



T.C.

SELÇUK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DÜŞÜK HIZLI ÇARPMAYA MARUZ KALAN ALÇI PANELLERİN DARBE DİRENCİ

Müfit METİNÖZ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Makine Mühendisliği Anabilim Dalını

EYLÜL-2013

KONYA

Her Hakkı Saklıdır

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

DÜŞÜK HIZLI ÇARPMAYA MARUZ KALAN ALÇI PANELLERİN DARBE DİRENCİ

Müfit METİNÖZ

Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışmanlar: Doç. Dr. Mesut UYANER
Öğr.Gör. Memduh KARA

2013, 81 Sayfa

Jüri
Doç.Dr Mesut UYANER
Doç.Dr. Hüseyin İMREK
Doç.Dr. Ömer Sinan ŞAHİN

Bu tezin amacı, düşük hızlı darbeye maruz kalan alçı ve kompozit alçı levhaların dinamik davranışlarının araştırılmasıdır. Bu çalışmada alçı, alçı+75 gr/m² file, alçı+duvar kâğıdı ve alçı+75 gr/m² file+duvar kâğıdı levha malzemeler üzerine düşük hızlı darbe testleri yapılmıştır. Darbe testlerinde kullanılan vurucu 24 mm çapında, yarı küresel uçlu bir geometriye sahiptir. Alçı ve kompozit alçı levhalar 500x400 mm boyutlarında dört tarafı mesnetlenerek bağlanmış ve her bir levhanın merkezine 2, 4, 6, 8, 10 ve 12 J enerji sevilerinde darbe uygulanmıştır. Düşük hızlı darbe deneyleri sonucunda temas kuvveti-zaman, yer değiştirme-zaman, kuvvet-yer değiştirme, değişimleri elde edilmiş ve numunede oluşan hasar bölgeleri incelenmiştir. Alçı ve kompozit alçı levha numunelerin saplanma ve delinme sınırlarının belirlenmesinde enerji profil metodu (EPM) kullanılmıştır. Alçı levhaya file ve duvar kâğıdı takviyesinin numunenin saplanma ve delinme sınırına olan etkisi değerlendirilmiştir. Alçı+75 gr/m² file+duvar kâğıdı levhada alçı levhaya göre delinme sınırının %62'lere varan bir artış meydana gelmiştir.

Anahtar Kelimeler: Alçı levha, dinamik cevap, düşük hızlı darbe, EPM yöntemi

ABSTRACT

MS

IMPACT RESISTANCE OF GYPSUM BOARD SUBJECTED TO LOW VELOCITY COLLISION

Müfit METİNÖZ

THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF SELÇUK UNIVERSITY
THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE
IN MECHANICAL ENGINEERING

Advisors: Assoc. Prof. Dr. Mesut UYANER
Dr. Memduh KARA
2013, 81 Pages

Jury
Assoc. Prof. Dr. Mesut UYANER
Assoc. Prof. Dr. Hüseyin İMREK
Assoc. Prof. Dr. Ömer Sinan ŞAHİN

The aim of this thesis was to investigate the dynamic behavior of gypsum boards and composite gypsum boards under low velocity impact loading. In this study, low velocity impact tests were performed on gypsum boards, gypsum+75 gr/m² mesh boards, gypsum+wallpaper boards and gypsum+75 gr/m² mesh+wallpaper boards. The diameter of the impactor with a semispherical nose was 24 mm. Gypsum boards and composite gypsum boards that had dimensions of 500x400 mm were clamped from all sides. The center of each plate was exposed to impact loading on 2, 4, 6, 8, 10 and 12 J impact energy levels. After the tests, force-time histories, displacement-time histories and force-displacement variations were obtained. Damaged areas of the specimens were investigated. Energy profile method (EPM) was used in order to determine the penetration and perforation boundaries of gypsum and composite gypsum boards. The influences of mesh and wallpaper reinforcement to gypsum boards were evaluated. The perforation boundary of gypsum+75 gr/m² mesh+wallpaper boards is higher than gypsum board 62%.

Keywords: gypsum board, dynamic response, low velocity impact, EPM method

ÖNSÖZ

Bu çalışmanın tamamlanmasında her türlü desteği esirgemeyen tez danışmlarım Sayın Doç.Dr. Mesut UYANER'e ve Öğr.Gör.Dr. Memduh KARA'ya minnet ve şükranlarımı sunarım.

Deneysel çalışmaların yapılmasında bilgi ve tecrübelerinden faydalandığım Halil İbrahim TALAŞLI' ya teşekkürü bir borç bilirim.

Ayrıca, bu çalışmanın yapılabilmesi için test cihazlarının alınması, deney malzemelerinin temin edilmesi ve deney numunelerinin incelenmesi gibi konularda 12201088 nolu proje ile maddi destek veren Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü'ne teşekkürü bir borç bilirim.

Ayrıca, bu çalışmalarım süresince büyük bir sabırla bana destek olan, aileme sonsuz teşekkür ederim.

Müfit METİNÖZ
KONYA-2013

İÇİNDEKİLER

ÖZET ..... **iv**

ABSTRACT ..... **v**

ÖNSÖZ ..... **vi**

İÇİNDEKİLER ..... **vii**

SİMGELER VE KISALTMALAR ..... **ix**

1. GİRİŞ **1**

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI **3**

3. ALÇI LEVHALAR **8**

3.1. Alçının Kimyasal Yapısı 8
3.2. Alçının Tarihçesi ve Yapı Sektöründe Kullanımı 8
3.3. Dünyada ve Türkiye'de Alçı Rezervleri 9
3.4. Alçının Yararları 10
3.4.1. Sağlık açısından alçı 10
3.4.2. Alçının nem düzenleyiciliği 10
3.4.3. Alçı ve çevre ilişkisi 10
3.4.4. Alçının yaratıcılık ve estetik uygulamaları ilişkisi 10
3.4.5. Alçının hafifliği ve kolay uygulanabilirliği 11
3.4.6. Alçı ve ekonomiklik 11
3.4.7. Alçı ve enerji tasarrufu 11
3.4.8. Alçı ve yangına dayanıklılık 12
3.4.9. Alçı ve yalıtım ilişkisi 13
3.5. Çevre ve İnsan Sağlığı Açısından Alçı 13
3.6. Alçı Duvar 16

4. DARBE MEKANİĞİ **19**

4.1 Düşük Hızlı Darbenin Mekaniği 19
4.1.1. Normal temas kuvvetinin işi 19
4.2 Serbest Düşme Hareketi 20
4.3 Darbe Enerjisi 20

5. SANDVİÇ KOMPOZİT ALÇI MALZEMELERİN DARBE DAVRANIŞI **22**

5.1. Düşük Hızlı Darbenin Belirlenmesi 23
5.2. Enine Darbe 23
5.3. Darbe Testleri 24
5.4. Darbe Karakteristiğini Belirlemede Kullanılan Grafikler 26
5.4.1. Kuvvet-zaman (F-t) 26
5.4.2. Yer değiştirme-zaman (d-t) 27
5.4.3. Kuvvet-yer değiştirme (F-d) 28

5.5. Enerji Profili Metodu (EPM).....29

6. DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....31

6.1. Deney Numunesinin Hazırlanması.....31
6.2. Malzeme Özelliklerinin Belirlenmesi.....31
6.3. Deney Cihazının Hazırlanması.....32
6.3.1. Ağırlık düşürme test cihazı.....32
6.3.2. Vurucu geometrisi ve kuvvet algılayıcı.....33
6.3.3. Elektronik kontrol ünitesi.....34
6.4. Deneyin Yapılması.....36

7. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....37

7.1. Alçı ve Kompozit Alçı Levhaların Düşük Hızlı Darbe Deney Sonuçları.....37
7.2. Vurucu ile Deney Numunesi Arasındaki Temas Kuvvetleri.....37
7.3. Darbe enerjisinin temas kuvvetine etkisi.....39
7.3.1. Kinetik Analiz Neticesinde Elde Edilen Değerler.....41
7.3.2. Yer değiştirme–zaman değişimi.....41
7.3.3. Kuvvet–yer değiştirme değişimi.....43
7.4. Enerji Profili Metodu.....46
7.5. Düşük Hızlı Darbede Hasar Analizi.....49

8. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....60

8.1. Sonuçlar.....60
8.2 Öneriler.....61

EK-1 KİNEMATİK ANALİZ HESAPLAMA MODÜLÜ.....67

Ek-1.1 Merkezi Çarpışmanın Kinematiği.....67
EK-1.2 Düşük Hızlı Darbe Neticesinde Deney Numunesi Tarafından Yutulan Enerjinin Bulunması.....69

ÖZGEÇMİŞ.....73

SİMGELER VE KISALTMALAR

F : Bileşke kuvveti
M : Vurucunun kütlesi
m : Etkin kütle
M' : Hedefin kütlesi
n : Çarpışmada temas noktasına teğet düzlemin normali
P*(t)* : Vurucunun impulsu
P'*(t)* : Hedefin impulsu
Pc : Tepki impulsu
p_f : Bitiş impulsu
r : Radyal mesafe
tc : Darbe sırasında izafi hızın sıfır olduğu an
V : Vurucunun hızı
v : izafi hız
V' : Hedefin hızı
V_y : Yumuşak bir cisimde plastik akmayı başlatmak için gerekli en düşük izafi hız
W_c : Kompozitin ağırlığı
W_n : Darbe esnasında yapılan iş (numunede yutulan enerji)
δ : İzafi yerdeğiştirme
Π : Potansiyel enerji (darbe enerjisi)
ρ_c : Kompozitin yoğunluğu
EPM : Enerji profili metodu

1. GİRİŞ

Günümüz dünyasında temel elementlerin doğrudan kullanımlarının daraldığı, her geçen gün daha açık bir şekilde görülmektedir. Bu sebepten yeni bileşikler elde etme isteği hâsıl olmuştur. Elementlerden oluşturulan yeni bileşiklerin de o günün şartlarına göre daha pratik ve ekonomik kullanım yolları sürekli aranmaktadır. Mevcut kullanılan bileşiklerin üzerinde yapılan çalışmalar, malzemenin her yönüyle tanınması yanında, malzemenin gelişimine de olumlu katkılar sağlamaktadır. Değişik niteliklere sahip olan malzemelerin özel yöntemlerle bir araya getirilmesiyle oluşturulan kompozit malzemelerin öneminin arttığı açıkça gözlenebilmektedir.

Kompozit malzemeler; iki ve daha fazla bileşik veya elementin bir araya gelerek oluşturdukları yeni malzemelerdir. Kompozit malzemeler, bileşimde kullanılan malzemelerin en belirgin özelliklerini gösterecek tarzda dizayn edilmektedir. Ana yapı elemanına matris adı verilmektedir. Bu ana matris elemanına takviye yapılmak suretiyle kompozit malzeme oluşturulur.

Malzemelerin günlük kullanımda dış ortamdan gelecek her türlü darbeye karşı dirençli olması sağlanmalıdır. Her malzemenin kullanıldığı yere ve ortama göre maksimum seviyede dayanım sağlayacak şekilde dizayn edilmesi istenmektedir. Malzemelerin karşılaşabileceği darbeler genel itibariyle iki kısma ayrılmaktadır. Bunlar düşük hızlı darbe ve yüksek hızlı darbe olarak isimlendirilmektedir. 1 m/s ile 10 m/s hız arasındakiler düşük hızlı darbe olarak nitelendirilirler.

Darbelere maruz kalan malzemeler taşıdıkları özelliklere göre farklı tepkiler vermektedir. Metal ve metal alaşımlarında darbeye maruz kalan bölgede plastik şekil değiştirme, kopma şeklinde hasar oluşmaktayken, kompozit malzemelerde tabakalar arası ayrılma olarak da meydana gelebilmektedir.

Tezimizde ele alacağımız alçı panel levhaların günümüzde yaygın olarak kullanım alanı bulmasıyla mukavemetinin de ciddi boyutta önem kazandığı bir gerçektir. Alçı panel levhalara dışarıdan gelecek herhangi bir darbe nedeniyle hem levha yüzeyinde hem de içyapıda belirgin bir şekilde hasarlar meydana gelebilmektedir. Bu hasarlar zaman içinde oluşabilecek yük ile daha da büyür.

Dünyada darbe üretici test cihazı olarak çok çeşitli makineler kullanılmaktadır. Kompozit malzemelerde standart darbe test cihazı mevcut olmamakla birlikte birçok kuruluş ve araştırmacı kendilerinin uygun gördükleri darbe test cihazlarını kullanmakta ve deneylerini sonuçlandırmaktadır.

Bu çalışma Selçuk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Metalürji ve Malzeme Mühendisliği laboratuarında mevcut düşey ağırlık düşürme test cihazı ile yapılmıştır.

Bu çalışmada ALÇI MARKET Toptan Satış ve Uygulama Ltd. Şirketi, Konya, Türkiye firmasında Alçı panel, alçı+75 gr/m² file, alçı+duvar kâğıdı ve alçı+75gr file+duvar kâğıdı şeklinde üretilen panel levhalar kullanılmıştır.

Farklı özelliklerdeki deney numunelerine düşük hızlı darbeler yapılmıştır. Darbe sonucu kuvvetin zamana göre değişimini veren grafikler elde edilmiştir. Ayrıca yer değiştirme-zaman ve kuvvet-yer değiştirme grafikleri çıkarılmıştır. Darbe enerjisinin ne kadarlık bir kısmının malzeme tarafından yutulduğu tespit edilmiştir. Malzemedeki hasar bölgeleri incelenmiş ve oluşan hasar modları tespit edilmiştir.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Alçı levhalar birçok mühendislik alanında kullanılır ve yabancı cisimler tarafından darbeye maruz kalabilirler. Darbeden kaynaklana hasar üretim, bakım ve kullanım sırasında ortaya çıkabilir. Eşyaların taşıma sırasında alçı levhalara çarpılması, yumruk, dirsek atma, tekme gibi çeşitli şekillerde darbeye maruz kalması kullanım sırasındaki darbeye örnek olarak verilebilir. Bu durumda darbe hızları küçük fakat etkisi büyüktür. Alçı levhalar diğer yapı bileşenlerine nazaran darbe hasarına daha duyarlıdır. Darbelerin alçı levhalara vermiş olduğu zararlar ısı iletimini etkilediği gibi malzemenin mukavemetini de etkiler. Bu durum alçı levhaların kullanımında kısıtlayıcı bir etkendir. Bu nedenlerle alçı levhaların düşük hızlardaki darbe problemi pratik bir uygulamayı temsil eder.

Alçı levhaların düşük hızlı darbesiyle ilgili literatürde doğrudan bir kaynağa ulaşılamamıştır. Bunun yanında alçı levha ve alçı yapı elemanlarıyla ilgili yapılan çalışmalar şunlardır:

Alçı hamuru ile bunların değişik nitelikte agrega ile karıştırılmasıyla elde edilen çeşitli alçı harçlarının elastik modülü değerlerinin değişimi ve bu özelliği etkileyen ele alınması Ersoy ve Kurugöl (1997) tarafından araştırılmıştır. Bu amaçla bu alanda yapılmış çeşitli deneysel çalışmaların sonuçları ile birlikte alınarak, malzemenin elastik modülü değerlerinin değişimi ve bu özellik ile diğer malzeme özellikleri arasındaki ilişki araştırılmıştır. Alçı hamuru ve hafif alçı harçlarında, malzemenin basınç dayanımı ile E-Modülü arasında anlamlı bir ilişki olduğu bulunmuştur. Bu ilişki alçı hamurunda, hafif alçı harçlarına kıyasla çok daha güçlü olduğu görülmüştür.

Yapı malzemesi seçim kriterleri ve alçı yapı elemanlarının teknik ve ekonomik yönden değerlendirilmesinin araştırılmasında, yapıya getirdiği en az yük, kolay işlenilebilirlik, yangın güvenirliği, ısıl ve akustik özellikleri, hijyen özelliği, diğer malzemelerle bir arada kullanılabilirliği, bitirilmişlik düzeyi, düşük maliyeti irdelenmiştir ve bina yapısına daha uygun olduğu Çelebi (1997) tarafından öngörülmüştür.

Alçı karışımlı, fiziksel model malzemesinin özelliklerinin incelenmesinde, alçı-su karışımı ile üretilecek model malzemesinin tek eksenli basınç dayanımı, karışım içerisindeki su yüzdesine bağlı olarak 7,5 MPa ile 19 MPa arasında değişmektedir. Bu dayanım değerleri, küçük dayanım ölçekli fiziksel modeller için çok yüksek ve alçının içsel sürtünme açısı düşüktür. Araştırmacılar, alçının basınç dayanımını azaltmak, içsel

sürtünme açısını artırmak ve elastik özelliklerini iyileştirmek amacıyla kum başta olmak üzere farklı agregaların alçı-su karışımına ilave ederek kaya benzeri bir malzeme üretmeye çalışmışlardır. Bu karışımlardan elde edilen değerlerin geniş sınırlar arasında değişmesi dikkate alınarak, karışıma ilave edilecek agregadan ziyade model malzemenin üretimi sürecinde etkili olabilecek faktörler bir laboratuar çalışmasıyla Yavuz (1996) tarafından incelenmiştir.

Alçı, polistren sert köpük cam lifi kompoziti üzerinde mekanik etkilerin araştırılması için yapılan çalışmalarda; alçı hamuruna polistren katılması ile boşlukluğun arttığı ve birim hacim ağırlığının büyük ölçüde düştüğü gözlenmiştir. Karışımın basınç ve eğilme mukavemetinde önemli ölçüde düşüşlerin olduğu, cam lifinin karışıma donatı olarak katılması sonucunda, basınç mukavemetinde kayda değer bir değişim görülmezken, eğilme mukavemetinde artış gözlenmiştir. Bu çalışma İ.Etem Tuna ve F. Şenkal (2000) tarafından yapılmıştır.

Alçı hamuru ve alçı bağlayıcılı hafif karışımların temel özelliklerine cam lifi donatının etkilerinin araştırılması için yapılan çalışmada alçı hamurlarının ve hafif alçı harçlarının cam fitili örgü donatı ile bir düzlemde sürekli nitelikte donatılması hakkında yapılmış deneysel bir çalışmanın sonuçları ortaya konularak, bu sonuçlar aynı konuda farklı donatım teknikleri kullanılarak yapılmış bazı çalışmaların sonuçları ile karşılaştırılarak, değerlendirilmiştir. Sonuçlarındaysa donatı türü ve biçimine bağlı olarak kompozit özelliklerinin olumlu yönde değiştiğini, karışıma hafif agrega katılmasının bu eğilimi belirli ölçüde zayıflattığını, ancak değiştirmediğini farklı boyutta ve dağılımda lif donatı kullanımının da esas eğilimi değiştirmediğini, ancak bununla donatının etkinliğinin değiştiğini ve bütün bu hususların kompozitin nihai özelliklerine yansıdığını gözlenmiştir. Bu çalışma Ersoy (1996) tarafından yapılmıştır.

SMC plakaların darbeye karşı davranışlarının sayısal ve deneysel çalışmasının araştırılmasında, yaygın kullanım alanına sahip olan SMC, düşük maliyeti ve verimli kullanımı sebebiyle hem sayısal hem de deneysel olarak incelenmiştir. Bu çalışmalar Sang-Min Lee, Jae-Seung Cheon, Yong-Taek Im tarafından yapılmıştır (1999).

E-camı/epoksi tabakalı kompozitlerin düşük hızlı darbe davranışına numune boyutlarının etkisinin araştırılmasında düşük hızlı darbeye maruz E-cam/epoksi tabakalı kompozitlerde plaka boyutlarının malzemede oluşan hasara etkileri belirlenmiştir. Tek yönlü takviyelendirilmiş tabakacıklar [0°,-45°,+45°,0°,90°,0°,-45°,-45°,0°] s şeklinde düzenlenerek E-cam/epoksi tabakalı kompozit malzeme üretilmiştir. Darbe testleri özel olarak imal edilen düşey ağırlık düşürme test cihazı yapılmıştır. Darbe testlerinde

kullanılan vurucu 24 mm çapında, yarı küresel uçlu bir geometriye sahiptir. Vurucu kütlesi 30 kg'dr. 2.5 m/s'lik çarpma hızında testler yapılmıştır. Çalmalarda 180x50 mm, 180x100 mm, 180x150 mm boyutlarında karşılıklı iki taraf serbest diğer iki taraf ankastre kompozit levhalar kullanılmıştır ve darbe her bir levhanın merkezine yapılmıştır. Deneylerden elde edilen kuvvet zaman değişimleri ile bunlardan hesaplanan diğer değişimler grafikler halinde verilmiştir. Sonuçlarındaysa; Her bir deneyde numunelerin iki kenar ankastre diğer iki kenarın serbest olacak bağlanması nedeniyle numune iki taraf ankastre bağlı kiriş gibi davranmıştır. Numune genişliği büyüdükçe numunenin kompliyansı da düşmektedir. Bu durumda kuvvetler karşısında numune daha az çökmekte ve darbe süresi azalmaktadır. Grafiklerden ayrıca numunenin genişliği arttıkça darbe süresinde gelişen en büyük kuvvetin de arttığı görülmektedir. İvmenin zaman göre değişimi temas kuvvetinin zamana göre değimine benzemektedir. Numune genişliği arttıkça malzeme üzerindeki kalıcı yer değiştirme miktar azalmaktadır (Uyaner ve Kara, 2007).

Tabakalı kompozitlerin darbe cevabına vurucu şeklinin etkisinin araştırılması için yapılan çalışmada, Ağırlık düşürme test cihazı kullanılarak, 90° ve 120° konik, 24 mm ve 12 mm çaplı yarı küresel ve 120° piramit uca sahip vurucularla numune üzerine düşük hızlı darbe yapılmıştır. Darbe enerjisi 62, 5J ve çarpma hızı 2,5 m/s'dir. 180x50mm boyutlarında 7mm kalınlığında 18 tabakalı deney numuneleri kullanılmıştır. Sonuçlarındaysa; Yarı-küresel uç ile yapılan deneylerde uç yarı çapı azaldıkça en büyük temas kuvveti artmış ve temas süresi de azalmıştır. Aynı çaplı uçlarda (24 mm) en büyük temas kuvveti sırasıyla 120° piramit, yarı-küresel, 90° konik ve 120° konik uçlarda oluşurken temas süreleri de küçükten büyüğe olmak üzere aynı tertipte gerçekleşmiştir. Düşük hızlı darbe yapılan bütün deney numunelerinde, darbeye maruz ön yüzeydeki hasarın arka yüzeyden daha az olduğu görülmüştür. En büyük temas kuvvetinin meydana geldiği deney numunesinde en büyük hasar oluşmuştur (Uyaner ve Kara, 2007).

Hibrit kompozitlerin darbe davranışlarının incelenmesinde cam-elyaf/Epoksi ve hibrit kompozit plakalar olan Aramid elyaf-Cam elyaf/Epoksi, Aramid elyaf-Karbon elyaf/Epoksi ve Karbon elyaf-Cam elyaf/Epoksi plakaların artan darbe enerjilerindeki darbe davranışları oda sıcaklığında deneysel olarak araştırılmıştır. Fiber takviye açısının da darbe davranışları üzerine etkisini incelemek üzere, deneylerde (0º/0º/90º/90º)s ve (0º/90º/±45º)s takviye açıları tercih edilmiştir. Ayrıca, Cam-elyaf/Epoksi ve Karbon elyaf-Cam elyaf/Epoksi kompozitler için -20 ºC, 0 ºC, 40 ºC ve 60 ºC sıcaklık

şartlarında da deneyler yapılarak, kompozit plakaların farklı sıcaklıklardaki darbe davranışları araştırılmıştır. Darbe testleri Instron-Dynatup 9250 HV darbe test cihazı ile yapılmış ve numunelerin saplanma ve delinme sınırlarının belirlenmesinde ise Enerji Profil Metodu (EPM) kullanılmıştır. Hibrit kompozitler için oda sıcaklığında, karbon tabaka sayısının arttırılmasının delinme sınırı değerinin yükselmesine çok az katkısının olduğu, (0º/90º/±45º)s takviye açısına sahip Aramid-Cam ve Aramid-Karbon hibrit kompozitlerin delinme sınır değerlerinin, (0º/0º/90º/90º)s takviye açısındaki değerlerinden daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Bunun yanı sıra, oda sıcaklığı altındaki (-20 ºC) ve üstündeki (60 ºC) sıcaklıklarda, kompozit plakaların delinme sınırı değerlerinin, uygulanan diğer sıcaklıklardaki (0 ºC, 20 ºC, ve 40 ºC) değerlerine göre daha yüksek oldukları tespit edilmiştir (Sayer, 2009).

Dinamik yüklemeye maruz kompozit yapıların dinamik cevabı için yapılan çalışmalarda birçok deneysel ve analitik yöntemler geliştirilmiştir. Bu alandaki önemli çalışmaların bir kısmı şunlardır. Dinamik yükleme altındaki kompozit malzemeleri karakterize etmek için ilk çalışmalar Rotem ve Lifshits (1971), Lifshits (1976) ve Sierakowski ve ark. (1971) tarafından yapılmıştır. Sierakowski ve Chaturvedi (1997) ve Abrate (1998) çeşitli darbe modeli ve muayene yöntemlerinde ilerlemeler kaydetmiştir.

Teorik hesaplamalar darbe cevabını önceden belirlemek için yapılmıştır. Sun ile Chattopadhyay (1975) ve Dobyns (1981), Whitney ve Pagano (1970) tarafından basitçe desteklenmiş özellikle merkezinden darbeye maruz bir ortotropik plağı incelemek için geliştirdiği plaka denklemlerini kullanmıştır. Green (1992,1993) darbe altındaki gerilme alanlarını değerlendirmek için dalgalı yayılma teorisini kullandı. Chritoforou ve Yiğit (1996) moment denge metodu kullanarak basit desteklenmiş bir kompozit kirişin enine darbesi üzerinde çalıştı. Sankar (1992) en büyük (peak) kuvvet, temas süresi ve arka yüzeydeki en büyük (peak) şekil değiştirmesi gibi darbe karakteristiklerini önceden belirlemek için yarı ampirik bir formül sundu. Qian ve Swanson (1990) kenarlarından sıkıştırılmış dikdörtgen plakaların darbe cevabı için yaklaşık bir çözüm elde etmede Rayleigh-Ritz prosedürünü kullandılar.

Tabakalı kompozitlerin düşük darbe hızlı cevabı analitik olarak Ramkuar ve Chen (1982), Sun ve Jih (1995) ve Abatan ve ark. (1998) tarafından araştırıldı. Düşük hızlı darbeye plaka cevabının önceden tahmin edilmesi için yaklaşık bir çözüm gong ve Lam (1999) tarafından sunuldu. Bu çözüm, temas ve enine kayma şekil değiştirmenin etkisi gibi plakanın ve güçlendiricilerin beraberce hareketlerini içerir. Hibrit tabakalı kompozit plakaların düşük hızlı darbeye bağlı cevabı kayma deformasyon teorisi

kullanılarak Lee ve ark. (1997) tarafından araştırıldı. Kim ve Kang (2001) enine darbeye bağlı kompozit plakaların dinamik şekil değiştirmesinden darbe kuvvetini önceden belirlemek için yeni bir analitik metot geliştirdiler. Bunun için çalışmalarında iki varsayım ileri sürüldü. İlk olarak darbe kuvveti ve dinamik şekil değiştirme genlik ve frekans olarak ayrılabilir. İkincisi darbe kuvvetinin genliği herhangi bir frekanstaki dinamik şekil değiştirmeye karşılık gelir.

Goo ve Kim (1997) düşük hızlı darbe altında tabakalı kompozit plakaların dinamik temas analizini yaptılar. Düzeltilmiş Hertz temas kanunu gibi basit kanunlar, kompozit plakaların dinamik temas durumuna uyarlamak için kullanıldı. Tabakalı kompozit plakaların darbe cevabı için analitik bir model Pierson ve Vaziri (1996) tarafından sunuldu. Belli ortotropik tabakaların küçük çökmelerinin elastik cevabına uygulanan buradaki denklemler kayma deformasyonu, atalet dönmesi ve lineer olmayan Hertz temas kanunu beraberce etkilerini ihtiva eder.

3. ALÇI LEVHALAR

3.1. Alçının Kimyasal Yapısı

Alçı ($CaSO_4$ $2H_2O$) ve anhidrid ($CaSO_4$) kalsiyum sülfatın doğal olarak oluşan formlarıdır.

Alçı ve anhidrit yataklarının büyük bölümü milyonlarca yıl önce okyanusların buharlaşması ile oluşmuş "evaporit" olarak bilinen bir tortul kayaç grubuna aittir. Bu yataklar genellikle deniz suyu ve tuzlu karışımların buharlaşması sonucu oluşur ve sıklıkla kaya tuzu (NaCI) gibi diğer evaporit tuzlar içerir.

Alçı taşı doğada bazen "anhidrit" denilen susuz kalsiyum sülfat bazen de "jips" denilen bünyesinde yüzde 20 oranında su bulunduran kalsiyum sülfat minerali olarak karşımıza çıkar. Kristal bir yapıya sahip olan alçı taşı, pişirildiği zaman kimyasal bir tepkime ile suyun dörtte üçünü kaybederek yarı hidrat hale dönüşür. Suyla karıştırıldığı pişirilmesi sırasında kaybettiği suyu geri alarak tekrar alçı taşı haline dönüşür (Anonim, 2010).

3.2. Alçının Tarihçesi ve Yapı Sektöründe Kullanımı

Bundan 20-30 milyon yıl önce, bugün Anadolu diye adlandırdığımız kara parçası oluşurken, buharlaşan denizlerden bizlere milyonlarca ton alçıtaşı miras kaldı. Uygarlık tarihi kadar eski bir bağlayıcı olan alçının M.Ö 9000'li yıllarda Çatalhöyük'te ilk kez kireçle karıştırılarak sıvada kullanıldığı yazılı kaynaklardan bilinmektedir. Öte yandan Sümer ve Asur dönemlerinde (M.Ö. 7000) kent içi yapılar ile yollarda, Mısır'daki Firavun mezarlarında (M.Ö. 2800) ve piramitlerde alçıdan bağlayıcı olarak yararlanılmıştır. Eski Yunan ve Roma uygarlıklarında (M.Ö.350-40) alçının duvar ve ahşap tavan sıvasında kullanıldığı görülmektedir. Sonraları Yunan, Roma ve Selçuklu uygarlıklarında da yapı malzemesi olarak kullanıldığı bilinmektedir.

Tarih boyunca her yapı geleneğinde alçının kullanıldığını görülmektedir. Bileşiminde genellikle kireç, alçıtaşı ve ince kum bulunmakla birlikte, bunların miktarları ve türleri elde edilmek istenen sıvanın türüne göre değişir. Uygulama tekniği kullanılan malzemeden çok daha önemlidir. Alçı işi örneklerine Meksika Aztek mimarlığında ve Kuzey Afrika ile İspanya'daki İslam mimarlık ürünlerinde rastlanır. M.Ö. 1400'den başlayarak Eski Yunan tapınaklarının iç ve dış duvarlarında alçı işinin

uygulandığı görülür. Eski Romalı mimarlar büyük anıtların kaba taş ya da tuğla duvarlarını alçı işi ile bezemişlerdir. M.S. 120-130 yılları arasında Tivoli' de yapılan Hadrianus Villası'ndaki hamamlar buna örnektir.

Rönesans mimar ve ressamları alçı işini daha da yoğun biçimde önce iç sonra dış cephelerde kullanmışlardır. Düzgün alçı işi pek çok Rönesans yapısının köşe ve girişlerindeki ağır ve kaba taş işçiliğiyle bir karşıtlık yaratacak biçimde kullanılmıştır. Alçı işi Rönesans sonrası mimarlığın özentili ve süslü üslubuna kolayca uyum sağlamış, taştan daha ucuz biçimlendirildiği için ilk kez sütunlarla bunların üstüne oturan kornişlerde kullanılmıştır. Bu dönemde özelliklerde tavanlarda yoğun alçı işi göze çarpar. 18. yüzyıl sonu ve 19. yüzyıl başlarında Rönesans üslubunun moda olduğu sırada alçı işi, başta İngiltere'de olmak üzere yapıların dış cephelerinde kullanılmıştır.

Alçı yapıda ve sanatta 6000 yıldan beri kullanılmıştır. Antikite'de iklimi kuru olan Akdeniz ülkelerinde, harç ve sıva malzemesi olarak kullanılmıştır. 1890 yılında Amerikalı Augistine Sackett ve Fred L. Kane iki yüzü kartonlu alçı levhaları yapıda kullanmıştır.

1666 yılındaki Londra yangını alçı kullanımının geniş kitlelerce bilinmesi bakımından bir dönüm noktası sayılabilmektedir. Bu felaket sırasında ahşap yapıları koruduğu gözlenen alçının kullanımı Paris'te zorunlu hale getirilmiş, bu vesileyle sıva alçısına da "Paris alçısı" adı verilmiştir (Anonim, 2009).

3.3. Dünyada ve Türkiye'de Alçı Rezervleri

Dünyada işletilebilir alçı rezervlerinin 3 milyar tonun üzerinde olduğu, bunun yarısına yakınının Amerika kıtasında bulunduğu bilinmektedir. 2006 sonu itibariyle dünya alçı üretimi 125 milyon ton olarak tahmin edilmektedir.

Türkiye'de alçı taşı yatakları yaygın olarak Orta Anadolu, Kuzey Anadolu ve Doğu Anadolu Bölgelerinde bulunmaktadır. Alçı taşı rezervlerimizi onlarca milyon ton olarak ifade etmemiz mümkündür. Ancak ülkemizde alçının yararlarının toplum ve kamu tarafından yeterinde bilinmemesi, alçının gelişmiş toplumlardaki kullanım seviyesine ulaşmamızı engellemektedir (Anonim, 2010).

3.4. Alçının Yararları

3.4.1. Sağlık açısından alçı

Alçı, kimyasal yapısı nedeniyle bünyesinde bakteri barındırmaz. Bazik ve asidik özellikler taşımaz. Ph değeri insan cildiyle aynıdır. Kristalin silis ihtiva etmediğinden kanserojen değildir, cilde dosttur. Bu sebepten tıbbi amaçlı kullanımı yaygındır. Doğal bir klima özelliği taşıyan alçı, mikroskobik boşlukları sayesinde yaşanılan mekânı kışın sıcak, yazın serin tutar. İç mekânlarda oluşan rutubeti çabucak emer, hava kuruyunca da ortama iade eder (Anonim, 2009).

3.4.2. Alçının nem düzenleyiciliği

Kapalı bir hacimde bulunan su buharı, hacmi çevreleyen dış yapı elemanlarının yüzeylerine temas ettiğinden soğuyarak yoğuşur ve yapı elemanlarının ıslanmasına dolayısıyla da elemanın yüzeyinde su lekelerine ve çiçeklenmelere neden olur. Alçı ise ısı iletkenliği düşük olması dolayısıyla yalnız yoğuşmayı geciktirmekle kalmaz aynı zamanda boşluklarında önemli bir oranda ortam nemini ve kondens suyunu absorbe edip, iç hacimde bağıl nemin azalmasını sağlayarak yoğuşmayı azaltır. Buna ek olarak nem azaldığında alçı kendi bünyesindeki nemi ortama vererek ortamın yeterli derecede nemli kalmasını sağlar ve bu suretle kaloriferli evlerde yaşam koşullarının iyileştirilmesine katkıda bulunur (Anonim, 2009).

3.4.3. Alçı ve çevre ilişkisi

Alternatif yapı malzemelerinde kullanılan harçlarda bulunan kum, dere yataklarından elde edilir. Bu da doğal kaynakların tüketilmesine neden olduğu gibi erozyonu da tetikler. Alçı kullanımına ağırlık verildiğinde tüm bu dezavantajlar ortadan kalkmış olur (Anonim, 2009).

3.4.4. Alçının yaratıcılık ve estetik uygulamaları ilişkisi

Alçı beyaz rengi ile sınırsız dekoratif seçenek sunarak yaşama konfor sağlar, yaratıcı uygulamalara olanak tanır. İstenilen forma sokulabilen alçı, sadelik, zarafet ve

estetiğin vazgeçilmez unsurları olan tavan süsleri, kartonpiyer, nişler apliklere dönüşür, kalıpsız konkav yüzeyler yapılmasına olanak sağlar, ortamdaki sıcaklık hissini artırır.

Alçı levhalar ile estetik ve kullanışlı mekânlar oluşturulabilir. Alçı, hafifliği ve kolaylıkla değiştirilebilme özelliği sayesinde mimari uygulamalara özgürlük tanır (Anonim, 2009).

3.4.5. Alçının hafifliği ve kolay uygulanabilirliği

Yoğunluk faktörü göz önüne alınırsa 1 ton alçı ile 1 ton tuğla ve 1 ton çimentodan çok daha fazla hacimde yapı elemanı üretilir. Dolayısıyla alçı kullanılan binanın taşıdığı yük hafiflemiş olur ki bu da çoğu deprem kuşağında olan ülkemiz için önemli bir avantajdır. Depremde insanlar daha çok binanın taşıdığı ağırlıklardan zarar görmektedir. Bina ağırlığı azaltılarak can ve mal kaybının oluşmasına engel olunmaktadır.

Alternatif yapı ürünleri ile karşılaştırıldığında alçı levhalar ile duvar yükünü 4 kat hafifletmek mümkündür. Hafifleyen sistem, kolon-kiriş gibi taşıyıcı eleman kesitlerini küçültür inşaat maliyetini daha başlangıçta azalır, yapı kullanım alanları metrekare bazında artar (Anonim, 2009).

3.4.6. Alçı ve ekonomiklik

Alçının kolay işlenebilirliği ve uygulanabilirliği alternatif malzemelere kıyasla çok daha çabuk kuruması inşaat süresinin kısalmasını sağlar ki bu da inşaat ekonomisi için oldukça önemli bir katkıdır. Alçı ve alçı türevi ürünlerin elde edilişi, uygulaması, bakımı kolay ve ucuzdur. Alçı tam bitmiş olarak yapıya girer, ek emek ve masraf gerektirmez. Alçı malzemeleri üretim yerinden şantiyeye rahatlıkla taşınabilir ve kolay uygulanabilir. İşçilik masrafı ve maliyeti azdır. Doğal hammadde kaynaklarından elde edilen ve milli bir ürün olarak da nitelendirilebilen alçı ülkemiz dışında da ihraç edilerek yurt ekonomisine katkıda bulunmaktadır (Anonim, 2009).

3.4.7. Alçı ve enerji tasarrufu

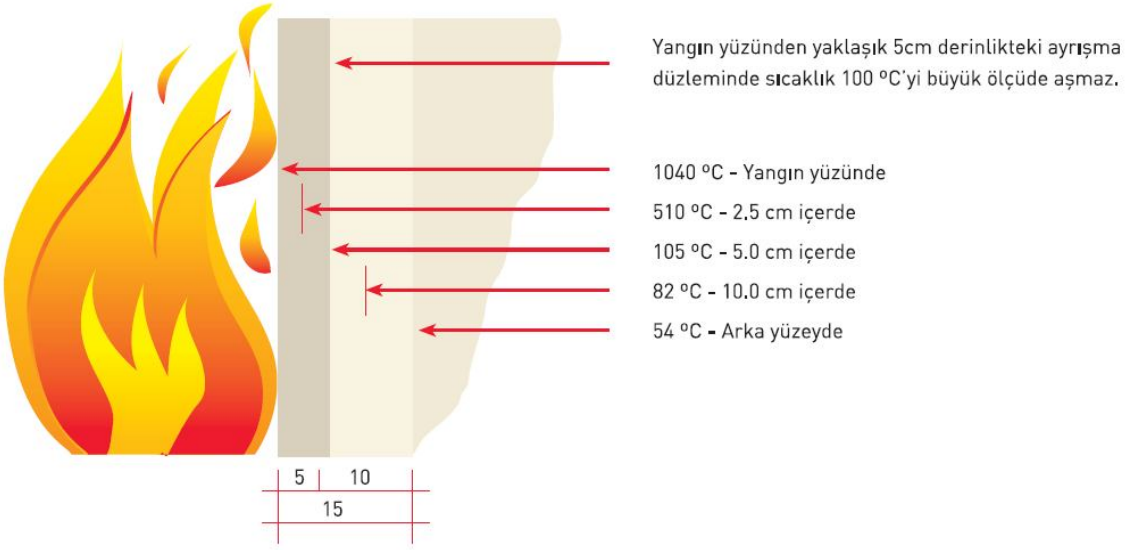
Alçı, tuğla üretiminde kullanılan enerjinin yarısı, çimento üretiminde kullanılan enerjinin ise 1/5'i kullanılarak elde edilmektedir.

Alçı üretimi aşamasında alternatif ürünlere kıyasla çok daha az enerji kullanılır. 1 ton alçı üretmek için 30 litre fuel-oil gerekirken, 1 ton tuğla üretmek için bunun iki katı, 1 ton çimento için beş katına ihtiyaç vardır.

Alçı, emsal diğer inşaat malzemelerine kıyasla daha az enerji ile üretilir. Örneğin kireç 900 ºC, çimento 1000 ºC' de alçı ise 90-120 ºC ısı enerjisiyle elde edilmektedir (Anonim, 2009).

3.4.8. Alçı ve yangına dayanıklılık

Alçı, inorganik bir madde olduğu için yanmaz. Yapı gereklerinin yanıcılık açısından değerlendirilmesinde alçı "A1 sınıfı yanmaz" bir malzeme olarak gruplandırılır. Bir yangın anında alevle karşılaşan alçı, boşluklarındaki nem ile bünyesindeki kristal suyu ayrıştırmak için ısı enerjisinin büyük bir bölümünü absorbe eder. Ayrışan ve buharlaşan su, alev ile alçı arasında bir buhar tabakası oluşur. Yangının başlamasından iki saat sonraki alçının durumu Şekil 3.1' da gösterildiği gibidir.



Şekil 3.1. Yangına maruz alçı levhaların yangın başlamasından iki saat sonraki davranışı

Yapı alçıları ve alçı levhalar ile 120 dakika yangın dayanım süresi elde etmek mümkündür. Alçının bu özelliği tüm yangın sigortası otoriterlerinde kabul görmektedir. 1666 yılında Londra yangınında zarar görmeyen yapıların alçı olduğu tespit edilmiş, gözlenen koruyuculuğu sayesinde gelişmiş ülkelerde insanların yoğunlukla bulunduğu

alanlarda alçı kullanımı zorunlu hale getirilmiştir. Türkiye'de henüz bu konuda yasal bir zorunluluk yoktur (Anonim, 2009).

3.4.9. Alçı ve yalıtım ilişkisi

Yapılan araştırmalar göstermiştir ki yapılardaki ısı kaybının başlıca sebebi; ısı yalıtım malzemesi ile sıvanmamış duvar ve yüzeylerdir. Çünkü ısının yüzde 35'i yalıtım gücü olmayan duvar ve yüzeylerden kaybedilmektedir. Yalıtımın olmayışı, kapalı mekânları ısıtmak için yapılan harcamalara gereksiz bir yük, ülke ekonomisine büyük bir zarardır.

Alçı ürünleri gözenekli yapısından dolayı ortam ısıtıldığında duvarların hızla ısınmasını ve kışın daha sıcak geçirilmesini, yaz ayları boyunca da ortamın daha serin olmasını sağlar. Alçının ısı iletkenlik değeri doğal malzemeler arasında ahşaba çok yakındır. Dolayısıyla diğer doğal malzemelere göre daha az ısı iletir.

Alçı yapı elemanı, yine içerdiği boşluklar nedeniyle ses yalıtımı sağlar. Özellikle akustik amaçlarla üretilmiş elemanlar yardımıyla, hacim içinde ses düzeni ve hacimler arasındaki ses geçişi, iyi bir şekilde kontrol edilebilmektedir. Bu alanda yapılan araştırmalarda, alçı elemanlarla yapılmış bir duvarın 700 Hz' lik bir sesi %50'ye kadar yuttuğu, bu duvara bilinen lifsel malzeme eklendiğinde %90'a varan bir ses yutuculuğu yaptığı ortaya çıkmıştır.

Alçı sıva, akustik özelliğinden dolayı, teknik danışmanlar tarafından ülkemizdeki birçok otel, restoran veya toplantı salon gibi kalabalık mekânlarda sıva ve tavan kaplaması olarak şart koşulmaktadır (Anonim, 2009).

3.5. Çevre ve İnsan Sağlığı Açısından Alçı

Dünyanın en doğal yapı malzemesi olarak kabul edilen alçının tarihi binlerce yıla uzanmaktadır. Doğayla barışık bir hayat sürmekte olan insanoğlu her geçen gün daha yapay sürece girmektedir. Gerek bireysel gerekse çevre sağlığı dikkate alındığında ne denli dikkate alınması gerekliliği ortaya çıkmaktadır.

Yapılar eskiden organik malzemelerle ve alçının da önemli bir yer aldığı inorganik malzemelerle inşa edilirlerdi. Yapılar; doğasal ve insancıldır. Günümüzün "çağdaş" yaşam alanları ise, doğaya ve insan metabolizmasına yabancı, yapay malzemelerle şekillendirilmektedir. Doğa ve canlılar ile olan etkileşimlerini bilmeden,

salt teknoktarik bir gözle bakarak, oysa bu paralel, doğadan giderek uzaklaşan insanın kültürel çöküşünü gördüğümüz halde, hastalıkların, toplumsal mutsuzlukların artışını ve konutunu artık yuva olarak algılamadığını bildiğimiz halde, kanser hücreleri gibi betonlaşmaya devam ediyoruz. Bu bağlamda, yapı malzemesi olarak alçıyı inşaat günlüğünden alıştığımız fiziksel/ekonomik özellikleri ile sınırlandırmak yerine, bütünsel bir açıdan değerlendirmemiz doğru olur.

Aslında, yapılaşmanın odağını teknolojik fiziksel, ekonomik ve mimari çıkarlar yerine, ilk sırada saygınlığıyla, fiziksel ve ruhsal sağlığıyla insan alabilseydi, aralarında alçının da bulunduğu sağlıklı yapı malzemelerinin yapı sektörünün tüm alanlarında kabul görmeleri son derece kolay olacaktı. Oysa hem devlet yönetimlerince hem de kamusal araştırmacılar tarafından konunun ele alınması bile gereksiz görülmüş, hatta doğal yapı malzemelerine dönüş, kimi üniversite profesörlerince Ortaçağa geri dönmekle eş anlamlı görülmüştür. Sağlıklı malzeme bilincinin günümüzde tabana en fazla yayılabilmiş olduğu orta Avrupada bile durum 20 yıl önceki çevre koruma çalışmalarına benzemektedir. Coğrafyamızda ise "*ekolojik döngüyü bozmayan*" malzeme bir yana, çevrecilik kavramı bile ya özümsenmeden emekletilmeye çalışmakta, ya da ekonomik gelişmeyi engelleyen bir lüks olarak reddedilmektedir.

Piyasaya sürekli olarak yeni yapı malzemeleri, yapı donatım ekipmanları, mobilyalar vs. getirilmektedir. Bu ürünler özlü biyolojik ölçütler yerine, salt ekonomik, teknolojik ve fiziksel ölçütlere göre değerlendirilip tüketiciye ulaştırılmaktadır. Bu bağlamda belki de tek doğru, bir kobay haline gelen insanın "tüketici" tanımlamasına indirgenmesindendir.

Örgütlenen yeni yapı ve yerleşim alanları, beraberinde dikkate alınmayan, bütünü öğrenmeyen çok yönlü yeni sağlıksal etkileşimler getirir. Nitekim Dünya Sağlık Örgütü (World Health Organization-WHO)' nun tanımlamasına göre, en geniş kapsamı ile modern yapı sektörü, insanın "*bedensel-ruhsal ve toplumsal*" refahını en yüksek düzeye ulaştırmaya çalışmak yerine bugün daha çok köstek olmak durumundadır. Yapıların canlılar üzerindeki sağlıksal etkileri inkâr dilemez derecede önemli olduğu bilinmektedir. Doğa bilimlerinin bilgi kuramına göre her canlı, mikro kapsamda (yapı tabiat) makro kapsamda (iklim, atmosfer, evren) çevresinin bir ürünüdür ve bu çevre ile etkileşim içerisindedir. Yaşantımızın yüzde %90'ını yapay yollardan oluşturulmuş kapalı mekânlarda geçirdiğimize göre, bu yapay çevrelerinin duvarlarının, tavanlarının, iç donanımlarının ve malzemelerinin niteliklerini kuşkusuz önemsemeliyiz.

Bugün özellikle gelişmiş toplumlarda üzerinde önemle durulan bir konu "*sıhhi tedbirlilik*" tir. Yani hastaları tedavi etmek zorunda kalmak yerine, başından hastalanmamak için önlemler almış olmaktır. Bu alanda, konut hastalıkları ve kapalı ortama bağlı sağlıksal etkilenimleri açısından yapılarımız ve yapı malzemelerimiz en önemli bir rolü oynamaktadır. İçinde barındırdığımız bu yapay habitatların günümüzdeki durumu ise, ayrıntılara inmeden şu şekilde değerlendirebiliriz:

Hijyenik açıdan insanın saatte 30-60 m^3 temiz havaya ihtiyacı olduğu bilinmektedir. Oysa günümüzdeki konutlarda, okullarda, iş yerlerinde, iç mekân yüzeyleri yeteri kadar nefes alamadığından (difüzyona kapalı) bu ihtiyaç çok küçük bir oranda kalmaktadır. Neticede öncelikle nefes darlığı, yorgunluk, performans düşüklüğü, sağlıksal dispozisyon, zehirlenme vs. görülmektedir.

Modern yapılarda oda havasındaki nem oranı % 20-30 (kış aylarında) gibi, ekstrem sayılacak kadar düşük değerlerdedir. Sağlıklı bir iç mekânda nem oranı %40-60 arasındadır. Düşük nem oranı ile oluşan kuru hava özellikle soğuk algınlığı, astım, baş ağrısı ve halsizliğe yol açar.

Tehlikeli kimyasallarla ile üretilmiş olan çeşitli yapı malzemeleri, yapıştırıcılar, boya ve cilalar ile evlerde kullanılan temizlik maddelerinden sağlığa zararlı gazlar açığa çıkmaktadır.

Günümüzde yapılarda yaygın olarak kullanılan birçok yapı malzemesinin radyoaktif kirlilikleri, yeryüzündeki doğal ortam emisyonlarından kat kat fazladır. Bilindiği gibi bu alanda sağlığa zararlı olmayan, tolere edilir. Bir dozaj belirlenmesi yoktur.

Konutların, okulların, iş yerlerinin büyük çoğunluğunda, plastik maddelerin, sentetik, reçineli cilaların vs. kullanımı, ayrıca elektrik tesisatı ve ekipmanlarının gerektiği kadar yalıtılmaması nedeniyle, sağlıksal sakıncaları olan tahrişsel bir elektroiklim (elektrostatik yükler, elektromanyetik alternatif alanlar vs.) bulunmaktadır. Metabolizmamızda sürekli stres yüklemesi yaratan bu kangren iç iklim, kendisini öncelikle yorgunluk, sinirsel yakınmalar ve kalp rahatsızlıkları şeklinde belli eder.

Atmosfer ile bedenimizdeki hücre ve organlar arasındaki yaşamsal önemi olan yük değiş tokuşu etkileşimi (havadaki iyon dengesi, havadaki doğal elektriksel alanlar, düşük frekanslı alternatif alanlar, arazi ve yersel mikro dalgalar) modern konutlarda önemli ölçüde aksamaktadır. Halsizlik uyku düzensizlikleri, performans düşüklüğü, kan dolaşımı aksaması, depresyon semptomlarının nedenleri aynı zamanda bu aksamalara da bağlanmaktadır.

Psikologlar ve etologlarca yapılan araştırmalara göre doğaya yabancı olan kütlesel ikametler ile giderek yaygınlaşan psikolojik-ruhsal hastalıklar arasında yakın bağlantılar vardır. Nezaketsizlik, sıkılma, kendi kabuğuna çekilme, nevroz, duygusuzluk, saldırganlık, bayağılık, depresyonlar gibi günlük hayatımızda artık kabullendiğimiz rahatsızlıkları çoğu kez bir hastalık olarak bile görmekteyiz.

Sağduyumuz bize bu gerçeklerin ciddiyetle ele alınmasını ve malzeme seçiminde köklü bir düşünce dönüşümünün gerektiği söylenmektedir. Ancak, aralarında alçının sağlığımızı muhafaza etmek konusunda ihtiyati bir faktör ve bir terapi olarak görebilecek seviyenin ne yazık ki henüz daha çok uzağındayız (Anonim, 2010).

3.6. Alçı Duvar

Mekân, insanların içinde hareket edebileceği, eylemde bulunabileceği; ya düzlem elemanların bir araya getirilmesiyle, ya da üç boyutlu kitlelerin oyulmasıyla elde edilen kavramsal bir varlıktır (Aydınlı, 1986). Mekân kavramı, insan-çevre etkileşim sisteminin analizi için uygun koşulları sağlayan bir ortam ve içinde yaşayan kullanıcıların fizyolojik, psikolojik ve toplumsal gereksinmelerini karşılayan bir uzay parçası olarak kabul edilmektedir (Schulz, 1971). Mekân genellikle, mimari içerisinde kesin tanımlanabilen bir alan olarak anlaşılır. Fakat mekân, geometrik bir mekândan öte, bir kavramdır. Bireysel bir atmosfere sahiptir. İnsanın sosyo-kültürel doğası yanında duygusal doğasının da izlerini taşır. İnsanın kendisini dış mekâna karşı barındırdığı yer olmasının yanında akıl ve ruhunu da barındırdığı, böylece kendi benliği ile yakın ilişki kurduğu yerdir.

Mekân tasarımında fonksiyonelliğin ön planda tutulması kaydıyla, mekânı sınırlayan yüzeylerin oluşturulması sırasında, insanın psiko-sosyal gereksinmelerine cevap verecek şekilde, malzemenin doku, renk gibi özelliklerine göre seçimin yapılması ve malzemenin estetik eğerlere uygun kullanımı önem kazanmaktadır. Kullanıcının ihtiyacına göre işlevsel olarak tanımlanan mekânın, tasarım olarak benzerlerinden farklı olan özellikleri, mekânda kullanılan malzemenin yapısı ve bütünde oluşturdukları görsel etkilerle ilgilidir. İşlevlerine göre farklı özellikler gösteren mekânlar, bu özelliklerini mekânı çevreleyen düzlemlere de yansıtarak mekânın karakteristik özelliklerini belirlemektedir. Mekânın kimliği, yatay ve düşey düzlemlerde kullanılan malzemenin boyutu, konumu, rengi v.b. gibi özelliklere göre şekillenmektedir.

Mekânda düşey biçimler ve yüzeyler yatay düzleme oranla görsel alanda daha aktif yapı bileşenleridir. Kapalılık ve sağlamlık duygusu oluşturmakla birlikte, mekân ve biçimi belirlemede de yardımcıdırlar. Tasarımcı tarafından istenen mekân etkisini oluşturabilmek ve mekân anlamlandırılmasında daha etkin bir biçimde sağlayabilmek, özellikle düşey yüzeylerde, doğru kavrama göre belirlenecek malzeme, doku, desen ve renk ile gerçekleştirilir. Mekânda kullanılan malzemelerin desen ve dokusu, farklı derinlik algılamalarına neden olur. Rengi ise tasarım kavramını simgeler ve psikolojik etki, işlevsellik ile kimlik etkileri yaratmada vurgulamanın temel aracıdır. Günümüzde yaşadığımız tüm mekânlarda sınırsız dekoratif alternatifler ile birlikte duvar ve tavanda çeşitli sistemlerle yüzeyler oluşturmakta kullanılan alçı malzeme, binlerce yıldır birçok alanda kullanılmaktadır. Çok eski bir malzeme olmasına karşın, gelişen yapı teknolojisinin getirileri sayesinde, mimari yapılarda farklı kullanım biçimleri ve sistemleriyle, modern mekânların gerçekleştirilmesine olanak sağlayarak, çağdaş malzemeler arasına giren alçı, ses yalıtımı, ısı yalıtımı, nem tutuculuk, yangına karşı dayanım, iç hava kalitesinin arttırmak gibi fiziksel faydaları olan önemli yapı malzemelerinden biridir. Alçı malzemeye, teknolojik imkânların ve malzeme özelliklerinin izin verdiği ölçüde müdahale edilerek, fiziksel koşulların yanı sıra istenilen görsel koşulları oluşturacak etkileri kazandırmak da mümkündür. Bu özellikleri ile görsel alanda daha aktif olan düşey yüzeylerde kullanılan alçı sistemlerle, mekânda genişlik, derinlik, aydınlık vb. görsel, soğuk, sıcak, yumuşak, sert gibi görsel ve sezgiye dayalı algısal etkiler oluşturulabilir. İstenen mekân konseptine göre, yapılan müdahaleler ile alçı duvar sistemlerinin görsel algıya olan etkisi kontrol edilebilir ve istendiğinde doku, renk ve boyutsal düzenlemelerle, etkiyi değiştirme olanağı da kolayca sağlanabilir.

Fiziksel özelliklerinin yanında, mimari mekâna çok geniş görsel imkânlar sağlayan alçı duvar sistemleri, konsepte yönelik olarak doğru uygulandığında, estetik olarak mekân başlı başına bir tasarım öğesi haline gelmektedir.

Alçı duvar sistemlerinde, yüzeyler birbirine çatlak oluşmadan, ek yerleri belli olmadan eklenebilmektedir. Bu özellik sayesine büyük mekânlarda pürüzsüz duvar yüzeyleri oluşturularak görsel açıdan kesintisiz ve modern bir görünüm sağlanmasına da olanak vermektedir. Ayrıca uygulanabilirliğindeki kolaylık, her türlü formun gerçekleştirilmesini de rahatlıkla sağlamaktadır.

Dünyanın birçok ülkesinde, sağladığı fiziksel konfor, dayanıklılık ve tasarım esnekliği nedeniyle dikkat çeken bir yapı malzemesi olan alçı ve alçı duvar sistemleri,

görsel açıdan da son derece estetik, modern ve kullanışlı mekânlar oluşturulmasına olanak vermektedir. Ülkemizde de özellikle son yıllarda alçı yapı malzemesi kullanımı artmış, daha çok mekânlarda alçı sıva ve bezeme şeklinde kullanılan alçı, alçı duvar sistemlerinin gelişmesi, çeşitlenmesi ve tasarımcının alçı malzeme hakkındaki bilgisinin çoğalmasıyla birlikte, daha çok tercih edilen bir malzeme haline gelmeye başlamıştır. Diğer yapı malzemelerine oranla, kolay bulunabilir ve uygulanabilir olması, tasarımları gerçekleştirmekteki kolaylığı, fiziksel ve görsel avantajları gibi olumlu özellikleri ile iç mekân tasarımında popüler bir malzeme olma yolunda ilerlemektedir (Anonim, 2011).

4. DARBE MEKANİĞİ

4.1 Düşük Hızlı Darbenin Mekaniği

Çarpışan iki cismin yüzeyleri bir araya geldiğinde küçük bir temas alanında basınç yükselir. Temas süresince her bir anda, temas alanındaki basınç yerel bir deformasyon ve akabinde bir nüfuziyet meydana getirir.

Darbe sırasında her bir anda, ara yüzey veya temas basıncı çarpışan iki cisimde zıt doğrultularda etki eden bir etki veya tepki bileşke kuvvetine sahiptir, böylece cisimlerin birbirine geçmesine karşı direnme oluşur. Başlangıçta nüfuziyetin artmasıyla kuvvet de artar ve bu kuvvet birbirine yaklaşan cisimlerin süratini azaltır. Darbe olayında belli bir anda temas kuvvetlerinin yaptığı iş her iki cismin süratinin sıfır olmasını sağlar ve neticede sıkışma sırasında biriktirilen enerji iki cismi birbirinden ayırmaya zorlar. Sonunda bu cisimler birbirlerinden belli bir izafi hızla ayrılırlar. Katı cisimlerin arasındaki darbede, çarpışma süresince etki eden temas kuvveti, iki cisim yüzeylerinin bir temas alanı oluşturması için gerekli yerel deformasyonların bir neticesidir.

Darbe esnasında ortaya çıkan yerel deformasyonlar çarpışan cisimlerin sertliliğine olduğu kadar temas başlangıcındaki izafi çarpma hızına bağlı olarak ta değişir. Düşük hızlı çarpışmalar sadece küçük deformasyonlara neden olan temas basınçlarını doğurur. Bunlar temas alanının yakınlarındaki küçük bir bölgede önemlidir. Yüksek hızlarda temas alanının yakınlarında plastik akmadan kaynaklanan büyük deformasyonlar (birim şekil değiştirmeler) vardır. Bu büyük yerel deformasyonlar, krater oluşturma ve dalma (penetration) şeklinde büyük belirginlikte olup kolaylıkla gözlenebilir. Her bir durumda deformasyonlar, çarpışan cisimlerde hız değişimine neden olan temas kuvvetlerinin bir parçasıdır. Büyük plastik deformasyonlara neden olacak çarpma hızı $102\times V_y$ ile $103\times V_y$ arasındadır. Buradaki V_y yumuşak bir cisimde plastik akmayı başlatmak için gerekli en düşük izafi hız olup metaller için akmadaki normal çarpma hızı 0,1 m/s mertebesindedir (Stronge 2000).

4.1.1. Normal temas kuvvetinin işi

Normal temas kuvvetinin sıkışma ve geri bırakma aşamalarında yaptığı iş, sıkışma esnasında uygulanan impuls p_c ile ayrılmadaki son impuls p_f arasında bir bağıntı

verir. Sıkışma süresince normal temas kuvveti şekil değiştirebilen parçacık üzerinde gerçekte, temasın başlangıç noktası civarındaki şekil değiştiren küçük bölgede bir iş yapar. Bu iş parçacığı deforme eder ve iç enerjisini yükseltir. Şüphesiz, parçacığı sıkıştıran kuvvetin bir eşi olan fakat zıt yöndeki kuvvet sıkışma esnasında normal izafi hareketin kinetik enerjisini düşürür. Parçacığın sıkışmasında yutulan enerjinin bir kısmı, geri bırakma sırasında eski haline gelebilir. Enerjinin eski haline gelebilen bu kısmı elastik zorlanma enerjisi olarak bilinir (Stronge, 2000).

Kuvvetin impuls'un türevi $dp = Fdt$ ile bağıntılı olduğu hatırlanarak F kuvvetinin normal bileşeninin sıkışabilir parça üzerinde yaptığı iş W_d hesaplanabilir:

$$W_n = \int_0^t Fvdt' = \int_0^p vdp' \tag{4.1}$$

Malzeme tarafından yutulan enerjinin hesabı, denklem 4.1'den ve kuvvet-yer değiştirme eğrisinin altında kalan alandan hesaplanır.

Hesap modülünün anlatımı Ek-1' de detaylı olarak verilmiştir.

4.2 Serbest Düşme Hareketi

Serbest düşme hareketi için hava direncinin ihmal edilmesi varsayılır ve cismin yerçekimi ivmesinin de yükseklik boyutuyla değişmediği kabul edilirse, cismin hareketi sabit ivme altındaki bir boyutlu harekete özdeştir.
Serbest düşmede ilk hız sıfır olduğu için;

$$v = \sqrt{2gh} \tag{4.2}$$

4.3 Darbe Enerjisi

Bir cismin h yüksekliğindeki vurucu ucun kütlesinin sahip olduğu toplam potansiyel enerji ise;

$$\Pi = m.g.h \tag{4.3}$$

Bu deneyde kullanılan vurucu ucun kütlesi 6.350 kg olarak kullanılmıştır.

Çizelge 4.1' de her bir çarpma hızı için Denklem (4.2) ve Denklem (4.3) kullanılarak hesaplanan vurucu kütlesinin darbeden önce sahip olduğu toplam potansiyel enerji değerleri verilmiştir.

Çizelge 4.1. İstenilen çarpma hızı için hesaplanan yükseklik ve darbe enerjisi değerleri (m=6.35 kg)

Çarpma Hızı (m/s)	Yükseklik (cm)	Darbe Enerjisi (J)
0.793	3.21	2.00
1.122	6.42	4.00
1.374	9.63	6.00
1.587	12.84	8.00
1.774	16.05	10.00
1.944	19.26	12.00

5. SANDVİÇ KOMPOZİT ALÇI MALZEMELERİN DARBE DAVRANIŞI

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

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

Evler, iş yerleri, oteller gibi birçok mekânda alçı panel levhalar duvar ve tavan kaplama malzemesi olarak kullanılmaktadır. Bu kullanım yerlerinde malzemenin minimum zarar görmesi istenmektedir. Minimum zarar görebilmesi içinse alçı levhaların darbelere karşı maksimum direnç göstermesi amaçlanmaktadır. Darbeden kaynaklanan hasarlar üretim, bakım ve güncel hayat sırasında da ortaya çıkabilir. Alçı panel levhalarda darbe sonucu oluşan hasar, eşyaların çarpılması, kişilerin yumruk, dirsek ve tekme atması gibi çeşitli şekillerde meydana gelebilmektedir. Darbeye maruz kalan alçı levhalarda çeşitli hasar mekanizmaları oluşmaktadır. Bunlar yüzeyde ezilme, çökme şeklinde olabileceği gibi levhanın delinmesi şeklinde de ortaya çıkabilir.

Sandviç kompozit alçı panel levhaların darbe direncini artırmak için, alçı levhalara, duvar kâğıdı, cam file ve her ikisi bir arada tatbik edilmiştir. Böylece alçı levhaların mukavemetinin artırılması sağlanmıştır.

5.1. Düşük Hızlı Darbenin Belirlenmesi

Genel olarak, darbeler düşük hızlı ve yüksek hızlı olarak sınıflandırılırlar, fakat bu kategoriler arasında açık bir geçiş yoktur. Yapılan araştırmalar bu geçişin belirlenmesinde henüz net bir sonucun elde edilemediğini göstermektedir. Bu konuda yapılmış çalışmalardan bir kısmı düşük hızlı darbeyi ki bunlar statikmiş gibi düşünülebilir, hedefin ve çarpan cismin rijitliğine, malzeme özelliklerine ve çarpan cismin kütlesine bağlı olarak 1 ila 10 m/s arasında değişen hızlar olarak değerlendirilmesi gerektiğini savunmaktadır. Düşük hızlı darbeye en basit örnek olarak bir 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 da kullanılır. Düşük hızlı darbede, malzemenin içyapısında darbeye karşı cevap verebilmek için gerekli olan temas süresi yeterlidir. Bu nedenle hedefin dinamik yapısal cevabı çok büyük bir öneme sahiptir (Ceyhun ve Turan, 2003).

5.2. Enine Darbe

Kompozit malzemelerin en hassas oldukları yükleme durumu düzlem dışına doğru olandır. Çünkü kalınlık doğrultusunda tabaka düzleminde olduğundan daha zayıftırlar. Sonuç olarak, enine darbeye maruz kalan kompozit malzemeler, toplam yük taşıma kapasitelerinde önemli düşüşlere sebep olan hasarlara uğrarlar. Benzer şekilde alçı panel levhalarda enine darbeye maruz kaldıklarında zayıf özellik gösterirler. Bu malzemelerin enine darbe yüklerine karşı göstermiş oldukları cevap çok karmaşıktır. Bu, alçı panel levhanın kendi özellikleri kadar levhaya ilave edilen yapılara da bağlıdır. Ayrıca, darbeye verilen cevap çarpan cismin geometrisine, hızına ve kütlesine de bağlıdır. Her biri enine darbenin toplam etkisini nitelendirme de önemli bir rol oynar. Darbe yüklemesi altında çarpan cismin gözle görülemeyen veya zayıf şekilde seçilebilen nüfuziyetine kadar değişebilen farklı şekillerde hasar modları mevcuttur. Düşük hızlı darbeler levha üzerinde ezilme şeklinde gözle görülen hasarlar oluşturur.

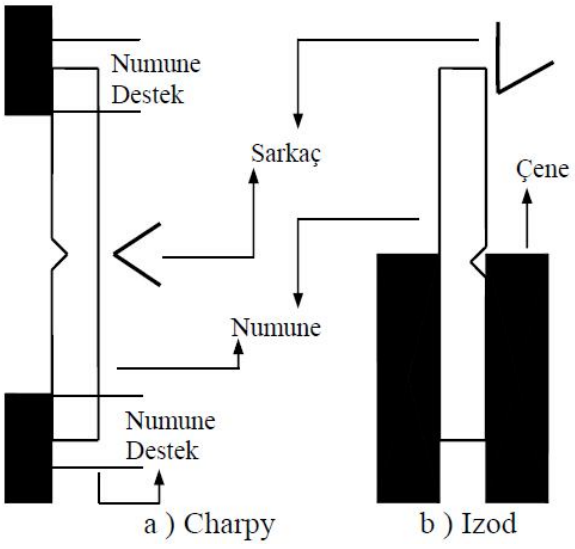
Bu hasara ilaveten çarpma hızına göre yüzeyde göçme ve levhada delinme hasarları ortaya çıkabilir. Bu da yüzeyin estetik olarak bozulmasına ve mukavemette önemli derecede bir düşüşe sebep olur.

5.3. Darbe Testleri

Kompozit malzemelerin darbe direncinin, bir cismin kompozit malzemeye enine doğrultudaki darbesini benzeştiren deneylerle karakterize edilebileceği açıktır. Bununla birlikte kompozit malzemelerin darbe davranışını karakterize etmek için standart bir test tekniği veya farklı ülkeler, kuruluşlar ve araştırmacılar arasında yaygın bir şekilde kabul edilen herhangi bir teknik mevcut değildir. Bu durum, farklı kaynaklardan alınan sonuçların karşılaştırılacağı zaman, kompozit malzemelerin darbe cevabı için uygun bir model geliştirme girişimleri için problem yaratmaktadır. Bu olumsuzluklara rağmen kompozit malzemelerin darbe dirençlerinin belirlenmesi amacıyla günümüzde aşağıdaki test yöntem ve cihazları yaygın olarak kullanılmaktadır. Bunlar genellikle üç kategoride sınıflandırılabilirler:

• Sarkaç testleri (Izod ve Charpy)
• Hava veya gaz silah testleri (düşük hız veya balistik testler)
• Ağırlık düşürme testleri

Bu testlerden Izod ve Charpy test düzenek şemaları Şekil 5.1'de görüldüğü gibidir.

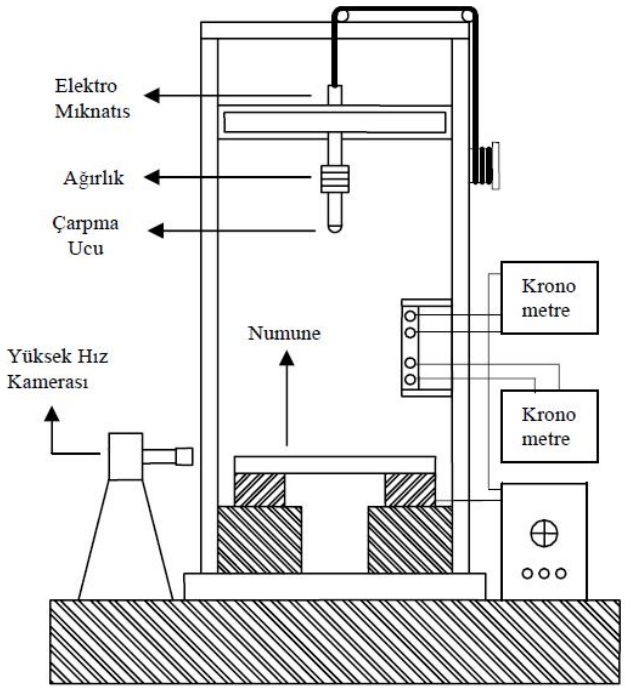


Şekil 5.1. Charpy ve Izod darbe test düzenekleri

Charpy ve Izod darbe test yöntemlerinde çentik açılmış bir test numunesi, standart bir yükseklikten bırakılan bir sarkaç ile darbeye maruz bırakılır. Darbeden sonra sarkacın çıktığı yükseklik tespit edilerek sarkacın ilk ve son konumdaki enerji farkı numune tarafından soğurulan darbe enerjisi olarak ölçülür. Darbeden sonraki sarkacın yüksekliği ne kadar az ise, soğrulan darbe enerjisi, dolayısıyla malzemenin darbe direnci veya tokluğu da o derece yüksektir. Charpy ve Izod test yöntemleri ufak farklılıklar dışında birbirine çok benzerler. Bu farklılıklardan en önemli olanı, numunenin desteklenme şekli ile çentiğin destek ve darbe noktalarına göre konumudur (Ceyhun ve Turan, 2003).

Son yıllarda kompozit malzemelerin düşük hızdaki darbe testlerini karakterize etmek için sarkaç veya ağırlık düşürme darbe test cihazlarının bir araya getirilmesiyle oluşturulmuş darbe test cihazlarının kullanımı giderek artmaktadır. Ağırlık düşürme test yöntemi, kompozit malzemelerin darbe testleri için tercih edilen yöntem olmaya başlamıştır. Bunun en önemli sebebi daha geniş bir alanda test parametrelerinin belirlenmesi mümkündür ve sonuçlar çok daha kolay analiz edilebilmektedir.

Bu cihazların bazıları yer değiştirmeyi veya ivmeyi ölçmektedirler. Bu sayede yük, yer değiştirme ve ivmenin çarpma anındaki değişimi kaydedilir. Bu sonuçlar, darbe yükü-zaman ve darbe enerjisi-zaman değişimlerine dönüştürülebilir. Bunlar sayesinde, en uç noktadaki yük ve soğurulan enerji gibi özellikler malzemede meydana gelen kırılma işlemiyle ilişkilendirilebilirler. Tipik bir ağırlık düşürme test cihazı Şekil 5.2'de görüldüğü gibidir. Böyle bir cihazı meydana getiren donanım: platformlarla desteklenen numune, tüp içerisine yerleştirilen yük ölçme cihazları (yük hücresi), çarpışmadan hemen önceki tüp hızını ölçmeye yarayan fotoelektrik hücreler ve darbe olayını görüntülemek için kullanılan yüksek hız kamerasıdır.



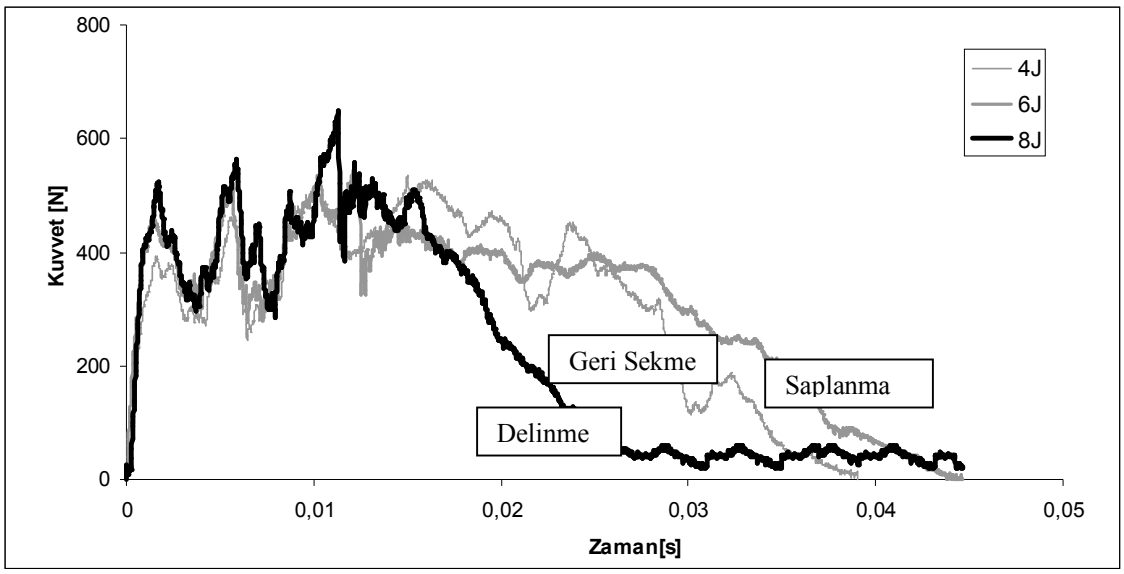
Şekil 5.2. Ağırlık düşürme test düzeneği

Kompozit malzemelerin darbe özelliklerini darbe test cihazı (serbest ağırlık düşürme, sarkaç, silah v.b), çarpan cismin karakteristiği (içi dolu veya boş, uç şekli ve boyutu v.b), çarpan cismin hızı ve kütlesi (veya enerjisi), numunenin yapılandırması (boyutu, geometrisi, numune ve destek noktalarındaki uçların sabitlenmesi v.b) etkilemektedir. Bu nedenle kompozit malzemelerin darbe özellikleri söz konusu olduğu zaman tüm bu kıstasların da göz önünde bulundurulması gerekmektedir (Kara, 2006).

5.4. Darbe Karakteristiğini Belirlemede Kullanılan Grafikler

5.4.1. Kuvvet-zaman (F-t)

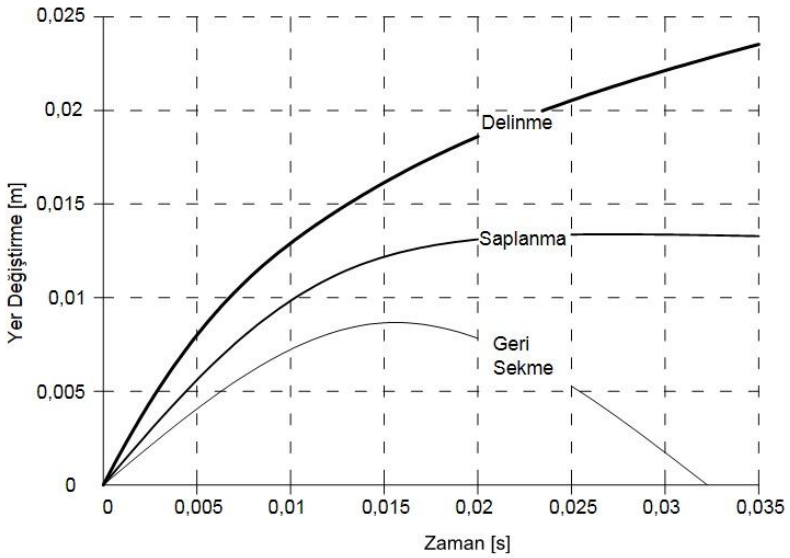
Kuvvet-zaman eğrileri darbe olayı sırasında sandviç alçı kompozit levhalarda kullandığımız darbe davranışlarını incelediğimiz diyagramlardandır. Bu grafiklerde sekme, saplanma ve delinme eğrilerinin durumu gözlemlenmektedir. Sekmede darbe enerjisinin bir kısmı yutulduğu gözlenir darbe enerjisi artırıldığında önce saplanma daha da artırıldığında delinme meydana gelir. Şekil 5.3' te görüldüğü gibi delinme eğrisinde yatay eksene paralel hareket etmektedir.



Şekil 5.3. Kuvvet-zaman (F-t) eğrileri

5.4.2. Yer değiştirme-zaman (d-t)

Sandviç alçı kompozit levhalarda darbe davranışlarını incelemek için kullandığımız diğer bir diyagram yer değiştirme - zaman eğrileridir. Şekil 5.4'da geri sekme, saplanma ve delinme durumlarındaki eğrilerin değişimleri görülmektedir. Darbe enerjisi ile çökme miktarı doğru orantılıdır. Yarı küresel uçtaki darbe enerjisi arttıkça numunedeki çökme miktarı artmaktadır. Geri sekmede numune üzerine vurucu uç temas ettikten sonra enerjisinin bir kısmını kullanır ve geri kalan enerjisini de geri sekmede kullanır. Geri sekmede saplanma ve delinmeye nazaran daha az çökme meydana gelir. Geri sekmedeki darbe enerjisi artırıldığında numunede saplanma meydana gelir. Saplanma eğrisinde de görüldüğü gibi hız sıfıra indiğinde çökme sabit kalır. Saplanmadaki darbe enerjisi daha da artırılırsa numunede delinme meydana gelir. Delinmede numunede sürtünme devam etmesinin yanında çökmenin de devam ettiği görülmektedir.

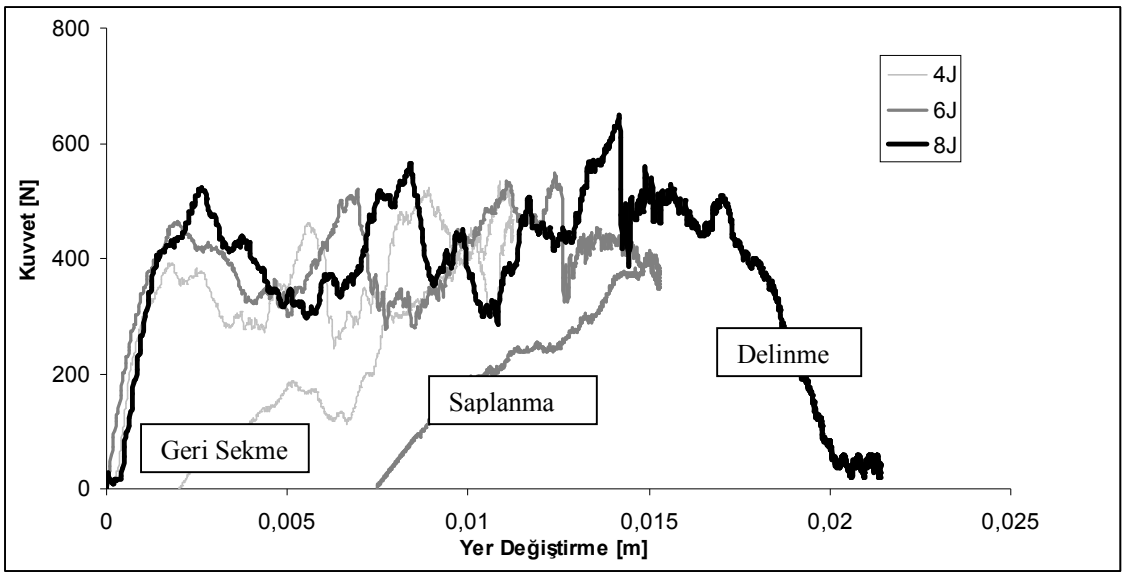


Şekil 5.4. Yer Değiştirme-zaman (d-t) eğrileri

5.4.3. Kuvvet-yer değiştirme (F-d)

Kuvvet-yer değiştirme eğrileri darbe olayı sırasında sandviç alçı kompozit levhalarda kullandığımız darbe davranışlarını incelediğimiz diyagramlardandır. Darbe davranışları, artan darbe enerjisiyle oluşacak eğriler, kapalı ve açık olmak üzeri iki tipte gerçekleşir. Geri sekme olayının yaşandığı durumlarda, vurucu kütlenin darbe enerjisinin bir kısmı numune tarafından yutulurken diğer kısmı da vurucu ucun geri sekmesinde kullanılır. Bu durumlar kapalı tip olarak adlandırılır. Saplanma veya delinme olayının gerçekleştiği durumlarda ise eğriler kapalı tipten açık tipe dönüşür.

Şekil 5.5' te verilen kuvvet-yer değiştirme eğrisinde, 4 J darbe enerjisi için kapalı tip eğri meydana gelirken 6 J darbe enerjisi için açıktan kapalıya dönen bir eğri mevcuttur. 8 J darbe enerjisi için ise açık tip eğri görülmektedir. 8J darbe enerjisi neticesinde oluşan eğrinin son kısmı yatay eksene paralellik arz etmektedir. Bu paralel hareket etme, numunede delinme meydana geldiğini belirtmektedir. Numune ile yarı küresel vurucu arasında sadece delinme sonrası sürtünmenin meydana geldiğini ve darbe enerjisinin ne kadar artırılırsa artırılsın numunenin daha fazla enerji yutamayacağı anlamına gelmektedir.

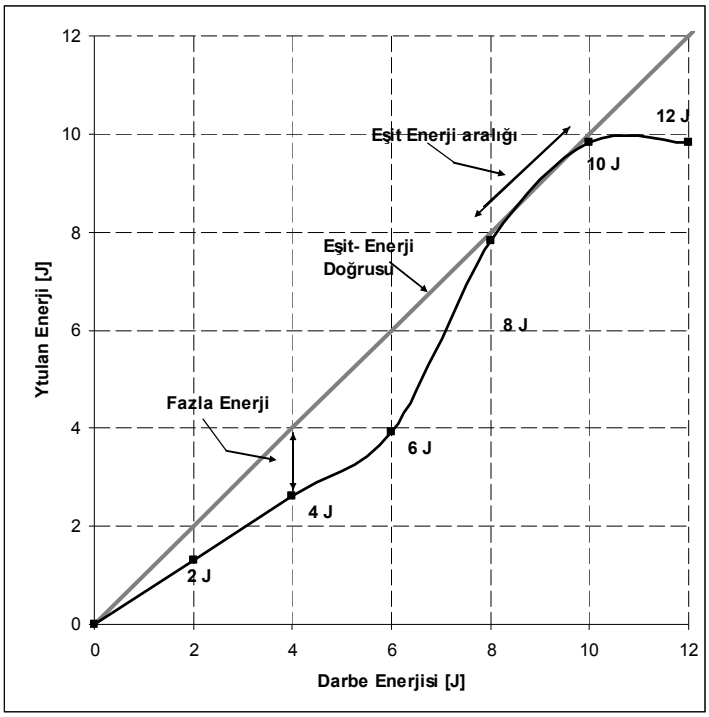


Şekil 5.5. Kuvvet-Yer Değiştirme (F-d) eğrileri

5.5. Enerji Profili Metodu (EPM)

Enerji profili metodu (EPM) darbe enerjisi ile numune tarafından yutulan enerji arasındaki ilişkiyi gösteren diyagrama denir. Enerji profili metoduyla saplanma ve delinme sınırı belirlenebildiği gibi aynı zamanda darbe enerjisiyle, yutulan enerji karşılaştırılması da yapılabilmektedir.

Darbe test cihazımızda belli bir noktaya kadar yükseltilen vurucu uca potansiyel enerji yüklenmiştir. Vurucu uca yüklenmiş olan potansiyel enerji, darbe esnasında numuneye aktarılmaktadır.



Şekil 5.6. Enerji profili diyagramı

Şekil 5.6' de enerji profili diyagramı görülmektedir. Yutulan enerji ile darbe enerjisi arasındaki bağı anlamamız için oluşturulan ideal bir diyagramdır. Yutulan enerji ile darbe enerjisi arasındaki bağıntıyı daha kolay anlamamız için bu grafiğe bir köşegen çizilmiştir. Deneyler sonucunda elde edilen yutulan enerji ve darbe enerjilerine göre veri noktaları belirlenmiştir. Bu veriler arasındaki ilişkiyi göstermek için en küçük kareler metoduyla bir eğri çizdirilerek veriler arasındaki ilişki bulunmuştur.

Şekil 5.6' de görüldüğü gibi 2 J, 4 J ve 6 J enerjide Eşit enerji doğrusunun altında kaldığı görülmektedir. Bu durum bize geri sekmenin meydana geldiğini göstermektedir. Eşit enerji doğrusuyla noktalar arasındaki fark fazla enerjiyi göstermektedir. 8 J ve 10 J noktası bize saplanma olduğunu darbe enerjisinin tamamına yakınını vurucudan numuneye aktarıldığını göstermektedir. Saplanma gerçekleştiği 8 J ve 10 J darbe enerjilerinde vurucudaki enerji numuneye aktarıldığından geri sekme olayı artık meydana gelmemektedir. Saplanmayla birlikte fazla enerjide ortadan kalkmıştır. 8 J ve 10 J noktaları eşit enerji doğrusu üzerinde bulunması bu kısmın eşit enerji aralığı olarak adlandırılmasını sağlar. 10 J delinme sınırını göstermektedir. Bu noktadan sonra vurucu numuneyi delip geçer bu noktadan sonra yutulan enerji hemen hemen değişmez.

6. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

6.1. Deney Numunesinin Hazırlanması

Alçı levha tabakalı kompozitler ile çok sayıda düşük hızlı darbe çalışması mevcuttur. Yapılan çalışmalar incelendiğinde düşük hızlı darbe için standart numune ölçülerinin olmadığı görülmektedir.

Bu çalışmada kullanılan deney numuneleri sırasıyla alçı levha, alçı+75 gr/m² file, alçı+duvar kâğıdı, alçı+75 gr/m² file+duvar kâğıdı olarak seçilmiştir.

Deney numuneleri ALÇI MARKET Toptan Satış ve Uygulama Ltd. Şirketi, Konya, Türkiye tarafından üretilmiş ve istenilen ölçülerde kesilerek hazırlanmıştır.

Daha sonra yapısı ve çalışması açıklanacak olan cihaz üzerindeki vurucu 6.350 kg' lık bir kütleye sahiptir. Alçı levhanın dayanım gücüne göre bu kütle seçilmiştir. Numunenin uzunluğu geliştirilen cihaz üzerindeki bağlama aparatına uygun olarak belirlenmiştir. Deney numunesi dört tarafı mandalla sabitlenerek bağlanmıştır. Günlük hayatta alçı levha uygulamalarında dört tarafından sabitlenip kullanıldığı göz önüne alınarak, deneyler dört tarafı mandallarla sabitlenerek yapılmıştır.

6.2. Malzeme Özelliklerinin Belirlenmesi

Tabakalı kompozitin mekanik davranışı deneysel olarak belirlenmiş mekanik özelliklerle tanımlanmıştır (Çizelge 6.1). Her bir malzeme özelliği için dört ila altı adet deney numunesi kullanılmıştır.

Çizelge 6.1 Alçı kompozitin mekanik ve fiziksel özellikleri

		Sembol [birim]	
Modul Parametreleri	Kuru Birim Ağırlığı Özgül Ağırlık Sertliği	kg/m^3 kg/m^3	720 2.3 1.7

6.3. Deney Cihazının Hazırlanması

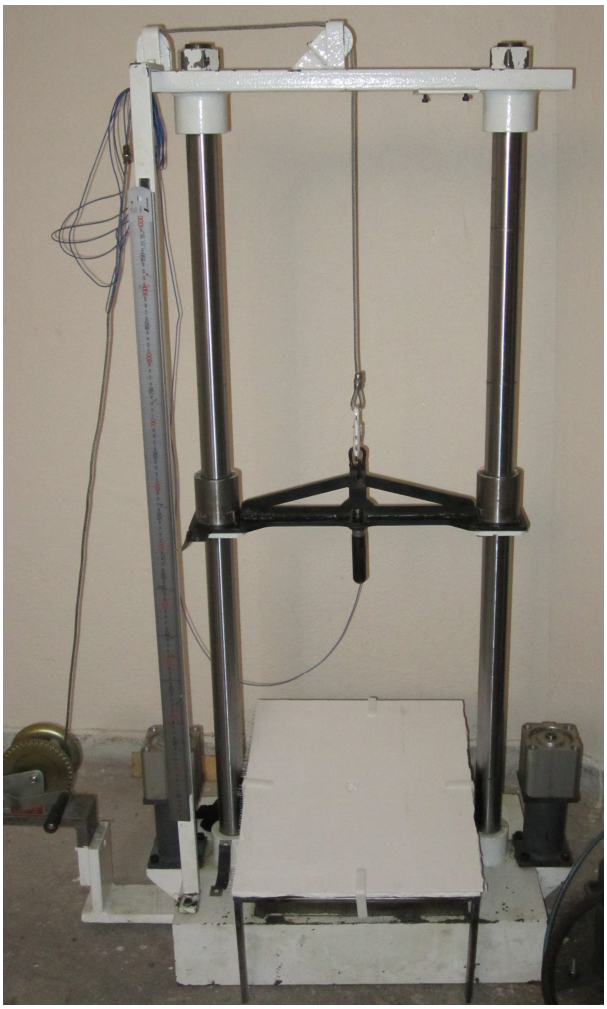
6.3.1. Ağırlık düşürme test cihazı

Dinamik darbe testleri numunelerin düşük hızlı darbe davranışlarını elde etmek için özel olarak imal edilmiş test cihazı ile yapılmıştır. Cihaz farklı darbe enerjilerinde, darbenin başlangıcından sonuna kadar, darbeyi kaydedebilen özel bir kabiliyete sahiptir.

Cihaz 1.4 m yüksekliğindedir. Vurucu 6.350 kg kütleli olup 1.0 m den serbestçe düşebilmektedir. Ağırlığın istenilen mesafeden bırakılabilmesi için kilit mekanizması vardır. Böylece değişik darbe hızlarında deney yapılabilmektedir. Serbest düşme ile en büyük teorik hızımız 4.43 m/s' dir.

Cihazımız üç ana elemandan oluşmaktadır. Bunlardan birincisi bağlama aparatı, çelik miller ve vurucu kütlesini üzerinde tutan alt tabladır. İkincisi ise çelik mil-vurucu kütlesi bağlantısı ve numune bağlama aparatı grubudur. Son elemanımız ise elektronik kontrol ünitesidir. Ağırlık düşürme test cihazımız Şekil 6.1' de görülmektedir.

Ayrıca cihaz üzerinde vurucu kütlesini istediğimiz yüksekliğe kaldırabileceğimiz bir palanga sistemi mevcuttur. Palanga halatının uç kısmında vurucu kütlesini tutan bir mekanik kanca sistemi vardır. Bu sistemin üzerinde bulunan manüel kol kaldırıldığı anda vurucu kütlesi serbest düşme ile çelik mil üzerinde düşey harekete geçer (Şahin, 2011).



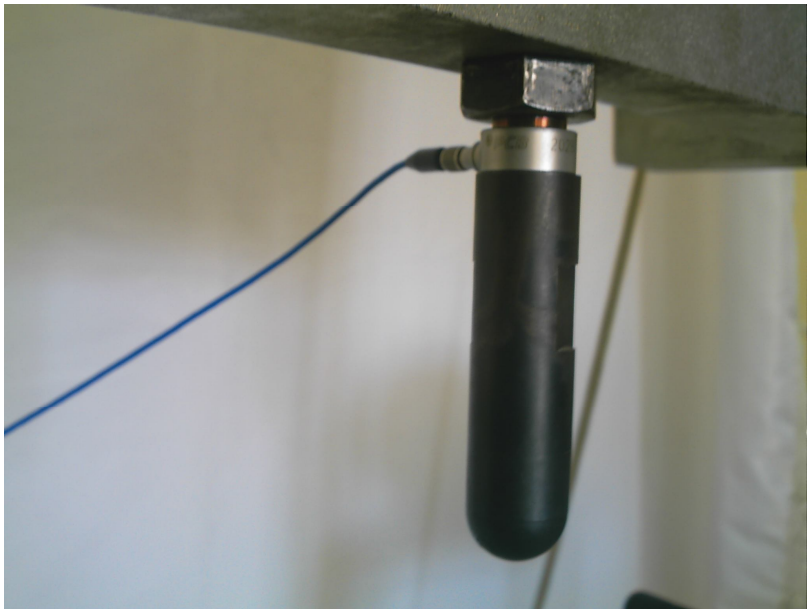
Şekil 6.1. Ağırlık düşürme test cihazı

6.3.2. Vurucu geometrisi ve kuvvet algılayıcı

Vurucu kütlenin en az sürtünmeyle serbest düşmesini sağlamak amacıyla lineer yatak sistemi kullanılmıştır. Çelik miller üzerinde hareket eden karşılıklı iki lineer rulmanlı yatak Şekil 6.1'de görüldüğü gibi vurucu kütlesinin her iki kenarına bağlanarak monte edilmiştir.

Vurucunun kütlesi bağlı olduğu lineer yatak ve bağlama elemanlarıyla birlikte 6.350 kg' dır. 24 mm çapında, yarı küresel uçlu bir geometriye sahiptir.

Şekil 6.2'de vurucu ile kuvvet algılayıcı bağlantısı görülmektedir. Deneyde kullanılan kuvvet algılayıcı PCB Quartz ICP Force Sensor (M202B04) modelidir. 22.6 kN ölçme kapasitesi vardır. Vurucu kütlesi ile vurucu arasına monte edilmiştir. Kuvvet algılayıcıya bağlı düşük gürültülü teflon kablo yardımı ile sinyal elektronik kontrol ünitesine iletilmektedir (Şahin, 2011).



Şekil 6.2. Vurucu-Kuvvet algılayıcı bağlantısı (Kara, 2006)

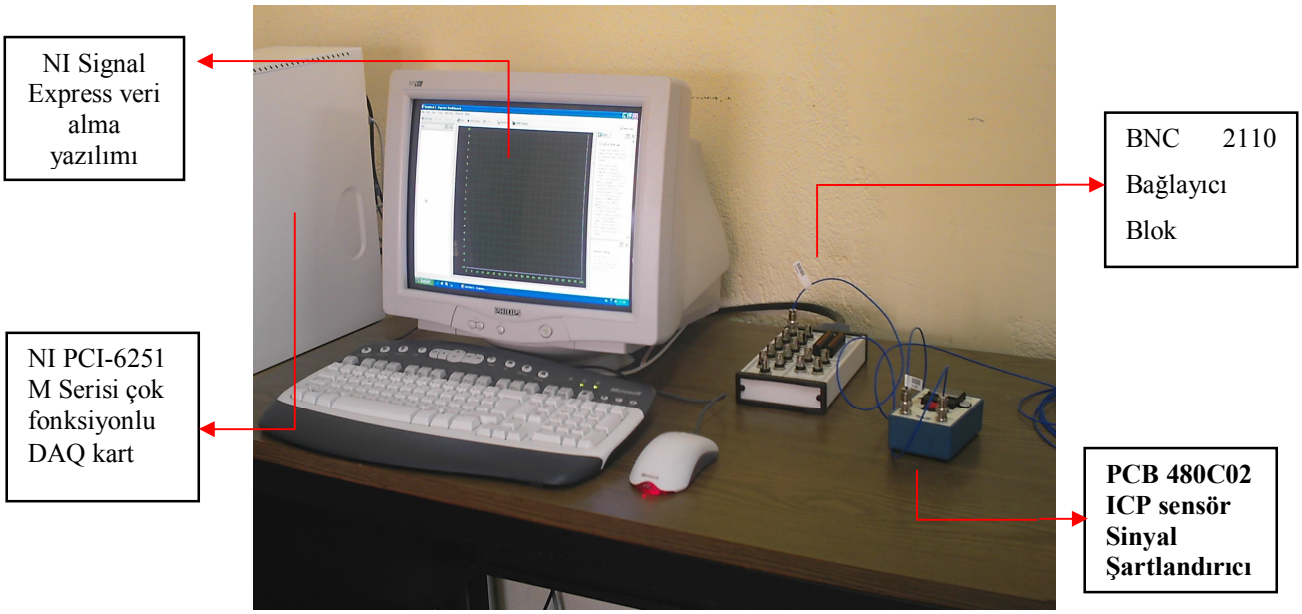
6.3.3. Elektronik kontrol ünitesi

Elektronik aksamda kuvvet algılayıcıdan gelen sinyali algılayıp yükselten bir sinyal şartlandırıcı mevcuttur. Kuvvet algılayıcıya ve sisteme uyumlu olabilmesi için PCB 480C02 ICP tipinde bir sinyal şartlandırıcı seçilmiştir. 24 volt gerilimle çalışmaktadır. Enerjisi üç adet 9 volt'luk pil ile sağlanmaktadır. Kuvvet algılayıcı ile sinyal şartlandırıcı arasındaki bağlantıda PCB 003C30 teflon kablo kullanılmıştır. Kablo kuvvet algılayıcıdan gelen sinyalin özelliğini kaybetmeden iletilmesini sağlamaktadır.

Sinyal şartlandırıcıda yükseltilen sinyali veri toplama kartına iletilebilmesi için BNC bağlayıcı blok kullanılmıştır.

Ana kart üzerine yerleştirilen veri toplama kartı ise gelen sinyali algılayıp işleyen karttır. NI PCI-6251 M serisi çok işlevli DAQ kart seçilmiştir.

NI Signal Express yazılımı ile zamana göre kuvvetin değişim grafiği elde edilmiştir. Şekil 6.3'de elektronik kontrol ünitesi görülmektedir (Kara, 2006).



Şekil 6.3. Elektronik kontrol ünitesi (Kara, 2006)

6.4. Deneyin Yapılması

Şekil 6.4'de görüldüğü gibi deneyde kullanılan numuneler dört tarafı sabit olacak şekilde bağlama aparatına bağlanmıştır. Numune boyutları 500×400 mm dir. Numune kalınlığı ise yaklaşık 15 mm' dir. Merkezi çarpmanın temini için önce her bir deney numunesinin merkezi markalama ile tespit edilmiştir. Darbenin belirlenen bu merkeze yapılması için numune bağlama aparatına uygun bir şekilde yerleştirilmiştir.



Şekil 6.4. Dört tarafından mesnetlenmiş deney numunesi

Deneyler 2 J ile 12 J arasında yapılmıştır. Bu enerjileri elde edebilmek için vurucu kütlesini bırakacağımız yükseklik teorik olarak hesaplanmıştır. 6.350 kg kütleli vurucunun istenilen darbe enerjisini sağlayacak yükseklikler Çizelge 4.1'de verilmiştir. Yarı küresel uçlu vurucu ile her bir numunenin merkezine darbe yapılmıştır. Darbenin ilk başlangıcından sonuna kadar bütün veriler kuvvet algılayıcı tarafından elektronik aksama iletilmiştir. Bu veriler Signal Express yazılımı ile elde edilen kuvvetin zamana göre değişim grafiğinde gösterilmiştir. Deneyde her bir deney numunesi için altı ayrı çarpma hızında elde edilen en büyük temas kuvvetleri ve bu kuvvetlerin etkisi incelenmiştir.

7. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

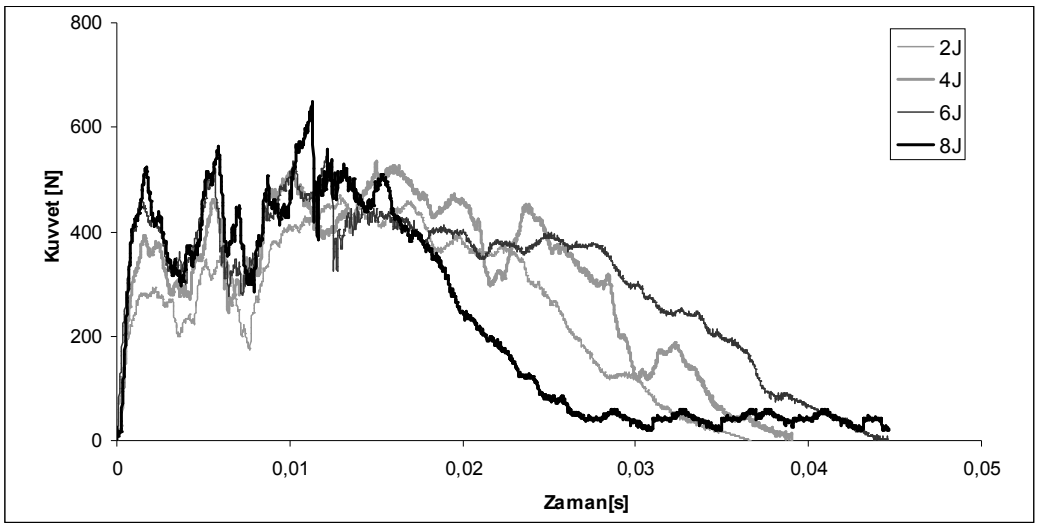
7.1. Alçı ve Kompozit Alçı Levhaların Düşük Hızlı Darbe Deney Sonuçları

Alçı ve kompozit alçı levhaların düşük hızlı darbe davranışlarının belirlenmesi amacıyla deney numunelerine farklı enerji seviyelerinde düşük hızlı darbe deneyleri uygulanmıştır. Buna göre darbe deneyleri 2 J, 4 J, 6 J, 8 J, 10 J ve 12 J çarpma enerjilerinde gerçekleştirilmiştir. Numune sehpası üzerine yerleştirilen numunelerin orta noktasına yarı küresel uçlu vurucu ile darbe yapılmıştır. Darbenin başlangıcından sonuna kadar kuvvet değişim verileri kuvvet algılayıcı tarafından elektronik aksama iletilmiştir. Bu veriler Signal Express yazılımı ile elde edilen, kuvvetin zamana göre değişim grafiğinde gösterilmiştir. Temas kuvveti-yer değiştirme ve yer değiştirme-zaman değişimleri düşük hızlı darbenin kinetik analizi neticesinde elde edilmiştir (Kara, 2012).

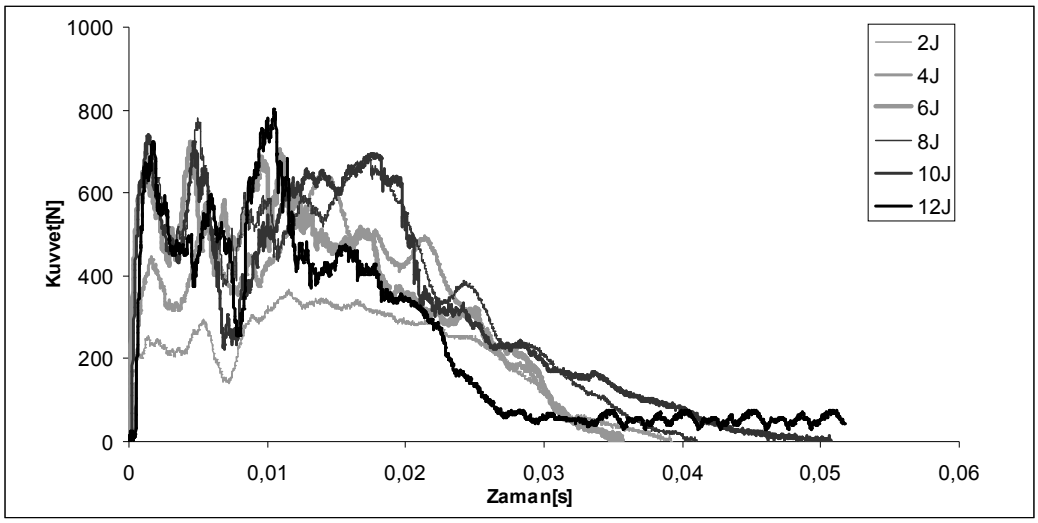
Ayrıca enerji profili metodu ile numunelerin delinme sınırları tespit edilerek değerlendirilmiştir.

7.2. Vurucu ile Deney Numunesi Arasındaki Temas Kuvvetleri

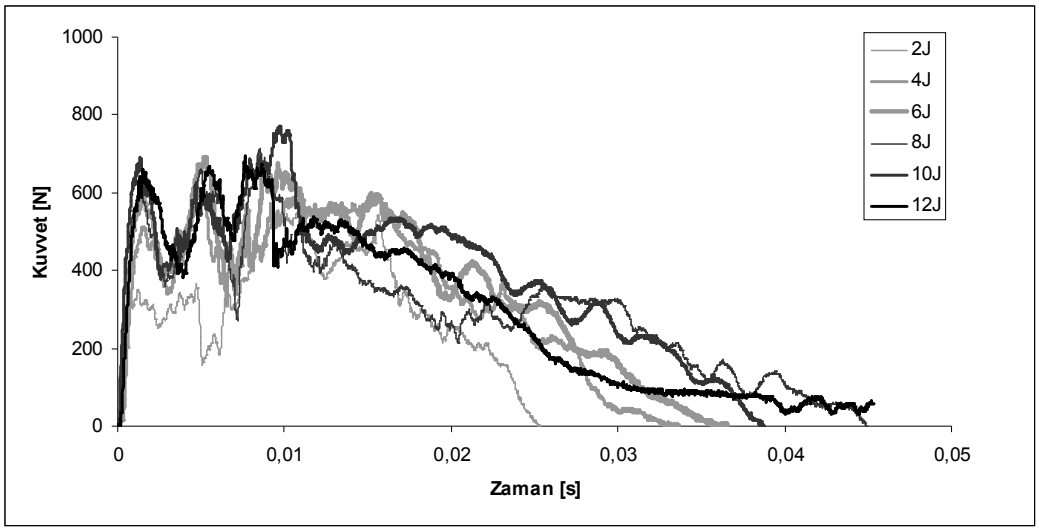
Şekil 7.1'de a) alçı b) alçı+75 gr/m² file c) alçı+duvar kâğıdı d) alçı+75 gr/m² file+duvar kâğıdı deney numuneleri için temas kuvveti zaman değişimleri görülmektedir. Bütün grafiklerde kuvvet, hızla artarak bir azami kuvvet değerine ulaşmaktadır ve daha sonra geri sekme ve saplanma gerçekleşen darbe enerjilerinde sıfıra düşmektedir. Delinme gerçekleşen numunelerde ise kuvvet sıfıra düşmemiş, sürtünme etkisiyle kuvvet-zaman eğrisi yatay eksene paralel olarak hareket etmiştir.


800
600
400
200
0
Kuvvet [N]
0
0,01
0,02
0,03
0,04
0,05
Zaman[s]
2J
4J
6J
8J

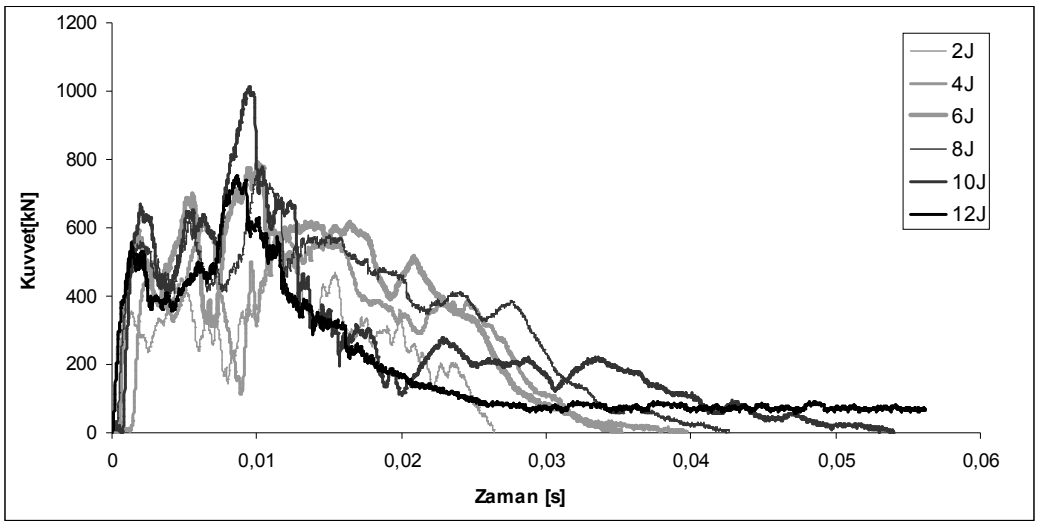
(a)


1000
800
600
400
200
0
Kuvvet[N]
0
0,01
0,02
0,03
0,04
0,05
0,06
Zaman[s]
2J
4J
6J
8J
10J
12J

(b)


1000
800
600
400
200
0
Kuvvet [N]
0
0,01
0,02
0,03
0,04
0,05
Zaman [s]
2J
4J
6J
8J
10J
12J

(c)



(d)

Şekil 7.1. Alçı levha numunelerinde **a)** alçı **b)** alçı+75 gr/m² file **c)** alçı+duvar kâğıdı **d)** alçı+75 gr/m² file+duvar kâğıdı için temas kuvveti–zaman

Tüm grafiklerde kuvvet-zaman eğrilerinin artan kısmında çok fazla salınım olduğu görülmektedir. Bu salınımlar numunede meydana gelen hasarlanmaları işaret etmektedir. Alçı ve kompozit alçı levhalar mikro yapıda gözenekli malzemelerdir. Darbe esnasında gözenekli yapıda meydana gelen çökmeler ve ezilmeler kuvvet-zaman eğrilerinin çok fazla miktarda salınımlı olmasına neden olmuştur.

7.3. Darbe enerjisinin temas kuvvetine etkisi

Düşük hızlı darbeye maruz bir numunede çarpma hızının temas kuvvetine olan etkisini belirleyebilmek için deneylerden elde edilen veriler değişik boyuttaki numuneler için derlenmiş ve bu değişimler Şekil 7.1 a-d de çizilerek gösterilmiştir.

Çizelge 7.1' de sırasıyla alçı levha, alçı+75 gr/m² file, alçı+duvar kâğıdı ve alçı+75 gr/m² file+duvar kâğıdı şeklindeki kompozit alçı levha numuneler için darbe enerjisi, en büyük temas kuvveti, çarpma hızı ve temas süresi değerleri verilmiştir.

Alçı levha numunelerinde 2 J ve 4 J darbe enerjisi seviyesinde geri sekme 6 J darbe enerjisi seviyesinde saplanma 8 J darbe enerjisi seviyesinde delinme gerçekleşmiştir. Bu numunelerde darbe enerjisi arttıkça en büyük temas kuvveti de artmıştır. Alçı+75 gr/m² file numunelerinde 2 J, 4 J ve 6 J darbe enerjisi seviyesinde geri sekme 8 J ve 10 J darbe enerjisi seviyesinde saplanma 12 J darbe enerjisi seviyesinde delinme gerçekleşmiştir. En büyük temas kuvveti saplanmanın gerçekleştiği

8 J darbe enerjisine kadar artış göstermiş 10 J ve 12 J darbe enerjilerinde azalma görülmüştür. Alçı+duvar kâğıdı numunelerinde 2 J, 4 J ve 6 J darbe enerjisi seviyesinde geri sekme 8 J ve 10 J darbe enerjisi seviyesinde saplanma 12 J darbe enerjisi seviyesinde delinme gerçekleşmiştir. Alçı+75 gr/m² file numunelerinden farklı olarak en büyük temas kuvveti saplanmanın gerçekleştiği 10 J darbe enerjisine kadar artış göstermiş 12 J darbe enerjisinde tekrar düşmüştür. Alçı+75 gr/m² file+duvar kâğıdı numunelerinde 2 J, 4 J, 6 J ve 8 J darbe enerjisi seviyesinde geri sekme 10 J darbe enerjisi seviyesinde saplanma 12 J darbe enerjisi seviyesinde delinme gerçekleşmiştir. En büyük temas kuvveti saplanmanın gerçekleştiği 10 J darbe enerjisine kadar artış göstermiş 12 J darbe enerjisinde azalma görülmüştür.

Çizelge 7.1. Düşük hızlı darbe deneylerinde elde edilen en büyük temas kuvveti ve vurucu temas süresi değerleri

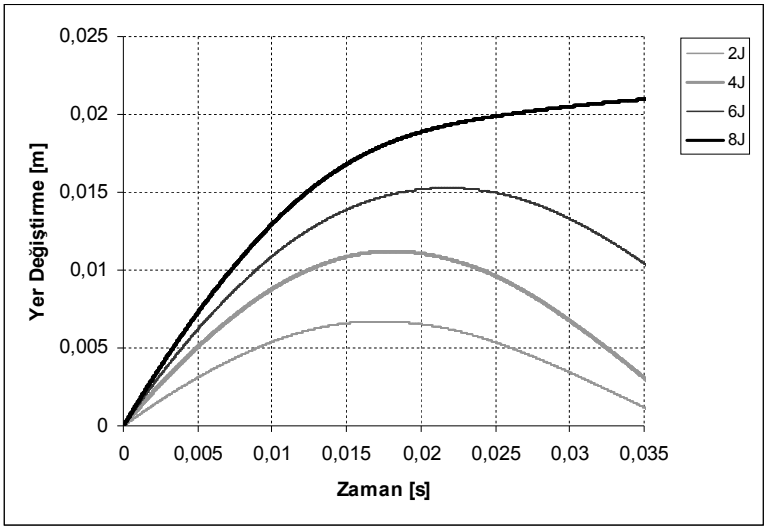
Numune Boyutları [mm]	Çarpma Enerjisi [J]	Çarpma Hızı [m/s]	En Büyük Temas Kuvveti [N]	Temas Süresi [s]	Yutulan Enerji [J]
Alçı	2	0.793	458	0.0356	1,1
	4	1.122	532	0.0390	1,90
	6	1.374	548	0.0438	5,95
	8	1.587	644	0.0278	6,04
Alçı+75 gr/m² file	2	0.793	365	0.0392	1,19
	4	1.122	644	0.0356	1,92
	6	1.374	721	0.0356	4,39
	8	1.587	782	0.041	7,92
	10	1.774	741	0.0507	9,61
	12	1.944	718	0.0376	9,61
Alçı+Duvar Kâğıdı	2	0.793	554	0.0253	1,24
	4	1.122	606	0.0336	2,25
	6	1.374	692	0.0365	4,23
	8	1.587	714	0.0449	7,85
	10	1.774	769	0.387	9,65
	12	1.944	695	0.453	9,65
Alçı+75gr file+Duvar Kâğıdı	2	0.793	580	0.0274	1,31
	4	1.122	606	0.0397	2,60
	6	1.374	689	0.0351	3,93
	8	1.587	746	0.0426	6,26
	10	1.774	1006	0.054	9,82
	12	1.944	743	0.0318	9,82

7.3.1. Kinetik Analiz Neticesinde Elde Edilen Değerler

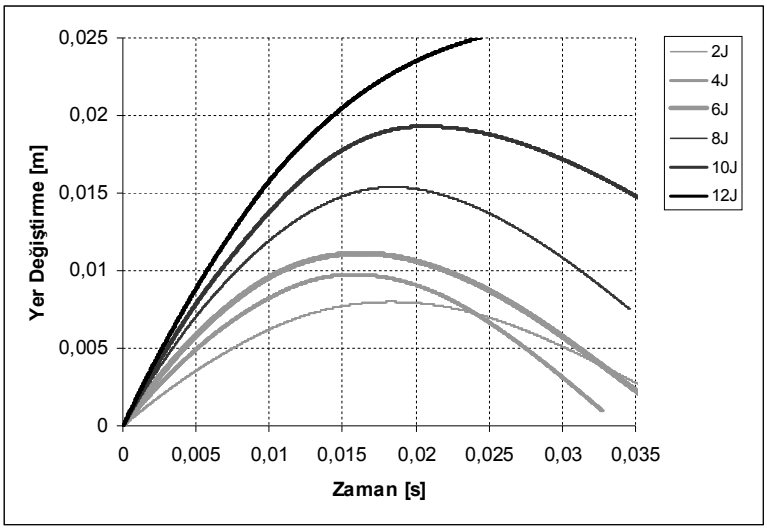
Tüm deney değerleri üzerinde yapılan hesaplamalar neticesinde yer değiştirme-zaman, kuvvet-yer değiştirme değişimleri elde edilmiştir. Her bir deney numunesi için elde edilen grafikler, karakteristik olarak diğer numuneler için elde edilene benzemektedirler. Bu nedenle değişimleri göstermesi amacıyla alçı levha, alçı+75 gr/m² file, alçı+duvar kâğıdı ve alçı+75gr file+duvar kâğıdı deney numunelerinde 2 J, 4 J, 6 J, 8 J, 10 J, 12 J çarpma enerjileri için elde edilenler, grafik olarak takip eden alt bölümlerde verilmiştir.

7.3.2. Yer değiştirme–zaman değişimi

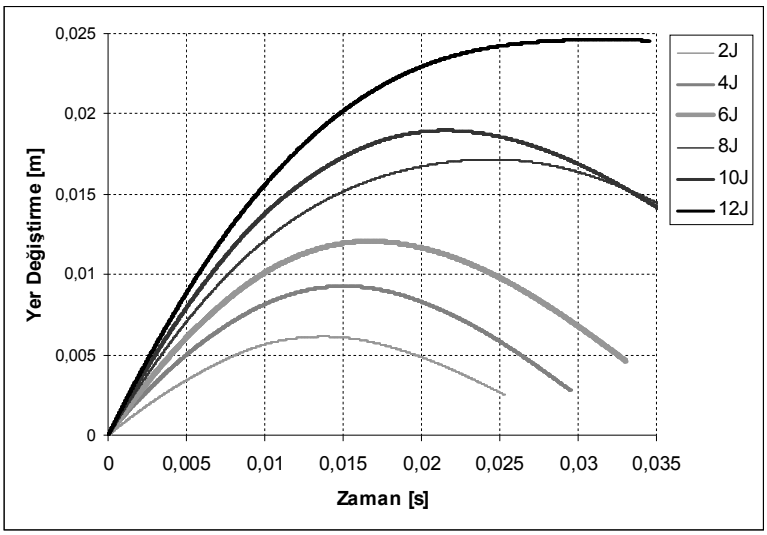
Şekil 7.2.a-d' de değişik çarpma enerjilerinde alçı levha, alçı+75gr file, alçı+ duvar kâğıdı, alçı+75 gr/m² file+duvar kâğıdı numunelerinde yer değiştirme-zaman değişimleri verilmiştir.



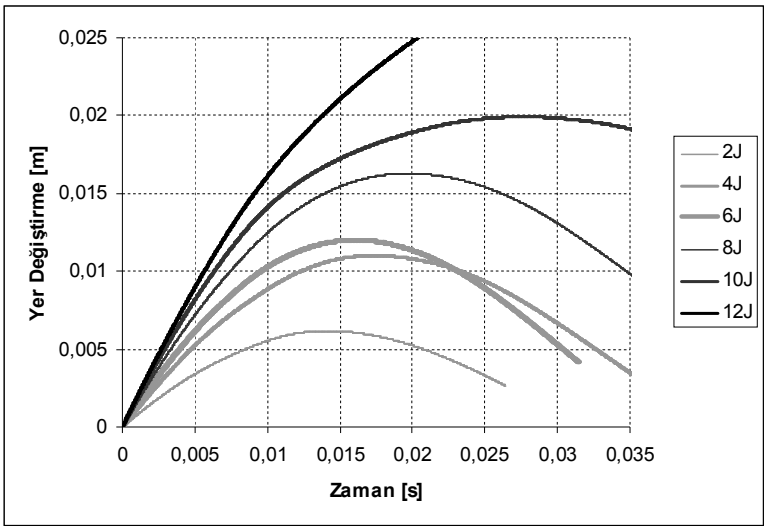
a)


0,025
0,02
0,015
0,01
0,005
0
Yer Değiştirme [m]
0
0,005
0,01
0,015
0,02
0,025
0,03
0,035
Zaman [s]
2J
4J
6J
8J
10J
12J

b)


0,025
0,02
0,015
0,01
0,005
0
Yer Değiştirme [m]
0
0,005
0,01
0,015
0,02
0,025
0,03
0,035
Zaman [s]
2J
4J
6J
8J
10J
12J

c)



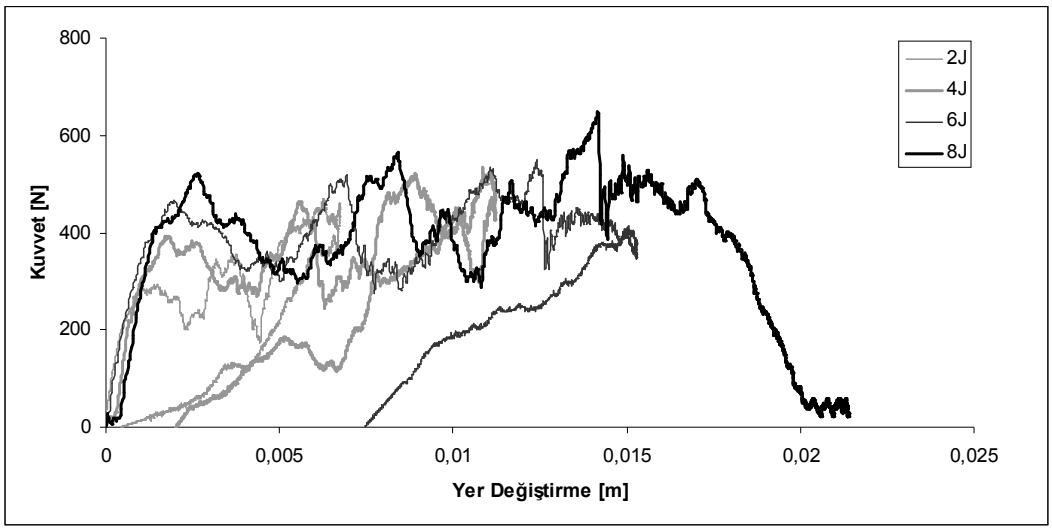
d)

Şekil 7.2. Değişik çarpma enerjilerinde **a)** alçı Levha **b)** alçı+75gr file **c)** alçı+duvar kâğıdı **d)** alçı+75 gr/m² file+duvar kâğıdı levha numunesinde yer değiştirme–zaman değişimi

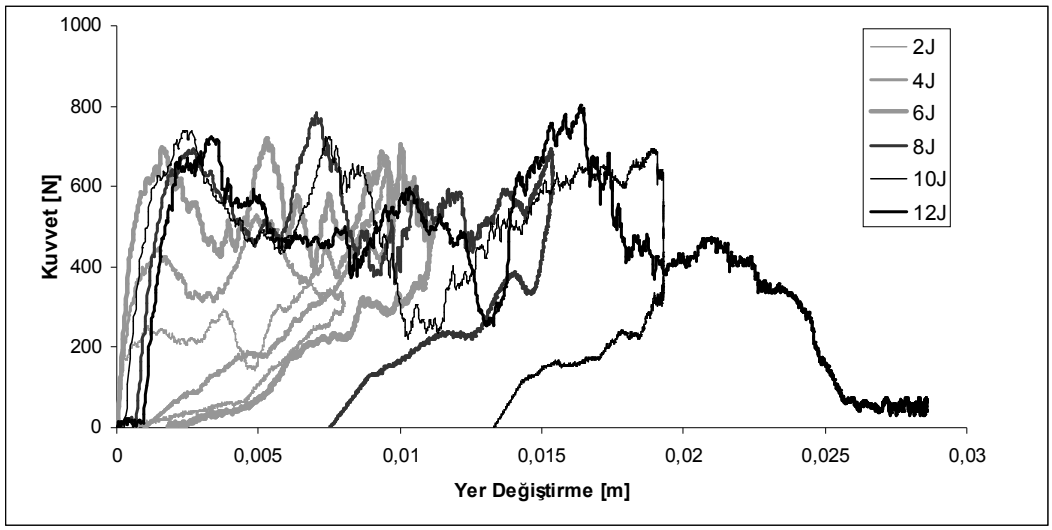
Tüm grafiklerde darbe enerjisinin artmasıyla yer değiştirme miktarının arttığı görülmektedir. Geri sekmenin gerçekleştiği enerji seviyelerinde yer değiştirme miktarının tekrar sıfıra doğru yaklaştığı ancak çok az bir miktar kalıcı yer değiştirmenin gerçekleştiği görülmektedir. Bu durum darbenin etkisiyle vurucu ucun numune yüzeyinde oluşturduğu nüfuziyet nedeniyledir. Saplanmanın gerçekleştiği numunelerde ise kalıcı yer değiştirme miktarı daha fazla artmıştır. Delinme gerçekleşen numunelerde, delinmeden sonra hız sıfıra inmediği için yer değiştirme miktarı artmaya devam etmiştir.

7.3.3. Kuvvet–yer değiştirme değişimi

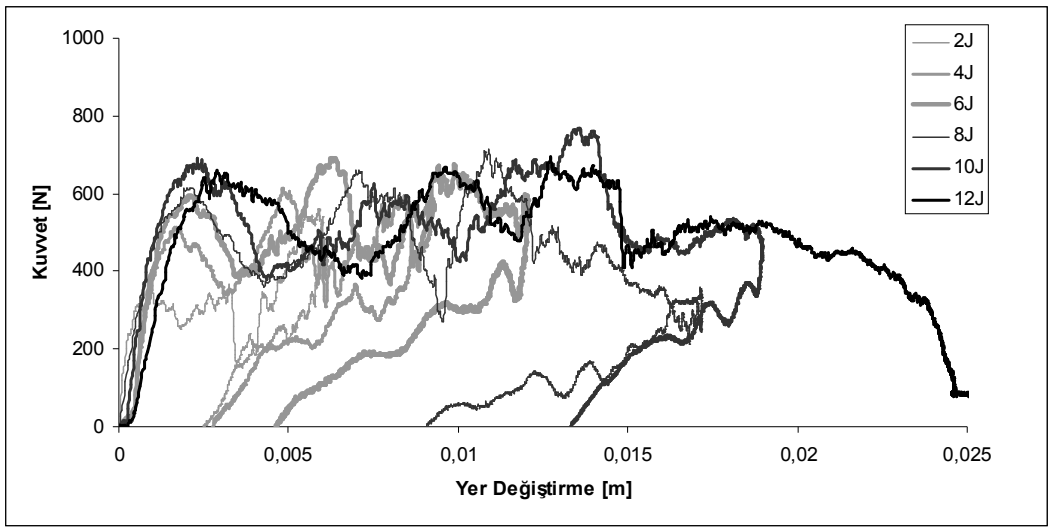
Şekil 7.3.a-d' de değişik çarpma hızlarında alçı levha, alçı+75gr file, alçı+duvar kâğıdı ve alçı+75 gr/m² file+duvar kâğıdı numunelerinde kuvvet–yer değiştirme değişimi görülmektedir.


800
600
400
200
0
Kuvvet [N]
0
0,005
0,01
0,015
0,02
0,025
Yer Değiştirme [m]
2J
4J
6J
8J

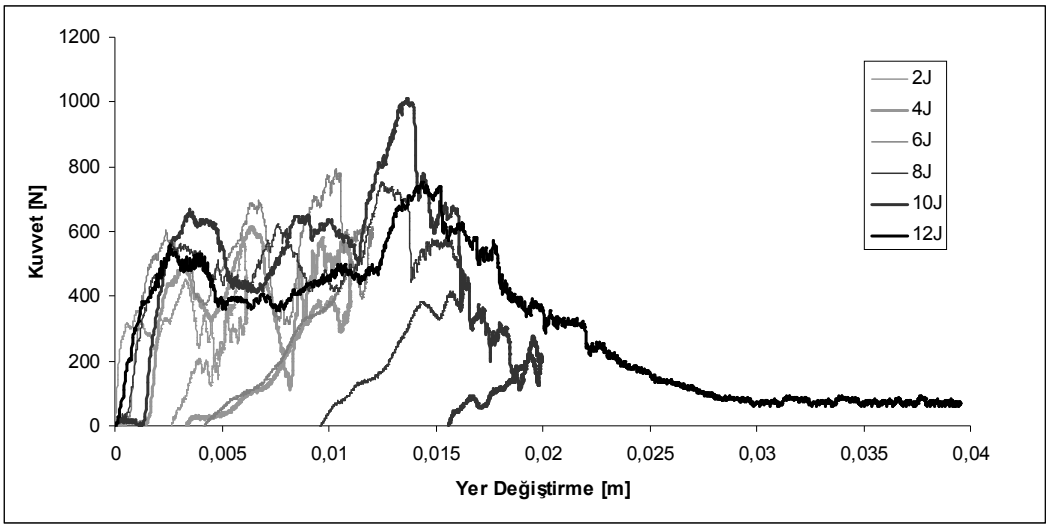
a)


1000
800
600
400
200
0
Kuvvet [N]
0
0,005
0,01
0,015
0,02
0,025
0,03
Yer Değiştirme [m]
2J
4J
6J
8J
10J
12J

b)


1000
800
600
400
200
0
Kuvvet [N]
0
0,005
0,01
0,015
0,02
0,025
Yer Değiştirme [m]
2J
4J
6J
8J
10J
12J

c)



d)

Şekil 7.3. Değişik çarpma enerjilerinde **a)** alçı levha **b)** alçı+75gr file **c)** alçı+duvar kâğıdı **d)** alçı+75gr file+duvar kâğıdı numunelerde kuvvet–yer değiştirme değişimi

Şekil 7.3.a' da alçı levha numunelerden değişik darbe enerji seviyelerinden elde edilen kuvvet-yer değiştirme grafiği görülmektedir. 2 J ve 4 J darbe enerjisi için elde edilen eğri kapalı tip eğridir. Çünkü bu enerji seviyeleri geri sekmenin gerçekleştiği enerji seviyeleridir. 6 J darbe enerjisi seviyesinde elde edilen eğri kapalı tip gibi gözükürken açık tip eğriye geçiş bölgesindedir. Bu enerji seviyesi vurucu ucun numuneye saplandığı enerji seviyesidir. 8 J darbe enerjisi delinmenin gerçekleştiği enerji seviyesi olduğu için elde edilen eğri açık tip eğridir.

Şekil 7.3.b' de alçı+75 gr/m² file numunelerinden değişik darbe enerji seviyelerinde elde edilen kuvvet-yer değiştirme grafiği görülmektedir. 2 J, 4 J ve 6 J darbe enerjisi için elde edilen eğri kapalı tiptir. 8 J ve 10 J darbe enerjisi seviyelerinde elde edilen eğri kapalı tip gözükürken açık tip eğriye geçiş bölgesindedir. Bu enerji seviyesi vurucu ucun numuneye saplandığı eğridir. 12 J darbe enerjisi için elde edilen eğri açık tip eğridir.

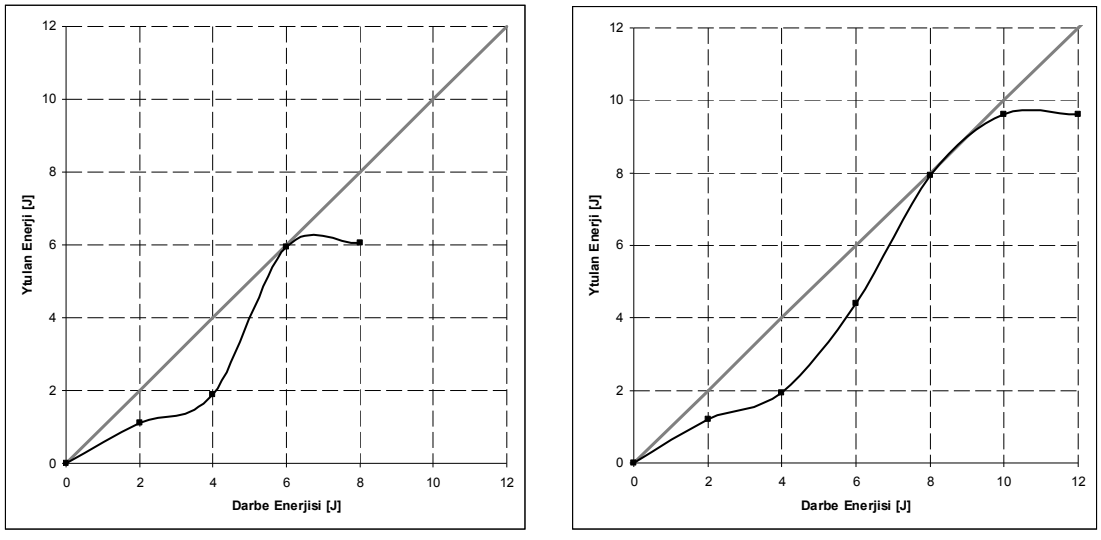
Şekil 7.3.c' de alçı+duvar kâğıdı numunelerinde değişik darbe enerji seviyelerinden elde edilen kuvvet-yer değiştirme grafiği görülmektedir. 2 J, 4 J ve 6 J darbe enerjisi için elde edilen eğri kapalı tiptir. 8 J ve 10 J darbe enerjisi seviyelerinde elde edilen eğri kapalı tip gözükürken açık tip eğriye geçiş bölgesindedir. Bu enerji seviyesi vurucu ucun numuneye saplandığı eğridir. 12 J darbe enerjisi için elde edilen eğri açık tip eğridir.

Şekil 7.3.d' de alçı+75 gr/m² file+duvar kâğıdı numunelerinde değişik darbe enerji seviyelerinden elde edilen kuvvet-yer değiştirme grafiği görülmektedir. 2 J, 4 J, 6 J ve 8 J darbe enerjisi için elde edilen eğri kapalı tiptir. 10 J darbe enerjisi seviyelerinde elde edilen eğri kapalı tip gözükürken açık tip eğriye geçiş bölgesindedir. Bu enerji seviyesi vurucu ucun numuneye saplandığı eğridir. 12 J darbe enerjisi için elde edilen eğri açık tip eğridir.

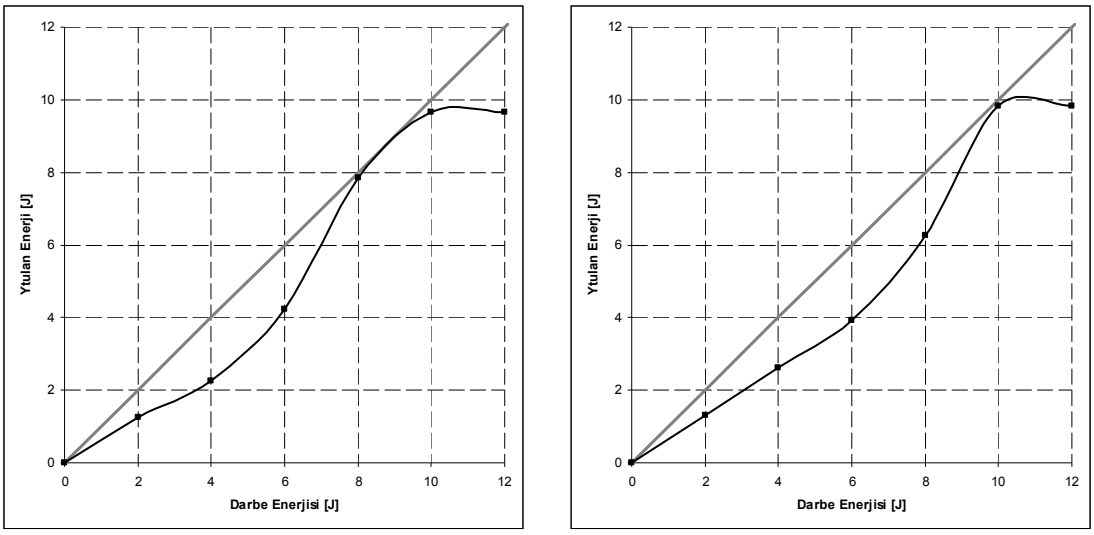
Bu çalışmadaki tüm numuneler için elde edilen kuvvet-yer değiştirme değişimlerinde çok fazla salınım olduğu görülmektedir. Tabakalı kompozit malzemelerin darbe davranışlarının araştırıldığı çalışmalardan (Kara, 2012; Şahin, 2011) elde edilen kuvvet-yer değiştirme grafiklerindeki salım miktarı çok daha azdır. Alçı levha ve katkılı alçı levha numunelerinden elde edilen grafiklerde salınım miktarının fazla olması numunelerde oluşan darbe hasar mekanizmalarıyla ilgilidir. Bu numunelerde darbe esnasında vurucunun temas ettiği bölgede çökme ve ezilme miktarı tabakalı kompozit malzemelere göre çok daha fazladır. Alçı malzemesinin ezilmeye ve sıkışmaya karşı gösterdiği direnç zayıf olduğu için kuvvet-yer değiştirme eğrisinde çok fazla salınım ortaya çıkmaktadır.

7.4. Enerji Profili Metodu

Şekil 7.4.a-d' de değişik çarpma hızlarında alçı levha, alçı+75gr file, alçı+duvar kâğıdı ve alçı+75 gr/m² file+duvar kâğıdı numunelerinde enerji profili değişimi görülmektedir.



(a) **(b)**



Şekil 7.4. Değişik çarpma enerjilerinde **a)** alçı levha **b)** alçı+75gr file **c)** alçı+duvar kâğıdı **d)** alçı+75gr file+duvar kâğıdı numunelerde enerji profili değişimi

Şekil 7.4.a' da alçı levha enerji profili diyagramında 2 J ve 4 J darbe enerjisinde fazla enerjinin olduğu ve geri sekmenin meydana geldiği görülmektedir. Bu fazla enerji vurucu uçta geri sekmede kullanılmaktadır. 6 J darbe enerjisinde ise darbe enerjisi ile absorbe edilen enerjinin hemen hemen eşitliği söz konusu olup numunede saplanma meydana gelmiştir. 8 J darbe enerjisinde ise numunede delinme meydana gelmiştir. Numune tarafından absorbe edilen enerji delinme sınırından sonra sabit kalmaktadır. Vurucu uçtaki darbe enerjisi ne kadar artırılırsa artırılsın numunede hasarlanma daha fazla meydana gelmeyecektir.

Şekil 7.4.b' de alçı+75 gr/m² file enerji profili diyagramında 2 J, 4 J ve 6 J darbe enerjisinde fazla enerjinin olduğu ve geri sekmenin meydana geldiği görülmektedir. Bu fazla enerji vurucu uçta geri sekmede kullanılmaktadır. 8 J ve 10 J darbe enerjisinde ise darbe enerjisi ile absorbe edilen enerjinin hemen hemen eşitliği söz konusu olup numunede saplanma meydana gelmiştir. 12 J darbe enerjisinde ise numunede delinme meydana gelmiştir. Numune tarafından absorbe edilen enerji delinme sınırından sonra sabit kalmaktadır. Vurucu uçtaki darbe enerjisi ne kadar artırılırsa artırılsın numunede hasarlanma daha fazla meydana gelmeyecektir.

Şekil 7.4.c' de alçı+75 gr/m² file enerji profili diyagramında 2 J, 4 J ve 6 J darbe enerjisinde fazla enerjinin olduğu ve geri sekmenin meydana geldiği görülmektedir. Bu fazla enerji vurucu uçta geri sekmede kullanılmaktadır. 8 J ve 10 J darbe enerjisinde ise

darbe enerjisi ile absorbe edilen enerjinin hemen hemen eşitliği söz konusu olup numunede saplanma meydana gelmiştir. 12 J darbe enerjisinde ise numunede delinme meydana gelmiştir. Numune tarafından absorbe edilen enerji delinme sınırından sonra sabit kalmaktadır. Vurucu uçtaki darbe enerjisi ne kadar artırılırsa artırılsın numunede hasarlanma daha fazla meydana gelmeyecektir.

Şekil 7.4.d' de alçı+75 gr/m² file enerji profili diyagramında 2 J, 4 J, 6 J ve 8 J darbe enerjisinde fazla enerjinin olduğu ve geri sekmenin meydana geldiği görülmektedir. Bu fazla enerji vurucu uçta geri sekmede kullanılmaktadır. 10 J darbe enerjisinde ise darbe enerjisi ile absorbe edilen enerjinin hemen hemen eşitliği söz konusu olup numunede saplanma meydana gelmiştir. 12 J darbe enerjisinde ise numunede delinme meydana gelmiştir. Numune tarafından absorbe edilen enerji delinme sınırından sonra sabit kalmaktadır. Vurucu uçtaki darbe enerjisi ne kadar artırılırsa artırılsın numunede hasarlanma daha fazla meydana gelmeyecektir.

Yapılan deneylerde, numunelerdeki saplanmalar alçı levha numunesinde 6 J darbe enerjisinde, alçı+75 gr/m² file ve alçı+duvar kâğıdı numunelerinde 8 J darbe enerjisinde, alçı+75 gr/m² file+duvar kâğıdı numunesinde 10 J darbe enerjisinde meydana gelmektedir.

Çizelge 7.2. Kompozit alçı levha numunelerinin düşük hızlı darbe deneyleri sonucu delinme sınırının birbirlerine göre yüzde (%) olarak karşılaştırılması

	Alçı	**Alçı+75 gr/m² file**	**Alçı+Duvar Kâğıdı**	**Alçı +75 gr/m² file+Duvar Kâğıdı**
Alçı	-	% 58.95	% 59.63	% 62.40
Alçı+75 gr/m² file		-	% 0.42	% 2.17
Alçı+Duvar Kâğıdı			-	% 1.74
Alçı +75 gr/m² file+Duvar Kâğıdı				-

Çizelge 7.2.' de yapılan deneylerin numunelerdeki delinme sınırındaki yüzdelik değişmeleri şu şekilde gerçekleşmiştir. Alçı+75 gr/m² file numunesinin alçı levhaya %58.95 oranında delinme sınırının artırıldığı görülmektedir. Alçı+duvar kâğıdının alçı levhaya % 59.63 oranında, alçı+75 gr/m² fileye ise % 0.42 oranında delinme sınırının fazla olduğu görülmektedir. Alçı+75 gr/m² file+duvar kâğıdının alçı levhaya % 62.40 oranında, Alçı+75 gr/m² fileye % 2.17 oranında, Alçı+duvar kâğıdına % 1.74 oranında delinme sınırının fazla olduğu görülmektedir.

Deneylerin delinme sınırına göre yapılan karşılaştırılmalardan alçı levhanın, 75 gr/m² file ve duvar kâğıdı ile ayrı ayrı veya birlikte takviyelendirildiğinde delinme sınırının yaklaşık olarak % 62.4 oranında artırıldığı görülmektedir.

7.5. Düşük Hızlı Darbede Hasar Analizi

Kompozit alçı levhalarda darbe hasarları makro boyutta olduğu için göz ile belirlenebilir. Deney numunelerine darbe yapıldıktan sonra ön ve arka bölgelerinin yüksek çözünürlükte fotoğrafları çekilmiştir. Şekil 7.5.a-d' de düşük hızlı darbe yapılmış alçı levha, Şekil 7.6.a-f' de alçı+75 gr/m² file, Şekil 7.7.a-f' de alçı+duvar kâğıdı, Şekil 7.8.a-f' de alçı+75 gr/m² file+duvar kâğıdı numuneleri, sırasıyla 2 J, 4 J, 6 J, 8 J, 10 J, 12 J darbe enerjilerinde ön ve arka hasar bölgeleri görülmektedir.

Düşük hızlı darbe yapılan bütün deney numunelerinde, darbeye maruz ön yüzeydeki hasarın arka yüzeyden daha az olduğu görülmektedir. Ön yüzeyde darbe sonucu basmadan kaynaklanan hasarlar oluşurken, arka yüzeyde çekmeden kaynaklanan hasarlar oluşmaktadır. Çekmeden kaynaklanan hasarlar daha fazladır.

Alçı levha numunelerde 2 J, 4 J darbe enerjisinde yapılan deneylerde alçı levha üzerinde sekme meydana gelmiştir. 6 J darbe enerjisinde yapılan deneyde alçı levha üzerinde saplanma meydana gelmiştir. 8 J darbe enerjisinde yapılan deneyde alçı levha

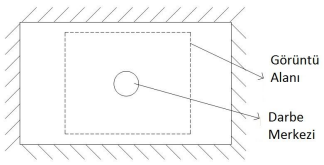
üzerinde delinme meydana gelmiştir. Şekil 7.5.a' da numunenin ön yüzeyinde vurucunun nüfuziyet bölgesi görülürken, arka yüzeyde herhangi bir hasar görülmemektedir. Şekil 7.5.b' de numunenin ön yüzeyinde oluşan nüfuziyet alanı görülmektedir. Numunenin arka yüzeyinde kabarma şeklinde bir hasar oluştuğu ve bu hasarın ön yüzeydeki alanın yaklaşık 8 katı kadar olduğu görülmektedir. 6 J darbe enerjisinde, Şekil 7.5.c' de numunenin ön yüzünde saplanma görülmektedir, arka yüzünde ise vurucu darbe ucunun ön yüzünde oluşturduğu darbe izi alanın yine yaklaşık 8 katı hasar meydana getirdiği görülmektedir. Bu hasar numunenin yarılması şeklindedir. Şekil 7.5.d' de numunenin ön yüzeyinde saplanma meydana gelmektedir. 8 J darbe enerjisinde alçı levhanın arka yüzünde patlama ile birlikte açılmada meydana gelmiştir. Bu numunelerde kalıcı eğilme şekil değiştirmesi oluşmuş ve darbe enerjisi arttıkça numunede hasar miktarı da artmıştır. Bu numunelerde darbe hasarına ilaveten eğilmeden kaynaklanan hasarlar oluşmuştur.

Alçı+75gr file numunelerinde 2 J, 4 J, 6 J darbe enerjisinde yapılan deneylerde alçı levha üzerinde sekme meydana gelmiştir. 8 ve 10 J darbe enerjisinde yapılan deneyde alçı levha üzerinde saplanma meydana gelmiştir. 12 J darbe enerjisinde yapılan deneyde alçı levha üzerinde delinme meydana gelmiştir. Şekil 7.6.a' da numunenin ön yüzeyinde vurucunun nüfuziyet bölgesi görülürken, arka yüzeyde herhangi bir hasar görülmemektedir. Şekil 7.6.b-c' de numunelerin ön yüzlerinde vurucu nüfuziyet hasarı görülürken, arka yüzlerinde ise vurucu darbe ucunun ön yüzde oluşturduğu darbe izi alanın yaklaşık 8 katı hasar meydana getirdiği görülmektedir. 8 J darbe enerjisinde Şekil 7.6.d' de numunenin ön yüzünde saplanma görülürken, numunelerin arka yüzlerinde patlama meydana geldiği görülmektedir. Vurucu ucun ön yüzeyde meydana getirdiği hasarın yaklaşık 8 katını arka yüzeyde oluşturduğu görülmüştür. 10 J darbe enerjisinde, Şekil 7.6.e' de numunenin ön yüzünde saplanma görülürken, arka yüzünde ise vurucu darbe ucunun ön yüzde oluşturduğu darbe izi alanın yine yaklaşık 8 katı hasar meydana getirdiği görülmektedir. 10 J darbe enerjisinde alçı levhanın arka yüzünde patlama ile birlikte açılmada meydana gelmiştir. 12 J darbe enerjisinde, Şekil 7.6.f' de numunenin ön yüzünde delinme görülürken, arka yüzünde ise vurucu darbe ucunun ön yüzde oluşturduğu darbe izi alanın yine yaklaşık 8 katı hasar meydana getirdiği görülmektedir. 12 J darbe enerjisinde alçı+75gr filenin arka yüzünde patlama ile birlikte açılmada meydana gelmiştir. Bu numunelerde kalıcı eğilme şekil değiştirmesi oluşmuş ve darbe enerjisi arttıkça numunede hasar miktarı da artmıştır. Bu numunelerde darbe hasarına ilaveten eğilmeden kaynaklanan hasarlar oluşmuştur.

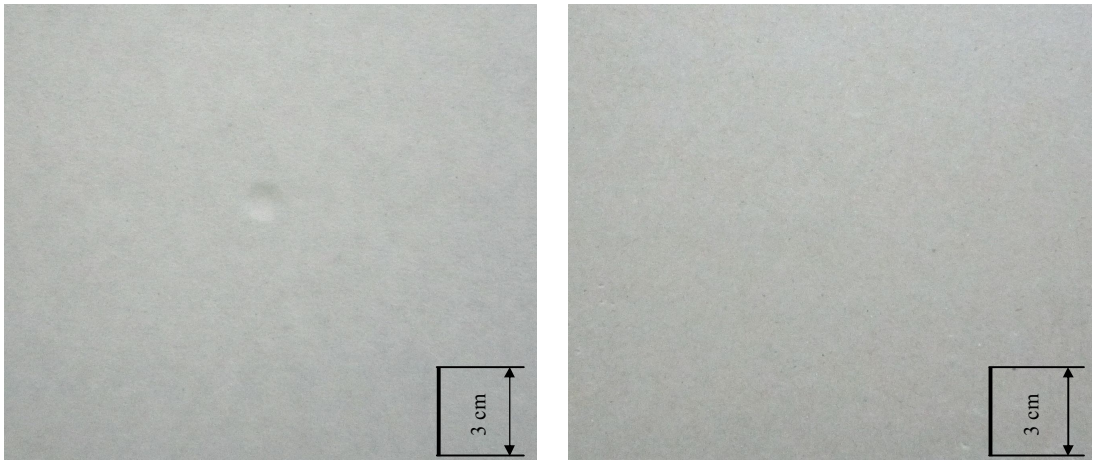
Alçı+duvar kâğıdı numunelerinde 2 J, 4 J, 6 J, darbe enerjisinde yapılan deneylerde alçı levha üzerinde sekme meydana gelmiştir. 8 J ve 10 J darbe enerjisinde yapılan deneylerde alçı levha üzerinde saplanma meydana gelmiştir. 12 J darbe enerjisinde yapılan deneyde alçı levha üzerinde delinme meydana gelmiştir. Şekil 7.7.a' da numunenin ön yüzeyinde vurucunun nüfuziyet bölgesi görülürken, arka yüzeyde herhangi bir hasar görülmemektedir. Şekil 7.7.b' de numunenin ön yüzeyinde vurucunun nüfuziyet bölgesi görülürken, arka yüzeyde kabarma meydana gelmiştir. 6 J darbe enerjisinde Şekil 7.7.c' de sekme olmasına rağmen numunenin ön yüzeyinde vurucunun nüfuziyet bölgesi görülürken, arka yüzde yarılma meydana gelmiştir. 8 J ve 10 J darbe enerjisinde, Şekil 7.7.d-e' de numunenin ön yüzünde saplanma görülürken, arka yüzünde ise vurucu darbe ucunun ön yüzde oluşturduğu darbe izi alanın yaklaşık 8 katı hasar meydana getirdiği görülmektedir. 12 J darbe enerjisinde alçı levhanın arka yüzünde patlama ile birlikte açılmada meydana gelmiştir. 12 J darbe enerjisinde, Şekil 7.7.f' de numunenin ön yüzünde delinme görülürken, arka yüzünde ise vurucu darbe ucunun ön yüzde oluşturduğu darbe izi alanın yine yaklaşık 8 katı hasar meydana getirdiği görülmektedir. 12 J darbe enerjisinde alçı+duvar kâğıdı numunesinin arka yüzünde patlama ile birlikte açılmada meydana gelmiştir. Bu numunelerde kalıcı eğilme şekil değiştirmesi oluşmuş ve darbe enerjisi arttıkça numunede hasar miktarı da artmıştır. Bu numunelerde darbe hasarına ilaveten eğilmeden kaynaklanan hasarlar oluşmuştur.

Alçı+75gr file+duvar kâğıdı numunelerinde 2 J, 4 J, 6 J, 8 J darbe enerjisinde yapılan deneylerde alçı levha üzerinde sekme meydana gelmiştir. 10 J darbe enerjisinde yapılan deneylerde alçı levha üzerinde saplanma meydana gelmiştir. 12 J darbe enerjisinde yapılan deneyde alçı levha üzerinde delinme meydana gelmiştir. Şekil 7.8.a' da numunenin ön yüzeyinde vurucunun nüfuziyet bölgesi görülürken, arka yüzeyde herhangi bir hasar görülmemektedir. Şekil 7.8.b-d' de numunenin ön yüzeyinde vurucunun nüfuziyet bölgesi görülürken, arka yüzlerinde kabarma meydana getirdiği görülmektedir. 10 J darbe enerjisinde, Şekil 7.8.e' de numunenin ön yüzünde saplanma görülürken, arka yüzünde ise vurucu darbe ucunun ön yüzde oluşturduğu darbe izi alanın yaklaşık 8 katı hasar meydana getirdiği görülmektedir. 12 J darbe enerjisinde alçı levhanın arka yüzünde patlama ile birlikte açılmada meydana gelmiştir. 12 J darbe enerjisinde, Şekil 7.8.f' de numunenin ön yüzünde delinme görülürken, arka yüzünde ise vurucu darbe ucunun ön yüzde oluşturduğu darbe izi alanın yine yaklaşık 8 katı hasar meydana getirdiği görülmektedir. 12 J darbe enerjisinde alçı+75gr file+duvar

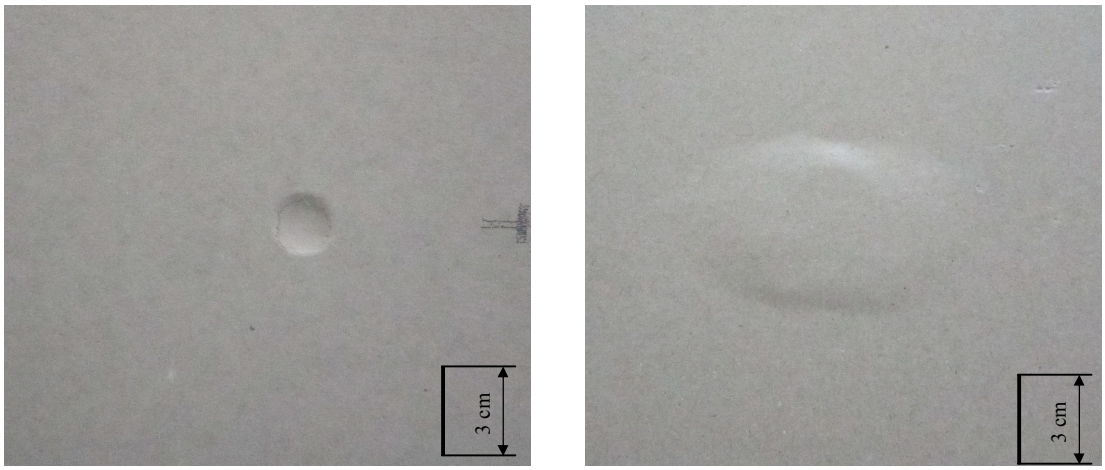
kâğıdı numunesinin arka yüzünde patlama ile birlikte açılmada meydana gelmiştir. Bu numunelerde kalıcı eğilme şekil değiştirmesi oluşmuş ve darbe enerjisi arttıkça numunede hasar miktarı da artmıştır. Bu numunelerde darbe hasarına ilaveten eğilmeden kaynaklanan hasarlar oluşmuştur.



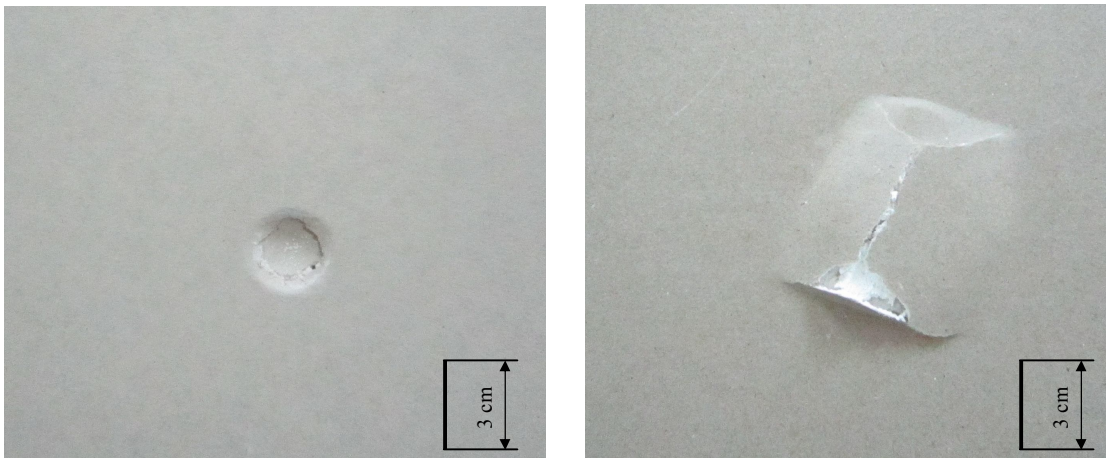
Ön görünüş **Arka görünüş**



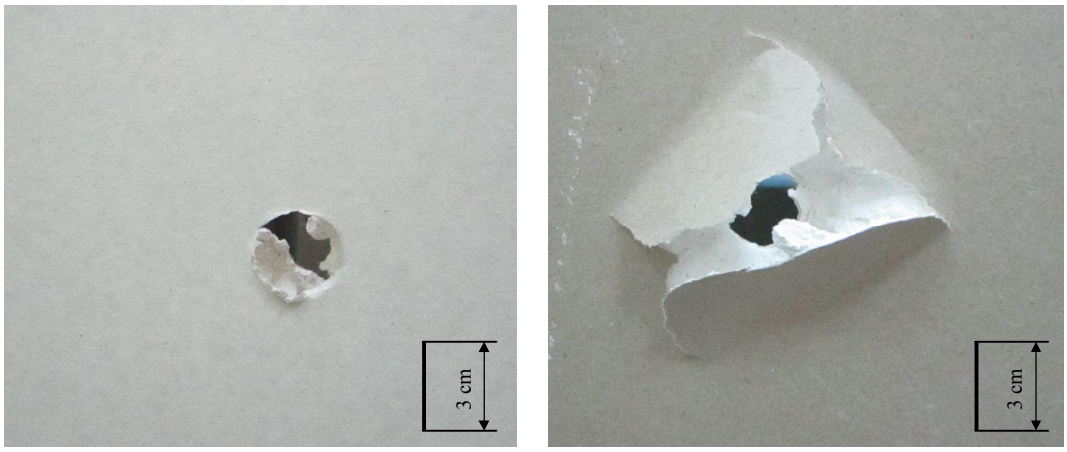
(a)



(b)

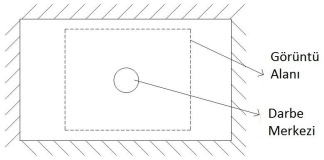


(c)

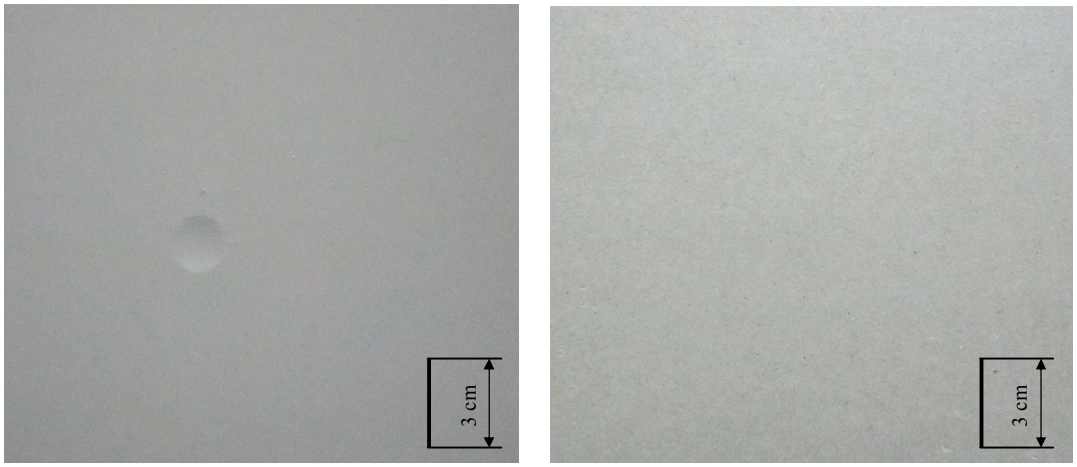


(d)

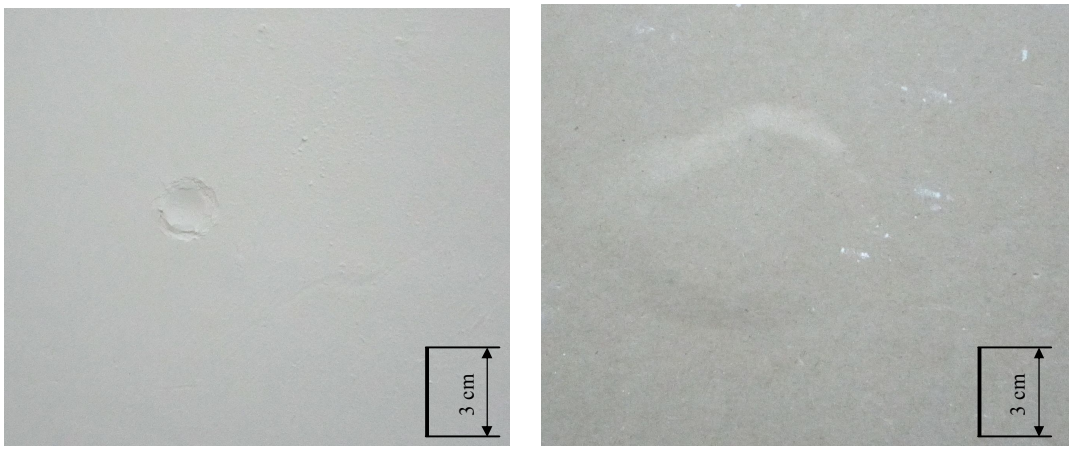
Şekil 7.5. Düşük hızlı darbe yapılmış Alçı Levha test numunelerinde **(a)** 2 J, **(b)** 4 J, **(c)** 6 J, **(d)** 8 J, darbe enerjilerinde ön ve arka hasar bölgeleri



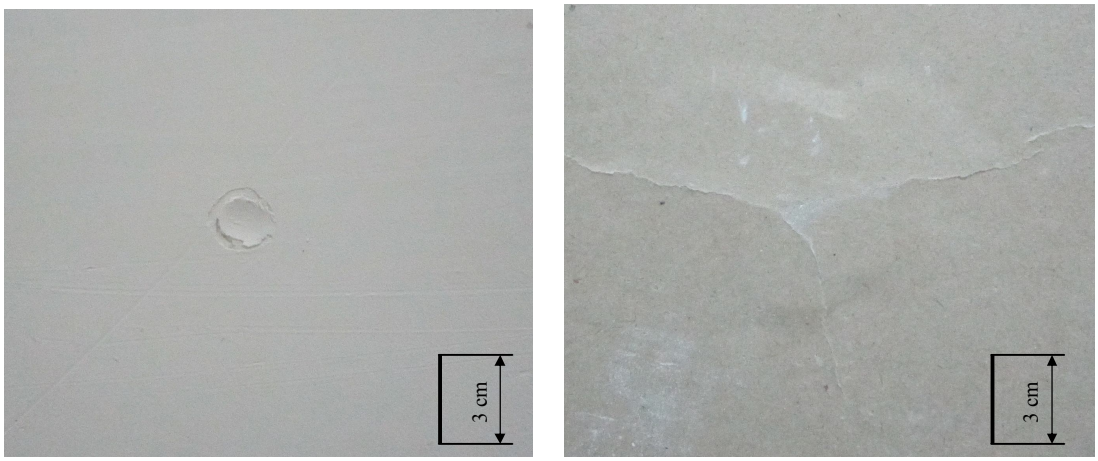
Ön görünüş **Arka görünüş**



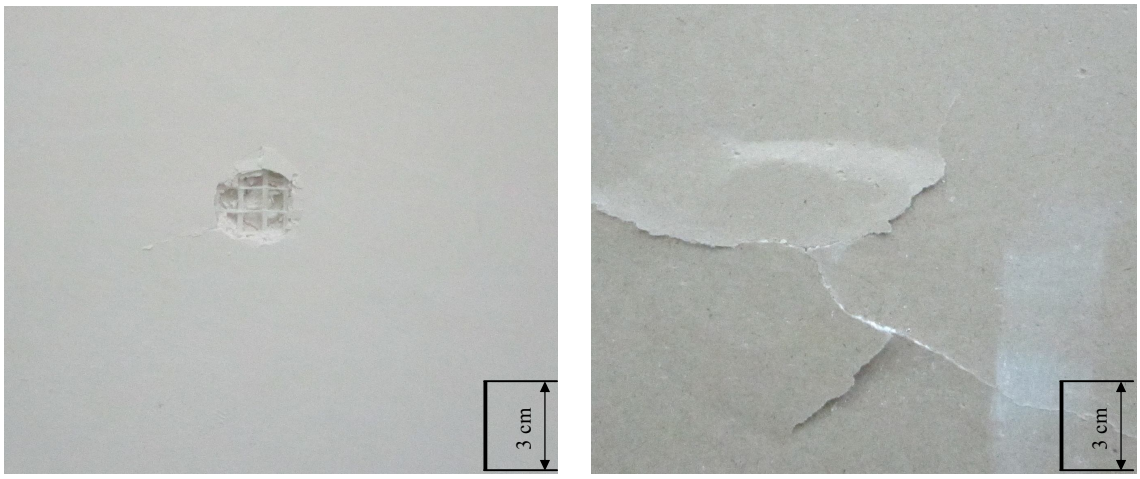
(a)



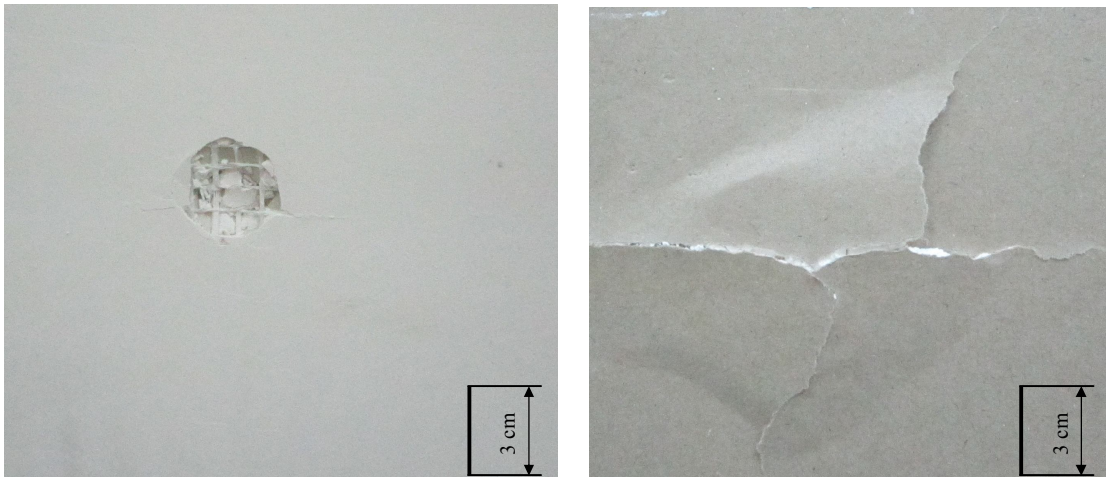
(b)



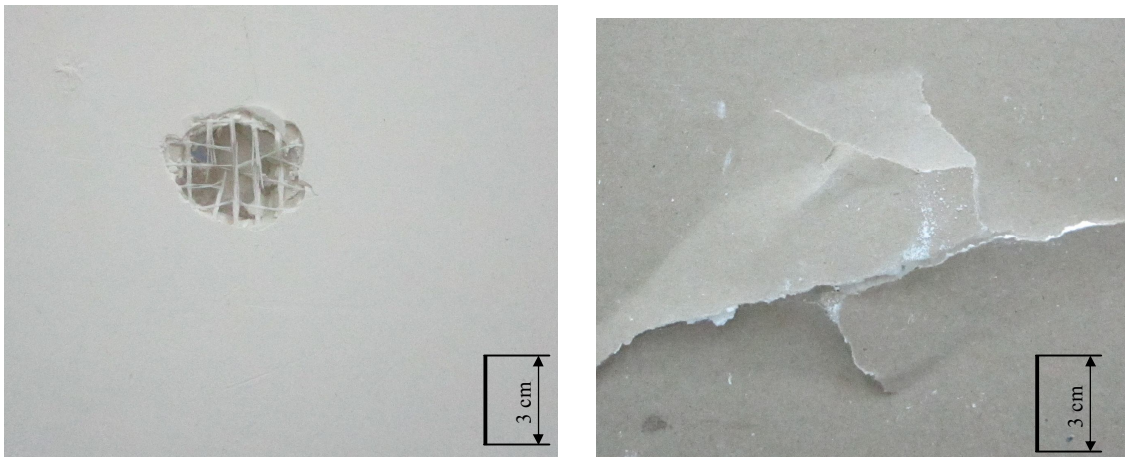
(c)



(d)

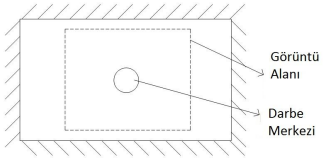


(e)

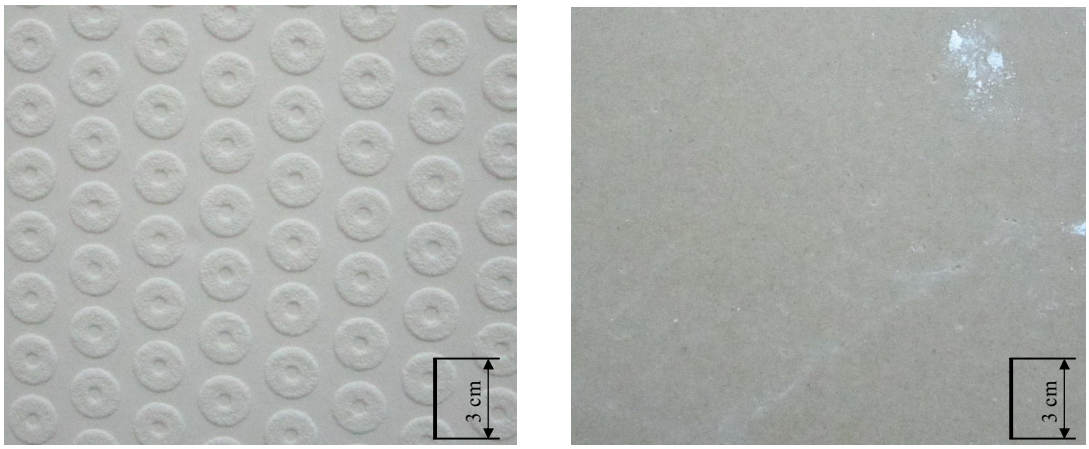


(f)

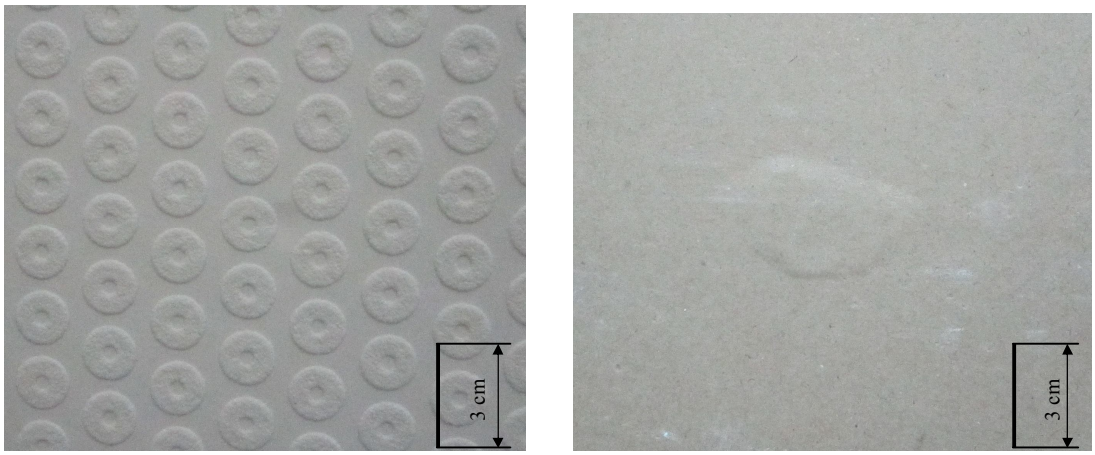
Şekil 7.6. Düşük hızlı darbe yapılmış Alçı Levha+75gr File test numunelerinde **(a)** 2 J, **(b)** 4 J, **(c)** 6 J, **(d)** 8 J, **(e)** 10 J, **(f)** 12 J darbe enerjilerinde ön ve arka hasar bölgeleri



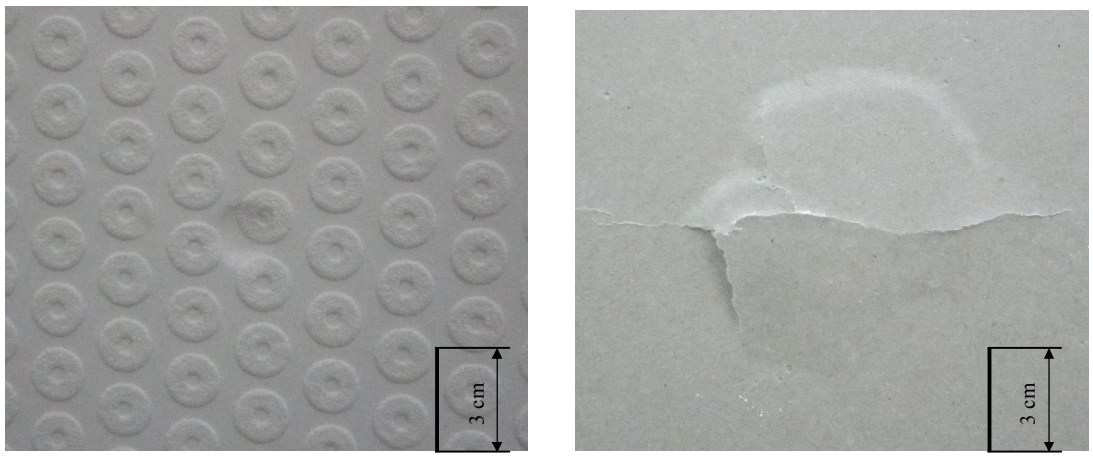
Ön görünüş **Arka görünüş**



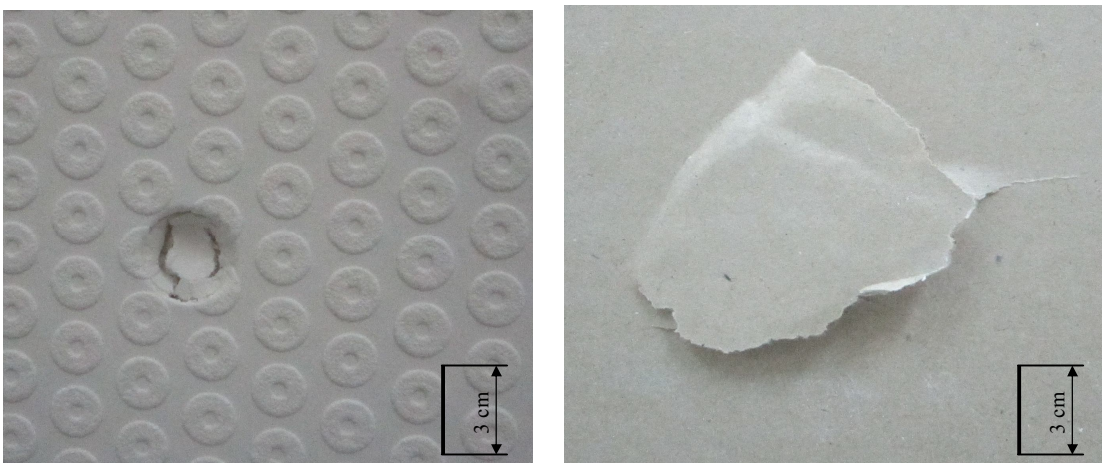
(a)



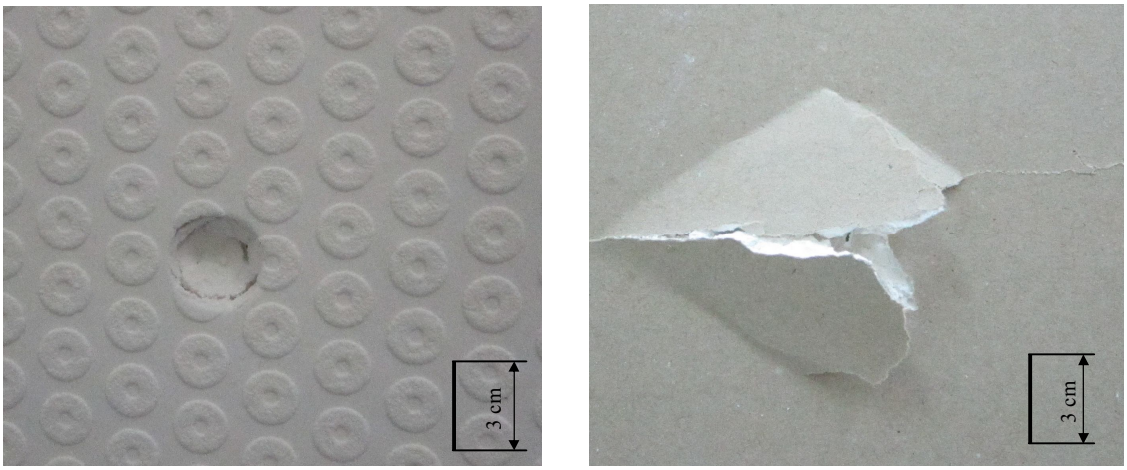
(b)



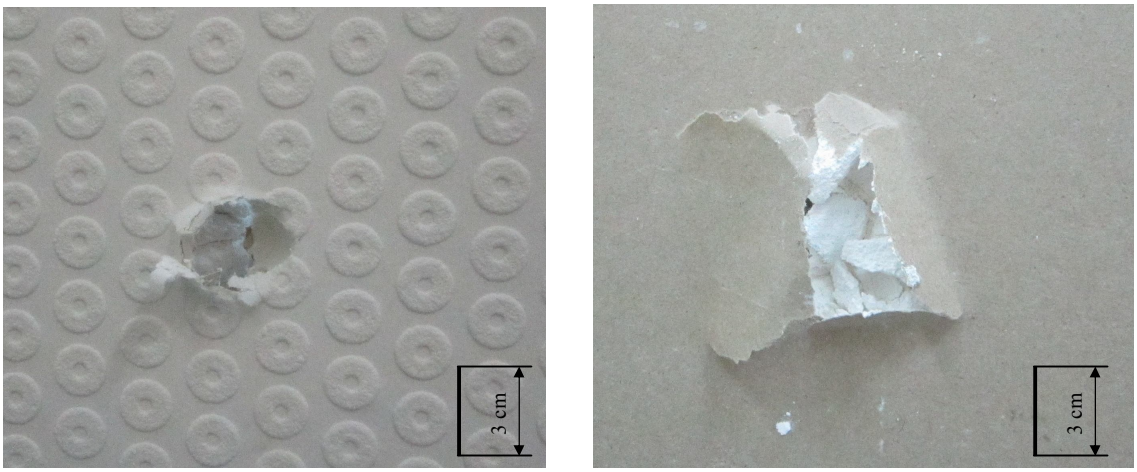
(c)



(d)

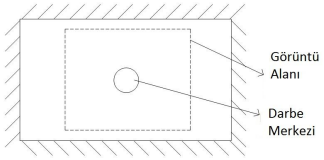


(e)

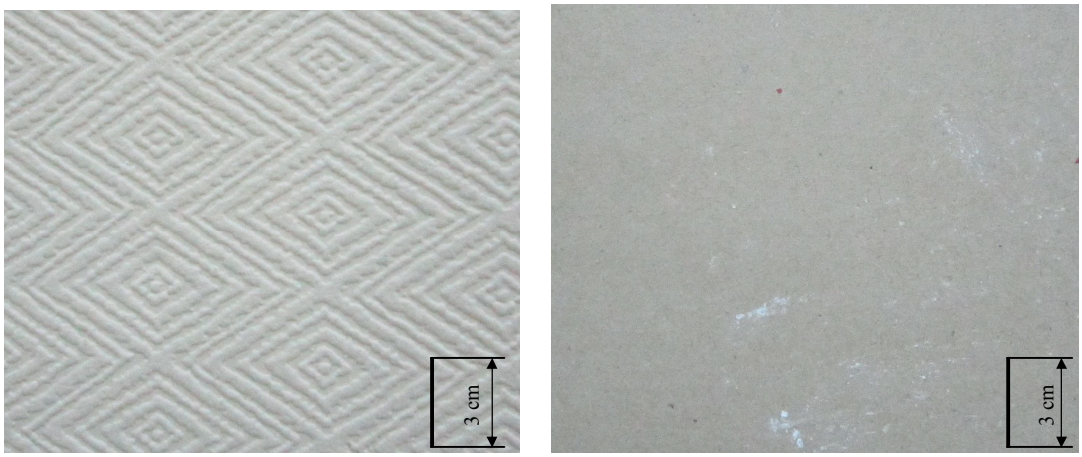


(f)

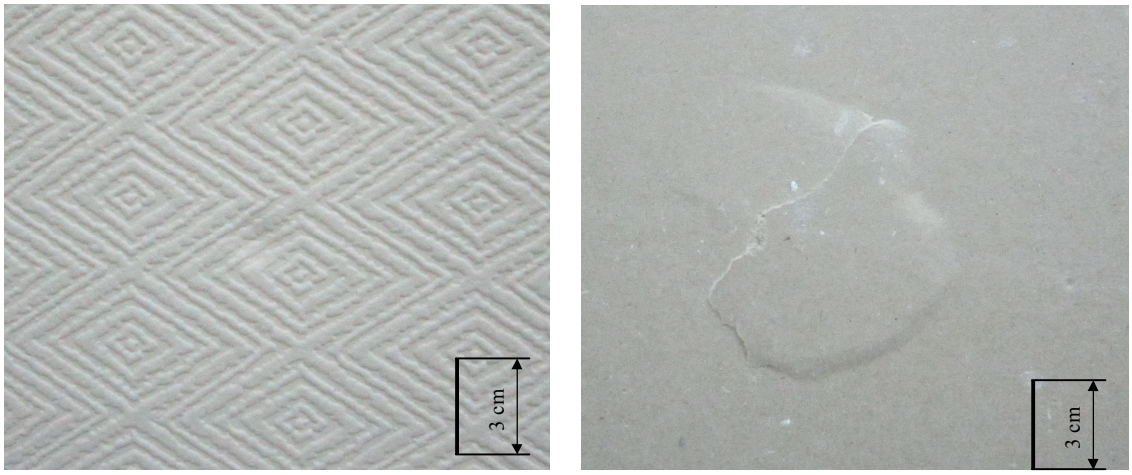
Şekil 7.7. Düşük hızlı darbe yapılmış Alçı Levha+Duvar Kâğıdı test numunelerinde **(a)** 2 J, **(b)** 4 J, **(c)** 6 J, **(d)** 8 J, **(e)** 10 J, **(f)** 12 J darbe enerjilerinde ön ve arka hasar bölgeleri



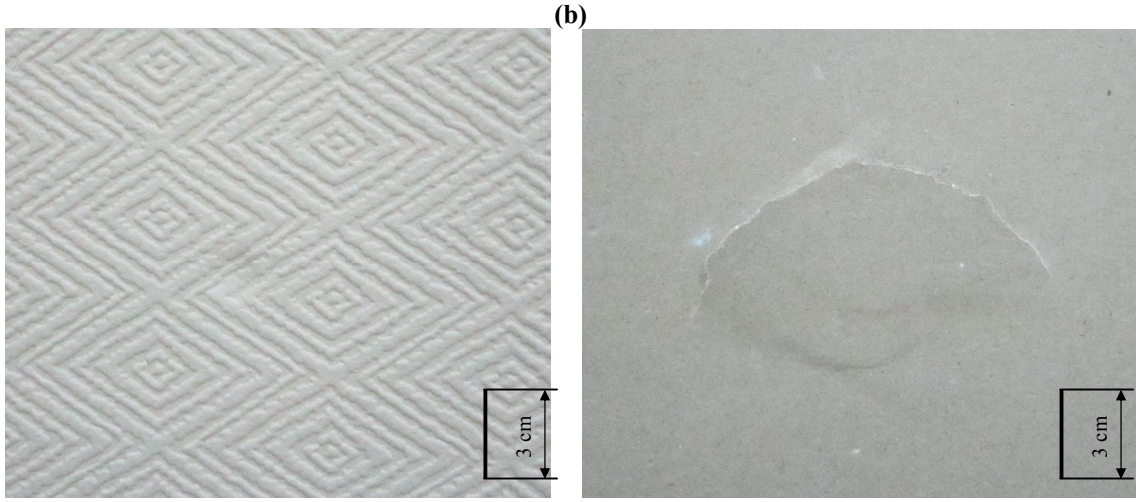
Ön görünüş **Arka görünüş**



(a)

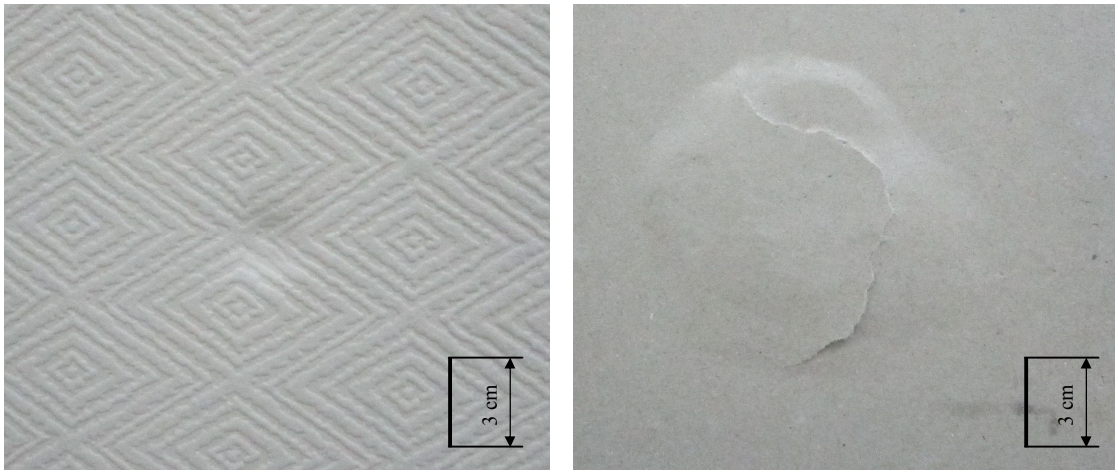


(b)

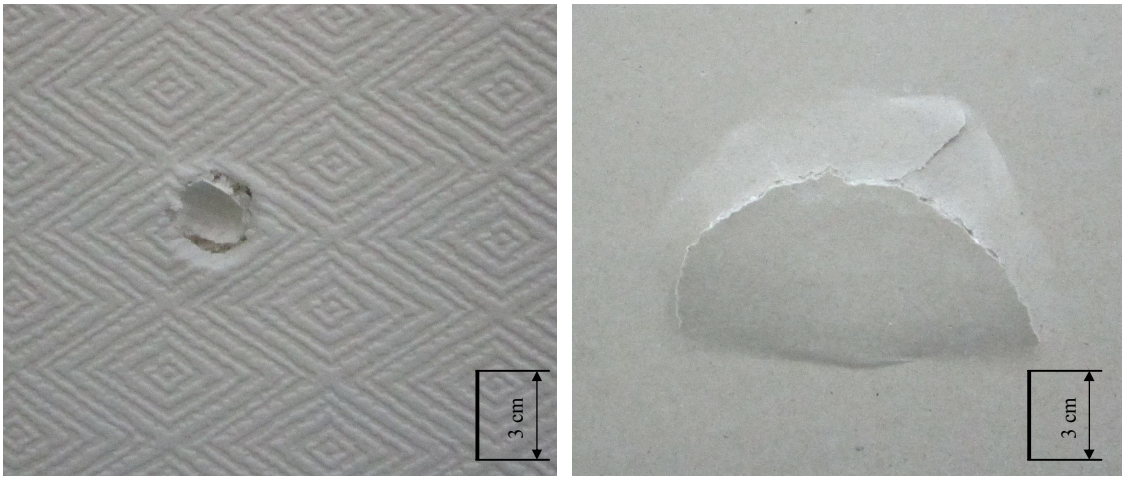


(c)

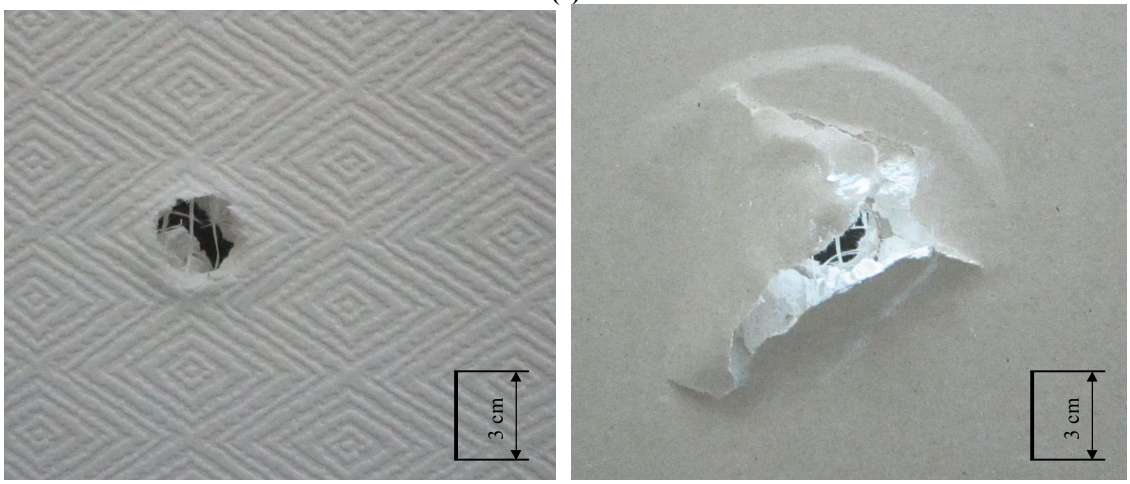
Ön görünüş **Arka görünüş**



(d)



(e)



(f)

Şekil 7.8. Düşük hızlı darbe yapılmış alçı levha+75 gr/m² file +duvar kâğıdı test numunelerinde **(a)** 2 J, **(b)** 4 J, **(c)** 6 J, **(d)** 8 J, **(e)** 10 J, **(f)** 12 J darbe enerjilerinde ön ve arka hasar bölgeleri

8. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

8.1. Sonuçlar

Bu çalışmada düşük hızlı çarpmaya maruz kalan alçı panellerin darbe direncini araştırılmıştır. Çalışmada 500×400 mm boyutlarında dört tarafı mesnetlenen alçı levha, alçı+75 gr/m² file, alçı+duvar kâğıdı, alçı+75 gr/m² file+duvar kâğıdı numuneler üzerine 2 J, 4 J, 6 J, 8 J, 10 J, 12 J darbe enerjilerinde düşük hızlı darbe deneyleri yapılmıştır. Darbeler 24 mm çapında yarıküresel uçlu vurucu kullanılarak yapılmıştır. Bu çalışmada elde edilen sonuçlar aşağıya çıkarılmıştır;

1. Tüm deney numuneleri için, darbe deneylerinden elde edilen en büyük temas kuvveti vurucunun numuneye saplandığı enerji seviyesine kadar artmakta iken, delinmenin gerçekleştiği enerji seviyelerinde azalmaktadır.

2. Kuvvet-zaman ve kuvvet-yer değiştirme eğrilerinde çok fazla salınım olduğu görülmektedir. Salınımların çok fazla olması numunelerde hasarın çoğaldığının işaretidir.

3. Alçı levha numunelerinde 2 ve 4 J darbe enerjilerinde geri sekme, 6 J darbe enerjisinde saplanma ve 8 J darbe enerjisinde delinme meydana gelmiştir. Alçı+75 gr/m² file numunelerinde 2, 4 ve 6 J darbe enerjilerinde geri sekme, 8 ve 10 J darbe enerjilerinde saplanma ve 12 J darbe enerjisinde delinme meydana gelmiştir. Alçı+duvar kâğıdı numunelerinde 2, 4 ve 6 J darbe enerjilerinde geri sekme, 8 ve 10 J darbe enerjilerinde saplanma ve 12 J darbe enerjisinde delinme meydana gelmiştir. Alçı+75 gr/m² file+duvar kâğıdı numunelerinde 2, 4, 6 ve 8 J darbe enerjilerinde geri sekme, 10 J darbe enerjisinde saplanma ve 12 J darbe enerjisinde delinme meydana gelmiştir.

4. Kompozit alçı levha numunelerin düşük hızlı darbe deneyleri sonucu elde edilen enerji profili diyagramında, alçı levha numuneye takviye malzemesi katılmasının malzemenin delinme sınırını arttırdığı tespit edilmiştir. Buna göre alçı levha numuneye 75 gr/m² file takviyesinin numunenin delinme sınırını % 58, duvar kâğıdı takviyesinin

delinme sınırını % 59 ve file+duvar kâğıdı takviyesinin delinme sınırını % 62 arttırdığı tespit edilmiştir.

5.Düşük hızlı darbe hasar analizinden elde edilen görüntüler sonucu 2 J darbe enerjinde alçı levha, alçı+75 gr/m² file, alçı+duvar kâğıdı ve alçı+75 gr/m² file+duvar kâğıdı numunelerinde ön yüzeyde vurucunun nüfuziyet bölgesi görülürken, arka yüzeyde herhangi bir hasar görülmemektedir. 4 J darbe enerjisinde alçı levha, alçı+75 gr/m² file, alçı+duvar kâğıdı ve alçı+75 gr/m² file+duvar kâğıdı numunelerinde ön yüzeyde vurucunun nüfuziyet bölgesi görülürken, arka yüzeyde kabarma meydana gelmiştir. 6 J darbe enerjisinde alçı levha numunesinde ön yüzeyde saplanma görülürken arka yüzeyde yarılma meydana gelmiştir. Alçı+75 gr/m² file, alçı+duvar kâğıdı ve alçı+75 gr/m² file+duvar kâğıdı numunelerinde ön yüzeyde vurucunun nüfuziyet bölgesi görülürken, arka yüzeyde yarılma meydana gelmiştir. 8 J darbe enerjisinde alçı levha numunesinde ön yüzeyde delinme görülürken arka yüzeyde patlama meydana gelmiştir. Alçı+75 gr/m² file, alçı+duvar kâğıdı numunelerinde ön yüzeyde saplanma meydana gelirken arka yüzeyde patlama meydana gelmiştir. Alçı+75 gr/m² file+duvar kâğıdı numunesinde ön yüzeyde vurucunun nüfuziyet bölgesi görülürken, arka yüzeyde yarılma meydana gelmiştir. 10 J darbe enerjisinde alçı+75 gr/m² file, alçı+duvar kâğıdı ve alçı+75 gr/m² file+duvar kâğıdı numunelerinde ön yüzeyde vurucunun saplandığı görülürken, arka yüzeyde patlama meydana gelmiştir. 12 J darbe enerjisinde alçı+75 gr/m² file, alçı+duvar kâğıdı ve alçı+75 gr/m² file+duvar kâğıdı numunelerinde ön yüzeyde delinme meydana geldiği görülürken, arka yüzeyde patlama meydana gelmiştir.

8.2 Öneriler

1. Alçının mikroskobik boşluklarında nem tutmabilmesinin delinme sınırına etkisi konusunda deney çalışmaları yapılabilir

2. Tezimizde 75 gr/m² cam elyaf file kullanılmıştır. Farklı ağırlıklardaki cam elyaf file ile yeni kompozit alçı levhaların darbe cevabı incelenebilir.

3. Bu tezde alçı panel levhalarımız 15mm kalınlığındadır. Farklı kalınlıklardaki kompozit alçı levhalarında darbe cevabı incelenebilir.

4. Kompozit alçı levhaların darbe esnasında oluşan hasar modları yüksek hızlı kameralar ile darbe anı görüntülenirse hasar yorumları da yapılabilir.

5. Alçı levhaya uygulanan cam file ve duvar kâğıdının numuneye takviyelendirilmesinde kullanılan yapıştırıcı cinsi değiştirilerek darbe cevabı incelenebilir.

KAYNAKLAR

Abatan, A., Hu, H., & Olowokere, D., (1998). Impact Resistance Modeling of Hybrid Laminated Composites. *Journal of Thermoplastic Composite Materials*, 11, 249-260.

Abrate, S., 1998. Impact on Composite Structures. Cambridge, *Cambridge University Pres*, 135-160.

Anonim, 2009, Türkiye Alçı Üreticileri Derneği, *Alçıder dergisi*, Tanıtım, Ankara, 3-13.

Anonim, 2010, Türkiye Alçı Üreticileri Derneği, *Alçıder dergisi*, No;7, Ankara, 4-5.

Anonim, 2011, Türkiye Alçı Üreticileri Derneği, *Alçıder dergisi*, No;9, Ankara, 7-13.

Aslan, Z. & Karakuzu, R., 2002, Transient Dynamic Analysis of Laminated Composite Plate Subjected to Low-Velocity Impact. *Mathematical & Computational Applications, Vol. 7*, No.1, 73-82.

Aslan, Z., Karakuzu, R. & Okutan, B., 2003, The Response of LaminatedComposite Boards under Low-Velocity Impact Loading. *Composite Structures*, 59, 119-127.

Aydınlı, S., 1986, Mekânsal Değerlendirmede Algısal Yargılara Dayalı Bir Model, *İstanbul Teknik Üniversites, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Yayınlanmamış Doktora Tezi,İstanbul.

Baucom, J.N., & Zikry, M.A. 2005, Low Velocity Impact Damage Progression in Woven E-glass Composite Systems. *Composites*, 36, 658-664.

Belingardi, G., Vadori, R., 2002, Low Velocity Impact Tests of Laminate Glass- Fiber-Epoxy Matrix Composite Material Boards. *International Journal of Impact*

Belingardi, G., Vadori, R., 2003, Influence of Laminate Thickness in Low Velocity Impact Behavior of Composite Material Plate. *Composite Structures*, 61, 27-38.

Ceyhun, V., & Turan, M., 2003, Tabakalı Kompozit Malzemelerin Darbe Davranışı. *Mühendis ve Makine*, 516, 35-41.

Christoforou, A.P. & Yiğit, A.S., 1996, Impact of Composite Structures-The Momentum Balance Method. *Journal of Composite Materials*, 30,1068-1087. 83

Çelebi, G., 1997, Yapı malzemesi seçim kriterleri ve alçı yapı elemanlarının teknik ve ekonomik yönden değerlendirilmesinin araştırılması, *II.Alçı Bilimleri Kongresi*, İstanbul.

Dobyns, A.L., 1981, Analysis of Simply Supported Orthotropic Boards Subjected To Static and Dynamic Loads. *AIAA Journal*, 19,642-680.Engineering, 27, 213-229.

Ersoy, H.Y., (2001), Kompozit Malzeme, *Literatür Yayınları*, İstanbul, 175-215.

Ersoy.H.Y., 1996 Alçı hamuru ve alçı bağlayıcılı hafif karışımların temel özelliklerine cam lifi donatının etkilerinin araştırılması, *I. Alçı Bilimleri Kongresi*, İstanbul.

Ersoy.H.Y., Kurugöl.S., 1997 Alçı hamuru ve alçı harçlarının elastik özelliklerini etkileyecek faktörler, *II.Alçı Bilimleri Kongresi*, İstanbul.

Gibson R.F., 1994, Principles of Composite Material Mechanics. *Mc-Graw Hill*. 392-393.

Gong, S.W., & Lam, K.Y., 1999, Transient Response of Stiffened Composite Boards Subjected to Low Velocity Impact. *Composites, Part B*, 30, 473-484.

Goo, N.S. & Kim, S.J., 1997, Dynamic Contact Analysis of Laminated Composite Boards under Low Velocity Impact. *AIAA Journal*, 35, 1518-1521.

Husseinzadeh, R., Shokrieh, M.M. & Lessard, L., 2006, Damage Behavior of Fiber Reinforced Composite Boards Subjected to Drop Weight Impacts. *Composite Science and Technology*, 66, 61-68.

Kara, M., 2006, Düşük hızlı darbeye maruz tabakalı kompozitlerin dinamik cevabı, Yüksek Lisans Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya, 29, 33-34.

Kara, M., 2011, Düşük hızlı darbe sonrası yama ile tamir edilmiş filaman sarım ctp boruların iç basınç altındaki hasar davranışı, Doktora Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya, 67.

Kayrak, M.A., 1999, Havacılık Kompozitleri ve Mukavemet-Maliyet Analizleri, *Anadolu Üniversitesi Yayınları*, Eskişehir, 1-10.

Kim, J.K. & Kang, K.W., 2001, An Analysis of Impact Force in Plain-weave Glassepoxy Composite Boards Subjected to Transverse Impact. *Composite Science and Technology*, 61, 135-143.

Lal, K.M., 1982, Prediction of Residual Tensile Strength of Transversely Impacted Composite Laminates. Structure Solid Mech. *NASA CP-2245*, pp.97-111.

Lal, K.M., 1983, Low Velocity Transverse Impact Behavior of 8-Ply Graphite- Epoxy Laminates. *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 2, 84, 216-225.

Lee, L.J., Huang, K.Y., & Fann, Y.J., 1993, Dynamic Responses of Composite Sandwich Plate Impacted By Rigid Ball. *Journal of Composite Materials*, 27, 1238- 1256.

Lee, Y.S. , Kang, K.H., & Park, O., 1997, Response of Hybrid Laminated Composite Boards under Low Velocity Impact. *Computers & Structures*, 65, 965-974.

Lifshitz, J.M., 1976, Impact Strength of Angle Ply Fiber Reinforced Materials. *Journal of Composite Materials*, 10, 92-101.

Mili, F., & Necip, B., 2001, Impact Behavior of Cross-Ply Laminated Composite Boards under Low Velocities. *Composite Structures*. 51, 237-224.

Mitrevski, T., Marshall, I.H., Thomson, R., Jones, R. Whittingham, B., 2004, The Effect of Impactor Shape on the Impact Response of Composite Laminates. *Composite Structures*, 67, 139-148.

Prasad, C.B., Ambur, D.R., & Starnes, J.H.Jr., 1994, Response of Laminated Composite Boards to Low Speed Impact By Different Impactors. *AIAA Journal*, 32,1270-1277.

Ramkumar, R.L., & Chen, P.C., 1982, Low Velocity Impact Response of Laminated Boards. *AIAA Journal*, 21, 1448-1452.

Rotem, A., & Lifshitz, J.M., 1971, Longitudinal Strength Of Unidirectional Fibrous Composite Under High Rate Of Loading. Proc. 26th Annual Tech. Conf. Soc. Plastics Industry Reinforced Plastics, Composites Division, Washington, DC, *Section* 10-G: pp. 1-10.

Sang-Min Lee, Jae-Seung Cheon, Yong-Taek Im., 1999, Experimental and numerical study of the impact behavior of SMC boards.

Sankar, B.V., 1992, Scaling Of Low Velocity Impact for Symmetric Composite Laminates. *Journal of Reinforced Plastics Composites*, 11, 85, 297-305.

Sayer, M., 2009, Hibrit kompozitlerin darbe davranışlarının incelenmesi, Doktora Tezi, *Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Denizli.

Schulz, N., 1971, Existance, *Spoce and Architecture Studio Visto*, Londra.

Sierakowski, R.L., & Chaturvedi, S.K., 1997, Dynamic Loading and Characterization of Fiber-Reinforced Composites. New York, Wiley. Sugun, B.S., & Rao, R.M.V.G.K. (2004) Low Velocity Impact of Glass, Carbon and Kevlar Composites Using Repeated Drop Tests. *Journal of Reinforced Plastics and Composites*. Vol.23,No.15, 1583-1599.

Sierakowski, R.L., Nevil, G.E., Ross, A., & Jones, E.R., 1971, Dynamic Compressive Strength and Failure of Steel Reinforced Epoxy Composites. *Journal of Composite Materials*. 5, 362-377.

Stronge, W.J., (2000), Impact Mechanics. Cambridge, *Cambridge University Press*. 1-26.

Sun, C.T., & Chattopadhyay, S., (1975), Dynamic Response of Anisotropic Laminated Boards under Initial Stress to Impact of a Mass. *ASME Journal of Mechanics*. 42, 693-698.

Şahin, A., (2011), Düşük hızlı darbe görmüş filaman sarim e-cami/epoksi boruların iç basınç altında yorulma davranışlarının incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya, 47-49.

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

Tuna, İ.E, Şenkal, F. (2000) Alçı, polistren sert köpük cam lifi kompoziti üzerinde mekanik etkilerin araştırılması, *III.Alçı Bilimleri Kongresi*, 130-142.

Uyaner, M., Kara, M. 2012, Experimental Study of the Impact Behavior of Laminated Composites Striken by Sharp Impactors, Science and Engineering of Composite Materials, 19(3), ISSN (Online) 2191-0359, ISSN (Print) 0792-1233, DOI: 10.1515/secm-2011-0135.

Uyaner, M., Kara, M., 2007 Dynamic response of laminated composites subjected to low-velocity impact, Journal of Composite Materials, 41(24), 2877-2895, ISSN: 0021-9983.

Wang, H., & Vukhanh, T.. 1994. Damage Extension in Carbon Fiber/PEEK Cross Ply Laminates under Low-Velocity Impact. Journal of Composite Materials. 28,684-704.

Whittingham, B., Marshall, I.H., Mitrevski, T., Jones, R. 2004, The Response of Composite Structures with Pre-Stress Subject to Low Velocity Impact Damage. *Composite Structures*, 66, 685-698.

Yavuz.H., 2000, Alçı karışımlı fiziksel model malzemesinin özelliklerinin incelenmesi, *III.Alçı Bilimleri Kongresi*, İstanbul, 225-233.

EKLER

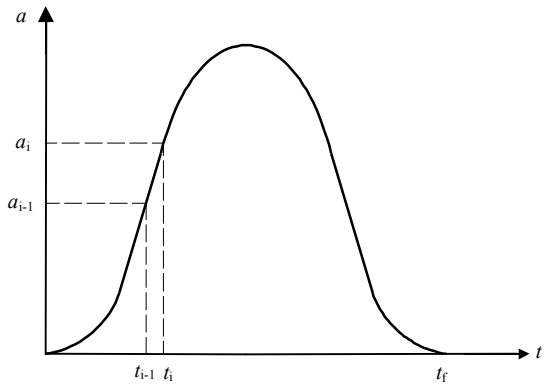
EK-1 KİNEMATİK ANALİZ HESAPLAMA MODÜLÜ

Ek-1.1 Merkezi Çarpışmanın Kinematiği

Merkezi çarpışma için $t=t_i$ anındaki ivme Newton'un 2. kanunu yardımıyla hesaplanır:

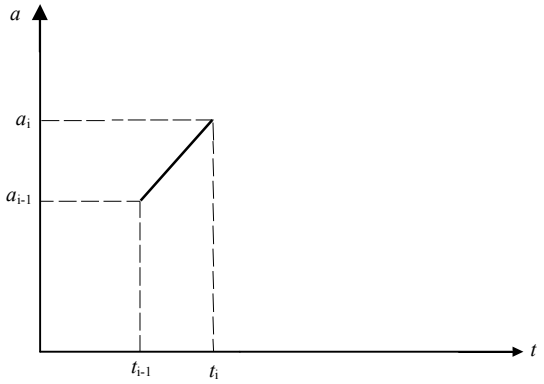
$$a_i = \frac{F_i}{m} \tag{Ek-1.1}$$

Burada F_i, t_i anında kuvvet algılayıcıdan elde edilen kuvvet değeridir. İvmenin zamana göre değişimi, kuvvet-zaman grafiğine benzer.



Şekil Ek-1.1 İvmenin zamana göre değişimi

Şekil Ek-1.1'den görüleceği üzere ivme zamana en az 2. dereceden bağlıdır. Δt zaman aralığı çok küçük olduğundan bu değişim 1. dereceden kabul edilebilir. Deney sonuçları 1. dereceden ve 2 dereceden yaklaşımla değerlendirildiğinde elde edilen sonuçlar arasında ihmal edilecek kadar küçük farklar elde edilmiştir. Bu nedenle ifadeler basitliği ve hesap kolaylığı açısından 1. dereceden yaklaşım ile denklemler türetilecektir.



Şekil EK-1.2 1.dereceden yaklaşımla ivme-zaman değişimi

İki noktadan bir doğru geçer. Şekil EK-1.2 de (a_{i-1} , t_{i-1}) ile (a_i , t_i) noktalarından geçen doğrunun denklemi,

$$a(t) = kt + c \tag{Ek-1.2}$$

Burada k doğrunun eğimi olup,

$$k = \frac{a_i - a_{i-1}}{t_i - t_{i-1}} \tag{Ek-1.3}$$

ve c,

$$c = \frac{t_i a_{i-1} - t_{i-1} a_i}{t_i - t_{i-1}} \tag{Ek-1.4}$$

$$a(t) = \frac{dv}{dt},\ dv = a(t)dt \tag{EK-1.5}$$

(EK-1.5) yardımıyla hız,

$$v = v_0 + \frac{1}{2}k(t^2 - {t_0}^2) + c(t - t_0) \tag{Ek-1.6}$$

t_{i-1} ve t_i zaman aralığı için (EK-1.6) denklemini düzenlersek,

$$v_i = v_{i-1} + \frac{1}{2}k_i(t_i^{\,2} - t_{i-1}^{\,2}) + c_i(t_i - t_{i-1}) \tag{Ek-1.7}$$

Şimdi yer değiştirmeleri bulalım,

$$v = \frac{ds}{dt},\ ds = vdt \tag{Ek-1.8}$$

(EK-1.8) denkleminde (EK-1.6) daki *v* ifadesini yerine koyarsak

$$s = s_0 + \frac{1}{6}k(t^3 - t_0^{\,3}) + \frac{1}{2}c(t^2 - t_0^{\,2}) - (v_0 + ct_0 + \frac{1}{2}kt_0^{\,2})(t - t_0) \tag{Ek-1.9}$$

t_{i-1} ve t_i zaman aralığında yer değiştirme,

$$s_i = s_{i-1} + \frac{1}{6}k_i(t_i^{\,3} - t_{i-1}^{\,3}) + \frac{1}{2}c_i(t_i^{\,2} - t_{i-1}^{\,2}) - (v_{i-1} + c_i t_{i-1} + \frac{1}{2}k_i t_{i-1}^{\,2})(t_i - t_{i-1}) \tag{Ek-1.10}$$

Böylece N çift (F_i , t_i) kuvvet-zaman verilerinden N çift (F_i , s_i) kuvvet-yer değiştirme değerleri elde edilir.

EK-1.2 Düşük Hızlı Darbe Neticesinde Deney Numunesi Tarafından Yutulan Enerjinin Bulunması

Kütlenin hareket süresince değişmesi halinde Newton'un ikinci kanunu:

$$F = \frac{d(mv)}{dt} \tag{Ek-1.11}$$

Burada *m.v* terimi lineer momentum *p* dir. Kütlenin sabit olması halinde (Ek-1.11) denklemi;

$$Fdt = d(mv) = mdv \tag{Ek-1.12}$$

halini alır.

$$\int_{t_1}^{t_2} F dt = \int_{v_1}^{v_2} m dv \qquad \text{(Ek-1.13)}$$

Eşitliğindeki sol tarafta bulunan entegral, kuvvet-zaman eğrisi altındaki alanı verir ve itki kuvveti (impuls) olarak isimlendirilir. İtki kuvveti J ile gösterilir.

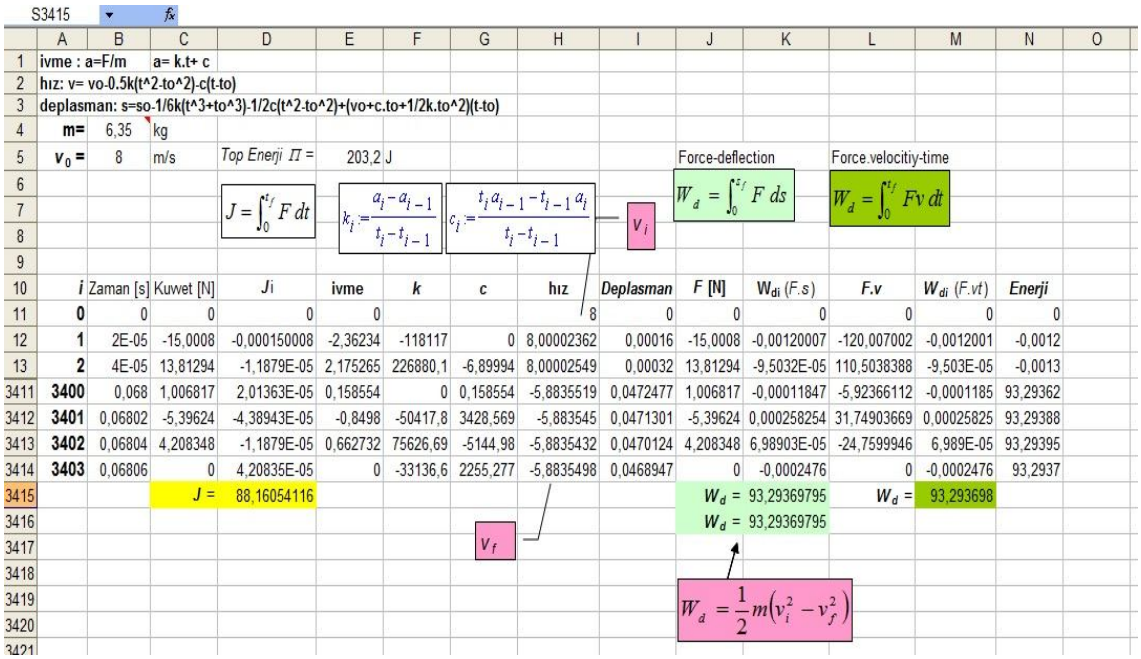
$$J = \int_{t_1}^{t_2} \left(\frac{dp}{dt} \right) dt = p_{t_2} - p_{t_1} = p_{final} - p_{initial} = \Delta p = m \qquad \text{(Ek-1.14)}$$

(Ek-1.14) dan itki kuvveti J'nin lineer momentumdaki değişime eşit olduğu görülür.

$$\int_{t_{01}}^{t} F v dt = \int_{v}^{v} v dp = \frac{1}{2} m(v_2{}^2 - v_1{}^2) \qquad \text{(Ek-1.15)}$$

(Ek-1.15) eşitliğinin sağ tarafının kinetik enerjideki değişime eşit olduğu görülmektedir. Bu da numune tarafından yutulan enerjiyi vermektedir.

Bu hesaplamaların taşındığı Excel sayfa görüntüsü Şekil Ek-1.3 de görülmektedir. Signal Express ten elde edilen kuvvet-zaman verileri bir makro aracılığıyla bir döngü içersinde tüm deneyler için ayrı ayrı sayfalara aktarılmakta, hesaplar yapılmakta ve grafikler çizdirilmektedir.



Şekil Ek-1.3 Kinematik analiz hesaplama modülü

Malzeme tarafından yutulan enerjinin hesabı, Denklem Ek-1.15 den veya kuvvet-yer değiştirme eğrisinin altında kalan alandan hesaplanır.

A sütunu Excel hesap modülünün sıra numarasını belirtir.

B ve C sütunlarına NI Signal Express yazılımı ile hesaplanan zamana göre kuvvetin değişim verileri yazılmaktadır.

D sütunu Denklem Ek-1.13 ü kullanarak itki kuvvetini (impuls) verir. İntegral hesabında yamuklar kuralı kullanılmıştır. Bu kurala göre hesap modülünde D12'ye şu formül yazılır. "=(C12+C11)/2*(B12-B11)"

E sütunu ivmeyi verir. $a=F/m$ formülü ile bulunan ivme, kuvvetin kütleye bölünmesi ile bulunabilmektedir.

F sütunu k katsayısını (Denklem Ek-1.3) vermektedir. Excel hesap modülümüzde "=(E12-E11)/(B12-B11)" şeklinde ifade edilen k katsayısı mevcut zamandan önceki zaman farkının, mevcut ivmenin önceki ivme farkına bölünmesi ile elde edilmiştir.

G sütunu c katsayısını (Denklem Ek-1.4) vermektedir. Excel hesap modülümüzde "=(B12*E11-B11*E12)/(B12-B11)" şeklinde ifade edilen c katsayısı mevcut zamanın önceki ivmenin çarpımlarının, önceki zamanın mevcut ivmeyle çarpımının farkı bulunup, mevcut zamanın önceki zaman farkına bölünmesi ile elde edilmiştir.

H sütunu hızı vermektedir. Hız, Denklem Ek-1.7 deki formül ile hesaplanır. Excel hesap modülümüzde 12. satırdaki hızımız "=H11-0,5*F12*(B12^2-B11^2)-G12*(B12-B11)" şeklinde ifade edilebilmektedir.

I sütunu deplasmanı vermektedir. Deplasman, Denklem Ek-1.9 deki formül ile hesaplanır. Excel hesap modülümüzde 12. satırdaki hızımız =I11-1/6*F12*(B12^3-B11^3)-1/2*G12*(B12^2-B11^2)+(H11+G12*B11+1/2*F12*B11^2)*(B12-B11)" şeklinde ifade edilebilmektedir.

J sütunundaki kuvvet C sütunundaki kuvvetin tekrarıdır. Burada tekrar kullanılmasının amacı daha kolay bir şekilde kuvvet-deplasman eğrisini çizdirebilmek içindir.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı	**:**	Müfit METİNÖZ
Uyruğu	**:**	T.C
Doğum Yeri ve Tarihi	**:**	KONYA 19/05/1985
Telefon	**:**	0544 861 86 60
Faks	**:**	
e-mail	**:**	mufit.10@hotmail.com

EĞİTİM

Derece		**Adı, İlçe, İl**	**Bitirme Yılı**
Lise	:	**Karatay Lisesi, Karatay, Konya**	**2002**
Üniversite	:	**Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Karabük**	**2008**
Yüksek Lisans	:	**Selçuk Ün. Fen. Bil. Enst. Makina Müh. A.B.D**	**2013**
Doktora	:		

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	**Kurum**	**Görevi**
2008-2011	**Anser Isıtma Tesisat Taah. Ltd. Şti**	**Proje Sorumlusu**
2011-…	**Alaplı İMKB Teknik ve EML.**	**Tesisat Öğretmeni**

YABANCI DİLLER İngilizce (orta)