexural fatigue performance of unidirectional carbon fibre composites developed for wind turbine applications”, *International Journal of Fatigue*, 2006, 28 :1389–1398
- El-Assal, A. M., Khashaba, U.A., “Fatigue analysis of unidirectional GFRP composites under combined bending and torsional loads”, *Composite Structures*, 2007 79 :599–605
- Ferreira, J.M., Pires, J.T.B., Costa, J.D., Zhang, Z.Y., Errajhi, O.A., Richardson, M., “Fatigue damage analysis of aluminized glass fiber composites”, *Materials Science and Engineering A*, 407, 2006, 1–6.
- Growda T. M., Naidu A. C. B. ve Chhaya R., “Some mechanical properties of untreated jute fabric –reinforced polyester composites”, *Composites part A* 30 (1999) 277-284
- Kabir, M.R., Lutz, W., Zhu, K., Schmauder, S., “Fatigue modeling of short fiber reinforced composites with ductile matrix under cyclic loading”, *Computational Materials Science*, 2006 36: 361–366
- Kelkar, A.D., Tate, J.S., Bolick, R., “Structural integrity of aerospace textile composites under fatigue loading”, *Materials Science and Engineering B*, 2006 132: 79–84
- Kim, H., Park, M., Hsieh, K., “Fatigue fracture of embedded copper conductors in multifunctional composite structures”, *Composites Science and Technology*, 66, 2006, 1010–1021.
- Kim, S.J., Hwang, I.H., “Prediction of fatigue damage for composite laminate using impact response”, *International Journal of Fatigue*, 2006, 28 : 1334–1339.

- Kong, C., Kim, T., Han, D., Sugiyama, Y., “Investigation of fatigue life for a medium scale composite wind turbine blade“, *International Journal of Fatigue*, 2006 28: 1382–1388
- Margueres, Ph., Meraghni, F., Benzeggagh, M.L., “Comparison of stiffness measurements and damage investigation techniques for a fatigued and post-impact fatigued GFRP composite obtained by RTM process”, *Composites: Part A*, 2000, 31: 151–163.
- Mezierea, Y., Bunsella, A.R., Favrya, Y., Teissedrea, J.-C., Do, A.T., “Large strain cyclic fatigue testing of unidirectional carbon fibre reinforced epoxy resin”, *Composites: Part A*, 36, 2005, 1627–1636.
- Mohanty S., Verma S. K., Nayak S. K., “Dynamic mechanical and thermal properties of MAPE treated jute / HDPE composites”, *Composites Science and Technology* 66 (2006) 538-547
- Park J. – M., Kim P.-G., Jang J.-H., Wang Z., Hwang B.-S., De Vries K. L. “Interfacial evaluation and durability of modified jute fibers /polypropylene composites using micromechanical test and acoustic emission”, *Science Direct Composites: Part B* 39 (2008) 1042-1061
- Rahman M. R. ve Hasan R. “Physico – mechanical properties of jute fiber reinforced polypropylene composites”, *Jornal of reinforced plastics and composites*, vol. 00, No. 00/2009
- Roya, R., Sarkara, B.K., Boseb, N.R., “Impact fatigue of glass fibre-vinylester resin composites”, *Composites: Part A*, 2001, 32: 871-876.

Salekeen, S., Jones, D. L., “Fatigue response of thick section fiberglass/epoxy composites”, *Composite Structures*, 2007 79: 119–124

Shivakumara, K., Chena, H., Abalib, F., Leb, D., Davis, C., “A total fatigue life model for mode I delaminated composite laminates”, *International Journal of Fatigue*, 28, 2006, 33–42.

Singh B., Gupta M., Verma A., “ The durability of jute fibre – reinforced phenolic composites” *Composites Science and Technology* 60 (2000) 581-589

Srivastav A. K., Behera M. K., Ray B. C., “Loading rate sensitivity of jute / glass hybrid reinforced epoxy composites: Effect of surface modifications”, *Jornal of reinforced plastics and composites*, vol. 26, No. 9/2007