

**DÜŞÜK ENERJİLİ SERBEST AĞIRLIK DÜŞME TEST DÜZENEĞİ
TASARIM VE İMALATI, DÜŞÜK ENERJİ SEVİYELERİNDE DARBE
TESTİ YAPILMASI**

Mehmet Akif AKDOĞAN

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**KASIM 2008
ANKARA**

Mehmet Akif AKDOĞAN tarafından hazırlanan “DÜŞÜK ENERJİLİ SERBEST AĞIRLIK DÜŞME TEST DÜZENEĞİ TASARIM VE İMALATI, DÜŞÜK ENERJİ SEVİYELERİNDE DARBE TESTİ YAPILMASI” adlı bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Y.Doç.Dr. O.Selim TÜRKBAŞ
Tez Danışmanı, Makina Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Makine Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Prof.Dr. Müfit GÜLGEÇ
Makina Mühendisliği Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Y.Doç.Dr. O.Selim TÜRKBAŞ
Makina Mühendisliği Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Prof.Dr. Faruk Mendi
Makina Eğitimi Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Tarih: 14/11/2008

Bu tez ile G.Ü.Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Nail ÜNSAL
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada orijinal olmayan her türlü kaynağa eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Mehmet Akif AKDOĞAN

**DÜŞÜK ENERJİLİ SERBEST AĞIRLIK DÜŞME TEST DÜZENEĞİ
TASARIM VE İMALATI, DÜŞÜK ENERJİ SEVİYELERİNDE DARBE TESTİ
YAPILMASI
(Yüksek Lisans Tezi)**

Mehmet Akif AKDOĞAN

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
Kasım 2008**

ÖZET

Bu tez düşük enerjili bir serbest düşme test düzeneğinin tasarım ve imalatını, kurulan bu düzenekte yapılan düşük enerji seviyelerinde darbe testine ait örnekleri içermektedir. İmalat, Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümüne ait Mekanik ve Mukavemet Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Ayrıca metallere şekil vermekte kullanılan makinalar ayrıntılı olarak incelenmiş, çekiçlerin çeşitleri ve genel tasarım esasları sunulmuştur. Yapılan bu incelemelerin ışığı altında; serbest düşme test düzeneğinin, metallere şekil verme amacıyla kullanılan makinalar arasında en basit ve en ucuzu olduğuna karar verilmiştir. İmal edilen bu serbet düşme test düzeneğinin ana parçalarını; iki adet kızak direği, bir adet örs, bir adet koç, bir adet hız ölçüm sistemi ve bir adet serbest bırakma mekanizması oluşturmaktadır. Test düzeneğinin düşme yüksekliği yaklaşık olarak 4 – 4,5 metredir ve elde edilecek maksimum hız yaklaşık olarak 8 m/s olmaktadır. Bu yükseklikten bırakılacak olan 7 kg'lık bir koç, 190 J çarpışma enerjisi oluşturmaktadır. Ayrıca bu test düzeneği sayesinde,

düşük enerji seviyelerindeki çarpışma testleri dışında, yüksek hızda talaşsız çubuk kesme, sac çekme ve şişirme gibi diğer metallere şekil verme işlemleri de gerçekleştirilebilmektedir.

Bilim Kodu : 914.1.090
Anahtar Kelimeler : Çekiç, Serbest Ağırlık Düşme Çekici, Yerçekimsel Düşme Çekici, Darbe, Darbe Testi, Darbe Makinaları
Sayfa Adedi : 87
Tez Yöneticisi : Y.Doç.Dr. Osman Selim TÜRKBAŞ

**DESIGN AND CONSTRUCTION OF A LOW-ENERGY GRAVITY DROP
HAMMER AND TESTING OF LOW-ENERGY IMPACTS**

(M.Sc. Thesis)

Mehmet Akif AKDOĞAN

**GAZİ UNIVERSITY
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY
November 2008**

ABSTRACT

The thesis presents the design and construction of low-energy gravity drop hammer and results of sample tests conducted at low energy levels. The testing mechanism is manufacturing and assembled in Mechanics Laboratory of Mechanical Engineering Department at Gazi University. In this thesis metal forming machines are surveyed in detail, classification and design criterias of hammers are presented. It is found that, the gravity drop hammer is the simplest and cheapest device for performing metal forming processes at low impact speeds. The constructed gravity drop hammer consists of mainly two guides, a bottom anvil, a ram, an accelerometer and a quick release mechanism. The drop height of the hammer is approximate 4 – 4,5 m. The maximum available impact speed of the ram is about 8 m/s. Also the work capacity of the hammer is about 190 J for the 7kg-ram. Otherwise, Most of the metal forming operations such as bar cropping, sheet metal operations can be performed by using the the hammer.

Science Code : 914.1.090
Key Words : Hammer, Gravity Drop Hammer, Impact, Impact Testing, Impact Machines
Page Number : 87
Adviser : Y.Doç.Dr. Osman Selim TÜRKBAS

TEŞEKKÜRLER

Yüksek lisans tez çalışmam süresince beni yönlendiren, değerli bilgilerini ve yardımlarını esirgemeyen danışmanım Y.Doç.Dr. O.Selim TÜRKBAŞ'a, jüri üyelerim Prof.Dr. Müfit GÜLGEÇ ve Prof.Dr. Faruk MENDİ'ye teşekkürü bir borç bilirim. Ayrıca test düzeneğinin imalatı süresince ve eğitim hayatım boyunca bana maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen babam Güngör Akdoğan ve annem H. Müjgan Akdoğan'a teşekkür eder, minnetimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT	vi
TEŞEKKÜR	vii
İÇİNDEKİLER	viii
ÇİZELGELER LİSTESİ	xi
ŞEKİLLER LİSTESİ	xii
RESİMLER LİSTESİ	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR	xv
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR TARAMASI	4
3. DARBE TESTLERİ	11
3.1. Düşük Hızlı Darbenin Belirlenmesi	11
3.2. Enine Darbe	12
3.3. Darbe Testi Çeşitleri	13
4. PLASTİK ŞEKİL VERME YÖNTEMLERİ	16
4.1. Dövme İşlemi	16
4.2. Dövme İşleminin Sınıflandırılması	18
4.2.1. Açık Dövme	18
4.2.2. Kapalı Dövme	19
5. ŞEKİL VERME MAKİNALARININ GENEL KARAKTERİSTİKLERİ	22
5.1. Şekil Verme Makinalarının Sınıflandırılması	22
5.1.1. Yük Sınırlamalı Şekil Verme Makinaları (Hidrolik Presler) ...	23
5.1.2. Strok Sınırlamalı Şekil Verme Makinaları (Krank Presleri) ..	24

	Sayfa
5.1.3. İş Sınırlamalı Şekil Verme Makinaları (Vida Presleri)	24
5.2. İş Sınırlamalı Şekil Verme Makinalarının Sınıflandırılması	26
5.2.1. Vida Presleri	26
5.2.2. Çekiçler (Şahmerdanlar)	28
6. ÇEKİÇLERİN SINIFLANDIRILMASI	29
6.1. Yerçekimsel Düşüm Çekiçleri (Gravity Drop Hammers)	30
6.1.1. Düşüm Çekici (Board Drop Hammer)	30
6.1.2. Hava Kaldırmalı Düşüm Çekici (Air-Lift Drop Hammer)	32
6.1.3. Halatlı Düşüm Çekici (Rope Hammer)	32
6.2. Güç Takviyeli Düşüm Çekiçleri (Power or Steam Drop Hammers)	33
6.2.1. Karşı Vuruşlu Çekiçler (Counterblow Hammers)	37
6.3. Yüksek Enerji Seviyeli Şekillendirme Çekiçleri (HERF Hammers)	38
6.4. Serbest Düşme Çekiç Tipinin Belirlenmesi	39
7. SERBEST AĞIRLIK DÜŞME ÇEKİCİNİN TASARIM KRİTERLERİ	40
7.1. Çarpışma Enerjisi ve Çarpışma Hızı	40
7.2. Yapısal Deformasyon	43
7.3. Sabitleme Şartları	44
7.4. Güvenlik Önlemleri	45
8. SERBEST AĞIRLIK DÜŞME ÇEKİCİNİN TASARIM VE İMALATI	46
8.1. Temel	48
8.2. Taşıyıcı İskelet ve Kızaklar	50
8.3. Örs	53
8.4. Koç ve Kızak Bağlantıları	54
8.5. Sönümleyiciler	56

	Sayfa
8.6. Yükseltme ve Serbest Bırakma Mekanizmaları	57
9. HIZ ÖLÇME SİSTEMİ VE KALİBRASYON	60
9.1. Sensörler	61
9.2. Schmitt Trigger	62
9.3. LCD (Liquid Crystal Display)	62
9.4. Güç Kaynağı	63
9.5. Mikrokontrolör	63
9.6. Yazılım	64
9.7. Maksimum Hız	66
9.8. Minimum Hız	66
9.9. Kalibrasyon	68
10. DENEYSEL METAL ŞEKİLLENDİRMELERİNE ÖRNEKLER	72
10.1. Serbest Şişirme	72
10.2. Plaka Metal Şekillendirme	75
11. SONUÇ VE ÖNERİLER	80
KAYNAKLAR	83
ÖZGEÇMİŞ	86

ÇİZELGELER LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 5.1. Metal Şekillendirme Makinalarının Karşılaştırılması	25
Çizelge 6.1. Çeşitli Çekiç Türlerinin Kapasiteleri	29
Çizelge 9.1. Teorik ve deneysel hızların yüksekliğe göre değişimi	68

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 1.1. Alüminyum'un statik ve dinamik yükler altındaki davranışı	3
Şekil 2.1. Çolakoğlu'nun test düzeneğinin şematik gösterimi	4
Şekil 2.2. Shubel'in çalışmalarında kullandığı panel	5
Şekil 2.3. Shubel'in çalışmasından deneysel ve analitik sonuçlar	6
Şekil 2.4. Shubel'in çalışmasından malzemenin gerinim davranışları	6
Şekil 2.5. Baucom'un test düzeneğinin şematik gösterimi	7
Şekil 5.1. Şekil verme makinalarının sınıflandırılması	23
Şekil 5.2. İş sınırlamalı şekil verme makinalarının sınıflandırılması	26
Şekil 5.3. Vida preslerinin çalışma sistemleri	27
Şekil 6.1. Düşüm çekicini oluşturan temel parçalar	31
Şekil 6.2. Halatlı düşüm çekici	32
Şekil 6.3. Güç takviyeli düşüm çekicinin ana parçaları	33
Şekil 6.4. Açık kalıpta dövme için kullanılan tek ayaklı çekiç	35
Şekil 6.5. Açık kalıpta dövme için kullanılan çift ayaklı çekiç	36
Şekil 6.6. Buhar – hidrolik karşı vuruşlu çekiğin ana parçaları	37
Şekil 6.7. İç iskeletli, iki koçlu ve kontrollü enerji akışlı makinalar	38
Şekil 9.1. Hız ölçme mekanizmasının devre şeması	60
Şekil 9.2. Sensörün şekli ve iç yapısı	61
Şekil 9.3. Hız ölçme sisteminin algoritması	65
Şekil 9.4. Teorik ve deneysel hızların düşüş yüksekliğine göre değişimi .	70

RESİMLER LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 8.1. Test düzeneğinin kurulduğu laboratuvarın bir görüntüsü	47
Resim 8.2. Test düzeneğinin kurulduğu laboratuvarın bir görüntüsü	47
Resim 8.3. Temel betonunun atılacağı yer	49
Resim 8.4. Temel betonunun bir görünüşü	49
Resim 8.5. Taşıyıcı iskeletin bir görünüşü	51
Resim 8.6. Taşıyıcı iskeletin asıldıktan sonraki görünüşü	51
Resim 8.7. Kızak boruları asıldıktan sonra düzeneğin bir görünüşü	52
Resim 8.8. Örsün bir görünüşü	53
Resim 8.9. Sistem kurulduktan sonra örsün bir görünüşü	54
Resim 8.10. Koçun bir görünüşü	55
Resim 8.11. Koçun diğer bir görünüşü	56
Resim 8.12. Kızaklar etrafındaki sönümleyici pedler	57
Resim 8.13. El vincinin bir görünüşü	58
Resim 8.14. Serbest bırakma mekanizmasının bir görünüşü	59
Resim 8.15. Serbest bırakma mekanizmasının diğer bir görünüşü	59
Resim 9.1. Hız ölçme sisteminin bir görünüşü	67
Resim 9.2. Hız ölçme sisteminin diğer bir görünüşü	67
Resim 9.3. Test düzeneğinin tamamlandıktan sonra görünüşü	71
Resim 10.1. Alüminyum barların yandan görünüşü	73
Resim 10.2. Alüminyum barların farklı bir görünüşü	73
Resim 10.3. Alüminyum tüplerin yandan görünüşü	74
Resim 10.4. Alüminyum tüplerin üstten görünüşü	74
Resim 10.5. Alüminyum tüplerin farklı bir görünüşü	75

Resim	Sayfa
Resim 10.6. 1mm'lik alüminyum numuneler	76
Resim 10.7. 1mm'lik alüminyum numuneler	76
Resim 10.8. 5mm'lik alüminyum numuneler	77
Resim 10.9. 5mm'lik alüminyum numunelerin yandan görünüşü	77
Resim 10.10. 1mm'lik çelik numuneler	78
Resim 10.11. 1mm'lik çelik numunenin yandan görünüşü	78
Resim 10.12. 2mm'lik çelik numuneler	79
Resim 10.13. 2mm çelik numunelerin yandan görünüşü	79

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış bazı simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklama
A	Alan, m^2
ω	Açısal hız, rad/s
σ	Gerilme, Pa
E	Gerinim
m	Kütle, kg
E_R	Sekme enerjisi, J
E_N	Şekillendirme enerjisi, J
E_G	Sürtünme enerjisi, J
E_T	Kayıp enerjiler toplamı, J
E	Toplam Enerji
W_1	Koç ağırlığı, N
W_2	Örs ağırlığı, N
V_1	Koç hızı, m/s
V_2	Örs hızı, m/s
V	Çarpışma hızı, m/s
m_1	Koç kütlesi, kg
m_2	Örs kütlesi, kg
h	Düşme yüksekliği, m
a	Koçun ivmesi, m/s^2
g	Yerçekimi ivmesi, m/s^2
η_B	Çarpışma verimi
R	Sürtünme kuvveti, N
P	Dikey kuvvetler toplamı, N

1. GİRİŞ

Malzemelerin mekanik özellikleri yükleme durumlarına ve sıcaklıklarına göre farklılıklar gösterir. İki çeşit yükleme durumu vardır.

- Statik yükleme
- Dinamik yükleme

Dinamik yükleme; darbe, titreşim, yorulma, şok ve tekrarlanan yüklemeler gibi çeşitli şekillerde meydana gelebilir. Dinamik yükleme çeşitlerinin en önemlilerinden biri kuşkusuz darbedir.

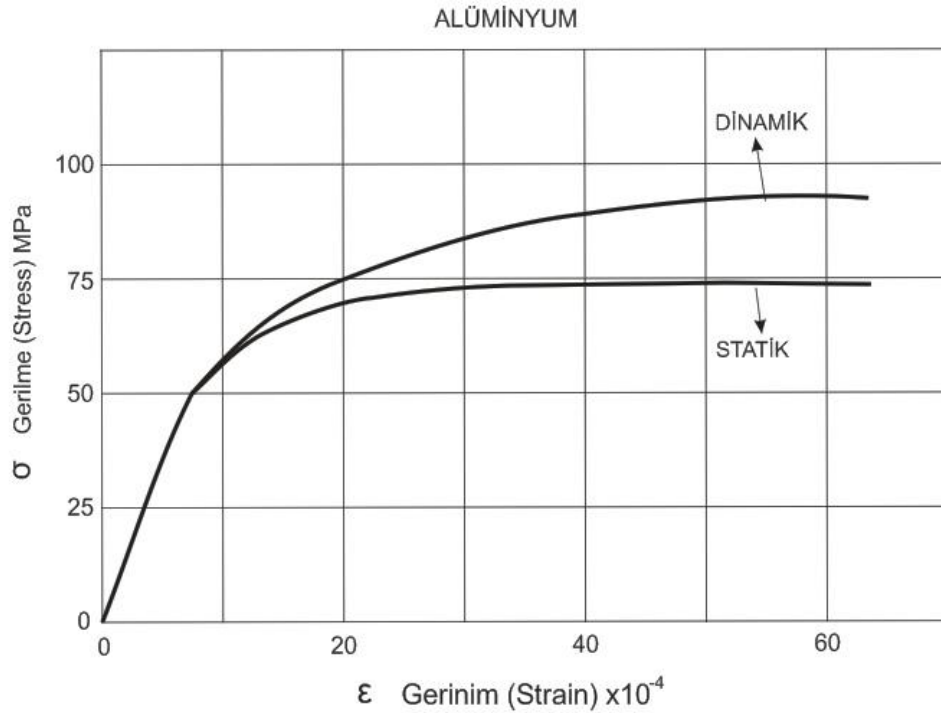
Mühendislik uygulamalarında, özellikle de mekanik uygulamalarda, dışarıdan gelecek herhangi bir darbeye karşı beklenmedik sonuçların ortaya çıkmaması için, malzemenin gerekli en uygun cevabı veya davranışı verebilmesi istenir. Uygulama yerine ve kullanım amacına göre malzemenin maruz kalabileceği darbeler 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 absorbe edebilirler. Metaller sabit bir gerilme durumunda yapı sertleşmeden önce çok büyük uzamalarda akabilirler, bu nedenle oluşacak kopmalar ani ve beklenmedik olmaz. Kompozit malzemelerde bir darbe sonucunda oluşan hasar, çarpmanın türüne göre darbeye maruz kalmayan yüzeyde meydana gelebilir, iç yapıda oluşan delaminasyonlar (tabakalar arasında ayrılma) şeklinde başlayabilir. Yukarıda da bahsedildiği gibi metallerde darbe cevabı, plastik şekil değiştirme sonucunda bir kopma şeklinde olmasına rağmen, kompozitler çok değişik modlarda hasara uğrayabilirler ve bu hasar modlarında parçanın

yapısal bütünlüğünde ciddi bir değişiklik meydana gelmez. Genellikle gözle görülmeyen veya çok zayıf bir şekilde görülebilen hasarlar meydana gelir. Plastik matrisli kompozit malzemelerin hemen tamamı kırılmalıdır, bu nedenle enerjiyi sadece elastik deformasyon ve bazı hasar mekanizmaları (matris kırılması, delaminasyon, fiber kopması v.b) sayesinde absorbe edebilirler, diğer bir deyişle enerjiyi absorbe etmede plastik deformasyonun katkısı hemen hemen hiç yoktur. Bu anlamda hasar direnç ifadesi, bir kompozit sistemde meydana gelen darbe hasarının miktarını ifade eder. 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 nisbeten zayıftır. Tabakalar arası gerilmeler (kayma gerilmesi ve normal gerilme) 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.

19. yüzyıldan itibaren darbe etkisi altındaki malzemelerin özellikleri ile ilgili çalışmalar artmaya başlamıştır [1-2]. Başlangıçta deneysel çalışmalar deney düzeneklerinin yeterli olmamasından dolayı sınırlı kalmıştır [3]. Malzemelerin yüksek gerinim hızı altında statik yüklerden daha fazla yüke dayanabileceği deneysel olarak ilk defa John Hopkinson tarafından gösterilmiştir [4-5]. Şekil 1.1'de Campbell'in 1952 yılındaki çalışmasından alüminyum için dinamik ve statik yükler altında malzeme davranışına bir örnek verilmiştir [6].

Malzemelerin statik ve dinamik yükler altında farklı mekanik özellikler göstermesi özellikle askeri alanda yüksek gerinim hızına maruz kalan parçalarda önem kazanmaktadır. Kullanılacak malzemelerin bünye

denklemlerinin elde edilmesi, darbeye maruz parçalar için tasarımcıya büyük fayda sağlayacaktır.



Şekil 1.1. Alüminyum'un statik ve dinamik yükler altındaki davranışı

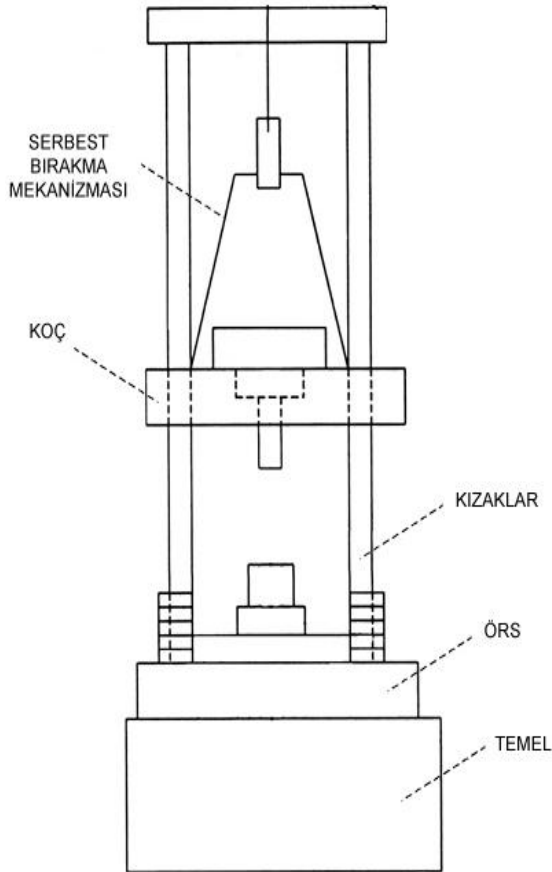
Bu çalışmanın amacı da, malzemelerin düşük hızlardaki çarpışma etkisi altında maruz kalacakları gerilmeler ve gösterecekleri gerinim davranışlarını inceleyebilmek amacıyla bir test düzeneği tasarlamak, tasarlanan bu düzeneği imal etmek, ve ayrıca çeşitli numunelerle doğrulama testleri yaparak test düzeneğinin çalışır durumda olduğunu göstermektir.

Ayrıca imal edilecek bu serbest ağırlık düşme çekici sayesinde, talaşsız çubuk kesme, sac çekme, şişirme gibi birçok metale şekil verme işlemi de gerçekleştirilebilmektedir.

Bu test düzeneği temel olarak iki kızak direği, bir örs, bir koç, bir hız ölçüm sistemi ve bir ani bırakma mekanizmasından oluşmaktadır. Koçun ağırlığına göre düşme çekicinin iş yapma kapasitesi de değişebilmektedir.

2. LİTERATÜR ÖZETİ

Literatürde, bu çalışmaya benzer çalışmalarda serbest ağırlık düşme çekiçleri imal edilmiş ve bu düzeneklerde farklı çalışmalar yapılmıştır.

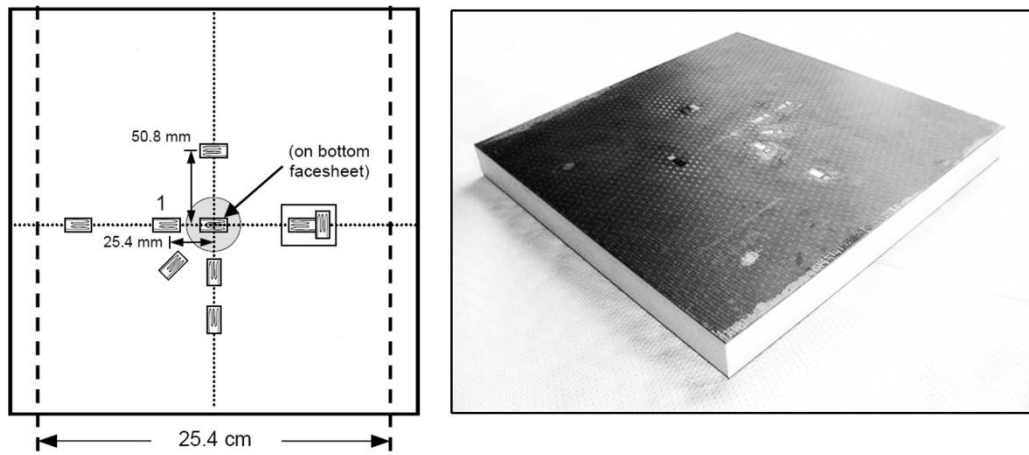


Şekil 2.1. Çolakoğlu'nun test düzeneğinin şematik gösterimi [7]

Çolakoğlu'nun yaptığı çalışma serbest ağırlık düşme çekiçinin tasarımını, imalatını ve kalibrasyonunu içermektedir. Bu imalat, Orta Doğu Teknik Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümünde yapılmıştır. Çalışmada metale şekil vermekte kullanılan makinalar ayrıntılı olarak incelenmiş, bu incelemelerden elde edilen bilgilerin ışığı altında; serbest ağırlık düşme çekiçi, düşük çarpma hızlarında metale şekil verme işlemlerinin yapılabileceği en basit ve ucuz araç olarak görülmüş. Ve ayrıca çekiçlerin genel dizayn esasları verilmiş. Tasarlanan bu çekiçin efektif yüksekliği 4 – 4,5 metre

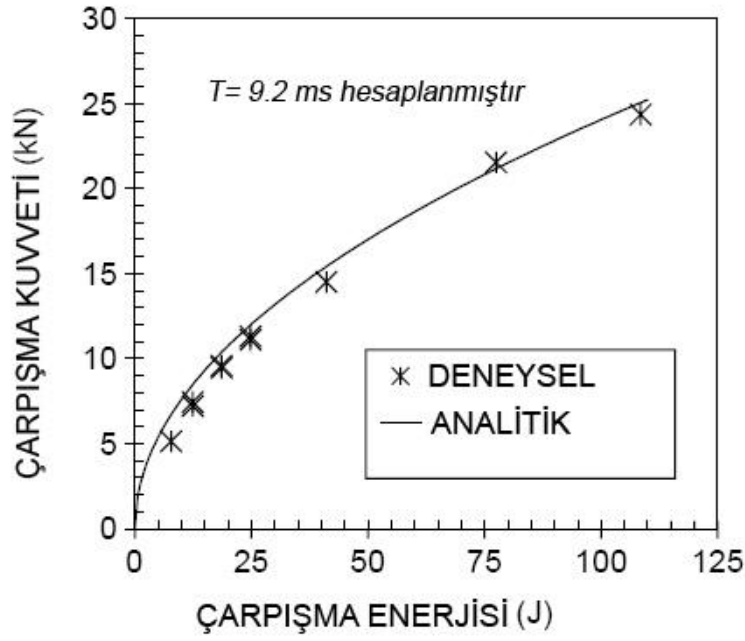
yüksekliğindedir. Maksimum 8 m/s çarpışma hızına ulaşılmış ve 10 kg'lık koç ağırlığı ile 300 J çarpışma enerjisi elde edilmiştir. Ayrıca kalibrasyon için metal plakalarda delik açma, yüksek hızda çubuk kesme deneyleri gerçekleştirilmiştir [7].

Serbest ağırlık düşme test düzeneğinin imalatıyla birlikte, literatürde bu test düzeneğine benzer düzeneklerde yapılan çalışmalara ait olan bir çok çalışma da mevcuttur.

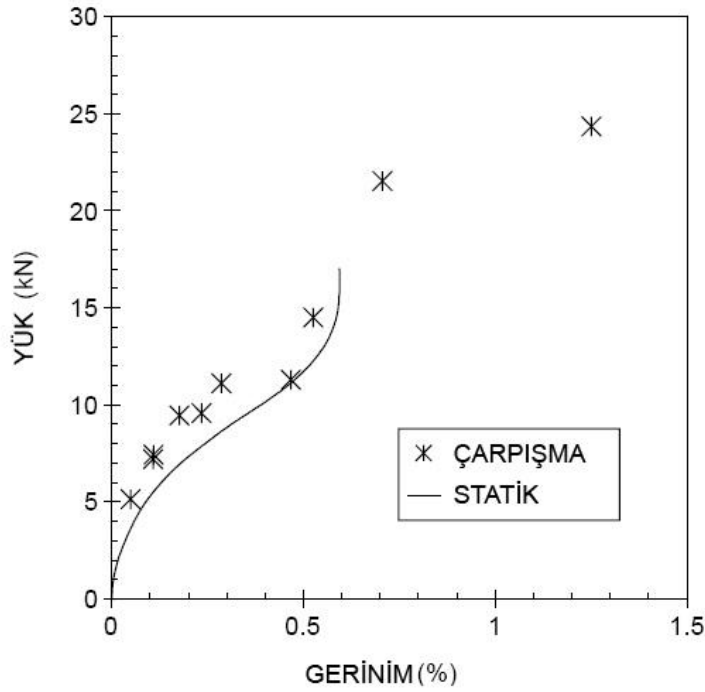


Şekil 2.2. Shubel'in çalışmalarında kullandığı panel [8]

Shubel yaptığı çalışmada benzer bir düzenek kullanmıştır. Karbonfiber / epoksi örgü yüzeye ve PVC merkezli malzemeye sahip sandviç panel üzerinde deneyler yapmıştır (Şekil 2.2). Panel, tam merkezde çarpışma olacak şekilde serbest ağırlık mekanizmasına yerleştirilmiş, çarpışma testleri ise 1,6 m/s ile 5,0 m/s arasındaki hızlarda, 7,8 J ve 108 J arasındaki çarpışma enerjileri ile gerçekleştirilmiştir. Serbest ağırlığın ilk çarpmadan sonra tekrar çarpmaması için manuel olarak durdurma sağlanmıştır. Dinamik yükleme sırasında yük, pozisyon ve gerinim değerleri dijital osiloskoplar yardımı ile toplanmış, sonuç olarak ta düşük hızda elde edilen verilerin analitik olarak elde edilen verilere çok yakın olduğu görülmüştür [8].



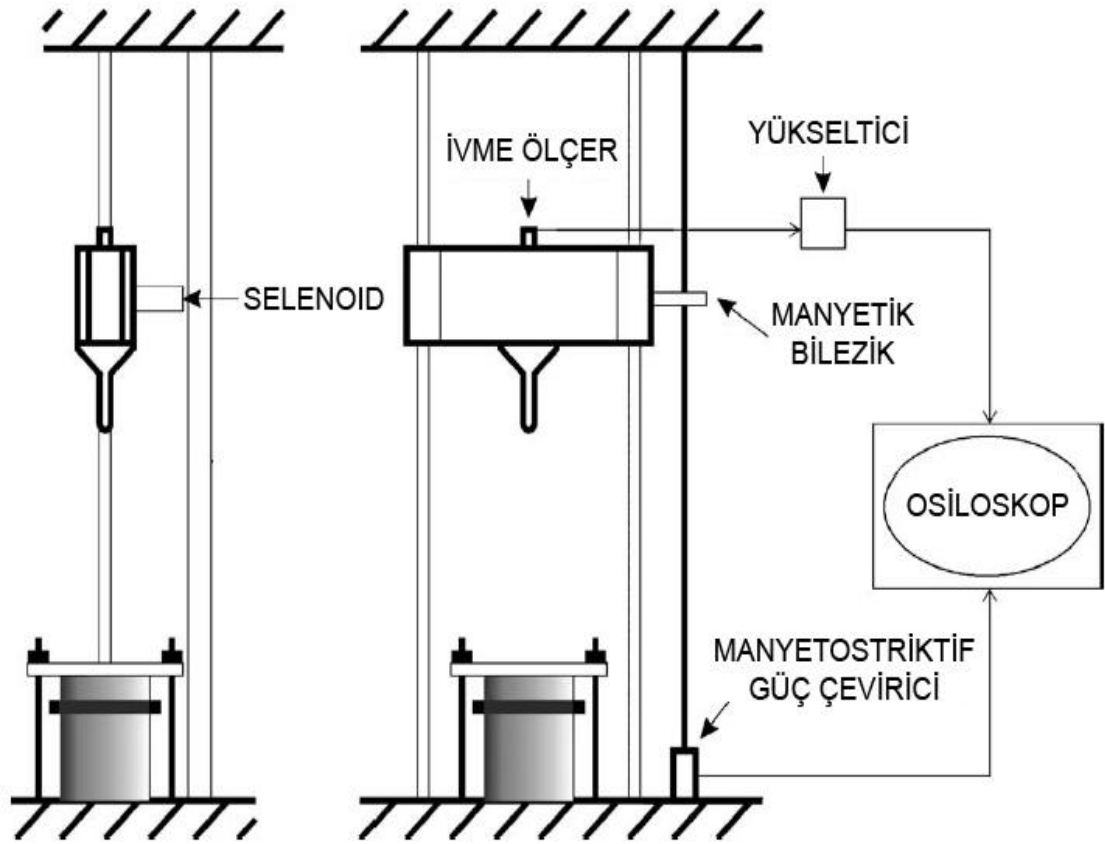
Şekil 2.3. Shubel'in çalışmasındaki deneysel ve analitik sonuçlar [8]



Şekil 2.4. Shubel'in çalışmasından malzemenin gerinim davranışları [8]

Kalay yaptığı çalışmada tek ve çok katmanlı alüminyum esaslı alaşım zırhlarının düşük hızlardaki balistik performanslarını etkileyen parametreleri incelemiştir. Bu amaçla 0,5 – 4,5 metre yükseklikleri arası çalışabilen çekiç düşürme test düzeneğine bağlı 8 kg ağırlığında bir çekiç kullanmıştır. Delici uç, eklenmiş 8 mm çapında düz uçlu çelik bir çubuktur. Test malzemesi olarak AA 2024 seçilmiştir. Araştırmanın ilk kısmında, yaşlandırma işlemine tabi tutulmuş AA 2024 plakaların, statik mekanik özellikleri ile çekiç düşürme deneylerinden elde edilen balistik limit hız değerleri arasındaki ilişki gözlemlenmiş, ikinci kısmında ise, AA 2024 plakalardan çok katmanlı hedefler oluşturulmuş ve çekiç düşürme test yöntemi kullanılarak performansları incelenmiştir. Ayrıca mekanik özellikleri sabit tutularak, aynı alan yoğunluğuna sahip tek ve çok katmanlı AA 2024 hedeflerin düşük hızlardaki balistik performansları karşılaştırılmıştır [9].

Baucom ve Zikry çalışmalarında, tekrarlanan serbest ağırlık çarpışma yük şartları altında örgü kompozit panellerin geometri ve hasar davranışlarını incelemişlerdir. Kullandıkları kompozit sistemler iki boyutlu düz örgü ve 3 boyutlu ortogonal yapılardan meydana gelmektedir. Çalışmalarında maksimum 5 m/s hıza ulaşabilen serbest ağırlık düşme çekici kullanmışlardır. Yaptıkları deneyler ise, 2 m/s hızda gerçekleştirilmiş. Düşme çekicinin ağırlığı 9,0 kg'dır. Çarpışma anında 18 J'lük bir enerji meydana gelmiştir. Sonuç olarak 3 boyutlu ortogonal örgü kompozitlerin diğerlerine göre daha fazla enerji sönümlendiği ve çökmeye ya da delinmeye karşı daha dirençli olduğunu görmüşlerdir [10].



Şekil 2.5. Baucom'un test düzeneğinin şematik gösterimi [10]

Übeyli yaptığı çalışmada, çeliklerle karşılaştırıldığında daha düşük alansal yoğunluklara sahip olmasına rağmen aynı balistik performansları veren, seramik önyüzlü, metal ya da kompozit katmanlı kompozit yapıları düşük hızda çarpışma etkisi altında incelemişler. Test sırasında, alümina/alüminum katmanlı kompozitlerin tabaka tipleri, alana bağlı yoğunlukları ve düşük hızlı balistik performansları incelenmiş, çeşitli malzemelerin birbirlerine göre gösterdikleri balistik dayanımları karşılaştırılmış. Sonuçlarda, katmanlama cinsinin, alansal yoğunluğun ve mekanik özelliklerin balistik performansa önemli şekilde etki ettiği görülmüş. Alansal uzunluk arttıkça balistik limitin arttığı, ayrıca 4 m/s – 9 m/s hızlarda çarpışmalara karşı en iyi koruma sağlayan malzemelerin ön katmanda seramik, arka katmanda ise yaşlandırılmış alüminyum alaşımdan olduğu gözlemlenmiştir [11].

Lin, çalışmasında nano-parçacıklarla doldurulmuş kompozitleri kullanarak düşük hızlarda çarpışma testleri gerçekleştirmiştir. Deneylerde, 2 m/s hızdan 9 m/s hıza kadar ayarlanabilen 1,5 kg ağırlığında düşme çekicine sahip bir test düzeneği kullanmıştır. 2,1 m/s, 5,2 m/s ve 8,1 m/s hızlarda yapılan deneylerde tüm takviyeli nano-kompozitlerin çarpışma sonuçları arasında lineer bir ilişki olduğunu görmüş, ayrıca nanokompozitlerin dolgu yapısının, geometrisinin, hacminin, sıcaklığının ve nano parçacıkların homojenliğinin çarpışma dayanımını etkilediği sonucuna varmıştır [12].

Ibekwe ve Mensah, çalışmalarında düşük sıcaklıklarda cam-fiber takviyeli kompozitlerin düşük hız çarpışmalarındaki davranışlarını incelemişlerdir. Deneylerini 0°C, -10°C ve -20°C'deki örneklerle yapmışlardır. Ayrıca 10°C ve 20°C'deki sonuçları da karşılaştırmalar için kullanmışlardır. Deney düzeneği pnömomatik olarak desteklenmiş bir serbest düşme çekicidir. 0,61 m/s'den 36,6 m/s'ye kadar hızlarda deney gerçekleştirilebilmektedir. Buna bağlı olarak çarpışma enerjileri 0,6 J – 840 J arasında değişmektedir. Deneyleri ise 2 m/s hızda ve 12,8 J oluşan enerji seviyesinde gerçekleştirmişler. Test sonuçlarında sıcaklığın çarpışma hasarları üzerindeki etkileri incelemişler [13].

Gustin ve Joneson ise çalışmalarında karbon fiber ve kevlar kombinasyonundaki sandviç kompozitlerin çarpışma davranışlarını incelemişlerdir. Kullandıkları test düzeneğinin maksimum çarpışma enerjisi yay sistemi yardımıyla 826 J'e kadar çıkartılmıştır. Ayrıca 7,25 kg ağırlığında düşme çekici kullanılmış. Deneysel veriler sonucunda Kevlar ya da Hybrid ile takviyelenmiş karbonfiberlerin faydalarını ve dezavantajlarını incelemişlerdir [14].

Alpan çalışmasında, hafif alaşımlı otomotiv jantına, standartlara göre yapılan darbe testinin simülasyonlarını, mühendislik yazılımları ile gerçekleştirmiş. Darbe testi, eşdeğer test şartları modelize edilerek non-lineer yapısal analizi sonlu elemanlar metodu kullanılarak yapılmış. Modelleme, uluslararası darbe

test cihazı standartları ve ISO 7141 standardı esas alınarak yapılmış. Otomobil jantı ve çelik darbe başlığı nümerik modeli PATRAN yazılımı ile oluşturulmuş. Darbe testi, yatayla 13° eğimli aparata bijonlardan sabitlenen jant kenarına 1 tonluk çelik darbe başlığın 230 mm yükseklikten düşürülmesi ile gerçekleştirilmiş. Yapısal dinamik performansın belirlenmesi için modelize edilen otomobil jantı darbe testi analizleri DYTRAN yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiş. Dinamik yük modelleme ile elde edilen sayısal sonuçlar, darbe testinden elde edilen değerler ile karşılaştırılmış. Yapısal analizlerde büyük öneme sahip olan, jantta oluşan maksimum deformasyon miktarı, eğer oluşacaksa plastik deformasyon miktarı ve bölgeleri, maksimum gerilmelerin büyüklüğü ve oluşacağı bölgeler belirlenmiş. Sonuç olarak çalışma ile darbe testlerinde sonlu elemanlar yönteminin uygulanabilirliği ve tasarım sürecindeki ürünlere mekanik testler uygulanmadan ürün uygunluğunun tespiti ile ilgili çalışmaların yapılabilirliği gösterilmiş [15].

3. DARBE TESTLERİ

3.1. Düşük Hızlı Darbenin Belirlenmesi

Genel olarak, darbeler düşük hızlı veya yüksek hızlı olarak sınıflandırılırlar, fakat bu kategoriler arasında açık bir geçiş yoktur. Yapılan araştırmalar bu geçişin belirlenmesinde henüz net bir sonucun elde edilemediğini göstermektedir. Bu konuda yapılmış çalışmalardan bir kısmı düşük hızlı darbeyi, ki bunlar statikmiş gibi düşünülebilir, hedefin rijitliğine, malzeme özelliklerine ve çarpan cismin kütle ve rijitliğine bağlı olarak 1 ila 10 m/s arasında değişen hızlar olarak değerlendirilmesi gerektiğini savunmaktadır [16,17]. Düşük hızlı darbeye en basit örnek olarak kompozit malzeme üzerine imalat veya bakım esnasında kaza sonucu bir parçanın düşmesi verilebilir. Düşük hızlı darbeler normal olarak çarpışma temas anında malzeme iç yapısında deformasyon oluşturan darbelerdir. Bazen düşük hızlı darbe, düşük enerjili darbe olarak da kullanılır. Düşük hızlı darbede, malzemenin iç yapısında darbeye karşı cevap verebilmek için gerekli olan temas süresi yeterlidir ve sonuç olarak daha fazla enerji elastik olarak absorbe edilir. Bu nedenle hedefin dinamik yapısal cevabı çok büyük bir öneme sahiptir. Yüksek hızlı darbe cevabı malzeme boyunca yayılan gerilme dalgası tarafından hakim olunur ki bu durumda malzeme darbeye karşı cevap verebilme zamanına sahip olamaz ve çok küçük bir bölgede hasar oluşur. Cantwell ve Morton, kompozit malzemenin darbe davranışını belirlemek için Charpy ve Izod gibi bilinen darbe deneylerini kullanmışlar ve düşük hızı 10 m/s'e kadar olan hızlar olarak sınıflandırmışlardır [18]. Bununla birlikte Abrate, tabakalı kompozit malzemelerde darbe ile ilgili yapmış olduğu çalışmalarda düşük hızlı darbeleri 100 m/s den düşük hızlarda oluşan darbeler olarak belirlemiştir [19]. Darbe türünün, darbe hız sınırını belirleyerek tespit edilmeye çaba gösterildiği bu çalışmaların yanı sıra sınıflandırmanın darbe sonucunda meydana gelen hasara göre yapılması gerektiği görüşü de savunulmaktadır. Bu nedenle yüksek hız, delinme şeklinde meydana gelmiş fiber kopması, düşük hız ise tabakalar arası

ayrılma (delaminasyon) ve matris kırılması ile belirlenir. Davies ve Robinson düşük hızlı darbeyi kalınlık boyunca gerilme dalgasının gerilme dağılımında önemli bir rolü olmadığı bir darbe türü olduğunu belirtmekte ve yüksek hıza geçişi veren bir model önermektedir [20]. Çarpan cismin altında dairesel bir bölge, gerilme dalgası tabaka boyunca yayılırken üniform bir şekil değişikliğine uğrar. Şıkıştırma şekil değiştirmesi olarak çarpma hızının, malzeme içerisindeki ses hızına oranı kullanılır. Bu değer %0,5 ile 1 arasındaki kopma uzamaları için, epoksi kompozitler durumunda 10-20 m/s hızda gerilme dalgasının baskın olduğu duruma geçişi verir.

Enerjisi düşük olan darbeler (1-5J) düşük hızlı darbeler olarak adlandırılırlar. Bu tür darbelerde çarpma hızı 1-10 m/s arasında değişmektedir. Her ne kadar darbe türünü belirlemede hız ve enerji miktarları kullanılsa da bazen hasarın türü de sınıflandırmada önem kazanmaktadır. Düşük hızlı darbeler, oluşan hasar bakımından matris kırılması, delaminasyon oluşumu ve fiber kopmalarının görüldüğü darbelerdir. Yüksek hızdaki darbeler ise çarpan cismin kompozit malzemeye tamamen nüfuziyetinin söz konusu olduğu darbe türüdür. Kompozit malzemelerin darbe davranışının tespitinde kullanılan test düzenek ve yöntemleri ile ilgili henüz uluslararası bir standart olmamasına karşın, Izod ve Charpy, ağırlık düşürme ve balistik deneyler yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu konuda uluslararası kabul edilmiş bir standardın olmayışı yapılan çalışmaların birbiriyle mukayesesini zorlaştırmaktadır.

3.2. Enine Darbe

Kompozit malzemelerin en hassas oldukları yükleme durumu düzlem dışına doğru (tabaka veya fibere dik yükleme) 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. Kompozit malzemelerin bu darbe yüklerine karşı göstermiş oldukları cevap çok komplekstir. Bu, kompozit malzemeyi meydana getiren her bir bileşenin kendi

özellikleri kadar yapısal konfigürasyona da bağlıdır. Ayrıca, darbeye verilen cevap çarpan cismin geometrisine, hızına ve kütlesine de bağlıdır. Her biri enine darbenin toplam etkisini karakterize etmede 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 tabakalar üzerinde gözle görülen hasarlar oluşturmayabilirler. Fakat tabaka içerisinde, matris kırılması, delaminasyon ve/veya fiber kırılması şeklinde hasarlara sebep olabilirler. Bu, mukavemette önemli derecede bir düşüşe sebep olur. Rijitlikte azalma da mümkündür, ama genellikle dramatik değildir. Yüksek hızlı çarpmada malzeme üzerinde oluşan hasar, çarpışma temas bölgesindeki küçük bir bölgede yoğunlaşır.

3.3. Darbe Testi Çeşitleri

Tabakalı kompozit malzemelerin darbe direncinin, bir cismin kompozit malzemeye enine doğrultudaki darbesini simule eden testlerle karakterize edilebileceği açıktır. Birçok test tekniği darbe üretmek için kullanılırlar. Bununla birlikte kompozit malzemelerin darbe davranışını karakterize etmek için standard bir test tekniği veya farklı ülkeler, kuruluşlar ve araştırmacılar arasında yaygın bir şekilde kabul edilen herhangi bir teknik mevcut değildir. Bu durum, farklı kaynaklardan 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:

1. Ağırlık düşürme testleri,
2. Sarkaç testleri (Izod ve Charpy),
3. Hava veya Gaz silah testleri (düşük hız veya balistik testler).

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 absorbe edilen darbe enerjisi olarak ölçülür. Darbeden sonraki sarkacın yüksekliği ne kadar az ise, absorbe edilen 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.

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 ivmelenmeyi ölçmektedirler. Bu sayede yük, yer değiştirme ve ivmelenmenin çarpma anındaki değişimi kaydedilir. Bu sonuçlar, darbe yükü-zaman ve darbe enerjisi-zaman değişimlerine dönüştürülebilir. Bunlar sayesinde, en uç noktadaki yük ve absorbe edilen enerji gibi özellikler malzemede meydana gelen kırılma işlemiyle ilişkilendirilebilirler.

Balistik testler için yüksek hızlar gerektiğinden, kompozit malzemeye bu hızla bir cismi çarptırmak için tabanca veya silah sistemlerinden faydalanılır.

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 konfigürasyonu (boyutu, geometrisi, numune ve destek noktalarındaki uçların

sabitlenmesi v.b) etkilemektedir. Bu nedenle kompozit malzemelerin darbe özellikleri söz konusu olduğu zaman tüm bu kriterlerin de göz önünde bulundurulması gerekmektedir [21].

4. PLASTİK ŞEKİL VERME YÖNTEMLERİ

Metallerin deformasyonla şekillendirilmeleri tarihin bilinen en eski devirlerine kadar uzanır. Çok sayıda spesifik şekillendirme yöntemi mevcuttur. Dövme metodunun insanoğlunun yaratılışıyla birlikte kullanılmaya başladığı bilinmektedir. Haddeme ve tel çekme gibi prosesler orta çağda çok kullanılan ve bilinen şekillendirme yöntemlerindendir. Deformasyon proseslerinin çoğunun ana prensipleri değişime uğramasına rağmen, detaylar ve teçhizatlarda büyük değişim ve gelişmeler kaydedilmiştir. Endüstri ihtilali sırasında el ile yapılan işlemler makinalarla yapılmaya başlanmıştır. Techizatların boyutu, gücü ve hızları artmıştır. Su gücü ile döndürülen çarklar zamanla buhar daha sonra elektrik enerjisi ile çalışan makinalar ile yer değiştirmiştir. Günümüzde ise bilgisayar kontrollü, otomatik sistemler oldukça yaygın hale gelmiştir. Şekil verme yöntemlerinin başlıcaları şunlardır [22]:

- Dövme
- Haddeme
- Ekstrüzyon
- Çubuk ve Tel Çekme, Boru İmali
- Plastik Sac İşleme Yöntemleri

4.1. Dövme İşlemi (Forging)

Dövme, el ile ya da güç çekiçleri, presler ve diğer özel dövme makinaları yardımıyla uygulanan bölgesel darbe ve basma kuvvetleri vasıtasıyla plastik deformasyonu sağlayarak, metale istenen şekli verme yöntemidir.

Dövme işlemi insanoğlunun kullandığı en eski metal şekillendirme yöntemi olup, günümüzde alüminyumdan zirkonyuma kada tüm metaller şekillendirilebilmektedir. Basit bir civatadan türbin rotoruna veya tek parça halindeki uçak kanadına kadar çeşitli boyut ve şekillerdeki parçalar bu

yöntemle üretilebilmektedir. Dövme ürünlerini kara, hava ve deniz taşıtlarında, tarım makina ve aletlerinde, inşaat ve yol makinalarında, füze ve roketlerde, silah endüstrisinde, türbin, motor ve çeşitli makinalarda kullanılan, özellikle emniyet açısından önem taşıyan, darbeye ve gerilmelere dayanıklı kritik parçalar oluşturmaktadır.

Dövme işlemi değişik kriterlere göre farklı şekillerde sınıflandırılır. Kullanılan makinaların çalışma prensiplerine göre çekiçlerle dövme veya presle dövme şeklinde iki gruba ayrılır. Çekiçlerle dövmede, plastik şekillendirme iş parçasının yüzeyine uygulanan darbelerle gerçekleştirilir. Preslerde ise malzemenin plastiik şekil değiştirmesi statik basma kuvvetleri altında ve nisbeten daha düşük hızlarda yapılır.

Dövme işlemi için daha yaygın sınıflandırma türü, dövme işleminde izlenen yol veya kullanılan kalıp özelliklerine göre yapılmaktadır. Açık kalıpta dövme (serbest dövme), düz kalıplar veya basit şekilli kalıplarda yapılır. Bu yöntem genellikle sayıca az, fakat hacimce büyük parçaların dövülmesinde uygulanmaktadır. Açık kalıpta dövme yöntemi, kapalı kalıpta dövme işlemi için gerekli ön şekillendirme işlemlerinde de kullanılır. Kapalı kalıpta dövme yönteminde, malzeme, arzu edilen parça şeklinin iz ve boşluklarına sahip kalıplar arsında dövülmektedir. Bu yöntem karmaşık şekilli parçalara uygulanan yüksek basınç ile malzemenin kalıbın tüm ayrıntılarını doldurarak çok küçük boyut toleransları ile üretimini sağlamaktadır.

Dövme işlemlerinin çoğu, malzemenin plastik şekil değiştirme kabiliyetini arttırmak ve uygulanması gereken kuvveti azaltmak amacıyla sıcak olarak yapılır. Bazı metallerden imal edilen birkısım küçük parçalar ise soğuk dövme ile üretilebilmektedir [22].

4.2. Dövmeye İşleminin Sınıflandırılması

Dövmeye Operasyonunun gerçekleştirildiği kalıp çeşidine göre; açık dövmeye ve kapalı dövmeye olarak iki grupta sınıflandırılabilir.

4.2.1. Açık dövmeye (Serbest dövmeye)

Genellikle sayıca az ve hacimce büyük parçaların şekillendirilmesinde kullanılan bir yöntem olup aynı zamanda mekanik özelliklerin geliştirilmesi amacıyla da kullanılmaktadır. Bunun yanı sıra kapalı kalıpta dövmeye için gerekli ön şekillendirme işlemi olarak ta değerlendirilebilir. Şekillendirme düz ve basit şekilli kalıplarda gerçekleştirildiğinden bu tür dövmeye işlemleri, boyut ve şekil hassasiyeti gerektirmeyen kaba şekillendirmelerde kullanılır. Şekillendirme sonrası talaşlı işleme ihtiyaç duyulduğundan, bu yöntemle genellikle yumuşak malzemeler şekillendirilmektedir. Çünkü şekillendirme işlemi sonrası sert malzemelerin talaş kaldırma işlemi oldukça zordur. Yüzey kalitesi kapalı kalıpta dövülen malzemelere göre daha kötüdür. Bu nedenle üretilen parçalarda işleme paylarının bulunması gerekmektedir. İşleme payları malzeme cinsine göre değişmekte olup aynı zamanda parça büyüklüğünün bir fonksiyonudur. Serbest dövmeye iş parçalarının boyutları tam olarak belirlenemez. İş parçasının büzülmesi ve dövmeye kullanılan aletlerin temas yüzeylerinin kalitesi boyut değişimine etki eder. Aynı zamanda iş parçasının sıcaklığını kaybetmemesi için süratli çalışmak gerektiğinden dolayı, güvenilir sıcaklık kontrolü yapılmadığından, serbest dövmeye ölçü farklarının tesbiti çok güçtür. Açık ya da serbest dövmeye ile parçaların imali büyük bir ustalık ve tecrübe gerektirir. İşçi ücretlerinin büyük artışlar gösterdiği gözönünde bulundurulursa serbest dövmeye ile parça imalinin hem kalite hem de maliyet açısından dezavantajlı olduğu sonucuna ulaşılabilir. Bu nedenle üretimde yardımcı bir işlem olarak kullanılır [22].

Serbest dövme örs, çekiç. Şahmerdan vb. aletlerle yapılır. bu yöntem sayesinde aşağıda sıralanan şekillendirme işlemleri kolayca gerçekleştirilebilmektedir:

- Uzatma
- Genişletme
- Yığma (civata başları gibi küçük parçalar)
- Delme
- Kesme
- Basamak yapma
- Yarma
- Demirci kaynağı
- Bükme
- Kıvrıma

4.2.2. Kapalı dövme (Kalıpta dövme)

Malzemelerin istenilen şekli alabilmesi için; daha önceden üretilen kalıp boşluklarında dövülmesi ya da preslenmesiyle malzemelerin tüm boşluklara kontrollü olarak akışının sağlanmasıdır. Çok sayıda ve karmaşık parçaların üretiminde kullanılır. Yüzey kalitesi ve boyutsal hassasiyet serbest dövmedekine göre daha iyidir. Bu özelliği dolayısıyla işleme paylarının azalması hem gereksiz malzeme sarfiyatını önler hem de talaş kaldırma için gerekli işçilik ve süreyi kısaltır.

Serbest dövmede malzeme uzayarak ya da yığılarak şekil değiştirmektedir. Kalıpta dövmede ise malzeme yükselme hareketi de yapabilmektedir. Malafa kalıbı tamamen kapatırsa, malzeme bir sıvı gibi hareket ederek yukarı doğru kalıp boşluğunu tamamen doldurur. Eğer kalıpta özel olarak bir boşluk bırakılmışsa, malzeme buradan fışkırır. Bir kalıbın tamamen dolması, malzemenincinsi ve akma tarzının yanısıra şekil değiştirme hızına da

bağlıdır. Örneğin şahmerdanla yapılan dövmede şekil değiştirme hızı yüksektir. Malzeme, mukavemetin zayıf olduğu tarafı teşkil eden üst bölgelere akar ve bu kısımları iyi bir şekilde doldurur. Presle şekil değiştirmede, şekil değiştirme hızı düşük olduğundan malzeme daha fazla alt kalıba akma eğilimi gösterir. Ancak kalıbın girinti ve çıkıntıları çarpma tesiri oluşturmadıklarından şahmerdanla şekil vermedeki kadar iyi doldurma gerçekleştirmez. Genellikle girintili ve çıkıntılı parçalar şahmerdanla, yüzeyi düz ve simetrik parçalar ise preslerle şekillendirilir. Girinti ve çıkıntının çok olduğu yüzey, dövme halinde üstte, düşük hızla basma halinde ise altta bulunmalıdır. Malzemelerin kalıptan kolay çıkarılması için kalıpların keskin köşelerinin veya ince cidarlarının dövme yönüne uygun yönde bir miktar eğimli olması gerekmektedir.

Kalıplar iki ya da daha çok parçalıdır. Kalıpla dövme üç tip kalıpla yapılır. Bunlar; açık kalıp, yarı açık kalıp ve kalpalı kalıptır. Açık kalıplarda bir çubuğun orta kısmı, yarı açık kalıplarda ise parça halindeki malzemeler şekillendirilir. Kalıplar daire, kare veya dikdörtgen kesitli olabilir. Küçük kalıplar çoğunlukla yuvarlak kesitlidirler. Kalıp içerisine yerleştirilen malzemenin hacmi, kalıp hacmine eşitse dövme sonucu malzeme kalıbı tam olarak doldurur. Malzeme hacmi daha büyük ise, fazla kısım yanlara taşar. Bu taşan kısımlara çapak adı verilir. kalıpla dövmede malzemenin kalıbı iyi doldurabilmesi ve parçanın boşluklu çıkmaması için, daima fazla malzeme konur ve oluşan çapak talaşlı imalat yöntemleriyle giderilir. Çapak kalınlığı iş parçasının boyutuna ve şekline göre değişir. İş parçası üzerinde özellikle köşelerde her iki tarafta yığılan çapağın akmasını kolaylaştırmak gerekir. Köşelerde çapağın birikebilmesi için çapak çukurları (boşluklar) yapılır.

Kalıplar, proses esnasında boyutsal kararlılık gösterebilecek, yüksek aşınma dirençli, dinamik kuvvetlere karşı koyabilecek yeterli sertlik, mukavemet ve tokluk özelliklerine sahip malzemelerden imal edilmelidir. Bunlara ilaveten ısıl değişimlere dayanıklılık, yüksek kesme kabiliyeti ve iyi işlenebilirlik özelliklerini taşıması gerekmektedir. Kalıp malzemesinin seçiminde

yukarıdaki sayılan özelliklerin dışında iş parçasının malzemesi, dövme yöntemi, parça sayısı, kalıp şekli, kalıp büyüklüğü ve malzeme fiyatı gibi faktörlerin de göz önüne alınması gerekmektedir. Dökme malzemeler dinamik zorlanmalara uygun değildir. Dökme demir ve çelik, dinamik ve ani zorlanması olmayan pres kalıplarının yapımında kullanılır. Şahmerdan kalıpları ise, dövme çelikten yapılır. Bu çelikler sade karbonlu olabildiği gibi mangan, silisyum, krom, nikel, molibden ve volfram içerebilirler [22].

5. ŞEKİL VERME MAKİNALARININ GENEL KARAKTERİSTİKLERİ

5.1. Şekil Verme Makinalarının Sınıflandırılması

Malzemelere hacimsel şekil vermek amacıyla kullanılan makinaları temel çalışma prensiplerine göre sınıflandırabiliriz [23].

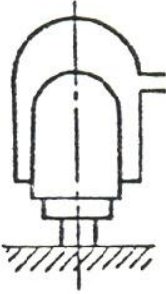
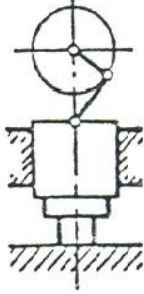
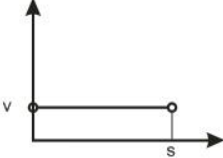
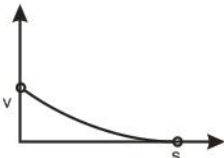
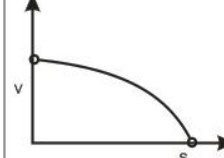
Çekiçler ve yüksek enerji seviyeli makinalarda, malzemeye verilecek deformasyon malzemeye düşen koçun kinetik enerjisi ile verilmektedir. Bu nedenle Enerji ya da İş sınırlamalı makinalar olarak sınıflandırılabilirler.

Mekanik preslerin malzemeye deformasyon verme kabiliyeti de pres stroğunun uzunluğuna ve çeşitli strok pozisyonlarındaki değişik yük miktarlarına bağlı olduğundan, bu tarz makinalara da strok sınırlamalı makinalar denmektedir.

Hidrolik presler ise yük sınırlamalı makinalar olarak sınıflandırılır. Çünkü malzemeye verebilecekleri maksimum deformasyon, presin uygulayabileceği maksimum yüke göre değişmektedir.

Vida tipi presler ise mekanik ve hidrolik preslerle aynı yapıya sahip olmalarına karşın, iş sınırlamalı makinalar sınıfına girmektedirler.

Şekil 5.1’de, yük sınırlamalı, strok sınırlamalı ve iş sınırlamalı şekil verme makinaları olarak üç grupta toplanan makinaların hız-strok karakteristikleri ve kalıba çarpma hızları gibi en önemli özellikleri özet olarak gösterilmiştir.

	ŞEKİL VERME MAKİNALARI		
	YÜK SINIRLAMALI	STROK SINIRLAMALI	İŞ SINIRLAMALI
MAKİNE GRUBU			
HIZ - STROK KARAKTERİSTİĞİ			
ÇARPIŞMA HIZI	HİDROLİK PRES 0,03 - 0,5	KRANK PRES 0,03 - 1,5 BAR PRES 0,03 - 1,5	VİDA PRESİ 0,03 - 1,5 DÜŞME ÇEKİCİ 4 - 5 GÜÇ ÇEKİCİ 5 - 8 ÇİFT YÖNLÜ ÇEKİCİ 6 - 14 HERF ÇEKİCİ 5 - 25

Şekil 5.1. Şekil verme makinalarının sınıflandırılması [24]

5.1.1. Yük sınırlamalı şekil verme makinaları (Hidrolik presler)

Yük sınırlamalı makinalarda şekillendirme yükü, hidrolik güç elemanlarından ve hareket pistonunun çapından hesaplanır.

Yük sınırlamalı makinalarda, genellikle çok yavaş olan ve sınırlı limitler içerisinde değiştirilebilen işleme hızlarıyla çalışılabilmektedir. Teoride işleme hızı sabit olarak ayarlanır. Fakat pratikte, bu hız yük değerlerine bağlıdır. Bu makinalar dizayn parametresi olarak belirlenen maksimum kuvvetin üzerinde yükleme yapamamaktadırlar. Bu yüzden verilebilecek maksimum deformasyon miktarı, makine özelliklerine ve belirli proses şartlarına dayanarak verilir. Bu deformasyon, maksimum yükün uygulandığı ilk operasyon tekrarlanarak arttırılmaz.

5.1.2. Strok sınırlamalı şekil verme makinaları (Krank presleri)

Strok sınırlamalı makinalar, strok-zaman karakteristiğinin hareket mekanizmasının kinematiğinden hesaplandığı makinalardır.

Strok sınırlamalı makinalar, hareketli krank teoride itme uygulamasının sonsuz olduğu alt ölü noktadan geçerken aşırı yükleme yapabilirler. Pratikte ise, makinelerin hasar görmelerini engellemek amacıyla sürekli olarak yük limitini sağlayacak bir mekanizma kullanılmaktadır. Bu tarz makinalarda, strok mesafesi ayarlanarak elde edilen maksimum deformasyon değerinin yük sınırlamalı şekil verme makinalarında olduğu gibi, ilk operasyonun tekrarlanmasıyla artırılması mümkün değildir.

5.1.3. İş sınırlamalı şekil verme makinaları (Vida presleri ve çekiçler)

İş sınırlamalı makinalar şekillendirme enerjisinin, düşme cekicinin şekillendirme stroğunun başladığı andaki ve enerjinin şekillendirme prosesi tarafından emilmeye başladığı andaki kinetik enerjilerinden faydalanarak hesaplandığı makina türleridir.

Yük sınırlamalı ve strok sınırlamalı makinalardan farklı olarak, iş sınırlamalı makinalarda, şekillendirme verimliliği düşse bile, arka arkaya tekrarlanarak yapılan işlemler sayesinde ekstra deformasyon sağlanabilmektedir. Gittikçe artan şekillendirme yükünün son limiti; sürtünmeli vidalarda vida emniyetine, çekiçlerde ise koç sistemi gibi kritik makina elemanlarının elastikliğine göre ayarlanmaktadır. Genel olarak kapasiteleri arasındaki ilişkilere baktığımızda, iş sınırlamalı şekil verme makinalarının ki, en yüksek yükünü uygulama bakımından diğer iki türe göre daha yüksektir.

İş sınırlamalı şekil verme makinalarının, yük sınırlamalı ve strok sınırlamalı makinalardan ikinci farkı da, diğerlerine göre çok daha hızlı şekillendirme hızına sahip olmasıdır. Ayrıca strok sınırlamalı makinelerde olduğu gibi, alt

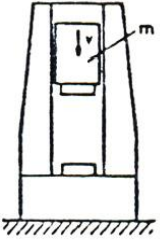
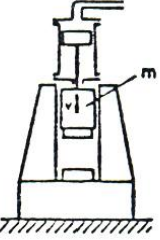
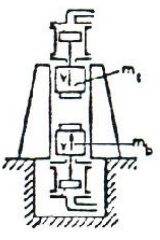
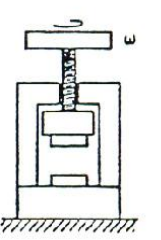
ölü nokta anında şekillendirme hızları sıfır olmaktadır. Bu özellik te bazı şekillendirme işlemlerinde önemli bir etken olmaktadır. Çizelge 5.1’de bazı şekil verme makinalarının birbirleriyle karşılaştırılması verilmiştir.

Çizelge 5.1. Metal şekillendirme makinalarının karşılaştırılması [7]

Pres Tipi	Kapasite	Koç’a Aktarılan Güç Yöntemi	Hız (m/s)	İşlenenilen Malzeme
Mekanik Presler	300 – 10000 ton	Volan ile Krank ya da Eksantrik Şaftı	0,1 – 1,5	Alüminyum Berilyum Magnezyum Zirkonyum
Hidrolik Presler	500 – 60000 ton	Hidro – Pnömatik Pistonlar	0,02 – 0,4	Zirkonyum
Vida Presleri	4 – 28” için 160 – 5000 ton	Volan ile Vida Şaftı	0,1 – 1,5	Zirkonyum
Serbest Düşme Çekiçi	100 – 10000 kg koç ile 300 – 50000 kg.m enerji	Serbest Düşme	4 - 10	Niyobyum Bakır Molibdenyum Nikel Çelik Tungsten
Çift Etkili Çekiçler	500 – 20000 kg koç ile 5000 – 60000 kg.m enerji	Hidro – Pnömatik Piston ile düşme ağırlığı	12	Tungsten
Çift Yönlü Çekiçler	400 – 16000 kg.m enerji	Hidro – Pnömatik Piston	5 - 20	Tungsten
Yüksek Enerjili İşleme Makinaları	1500 – 70000 Kg.m enerji	Yüksek Patlamalı Krank ya da Eksantrik	30 - 100	Dökümler Çelikler Bakır

5.2. İş Sınırlamalı Şekil Verme Makinalarının Sınıflandırılması

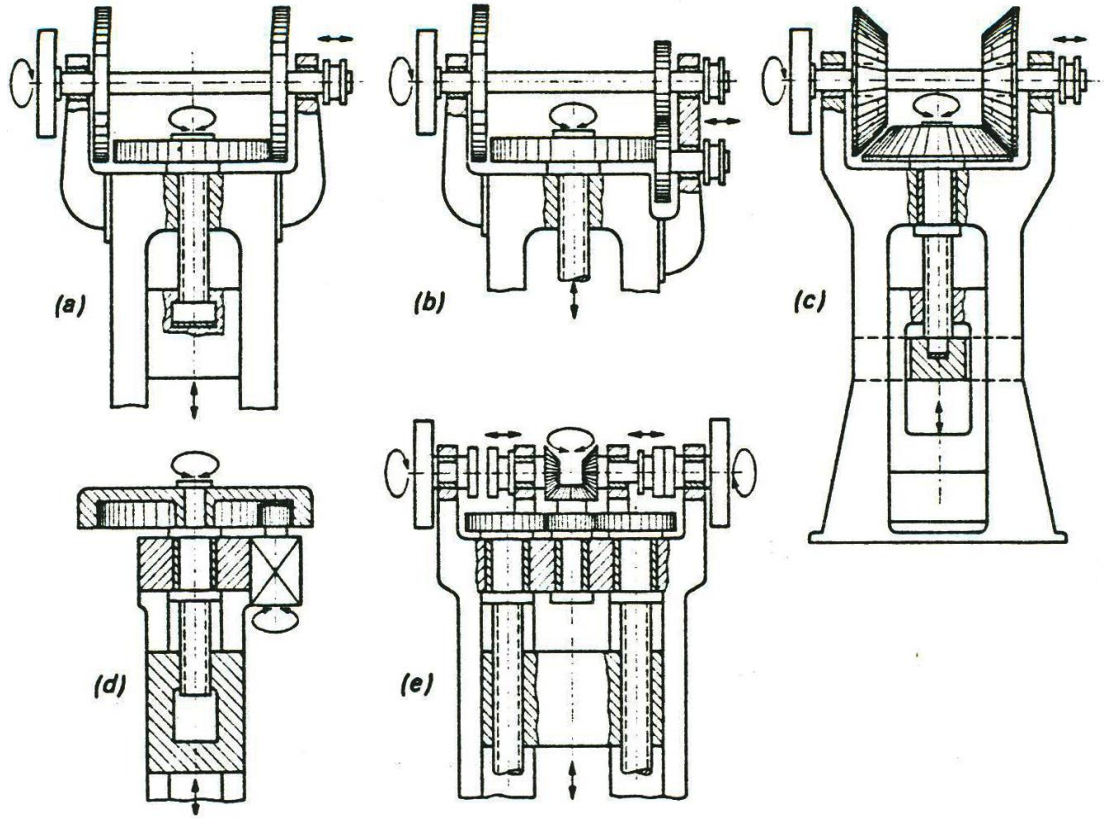
Yaygın olarak kullanılan iş-sınırlamalı şekil verme makinalarının temel tipleri ve bunların bazı karakteristik özellikleriyle birlikte tipik avantajlarıda Şekil 5.2 de özetlenmiştir.

	İŞ SINIRLAMALI ŞEKİL VERME MAKİNALARI			
	DÜŞME ÇEKİCİ	YÜK TAKVİYELİ ÇEKİÇ	KARŞILIKLI ÇEKİÇLER	VİDA PRESİ
MAKİNE KONFIGÜRASYONU				
ÇARPIŞMA HIZI	4 - 6 m/s	5 - 8 m/s	6 - 14 m/s	0,03 - 1,5 m/s
ÇARPIŞMA ENERJİSİ	$E = mgh = \frac{1}{2} mv^2$	$E = mgh + A \int p(h)dh = \frac{1}{2} mv^2$	$E = 2A \int p(h) dh = \frac{1}{2} (m_1 + m_2) v^2$	$E = \frac{1}{2} J \omega^2$
AVANTAJLARI	BASİT, UCUZ, UZUN ÖMÜRLÜ, YÜKSEK ŞEKİLLENDİRME HIZI	YÜKSEK ŞEKİLLENDİRME HIZI	YÜKSEK ŞEKİLLENDİRME ENERJİSİ, YÜKSEK ŞEKİLLENDİRME HIZI	YÜKSEK ŞEKİLLENDİRME ENERJİSİ, YÜKSEK HASSASİYET

Şekil 5.2. İş sınırlamalı şekil verme makinalarının sınıflandırılması [24]

5.2.1. Vida presleri

Vida preslerinde, kalıplar, döner mafsallı ile vidaya bağlanmış olan koça tutturulmuştur. Vidanın üzerinde de disklerle çevrilen bir kolon bulunmaktadır. Volanın dönüş hareketi lineer bir şekilde vidaya ve onun somununa iletilebilir. Vida preslerinin çalışma sistemleri Şekil 5.3 de verilmiştir.



Şekil 5.3. Vida preslerinin çalışma sistemleri [25]

(a) Üç diskli vida pres, (b) Dört diskli vida pres, (c) Vincent vida pres, (d) Tek diskli vida pres, (e) İkili vida pres

Çalışma prensibinde; bir mil sürtünme diskleri arasında yukarı-aşağı hareket etmektedir. Koç aşağı yönde hareket ederken, volan ve sürtünme diski arasındaki kontak noktası, sürtünme diskinin dışına doğru hareket etmektedir. Ayrıca volanın dönüş hızı da artmaktadır. Volan maksimum hızına ulaştığı anda, kalıp iş parçasına dokunur. Bu andan sonraki hızdaki değişimler proses deformasyonuna göre hesaplanır.

Sürtünmeli vida presleri, vida çapına ve uygulayabildikleri maksimum kuvvete göre değerlendirilirler. Ufak makineler dakikada 30-35 strok yaparken, büyük olanlar 6-10 strok yapmaktadırlar.

5.2.2. Çekiçler (Şahmerdanlar)

Çekiçler, sabit büyük bir kütlenin (örs) üzerinde duran iş parçasına çarpan hareketli bir kütlenin (koç) kinetik enerjisi ile deformasyon oluştururlar.

Tüm çekiçler temelde yüksek çarpışma hızlarına sahip olmasına rağmen hareket metodlarına göre değişik tasarlanmaktadırlar. Çekiçlerin yaygın olan çeşitleri; serbest düşmeli çekiçler, güç takviyeli düşme çekiçleri ve karşı vuruşlu çekiçlerdir.

Bir sonraki bölümde çekiçlerin tipleri ve ana karakteristikleri daha detaylı bir biçimde anlatılmaktadır.

6. ÇEKİÇLERİN SINIFLANDIRILMASI

Tarihçesine baktığımız zaman çekiçler, en yaygın olarak kullanılan şekil verme makinalarıdır. Bu makinalar, hem ucuzdurlar hem de çok fazla değişken tipe sahip olduklarından bir çok farklı şekil verme işlemini gerçekleştirebilmektedirler. Çekiçler, kalıpla temas ettiği çok kısa süre zarfında çok fazla yükler uygulayabilmektedirler. Çekiçlerin meydana geldiği temel parçaları ana iskelet, koç, örs, örs başlığı ve kalıplardır. Örs direk olarak ana iskelete bağlıdır. Üst kalıp hareketli olan koça, alt kalıp ta örs başlığına tutturulmuştur.

Çalışma sırasında, iş parçası alt kalıba bağlanır. Koç aşağıya doğru hareket ettiğinde örse ve dolayısıyla iş parçasına deformasyonu sağlayacak bir yük uygular. Çekiçler kendi aralarında, koçun aşağıya doğru hareket etmesini sağlayacak olan metoda göre sınıflandırılabilirler. Çekiçlerin bu türleri sonraki bölümlerde anlatılmaktadır. Çizelge 6.1’de çekiçlerin bazı türlerinin kapasitelerine göre karşılaştırılması görülmektedir.

Çizelge 6.1. Çeşitli çekiç türlerinin kapasiteleri [23]

Çekiç Tipi	Koç Ağırlığı		Maksimum Enerji		Çarpma Hızı		Darbe/dk
	kg	lb	kJ	Ft.lb	m/s	Ft/s	
Board	45 - 3400	100 - 7500	47,5	35000	3,0 – 4,5	10 - 15	45 - 60
Air Lift	225 - 7250	500 - 16000	122	90000	3,7 – 4,9	12 - 16	60
Hidrolic	450 - 9980	1000 - 22000	108,5	80000	3,0 – 4,5	10 - 15	50 - 75
Power	680 - 31750	1500 - 70000	1153	850000	4,5 – 9,0	15 - 30	60 - 100

6.1. Yerçekimsel Düşüm Çekiçleri (Gravity Drop Hammers)

Yerçekimsel düşüm çekiçleri ana hatlarıyla incelendiğinde, bir örs ya da temel, koçun yukarı aşağı hareketine kılavuzluk eden iki kızak, koç ve koçun düşmeden önceki başlangıç pozisyonuna dönmesini sağlayacak bir mekanizmadan oluşmaktadırlar. Oluşan deformasyon enerjisi, düşme yüksekliğine ve koçun ağırlığına bağlı olarak aşağı yönde düşüşünden türetilmektedir.

6.1.1. Düşüm çekici (Board drop hammer)

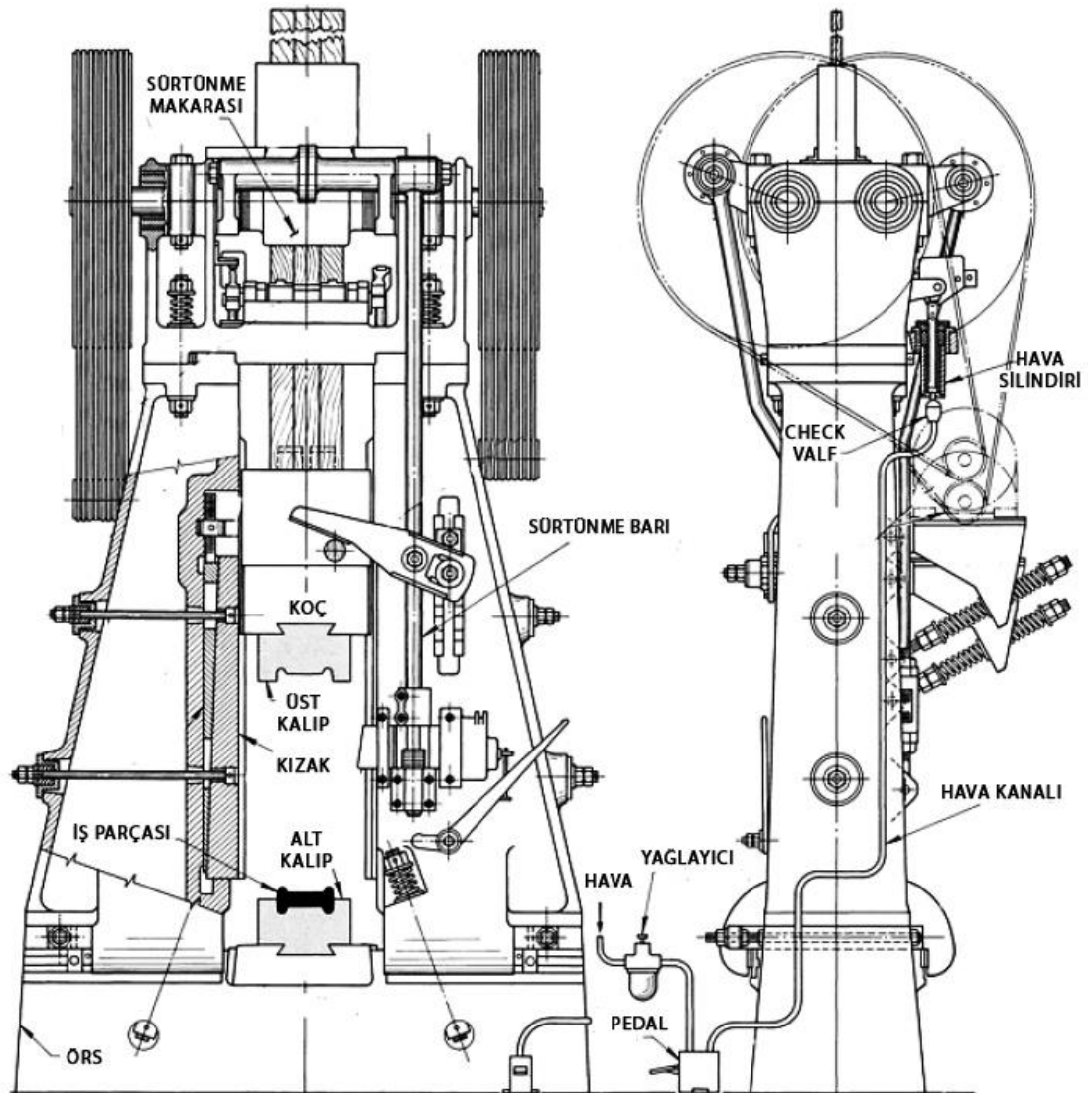
Düşüm çekiçlerinde koç, çekicin üst tarafında bulunan iki adet sürtünmeli silindir arasında hareket eden bir ya da daha fazla tablanın (board) yardımıyla kaldırılmaktadır. Tablalar yukarı yönde kaldırıldıktan sonra, istenilen düşüş yüksekliği doğrultusunda mekanik olarak serbest bırakılmaktadır. Kaldırma için gerekli olan güç ise bir ya da daha fazla motor yardımıyla sağlanmaktadır. Koçun düşüş yüksekliği çekicin büyüklüğünü değiştirmektedir. Çekicin düşme yüksekliği ve buna bağlı olarak kinetik enerjisi, yapılan ayarlar doğrultusunda neredeyse sabittir ve makinanın durdurulması ya da strok uzunluğunun yeniden ayarlanması haricinde değişmemektedir.

Bu tip çekiçlerde örsün ağırlığı, koçun ağırlığının yaklaşık 20 – 25 kat daha fazladır. Tipik bir düşüm çekicini oluşturan parçalar Şekil 6.1’de gösterilmektedir.

Düşüm çekicinin kullanımında, öncelikle metal parça alt kalıp üzerindeki oyuğa yerleştirilmektedir. Koça bağlı olan üst kalıp ise, operatörün tablaları serbest bırakması ile (ki bu genellikle bir pedal yardımıyla olur) parçanın üzerine düşer. Pedal basılı tutulduğu anda ve bırakıldığında koç bir kez düşer ve birkez daha bırakılana kadar yükselmiş konumunda kalır. Operatör pedalı basılı tutarak ardışık vuruşlar sağlayabilmektedir. Pratik olarak, genellikle

çekicinin ardışık vuruşlar yapmasına izin verilir. Bu sayede iş parçası, operatörün makineyi durdurmasına gerek kalmadan bir baskıdan diğer bir baskıya kaydırabilmektedir.

Doğru düşüş yüksekliğini sağlayacak strok uzunluğunun sabitleştirilmesinden sonra, iş parçasına uygulanacak olan hafif ya da ağır vuruşlar değiştirilememektedir.



Şekil 6.1. Düşüm çekicini oluşturan temel parçalar [23]

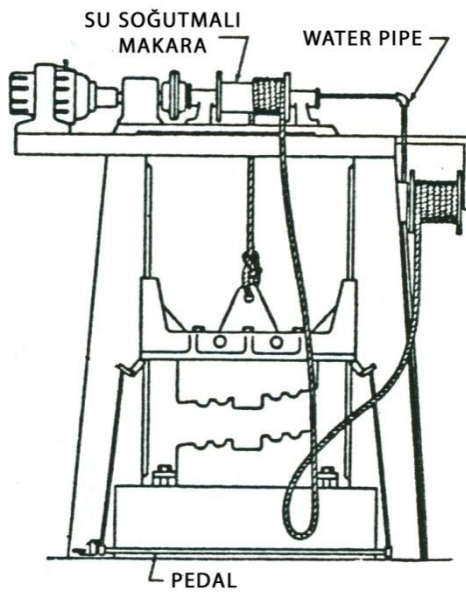
6.1.2. Hava kaldırmalı düşüm çekici (Air-lift drop hammer)

Hava kaldırmalı düşüm çekicileri, koçun ve üst kalıbın iş parçası üzerine düşmesi ile oluşturulan şekil verme kuvveti bakımından düşüm çekicileriyle benzerdir. Farklı olan kısmı ise, koçun düşmeden önceki yüksekliğine hava ya da buhar yardımıyla çıkartılmasıdır.

Koç, kendi silindiri içerisinde basınçlı hava bulunduran piston-rot kelepçesi sayesinde yükseltilmiş başlangıç konumunda durmaktadır. Kelepçe yatık durumda dururken, piston rotu kilitli durumdadır. Operatörün pedalı basılı durumdayken, hava silindire girer ve kelepçe yatay olarak yükselir, koç ta devirine başlar. Bu rot kelepçesinin yatık düşmesini ve rotu tutmayı sağlar. Pedal koçun aşağı inişi sırasında bırakılmamalıdır. Çünkü bu, rot ve kelepçe parçalarında aşırı gerinime sebep olacaktır.

6.1.3. Halatlı düşüm çekici (Rope hammer)

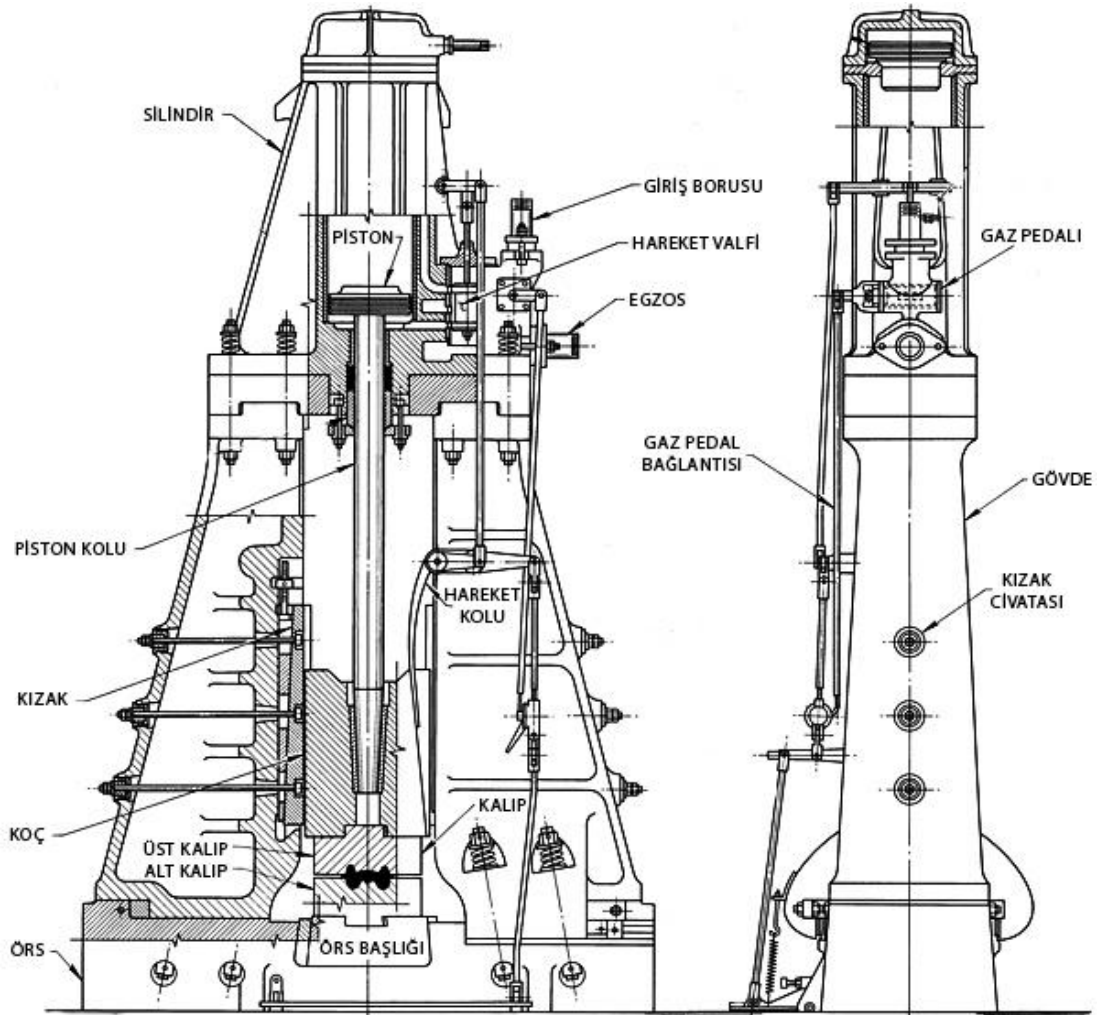
Yerçekimsel düşüm çekicilerinin en basitidir. Bu çekitte koç, bir halat yardımıyla kaldırılmaktadır (Şekil 6.2).



Şekil 6.2. Halatlı düşüm çekici [26]

6.2. Güç Takviyeli Düşüm Çekiçleri (Power or Steam Drop Hammers)

Aslında bu tarz çekiçlere “Güç Takviyeli Düşüm Çekiçleri (Power Drop Hammers)” demek daha doğru olacaktır. Çünkü “Buharlı Düşüm Çekici (Steam Drop Hammer)” tam olarak tanımlayıcı olmamaktadır. Genel olarak bu türün bir çok çekicinde, buhardan ziyade hava tercih edilmektedir. Buhar ya da hava tahrikli düşüm çekiçlerini oluşturan parçalar Şekil 6.3’te gösterilmiştir.



Şekil 6.3. Güç takviyeli düşüm çekicinin ana parçaları [23]

Güç takviyeli düşüm çekiçleri çalışma prensibi olarak, hava kaldırmalı düşüm çekiçlerinden farklıdır. Çünkü 90 – 125 psi basınç altındaki buhar (ya da hava) aşağı strok yönünde yerçekimsel kuvvete ek olarak bir kuvvet oluşturmaktadırlar.

Güç takviyeli düşüm çekiçlerinde, çok ağır olan örs, koçun dikey olarak hareket etmesini sağlayan iki adet kızığında desteklemektedir. Ayrıca bu iskelet yapı, koçun hareketini sağlayan, piston ve piston rotundan oluşan buhar silindir bloğunu da desteklemektedir. Bu yapının hemen alt yüzeyinde koç, üst kalıbı taşımaktadır. Alt kalıp ta yine örs başlığına tutturulmuştur. Pistonun hareketi bir valf yardımıyla kontrol edilmektedir. Bu valf te yine bir ayak pedalı ya da el manivelası yardımıyla kontrol edilir.

Güç takviyeli düşüm çekiçleri, üst kalıbın ağırlığı hariç olarak, parça üzerine düşen kütle ile değerlendirilir.

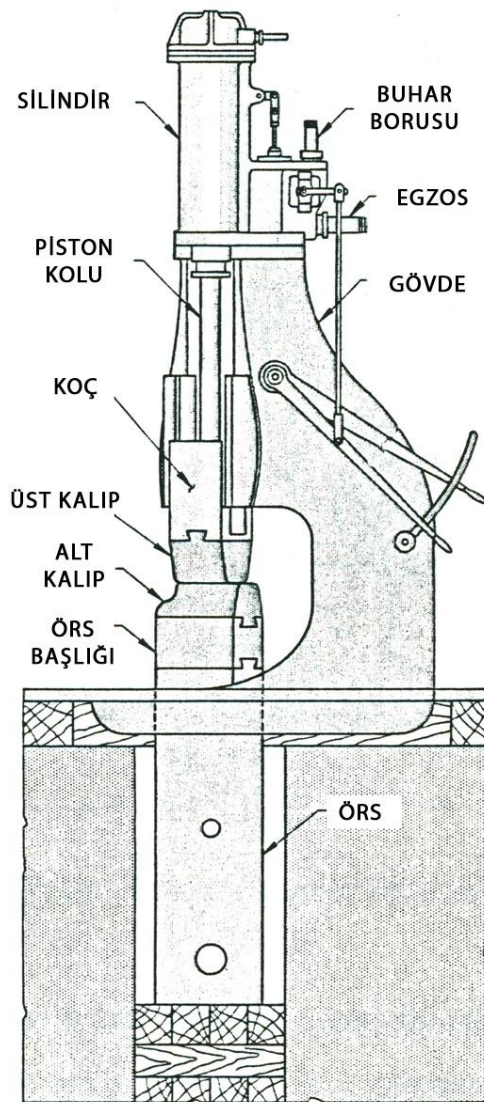
Bu çekiçlerin büyük parçaların işlenmesi için gerekli kuvveti sağlamasından ayrı olarak bir diğer önemli avantajları da, çarpışma enerjisinin kontrolünün tamamen operatörde olmasıdır.

Genel olarak bir çok avantajı olmasına rağmen, büyük çarpışma enerjisi bazı dezavantajları da yanında getirmektedir. Koçun yaklaşık olarak yüzde 15 – 25'i civarındaki kinetik enerjisi, örs bloğunda yok olmakta ve iş parçasına deformasyon vermemektedir. Aktarılan enerji örs bloğu üzerinde çok yüksek gerilmeler oluşturmakta ve bazen bloğun kırılmasına neden olmaktadır. Bununla beraber, zemin alanına da çok sert ve hasar verici şoklar uygulamaktadır. Bunun için örs bloğunun içerisinde şok emici malzemeler kullanılmakta, bu da maliyeti birhayli arttırmaktadır.

Genellikle açık kalıp dövme işlemlerinde kullanılan çekiçler, tek-ayaklı (single frame hammer) ya da çift-ayaklı (double frame hammer) olarak üretilirler.

Tek ayaklı çekiciler, sıcak metalin çekicinin yan taraflarından da, ön tarafından olduğu gibi yerleştirilebileceği şekilde tasarlanmaktadır.

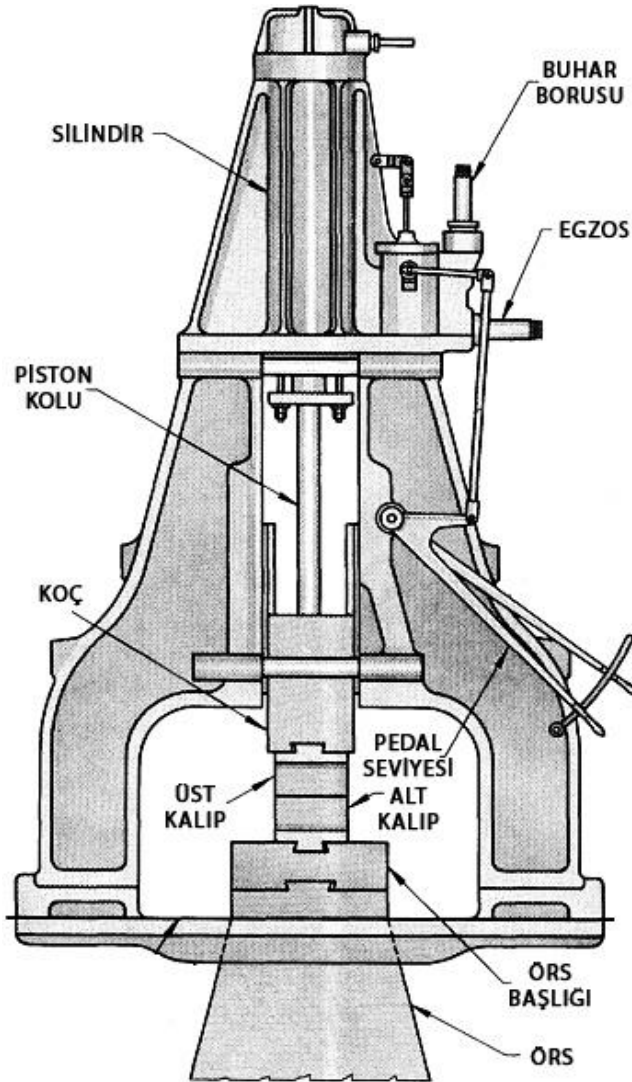
Örsün ön yüzü genellikle ön cepheye yaklaşık 35 derece açıyla ayarlanır. Böylece ayaklar engellemeden uzun barların işlenmesi sağlanır. Temelde, uzunluk, genişlik ve bükülme kombinasyonu kullanışsız olsa da, örsün etrafındaki hemen hemen her yönden işleme kabiliyeti önemli bir avantaj sağlamaktadır.



Şekil 6.4. Açık kalıpta dökme için kullanılan tek ayaklı çekici [23]

Çift ayaklı çekiçlerde iki parça ayak, birbirlerine tespit civataları ve ön arka yüzlerdeki ayırıcılarla bağlanmışlardır. Ayakların her biri örsün üzerindeki taban plakası üzerinde desteklenmiş biçimde durmaktadırlar. Örs, taban levhası altında yekpare bir biçimde uzanmaktadır. Şekil 6.5'te çift ayaklı bir çekiç görülmektedir.

Hem tek ayaklı hem de çift ayaklı çekiçlerde, örs başlığı diğer parçalar sökülmeden değiştirilebilir şekilde tasarlanmaktadır. Böylelikle örs başlığı ve alt kalıp, başka özel kalıplarla değiştirilebilmektedir.

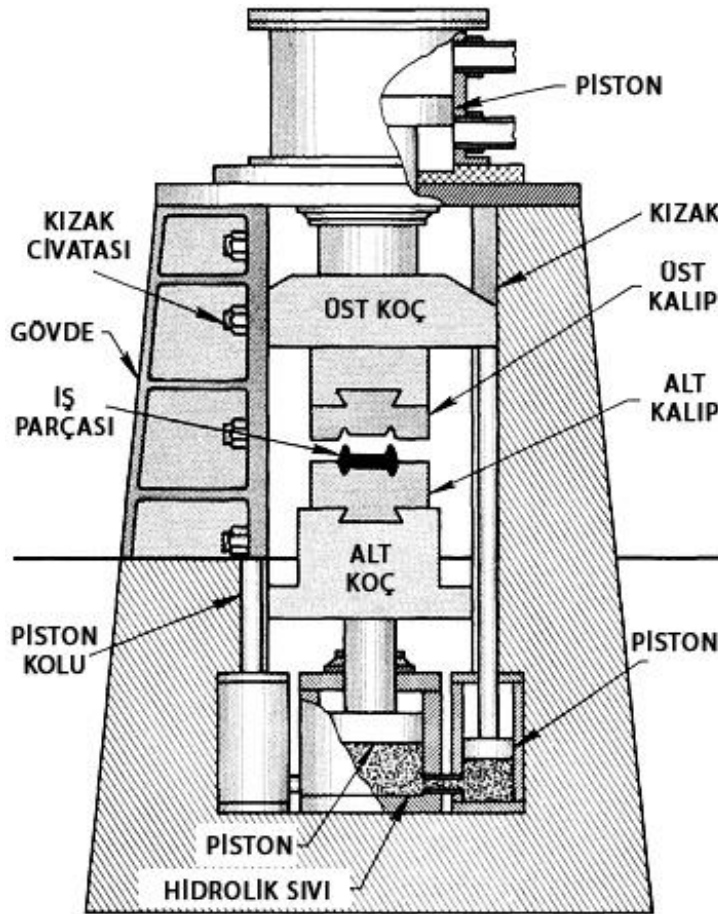


Şekil 6.5. Açık kalıpta dövme için kullanılan çift ayaklı çekiç [23]

6.2.1. Karşı vuruşlu çekiçler (Counterblow hammers)

Karşı vuruşlu çekiçler; güç takviyeli düşüm çekiçlerinin, son yıllarda hava kaldırmalı düşüm çekicinden daha fazla geliştirilen bir çeşididir. Bu çekiçlerde çarpışma kuvveti iki ayrı koçun birbirlerine ters doğrultuda yaklaşarak ortada buluşma hareketinden meydana gelmektedir. Bazı makinalar pnömatik ve hidrolik olarak tahrik edilmektedir. Diğerleri ise, mekanik-hidrolik ve mekanik-pnömatik olarak birleştirilmiştir.

Tek hareketli çekiçlerle karşılaştırıldığında; çarpışma titreşimi daha az olmakla birlikte, neredeyse her iki taraftaki enerji örste kayba uğramadan iş parçasına iletilebilmektedir.

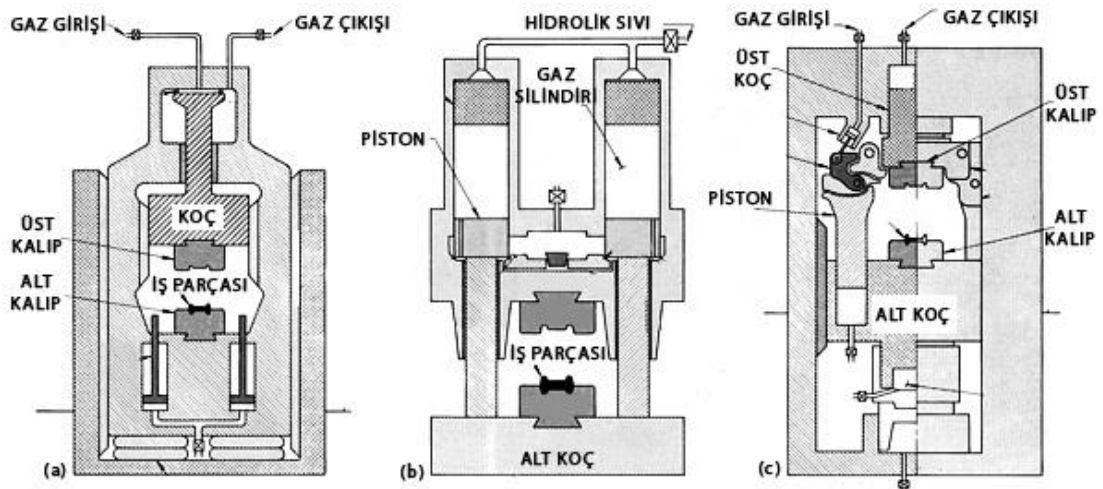


Şekil 6.6. Buhar – hidrolik karşı vuruşlu çekiğin ana parçaları [23]

Bu tarz çekiçlerde, buhar üst silindire etkiyerek üst taraftaki koçun aşağıya doğru inmesini sağlar. Aynı anda, üst taraftaki koça bir piston bağlıdır. Bu piston da kendisine bağlı olan hidrolik bir sistem sayesinde alt taraftaki koçu yukarıya doğru hareket ettirmektedir. Ağırlıkların ve hidroliklerin doğru olarak tasarlanması ile çarpışma anında, üstteki ve alttaki kinetik enerjiler eşit olacaktır.

6.3. Yüksek Enerji Seviyeli Şekillendirme Çekiçleri (HERF Hammers)

Yüksek enerji seviyeli şekillendirme makinaları aslında yüksek hızlı çekiçlerdir. Bunlar temel tasarımlarına göre üç grupta toplanabilirler: koç ve iç iskeletli makinalar, iki koçlu makinalar ve kontrollü enerji akışlı makinalar. Hepsinin birbirinden farkı, mühendislik ve kontrol edilebilme yöntemleridir. Ama aslında hepsi, çarpma enerjisi için konveksiyonel çekiçlere göre daha hafif bir hareketli ağırlığa gereksinim duyan yüksek hızlı ve tek darbeli çekiçlerdir. Bu tarz çekiçler, enerji kaybı minimize edilecek şekilde karşı vuruşlu çekiç prensibiyle tasarlanmışlardır. Hepsinde koçun hızlanması için serbest bırakma mekanizması ile kontrol edilen yüksek basınçlı soygaz kullanılmaktadır. Hiçbir makinanın tasarımında da dövme kuvvetine karşı direnç gösterecek bir iskelet yapıya gerek yoktur.



Şekil 6.7. İç iskeletli, iki koçlu ve kontrollü enerji akışlı makinalar [23]

6.4. Serbest Düşme Çekiç Tipinin Belirlenmesi

Bütün bu şekil verme makinalarının detaylı incelenmesi sonucunda, düşük hızda şekil verme işlemi için en basit ve uygun olan makinanın serbest düşüm çekici olduğuna karar verilmiştir. Aynı zamanda bu sistemin kurulum maliyetinin de düşük olması hedeflenmektedir.

Bu çalışmada yaklaşık olarak 4 – 4,5 m düşüş yüksekliğine, dolayısıyla maksimum 8 m/s çarpışma hızına çıkabilen bir serbest ağırlık düşme çekici imal edilmesine karar verilmiştir. Bu tarz bir çekiç bize deneysel çalışmalar için yeterli seviyede enerji ve hız sağlayacaktır.

İmal edilen serbest ağırlık düşme çekicinde, koç serbest düşme yapacağından başlangıç hızı sıfır olacaktır.

Sonraki bölümlerde, kurulan test düzeneğinin tasarım kriterleri ve imalat aşamaları anlatılacaktır.

7. SERBEST AĞIRLIK DÜŞME ÇEKİCİNİN TASARIM KRİTERLERİ

7.1. Çarpışma Enerjisi ve Çarpışma İvmesi

Koç, iş parçasına istenilen şekli verebilmesi için enerji depolayabilmelidir ve iş parçası ya da operasyon tarzına göre ağır ya da hafif darbeler vurabilme yetisine sahip olmalıdır. Bu enerji koçun ağırlığına ve düşüş yüksekliğine bağlıdır. Çoğu çekiçlerde koç ağırlığı sabit tutulmak kaydıyla düşme yüksekliği operatör tarafından kontrol edilmektedir.

Koçun enerjisi üç yolla yok olmaktadır:

- İş parçasının plastik deformasyonu
- Koçun geri sekmesi
- Çekicinin yapısındaki elastik deformasyon

Bunlardan ilk ikisi yüksek ölçüde şekillendirilecek metalin işlenebilirliğine bağlıdır.

İş parçasına şekil vermek için gerekli olan enerjiye şekillendirme enerjisi diyebiliriz, E_N .

Geri sekme enerjisi genellikle, iki yüzey arasındaki geri dönme katsayısına (Coefficient of Restitution) bağlıdır.

Metalin doğru sıcaklığında çalıştığı değerlendirilecek olursa, toplam sıkıştırma maksimum olurken geri dönme katsayısı minimum olacaktır. Bu yüzden bu iki harekette absorbe edilen enerjiler birbirleriyle bağlantılıdır.

Eğer koçun kütlesi m_1 , sekme hızı V_1 ve sekme enerjisi E_R olarak alınırsa;

$$E_R = \frac{1}{2} m_1 V_1^2 \quad (7.1)$$

olur. Enerjinin bir miktarı, kızaklar üzerindeki sürtünme kuvveti nedeniyle (E_G) kaybedilir. Makinanın iskeletindeki bazı parçaların titreşimi nedeniyle bir kısım enerji absorbe edilir. Buna koçtan iletilen momentum sebep olur. Yine iş parçası ısı şeklinde enerjiyi absorbe edecektir. Bütün bu kayıpları iletilen enerji başlığı altında toplarsak (E_T), koçun düşüşünden oluşan toplam enerji (E) şu şekilde ifade edilecektir,

$$E = E_N + E_R + E_G + E_T \quad (7.2)$$

$$E = W_1 h \quad (7.3)$$

Burada h , koçun düşme yüksekliğidir. Böylece:

$$W_1 h = E_N + \frac{1}{2} m_1 V_1^2 + E_G + E_T \quad (7.4)$$

İş parçası plastik deformasyona uğradıktan sonra, koç ve iş parçası arasında elastik olmayan bir durum meydana gelir. Çarpışma verimi adı altında (η_B), iş parçasının deformasyonunda harcanan enerjinin, koçun potansiyel enerjisine oranı şu şekilde gösterilir:

$$E_N = \eta_B E \quad (7.5)$$

E ve η_B biliniyorsa, E_N doğrudan hesaplanabilir. Çarpışma verimi ise şu eşitlikle hesaplanabilir:

$$\eta_B = \frac{1-e^2}{1+W_1/W_2} \quad (7.6)$$

Burada geri dönme katsayısı e olarak gösterilir ve;

$$e = \frac{V_2 - V_1}{V} \quad (7.7)$$

Burada,

W_1 : koç ya da düşme ağırlığı

W_2 : örsün ağırlığı

V_1 : koçun çarpışmadan sonraki hızı

V_2 : örsün çarpışmadan sonraki hızı

V : koçun çarpma hızıdır.

Birçok şekillendime operasyonunda geri sekme hızları V_1 ve V_2 , çarpışma hızının (V) yanında çok küçük kaldığından dolayı çarpışma katsayısı da diyebileceğimiz e sıfıra gider. Böylelikle çarpışma verimi şu hale gelir:

$$\eta_B = \frac{1-e^2}{1+W_1/W_2} = \frac{1-e^2}{1+m_1/m_2} = \frac{m_2}{m_1+m_2} \quad (7.8)$$

Pratikte örs ile koç ağırlıkları arasındaki oran $1/10$ ile $1/20$ arasındadır. Buna bağlı olarak çarpışma verimi $0,91$ ile $0,95$ arasında değişir. Buradan da (7.5) eşitliği kullanılarak E_N şu şekilde bulunur:

$$E_N = \frac{E}{1+W_1/W_2} \quad (7.9)$$

Çarpışma hızı (V) ise;

$$V = \sqrt{2ah} \quad (7.10)$$

Şeklinde bulunacaktır. Burada h düşme yüksekliği, a ise koçun ivmesidir. Eğer R sürtünme kuvveti, P sabit yatay kuvvetler (serbest düşme çekici için $P=0$) alınırsa koçun ivmesi şu şekilde bulunur:

$$a = \frac{W_1 + P - R}{m_1} = \frac{W_1 - R}{W_1/g} = g - \frac{R}{m_1} = g - \frac{R}{W_1/g} \quad (7.11)$$

Buradan da görüldüğü gibi, serbest ağırlık düşme çekicinde koçun ivmesi sürtünmelerden dolayı yerçekimsel ivmeden biraz daha küçük olacaktır ve koçun ivmesi direk olarak ağırlığıyla orantılıdır [7].

7.2. Yapısal Deformasyon

Serbest ağırlık düşme çekici üzerinde meydana gelen gerilmeler, tasarımcıya kolay olmayan çözümler sunmaktadır. yükleme durumu birhayli komplikedir. Koç serbest olarak örse düşmektedir ve düşüş, koçun başlangıç pozisyonuna göre kontrol edilmektedir. Kızaklar, koçun her seferinde tam olarak merkeze düşmesini sağlamak zorundadır. Kızaklarda oluşan gerilmeler de iki temel sebebe dayandırılabilir.

Bunlardan birincisi; koçun kızaklara karşı çapraz çarpışmasıdır. Bu, merkeze göre simetrik olmayan şekillendirme işlemlerinde koçun yüzeye eğimli olarak çarpışmasından kaynaklanır. Bu da kızaklar üzerinde yatay kuvvetler meydana getirecektir. İkincisi ise; koçun ve örsün çarpışmasından kaynaklanan ve kızaklarda oluşan titreşimdir.

Koç ve örsün çarpışmasından sonra bu iki kütle bir an için tek bir gövde gibi aşağı yönde hareket ederler. Daha sonra koç örsten ayrılarak yukarı yönde geri seker. Böylece örs kendi doğal frekansında titreşmeye devam eder. Örsün aşağı yöndeki hareketleri kızaklarında aşağıya doğru çekilmesine neden olur. Örsün hareketleri merkezde daha fazla olacağından, kızaklar üzerinde bir eğilme meydana gelir. Fakat örsün aşağı yöndeki hareketi neredeyse anlık olduğundan, kızaklarda sadece uzama meydana gelir. Örsün yukarı yöndeki hareketlerinde ise kızaklar sıkışacaktır. Böylelikle, kızaklar önce çeki sonra bası yüklerine maruz kalacaktır. Oluşacak bu gerilmeler örsün doğal frekansında gerçekleşecektir. Dolayısıyla örsün

hareketi daha sonra kızaklarında titreşimine neden olacaktır. Fakat kızakların doğal frekansı örsünküne göre birhayli düşük olacaktır. Böylelikle örsün doğal frekansı tasarım için daha ağır basmaktadır. Büyük kütleli örsün ve temel kaidesinin bu titreşimi hızlı bir şekilde sönümlene eğiliminde olması gerekmektedir.

Oluşacak doğal frekans; temel üzerindeki örs, yer değiştirmesi δ olan bir yayın üzerinde duran kütle olarak kabul edilirse yaklaşık olarak hesaplanabilmektedir. Yayın rijitlik sabiti, k , $\delta=W/k$ eşitliğinden çıkartılabilmektedir. Böylece frekans şu şekilde formüle edilebilir:

$$f = \frac{1}{2} \pi \sqrt{\frac{k}{m}} \quad (7.12)$$

Burada $m=W/g$ 'dir.

7.3. Sabitleme Şartları

Kızakların esneklik dereceleri, yine kızakların sıkışmalarından ve uzamalarından kaynaklanan gerilmelere etki etmektedir. Eğer kızaklar ve örs birbirlerine rijit olarak sıkıca bağlanırlarsa, tek esneklik civatalardaki elastikliği bağlı kalacaktır ve kızaklar da örsün bir parçasıymış gibi hareket edeceklerdir. Temeldeki sönümleyicilerin sıkıştırılabilirliği, örsün aşağı yöndeki hareketine etki edecektir. Yumuşak sönümleyicilerin kullanılması örsün ve kızakların ayrı hareket etmesini ve çarpışma etkisinin bir kısmının bağlantı civataları ile kızak temeli arasında olmasına neden olacaktır. Bu da örsteki titreşim kaybolana kadar devan edecektir.

Üst bağlantıların etkileri biraz daha farklı olacaktır. Kızakların tepesindeki esneklik derecesi, titreşim genliğini ve bununla birlikte gerilmeyi sınırlar. Örs, kızakların içeri yönde eğilmesine, kızaklar da taşıyıcı blogun sıkışmasına neden olmaktadır. Fakat kızaklar üzerindeki etki anlık olacağından, taşıyıcı

bloğa vuracaktır. Ve kızaklar ters yönde eğilme hareketi gösterirken, taşıyıcı blok da bağlantı bölümlerine vuracaktır. Tekrarlandıkça bu iç çarpışmalar kızaklar üzerinde gerilmelere sebep olacaktır. Fakat kullanılacak sönümleyiciler ve bazı esneklik dereceleri de bu iç çarpışmaların da azalmasına neden olacaktır.

7.4. Güvenlik Önlemleri

Test düzeneğinin tasarımı, imalatı ve kullanılması sırasında Türk İş Güvenliği Mevzuatlarına uygun çalışılması gerekmektedir. İlk olarak ta personel güvenliği göz önünde tutulmalıdır. Bu yüzden çekicin çalışması sırasında kırılabilir ve düzeneden fırlayabilecek parçalara karşı bir önlem almak gerekir. Bunun için, test düzeneğinin titreşimlerinden ve fırlayan parçaların darbelerinden etkilenmeyecek sağlamlıkta bir kafes sistemi kurulmalıdır. Ayarlar ve bakım onarım sırasında da koç ve düştüğü temel arasına koç blokları konulması gerekir.

Ayrıca bunlara ek olarak koruyucu elbiseyle birlikte, ayakkabı, gözlük, yelek ve kulak tıpası gibi diğer koruyucu kıyafetler de kullanılmalıdır. Çarpışmalar sırasında oluşacak seslerin bastırılması da önemlidir. Ek olarak ta çalışmalar ve bakımlar sırasında oluşabilecek diğer durumlara karşı da önlemleri önceden alınmalıdır.

8. SERBEST AĞIRLIK DÜŞME ÇEKİCİNİN TASARIM VE İMALATI

Tasarımı ve imalatını yaptığımız serbest ağırlık düşme test düzeneğinin kurulumu Şekil 8.1 ve Şekil 8.2’de görülen, Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümüne ait olan Mekanik ve Mukavemet Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir.

Laboratuvarın tavan yüksekliği 5,3 metredir. Deney düzeneğinin üst bölgesinde bulunan taşıyıcı iskelet, alt kısmında bulunan temel ve örs yükseklikleri çıkarıldığında, düşüş yüksekliği yaklaşık olarak 4,5 metre olmaktadır. Maksimum efektif düşüş yüksekliği ise, serbest bırakma mekanizması ve kalıp kullanımına bağlı olarak yaklaşık 4 metre civarında olacaktır.

Teoride 4 metre yükseklikten düşen koçun çarpışma hızı yaklaşık 8,5 m/s civarındadır. Fakat kızaklardaki sürtünmelerden kaynaklanan kayıplardan dolayı maksimum çarpışma hızı 8 m/s civarına düşecektir. Literatür araştırmalarında da görüldüğü gibi düşük hızlı ve düşük enerji seviyeli çarpışma deneyleri yaklaşık 2 m/s hızda gerçekleştirilmektedir. Dolayısıyla elde edeceğimiz maksimum 8 m/s’lik çarpışma hızı yapılacak deneyler için oldukça yeterli olacaktır. Deneylerde kullanılacak 7 kg’lık bir koç yardımıyla elde edilecek maksimum çarpışma enerjisi ise 190 J civarında olacaktır. Deneylerimiz düşük enerji seviyeli olacağından bu maksimum enerji seviyesi, düşüş yüksekliğinin ya da koçun kütlesinin azaltılmasıyla istenilen büyüklüklere getirilebilecektir.

Tasarlanan serbest ağırlık düşme test düzeneği en az derecede karmaşıklığa ve istenilen çarpışma enerjisinin kolayca kontrol edilebileceği özelliklere sahiptir. Deney düzeneğine ait teknik resimler ekler kısmında sunulmuştur.

Test düzeneğini oluşturan ana parçalar izleyen bölümlerde özetlenmektedir.



Resim 8.1. Test düzeneğinin kurulduğu laboratuvarın bir görüntüsü [27]



Resim 8.2. Test düzeneğinin kurulduğu laboratuvarın bir görüntüsü [27]

8.1. Temel

Serbest ağırlık düşme test düzeneği, yaklaşık olarak 600x1250x200 mm boyutlarındaki beton kaide üzerine yerleştirilmiştir. Öncelikle Resim 8.3'te görüleceği gibi temel betonunun döküleceği yerdeki karo taşları ve astar betonları kırılarak çıkartılmış, gerekli boyutlardaki yer hazırlanmıştır.

Betonun çarpışma dayanımını arttırmak amacıyla içerisine iki ayrı sıra şeklinde çelik yapı yerleştirilmiştir. Bu çelik yapı, 600x1250 mm boyutlarında ve 10x10 mm hasır örgü şeklindedir. Kullanılan malzeme ise, 6 mm çapındaki st-3 nervürlü çeliktir. Hasır örgü için toplam 32,4 metre nervürlü çelik harçanmıştır ve ağırlığı yaklaşık 7,2 kg gelmektedir.

Dökülen temel betonunun malzemelerini çimento, agrega ve su oluşturmaktadır. Agregada beton üretiminde kullanılan kum, çakıl, kırmataş gibi malzemelerin genel adıdır. Agregada boyutlarına göre ince (kum, kırma kum... gibi) ve kaba (çakıl, kırma taş...gibi) olmak üzere ikiye ayrılır. Agregada genelde beton içerisinde 60-75 % yer işgal eden önemli bir bileşendir. 400 dozajlı 1m³ beton için harcanan malzeme miktarları yaklaşık olarak, 400 kg çimento, 700 dm³ kum, 500 dm³ çakıl ve 180 dm³ su şeklindedir. Dökülen temel betonunun hacmi ise 0,15 m³ tür. Ve bu beton için de yaklaşık olarak 0,02 m³ çimento, 0,08 m³ çakıl ve 0,1 m³ kum kullanılmıştır. Harcanan bu malzemeler ağırlık bazında yaklaşık olarak şu şekildedir:

- 60 kg çimento
- 120 kg çakıl
- 150 kg kum
- 30 lt su

Serbest ağırlık düşme test düzeneğinin temeli için dökülen betonun resmi Resim 8.4'te gösterilmiştir.



Resim 8.3. Temel betonunun atılacağı yer [27]



Resim 8.4. Temel betonunun bir görünüşü [27]

8.2. Taşıyıcı İskelet ve Kızaklar

Deney düzeneğinin ana iskeletini kızaklar ve kızakların üst bölümde asılı durduğu taşıyıcı iskelet oluşturmaktadır. Taşıyıcı iskelet laboratuvarın tavan bölgesindeki iki kiriş arasına yerleştirilmiştir. Kiriş açıklığı 0,98 metredir. Resim 8.5' te görülen taşıyıcı iskeletin ölçüleri 0,98 x 0,57 m'dir. Dört köşesinden dirsekler yardımıyla desteklenen iskelet 30x30 mm profilden imal edilmiştir. Taşıyıcı iskelet tavanla arasında 300 mm çalışma alanı kalacak şekilde, 4 adet dirseği üzerinden birer çelik dübel ve M12 saplamalar yardımıyla kirişlere monte edilmiştir.

Taşıyıcı iskeletin orta kısmına 6 mm kalınlığında ve 0,45 x 0,57 m boyutlarında çelik taşıyıcı levha kaynatılmıştır. Levhanın da orta kısmına lazerle kesme işlemi ile kızakların geçeceği iki delik açılmıştır.

Kızaklar, dikişsiz çelikten imal edilmiş 4700 mm boyundaki iki adet borudan oluşmaktadır. Bu boruların dış çapı 60 mm, et kalınlığı ise 5 mm'dir ve yüzeyleri temizlenmiştir. Kızakların üst uçlarının 50 mm aşağısından 16 mm çapında pim delikleri açılmıştır. Kızaklar taşıyıcı plaka üzerindeki deliklerden geçirilerek pimler yardımıyla taşıyıcı iskelete asılmıştır. Alt kısımda ise örs üzerinde dikey yönde serbest olarak yataklanmıştır.

Kızakların üst bölümden asılı ve alt bölümde sabitlenmemiş olmasından dolayı, titreşimlerinin neden olabileceği eğilme gibi yapısal hasarlar önlenmiş ve böylelikle düşen ağırlığın rahatça hareket etmesi sağlanmıştır. Kızakların hareketi sadece dikey doğrultu haricinde her doğrultuda sabitlenmiştir. Ayrıca çarpışmadan sonra yukarı yöndeki zıplama yönelimi de kendi ağırlığı nedeniyle engellenmektedir. Dolayısıyla kızakların sistemdeki rijitliği başarılı bir şekilde sağlanmıştır.

Bunlara ek olarak, kızakların dikey yöndeki hareketi sistemin kolayca kurulumunu ve bakımını sağlamaktadır.



Resim 8.5. Taşıyıcı iskeletin bir görünüşü [27]



Resim 8.6. Taşıyıcı iskeletin asıldıktan sonraki görünüşü [27]



Resim 8.7. Kızak boruları asıldıktan sonra düzeneğin bir görünüşü [27]

8.3. Örs

Örs, 360 x 410 x 60 mm boyutlarındaki çelik bloktan imal edilmiştir. Yaklaşık 75 kg ağırlığındaki haddelenmiş çelik kütüğü boyutlarına göre frezede işlendikten sonra, üzerine çubuk kesme, dövme ve benzeri kolay takılıp çıkarılabilir kalıp ve iş parçası bağlama amaçlı iki adet M12 civata girebilecek büyüklükte T-kanal açılmıştır. Örs, çarpışma anındaki yüklere maruz kaldığında rijitliğini koruyabilmesi için ağır olarak tasarlanıp imal edilmiştir. Ayrıca, dört köşesinden M12 civatalar ve çelik dübeller yardımıyla temel betonuna sabitlenmiştir.

Örs ve temel betonu arasına 360 x 410 x 8 mm boyutlarında sönümleyici kauçuk yastık yerleştirilmiştir. Bu sayede çarpışma sırasında oluşan titresim ve yüklerin büyük bir kısmı sönümlenebilmektedir. Ayrıca, kızakların yatay düzlemdeki hareketlerini her yönde sabitleyebilmek için iki adet burç örsün üzerine sabitlenmiştir.



Resim 8.8. Örsün bir görünüşü [27]



Resim 8.9. Sistem kurulduktan sonra örsün bir görünüşü [27]

8.4. Koç ve Kızak Bağlantıları

İki kızak bağlantısı 100 mm dış çap, 60 mm iç çap ve 100 mm yüksekliğe sahip olarak üretilmiştir. Kızak bağlantılarının üretimi sırasında, kızaklardaki sürtünme kuvvetinin azalmasını sağlamak ve ağırlığı azaltmak amacıyla PVC malzeme kullanılmıştır. Operasyon sırasında ince bir yağ katmanı da kayma işlemini kolaylaştırmaktadır.

Düşen ağırlık, bu iki kızak dışında üçüncü bir PVC yatak içerisinde durmaktadır. Ağırlık, dış çapı 100 mm, iç çapı 70 mm ve yüksekliği 100 mm olan bu yatak içerisinde düşey yönde rahatça hareket edebilmektedir. Kızak bağlantısı ve taşıyıcı yatak görevi gören bu üç silindir, birbirlerine 5 mm kalınlığındaki iki adet çelik plaka yardımıyla sabitlenmiştir. Bu iki plaka ise birbirlerine silindirleri boydan boya geçen 10 adet M6 civata – somun kombinasyonu ile tutturulmuştur.

Düşen ağırlığı ise yaklaşık 7 kg ağırlığında çelik bir silindir blok oluşturmaktadır. Silindir blok koçun ortasındaki pvc yatak içerisinde durmaktadır. Çapı 70 mm, yüksekliği 160 mm dir. Çarpışma ucu ise 10 mm çapında işlenmiştir.

Düşen ağırlık, PVC yatak içerisinde düşey yönde hareket edebilmesi nedeniyle, çarpışma sırasında kızaklardan ayrılmaktadır. Yani çarpışmadan sonra ağırlık geri yönde tepki gösterirken, kızaklar hareketine devam ederek sönümleyici pedlere gitmektedir. Bu sayede, çarpışma anında koçta ve kızaklarda oluşabilecek eğilme gibi deformasyonlar engellenmiş olmaktadır.

Ayrıca silindir bloğun koça sabitlenmemiş olması; test düzeneğinde yapılacak işleme göre, kullanılması gereken ağırlığa göre ya da çarpışmalar sonunda ucunda oluşacak deformasyonlar nedeniyle değiştirilmesine olanak sağlamaktadır.



Resim 8.10. Koçun bir görünüşü [27]



Resim 8.11. Koçun diğ er bir görünüşü [27]

8.5. Sönümleyiciler

Test düzeneğ i içerisinde oluşan titreş im ve enerjileri absorbe etmek için bir çok yerde sönümleyiciler kullanılmış tır.

Temel olarak örs ve temel betonu arasına 8 mm kalınlığında kauç uk yastık, kızaklar etrafına da 5'er mm kalınlığında bir çok kauç uk ped yerleştirilmiştir. Kauç uk pedlerin sayısı, deney sırasında kullanılacak kalıp yüksekliğine göre arttırılıp azaltılabilmektedir.



Resim 8.12. Kızaklar etrafındaki sönümleyici pedler [27]

8.6. Yükseltme ve Serbest Bırakma Mekanizmaları

Test düzeneğinin hareketli parçalarını oluşturan serbest bırakma mekanizması ve koç bir yükseltme mekanizması yardımıyla yukarı kaldırılmaktadır. Bu düzeneği çelik halatlar, bir makara ve bir el vinci oluşturmaktadır.

Koçu bir çelik halat yardımıyla taşıyan serbest bırakma mekanizmasına, 3 mm kalınlığındaki bir çelik halat bağlanmıştır. Bu halatın diğer ucu, sistemin en tepesindeki taşıyıcı plakanın ortasına monte edilmiş bir çelik makaradan geçerek el vincine bağlanmıştır. Bu vinç bir yöndeki hareketi kilit yardımıyla engellenebilen ve 2,5 ton'a kadar dayanabilen bir el vincidir. Ayrıca, yere sabit haldeki demir bir masa üzerine, kolay ulaşılacak ve hareketi kısıtlanmayacak bir şekilde iki adet M8 civata ile sabitlenmiştir.

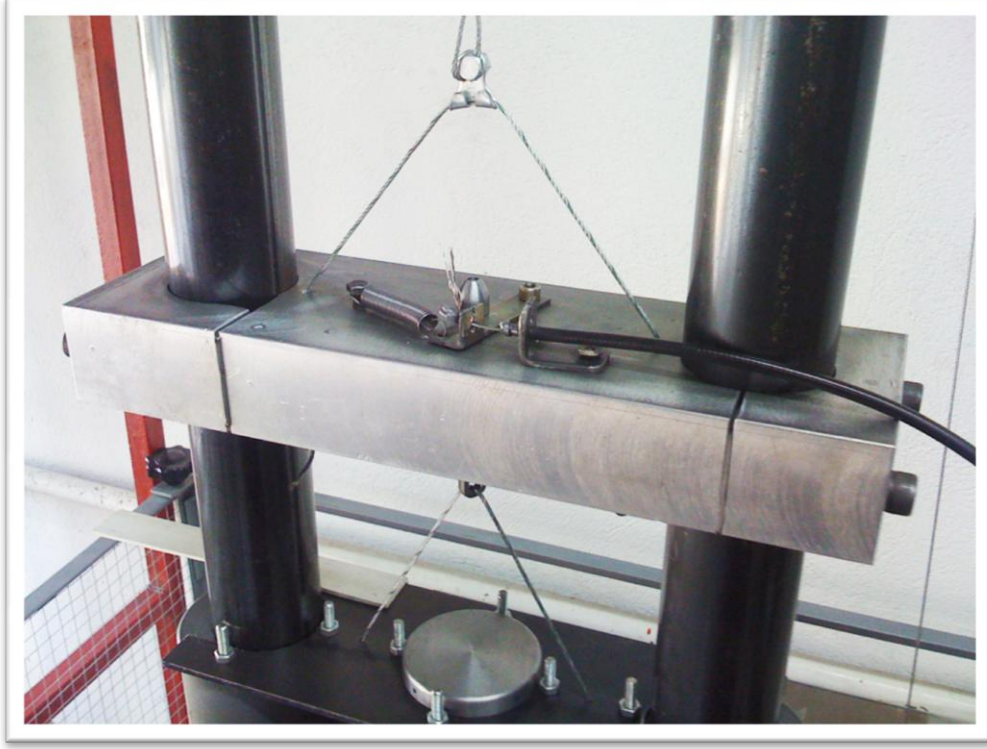


Resim 8.13. El vincinin bir görünüşü [27]

Serbest bırakma mekanizmasını, bir alüminyum blok gövde, bir yay, bir kışkaç, bir fren teli ve fren kolundan meydana gelmektedir. Gövdeyi oluşturan alüminyum blok 110 mm x 360 mm boyutlarında, 60 mm kalınlığındadır. İki ucunda kızakların geçeceği 60 mm çapında delikler açılmıştır. Orta bölgesinde ise kışkaç, yay ve fren telinin bağlı olduğu kısım bulunmaktadır. Ve gövdenin ortasında 16 mm çapında bir delik bulunmaktadır.

Koça bir çelik halat ve bu halatın ortasından bir pim bağlanmıştır. Bu pim, serbest bırakma mekanizma gövdesinin ortasındaki delikten geçerek, ucundaki çentik sayesinde kışkaca takılmaktadır. Bir yay kışkacı çekerek kilitli durmasını sağlamaktadır. 6 metre uzunluğundaki fren teli ise kışkacın diğer ucuna bağlanmıştır.

Fren kolu sıkıldığında, fren teli kışkacı geriye doğru çekmekte ve koçu taşıyan pim ve çelik halatı serbest bırakmaktadır.



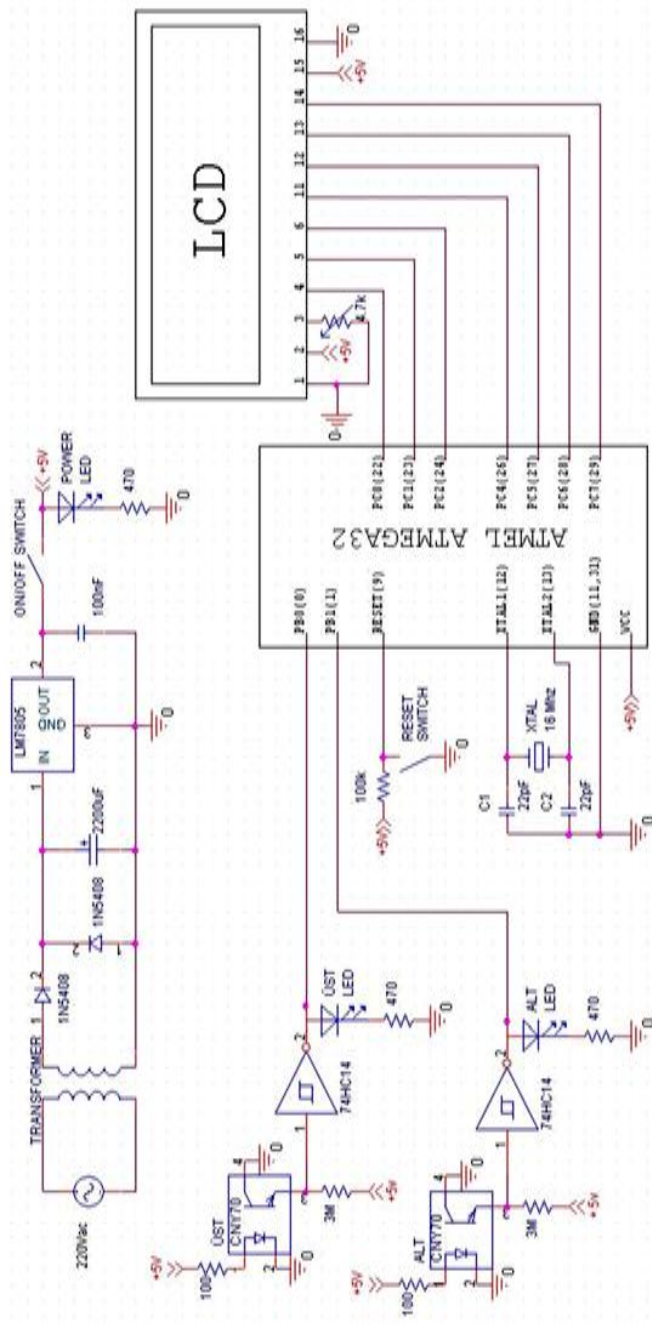
Resim 8.14. Serbest bırakma mekanizmasının bir görünüşü [27]



Resim 8.15. Serbest bırakma mekanizmasının diğer bir görünüşü [27]

9. HIZ ÖLÇME SİSTEMİ VE KALİBRASYON

Hız ölçme sistemi koçun test numunesiyle çarpışma noktasına yakın bir yerde hızını ölçmek için kullanılmaktadır. Sistemin devre şeması aşağıda gösterilmiştir (Şekil 9.1).



Şekil 9.1. Hız ölçme mekanizmasının devre şeması

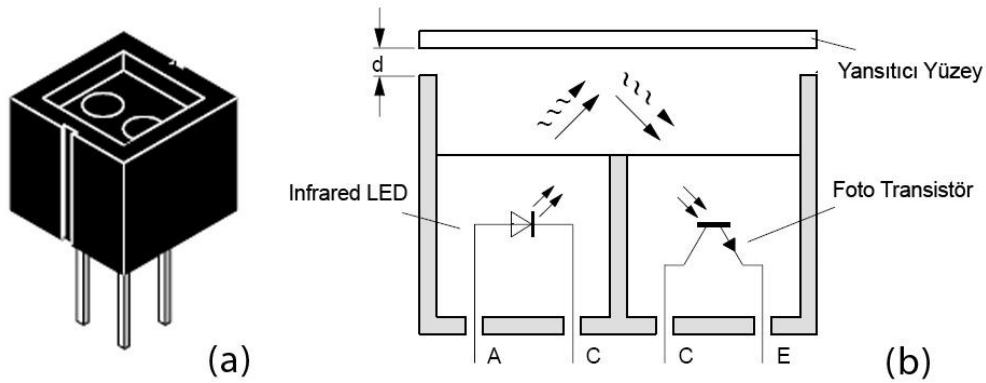
Bu şema üzerinde;

- On/off: switch güç açma kapama anahtarıdır.
- Reset: switch reset butonudur.
- LCD ye bağlı olan 4.7k pot: kolorast ayarı yapmayı sağlar.
- Üst ve alt ledler: üst ve alt sensörlerin tetiklendiğini gösterir.
- Power led: açık konumunu gösterir.

Hız ölçme sisteminin parçaları aşağıda detaylı olarak anlatılmaktadır.

9.1. Sensörler

Devrede koçun geçtiğini algılamak amacıyla Vishay Telefunken'e ait CNY70 yansıtıcı optik sensör kullanılmıştır. Bu sensör içerisinde bir kızılötesi LED (Infrared LED) ve bir fototransistor bulunmaktadır.



Şekil 9.2. Sensörün şekli ve iç yapısı

a) Sensörün şekli b) Sensörün iç yapısı

Kızılötesi LED dışarıya kızılötesi ışık yayar ve bu ışık gözün görebildiği ışık spektrumu dışındadır (950nm dalga boyunda). Fototransistor üzerine aynı dalga boyu ışık düştüğünde enerji ile yarı iletkenlerde elektronlar (-) ve oyuklar (+) oluşur. Bu şekilde transistor iletime geçer. Kollektörden emitere doğru ışık şiddetiyle orantılı akım akar. Eğer şekilde görüldüğü gibi bir cismin

yüzeyi belli bir “d” mesafesi kadar yaklaşırsa bu ışık demeti yansıyarak fototransistorun üzerine düşer. Sensör tetiklenir. Bu devre CNY70 sensörün algılama mesafesi yani “d” 0.50 cm’dir. Kullanılan bu devrede CNY70 farklı bir şekilde çalıştırılmıştır. Normalde kollektör pozitif gerilimde emiter negatif gerilimde olur ve bu şekilde doğru polarlanarak kollektörden emitere akım akar. Ama bu devrede CNY70 içerisinde bulunan fototransistor foto diyot gibi kullanılmıştır. Ters polarlanarak sızıntı akımı akıtılmıştır. Bu akım 3 MΩ direnç üzerinden akarak devre üzerinde CNY70 in 3 numaralı bacağında voltaj oluşturur.

9.2. Schmitt Trigger

Devrede 74HC14 Schmitt Trigger kullanılmıştır. Kullanılma sebepleri ise şu şekilde sıralanabilir:

- Devre üzerinde CNY70 in 3 numaralı bacağında oluşan voltajı parazitlerden filtrelemek,
- Devre üzerinde CNY70 in 3 numaralı bacağında oluşan voltajı mikrokontrolörün algılayabileceği voltaj seviyelerine getirmek (0 - 5 volt)
- Yüksek voltaj seviyesinden düşük voltaj seviyesine ve tersine geçişlerde geçiş süresini azaltmak
- Tampon görevi yaparak çıkış empedansını düşürmek, çıkış akımını artırmak.

9.3. LCD (Liquid Crystal Display)

LCD ekranlar bize birçok harfi, sayıları, sembolleri hatta Güney Asya ülkelerin kullandıkları Kana alfabesindeki karakterleri de görüntüleme imkanını verirler. LCD’lerde hane sayıları değişik olabilir. Bir hane 35 nokta içerdiğinden, 7 bölmeli göstergede olduğu gibi bir tarama işlemi yaparak 20 haneli bir Dot Matris LCD’yi çalıştırmak için kullanılan mikrokontrolörün görevi

sadece LCD'ye veri yazmak olur. Araya diğer işlemler girerse ekrana yazılan veriler hatalı olur. Bu yüzden LCD'ler için ekranı kontrol edecek ayrı işlemcilerle ihtiyaç duyulur. LCD'ler, bilgisayarda kullanılan ekran kartları gibi ekrana yazılan bilgilerin sürekli görülebilmeleri için tarama işlemini yapan entegrelerle birlikte üretilip satılırlar. Bu entegrenin özelliklerini tam olarak bilmek ekranı her yönüyle kontrol etmek manasına gelir. Genelde kullanılan bir LCD sürücü entegresi Hitachi firmasının üretmiş olduğu HD44780 entegresidir. Bu entegrenin kullanıldığı tüm göstergeleri aynı mantıkla kontrol etmek mümkündür. Tek değişiklik LCD'nin kaç satır ve haneden oluştuğunu bilmektir. Bu projede hız ve zaman değerlerinin okunması amacıyla 2x16 karakter lcd ekran kullanılmıştır.

9.4. Güç Kaynağı

Kondansatör filtreli tam dalga doğrultucu devre kullanılmış ve 2x4.5 simetrik çıkışlı trafoya bağlanmıştır. Regülatör olarak LM7805 kullanılmıştır. LM7805 sabit çıkışlı voltajı veren bir regülatördür ve çıkış voltajı +5V'dur.

9.5. Mikrokontrolör

Proje tüm mantıksal işlemleri yapmak, zamanı hesaplamak, verileri LCD ekrana yazdırmak amacıyla bir mikrokontrolör gerekmektedir ve bu amaçla ATMEL firmasının üretmiş olduğu ATmega32 mikrokontrolörü kullanılmıştır. Aşağıda ATmega32'nin genel bazı özellikleri sıralanmıştır:

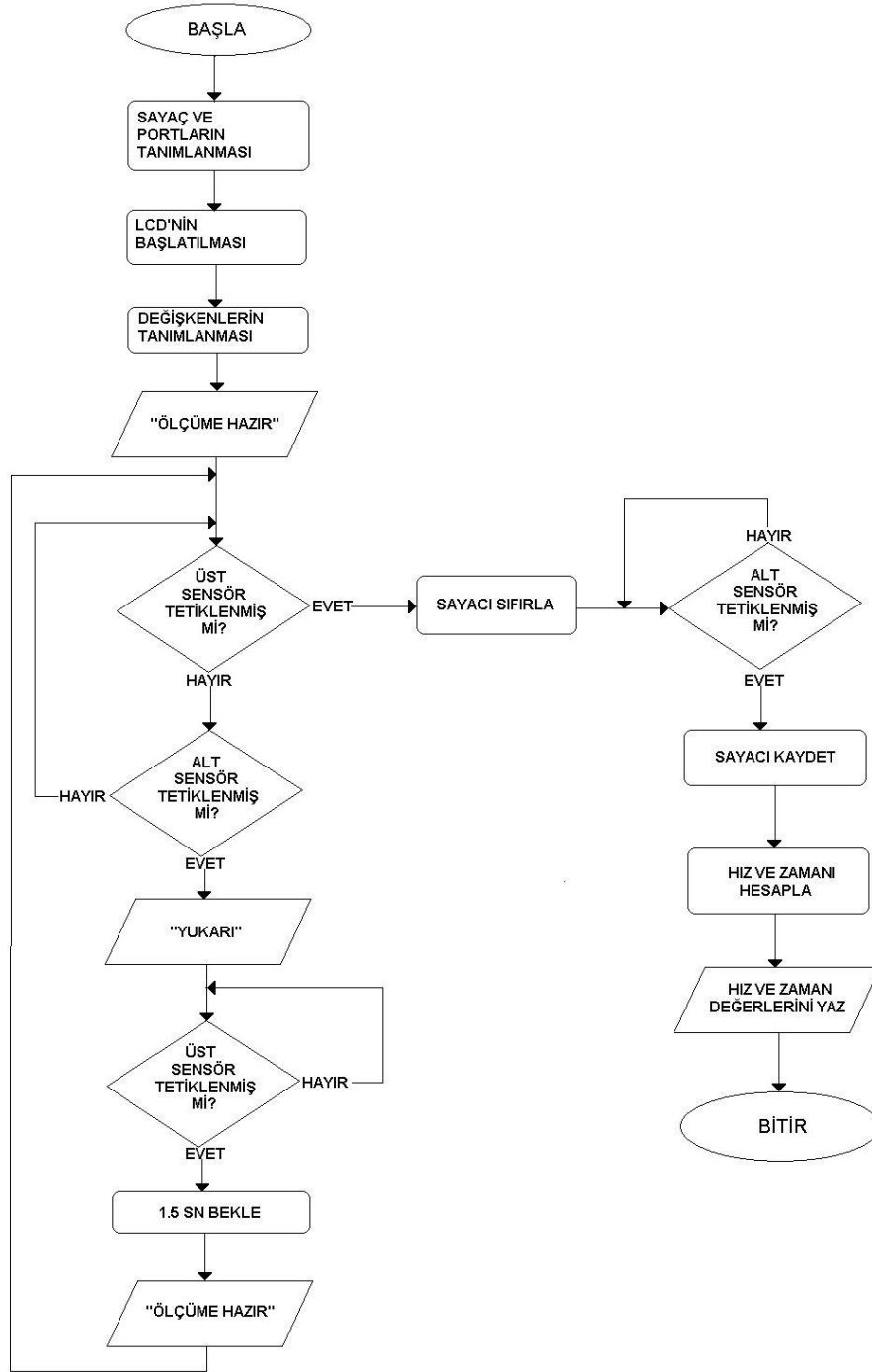
- Yüksek performans, Düşük güçlü 8 bit mikroişlemciler.
- Gelişmiş RISC mimarisi (Saniyede 16 milyon talimat yapabilme yani 16Mhz işlem hızı, dahili 2-döngü çarpanı, full statik çalışma...)
- JTAG Arayüzü (JTAG arayüzü ile flash, EEPROM, Sigorta ve kilit bitlerini programlayabilme).

- Çevresel özellikler (Osilatörden bağımsız gerçek zamanlı sayaç, 4 adet PWM kanalı, 8 kanal, 10 bit ADC, Programlanabilen seri USART, Master/Slave SPI Seri arabirim.
- I/O ve Paketler (32 adet programlanabilir I/O çizgileri, 40-pin PDIP, 44-lead TQFP, and 44-pad QFN/MLF)
- İşletme voltajları 4.5 - 5.5V
- Hız Dereceleri 0-16 MHz

9.6. Yazılım

Yazılım C dilinde CodeVision derleyicisinde yazılmıştır. Yazılan kodlar hex koduna çevrilerek AVRISP mkII adlı programlayıcı ile ATmega32'ye yüklenmiştir. Yazılım aşağıda verilen algoritmaya göre oluşturulmuştur (Şekil 9.3).

Algoritmaya göre sistem ilk olarak tanımlamaları yaparak ölçüme hazır duruma gelir. Bundan sonra bir kontrol bölümü vardır. Kontrol bölümünde alt ve üst sensörleri döndü içerisinde kontrol eder durur. Ve burada iki olasılık vardır ya önce alt sensör tetiklenecek yada önce üst sensör tetiklenecektir. Buna göre bir dallanma olacaktır. Önce alt sensör tetiklenirse örs yukarı doğru gidiyor demektir. Bu nedenle örs üst sensörü de tetikleyene kadar ekranda “YUKARI” uyarısı yazacaktır. Diğer durumda ilk önce üst sensör tetiklendiğinde örs aşağıya gideceğinden ölçüm yapılacaktır.



Şekil 9.3. Hız ölçme sisteminin algoritması

Ölçüm çip üzerinde dahili bulunan 16 bitlik sayaç sayesinde yapılacaktır. Sayaç program tarafından ayarlanan bir frekans ile saymaktadır. Bu frekans hesaplamalar sonucunda 250 kHz olarak ayarlanmıştır. Bu durumda sayaç 4 mikro saniyede bir artacaktır. Sayaç üst sensör tetiklendikten sonra alt

sensör tetiklene dek geçen sürede sayacaktır. Bu sayaç bir sabit ile çarpılarak süre bulunacaktır. Bu sabit sayaç 4 mikro saniyede bir artışı için 4 mikrodur.

$Zaman = (4 * CNTR) / 1000000$ olarak alınır. Burada CNTR sayaç değeridir. İki sensör arasındaki mesafe sabit bilinen bir değerdir. Bu mesafe 10 cm olarak ayarlanmıştır. Buna göre örsün çarpmadan önceki ortalama hızı mesafenin zamana oranıdır ($Hız = Mesafe / Zaman$).

9.7. Maksimum Hız

Hesaplanan hız değeri LCD ekrana yazdırmak için 16 bitlik bir register içine atılmaktadır. Hesaplanan hızın birimi milimetre bölü saniye (mm/sn) dir. 16 bit register'ın alabileceği en büyük değer 2^{16} yani 65535 olacağından maksimum hız 65535 mm/sn olacaktır.

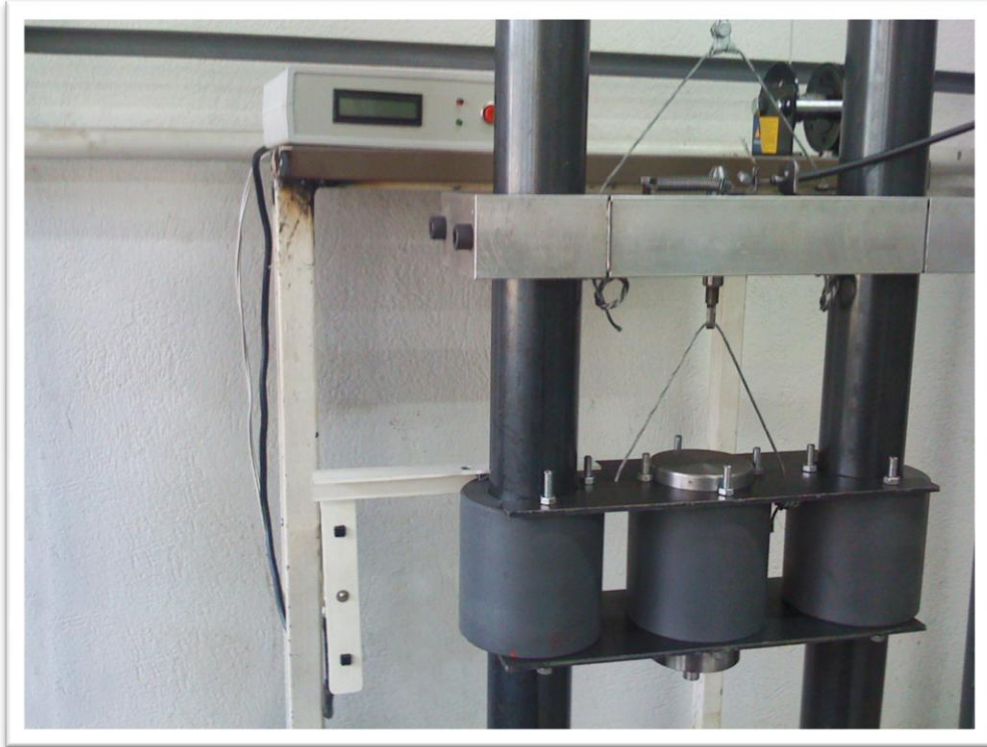
9.8. Minimum Hız

Hızın minimum değerini belirleyen sürenin maksimum değeridir. Atmega32 içerisinde bulunan kullandığımız bu sayaç 16 bitlik bir sayaçtır. Bu nedenle sayaç 2^{16} yani 65535 değerine kadar saydıktan sonra bir artışı başa dönüp sıfırlanacaktır.

Sayaç maksimum değerinden zamanın maksimum değeri bulunabilir. Maksimum zaman $= (4 * MaxCNTR) / 1000000$ olarak alınırsa Maksimum zaman 0,26214 sn olarak bulunur. Buradan da minimum hız, mesafe/zaman formülü kullanılarak 382,55 mm/sn olarak bulunur.



Resim 9.1. Hız ölçme sisteminin bir görünüşü [27]



Resim 9.2. Hız ölçme sisteminin diğer bir görünüşü [27]

9.9. Kalibrasyon

Düşüm çekicinin kalibrasyonu sırasında farklı yükseklikler kullanılmıştır. Kullanılan bu yükseklikler şu şekildedir:

0,1m; 0,2m; 0,3m; 0,4m; 0,5m; 0,6m; 0,7m; 0,8m; 0,9m;
1,0m; 1,3m; 1,5m; 1,8m; 2,0m; 2,5m; 3,0m; 3,5m; 4,0m.

Ağırlık bu yüksekliklerden çeşitli defalarda düşürülerek hız ölçüm sisteminden okunan değerler incelenmiştir. Ve bu düşüşler sonucunda ortalama olarak elde edilen hızlar Çizelge 9.1’de gösterilmiştir.

Koçun bu yüksekliklerden bırakıldığında kazanacağı teorik hızlar ise; Eş. 7.1 ve Eş. 7.3’den türetilmiştir. Serbest düşme hareketi yapan bir sistemin ilk andaki potansiyel enerjisi, çarpışma noktasındaki kinetik enerjisine eşittir. Dolayısıyla;

$$m_1gh = \frac{1}{2} m_1V_1^2 \quad (9.1)$$

Eşitliği kullanılabilir. Buradan V_1 çekildiği zaman;

$$V_1 = \sqrt{2gh} = \sqrt{19.62h} \quad (9.2)$$

olarak bulunur. Ve bu formül yardımıyla hesaplanan teorik düşüş hızları yine Çizelge 9.1’de gösterilmiştir.

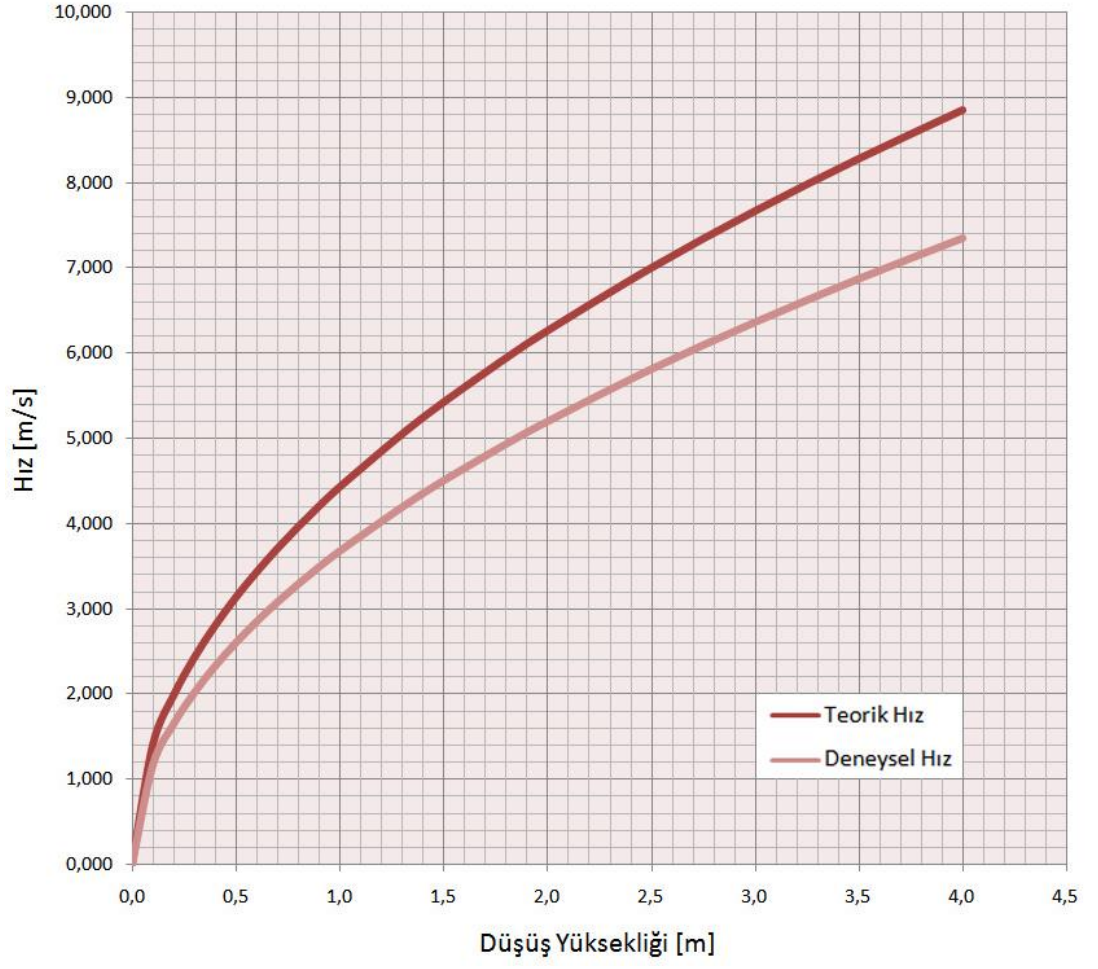
Çizelge 9.1’de karşılaştırılan bu hızların, bırakıldığı yüksekliklere göre gösterdikleri değişimin grafiği ise Şekil 9.4’te gösterilmiştir.

Çizelge 9.1. Teorik ve deneysel hızların düşüş yüksekliğine göre değişimi

Yükseklik (m)	Teorik Hız (m/s)	Deneysel Hız (m/s)	Hız Farkı (m/s)	Hata Yüzdesi (%)	İvme (m/s ²)
0,0	0,000	0,000	0,000	00,00%	0,000
0,1	1,401	1,162	0,239	17,06%	6,751
0,2	1,981	1,644	0,337	17,01%	6,757
0,3	2,426	2,013	0,413	17,02%	6,754
0,4	2,801	2,324	0,477	17,03%	6,751
0,5	3,132	2,599	0,533	17,02%	6,755
0,6	3,431	2,848	0,583	16,99%	6,759
0,7	3,706	3,076	0,630	17,00%	6,758
0,8	3,962	3,288	0,674	17,01%	6,757
0,9	4,202	3,488	0,714	16,99%	6,759
1,0	4,429	3,675	0,754	17,02%	6,753
1,3	5,050	4,191	0,859	17,01%	6,756
1,5	5,425	4,503	0,922	17,00%	6,759
1,8	5,943	4,932	1,011	17,01%	6,757
2,0	6,264	5,198	1,066	17,02%	6,755
2,5	7,004	5,813	1,191	17,00%	6,758
3,0	7,672	6,365	1,307	17,04%	6,752
3,5	8,287	6,876	1,411	17,03%	6,754
4,0	8,859	7,352	1,507	17,01%	6,756

Eş. 7.10 ve Eş. 7.11’de verildiği gibi koçun ivmesi hesaplandığında sürtünmelerden dolayı yerçekimsel ivmeden biraz daha küçük olduğu ve koçun ivmesinin direk olarak ağırlığıyla orantılı olduğu görülmüştür. Ölçümler sonucunda elde edilen hızlardan hesaplanan ivmeler incelendiğinde hepsinin $6,75 \text{ m/s}^2$ ye yakınsadığı görülmüştür. Ayrıca bu dağerin, koçun ağırlığı artırıldığı zaman yükselerek yerçekimi ivmesine yani $9,81 \text{ m/s}^2$ değerine yaklaştığı görülecektir.

Bu sonuçlardan da görüleceği gibi, düşen ağırlık artırılarak, koçun çarpışma sırasındaki hızı belirli sınırlarda arttırılabilmektedir. Bununla birlikte koç ve iş parçası arasındaki çarpışma enerjisi de artan hıza ve kütleye bağlı olarak yüksek miktarda değişecektir.



Şekil 9.4. Teorik ve deneysel hızların düşüş yüksekliğine göre değişimi [27]



Resim 9.3. Test düzeneğinin tamamlandıktan sonra görünüşü [27]

10. DENEYSEL METAL ŞEKİLLENDİRMELERİNE ÖRNEKLER

Serbest ağırlık düşme çekiçleri, birçok metal şekillendirme işlemleri için gerekli olan enerjiyi sağlayabilmektedirler. Bu bölümde de imal edilen bu serbest ağırlık düşme test düzeneğinde yapılabilecek olan çeşitli çubuk ve plaka metallerde şişirme, çekme ve delme gibi proseslere örnekler verilmiş, bazı numunelerin fotoğrafları eklenmiştir.

Ayrıca bu test düzeneğinde bunlara ek olarak, gerekli kalıpların ve ölçüm sistemlerinin sağlanmasıyla yüksek hızda çubuk kesme işlemleri yapılabilmekte ya da çeşitli çarpışma hızlarında metallerin gösterdiği davranışlar incelenebilmektedir.

10.1. Serbest Şişirme

Serbest şişirme işlemine örnek olarak çeşitli numuneler kullanılmıştır. Düşürülen koçun kütlesi 7 kg'dır. İlk olarak 10mm capında, 90mm uzunluğunda alüminyum bar üzerine 1,0m, 2,0m ve 3,0m yüksekliklerden ağırlık düşürülmüştür. 1,0m'den ağırlık düşürülen numunede gözle görülür bir deformasyon olmazken, 2,0m'den ağırlık düşürülende farkedilir derecelerde eğilme olduğu gözlenmiştir.

İkinci olarak ise alüminyum tüpler üzerinde deney yapılmıştır. Bu tüpler 20mm çapında ve 80mm uzunluğundadır. Ayrıca et kalınlıkları 1 mm'dir. Bu numuneler üzerine düşen ağırlıklar ise; 1,0m, 1,5m, 2,0m, 2,5m ve 3,0m yüksekliklerden bırakılmıştır.

Bu test numunelerine ait fotoğraflar aşağıda verilmiştir.



Resim 10.1. Alüminyum barların yandan görünüşü (1,0m, 2,0m, 3,0m) [27]



Resim 10.2. Alüminyum barların farklı bir görünüşü (1,0m, 2,0m, 3,0m) [27]



Resim 10.3. Alüminyum tüplerin yandan görünüşü (1, 1,5, 2, 2,5 ve 3m) [27]



Resim 10.4. Alüminyum tüplerin üstten görünüşü (1, 1,5, 2, 2,5 ve 3m) [27]



Resim 10.5. Alüminyum tüplerin farklı bir görünüşü (1, 1,5, 2, 2,5 ve 3m) [27]

10.2 Plaka Metal Şekillendirme

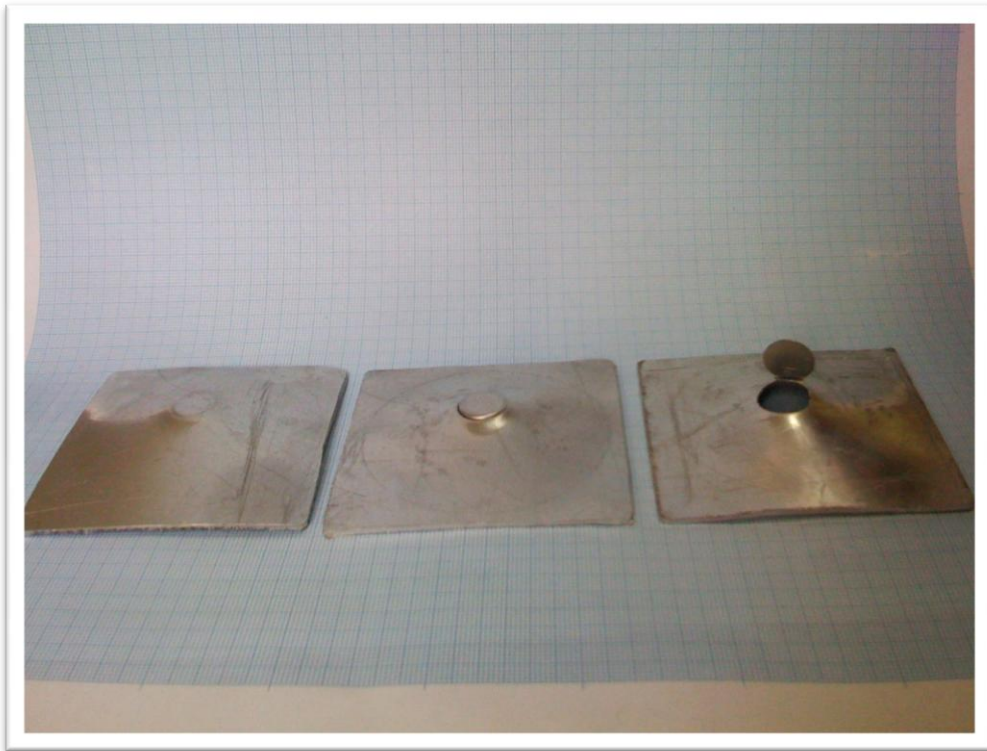
Plaka metal şekillendire operasyonlarında iki farklı kalınlıktaki plakalar kullanılmıştır.

İlk olarak 2mm kalınlığında alüminyum plaka üzerine, 10mm çapında düz uçlu ağırlık 0,2m, 0,3m, 0,4m yüksekliklerden düşürülmüştür. 0,4m yükseklikten düşürülen ağırlık sonucunda tamamen delindiği görülmüştür.

İkinci olarak ta 1mm ve 2mm kalınlığındaki çelik plakalar ile operasyonlar gerçekleştirilmiştir. Düşüş yükseklikleri de 1mm'lik plakalar için 0,5m, 0,75m ve 1,25m; 2mm'lik plakalar içinse 0,75m, 1,25m ve 2,0m olarak seçilmiştir.. Bu numunelere ait fotoğraflar da aşağıda verilmiştir. 1mm'lik plaka 1,25m yükseklikten bırakılan ağırlıkla delinirken, 2mm'lik plaka ancak 2,0m'den bırakılan ağırlıkla delinebilmiştir.



Resim 10.6. 1mm'lik alüminyum numuneler (0,2m, 0,3m, 0,4m) [27]



Resim 10.7. 1mm'lik alüminyum numuneler (0,2m, 0,3m, 0,4m) [27]



Resim 10.8. 5mm'lik alüminyum numuneler (1m, 2m, 3m) [27]



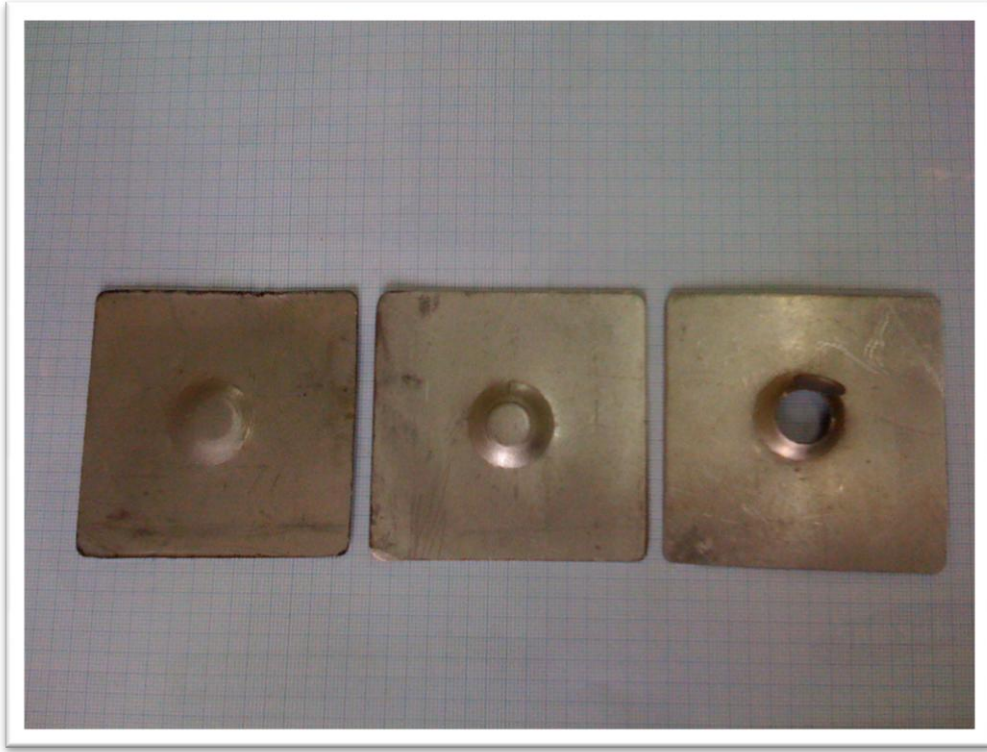
Resim 10.9. 5mm alüminyum numunelerin yandan görünüşü (1, 2, 3m) [27]



Resim 10.10. 1mm'lik elik numuneler (0,5m, 0,75m, 1,25m) [27]



Resim 10.11. 1mm elik plakaların yandan görünüşü (0,5, 0,75, 1,25m) [27]



Resim 10.12. 2mm'lik elik numuneler (0,75m, 1,25m, 2m) [27]



Resim 10.13. 2mm elik plakaların yandan görünüşü (0,75, 1,25, 2m) [27]

11. SONUÇ ve ÖNERİLER

Bu çalışmada, serbest ağırlık düşme test düzeneğinin tasarımı ve imalatı anlatılmıştır.

Yapılan araştırma ve literatür taramaları sonucunda bu düzeneğin; düşük enerji seviyelerinde metallere şekil vermek için kullanılan makinalar arasında ve Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Mekanik ve Mukavemet Laboratuvarı şartlarında kurulabilecek en ucuz ve basit sistem olduğuna karar verilmiştir. Ayrıca düzenek üzerinde yapılabilecek deney sürelerinin kısa olması, kullanım kolaylığı ve benzer özelliklerde başka bir deney düzeneğinin olmamasından dolayı düzeneğin laboratuvar için uygun olacağı düşünülmüştür.

Kurulan test düzeneği, yaptığı iş bakımından dışarıdan alınabilecek bir düzeneğe oranla çok daha ucuza mal edilmiştir. Ek olarak düzenekte kullanılabilecek farklı deney setleri de (koç ağırlığı, çarpışma ucu, kalıplar...vb) Fakültenin Takım Tezgahları Laboratuvarında kolayca üretilip düzeneğe monte edilebilecektir.

Düzeneğin tasarımı ve kurulumu esnasındaki en önemli kriter tavan yüksekliği olmuştur. Laboratuvarın tavan yüksekliği 5,3 metredir. Bu yükseklik aynı zamanda test düzeneğinin yüksekliğidir. Dolayısıyla deney düzeneği tamamlandıktan sonra düşüş yüksekliği 4,3 metre ile sınırlı kalmıştır. Kalibrasyon ve deneyler sırasında maksimum 4 metre yükseklik kullanılmış; bu yükseklikten düşen 7kg'lık koçun hızı yaklaşık 7,3m/s ölçülmüş ve çarpışma enerjisi de yaklaşık 190 J olarak hesaplanmıştır.

Test Düzeneğinin ana bölümlerini; kızaklar, koç, örs, serbest bırakma mekanizması ve hız ölçüm sistemi oluşturmaktadır. Kızakları 4,5 metrelik iki tane çelik boru oluşturmaktadır. Koç bu kızaklar üzerinde hareket etmektedir.

Koç ağırlığı yaklaşık olarak 7 kg'dır. Koç serbest bırakma mekanizması ile birlikte bir el vinci ve çelik halat sayesinde yükselmektedir. Serbest bırakma mekanizması ise bir fren kolu ve fren teli yardımıyla çalışmakta, kol sıkıldığında koçu serbest bırakmaktadır. Sistemin alt noktası büyük çarpışma kuvvetlerine maruz kalacağı için, buraya 360 x 410 mm boyutlarında, 60mm kalınlığında ve ağırlığı 75 kg olan bir örs yerleştirilmiştir. Örs temel betonuna sabitlenmiştir. Temel betonu da örs gibi yüksek kuvvetlere maruz kalacağından dökülürken hasır örgülü demirlerle güçlendirilmiştir. Son olarak hız ölçüm sistemi de hazırlanarak sisteme monte edilmiştir. Hız ölçüm sisteminin sensörlerinin yüksekliği çarpışma noktasına yakın yerde ölçüm yapmaktadır. Bu yükseklik kullanılacak kalıp yüksekine göre değiştirilebilmektedir.

Kızaklar sistem içerisinde dikey yönde sabitlenmemiştir. Bu da üzerlerine gelebilecek dikey kuvvetleri ve titreşimleri azaltmakta, yapısal deformasyonun önüne geçilmektedir. Ayrıca sisteme, çarpışmadan kaynaklanan etkileri azaltmak amacıyla sönümleyiciler yerleştirilmiştir.

Kalibrasyon yapılırken düşüş sırasında elde edilen hız verileri teorik olarak hesaplanan verilerle karşılaştırılmış, grafiğe dökülmüştür. Ölçülen hızlardan ivmelere gidildiğinde hepsinin $6,75 \text{ m/s}^2$ 'ye yakınsadığı görülmüştür. Bu değer ile yerçekimi ivmesi arasındaki fark ise kızaklarda meydana gelen sürtünme kuvvetinden kaynaklanmaktadır.

Sistemin kurulumu tamamlandıktan sonra gerçekleştirilen metal şekil verme örneklerinde 7kg'lık ağırlık çeşitli yüksekliklerden bırakılmıştır. Plaka metal şekil vermede 13 mm çapında silindirik uç kullanılmıştır. Çeşitli kalınlıktaki metallerin farklı yüksekliklerden bırakılan ağırlıklarla gösterdiği davranışlar incelenmiştir. Ek olarak alüminyum çubuk ve tüpler üzerinde de deney yapılarak gösterdikleri şekil değişiklikleri incelenmiştir.

Yapılan bu deneyler sırasında deney düzeneğinin çalışmasında herhangi bir terslik olmamış, yapısal deformasyon meydana gelmemiştir. Bu da tasarım ve imalatın oldukça başarılı olduğunun bir göstergesidir.

imal edilen test düzeneğinde bu aşamada yapılabilecek deneylerin kapsamı bakımından sınırlı kalmıştır. Fakat literatür özetlerinde de görüldüğü gibi aynı düzeneğe her biri farklı birer araştırma konusu olarak farklı malzemelerin çarpışma etkisi altındaki davranışları strain gage'ler ve uygun veri toplayıcılar gibi yardımcı düzenekler kurularak incelenebilir, yine farklı şekillerdeki kompozit malzemelerin çarpışmadan sonraki mikro yapıları incelenerek karşılaştırılabilir. Bunlara ek olarak da; çeşitli geometrilerde uçlar kullanılarak sünek malzemelere şekil verilebilir, deney düzeneği yine uygun uçlarla giyotin ya da zımba olarak kullanılabilir.

Sonuç olarak bu test düzeneği, basit ve ekonomik yapısıyla, düşük enerji seviyelerinde bir çok metal şekillendirme işlemini gerçekleştirebilmektedir.

KAYNAKLAR

1. Young T., "A Course of lectures on Natural Philosophy and the Mechanical Arts", **Publ. Joseph Johnson**, 1:45-54, (1807).
2. Dunn B.W., "A Photographic Impact Testing Machine for Measuring the Varying Intensity of an Impulsive Force", **J.Franklin Inst.**, 1:1-12, (1897).
3. Hatt W.K., "Preliminary Report on the Present State of Knowledge Concerning Impact Tests", **Proc. Amer. Soc. Testing Materials**, 1:25-85, (1899).
4. Hopkinson J., "Further Experiments on the Rapture of Iron Wire", **Proc. Manchest. Liter. Philos. Soc.**, 12:1-21, (1872).
5. Hopkinson J., "On the Rapture of an Iron Wire by a Blow", **Proc. Manchest. Liter. Philos. Soc.**, 14:36-45, (1872).
6. Campbell J.D., "An Investigation of the Plastik Behaviour of Metal Rods Subjected to Longitudinal Impact", **Journal of the Mechanics and Physics of Solids**, 25:56-68, (1952).
7. Çolakoğlu A., "Design and Construction of a Gravity Drop Hammer", **METU Mechanical Engineering Master Thesis**, 1:1-80, (1990).
8. Schubel P.M., "Low Velocity Impact Behaviour of Composite Sandwich Panels", **Journal of Compozites**, 36:1389-1396, (2004).
9. Kalay Y.E., "Tek ve Çok Katmanlı AA2024 Plakalarının Düşük Hızlarda Darbe Karakterizasyonu", **SAVTEK 2004 Savunma Teknolojileri Kongresi**, ODTU, 1:62-81, (2004).
10. Baucom J.N., "Low Velocity Impact Damage Progression in Woven E-Glass Composite Systems", **Journal of Compozites**, 36:658-664, (2004).
11. Übeyli M., "On the Drop Weight Testing of Alumina / Aluminium Laminated Composites", **Journal of Sadhana**, 56:28-39, (2005).
12. Lin J.C., "Mechanical Behavior of Various Nano-Particle Filled Composites at Low-Velocity Impact", **Journal of Composite Structure**, 74:30-36, (2006).
13. Ibekwe S.I., Mensah P.F., Li G., Pong S.S., Stubblefield M.A., "Impact and Post Impact Response of Laminated Beams at Low Temperatures", **Journal of Composite Structures**, 79:12-17, (2007).

14. Gustin J., Joneson A., Mahinfalah M., Stone J., "Low Velocity Impact of Combination Kevlar / Carbon Fiber Sandwich Composites", ***Journal of Composite Structures***, 69:396-406, (2005).
15. Alpan Ö., "Alüminyum Alaşımlı Otomobil Jantının Dinamik Darbe Testinin Modellenmesi", ***Teknotasarım***, Bursa, 1:1-25, (2006).
16. Sjöblom P.O., Hartness J.T., Cordell T.M. "Low Velocity Impact Testing of Composite Materials", ***Journal of Composite Materials***, 22:30-52, (1988).
17. Shivakumar K.N., Elber W., Illg W., "Prediction of Low Velocity Impact Damage in Thin Circular Laminates", ***AIAA Journal***, 23(3):442-449, (1988).
18. Cantwell W.J., Morton J., "Geometrical Effects in the Low Velocity Impact Response of CFRP", ***Journal of Composite Structures***, 12:39-59, (1989).
19. Abrate S., "Impact on Laminated Composite Materials", ***Appl. Mech. Rev.***, 44(4):155-190, (1991).
20. Robinson P., Davies G.A.O., "Impactor Mass and Specimen Geometry Effects in Low Velocity Impact of Laminated Composites", ***Journal of Impact Eng.***, 12(2):189-207, (1992).
21. Ceyhun V., Turan M., "Tabakalı Kompozit Malzemelerin Darbe Davranışı", ***Mühendis ve Makina***, 516:19-25 (2003).
22. Çiğdem M., "İmal Usulleri", 2.Baskı, ***Çağlayan Kitabevi***, İstanbul, 1:123-160, (2006).
23. "ASM Handbook Forming and Forging", 9th Edition Metals Handbook. ***ASM Handbook Committee***, 14:223-249, (1993).
24. Tobias S.A., "Survey of the Development of Petro – Forge Forming Machines", ***Int. Journal of Machine Tool Design and Research***, 1:1-93, (1985).
25. Makelt I.H., "Mechanical Presses", ***Edward Arnold (Publishers) Ltd.***, 1:110-209, (1968)
26. Sachs G., Second ed. Revised by Vogelli H.E., "Principles and Methods of Sheet Metal Fabricating", ***Reinhold Publishing Co.***, New York, 1:417-423, (1966)

27. Akdoğan M.A., “Düşük Enerjili Serbest Ağırlık Düşme Test Düzeneği Tasarım ve imalatı, Düşük Enerji Seviyelerinde Darbe Testi Yapılması”, **G.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi**, Tez sırasında çekilmiş fotoğraflar ve elde edilmiş verilerdir, Ankara, (2008).

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, Adı : AKDOĞAN, Mehmet Akif
 Uyruğu : T.C.
 Doğum yeri ve tarihi : 14.01.1981 – Cankaya / ANK.
 Medeni Hali : Bekar
 e-mail : maakdogan@gazi.edu.tr

Eğitim

Derece	Birimi	Mezuniyet
Yüksek lisans	Gazi Üniversitesi / Makine Mühendisliği	2008
Lisans	Gazi Üniversitesi / Makine Mühendisliği	2005
Lise	Ankara 50.Yıl Süper Lisesi	1999

Deneyim

Zaman (ay/yıl)	Yer	Görev
12/05 – ...	Gazi Üniversitesi / Mühendislik Mimarlık Fak.	Araştırma Görevlisi
09/05 – 12/05	Artek Proses Isı İmalat Limited Şirketi	Makine Mühendisi
07/03 – 08/03	Türkiye Petrolleri A.Ş. Aliağa Rafinerisi (TÜPRAŞ)	Stajyer Makina Müh.
06/02 – 07/02	Türkiye Elektrik Üretim A.Ş. Soma Termik Santrali (TEAŞ)	Stajyer Makina Müh.
07/01 – 08/01	MAN Otobüs ve Kamyon Ticaret A.Ş. (MANAŞ)	Stajyer Makina Müh.

Yabancı Dil

İngilizce

İtalyanca

Yazılım Bilgisi

Fortran Programlama Dili

ANSYS

AutoCAD

Mechanical Desktop

3D Max

Microsoft Windows, DOS

Microsoft Office

Adobe Photoshop

Adobe Dreamwiewer

Corel Draw

Hobiler

Sportif Latin ve Salon Dansları (Lisanslı Sporcu ve Eğitmen)

Grafik ve Web Tasarımı

Voleybol (Lisanslı Sporcu)

Sinema, Müzik, Kitap

Maket ve Model Arabalar, Uçaklar