

**T.C.
SÜLEYMAN DEMİREL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**DARBE SONRASI FARKLI ORTAM KOŞULLARINA MARUZ
BIRAKILAN KOMPOZİT PLAKALARIN BASMA DAYANIMLARININ
DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ**

Ali KARACAN

**Danışman
Doç. Dr. Ayşe ÖNDÜRÜCÜ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ISPARTA - 2018**



© 2018 [Ali KARACAN]

TEZ ONAYI

Ali KARACAN tarafından hazırlanan "Darbe Sonrası Farklı Ortam Koşullarına Maruz Bırakılan Kompozit Plakaların Basma Dayanımlarının Deneysel Olarak İncelenmesi" adlı tez çalışması aşağıdaki jüri üyeleri önünde Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak başarı ile savunulmuştur.

Danışman

Doç. Dr. Ayşe ÖNDÜRÜCÜ
Süleyman Demirel Üniversitesi



Jüri Üyesi

Prof. Dr. Ümran ESENDEMİR
Süleyman Demirel Üniversitesi



Jüri Üyesi

Yrd. Doç. Dr. Kenan TÜFEKÇİ
Uludağ Üniversitesi



Enstitü Müdürü

Prof. Dr. Yasin TUNCER

TAAHHÜTNAME

Bu tezin akademik ve etik kurallara uygun olarak yazıldığını ve kullanılan tüm literatür bilgilerinin referans gösterilerek tezde yer aldığını beyan ederim.

Ali KARACAN

İÇİNDEKİLER

Sayfa

İÇİNDEKİLER.....	i
TEŞEKKÜR.....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xi
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Kompozit Malzemelerin Ana Elemanları.....	3
1.1.1. Matris elemanı.....	3
1.1.2. Takviye elemanı.....	4
1.1.3. Katkı maddeleri.....	5
1.2. Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması	5
1.2.1. Elyafli kompozitler	5
1.2.2. Parçacıklı kompozitler	6
1.2.3. Tabakalı kompozitler.....	6
1.3. Darbe Test Metotları ve Hasar Değerlendirmeleri.....	8
1.3.1. Darbe hasarına etki eden parametreler	9
1.3.2. Düşük hızlı darbe test metotları.....	11
1.3.3. Yüksek hızlı darbe test metotları	13
2. KAYNAK ÖZETLERİ.....	15
3. MATERYAL YÖNTEM.....	22
3.1. Malzeme Üretimi ve Deneysel Yöntem Aşamaları.....	22
3.2. Kompozit Malzemelerin Darbe Davranışlarının Belirlenmesi.....	29
3.2.1. Kuvvet – çökme eğrileri.....	30
3.2.2. Kuvvet – zaman eğrileri.....	31
3.2.3. Çökme – zaman eğrileri	32
3.2.4. Absorbe edilen enerji - zaman eğrileri.....	33
3.2.5. Hız – zaman eğrileri.....	34
4. ARAŞTIRMA BULGULARI.....	35
4.1. Darbe Testleri	35
4.1.1. 8 ve 12 tabakalı numuneler için kuvvet – çökme eğrileri	35
4.1.2. Tabaka kalınlığının darbe davranışı üzerine etkisi.....	48
4.1.3. Farklı oryantasyon açısının darbe davranışı üzerine etkisi	55
4.1.4. Numunenin darbe uygulanan ve darbe uygulanmayan yüzeylerinde oluşan hasar modları	58
4.2. Darbe Sonrası Bası Testleri	59
4.2.1. 8 ve 12 tabakalı numuneler için kuvvet – deplasman eğrileri.....	59
4.2.2. Artan darbe enerjisi altındaki 8 ve 12 tabakalı numunelerin darbe sonrası bası davranışları	66
4.2.3. Darbe sonrası bası testlerinde lif yönlenme açısının hasara etkisi ...	68
4.2.4. Darbe sonrası deniz suyunda ve yağmur suyunda bekletilen numunelerin bası davranışları.....	69
4.2.5. Darbe sonrası deniz suyu ve yağmur suyunda bekletilen yamalı numunelerin darbe sonrası bası davranışları.....	74
5. TARTIŞMA VE SONUÇLAR.....	77
KAYNAKLAR	80

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

DARBE SONRASI FARKLI ORTAM KOŞULLARINA MARUZ BIRAKILAN KOMPOZİT PLAKALARIN BASMA DAYANIMLARININ DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ

Ali KARACAN

Süleyman Demirel Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Ayşe ÖNDÜRÜCÜ

Bu çalışmanın amacı, darbe sonrası deniz suyu, yağmur suyu ve kuru ortam koşullarında bekletilen cam elyaf / epoksi kompozit malzemelerin basma dayanımlarının incelenmesidir. Deneysel çalışma için 8 ve 12 tabakalı cam elyaf/epoksi kompozit plakalar üretilmiştir. Üretimi yapılan bu plakalardan darbe sonrası basma testi için standartlara uygun olarak 150 mm x 100 mm boyutunda numuneler kesilmiştir. Kompozit numunelere Fractovis Plus darbe test cihazı kullanılarak düşük hızlı darbe testi uygulanmıştır. Numunelerin darbe testleri oda sıcaklığında 10J, 20J ve 30J'lük üç farklı enerjide ağırlık düşürme test metodu ile yapılmıştır. Darbe testleri sonucu maksimum kuvvet, maksimum çökme ve toplam absorbe edilen enerjileri belirlenmiştir. 12 tabakalı numunelerin darbe dayanımlarının 8 tabakalı numunelere göre 10 joule darbe enerjisi altında %18.77, 20 joule darbe enerjisi altında % 47.65 ve 30 joule darbe enerjisi altında % 51.36 oranında arttığı belirlenmiştir. Artan darbe enerjisi ile maksimum kuvvet ve çökme miktarı değerlerinin de arttığı görülmüştür. Bunun sonucu olarak darbe enerjisinin arttırılması ile hasarın meydana geldiği bölgede delaminasyon alanlarının genişlediği, fiberlerin kırıldığı ve delinme hasarının oluştuğu gözlenmiştir.

Cam elyaf / epoksi kompozit malzemelerin darbe sonrası basma dayanımına yama etkisi de ayrıca incelenmiştir. Yukarıda belirtilen ortam koşullarının etkisinin araştırılması için darbe deneyi sonrası, hem yama işlemi uygulan numuneler hem de yama işlemi uygulanmayan numuneler deniz suyu ve yağmur suyunda 3 ay boyunca laboratuvar koşullarında bekletilmişlerdir. Deniz suyu ve yağmur suyunda bekletilen numuneler bekleme süreleri dolunca bekleme ortamlarından alınarak ASTM D 7137 standartına göre hazırlanmış olan aparata yerleştirilerek basma deneyleri yapılmıştır. Darbe sonrası bası testleri Universal Shimadzu AG-X test cihazında 1mm/dk basma hızında uygulanmıştır.

Her üç koşulda bekletilen numunelerin darbe sonrası basma testleri sonucunda, kuru ortam numunelerine göre deniz ve yağmur suyuna maruz kalan numunelerin basma dayanımlarının arttığı gözlenmiştir. Ayrıca yama yapılan

numunelerin de darbe sonrası basma dayanımları değerlerinde de artış söz konusudur. Cam elyaf epoksi kompozitlerin darbe sonrası basma dayanımı üzerine deniz ve yağmur suyunun önemli bir etkiye sahip olduğu görülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Cam elyaf/epoksi, düşük hızlı darbe, darbe sonrası bası, deniz suyu etkisi, yağmur suyu etkisi, hasar

2018, 85 sayfa



ABSTRACT

M.Sc. Thesis

EMPIRICAL STUDY ON COMPRESSIVE STRENGTH OF COMPOSITE PLATES UNDER IMPACTED DAMAGE AT SPECIFIC ENVIRONMENTAL CONDITIONS

Ali KARACAN

**Süleyman Demirel University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Mechanical Engineering**

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Ayşe ÖNDÜRÜCÜ

The aim of this study is to investigate of compressive strength of glass fiber/epoxy composite materials which is exposed to seawater, rainwater and dry conditions after impact. 8 and 12-layers of glass fiber/epoxy composite plates were manufactured for empirical study. Samples of size 150mm x 100mm were cut from these produced laminate according to the ASTM standard for compression after impact (CAI) tests. Impact tests was conducted using a Fractovis Plus impact test machine at room temperature. The samples were subjected to low velocity impact loading using an instrumented drop-weight system at three different energy levels of 10J, 20J and 30J. As a result of impact tests, impact characteristics such as peak force, maximum deflection and total absorbed energy were determined. In impact strengths the 12-layer of samples compared to 8-layer samples were observed an increase of 18.77% under 10 joule impact energy, 47.65% under 20 joule impact energy and 51.36% under 30 joule impact energy, respectively. It was also clearly seen that the maximum force and the amount of collapse increased in the values of increasing impact energy. As a result, it is observed that the areas of the delamination have appeared, the fibers have been broken more and the perforation damage has occurred in the region where the damage is caused by the increase of the impact energy.

Patch effect on the compressive strength of glass fiber/epoxy composite materials which is exposed to impacted damage was also investigated. In order to investigate the effect of the above-mentioned environmental conditions, both patch-applied samples and non-patch-applied samples were kept in seawater having 3.8% of salt and rainwater in a closed container indoors for 3 months at laboratory conditions for after impact test. Samples immersed in seawater and rainwater were taken from closed container at the end of 3 months and placed in the apparatus. Compression after impact tests were carried out using an Universal Shimadzu AG-X testing machine with a speed of 1 mm/min according to ASTM D 7137 standard test method.

As a result of the post-impact tests of the samples held in all three conditions, the compressive strengths of the samples exposed to seawater and rainwater

increased according to the compressive strength of the dry samples. It is also figured out that the compressive after impact strengths of the patch samples increased. The results of the study indicate that seawater and rainwater have a significant effect on compression-after-impact (CAI) strength of glass fiber-epoxy composites.

Keywords: Glass fiber/epoxy reinforced composite, low velocity impact, compression after impact, seawater effect, rainwater effect, damage

2018, 85 pages



TEŞEKKÜR

Bu araştırma için beni yönlendiren, karşılaştığım zorlukları bilgi ve tecrübesi ile aşmamda yardımcı olan değerli Danışman Hocam Doç. Dr. Ayşe ÖNDÜRÜCÜ'ye çok teşekkür ederim.

Laboratuvar çalışmalarımda yardımlarını esirgemeyen Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümünde görev yapan Doç. Dr. Yusuf ARMAN ve Araştırma Görevlisi Akar DOĞAN'a teşekkür ederim.

4941-YL1-17 no`lu proje ile tezimi maddi olarak destekleyen Süleyman Demirel Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Yönetim Birimi Başkanlığı'na teşekkür ederim.

Tezde kullanılan kompozit malzemelerin imalat aşamasındaki desteklerinden dolayı FİBERMAK şirketine teşekkür ederim.

Tezimin tamamlanmasında bana her türlü konuda maddi ve manevi destek olan aileme göstermiş oldukları sabır ve anlayıştan dolayı teşekkür ederim.

Ali KARACAN
ISPARTA, 2018

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 3. 1. Kompozit plakaların üretiminde kullanılan elyaf.....	23
Şekil 3. 2. Plakaların üretimi	23
Şekil 3. 3. Üretim aşaması tamamlanmış kompozit plaka	24
Şekil 3. 4. Rubi Diamant DS-300-1500 profesyonel kesme makinesi	25
Şekil 3. 5. Fractovis Plus darbe cihazı.....	26
Şekil 3. 6. Kompozit numunelerin darbe test cihazına yerleştirilmesi	26
Şekil 3. 7. Shimadzu AG – X universal çekme basma test cihazı.....	28
Şekil 3. 8. ASTM D 7137 aparatı.....	28
Şekil 3. 9. Basma cihazına bağlanan aparata yerleştirilen kompozit numune.....	29
Şekil 3. 10. Artan darbe enerjisi altında oluşan kuvvet - çökme eğrileri	30
Şekil 3. 11. Kuvvet - zaman eğrileri	31
Şekil 3. 12. Çökme - zaman eğrileri.....	32
Şekil 3. 13. Absorbe edilen enerji - zaman eğrileri	33
Şekil 3. 14. Hız - zaman eğrileri.....	34
Şekil 4. 1. 10J uygulanan 8 tabakalı 1.grup numunelerin kuvvet – çökme eğrisi ve numunenin darbe sonrası üst ve alt yüzeylerinin fotoğrafları	36
Şekil 4. 2. 20J uygulanan 8 tabakalı 1. grup numunelerin kuvvet – çökme eğrisi ve numunenin darbe sonrası üst ve alt yüzeylerinin fotoğrafları	37
Şekil 4. 3. 30J uygulanan 8 tabakalı 1. grup numunelerin kuvvet – çökme eğrisi ve numunenin darbe sonrası numunenin üst ve alt yüzeylerinin fotoğrafları.....	38
Şekil 4. 4. 10J uygulanan 8 tabakalı 2. grup numunelerin kuvvet – çökme eğrisi ve numunenin darbe sonrası üst ve alt yüzeylerinin fotoğrafları	39
Şekil 4. 5. 20J uygulanan 8 tabakalı 2. grup numunelerin kuvvet – çökme eğrisi ve numunenin darbe sonrası üst ve alt yüzeylerinin fotoğrafları	40
Şekil 4. 6. 30J uygulanan 8 tabakalı 2. grup numunelerin kuvvet – çökme eğrisi ve numunenin darbe sonrası üst ve alt yüzeylerinin fotoğrafları	41
Şekil 4. 7. 10J uygulanan 8 tabakalı 3. grup numunelerin kuvvet – çökme eğrisi ve numunenin darbe sonrası üst ve alt yüzeylerinin fotoğrafları	42
Şekil 4. 8. 20J uygulanan 8 tabakalı 3. grup numunelerin kuvvet – çökme eğrisi ve numunenin darbe sonrası üst ve alt yüzeylerinin fotoğrafları	43
Şekil 4. 9. 30J uygulanan 8 tabakalı 3. grup numunelerin kuvvet – çökme eğrisi ve numunenin darbe sonrası üst ve alt yüzeylerinin fotoğrafları	44
Şekil 4. 10. 10J uygulanan 12 tabakalı 1. grup numunelerin kuvvet – çökme eğrisi ve numunenin darbe sonrası üst ve alt yüzeylerinin fotoğrafları.....	45
Şekil 4. 11. 20J uygulanan 12 tabakalı 1. grup numunelerin kuvvet – çökme eğrisi ve numunenin darbe sonrası üst ve alt yüzeylerinin fotoğrafları.....	46

Şekil 4. 12. 30J uygulanan 12 tabakalı 1. grup numunelerin kuvvet – çökme eğrisi ve numunenin darbe sonrası üst ve alt yüzeylerinin fotoğrafları.....	47
Şekil 4. 13. Artan darbe enerjisi altında 8 ve 12 tabakalı 1. grup numuneleri için kuvvet-çökme eğrileri.....	48
Şekil 4. 14. Artan darbe enerjisi altında 8 ve 12 tabakalı 1. grup numuneler için absorbe edilen enerji-zaman eğrileri.....	49
Şekil 4. 15. Artan darbe enerjisi altında 8 ve 12 tabakalı 1. grup numuneleri için hız-zaman eğrileri	50
Şekil 4. 16. Artan darbe enerjisi altında 8 ve 12 tabakalı 1. grup numunelerin çökme-zaman eğrileri.....	51
Şekil 4. 17. Artan darbe enerjisi altında 8 ve 12 tabakalı 1. grup numunelerinin alt yüzlerinin fotoğrafları.....	52
Şekil 4. 18. 3 farklı darbe enerjisi uygulanan 8 ve 12 tabakalı numuneler için maksimum kuvvet-darbe enerjisi grafiği	53
Şekil 4. 19. 8 ve 12 tabakalı numuneler için maksimum çökme-darbe enerjisi grafiği	54
Şekil 4. 20. Farklı oryantasyona sahip 8 tabakalı numunelerinin kuvvet - çökme eğrileri	55
Şekil 4. 21. Farklı oryantasyona sahip 8 tabakalı numunelerin hız - zaman eğrileri.....	56
Şekil 4. 22. Farklı oryantasyona sahip 8 tabakalı numunelerin çökme - zaman eğrileri	57
Şekil 4. 23. 10J, 20J ve 30J darbe enerji değeri uygulanan 8 tabakalı 1. grup numunelerinde oluşan hasar modları.....	58
Şekil 4. 24. 10J uygulanan 8 tabakalı numunelerin kuvvet – deplasman eğrisi, numunelerin darbe sonrası ve aynı numunelerin bası testleri sonrası hasar fotoğrafları.....	60
Şekil 4. 25. 20J uygulanan 8 tabakalı numunelerin kuvvet – deplasman eğrisi, numunelerin darbe sonrası ve aynı numunelerin bası testleri sonrası hasar fotoğrafları.....	61
Şekil 4. 26. 30J uygulanan 8 tabakalı numunelerin kuvvet – deplasman eğrisi, numunelerin darbe sonrası ve aynı numunelerin bası testleri sonrası hasar fotoğrafları.....	62
Şekil 4. 27. 10J uygulanan 12 tabakalı numunelerin kuvvet – deplasman eğrisi, numunelerin darbe sonrası ve aynı numunelerin bası testleri sonrası hasar fotoğrafları.....	63
Şekil 4. 28. 20J uygulanan 12 tabakalı numunelerin kuvvet – deplasman eğrisi, numunelerin darbe sonrası ve aynı numunelerin bası testleri sonrası hasar fotoğrafları.....	64
Şekil 4. 29. 30J uygulanan 12 tabakalı numunelerin kuvvet – deplasman eğrisi, numunelerin darbe sonrası ve aynı numunelerin bası testleri sonrası hasar fotoğrafları.....	65
Şekil 4. 30. 10J, 20J ve 30J darbe enerji değeri uygulanan 8 ve 12 tabakalı numunelerin darbe sonrası bası hasarlarının fotoğrafları	66
Şekil 4. 31. 8 ve 12 tabakalı numunelerin darbe enerjisine bağlı olarak darbe ..	67
Şekil 4. 32. 8 ve 12 tabakalı numunelerin kuvvet – deplasman grafikleri.....	67
Şekil 4. 33. Farklı lif yönlenme açısına sahip olan 8 tabakalı numunelerin darbe sonrası bası hasarlarının fotoğrafları.....	68

Şekil 4. 34. 8 tabakalı 2.grup kuru numunelerin darbe sonrası bası hasarlarının fotoğrafları.....	69
Şekil 4. 35. Darbe sonrası deniz suyuna maruz bırakılan 8 tabakalı 2.grup numunelere ait darbe ve darbe sonrası bası testi hasar ilerleme fotoğrafları.....	70
Şekil 4. 36. Darbe sonrası yağmur suyuna maruz bırakılan 8 tabakalı 2.grup numunelere ait darbe ve darbe sonrası bası testi hasar ilerleme fotoğrafları	71
Şekil 4. 37. 10J darbe uygulanan farklı ortam şartlarında bekletilen numuneler için kuvvet – deplasman grafikleri.....	72
Şekil 4. 38. 20J darbe uygulanan farklı ortam şartlarında bekletilen numuneler için kuvvet – deplasman grafikleri.....	72
Şekil 4. 39. 30J darbe uygulanan farklı ortam şartlarında bekletilen numuneler için kuvvet – deplasman grafikleri.....	72
Şekil 4. 40. Farklı ortamlarda bekletilen 8 tabakalı 2. grup numunelerin darbe enerjisine bağlı olarak darbe sonrası bası mukavemetlerinin değişimi.....	73
Şekil 4. 41. Yamasız numune, 2 ve 4 tabakalı yama yapılan numune fotoğrafları.....	74
Şekil 4. 42. Yağmur suyunda bekletilen yamalı ve yamasız numuneler için darbe sonrası bası mukavemetleri	75
Şekil 4. 43. Deniz suyunda bekletilen yamalı ve yamasız numuneler için darbe sonrası bası mukavemetleri	75
Şekil 4. 44. 8 ve 12 tabakalı yamalı ve yamasız numunelerin darbe sonrası bası mukavemetleri	76

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 3. 1. Darbe sonrası bası testine maruz kalacak plakaların özellikleri	24
Çizelge 3. 2. Darbe sonrası bası testine maruz kalacak numunelere yapıştırılan yamaların özellikleri.....	27



SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

CAI	Darbe sonrası bası (Compression after impact)
d - t	Çökme – zaman eğrileri
E_a - t	Absorbe edilen enerji – zaman eğrileri
E_1	Fiber yönündeki elastisite modülü
E_2	Fiber yönüne dik doğrultudaki elastisite modülü
F - d	Kuvvet – çökme eğrileri
F - t	Kuvvet – zaman eğrileri
G_1^8	8 tabakalı 1. grup numuneler
G_1^{12}	12 tabakalı 1. grup numuneler
G_2^8	8 tabakalı 2. grup numuneler
G_3^8	8 tabakalı 3. grup numuneler
v - t	Hız – zaman eğrileri



1. GİRİŞ

Malzeme sektörü, ekonomide tüm faaliyetlere girdi sağlayan temel, yaygın alanlardan biridir. Bu niteliği açısından mikro-elektronik, biyoteknoloji ve nanoteknoloji ile birlikte sınai üretimin karakterini değiştiren ana teknolojik alanlardan biri olarak kabul edilmektedir. Savunma, havacılık, mikro-elektronik, iletişim ve otomotiv sektörlerinde kullanılacak ileri malzemelerin ortaya çıkışı, malzeme biliminin bu gereksinimleri karşılayabilecek çok disiplinli, proses ağırlıklı bir alana dönüşmesiyle birlikte ilerlemektedir. Bu bağlamda polimerik ve kompozit malzemeler, akıllı ve işlevsel malzemeler, optoelektronik malzemeler gibi önümüzdeki yıllarda önemli çekim alanları oluşturacak ileri malzeme alanları, ülkemiz için de önemli fırsat alanlarıdır (Arıcasoy, 2006).

Dünyada artan insan gücü ihtiyacını karşılamak için birçok yenilikler ortaya çıkmaktadır. Hemen hemen her alanda meydana gelen bu teknolojik yenilikler, malzeme alanında da yeni çalışmaları beraberinde getirmiştir.

Gelişen teknolojiyle birlikte doğada bulunan materyallerin özellikleri yetersiz kalmış, malzeme özelliklerini geliştirmeye ihtiyaç duyulmuştur. Elde bulunan malzemelere oranla daha ekonomik, dayanıklı, hafif, ergonomik, kolay imal edilebilir malzeme türleri için çalışmalar hızla artmaktadır. Böylece değişik özelliklere sahip mevcut malzemeleri fiziksel yollarla birleştirilmesiyle oluşturulan kompozit malzemeler büyük önem kazanmıştır (Yırtımcı, 2011).

Malzemeler genellikle metaller, seramikler ve organik malzemeler olarak üç ana gruba ayrılırlar. Bu üç grubun birbirine göre üstün ve zayıf yönleri vardır. Bu üç ana grubun yanında, aynı ya da daha fazla malzemenin uygun olan özelliklerini tek malzemedeki toplamak, ya da yeni bir özellik ortaya çıkarmak amacıyla makro düzeyde birleştirilmesi ile oluşturulan malzemeler, kompozit malzemeler olarak adlandırılır (Aran, 1990).

Kompozit malzemelerin metalik malzemelere göre yoğunluklarının düşük ve mukavemetlerinin yüksek olması onları özellikle hafifliğin istendiği uzay sanayi, uçak sanayi ve otomotiv sanayi gibi ileri teknoloji gerektiren alanlarda vazgeçilemez bir malzeme kılmıştır (Aktaş ve Karakuzu, 2007). Kompozitlerin özgül ağırlıklarının düşük oluşu, hafiflik gerektiren konstrüksiyonlarda büyük bir avantaj sağlamaktadır. Bunun yanında, fiber takviyeli kompozit malzemelerin korozyona dayanımları, ısı, ses ve elektrik izolasyonu sağlamaları da ilgili kullanım alanları için bir üstünlük sağlamaktadır.

Mühendislik malzemeleri, kullanım yerlerine bağlı olarak çeşitli yüklere ve çarpma etkilerine maruz kalabilirler. Darbe karşısında malzemede oluşan hasarın, darbenin özellikleri ve malzemenin yapısı ile sıkı bir bağlantısı vardır. Hasar malzeme içinde başlar ve küçük delaminasyonlar şeklinde gelişerek büyür. Darbe olayında genellikle matris çatlağı, delaminasyon ve fiber kırılması gibi hasar tipleri oluşur (Çalık, 2010). Tabakalı yapıya sahip bir kompozit malzemede oluşan hasarın ve malzemenin darbeye karşı davranışının değerlendirilmesi oldukça güç ve uzmanlık isteyen bir konudur. Bu durumun en önemli sebebi, kompozit malzemelerin bilinen türdeki malzemelere göre daha karmaşık bir yapıya sahip olmalarıdır (Turan, 2007).

Yüksek hızlardaki darbe yükü malzeme üzerinde gözle görülür fiber kırılmaları gibi hasarlar meydana getirir. Fakat düşük ve orta hızlardaki darbe daha az önemli gibi görünse de malzemenin içerisinde matris çatlakları ve delaminasyonlara (komşu iki tabakanın birbirinden ayrışmasına) neden olmaktadır. Önceden görülemeyen ve potansiyel tehlike arz eden bu hasarlar çalışma esnasında büyüyerek büyük felaketlere sebebiyet verebilirler (Topcu vd., 2007). Bunun yanısıra kompozit malzemeler deniz suyu, yağmur suyu, rüzgar, güneş gibi çevresel koşulların da etkisine maruz kalabilirler. Bu çevresel koşullar, fiber - matris ara yüzeyinde beklenmedik hasarlara sebebiyet verebileceğinden dolayı kompozit malzemenin mekanik davranışı önemli şekilde etkilenir (Xiao vd., 1997; Xiao ve Shanahan, 1998; Zhou ve Lucas, 1999; Nogueira vd., 2001; Karakuzu vd., 2017).

1.1. Kompozit Malzemelerin Ana Elemanları

Kompozit malzemelerin üç ana elemanı bulunmaktadır.

- Matris elemanı
- Takviye elemanı
- Katkı maddeleri

1.1.1. Matris elemanı

Kompozit malzemelerde matrisin üç temel fonksiyonu vardır. Bunlar, elyafları bir arada tutmak, yükü elyaflara dağıtmak ve elyafları çevresel etkilerden korumaktır. İdeal bir matris malzemesi başlangıçta düşük viskoziteli bir yapıda iken daha sonra elyafları sağlam ve uygun bir şekilde çevreleyebilecek katı forma kolaylıkla geçebilmelidir. Matris malzemesi, termoset veya termoplastik polimer malzeme olarak sürekli fazı oluşturur. Termosetler grubunda ağırlıklı olarak polyesterler kullanılır. Bunun yanı sıra vinil ester/bisfenol, epoksi reçine ve fenolik reçinelerin kullanımı da giderek yaygınlaşmaktadır. Termoplastik grubunda yaygın olarak poliamid ve polipropilen kullanılmakta, bunların yanı sıra hibrit formda polietilen ve polibutilen tereftalat, polietereterketon ve polietersulfon kullanımı da dikkat çekmektedir. Matrisler güçlü yapıştırma, çevre ve atmosfer şartlarına yüksek dayanım ve yüksek mekanik özellikler gösterirler. Bir matrisin öncelikle sağladığı mekanik özellikler yüksek sertlik ve yüksek dayanıklılık değerleridir. İyi bir malzeme sert olmalıdır, fakat gevrek bir malzemenin gösterdiği davranışlardan dolayı performansı düşmemelidir. Bu özellikleri büyük ölçüde karşılayan polimer esaslı matrisler termoset ve termoplastik matrislerdir. Kompozit malzemelerde polimer esaslı matrislerin yanı sıra metal, seramik türevi malzemeler de matris olarak kullanılmaktadır. Metal matrisler büyük çaplı uygulamalarda kullanılmak için çok pahalı ve uygulama çalışmaları da çok zordur. Seramik matrisler ise yüksek oranda kırılğan olmalarından dolayı yeterli dayanıklılığa sahip olmamaları nedeniyle kullanım alanları yüksek ısı ile kullanılan yerlerle sınırlanmaktadır (Yıldızhan, 2013).

1.1.2. Takviye elemanı

Matris malzeme içinde yer alan takviye elemanı kompozit yapının temel mukavemet elemanlarıdır. Düşük yoğunluklarının yanı sıra yüksek elastisite modülüne ve sertliğe sahip olan elyaflar kimyasal korozyona da dirençlidir. Günümüzde kompozit yapılarda kullanılan en önemli takviye malzemeleri sürekli elyaflardır. Bu elyaflar özellikle modern kompozitlerin oluşturulmasında önemli bir yer tutarlar. Aramid, karbon, grafit, boron, silisyum karbür, alümina, cam ve polietilen malzemelerin kısa veya uzun sürekli elyaf formunda kullanıldığı ve matrisi yaklaşık % 60 hacim oranında pekiştirici işlevi olan malzemelerdir.

Kompozit malzemelerde kullanılan elyafların fiziksel biçimleri, oluşturulan yeni malzemenin özellikleri üzerinde çok önemli bir faktördür. Takviyeler temel olarak parçacıklar, sürekli ve süreksiz elyaflar olmak üzere 3 farklı biçimde bulunmaktadır. Parçacık genelde küresel bir biçimde olmamasına rağmen her yönde yaklaşık olarak eşit boyutlardadır. Çakıl, mikrobalonlar ve reçine tozu parçacık takviyelerine örnek olarak verilebilir. Takviye malzemelerinin bir boyutu diğer boyutlarına göre daha fazla olduğunda elyaflardan bahsedilir. Süreksiz elyaflar (doğranmış elyaflar, öğütülmüş elyaflar veya whiskers-püskül) birkaç milimetreden birkaç santimetreye kadar değişen ölçülerde olabilmektedir. Çoğu lifin çapı birkaç mikrometreyi geçmemektedir. Bu nedenle elyafların parçacık halden lif haline geçişi için çok fazla bir uzunluğa gerek yoktur.

Kompozit malzemelerde kullanılan başlıca elyaf türleri;

- Cam elyafı
- Karbon (Graphite) elyafı (PAN -polyacrylonitrile- ve zift kökenli)
- Aramid (Aromatic Polyamid) elyafı (Ticari ismi; Kevlar-DuPont)
- Bor elyafı
- Silisyum karbür elyaf
- Alumina elyaf

Cam elyafı günümüzde en çok kullanılan ve geçerli takviye malzemesi olmasına rağmen gelişmiş kompozit malzemelerde genellikle saf karbon elyafı

kullanılmaktadır. Karbon elyafı cam elyafına oranla daha güçlü ve hafif olmasına rağmen üretim maliyeti daha fazladır. Hava araçlarının iskeletlerinde ve spor araçlarında metallerin yerine kullanılmaktadır. Karbon elyafından daha güçlü ve aynı zamanda daha pahalı olan ise bor elyafıdır. Kompozit malzemeye çok yüksek düzeyde sağlamlık katan ve sertlik kazandıran kevlar (aramid) bir polimer elyafıdır. Hafiflik ve güvenilir konstrüksiyon amaçlanan ürünlerdeki kompozit malzemelerde aramid kullanılır (Yıldızhan, 2013).

1.1.3. Katkı maddeleri

Dolgular, kimyasallar ve diğer katkıları matrise niteliklerine göre özelliklerin geliştirilmesi amacıyla ilave edilirler (Yıldızhan, 2013).

1.2. Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması

1.2.1. Elyafli kompozitler

Bu kompozit tipi ince elyafların matris yapıda yer almasıyla meydana gelmiştir. Elyafların matris içindeki yerleşimi kompozit yapının mukavemetini etkileyen önemli bir unsurdur. Uzun elyafların matris içinde birbirlerine paralel elyaflara dik doğrultuda oldukça düşük mukavemet elde edilir. İki boyutlu yerleştirilmiş elyaf takviyelerle her iki yönde eşit mukavemet sağlanırken, matris yapısında homojen dağılmış kısa elyaflarla ise izotrop bir yapı oluşturmak mümkündür.

Elyafların mukavemeti kompozit yapının mukavemeti açısından çok önemlidir. Ayrıca, elyafların uzunluk/çap oranları arttıkça matris tarafından elyaflara iletilen yük miktarı artmaktadır. Elyaf yapının hatasız olması da mukavemet açısından çok önemlidir. Kompozit yapının mukavemetinde önemli olan diğer bir unsur ise elyaf matris arasındaki bağın yapısıdır. Matris yapıda boşluklar söz konusu ise elyaflarla temas azalacaktır. Nem absorpsiyonu da elyaf ile matris arasındaki bağı bozan olumsuz bir özelliktir (Yırtımcı, 2011).

1.2.2. Parçacıklı kompozitler

Bir matris malzeme içinde başka bir malzemenin parçacıklar halinde bulunması ile elde edilir. İzotrop yapılarıdır. Yapının mukavemeti parçacıkların sertliğine bağlıdır. En yaygın tip plastik matris içinde yer alan metal parçacıklardır. Metal parçacıklar ısı ve elektriki iletkenlik sağlar. Metal matris içinde seramik parçacıklar içeren yapıların sertlikleri ve sıcaklık dayanımları yüksektir. Uçak motor parçalarının üretiminde tercih edilmektedirler (Yırtımcı, 2011).

1.2.3. Tabakalı kompozitler

Tabakalı kompozitler bilinen en eski kompozit malzeme şeklidir. En az iki değişik levha malzemenin tabakalar halinde dizilerek oluşturduğu malzemelere tabakalı kompozit malzemeler denir. 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, ısı yalıtım özellikleri iyileşirken çekiciliği de artar.

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.

Tabakalı kompozitlerin üretiminde, genel olarak tabaka niteliğindeki her türlü malzeme kullanılabilir. Burada ilke birbirlerinin özelliklerini olumlu yönde takviye edecek bir kompozisyonun oluşturulmasıdır. Tabakalı kompozitlerin üretiminde farklı türden veya tekbir türden malzeme kullanılabilir. Tabakalı kompozitleri, üretimde kullanılan malzemelerin türlerinden hareketle, farklı malzemelerden oluşan tabakalı kompozit malzemeler ve tek tür malzemelerden oluşan tabakalı kompozit malzemeler şeklinde iki grupta toplamak mümkündür (Yırtımcı, 2011).

Tabakalı kompozit malzemeler içinde cam tabakalarla üretilen kompozitler önemli bir gurubu oluşturur. Bilindiği gibi cam saydam olmasının yanı sıra dış ve iç ortam koşullarına çok iyi dayanım gösteren bir malzemedir. Ancak kırılma yapısı, özellikle darbe ve kırılma riski yüksek olan yerlerdeki uygulamalarda sorun oluşturmakta ve çeşitli açılardan tehlike meydana getirebilecek olan bu özelliğin giderilmesi gerekmektedir. Cam tabakalı kompozit malzeme en basit biçimiyle, iki cam tabakası arasına bir PVB (polivinilbuteral) tabaka konularak, tabakaların belirli bir sıcaklıkta ve basınç altında yapıştırılmalarıyla elde edilmektedir. PVB kırılmaksızın çok yüksek oranda şekil değişikliği gösterebilen esnek bir malzemedir. Üretimin öncesi yarı saydam plastik bir film olan PVB tabakası, uygulama sırasında sıcaklığın etkisiyle saydamlaşmakta ve her iki yanındaki cam tabakalarının yüzeyine yapışmaktadır. Böylelikle, ortada PVB katmanı olan ve bu katmanla birbirine yapışmış, her iki yüzeyi cam olan kompozit malzeme elde edilmektedir. Yüzeyleri oluşturan cam tabakaların dış atmosfer koşullarına dayanımını ve saydamlık özelliğini koruyan bu kompozit malzemenin, darbe etkisiyle kırılması halinde parçalar dağılmamakta ve dolayısıyla tehlikeli bir durum oluşturmamaktadır. Bu kompozit malzemenin üretiminde cam ve PVB tabakalarının sayıları çoğaltılarak kompozitin dayanımı da arttırılabilmektedir.

Kırılma sırasında camın dağılmaması veya yabancı cisimlerin geçişine karşı dirençli olması nedeniyle kullanılan tabakalı camlar, şeffaf ve geçirgen polimer malzeme katmanlarının bir arada kullanılmasıyla çeşitli kompozit malzemeler üretilmektedir. Cam lifi veya asbest lifi dokumalara silikon emdirilmesiyle yüksek sıcaklığa dayanıklı tabakalı kompozitler de elde edilmektedir.

Ayrıca cam ve naylon elyaf dokumalar çeşitli reçinelerle tabakalar halinde birleştirilerek, çarpmaya, herhangi bir nesnenin batmasına veya benzer etkilere dirençli, çok hafif kompozitler üretilmektedir. Bu malzemeler çeşitli amaçlı zırh kalkan ve benzeri elemanların yapımında da kullanılmaktadır. Plastik esaslı tabakalı kompozit malzemelerin çok değişik türleri mevcuttur ve farklı alanlarda kullanılmaktadır (Yırtımcı, 2011).

1.3. Darbe Test Metotları ve Hasar Değerlendirmeleri

Darbe; düşük, orta veya yüksek hızlarda çok kısa bir süre içinde, bir malzeme veya yapı üzerine uygulanan anlık bir dış kuvvet olarak tanımlanabilir. Malzeme veya yapı üzerine gelen darbeleri başlıca düşük hızlı veya yüksek hızlı olarak sınıflandırmak mümkündür. Düşük hızlı darbelerde darbe hızı, 1 ila 10 m/s arasında değişmektedir (Mili ve Necip, 2001).

Mühendislik uygulamalarında özellikle de mekanik uygulamalarda, dışarıdan gelecek herhangi bir darbeye karşı beklenmedik sonuçların ortaya çıkmaması için malzemenin gerekli en uygun cevabı veya davranışı verebilmesi istenir. Uygulama yerine ve kullanım amacına göre malzemenin maruz kalabileceği darbeler çok farklı şekillerde olabilir. Buna karşın darbeye karşı olan cevap da malzemenin kendisi tarafından belirlenir. Şöyle ki metal ve metal alaşımları durumunda darbeye karşı malzemenin cevabı; elastik uzama ve plastik şekil değiştirme şeklinde meydana gelir ve darbe hasarı çoğunlukla çarpma yüzeyinde başladığı anda kolay bir şekilde tespit edilebilir. Darbe hasarı, metal malzemelerde genellikle bir tehlike işareti olarak kabul edilmez, çünkü metaller plastik şekil değiştirebilme kabiliyetlerinden dolayı büyük miktarda enerjiyi soğurabilir. Metaller sabit bir gerilme durumunda yapı sertleşmeden önce çok büyük uzamalarda akabilirler. Bu nedenle oluşacak kopmalar ani ve beklenmedik olmaz (Kara, 2006).

Kompozit malzemelerde ise bir darbe sonucunda oluşan hasar, çarpmanın türüne göre darbeye maruz kalmayan yüzeyde meydana gelebilir. İyapıda oluşan delaminasyonlar (tabakalar arasında ayrılma) şeklinde başlayabilir. Yukarıda da bahsedildiği gibi metallerde darbe cevabı, plastik şekil değiştirme sonucunda bir kopma şeklinde olmasına rağmen kompozitler çok değişik modlarda hasara uğrayabilirler ve bu hasar modlarında parçanın yapısal bütünlüğünde ciddi bir değişiklik meydana gelmez. Genellikle gözle görülmeyen veya çok zayıf bir şekilde görülebilen hasarlar meydana gelir. Plastik matrisli kompozit malzemeler enerjiyi elastik deformasyon ve bazı hasar mekanizmaları (matris çatlaması, delaminasyon, fiber kopması vb.) sayesinde soğurabilirler. Tabakalı kompozit malzemede eğer kalınlık boyunca bir takviye söz konusu

değil ise en büyük darbe hasarı enine doğrultuda oluşacaktır. Bunun en önemli nedenlerinden birisi, enine doğrultudaki malzeme elastik özelliğinin düşük olmasıdır. Bu nedenle bir kompozit malzemenin enine hasar direnci nispeten zayıftır. Tabakalar arası gerilmeler (kesme ve normal), tabakalar arası mukavemetin düşük olmasından dolayı ilk kopmalara sebep olan gerilmelerdir. Darbe esnasında kompozit malzemeye aktarılacak enerjinin miktarı, malzemenin bu enerjiyi sönmleyebilmesi için oluşacak hasar modlarını belirleyecektir. Bu nedenle tabakalı bir kompozit malzemedeki darbenin oluşturacağı hasarı tahmin etmek için darbe hızının belirlenmesi çok büyük bir öneme sahiptir (Kara, 2006).

Düşük hızlı darbeler normal olarak çarpışma temas anında malzeme içyapısında deformasyon oluşturan darbelerdir. Bazen düşük hızlı darbe düşük enerjili darbe olarak ta tanımlanır. Düşük hızlı darbede malzemenin içyapısında darbeye karşı cevap verebilmek için gerekli olan temas süresi yeterlidir ve sonuç olarak daha fazla enerji elastik olarak absorbe edilir. Bu nedenle hedefin dinamik yapısal cevabı çok büyük bir öneme sahiptir. Yüksek hızlı darbede ise malzeme tepkisi, malzeme boyunca yayılan gerilme dalgası etkin olduğu için malzemenin darbeye karşı cevap verme zamanı yeterli değildir ve çok küçük bir bölgede hasar oluşur (Şenel vd., 2009).

1.3.1. Darbe hasarına etki eden parametreler

Kompozit yapılarda hasar genel itibariyle lokal gerilme yığılımları nedeniyle meydana gelir. Hasar, yapının rijitliğini ve mukavemetini dolayısıyla ömrünü azaltır. Eğer darbe esnasında darbe enerjisi malzemenin elastik sınırını aşmaz ise o yapıda hasar gözlenmez. Matris kırılması, fiber kırılması ve tabakalar arası ayrılma (delaminasyon) gibi hasar tiplerini etkileyen parametreler aşağıda detaylandırılmıştır.

Kompozit plakanın sahip olduğu mekanik özellikler (E_1 , E_2 , ν_{12} ve G_{12}) yapının rijitliğini değiştireceğinden darbe esnasındaki temas kuvvetinin zamana göre değişimini de etkileyecektir. Lif yönündeki elastisite modülü (E_1) eğilme rijitliğini etkilerken, fibere dik yöndeki elastisite modülü (E_2) temas kuvvetine

daha çok etki eder. E_1 ve E_2 elastisite modülleri arasındaki farkın artışı, kompozit plakanın her bir tabakacığının eğilme rijitliğini değiştirecek ve sonuçta delaminasyon miktarının artmasına neden olacaktır. Takviye elemanının elastisite modülü genel itibariyle bağlayıcı elemanının elastisite modülünden daha yüksektir. Bu nedenle, takviye elemanı matris kırılması ve delaminasyonun başlamasına neden olmaz (Karakuzu vd., 2007).

Bir kompozit plakanın rijitliği tabakanın kalınlığı ile orantılıdır. Kalınlık da darbe esnasında oluşan maksimum temas kuvvetini değiştirir. Düşük hızlarda, plaka genel itibariyle eğilmeye çalışır. Bu durumda, plakanın alt tabakasında en büyük çeki gerilmeleri ve dolayısıyla alt tabakadan başlamak üzere matris kırılmaları meydana gelir. Daha sonra bu matris kırılması neticesi en alt ara yüzeyde delaminasyon oluşur. Delaminasyon farklı lif yönelme açılara sahip tabakacıkların kalınlığının artması ile artar (Kıratlı, 2012)

Tabakaların yönelme açıları da darbe hasarını etkiler. Tabakalar arası ayrılma yani delaminasyon, tabakaların eğilme rijitliklerinin farkından dolayı ortaya çıkar. Doğal olarak delaminasyon, yönelme açılarının farklı olduğu iki komşu tabakanın arasında oluşur. Tabakalar arası ayrılma yönü ise alt tabakanın fiberi yönündedir (İçten ve Kıral, 2010).

Darbe hasarına etkileyen bir diğer parametre de vurucu özellikleridir. Vurucunun elastisite özelliğinin yüksek olması daha yüksek temas kuvvetinin ortaya çıkması ve vurucu ile hedef arasındaki temas alanının azalması demektir. Bunların neticesinde daha fazla hasar meydana gelir. Vurucu kütlesi değişimi enerji miktarını dolayısıyla darbe hasarı miktarını değiştirecektir. Daha yüksek kütleyle sahip vurucunun neden olduğu temas kuvveti ve temas süresi daha fazla olacaktır. Kinetik enerjileri aynı olmasına rağmen, küçük kütleli yüksek hızlı vurucu ile yüksek kütleli düşük hızlı vurucunun neden olacağı hasar aynı olmayacaktır (Karakuzu vd., 2007).

1.3.2. Düşük hızlı darbe test metotları

Malzemelerin darbe direncinin belirlenmesi için yapılan düşük hızlı darbe test metotları;

- ✓ Izod ve Charpy darbe test metotları
- ✓ Pendulum darbe test metodu
- ✓ Ankastre edilmiş kiriş darbe test metodu
- ✓ Ağırlık düşürmeli darbe test metodu

1.3.2.1. Izod ve Charpy darbe test metotları

Izod ve Charpy darbe test metotları basit sarkaç testleri olup, metal malzemelerin darbe performansının özellikle de gevrek/sünek geçiş sıcaklığının ve çentik hassasiyetinin değerlendirilmesinde uygulanan test metotlarıdır. Bu iki metot da numuneye uygulanacak olan darbenin limiti bellidir ve bu iki test metodunun birbirlerinden bazı farklılıkları vardır. Örneğin sarkaç tipleri, numunelerin desteklenme şekli ve numunelere açılan çentiğe göre darbe uygulanan yüzey farklıdır. Numunelerin ortasına gelecek şekilde açılan çentik, U veya V şeklindedir (Reid ve Zhou, 1999).

1.3.2.2. Pendulum (Sarkaç) darbe test metodu

Pendulum darbe test sistemi ağırlık düşürmeli darbe test sistemine göre bazı avantajları olan bir test sistemidir. Bu sistem aynı tip ağırlık için küçük darbe enerjilerinin verilerinin alınmasında güvenilir olduğu gibi darbe hızı ve geri sekme hızının ölçülmesinde de bir avantaja sahiptir. Böylece, hareket denkleminin integrasyonu için kontrol sağlanır ve absorbe edilen enerji doğru bir şekilde ölçülebilir. Bununla birlikte, bu hız ölçümleri, (tüpün ivmesi yaklaşık sıfır olduğunda) pendulum sarkacın altından alınır. Bu durum, ağırlık düşürmeli darbe sistemlerinden elde edilen hız ölçümlerinden daha tutarlı olmasını sağlar.

Ağırlık düşürmeli darbe sisteminin kusuru ise, darbe hızının ölçüldüğü andaki tüpün ivmesinin sıfır olmamasıdır. Aslında, serbest düşen toplam ağırlığın

ivmesi sabittir. Çünkü ağırlık sadece yer çekimi ivmesi ile düşmektedir. Buna göre, hız ölçümünü yapan hız sensörünün konumunda en küçük bir değişiklik yapıldığında, hız hesaplamasında ağırlık düşürmeli sistemde meydana gelen etki pendulum darbe sisteminde meydana gelen etkiye göre çok daha büyüktür (Aktaş, 2007).

1.3.2.3. Ankastre edilmiş kiriş darbe test metodu

Ankastre edilmiş kiriş darbe testi yaygın olarak kullanılmayan düşük hızlı bir darbe test sistemidir. Bu darbe sisteminde 1 inch çapındaki çelik bir top esnek bir kirişin ucuna monte edilmiştir ve bu top çekilip bırakıldığında numune üzerine çarpar ve darbenin meydana gelmesini sağlar (Aktaş, 2007).

1.3.2.4. Ağırlık düşürmeli darbe test metodu

Ağırlık düşürmeli darbe test metodu, Izod ve Charpy test metotları yerine malzemelerin dinamik özelliklerinin belirlenmesinde yaygın olarak kullanılan bir metottur. Izod ve Charpy test metotlarında darbenin limiti belli iken, Ağırlık düşürmeli darbe test metodunda numuneye çarpma hızı ve darbe enerjisi istenilen şekilde ayarlanabilir ve istenilen ağırlığın istenilen yükseklikten numune üzerine düşürülmesi sağlanabilir. Ayrıca bu metot ile numuneye saplanma, delinme ve tekrarlı darbe testleri de yapılabilmektedir. Test cihazı, ağırlıklarıyla birlikte bir çapraz kafaya, pnömatik bir sabitleyiciye, pnömatik geri sekme frenlerine ve bir veri yazılım sistemine sahiptir. Ağırlık kaldırma ve tutma bloğu, altında bulunan ek ağırlıkların konulmasını sağlayan ağırlık kutusunu ve onunda altında bulunan çapraz kafa ve vurucuyu (tüp) istenilen yüksekliğe çıkartarak gerekirse yay desteğini de alarak bu ağırlıkların numune üzerine düşürülmesini sağlar. Böylece istenilen darbe enerjisinde veya istenilen hızda veya istenilen yükseklikten numuneye darbe uygulanmış olur.

Vurucu uç yarıçapı olarak genelde 12,7 mm çapa sahip yarı küresel rijit bir uç kullanılır. Fakat istenilirse farklı yarıçapta veya formda bir uç ta vurucu olarak

kullanılabilir. Numuneye darbenin uygulanmasından sonra vurucu, yük sinyallerinin üretilmesini sağlar ve bu yük sinyalleri yük verileri olarak bilgisayara bağlı olan bir veri toplama kartına aktarılır. Bu veri toplama kartı da verileri, veri elde etme yazılımına aktararak test sonuçlarına ait verilerin elde edilmesini sağlar.

Pnömatik geri sekme frenleri ise eğer devreye alınırsa numune üzerine tekrarlı darbelerin önlenmesini sağlar veya kapatılırsa darbe, numune tarafından sönmülene kadar devam eder. Hız detektörü ise vurucu tarafından numuneye darbenin gerçekleşmesinden hemen önceki darbe hızını ölçerek sinyal şartlandırma birimi ile darbe hızının veri toplama kartına aktarılmasını sağlar.

Bu tip bir darbe test cihazında diğer darbe test cihazlarına göre en büyük avantajlardan bir tanesi de cihazın alt kısmına yerleştirilebilecek olan bir çevresel ısıtma/soğutma kabini'dir. Bu ısıtma/soğutma kabini ile istenilen sıcaklık ortamında veya istenilen soğuk ortamda numunelere darbe testleri yapılabilir. Örneğin karbon fiber takviyeli kompozitler özellikle havacılık ve uzay sanayinde çok yaygın bir kullanıma sahiptir ve bu kompozitler için havadaki çevresel şartlar -73°C ila $+80^{\circ}\text{C}$ arasında, uzaydaki çevresel şartlar ise -140°C ila $+120^{\circ}\text{C}$ arasında olabilmektedir (Im vd., 2001). Dolayısıyla bu tür kompozitlerin çalışma koşullarındaki darbe analizlerinin yapılabilmesi için sıcak ve soğuk ortamlardaki darbelerinin simüle edilmesi gerekir (Yıldızhan, 2013).

1.3.3. Yüksek hızlı darbe test metotları

Yüksek hızlı darbe test metotlarında ise küçük ağırlığa sahip ama yüksek hızlı parçaların malzeme veya yapılar üzerine olan darbeleri simüle edilir. Bu darbe test metotları basınçlı hava ile darbe test metodu ve Split-Hopkinson basınçlı çubuk test metodudur.

1.3.3.1. Basınçlı hava ile darbe test metodu

Basınçlı hava ile darbe testi, kütlesi 250 gramdan küçük ve hızı 100 m/s'den büyük vurucular için uygun bir metottur. Bir filtre tarafından temizlenen hava, bir basınç regülatörü tarafından çekilir. Bu regülatör, sıkıştırılmış yüksek basınçlı havayı, basınç kontrollü bir şekilde verilmek üzere bir hava tankının içine gönderir. Basınçlı hava bir selenoid valf tarafından salıverilir (ince bir diyaframın kırılması veya diğer mekanizmalar). Daha sonra vurucu (mermi), namlunun (tüp) içinde ilerler ve bir hız sensöründen geçer (bu durum mermi hala namlunun içindeyken veya namlunun hemen çıkışında gerçekleşir). Basit bir hız sensörü ise ışık yayan bir diyot ve bir fotodedektörden meydana gelmektedir. Uzunluğu önceden bilinen bu mermi, ışık kirişini keser ve bu kesintiden dolayı sensör tarafından bu esnada bir sinyal üretilir. Üretilen bu sinyal de merminin numuneye çarpmadan önceki hızının hesaplanmasında kullanılır. Birçok deney düzeninde bu iki ışık yayan diyot ve fotodedektör sensör çifti kullanılır. Merminin bu iki sensör arasındaki ilerleme süresi dijital bir sayıcı tarafından belirlenir ve hızın hesaplanmasında kullanılır (Mili ve Necib, 2001; Abrate, 1998).

1.3.3.2. Split – Hopkinson basınçlı çubuk test metodu

Malzemelerdeki yüksek şekil değiştirme-hız etkisini araştırmak ve malzemelerin çeşitli modlardaki dinamik davranışlarının incelenmesi için yaygın olarak kullanılan bir metottur.

Genel olarak kullanılan vurucu uç yarıçapı 12,7 mm'dir. Gaz tankından salıverilen sıkıştırılmış hava ile tüp tarafından itilen vurucu ile aksenal bir darbe meydana getirilir. Giriş çubuğu üzerindeki strain gaugelerden alınan veriler, bir veri kaydedicisinde kaydedilir. Numuneye etkiyen yük, darbe hızı ve numune yer değiştirmesi, strain gauge tarafından depolanan verilerin veri kaydedicisinde kullanılmasıyla hesap edilir (Shu vd 2007).

2. KAYNAK ÖZETLERİ

Son yıllarda birçok araştırmacı tabakalı kompozit malzemelerin düşük hızlı darbe hasarını ve darbe hasarı sonrası basma testlerini değerlendirmek için deneysel ve nümerik çalışma yapmışlardır:

Dobyns (1981), desteklenmiş ortotropik plakaların, statik ve dinamik yükleme koşullarında malzemenin davranışı için nümerik çalışma yapmıştır. Çalışmada düşük hızlı darbeleri tespit etmek için nümerik yöntemler geliştirmiştir.

Doyum ve Altay (1997), E-cam lifi/epoksi ve S-cam lifi/epoksi silindirik kompozit tüplerde düşük hızlı darbe testleri ile darbe yüklemesi yapmışlardır. Bu testler sonucunda oluşan hasar tiplerini ve karakteristiklerini tespit etmeye çalışmışlardır.

Goo ve Kim (1997), tabakalı kompozit plakaların düşük darbe hızı altındaki davranışını incelemişlerdir. Tabaka istifleme yönü, kalınlık ve dinamik kontak davranışı gibi durumları açıklamaya çalışmışlardır.

Hale vd. (1998) yaptıkları çalışmada, sıcaklığın ve nemin etkisini darbe sonrası bası testi üzerinde araştırmışlardır. Kompozit numunelerin sıcaklık etkisinde dirençlerinde ve sertliklerinde düşüş olduğunu tespit etmişlerdir. Emilmiş nem miktarının artmasıyla direnç ve sertliklerin daha da düştüğünü tespit etmişlerdir.

Jeon vd. (1999) yaptıkları çalışmada, ara yüzeyine optik fiberler yerleştirilmiş çapraz katlı cam fiber/epoksi matris kompozit tabakalara düşük hızlı darbe testi ve burkulma testi yapmışlardır. Bu testler sonunda darbe hasarının gelişimi ve darbe sonrası basma davranışını tespit etmeyi amaçlamışlardır. Araştırmalar sonucunda optik fiberlerin sayısının artmasının uzun çatlaklı tabakalar için burkulma dayanımını artırdığını rapor etmişlerdir.

Hou vd. (2000), darbe olaylarında delaminasyona etki eden unsurları tespit etmeye çalışmışlardır. Çalışmaları sonucunda delaminasyona neden olan unsurların, matris çatlağı ve fiber hasarının meydana getirdiği tabakalar arası kayma gerilmeleri olduğunu tespit etmişlerdir. Delaminasyonda kalınlık

boyunca oluşan bası gerilmelerinin, çeki gerilmeleri kadar aynı etkiye sahip olduğunu tespit etmişlerdir. Kalınlık boyunca oluşan bası gerilmelerinin ilerleyen çatlağı sınırlayıcı bir etki yaptığını rapor etmişlerdir.

Gao ve Kim (2001), karbon/polietereterketon kompozitler üzerinde soğutma hızının etkisini darbe ve darbe sonrası bası testi için araştırmışlardır. Sonuç olarak yavaş soğutmanın hızlı soğutmaya göre darbe sonrası basma gerilmesini daha az etkilediğini belirtmişlerdir.

Mili ve Necip (2001), çapraz katlı tabakalı kompozit plakaların, düşük hızlı darbe yükü altındaki davranışlarını teorik ve deneysel olarak araştırmışlardır. Ağırlık düşürme test cihazı kullanarak E-camı/epoksi tabakalı kompozit malzemelere, farklı hızlardaki impektör ile düşük hızlı darbe yükü uygulamışlardır. İmpektör hızlarının ve tabaka dizilimlerinin, kompozit levhanın darbe davranışına etkilerini incelemişlerdir. Deneysel sonuçlarını doğrulamak amacıyla teorik model oluşturarak, çalışmalarını nümerik olarak da desteklemişlerdir.

Belingardi ve Vadori (2002), farklı yönlenmeye sahip cam fiber epoksi kompozit malzemesinin düşük hızlı darbe yükü altındaki davranışını incelemişlerdir. Deneysel testleri ağırlık düşürme test makinesi kullanılarak ASTM standartlarına göre yapmışlardır. Malzemenin düşük hızlı darbe yükü altındaki davranışını; darbe enerjisi, hasar derecesi ve temas kuvveti değişimleriyle ifade etmişlerdir.

Naik vd. (2002), düz dokunmuş E-cam/epoksi tabakaların ağırlık düşürmeli darbe testi ile dört farklı hız ve dört farklı vurucu ağırlığına göre numunelerin darbe davranışlarını incelemişlerdir. Sonrasında da hasarlı numunelerin darbe sonrası bası testlerini yapmışlardır. Buna göre, hasar toleransının fazla ağırlık ve düşük hız kombinasyonuna göre düşük ağırlık ve yüksek hız için daha büyük olduğunu rapor etmişlerdir.

Belingardi ve Vadori (2003) tarafından yapılan bir başka çalışmada, ağırlık düşürme testi ile karbon fiber-epoksi tabakalı kompozit malzemenin düşük hızlı darbe yükü altında davranışını incelemişlerdir. Farklı çarpışma hızlarında

yapılan testlerde kuvvet-yer değiştirme grafikleri yardımıyla malzemenin enerji absorpsiyon yeteneğini tespit etmeye çalışmışlardır.

Trudel-Boucher vd. (2003), öncelikle sürekli cam fiber/polypropylene kompozitin düşük hızlı darbe davranışını araştırmışlardır. Yapılan düşük hızda darbe testleri sonrasında çekme ve eğilme özelliklerini tespit etmeye çalışmışlardır. Darbe enerjisinin artmasıyla çekme modülü sabit kalırken çekme ve eğilme dayanımlarının ve eğilme modülünün azaldığını tespit etmişlerdir.

Whittingham vd. (2004), ön gerilme etkisindeki karbon-fiber/epoksi tabakalı kompozit malzemelerin düşük hızlı darbe yükü altındaki davranışını incelemişlerdir. Ön gerilme etkisindeki kompozit malzeme de meydana gelen, kalıcı nüfuziyet, absorbe edilen enerji ve maksimum darbe yükünü araştırmışlardır.

Baucom ve Zikry (2005), tekrarlı ve düşük hızlı darbe yükü altındaki örgülü elyaf kompozit malzemenin hasar ilerlemesi durumunu araştırmışlardır. Ayrıca elyafların belli darbe tekrarı sonrası uğradığı hasar miktarlarını tespit etmeye çalışmışlardır.

Gustin vd. (2005), karbon lifli ve kevlar kombinasyonuna darbe sonrası bası testi uygulamışlardır. Bunun sonucu olarak darbe sırasında bası gerilmesinin düştüğünü tespit etmişlerdir. Yapılan araştırmalar sonucunda kevlar ilavesi ile darbe sonrası bası gerilmesinin azaldığını tespit etmişlerdir.

Morais vd. (2005), cam, karbon veya aramid fiber takviyeli kompozitlerin tekrarlı düşük enerjili darbelere karşı, darbe direnci üzerine tabaka kalınlığı etkisini, iki darbe enerji seviyesi için araştırmışlardır. Çalışma sonucunda belirli bir enerji seviyesi altında tabaka kesitinin, darbe direncinin belirlenmesi ile ilgili en önemli değişken olduğunu ve bu şartlar altında bütün test edilen tabakaların deneysel veri noktalarının, kullanılan fibere bakılmaksızın bir tek eğri üzerine düşmekte olduğunu tespit etmişlerdir. Cam kumaş takviyeli kompozitin tabaka kalınlığının artmasıyla darbe direncinin de arttığını tespit etmişlerdir.

Ibekwe vd. (2007), düşük sıcaklıklarda tek yönlü ve tabakalı cam/epoksi kompozit kirişlerde darbe sonrası basma gerilmesini araştırmışlardır. Çalışmalarında düşük sıcaklıklarda darbe almış numunelerin, yüksek sıcaklıklarda darbe almamış numunelere göre daha yüksek bir oranda enerji absorbe ettiğini ve bu durum darbe alanlarının daha çok hasara maruz kaldığını tespit etmişlerdir. Bunun nedenini de sıcaklık azaldığı zaman reçinenin kırılğan olmaya başlamasına ve malzeme sertliğinin artmasına bağlamışlardır. Araştırma sonuçlarına göre, bütün sıcaklıklarda tabakalı numunelerin tek yönlü numunelere göre darbeye karşı dirençlerinin daha yüksek olduğunu tespit etmişlerdir.

Karakuzu vd. (2007), cam lifi ve epoksi matrinden oluşmuş tek yönlü fiber takviyeli tabakalı kompozit plakaların termal darbe davranışlarını, düşük sıcaklıklarda, oda sıcaklığında ve yüksek sıcaklıklarda incelemişlerdir. Bu incelemelerde cam-lifi/epoksi tabakalı kompozit plakaların enerji absorbe etme kabiliyeti, çökmesi ve ara yüzeylerdeki hasarların oda sıcaklığından düşük veya yüksek sıcaklıklara gidildikçe azalırken, temas kuvvetlerinin arttığını tespit etmişlerdir. Düşük sıcaklıklardan yüksek sıcaklıklara doğru sıcaklık arttıkça temas zamanının artmakta olduğunu tespit etmişlerdir. Darbe sonrası bası mukavemetlerinin ise düşük sıcaklıklara gidildikçe arttığını, yüksek sıcaklıklara gidildikçe azalmakta olduğunu tespit etmişlerdir.

Sanchez-Saez vd. (2008) çalışmalarında, oda sıcaklığında darbe almış numunelerin üzerinde darbeden sonra bası deneyini düşük sıcaklıklarda karbon liflerle takviye olunmuş iki tür kompozit numunede (bantlı ve dokunmuş) araştırmışlardır. Bu araştırmaya göre düşük sıcaklıklarda kompozitlerin yapısında, özelliklerinde ve çökme mekanizmalarında büyük değişimler meydana gelebileceğini ve elde edilen neticeye göre farklı kompozitler düşük sıcaklıklar önünde değişik davranışlar göstermekte olduğunu tespit etmişlerdir.

Aktaş vd. (2009) çalışmalarında, iki farklı tip cam/epoksi kompozitin çeşitli darbe enerjilerinde darbe testlerini yaparak kompozitlerde meydana gelen hasar modlarını belirlemişlerdir. Buna göre matris çatlağı ile başlayan hasar modunun darbe enerjisinin artmasıyla, cam elyafın gevrek yapısından dolayı fiber kırılmalarının baskın olduğu bir hasara dönüştüğünü tespit etmişlerdir.

Heimbs vd. (2009) yaptıkları çalışmada, üç farklı karbon fiber takviyeli tabakalı kompozit malzemenin düşük hızlı darbe davranışı üzerine basma ön yüklemesinin etkisini araştırmışlardır.

Sarı (2010), darbe hasarı sonrası kompozit boruların yorulma davranışlarına deniz suyunun etkisini araştırmıştır. Darbe enerjisinin kompozit boruların patlatma mukavemet değerlerinde düşüşe neden olduğu gözlenmiştir. Ayrıca üç ay deniz suyuna maruz bırakılan kompozit boruların darbe ve patlatma mukavemetlerinde bir miktar artış gözlemlenmiştir.

Deniz (2011), dört farklı çap ve yaklaşık 1,75 mm et kalınlığına sahip kompozit borularda, deniz suyunun darbe davranışına ve darbe sonrası bası mukavemetine etkisini incelemiştir. Sonuç olarak, kompozit boruların darbe davranışı ve bası mukavemeti üzerine deniz suyunun önemli etkiye sahip olduğunu görmüştür.

Ghelli ve Minak (2011), ince karbon/epoksi tabakalar üzerine düşük hızlı darbe ve CAI (compression after impact) darbe sonrası bası testleri yapmışlardır. Bu testler için aynı kalınlıkta fakat iki farklı geometride (dikdörtgen ve daire) numune ve iki farklı tabaka dizilimi kullanmışlardır. Ayrıca daha küçük kalınlıkta kompozit plaka kullanarak tek yönlü basma altında burkulma davranışını incelemişlerdir. Deneysel verileri desteklemek için sonlu eleman analizi yapmışlardır. Darbe testleri neticesinde farklı geometriler arasında dinamik davranış, enerji absorpsiyonu ve malzeme hasarı açısından farklılıklar gözlemişlerdir. Tabaka diziliminin dairesel numunelerin darbe davranışı üzerine etkisi olmamasına rağmen dikdörtgen numunelerde etkisinin olduğunu belirtmişlerdir. Hem darbeli hem de darbesiz küçük kalınlıktaki numunelerin basma altında global burkulma davranışı gösterdiğini rapor etmişlerdir.

Gonzalez vd. (2012) çalışmalarında, darbe ve darbeden sonra bası testini kompozit numuneler üzerinde simülasyon gerçekleştirerek araştırmışlardır. Bu araştırmaya göre, darbe enerjilerinin farkının, maksimum gerilme değerini etkilemekte olduğunu tespit etmişlerdir. Maksimum gerilme gerçekleştiği zaman delaminasyon ve tabakalar arası hasar mekanizması sırasında serbest bırakılan enerji miktarı artar ancak enerji değeri maksimum gerilme miktarına

gelene kadar sabit kalır. Araştırma sonuçlarına göre tek yönlü numunelerde enine yönde matris çatlama sonuçunda, numune çökmeden önce lineer olmayan bir davranışın meydana geldiğini tespit etmişlerdir.

Kıratlı (2012), düşük hızlı darbe hasarının E-cam lifi/epoksi tabakalı kompozit malzemenin kritik burkulma yükü ve esneklik mukavemeti üzerine olan etkisini deneysel olarak araştırmıştır. Düşük hızlı darbenin neden olduğu hasarın, kritik burkulma yükü ve esneklik mukavemetini önemli derecede etkilediğini tespit etmiştir.

Türkmen ve Köksal (2013), farklı cam elyaf katman sayısına sahip, el yatırması üretim yöntemiyle üretilmiş kompozit malzemelerin mekanik özelliklerini incelemiştir. Cam elyaf takviyeli kompozit malzemelerin mekanik özellikleri incelendiğinde, elyaf katman sayısına bağlı kompozit malzemelerin mekanik özelliklerinin iyileştiğini ve darbe testleri sonucunda elyaf katman sayısının artması ile malzemelerin absorbe ettiği enerji değerlerinin yaklaşık lineer bir artış gösterdiğini tespit etmişlerdir.

Nejabati (2014), daha önceden farklı sıcaklıklarda 50J'luk bir darbe almış kompozitler için darbeden sonra bası dayanıklılığını incelemiştir. Numunelerin darbe aldıkları sıcaklıklar darbeden sonra bası mukavemetleri üzerinde önemli seviyede etkili olduğunu tespit etmiştir.

Berk vd. (2016) tarafından yapılan çalışmada, S-2 cam / epoksi ve aramid / epoksi kompozit plakaların düşük hızlı darbe davranışları deneysel ve nümerik olarak incelenmiştir. Darbe testleri iki farklı (20J ve 30J) enerji seviyesinde gerçekleştirilmiştir. Karşılaştırma yapabilmek için kompozit plakalar üretiminde aynı epoksi ve aynı kalınlık kullanılmıştır. Darbe testleri özel olarak tasarlanan 24 m/s hız ve 1800J darbe enerjisine sahip CEAST - Fractovis Plus darbe cihazında yapılmıştır. Çalışma sonucunda elde edilen deneysel ve nümerik sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Karakuzu vd. (2017) tarafından, cam lifi - epoksi esaslı kompozit plakaların darbe davranışı üzerine deniz suyunun etkisi araştırılmıştır. Kompozit numuneler laboratuvar şartlarında yaklaşık % 3,5 tuz oranı sahip Ege Denizi

suyunda 1, 3, 6 ve 9 ay süre ile bekletildikten sonra darbe testlerine maruz bırakılmışlardır. Darbe testleri, oda sıcaklığında üç farklı darbe (10J, 20J ve 30J) enerjilerinde ve gibi üç farklı darbe ucu vurucu (5, 10 ve 15 kg) kütlelerinde gerçekleştirilmiştir. En fazla çökme darbe ucu kütlesi 15 kg iken 30J darbe enerjisinde meydana gelmiştir. Genel olarak çökme miktarının, tüm kütleler için kuru ortamda ve 9 ay deniz suyunda bekletilen numunelerde yaklaşık aynı değerlerde olduğu görülmüştür. Çalışma sonucunda, deniz suyundaki tuzun, darbe enerjisinin ve darbe ucu kütlesinin kompozit plakların darbe davranışı üzerine önemli etkisi olduğu belirtilmiştir.

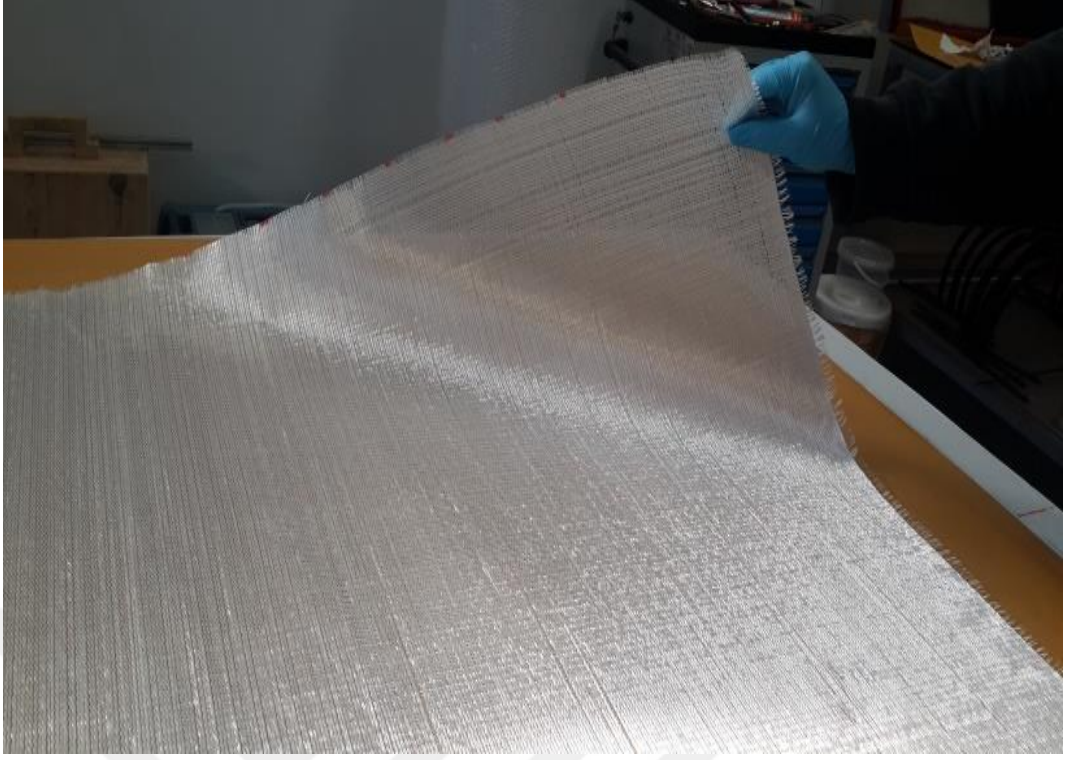


3. MATERYAL YÖNTEM

3.1. Malzeme Üretimi ve Deneysel Yöntem Aşamaları

Bu çalışmanın amacı, darbe sonrası farklı ortam koşullarına maruz bırakılan cam elyaf/epoksi kompozit malzemelerin basma dayanımlarının deneysel olarak incelenmesidir. Deneyler için 50cm x 50cm boyutlarında 8 ve 12 tabakalı farklı (2mm ve 2.8mm) kalınlıklara sahip cam elyaf/epoksi kompozit malzeme üretimi gerçekleştirilmiştir. Üretimi yapılan bu plakalardan darbe sonrası bası testi için standartlara uygun olarak 150mm x 100mm boyutlarında numuneler kesilmiştir. Numunelere öncelikle düşük hızlı darbe testi uygulanmıştır. Numunelerin darbe testleri 10J, 20J ve 30J'lük üç farklı enerjisi seviyesinde ağırlık düşürme test metodu yardımıyla yapılmıştır. Darbe sonrası basma dayanımına yama etkisini incelemek için darbeye maruz kalmış numunelerin bir kısmına 50mm x 50mm boyutlarında 2 ve 4 tabakalı cam elyaf kompozit yamalar yapıştırılmıştır. Farklı ortam koşullarının etkisinin araştırılması için darbe sonrası hem yama işlemi uygulan numuneler hem de yama işlemi uygulanmayan numuneler oda sıcaklığında kapalı plastik kaplardaki deniz suyu ve yağmur suyunda 3 ay (90 gün) boyunca bekletilmişlerdir. Çalışmada kullanılan deniz suyu % 3.8 tuzluluk oranına sahip olup Akdeniz'den temin edilmiştir. 3 aylık bekleme süresi sonunda yamalı ve yamasız numuneler deniz ve yağmur suyundan çıkarılarak bekletilmeden ASTM D 7137 standartına göre hazırlanmış olan aparata yerleştirilerek basma deneyine tabi tutulmuşlardır. Basma deneyleri sonunda elde edilen veriler ışığında farklı ortamların ve yamanın cam/elyaf kompozitlerin basma dayanımlarına etkileri araştırılmıştır.

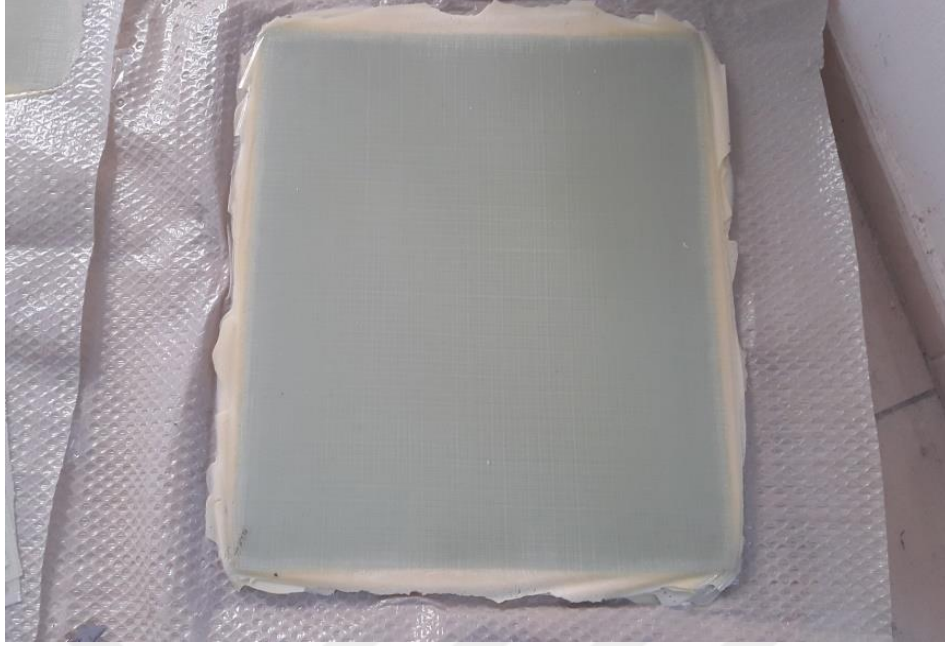
Çalışmada kullanılan cam elyaf / epoksi kompozit plakalar Fibermak Mühendislik Kalıp Kompozit Sanayi ve Ticaret Ltd. Şti. firmasına ürettirilmiştir. Fiber malzeme olarak 300 gr/m² tek yönlü cam fiber kumaş kullanılmıştır. Reçine malzemesi olarak da epoksi TG 120 OC kullanılmıştır. Kompozit malzemeler prepreg sıcak pres yöntemi ile imal edilmiştir. Kürtleme işlemi 1 saat boyunca 120 °C'de 8-10 bar basınç altında yapılmıştır. Cam elyaf / epoksi plakaların üretim aşamalarının fotoğrafları Şekil 3.1-Şekil 3.3' de verilmiştir.



Şekil 3. 1. Kompozit plakaların üretiminde kullanılan elyaf



Şekil 3. 2. Plakaların üretimi



Şekil 3. 3. Üretim aşaması tamamlanmış kompozit plaka

Deneyleerde kullanılacak olan cam elyaf / epoksi kompozit plakaların özellikleri Çizelge 3.1'de verilmiştir.

Çizelge 3. 1. Darbe sonrası bası testine maruz kalacak plakaların özellikleri

Adlandırma	Tabaka Sayısı	Oryantasyon Açısı	Ortalama Tabaka Kalınlığı (mm)
G_1^{12}	12	$[0^\circ/90^\circ/0^\circ/90^\circ/0^\circ/90^\circ]_s$	2.8
G_1^8	8	$[0^\circ/90^\circ/0^\circ/90^\circ]_s$	2
G_2^8	8	$[0^\circ/90^\circ/90^\circ/0^\circ]_s$	2
G_3^8	8	$[0^\circ/30^\circ/60^\circ/0^\circ]_s$	2

G_x^y : x grup numarası, y: tabaka sayısını gösterir.

Kompozit plakalar Dokuz Eylül Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü Kompozit Araştırma Laboratuvarında bulunan Rubi Diamant DS-300-1500 Profesyonel Kesme Makinesi (Sulu Kesim) yardımıyla darbe sonrası bası testi uygulanmak üzere uzunluğu 150 mm ve eni 100 mm ölçülerinde kesilmiştir. Numuneler kesilmeden önce plaka yanlarındaki epoksi ve hızlandırıcı karışımı

fazlalıklar kesme makinası yardımıyla alınmıştır.. Sonra numuneler istenilen ölçülerde kesilmiştir.



Şekil 3. 4. Rubi Diamant DS-300-1500 profesyonel kesme makinesi

Numunelerin düşük hızdaki darbe testleri Dokuz Eylül Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü Kompozit Araştırma Laboratuvarındaki Fractovis Plus ağırlık düşürme test cihazında oda sıcaklığında yapılmıştır (Şekil 3.5).

Test cihazında bulunan ucu yarım küre şekline sahip olan vurucu 12.7 mm çapa sahiptir. Testler sırasında kullanılan vurucu kütlesi 4.926 kilogramdır. Cihaz içerisindeki pnömatik bir düzenek yardımıyla ankastre sınır şartlarında numunelerin deneylerinin yapılmasını sağlanmıştır. Şekil 3.6'da kompozit numunelerin darbe test cihazına yerleştirilmesi gösterilmiştir. Numuneler 10J, 20J ve 30J'lük üç farklı enerji seviyesinde darbe yüküne maruz bırakılmıştır. Visual Impact adlı bir yazılımla donatılan cihaz, zamana bağlı olarak vurucu ile numune arasında meydana gelen temas kuvvetini, vurucunun hızını ve numunenin çökme miktarlarını vermektedir. Darbe enerjilerine göre vurucunun numunelere ilk çarpma hızları 10J, 20J ve 30J için sırasıyla 2.02 m/s, 2.85 m/s ve 3.49 m/s'dir.



Şekil 3. 5. Fractovis Plus darbe cihazı



Şekil 3. 6. Kompozit numunelerin darbe test cihazına yerleştirilmesi

Darbeye maruz kalmış numunelerin bir kısmına 50mm x 50 mm boyutlarında 2 tabakalı ve 4 tabakalı cam elyaf yamalar yapıştırılmıştır. Yapıştırıcı olarak 3M Scotch – Weld epoksi yapıştırıcı DP460 kirli beyaz epoksi yapıştırıcısı tercih edilmiştir. 3M Scotch - Weld epoksi yapıştırıcı 460, sertleştirilmiş, iki bileşenli bir epoksi yapıştırıcıdır. 2:1 karışım oranı, 60 dakika çalışma ömrü ve yaklaşık 4 saatte tutuş gücü vardır. Epoksi bileşenler iyice karıştırıldıktan sonra 60 dakika içinde yamaların yapıştırılma işlemleri yapılmıştır. Tam bir yapışma sağlanması için numuneler 8 saat kurumaya bırakılmıştır. Kompozit yamaların özellikleri Çizelge 3.2’de verilmiştir.

Çizelge 3. 2. Darbe sonrası bası testine maruz kalacak numunelere yapıştırılan yamaların özellikleri

Malzeme	Tabaka Sayısı	Plaka Boyutları	Oryantasyon Açısı
Cam elyaf /Epoksi	4	20cm x 20cm	[0°/90°/0°/90°]
Cam elyaf /Epoksi	2	20cm x 20cm	[0°/90°]

Farklı ortam koşullarının etkisinin araştırılması için darbe sonrası hem yama işlemi uygulan numuneler hem de yama işlemi uygulanmayan numuneler deniz suyu ve yağmur suyunda 3 ay bekletilmişlerdir. 3 ay boyunca deniz suyu ve yağmur suyunda bekleyen numuneler darbe sonrası bası testleri yapılmadan hemen önce bekleme ortamlarından alınmıştır. Yani numunelerin kurumalarına fırsat verilmeden darbe sonrası bası testleri yapılmıştır.

Darbe sonrası bası testleri Dokuz Eylül Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü Kompozit Araştırma Laboratuvarında bulunan Shimadzu AG – X universal çekme basma test cihazında yapılmıştır (Şekil 3.7). Basma cihazı hızı 1mm / dk olacak şekilde ayarlanarak numunelere bası yükü uygulanmıştır. Basma deneyi uygulanacak numuneler ASTM D 7137 standartına göre hazırlanmış olan aparata yerleştirilerek basma deneyleri yapılmıştır (Şekil 3.8). Bu aparat numunelerin alt ve üst kısımlarında ankastre sınır şartlarını sağlayacak şekilde imal edilmiş olup numunelerin burkulma davranışı göstermemesi için aparat üzerinde burkulmayı önleyici bloklar mevcuttur.



Şekil 3. 7. Shimadzu AG – X universal çekme basma test cihazı



Şekil 3. 8. ASTM D 7137 aparatı (Aktaş vd., 2009)



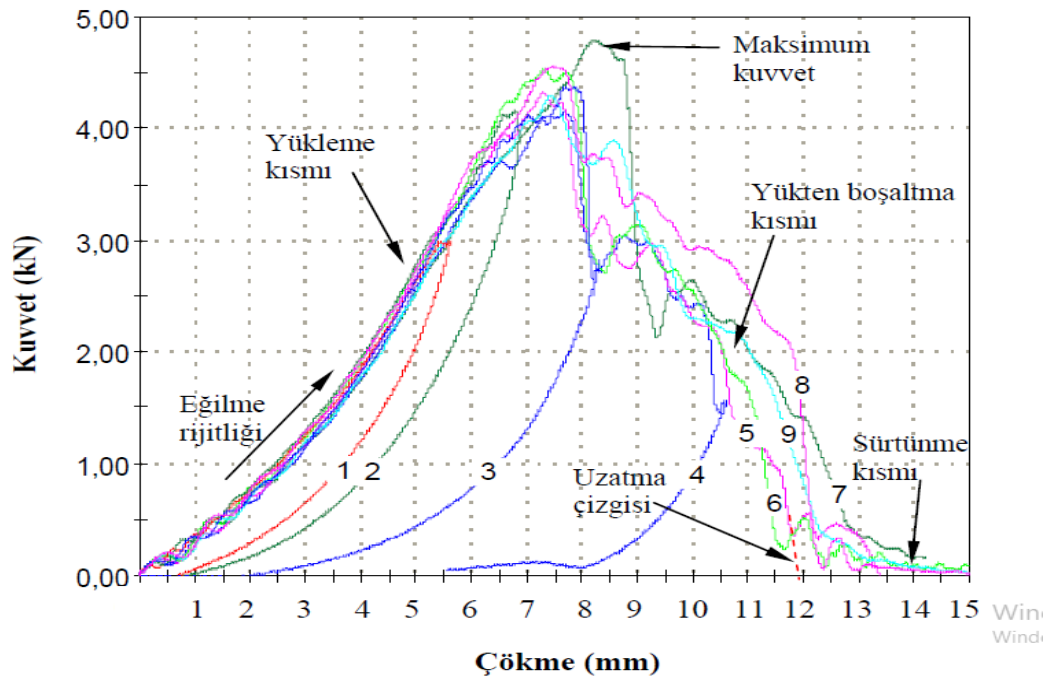
Şekil 3. 9. Basma cihazına bağlanan aparata yerleştirilen kompozit numune

3.2. Kompozit Malzemelerin Darbe Davranışlarının Belirlenmesi

Darbe testlerinin numuneler üzerine artan darbe enerjisi olarak uygulanmasıyla, darbe cihazından kompozit plakaların darbe davranışlarını gösteren birçok grafik ve sonuç elde edilebilmektedir. Bu grafikler, kompozitlerin darbe davranışına ait vurucunun numune yüzeyinden geri sekmesi (rebounding), vurucu ucunun numuneye saplanması (penetration) ve vurucunun numuneyi delip geçmesi (perforation) gibi üç özel durumun anlaşılmasını sağlamaktadır. Bunlardan kuvvet-çökme (F-d), kuvvet-zaman (F-t), çökme-zaman (d-t), absorbe edilen enerji-zaman (E_a-t) ve hız-zaman (V-t) eğrileri gibi kompozitin darbe karakteristiğini belirlemede kullanılan grafikler elde edilebilir. Bu üç özel duruma ait grafik açıklamaları aşağıdaki bölümlerde yapılmıştır (Sayer, 2009).

3.2.1. Kuvvet - çökme eğrileri

Kuvvet-çökme (F-d) eğrileri darbe olayı esnasındaki kompozit plaklara ait darbe davranışını belirlemede kullanılan grafiklerden bir tanesidir. Bir F-d grafiği artan darbe enerjisi altında kuvvetin çökmeye karşı değişimini gösterir. Her bir eğri yüklemeye bir artma kısmına, ulaşılan bir maksimum kuvvet değerine ve yükten boşaltmada da bir azalma kısmına sahiptir. Kuvvet-çökme eğrisinde artma kısmı darbe yüküne karşı numunenin göstermiş olduğu dirençten dolayı eğilme rijitliği olarak adlandırılır. Artan darbe enerjisi altında oluşan bu eğriler kapalı tip ve açık tip eğri olarak iki kısma ayrılır. Kapalı tip eğri vurucunun numuneye temas etmesinden sonra vurucunun numune yüzeyinden geri sekmesiyle oluşan eğrilerdir. Yani uygulanan darbe enerjisinin büyük bir kısmı numune tarafından absorbe edilmiş ve absorbe edilmeyen enerji de vurucunun geri sekmesi için kullanılmıştır. Darbe enerjisi arttırıldığında, geri sekme kısmı azalırken kapalı tip eğri genişler ve çökme de artar. Eğer bir eğri açık tip ise vurucu numuneye ya saplanmış ya da numune delinmiştir. Buna göre numuneye saplanan vurucu numune kalınlığı boyunca aşağı doğru hareket eder ve artık numune yüzeyinden geri sekme meydana gelmez.

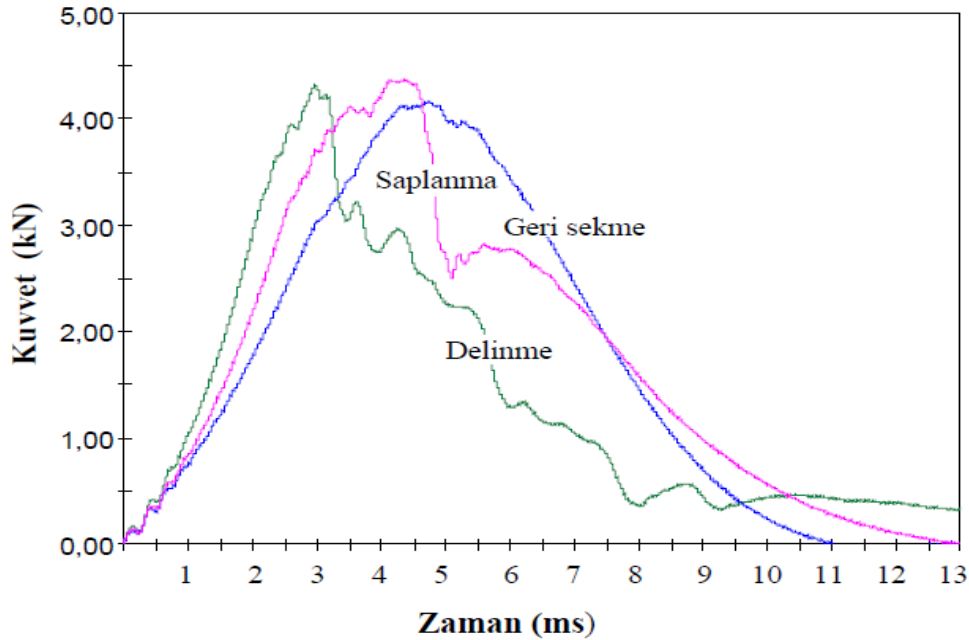


Şekil 3. 10. Artan darbe enerjisi altında oluşan kuvvet - çökme eğrileri (Sayer, 2009)

Darbe enerjisi daha da arttırıldığında vurucu numuneye saplanır (penetration), numune kalınlığı boyunca hareket eder ve sonunda da numuneyi delerek alt yüzeyden çıkar yani delinme (perforation) olayı gerçekleşmiş olur. Şekil 3.10'da verilen kuvvet çökme - eğrilerinin uç kısımlarına bakılacak olursa, yatay eksenin sonuna doğru kapanan bu kısım numune ve vurucu arasında sadece sürtünme meydana gelmesinden dolayı oluşan sürtünme kısmını ifade etmektedir. Dolayısıyla ulaşılan bu darbe enerjisinden sonra darbe enerjisi ne kadar arttırılırsa arttırılsın kompozitin daha fazla darbe enerjisini absorbe edemeyeceği anlaşılmaktadır (Sayer, 2009).

3.2.2. Kuvvet - zaman eğrileri

Kuvvet- zaman (F-t) grafiği numune yüzeyinden geri sekme, vurucu ucunun numuneye saplanması ve vurucunun numuneyi delip geçmesi gibi üç özel duruma ait eğrileri gösterir (Şekil 3.11).

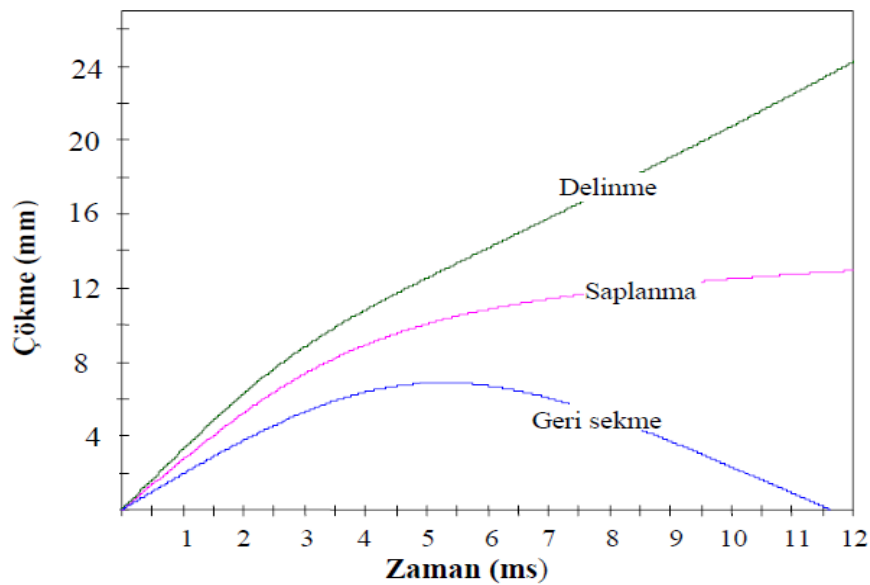


Şekil 3. 11. Kuvvet - zaman eğrileri (Sayer, 2009)

Düşük enerjili darbelerde (örneğin geri sekme eğrisi gibi) eğri parabolik bir eğridir ve dağ'a benzeyen bir şekle sahiptir. Uygulanan darbe enerjisinin artmasıyla meydana gelen kuvvet de artmakta, saplanma ve delinme eğrilerinde de görüldüğü üzere maksimum kuvvet değeri de hemen hemen sabit bir değer olmaktadır. Numunede delinme meydana geldiğinde kuvvetin sıfır olması gerekir fakat vurucu ve numune arasında sürtünme ile eğrinin uç kısmı yatay eksene paralel şekilde ilerler (Sayer, 2009).

3.2.3. Çökme - zaman eğrileri

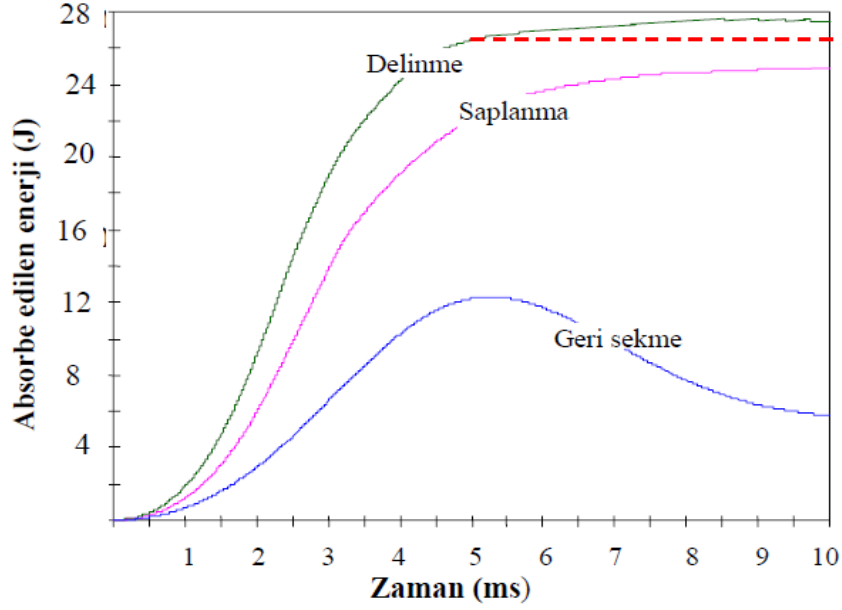
Bir çökme-zaman (d-t) grafiği numune yüzeyinden geri sekme, vurucu ucunun numuneye saplanması ve vurucunun numuneyi delip geçmesi gibi üç özel duruma ait eğrileri gösterir (Şekil 3.12). Artan darbe enerjisi altında yapılan darbe testlerinde, kuvvet maksimum değerine ulaştığında numunedeki çökme de maksimum değerine ulaşır. Yani darbe enerjisi arttıkça numunedeki çökme de artar. Numuneye saplanma durumunda vurucu hızı sıfıra ulaştığından numunedeki çökme sabit bir değerde kalır. Fakat numunenin delinmesi durumunda ise vurucu numuneyi delip geçtikten sonra vurucu ve numune arasındaki sürtünme vurucunun ilerlemesini engeller ama çökmede bu esnada artarak devam eder (Sayer, 2009).



Şekil 3.12. Çökme - zaman eğrileri (Sayer, 2009)

3.2.4. Absorbe edilen enerji - zaman eğrileri

Bir absorbe edilen enerji - zaman (E_a-t) grafiği numune yüzeyinden geri sekme, vurucu ucunun numuneye saplanması ve vurucunun numuneyi delip geçmesi gibi üç özel duruma ait eğrileri gösterir(Şekil 3.13). Absorbe edilen enerji, kuvvet-çökme (F-d) eğrisinin altında kalan alandan hesaplanmaktadır.



Şekil 3. 13. Absorbe edilen enerji - zaman eğrileri (Sayer, 2009)

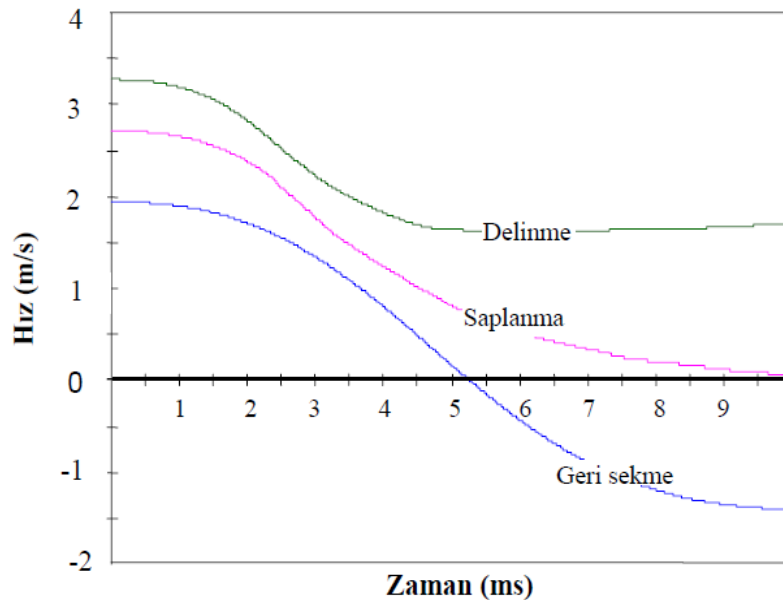
Vurucunun numune yüzeyinden geri sekmesi durumunda vurucunun sahip olduğu enerjinin hepsi numune tarafından absorbe edilemez ve absorbe edilemeyen darbe enerjisi de vurucunun numune yüzeyinden geri sekmesi için harcanır. Vurucunun numuneye saplanması durumunda ise vurucunun sahip olduğu darbe enerjisinin hepsi numune tarafından absorbe edilir Vurucunun numuneyi delip geçmesi durumunda ise, vurucu ile numune arasındaki sürtünme kısmının altında kalan alanın da darbe cihazının programı tarafından hesaplanan absorbe edilen enerji miktarına katılmasından dolayı eğrinin yukarı doğru yönlendiği görülür. Bu sürtünme kısmının altında kalan alanın toplam absorbe edilen enerji miktarından çıkarılması gerekir. Buna göre, numune tarafından absorbe edilen enerji değeri ise şekilde görülen kesikli çizginin yaklaşık olarak denk geldiği enerji değeri (Sayer, 2009).

3.2.5. Hız - zaman eğrileri

Bir hız - zaman ($v-t$) grafiği numune yüzeyinden geri sekme (rebounding), vurucu ucunun numuneye saplanması (penetration) ve vurucunun numuneyi delip geçmesi (perforation) gibi üç özel duruma ait eğrileri gösterir (Şekil 3.14). Artan darbe enerjisi altında yapılan darbe testlerinde, ilk başta belli bir hıza sahip olan vurucunun numune ile ilk temasından sonra vurucunun hızı azalır. Vurucunun numune yüzeyinden geri sekmesi durumunda, yukarı doğru hareket eden vurucu negatif bir hıza sahip olur.

Vurucunun numuneye saplanması durumunda ise belli bir hız ile numuneye çarpan vurucunun numuneye saplanmasından dolayı vurucunun tekrar yukarı doğru geri sekmesi meydana gelmediğinden hız sıfırlanacaktır.

Vurucunun numuneyi delip geçmesi durumunda ise belli bir hız ile numuneye saplanıp kalınlık boyunca ilerleyen vurucunun hızını yavaşlatan durum, vurucu ve numune arasındaki sürtünmedir. Bunun sonucunda da geri sekme meydana gelmediğinden vurucu pozitif bir hıza sahip olacaktır (Sayer, 2009).



Şekil 3. 14. Hız - zaman eğrileri (Sayer, 2009)

4. ARAŞTIRMA BULGULARI

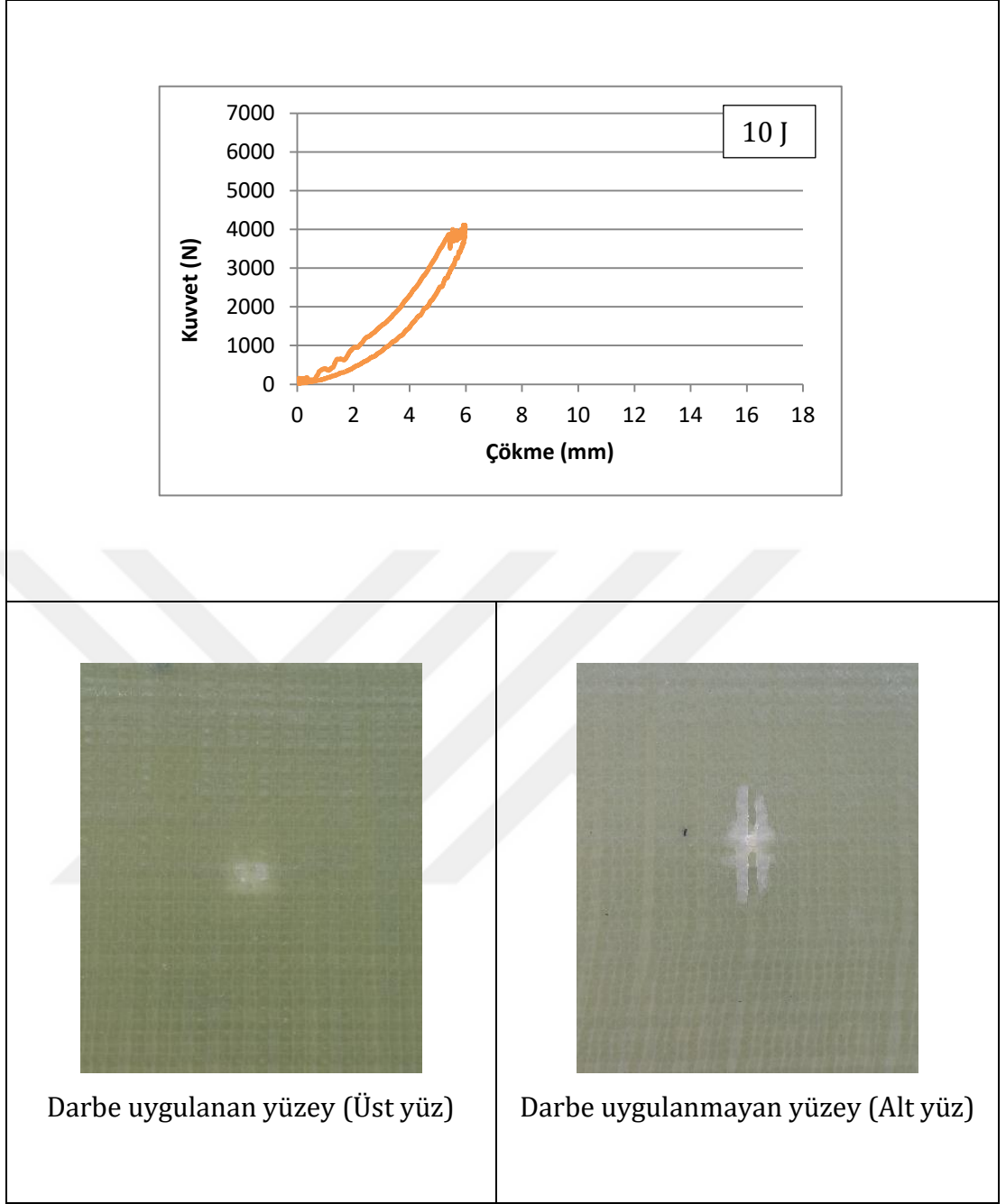
Bu çalışmada, farklı ortam koşullarında bekletilen cam elyaf / epoksi kompozit numunelerin darbe sonrası bası dayanımları deneysel olarak incelenmiştir. Deneylede 150mm x 100mm boyutlarında 8 ve 12 tabakalı farklı (2mm ve 2,8mm) kalınlıklara sahip cam elyaf / epoksi numuneler kullanılmıştır. Numunelerin darbe testleri 10J, 20J ve 30J'lük üç farklı enerjisi seviyesinde yapılmıştır. Darbe sonrası bası dayanımına yama etkisini incelemek için darbeye maruz kalmış numunelerin bir kısmına 50mm x 50mm boyutlarında 2 ve 4 tabakalı cam elyaf yamalar yapıştırılmıştır. Cam elyaf / epoksi kompozitler için darbe deneyi sonrası bası dayanımına farklı ortam koşullarının ve yama etkisinin araştırılması için hem yama işlemi uygulan numuneler hem de yama işlemi uygulanmayan numuneler deniz ve yağmur suyunda 3 ay boyunca bekletilmişlerdir. Bekleme süresi sonunda deniz suyu ve yağmur suyu ortamından çıkarılan kompozit numunelere darbe sonrası bası testleri uygulanmıştır.

4.1. Darbe Testleri

Darbe deneyleri için 8 ve 12 tabakalı cam elyaf/epoksi kompozit numuneler 4 ayrı gruba ayrılmıştır. Her grup numuneler için 10J, 20J ve 30J'lük artan darbe enerjisi değerleri altında darbe testi uygulanarak fiber takviye açılarının ve tabaka kalınlıklarının darbe davranışı üzerine etkileri incelenmiştir. Darbe testi uygulanan numunelerin kuvvet - çökme eğrileri ve darbe uygulandıktan sonraki numunelerin üst ve alt yüzey fotoğrafları verilmiştir.

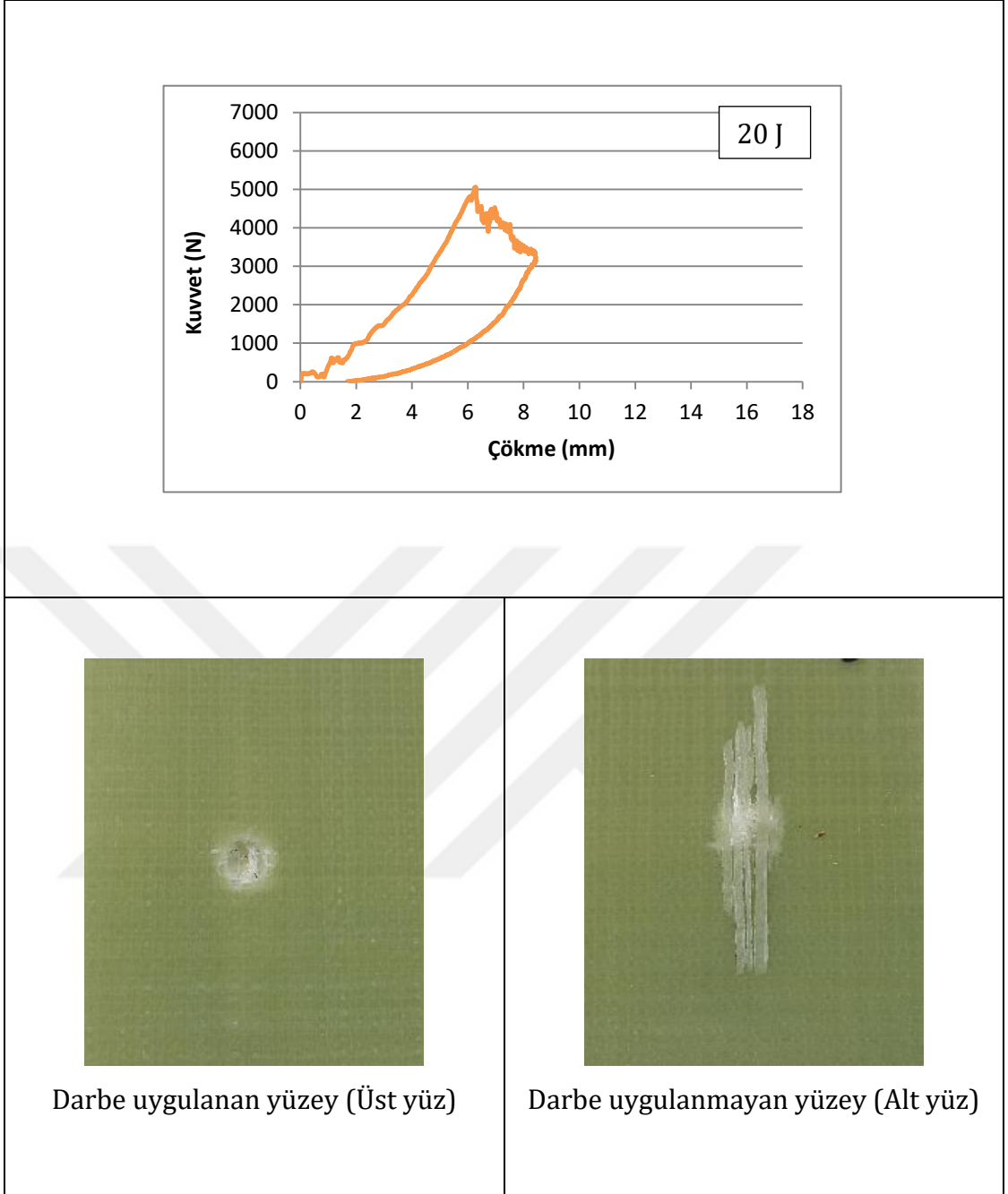
4.1.1. 8 ve 12 tabakalı numuneler için kuvvet - çökme eğrileri

Şekil 4.1 - Şekil 4.12'de sırasıyla her bir grup için 10J, 20J ve 30J'lük darbe enerjisi altında darbe testi uygulanan numunelerin kuvvet - çökme eğrileri ve numunelerin darbe sonrası üst ve alt yüzlerinin fotoğrafları verilmiştir.



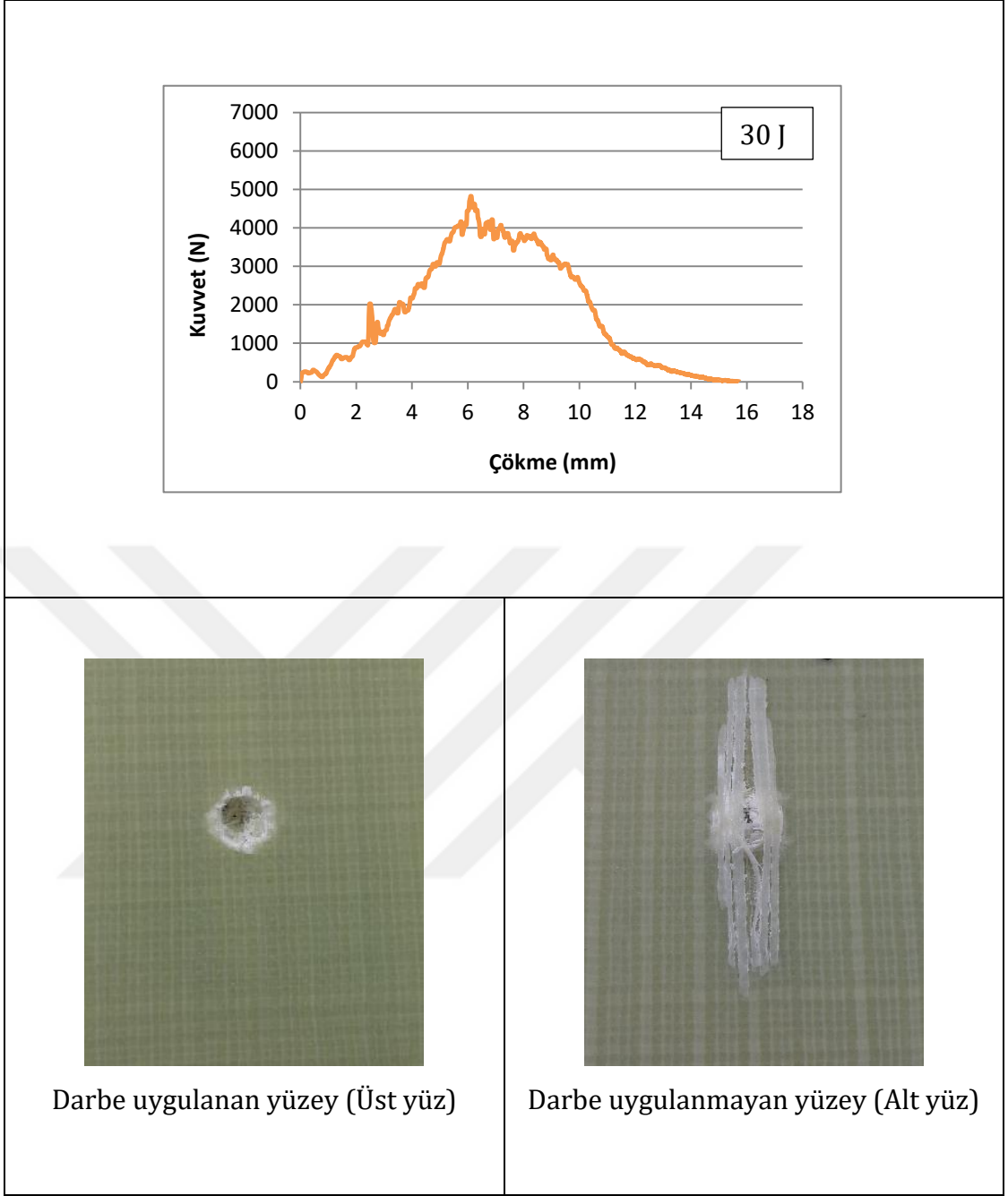
Şekil 4. 1. 10J uygulanan 8 tabakalı 1.grup numunelerin kuvvet - çökme eğrisi ve numunenin darbe sonrası üst ve alt yüzlerinin fotoğrafları

Şekil 4.1.'den görüleceği üzere numunenin kuvvet - çökme eğrisi kapalı bir eğridir. Numunede geri sekme davranışı meydana gelmiştir. 10J darbe enerjisi uygulanan numunenin üst yüzünde ezilme izi ve küçük delaminasyonlar meydana gelirken alt yüzünde delaminasyon ve az sayıda fiber ayrılması meydana gelmiştir.



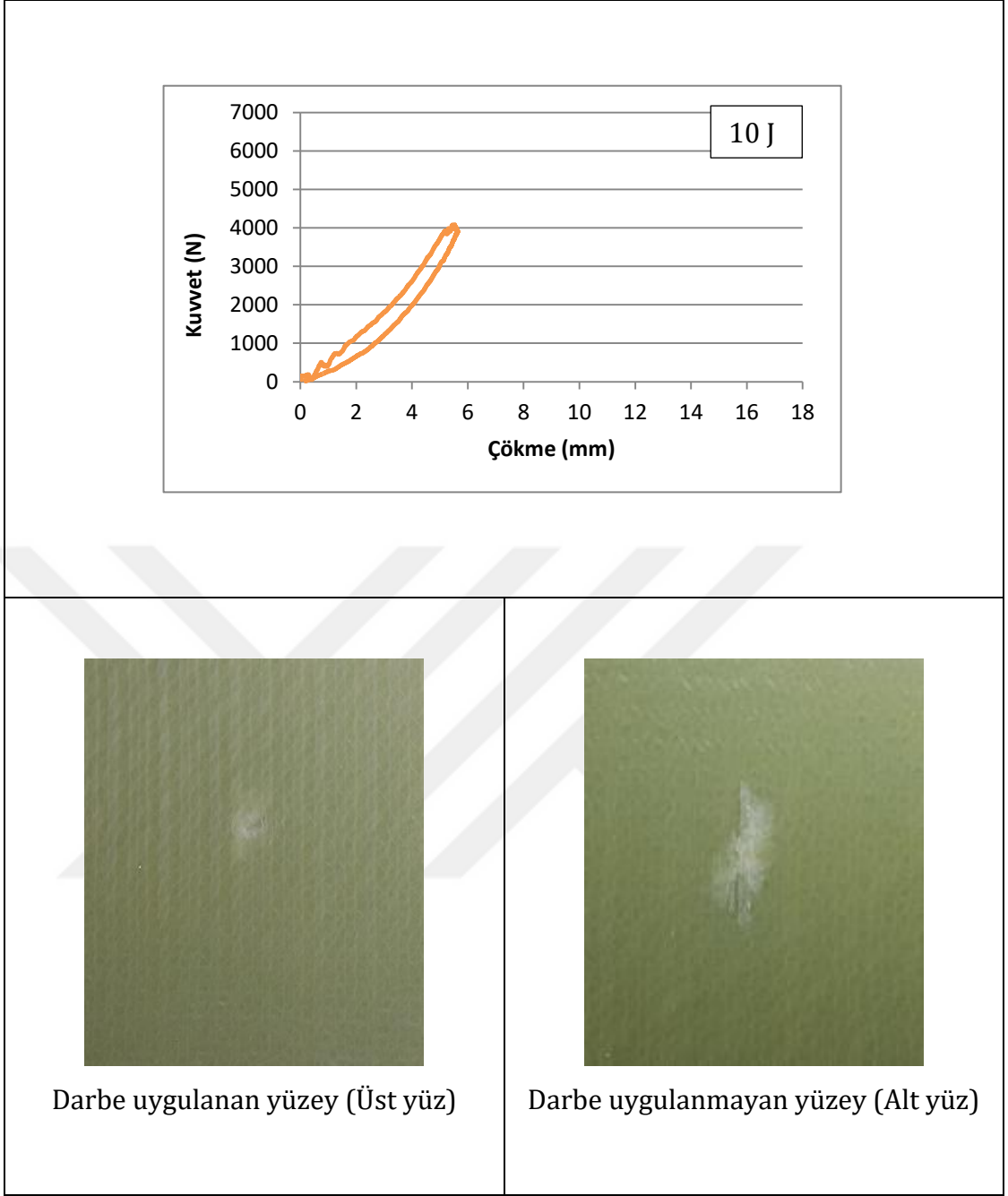
Şekil 4. 2. 20J uygulanan 8 tabakalı 1. grup numunelerin kuvvet - çökme eğrisi ve numunenin darbe sonrası üst ve alt yüzeylerinin fotoğrafları

Şekil 4.2.'de görüleceği üzere numunenin kuvvet - çökme eğrisi kapalı bir eğridir. 20J darbe enerjisi uygulanan numunenin üst yüzünde delaminasyonlar, matris kırılmaları ve az sayıda fiber kırılması meydana gelirken alt yüzünde delaminasyon, fiber ayrılmaları ve çok az sayıda fiber kırılması meydana gelmiştir.



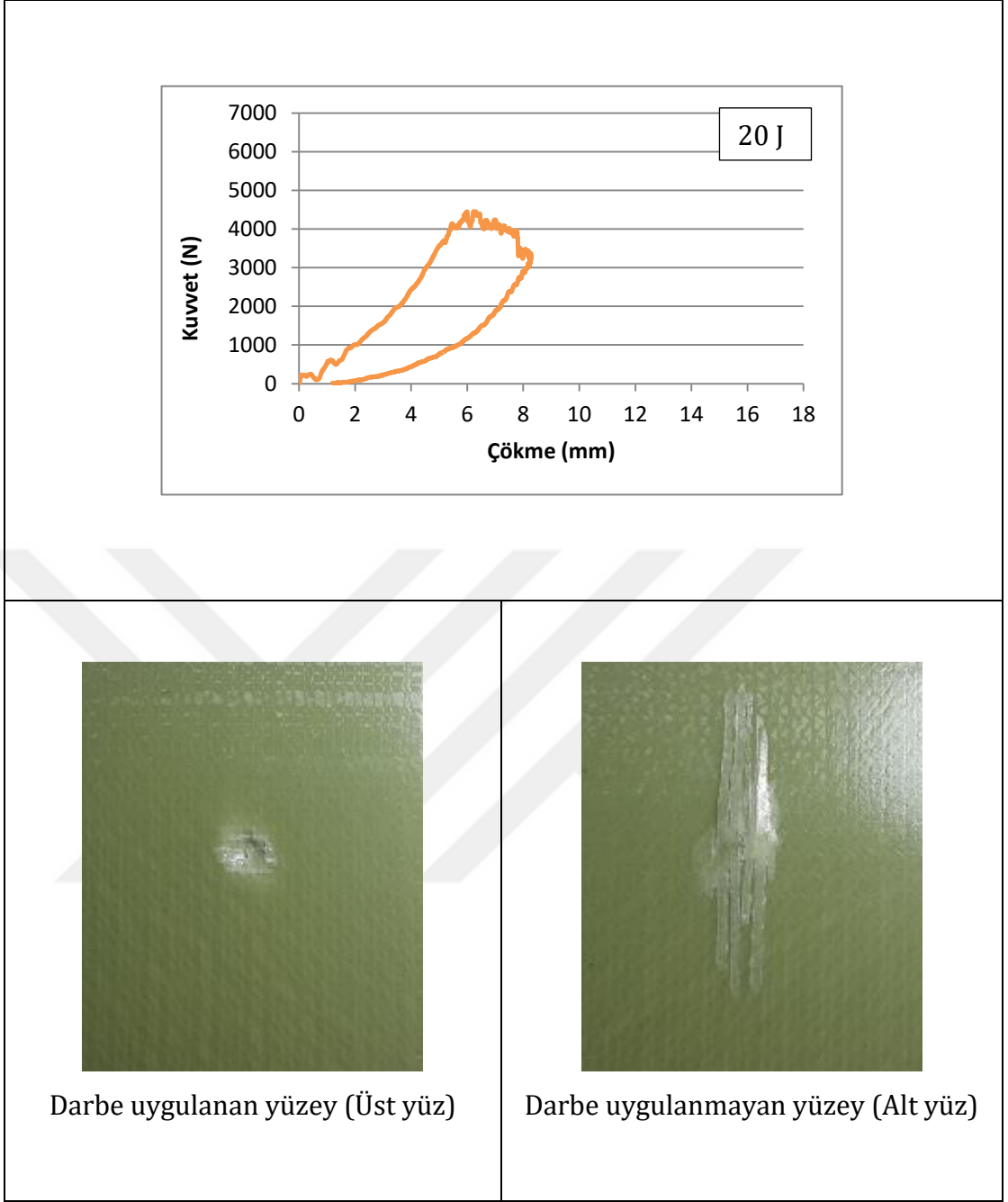
Şekil 4. 3. 30J uygulanan 8 tabakalı 1. grup numunelerin kuvvet - çökme eğrisi ve numunenin darbe sonrası numunenin üst ve alt yüzlerinin fotoğrafları

Şekil 4.3.'ten görüleceği üzere 30J darbe enerjisi uygulanan numunenin kuvvet - çökme eğrisi açık bir eğridir. Numunede delinme meydana gelmiştir. Numunenin üst yüzünde delaminasyonlar, fiber kırılmaları ve delinme meydana gelirken, alt yüzünde fiber ayrılmaları, fiber kırılmaları ve delinme meydana gelmiştir.



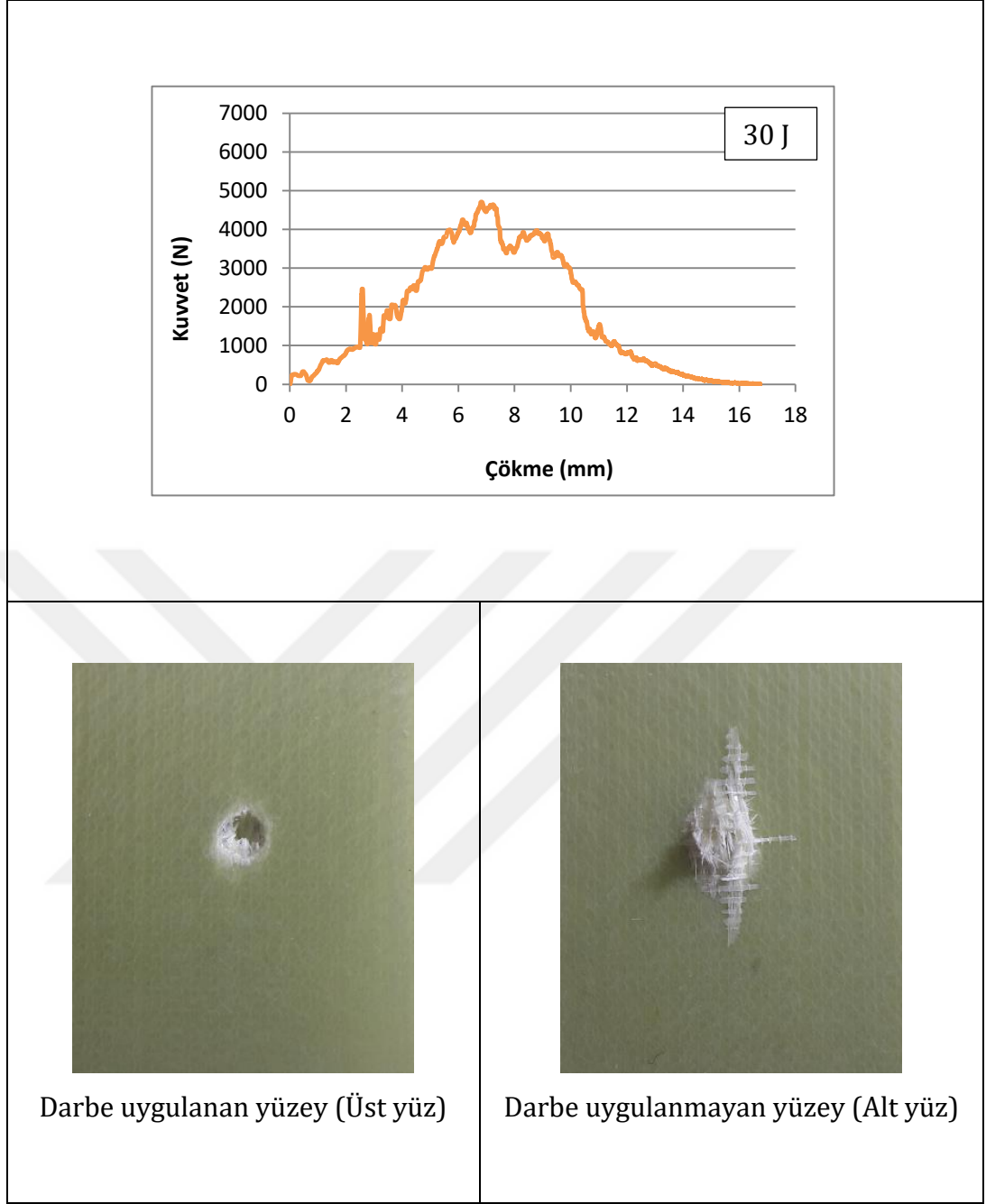
Şekil 4. 4. 10J uygulanan 8 tabakalı 2. grup numunelerin kuvvet - çökme eğrisi ve numunenin darbe sonrası üst ve alt yüzeylerinin fotoğrafları

Şekil 4.4.'ten görüleceği üzere numunenin kuvvet - çökme eğrisi kapalı bir eğridir. Numunede geri sekme davranışı meydana gelmiştir. Numunenin üst yüzünde ezilme izi ve küçük delaminasyonlar meydana gelirken, alt yüzünde delaminasyonlar ve çok az sayıda fiber ayrılması meydana gelmiştir.



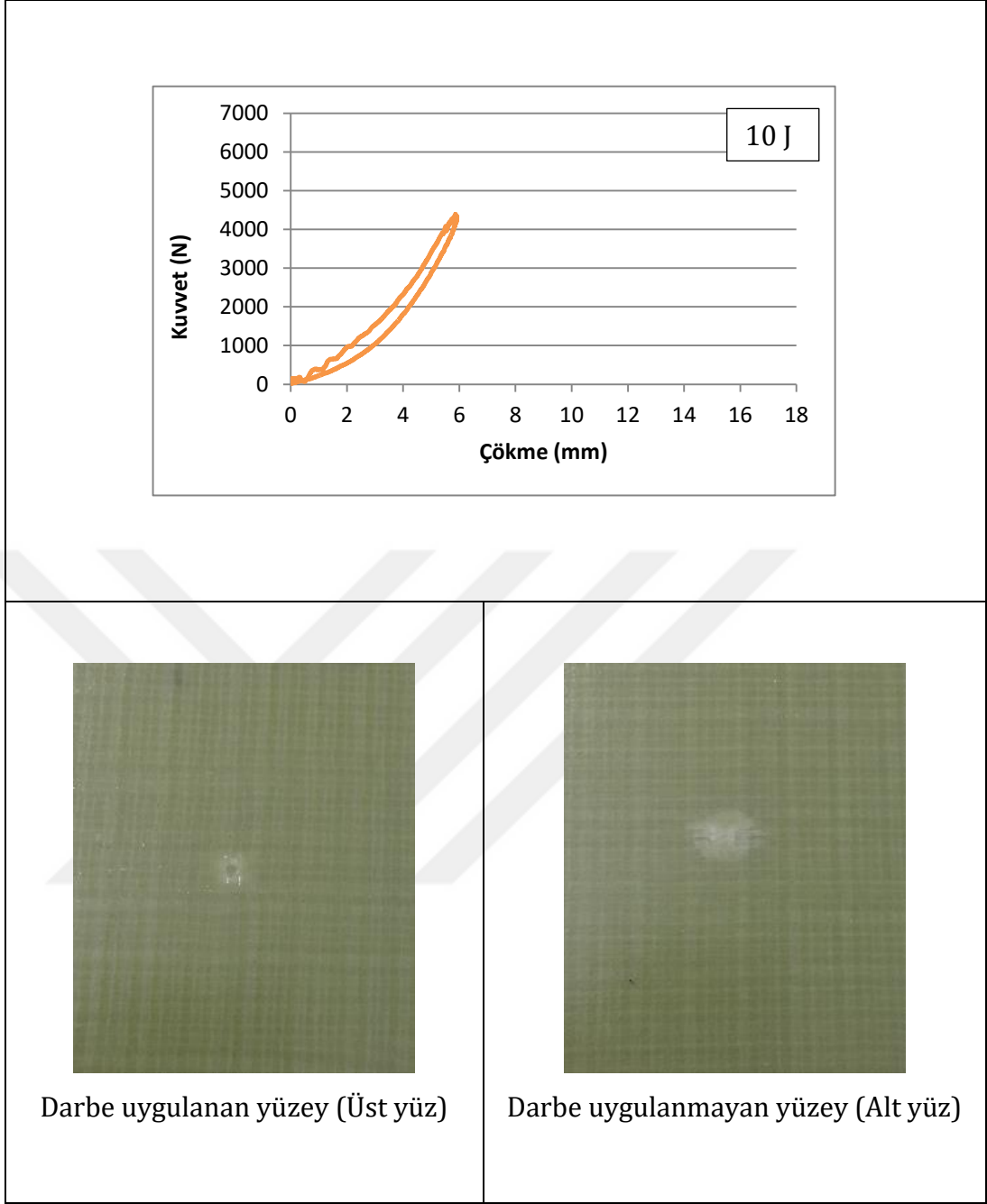
Şekil 4. 5. 20J uygulanan 8 tabakalı 2. grup numunelerin kuvvet - çökme eğrisi ve numunenin darbe sonrası üst ve alt yüzeylerinin fotoğrafları

Şekil 4. 5.'ten görüleceği üzere numunenin kuvvet - çökme eğrisi kapalı bir eğridir. Numunenin üst yüzünde delaminasyonlar, matris kırılmaları ve az sayıda fiber kırılması meydana gelirken, alt yüzünde delaminasyonlar ve fiber ayrılmaları meydana gelmiştir.



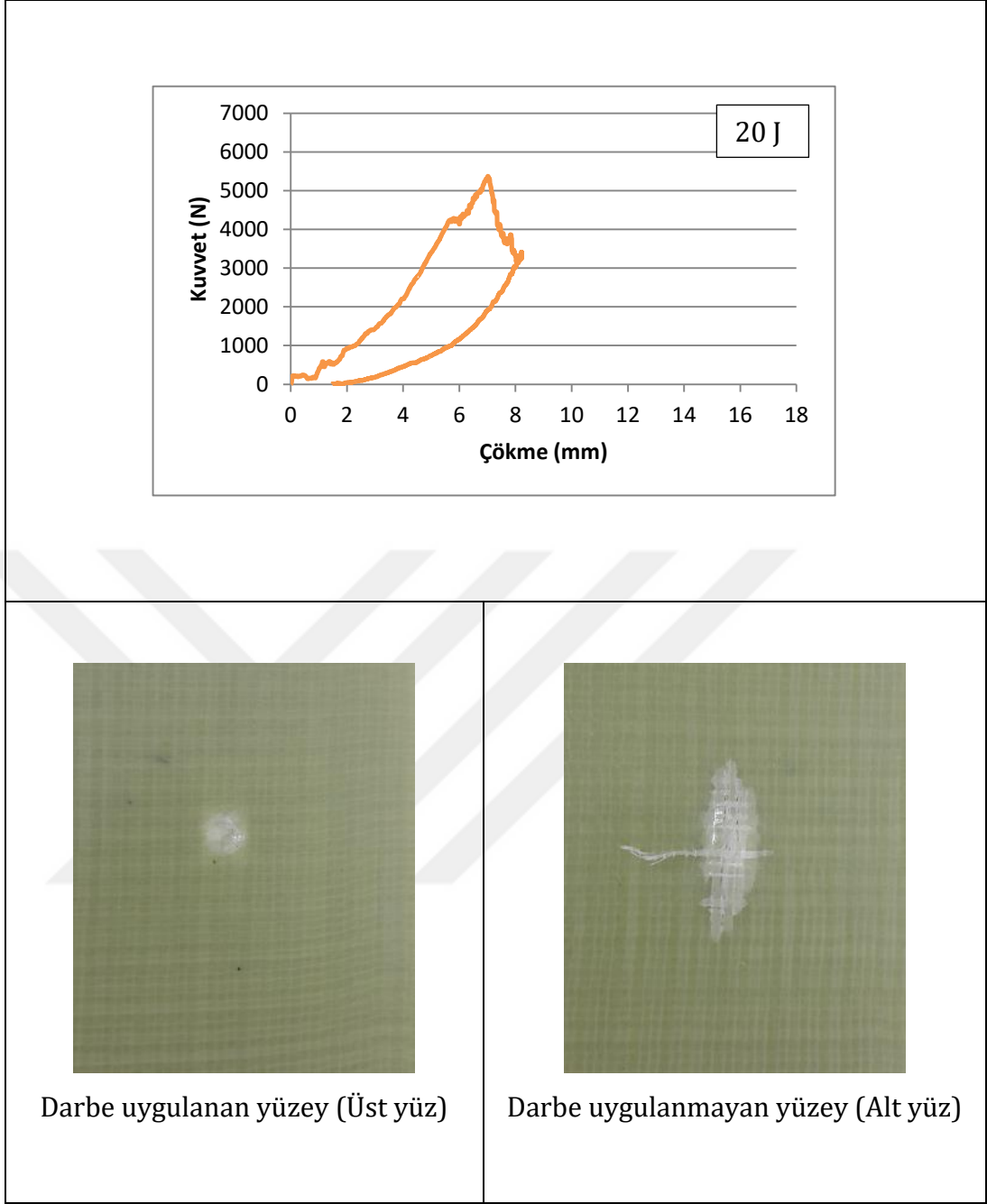
Şekil 4. 6. 30J uygulanan 8 tabakalı 2. grup numunelerin kuvvet - çökme eğrisi ve numunenin darbe sonrası üst ve alt yüzeylerinin fotoğrafları

Şekil 4.6.'dan görüleceği üzere 30J darbe enerjisi uygulanan numunenin kuvvet - çökme eğrisi açık bir eğridir. Numunede delinme meydana gelmiştir. Numunenin üst yüzünde delaminasyonlar, fiber kırılmaları ve delinme meydana gelirken, alt yüzünde fiber ayrılmaları, fiber kırılmaları ve delinme meydana gelmiştir.



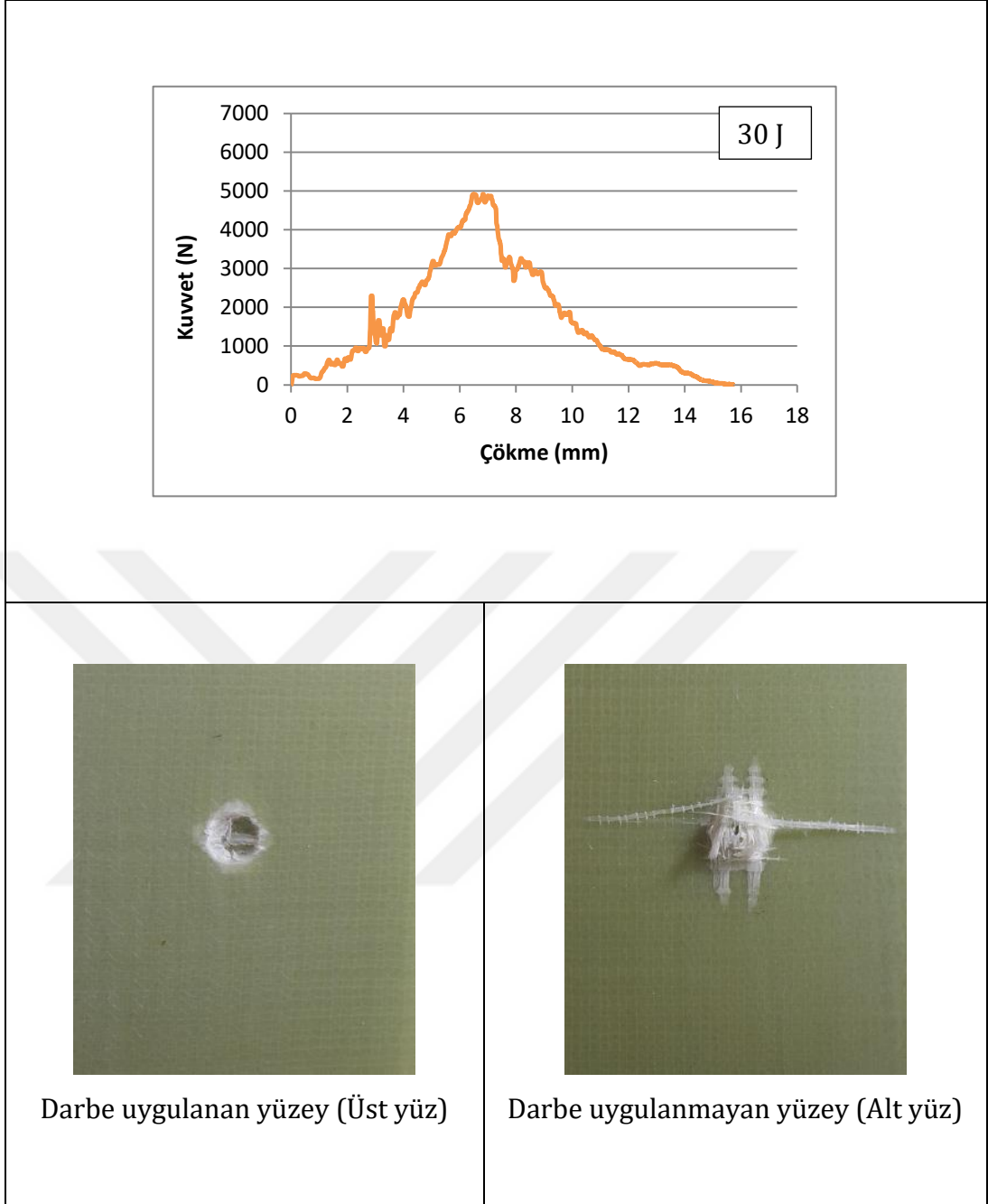
Şekil 4. 7. 10J uygulanan 8 tabakalı 3. grup numunelerin kuvvet - çökme eğrisi ve numunenin darbe sonrası üst ve alt yüzeylerinin fotoğrafları

Şekil 4.7.'den görüleceği üzere numunenin kuvvet - çökme eğrisi kapalı bir eğridir. Numunede geri sekme davranışı meydana gelmiştir. Numunenin üst yüzünde ezilme izi ve küçük delaminasyonlar meydana gelirken, alt yüzünde delaminasyonlar ve çok az sayıda fiber ayrılması meydana gelmiştir.



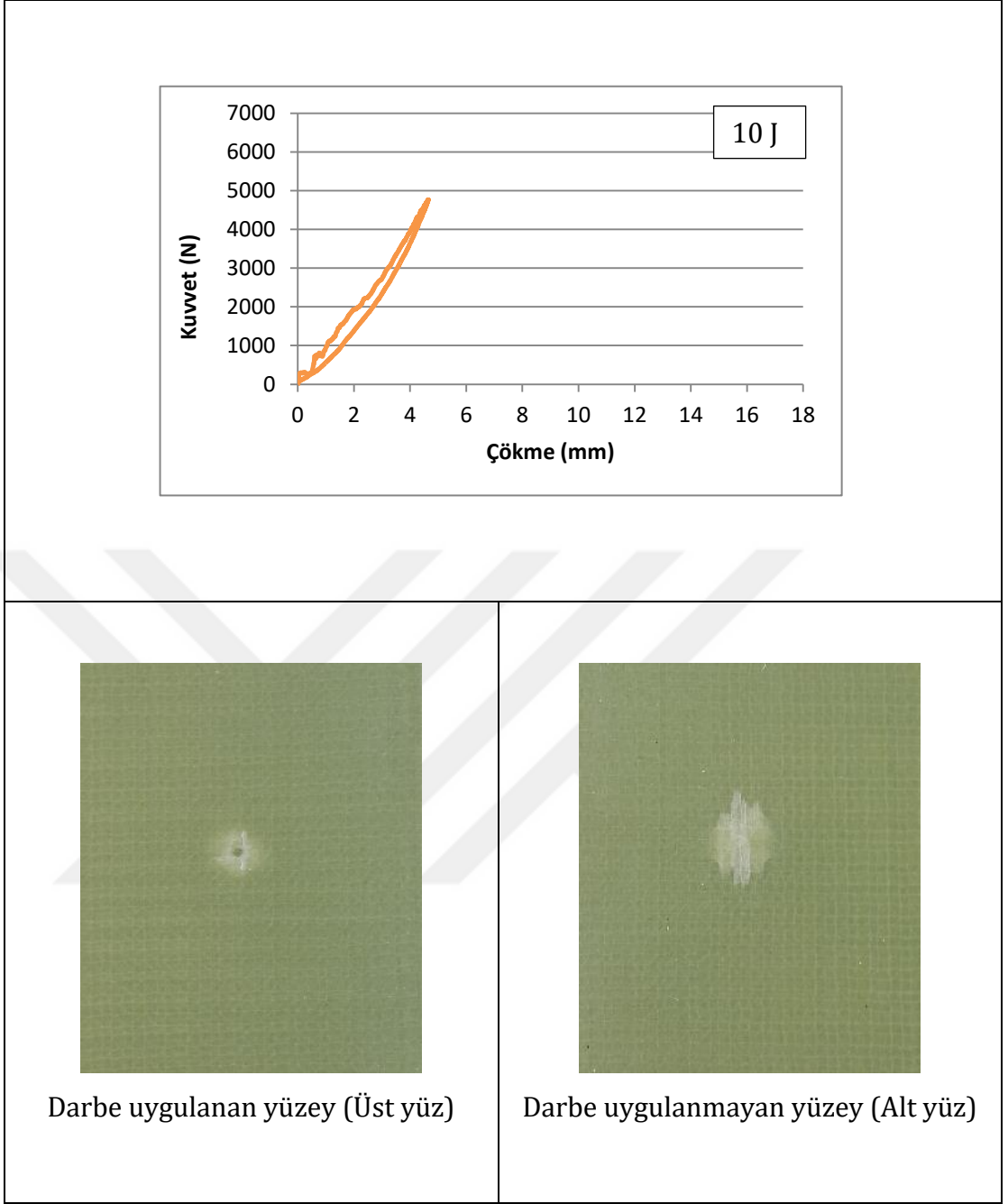
Şekil 4. 8. 20J uygulanan 8 tabakalı 3. grup numunelerin kuvvet - çökme eğrisi ve numunenin darbe sonrası üst ve alt yüzeylerinin fotoğrafları

Şekil 4.8.'den görüleceği üzere numunenin kuvvet - çökme eğrisi kapalı bir eğridir. Numunenin üst yüzünde delaminasyonlar, matris kırılmaları ve az sayıda fiber kırılması meydana gelirken alt yüzünde delaminasyonlar, fiber ayrılmaları ve çok az sayıda fiber kırılması meydana gelmiştir.



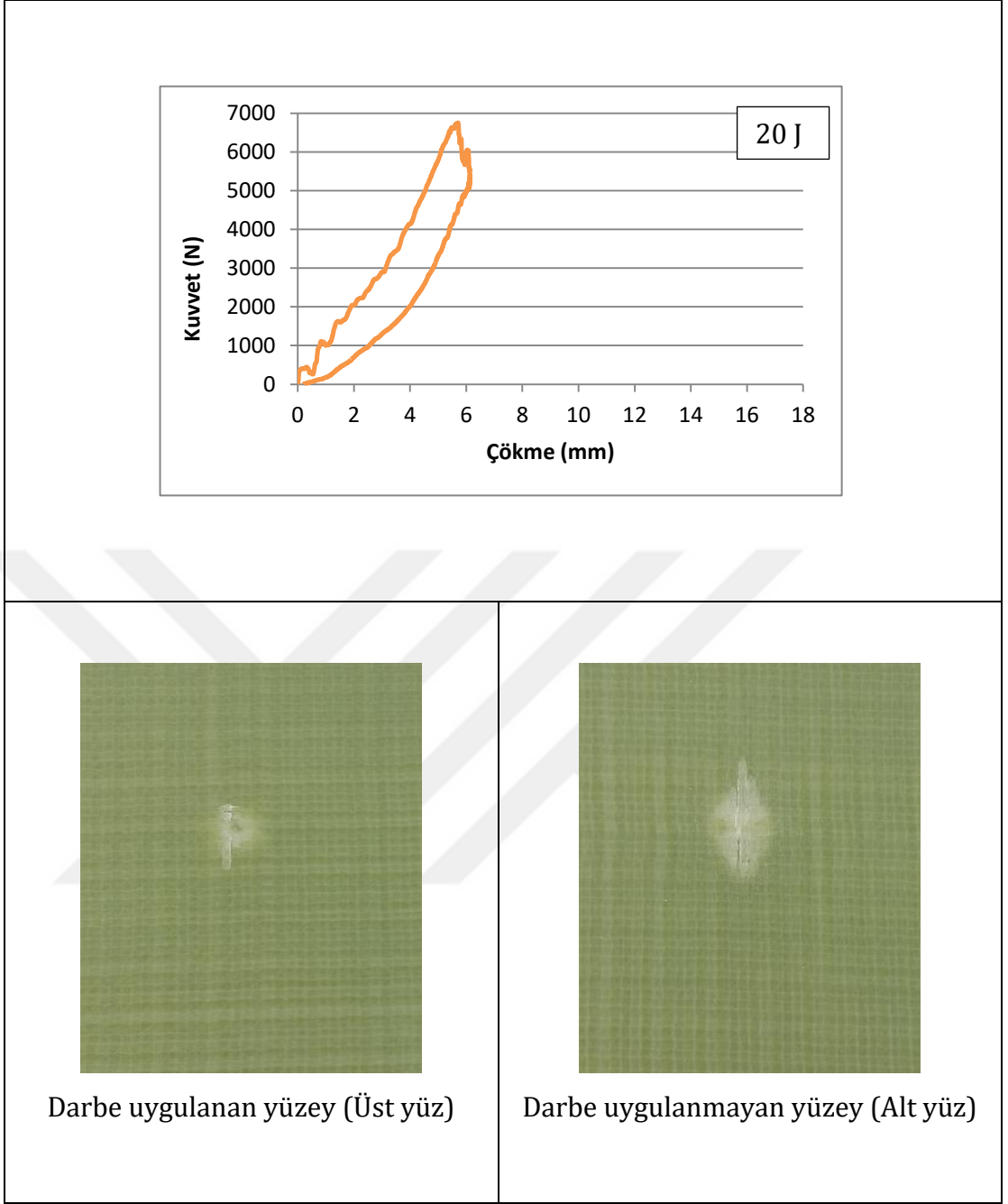
Şekil 4. 9. 30J uygulanan 8 tabakalı 3. grup numunelerin kuvvet - çökme eğrisi ve numunenin darbe sonrası üst ve alt yüzeylerinin fotoğrafları

Şekil 4.9.'dan görüleceği üzere 30J darbe enerjisi uygulanan numunenin kuvvet - çökme eğrisi açık bir eğridir. Numunede delinme meydana gelmiştir. Numunenin üst yüzünde delaminasyonlar, fiber kırılmaları ve delinme meydana gelirken, alt yüzünde fiber ayrılmaları, fiber kırılmaları ve delinme meydana gelmiştir.



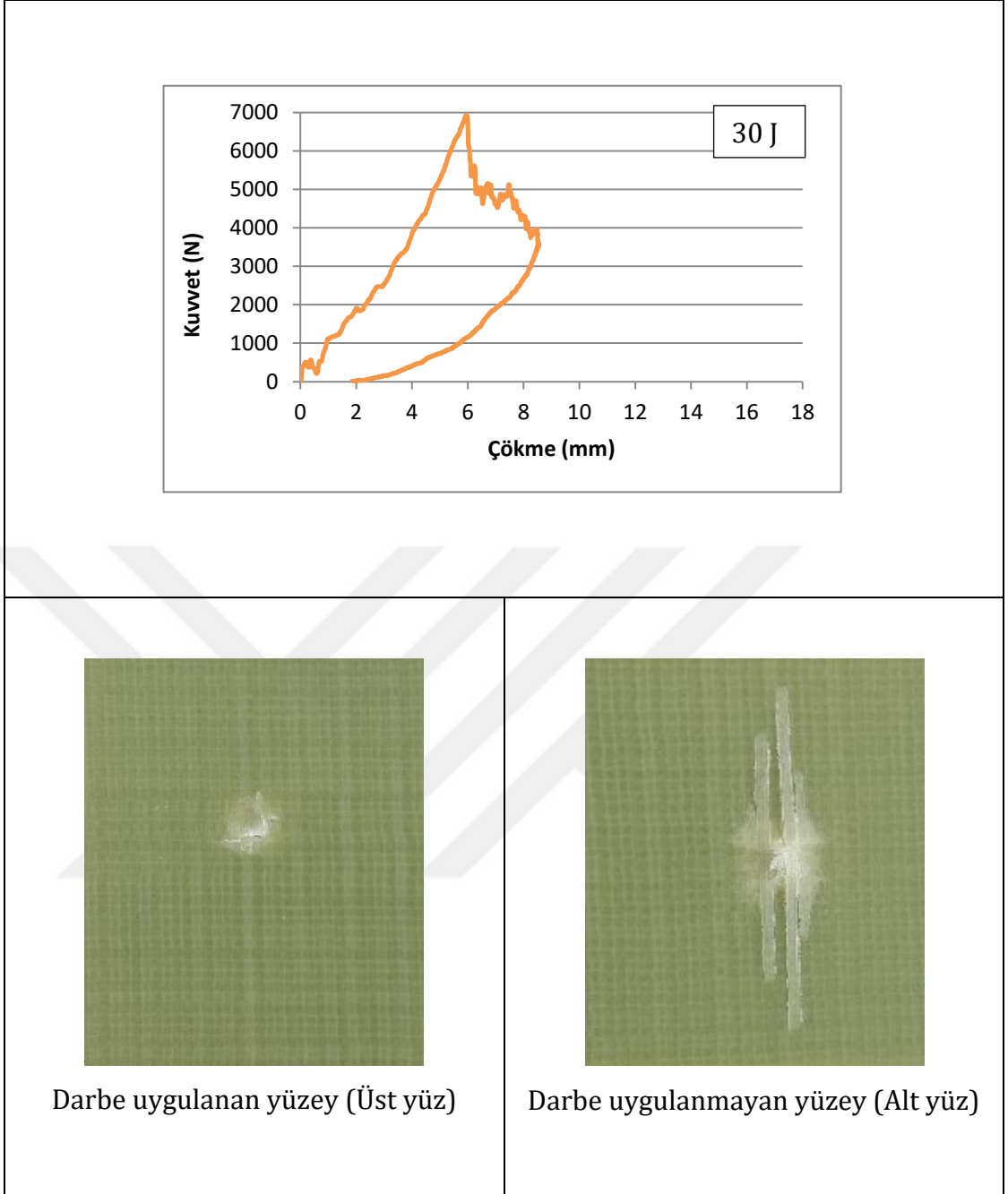
Şekil 4. 10. 10J uygulanan 12 tabakalı 1. grup numunelerin kuvvet - çökme eğrisi ve numunenin darbe sonrası üst ve alt yüzeylerinin fotoğrafları

Şekil 4.10.'dan görüleceği üzere numunenin kuvvet - çökme eğrisi kapalı bir eğridir. Numunede geri sekme davranışı meydana gelmiştir. Numunenin üst yüzünde ezilme izi ve küçük delaminasyonlar meydana gelirken, alt yüzünde delaminasyon ve az sayıda fiber ayrılması meydana gelmiştir. 10 joule darbe uygulanan 8 tabakalı numunelere göre deformasyon değerleri daha düşüktür.



Şekil 4. 11. 20J uygulanan 12 tabakalı 1. grup numunelerin kuvvet - çökme eğrisi ve numunenin darbe sonrası üst ve alt yüzeylerinin fotoğrafları

Şekil 4.11.'den görüleceği üzere numunenin kuvvet - çökme eğrisi kapalı bir eğridir. Numunede geri sekme davranışı meydana gelmiştir. Numunenin üst yüzünde ezilme izi ve delaminasyonlar meydana gelirken, alt yüzünde delaminasyonlar ve az sayıda fiber ayrılması meydana gelmiştir. 20 joule darbe uygulanan 8 tabakalı numunelere göre deformasyon değerleri daha düşüktür.

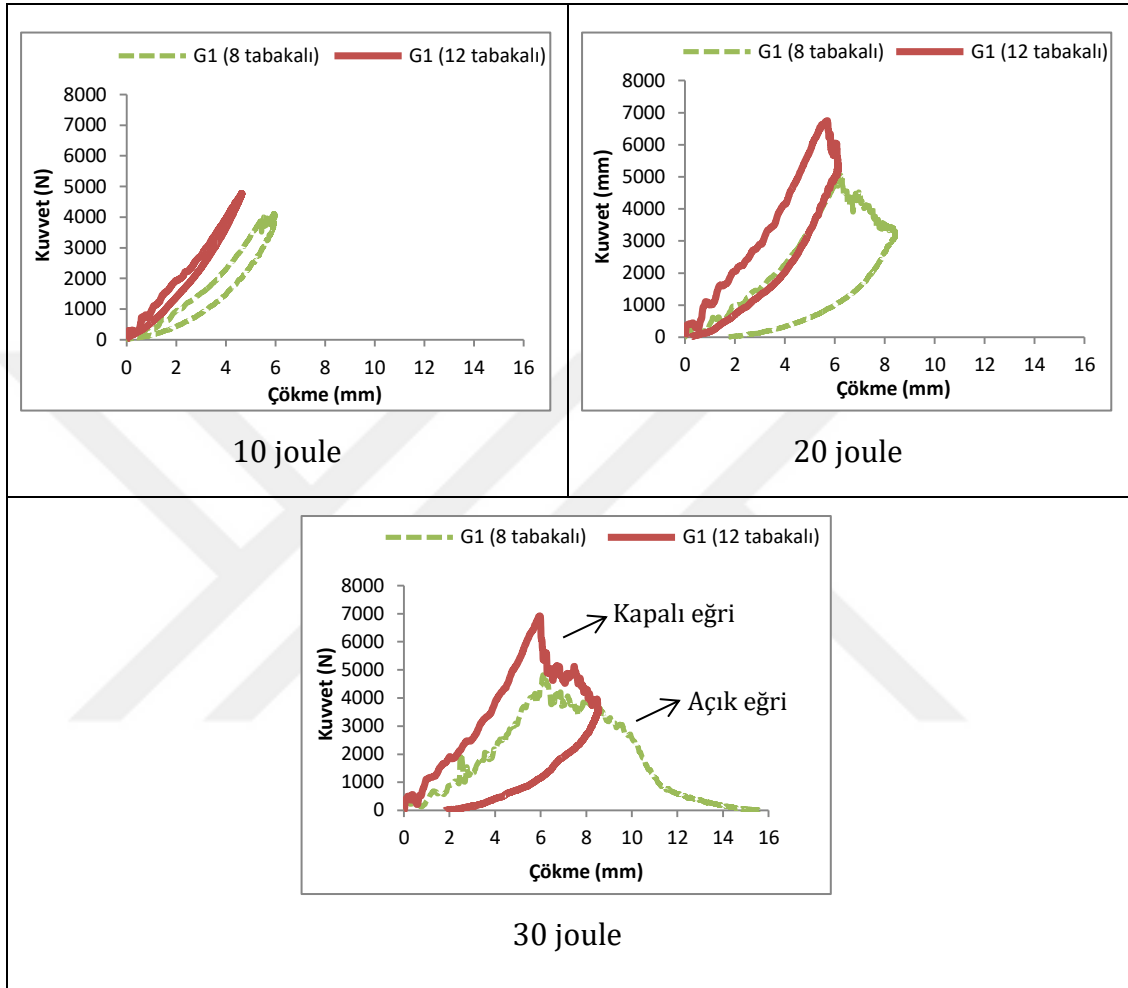


Şekil 4. 12. 30J uygulanan 12 tabakalı 1. grup numunelerin kuvvet - çökme eğrisi ve numunenin darbe sonrası üst ve alt yüzey fotoğrafları

Şekil 4.12.'den görüleceği üzere numunenin kuvvet - çökme eğrisi kapalı bir eğridir. Numunenin üst yüzünde delaminasyonlar, matris kırılmaları ve çok az sayıda fiber kırılması meydana gelirken, alt yüzünde delaminasyonlar, fiber ayrılmalar ve az sayıda fiber kırılması gelmiştir. 20 joule darbe uygulanan 8 tabakalı numunelere göre deformasyon değerleri daha düşüktür.

4.1.2. Tabaka kalınlığının darbe davranışı üzerine etkisi

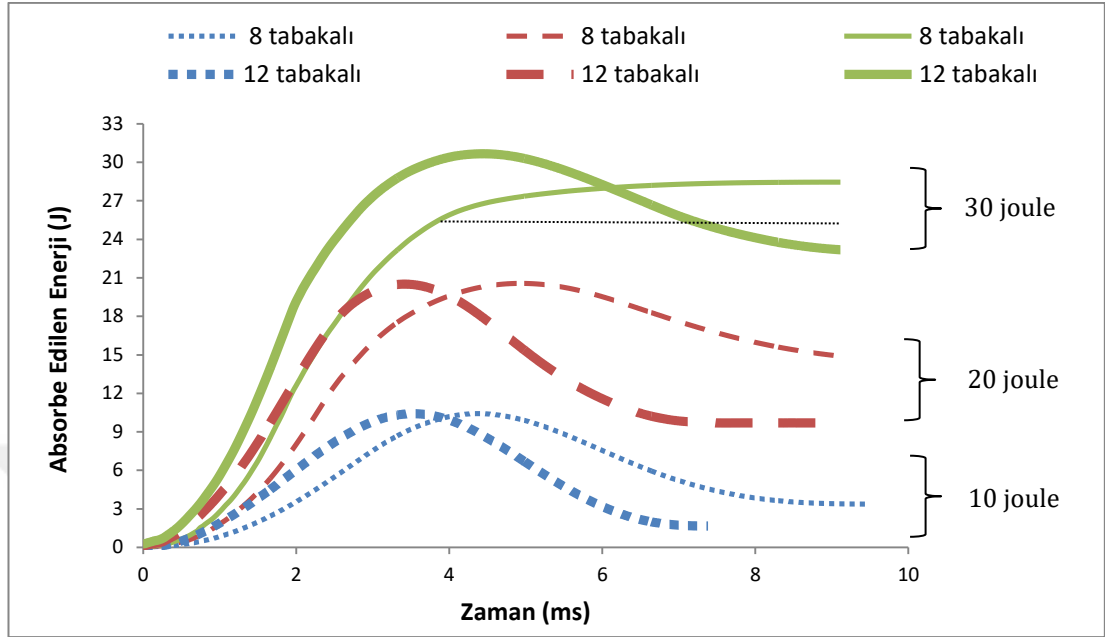
Şekil 4.13'te artan darbe enerjisine maruz G_1^8 ve G_1^{12} numunelerinin tabaka kalınlıklarının darbe davranışı üzerine etkileri karşılaştırılmıştır.



Şekil 4. 13. Artan darbe enerjisi altında 8 ve 12 tabakalı 1. grup numuneleri için kuvvet-çökme eğrileri

Şekil 4.13'te verilen kuvvet - çökme eğrileri karşılaştırıldığında her üç joule değeri için de G_1^8 numunelerinin G_1^{12} numunelerine göre daha fazla deformasyona uğradığı görülmektedir. Kapalı eğri görülen numunelerde geri sekme meydana gelirken, açık eğri görülen numunelerde delinme meydana geldiği gözlenmektedir. Darbe enerji değerleri arttığında ve numunelerin tabaka sayısı azaldığında kuvvet-çökme eğrilerinin kapalı eğriden açık eğriye geçme eğilimi gösterdiği görülmektedir.

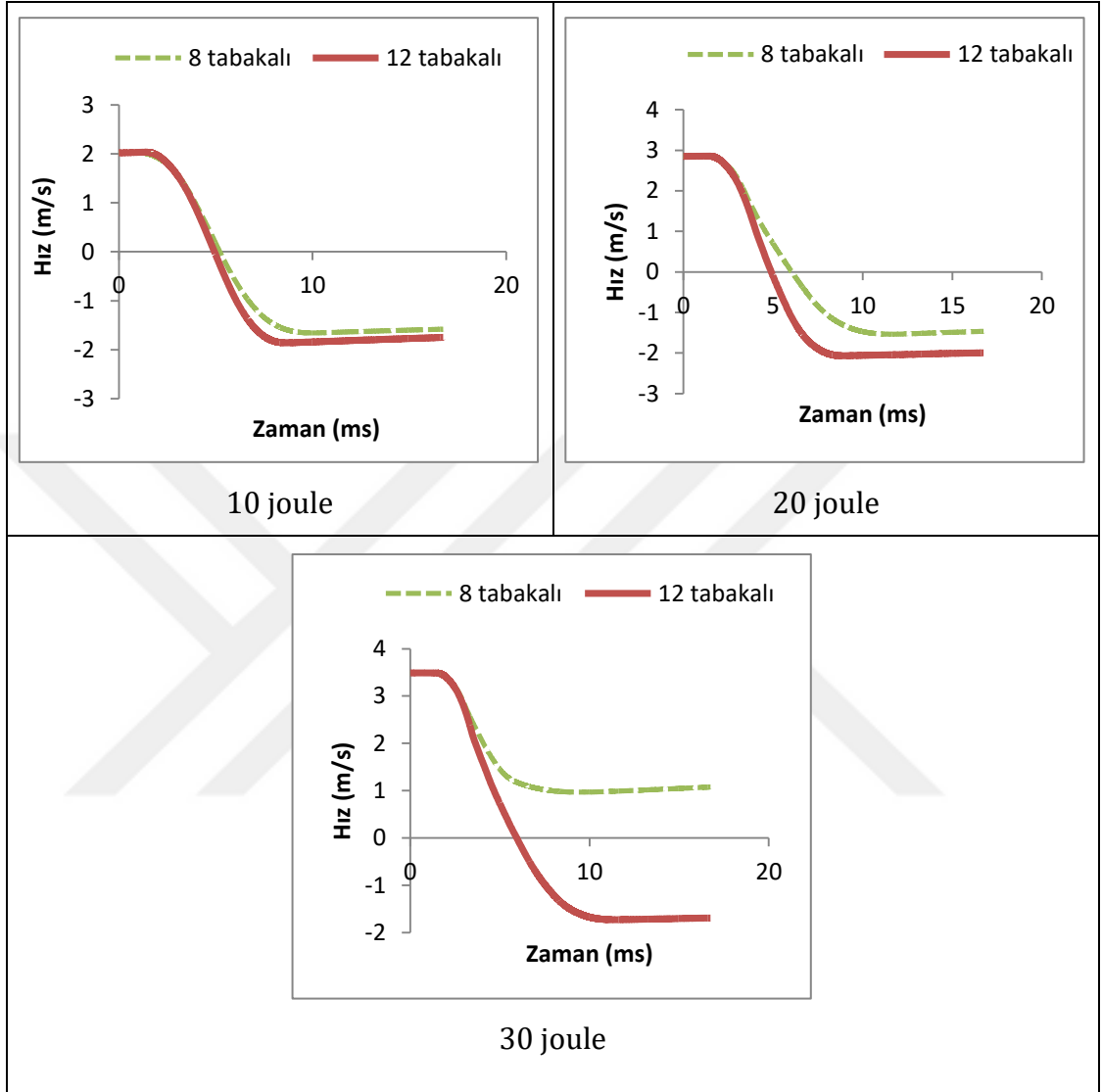
Şekil 4.14'de G_1^8 ve G_1^{12} numunelerinin artan darbe enerjisi altında absorbe edilen enerji-zaman eğrileri verilmiştir.



Şekil 4. 14. Artan darbe enerjisi altında 8 ve 12 tabakalı 1. grup numuneler için absorbe edilen enerji-zaman eğrileri

Absorbe edilen enerji-zaman eğrileri için vurucunun numune yüzeyinden geri sekmesi durumunda vurucunun sahip olduğu enerjinin tamamı numune tarafından absorbe edilemez ve absorbe edilemeyen darbe enerjisi de vurucunun numune yüzeyinden geri sekmesi için harcanır. Vurucunun numuneye saplanması durumunda ise vurucunun sahip olduğu darbe enerjisinin tamamı numune tarafından absorbe edilir. Vurucunun numuneyi delip geçmesi durumunda ise, vurucu ile numune arasındaki sürtünme kısmının altında kalan alanın da darbe cihazının programı tarafından hesaplanan absorbe edilen enerji miktarına katılmasından dolayı eğrinin yukarı doğru yönlendiği görülür (Sayer, 2009). Şekil 4.14'den görüleceği üzere G_1^8 numunesinin 30J darbe enerji değerinde delinme meydana geldiği görülmektedir. Diğer numuneler için ise vurucunun sahip olduğu enerjinin tamamı absorbe edilememiş ve absorbe edilemeyen darbe enerjisi vurucunun deney numunelerinden geri sekmesi için harcanmıştır.

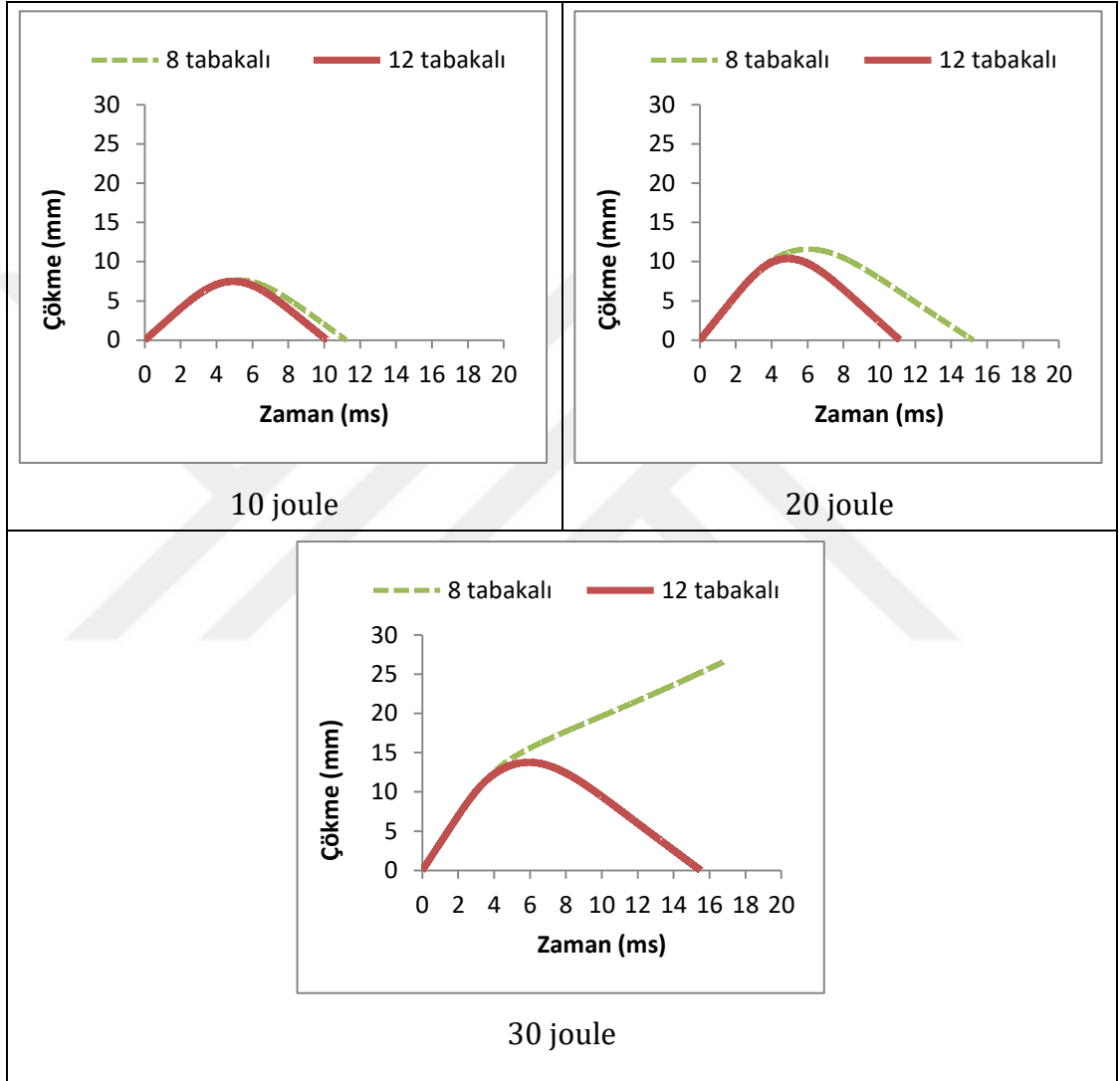
Şekil 4.15'te G_1^8 ve G_1^{12} numunelerinin artan darbe enerjisi altında hız - zaman eğrileri verilmiştir.



Şekil 4. 15. Artan darbe enerjisi altında 8 ve 12 tabakalı 1. grup numuneleri için hız-zaman eğrileri

Şekil 4.15'den görüleceği üzere G_1^8 ve G_1^{12} numuneleri için 10J ve 20J darbe enerji değerlerinde ve G_1^{12} numunesinin 30J darbe enerji değerinde başlangıçta belirli bir hıza sahip olan vurucunun numune ile temasından sonra hızında azalma meydana gelmiştir. Ardından vurucu numuneden geri sekme davranışı göstermiştir. Bu geri sekme esnasında vurucu darbe uygulanan yönün tersine hareket ettiği için eğrilerde negatif değerler almıştır. 30J darbe enerji değeri

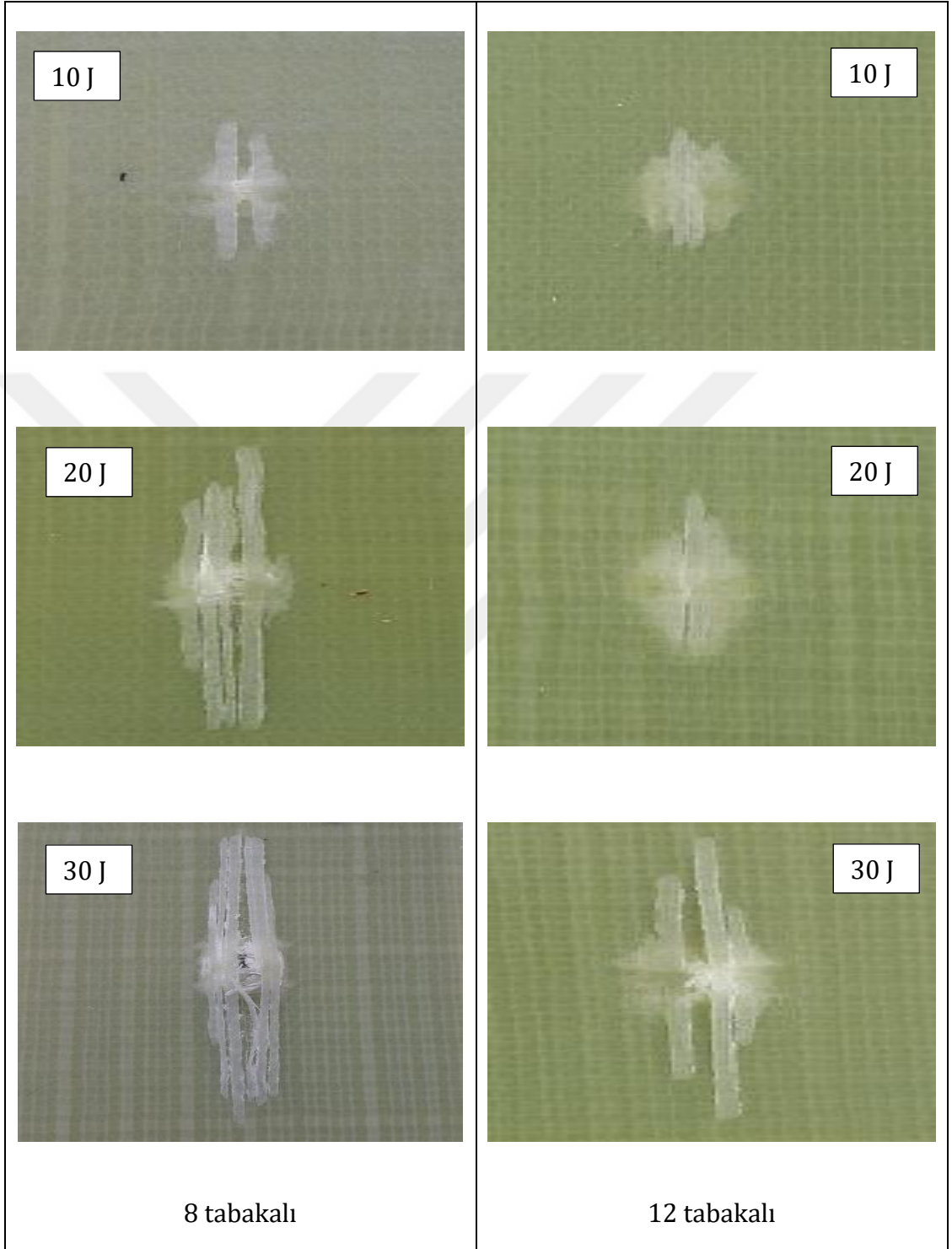
uygulanan G_1^8 numunesinde delinme meydana gelmiştir. Bu delinme olayında vurucu belirli hızla numuneye saplanmıştır. Numune kalınlığı boyunca ilerleyen vurucunun hızı sürtünmeden dolayı yavaşlamıştır. Numuneden geri sekme meydana gelmediği için eğri pozitif bölgede kalmıştır. Şekil 4.16'da G_1^8 ve G_1^{12} numunelerinin artan darbe enerjisi altında çökme - zaman eğrileri verilmiştir.



Şekil 4. 16. Artan darbe enerjisi altında 8 ve 12 tabakalı 1. grup numunelerin çökme-zaman eğrileri

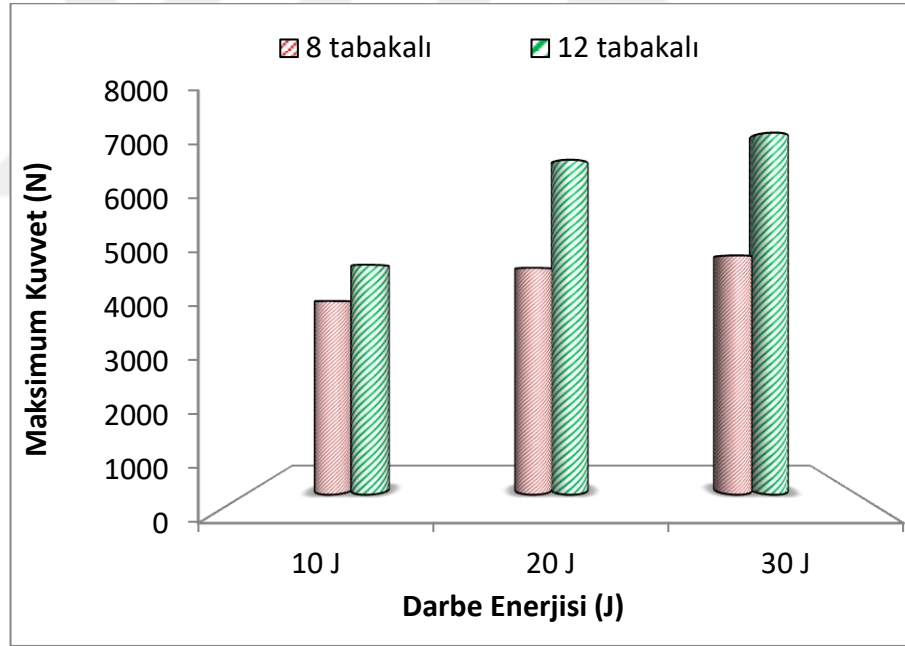
Şekil 4.16'dan görüleceği üzere G_1^8 ve G_1^{12} numuneleri için 10J ve 20J darbe enerji değerlerinde geri sekme davranışı meydana gelmiştir. 30J darbe enerji değeri uygulanan G_1^{12} numunesinde geri sekme meydana gelirken, G_1^8 numunesinde ise delinme meydana gelmiştir.

Şekil 4.17’de darbeye maruz kalan G_1^8 ve G_1^{12} numunelerini darbe uygulanmamış yüzlerinin (alt yüz) fotoğrafları verilmiştir.



Şekil 4. 17. Artan darbe enerjisi altında 8 ve 12 tabakalı 1. grup numunelerinin alt yüzlerinin fotoğrafları

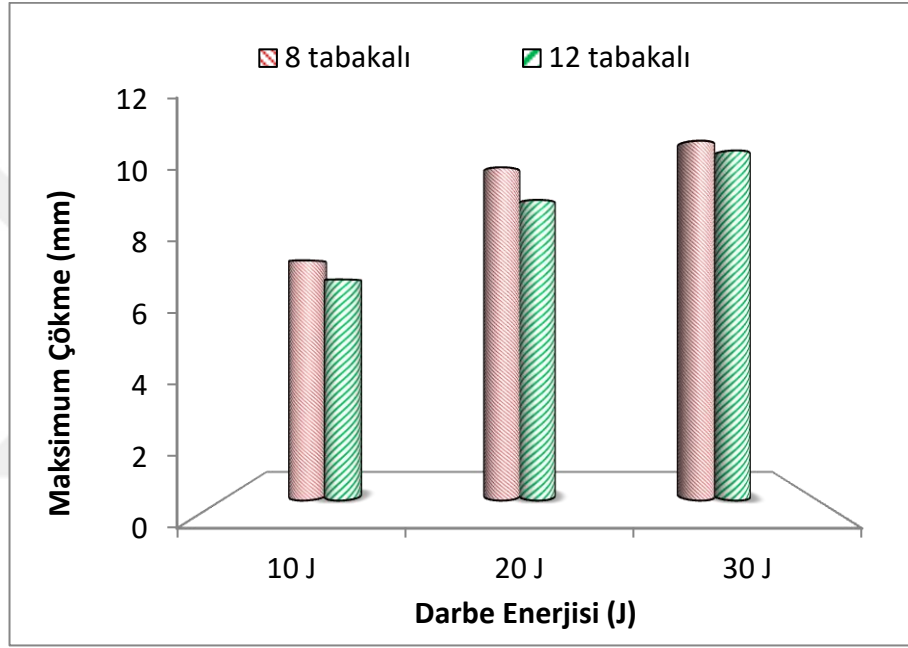
Şekil 4.17'de artan darbe enerjisi altında 8 ve 12 tabakalı numunelerin darbe uygulanmamış olan arka yüzlerinin fotoğrafları verilmiştir. 8 tabakalı numunelerde 10J darbe değerinde küçük delaminasyonlar ve fiber ayrılmaları görülürken; 20J darbe değeri için delaminasyonlar, fiber ayrılmaları ve az sayıda fiber kırılması görülmüştür. 30J darbe değeri için ise delaminasyonlar, fiber ayrılmaları, fiber kırılmaları ve bunların yanında delinme meydana gelmiştir. 12 tabakalı numunelerde 10J ve 20J darbe değerinde küçük delaminasyonlar ve fiber ayrılmaları görülürken; 30J için delaminasyonlar, fiber ayrılmaları ve az sayıda fiber kırılması görülmüştür. Darbe deneyi sonucunda 8 tabakalı numunelerin 12 tabakalı numunelere göre daha fazla deformasyona uğradığı gözlenmiştir. Şekil 4.18' de 8 ve 12 tabakalı numuneler için maksimum kuvvet-darbe enerjisi grafiği verilmiş olup darbe enerji değerlerinin artışı ile maksimum kuvvet değerlerinin de arttığı görülmektedir.



Şekil 4. 18. 3 farklı darbe enerjisi uygulanan 8 ve 12 tabakalı numuneler için maksimum kuvvet-darbe enerjisi grafiği

Şekil 4.18'den 12 tabakalı numunelerin 8 tabakalı numunelere göre maksimum kuvvet değerlerinin daha fazla olduğu görülmektedir. Dolayısıyla 12 tabakalı numunelerin 8 tabakalı numunelere göre yük taşıma kapasitelerinin daha

yüksek olduğu sonucuna varılabilir. 12 tabakalı numunelerin 8 tabakalı numunelere göre maksimum kuvvet değerlerinde 10J darbe enerjisi altında %18.77, 20J darbe enerjisi altında % 47.65 ve 30J darbe enerjisi altında % 51.36 oranında arttığı gözlenmiştir. Elde edilen bu sonuç literatür ile uyum içindedir. Morais ve arkadaşlarıda, kompozit tabaka kalınlığının artmasıyla darbe direncinin de arttığını belirtmişlerdir (Morais vd., 2005). Şekil 4.19'da 8 ve 12 tabakalı numuneler için darbe enerjisinin artmasıyla çökme değerlerinin arttığı görülmektedir.

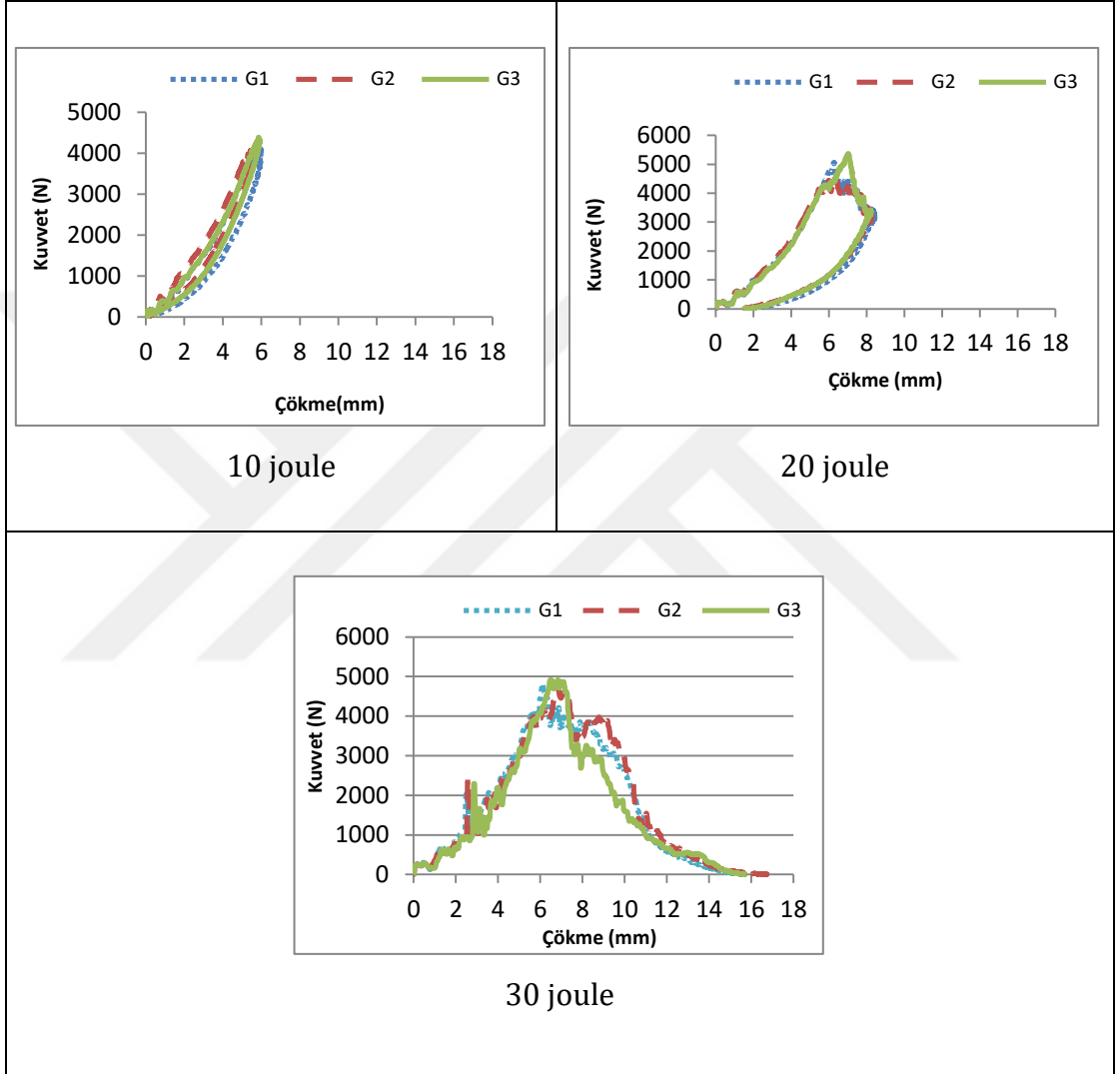


Şekil 4. 19. 8 ve 12 tabakalı numuneler için maksimum çökme-darbe enerjisi grafiği

Şekil 4.19'dan üç farklı darbe enerji değeri için de 8 tabakalı numunelerin 12 tabakalı numunelere göre çökme değerlerinin daha fazla olduğu görülmektedir. 12 tabakalı numunelerin 8 tabakalı numunelere göre maksimum çökme miktarlarında 10J darbe enerjisi altında %7,95, 20J darbe enerjisi altında % 9,78 ve 30J darbe enerjisi altında % 2,72 oranında azaldığı gözlenmiştir. Bu sonuç literatür ile de örtüşmektedir. Naik ve arkadaşları yaptıkları çalışmada, plaka kalınlığı arttıkça çökmelerin azaldığını ve maksimum kuvvet değerlerinin arttığını belirtmişlerdir (Naik vd., 2000).

4.1.3. Farklı oryantasyon açısının darbe davranışı üzerine etkisi

Şekil 4.20'de verilen artan darbe enerjisine maruz G_1^8 , G_2^8 ve G_3^8 numunelerinin kuvvet - çökme eğrileri vasıtasıyla farklı oryantasyon açısının darbe davranışı üzerine etkileri karşılaştırılmıştır.

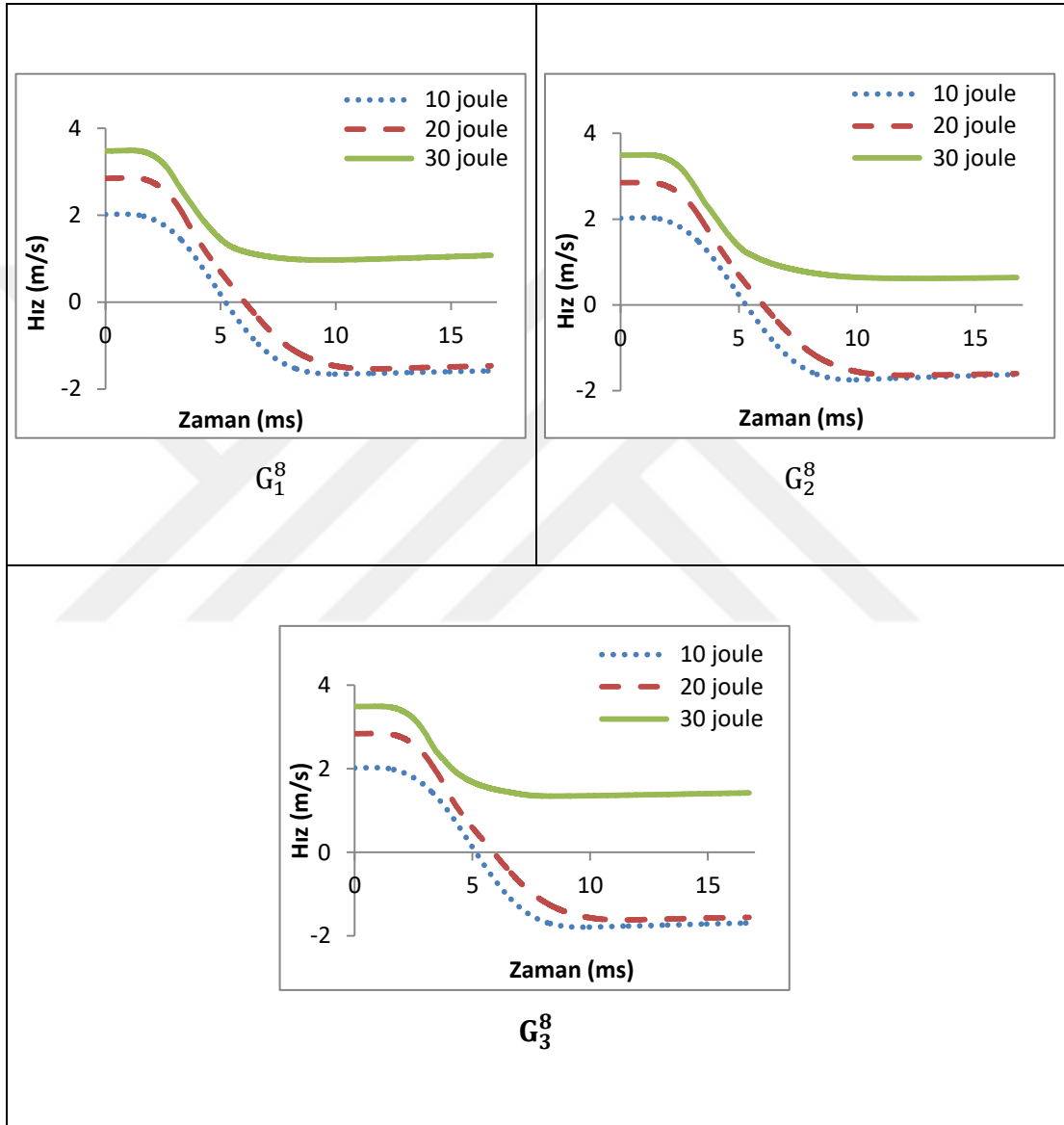


Şekil 4. 20. Farklı oryantasyona sahip 8 tabakalı numunelerinin kuvvet - çökme eğrileri

Şekil 4.20'de verilen farklı oryantasyon açısına sahip numunelerin kuvvet - çökme eğrileri karşılaştırıldığında her üç joule darbe enerji değeri için de aynı darbe davranışı göstermişlerdir. G_1^8 , G_2^8 ve G_3^8 numunelerinin kuvvet - çökme eğrileri 10J ve 20J darbe enerji değerlerinde kapalı eğri iken, 30J darbe enerji

değerinde açık eğridir. Kapalı eğri görülen numunelerde geri sekme meydana gelirken açık eğri görülen numunelerde delinme meydana gelmiştir.

Şekil 4.21'de G_1^8 , G_2^8 ve G_3^8 numunelerinin artan darbe enerjisi altında hız - zaman eğrileri verilmiştir.

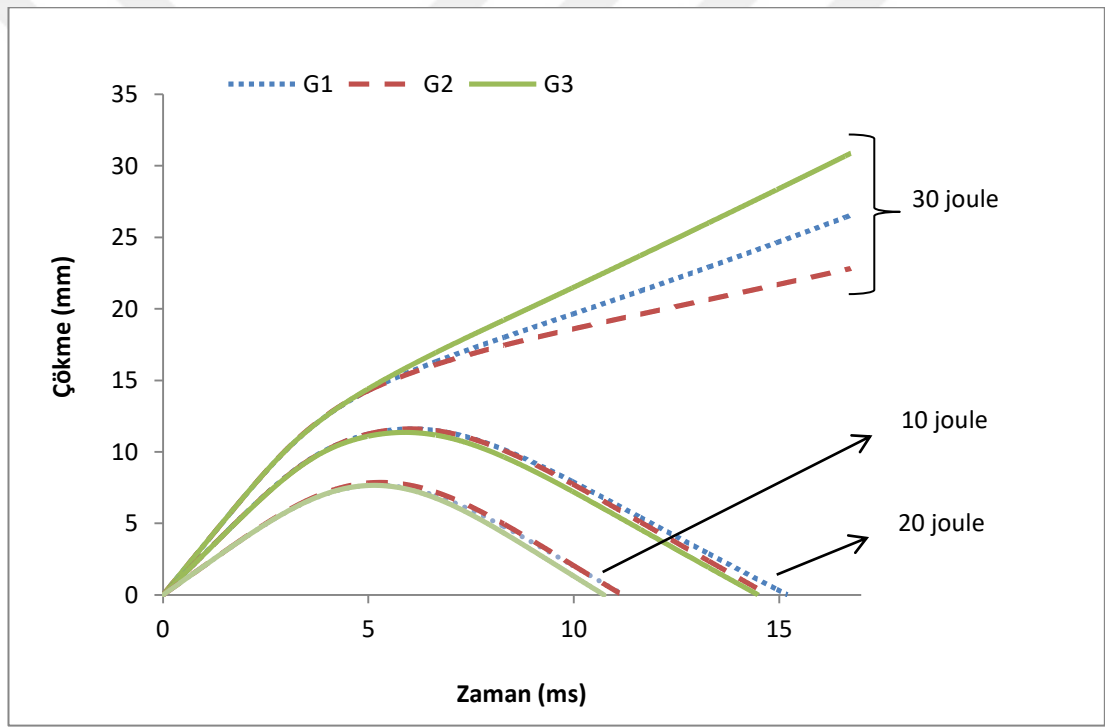


Şekil 4. 21. Farklı oryantasyona sahip 8 tabakalı numunelerin hız - zaman eğrileri

Şekil 4.21'de 30J darbe enerji değeri uygulanan G_1^8 , G_2^8 ve G_3^8 numunelerinde delinme meydana gelmiştir. Bu delinme olayında vurucu belirli hızla numuneye saplanmıştır. Numune kalınlığı boyunca ilerleyen vurucunun hızı sürtünmeden

dolayı yavaşlamıştır. Numuneden geri sekme meydana gelmediği için eğriler pozitif bölgede kalmıştır. G_1^8 , G_2^8 ve G_3^8 numuneleri için 10J ve 20J darbe enerji değerlerinde başlangıçta belirli bir hıza sahip olan vurucunun numune ile temasından sonra hızında azalma meydana gelmiştir. Ardından vurucu numuneden geri sekme davranışı göstermiştir. Bu geri sekme esnasında vurucu darbe uygulanan yönün tersine hareket ettiği için eğrilerde negatif değerler almıştır.

Şekil 4.22'de artan darbe enerjisi altındaki G_1^8 , G_2^8 ve G_3^8 numunelerinin çökme - zaman eğrileri verilmiştir.

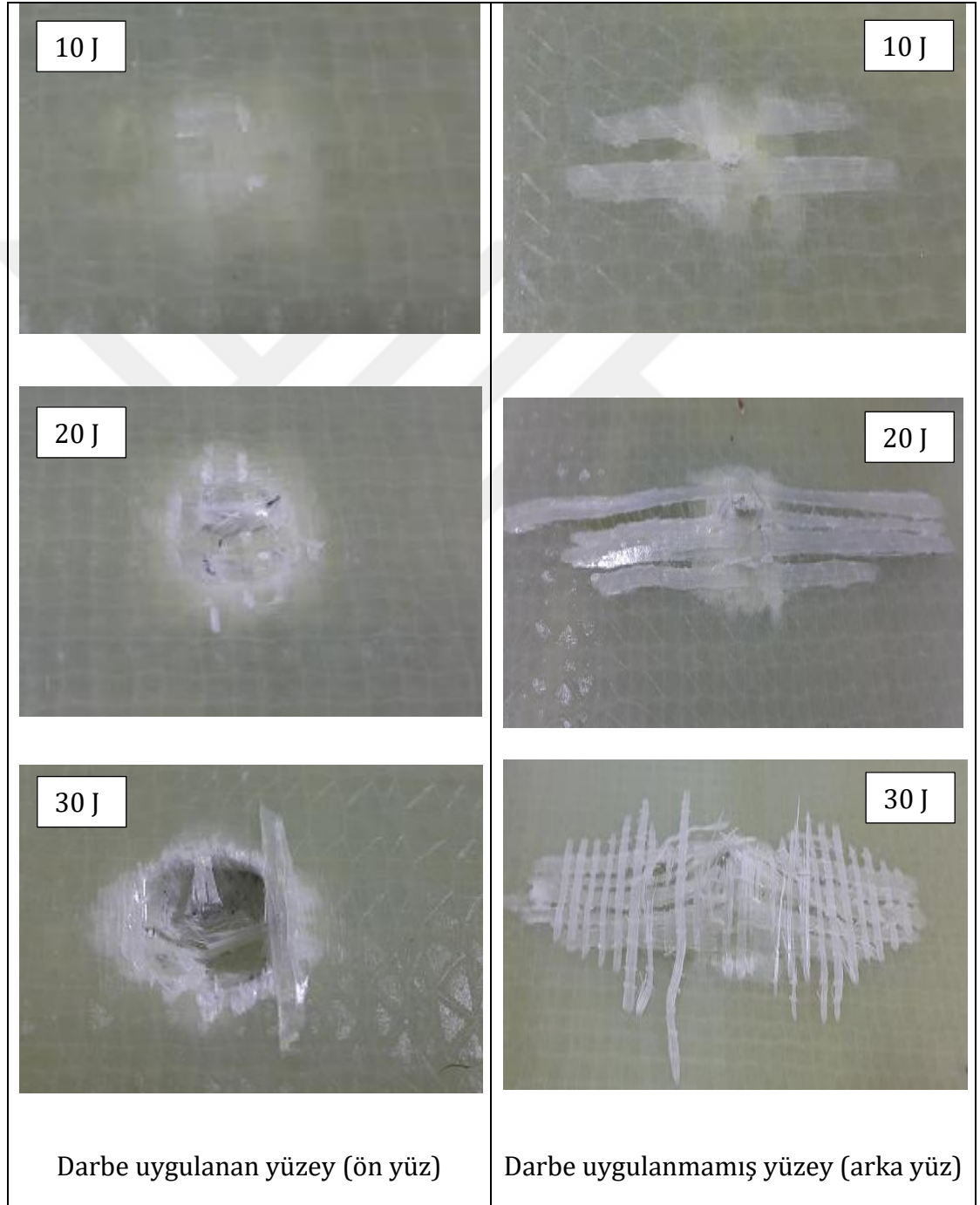


Şekil 4. 22. Farklı oryantasyona sahip 8 tabakalı numunelerin çökme - zaman eğrileri

Şekil 4.22'den görüleceği üzere G_1^8 , G_2^8 ve G_3^8 numunelerinde 30J darbe enerjisi değerleri altında delinme meydana gelirken, 10J ve 20J darbe enerjileri değerleri altında geri sekme meydana gelmiştir. 30J darbe enerjisinde G_1^8 numunesinde meydana gelen çökmenin(deformasyon), G_3^8 numunesinden az G_2^8 numunesinden ise fazla olduğu görülmektedir.

4.1.4. Numunenin darbe uygulanan ve darbe uygulanmayan yüzeylerinde oluşan hasar modları

Şekil 4.23'te numunenin darbe uygulanan yüzeyi ve aynı numunenin darbe uygulanmamış yüzeyindeki hasar modları karşılaştırılmıştır.



Şekil 4. 23. 10J, 20J ve 30J darbe enerji değeri uygulanan 8 tabakalı 1. grup numunelerinde oluşan hasar modları

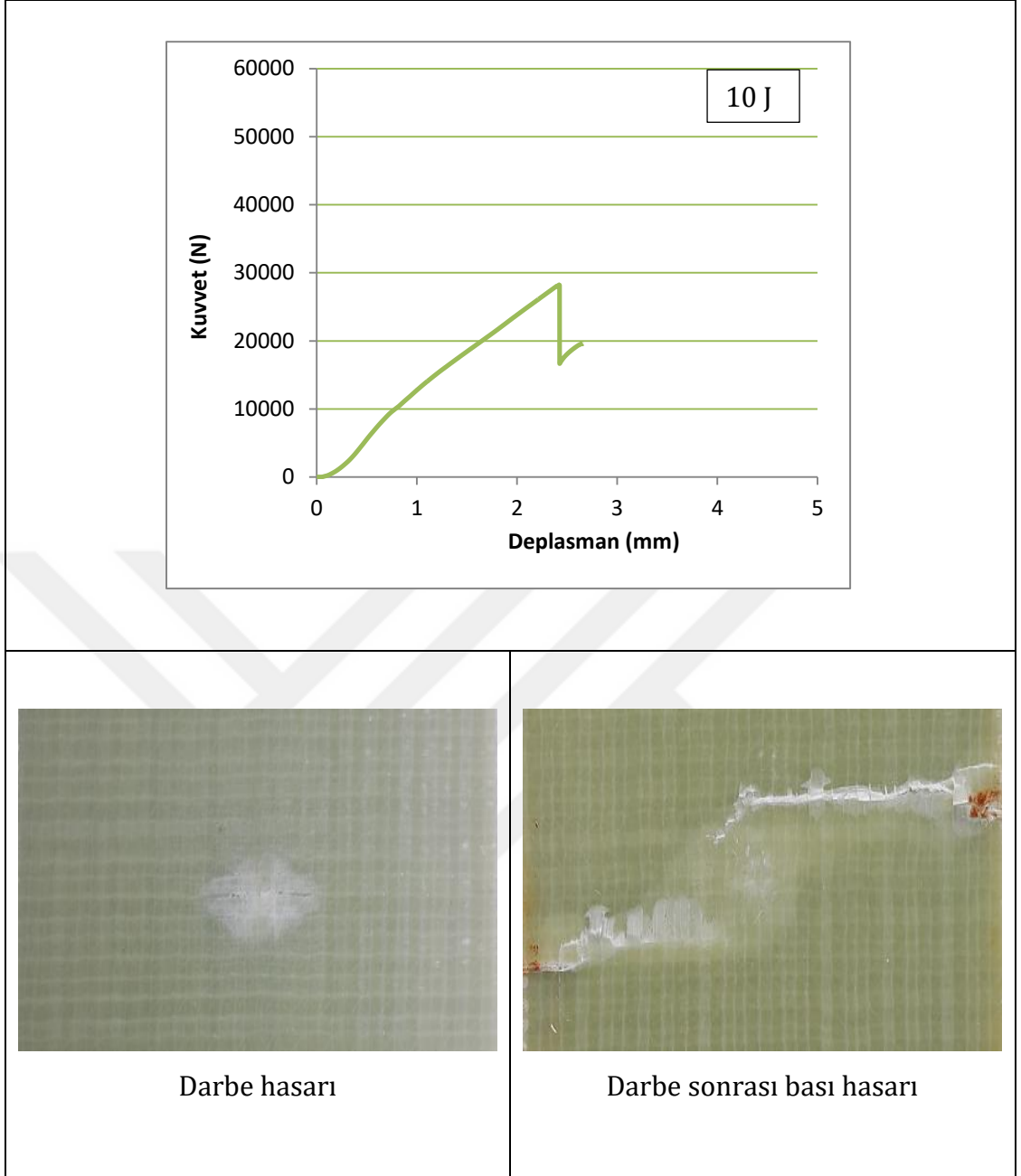
Şekil 4.23'den görüleceği üzere G_1^8 numunesinin darbe uygulanan yüzeyinde (ön yüz) 10J darbe enerjisi değerinde ezilme izi ve küçük delaminasyonlar görülürken, 20J darbe enerjisi değerinde delaminasyonlar ve matris kırılmaları oluşmuştur. 30J'lük darbe enerjisi değerinde ise fiber kırılmaları ve delinme meydana gelmiştir. G_1^8 numunesinin darbe uygulanmayan yüzeyinde (arka yüz) 10J darbe enerjisi değerinde delaminasyonlar ve çok az sayıda fiber ayrılması görülürken, 20J darbe enerjisi değerinde delaminasyonlar, fiber ayrılmaları ve az sayıda fiber kırılması oluşmuştur. 30J'lük darbe enerjisi değerinde ise fiber kırılmaları ve delinme meydana gelmiştir. Her üç darbe enerji değerinde de darbe uygulanmayan arka yüzdeki deformasyon alanının darbe uygulanan ön yüzdeki deformasyon alanına göre daha büyük olduğu görülmektedir. Kara ve Uyaner de benzer olarak çalışmalarında, darbeye maruz ön yüzdeki hasarın arka yüzeyden daha az olduğunu belirtmişlerdir (Kara ve Uyaner, 2007). Aktaş ve arkadaşları çalışmalarında, matris çatlağı ile başlayan hasarın darbe enerjisinin artmasıyla, fiber kırılmalarının baskın olduğu bir hasara dönüştüğünü belirtmişlerdir (Aktaş vd., 2009).

4.2. Darbe Sonrası Bası Testleri

Darbe testleri yapılan numuneler; kuru numuneler, deniz suyunda bekletilen numuneler, yağmur suyunda bekletilen numuneler ve yama işlemi uygulanan numuneler olmak üzere 4 gruba ayrılmıştır. Kuru numuneler darbe testlerinin ardından basma testleri yapılmıştır. Deniz suyu ve yağmur suyunda numuneler 3 ay bekletildikten sonra ıslak olarak basma testleri yapılmıştır. Sonuncu grupta ise darbeye maruz kalan numunelerin darbe uygulanan yüzeyine yama yapıldıktan sonra bası testleri yapılmıştır.

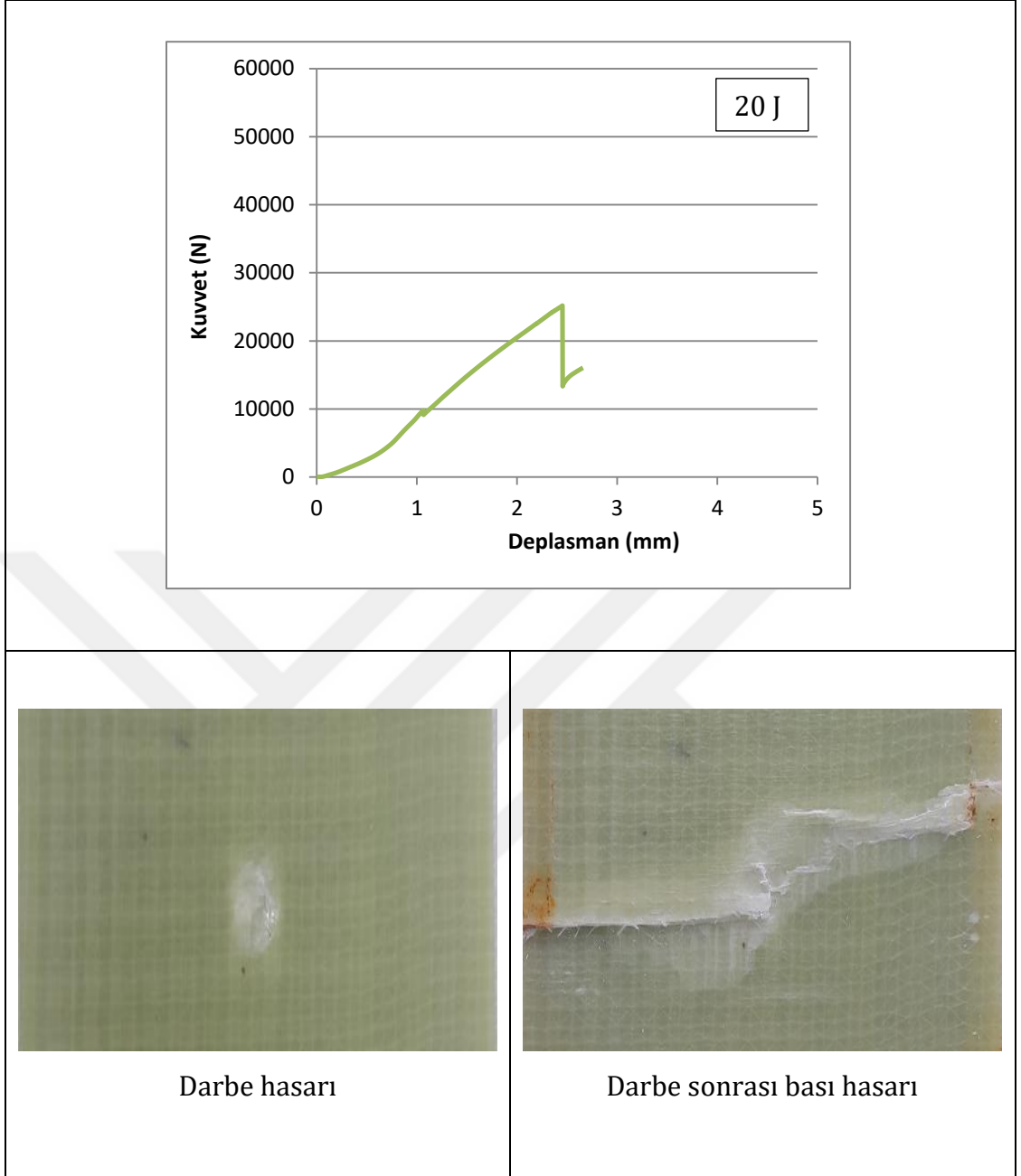
4.2.1. 8 ve 12 tabakalı numuneler için kuvvet - deplasman eğrileri

Şekil 4.24. - Şekil 4.29'da darbe sonrası bası testi uygulanan numunelerin kuvvet - deplasman eğrileri verilmiştir. Ayrıca bu numunelerin hasar ilerlemelerini kıyaslayabilmek için darbe uygulandıktan sonraki hasar fotoğrafları ve aynı numunelerin bası testi sonrası hasar fotoğrafları verilmiştir.



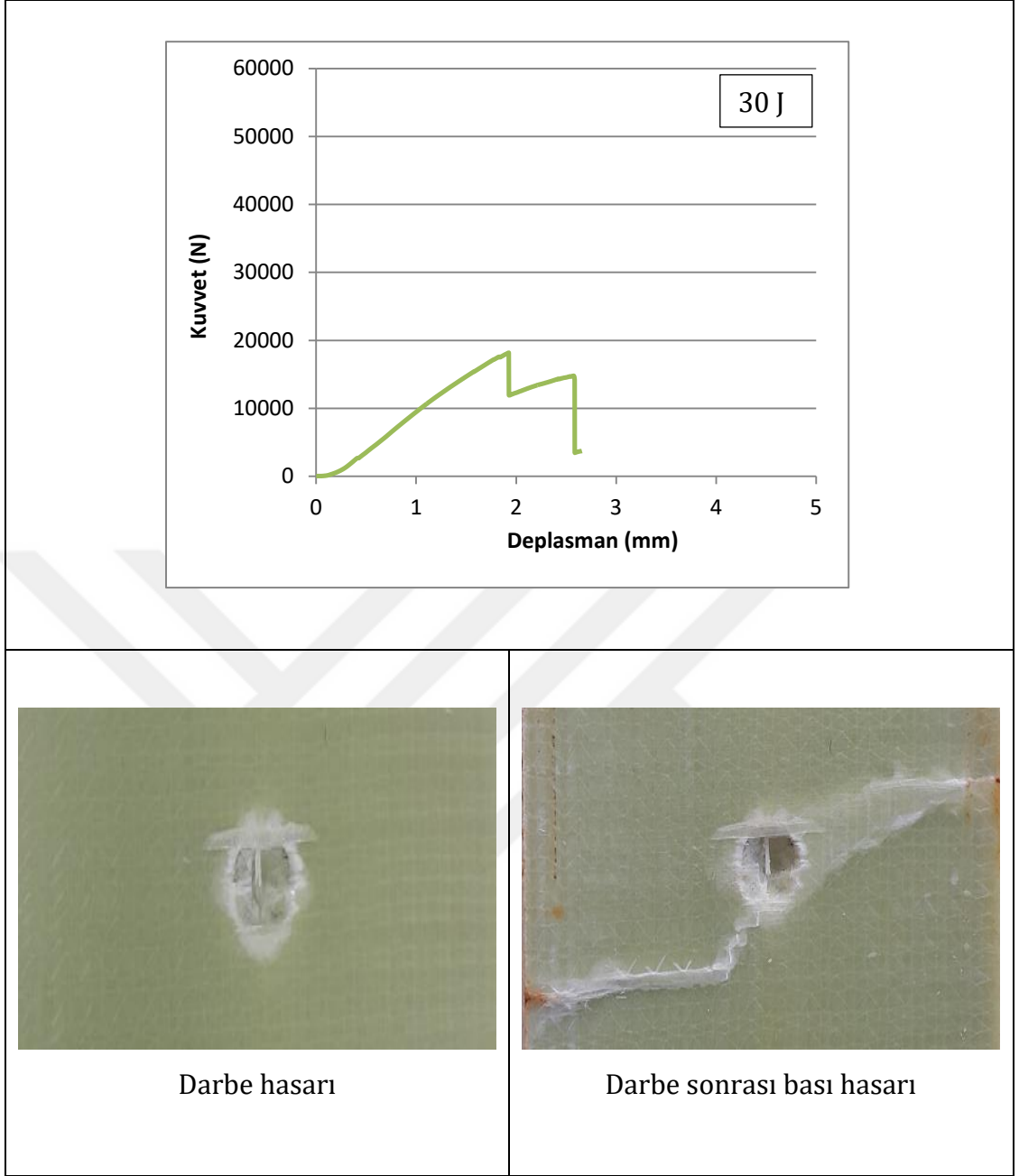
Şekil 4. 24. 10J uygulanan 8 tabakalı numunelerin kuvvet - deplasman eğrisi, numunelerin darbe ve darbe sonrası bası testleri hasar fotoğrafları

Şekil 4.24'den darbe testleri esnasında geri sekme davranışı gösteren bu numuneler için darbe uygulanan yüzeyde ezilme izi ve küçük delaminasyonlar meydana geldiği görülmektedir. Darbe sonrası bası testlerinde ise hasar numunenin enine yönde ilerleme göstermiştir. Bu sırada numunede delaminasyonların arttığı ve fiber ayrılmaları ve çok az sayıda fiber kırılması olduğu görülmektedir.



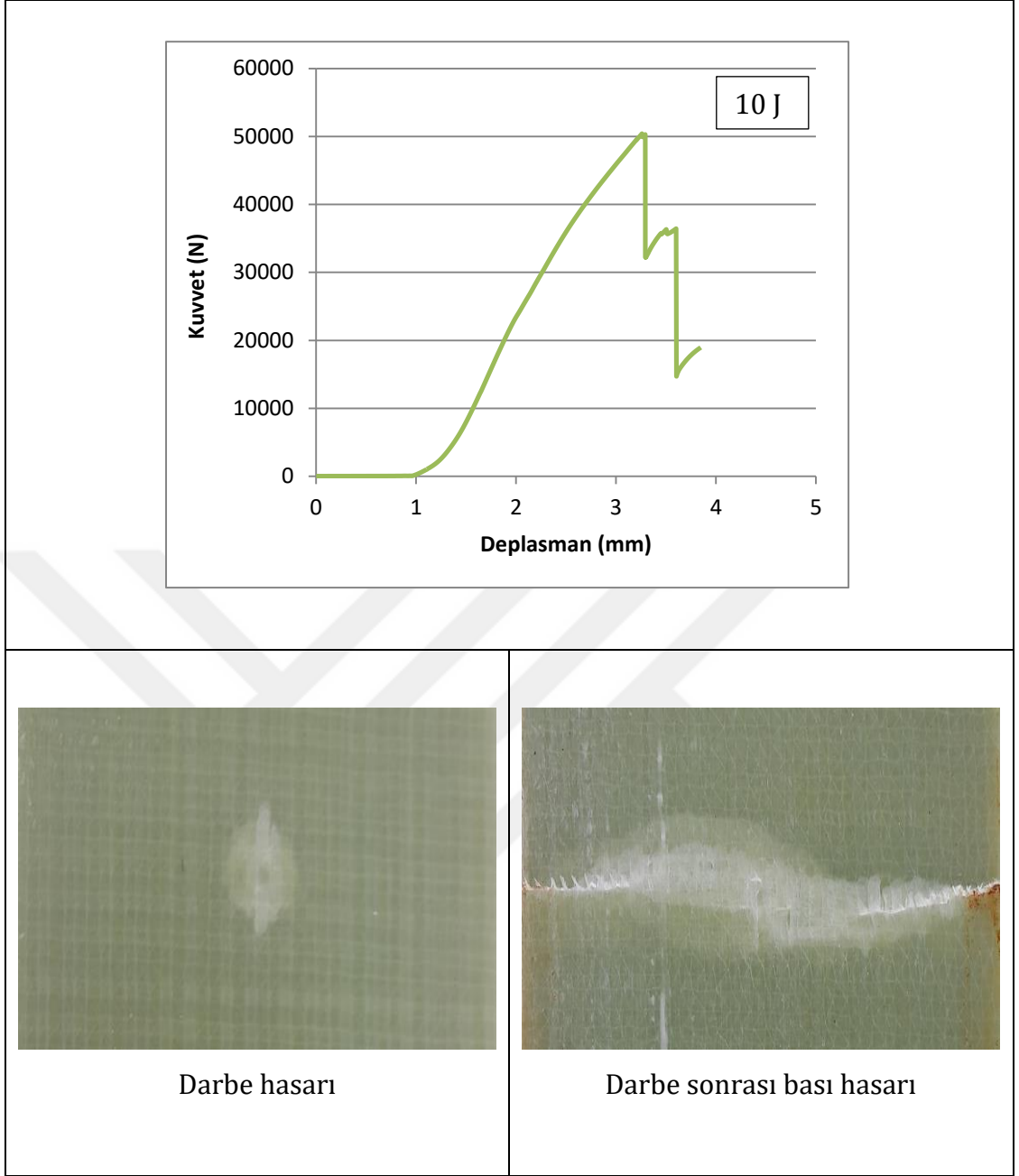
Şekil 4. 25. 20J uygulanan 8 tabakalı numunelerin kuvvet - deplasman eğrisi, numunelerin darbe ve darbe sonrası bası testleri hasar fotoğrafları

Şekil 4.25'den darbe testleri esnasında geri sekme davranışı gösteren 8 tabakalı numunelerde, darbe uygulanan yüzeyde delaminasyonlar ve matris kırılmaları meydana geldiği görülmektedir. Darbe sonrası bası testlerinde ise hasar numunede enine yönde bir ilerleme göstermiştir. Bu sırada numunede delaminasyonların arttığı, fiber ayrılmaları ve fiber kırılmaları meydana geldiği görülmektedir.



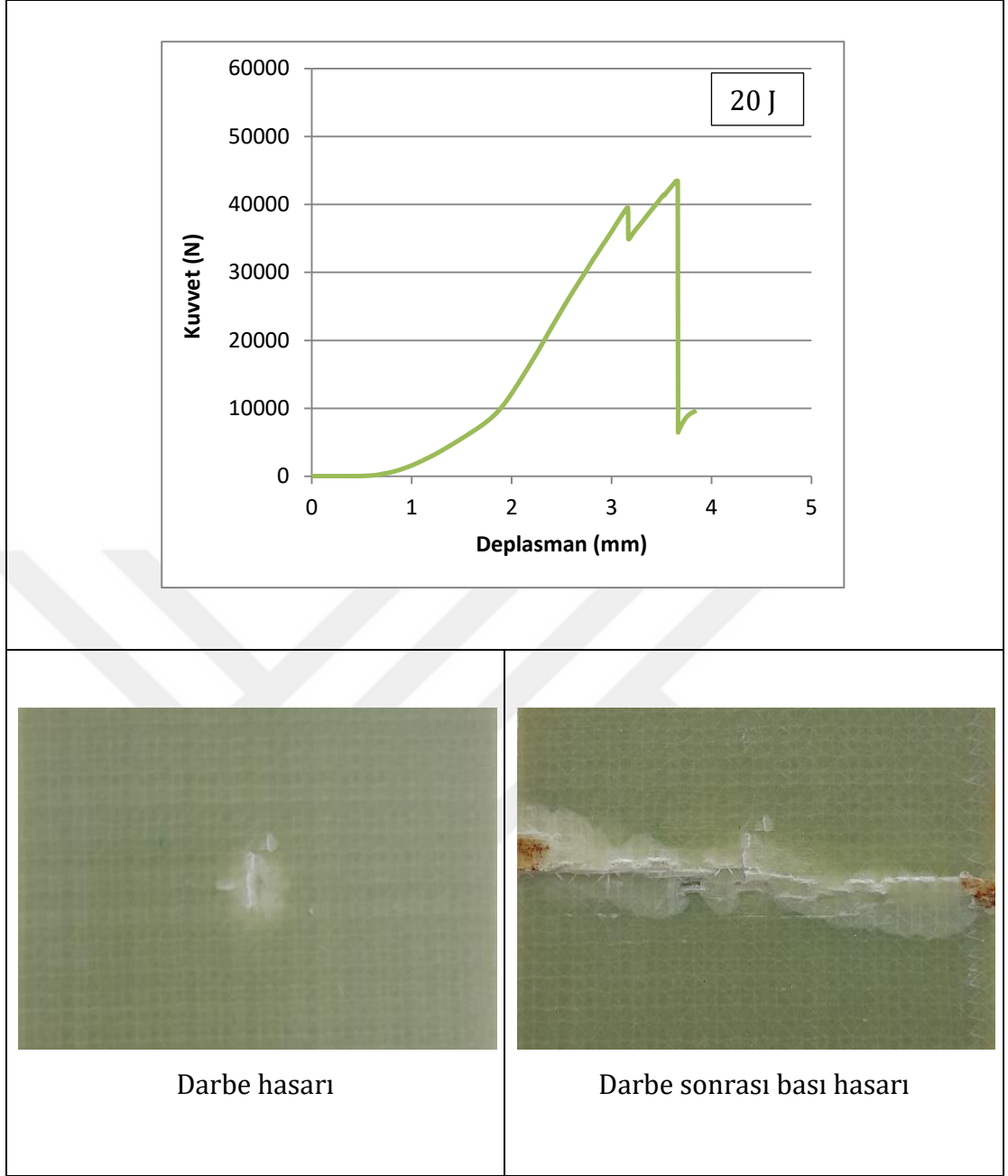
Şekil 4. 26. 30J uygulanan 8 tabakalı numunelerin kuvvet – deplasman eğrisi, numunelerin darbe ve darbe sonrası bası testleri hasar fotoğrafları

Şekil 4.26'dan darbe testleri esnasında delinme meydana gelen bu numunelerde darbe uygulanan yüzeyde matris kırılmaları, fiber kırılmaları ve delinme meydana geldiği görülmektedir. Darbe sonrası bası testlerinde ise hasarın numunenin enine yönünde ilerlediği gözlenmektedir. Bu sırada numunedeki fiber ayrılmaları ve fiber kırılmaları sayısının attığı görülmektedir.



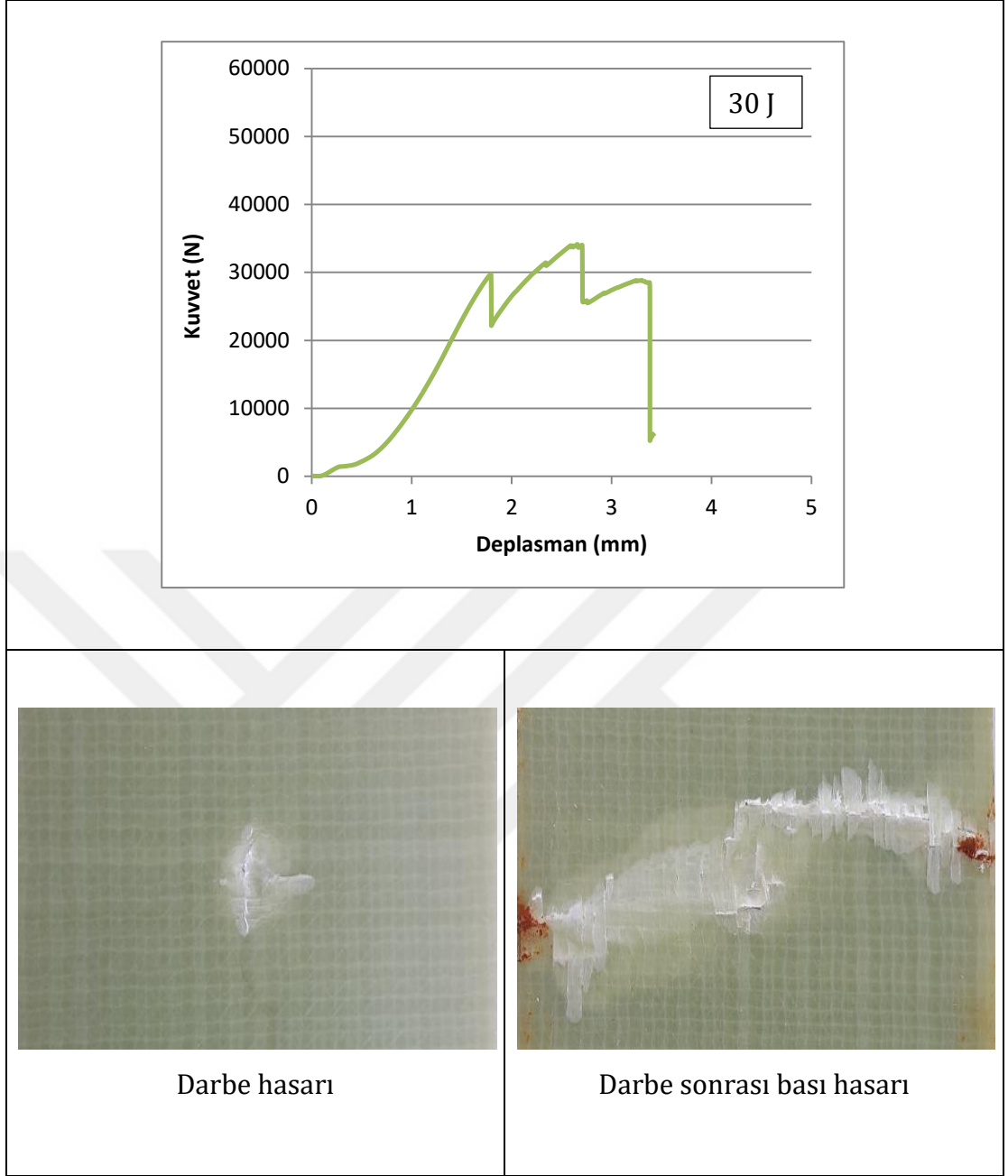
Şekil 4. 27. 10J uygulanan 12 tabakalı numunelerin kuvvet – deplasman eğrisi, numunelerin darbe ve darbe sonrası bası testleri hasar fotoğrafları

Şekil 4.27'den darbe testleri esnasında geri sekme davranışı gösteren bu numunelerde darbe uygulanan yüzeyde ezilme izi ve küçük delaminasyonlar meydana geldiği görülmektedir. Darbe sonrası bası testlerinde ise hasar numunenin enine doğrultusunda yönde ilerleme göstermiştir. Bu sırada numunede delaminasyonların arttığı ve fiber ayrılmaları meydana geldiği görülmektedir.



Şekil 4. 28. 20J uygulanan 12 tabakalı numunelerin kuvvet – deplasman eğrisi, numunelerin darbe ve darbe sonrası bası testleri hasar fotoğrafları

Şekil 4.28'den darbe testleri esnasında geri sekme davranışı gösteren bu numunelerde darbe uygulanan yüzeyde ezilme izi ve küçük delaminasyonlar meydana geldiği görülmektedir. Darbe sonrası bası testlerinde ise hasar numunenin enine doğrultusunda ilerleme göstermiştir. Bu sırada numunede delaminasyonların arttığı, fiber ayrılmaları ve fiber kırılmaları meydana geldiği görülmektedir.

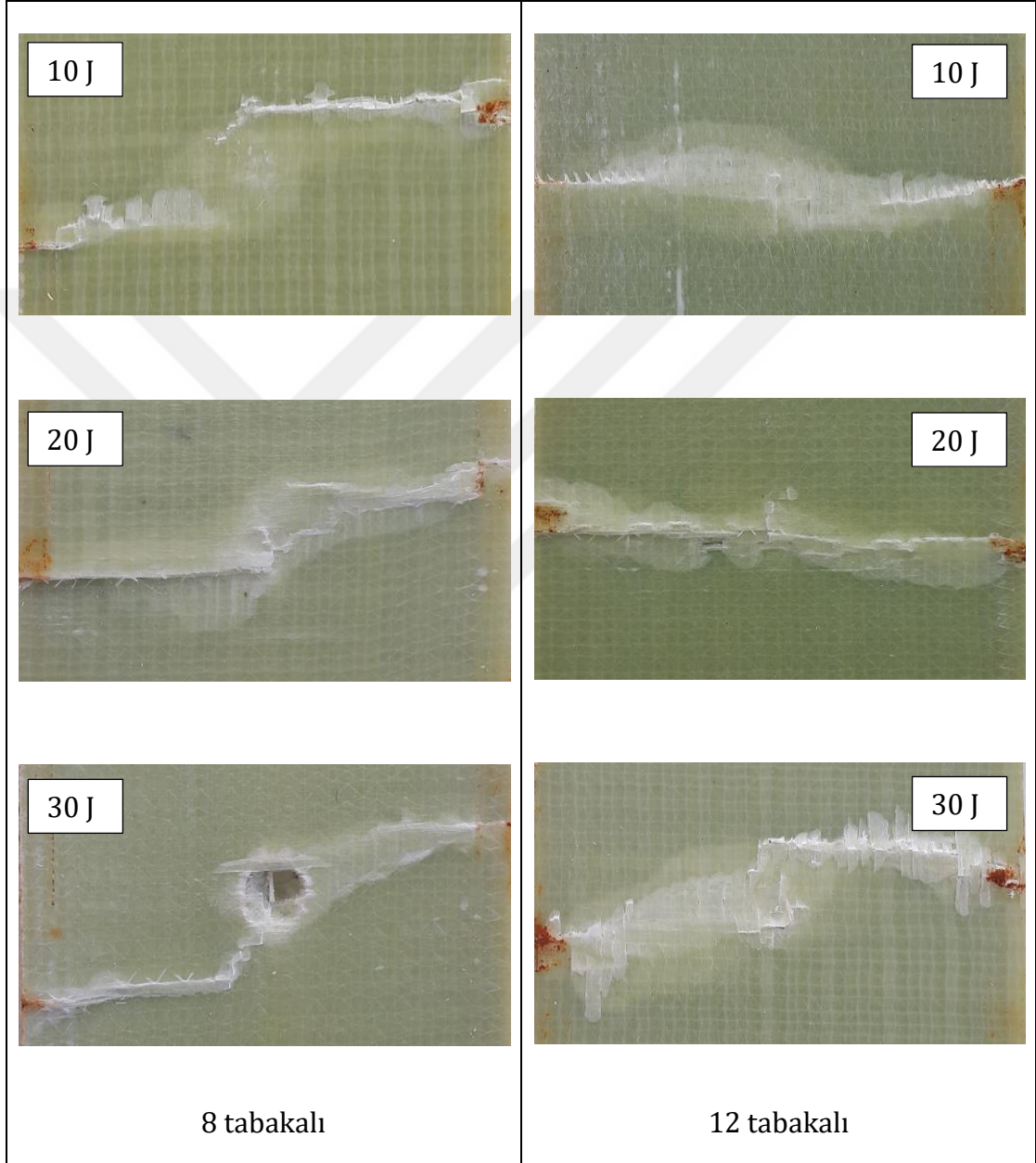


Şekil 4. 29. 30J uygulanan 12 tabakalı numunelerin kuvvet – deplasman eğrisi, numunelerin darbe ve darbe sonrası bası testleri hasar fotoğrafları

Şekil 4.29'dan darbe testleri esnasında geri sekme davranışı gösteren bu numunelerde darbe uygulanan yüzeyde delaminasyonlar, matris kırılmaları meydana geldiği görülmektedir. Darbe sonrası bası testlerinde ise hasar numunenin enine doğrultusunda ilerleme göstermiştir. Bu sırada numunede delaminasyonların arttığı, fiber ayrılmaları ve fiber kırılmaları meydana geldiği görülmektedir.

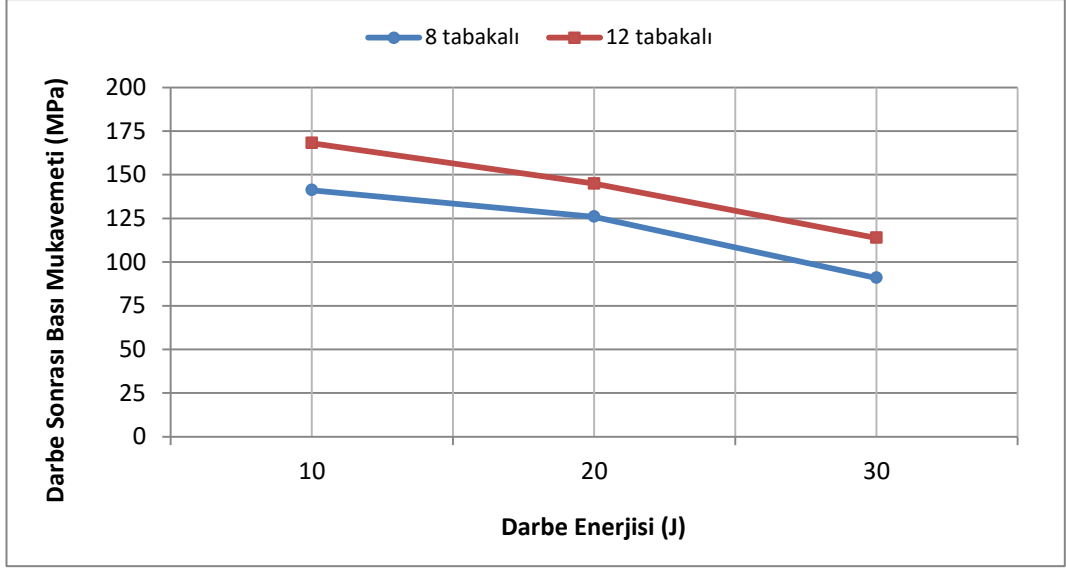
4.2.2. Artan darbe enerjisi altındaki 8 ve 12 tabakalı numunelerin darbe sonrası bası davranışları

Şekil 4.30' da 8 ve 12 tabakalı numunelerin darbe sonrası bası testi hasarlarının fotoğrafları verilmiştir.

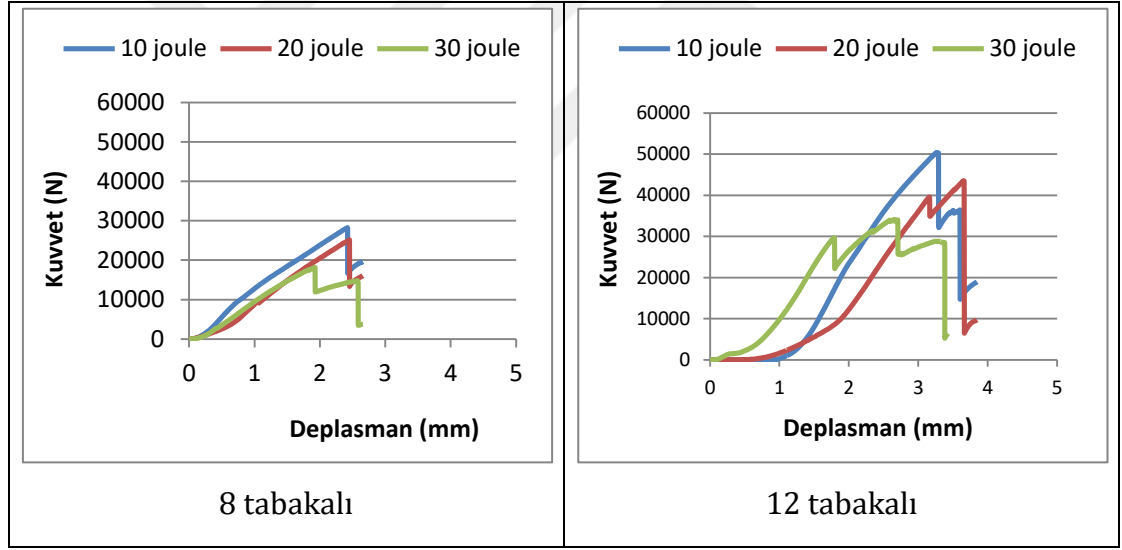


Şekil 4. 30. 10J, 20J ve 30J darbe enerji değeri uygulanan 8 ve 12 tabakalı numunelerin darbe sonrası bası hasarlarının fotoğrafları

Hasar fotoğrafları verilen 8 ve 12 tabakalı numunelerin darbe sonrası mukavemeti - darbe enerjisi grafiği şekil 4.31'de verilmiştir.



Şekil 4. 31. 8 ve 12 tabakalı numunelerin darbe enerjisine bağlı olarak darbe sonrası bası mukavemetlerinin değişimi



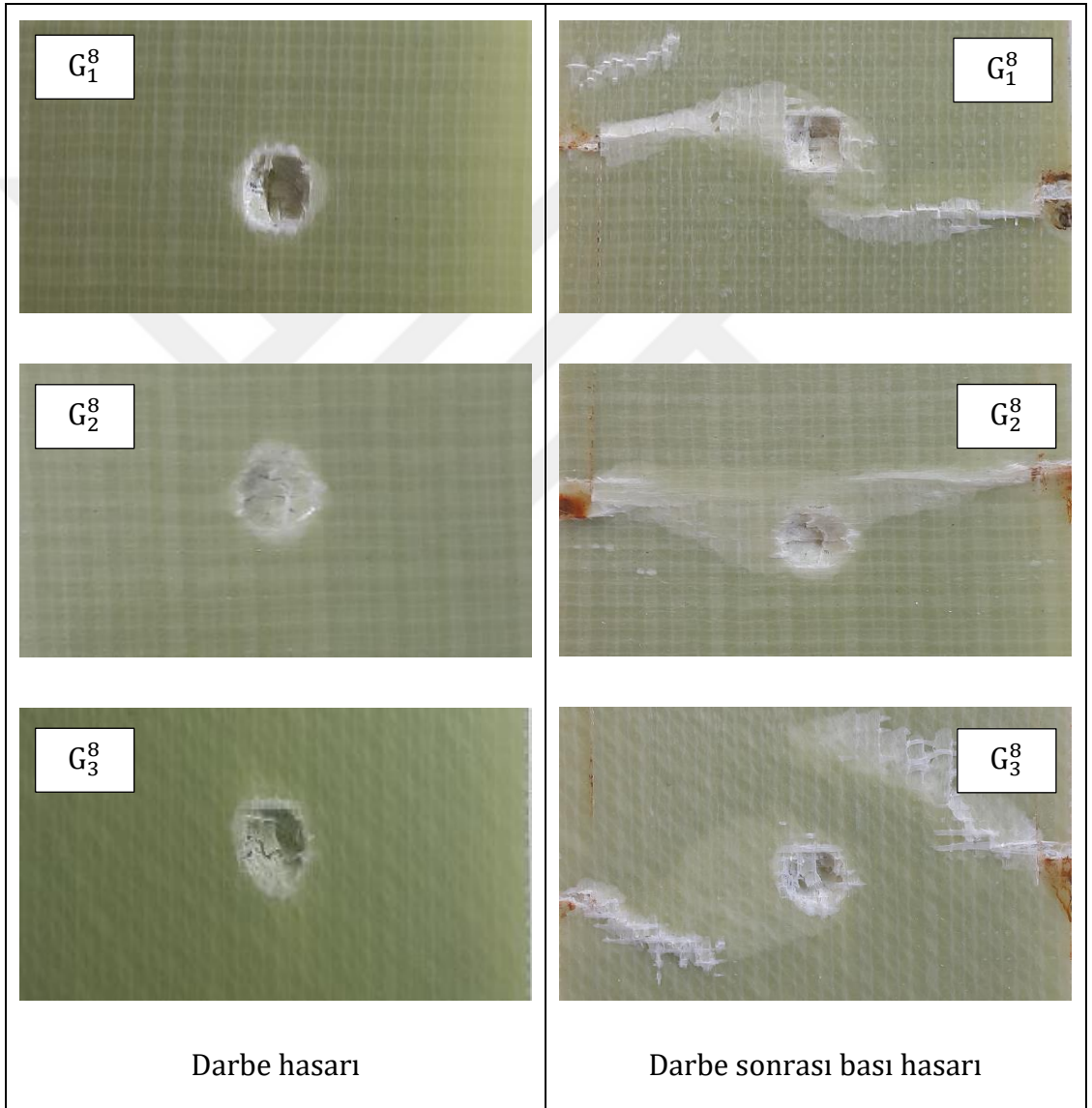
Şekil 4. 32. 8 ve 12 tabakalı numunelerin kuvvet – deplasman grafikleri

Şekil 4.31'den artan darbe enerji değerlerinde darbe sonrası bası mukavemetlerinin düştüğü görülmektedir. Şekil 4.32'den 8 ve 12 tabakalı numunelerde darbe enerjisinin artması sonucu darbe sonrası bası hasarlarının arttığı görülmektedir. 12 tabakalı numunelerin 8 tabakalı numunelere göre darbe sonrası bası dayanımlarınının 10J darbe enerjisi altında %19.08, 20J darbe enerjisi altında % 15.09 ve 30J darbe enerjisi altında % 25.12 oranında arttığı gözlenmiştir. Aktaş ve arkadaşları da çalışmalarında, darbe enerjisi arttıkça

darbe sonrası bası mukavemeti azalmakta olduğunu belirtmişlerdir (Aktaş vd., 2007).

4.2.3. Darbe sonrası bası testlerinde lif yönlenme açısının hasara etkisi

Farklı lif yönlenme açısına sahip olan 8 tabakalı numunelerin darbe sonrası bası hasarlarının fotoğrafları şekil 4.33'de verilmiştir.

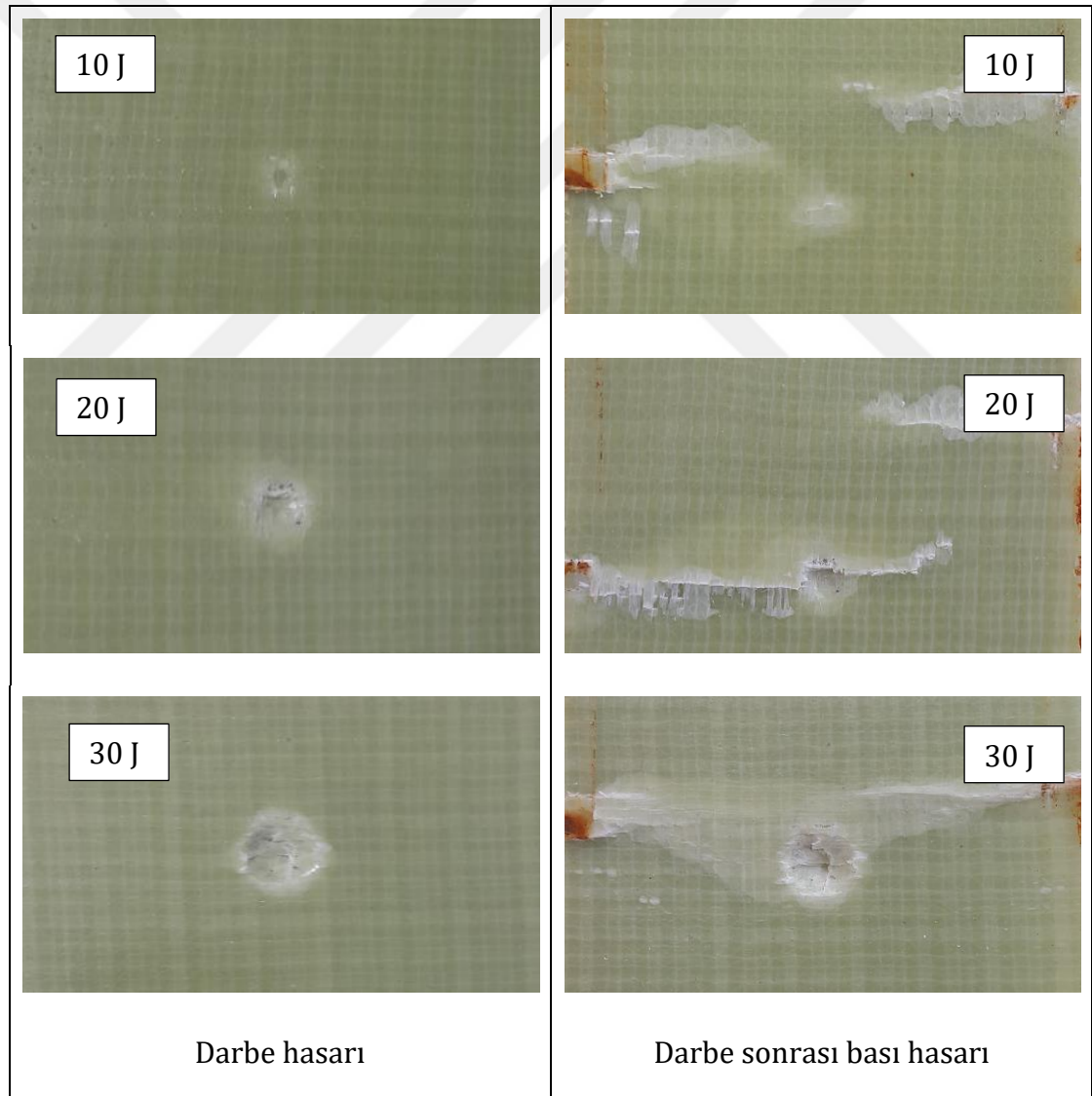


Şekil 4. 33. Farklı lif yönlenme açısına sahip olan 8 tabakalı numunelerin darbe sonrası bası hasarlarının fotoğrafları

Şekil 4.33.'den görüleceği üzere; 3 grubun da darbe hasarları benzerlik gösterirken, darbe sonrası bası hasarları birbirinden farklıdır. 1. ve 2. grup

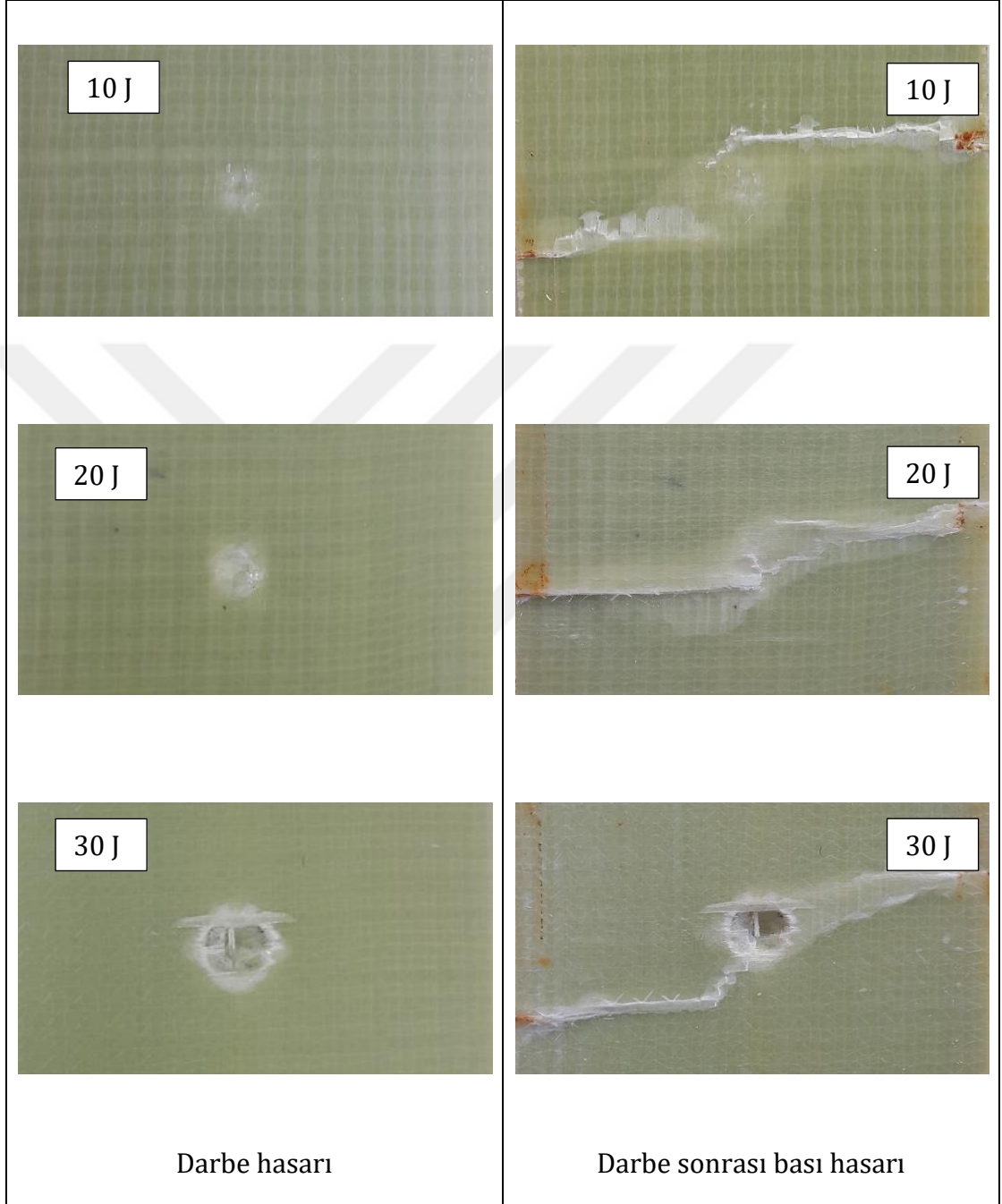
numunelerde hasar numunenin enine yönünde ilerlerken, 3. grup numunelerin hasar ilerlemesi ise açılı yöndedir. Yani numunelerdeki darbe sonrası bası hasar ilerlemeleri, numunelerin sahip oldukları lif yönlenme açılarına göre farklılık göstermektedirler. Toudeshky ve arkadaşları çalışmalarında, delaminasyon ilerlemesinin tabakaların dizilimine bağlı olduğunu belirtmişlerdir (Toudeshky vd., 2010). Aktaş ve arkadaşları, darbe sonrası bası testlerinde hasar şekli numunenin sahip olduğu lif yönlenme açılarına bağlıdır (Aktaş vd., 2007).

4.2.4. Darbe sonrası deniz suyunda ve yağmur suyunda bekletilen numunelerin bası davranışları



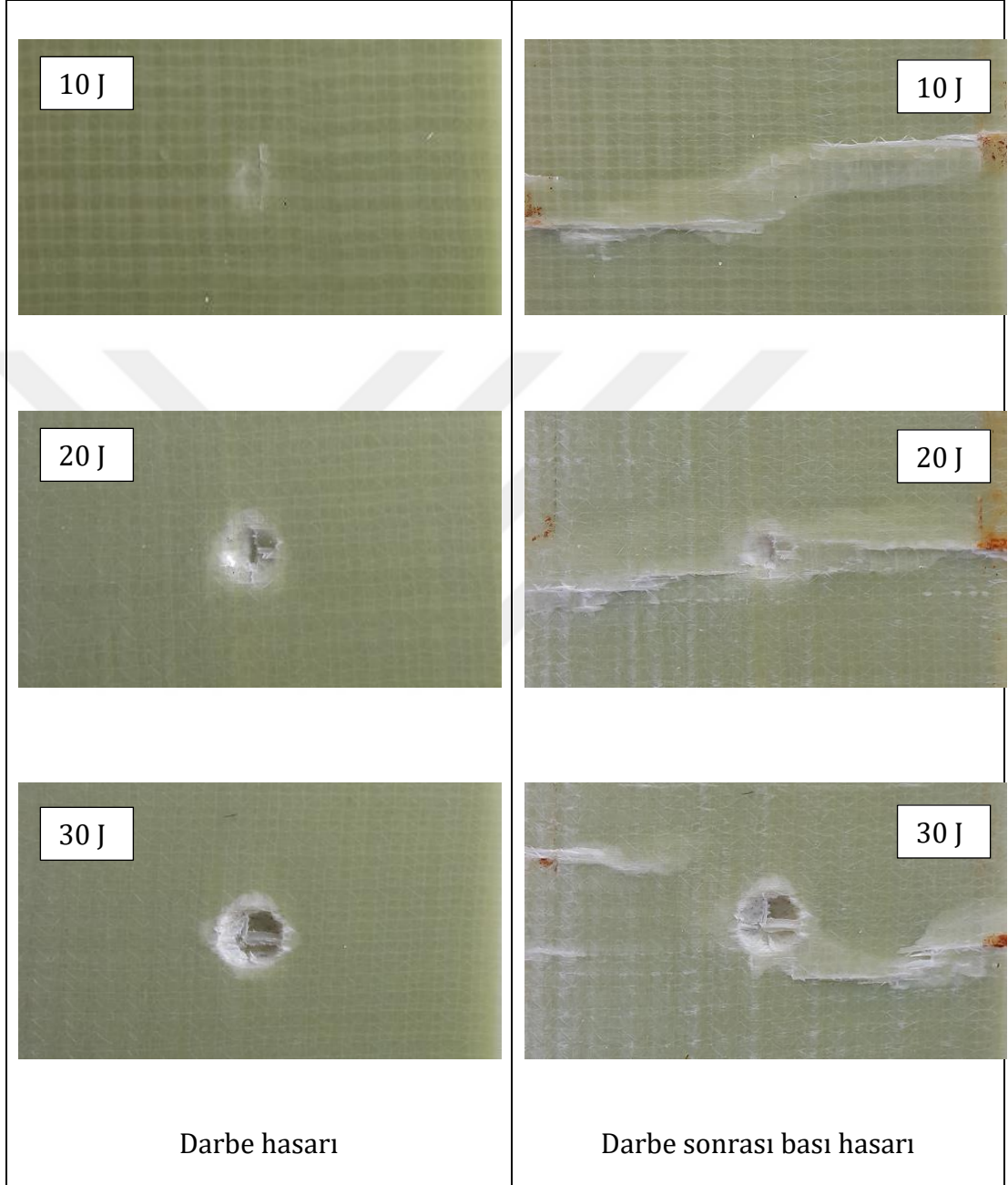
Şekil 4. 34. 8 tabakalı 2.grup kuru numunelerin darbe sonrası bası hasarlarının fotoğrafları

Şekil 4.35'de darbe sonrası deniz suyuna maruz bırakılan 8 tabakalı 2.grup numunelere ait darbe ve darbe sonrası bası testi hasar ilerleme fotoğrafları verilmiştir.



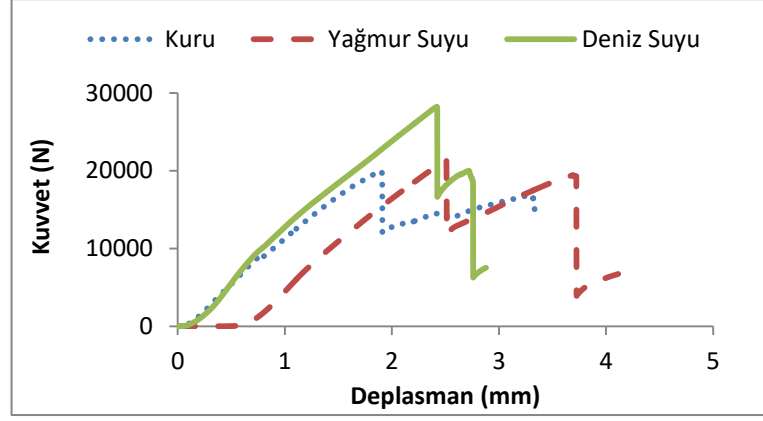
Şekil 4. 35. Darbe sonrası deniz suyuna maruz bırakılan 8 tabakalı 2.grup numunelere ait darbe ve darbe sonrası bası testi hasar ilerleme fotoğrafları

Şekil 4.36'da darbe sonrası yağmur suyuna maruz bırakılan 8 tabakalı 2.grup numunelere ait darbe ve darbe sonrası bası testi hasarlarının ilerleme fotoğrafları verilmiştir.

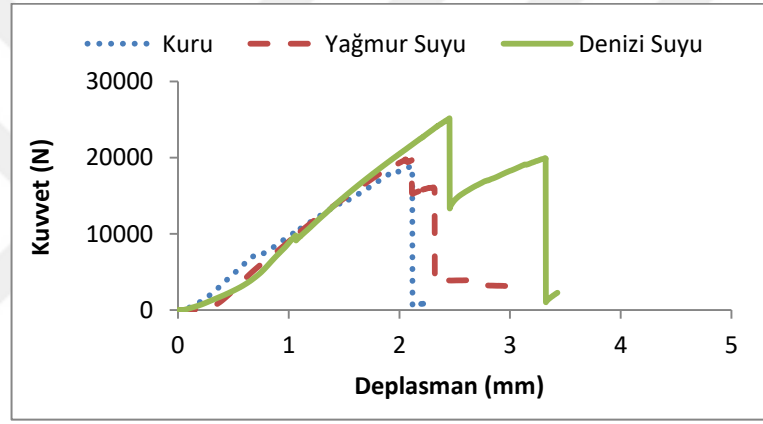


Şekil 4. 36. Darbe sonrası yağmur suyuna maruz bırakılan 8 tabakalı 2.grup numunelere ait darbe ve darbe sonrası bası testi hasar ilerleme fotoğrafları

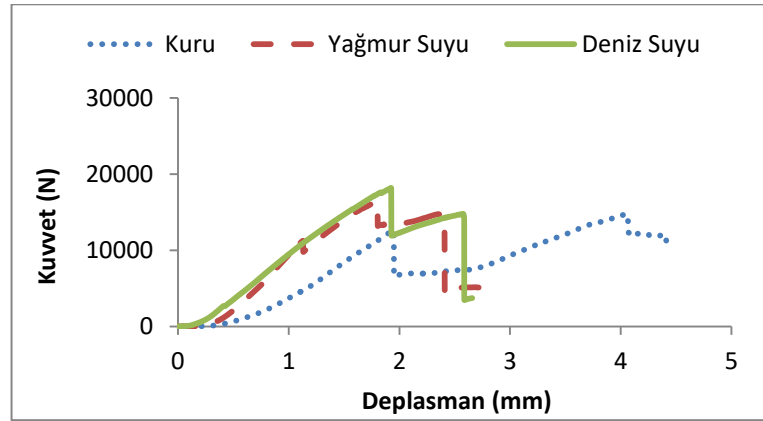
Şekil 4.37 - Şekil 4.39'da farklı ortam şartlarında bekletilen numunelerin kuvvet - deplasman eğrileri 3 farklı joule değeri için verilmiştir.



Şekil 4. 37. 10J darbe uygulanan farklı ortam şartlarında bekletilen numuneler için kuvvet – deplasman grafikleri

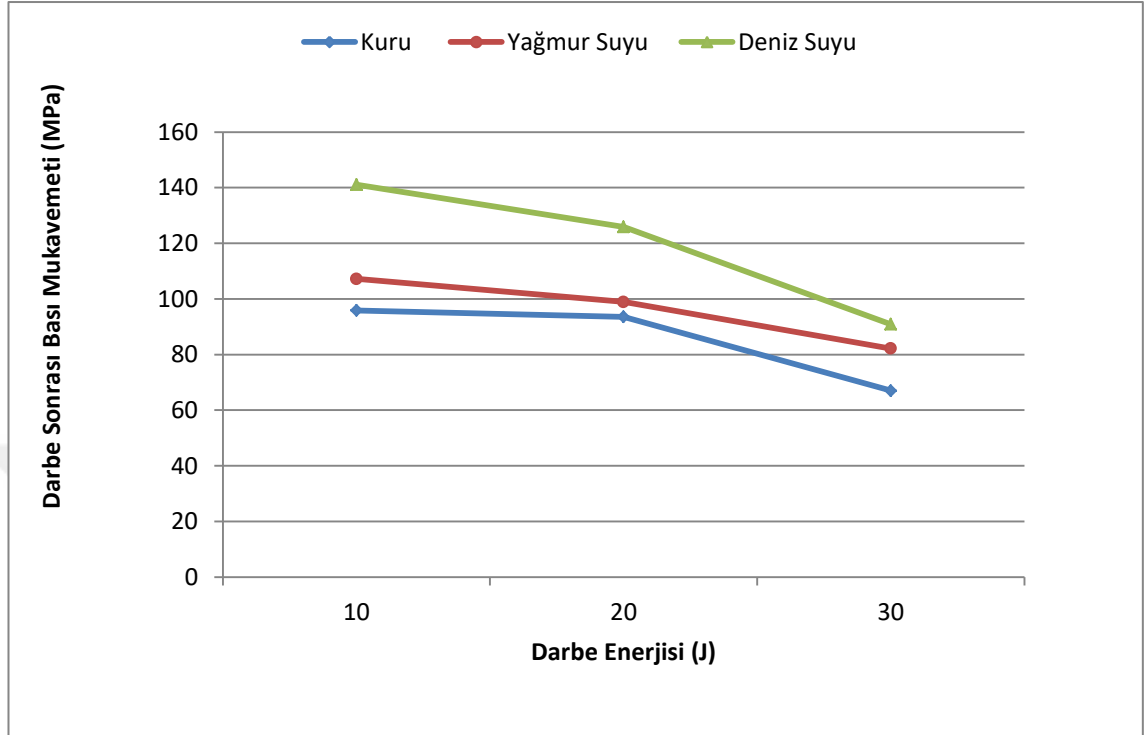


Şekil 4. 38. 20J darbe uygulanan farklı ortam şartlarında bekletilen numuneler için kuvvet – deplasman grafikleri



Şekil 4. 39. 30J darbe uygulanan farklı ortam şartlarında bekletilen numuneler için kuvvet – deplasman grafikleri

Şekil 4.40'da 8 tabakalı 2. grup numuneler için elde edilen darbe sonrası mukavemeti – darbe enerjisi grafiği verilmiştir.

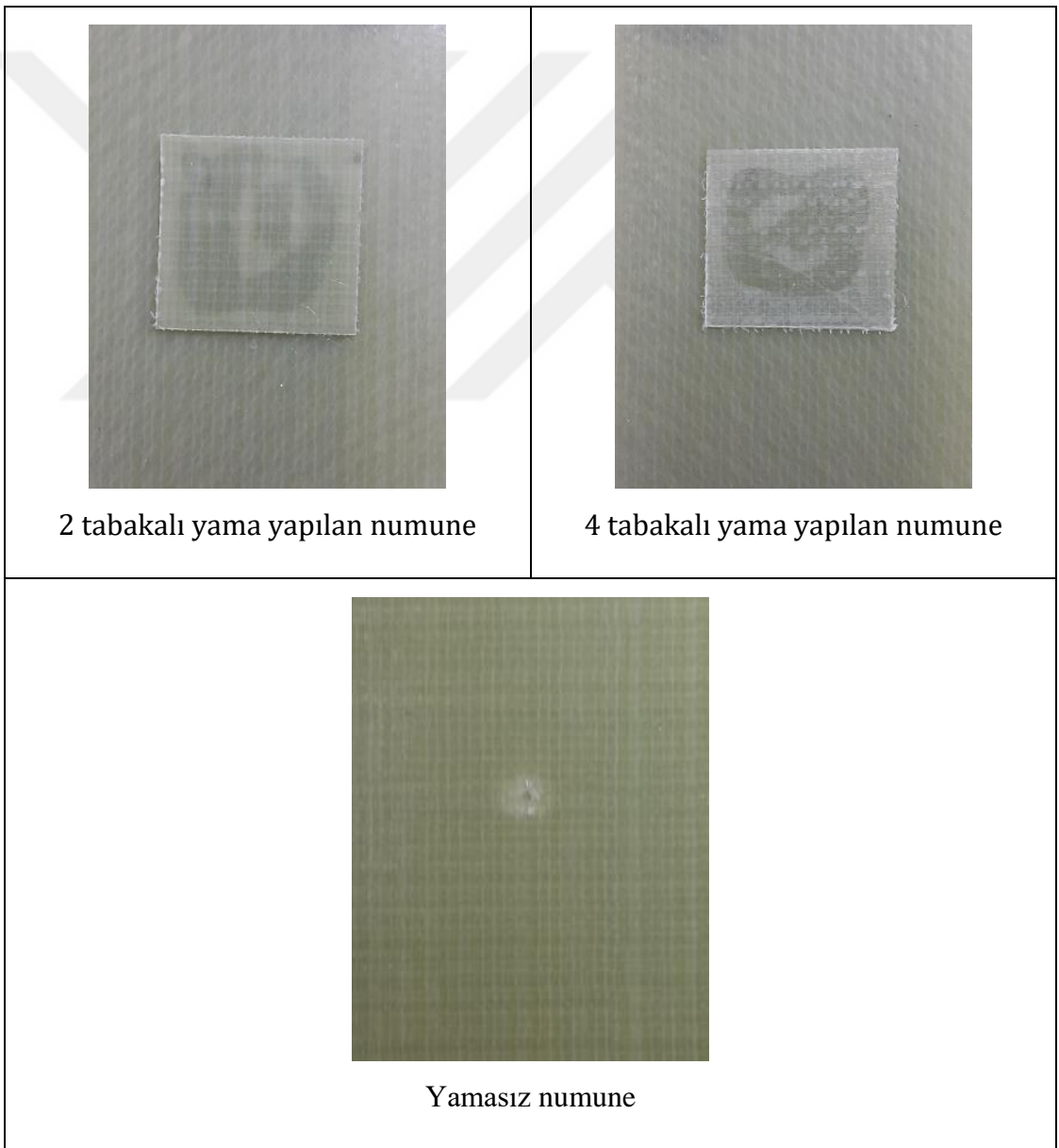


Şekil 4. 40. Farklı ortamlarda bekletilen 8 tabakalı 2. grup numunelerin darbe enerjisine bağlı olarak darbe sonrası bası mukavemetleri

Farklı ortam koşullarında bekletilen numunelerin darbe sonrası bası testlerinden elde edilen sonuçlara göre yağmur ve deniz suyuna maruz kalan numunelerin bası mukavemetlerinin arttığı görülmektedir (Şekil 4.40). Deniz suyunda bekletilen numunelerin basma mukavemetlerinin, yağmur suyunda bekletilen numunelerin basma mukavemetlerine kıyasla daha fazla olduğu görülmektedir. Literatürde yapılan bir çalışmada da benzer olarak, 3 ay deniz suyuna maruz bırakılan kompozit boruların darbe ve patlatma mukavemetlerinde bir miktar artış olduğu belirtilmiştir (Sarı, 2010). Yapılan bir diğer çalışmada da kompozit boruların darbe davranışı ve basma mukavemetleri üzerine deniz suyunun önemli etkisi olduğu belirtilmektedir. (Deniz, 2011). Dolayısıyla elde ettiğimiz sonuç literatür ile örtüşmektedir.

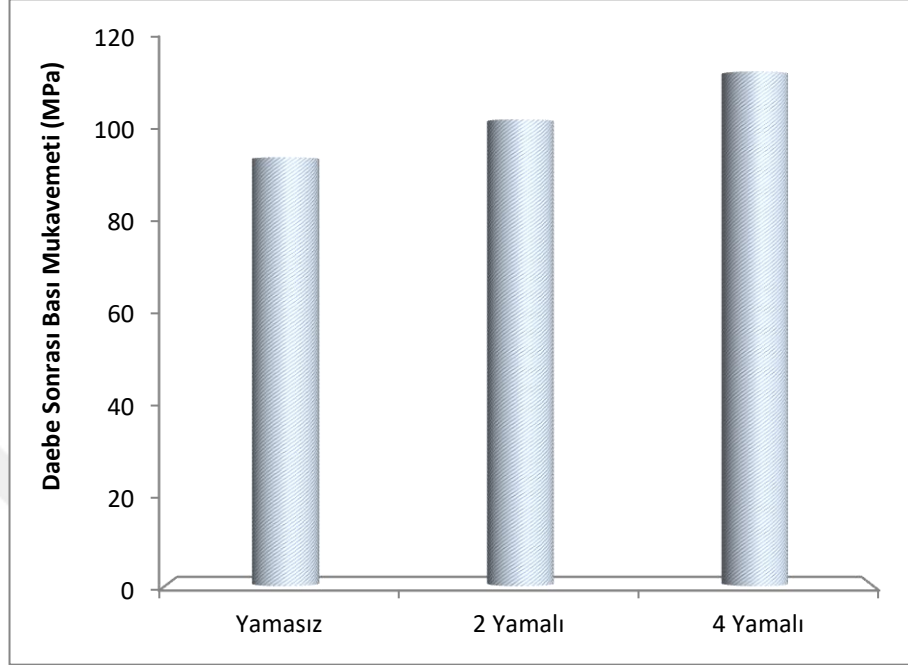
4.2.5. Darbe sonrası deniz suyu ve yağmur suyu bekletilen yamalı numunelerin darbe sonrası bası davranışları

Darbe testleri yapılan numuneler 3 gruba ayrılmıştır. Bunlar kuru numuneler, deniz suyu bekletilen yamalı numuneler, yağmur suyu bekletilen yamalı numunelerdir. Kuru numunelere darbe testlerinin ardından yamasız ve kuru olarak basma testleri yapılmıştır. 3 ay deniz suyu ve yağmur suyu bekletilen yamalı numunelere bekleme süreleri tamamlandıktan sonra ıslak olarak basma testleri yapılmıştır.

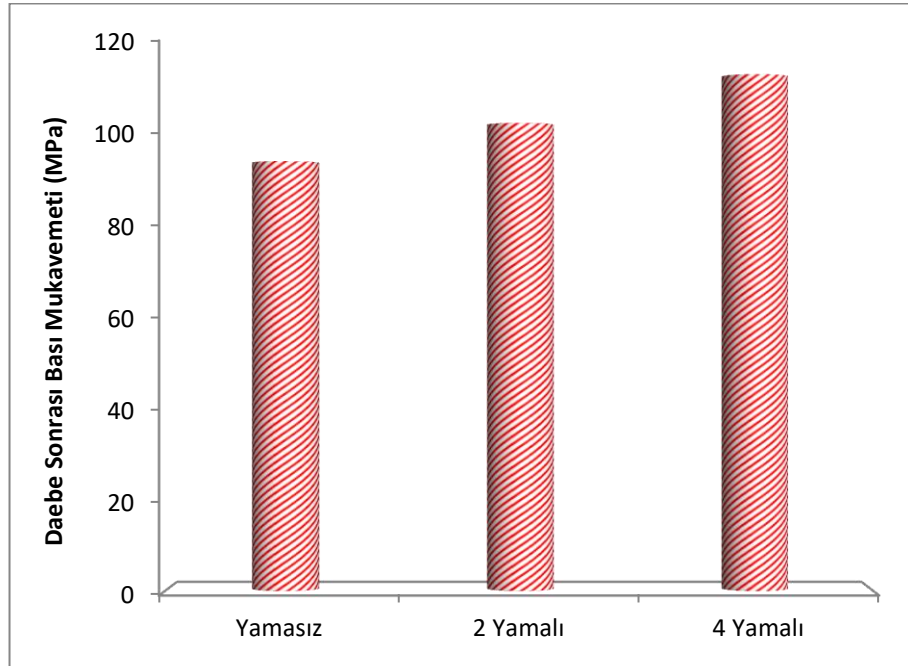


Şekil 4. 41. Yamasız numune, 2 ve 4 tabakalı yama yapılan numune fotoğrafları

Bası mukavemeti üzerine yamanın etkisini görebilmek amacıyla Şekil 4.42. ve Şekil 4.43.'de yağmur ve deniz suyunda bekletilen yamalı ve yamasız numunelerin bası mukavemet değerleri grafik halinde verilmiştir.

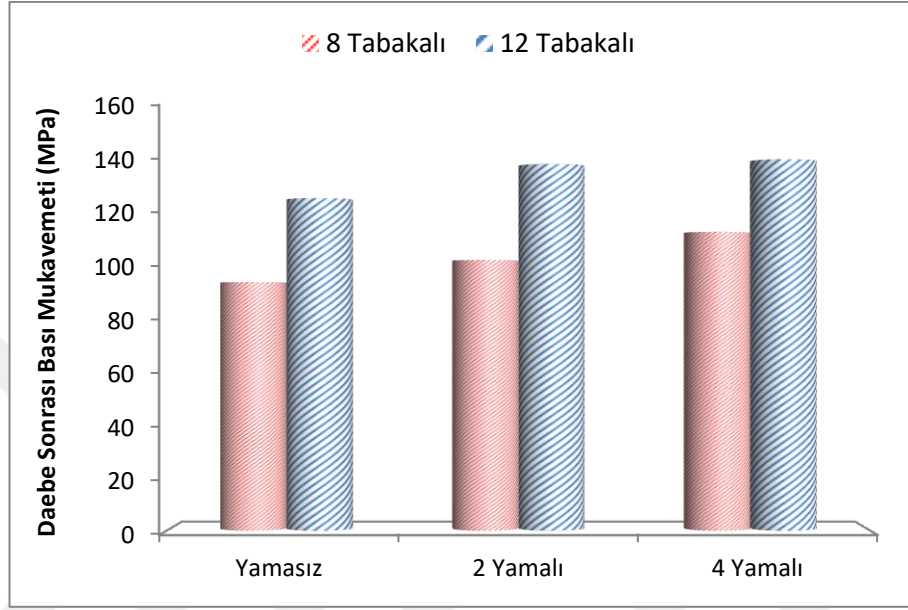


Şekil 4. 42. Yağmur suyunda bekletilen yamalı ve yamasız numuneler için darbe sonrası bası mukavemetleri



Şekil 4. 43. Deniz suyunda bekletilen yamalı ve yamasız numuneler için darbe sonrası bası mukavemetleri

Şekil 4.42. ve Şekil 4.43. 'den görüleceği üzere numunelere yama yapılması darbe sonrası bası mukavemet değerlerini arttırmıştır. 4 tabakalı yama yapılan numunelerin mukavemet değerleri, 2 tabakalı yama yapılan numunelere göre daha fazladır. Yani yama kalınlığının artması, numunenin darbe sonrası bası mukavemet değerlerini arttırmıştır.



Şekil 4. 44. 8 ve 12 tabakalı yamalı ve yamasız numunelerin darbe sonrası bası mukavemetleri

Şekil 4.44.'de darbe sonrası yama işlemi uygulanan 8 ve 12 tabakalı numunelerin bası mukavemetleri verilmiştir. Bu şekilden görüldüğü üzere numunelere yama yapılması, darbe sonrası bası mukavemeti değerlerini arttırmıştır. 12 tabakalı numunelerin mukavemet değerlerinin, 8 tabakalı numunelere göre daha fazla olduğu görülmektedir. 8 tabakalı numunelerde yamasız numuneye göre darbe sonrası bası mukavemetlerinde 2 tabakalı yama yapılan numune % 8.88 ve 4 tabakalı yama yapılan numune % 20.14 oranında artış görülmüştür. 12 tabakalı numunelerde ise yamasız numuneye göre darbe sonrası bası mukavemetlerinde 2 tabakalı yama yapılan numune % 10.25 ve 4 tabakalı yama yapılan numune % 11,69 oranında artış görülmüştür.

5. TARTIŞMA VE SONUÇLAR

Artan darbe enerjisi değerlerinde maksimum kuvvet ve çökme miktarı değerleri de artmaktadır.

G_1^8 numuneleri için 10J ve 20J değerlerinde kapalı eğri görülürken, 30J değerinde açık eğri görülmüştür. G_1^{12} numunelerinin tümü için 3 farklı darbe enerjisi değerlerinde kapalı eğri görülmüştür.

G_1^{12} numunelerinin yük taşıma kapasiteleri ve darbe dayanımları, G_1^8 numunelerine göre daha yüksektir. G_1^{12} numunelerinin G_1^8 numunelerine göre maksimum kuvvet değerlerinde 10J darbe enerjisi altında %18.77, 20J darbe enerjisi altında % 47.65 ve 30J darbe enerjisi altında % 51.36 oranında arttığı gözlenmiştir.

G_1^8 numunelerinin G_1^{12} numunelerine göre çökme değerlerinin daha fazla olduğu görülmektedir. G_1^{12} numunelerinin G_1^8 numunelerine göre maksimum çökme miktarlarında 10J darbe enerjisi altında %7,95, 20J darbe enerjisi altında % 9,78 ve 30J darbe enerjisi altında % 2,72 oranında azaldığı gözlenmiştir.

G_1^8 ve G_1^{12} numuneleri için darbe enerji değerleri arttığında ve numunelerin tabaka sayısı azaldığında kuvvet-çökme eğrilerinin kapalı eğriden açık eğriye geçme eğilimi gösterdiği görülmektedir.

Farklı oryantasyon açlarına sahip olan 8 tabakalı (G_1^8 , G_2^8 ve G_3^8) numunelerde artan darbe enerjisi altında benzer darbe davranışları göstermişlerdir. Ancak 30J darbe enerjisi altında G_1^8 numunesinde meydana gelen çökme ve deformasyonun; G_3^8 numunesinden az olduğu, G_2^8 numunesinden ise fazla olduğu gözlenmiştir.

Darbe uygulanmayan arka yüzdeki deformasyon alanının darbe uygulanan ön yüzdeki deformasyon alanına göre daha büyük olduğu görülmektedir.

Cam elyaf/epoksi kompozit numunelerin darbe uygulanan ön yüzlerinde düşük darbe enerjisinde ezilme izi, küçük delaminasyonlar ve matris kırılmaları gözlemlenirken darbe enerjisinin arttırılmasıyla bu hasar modlarına ilave olarak fiber kırılmalarının ve delinme hasarlarının meydana geldiği görülmektedir.

Cam elyaf/epoksi kompozit numunelerin darbe uygulanmamış olan arka yüzlerinde düşük darbe enerjisinde delaminasyonlar ve fiber ayrılmaları gözlemlenirken; darbe enerjisinin arttırılmasıyla delaminasyon alanlarının genişlediği, fiberlerin kırıldığı ve delinme hasarının oluştuğu görülmektedir.

8 ve 12 tabakalı numunelerde artan darbe enerjisinin, darbe sonrası bası hasarlarını arttırdığı görülmüştür.

8 ve 12 tabakalı numuneler için artan darbe enerji değerlerinde, darbe sonrası bası mukavemetlerinin düştüğü görülmüştür.

12 tabakalı numunelerinin darbe sonrası bası mukavemet değerleri, 8 tabakalı numunelere göre daha fazladır. 12 tabakalı numunelerin 8 tabakalı numunelere göre darbe sonrası bası dayanımlarınının 10J darbe enerjisi altında %19.08, 20J darbe enerjisi altında % 15.09 ve 30J darbe enerjisi altında % 25.12 oranında arttığı gözlenmiştir.

G_1^8 , G_2^8 ve G_3^8 numunelerinde darbe hasarları benzerlik gösterirken darbe sonrası bası hasarları birbirinden farklıdır. G_1^8 ve G_2^8 numunelerinde hasar numunenin enine doğrultusunda ilerlerken, G_3^8 numunelerinde hasar açılı olarak ilerleme göstermiştir. Yani numunelerdeki darbe sonrası bası hasar ilerlemeleri numunelerin sahip oldukları lif yönlenme açlarına göre farklılık göstermektedir.

Farklı ortam koşullarında bekletilen numunelerin darbe sonrası bası testlerinden elde edilen sonuçlara göre; yağmur ve deniz suyuna maruz kalan numunelerin bası mukavemetlerinin arttığı görülmüştür.

Deniz suyunda ve yağmur suyunda bekletilen numuneler kıyaslandığı zaman; deniz suyuna maruz bırakılan numunelerin basma mukavemetlerinin yağmur suyunda bekletilen numunelerin basma mukavemetlerinden daha fazla olduğu görülmektedir.

Numunelere yama yapılması, darbe sonrası bası mukavemeti değerlerini arttırmıştır. 4 tabakalı yama yapılan numunelerin mukavemet değerleri, 2 tabakalı yama yapılan numunelere göre daha fazladır. 8 tabakalı numunelerde yamasız numuneye göre darbe sonrası bası mukavemetlerinde 2 tabakalı yama yapılan numune % 8.88 ve 4 tabakalı yama yapılan numune % 20.14 oranında artış görülmüştür. 12 tabakalı numunelerde ise yamasız numuneye göre darbe sonrası bası mukavemetlerinde 2 tabakalı yama yapılan numune % 10.25 ve 4 tabakalı yama yapılan numune % 11,69 oranında artış görülmüştür. Yani yama kalınlığının artması, numunenin darbe sonrası bası mukavemet değerlerini arttırmıştır.

KAYNAKLAR

- Abrate, S., 1998. Impact on Composite Structures. Cambridge University Press, 289pp. United Kingdom.
- Aktaş, M., Arman, Y., Karakuzu, R., 2007. Tabakalı Kompozit Plakaların Ağırlık Düşürme Testi Sonrası Bası Mukavemetlerinin Belirlenmesi. 15. Ulusal Mekanik Kongresi, 3-7 Eylül 2007, Isparta, 69-75.
- Aktaş, M., 2007. Hibrit Kompozit Plakaların Darbe Davranışına Sıcaklığın Etkisi. Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 136s, İzmir.
- Aktaş, M., Ataş, C., İçten, B.M., Karakuzu, R., 2009. An Experimental Investigation of the Impact Response of Composite Laminates. Composite Structures, 87: 307-313.
- Aktaş, M., Karakuzu, R., 2007. Kompozit Plakaların Ağırlık Düşürme Testi Sonrası Basma Mukavemetlerinin Belirlenmesi. Erişim Tarihi: 18.09.2017.
http://www.fbe.deu.edu.tr/ALL_FILES/Tez_Arsivi/2007/DR_p513.pdf
- Aran, A., 1990. Elyaf Takviyeli Karma Malzemeler Ders Notları. Erişim Tarihi: 21.09.2017. <http://www2.isikun.edu.tr/personel/ahmet.aran/etkm.pdf>
- Arıcasoy, O., 2006. Kompozit Sektörü Raporu. Erişim Tarihi: 15.09.2017.
<http://www.ito.org.tr/Dokuman/Sektor/1-57.pdf>
- Baucom, J. N., Zikry, M. A., 2005. Low Velocity Impact Damage Progression in Woven E-Glass Composite Systems. Composites, 36, 658-664.
- Belingardi, G., Vadori, R., 2002. Low Velocity Impact Tests of Laminate Glass-Fiber Epoxy Matrix Composite Material Plates. International Journal of Impact Engineering, 27, 213-229.
- Belingardi, G., Vadori, R., 2003. Influence of Laminate Thickness in Low Velocity Impact Behavior of Composite Material Plate. Composite Structures, 61, 27-38.
- Berk, B., Karakuzu, R., İçten, B. M., Arıkan, V., Arman, Y., Ataş, C., Gören, A., 2016. An Experimental and Numerical Investigation on Low Velocity Impact Behaviour of Composite Plates. Journal of Composite Materials, 50(25), 3551-3559.
- Deniz, M. E., 2011. Seawater Effect on Behaviours of Impact and Axial Compression-After Impact of Composite Pipes. Dokuz Eylül University, M.Sc. Thesis, 83p, İzmir.

- Dobyns, A. L., 1981. Analysis of Simply Supported Orthotropic Plates Subjected to Static and Dynamic Loads. *AIAA Journal*, 19, 642-680.
- Doyum, A. B., Altay, B., 1997. Low-Velocity Impact Damage in Glass Fibre/Epoxy Cylindrical Tubes. *Materials and Design*, 18, 131-135.
- Eryiğit, E., 2006. Tabakalı Kompozit Çubuklarda Yanal Yük Etkisi ile Oluşan Burkulma Davranışlarının İncelenmesi. Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İzmir.
- Gao, S. L., Kim J. K., 2001. Cooling Rate Influence in Carbon Fiber/PEEK Composites. Part III Impact Damage Performance. *Applied Science and Manufacturing*, 32 (6), 775-785.
- Ghelli, D., Minak, G., 2011. Low Velocity Impact and Compression After Impact Tests on Thin Carbon/Epoxy Laminates. *Composites: Part B*, 42, 2067-2079.
- Gonzalez, E., Maimi, P., Camanho, P. P., Turon, A., Mayugo, J. A., 2012. Simulation of Drop-Weight Impact and Compression After Impact Tests on Composite Laminates. *Composite Structures*, 94, 3364-3378.
- Goo, N. S., Kim, S. J., 1997. Dynamic Contact Analysis of Laminated Composite Plates under Low Velocity Impact. *AIAA Journal*, 35, 1518-1521.
- Gustin, J., Joneson, A., Mahinfalah, M., Stone, J., 2005. Low Velocity Impact of Combination Kevlar/Carbon Fiber Sandwich Composites. *Composite Structures* 69, 396-406.
- Hale, J. M., Gibson, A. G., Speake, S. D., 1998. Tensile Strength Testing of GRP Pipes at Elevated Temperatures in Aggressive Offshore Environments. *Journal of Material Science*, 32 (10), 969-986.
- Heimbs, S., Heller, S., Middendorf, P., Hahnel, F., Weibe, J., 2009. Low Velocity Impact on CFRP Plates with Compressive Preload: Test and Modelling. *International Journal of Impact Engineering*, 36, 1182-1193.
- Hou, J. P., Petrinic, N., Ruiz, C., Hallet, S. R., 2000. Prediction of Impact Damage in Composite Plates. *Composites Science and Technology*, 60: 273-281.
- I.Ibekwe, S., F. Mensah, P., Li. G., Seng Pang, S., A. Stubblefield, M., 2007. Impact and Post Impact Response of Laminated Beams at Low Temperatures. *Composite Structures*, 79, 12-17.
- Im, K. H. Cha, C. S. Kim, S. K., Yang, I. Y., 2001. Effects of Temperature on Impact Damages in CFRP Composite Laminates. *Composites: Part B*, 32, 669-682.

- İçten, B. M., Kıral, B. G., 2010. Tabakalı Kompozitlerde Darbe Parametrelerinin Darbe Sonrası Bası Mukavemetine Etkilerinin İncelenmesi. Tübitak Projesi, Proje No: 107M591, İzmir.
- Jeon, B. S., Lee, J. J., Kim, J. K., Huh, J. S., 1999. Low Velocity Impact and Delamination Buckling Behavior of Composite Laminates with Embedded Optical Fibers. Smart Material Structures, 8, 41-48.
- Kara, M., 2006. Düşük Hızlı Darbeye Maruz Tabakalı Kompozitlerin Dinamik Cevabı. Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 93s, Konya.
- Kara, M., Uyaner, M., 2007. Tabakalı Kompozitlerin Darbe Cevabına Vurucu Şeklinin Etkisi. 8. Uluslararası Kırılma Konferansı, 7-9 Kasım 2007, İstanbul, 415 - 421.
- Karakuzu, R., Çalık, İ. C., Deniz, M. E., 2017. Tabakalı Kompozit Plakaların Darbe Davranışı Üzerine Deniz Suyu Etkisinin Araştırılması. Batman Üniversitesi Yaşam Bilimleri Dergisi, 7(2/2), 1-12.
- Karakuzu, R., İçten, B. M., Aktaş, M., Toparlı, M., Ataş, C., Arman, Y., 2007. Kompozit Plaklarda Sıcaklığın Darbe Davranışına Etkisi. Tübitak Projesi, Proje No: 104M426, İzmir.
- Kıratlı, S., 2012. Darbe Hasarlı Tabakalı Kompozitlerin Burkulma ve Esneklik Davranışı. Cumhuriyet Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 73s, Sivas.
- Mili, F., Necib, B., 2001. Impact Behaviour of Cross-Ply Laminated Composite Plates Under Low Velocities. Composite Structures, 51, 273-244.
- Morais, de W. A., Monteiro, S.N., d'Almeida J.R.M., 2005. Effect of the Laminate Thickness on the Composite Strength to Repeated Low Energy Impacts. Composite Structures, 70: 223-228.
- Naik, N. K., Borade, S. V., Arya, H., Sailendram, M., Prabhu, S. V., 2002. Experimental Studies on Impact Behaviour of Woven Fabric Composites: Effect of Impact Parameters. Journal of Reinforced Plastics and Composites, 21 (15): 1347-1362.
- Nejabati, A., 2014. Kompozit Levhaların Darbeden Sonra Bası Davranışının İncelenmesi. Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 69s, İzmir.
- Nogueira, P., Ramirez, C., Torres, A., 2001. Effect of Water Absorption on the Structure and Mechanical Properties of an Epoxy Resin System. Journal of Applied Polymer Science, 80, 71-80.

- Reid, S.R, Zhou, G.,1999. Impact Behaviour of Fibre-Reinforced Composite Materials and Structures. CRC Press, Woodhead Pub, 303p, USA.
- Sanchez-Saez, S., Barbero, E., Navarro, C., 2008. Composite Residual Strength at Low Temperatures of Composite Laminates Subjected to Low-Velocity Impacts. Composites Structures, 85, 226-232.
- Sarı, M., 2010. Sea Water Effect on Composite Pipes Subjected to Impact Loading. Dokuz Eylül University, Mechanical Engineering, Mechanics Program, M.Sc. Thesis, 77p, İzmir.
- Sayer, M., 2009. Hibrit Kompozitlerin Darbe Davranışlarının İncelenmesi. Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 134s, Denizli.
- Shu, D. W., Zhou, W., Ma, G. W., 2007. Tensile Mechanical Properties of AM50A Alloy by Hopkinson Bar. Key Engineering Materials, 341, 247-254.
- Şenel, M., Ünal, R., Mumyakmaz, B., Karakoç, F., 2009. Öngerilmeli Kompozit Plakların Düşük Hızlı Darbe Yükü Etkisi Altında Davranışlarının İncelenmesi. Tübitak Projesi, Proje No: 105M195, Kütahya.
- Topcu, M., Bektaş, N.B., Çallıoğlu, H., Turhan, Y., Sayer, M., Atlıhan, G., 2007. Hibrit Kompozitlerin Darbe Davranışlarının İncelenmesi. DPT Projesi, Proje No:2006K120950, Denizli.
- Toudeshky, H.H., Hosseini, S., Mohammadi, B., 2010. Delamination Buckling Growth in Laminated Composites Using Layerwise-Interface Element. Composite Structures, 92, 1846-1856.
- Turan, M., 2007. Tabakalı Kompozit Malzemelerde Yüksek Hızlı Darbe Hasarı, Mühendis ve Makina, 575, 3-8.
- Türkmen, İ., Köksal, N. S., 2013. Cam Elyaf Takviyeli Polyester Matrisli Kompozit Malzemelerde (CTP) Elyaf Tabaka Sayısına Bağlı Mekanik Özelliklerin ve Darbe Dayanımının İncelenmesi, Celal Bayar Üniversitesi, Fen Bilimleri Dergisi, 8(2): 17-30.
- Trudel-Boucher, D., Bureau, M.N., Denault, J., Fisa, B., 2003. Low Velocity Impacts in Continuous Glass Fiber/Polypropylene Composites. Polymer Composites, 24, 499-511.
- Whittingham, B., Marshall, I.H., Mitrevski, T., Jones, R., 2004. The Response of Composite Structures with Pre-Stress Subject to Low Velocity Impact Damage. Composite Structures, 66, 685-698.
- Yıldızhan, İ., 2013. Hibrit Kompozit Malzemelerin Darbe Davranışları. Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 83s, Isparta.

Yırtımcı, A. Y. O., 2011. Kompozit Levhaların Yüzey Formunun ve Çevresel Aşınmanın Darbe Performansına Etkisi. Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 65s, İzmir.

Xiao, G. Z., Delamar, M., Shanahan, M. E. R., 1997. Irreversible Interactions Between Water and DGEBA/DDA Epoxy Resin During Hygrothermal Ageing. *Journal of Applied Polymer Science*, 65, 449-458.

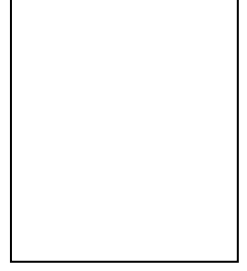
Xiao, G. Z., Shanahan, M. E. R., 1998. Swelling of DGEBA/DDA Epoxy Resin During Hydrothermal Ageing. *Polymer*, 39, 3253-3260.

Zhou, J., Lucas, J.P., 1999. Hygrothermal Effects of Epoxy Resin. *Polymer*, 40(20), 5505-5512.



ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Ali KARACAN
Doğum Yeri ve Yılı : İstanbul, 1992
Medeni Hali : Bekar
Yabancı Dili : İngilizce
E-posta : alikaracansdu@gmail.com



Eğitim Durumu

Lise : Açık Öğretim Lisesi, 2009.
Lisans : Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi,
Makine Mühendisliği Bölümü, 2015.
Lisans : Anadolu Üniversitesi, İşletme Fakültesi, İşletme Bölümü,
2016.