

KOMPOZİT YAPILARIN DARBE
ETKİSİNİN İNCELENMESİ

Yavuz EREN

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Mayıs - 2007

KOMPOZİT YAPILARIN DARBE ETKİSİNİN İNCELENMESİ

Yavuz EREN

Dumlupınar Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Lisansüstü Yönetmeliği Uyarınca
Makine Mühendisliği Anabilim Dalında
YÜKSEK LİSANS TEZİ
Olarak Hazırlanmıştır

Danışman : Yrd. Doç. Dr. Mehmet ŞENEL

Mayıs - 2007

KABUL VE ONAY SAYFASI

Yavuz EREN'in YÜKSEK LİSANS tezi olarak hazırladığı "KOMPOZİT YAPILARIN DARBE ETKİSİNİN İNCELENMESİ" başlıklı bu çalışma, jürimizce lisansüstü yönetmeliğin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

...../...../2007

Üye : Doç.Dr. Remzi GÖREN

Üye : Yrd.DoçDr. Mehmet ŞENEL (Danışman)

Üye : Yrd.DoçDr. İsmet ÇELİK

Fen Bilimleri Enstitüsün Yönetim Kurulu'nun/...../..... gün ve sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. M.SabriÖZYURT
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

KOMPOZİT YAPILARDA DARBE ETKİSİNİN İNCELENMESİ

Yavuz EREN

Makine Mühendisliği, Yüksek Lisans Tezi, 2007

Danışman Yrd. Doç. Dr. Mehmet ŞENEL

ÖZET

Darbe testleri genellikle günlük yaşamda karşılaştığımız çivi çakmak, çekiçle dövmek, otomobil çarpışmaları, araçların küçük tampon darbeleri, hareket halinde araca sıçrayan taş, yoldaki çukura hızla ve aniden düşen bir araba tekerleği ve kompozit bir kanat yapı üzerine bakım esnasında düşürülen bir aletin darbe etkileri gibi gerçek olaylarla bir benzeşim yapılarak oluşturulmaktadır. Mühendislik uygulamalarında özellikle imalat, montaj ve kullanım aşamasında dışarıdan gelebilecek herhangi bir darbeye karşı beklenmedik sonuçlar ortaya çıkabilir. Bunu engellemek için malzemenin bu tip etkiler karşısında davranışının nasıl olacağını bilmesi istenir. Yapılan darbe testleri ile tepkiler tahmin edilebilir.

Günümüzde yaygın bir kullanım alanına sahip olan kompozit malzemelerde, çarpmanın türüne göre darbeye maruz kalan ve/veya kalmayan bölgede de genellikle gözle görülemeyen veya çok zayıf şekilde görülebilen hasarlar meydana gelebilir. Bu tür hasarlar daha sonra malzemenin dinamik yük etkisi altında çalışma durumunda büyüyerek daha geniş çaplı hasarlara meydan verebilir. Bu sebeple tabakalı kompozit bir yapıda darbe etkisinin oluşturacağı hasarı önceden tahmin etmek üretim, tasarım ve kullanım açısından büyük önem arz etmektedir.

Hasarları oluşturan darbe testleri genel olarak üç kategoride toplanmaktadır, bunlar; ağırlık düşürme testleri, sarkaç testleri (izod ve charpy) ve hava veya gaz silah (düşük hız veya balistik testler) testlerdir. Bu çalışmada ağırlık düşürme testi kullanılmıştır.

Çalışmada, Alüminyum-termoplastik kompozit panel kullanılmıştır. Darbe testi , sabit ağırlıkta, farklı yüksekliklerde yapılmıştır. 15J, 30J, 45J ve 60J'lük enerjilerin numune üzerinde oluşturdukları hasarlar incelenmiştir. Deneysel sonuçlar grafiksel olarak gösterilmiştir. Delaminasyon olayı 45J ve 60J lük enerjilerde olduğu gözlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Düşük hızlı darbe, kompozit sandviç plak, dinamik tepki (deneysel yaklaşım).

IVESTIGATION OF IMPACT RESPONSE OF COMPOSITE STRUCTURES

Yavuz EREN

Mechanical Engineering, MSc Thesis, 2007

Supervisor: Asist. Prof. Dr. Mehmet ŞENEL

SUMMARY

Generally, impact tests are constituted in today complex life to run into bushy problems like to nail on, to hammer, car impacts, car's small bumper hits, splash of stone while the car movement, very speedy and abruptly dropping the car tire in the land route cavity, and in maintenance to be dropped a tool on the composite airfoil like a stroke influences to real life events with an analogy. In the engineering applications appears to against unexpected results especially in manufacturing, assembling and any stroke of outside effects at the time of using. To prevent this circumstances should be requested to know and how the material behavior against this effects. Consequently, the experimental impact tests can be predicted for reactions effects.

On the composite materials, which are used in a wide range of applications, there can be damages on the surface that can't be seen through naked eye depending on the type of the impact. Under the dynamic loading of the material, these unseen damages can become larger and even cause the loss of the material. Because of this, on a layered composite build, foreseeing the damage caused by the impact is very important on design and usage.

Impact experiments that cause damage are categorized in 3 main systems, which are weight drop test, pendulum test (izod and charpy) and air or gas gun (low speed or ballistics test) test. In this study the weight drop test was used.

In this study, Aluminium-thermoplastic sandwich panel was used. Impact tests were performed at constant weight and different height. Demages on the sandwich panels were investigated in 15J, 30J, 45J and 60J. Experimental dates were demonstrated with graphics. Delamination was formed 45J and 60J.

Keywords: Low velocity impact, composite sandwich panel, dynamic response (experimental approach).

TEŞEKKÜR

Bu tezin hazırlanmasında değerli katkılarını esirgemeyen tez danışmanım sayın Yrd. Doç. Dr. Mehmet ŞENEL'e ve Dumlupınar Ünv. Makina Müh. Bölümü tüm sayın hocalarıma teşekkürü bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET.....	iv
SUMMARY.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	ix
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	x
1. GİRİŞ.....	1
2. KOMPOZİT MALZEMENİN TANIMI.....	7
2.1. Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması.....	8
2.1.1. Fiber Takviyeli Kompozitler.....	10
2.1.2. Partikül Takviyeli Kompozitler.....	10
2.1.3. Pul Kompozitler.....	10
2.1.4. Dolgu Kompozitleri.....	10
2.1.5. Tabakalı Kompozitler.....	11
2.2. Kompozit malzemelerin Özellikleri ve Kullanım Yerleri.....	11
3. TERMOPLASTİKLER.....	13
3.1. Termoplastiklerin genel özellikleri.....	13
3.2. Termoplastiklerin fiziksel özellikleri.....	13
3.3. Önemli ticari termoplastikler ve kullanım yerleri.....	14
4. DARBE TESTLERİ	17
4.1. Çentik Darbe Testleri.....	17
4.1.1. Charpy Darbe Testi	19
4.1.2. İzod Darbe Testi.....	19
4.2. Ağırlık Düşürme testleri.....	20
4.2.1 Düşük hızlı darbe.....	20
4.2.2 Yüksek Hızlı Darbe.....	21

İÇİNDEKİLER (Devam)

	<u>Sayfa</u>
5. DARBE HASARINI ETKİLEYEN PARAMETRELER.....	23
5.1. Malzeme Özellikler.....	23
5.2. Hedef Sertliği.....	25
5.3. Ön Yükleme.....	25
5.4. Çevresel Koşullar.....	26
6. DARBEDEN SONRKI ÖZELLİKLERİN ÖLÇÜLMESİ.....	27
6.1. Artık Gerilme.....	27
6.1.1. Artık Gerilme Ölçülmesi.....	27
6.2. Düşük Hızlı Darbeden Sonra Basma Hasarı.....	27
7. DİNAMİK (ELASTO KİNETİK) YÜKLER.....	29
7.1. Atalet Kuvvetlerinden Doğan Gerilmeler.....	29
7.2. Dinamik Yüke Maruz Kalma Durumları.....	30
7.3. Ani Yükleme (Çarpma).....	33
8. DARBE TEST HESAPLAMALARI.....	36
8.1. $F(t)$, Ölçülen Kuvvet.....	36
8.2. $E(t)$, Absorbe Edilen Enerji.....	36
8.3. $\delta(t)$ Çarpma ile Oluşan Yerdeğiştirme.....	37
9. DENEY NUMUNESİ VE TEST DÜZENEGİ.....	41
9.1. Deney Numunesi.....	41
9.1.1. Giriş.....	41
9.1.2. Alüminyum Kompozit Panel.....	41
9.1.2.1. Kullanım Alanları.....	42
9.1.2.2. Dayanıklılık.....	42
9.1.2.3. Teknik Özellikler.....	42
9.1.3. Üretim Yöntemi.....	43
9.2. Kompozit Sandviç Panel Özellikleri.....	44
9.3. Test Düzenegi.....	45
10. DENEYSEL SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME.....	47
10.1. Deneysel Sonuçlar.....	47
10.2. Değerlendirme.....	54
KAYNAKÇA.....	56

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil</u>		<u>Sayfa</u>
2.1	En genel kullanımlı takviye elemanlı kompozitler.....	9
2.2	Helikopterde kompozit kullanımı.....	12
2.3	Kompozit pervane yapısı ve tasarımı	12
4.1	Çentik darbe deneyinin şematik çalışma prensibi	18
4.2	Charpy deneyinde numune ve çekiç konum şeması.....	19
4.3	İzod deneyinde numune ve çekiç konum şeması.....	20
4.4	Ağırlık düşürme test düzeneği şematik gösterilimi.....	21
4.5.	Gaz tabancası deney düzeneği şeması.....	22
7.1	Atalet kuvvetleri.....	30
7.2	Elastik bir sistemin dinamik yüklenme durumu.....	31
7.3	F kuvvetinin zamanla değişimi.....	31
7.4	Çarpışma öncesi ve sonrası elastik sistem davranışı.....	33
8.1	Kirişin Dinamik Yerdeğiştirmesi.....	38
9.1	Aluminyum kompozit panel kesiti ve bina dış cephe uygulaması.....	41
9.2	İzotermal kalıplama ve izotermal olmayan (non-isotermal) kalıplama yöntemleri	43
9.3	Instron, Dynatup 9250 HV darbe test cihazı.....	45
9.4	Pnomatik numune sıkıştırma sistemi.....	46
9.5	Çarpma anı; vurucu uç, sensör ve numune.....	46
10.1	15J'luk enerji için grafikler.....	48
10.2	30J'luk enerji için grafikler.....	49
10.3	45J'luk enerji için grafikler.....	50
10.4	60J'luk enerji için grafikler.....	51
10.5	15J, 30J, 45J ve 60J'luk enerjiler için grafikler	52
10.6	Darbe Hasarları.....	53

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>Cizelge</u>	<u>Sayfa</u>
3.1 Termoplastiklerin bazı tipik özellikleri.....	14
3.2 Bazı termoplastik malzemelerin mekanik özellikleri.....	16
9.1 Kompozit sandviç panel ile alüminyum and çelik karşılaştırması.....	44
9.2 Kompozit sandviç panel fiziksel özellikler.....	44
9.3 Kompozit sandviç panel mekanik özellikler.....	45

1. GİRİŞ

Teknolojinin gelişmesiyle beraber birçok alanda meydana gelen değişimler insan yaşamına getirdikleri kolaylıkların yanı sıra daha önce hiç karşılaşılmamış birçok problemi de beraberlerinde getirmişlerdir.

Dinamik kuvvetlerin statik kuvvetlerden en önemli farklılığı etkidikleri cisim üzerinde, oluşturdukları gerilimlere ve şekil değişimlerine statik kuvvetler gibi kademeli olarak artarak değil, kendi koşullarının oluşturduğu karakterde bir etki göstermesidir. Bu nedenle dinamik gerilim ve şekil değişimi hesaplarında da başka prensipler uygulanır.

Yukarıda bahsi geçen yüklemelerin mühendislik malzemelerinin yanı sıra kompozit malzemeler üzerinde de önemli etkileri olmaktadır. Tabakalı kompozitler yüksek özellikli mekanik özelliklerinden dolayı günümüzde birçok mühendislik alanlarında kullanılmaktadırlar. Bu malzemeler uzay endüstrisinin yanında, inşaat, makine, spor ve diğer dallarda da isteğe göre tasarlanabilmesi yönüyle geniş bir kullanım alanına sahiptir. Darbe testleri genellikle günlük yaşamda karşılaştığımız çivi çakmak, çekiçle dövmek, otomobil çarpışmaları, araçların küçük tampon darbeleri, hareket halinde araca sıçrayan taş, yoldaki çukura hızla ve aniden düşen bir araba tekerleği ve kompozit bir kanat yapı üzerine bakım esnasında düşürülen bir aletin darbe etkileri gibi gerçek olaylarla bir benzeşim yapılarak oluşturulmaktadır.

Çalışan elemanlarda çalışma ömrünü azaltan dinamik yükler (özellikle darbe yükü) kompozit yapılarda da ciddi problemlere sebep olmaktadır. Bu alanda yapılan çalışmalara baktığımızda;

Düşük hızlı darbeler, oluşan hasar bakımından matris kırılması, delaminasyon (tabakalar arası ayrılma) oluşumu ve fiber kırılmalarının görüldüğü darbelerdir, çarpma hızı ve absorbe edilen enerji miktarı düşük düzeylerde oluşmaktadır (bu değerler serbest düşen kütlenin ağırlık ve düşme yüksekliğine göre değişebilir) fakat bu konuda literatürde bu yöntem için kesinleşmiş ölçüler ve değerler bulunmamaktadır [1]. Birçok araştırmacı kompozit malzemelerin darbe hasarını değerlendirmek için deneysel ve nümerik yaklaşımlar kullanmışlardır [2–7].

Özellikle hava taşıtlarında kullanılan kompozit malzemeler üzerindeki araştırmalar bu malzemelerin eksene dik doğrultulardaki darbe yüklerine (imalat, bakım ve onarım esnasındaki küçük çaplı çarpma, alet düşürme vb.) karşı çok hassas olduklarını ortaya koymuştur. Bunun sebebi enine doğrultuda takviye elemanı olmayan tabakalı kompozitlerde (plak vb yapılar), malzemenin elastik özelliğinin enine doğrultuda düşük olmasıdır. Düşük hızlı darbeler genel olarak tabakalar arası ayrılma (delaminasyon), elemanlarda oluşan artık gerilmeler ve malzeme performansının düşmesi gibi belirli konularla ilgilidir [8–10; 11–15].

Çalışmaların büyük çoğunluğu kompozitlerin darbe yükü etkilerinin incelenmesi şeklinde özetlenebilir Kompozit yapılar da düşük hızlı darbe üzerine yapılan çalışmaların hemen hemen hepsi deneyseldir ve genel olarak gerilmemiş veya tek yönlü gerilme uygulanarak yapılmış çalışmalardır. Gerçekte malzemeler çok yönlü kompleks yüklerin etkisi altında kaldığından dolayı bu tür çalışmalar tam olarak yeterli değildirler. En basitinden havaalanı pistleri kompozit kafesler üzerine inşa edilirler. Pist üzerinde sabit duran uçak bile kompozit kafeste bir öngerilme oluşturur. Oluşan bu öngerilme daha sonraki yüklerde kompozit yapının mukavemetinde düşmelere ve piste çökmelere sebep olacaktır. Bu açıdan düşünülürse gerilmemiş ve tek yönde gerilmeli malzemeler üzerine yapılan çalışmaların ne denli yetersiz kaldığı görülmüş olacaktır [8-10].

Lin, Ho ve Chang [16] çeşitli nanopartikül düşürülmüş düşük hızlı kütle darbe testi kullanarak kompozitler üzerine araştırma yapmışlardır. Çalışmalarında polimer matrisli takviyeli nanokompozit malzemelerin mekanik özellikleri ile kırılma morfolojisi incelemişlerdir. Takviye elemanı nanopartikül (TiO₂ titanyum dioksit ve cloisit) hacimsel olarak %2 ile %10 oranında katılarak kompozit malzeme üretilmiştir. Çalışmalarda önemli gelişmeler elde etmişlerdir. Darbe hızı olarak 2.1, 5.2 ve 8.1 m/s malzeme üzerine düşürülmüştür. Yaptıkları deney sonuçlarında çekme mukavemetine göre ayrışma derecesi maksimum olabilmektedir, fakat darbe mukavemetine göre minimum olmaktadır. Neticede nanokompozitlerin çekme mukavemeti, düşük modülü ve ısıl dinamik değerleri nanopartiküllerin homojenliğini, dolgu malzemesinin tip ve hacmini sıcaklığı ve geometrisini etkilediğini tespit etmişlerdir.

Tabakalı kompozit yapılar üzerinde de düşük hızlı darbe testleri yapılmıştır. E-cam/epoxy kompozit tabakalar (0/90/0/90/0)_s olarak istiflenerek üretimi gerçekleştirilip mekanik özellikleri öncelikle çıkarılmıştır. Malzeme üzerine 135 gr ile 2600 gr ağırlıklar 3m/s hız ile düşürülmüştür. Malzemeler 150X150mm boyutlarında ele alınmıştır. Arslan ve diğerleri

[17] 3DIMPACT programı kullanarak nümerik simülasyon sonucu malzemede oluşan gerilmeleri ve darbe yüklerini zamana bağlı olarak hesaplamışlardır.

Caprino [18] ağır bir yükü düşürdüğü 2024 T3 ince tabaka ve S2-cam/epoxy malzemelerinden oluşan fibercam-aluminyum kompozit malzemeyi düşük hızlı darbe testine tabi tutmuşlardır. Aynı testi karşılaştırma amacı ile aynı kalınlıktaki monolitik 2024 T3 plaka için yapmışlardır. Sonuçlardan tüm kuvvet-deplasman eğrilerinin sadece darbe enerjisine bağlı olduğu bulunmuştur. Ayrıca malzemeyi delmek için gerekli olan enerji miktarının fibercam-aluminyum kompozitine göre monolitik alüminyumda daha yüksek olduğunu gözlemişlerdir. Fakat bu kompozitin göstermiş olduğu performans karbon fiber ve cam fiber takviyeli tabakalara göre delinme enerjisi ve hasar direnci olarak daha iyi olduğu tespit edilmiştir. Liu ve arkadaşları [19] yapısal yoğunluk yaklaşım metodunu düşük hızlı darbe altındaki plak yapıların karakteristik özelliklerini incelemek için kullanmışlardır. Analiz için malzeme ve çarpma ucunu modellemişlerdir. Bu modeller için denklemler ve algoritma geliştirilmiş Lagrangian yaklaşımı ile uygulanmıştır.

Çalışmaların az da olsa bir kısmı tek yönde ön yüklemeli olarak yapılmıştır [20–25]. Sadece üç yazar da iki eksen doğrultusunda ön gerilmeli kompozit paneller üzerine darbe yüklerini incelediği bilgisine ulaşılmıştır [26–28]. Bu açıdan literatür çalışmasını kısa tutmak amacıyla bu üç makale üzerinde yoğunlaşılacaktır.

Birinci çalışmada, cam takviyeli plastik (GRP) kompozit tabakaların hasar toleransı [26] göz önüne alınarak ± 2000 , ± 4000 ve $\pm 6000 \mu\epsilon$ 'a eşdeğer tek ve çift yönlü öngerilme altında darbe yükü uygulanmıştır. Kuvvet-zaman grafiğinde absorbe edilen enerji ve hasar boyutu değişik öngerilme durumları için bulunmuştur.. Numune üzerinde öngerilmenin en önemli etkileri sadece yüksek öngerilmenin ($6000 \mu\epsilon$) olduğu durumda tespit edilmiştir. Aynı zamanda kayma yükü işlem esnasında en büyük hasar durumunda bulunmuştur.

İkincisinde, Sun ve Chattopadhyay [27] öngerilmeli anizotropik plaklar üzerine darbe etkilerini analitik olarak incelemişlerdir. Bu çalışmada dikdörtgen şeklinde simetrik cross-play kompozit plak kullanılmıştır. Plaka iki ekseninde uniform şekilde çekme etkisi altında öngerilme uygulanmıştır. Darbe yükü ve dinamik tepkiler lineer olmayan integrasyon denkleminin çözümü ile bulunmuştur. Çalışmada tespit edilen diğer bir özellik, toplam etki eden kuvvet değerleri azalırken ilk gerilme değerinin artmasıdır. Bu durum ilk gerilme değerinin plakta sertleşme

etkisine sebep olduğunu göstermektedir. Eğer plak öngerilme etkisi altında ise düşük enerji absorbe edilmektedir. Plak tarafından absorbe edilen enerji miktarı plak boyutu ile ilgilidir.

Üçüncü makalede, Sun ve Chen [28] çekme/çekme, bası/bası ve yüksüz plak durumlarını sonlu elemanlar yöntemi ile çalışmışlardır. Tabakaların random bir şekilde modellenmesi ile oluşturulan plak üzerine çekmede 3 x kritik burkulma yükü, basmada ise 0.75 x kritik burkulma yükü uygulanmıştır. Bu çalışma önemli bulguları göstermenin yanı sıra ileride yapılacak olan teorik ve deneysel çalışmalara, kompozit plaklarda öngerilmenin oluşan hasarlara etkisi açısından ışık tutmaktadır.

Birçok kompozit yapılar üzerinde çalışma esnasında oluşan beklenmedik darbe hasarları kaçınılmaz bir olgudur. Örneğin kompozit ızgara (kafes) yapı üzerine inşa edilen havaalanı pistindeki çökmeler kafes yapıda göz ardı edilemeyecek ölçüde hasar oluşturur. Bu hasar piste çökmelere sebep olur. Tüm kompozit yapılar darbe etkisi altında birtakım öngerilme etkisi altında kalmakta, bu durum malzemenin kalıcı hasar mekanizmasında göz ardı edilemeyecek değişikliklere sebep olmaktadır [8-11; 20-28].

Belingardi [29] darbe esnasında hasar oluştuğunda hasarlı malzemenin mekanik özelliklerinde belirli seviyede bir düşüş olduğunu kabul etmişlerdir. Fakat yaptıkları deneyler sonucunda ise bu hasarın belirli seviyede kalmadığı ve ilk başlangıçtan sonra hasarın devam ettiğini tespit etmişlerdir.

Jih ve Sun [30] tabakalı kompozitlerin düşük hızlı darbe yükü altında delaminasyonunu deneysel olarak tespit etmek için çalışma yapmışlardır. Ağırlık düşürme darbe testleri sonucunda düşük hızlı darbenin delaminasyona sebep olduğunu statik tabakalar arası kırılma tokluk değerlerini kullanarak bulmuşlardır.

Guan Z ve Yang C. [31] tabakalı kompozitlerin hasar simülasyonu üzerine çalışma yapmışlardır. Hasarlı malzemenin mekanik özelliklerini değiştirmek için sürekli hasar mekanizması yöntemi uygulamışlardır. Simülasyon hesaplamalarında değişken malzeme katsayıları hasar durumuna göre elemanlara uygulanmıştır. Simülasyonlarını, matris kırılması, delaminasyon ve fiber kırılmaları üzerine uygulamışlardır.

Caprino G. [32] 2024T3 alüminyum tabaka ve S2-glass/epoxy den oluşmuş fibreglas-alüminyum tabakalı kompozitlerin mekanik özellikleri üzerine deneysel çalışma yapmışlardır. Test için çarpıcı uç kütlesi sabit tutulup düşme yüksekliği 1,7–5,7 m/sn aralığında çarpma hızı

verecek şekilde alınmıştır. Ayrıca test durumunu elektronik ortamda uygulayabilmek için basit modelleme yapılmış ikinci mertebeli polinomları sonuçlar için kullanılmıştır. Sonuçta; darbeden sonra oluşan şekil değişimi, darbe enerjisine bağlı olarak ve alüminyumun plastik deformasyonu içerisinde lineer olarak oluşmuştur. Oluşturulan model ile yeterli doğrulukta kuvvet- şekil değişimi, kuvvet-zaman, temas süresi ve enerji dağılımı gibi ana darbe parametreleri elde edilip grafik olarak göstermiştir.

Kompozit malzemeler ve/veya yapılar çalışma esnasında değişik yüklemelere maruz kalırlar. Bu yüklemelerden en kritiği yapının tabakalı olmasından dolayı darbe yükleridir. Luo'ya göre [33] kompozit yapılarda darbeden dolayı oluşan hasar, tasarım ve uygulamada göz önüne alınması gereken en önemli etkidir. Darbe olayı, darbe hızına göre düşük hızlı ve yüksek hızlı darbe olarak sınıflandırılır. Buna bağlı olarak Hu [34] düşük hızlı darbeler ile kompozit tabakanın kalınlığı boyunca oluşan tabakalar arası yırtılmaları incelemiştir. Bu incelemelerde, iç tabakalar da oluşan hataların tabakaların mukavemetini ve dayanıklılığını düşürdüğünü göstermiştir. Böylece hasar mekanizmasının nasıl çalıştığının önceden tahmin edilmesi ile malzeme performansının artışı sağlanmıştır.

Belingardi ve Vadori [35] karbon fiber-epoxy matris tabakalı kompozitlerin düşük hızlı darbe etkisi altında deneysel kütle düşürme testi çalışmışlardır. Çalışmalarında farklı istifleme şekillerinde kompozit tabakalar göz önüne alınmıştır. Tabakalı plak üç ayrı kalınlıkta statik ve dinamik yük için deney yapmışlardır. Deney sonuçlarında oluşturulan yer değiştirme-kuvvet eğrileri, ilk hasar kuvvetinin ve maksimum kuvvetin anlaşılmasına olanak sağlar. Bunun yanında enerji değerlerinin incelenmesi tasarımcılar için ilginç parametrelerin bilinmesini sağlamaktadır: bunlar doymuş darbe enerjisi ve hasar derecesidir.

Kompozit malzemelerin çeşitli hata modları vardır ve şekil değiştirme oranı bir modun diğerine değiştirilmesi ile oluşturulabilir. Son literatür araştırmalarında bu konuda yayınlanmış eserler mevcuttur, bunları [36–39] referanslarda bulmak mümkündür.

Bu tezde düşük hızlı darbe deneyinde alüminyum-termoplastik dolgulu sandviç kompozit malzeme kullanılmıştır. Deney ISO 6603-2 standardına göre gerçekleştirilmiştir. Elde edilen deneysel sonuçlar grafikler halinde son kısımda yorumlarıyla beraber sunulmuştur.

2. KOMPOZİT MALZEMELERİN TANIMI

Teknolojinin gelişimi, son yüzyılda bilgisayarların da devreye girmesiyle beraber büyük bir ivme kazanmıştır. Doğadan elde ettiğimiz malzemelerin sınırlı olmasından dolayı, özellikleri bu büyük gelişime ayak uyduramamış ve sanayi için temel bir girdi olan malzeme ve malzeme biliminde gelişme kaçınılmaz bir duruma gelmiştir.

En geniş anlamda, bir kompozit malzeme iki veya daha fazla bileşenden meydana gelen malzemedir. Bu bileşenler makroskobik seviyede bir araya getirilirler ve birbirleri içinde çözünmezler. Takviye elemanı olarak adlandırılan bileşen; fiber, partikül veya ince levha şeklinde olabilir. Diğer bileşen ise matris fazıdır. Bu malzemelerin bir araya getirilmesi, bir takım çalışma karakteristiklerinin bu bileşenler tek olarak değerlendirildiği durumdakinden daha iyi olmasına müsaade eder. Buna karşılık bu malzemelerin mekanik özelliklerini belirlemede bazı güçlükler mevcuttur. Bu durum kompozit malzemelerin metalik malzemelere nazaran daha karmaşık bir yapıya sahip olmasından kaynaklanmaktadır.

Bilim adamlar çağın yenilikleri ile birlikte bilimin gelişmesi paralelinde ekonomik, yüksek mukavemetli ve hafif malzemeleri imal etme yolunu seçmişlerdir. Bu şekilde kompozit malzemeler imalat sanayisinde ve yeni teknoloji ürünlerinde çok önemli bir rolü üstlenmiştir.

Kompozit malzemenin oluşum aşamasında doğa ve insan yapıları örnek olmuştur. İnsan vücudundaki çoğu dokular yüksek eğilme kabiliyeti gösteren liflerden meydana gelmiştir ve bu lifler zorlanma ve yüklenmelere karşı koyabilmek için düzene konmuş ve birbirlerinin üstünde kayarak dokunun dayanıklı olmasını sağlamaktadır. Bambu ve odun yapısı incelendiği takdirde liflerden oluştuğu görülmektedir. Buda aslında kompozit malzemelerin çok eski yıllardan beri kullanılmakta olduğunu ortaya çıkarıyor. En basit olarak çam ağacı örnek olarak verilebilir. Çam ağacının gövdesi içindeki, yaz ve kış mevsimlerinde meydana gelen yaş halkalar içice bir görünümde ve kış halkalar sert fakat kırılğan, yaz halkalar ise daya yumuşak fakat esnektir. Bu kompozit özelliği çam ağacına bu yapıda olmayan diğer ağaçlara göre daha yüksek bir mukavemet sağlamıştır.

Genel bir tanım yapacak olursak; kompozit malzeme, kimyasal bileşenleri farklı birbiri içerisinde pratik olarak çözünmeyen iki veya daha fazla malzemenin kullanım yerindeki aranan özellikleri verebilecek daha uygun malzeme oluşumu için makro seviyede birleştirilmesi sonucu meydana gelen malzemelerdir. Makroskobik muayene ile yapı bileşenlerinin ayırt edilmesi

mümkündür. Yapılarında birden fazla sayıda fazın yer aldığı klasik alaşımlar ise makro ölçüde homojen olmalarına karşılık mikroskobik muayene ile mikro ölçüde heterojen olduğu görülür. Kompozit malzemelerde yap bileşenlerinin makro boyutta oldukları kabul edildiğinden bu kavram karışıklığı, bazı kuraldışı durumlar olmakla beraber ortadan kalkmaktadır.

Kompozit malzemelerin kullanılması da ki bir diğer önemli noktada ekonomikliktir. Kimya endüstrisinde çeşitli reaktif veya çözeltilerin depolanmasında, taşınmasında çözeltilere karşı inert davranan, reaksiyon vermeyen malzemelerin seçilmesi gerekir. Bu iş için en uygun malzemeler paslanmaz çelikler ve plastiklerdir. Tamamen plastik bir malzeme mukavemetsiz, tamamen paslanmaz çelikten yapı ise çok pahalıdır. Paslanmaz çeliğe göre çok daha ucuz olan düşük karbonlu çeliğin kimyasal maddeyle temas yüzeyinin plastik malzeme ile kaplanması hem yüksek mukavemetli hem de ucuz bir çözüm olacaktır.

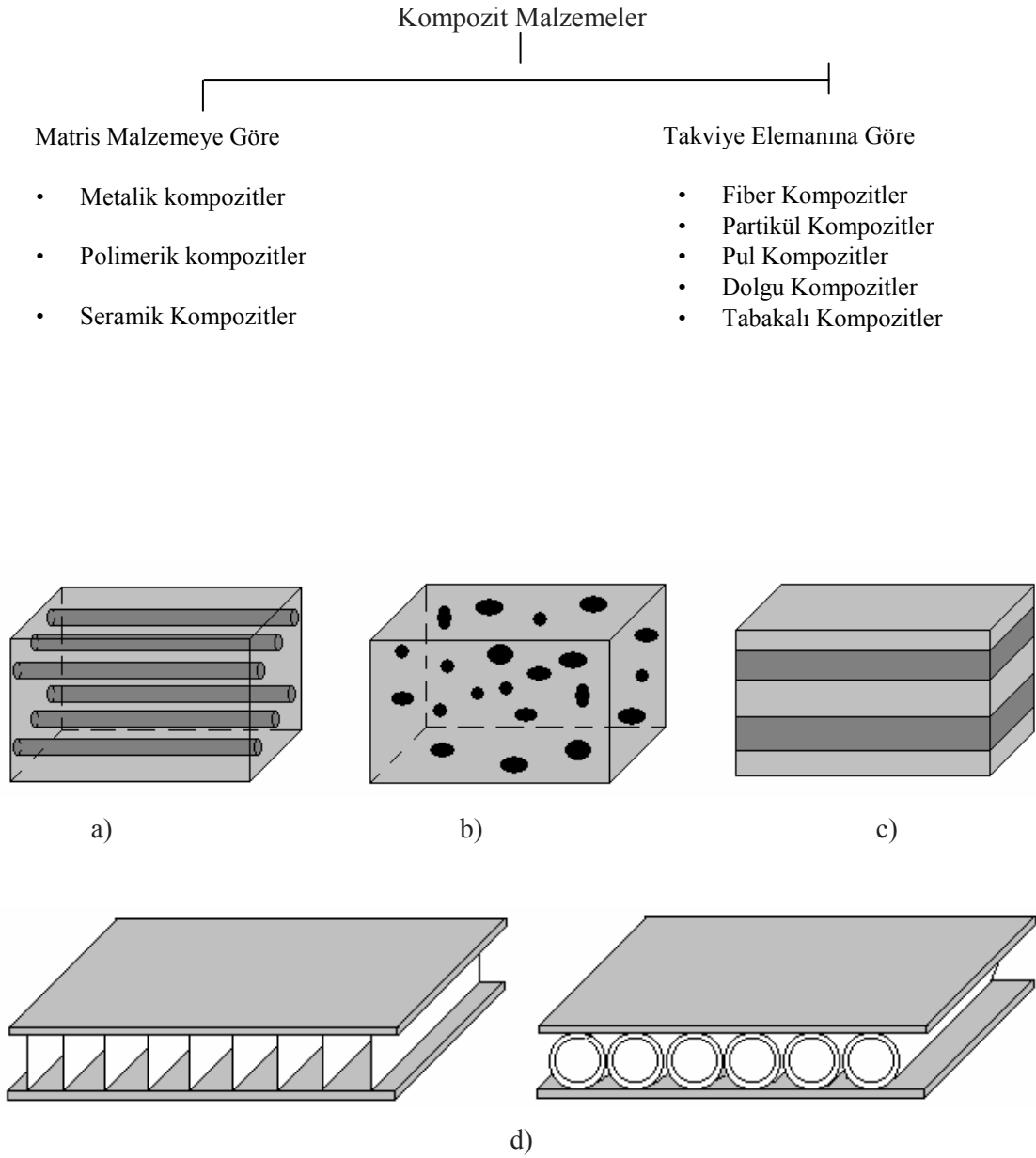
Zırhlı araçlar gibi bazı uygulamalarda, malzemenin yüksek bir sertliği yanı sıra yüksek tokluk özelliğine de sahip olması ve darbe enerjilerini absorbe etmesi istenebilir. Klasik mühendislik malzemelerinde bu özelliklerin birlikte kazanılması oldukça zordur. Yüksek sertlikteki malzemelerle, yumuşak, sünek malzemelerin kompozit şeklinde tasarımlar bu tür uygulamalar için de bir çözüm yolu olabilir. Yüksek sertlik ve mukavemetteki çelik saçlarla yumuşak, sünek özelliğe sahip saçlar kaynakla birleştirildiğinde, dıştaki sert tabaka zırhın delinmesini önlerken, içerideki yumuşak tabaka deforme olarak darbe enerjisini absorbe eder. Buna benzer bir örnek emniyet camıdır.

Mühendislik uygulamalarında kompozit malzemelerin yeri gün geçtikçe artmaktadır. Saçtan, tahtadan yapılan tekneler, yatlar, kotralar yerlerini polyster cam elyaftan yapılan benzerlerine bırakmaktadır. Bakım-onarım yönünden daha avantajlı olan kompozit malzemenin yapılan tekneler aynı zamanda hafif, uzun ömürlü ve süratli olmaları nedeniyle de tercih edilmektedir.

2.1 Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması

Kompozit malzemeleri değişik şekilde sınıflandırmak mümkündür. Matris malzemesinin türüne göre metalik kompozitler, polimerik kompozitler, seramik kompozitler vb. gibi gruplandırma yapılabildiği gibi yapı bileşenlerinin şekillerine göre de sınıflandırma şu

şekilde yapılabilir; fiber kompozitler, partikül kompozitler, pul kompozitler, dolgu kompozitler, ve tabakalı kompozitler.



Şekil 2.1 En genel kullanımlı takviye elemanlı kompozitler; a) fiber takviyeli, b) partikül takviyeli, c) tabakalı kompozitler, d) dolgu kompozitler

2.1.1 Fiber Takviyeli Kompozitler

Mühendislikte kullanılan malzemelerin pek çoğu fiber şeklinde üretildiklerinde mukavemet ve rijitlikleri kütle hallerindeki değerlerinden çok üstünde olabilmektedir. Birçok özelliklerde artış sağlayan, yüksek etkinliği olan liflerin ilavesiyle elde edilir. Karbon fiberlerin çekme mukavemeti kütle halindeki grafitten 50 kat, rijitliği 3 kat daha yüksektir.

2.1.2 Partikül Takviyeli Kompozitler

Rijitlik ve mukavemete artışı sağlayan küçük granül dolgu maddesi ilavesiyle şekillendirilerek üretilir. Bir veya iki boyutlu makroskobik partiküllerin veya sıfır boyutlu olarak kabul edilen çok küçük mikroskobik partiküllerin matris fazı ile oluşturdukları malzemelerdir. Makroskobik veya mikroskobik boyutlu partiküller kompozit malzeme özelliklerini farklı şekilde etkilerler. Partikül kompozitler; dispersiyonla sertleştirilmiş kompozit malzemeler ve büyük ölçekli partikül kompozit malzemeler olarak iki gruba ayrılabilir.

2.1.3 Pul Kompozitler

Yüksek yük taşıma kabiliyeti olan büyük uzunluk/çap oranında dolgu maddesi ilave edilerek üretilir. Matris içinde yer alan pulların konsantrasyonu düşük olabileceği gibi birbiri ile temas etmelerini sağlayacak derecede yüksek değerlerde olabilir. Düzlemsel yapıya sahip pullarla sık bir paketleme elde edilebilir. Pul esaslı sistemin maliyeti biraz daha fazla, ancak mukavemet özellikleri iyidir.

2.1.4 Dolgu Kompozitleri

Üç boyutlu sürekli bir matris malzemesinin yine üç boyutlu dolgu maddesi ile doldurulması veya emprenye edilmesi ile oluşan malzemelerdir. Düzgün petekler, hücreler veya süngere benzeyen gözenekli yapılar arasında metalik, organik veya seramik esaslı dolgu maddeleri yer alabilir. Optimum özelliklere sahip olabilmesi için birbiri içinde çözünmeyen, kimyasal reaksiyon vermeyen bileşenlerin seçilmesi gerekir. Bu tür kompozitler sandviç kompozitleri olarak da bilinir.

2.1.5 Tabakalı Kompozitler

Çok değişik kombinasyonlarla tabakalanmış kompozitlerin üretimi mümkündür. Farklı özelliklere sahip en az iki tabakanın kombinasyonundan oluşur. Korozyon direnci zayıf metaller üzerine, daha yüksek dirençli metallerin veya plastiklerin kaplanmasıyla korozyon özelliğinin, yumuşak metallerin sert malzemelerle birleştirilmesiyle sertlik ve aşınma direncinin, farklı fiber yönlenmesine sahip tek tabakaların birleştirilmesiyle çok yönlü yük taşıma özelliğinin geliştirilmesi mümkün olmaktadır.

2.2 Kompozit Malzemelerin Özellikleri Ve Kullanım Yerleri

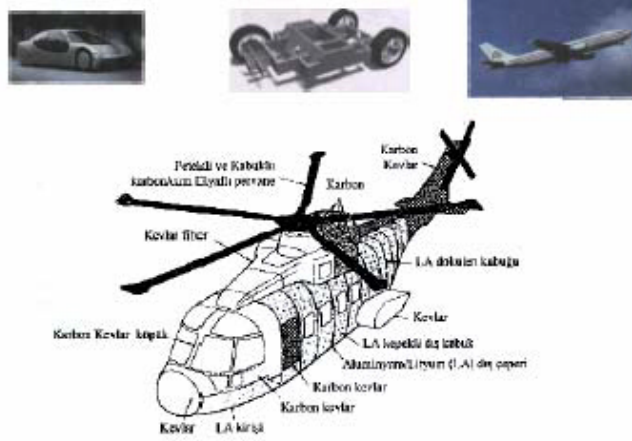
Günümüzde kullanılan kompozitler genel olarak cam fiber reçine (polyester), tungsten, molibden takviyeli alüminyum, karbon ve çelik fiber takviyeli plastiklerdir. Genellikle

- a) Plastik-Plastik
- b) Plastik - Dolgu maddesi
- c) Plastik - Cam elyaf
- d) Plastik - Metal fiber
- e) Metal matrisli kompozitler
- f) Seramikler, olarak sınıflandırılırlar.

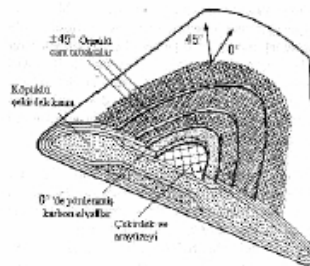
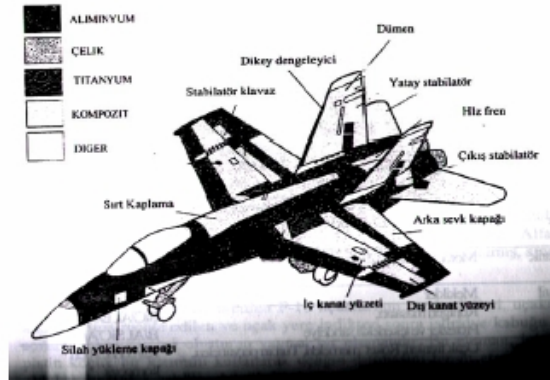
Kompozit malzeme kullanımı ile iyileştirilebilecek özellikler:

- 1) Mukavemet
- 2) Rijidlik
- 3) Korozyon direnci
- 4) Aşınma direnci
- 5) Görünüm güzelliği
- 6) Ağırlık
- 7) Yorulma ömrü
- 8) İmalat kolaylığı
- 9) Akustik izolasyon
- 10) Isıya dayanıklılık
- 11) Isı izolasyonu

Yukarıda sayılan bu özelliklerin hepsi aynı anda sağlanamaz. Kullanım yerine göre gereken özellikleri sağlayan uygun kompozit malzeme seçimi, üretimi yapılır. Kullanım yerleri örnek olarak; uçaklar kanatlar, helikopter pervanesi, uçak gövdesi Otomobiller Direksiyon, tampon, şasi v.b verilebilir.



Şekil 2.2 Helikopterde kompozit kullanımı



Şekil 2.3 Kompozit pervane yapısı ve tasarımı

3. TERMOPLASTİKLER

Termoplastikler, oda sıcaklığında katı malzeme olarak adlandırılır. Bunlarda çizgisel molekül zincirleri birbirine zayıf metallere arasında Van der Waals bağlar ile bağlanır. Rijit bir yapıya sahip değildir. Isıtılırsa yumuşar, sıcaklık arttıkça viskozitesi düşer. Bu özellik bunlardan yapılan ürünleri daha ekonomik yapar ve kolaylıkla şekillenmesini sağlar. Bu tekrar soğutulduğunda yeniden sertleşir. Sıvı halde bulunduğu sıcaklıklarda viskozite hali yüksektir. Bu nedenle ara yüzey bağı termosete göre daha zordur. Ancak şekillendirme kapasitesi iyi olduğundan bunların kullanımı yaygınlaşmaktadır. Bu polimerler kristalin veya şekilsiz (amorf) olabilir. Kristal şekilli olanlarda moleküller büyük uzaklıklarda oldukça düzenli şekil oluştururlar. Amorf polimerler de ise uzun zincirler birçok noktada birbirine dolaşmıştır. Bunlar polimeri daha büyük sıcaklıklarda rijit yapar. Kısa elyafı küçük hacim ortamında hamur veya levha kalıplama yöntemi ile kullanılmaktadır. Kimyasal etkilere karşı keza hassastırlar. Ancak poliamid veya PEEK/karbon elyafı kompozit 95⁰ C'de suya karşı koyma dayanımında azalma olmamaktadır. Tutuşma direnci keza daha iyidir.

3.1 Termoplastiklerin genel özellikleri:

- Çok düşük rijitlik,
- Çok düşük çekme dayanım ve düşük sertliğe sahip olduklarından aynı zorlama için daha büyük hacimler gerektirdiğinden dolayı her zaman tercih edilmezler.
- Daha büyük süneklik, yaklaşık % 1 ila 500 arasında değişir.
- Kuvvet etkisinde oda sıcaklığında bile sünme ve zamana bağlı şekil değiştirmeler oluşur.

3.2 Termoplastiklerin Fiziksel özellikleri:

- Metaller ve seramiklerden daha düşük yoğunluğa sahiptir. Polimerlerin tipik özgül ağırlıkları 1.2 g/cm³ iken seramiklerin yoğunlukları 2.5 g/cm³ ve metallerin yoğunlukları ise 7 g/cm³ civarındadır.
- Çok yüksek termal uzama katsayılarına sahiptirler. Kaba olarak bu metallerin yaklaşık 5 kat seramiklerin yaklaşık 10 katıdır.

- Düşük ergime sıcaklığına sahiptir.
- Özgül ısılar metallerin 2 kat yüksek olup seramiklerin 4 katıdır.
- Termal iletkenlikleri metallerden yaklaşık 3 kat daha düşüktür.
- Yalıtıcı elektriksel özelliklere sahiptirler.

Seçilen termoplastiklerin bazı özelliklerinin Çizelge 3.1'de karşılaştırılması gösterilmiştir.

Çizelge 3.1 Termoplastiklerin bazı tipik özellikleri

Malzeme Özellikleri	Akrilik	ABS	PTFE	PA
Elastik modülü (MPa)	2800	2100	425	700
Çekme dayanımı (MPa)	55	50	20	70
Uzama Miktarı (%)	5	10-30	100-300	300
Özgül ağırlığı (gr/cm ³)	1.2	1.6	2.2	1.14
Ergime sıcaklığı (°C)	200	--	327	260

Termoplastikler, üretilen bütün sentetik polimerlerin yaklaşık % 70'ini meydana getirir ve üç tipten ticari olarak en önemlisidir. Termosetler ve elastomerler ise yaklaşık % 30'unu oluşturur. Tipik olarak kullanılan termoplastikler Acetal, AcrylonitrileButadiene-Streyn (ABS), Selüloz, Poli-tetra-floretilene= Fluoropolymers (PTFE), Poli amids(PA), Polikarbonat (PC), Polietilen (PE), Polyester (PET), Polivinil klorür (PVC), Naylon 6.6, Polistreyn (PS) ve Polipropilen (PP)'dir. Ancak bu üç tür olan polimerler bazen birbiri içerisine girebilir. Termoplastik olan belli polimerlerden termosetler de yapılabilir.

3.3 Önemli ticari termoplastikler ve kullanım yerleri :

- Asetal: Formaldehitten hazırlanır. Ticari ismi poli-methelene metilen (POM)'dir. Yüksek rijitlik, dayanım, tokluk ve aşınma direncine sahiptir. Bunun yanında ergime noktası yüksek (180°C) olup, nem alma kapasitesi düşüktür. Bu özelliklerinden dolayı çinko ve pirinç ile yarış halindedir. Baz otomatik parçaları, kapı kolları, pompalar ve benzer parçalar n yapımında kullanılır.

- Arkilik: Polimet metha arkilik (PMMA) ile sembolize edilir. Lineer polimer olduğu için şekilsizdir. Bu önemli özelliği saydam olarak optik uygulamalarda cam ile yarış halinde olmasını sağlar. Örneğin, otomobil kuyruk ışığı lensleri ve uçak camlarında kullanılır. Camla karşılaştırıldığında dezavantajı ise çok düşük çizme direncine sahip olmasıdır. Arkiliğin diğer önemli bir özelliği de tekstil için elyaflarda kullanılmasıdır. Buna Poli akro-nitrile (PAN) örnek olup ticari ismi de Du Pont'dur.
- Akronitril-Butadiene-Streyn (ABS): Mükemmel mekanik özelliklere sahiptir. ABS iki fazlı olup I fazı sert kopolimeri (Streyn-acrylonitrile) iken diğer fazı ise Streynbutadiene kopolimer olup kauçuktur. Üç farklı başlama maddeleri değişik oranlarda karıştırılır.
- Politetra fluorethylene (PTFE): Teflon olarak bilinir ve çevresel ve kimyasal etkilere karşı aşırı dirençlidir. Sudan etkilenmez. Elektrik ve ısı direnci iyi ve çok düşük sürtünme katsayısına sahiptir. Yağlanamayan parçalar yapmak için uygundur. Kimyasal aygıtlar ile gıda sanayinde uygulama alanı bulmuştur.
- Poliamids (PA): En önemli PA ailesi naylon olup naylon 6 ve naylon 6.6 olarak iki kalitesi vardır. Bunlar Du Pont Şirketi tarafından geliştirilmektedir. Naylon dayanıklı olup elastik modülü yüksek ve abrasiv aşınmaya karşı dirençlidir. Kendi kendini yağlama özelliğine sahiptir. 125°C civarında mekanik özelliğini muhafaza eder. Önemli bir dezavantajı ise suyu emmesidir. Dişli, yatak vb. parçaların yapımında dayanım ve düşük sürtünmenin gerekli olduğu yerlerde metal yerine kullanılmaktadır. İkinci grup poliamidler Aramidler'dir. Ticari ismi Kevlar olup elyaf takviyeli kompozitler için önem kazanmaktadır. Kevlar'a olan ilginin sebebi ise dayanım çelikle aynı olmasına rağmen ağırlıkça % 20 daha düşük olmasındandır.

İkinci grup polimerler; polyester, polipropilene, polivinil klorür, polietilen ve polikarbonatdır.

- Polyesterler (PET): Bunlar bağ durumuna göre termoplastik ve termoset de olabilirler. Bu yapı ya şekilsiz ya da yaklaşık % 30 kristalleşmiş olabilir. Hızlı soğutma ile şekilsiz yapı oldukça saydamdır. Şişirme türü küçük kaplar, fotoğrafik filmler ve manyetik bantlar bunların uygulama alanlarıdır.
- Polietilen (PE): Düşük nem emme kapasitesine sahiptir ve deformasyon direnci iyidir. Düşük maliyet, kimyasal kararlılık ve kolay işlem görmesi PE'i cazip yapar. Düşük ve

yüksek yoğunluklu olmak üzere 2 türü vardır. Tabaka, film, tel yalıtkan alanında uygulama alanı bulunmaktadır. Yüksek yoğunluklu polietilen (YYPE) daha yüksek kristallik ve linerliğe sahip olup 0.96 g/cm³ yoğunluğa sahiptir. Bu onları daha rijit ve dayanıklı yapar. Şişeler, borular vb. parçaların yapımında kullanılır.

- Polipropilene (PP): Enjeksiyon kalıplarında kullanılan önemli en hafif plastiktir. Dayanım/ağırlık oran yüksek olup YYPE ile karşılaştırılabilir. Yüksek ergime derecesine sahip olması, belli uygulama alanında kullanılmasına müsaade eder.
- Polivinil klorür (PVC): Rijit borular, su boruları , tel ve kablo yalıtımı, film, kalıplar, yiyecek paketlenme, oyuncaklar ve döşeme malzemeleri PVC yapımında kullanılır ve ışığa karşı kararsızdır. Çizelge 3.2 Seçilen bazı termoplastik malzemelerin mekanik ve fiziksel özellikleri gösterilmiştir.

Çizelge 3.2 Bazı termoplastik malzemelerin mekanik özellikleri

Malzeme Özellikleri	Polietilen	Politetratken	PA 6.6	Polipropilen
Yoğunluk (gr/cm ³)	0.95	0.92	1.14	0.90
Elastik modülü (MPa)	1000	22	700	1400
Çekme dayanımı (MPa)	30	14-34	70	35
Kopma uzaması (%)	10-1200	100-650	300	10-500
Termal iletkenlik	0.48	0.33	0.25	0.12
Isıl genleşme katsayısı	60-110	100-220	70-120	80-100
Ergime sıcaklığı (°C)	--	--	260	175

4. DARBE TESTLERİ

Darbe testleri genel olarak iki şekilde yapılır; bunlar, çentik darbe ve ağırlık düşürme testleridir. Çentik darbe testleri Charpy ve İzod darbe testleri, ağırlık düşürme testleride düşük hızlı ve yüksek hızlı darbe testleri olarak yapılmaktadır.

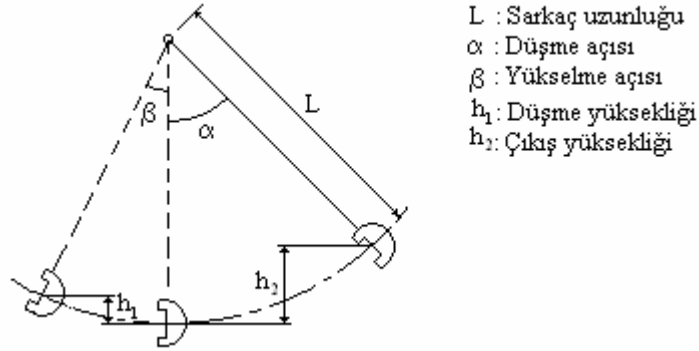
4.1. Çentik Darbe Testleri

Çentik darbe deneyinde amaç, malzemenin bünyesinde muhtemel bulunacak bir gerilim konsantrasyonunun (gerilim birikiminin) darbe esnasında çentik tabanında suni olarak teşkil ettirilip, malzemenin bu durumda dinamik zorlamalara karşı göstereceği direnci tayin etmektir. Gri dökme demir numunelerinde, malzemenin bünyesindeki grafit levhacıklar çentik gibi etki yapacaklarından, ayrıca çentik açmağa lüzum yoktur.

Çentikli bir numune zorlandığı zaman, çentiğin tabanına dik bir gerilim meydana gelir. Kırılmanın başlaması, bu gerilimin etkisi ile olur. Numunenin kırılabilmesi için bu dik (normal) gerilimin, kristalleri bir arada tutan veya kristallerin kaymasına karşı koyan kohezif dayanımdan fazla olması gerekir. Numune, plastik biçim değiştirmeye fırsat bulamadan bu hal meydana gelirse, buna gevrek kırılma denir. Burada kırılan yüzey, düz bir ayrılma yüzeyidir.

Deney esnasında, numune kırılmadan önce çoğu zaman plastik biçim değiştirme meydana gelir. Uygulanan kuvvet etkisi ile normal (dik) gerilime ilaveten, bununla yaklaşık olarak 45° farklı bir kayma gerilimi etki etmeğe başlar. Kayma gerilimi, kayma dayanımını (kritik kayma gerilimi) aştığı an, elastik (esnek) özellik sona erer ve plastik biçim değiştirme başlar. Bu durumda önce plastik biçim değiştirme, daha sonra kırılma meydana gelir. Buna sünek kırılma hali denir ve kırılma yüzeyi girintili çıkıntılı bir görünüştedir.

Darbe deneyinde, numunenin dinamik bir zorlama altında kırılması için gereken enerji miktarı tayin edilir. Bulunan değer, malzemenin darbe direnci (darbe mukavemeti) olarak tanımlanır. Bu deneylerde, (Şekil 4.1)'de şematik olarak gösterilen sarkaç tipi cihazlardan faydalanılır.



Şekil 4.1. Çentik darbe deneyinin şematik çalışma prensibi

Ağırlığı G olan sarkaç, h yüksekliğine çıkarıldığında potansiyel enerjisi ($G \times h$) mertebesindeir. Sarkaç bu yükseklikten serbest bırakıldığında, düşey bir düzlem içinde hareket ederek numuneyi kırar ve aksi istikamette h_1 yüksekliğine kadar çıkar. Böylece, numunenin kırılmasından sonra sarkaçta kalan potansiyel enerji ($G \times h_1$) mertebesinde demektir.

Sarkacın, numune ile temas haline geldiği andaki potansiyel enerji ile numune kırıldıktan sonra sarkaçta kalan potansiyel enerji farkı, o numunenin kırılması için gereken enerjiyi başka bir deyimle, darbe direncini verir. Bu enerji aşağıdaki formülle de gösterilebilir:

$$\text{Kırılma enerjisi} = G (h - h_1) = G.L. (\cos\beta - \cos\alpha) \quad (4.1)$$

G = Sarkacın ağırlığı (kg)

L = Sarkacın ağırlık merkezinin, sarkacın salınım merkezine uzaklığı (m),

h = Sarkacın ağırlık merkezinin düşme yüksekliği (m),

h_1 = Sarkacın ağırlık merkezinin çıkış yüksekliği (m),

α = Düşme açısı (derece),

β = Yükseliş açısı (derece),

Darbe direnci (kg-m) veya (kg-m/cm²) cinsinden ifade edilmektedir.

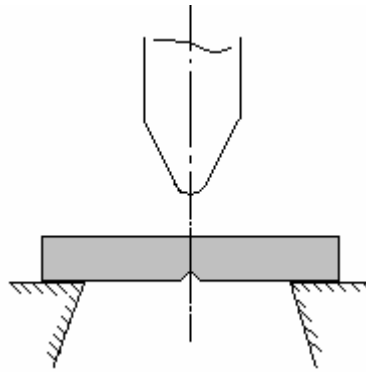
Bu deney tamamen ampirik olduğu ve şartlar değiştiğçe malzeme farklı özellik gösterdiği için numunelerin cihaza uygun bir şekilde yerleştirilmesi, doğru sonuç alma yönünden önemlidir.

Deney esnasında önce sarkaç, daha önce tespit edilen potansiyel enerjiye sahip olabileceği bir yüksekliğe çıkarılır. Daha sonra numune, uygun bir şekilde yerleştirilir. Örneğin,

en çok uygulanan Charpy deneyinde numune, mesnetlere tam yaslanacak şekilde ve çekicinin salınım düzlemi ile çentiğin simetri düzlemi 0,5 mm içinde birbirine çakışacak şekilde yerleştirilir. Bu durum cihaza bağlı, yardımcı bir aletle sağlanabilir. Numune uygun şekilde yerleştirildikten sonra, okumaların yapıldığı kadranın göstergesi başlangıç durumuna getirilir ve sarkaç düzgün bir şekilde serbest bırakılır. Sonuç, deneyden sonra kadrandan okunur [40].

4.1.1 Charpy Darbe Testi

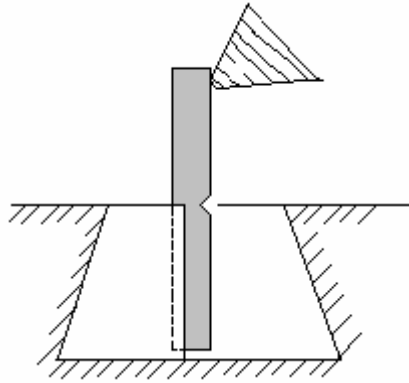
Charpy darbe deneyi, yatay ve basit kiriş halinde iki mesnede yaslanan numunenin (Şekil 4.2) çentik tabanına, bir sarkacın ucundaki çekiçle darbe yapılması ve çentik tabanında meydana gelen çok eksenli gerilmeler etkisi ile numunenin kırılması için harcanan enerjiyi tespit etme işlemidir.



Şekil 4.2. Charpy deneyinde numune ve çekiç konum şeması

4.1.2 İzod Darbe Testi

İzod darbe testi, dikey ve konsol kiriş halinde bir kavrama çenesine tespit edilen numunenin (Şekil 4.3) yüzeyine, kavrama çenesinden belirli yükseklikte, bir sarkacın ucundaki çekiçle darbe yapılması ve çentik tabanında meydana gelen çok eksenli gerilmeler etkisi ile numunenin kırılması için sarf edilen enerjiyi tayin işlemidir.

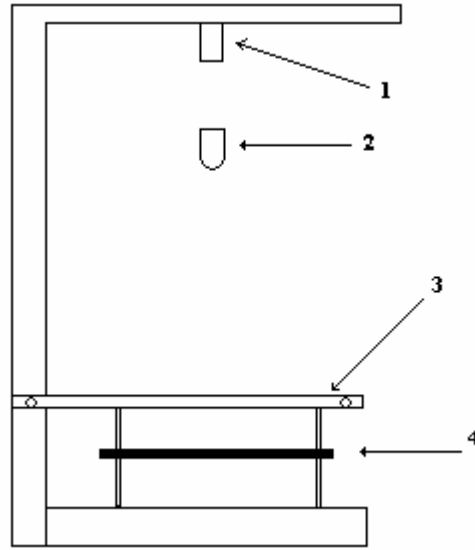


Şekil 4.3. İzod deneyinde numune ve çekiç konum şeması

4.2. Ağırlık Düşürme testleri

4.2.1. Düşük hızlı darbe

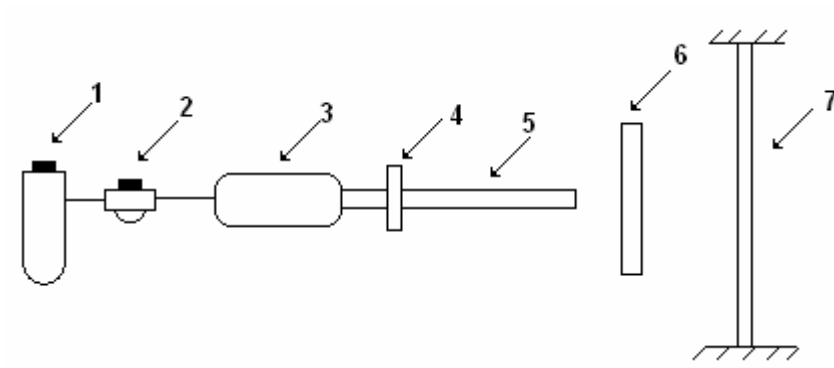
Genel olarak, darbeler düşük hızlı veya yüksek hızlı olarak sınıflandırılırlar. Fakat bu kategoriler arasında açık bir geçiş yoktur. Yapılan araştırmalar bu geçişin belirlenmesinde henüz net bir sonucun elde edilmediğini göstermektedir. Bu konuda yapılmış çalışmalardan bir kısmı düşük hızlı darbeyi, hedefin rijitliğine, malzeme özelliklerine ve çarpan cismin kütle ve rijitliğine bağlı olarak 1 ila 10 m/s arasında değişen hızlar olarak tanımlamışlardır [41]. Düşük hızlı darbeye en basit örnek olarak kompozit malzeme üzerine imalat veya bakım esnasında kaza sonucu bir parçanın düşmesi verilebilir. 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 darbeye 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 darbe tepkisi malzeme boyunca yayılan gerilme dalgası tarafından hakim olunur ki bu durumda malzeme darbeye karşı cevap verebilme zamanına sahip olamaz ve çok küçük bir bölgede hasar oluşur. Bu tip deneye ait şematik gösterim şekil 4.4 de gösterilmiştir.



Şekil 4.4. Ağırlık düşürme test düzeneği şematik gösterilimi 1) magnet, 2) ağırlı ve vurucu uç, 3) numune tutucu, 4) numune

4.2.2. Yüksek Hızlı Darbe

Yüksek hızlı darbelerde yukarıda belirtilen 10m/s nin üzerindeki hızlar için sınıflandırılabilir. Genellikle balistik deneylerde mermi kullanılarak deneyler yapılmaktadır. Özellikle askeri alanda bu çalışmalar yapılmış olup, çelik yelekler ve zırhlı araç malzemeleri üzerinde testler gerçekleştirilmektedir. Bunun yanında uçakların iniş ve kalkışı esnasında pist üzerinde bulunan küçük taş vb maddelerin tekerleklerden fırlayarak uçak gövdesine veya kanatlarına çarpması da hasar oluşturacağından bu şekilde modellemeler yapılabilir. Bu deneyler gaz tabancası kullanılarak yapılmaktadır. Bu deneye ait şematik gösterim şekil 2.5' de gösterilmiştir.



Şekil 4.5. Gaz tabancası deney düzeneği şeması; 1)hava filtresi, 2) basınç regülatörü, 3)hava tankı, 4)vana, 5) boru, 6) hız ölçüm cihazı, 7) örnek

5. DARBE HASARINA ETKİLEYEN PARAMETRELER

Yaygın olarak kullanılan deneysel çalışmalar hangi parametrelerin darbe hasarı başlangıcı ve gelişimine etkidiğini ortaya çıkarmak için yapılmaktadır. Malzeme özellikleri yapının dinamik cevabında önemli etkiye sahip olacağından baştanbaşa yapının sertliği ve temas sertliğini etkiler. Biz ayrıca darbe hasar başlangıcını ve gelişimini kontrol eden matriks fiberler ve fiber_matrikslerin ara yüzey özellikleriyle de ilgilenmekteyiz. Hedefin sertliğini kontrolden başlayarak, tabaka kalınlığı, boyutları, sınır şartları etkenlerinin tümü darbe dinamiklerini etkilerler. Mermi ilk hızı, elastik özellikler, şekli ve çarpma açılarını kapsayan mermi karakteristikleri de göz önünde tutulan bir başka parametre grubudur. Yatık ve dik durum, ön yükleme ve deneysel şartlar da farklı önem derecelerinde kabul edilen etkenlerdir.

5.1. Malzeme Özellikleri

Darbe hasarında doğrudan etkiye sahip olan malzeme özelliklerinin tanımlanması, gelişmiş malzeme sistemleri ve darbe dayanımlı kompozit yapı tasarımının ilerleyişi için büyük bir öneme sahiptir. Literatürde birçok materyal sisteminin göz önünde tutulmasının yanında büyük kısmında, gerçek uygulamalarda enine yayılımı yansıtan karbon_epoksi tabakalarına da değinilmiştir. Kimi kompozitin malzeme özellikleri: takviyeli ve ara yüzlerinin darbe dayanımında farklı bir etkiye sahip olduğu tespit edilmiştir. Yüksek zorlamaya maruz kalan fiberlerde daha sert reçine sistemleri ve bazı plakalar arasındaki yumuşak tabakalarla dikişli yada örgülü tabakaların önderliğinde darbe dayanımında üstünlükler gözlenmiştir.

Tabaka planıyla birlikte malzemenin elastik özellikleri (E_1 , E_2 , ν_{12} , G_{12}) temas kuvveti değişimini büyük ölçüde etkileyen tüm tabaka rijitliklerini belirler. Daha önce de tartışıldığı gibi E_1/E_2 oranı değişik fiber bileşimlerine sahip tabakalar arasındaki sertlik uyumsuzluğu katsayısı değişimleri üzerinde büyük etkiye sahiptir. Kayma modülü E_2 temas sertliği üzerinde büyük bir etkiye sahiptir. Bükülmede darbeleyici altındaki gerilimleri önemli ölçüde etkileyen temas sertliğini azaltmak da temas kuvvetlerini düşürür ve temas alanını büyütür. Sürecin ilerleyişi esnasında artık gerilimlerin ortaya çıkmasından dolayı elastik özelliklerdeki anizotropi ve ısıl genişleme sabitleri darbe dayanımını etkiler. Darbe hasar başlangıcı önceden tam olarak tayin edilmesi için çözümler içinde termal gerilmeler de hesaba katılmalıdır[42]. Layup, örgülü yada örgüsüz tabakalar kullanılsa da başlangıç kinetik enerjisi matriks özelliklerinden güçlükle etkilenir, fiber özelliklerindense zaten bağımsızdır. Hasar başlangıcının matriks hâkimiyetinde olduğunu belirten, benzer matriks malzeme ve beş değişik tip fiber takviyeli ile yapılan

deneyler, hasar başlangıç enerjisinin bu beş kompozit için de aynı olduğunu göstermiştir [43]. yapılan deneyler, yeni başlayan hasarın matris yada ara yüzey idaresi altında olduğunu doğrulamaktadır. Dizilme sırası ve takviyeli fiber özelliklerinin, hasar başlangıcı için gereken üzerinde ölçülebilir hiçbir etkisi yoktur. Hasar matris kırılmaları tarafından başlatılır; matris kırıkları değişik fiber bileşimli tabakalar arasında bir ara yüze ulaştığında delaminasyon başlatılır. Takviyeli fiberlerin elastisite modülü genellikle matrisinkinden çok daha yüksektir. Bu matrisler zaten rijit görünür. Bu yüzden kullanılan fiber tipleri matris kırılmaları ve delaminasyonların başlangıcına etkimiyor gibi görünmektedir. Daha yüksek darbe enerji seviyeleri için, dizilme sırası ve fiberlerin özellikleri önemli olmaktadır.

Termoplastik ya da kauçuk modifiyeli epoksi reçineler ve sertleştirilmiş epoksi matrisler kullanılarak bulunan gelişmiş matris özellikleri hasar dayanımının artırılmasında başrol oynar Ancak matris için daha yüksek gerinim kabiliyeti gelişimi, yüksek sıcaklık ve zor çevresel koşullarda tatmin edici performansın korunmasına ihtiyaç duyulmasıyla sınırlanmaktadır. Termoplastikler örneğin PEEK bu gereklilikleri karşılar ve darbe sonrası karbon_PEEK tabakalarda delaminasyonlar daha az belirgindir. Basma testleri göstermektedir ki karbon_PEEK tabakaların kalan darbe dayanımları, karbon_epoksi tabakaların dayanımlarından daha üstündür. Sıcak/ıslak performanstan ödün vermeden güçlü darbe dayanımı sağlamak üzere, dayanıklı DMI matrisler bir düzende geliştirilebilirler. Kompozitlerde kullanılan BMI reçine sistemleri epoksiden daha yüksek sıcaklık dayanımına sahiptir ve yüksek sıcaklık reçinelerinden daha kolay işlenebilirler. Test edilen her bir BMI reçine sistemi için, katkısız reçinenin eğilmeye başladığı 450⁰F da dayanımı oda sıcaklığındaki dayanımının %48ini ve modülünün %63 ünü kaybeder. Bu matris ve ASG karbon-fiber prepregleri ile imal edilen tabakaların malzeme özellikleri, yüksek sıcaklıklarda benzer sertlik ve mukavemet retention u gösterirler. Tabakanın G_{ic} değeri çifte burulma yöntemiyle ve G_{ic} bel verme son çentik yöntemiyle ölçülmüştür. Gelişen deneyler göstermiştir ki; her iki model (I ve II) kompozitin kırılma sertliği, hasar dayanımı ve toleransının gelişiminde önderlik etmektedir.

Yüksek enerji seviyeleri için kompozitin darbe dayanımını geliştirmek üzere fiberlerin daha yüksek hasar gerilimlerine sahip olmaları ümit edilir belirli bir ara yüzeydeki çok yüksek sertlik ve yüksek kayma gerilimli reçinenin ayrı bir plakası 'interleaving' ara ayrılma adıyla anılır ve darbe dayanımını yükselttiği deneysel olarak gösterilmiştir. Ara tabakanın tipik kalınlığı 1/2 mil dir. Tabakanın ara yüzeyleri boyunca yerleştirilen adhezif plakaların, tabakalar arası kayma gerilimlerini ve beraberinde delaminasyonları azalttığı gözlenmiştir. Biten tabakanın modülünü ve basma dayanımını düşürmeyecek etkiye sahip ekstra reçineler kullanılır.

Cam fiberler rijit epoksi matriks arasında kauçuklu bir ara yüzey oluşturarak, cam-epoksi kompozitlerin darbe dayanımını önemli ölçüde geliştirebilmektedir. Oksijen plazma davranışıyla sonuçlanan fiber/ matriks adhezyonunun , darbe esnasında delaminasyon ve bunun yanında tabakanın enerji absorpsiyon yeteneğini de azalttığı . Takeda'nın ara tabaka deneyleri, nispeten sert fiberlerin varlığından kaynaklanan gerilim yoğunluğu etkileri nedeniyle, saf reçinenin spall hızının aynı reçine malzemeli kompozitinkinden önemli ölçüde yüksek olduğu göstermiştir. Takviyeli tipin etkilerinin küçük olduğu bulunur ancak spall hızındaki ara yüzeylerin dayanımı etkileri dikkat çekmektedir.

5.2. Hedef Sertliği

Hedef sertliği önceden de bahsedildiği gibi, malzeme özelliklerine bağlıdır fakat tabaka kalınlığına, boyutuna, sınır şartlarına ve yığılmasına da bağlıdır. Maksimum temas kuvveti büyüklüğü üzerinde önemli bir etkiye sahip tabaka sertliği, elbette, hasarın kapsamının da etkilenmesine neden olacaktır. Ağırlık düşürme test cihazı kullanarak CFRP tabakalarındaki düşük hızlı darbe hasarında hedef eğilme sertliği etkisini araştırmışlardır. Düşük hızlarda, esnek hedefler ilkin, en alttaki plakada gerilim şiddetlerine neden olan eğilmeyle cevaplanırlar. Bu matriks kırılması/delaminasyon tabakadan tabakaya kendini tekrarlar ve sonuçlanma Şekil 4.5b deki ters çevrilmiş çam ağacı biçimindedir. Daha sert hedefler için, hasar yüksek temas şiddetleriyle başlatılır ve bir çam görünüşü vererek aşağıya, aynı matriks/delaminasyon kırılmasının içine doğru yayılır. Tabaka sertliğinin, hasar alanını baştanbaşa belirlediği, ancak ara yüzeyde verilen bu delaminasyon şeklinin söz konusu ara yüzeydeki yerel yığılan dizilerden ibaret olduğu tespit edilmiştir.

5.3. Ön Yükleme

Düşürme testleri kullanarak grafit-epoksi tabakaların hasar dayanımında bir gerilim ön yüklemenin etkilerini açıklamak üzere bir deneyler serisi yürütmüştür. Maksimum darbe yüküne ulaşılması için gereken süreyi azaltmak ve indentation derinliğini artırmak üzere ön gerilimin sertleştirme etkisi gösterilmiştir. Maksimum yükün ön gerilmeye duyarsız olduğu görülmüştür. Bu deneylerde darbeleyici ağırlığının 13,95 kg ve kinetik enerjisinin 80 J olduğuna dikkat edilmelidir. Bu deneyler, darbeler aralarında güçlü bir bağı olduğunu gösteren ilk gerilimli olan önceki çalışmalar gibi kütle ön yüklemenin bağımsızlığı hakkındaki sonuçları açıklayabilecek, kısmi yada tam penetrasyonla sonuçlanır. Ön yükleme altındaki seramik matriks kompozitler üzerinde darbe deneyleri sürdürmüş ve uygulanan gerilim yüklerinin, örnekteki toplam kırığı

meydana getirmek için ihtiyaç duyulan darbe enerjisini etkili bir seviyede düşürdüğünü göstermiştir.

5.4. Çevresel Koşullar

Sıcaklık ve nem değişimlerinin kompozitlerin sertlik ve mukavemetlerini etkilediği bilinmektedir. Darbe dayanımının da çevresel etkenlerden etkilenmesini beklemek mantıklı olacaktır. Cam fiber takviyeli kompozitler deniz suyuna uzun vadede göz önüne alındığında darbe öncesi ilk kinetik enerjinin önemli ölçüde yükseldiğini göstermiştir. Bu yüzden, darbe esnasında tepe yük değeri ve toplam absorbe edilen enerji önemli ölçüde düşürülür. Nem absorpsiyonu ve donmanın, şekillendirilmiş Cam/Vinil-ester reçine kompozitlerin darbe dayanımlarındaki etkisi üzerine çalışmışlar, ancak çalışmaların sonuçları genel kararlar vermek için çok sınırlı kalmıştır.

6. DARBEDEN SONRAKİ ÖZELLİKLERİN ÖLÇÜLMESİ

6.1. Artık Gerilme

Darbe olayı meydana geldikten sonra geriye kalan mukavemettir. Darbe hasarının farklı formları tabaka mukavemetini farklı derecede etkiler. Aynı zamanda bir yapı üzerindeki ön-yükleme miktarı, meydana gelen hasar ile artık mukavemet üzerinde önemli derecede etkilidir.

6.1.1. Artık Gerilme Ölçülmesi

Tabakalar arasındaki kayma mukavemeti, delaminasyonun varlığı ile azalır. Darbeden hemen sonra geriye kalan ILLS kırılma mekaniği ile tahmin edilebilir. Delaminasyon aynı zaman da basma mukavemetinde de büyük bir azalmaya neden olur. Eğer çarpan obje, tabakanın içine nüfuz edecek kadar enerjiye sahip ise, çekme mukavemetindeki azalım en büyük değerdedir. Aynı zamanda esneme mukavemeti darbe ile azalır ve bu azalım, tabakanın arka yüzeyindeki delaminasyonu artırmaktadır. Darbeden sonra basma (CAI) testi artakalan basma mukavemetini ölçmek için kullanılan yaygın bir testtir.

6.2. Düşük Hızlı Darbeden Sonra Basma Hasarı

Carbon-epoxy gibi kompozit malzemelerin özellikleri düşük hızlı darbeden sonra önemli derecede azalır. Bazı çalışmalar göstermiştir ki düşük hızlı darbenin neden olduğu hasar malzemenin basma mukavemetini %60'a kadar azaltabilir. İki tabakacık arasındaki ince reçine tabakasının bozulmasıyla meydana gelen bu tip hasar basma mukavemetini iki yolla azaltır:

1. Düşük yüklerde dengesizliğin neden olduğu, artakalan mukavemetin değişmesiyle,
- 2-Hasara uğramamış bölgelerdeki bozulmanın ve aşırı yüklemenin neden olduğu yapılardaki kuvvet dağılımının değişmesiyle.

Genellikle bu etkiler hasarlı bölgenin boyutlarının artmasıyla daha önemli olmaktadır. Bazı araştırmacılar kompozit yapıların delaminasyon davranışını deneysel ve nümerik olarak çalışmışlardır. Buna göre delaminasyon iki tip olarak sınıflandırılabilir:

- 1-Genişlik boyunca tabakaların ayrılması (Through-width delaminasyon)

2-Batma ile kalınlık boyunca tabaka ayrılması (Embedded delamination)

Batma-gömülme (Embedded) durumu düşük hızlı darbe hasarının karakteristiğidir ve tek eksenli yükleme ise genişlik boyunca tabakaların ayrılma özelliğini verir. İkisi birbirinden çok farklı davranır. Genişlik boyunca tabakaların ayrılması probleminin modellenmesinde iki boyutlu analiz göz önüne alınırken, Batma ile kalınlık boyunca tabaka ayrılması durumunda delamination iç yüzeylerinde, üç boyutlu gerilmenin varlığına bağlı olarak, üç boyutlu analize ihtiyaç duyulur.

CAI testinde numuneler, burkulma olmaksızın bir basma yüküne maruzdur.. Numune yüklemeyi yapmak için clamping surfaceler arasına konulur. Destekleme plakaları ile clamping surface civatalarıla tutturulur. Geometrik dengesizliklere bağlı olarak hasar meydana gelebileceğinden eksantrik yüklemeye dikkat etmeli, muhtelif etkilerden kaçınmak için aşırı dikkat göstermek gereklidir.

CAI testi sabit hızlı, servo-hidrolik Instron test makinesinde yapılmaktadır. Mukayese yapabilmek için hem darbeye maruz kalmış tabakalı kompozit, hemde hiçbir hasara uğramamış tabakalı kompozit CAI testine maruz bırakılır.

Hasara uğramamış numune için burkulmaya karşı yapılan lateral destekler yüzünden, son yükün tahmin edilen değerinin üzerinden bir değer elde edilir. Bunun tam tersine hasara uğramamış numune için, hasarlı bölgelerde bozulma meydana gelir.

Artık, darbe etkisine bağlı olarak basma özelliklerinin kaybını tanımlamak mümkündür.

Bu matematiksel olarak şu şekilde ifade edilir:

$$CAI = K \cdot \int_0^{\varepsilon} \sigma(\varepsilon) d\varepsilon \quad (6.1)$$

CAI, darbeden sonraki basma mukavemeti, K:sabit, σ :Gerilme, ε :Uzama

Son 15-20 yıl içinde hasar toleransını geliştirmek için en büyük etki, CAI'yı önemli derecede geliştirmek için yeni rijitlik matrislerin gelişmesi üzerine odaklanmıştır.

7. DİNAMİK (ELASTO KİNETİK) YÜKLER

İvmeli hareketlerden doğan atalet kuvvetleri, dinamik çarpışmalardan doğan kuvvetler ve zamanla değişen kuvvetler daima dinamik yükler olarak kabul edilmektedir. Dinamik etkenlerden doğan kuvvetler ve şekil değiştirmeler ile statik yüklemelerden oluşan kuvvet ve şekil değiştirmeler birbirinden farklıdır ve dinamik etkenlerden şaşırtıcı sonuçlar elde edilmektedir.

Dinamik etkiler şu şekilde sınıflandırılabilirler:

- 1) İvmeli hareketteki atalet kuvvetleri
- 2) Ani yükleme ve çarpışma problemleri
- 3) Elastik titreşim problemleri

Elastik sistemlerin dinamik etkiler altındaki davranışlarına elasto-kinetik denir. Dinamik etkilerden doğan gerilmeler ve şekil değiştirmelerle, statik etkilerden doğan gerilme ve şekil değiştirmeler karşılaştırıldığında nümerik bir çarpan elde edilir, buna “ dinamik çarpan” veya “çarpma katsayısı” adı verilir ve şu şekilde tanımlanır;

$$\frac{\sigma_{\text{dinamik}}}{\sigma_{\text{statik}}} = \phi \quad \text{veya} \quad \sigma_{\text{dinamik}} = \phi \cdot \sigma_{\text{statik}} \quad (7.1)$$

7.1 Atalet Kuvvetlerinden Doğan Gerilmeler

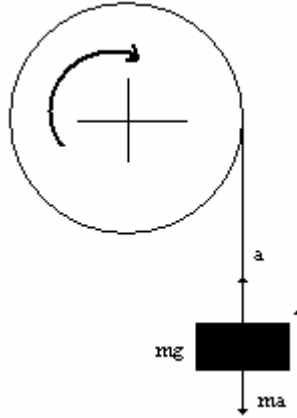
Aşağıda şekli görülen cisim V hızıyla düşerken bir iple bağlı olduğu makaranın dönmesi engellenirse ipte bir S kuvveti doğar ve bu da aslında statik olarak ele alınırsa sadece cismin ağırlığına eşit olmalıdır. Ama cismin ilk halini koruma isteğinden kaynaklanan ataleti sebebiyle bu kuvvet "mg+(mg/g)a" ifadesine eşittir. Dinamik kuvvet ile statik kuvvet arasındaki ilişkide ϕ dinamik çarpan ile gösterilir. Burada G=mg ağırlık, g de yerçekimi ivmesi, m kütledir. Buna göre dinamik çarpan;

$$\begin{aligned} \text{(dinamik kuvvet)} \quad F_{\text{dinamik}} &= mg + ma, \\ \text{(statik kuvvet)} \quad F_{\text{statik}} &= mg \end{aligned} \quad (7.2)$$

olacak şekilde;

$$\text{(dinamik çarpan)} \quad \phi = \frac{F_{\text{dinamik}}}{F_{\text{statik}}} = \frac{mg + ma}{mg} = 1 + \frac{a}{g} \quad (7.3)$$

Bu formülden anlaşılacağı üzere yük ne kadar hızlı düşerse ivem değeri o kadar artacaktır. Bu durumda cisme etkiyen dinamik kuvvette artmış olur.



Şekil 7.1 Atalet kuvvetleri

7.2 Dinamik Yüke Maruz Kalma Durumları

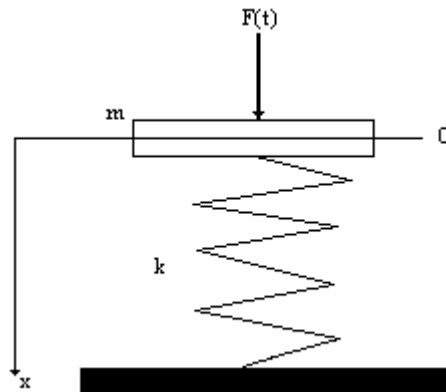
Bir sistem statik ve dinamik olarak yüklendiğinde hangi sonuçların oluşacağı şu şekilde gözlemlenir; bunun için k yaylanma katsayısına sahip bir yay ile m kütleli bir cismi yaylandıracak basit bir elastik sistem elde göz önüne alınır. D'Alembert ilkesine uygun olması için, cismin ağırlığının ağırlık merkezine yoğunlaşmamış olduğu varsayılırsa, sistem $x = 0$ konumunda dengededir. Cismin üzerine zamanla değişen bir F kuvveti etki ettiğini düşünürsek (Şekil 7.1) bu kuvvetin etkisiyle sistemin yaptığı hareketin denklemi şu şekilde oluşur:

$$m\ddot{x} + kx = F(t) \quad (7.4)$$

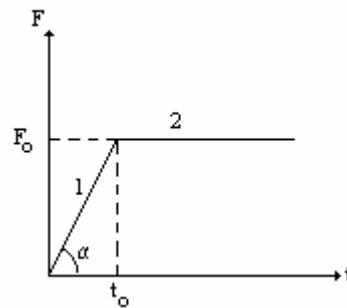
İlk anda konumun ve hızın sıfır olduğu kabul edilerek,

$$\delta(t) \quad x_1(0) = \dot{x}_1(0) = 0 \quad (7.5)$$

yazılır. Burada sağlıklı bir analiz yapılabilmesi için kuvvetin karakteristiği hakkında bir fikir sahibi olunması gerekir. $F(t)$ kuvveti zamanla aşağıdaki gibi değişen bir davranış gösterirse;



Şekil 7.2 Elastik bir sistemin dinamik yüklenme durumu



Şekil 7.3 F kuvvetinin zamanla değişimi

Grafiğe göre;

$$1. \quad 0 < t < t_0 \text{ zaman aralığında } F(t) = \left(\frac{F_0}{t_0} \right) t \quad (7.6)$$

$$2. \quad t \geq t_0 \text{ zaman aralığında } F(t) = F_0 \quad (7.7)$$

olmaktadır.

Hareket denklemi başlangıç koşulları ve hareket karakteristiği dikkate alınarak çözüldüğünde ilk kısımda yolu veren denklem şu şekilde oluşur;

$$x_1 = \frac{F_0}{k} \left(\frac{t}{t_0} - \frac{\sin wt}{wt_0} \right) \quad (7.8)$$

burada $\frac{F_0}{k}$ değeri cismin statik yerdeğiştirmesidir ve

$$w^2 = \frac{k}{m} \quad (7.9)$$

dir.

Cisme etkiyen kuvvetin sabit olduğu ikinci kısımda yerdeğiştirmeyi hesaplamak için başlangıç şartları verilen grafikten;

$$x_1(t_0) = x_2(t_0) \quad (7.10)$$

$$\dot{x}_1(t_0) = \dot{x}_2(t_0)$$

Bu başlangıç şartları ile hareket eden denklem çözüldüğünde,

$$x_2 = \delta_{\text{statik}} \left[1 - \left(\frac{1 - \cos wt_0}{wt_0} \right) \sin wt + \left(\frac{\sin wt_0}{wt_0} \right) \right] \quad (7.11)$$

elde edilir.

Yolu veren denklemden görüleceği üzere sistemin cismin sinüs ve kosinüs trigonometrik fonksiyonlarının neden olduğu bir dalgalanma göstermektedir. Bu nedenle yol denkleminin türevi alınarak en büyük x sapması bulunur. Çünkü bu tip dinamik problemlerde dinamik çarpan, cismin üzerine etkiyen dinamik kuvvetin maksimum olduğu an için hesaplanır.

$$x_2 = \delta_{\text{statik}} \left[1 + \left(1 - \frac{\cos wt_0}{wt_0} \right)^2 + \left(\frac{\sin wt_0}{wt_0} \right) \right] \quad (7.12)$$

burada dinamik çarpan;

$$\phi = \frac{x_{2\text{max}}}{\delta_{\text{statik}}} = 1 + \sqrt{\left[2 \left(\frac{1 - \cos wt_0}{wt_0} \right) \right]} \quad (7.13)$$

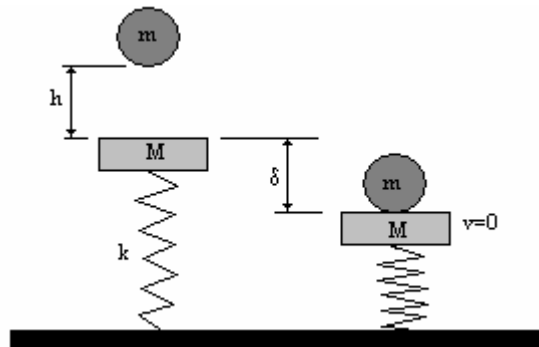
Burada limit durumuna da dikkat etmek gerekir. Dinamik çarpan t_0 yükleme süresine bağlıdır. Yükleme süresi teorik olarak sıfır olduğunda yani ani yükleme durumunda $\phi=2$ dir, yani bir ani yükleme durumunda dinamik yükleme statik yüklemenin iki katına eşittir.

Diğer bir limit durum ise, yükleme süresinin çok uzun olduğu, teorik olarak sonsuz olan durumdur. Buna statik yükleme adı verilir ve burada $\phi=1$ dir.

Buradan çıkarılacak sonuç ani yükleme durumunda dinamik yük statik yükün iki katı olduğudur.

7.3 Ani Yükleme (Çarpma)

Şekildeki gibi modellenmiş elastik bir sisteme m kütleli yabancı bir cisim belirli bir hızla çarpması durumunda çarpan cisim sahip olduğu enerjisinin bir kısmını elastik sisteme aktararak harekete geçirir.



Şekil 7.4 Çarpışma öncesi ve sonrası elastik sistem davranışı

Çarpışma anındaki hız değeri m kütleli cismin sahip olduğu potansiyel enerjinin çarpışmadaki kinetik enerjiye olan eşitliğinden çıkartılır;

$$\frac{1}{2}mV_0^2 = mgh \Rightarrow V_0 = \sqrt{2gh} \quad (7.14)$$

olur. Çarpışma anında temas noktasında plastik şekil değişimi olduğu varsayılarak çarpışmadan sonra m ve M kütlelerinin beraber bir V hızı ile hareketi oluşacaktır ki bu çarpışmaya plastik çarpışma adı verilir.

Momentumun korunumundan,

$$mV_0 + 0 = (m + M)V \quad (7.15)$$

$$V = \frac{mV_0}{m + M}$$

bulunur. Bundan sonra bu kütleler bir δ mesafesi kadar hareket ederek bütün enerjilerini yaya aktarırlar ve ortak hızları sıfır olur. Yaydaki potansiyel enerji $\frac{1}{2}k\delta^2$ olduğuna göre enerji bağıntısı,

$$\frac{1}{2}(m + M)V^2 + mg\delta = \frac{1}{2}k\delta^2 + Mg\delta \quad (7.16)$$

$$\frac{1}{k}(m + M)V^2 + \frac{2mg\delta}{k} = \delta^2 + \frac{2Mg\delta}{k}$$

$mg\delta$ çok küçük bir değere sahip olacağı için ihmal edilebilir. Eğer m cismi sonsuz bir zaman aralığında M cisminde etkiseydi, statik yerdeğiştirme $\delta_{\text{statik}} = \frac{mg}{k}$ olurdu.

$$\frac{1}{k}(m + M)V^2 + 2\delta_{\text{statik}}\delta_{\text{dinamik}} = \delta_{\text{dinamik}}^2 + \frac{2Mg\delta_{\text{dinamik}}}{k} \quad (7.17)$$

bu durumda dinamik çarpan $\phi = \frac{\delta}{\delta_{\text{statik}}}$ olur.

m cisminin M cisminde çarpması durumunda ortaya çıkan enerji,

$$w_0 = \frac{1}{2}mW^2 = mgh \quad (7.18)$$

bu değer ile çarpan cismin statik olarak etkimesi durumunda aktarılan enerji,

$$U = \frac{1}{2}k\delta_{\text{statik}}^2 = \frac{(mg)^2}{2k} \quad (7.19)$$

olur. Her iki denklemin ortak çözümünden,,

$$\frac{w_0}{U} = \frac{kh}{\delta_{\text{statik}}} = \frac{V_0^2}{g\delta_{\text{statik}}} \quad (7.20)$$

buradan dinamik çarpan,

$$\phi = 1 + \sqrt{1 + \left[\eta \frac{V_0^2}{g\delta_{\text{statik}}} \right]} = 1 + \sqrt{1 + \left[\eta \frac{2h}{\delta_{\text{statik}}} \right]} \quad (7.21)$$

elde edilir. Burada η çarpışmadaki enerji kaybını gösteren 1'den küçük bir katsayı olarak alınır.

$$\eta = \frac{1}{1 + \frac{M}{m}} \quad (7.22)$$

$\eta=1$ olarak alınırsa M kütlesi m'nin yanında ihmal edilecek kadar küçük ve çarpışma sırasında bir enerji kaybı yok demektir.

M ihmal edildiğinde oluşacak dinamik çarpan,

$$\phi = 1 + \sqrt{1 + \frac{2h}{\delta_{\text{statik}}}} \quad (7.23)$$

olur. Bu durumda yaydaki dinamik çökme $\delta_d = \phi \cdot \delta_{\text{statik}}$ ve kuvvet ile yaydaki çökme arasındaki bağıntı lineer olduğundan;

dinamik kuvvet; $P_d = \phi \cdot P_s$

ve dinamik gerilme $\sigma_d = \phi \cdot \sigma_s$ olur.

8. DARBE TEST HESAPLAMALARI

Birkaç farkın olmasına rağmen sarkaç ve ağırlık düşürme test sisteminde, ihtiyaç duyulan hesaplamalar hemen hemen aynıdır. Sarkacın yatay ve ağırlık düşürme testinin düşey olması hesaplamaları etkilemez. İlk aşamada, plak ile temas halinde olan tüpün potansiyel enerjisini ihmal edecek kadar, defleksiyon vardır. İkinci aşamada, yerçekimine bağlı ivme, darbe kuvvetinin meydana getirdiği ivme ile mukayese edildiğinde küçük olduğu kabul edilir. Bu kabullerin ikisi de ağırlık düşürme hesapları üzerinde daha etkilidir. Dinamik darbe testi için önemli hesaplamalar (8.2) ve (8.3) denklemleri ve yer değiştirmelerdir. Belirli olan yerdeğişimi tüpün hareket denkleminin zamana göre integre edilmesi ile zamanın bir fonksiyonu olarak elde edilir. Koordinat sistemi, tüpün başlangıçtaki yer değişimi $\delta(t)$, $V_{tup}(t)$ 'nin integrasyonundan denklem (8.1) 'deki hesaplanır.

$$\delta(t) = \int_0^t V(t) dt + \delta(0) \quad (8.1)$$

Darbe testi hesaplamalarında $F(t)$ ölçülen, $E(t)$ absorbe edilen enerjiyi ve $\delta(t)$ yerdeğiştirmeyi göstermektedir.

8.1 F(t), Ölçülen Kuvvet

Ağırlık düşürme darbe test cihazında (Drop Weight Test System) temas kuvvetini ölçmek için bir kuvvet sensörü. Ayrıca ivmeyi ölçmek için bir de ivmemetre vardır. Analiz yapabilmek için deney boyunca bu iki aygıtın okuduğu değerler bir bilgisayara transfer edilir.

8.2 E(t), Absorbe Edilen Enerji

Darbe testinde, darbe enerjisi ve numunenin absorbe ettiği enerji sık olarak olayı karakterize eder. Darbe enerjisi vurucu ucun numuneye çarptığı andaki kinetik enerjisidir. Darbe enerjisi tüp kütlesinin büyüklüğü ile ve düşme yüksekliği ile kontrol edilir. Böylece kütlenin bırakılmadan önceki potansiyel enerjisi, darbe anındaki kinetik enerjisi için üst sınırdadır. Tüpün ivmelenmesi esnasındaki enerji kayıpları (kılavuz raylardaki kayma sürtünmesi, hava direnci gibi) darbeden hemen önceki tüp hızının ölçülmesiyle $V_{tup}(0)$ hesaplanabilir.

$$\text{Darbe enerjisi} = \delta \frac{M_{imp}}{2} V_{imp}(0)^2 \quad (8.2)$$

Darbe olayı başlangıçta sabit olan numune ile hareketli olan tüp arasındaki enerji transferidir. Numunenin absorbe ettiği enerji demek, numuneye transfer olan darbe enerjisi demektir. Bu enerji numunenin şekil değiştirme enerjisini ve kinetik enerjisini içermektedir. Darbe olayı esnasında kılavuz raylardaki sürtünme kayıpları ve hava direncinin küçük olduğu farz edilir. Fakat gerçekte absorbe edilen enerji içindedir. Absorbe edilen enerji Newton'un ikinci kanununa göre $F(t)$ temas kuvvetinin integre edilmesiyle $V_{imp}(t)$ hızının bulunmasıyla (8.2) 'deki denklemlerle bulunur.

$$V_{imp} = V_{imp}(0) - \frac{1}{M_{imp}} \int_0^1 F(t) dt \quad (8.3)$$

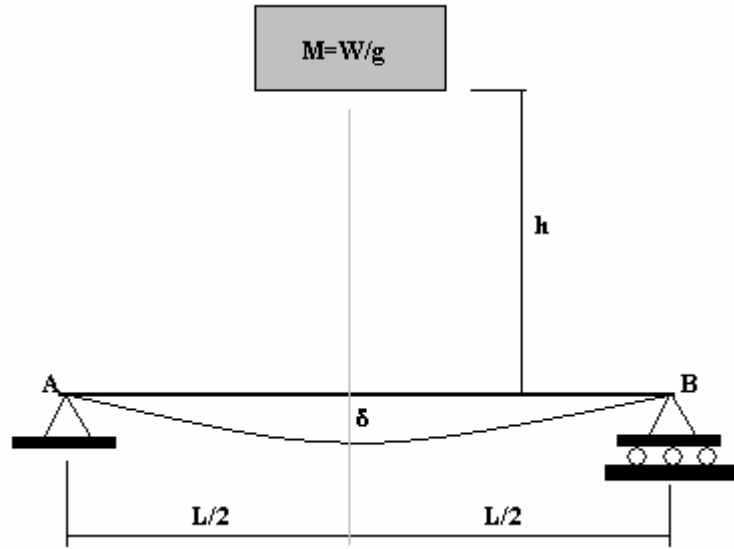
$$E(t) = \frac{M_{imp}}{2} [V_{imp}(0)^2 - V_{imp}(t)^2]$$

$E(t)$ kinetik enerji kayıpları ile absorbe edilen enerjiyi içermektedir. Absorbe edilen enerji direkt olarak ölçülen bir büyüklük değildir. Absorbe edilen enerjinin doğruluğu, Mimp kütesinin ölçülmesinin, temas kuvveti $F(t)$ 'nin ölçülmesinin, $V_{tup}(0)$ hızının ölçülmesindeki doğruluğa bağlıdır. Ve darbe olayı esnasındaki sürtünme kayıplarının ihmaline bağlıdır.

8.3 $\delta(t)$ Çarpma ile Oluşan Yerdeğiştirme

Çarpma yüküne maruz bırakılmış bir kirişin dinamik yer değiştirmesi, belli bazı basitleştirilmiş şartlar altında ve yüklerin de eşit sayılması durumunda kirişte depo edilmiş gerilme enerjisiyle belirlenebilir. Burada yapılan kabuller; düşen kütle kirişe yapışır ve onunla birlikte hareket eder, enerji kayıpları meydana gelmez, kiriş lineer elastiktir, kirişin yerdeğiştirmiş biçimi, dinamik yük altında statik yük altındakiyle aynıdır ve kirişin potansiyel enerjisinin neden olduğu pozisyondaki değişim ihmal edilebilir. Genel olarak bu kabuller, eğer düşen objenin kütlesi çok büyük ise, ki bu kütle, kirişin kütlesi ile karşılaştırılır, o zaman

makuldür. Aksi taktirde bu basitleştirilmiş analizler geçerli değildir ve daha ilerlemiş analizlere ihtiyaç duyulur.



Şekil 8.1 Kirişin Dinamik Yerdeğiştirmesi

Örnek olarak şekil 9.1 'deki AB kirişini göz önüne alalım. Bu kirişin ortasına W ağırlığında bir cisim düşürülüyor. Yapılan kabullere dayanarak tüm işin cisim tarafından yapıldığını söyleyebiliriz. Bu iş cismin düşüşü boyunca olup, kirişin elastik gerilme enerjisine dönüştürülür. Bu işlem, objenin bir uçtan bir uca aldığı mesafe $(h + \delta)$ olana kadar sürer. Burada, h kirişin üzerindeki kütlenin başlangıç mesafesi, δ ise kirişin maksimum yer değiştirmesidir.

Bu durumda yapılan iş gerilme enerjisi olarak,

$$U = W(h + \delta) \quad (8.4)$$

olur. Eğer W yükü bırakılırsa, yükün uyguladığı P kuvvetinin kirişin yer değiştirmenin maksimum olduğunda etki ettiği söylenir. Bu durumda P ile δ arasındaki ilişki;

$$U = \frac{P\delta}{2} = \frac{24EI\delta^2}{L^3} \quad (8.5)$$

olur.

Yapılan iş düşen kütle ile gerilme enerjisi arasında eşitlenirse,

$$W(h + \delta) = \frac{24EI\delta^2}{L^3} \quad (8.6)$$

olarak elde edilir. Bu eşitlik δ için 2. derecedendir ve bunun pozitif kökleri için çözülür. kirişin dinamik yer değiştirmesi;

$$\delta_{dinamik} = \frac{WL^3}{48EI} + \left[\left(\frac{WL^3}{48EI} \right)^2 + 2h \left(\frac{WL^3}{48EI} \right) \right]^{1/2} \quad (8.7)$$

burada kirişin statik yer değiştirmesi

$$\delta_{statik} = \frac{WL^3}{48EI} \text{ dır.} \quad (8.8)$$

bu durumda dinamik yer değiştirme daha sadeleştirilerek yazılır;

$$\delta_{dinamik} = \delta_{statik} + \left(\delta_{statik}^2 + 2h\delta_{statik} \right)^{1/2} \quad (8.9)$$

Bu denklemden dinamik yer değiştirmenin her zaman statik yer değiştirmeden büyük olduğu anlaşılır. Eğer $h=0$ ise, ki bu yükün ansızın ve serbest düşmesi olmadan tatbik edildiği anlamına gelir. Dinamik yer değiştirme statik yer değiştirmenin iki katıdır. Eğer h yüksekliği, δ yer değiştirme miktarı ile kıyaslandığında, çok büyük ise o zaman h terimi içeren (8.9) denklemi ağır basar ve bu denklem basitleştirilerek;

$$\delta = \sqrt{2h\delta_{statik}} \quad (8.10)$$

durumunu alır. Denklem (3.3.4) 'den hesaplanan δ yer değiştirme miktarı genellikle bir üst limiti gösterir. Çünkü çarpma boyunca bir enerji kaybının olmadığını kabul edilmiştir. Daha doğru bir analiz, kinetik enerji kaybı faktörünün de hesaba katılmasıyla yapılabilir.

9. DENEY NUMUNESİ VE TEST DÜZENEGİ

9.1 Deney Numunesi

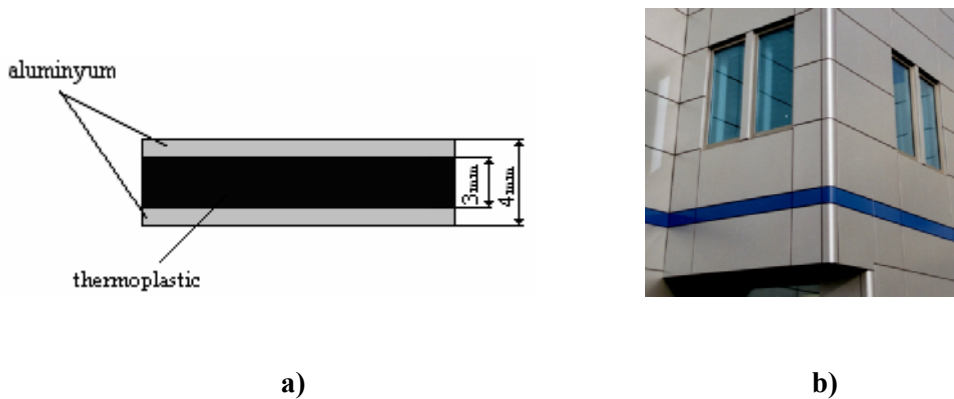
9.1.1 Giriş

Sandviç paneller, bileşenlerinin en iyi özelliklerini alarak oluşan, hafif ama dayanıklı yapı malzemeleridir. Hafif ama dayanıklı sandviç sistemin ilk kullanıldığı yer 2.Dünya Savaşı sırasında uçak sanayinde olmuştur. O günden sonra bu teknoloji önemli gelişmeler göstermiştir. Günümüzde uzay mekiğinden, daire iç kapılarına kadar çok değişik alanlarda sandviç sistem uygulanmaktadır.

1960'lerden itibaren çatı ve duvar kaplaması olarak üretilen sandviç paneller için otomatik üretim teknikleri kullanılmaya başlanmış ve daha ekonomik hale gelmiştir. En büyük avantajı fabrikasyon bir malzeme olması, iç-dış yüz boyaları ve yalıtımı ile hazır bir sistem olarak şantiyeye gitmesidir. Yapıyı tasarlamak karmaşık bir iştir. Isı yalıtımı, hava geçirimsizliği, hijyen, terleme, güvenlik, v.b. özellikler göz önüne alınmalıdır. Sandviç paneller bu ihtiyaçların hepsine cevap verebilmektedir

9.1.2. Alüminyum Kompozit Panel

Alüminyum kompozit paneller günümüz teknolojisinde geniş kullanım alanları bulunmaktadır. Her türlü bina ve konstrüksiyonda yeni bir görünüm ve modern çizgiler üretilmesinde yardımcı olan bu malzeme, binaların iç ve dış yüzeylerinde kullanılabilir.



Şekil 9.1 a) Alüminyum kompozit panel kesiti, b) bina dış cephe uygulaması

9.1.2.1 Kullanım Alanları

- Reklam panoları
- Ticaret merkezleri
- Ofis binaları
- Okullar
- Endüstriyel yapılar
- Konutlar
- İç mekan dekorasyonu

9.1.2.2 Dayanıklılık

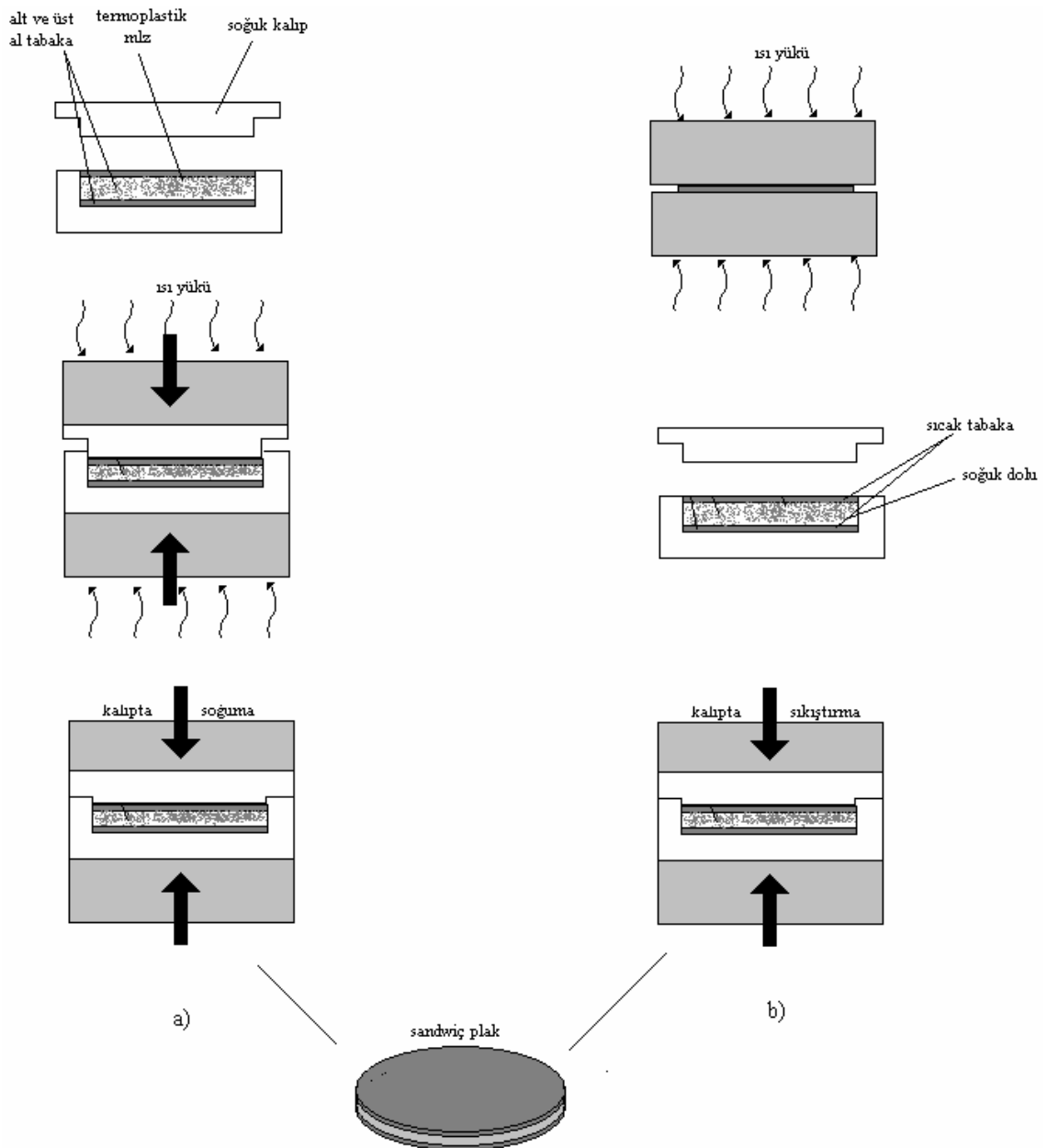
- Korozyona
- Ani basınç değişikliklerine
- Rüzgar yüküne
- Darbeye, bükülmeye ve kırılmaya karşı dayanıklıdır.

9.1.2.3 Teknik Özellikler

- Testere ile kesilebilir
- Matkapla delinebilir
- Vida, perçin, silikon ile kullanılabilir
- Boyanabilir
- Pürüzsüz yüzeye sahiptir
- İşlenebilir
- Isı yalıtım özelliği
- Yüksek derecede enerji absorpsiyon özelliği vardır

9.1.3 Üretim Yöntemi

Deney numunesi olarak simetrik alüminyum-termoplastik kompozit malzeme kullanılmıştır (Şekil 9.1-a). 4mm kalınlığa ve 10cm çapa sahip termoplastik (polietilen) dolgu sandviç paneller hem izotermal hemde izotermal olmayan (non-isotermal) yöntemle üretilmektedirler (Şekil 9.2).



Şekil 9.2 a) izotermal kalıplama, b) izotermal olmayan (non-isotermal) kalıplama yöntemleri

İzotermal kalıplama sisteminde hem alt ve üst tabakalar hemde çekirdek olan orta kısım soğuk durumda kalıp içerisine konular, daha sonra ısı ve mekanik yükleme ile kalıp içerisinde sıkıştırılarak sandviç yapı oluşturulur. İzotermal olmayan kalıplamada ise önce alt ve üst tabakalar ısıtılır çekirdek kısım iki sıcak plaka arasına konularak mekanik yük ile beraber sıkıştırılarak sandviç plaka oluşturulur [44].

Bu çalışmada kullanılan alüminyum kompozit paneller izotermal kalıplama yöntemi kullanılarak üretilmiştir.

9.2 Kompozit Sandviç Panel Özellikleri

Kompozit sandviç malzeme için aşağıda hem karşılaştırma hem de fiziksel ve mekanik özellikler çizelgeler halinde verilmiştir.

Çizelge 9.1 Kompozit sandviç panel ile alüminyum and çelik karşılaştırması

	KOMPOZİT SANDVIÇ PANEL	ALUMİNYUM	ÇELİK
Ağırlık	4 mm : 5.45Kg/m ²	3mm:8.0 kg/m ²	1.5mm:11.46 kg/m ²
Isı İzolasyonu	Çok iyi	Zayıf	Zayıf
Ses izolasyonu	24db	16db	6db
Hava direnci	İyi	İyi	İyi
Ateşe dayanıklılık	İyi	İyi	İyi
Boyamaya elverişlilik	Çok iyi	Kararsız	Kararsız
İmalat	Kolay	Zor	Çok zor
Toplam fiyat	Ekonomik	Orta	Pahalı
Bakım	Kolay	Kolay	Kolay
Montaj	Çabuk	Yavaş	Çok yavaş

Çizelge 9.2 Kompozit sandviç panel fiziksel özellikler

	BİRİM	KALINLIK (4MM)
Yoğunluk	g/cm ³	1.35
Ağırlık	kg/m ²	5.49
Isıl Genleşme Katsayısı(-20-600)	10.6/°C	23
Isıl İletkenlik	w/m.k	0.14~0.17
Isıl Deformasyon sıcaklığı	°C	112
Akustik direnç (100~3200HZ)	dB	24

Çizelge 9.3 Kompozit sandviç panel mekanik özellikler

	BİRİM	KALINLIK (4MM)
Çekme Mukavemeti	MPa	48.3
Akma Mukavemeti	MPa	43.2
Uzama oranı	%	15
Elastite modülü	X10MPa	4.4

9.3 Test Düzenegi

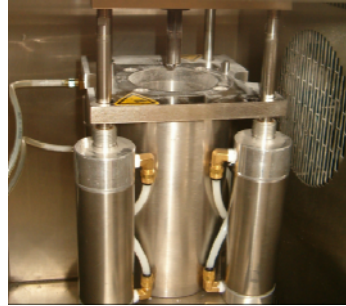
Deneyde kullanılan kompozit 4mm kalınlığında ve 10cm çapa sahip numunedir. Deneyler ODTÜ merkez laboratuvarı Mekanik testler kısmında Instron, Dynatup 9250 HV test cihazı ile gerçekleştirilmiştir (Şekil 9.3). Numune boyutları da standartlara göre hazırlanarak, deneyler gerçekleştirilmiştir.



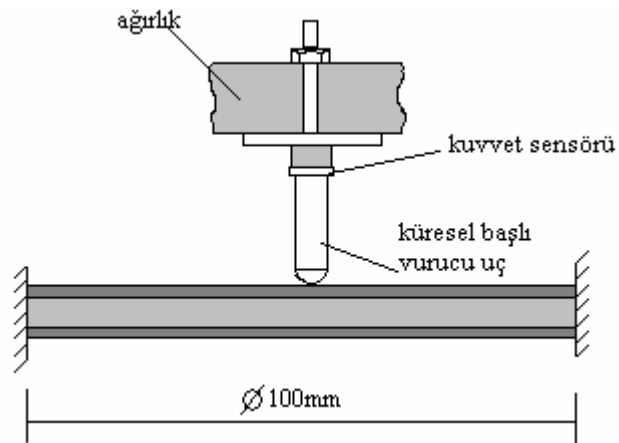
Şekil 9.3 Instron, Dynatup 9250 HV darbe test cihazı.

Cihaz genel olarak bir ağırlık, vurucu uç, kuvvet sensörü ve numune tutucudan oluşmaktadır. Değişik ağırlıklarda ve farklı yüksekliklerde bırakılan ağırlığın numune üzerine düşürülmesi ile numunede oluşan hasar durumları tespit edilebilmektedir. Numune cihazın alt kapalı kısmında pnomatik tutucularla tutturularak sabitlenmektedir (Şekil 9.4). Kuvvet sensörü

vurucu uçun alt kısmına yerleştirilmiş olup numune ile temas anında oluşan kuvvet değerleri bilgisayar yardımı ile okunmaktadır (Şekil 9.5).



Şekil 9.4 Pnömatik numune sıkıştırma sistemi



Şekil 9.5 Çarpma anı; vurucu uç, sensör ve numune

10. DENEYSEL SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

10.1. Deneysel Sonuçlar

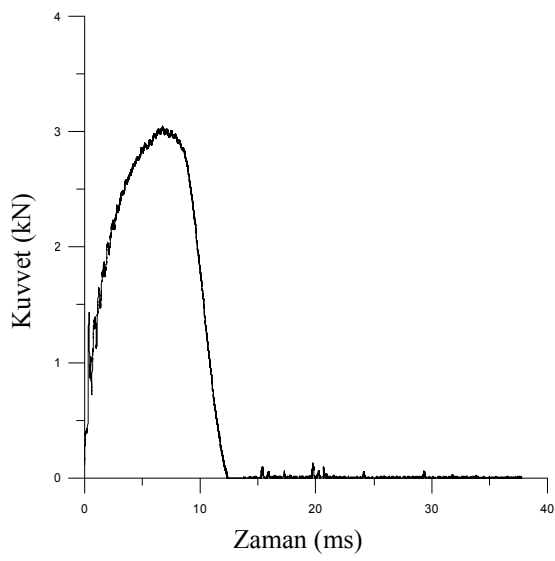
Bu bölümde kompozit malzeme üzerinde değişik yüksekliklerde bırakılan 12.7kg ağırlığındaki vurucu ucun çarpma esnasında oluşturduğu farklı enerjilerde oluşan hasar durumları incelenmiştir.

Toplanan veriler eşliğinde; çarpma anındaki hız 1,5-3,057 m/s aralığında oluşmuştur. Vurucu uç ağırlığı 12.7kg dır. Oluşan Enerji değerleri ise 15-30-45 ve 60J dur.

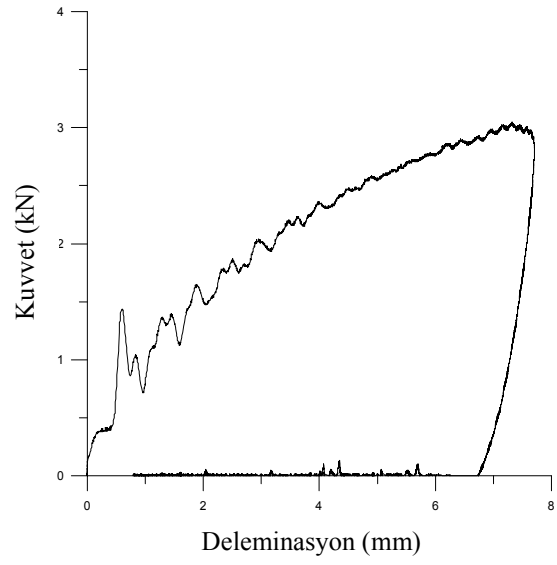
Her ne kadar darbe türünü belirlemede hız ve enerji kullanılsa da bazen bunların yanında da malzemedeki oluşan hasar türü de sınıflandırmada önem kazanmaktadır. Düşük hızlı darbeler, oluşan hasar bakımından; matris kırılması, delaminasyon oluşumu ve fiber kopmalarının görüldüğü darbelerdir. Fakat bizim deneyde kullandığımız numune sandviç yapı olduğundan burada fiber kırılması veya kopması söz konusu değildir. Sadece delaminasyon oluşumu vardır.

Deney sonuçları kuvvet-zaman, kuvvet-delaminasyon ve enerji-zaman grafikleri olarak çıkarılmıştır. Ayrıca numune üzerinde darbe etkilerinde resimler halinde gösterilmiştir. Bu gösterimlerde de çekirdek malzeme olan polietilenin ve alüminyum dış tabakaların darbe sonrası kesitlerinde gösterilmiştir.

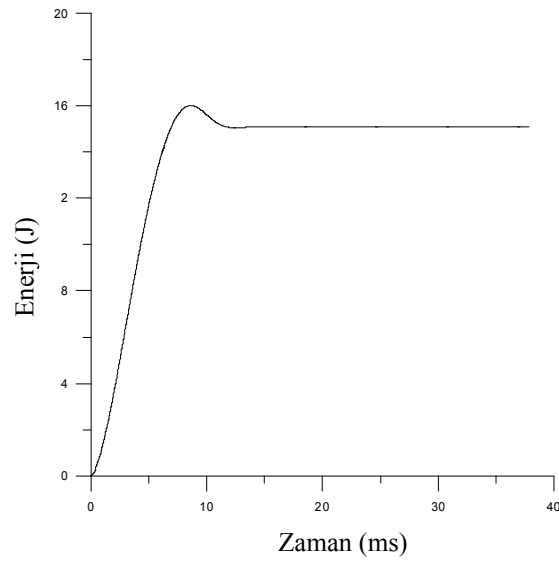
Deneyler Instron, Dynatup 9250 HV test cihazı ile gerçekleştirilmiştir. Standart olarak ISO 6603-2 ve NASA ST-1: Kompozitlerin hasar dayanıklılığı standartlarına göre deneyler oda sıcaklığı şartlarında yapılmıştır.



a)

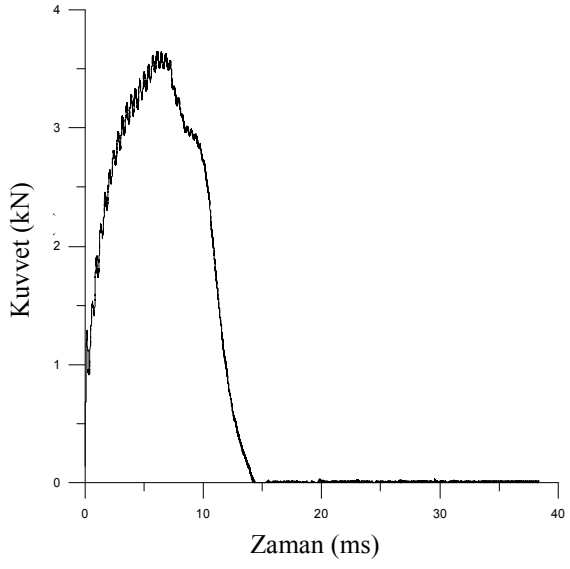


b)

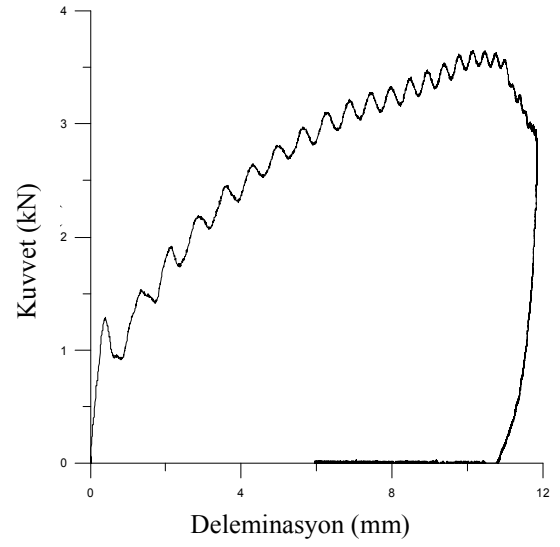


c)

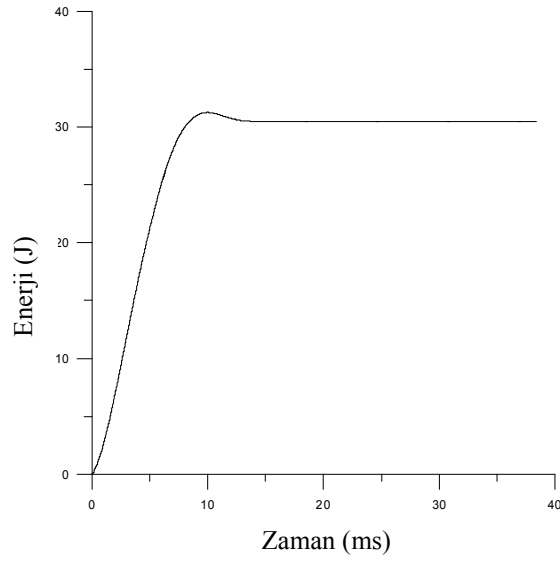
Şekil 10.1 15J'luk enerji için; a) Kuvvet-zaman grafiği, b) Kuvvet-deleminasyon grafiği
c) Enerji-zaman grafiği



a)

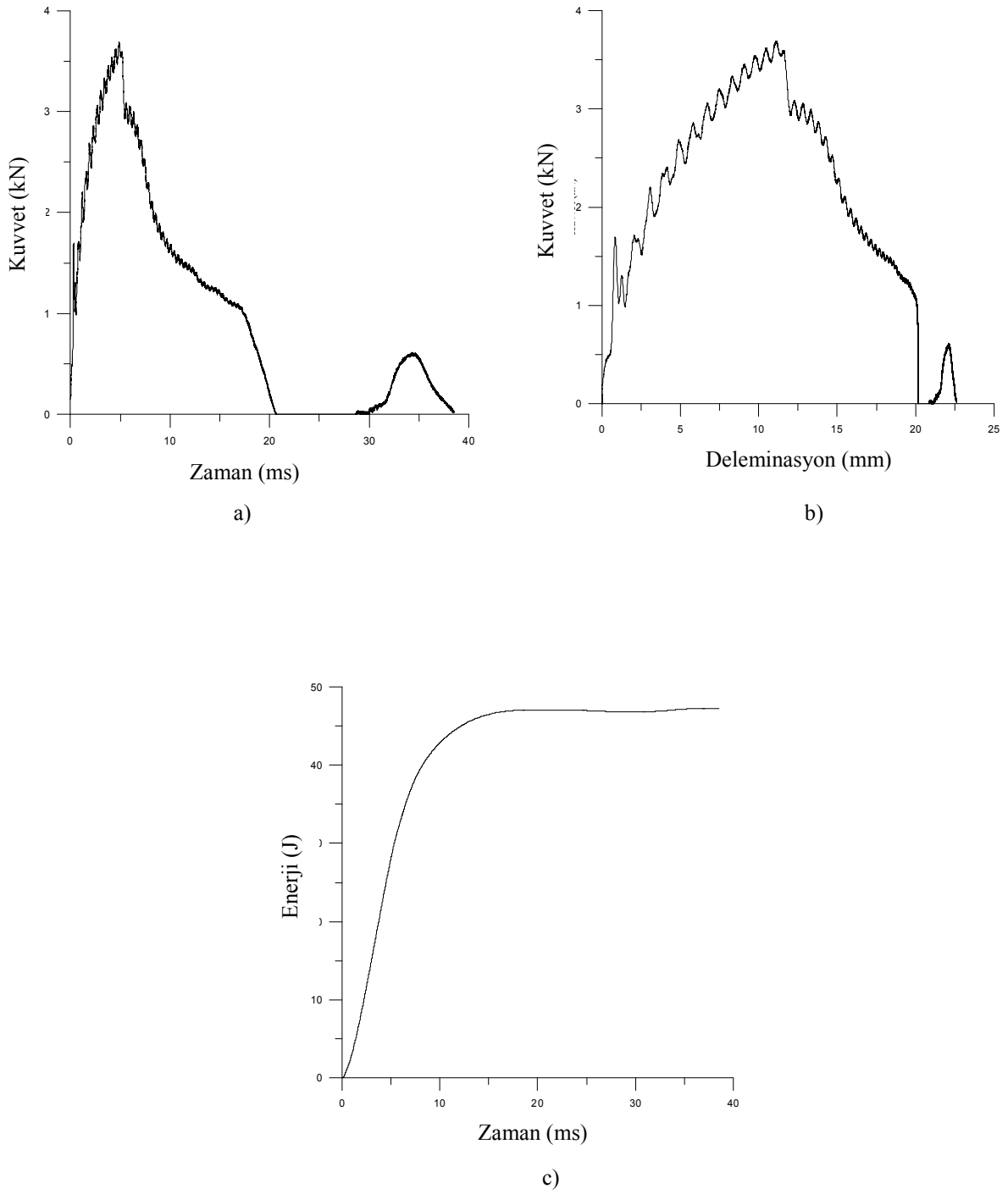


b)

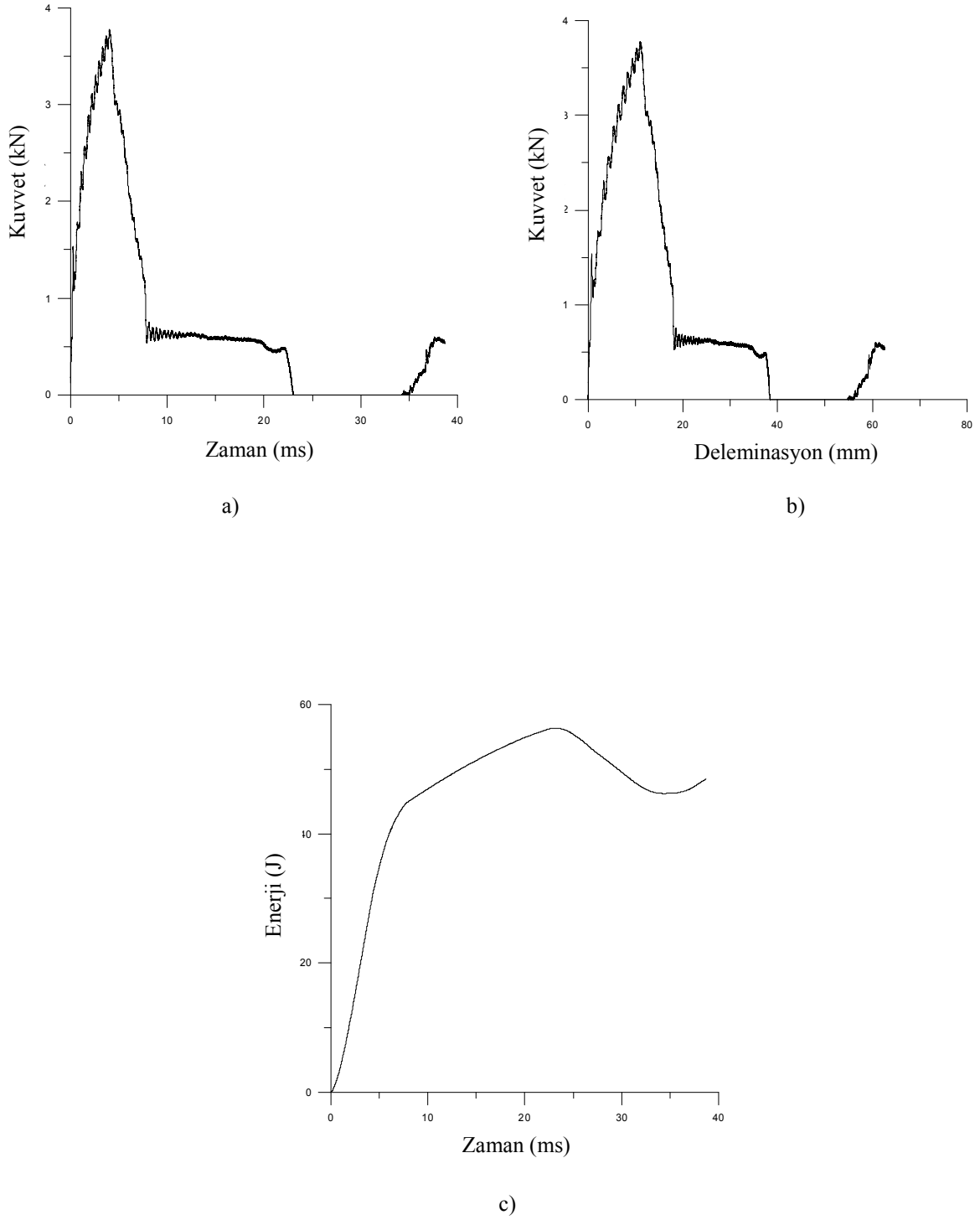


c)

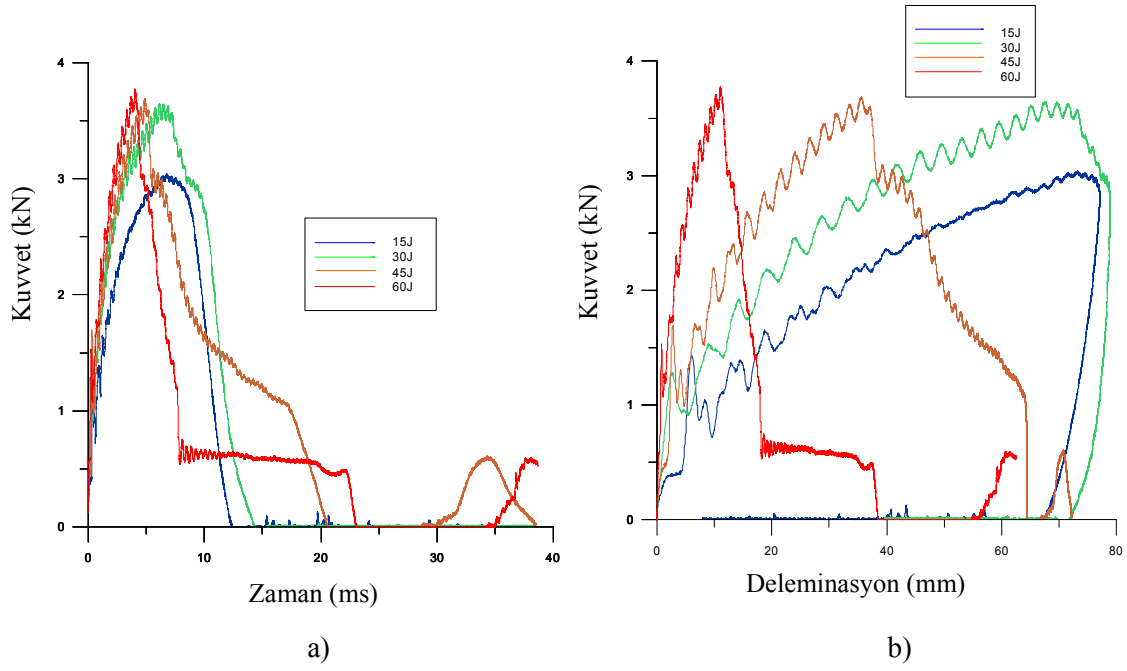
Şekil 10.2 30J'luk enerji için; a) Kuvvet-zaman grafiği, b) Kuvvet-deleminasyon grafiği
c) Enerji-zaman grafiği



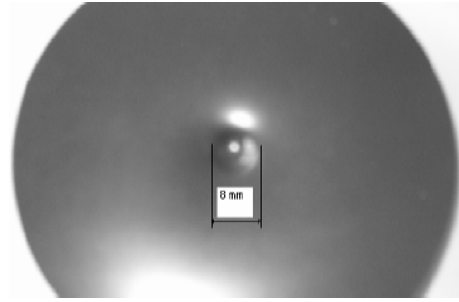
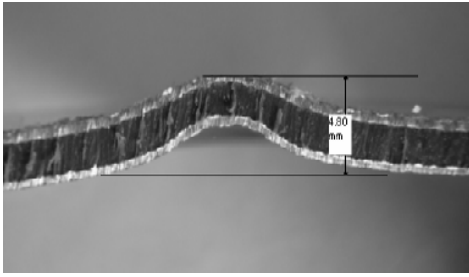
Şekil 10.3 45J'luk enerji için; a) Kuvvet-zaman grafiği, b) Kuvvet-deleminasyon grafiği
c) Enerji-zaman grafiği



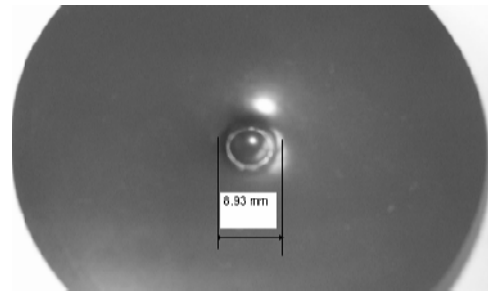
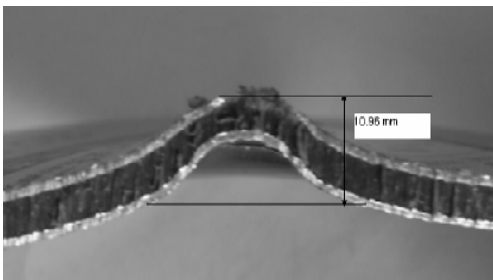
Şekil 10.4 60J'luk enerji için; a) Kuvvet-zaman grafiği, b) Kuvvet-deleminasyon grafiği
c) Enerji-zaman grafiği



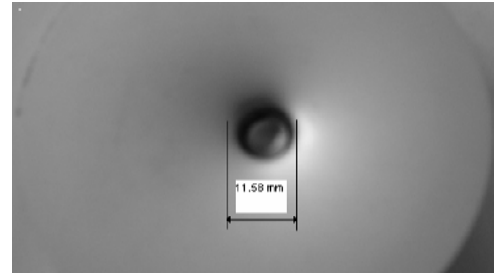
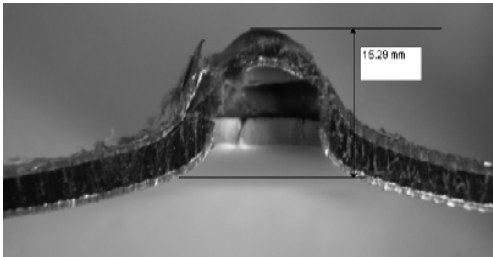
Şekil 10.5 15J, 30J, 45J ve 60J'luk enerjiler beraber gösterilim a) Kuvvet-zaman grafiği, b) Kuvvet-deleminasyon grafiği c) Enerji-zaman grafiği



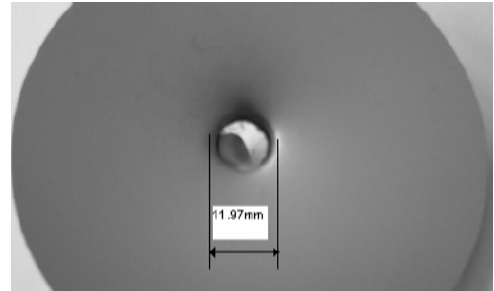
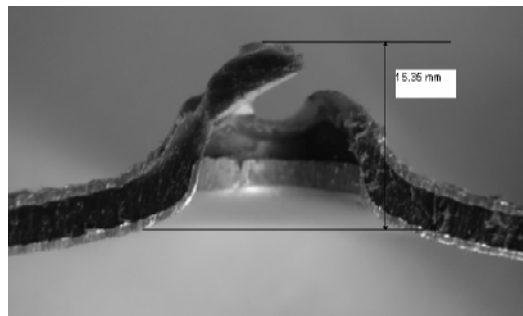
a)



b)



c)



d)

Şekil 10.6 a) 15J'luk Enerji sonucu oluşan vurucu uç izi ve kesit görünümü, b) 3J'luk Enerji sonucu oluşan vurucu uç izi ve kesit görünümü, c) 45J'luk Enerji sonucu oluşan vurucu uç izi ve kesit görünümü, d) 60J'luk Enerji sonucu oluşan vurucu uç izi ve kesit görünümü

10.2. Değerlendirme

Bu çalışmada alüminyum-termoplastik sandviç kompozit yapı çalışıldı. Çalışmada kullanılan kompozit yapı genel olarak binaların dış ve iç kısımlarında kullanılmakla beraber havuz ve bahçe çardakları gibi özel yapılarda da dekoratif amaçlı olarak da kullanılmaktadır. Bu tezde amaç bina kullanımlarında meydana gelebilecek dış çarpma yüklerine karşı malzemede oluşabilecek hasar şekilleri ve absorbe edilen enerji miktarlarının ölçüsüdür. Ürün piyasada direkt olarak satılan mevcut bir ürün olduğundan birtakım değerler firmadan alınmış, bulunan değerlerde firma tarafından kullanılmak üzere değerlendirilecektir.

Elde edilen grafiksel değerler 2.7kg lık yük altında farklı yüksekliklerde 15–30–45 ve 60J'luk enerji oluşumu ile gerçekleşmiştir. Vurucu uç olarak standart 12mm çapında yarı küresel uç kullanılmıştır. Ayrıca hasar durumunu daha iyi gözlemek ve grafiklerin daha anlaşılır olmasını sağlamak amacıyla sıçrama frenleme (rebound break) sistemi kullanılmıştır. Böylelikle vurucu uçun numuneyi delmediği durumlarda numune üzerine birkaç defa çarpması önlenmiştir ki bu durumda grafik eldesi düzgün bir şekilde oluşmuştur.

Grafikleri (şekil 10.1-2-3-4) oluşturan datalar vurucu uçun numuneye temas anından itibaren başlayarak kuvvet sensörün de yükün boşalmasına kadar geçen süre içinde elde edilmiştir.

Şekil 10.5 de tüm enerji durumları için elde edilen veriler tek bir grafik üzerinde gösterilerek kıyaslama sağlanmıştır.

Şekil 10.1 ve 10.6-a'da 15J'lük enerji sonrası oluşan hasar sonucu oluşan grafiksel değerler ve hasar şekli gösterilmiştir. Buna göre şekil 10.1-a da belirtildiğine göre çarpma süresi 12ms'de 3.1kN' luk kuvvet oluşmuş fakat bu numunede sadece 8mm'lik bir hasar oluşturmuş, tabaka delinmemiştir. Şekil 10.6-a'da görüldüğü üzere ara çekirdek dolgu malzeme olan termoplastik malzeme ezilmiş olup enerji miktarının büyük kısmını absorbe etmiştir. Oluşan kuvvet alüminyum plakayı yırtmamıştır. Şekil 10.1-b'de 15J'lük enerji sonrası oluşan hasar sonucu oluşan deliminasyon batma derinliği belirtilmiştir. Şekil 10.1-c de ise zamana karşı oluşan enerji miktarı belirtilmiştir. Burada oluşan enerji kompozit tabakanın delinmesi için yeterli olmamış sadece deformasyon oluşumu sağlamıştır. Şekil 10.6-a da ise plak kalınlığına bakıldığında tabakalar arasında herhangi bir ayrışma görülmemektedir.

Şekil 10.2 ve 10.6-b'de 30J'lük enerji sonrası oluşan hasar sonucu oluşan grafiksel değerler ve hasar şekli gösterilmiştir. Buna göre şekil 10.2-a da belirtildiğine göre çarpma süresi 14ms'de 3.57kN' luk kuvvet oluşmuş fakat bu numunede sadece 8,93mm'lik bir hasar oluşturmuş, tabaka bu enerji değerinde de delinmemiştir. Şekil 10.6-b'de görüldüğü üzere ara çekirdek dolgu malzeme olan termoplastik malzeme ezilmiş olup alt kısımdaki alüminyum tabakada çekirdek malzemedan ayrılmaya başlamıştır. Şekil 10.2-b'de 30J'lük enerji sonrası oluşan hasar sonucu oluşan deliminasyon batma derinliği belirtilmiştir. Şekil 10.2-c de ise zamana karşı oluşan enerji miktarı belirtilmiştir. Burada oluşan enerji kompozit tabakanın delinmesi için yeterli olmamıştır, fakat alt alüminyum plaka büyük ölçüde hasar uğramıştır.

Şekil 10.3 ve 10.6-c'de 45J'lük enerji sonrası oluşan hasar sonucu oluşan grafiksel değerler ve hasar şekli gösterilmiştir. Buna göre şekil 10.3-a da belirtildiğine göre çarpma süresi 21ms'de 3.83kN' luk kuvvet oluşmuştur. Numunede 11,58mm'lik bir hasar oluşturmuş, tabaka bu enerji değerinde yırtılarak delik oluşmuş, fakat tam olarak yine delinmemiştir. Bu durum şekil 10.6c'de görüldüğü üzere ara çekirdek dolgu malzeme olan termoplastik malzeme ve alüminyum tabakayı delmiştir. Şekil 10.3-b'de 45J'lük enerji sonrası oluşan hasar sonucu oluşan deliminasyon batma derinliği belirtilmiştir. Şekil 10.3-c de ise zamana karşı oluşan enerji miktarı belirtilmiştir.

Şekil 10.4 ve 10.6-d'de 60J'lük enerji sonrası oluşan hasar sonucu oluşan grafiksel değerler ve hasar şekli gösterilmiştir. Buna göre şekil 10.4-a da belirtildiğine göre çarpma süresi 23ms'de 3.91kN' luk kuvvet oluşmuştur. Numunede 11,97mm'lik bir hasar oluşturmuş, tabaka bu enerji değerinde yırtılarak delik oluşmuştur. Bu durum şekil 10.6-d'de görüldüğü üzere ara çekirdek dolgu malzeme olan termoplastik malzeme ve alüminyum tabakayı tam olarak delmiştir. Şekil 10.4-b'de 60J'lük enerji sonrası oluşan hasar sonucu oluşan deliminasyon batma derinliği belirtilmiştir. Şekil 10.4-c de ise zamana karşı oluşan enerji miktarı belirtilmiştir. Şekil 10.5 de tüm grafiksel veriler bir arada gösterilmiştir.

Sonuç olarak alüminyum kompozit panel üzerine sazbit ağırlıkta, farklı yüksekliklerde bırakılan kütle sonucu oluşan 15J, 30J, 45J ve 60J luk enerjiler farklı şekillerde hasarlar meydana getirmişlerdir. 15 ve 30J luk enerjilerde tabakalar arasında herhangi bir yırtılma gözlenmezken, 45 ve 60J luk enerjilerde önce tabakalar arasında yırtılma başlamış ve numunenin tam olarak delindiği gözlenmiştir. Burada termoplastik ara dolgu elemanın enerjii absorbe etmede etkisi gözlenmiştir.

Bu çalışmaya ek olarak ileride, aynı kalınlıkta sadece alüminyum plaka kullanılarak deney yapıp, termoplastik malzemenin oluşacak hasar üzerine olan etkisi ayrıca araştırılabilir. Aynı zamanda vurucu uç geometrisi de değiştirilerek oluşacak hasar değişiklikleri ayrıca incelenebilir.

KAYNAKLAR DİZİNİ

- [1] Ceyhun, V., & Turan, M., (2003). Tabakalı Kompozit Malzemelerin Darbe Davranışı. Mühendis ve Makine, Sayı 516.
- [2] Kim, J.K., & Sham, M.L. (2000). Impact and delamination failure of woven-fabric composites. Composites Science and Technology, Vol:60, p:745–761.
- [3] Naik, N.K., Sekher, Y.C., & Meduri, S. (2000). Damage in woven-fabric composites subjected to low-velocity impact. Composites Science and Technology, Vol:60, p:731–744.
- [4] Hou, J.P., Petrinic, N., Ruiz, C., & Hallett, S.R. (2000). Prediction of impact damage in composite plates. Composites Science and Technology, Vol:60, p:273-281.
- [5] Davies, G.A.O., Hitchings, D., & Zhou, G. (1996). Impact damage and residual strengths of woven fabric glass/polyester laminates. Composites: Part A, Vol.:27A, p:1147–1156.
- [6] Sohn, M.S., Hu, X.Z., Kim, J.K., & Walker, L. (2000). Impact damage characterisation of carbon fibre/epoxy composites with multi-layer reinforcement. Composites: Part B, Vol:31, p:681–691.
- [7] Sjögren, A., Krasnikovs, A., & Varna, J. (2001). Experimental determination of elastic properties of impact damage in carbon fibre/epoxy laminates. Composites: Part A, Vol:32, p:1237–1242.
- [8] Abrate, S. (1991). Impact on laminated composites. Appl. Mech. Rev. Vol:44(4), p:155–90.
- [9] Abrate, S. (1994). Impact on laminated composites: recent advances. Amer Soc Mech Eng Vol:47(11), p:517–44.
- [10] Abrate, S. (1998). Impact on composite structures. Cambridge University Press.
- [11] Zukus, JA. (1982). Penetration and perforation of solids. Impact dynamics. New York, John Wiley; p:155–214.
- [12] Robinson P, Davies G. (1991). Impactor mass and specimen geometry effects in low velocity impact of laminated composites. Int J.of Impact Eng. 12(2):189–207.
- [13] Hong, S., & Liu, D. (1989). On the relationship between impact energy and delamination area. Exp. Mech., p:115–20.
- [14] Morton, J., & Cantwell., WJ. (1989) Comparison of low and high velocity impact response of CFRP. Composites, 20(6):545–51.
- [15] Sankar, BV. (1996). Low-velocity impact response and damage in composite materials. Key Eng Mater., 121–122, p:549–82.
- [16] Lin, J., Chang, L.C., Nien, M.H., ve Ho, H.L. (2005). Mechanical Behavior of Various Nanoparticul Filled Composites at Low-Velocity Impact. Composite Structures.
- [17] Aslan, Z., Karakuzu, R., ve Okutan, B. (2003). The Response of Laminated Composite Plates Under Low-Velocity Impact Loading. Composite Structures, Vol:59 p:119–127.

- [18] Caprino, G., Spataro, G. ve Del Luongo S. (2004). Low-Velocity Impact Behaviour of Fibreglass-Aluminium Laminates. *Composites Part A: applied science and manufacturing*, Vol:35, p:605–616.
- [19] Liu, Z.S., Lee, H.P. ve Lu C. (2005). Structural Intensity Study of Plates Under Low-Velocity. *Impact. Int. J. Impact Engineering*. Vol:31, p:957–975.
- [20] Sankar, BV. (1984). Low-velocity impact damage in graphite-epoxy laminates subjected to tensile initial stress. *Amer Inst Aeronaut Astronaut*, Vol:24(3), p:470–1.
- [21] Chiu, ST., Liou, YY., Chang, YC., Ong. CL. (1997) Low velocity impact behavior of prestressed composite laminates. *Mater Chem Phys* Vol:47, p:268–72.
- [22] Schoeppner, GA. (1993) Low velocity impact response of tension preloaded composite laminates. In: 10th Do/NASA/FAA Conf on Fibrous Composites in Structural Design, Hilton Head Island, SC.
- [23] Butcher, BR. (1979) The impact resistance of unidirectional CFRP under tensile stress. *Fibre Sci. Technology*. Vol:12(4), p:295–326.
- [24] Butcher BR, (1981). Fernback PJ. Impact resistance of unidirectional CFRP under tensile stress: further experimental variables. *Fibre Sci. Technology*. Vol:14, p:41–58.
- [25] Kelkar, AD., Sankar, J., Rajeev, K. (1998). Analysis of tensile preloaded composites subject to low velocity impact load. *AIAA J* .
- [26] Robb, MD., Arnold, WS., & Marshall, IH. (1995). The damage tolerance of GRP laminates under biaxial prestress. *Compos Struct*, Vol:32, p:141–9.
- [27] Sun, CT. (1975). Chattopadhyay S. Dynamic response of anisotropic laminated plates under initial stress to impact of a mass. *J Appl Mech*, Vol:42, p:693–8.
- [28] Sun, CT., Chen JK. (1985). On the impact of initially stressed composite laminates. *J Compos Mater*, Vol:19, p:490–504.
- [29] Belingardi, G., Gugliotta, A. and Vadori, R. (1998). Numerical simulation of fragmentation of composite material plates due to impact. *International Journal of Impact Engineering*, Vol:21, p: 335–347.
- [30] Jih CJ, Sun CT. (1993). Prediction of delamination in composite laminates subjected to low velocity impact. *J Compos Mater* Vol:27, p:684–701.
- [31] Guan Z. ve Yang C.(2002). Low-Velocity Impact and Damage Process of Composite Laminates. *Journal of composite materials*, Vol. 36, No. 07.
- [32] Caprino G, Lopresto V, Iaccarino. (2007) A Simple Mechanistic Model to Predict the Macroscopic Response of Fiberglass-Aluminium Laminates Under Low-Velocity Impact. *Composites:Part A* Vol. 38, p:290–300.
- [33] Luo RK, Gren ER, Morrison CJ. (1999). Impact Damage Analysis of Composite Plates. *Int. J. Impact Eng*. Vol 22(5), p:435–47.
- [34] Hu N, Sekine H, Fukunaga H, Yao ZH. (1999). Impact Analysis of Composite Laminates With Multiple Plates. *Int. J. Impact Eng*. Vol 22(7), p:633–48.

- [35] Belingardi G. ve Vadori R. (2003). Influence of The Laminate Thickness in Low Velocity Impact Behaviour of Composite Material Plate. *Composite Structure* Vol:61, p:27–38
- [36] Cantwell WJ, Morton J. (1991). The Impact Resistance of Composite Materials-a Review. *Composites*. Vol:22(5), p:347–62.
- [37] Abrate S. (1991). Impact on Laminated Composite Materials. *Applied Mech. Rev.* Vol:44(4), p:155–90
- [38] Abrate S. (1994). Impact on Laminated Composites: Recent Advances. *Mech. Rev.* Vol:47(11), p:517–44
- [39] Abrate S. (1998). *Impact on Laminated Composite Structure*. Cambridge University Press.
- 40] S. Kayalı, C. Ensari ve F. Dikeç (1983). *Metalik Malzemelerin Mekanik Deneyleri*, İ.T.Ü. Yayınları.
- [41] Shivakumar, K.N., Elber, W. And Illg, W. Prediction of low-velocity impact damage in thin circular laminates, *AIAA J.* 23(3), 442-449.
- [42] Whan H., Khanh, (1991). Low velocity impact damage of carbon/PEEK cross-ply laminates, *ICCM/8*, July 15-19,32
- [43] Griffin C.F., 1987. damage tolerance of toughened resin graphite epoxy composites. *ASTM STP 937*;23-33
- [44] Skawinski, O. et al. (2004). All-thermoplastic Composite Sandwich Panels-Part I: Manufacturing and Improvement of surface Quality, *J. Sandwich Structures and Materials*, Vol.6, pp399-421.