

IZOD DARBE TESTİ CİHAZININ TASARIMI VE PLASTİK TESTLERİNDE KULLANILMASI

DESIGNING OF IZOD IMPACT TEST INSTRUMENT AND USING FOR THE PLASTIC TESTING

ENES ALPEREN ASLAN

PROF. DR. MURAT ŞEN

Tez Danışmanı

Hacettepe Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin
Polimer Bilimi ve Teknolojisi Anabilim Dalı için Öngördüğü
YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak hazırlanmıştır.

2022

ÖZET

İZOD DARBE TESTİ CİHAZININ TASARIMI VE PLASTİK TESTLERİNDE KULLANILMASI

Enes Alperen ASLAN

Yüksek Lisans, Polimer Bilimi ve Teknolojisi Ana Bilim Dalı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Murat ŞEN

Ocak 2022, 126 sayfa

Izod darbe testi cihazı, plastik malzemelerin darbe direncinin tayini amacıyla kullanılan sarkaç tipi bir test cihazıdır. Bu cihaz, ülkemizde üretilmemekte, yurt dışından ithal edilmektedir. Plastikler için Izod testi yapabilecek bir cihaz, bu tez kapsamında tasarlanmış, üretilmiş, montajlanmış ve doğrulanarak farklı plastiklerin testlerinde kullanılmıştır.

Plastiklerde Izod testi için tanımlanmış standartlar incelenmiştir. Bu standartlar ışığında cihaz tasarımı yapılmıştır. Tasarımı yapılan parçalar, yerli imkanlar ile üretilmiştir. Cihaz üzerinde kullanılan hazır ürünlerin seçimi ve satın alımı yapılmıştır. Cihazın elektronik devresi ve yazılımı hazırlanmış, yazılım bir işlemciye yüklenerek cihaza entegre edilmiştir. Cihaz montajlanmış ve çalışır hale getirilmiştir. Standartlarda belirtilen geometrik toleranslar, cihaz üzerinden ölçümler alınarak doğrulanmıştır. Sürtünme ve hava direnci etkileri dinamik olarak yapılan testler sonucunda belirlenmiştir. Test sonuçlarına etki edebilecek bu etkiler, standartlarda belirtildiği şekilde sonuca etki etmeyecek şekilde doğrulama faktörü olarak hesaplamaların içine eklenmiştir. Sarkaç periyodu kullanılarak sarkaç boyu teorik olarak belirlemiş ve cihaz üzerine takılı olan sarkaç ile karşılaştırılarak teorik sarkaç boyu ile gerçek sarkaç boyunun birbirine uygun olduğu tespit edilmiştir.

Darbe direnci testleri yapılarak ticari olarak satılan farklı plastik parçalar temin edilmiştir. Bu plastik parçalar, standartlarda belirtilen numune ölçüleri göz önünde bulundurularak işlenmiş ve test numunesi haline getirilmiştir. Ayrıca, farklı firmalardan temin edilen PA6 ve POM granülleri Hacettepe Üniversitesi bünyesindeki ısı ayarlı hidrolik pres cihazında uygun kalıplarda çarpma mukavemeti test numunesi haline getirilmiştir. Hazırlanan numuneler

kalibrasyonu ve sertifikasyonları tamamlanmış olan Kocaeli Üniversitesinde, BUTEKOM test merkezinde ve bu tez çalışması kapsamında üretilmiş olan cihazda test edilmiştir. Alınan tüm sonuçlar bir arada toplanarak değerlendirilmiş ve cihazın doğruluk oranı tespit edilmiştir.

Yapılan testler sonucunda POM ve PMMA gibi nispeten daha düşük darbe mukavemetine sahip olan numunelerde yüksek doğruluk oranı ile ölçüm yapılabildiği tespit edilmişken, çentik açılmamış numunelerde ve PA6 gibi yüksek mukavemetli numunelerde sonuçların doğruluk oranının düştüğü tespit edilmiştir. Daha mukavemetli malzemeler için daha yüksek kapasiteli sarkaçlar ile ölçüm yapılması gerektiği sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Darbe direnci, Izod, darbe mukavemeti, plastik, PA6, POM



ABSTRACT

DESIGNING OF IZOD IMPACT TEST INSTRUMENT AND USING FOR THE PLASTIC TESTING

Enes Alperen ASLAN

Master of Science, Department of Polymer Science and Technology

Supervisor: Prof. Dr. Murat ŞEN

Ocak 2022, 126 pages

Izod Impact Strength Test Device is a pendulum type instrument that measures the impact strength of a material. This instrument is imported since it is not produced in Turkey. An Instrument is designed, manufactured, assembled and used for plastic tests

First, international standards such as ISO and ASTM are investigated. Conceptual design and detail design studies completed in according to these international standards. Designed parts of the instrument are manufactured using appropriate manufacturing techniques in Ankara. Other finished products such as bearing and encoder are purchased. Electronic system and software is prepared. All sub-parts assembled together and manufacturing process is completed. Geometric tolerances defined by standards are measured on the assembled product. Loses of friction and drag force are determined with the dynamic tests. Effects of these factors are added to software so that the device can automatically eliminate these effects. Reduced length of the pendulum is calculated which is explained in standards. This length is compared with real pendulum length and it is determined that these two values are proper.

Different plastic materials are purchased. These bulk materials are processed and test specimens are manufactured according to ISO and ASTM standards. In addition, granules of different plastics are procured. Test specimens are produced via compression moulding device at Hacettepe University. Specimens are tested at Kocaeli University and BUTEKOM, which have calibrated Izod Impact Strength test instrument. Specimens are also tested at Hacettepe

University with the test instrument that produced within this study. All the results are evaluated together and accuracy rate of the device for each test specimen is calculated.

According to test results, it is observed that the results of the materials such as POM or PMMA which have less Izod impact strength are more accurate, since the test results of new instrument and calibrated instruments are very similar. It is also observed that the results of the materials such as PA6 or unnotched specimens, which have higher Izod impact strength are less accurate. It is concluded that usage of higher capacity pendulum is required for the strong materials.

Keywords: Impact strength, Izod, plastics, PA6, POM



TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimime başladığım ilk günden bugüne kadar hiçbir konuda maddi ve manevi desteğini esirgemeyen, tez konumun belirlenmesinden tez jürisine kadar olan süreçte yaşadığım zorluklarda çok hızlı bir şekilde devreye girerek benim yolumu açan ve yol gösteren değerli hocam Prof. Dr. Murat Şen'e, tez çalışmalarım süresince deneyimleri ile yol gösteren, numune hazırlanması ve testlerin doğru şekilde yapılması konusunda desteğini esirgemeyen değerli hocam Öğr. Gör. Davut Aksüt'e teşekkür ederim.

Referans testlerin gerçekleştirilmesi konusunda bize gerekli tüm desteği veren ve bu testleri gerçekleştiren Prof. Dr. Ayşe Aytaç ve Tuğba Ünügül'e, tez çalışması sırasında elde etmiş olduğum verilerin istatistiki yöntemlerle değerlendirilmesine yardımcı olan ve sonuçlarımıza anlam katan bu değerlendirme yöntemlerini bana öğreten Prof. Dr. Duru Karasoy 'a teşekkürlerimi sunarım.

Bu tez dönemi süresince, her zaman bana güvenerek motivasyonumu canlı tutmamı sağlayan ve beni hep anlayışla karşılayan eşim Arzu Aslan'a, bana her türlü maddi ve manevi desteği veren aileme, her ihtiyacım olduğunda bana yardım eden, yaşadığım zorluklarda benimle kafa yoran tüm arkadaşlarıma teşekkür ederim.

FHD-2020-18368 numaralı projemize sağladığı tüm maddi destekler için Hacettepe Üniversitesi'ne teşekkür ederim.

Bu tez dönemi boyunca bana her konuda yardımcı olan çalışma arkadaşlarım adına FNSS Savunma Sistemleri'ne teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	iii
TEŞEKKÜR.....	v
İÇİNDEKİLER.....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	ix
TABLolar DİZİNİ	xiv
1. GİRİŞ	1
1.1 Kapsam	1
1.2 Amaç.....	2
1.3 Yöntem	3
2. GENEL BİLGİLER	4
2.1 Izod Darbe Direnci/Mukavemeti Testi	4
2.2 Standart Test Prosedürleri	5
2.3 Izod Darbe Direnci / Mukavemeti Test Cihazı.....	6
2.3.1 Taban	7
2.3.2 Numune Tutucu.....	7
2.3.3 Şasi	8
2.3.4 Sarkaç ve Rulmanlar	8
2.3.5 Sarkaç Yakalama/Serbest Bırakma Mekanizması.....	8
2.3.6 Ölçüm Mekanizması	8
2.3.7 Izod Darbe Mukavemeti Testi Cihazı için Temel Tasarım Parametreleri.....	8
2.3.8 Test Numunesi.....	11
2.4 Izod Darbe Mukavemeti Testi Cihazının Doğrulanması	11
2.4.1 Sarkacın Doğrulanması	12
2.4.2 Sürtünmelerin ve Rüzgar Direncinin Doğrulanması	12
2.5 Test Plastikleri	13
2.5.1 Poliamidler	14
2.5.2 Polistiren.....	18
2.5.3 Polioksimetilen (POM)	19
2.5.4 Polimetilmetakrilat (PMMA)	21
2.6 Plastiklerin İmalat Yöntemleri.....	23

2.6.1	Ekstrüzyon.....	23
2.6.2	Enjeksiyonlu Kalıplama	24
2.6.3	Basınçla Kalıplama	26
3.	DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	27
3.1	Izod Darbe Mukavemeti Testi Cihazının Tasarımı	27
3.1.1	Ön Tasarım	28
3.1.2	Detay Tasarım	36
3.2	Izod Darbe Mukavemeti Testi Cihazının Doğrulanması ve Kalibrasyonu.....	48
3.3	Test Numunelerinin Hazırlanması.....	50
3.4	Doğrulama Çalışmalarında Kullanılan Çarpma Mukavemeti Cihazları.....	53
3.5	Sonuçların İstatistiksel Yöntemler Kullanılarak Değerlendirilmesi.....	54
4.	SONUÇLAR ve TARTIŞMA.....	55
4.1	Izod Darbe Mukavemeti Testi Cihazının Tasarımı	55
4.1.1	Taban	55
4.1.2	Numune Tutucu Mekanizması	59
4.1.3	Şasi	64
4.1.4	Sarkaç ve Rulmanlar	67
4.1.5	Sarkaç Yakalama ve Serbest Bırakma Mekanizması	70
4.1.6	Ölçüm Mekanizması / Elektronik Sistem.....	72
4.2	Izod Darbe Mukavemetinin Hesaplanması.....	78
4.3	Izod Darbe Mukavemeti Testi Cihazının Doğrulanması.....	79
4.4	Tasarlanan Cihazın Test Numuneleri ile Doğrulanması.....	85
4.4.1	Tisan PA6.....	85
4.4.2	Politem PA6	86
4.4.3	Ensinger PA6.....	88
4.4.4	Lati PA66	89
4.4.5	Ankara Bronz PA6	89
4.4.6	Tisan POM	89
4.4.7	Politem POM.....	90
4.4.8	Smart Sistem POM.....	92
4.4.9	Lati POM.....	92
4.4.10	Anadolu Pleksi PMMA	93
4.4.11	Geliştirilen Test Cihazının Doğruluğunun ve Güvenilirliğinin İstatistiksel Yöntemler Kullanılarak Değerlendirilmesi.....	94

5. TOPLU SONUÇLAR	119
6. KAYNAKLAR	122
EK 1 - Tez Çalışması Orijinallik Raporu	125
ÖZGEÇMİŞ	126



ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1 Polimerizasyon	1
Şekil 2.1 Sarkaç Tipi Darbe Testi (Charpy Konfigürasyonu)	5
Şekil 2.2 IZOD Darbe Mukavemeti Testi Cihazı	7
Şekil 2.3 Kırıcı Çekiç	8
Şekil 2.4 Sarkaç Bırakma Yüksekliği	9
Şekil 2.5 Sarkaç Uzunluğu	9
Şekil 2.6 Sarkaç Açısı	10
Şekil 2.7 Numune Tutucu Üst Yüzeyi ile Kırıcı Çekiç Temas Noktası mesafesi	10
Şekil 2.8 ASTM D-256 Standardına Göre Numune Ölçüleri	11
Şekil 2.9 Kevlar Yapı Zinciri	14
Şekil 2.10 Naylon 6 Sentezlenmesi	16
Şekil 2.11 Polistirenin Monomeri, Polimerizasyon Yöntemi ve Kullanım Alanları	18
Şekil 2.12 POM'un Monomeri, Polimerizasyon Yöntemi ve Kullanım Alanları	19
Şekil 2.13 Polimetilmetakrilat	21
Şekil 2.14 Ekstrüzyon Mekanizması	24
Şekil 2.15 Enjeksiyonlu Kalıplama Mekanizması	25
Şekil 2.16 Enjeksiyon Kalıplama ile Üretilmiş Ürünler	26
Şekil 2.17 Basınçla Kalıplama Sistematiği	26
Şekil 3.1 Ön Tasarım 1	29
Şekil 3.2 Sarkaç Kompleksi, Ön Tasarım 1	29
Şekil 3.3 İbre mekanizması	30
Şekil 3.4 Numune tutucu mekanizması	30
Şekil 3.5 Sarkaç yakalama ve serbest bırakma	31
Şekil 3.6 Ön Tasarım 2	32
Şekil 3.7 Sarkaç Kompleksi, Ön Tasarım 2	32
Şekil 3.8 Ağırlık ve Kırıcı Çene	33
Şekil 3.9 Encoder Bağlantısı	33
Şekil 3.10 Sarkaç yakalama ve serbest bırakma mekanizması	34
Şekil 3.11 Fren mekanizması	35
Şekil 3.12 Sarkaç Kompleksi, Detay Tasarım	37
Şekil 3.13 Kırıcı Çene	38

Şekil 3.14 Ağırlık	38
Şekil 3.15 Sarkaç Kolu	39
Şekil 3.16 Sarkaç Yakalama Noktası	39
Şekil 3.17 Silindirik yatak	39
Şekil 3.18 Düz yatak	40
Şekil 3.19 Sarkaç dönme eksenini mili ve bağlı parçalar	40
Şekil 3.20 Encoder ve Elastik Bağlantı Kaplini	41
Şekil 3.21 Ekran ve Tuş Takımı Arayüzü	41
Şekil 3.22 Ekran ve tuş takımı	42
Şekil 3.23 Sarkaç yataklanması	42
Şekil 3.24 Sarkaç yataklama alt parçaları	43
Şekil 3.25 Sarkaç yakalama ve serbest bırakma mekanizması	44
Şekil 3.26 Şasi kompleksi	45
Şekil 3.27 Taban kompleksi	45
Şekil 3.28 Numune Tutucu	46
Şekil 3.29 Numune tutucu alt parçaları	47
Şekil 3.30 Fren mekanizması	47
Şekil 3.31 Brabender Polystat200T hidrolik pres	51
Şekil 3.32 PA6 Plakalardan Kesilmiş Parçalar	51
Şekil 3.33 CNC Freze ile İşlenmiş ve Lazer Kesim ile Hazırlanmış Numuneler	52
Şekil 3.34 Basınçla Kalıplama İşleminde Kullanılan Kalıp (ISO 180)	52
Şekil 3.35 Basınçla Kalıplama Yöntemi ile Üretilen Numuneler	53
Şekil 3.36 Enjeksiyon Kalıplama Yöntemi ile Üretilen Numuneler	53
Şekil 4.1 Taban Kompleksi	55
Şekil 4.2 Taşıyıcı Ayaklar	56
Şekil 4.3 Alt Kapak	56
Şekil 4.4 Taşıyıcı Sütunlar	57
Şekil 4.5 Üst Kapak	58
Şekil 4.6 Ekran ve Tuş Takımı Plakası	58
Şekil 4.7 Numune Tutucu Mekanizması	59
Şekil 4.8 ISO- ASTM Çevrim Aparatı	59
Şekil 4.9 ASTM Test Düzeni	60
Şekil 4.10 ISO Test Düzeni	60
Şekil 4.11 Sabit Yatak	61

Şekil 4.12 Hareketli Yatak	62
Şekil 4.13 Sabit Destek	62
Şekil 4.14 Numune Tutucu Ray Milleri	63
Şekil 4.15 Numune Tutucu Baskı Yayları	63
Şekil 4.16 Numune Sabitleme Topuzu	64
Şekil 4.17 Alt Taşıyıcı Plaka.....	65
Şekil 4.18 Yan Plaka	66
Şekil 4.19 Üst Taşıyıcı Plaka	66
Şekil 4.20 Sarkaç ve Rulmanların Montajı	67
Şekil 4.21 Rulman Yatağı	67
Şekil 4.22 Rulman	68
Şekil 4.23 Sarkaç Dönme Eksen Mili	68
Şekil 4.24 Silindirik Yatak	69
Şekil 4.25 Düz Yatak	69
Şekil 4.26 Sarkaç Kolu.....	70
Şekil 4.27 Sarkaç Yakalama Mekanizması	71
Şekil 4.28 Sarkaç Serbest Bırakma Mekanizması.....	72
Şekil 4.29 Elektronik Şema	73
Şekil 4.30 Mikroişlemci (PIC18F45K22)	73
Şekil 4.31 Elektronik Kart Komitesi ve Koruma Kutusu.....	74
Şekil 4.32 Encoder Bağlantısı	74
Şekil 4.33 Encoder	75
Şekil 4.34 LCD Ekran	75
Şekil 4.35 DC Adaptör	75
Şekil 4.36 Butonlar.....	76
Şekil 4.37 Başlama Ekranı	76
Şekil 4.38 Sarkaç Seçimi Ekranı	76
Şekil 4.39 Numune Kesit Alanı Girişi Ekranı.....	77
Şekil 4.40 Test Sonuçları – Açılma.....	77
Şekil 4.41 Test Sonuçları – Birim Alana Düşen Enerji.....	77
Şekil 4.42 Montajlanmış Izod Darbe Test Cihazı	78
Şekil 4.43 Sarkaç Yaklaşma-Uzaklaşma Açılımları, Yükseklik ve Enerjileri	79
Şekil 4.44 Hacettepe – Kocaeli test sonuçlarının saçılım grafiği.....	100
Şekil 4.45 Hacettepe – BUTEKOM test sonuçlarının saçılım grafiği	101

Şekil 4.46 Kocaeli – BUTEKOM test sonuçlarının saçılım grafiği	101
Şekil 4.47 Hacettepe – Kocaeli 10 kJ/m^2 altındaki test sonuçlarının saçılım grafiği	102
Şekil 4.48 Hacettepe – BUTEKOM 10 kJ/m^2 altındaki test sonuçlarının saçılım grafiği...	103
Şekil 4.49 Hacettepe- Kocaeli Test Sonuçlarının sınıfıçı korelasyon katsayısı ve güven aralığı	104
Şekil 4.50 Hacettepe-BUTEKOM Test Sonuçlarının sınıfıçı korelasyon katsayısı ve güven aralığı.....	105
Şekil 4.51 Kocaeli-BUTEKOM Test Sonuçlarının sınıfıçı korelasyon katsayısı ve güven aralığı.....	106
Şekil 4.52 Hacettepe-BUTEKOM 10 kJ/m^2 ve daha düşük darbe mukavemetli numuneler için sınıfıçı korelasyon katsayısı ve güven aralığı	107
Şekil 4.53 Hacettepe-Kocaeli Test Sonuçlarının sınıfıçı korelasyon katsayısı ve güven aralığı	107
Şekil 4.54 Hacettepe-BUTEKOM Test Sonuçlarının sınıfıçı korelasyon katsayısı ve güven aralığı.....	108
Şekil 4.55 Kocaeli-BUTEKOM Test Sonuçlarının sınıfıçı korelasyon katsayısı ve güven aralığı.....	108
Şekil 4.56 Hacettepe – Kocaeli Test sonuçları Bland-Altman Plot	110
Şekil 4.57 Hacettepe – Kocaeli Test sonuçları Bland-Altman Plot	110
Şekil 4.58 Hacettepe – BUTEKOM Test sonuçları Bland-Altman Plot	111
Şekil 4.59 Hacettepe – BUTEKOM Test sonuçları Bland-Altman Plot	112
Şekil 4.60 Kocaeli – BUTEKOM Test sonuçları Bland-Altman Plot.....	112
Şekil 4.61 Hacettepe – Kocaeli 10 kJ/m^2 ve altı numuneler için test sonuçları Bland-Altman Plot	113
Şekil 4.62 Hacettepe – Kocaeli 10 kJ/m^2 ve altı numuneler için test sonuçları Bland-Altman Plot	114
Şekil 4.63 Hacettepe – BUTEKOM 10 kJ/m^2 ve altı numuneler için test sonuçları Bland-Altman Plot	114
Şekil 4.64 Kocaeli referansı ile Hacettepe ve BUTEKOM mountain plot grafiği.....	116
Şekil 4.65 BUTEKOM referansı ile Hacettepe ve Kocaeli mountain plot grafiği.....	116
Şekil 4.66 10 kJ/m^2 ve altı sonuçlar için Kocaeli referansı ile Hacettepe ve BUTEKOM mountain plot grafiği.....	117
Şekil 4.67 10 kJ/m^2 ve altı sonuçlar için BUTEKOM referansı ile Hacettepe ve Kocaeli mountain plot grafiği.....	117

Şekil 4.68 Kocaeli referansı ile Hacettepe ve BUTEKOM mountain plot grafiğı..... 118

Şekil 4.69 BUTEKOM referansı ile Hacettepe ve Kocaeli mountain plot grafiğı..... 118



TABLolar DİZİNİ

Tablo 2.1 ISO 180 Standardına Göre Numune ölçüleri	11
Tablo 2.2 POM'un Özellikleri	20
Tablo 2.3 PMMA Kullanım Alanları	22
Tablo 2.4 PMMA ve Bazı Diğer Polimerlerin Darbe Enerjileri	23
Tablo 3.1 Ön Tasarım Değerlendirmesi	36
Tablo 3.2 Tezde doğrulama çalışmalarında kullanılan tüm plastik malzemelerin isimleri, üretici firması ve ticari kodları	50
Tablo 4.1 Sarkaç Periyodu Ölçümü	82
Tablo 4.2 Numunesiz Denemelerde Sarkaç Açılımları	84
Tablo 4.3 Enjeksiyon kalıplama yöntemi ile hazırlanan çentikli Tisan-TİSLAMİD 6 GF, PA6 örneklerinin çarpma mukavemeti sonuçları	86
Tablo 4.4 Enjeksiyon kalıplama yöntemi ile hazırlanan çentiksiz Tisan-TİSLAMİD 6 GF, PA6 örneklerinin çarpma mukavemeti sonuçları	86
Tablo 4.5 Preste basınçla kalıplama yöntemi ile hazırlanan Politem RUGOPA M60 007 BK61 1101 kodlu PA6 çentikli örneklerinin çarpma mukavemeti sonuçları	87
Tablo 4.6 Preste basınçla kalıplama yöntemi ile hazırlanan Politem RUGOPA M60 007 BK61 1101 kodlu PA6 çentiksiz örneklerinin çarpma mukavemeti sonuçları	87
Tablo 4.7 Enjeksiyon kalıplama yöntemi ile hazırlanan Politem RUGOPA M60 007 BK61 1101 kodlu PA6 çentikli örneklerinin çarpma mukavemeti sonuçları	88
Tablo 4.8 Enjeksiyon kalıplama yöntemi ile hazırlanan Ensinger firmasının TECAMID 6 GF30, PA6 kodlu PA6 çentikli örneklerinin çarpma mukavemeti sonuçları	88
Tablo 4.9 Enjeksiyon kalıplama yöntemi ile hazırlanan Lati firmasının LATILUB 66-01M G/30 kodlu PA6 çentikli örneklerinin çarpma mukavemeti sonuçları	89
Tablo 4.10 Ankara Bronz PA6 Çentikli Test Sonuçları	89
Tablo 4.11 Enjeksiyon kalıplama yöntemi ile hazırlanan Tisan firmasının TİSAFORM M12000010 kodlu çentikli POM örneklerinin çarpma mukavemeti sonuçları	90
Tablo 4.12 Pres kalıplama yöntemi ile hazırlanan Politem firmasının JURAPOM X62 001 NC00 4023 kodlu çentikli POM örneklerinin çarpma mukavemeti sonuçları	91
Tablo 4.13 Pres kalıplama yöntemi ile hazırlanan Politem firmasının JURAPOM X62 001 NC00 4023 kod'lu çentiksiz POM örneklerinin çarpma mukavemeti sonuçları	91
Tablo 4.14 Enjeksiyon yöntemi ile hazırlanan Politem firmasının JURAPOM X62 001 NC00 4023 kod'lu çentikli POM örneklerinin çarpma mukavemeti sonuçları	92

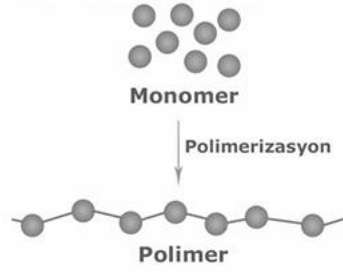
Tablo 4.15 Enjeksiyon yöntemi ile hazırlanan Smart Sistem firmasının SS POM kod'lu çentikli POM örneklerinin çarpma mukavemeti sonuçları.	92
Tablo 4.16 Enjeksiyon yöntemi ile hazırlanan Lati firmasının LATILUB 73/13-20T kod'lu çentikli POM örneklerinin çarpma mukavemeti sonuçları.	93
Tablo 4.17 Anadolu Pleksi firmasından temin edilen 4 mm kalınlığındaki pleksiglas'dan hazırlanan PMMA esaslı çentikli örneklerin çarpma mukavemeti sonuçları.....	93
Tablo 4.18 Anadolu Pleksi firmasından temin edilen 8 mm kalınlığındaki pleksiglas'dan hazırlanan PMMA esaslı çentikli örneklerin çarpma mukavemeti sonuçları.....	94
Tablo 4.19 Anadolu Pleksi firmasından temin edilen 10 mm kalınlığındaki pleksiglas'dan hazırlanan PMMA esaslı çentikli örneklerin çarpma mukavemeti sonuçları.....	94
Tablo 4.20 Hazırlanan çarpma mukavemeti cihazının doğrulanmasında kullanılan tüm plastikler ve çarpma mukavemeti değerleri	95
Tablo 4.21 Sınıfıçı Korelasyon Katsayısına göre değerlendirme kılavuzu	104

1. GİRİŞ

1.1 Kapsam

1900'lü yılların başlarından itibaren, polimer kimyasındaki gelişmelere paralel olarak, insanlar tarafından üretilen ürünlerin çeşitliliğinde hızlı bir artış görülmüştür. Plastik, lif, elastomer gibi malzemelerin sentetik olarak üretilerek kullanıma sunulması, insanların hayatını kolaylaştırmaya başlamıştır ve bu etki günümüzde de devam etmektedir.

Polimerler, yapı taşı oluşturarak düşük mol kütleli monomerlerin kovalent bağlarla bağlanarak oluşturduğu daha büyük moleküllerdir. Monomerler, farklı polimerizasyon tepkimeleri sonucunda polimer moleküllerini oluştururlar. Polimer kelimesi, çok anlamına gelen “poly” ve tanecik anlamına gelen “meros” kelimelerinden türemiştir [1]. Monomerlerin bir araya gelerek polimer oluşturma şematiği, Şekil 1.1 'de gösterilmiştir.



Şekil 1.1 Polimerizasyon [2]

Polimerlerin hafif, ucuz, dayanıklı, işlenmesi kolay, farklı çevresel şartlara uyum sağlayabilen, dekoratif ve korozyona karşı dirençli yapısı, otomotiv, inşaat, ulaştırma, sağlık, tekstil, kimya ve elektronik gibi sektörlerde önemli bir yere sahip olmasını sağlamıştır. Polimerler, farklı şekillerde gruplandırılabilir. Molekül içindeki atomların bağlanma şekilleri değerlendirilerek yapılan sınıflandırmaya göre polimerler; fiber, plastik ve elastomer olarak üç gruba ayrılabilir. Düzensiz yapısı, zayıf moleküllerarası çekim kuvveti ve esnek polimer zincirleri ile elastomerler, elastomerlere zıt şekilde doğrusal ve simetrik yapısı, yüksek moleküllerarası çekim kuvveti ve düşük uzayabilme kabiliyetleri ile fiberler tanımlanabilir. Plastikler, fiber ve elastomer olarak tanımlanan bu iki birbirine zıt yapısal özellikler gösteren polimer grubunun arasında kalan polimerlerdir. Bu üç polimer grubu arasında kesin ayrımlar yoktur. Aynı polimer, uygun şartlar altında iki farklı grupta sınıflandırılabilir [3].

Günümüzde, plastiklerin kullanım alanları belirlenirken, maliyet ve tedarik edilebilirlik faktörlerinin yanı sıra, mekanik özellikleri de dikkate alınır [4].

Çekme mukavemeti, akma mukavemeti, uzama, bükülme mukavemeti ve darbe mukavemeti, plastik seçiminde kullanılan temel mekanik özelliklerden bazılarıdır [4].

Plastik bir malzemenin temel mekanik özelliklerinden biri olan darbe mukavemeti (impact resistance), ve ani bir etki altında malzemeyi iki veya daha çok parçaya ayırmak için gereken enerji olarak tanımlanır. Birimi, enerji (J) veya birim alana düşen enerjidir ($\frac{J}{m^2}$) [5].

Plastik malzemelerin dünya çapında üretimleri ve kullanımları yaygınlaştıkça, mekanik özelliklerinin doğru şekilde tayin edilmesi ve bu mekanik özelliklerin belirli standartlar çerçevesinde belirlenmesi önem kazanmıştır. Plastik bir malzemenin darbe mukavemetinin belirlenebilmesi için Uluslararası Standart Teşkilatı (ISO) ve Uluslararası Amerikan Test ve Materyalleri Topluluğu (ASTM) tarafından yayınlanmış standartlar bulunmaktadır. ISO ve ASTM darbe mukavemeti tayini için hazırlanmış standartlar aşağıda listelenmektedir.

- ASTM D-256: Standard Test Methods for Determining the Izod Pendulum Impact Resistance of Plastics
- ISO 180: Plastics, Determination of Izod impact strength
- ISO -13802: Plastics, Verification of Pendulum Impact Testing Machines – Charpy – Izod and Tensile Impact Testing

Bu standartlar incelendiğinde, sarkaç tipi bir test cihazı vasıtasıyla test numunesi kırılır ve bu numuneyi kırmak için gereken enerji tespit edilerek test numunesinin darbe mukavemeti tayin edilir.

Bu tez çalışmasında, ISO ve ASTM standartlarında tarif edildiği şekilde, sarkaç tipi bir tahribatlı test cihazı tasarlanmıştır. Tasarlanan parçalar yerli imkanlarla imal ettirilmiş, hazır ürünlerin satın alınmış ve cihaz standartlarda belirtildiği şekilde montajlanarak kullanıma hazır hale getirilmiştir. Farklı test numuneleri kullanılarak cihazın doğrulaması yapılmıştır. Doğrulanmış cihaz kullanılarak, farklı malzemeler için darbe mukavemeti testleri yapılmıştır.

1.2 Amaç

Darbe mukavemeti tayini, endüstriyel olarak üretim yapan firmalar ve plastikler üzerine bilimsel araştırmalar yapan kurumlar için, üretilen veya üzerinde çalışılan malzemenin özelliklerinin doğru olarak belirlenebilmesi için önem taşımaktadır. Darbe mukavemeti tayini için kullanılan cihazlar ülkemizde üretilmemektedir. Yurt dışından ithal olarak alınan bu cihazlara yüksek ücretler ödenmektedir. Yedek parça ve servis hizmeti konusunda yine ürünün ithal edildiği ülkeye bağımlı kalmaktadır.

Bu tez çalışması ile, ASTM D256 ve ISO 180 standartlarında darbe mukavemeti tayini yapabilen bir test cihazının tasarlanması, yerli imkanlar ile üretilmesi, cihazın doğrulanması ve farklı test numuneleri üzerinde testler yapılarak bu test sonuçlarının raporlanması amaçlanmıştır.

1.3 Yöntem

Izod darbe mukavemeti tayini yapabilen bir test cihazının özgün olarak tasarlanması ve üretilen cihazın plastik testlerinde kullanılması için kullanılan yöntem aşağıda açıklanmıştır.

Öncelikle Izod darbe mukavemeti testi hakkında literatür taraması yapılmıştır. Izod darbe mukavemeti testi cihazı üreten firmaların katalogları ve Izod darbe mukavemeti testi için yazılmış bazı makaleler incelenmiştir. Izod darbe mukavemeti testi hakkında temel bilgiler edinildikten sonra, bu testler için kabul gören standartlar edinilmiş ve incelenmiştir. Bir adet standartlara uygun olarak test yapabilen, kalibrasyonu tamamlanmış cihaz üzerinde incelemeler yapılmış ve testin uygulanışı uzman personeller eşliğinde incelenmiştir.

Tüm bu bilgiler ışığında, cihazın konsept tasarım sürecine başlanmıştır. ASTM ve ISO standardında tarif edildiği şekilde, yapılan araştırmalar sonucu elde edilen bilgiler ve temel mühendislik yaklaşımları da göz önünde bulundurularak özgün bir konsept çıkartılmıştır. Bu konsept, darbe mukavemeti tayinini mekanik sürtünmeli bir ibre ile yapan veya encoder ve bir işlemci vasıtasıyla elektronik olarak yapan iki farklı ön tasarım modelinde detaylandırılmıştır.

Yapılan ön tasarım değerlendirmesinde, detay tasarım sürecine elektronik sisteme sahip cihaz ile devam edilmesine kadar verilmiştir. Bir encoder vasıtasıyla açı okumak suretiyle ölçüm yapan, işlemcide bu değerleri işleyerek ekrana yansıtabilen bir test cihazı detay tasarımı tamamlanmıştır.

Detay tasarım sonrası imalat için teknik resimler hazırlanmış ve cihazın alt parçaları farklı imalat yöntemleri kullanılarak ürettirilmiştir. Ekran, encoder ve tutamak gibi hazır ürünler satın alınmıştır. Üretilen parçalar çalışma yerine göre kaplatılmış veya boyanmıştır. Hazır ürünler ve üretilen parçalar montajlanarak test cihazı kurulmuştur. Cihaza özel olarak hazırlanan yazılım işlemciye yüklenmiştir. Gerekli sensor montajları sonrası kablolama yapılarak cihaz kalibrasyona hazırlanmıştır. Standartlarda belirtildiği şekilde rüzgâr direnci ve rulman sürtünmesinin sonuçlara etki etmemesi için gerekli doğrulamalar yapılmış ve yazılımdaki formüllere gerekli düzeltme faktörleri eklenmiştir. Hava direnci ve rulman sürtünmesinin etkileri de sıfırlandıktan sonra, numune kullanılarak yapılan ilk testler

gerçekleştirilmiştir. Izod darbe mukavemeti bilinen test numuneleri kullanılarak testler yapılmış ve yeni cihazın ölçüm doğruluğu tespit edilmiştir.

Cihaz doğrulamaları tamamlandıktan sonra farklı üreticilerden temin edilen plastiklerden hazırlanan test numuneleri ile çarpma testleri yapılmış bu analizler sonunda hem cihazın doğrulaması yapılmış hem de plastiklerin darbe mukavemetleri karşılaştırılmıştır.

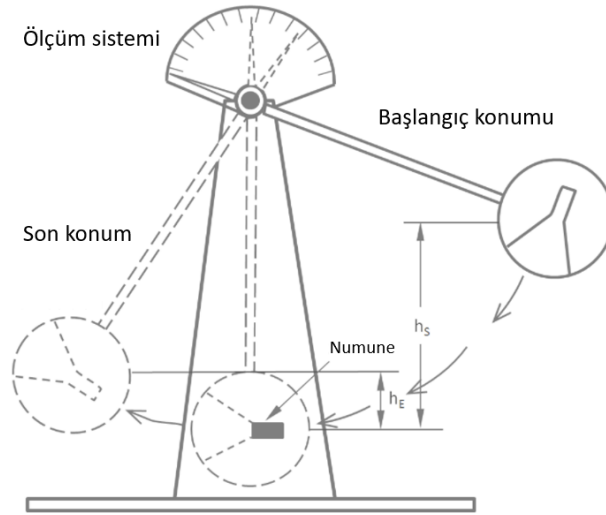
2. GENEL BİLGİLER

2.1 Izod Darbe Direnci/Mukavemeti Testi

Plastik bir malzemenin temel mekanik özelliklerinden biri olan darbe mukavemeti (impact resistance), ve ani bir etki altında malzemeyi iki veya daha çok parçaya ayırmak için gereken enerji olarak tanımlanır[5]. Birimi, enerji (J) veya birim alana düşen enerjidir ($\frac{J}{m^2}$) .

Plastiklerin darbe mukavemeti, plastiğin darbe enerjisini ne kadarını sönümleyebildiği ile doğrudan alakalıdır. Plastiklerin darbe karşısındaki performanslarını belirlemek için “Izod” ve “Charpy” darbe mukavemeti testleri, sıklıkla kullanılan ve kabul görmüş iki test yöntemidir. İki testte de, uygun şekilde yerleştirilen numune, enerjisi bilinen bir sarkaç ile darbeye maruz bırakılır ve sarkacın kaybettiği enerji üzerinden numune tarafından sönümlenen enerji miktarı tayin edilir. İki test de pek çok açıdan birbirine benzemekle birlikte, iki test arasındaki temel fark test numunesinin yerleştirilme şeklidir. Izod testlerinde numuneler dik bir şekilde yerleştirilir ve sadece alt kısımdan mengene ile sabitlenir. Charpy testinde ise numune yatay bir şekilde yerleştirilir ve iki yanından uygun şekilde desteklenir. Numune test cihazına sabitlenmez [39]. Bu tez çalışması, sadece Izod testleri için yapılmıştır fakat bu tez çalışması kapsamında üretilen cihaz, sarkaç ve numune tutucu mekanizması değişiklikleri yapılarak Charpy testleri de yapabilecek şekilde tasarlanmıştır.

Izod darbe direnci/mukavemeti testi, malzemelerin darbe direncini belirlemek için kullanılan standart bir test yöntemidir. Test için özel olarak hazırlanmış numunenin, belirli test koşulları altındaki kırılgenlik (brittleness) ve dayanıklılık (toughness) davranışlarını tespit etmek amacıyla, ISO veya ASTM standartlarında belirlenmiş kurallar doğrultusunda yapılır. [6][7]



Şekil 2.1 Sarkaç Tipi Darbe Testi (Charpy Konfigürasyonu) [8]

Izod darbe direnci testi, belirli bir yüksekliğe kadar kaldırılıp sabitlenen bir sarkacın serbest bırakılması sonucu bir test numunesine çarptırılması ve bu numunenin kırılması için gerekli enerjinin tespit edilmesi ile yapılır. Test numunesi, test cihazındaki numune tutucu bölmesine yerleştirilir. Sarkaç belirli bir yüksekliğe yükseltilir ve kurulur. Sarkaç serbest bırakılır ve numuneye çarparak numuneyi kırması sağlanır. Numune kırıldıktan sonra sarkacın kaç derece açığa kadar yükseldiği tayin edilir.

Şekil 2.1’de gösterilen h_s yüksekliği ve sarkaç ağırlığı kullanılarak başlangıçtaki sarkaç potansiyel enerjisi hesaplanır. Numuneyi kırdıktan sonra sarkacın çıkabildiği en uç yükseklik olan h_E değeri ve yine sarkaç ağırlığı kullanılarak son durumdaki sarkaç potansiyel enerjisi hesaplanır. İlk ve son potansiyel enerjilerin farklı alınarak ve rulman sürtünmesi ve hava direnci kayıplarını da hesaba katarak numuneyi kırmak için gerekli enerji değeri tayin edilir.

2.2 Standart Test Prosedürleri

Izod darbe direnci ölçümü, üniversiteler, plastik imalatçıları, bağımsız test kuruluşları gibi farklı bilim ve endüstri kuruluşlarında yapılan tüm testlerin tutarlı ve karşılaştırılabilir olması amacı ile ulusal ve uluslararası bağımsız kuruluşlar tarafından standartlaştırılmıştır. Standartlaştırılan Izod darbe direnci testi için kuruluşlar tarafından ölçüm prosedürü, test cihazı ve test numunesi özellikleri belirlenmiştir. Tasarlanan cihaz ile yapılan ölçümlerin geçerli olarak değerlendirilebilmesi, karşılaştırılabilir olması ve literatürde yer alabilmesi için, cihazın ve ölçümün standartta belirtilen koşulları sağlaması gerekmektedir.

“ASTM D-256 Standard Test Methods for Determining the Izod Pendulum Impact Resistance of Plastics” ve “ISO 180 Plastics, Determination of Izod impact strength”, Izod darbe direnci

testinin nasıl yapılması gerektiğini tanımlayan standartlardır. “ASTM D-256” standardı, tüm test standartlarının yanında test cihazının standartlarını da tanımlamaktadır. Fakat “ISO 180” standardında test cihazının standartlarına yer verilmemektedir. Bunun yerine, Izod darbe direnci test cihazı parametrelerini ve gerekliliklerini tanımlayan “ISO -13802 Plastics, Verification of Pendulum Impact Testing Machines – Charpy – Izod and Tensile Impact Testing” standardına atıf yapılmaktadır.

Izod darbe direnci testi için ASTM standardı ve ISO standartları arasındaki farklar incelenmiştir.

Yapılan incelemeler sonucunda Izod darbe direnci testi için yapılan tanımlamalarda iki temel farklılık tespit edilmiştir:

- 1- Test Numunesi Ölçüleri: Izod darbe direnci testi için ASTM ve ISO standartlarında görülen en temel farklılık numune ölçüleridir. Numune ölçüleri ile ilgili detaylar sonraki bölümlerde detaylı anlatılacaktır.
- 2- Sarkaç Seçimi: Her bir sarkaç çekiç, nominal çalışma kapasitesinin %10 ila %80'inde ISO standardına uygun olarak kullanılabilir. ASTM standardında kullanıma %85'e kadar izin verilir. ISO ve ASTM standartları arasındaki temel fark sarkaç boyutunun seçilmesidir. ISO standardına göre, mümkün olan en büyük sarkaç çekiç kullanılmalıdır, böylece sarkaç aşamaları arasındaki çakışmalar genellikle çok küçüktür. Bu gereklilik, numuneye nüfuz ederken hız düşüşünün mümkün olduğunca düşük tutulması gerekliliğine dayanmaktadır. ASTM standardında standart sarkaç çekiç, 2,7 jul nominal çalışma kapasitesine sahiptir ve diğer tüm boyutlar iki katına çıkar. [9]

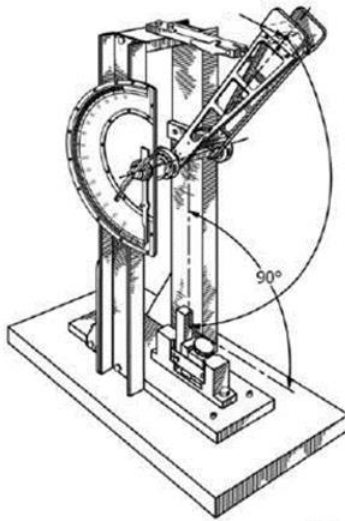
2.3 Izod Darbe Direnci / Mukavemeti Test Cihazı

Standart Test Prosedürleri başlığında anlatıldığı gibi, Izod darbe direnci test cihazı tasarımı, “ASTM D-256 Standard Test Methods for Determining the Izod Pendulum Impact Resistance of Plastics” ve “ISO -13802 Plastics, Verification of Pendulum Impact Testing Machines – Charpy – Izod and Tensile Impact Testing” standartlarında tarif edildiği şekilde olmalıdır.

ISO ve ASTM standartlarında, test cihazı tasarım kriterleri için yapılan incelemede, iki standartta da açıklanan cihazların büyük oranda benzerlik gösterdiği görülmüştür. Basitçe belirtmek gerekirse, ASTM D-256 standardına göre tasarlanmış bir cihaz, ISO standartlarına da uyumlu olacaktır. Test cihazları konusunda sektörün önde gelen markalarının katalogları

incelendiğinde, [10] ISO standardında net olarak belirlenmemiş, tasarım ve doğrulama isterlerine göre tasarımcının inisiyatifine bırakılmış ölçülerin ASTM standardında belirtildiği şekilde tasarlandığı ve imal edildiği görülmektedir. İki standart arasındaki temel farklardan biri olan numune boyu, numune tutucu mekanizmasını etkileyen bir unsurdur. Cihazın iki standarda da uygun olabilmesini sağlamak için numune tutucu mekanizması ayarlanabilir veya değiştirilebilir olmalıdır.

Standartlara uygun olarak tasarlanmış bir Izod darbe test cihazının, yeterince ağır bir tabanı olmalıdır. Bu taban üzerine bir numune tutucu mekanizması yerleştirilmelidir. Aynı taban üzerine sert bir şasi yerleştirilmelidir. Sarkaç tipindeki bir çekiç, bu şasiye rulmanlar vasıtasıyla bağlanmalıdır. Sarkacı uygun yükseklikte sabitlemek ve serbest bırakmak için bir sarkaç yakalama – serbest bırakma mekanizması olmalıdır. Numunenin kırılma enerjisini tespit edebilecek bir mekanizma olmalıdır. Numunenin doğru konumlandırılması için bir master ve hava ve rulman sürtünmelerinin doğrulanması için bir tablo olmalıdır. Izod Darbe mukavemeti testinin temel gereksinimlerini sağlayan cihaz, Şekil 2.2’de gösterilmiştir.



Şekil 2.2 IZOD Darbe Mukavemeti Testi Cihazı [7]

2.3.1 Taban

Izod darbe test cihazı için gerekli olan mekanizmaların ve numunenin sabitlenebilmesi için, sarkaç salınımları sonucu hareket etmeyecek kadar ağır olan bir taban kullanılır.

2.3.2 Numune Tutucu

ISO ve ASTM standartlarına göre üretilmiş olan numuneleri, standartta belirtildiği şekilde cihaza bağlamak için kullanılır.

2.3.3 Şasi

Üzerine bağlanacak olan tüm komponentleri taşıyacak sağlamlıkta olmalıdır. Bağlanacak sistemler için uygun bağlantı arayüzlerini bulundurmalıdır.

2.3.4 Sarkaç ve Rulmanlar

Sarkaç mekanizması tek veya çift kollu olabilir. Sarkacın bir ucu rulmanlara bağlanacak bir yapıda olmalıdır ve diğer ucu kırıcı çekiçi taşımalıdır. Sarkaç, titreşimlerden etkilenmemesi için yeterince sert olmalıdır. Sarkaç ucundaki kırıcı çekiç, sertleştirilmiş çelik malzemeden imal edilmelidir. Kırıcı uç, silindirik bir yapıda olmalıdır ve $0,8 \pm 0,2 \text{ mm}$ ölçüsünde bir yarıçapa sahip olmalıdır.

2.3.5 Sarkaç Yakalama/Serbest Bırakma Mekanizması

Sarkaç Yakalama – Serbest Bırakma mekanizması, sarkacı standartta belirtilen uygun yükseklikte sabitleyecek ve test için sarkacın serbest bırakılmasına izin verecek bir yapıda olmalıdır.

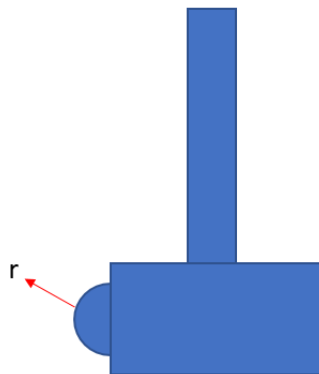
2.3.6 Ölçüm Mekanizması

Sarkaç serbest bırakıldıktan sonra, numuneyi kırmak için sarf ettiği enerjiyi tespit edecek bir mekanizma olmalıdır. Bu mekanizma, mekanik ibreli bir ölçüm mekanizması veya encoder ile kurulmuş elektronik bir sistem olabilir.

2.3.7 Izod Darbe Mukavemeti Testi Cihazı için Temel Tasarım Parametreleri

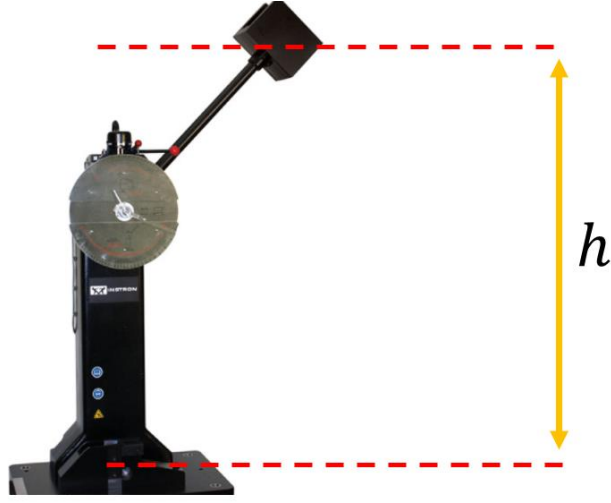
Yukarıda belirtilen cihaz bölümleri için ASTM-D256 ve ISO180 standartlarında bazı parametreler tanımlanmıştır. Bu parametreler doğrultusunda tasarlanan cihaz ile yapılan Izod darbe direnci ölçümleri standart ve doğru olacaktır.

a) *Kırıcı Çekiç Uç Çapı:* $r = 0,8 \pm 0,2 \text{ mm}$



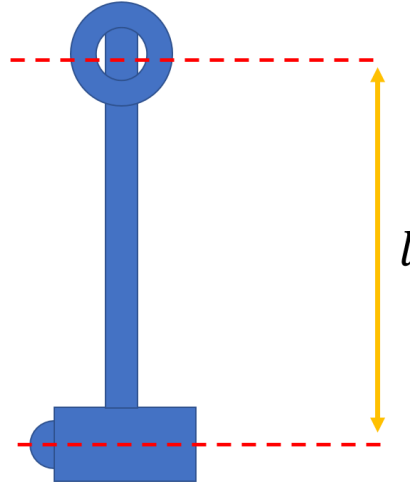
Şekil 2.3 Kırıcı Çekiç

- b) *Temas Çizgisi ve Çarpma Merkezi Arası Mesafe* $\leq 2.54 \text{ mm}$
c) *Sarkaç Serbest Bırakma Yüksekliği*: $h = 610 \pm 2 \text{ mm}$



Şekil 2.4 Sarkaç Bırakma Yüksekliği [11]

- d) *Sarkaç Uzunluğu (m)*: $0,33 \text{ m} \leq l \leq 0,40 \text{ m}$



Şekil 2.5 Sarkaç Uzunluğu

- e) *Kurulu Sarkacın Yatay Eksen ile Açısı* ($^{\circ}$): $30^{\circ} \leq \beta \leq 60^{\circ}$



Şekil 2.6 Sarkaç Açısı [11]

f) *Sarkaç Enerjisi (J):*

Sarkaç 1 = 2,7 J

Sarkaç 2 = 5.4 J

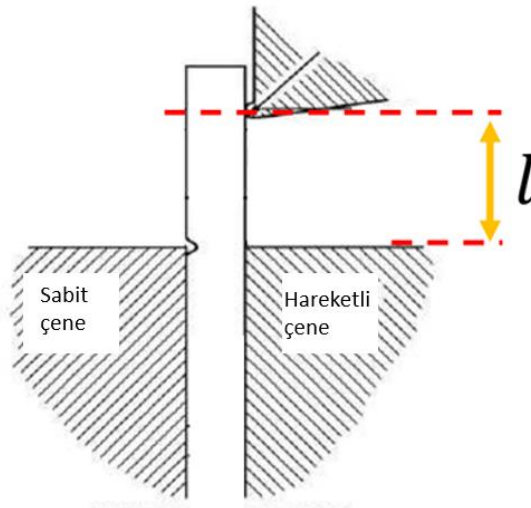
Sarkaç 3 = 10.8 J

Sarkaç 4 = 21.7 J

g) *Test için izin verilen Numune Kırılma Enerjisi $\leq \% 85 \times \text{Sarkaç Enerjisi}$*

h) *Numune tutucu üst yüzeyi ile kırıcı çekiç merkezi arası mesafe (mm)*

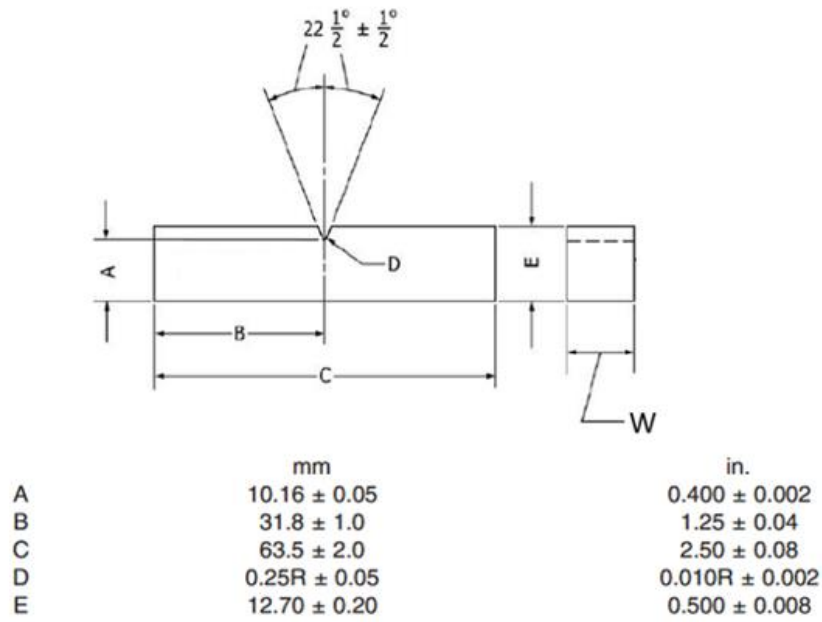
$$l = 22 \pm 0,05 \text{ mm}$$



Şekil 2.7 Numune Tutucu Üst Yüzeyi ile Kırıcı Çekiç Temas Noktası mesafesi [7]

2.3.8 Test Numunesi

ASTM D-256 standardında tanımlanmış numune ölçüleri Şekil 2.8’de belirtilmiştir.



Şekil 2.8 ASTM D-256 Standardına Göre Numune Ölçüleri [7]

“W” ölçüsü standartta net bir ölçü olarak belirtilmemiş, bunun yerine 3 mm ile 12.7 mm arasında olması gerektiği belirtilmiştir. Malzeme teknik özellikleri dokümanında belirtilen bir “W” ölçüsü kullanılabilir veya testi talep eden ile testi yapan arasındaki bir anlaşma ile belirlenebilir şeklinde tanımlanmıştır.

ISO 180 standardında tanımlanmış numune ölçüleri Tablo 2.1’de belirtilmiştir.

Tablo 2.1 ISO 180 Standardına Göre Numune ölçüleri [6]

millimetres				
Test Yöntemi	Numune Ölçüleri	Çentik tipi	Çentik yarıçapı	Çentik altı genişlik
ISO 180/U	$l = 80 \pm 2$ $b = 10,0 \pm 0,2$ $h = 4,0 \pm 0,2$	Çentiksiz	—	—
ISO 180/A		A	$0,25 \pm 0,05$	$8,0 \pm 0,2$
ISO 180/B		B	$1,00 \pm 0,05$	

2.4 Izod Darbe Mukavemeti Testi Cihazının Doğrulanması

Standartlar ile belirtilen testler için farklı organizasyonlar tarafından farklı test cihazları tasarlanmakta ve üretilmektedir. Bu cihazlar, hem endüstride hem de üniversiteler gibi bilimsel araştırma kurumlarında deneyler ve testler için kullanılmaktadır. Standartlar

tarafından kesin olarak belirlenmiş parametreler dışındaki unsurlar, cihazı tasarlayan kişinin mühendislik hesaplamalarına ve yorumlarına bırakılmıştır. Hatta, standartta kesin olarak belirtilmiş parametrelerin detay tasarımı da yine cihazı tasarlayan mühendisin sorumluluğundadır.

Dünyanın farklı yerlerinde, farklı disiplinlerde yetişmiş tasarımcılar tarafından, farklı mühendislik yorumları ve hesaplamaları ışığında tasarlanan ve üretilen cihazların hem tasarım kriterlerinin hem de imalat ve montaj süreçlerinin doğrulanması için bazı doğrulama adımları tanımlanmıştır. Cihazın montaj toleransları ile ilgili parametreler, standartlarda detaylı olarak tanımlanmıştır. Cihaz üzerinden ölçümler yapılarak doğrulanacak bu parametrelere ilerdeki bölümlerde yer verilecektir. Bahsi geçen parametrelerin doğru şekilde sağlandığını gösterecek 2 temel dinamik doğrulama adımından aşağıda bahsedilmiştir.

2.4.1 Sarkacın Doğrulanması

Izod Darbe Test Cihazı, sarkaç tipi bir test cihazıdır. Standartlarda belirtilen ölçülere göre tasarlanıp üretilen sarkacın, yine standartta belirtilen parametrelere göre doğrulanması gerekmektedir.

Sarkacın rulmanlar vasıtasıyla yataklandığı dönme eksenini (axis of support) ve çarpma merkezi (center of percussion) arası mesafesi, standartlarda tanımlanmış ölçüler ile teorik olarak hesaplanarak belirlendikten sonra bu ölçülere göre cihaz tasarımı yapılır. Bu ölçülere göre tasarlanan cihaz üretildikten sonra montajlanır. Montajlanmış cihaz için “L” ölçüsü, eşitlik 2.1 ile doğrulanmalıdır.

$$L = \left(\frac{g}{4\pi^2} \right) p^2 \quad (2.1)$$

L = dönme eksenini ve teorik ağırlık merkezi arası mesafe , m

g = yer çekimi ivmesi , m/s²

$\pi = 3.1416$ ($4\pi^2 = 39.48$),

p = periyot, s

2.4.2 Sürtünmelerin ve Rüzgar Direncinin Doğrulanması

Sürtünme kuvveti, bir cisim başka bir cisim ile temas eden yüzeyi üzerinde oluşan ve bu iki cismin birbirleri üzerinde kayma hareketine başlamasına veya harekete başlamışsa yavaşlatmaya çalışacak yönde oluşan kuvvettir [12].

Sürtünme kuvveti, mekanizmalardaki hareketin kaçınılmaz bir sonucudur. Sürtünme, hareketli sistemlerde enerji kaybına sebep olduğu gibi, birbirine sürtünen yüzeylerin aşınmasına ve parçaların deforme olmasına sebebiyet vermektedir. Verimli bir sistemde, sürtünme kuvveti ve sürtünmenin etkileri minimize edilmiş olmalıdır.

Izod darbe test cihazında, sarkaç, rulmanlar vasıtasıyla şasiye montajlanmıştır. Sarkaç, belirli bir yükseklikten serbest bırakıldıktan sonra hareketine başlar ve durana kadar rulmanlardaki sürtünme kuvvetine maruz kalır.

Akışkan içerisinde hareket eden cisimlere hareketlerini engelleyici yönde kuvvetler etkir. Havanın akışkan olarak kabul edilmesi durumunda, durgun hava içerisinde v hızı ile hareket eden araca hareket yönünün tersi istikamette bir direnç kuvveti, hava direnci kuvveti etkir [13].

Izod darbe test cihazında, durgun havanın içinde ilerleyen araç sarkaçtır. Sarkaç, belirli bir yükseklikten serbest bırakıldıktan sonra hareketine başlar ve durana kadar hava direncine maruz kalır.

Izod darbe test cihazı, sarkacın başlangıç enerjisi ve son enerjisi arasındaki farkı tespit ederek ölçüm yapan bir cihazdır. Başlangıç enerjisi ve son durumdaki enerji farkından, test numunesini kırmak için ne kadar enerji sarf edildiği hesaplanır.

Numunenin kırılma enerjisinin yanı sıra, rulman sürtünmeleri ve sarkaca etkiyen hava direnci de sarkacın enerji kaybetmesine sebep olacak iki temel unsurdur. Bu noktada, numunenin kırılma enerjisini rüzgâr direnci ve sürtünmeler kaynaklı enerji kayıplarından ayırt etmek gerekmektedir.

ASTM-D256 Standardında hava direnci ve sürtünmelerin doğrulanması için 2.2 numaralı eşitlik tanımlanmıştır.

Tezin 4. Bölümünde daha detaylı olarak anlatılacak olan sürtünme ve rüzgar direncinin doğrulanması bölümünde bu formül ile ilgili daha detaylı bir çalışma ve yapılan hesaplamalar gösterilecektir.

$$E_{TC} = (E_A - (E_B/2))(\beta/\beta_{max}) + E_B/2 \quad (2.2)$$

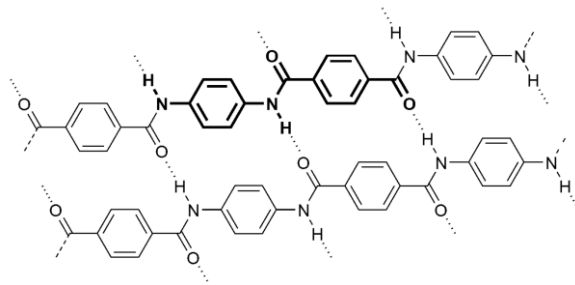
2.5 Test Plastikleri

Bu tez çalışmasında, Poliamid 6 (PA6), cam elyaf katkılı PA6, Polistiren (PS), polioksümetilen (POM) ve polimetilmetakrilat (PMMA) plastikleri kullanılarak üretilmiş test numuneleri kullanılarak testler yapılmış ve sonuçlar karşılıklı olarak değerlendirilmiştir.

2.5.1 Poliamidler

Poliamidlerin gelişimi W.H. Carothers ve meslektaşlarının kondenzasyon polimerizasyonu ile ilgili kapsamlı araştırmalardan sonra 1935 yılında naylon-6,6(PA66)'nın (hekzametilen diamin ve adipik asidin bir poliamidi) sentezlenmesi ile başlamıştır. Naylon-6,6'nın ticari üretimi ve elyafa dönüşümü 1939'da Du Pont Şirketi tarafından başlatılmıştır [14]. Keşfedilen bu poliamid 1938'de diş fırçası kılları ve 1940'ta naylon çoraplar için kullanılmıştır. Avrupa'da I.G. Farbeninsustrie adlı kimya şirketinde naylon-6,6 poliamidinin patentini almak için çalışmalar sürdürülürken ikinci bir poliamid, naylon-6 (PA6), keşfedilmiştir [15]. 1939'da kaprolaktamdan türetilen naylon-6 piyasaya sürülmüştür [14]. Böylece, başlangıçta PA6 ağırlıklı olarak Batı Avrupa ve Japonya'da; PA6.6 ise ağırlıklı olarak ABD'de üretilirken günümüzde her iki poliamid tipinin üretimi tüm dünyada yaygındır [15]. Bugün naylon-6,6 ve naylon-6, elyaf uygulamaları için üretilen hemen hemen tüm poliamidleri oluşturmaktadır [14].

Poliamidlerin doğal ve sentetik örnekleri mevcuttur. En yaygın doğada bulunan örnekleri polipeptit ve proteinlerdir, örneğin ipek, yün. Yapay, sentetik polyamidlere örnek olarak naylon, kevlar, sodyum (poli) aspartat verilebilir. Kevlar'ın kimyasal yapısı Şekil 2.9 'da gösterilmiştir. Polyamidlerin kullanımının yaygın olduğu alanlar arasında araç lastiklerindeki kord bezleri, tekstil ürünleri, diş fırçası kılları, olta ipleri, ağ ve fileler, hava yastıkları, manifoldlar ve benzin tankları gibi otomotiv yedek parçaları, tırmanış ipleri, çeşitli makina parçaları, paraşütler, gitar telleri, tenis ve squash raket telleri bulunmaktadır [16].



Şekil 2.9 Kevlar Yapı Zinciri [17]

Poliamidler yüksek kristal yapıya sahip, bünyesinde amid grubu bulunduran ve molekül ağırlığı yüksek lineer polimerlerdir. Sert ve dayanıklı olan poliamidlerin birçok çeşidi vardır. PA6, PA6.6, PA6.10, PA11 ve PA12 bunların en bilinenleri olup PA6 ve PA6.6 en çok kullanılanlarındandır [18].

Poliamid reçineleri, polimer zinciri boyunca tekrarlayan amid grubunun $[-C(=O)-NH-]$ varlığı ile karakterize edilir. Poliamidler, diamino bileşiklerinin dikarboksilik asitler veya esterlerle yoğunlaştırılma polimerizasyonu ile sentezlenir. Linoleik asit gibi doğal olarak oluşan yağ asitleri veya bunların türevleri sıklıkla bir dizi sıvı reçine elde etmek için diaminlerle reaksiyona sokulur. Poliamidler, gözenekli yüzeylere iyi bağlanan ve düşük sıcaklıklarda mükemmel esnekliğe sahip, sıcakta eriyen yapıştırıcılar olarak kullanılan termoplastiklerdir [19].

2.5.1.1 Poliamidlerin Üretimi ve Özellikleri

Poliamidler genellikle bir diasit ve bir diaminin yoğunlaşma reaksiyonu ile meydana gelir. Poliamid isimlendirmesi diaminde bulunan karbon atomu sayısı ve ardından da diasitte bulunan karbon atomu sayısı birleştirilerek türetilir [15].

Polyamidler; enjeksiyon, ısıl şekillendirme, ekstrüzyon, rotasyon kalıplama ve enjeksiyon şişirme ile imal edilebilmektedirler [20].

Teorik olarak, çok sayıda poliamid 4 ana sentetik yola dayanarak sentezlenebilir:

1. Bir dikarboksilik asit ile bir diamin arasındaki yoğunlaşma reaksiyonu ile.
2. Bir diasit klorür ile bir diamin arasındaki reaksiyon ile.
3. Amino asitlerin dehidrasyon-yoğunlaşma reaksiyonları ile
4. Laktamların (amino ve karboksil gruplarından su molekülü çıkarılarak elde edilen bir siklik amid grubu) halka açılımı polimerizasyonu ile [3].

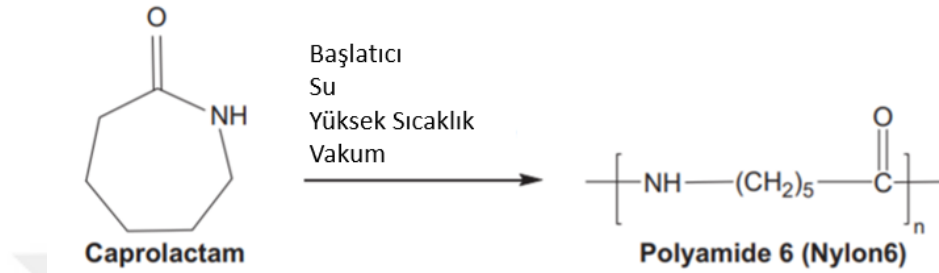
2.5.1.2 Poliamid 6 (Naylon-6/PA6)

Poliamid 6 (PA6) başta otomotiv, ulaştırma, elektrik/elektronik, beyaz eşya ve ev gereçleri olmak üzere inşaat, mobilya, spor ekipmanları, güvenlik malzemeleri ve medikal sanayinde yaygın olarak kullanılan ve kolay işlenebilen poliamidtir. Asit ve bazlara karşı dayanıklı olması (kuvvetli asitler hariç), yüksek darbe dayanımı, yüksek termal dayanım ve mükemmel mekanik özelliklerinin yanı sıra enjeksiyonla kalıplanabilmesi, PA6'nın temel avantajlarını oluşturmaktadır. PA6 bünyesinde su toplama özelliğine (higroskopik) sahiptir. Bu özelliği PA6'dan üretilmiş ürünlerin kullanım esnasında titreşim ve darbelere dayanımını arttırırken, parçaların üretimi esnasında boyutsal kararlılığa ulaşmayı zorlaştırır. Çentiğe duyarlı olması, düşük sıcaklıklarda darbe mukavemetinin zayıflaması, UV mukavemeti, yapışma güçlüğü gibi dezavantajları da vardır [21][22][23].

2.5.1.3 Poliamid 6'nın Üretimi

Poliamid 6 veya naylon 6, her iki reaktif grubu (asit ve amin) içeren altı karbon atomlu bir molekül olan kaprolaktamın kondenzasyon reaksiyonu ile oluşur.

PA6, yüksek sıcaklıklarda ve vakumda kaprolaktamın hidrolitik veya katalitik halka açılımı sonucunda oluşan epsilon-aminocaproic asit yardımıyla üretilebilmektedir. [15]



Şekil 2.10 Naylon 6 Sentezlenmesi [15]

Naylon 6, ilk olarak halka yapılı bir molekül olan saf kaprolaktamdan üretilmiştir. Bu monomer, halkanın açılması ve molekülün kendisiyle polimerize olması bakımından benzersizdir. Kaprolaktam altı karbon atomuna sahip olduğundan, üretilen naylon naylon 6 olarak adlandırılır. [24].

2.5.1.4 PA6 ve PA6.6'nın Özellikleri

PA6 ve PA 6.6, kristal yapıya ve yüksek molekül ağırlığına sahip polimerlerdir. Yapıları dolayısı ile hem amorf hem de kristal bölgelere sahiptir. Özellikleri daha çok kristal yapıya bağlı olup kristal yapının amorf yapıya oranı arttıkça iyileşir. Kristal yapı oranının fazla olması, darbe dayanımı dışında kalan tüm mekanik özelliklerin iyileşmesini sağlar. Kristal yapı oranı, ergimiş polimerin soğutulma hızıyla bağlantılı olup, çok hızlı soğutulduğunda kristal yapı oranı düşük olur.

PA6 ve PA6.6 kimyasal yapılarından dolayı, nem çekici özelliğe sahiptir. Nem, plastikleştirici gibi davranır ve bu nem polimerin çekme ve kopma dayanımı ile sertliğini azaltırken darbe dayanımını artırır. Bu nedenle PA6 ve PA6.6'dan yapılan parçaların uygulamadaki darbe dayanımları kalıptan yeni çıkarılmış halinden oldukça yüksektir. Sıcaklık artışıyla PA6 ve PA 6.6'nın özelliklerinde, amorf yapının sıcaklıkla değişmesi nedeniyle bazı değişiklikler olur. Sıcaklık artışıyla çekme ve kopma dayanımı ile sertlik değerleri azalırken, darbe dayanımı artar.

Katkı maddeleri PA6 ve PA 6.6'nın özelliklerini iyileştirirler. Isı dengeleyiciler poliamidlere ısı kararlılık ve dış etkenlere karşı dayanıklılık sağlar. Molibden disülfid ve grafit aşınmaya karşı direnç sağlarken kendi kendine yağlama özelliği de verir. Karbon siyahı dış etkenlere karşı dayanıklılık sağlar. Cam elyafı ve titanyumdioksit gibi inorganik dolgu maddeleri, PA6 ve PA6.6'ya boyutsal kararlılık sağlar, mekanik özellikleri iyileştirir ve ısı bozunma sıcaklığını yükseltir [18].

PA6 ve PA6.6 diğer plastiklerle karşılaştırıldığında, yağlayıcılara karşı daha dayanıklıdır. Kimyasal çözücülere karşı dayanıklı olup, formik asit ve asetik asit gibi asitlerden etkilenmezler. Yüksek sıcaklıklarda fenollere karşı direnç gösteremezler. Çok iyi elektriksel yalıtkanlıklarından dolayı, elektrik sektöründe geniş kullanım alanına sahiptirler [18]. Poliamidler tornada kolay işlenebilmektedir. Poliamid esaslı ince filmlerin çok yüksek çekme ve darbe dayanımı ile uzama kabiliyeti vardır. Gaz ve kokuları geçirmezler [20].

Naylon 6'nın bazı özellikleri:

- Üstün mekanik özellik dengesi.
- Üstün kimyasal dayanıklılık ve yağ direnci.
- Üstün aşınma direnci.
- Üstün uzun süreli ısı direnci
- Cam elyafı ve diğer malzemelerle güçlendirilerek yüksek elastik modül ve mukavemet
- Üstün gaz bariyeri özellikleri.
- Yüksek su absorpsiyon oranı
- Güçlendirildiğinde bile mükemmel yüzey kalitesi.
- Güçlü asitlere ve bazlara zayıf kimyasal direnç. [24]

2.5.1.5 Cam ile Güçlendirilmiş PA6

Son yıllarda cam ile güçlendirilmiş naylon'un erişilebilirliği artmıştır. Kullanılan cam türüne göre cam elyafı ve cam tanecikleri en çok kullanılan güçlendirme katkı malzemeleridir. %20 den %40 'a kadar cam kullanılabilir. Cam katkısı olmayan naylon ile karşılaştırıldığında, cam elyaf katkılı naylon, malzemenin bazı fiziksel özelliklerinde azımsanamayacak seviyede iyidir. Cam elyaf katkısı, çekme mukavemetinin 80 MPa'dan 160 MPa'a burulma modülünün 3000MPa'dan 8000MPa'a kadar artırılabilmesini sağlar. Malzemenin sertlik değeri önemli ölçüde yükselir. Termal özelliklerinde çok önemli artışlar görülür [14].

Cam elyaf katkılı naylonlar iki yöntemle elde edilebilir. Birinci yöntem, belirli uzunluktaki cam elyafı, polimer eriyiği veya bir solüsyon içinden geçirmek ve bunu cam ile güçlendirilmiş bir malzeme üretmek için parçalara bölmek yoluylaadır. İkinci yöntem ise reçine ve cam elyafın harmanlanması ve ekstruder’de işlenmesidir [14].

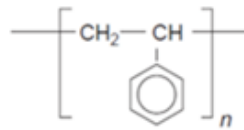
Cam ile güçlendirilmiş naylonlar, cam katkılı termoplastiklerin en önemli gruplarındanr. Cam elyaf katkılı naylonların bazı temel özellikleri aşağıda verilmiştir,

- Yüksek sertlik
- Çok iyi sünme direnci
- Düşük sürtünme katsayısı
- Yüksek ısıl eğilme sıcaklığı
- Elektriksel yalıtım

Yukarıda belirtilen özellikleri sayesinde pek çok uygulamada metallerin yerini alabilmektedirler. Ev aletlerinde, otomobil alt parçalarında ve havacılık sektöründe kullanım alanları vardır [14].

2.5.2 Polistiren

Polistiren, stirenin yığın veya süspansiyon polimerizasyonu ile elde edilir. Polistiren çok düşük maliyetlidir ve yaygın olarak kullanılır. [14] Başlıca özellikleri arasında sertlik, geçirgenlik, yüksek kırılma indisi, tat, koku ve toksisite barındırmaması, iyi elektriksel yalıtım özellikleri, düşük su absorpsiyonu ile renklendirme ve işleme kolaylığı bulunur. Polistiren üstün organik asit, baz, tuz ve düşük alkol direncine sahiptir. [25][26]



Monomer	Polimerizasyon	Kullanım Alanı
Stiren	Serbest radikal ile başlatılan zincir polimerizasyonu	Paketleme, ev eşyası, oyuncak, çeşitli cihaz parçaları, tek kullanımlık yemek kapları

Şekil 2.11 Polistirenin Monomeri, Polimerizasyon Yöntemi ve Kullanım Alanları [14]

Birçok uygulamada polistirenin önemli bir sınırlaması kırılma direncidir. Bu sınırlama, yüksek etkili polistirenler (HIPS) olarak adlandırılan kauçuk ile modifiye edilmiş polistirenlerin

(genellikle% 5-15 kauçuk içeren) gelişmesine neden olmuştur. En yaygın olarak kullanılan stiren butadien kauçuk ve cis-1,4-polibutadiendir.

Düz veya çok amaçlı polistirenlerle karşılaştırıldığında, yüksek etkili polistiren malzemeler çok daha fazla tokluğa ve darbe direncine sahiptir, ancak yumuşama noktası ve çekme direnci o kadar iyi değildir. Isı yalıtım malzemesi olarak çok önemli hale gelen genleşmiş polistiren ya da polistiren köpüğü düşük yoğunluğa, düşük ağırlık maliyetine sahiptir, daha az kırılmalıdır ve ateş geciktirici olabilir.

Genleşmiş polistiren ürünler polistiren reçine pazarını geniş ölçüde artırmıştır. 2 lb / ft³ (0.032 g / cm³) kadar hafif bir ağırlıkla, genleşmiş polistirenin termal iletkenliği çok düşüktür ve yastıklama değeri (cushioning) yüksektir. İdeal bir yalıtım ve ambalaj malzemesidir. Yaygın uygulamalar arasında buz kovaları, su soğutucuları, duvar panelleri ve genel ısı yalıtımı uygulamaları yer alır.

2.5.3 Polioksimetilen (POM)

“Polyoxymethylene” veya “polyacetal”, sulu formaldehit monomerinin polimerizasyonu ile veya trioxane monomerinin halka açılma polimerizasyonu ile elde edilir. trioxane monomerinin halka açılma polimerizasyonu tercih edilen yöntemdir. Bu polimerizasyon, yığın halinde katyonik başlatıcılar (initiator) kullanılarak gerçekleştirilir. Bunun yanında, yüksek saflıkta formaldehit monomeri, çözelti içinde katyonik veya anyonik başlatıcılar kullanılarak sentezlenebilir. Polyacetal, Polietilen ile yapısal olarak büyük oranda benzerlik gösterir. İki polimer de düzenli bir yapısal dizilime sahip oldukları için, başka bir deyişle taktisite problemi olmadığı için, bu iki polimer de yüksek kristaliniteye olma potansiyeline sahiptirler. Bununla birlikte, acetal polimer molekülleri, daha kısa ana atom zincirlerine (-C-O-) sahiptir ve bu sayede polietilene göre çok daha sıkı bir şekilde istiflenmiş zincirlere sahiptir. Bu sayede, acetal polimeri daha serttir ve daha yüksek bir erime noktasına sahiptir (175°C)[14]. POM’un kimyasal yapısı ve genel kullanım alanları Şekil 2.12 POM’un Monomeri, Polimerizasyon Yöntemi ve Kullanım Alanları [14] verilmiştir.



Monomer	Polimerizasyon	Kullanım Alanı
Formaldehit, Trioksan	Katyonik veya anyonik zincir polimerizasyonu	Elektronik cihazlar, tesisat, ulaşım

Şekil 2.12 POM’un Monomeri, Polimerizasyon Yöntemi ve Kullanım Alanları [14]

Kristal yapıda olmaları ve sıvılar ile reaksiyona girme kabiliyetlerinin düşük olmasından dolayı, acetal homopolimerleri organik çözücülere karşı üstün bir dayanıma sahiptirler. 70°C'nin altında etkili bir çözücüsü henüz tespit edilememiştir. Bu sıcaklığın üstünde, klorofenol gibi bazı çözücüler etkili olabilmektedir. İnorganik çözücülere karşı, organik çözücülerde olduğu gibi güçlü bir direnci yoktur. Güçlü asitler, güçlü alkaliler ve oksitleyiciler, mekanik özelliklerinde bozulmalara sebep olabilmektedir.

Asetal polimeri için tavan sıcaklığı 127°C'dir. Bu sıcaklığın üstünde depolimerizasyonu başlar. Bu yüzden, eritme işlemi sırasında polyacetal reçinesini 200 C°'nin üzerinde yeteri kadar stabilize etmek çok önemlidir.

Polyacetal, lineer bir polimerdir (%80 kristal yapıda) ve ortalama moleküler ağırlığı 30.000 ile 50.000 arasındadır. Bazı temel özellikleri Tablo 2.2' de belirtilmiştir.

Tablo 2.2 POM'un Özellikleri [14]

Özellik	Asetal Homopolimer	Asetal Kopolimer
Özgül ağırlık	1.425	1.410
Kristalin erime noktası	175	163
Çekme mukavemeti (23°C)		
lbf/in ²	10,000	8500
MPa	70	58
Bükülme modülü (23°C)		
MPa	410,000	360,000
lbf/in ²	2800	2500
Eğilme sıcaklığı (°C)		
@264 lbf/in ²	100	110
@66 lbf/in ²	170	158
Kopmada uzama (23°C)(%)	15-75	23-35
Darbe mukavemeti		
Ft.-lbf/in. çentikli	1.4-2.3	1.1
Rocwell sertliği	94	80
Sürtünme katsayısı	0.1-0.3	0.2
Su absorpsiyonu (%)		
24 saat	0.4	0.22
%50 RH dengesi	0.2	0.16
İmersiyon dengesi	0.9	0.8

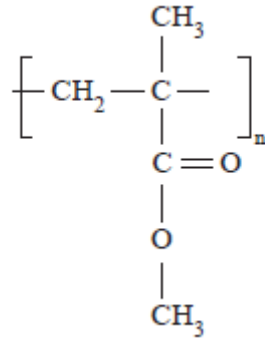
Acetal polimerlerini kullanışlı bir mühendislik termoplastığı yapan temel özellikleri, yüksek sertliği, geniş bir sıcaklık aralığında gösterdiği mekanik dayanımı, yüksek yorulma dayanımı, yüksek akma dayanımı ve güzel bir dış görünüş olarak sıralanabilir. Bu özellikler, pek çok açıdan nylon malzemeler ile benzer olsa da, acetal polimerler, yorulma dayanımı, sürünme dayanımı, sertlik ve su absorpsiyonu direnci konusunda nylonların çok ilerisindedir. Bunun yanı sıra, darbe dayanımı konusunda nylon malzemelerin gerisinde kalmaktadır. Pek çok farklı test göstermiştir ki acetal polimerler, diğer pek çok plastik ve döküm alüminyumdan daha ileri özelliklere sahiptirler.

Elektrik yalıtım özellikleri, çok üstün olarak tanımlamaz fakat iyidir. Bu yüzden, elektriksel yalıtım özelliklerinin yanı sıra sertlik ve darbe mukavemeti gerektiren uygulamalarda tercih edilebilir.

Asetal polimerleri ve kopolimerleri, pek çok plastik için rekabetçi bir malzemedir, hatta bazı özellikleri ile metallere dahi alternatif olarak kullanılabilen bir mühendislik polimeri olmalarını sağlamıştır. Düşük ağırlıkları, korozyon dayanımları, yorulma dirençleri, düşük sürtünme katsayısı ve üretim kolaylığı gibi özellikleri sayesinde metallerin kullanım alanlarında güçlü bir alternatif olarak kendine yer bulmuştur.

Üretim yöntemi olarak enjeksiyon kalıplama, hava üfleli kalıplama ve ekstrüzyon olarak önde gelen üretim metotlarındandır. Kalıplanmış telefon parçaları, radyo parçaları, küçük araç-gereçler, konveyör bant bağlantı noktaları, dişli ve zincir parçaları, pompa pervaneleri, pompa gövdeleri, karbüratör gövdeleri, fan bıçakları, duş başlıkları gibi pek çok farklı sektörlerden parçaların ham maddesini oluşturmaktadır. Düşük ağırlığı, düşük sürtünme katsayısı ve karmaşık şekillerdeki kalıplarda dahi üretilebilir olmaları sayesinde, rulmanların alt parçası olarak kullanılmaktadır. Diğer mühendislik polimerlerine göre daha maliyetli olması, kullanım alanlarını sınırlandıran bir unsurdur.

2.5.4 Polimetilmetakrilat (PMMA)



Şekil 2.13 Polimetilmetakrilat [3]

Akrilik polimerler ailesinin en önemli üyesi poli metil metakrilattır (PMMA). Ticari olarak pleksiglas olarak da bilinen PMMA, sert, berrak, renksiz, gerektiğinde renklendirilebilir, şeffaf bir plastiktir. Piyasada granüller halinde, plaka halinde, boru veya çubuk şeklinde bulunur [3].

Kalıplama ve ekstrüzyon ile imal edilecek malzemelerde kullanılacak poli metil metakrilat, metil metakrilat monomerinin serbest radikalle başlatılmış süspansiyon veya yığın

polimerizasyonu ile sentezlenir. Plaka, boru ve çubuk imalatında kullanılacak malzemelerin sentezlenmesinde kullanılan yığın polimerizasyon reaksiyonunun ekzotermik ve büzülme davranışını minimize etmek için reaksiyon, kısmi polimerleşmiş metil metakrilatın reaktif bir çözeltisi ile yürütülür [3].

PMMA, lineer zincirlerden oluşan amorf bir plastiktir. Büyük bir sarkık gruba (-O-CO-Me) sahip olması ve sterokimyası sayesinde amorf bir polimer olarak sınıflandırılabilir. İzotaktik ve sindiyotaktik PMMA, metil metakrilatın düşük sıcaklıklardaki anyonik polimerizasyonu ile sentezlenebilir fakat PMMA'nın bu formları, ticari olarak üretilen ve ulaşılabilen formlar değildir. Metil metakrilatın akrilatlar, akrilonitril ve butadien gibi monomerlerle kopolimerizasyonu sayesinde modifiye PMMA elde edilebilir [3].

Polimetil metakrilat (PMMA) uzun kullanım ömrü, mor ötesi ışınlar ve çevresel faktörlere karşı sahip olduğu dayanım, yüksek ışık geçirgenliği, güzel yüzey kalitesi ve renklendirilebilir olması özellikleri ile diğer plastikler arasında öne çıkmaktadır. Termoplastikler arasında en yüksek yüzey sertliğine sahip olan malzemedir. [27]

PMMA; sertlik, yoğunluk ve orta dereceli dayanıklılık özelliklerinin iyi bir kombinasyonunu sunar. T_g değeri 105°C'dir. Üstün optik özellikleri ve çevresel koşullara olan üstün dayanımı sayesinde ışık geçirgenliği ve çevresel dayanım gerektiren ortamlarda kullanımı vardır. Sert kontak lens gibi özelleşmiş uygulamalarda sıklıkla kullanılır. PMMA'nın sektörlere göre başlıca kullanım alanları Tablo 2.3'de sıralanmıştır. [3]

Tablo 2.3 PMMA Kullanım Alanları [3]

Alan	Uygulama
Yapı	Yüzme havuzu, alışveriş merkezi ve restoran cepheleri, güneş filtreli kapamalar, kubbeli tavan pencereleri
Aydınlatma	Işıklı tabelalar, aydınlatmalı tavanlar, ışık saçıcılar, lensler
Otomotiv	Lensler, paneller, göstergeler, isim plakaları
Havacılık	Pencereler, paneller, aydınlatma korumaları
Ev	Ev eşyası, paravan, dekoratif eşya, mobilya, küvet, sayaç
Diğer	Müze vb. yerlerde gösterim kabini

PMMA ve bazı diğer polimerlere ait darbe enerjileri Tablo 2.4'te belirtilmiştir.

Tablo 2.4 PMMA ve Bazı Diğer Polimerlerin Darbe Enerjileri [3]

POLİMER	KALİTE	DARBE MUKAVEMETİ (J)
Polistiren	Genel kullanım	0.45-0.54
Polistiren	Darbe	0.68-10.8
PVC	Rapid	0.54-4.07
PVC	Plastikleştirilmiş	1.36-20.33
Polipropilen		0.68-2.71
Polimetilmetakrilat	Kalıp	0.41-0.68
Polimetilmetakrilat	Yüksek dayanım	1.9
Polioximetilen		1.9-3.12
Nylon 6,6		1.36-3.39
Nylon 6		1.36-4.07
Polietilen	Düşük yoğunluk	21.7
Polietilen	Yüksek Yoğunluk	0.68-27

Tablo 2.4 PMMA ve Bazı Diğer Polimerlerin Darbe Enerjileri [3]görülebileceği üzere, farklı polimerlerin çok farklı darbe mukavemetleri olabildiği gibi, aynı adla anılan polimerler de kendi içinde geniş bir skalada farklı darbe mukavemeti değerlerine sahip olabilmektedirler. Örneğin, genel kullanım amacıyla imal edilmiş polistiren ile darbe mukavemeti özelliği artırılarak üretilen polistren arasında 20 kata kadar daha farklı darbe mukavemeti değeri tespit edilmiştir.

2.6 Plastiklerin İmalat Yöntemleri

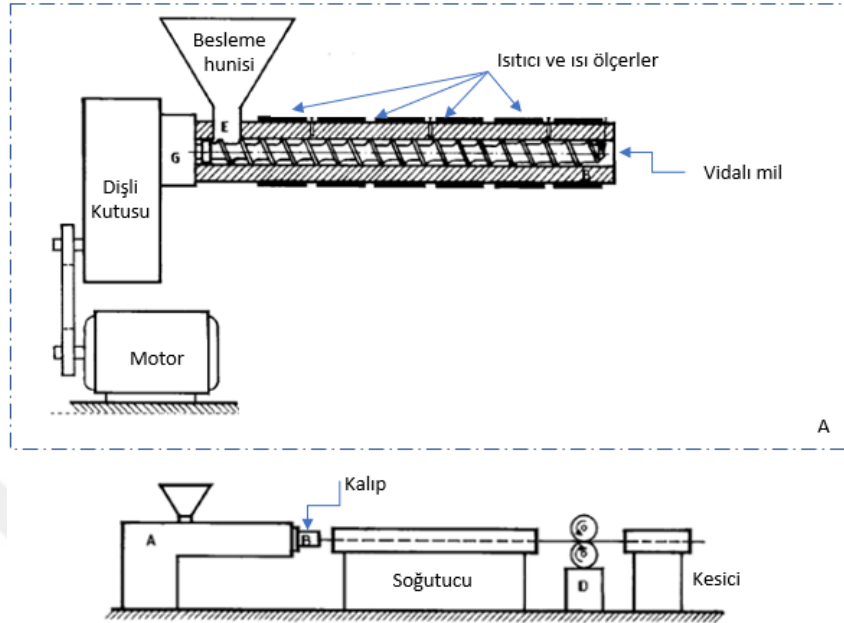
Bu bölümde, plastiklerin kullanılacakları yerlerdeki son şekillerinin kazandırılması ile ilgili yöntemler anlatılacaktır. Polimerizasyonu tamamlanmış, toz veya granül haline getirilmiş bir plastiğin hangi yöntemler ile şekillendirilerek son ürün veya son ürün öncesi plaka, boru, çubuk gibi standart şekiller haline getirildiğinden bahsedilecektir. Test numunelerinin üretiminde kullanılan yöntemler ise detaylı bir şekilde açıklanacaktır. Plastik şekillendirmede kullanılan başlıca yöntemler, ekstrüzyon, enjeksiyonlu kalıplama, üflemlerli kalıplama, dönele kalıplama, ısıle şekillendirme, basınçla kalıplama ve döküm olarak sıralanabilir [3].

Bu tez çalışması kapsamındaki numuneler, ekstrüzyon ile üretilmiş plakalardan CNC freze ile veya lazer kesim ile son şekillendirme yapılarak, enjeksiyonlu kalıplama yapılarak ve basınçla kalıplama yapılarak üretilmiştir. Bu metotlar detaylı şekilde incelenecektir.

2.6.1 Ekstrüzyon

Ekstrüzyon, toz veya granül halindeki plastiğin homojen bir şekilde eritilerek, belirli bir kesit alanına sahip kalıptan geçirilmek suretiyle şekillendirilmesini içeren bir tekniktir. Ekstrüzyon yöntemi ile su borusu, profiller ve plakalar gibi son ürünler üretilir [3].

Plastik ürünlerin aynı kesitte, hassas ölçülerde ve istenilen uzunlukta, devamlı (kesiksiz) olarak elde edilmesini sağlayan makinelere ekstrüzyon makineleri denir. [28]



Şekil 2.14 Ekstrüzyon Mekanizması [3]

Şekil 2.14, ekstrüzyon sisteminin şematik bir gösterimidir. Besleme hunisi vasıtasıyla ham madde doldurulur. Besleme vanası vasıtasıyla ham madde vidalı milin yatağına yönlendirilir. Ektrüzyon sisteminin hareketli parçası olan vidalı mil, ham malzemeyi almak, karıştırmak ve katı granüller halinden eriyik hale geçene kadar ilerletmek amacıyla tasarlanmıştır. Motor ve ona bağlı olan dişli kutusu vasıtasıyla sürülür. Isıtıcılar ve ısı ölçerler, proses boyunca polimerin doğru sıcaklıkta olmasını sağlar. Besleme hunisinden sisteme giriş yapan, ısıtıcılar ve ısı ölçerler vasıtasıyla uygun sıcaklığa getirilen plastik, vidalı milin dönmesi sonucu oluşan kuvvet ile, üretilecek olan malzemenin kesit formuna uygun olarak üretilmiş kalıptan geçerek son formunu alır. Uygun şekilde soğutulur ve kesilir. Farklı profillerde, boru şeklinde veya plaka şeklinde malzeme üretilmiş olur [3].

Bu tez çalışması kapsamında, ekstrüzyon ile üretilmiş olan PMMA esaslı plakalar, lazer kesim ile işlenerek test numunesi haline getirilmiştir.

2.6.2 Enjeksiyonlu Kalıplama

Enjeksiyonlu kalıplama, termoplastikleri, hatta son günlerde termosetleri, granül veya toz formdan pek çok farklı şekilde son ürünler haline getirmek için kullanılan popüler bir

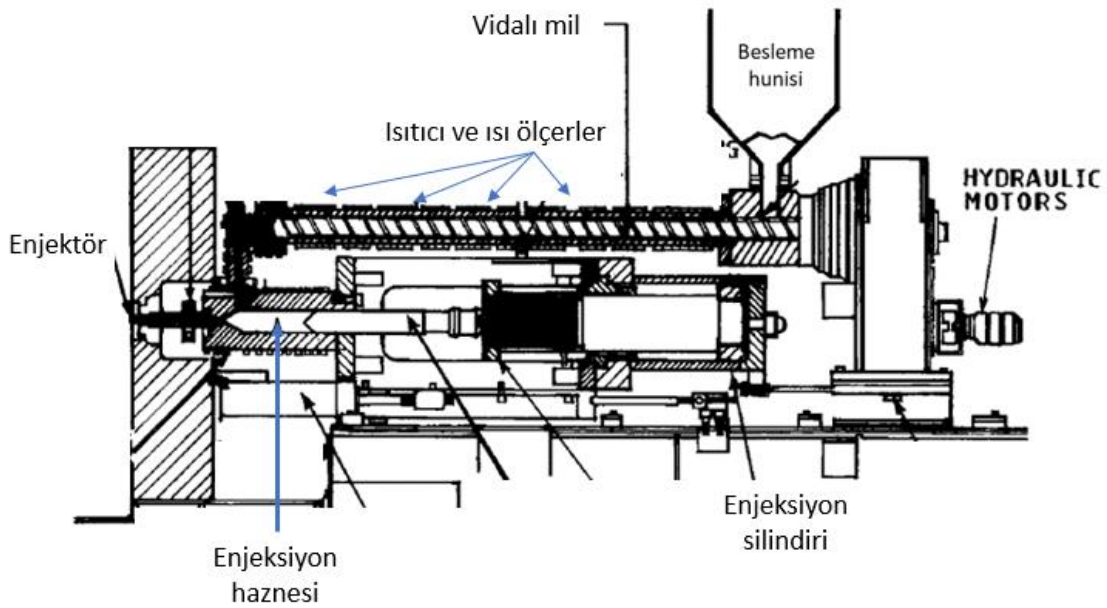
yöntemdir. Elektronik ekipman parçaları, otomobil parçaları, mutfak eşyaları gibi karmaşık yapıdaki ürünlerin üretiminde sıklıkla başvurulan bir yöntemdir. Basitçe, granül veya toz halindeki plastik, erime sıcaklığına kadar eritilir. Eritilen malzeme, kalıp içinde basınçlı bir şekilde enjekte edilir. Uygun şekilde soğutulur ve malzeme kalıptan çıkartılır.

Enjeksiyon kalıplama cihazı, üç aşamada üretim yapar;

- 1- Plastik, basınç altında akabilmesi için eritilir
- 2- Plastik kalıba basınç ile enjekte edilir
- 3- Plastik uygun şekilde kalıp içinde soğutulur ve sonrasında kalıptan çıkartılır.

Plastiği kalıba sokmak için gerekli itme kuvveti, piston ile veya vidalı mil ile üretilebilir veya aynı üretim cihazında hem vidalı hem pistonlu bir kuvvet mekanizması kullanılabilir.

Şekil 2.15'te bir enjeksiyon kalıplama cihazına ait şematik bir çizim gösterilmiştir. Besleme hunisi vasıtasıyla sisteme verilen ham malzeme, vidalı mil vasıtasıyla sürülür. Malzeme sürülürken uygun sıcaklığa getirilerek eritilir. Erimiş plastik enjeksiyon haznesine gönderilir. Piston kuvveti ile yüksek basınçta enjektör ağzından üretilecek malzemeye uygun olarak hazırlanmış kalıba enjeksiyon yapılır [3].



Şekil 2.15 Enjeksiyonlu Kalıplama Mekanizması [3]

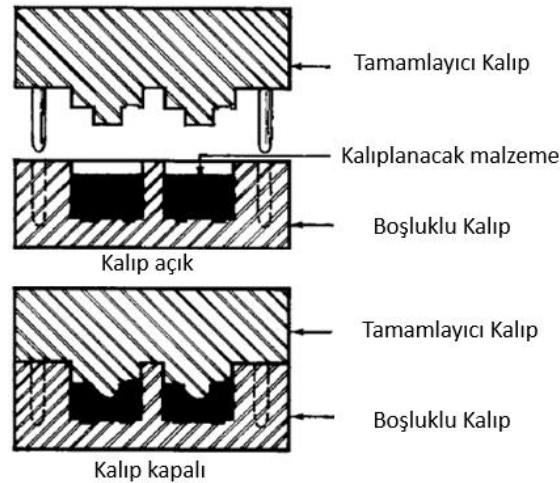
Şekil 2.16'da enjeksiyon kalıplama ile üretilmiş bazı ürün örnekleri gösterilmiştir.



Şekil 2.16 Enjeksiyon Kalıplama ile Üretilmiş Ürünler [29]

2.6.3 Basınçla Kalıplama

Basınçla kalıplama metodunda, malzeme, boşluklu kalıba (mold cavity) doldurulur. Kalıp ısıtılarak belirli bir sıcaklığa getirilir. Kalıbın üst kısmı (mold plunger), bir pres silindiri vasıtasıyla boşluklu kalıp ile birleştirilir. Basınç ve sıcaklık etkisiyle, plastik erir ve kalıptaki tüm boşlukları doldurur. Bir süre sonra malzeme kalıptan çıkarılır ve kalıp dışında soğuması sağlanır. Basınçla kalıplama cihazı, diğer yöntemler ile karşılaştırıldığında daha basittir. 2 adet baskı levhası, iki parçalı kalıp ve bu baskı levhalarını ısıtacak ve basınç uygulayacak bir sistemden oluşur. Şekil 2.17’de basınçla kalıplama cihazının temel parçaları ve çalışma mekanizması gösterilmiştir. Baskı plakaları yatay olarak yerleştirilir. Kalıbın üst kısmı üst baskı plakasına, alt kısmı alt baskı plakasına temas eder. Boşluklu kalıp alt baskı plakasına yerleştirilir ve içine malzeme doldurulur. Baskı plakaları uygun sıcaklığa getirilir ve kalıp ve içindeki plastiğin de uygun sıcaklığa gelmesi sağlanır. Üst baskı plakası aşağı hareket ettirilerek kalıp kapatılır ve malzeme preslenir. Basınçla kalıplama üretim yönteminin en önemli avantajı ucuz olmasıdır [3].



Şekil 2.17 Basınçla Kalıplama Sistematiği [3]

3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

3.1 Izod Darbe Mukavemeti Testi Cihazının Tasarımı

ASTM D256 ve ISO 180 standartlarına uygun şekilde darbe direnci tayini yapabilecek bir cihaz tasarlamak için ilk adım olarak standartta belirtilen temel isterler incelenmiştir. Standart, darbe test cihazında bulunması gereken temel elemanları cüsseli bir taban, numune tutucu çene, esnemez bir şasi, rulmanlar, sarkaç, sarkaç yakalama ve serbest bırakma mekanizması ve darbe direncini ölçecek bir mekanizma olarak tanımlamıştır.

Sarkaç, tek veya çift taşıyıcı kollu olabilir. Bir ucu rulmanlar ile şasiye yataklanmış olmalıdır. Diğer ucu ise uygun ağırlıktaki kırıcı çeneyi taşımalıdır. Taşıyıcı kollar titreşim gibi harici unsurlardan etkilenmemeleri için yeterli sertlikte olmalıdır. Sarkacın ucundaki kırıcı çene standartta belirtilen ve uygun toleransta üretilmiş silindirik bir uca sahip olmalıdır. Silindirin çap toleransının yanında yer ile paralelliği, numune ile paralelliği, yer ile mesafesi ve numune ile mesafesi gibi geometrik unsurlar standartta belirtilen ölçülere uygun olmalıdır.

Cihazın tabanı, şasinin, şasiye bağlı ekipmanların, numune tutucu çenenin montajlanacağı taşıyıcı parçadır. Standartta belirtilen şekilde uygun bir kütlede ve uygun dayanımda olmalıdır. Sarkacın hareketleri esnasında esnememelidir.

Rulmanlar, dönen mekanizmalarda kayma sürtünmesini ortadan kaldırarak bir yuvarlanma sürtünmesi meydana getiren, bu sayede sürtünmeden ötürü meydana gelen kayıpları en aza indirgeyen standart makine ekipmanlarıdır [30]. Darbe test cihazında rulmanlar, sarkacın salınım hareketi yapmasına izin verecek, sarkacın şasiye yataklanmasını sağlayacak unsurlar olarak görev alacaktır.

Numune tutucu çene, kullanıcının numuneyi bağladığı ve numuneyi hem ezmeden hem de sarkaç darbesi sırasında yerinden ayrılmadan kalacak şekilde uygun kuvvette tutacak parçalar bütünüdür. Temel ölçüleri standartta tanımlıdır ve kullanıcının zorlanmadan numune montajı yapabilmesine izin veren bir yapıda olmalıdır.

Şasi, tabana bağlanan, cihazın taşıyıcı iskeletini oluşturan temel yapısal unsurdur. Cihazdaki pek çok parça, şasi üzerine montajlanacaktır. Bu yüzden şasi yeteri kadar dayanıklı olmalıdır. Ayrıca, sarkaç salınımı esnasında esnememelidir.

Sarkaç yakalama ve serbest bırakma mekanizması, sarkacın standartta belirlenmiş yüksekliklerde sabitlenmesini ve kullanıcının müdahalesiyle anlık olarak serbest bırakılmasını sağlayacak olan mekanizmadır.

Malzemenin darbe direncini ölçmek için kullanılacak temel parametre, sarkacın numuneyi kırıdıktan sonra ne kadar yükseldiği veya ne açıya ulaştığıdır. Darbe direncinin hesaplanabilmesi için açı veya yükseklik değerinin tayin edilmesi gereklidir. Dönen bir mekanizma olduğu için genellikle açı tayin edilir. Standartta, bu açı tayinin mekanik bir ibre ile veya elektronik bir açıölçer vasıtasıyla yapılması gerektiği belirtilmiştir.

3.1.1 Ön Tasarım

Bölüm 3.1.'de özet olarak bahsedilmiş olan, ASTM D256 ve ISO180 standartlarına uygun ölçüm yapabilecek bir test cihazı için ön tasarım çalışması yapılmıştır. Ön tasarım sürecinde, test cihazında kullanılacak temel parçaların kavramsal tasarım süreçleri tamamlanmış, parçalar prototip hallerinde üç boyutlu tasarım ortamında modellenerek bir adet mekanik olarak ölçüm yapan ve ölçülen değeri mekanik bir ibre ile kullanıcıya veren bir tasarım modeli ve bir adet elektronik olarak ölçüm yapan ve ölçülen değerleri elektronik olarak kullanıcıya veren ön tasarım modeli ortaya çıkartılmıştır.

İlgili ASTM standardında cihazın sahip olması gereken temel ölçüler, uzunluk olarak verilebildiği gibi, tasarıma göre türetilebilecek ölçüler şeklinde de verilmiştir. Örneğin, sarkaç uzunluğunun net ölçüsünü, sarkacın sahip olması gereken enerji ve sarkacın sabitleneceği açı değeri bilgileri de hesaba katılarak belirli bir aralıkta tasarımcının belirlemesine müsaade edilmiştir. Bu ve benzeri ölçüler, kavramsal tasarım sürecinde çeşitli hesaplamalar yapılarak ve üç boyutlu model üzerinde denemeler yaparak büyük ölçüde netleştirilmiştir. Bu şekilde netleştirilen temel ölçüler, iki ön tasarım modeli için de ortak olarak kullanılmıştır.

3.1.1.1 Ön Tasarım 1

Ön Tasarım 1 modeli, sarkaç, şasi, numune tutucu, taban gibi temel ekipmanların yanı sıra, tamamen mekanik olarak ölçüm yapan ve ölçülen değeri bir ibre ve skala üzerinden kullanıcıya yansıtan bir mekanizma ile donatılmıştır. Ön Tasarım 1 modeli ve temel alt parçaları Şekil 3.1 üzerinde gösterilmiştir.

Sarkaç, el ile saat yönünün tersine döndürülür. Sarkaç yakalama / salma mekanizması sarkacı doğru açıda sabitler. Yay etkili olduğu için sarkacı doğru konumda kendi kendine kilitler. Numune tutucunun sıkma topuzu el ile gevşetilir. Yay itkisi ile numune tutma haznesi otomatik olarak açılır. Numune yerine yerleştirilir ve sıkma topuzu çevrilerek numune

A 3D perspective view of a mechanical pendulum clock mechanism. The model is primarily grey and brown. It features a large, curved, semi-circular frame (Sasi) with a series of small holes along its inner edge. A pendulum arm (Sarkaç) is attached to the top of the frame, with a weight (Sarkaç Yakalama / Salma) at the end. A small, circular pendulum bob (İbre) is suspended from the top of the frame. A mechanical linkage (Mekanik Gösterge) is visible, connecting the pendulum to a small, rectangular component (Numune Tutucu) at the base. The entire mechanism is mounted on a wooden base (Taban). Red arrows point from the labels to the corresponding parts of the model.

Rulman Yatakları

Şasi

İbre Yakalayıcı

İbre

Mekanik Gösterge

Numune Tutucu

Sarkaç Yakalama / Salma

Sarkaç

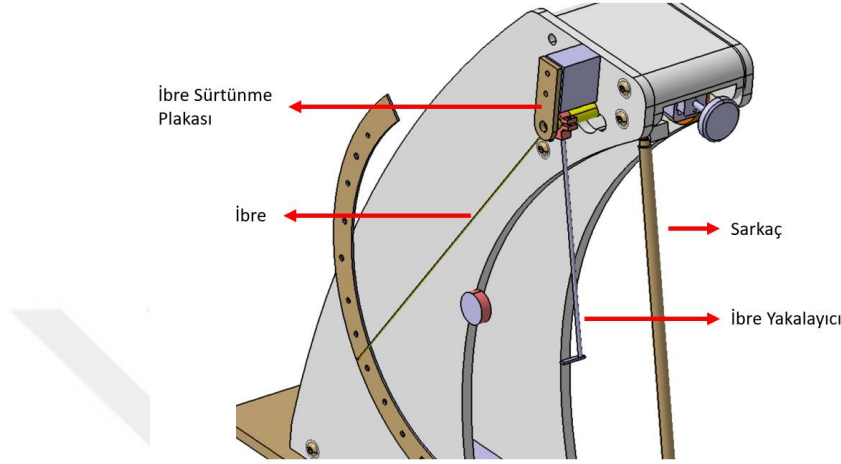
Kırıcı Çene

Taban

ASTM D256 standardında tanımlanan isterlerin en kapsamlıları sarkaca aittir. Sarkacın sahip olması gereken enerji miktarı, sarkacın boyu, sarkacın bir ucunun yataklanma şekli ve diğer ucuna takılı olacak numune kırıcı çenenin özellikleri değerlendirildiğinde ortaya çıkan sarkaç ön tasarımı Şekil 3.2’de gösterilmiştir.

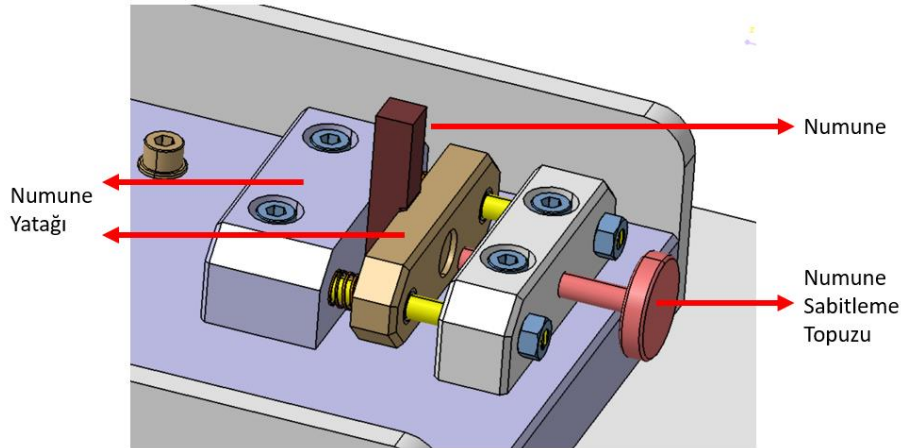


Darbe direncinin tayin edilebilmesi için, yani sarkacın numuneyi kırdıktan sonra ne kadar yükseldiğinin okunabilmesi için tasarımın, sarkaçla beraber hareket eden bir ibre yakalayıcı, kendi sürtünmesi ile gösterge üzerinde geldiği konumda sabit kalabilen bir ibre ve üzerinde açı değerlerinin yazılı olduğu bir göstergeye sahip olması gerekmektedir. Bu mekanizmanın ön tasarım modeli Şekil 3.3'te gösterilmiştir.



Şekil 3.3 İbre mekanizması

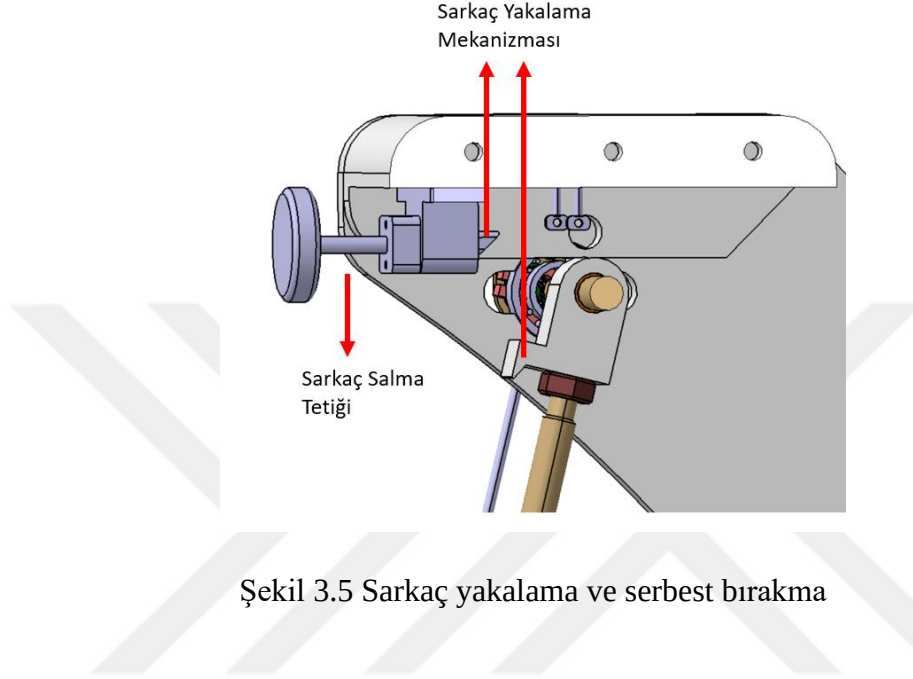
Numuneyi sabitlemek için standartta belirtilen ölçülerde iki plaka arasına sıkıştırılması gereklidir. Numune sabitleme topuzunu sıkmak ve gevşetmek vasıtasıyla numune montajı yapılır. Montajlanmış numune Şekil 3.4'te gösterilmiştir.



Şekil 3.4 Numune tutucu mekanizması

Darbe direnci ölçümünün doğru ve sapmasız yapılabilmesi için sarkacın her testte doğru ve aynı yükseklikte sabitlenebiliyor olması ve bu işlemin insan hatasından arındırılmış olması gerekmektedir. Sarkaç yakalama mekanizması, el ile saat yönünün tersinde döndürülerek

kaldırılan ve konumuna getirilen sarkacı tıpkı bir kapı dili mekanizması gibi yakalar. Yay itki kuvveti ile yakalama dili sarkacı kilitler. Kullanıcı sarkacı bıraktığında sarkaç doğru konumda sabitlenmiş olur. Test başlatılacağına sarkaç salma tetiği kullanılarak sarkaç serbest bırakılır ve testin doğru yükseklikten başlatılması sağlanmış olur. Şekil 3.5'te sarkaç yakalama ve salma mekanizmasına ait ön tasarım detayı gösterilmiştir.



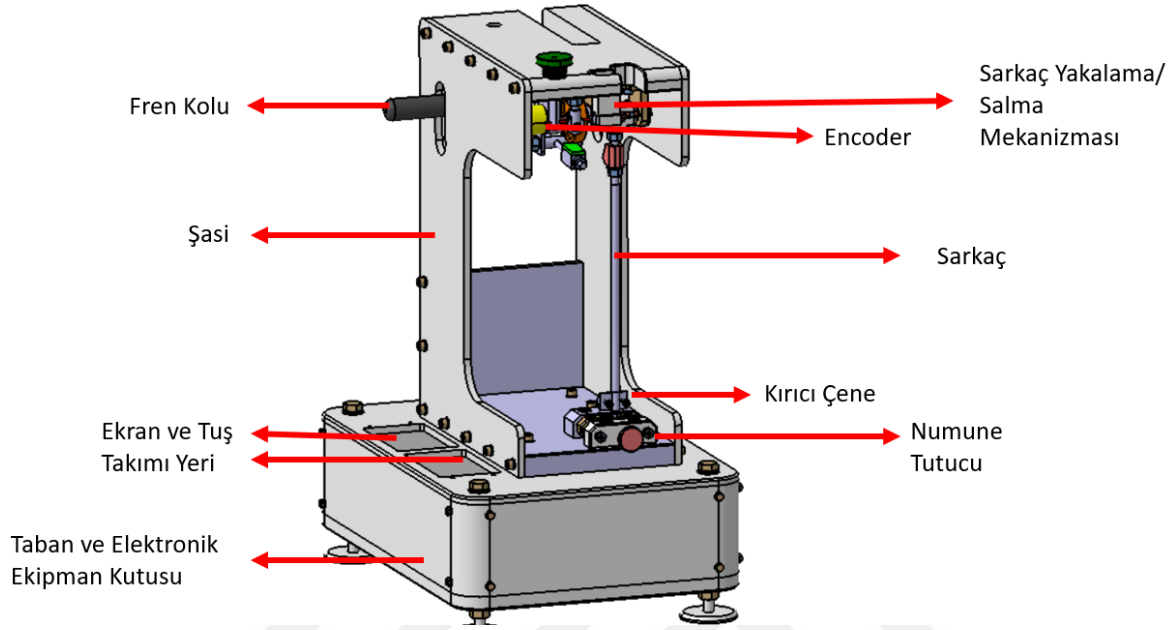
Şekil 3.5 Sarkaç yakalama ve serbest bırakma

3.1.1.2 Ön Tasarım 2

Ön Tasarım 2 modeli, sarkaç, şasi, numune tutucu, taban gibi temel ekipmanların yanı sıra, tamamen elektronik olarak ölçüm yapan ve ölçülen değeri farklı birimlere çevirme kabiliyeti olan bir işlemci üzerinden kullanıcı tarafından talep edilen birimde elektronik bir ekrana yansıtacak sistem ile donatılmıştır. Ön Tasarım 2 modeli ve temel alt parçaları Şekil 3.6 üzerinde gösterilmiştir.

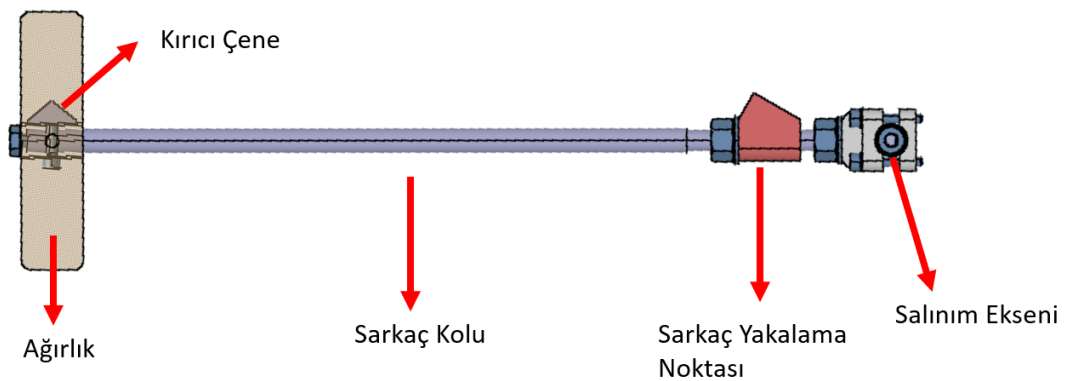
Sarkaç, el ile saat yönünün tersine döndürülür. Sarkaç yakalama / salma mekanizması sarkacı doğru açıda sabitler. Yay etkili olduğu için sarkacı doğru konumda kendi kendine kilitler. Numune tutucunun sıkma topuzu el ile gevşetilir. Yay itkisi ile numune tutma haznesi otomatik olarak açılır. Numune yerine yerleştirilir ve sıkma topuzu çevrilerek numune sabitlenir. Sarkaç yakalama / salma mekanizması tetiğine kullanıcı tarafından basılır. Sarkaç doğru yükseklikten serbest kalır. Yer ile dik konuma geldiğinde numune ile temas eder. Kırıcı çene numuneyi kırar. Sarkaç numuneyi kırdıktan sonra hareketine devam eder. Sarkacın hangi açıya kadar yükseldiği sisteme entegre edilmiş encoder tarafından tayin edilir.

Encoder'den alınan veri işlemcide işlenerek ekrana yansıtılır. Kullanıcı, tuş takımını kullanarak ekrandaki veriyi açı veya enerjinin farklı birimlerinde okuyabilir. Sisteme entegre edilmiş fren mekanizması sayesinde sarkacın gereksiz salınımı anlık olarak durdurularak istenmeyen çarpışmaların önüne geçilmiş olur.



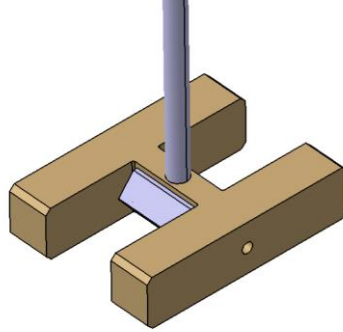
Şekil 3.6 Ön Tasarım 2

Ön Tasarım 2 modelinde de öncelikli olarak sarkaç isterleri değerlendirilmiş ve sarkacın sahip olması gereken enerji, sarkacın boyu gibi unsurlar belirlenmiştir. Bu ön tasarımda, 10,8 J enerji ile serbest kalacak bir sarkaç kullanılmıştır. Bu enerjiyi sağlayabilmek için sarkaç kompleksine ek bir ağırlık eklenmiştir. Ek ağırlık, sistem balansını bozmaması için simetrik olarak tasarlanmıştır. Sarkaç kompleksi ve alt parçaları Şekil 3.7'de gösterilmiştir.



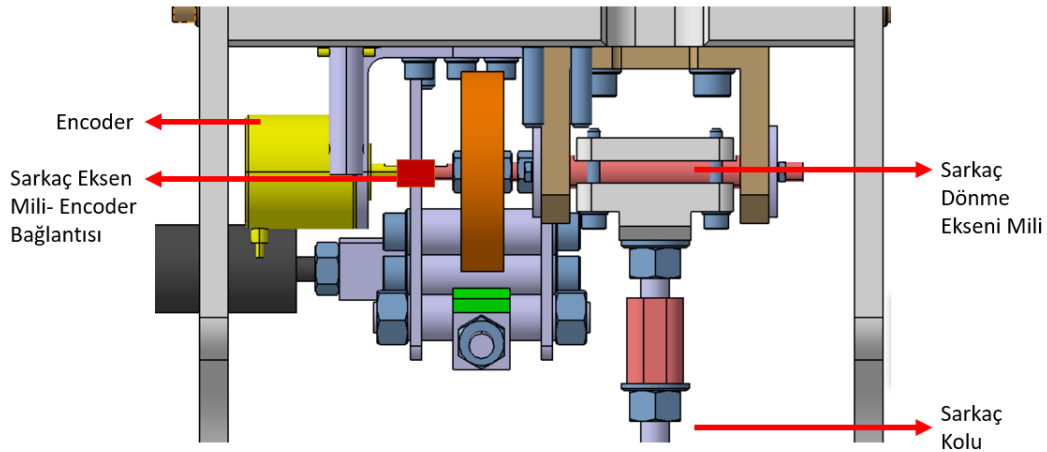
Şekil 3.7 Sarkaç Kompleksi, Ön Tasarım 2

Sarkacı uygun enerjiye (Ön Tasarım 2 için 10,8 J) getirmek için sarkaç kolunun ucuna ağırlık eklenmiştir. Kırıcı çene de bu ağırlığın içine montajlanmıştır. Ağırlık ve kırıcı çene montajı Şekil 3.8’de gösterilmiştir.



Şekil 3.8 Ağırlık ve Kırıcı Çene

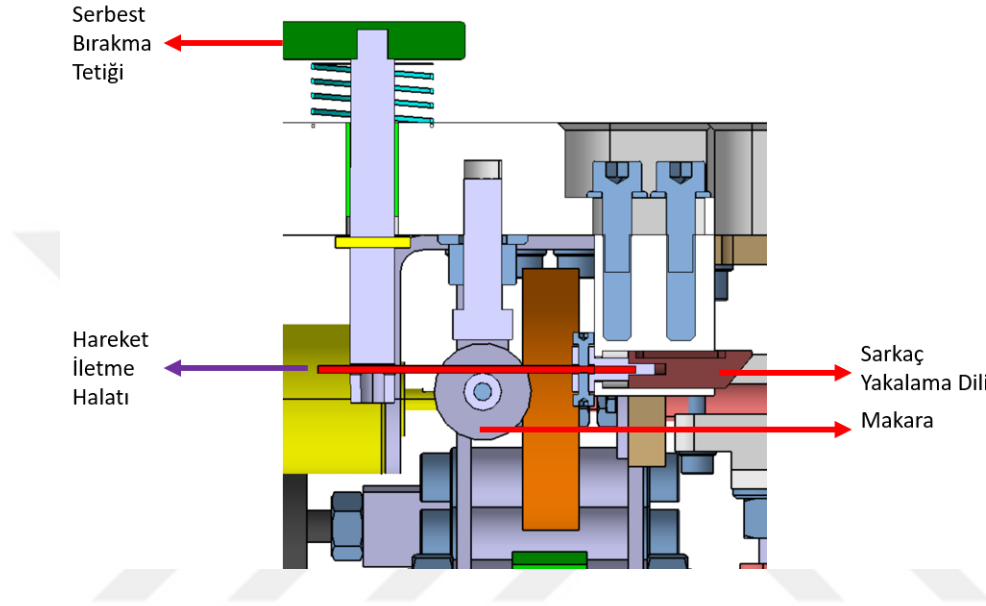
Yüksek çözünürlüklü bir encoder, sarkaç dönme eksenindeki milin uç noktasındaki mil – encoder bağlantı noktasına takılacak olan bağlayıcı eleman ile mile bağlanacaktır. Bu sayede encoder üzerinden sarkaç dönme ekseninde yataklanmış milin, dolayısıyla da sarkacın açısı aktif olarak takip ediliyor olacaktır. Encoderden alınan veriler bir işlemci vasıtasıyla kullanıcının istediği birime dönüştürülerek ekrana yansıtılacaktır. Encoder ile sarkaç açısını okuma mekanizması Şekil 3.9’da gösterilmiştir.



Şekil 3.9 Encoder Bağlantısı

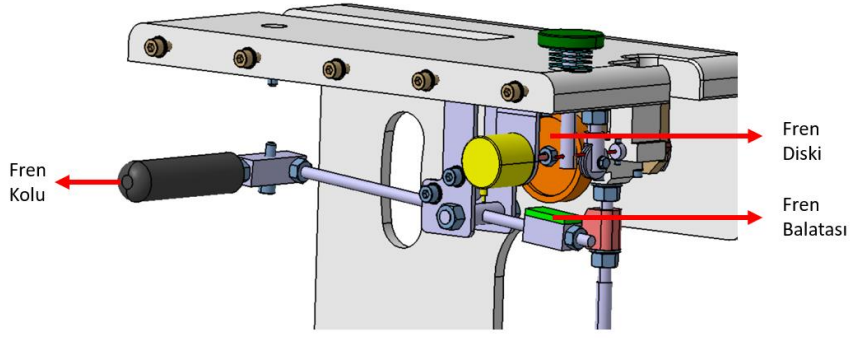
Sarkaç yakalama mekanizması konsept olarak Ön Tasarım 1 ile aynı olsa da yerleşim olarak değiştirilmiş ve sarkacı karşıdan değil de yandan yakalayacak şekilde tasarlanmıştır. Kullanıcı sarkacı el ile saat yönünün tersinde çevirerek yükseltecek ve yakalama yüksekliğine

geldiğinde yakalama mekanizması sarkacı yakalayacaktır. Kullanıcı sarkacı serbest bıraktığında sarkaç doğru yükseklikte kilitli kalacaktır. Kullanım kolaylığı olması açısından sarkaç salma mekanizması tetiği çekme yönünde değil de basma yönünde çalıştırılmıştır. Bunun için bir makara sistemi kullanılmıştır. Sarkaç yakalama ve serbest bırakma mekanizması Şekil 3.10’da detaylı olarak gösterilmiştir.



Şekil 3.10 Sarkaç yakalama ve serbest bırakma mekanizması

Sarkaç, standartta belirtilen enerji aralıklarını sağlamak için değiştirilebilir ağırlıklar vasıtasıyla 4 kilograma kadar ağırlaştırılabilecektir. Yaklaşık 400 milimetrelik ve 4 kg ağırlığında sallanan bir sarkaç istenmeyen yaralanmalara sebep olabilir. Bu yüzden, sarkaç görevini tamamladıktan sonra anlık olarak durdurulabilsin diye sisteme fren mekanizması eklenmiştir. Kullanıcı, görevini tamamladıktan sonra boşa sallanan sarkacı durdurmak için fren kolunu çekerek sarkaç dönme eksenindeki mile bağlı olan diske sürtünme kuvveti uygulamak suretiyle sarkacı durduracaktır. Fren mekanizması Şekil 3.11’de gösterilmiştir.



Şekil 3.11 Fren mekanizması

Numune tutucu mekanizması Ön Tasarım 1 ile aynı konseptte sahiptir. Şekil 3.4'e bakınız.

3.1.1.3 Ön Tasarım Değerlendirmesi

Çalışması yapılmış olan iki ön tasarımdan hangisi ile detay tasarım sürecine devam edileceğine karar vermek için ön tasarımların değerlendirilmesi yapılmıştır. Ön tasarımlar belirlenen kriterler için zayıf, yeterli ve üstün olarak puanlandırılmıştır. Bu değerlendirme sonucuna göre daha üstün olan tasarım ile detay tasarım sürecine devam edilmiştir. Yapılacak değerlendirme için 5 temel kriter belirlenmiştir. Bu kriterler; isterlere uygunluk, kullanım kolaylığı, maliyet, imalata uygunluk ve kalibrasyon / bakım isteri olarak belirlenmiştir.

İsterlere uygunluk kriteri: Tasarım standartta belirtilen isterleri ve genel mühendislik kuralları ile tanımlanmış yazılı / yazısız gereksinimleri karşılamıyor ise zayıf, karşılıyor ise yeterli, isterlerin üstünde bir tasarım ve fonksiyonellik sunuyor ise üstün olarak puanlanmıştır.

Kullanım kolaylığı: Bir ölçüm yapıp sonuç almak için yapılacak işlem sayısı ve yapılan işlemlerin kolaylığı göz önünde bulundurulmuştur. Yapılan ölçüm ve sonucun hesaplanması insan hatasına izin veriyorsa veya çok fazla işlem içeriyorsa zayıf, insan hatası ile ölçüm sonucunda sapma olma olasılığı düşük fakat çok sayıda kullanıcı işlemi gerektiriyor ise yeterli ve az sayıda, insan hatasına kapalı ve kolay kullanıcı işlemi ile sonuç elde edilebiliyorsa üstün olarak puanlanmıştır.

Maliyet: Ürün maliyeti muadil ürünlerin satış fiyatlarından düşük ise üstün, yüksek ise zayıf ve muadil ürün fiyatları ile benzer ise yeterli olarak puanlanmıştır.

İmalat Kolaylığı: Tasarım, Ankara Sanayi Bölgelerinde çokça bulunan ve alternatifi bulunabilecek imalat makinelerinde düşük toleranslı üretime uygunsa üstün olarak

puanlandırılmıştır. Üstün puanlamasında belirtilen kriterlere uygun fakat yüksek toleranslı üretim gerektiriyorsa yeterli olarak puanlandırılmıştır. Üretim için Ankara veya ülke dışı imalat tesislerinin değerlendirilmesi gerekiyorsa veya bir parçanın imalatı için en az üç farklı imalat methodu kullanılması gerekiyorsa zayıf olarak puanlandırılmıştır.

Kalibrasyon/ Bakım İsteri : Yılda 1 kereden fazla kalibrasyon ve bakım gerekliliği ön görülüyorsa zayıf, yılda 1 kere kalibrasyon ve bakım gerekliliği ön görülüyorsa yeterli ve yılda 1 kereden az kalibrasyon ve bakım gerekliliği ön görülüyorsa üstün olarak puanlandırılmıştır.

Tablo 3.1 Ön Tasarım Değerlendirmesi

	Ön Tasarım 1	Ön Tasarım 2
İsterlere Uygunluk	Yeterli	Üstün
Kullanım Kolaylığı	Yeterli	Üstün
Maliyet	Üstün	Yeterli
İmalat Kolaylığı	Üstün	Yeterli
Kalibrasyon ve Bakım isteri	Zayıf	Üstün

Tablo 3.1’de yapılan değerlendirmeye göre Ön Tasarım 1, iki kriter için üstün, iki kriter için yeterli ve bir kriter için zayıf puan almıştır. Ön Tasarım 2 ise üç kriter için üstün ve iki kriter için yeterli puan almıştır. Bu değerlendirmeye göre detay tasarım sürecine Ön Tasarım 2 ile devam edilmesi kararlaştırılmıştır.

3.1.2 Detay Tasarım

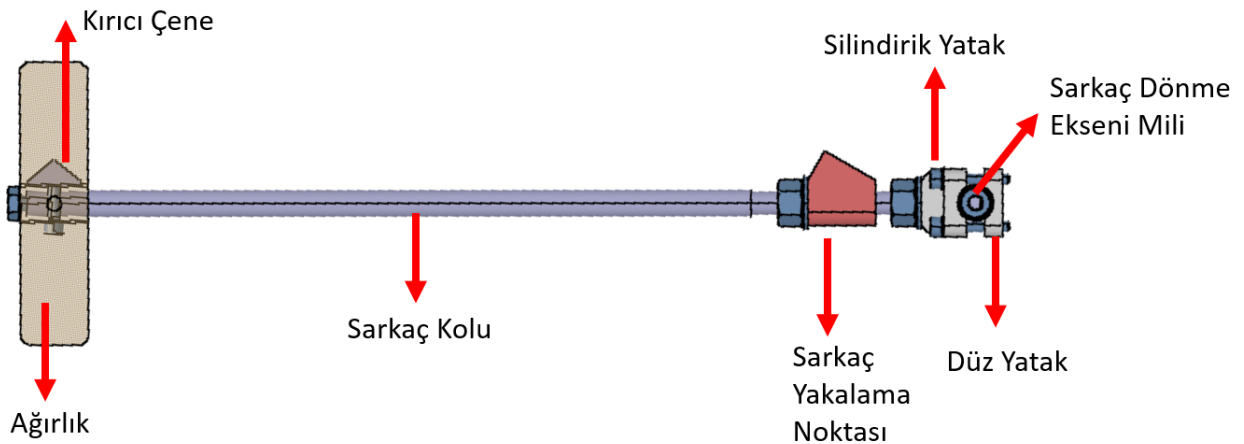
Ön Tasarım sürecinde kavramsal tasarım süreçleri büyük ölçüde tamamlanmış ve prototip olarak modellenmiş tasarım alt parçaları, detay tasarım sürecinde ayrıntılandırılmıştır. Izod Darbe Test Cihazında kullanılacak parçaların ayrıntılandırılması ve üretime hazır modellerin ve teknik resimlerin oluşturulması için DS Catia üç boyutlu tasarım programı kullanılmıştır. Detay tasarım sürecinde, tasarlanan ürünün standart test prosedürlerinde tanımlanmış olan isteri sağlayabilmesi için tasarım süreci, tanımlı isteri karşılanacak şekilde yürütülmüştür.

Izod Darbe Test Cihazının detay tasarımı, sekiz alt sisteme bölünmüştür. Bu alt sistemler sırası ile sarkaç kompleksi, ölçüm ve gösterge mekanizması, sarkaç yataklanması ve rulmanlar, sarkaç yakalama ve serbest bırakma mekanizması, şasi, taban, numune tutucu çene ve fren mekanizmasıdır.

3.1.2.1 Sarkaç Komplexi

Izod Darbe Testi Cihazının en kritik parçalarından olan ve ASTM D256 standardında en çok gereksinimi içeren parçalardan biri olduğu için detay tasarım sürecine de ön tasarım sürecinde olduğu gibi sarkaç tasarımı ile başlanmıştır. İlgili standartta sarkaç kompleksi ve alt parçaları ile ilgili kısıtlamalar tekrar incelenerek sarkaç kompleksi ve alt parçalarının detay tasarımı yapılmıştır.

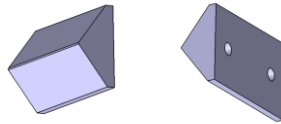
Sarkaç Kompleksi (Şekil 3.12) detay tasarımda yedi temel alt parçanın bir araya getirilmesiyle oluşturulmuştur. Bu alt parçalar kırıcı çene, ağırlık, sarkaç kolu, sarkaç yakalama noktası, silindirik yatak, düz yatak ve sarkaç dönme eksenini mili olarak isimlendirilmiştir. Sarkaç dönme eksenini mili rulmanlar vasıtasıyla sarkaç kompleksini sisteme bağlayan parçadır. Silindirik yatak ve düz yatak parçaları cıvatalar ile birbirlerine çektilirerek sarkaç dönme eksenini miline sabitlenir. Bu iki parça birlikte sarkaç kolunu ve sarkaç koluna bağlı parçaları sarkaç dönme eksenini miline birleştirecek olan parçadır. Sarkaç kolu, silindirik yatak parçasındaki dişli deliğe sıkılır ve kontra somunu ile sabitlenir. Sarkaç yakalama noktası parçası da sarkaç kolu üzerine dişli yapıda döndürülerek takılır ve kontra somunu vasıtasıyla sabitlenir. Bu parçanın görevi sarkaç kurulurken doğru yüksekliğe geldiğinde sarkaç yakalama diline takılarak sarkacın sabit kalmasını sağlamaktır. Sarkacın diğer ucuna ağırlık geçirilir ve sarkacın ucuna atılan cıvata vasıtasıyla sabitlenir. Ağırlık parçasının görevi sarkacın istenilen çarpma enerjisine getirilebilmesidir. Kırıcı çene de ağırlık parçasının içine 2 adet cıvata ile sabitlenir.



Şekil 3.12 Sarkaç Kompleksi, Detay Tasarım

3.1.2.1.1 Kırıcı Çene

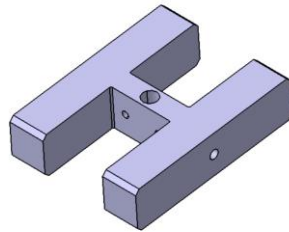
ASTM D256 standardı, numuneye temas ederek kıracak olan parça için belirli kısıtlamalar getirmiştir. Bu parçanın numune ile temas edecek kısmı 0.8 ± 0.2 mm yarıçapında silindirik bir yüzey olmalıdır. Malzemesi sertleştirilmiş çelik olmalıdır. Ayrıca numune üzerindeki çentiğe 22 ± 0.05 mm mesafeden numuneye vurarak numuneyi kırmalıdır. Kırıcı çene tasarımı ve kırıcı çenenin sarkaç kompleksine montajı bu kriterler göz önünde bulundurularak yapılmıştır.



Şekil 3.13 Kırıcı Çene

3.1.2.1.2 Ağırlık

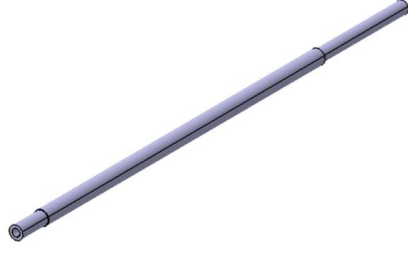
ASTM D256 standardı, 2,7 J, 5,4 J, 10,8 J ve 21,7 J enerji ile serbest bırakılabilecek dört farklı sarkaç kullanılarak plastiklerin çoğunun test edilebileceğini belirtmektedir. Detay tasarım sürecinde kullanılan ağırlık, 10,8 J'e eşit enerji ile serbest bırakılacak bir sarkaç ortaya çıkarmaktadır. Ayrıca ağırlığın 2 yanına bırakılan dişli delikler sayesinde sarkaç enerjisini 21,7 J'e yükseltmek için yeni ağırlık eklemesi yapılabilecektir.



Şekil 3.14 Ağırlık

3.1.2.1.3 Sarkaç Kolu

Sarkaç kolunun salınım ve numune kırma esnasında oluşabilecek titreşimlerden etkilenmemesi için sarkaç kolu 12 mm çapında sertleştirilmiş çelik malzeme olarak tasarlanmıştır. Sarkaç kolunun bir ucu ağırlık ve kırıcı çene montajı yapılacak şekilde, diğer ucu da silindirik yatak parçası içine montajlanacak şekilde tasarlanmıştır.



Şekil 3.15 Sarkaç Kolu

3.1.2.1.4 Sarkaç Yakalama Noktası

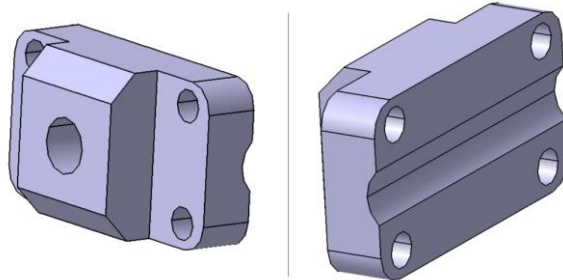
Sarkacın istenilen enerjiyi sağlayacak yükseklikte sabit tutulabilmesi için şasiye bağlı bir parça tarafından tutulması gerekmektedir. Sarkacın bu görevini yerine getirebilmesi için şasiye bağlı parçaya asılı kalmak suretiyle sarkacı istenilen yükseklikte kilitleyecek bir sarkaç yakalama noktası parçası tasarlanmıştır. İç kısmı dişli olan bu parça sarkaç üzerindeki dişte döndürülerek uygun yüksekliğe getirilecek ve kontra somunu sıkılarak istenilen yerde sabitlenecektir.



Şekil 3.16 Sarkaç Yakalama Noktası

3.1.2.1.5 Silindirik Yatak

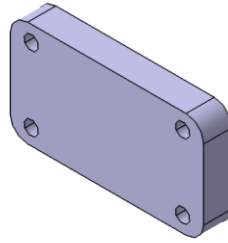
Bir tarafı dişli delik diğer tarafı ise silindirik bir yatak olan bu parçanın 2 görevi vardır. İlk görevi dişli delik tarafından takılan erkek sarkaç ucunu taşımak, diğer görevi ise düz yatak ile beraber sarkaç dönme eksenini miline sarılarak sarkacın sabitlenmesini sağlamaktır.



Şekil 3.17 Silindirik yatak

3.1.2.1.6 Düz Yatak

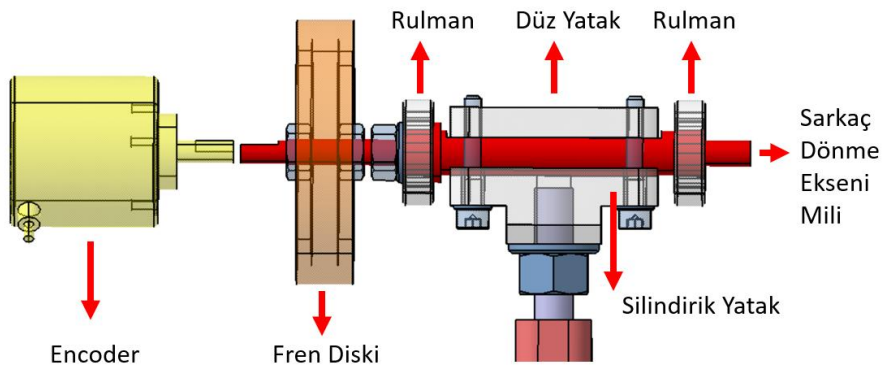
Silindirik yatak ile beraber çalışarak sarkaç dönme eksenini milini sıkıştırıp sarkacın montajlanmasını sağlayan parçalardan biridir. Bu yatakta silindirik bir kanal açılmamıştır. Bunun yerine silindirik dönme eksenini mili üzerinde bu parçaya karşılık gelen bölge tıraşlanarak düzleştirilmiştir. Bu şekilde düz bir yataklama parçası tasarlanmasının sebebi sarkacın numuneye vurması esnasında oluşacak kuvvetlerden ötürü yataklama parçalarının silindirik dönme eksenini mili etrafında dönme hareketlerini engelleyebilmektir.



Şekil 3.18 Düz yatak

3.1.2.1.7 Sarkaç Dönme Eksenini Mili

Sarkaç Dönme eksenini mili sarkacın dönme hareketinin merkezindeki mildir. Silindirik yatak ve düz yatak parçaları 4 adet cıvata ile birbirine çektilmesi suretiyle bu mil üzerine montajlanır. Bu yataklama parçalarına uygun arayüzleri kendi üzerinde barındırır. Sarkaç kompleksinin sisteme montajlanabilmesi için kullanılan 2 adet rulmanın iç bilezikleri bu parça üzerine oturur. Bu milin bir ucu, fren mekanizmasının diskini taşıması için uzatılmıştır. Fren diski dişli yapıdaki mile takıldıktan sonra kontra somun vasıtasıyla mile sabitlenmektedir. Bu uzantının devamı ise encoder bağlantısının yapılabilmesi için inceltilmiş ve D profil olacak şekilde tıraşlanmıştır. Sarkaç dönme eksenini mili ve mil ile arayüzü olan parçalar, Şekil 3.19'da gösterilmiştir.



Şekil 3.19 Sarkaç dönme eksenini mili ve bağlı parçalar

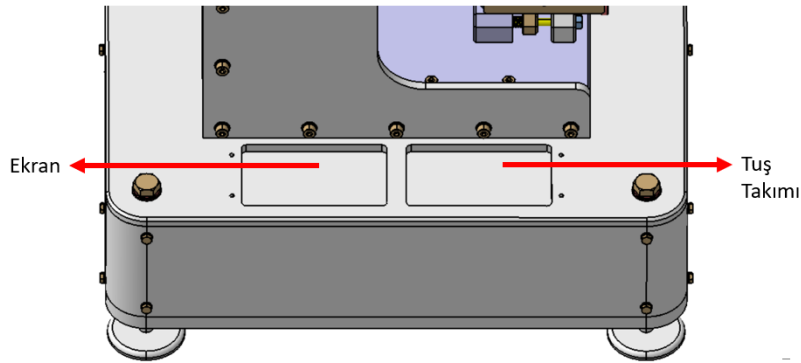
3.1.2.2 Ölçüm ve Gösterge Mekanizması

Ölçüm mekanizması bir adet encoder ve onu sarkaç dönme eksenine miline bağlayan bir bağlantı parçasından oluşmaktadır. (Şekil 3.20) Encoder eksenine Sarkaç Dönme Eksenine Miline eş olacak şekilde yerleştirilmiştir (Şekil 3.19) ve arada kullanılacak olan bağlantı parçası ile encoder şaftı ve sarkaç dönme eksenine mili beraber dönecektir. Bu sayede sarkacın açısı anlık olarak okunabilecektir.



Şekil 3.20 Encoder ve Elastik Bağlantı Kaplini [31]

Ölçüm işlemine başlamadan önce kullanıcıdan tuş takımı vasıtasıyla giriş yapması istenecektir. Sonucun açı mı yoksa enerji mi olarak ekrana yansıtılacağı, biriminin ne olacağı kullanıcı tarafından belirlenecektir. Bir işlemci vasıtasıyla alınan değerler işlenecek ve ekranda yansıtılacaktır. Ekran ve tuş takımının cihaz üzerinde konumlandırılacağı yerler Şekil 3.21’de gösterilmiştir. Ekran ve tuş takımı olarak seçilmiş ürünler de Şekil 3.22’de gösterilmiştir.



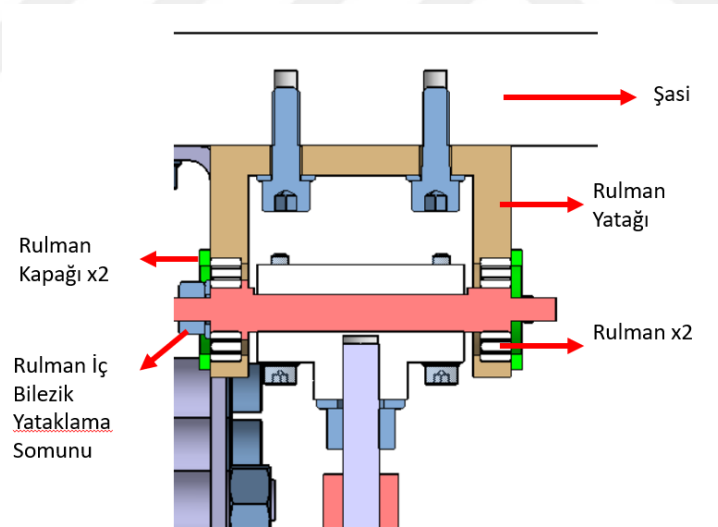
Şekil 3.21 Ekran ve Tuş Takımı Arayüzü



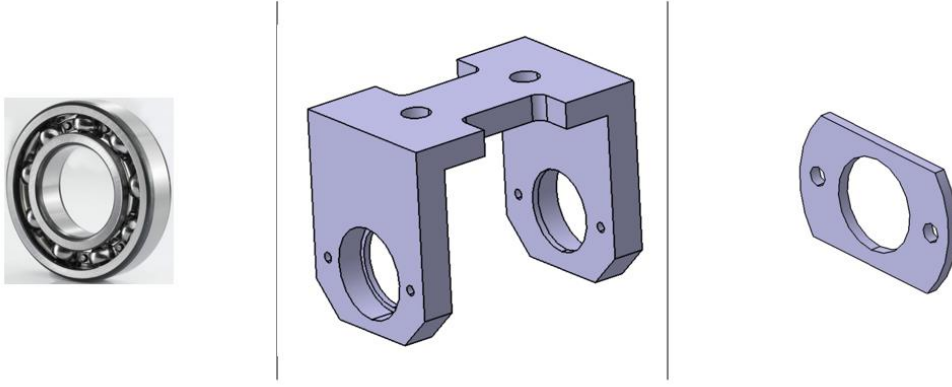
Şekil 3.22 Ekran ve tuş takımı [32]

3.1.2.3 Sarkaç Yataklanması ve Rulmanlar

Sarkaç, sarkaç dönme eksenini mil üzerine takılan 2 adet sabit bilyalı rulman vasıtasıyla şasiye montajlanan rulman yatağı parçasına yataklanmıştır. İki rulmanın da dış bilezikleri bir taraftan rulman yatağı parçasının rulman boşluklarının sonundaki kademeden tutulurken diğer taraftan rulman kapağı isimli parçalar ile tutulmaktadır. Bir rulmanın iç bileziği bir taraftan sarkaç dönme eksenini mil üzerine bırakılmış olan kademeye dayanırken diğer taraftan da rulman iç bilezik yataklama somunu ve aradaki pul vasıtasıyla sınırlandırılmıştır. Diğer rulmanın iç bileziği kasılmaları engellemek için serbest bırakılmıştır. Sisteme ait kesit görünüşü Şekil 3.23'te sistemin alt parçaları ise Şekil 3.24'te gösterilmiştir.



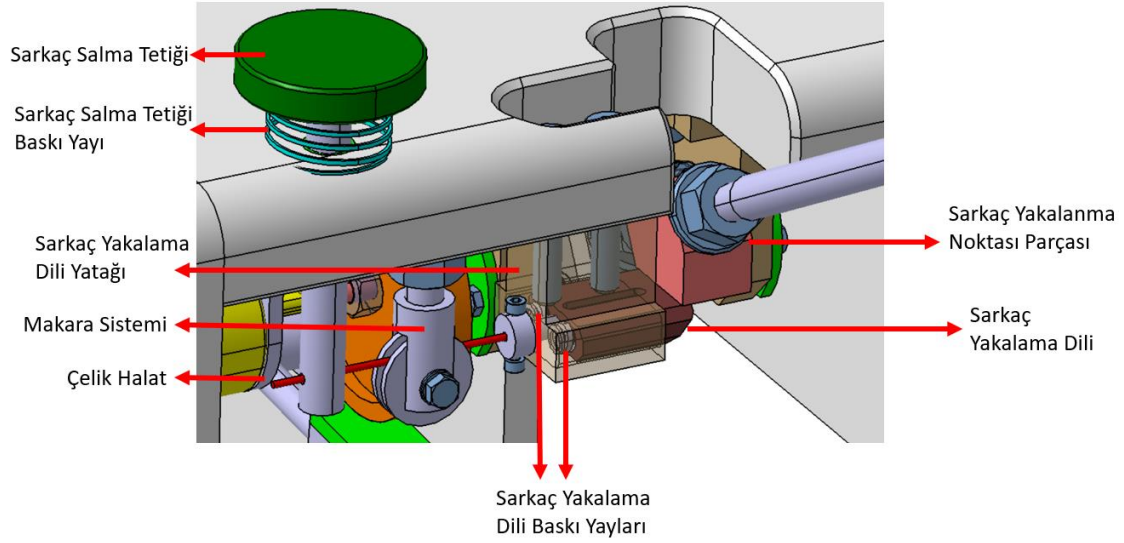
Şekil 3.23 Sarkaç yataklanması



Şekil 3.24 Sarkaç yataklama alt parçaları [33]

3.1.2.4 Sarkaç Yakalama ve Serbest Bırakma Mekanizması

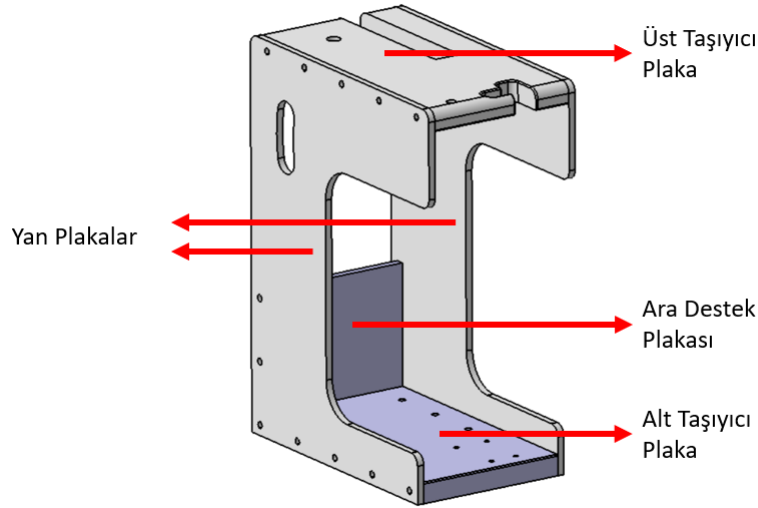
Sarkaç yakalama ve serbest bırakma mekanizması için ASTM D256 ve ISO180 standartlarında tanımlanmış bir prosedür yoktur. Bu mekanizma tasarımı için 2 temel kriter belirlenmiştir. Birincisi sarkacın her test için aynı ve doğru yükseklikte yakalanmasının sağlanmasıdır. İkinci kriter ise kullanım kolaylığıdır. Yaklaşık 4 kilograama kadar çıkabilecek sarkaç ağırlığını elle kaldırması gereken kullanıcı için pratik bir sistem tasarlanması gerekliliği değerlendirilmiş ve sarkaç yakalama mekanizması otomatikleştirilmiştir. Kapı dili mekanizması örnek alınarak yapılan bu mekanizmada, kullanıcı sarkacı kilit mekanizmasına kadar kaldırdığında sarkaç yakalama dilinin açılı yapısı sarkacın uygun konuma yükselmesine izin verirken bu konumdan geri dönmesine izin vermeyecektir. Bu, sarkaç yakalama dilinin arkasındaki sarkaç yakalama dili baskı yaylarının, sarkaç kurulurken sıkışarak dilin geri gelmesine izin vermesi ve sarkaç yeterli yüksekliğe geldikten sonra ise serbest kalarak dili kilit konumuna itmeleri ile sağlanacaktır. Kullanıcı sarkaç salma tetiğine bastığında sarkaç yakalama dili geri gelmek suretiyle sarkacı serbest bırakılabilecektir. Serbest bırakma işleminde hareketin aktarılması için çelik halat ve makara sistemi kullanılmıştır. Sarkaç yakalama ve serbest bırakma mekanizması Şekil 3.25'te gösterilmiştir.



Şekil 3.25 Sarkaç yakalama ve serbest bırakma mekanizması

3.1.2.5 Şasi

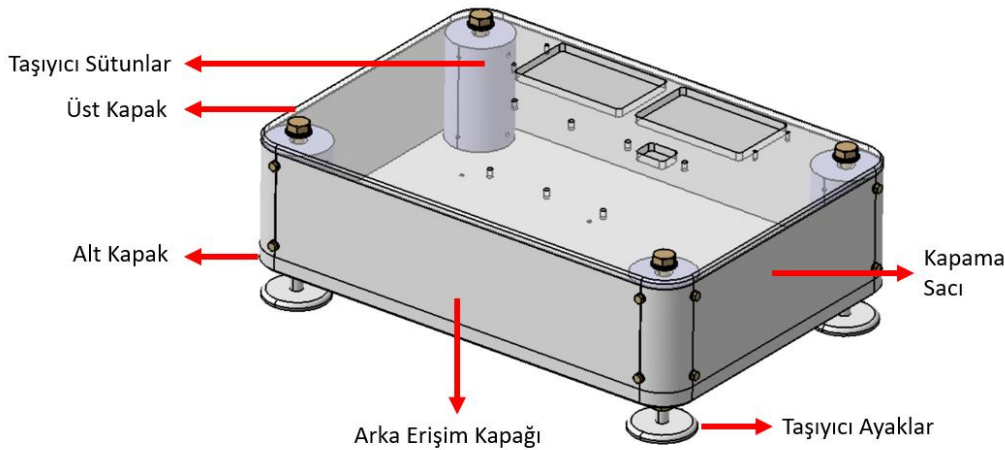
Şasi, tabana bağlanan ve diğer tüm alt sistemleri taşıyan cihazın genel görünümünü oluşturan taşıyıcı ve birleştirici yapısal parçalar bütünüdür. Toplam ağırlığı 160 kg'a kadar çıkabilecek olan test cihazında, üzerine binene statik yükleri ve sarkaç hareketleri sırasında oluşacak dinamik yükleri karşılayabilmesi için kalın çelik plakaların cıvatalar ile bir araya getirilmesi ile oluşturulmuştur. Şasinin farklı noktalarında, diğer alt sistemlerin parçalarının montajlanabilmesi için delikler ve dişli delikler bulunmaktadır. Alt taşıyıcı plaka, şasinin taban plakasına montajının sağlandığı, numune tutucu çene mekanizmasının takıldığı ve yan taşıyıcı plakaların bağlandığı parçadır. Yan plakalar cihazın yüksekliğini belirleyen ve alt taşıyıcı plaka ile üst taşıyıcı plakayı birbirine bağlayan parçalardır. Üst taşıyıcı plaka ise rulman yataklama parçası vasıtasıyla sarkaç kompleksinin, sarkaç yakalama mekanizmasının, fren mekanizmasının ve ölçüm mekanizmasının bağlandığı işlenmiş plakadır. Ara destek plakasının görevi ise yanal yüklere karşı test cihazının direncini arttırmaktır. Şasinin genel görünüşü Şekil 3.26'da gösterilmiştir.



Şekil 3.26 Şasi kompleksi

3.1.2.6 Taban

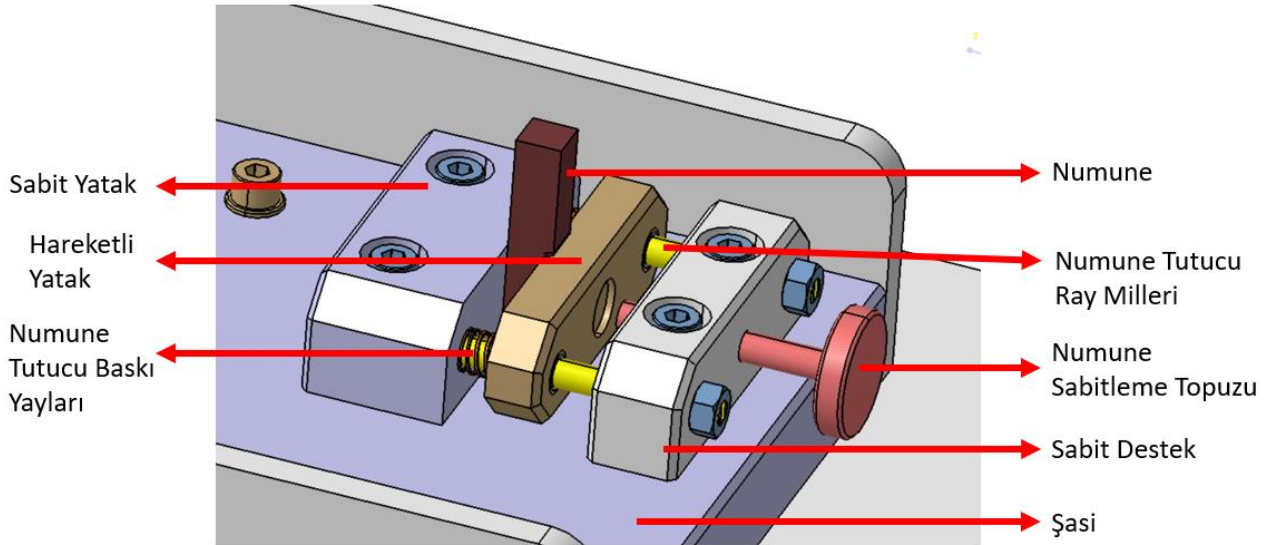
Taban montajının iki görevi vardır. İlk görevi taşıyıcı ayaklar, taşıyıcı sütunlar, alt ve üst kapaklar vasıtasıyla yeterli ağırlıkta, sağlamlıkta ve dengede bir temel oluşturarak test cihazının ölçümlerinin stabil ve tutarlı olmasını sağlayacak bir montaj zemini oluşturmaktır. Üst kapak üzerindeki dişli delikler vasıtasıyla şasi kompleksi taban kompleksinin alt parçası olan üst kapak parçasına montajlanır. Taban montajının ikinci görevi ise ekran ve tuş takımının montaj arayüzünü oluşturmak ve kullanıcı tarafından görülmemesi gereken tüm elektronik ekipmanları içinde barındırmaktır. Taban kompleksinin üstünde 2 adet erişim kapağı vardır. Montaj esnasında ve arıza durumunda bu erişim kapakları vasıtasıyla elektronik ekipmanlara erişim mümkün olacaktır. Taban kompleksi genel görünüşü Şekil 3.27’de gösterilmiştir.



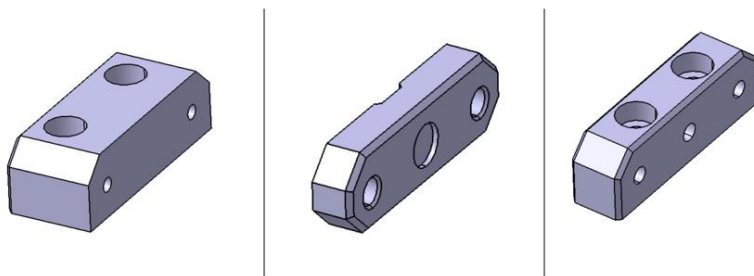
Şekil 3.27 Taban kompleksi

3.1.2.7 Numune Tutucu Mekanizması

Numune tutucu mekanizması numunenin doğru şekilde montajlanabilmesi için standartta belirtilen tasarım kriterlerine göre tasarlanmıştır. Numunenin iki yandan gelen yataklar tarafından uygun kuvvetle sıkılarak montajlanması gerekmektedir. Numunenin çentik merkezi ile sabit ve hareketli yatak parçalarının üst yüzeyleri aynı seviyede olmalıdır. Hareketli yatak ve sabit yatak parçaları, numunenin iki taraftan yataklanmasını sağlayan parçalardır. Hareketli yatak parçası, sabit yatak ve sabit destek isimli parçalar arasına yataklanmış 2 adet mil üzerinde kayarak hareket edebilmektedir. Numune sabitleme topuzu, sabit destek parçasının içindeki dişli delikte döndürülmek suretiyle hareketli yatağı yönlendirir. Numune sabitleme topuzu sıkıldığında hareketli yatak parçasını itmek suretiyle numuneyi sıkıştırır. Numune sabitleme topuzu gevşetildiğinde ise numune tutucu ray milleri üzerindeki numune tutucu baskı yayları hareketli yatak parçasını geri iterek numunenin serbest kalmasını sağlar. Numune tutucu mekanizması Şekil 3.28’de gösterilmiştir. Numune ve numune tutucu mekanizması alt parçaları ise Şekil 3.29’da gösterilmiştir.



Şekil 3.28 Numune Tutucu



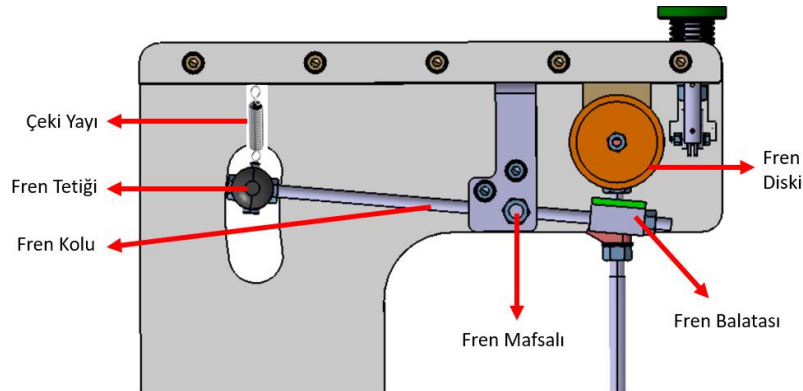


Şekil 3.29 Numune tutucu alt parçaları

3.1.2.8 Fren Mekanizması

Numune kırılıp sarkaç ters yönde çıkabildiği en fazla yüksekliğe ulaştığında test tamamlanmış olacaktır. Bu işlemlerden sonra sarkacın hızlıca durdurulabiliyor olması, cihazın gereksiz yere dinamik olarak yüklenmesini engelleyecek, art arda yapılacak olan testlerde iki test arasında sarkaç durması için beklenecek süreyi ortadan kaldıracak ve en önemlisi de kullanıcı tarafından el ile müdahaleye gerek bırakmadan güvenli bir şekilde cihazı yeni bir test için hazır hale getirebiliyor olmasını sağlayacaktır.

Fren koluna bağlı bir çeki yayı, freni sürekli serbest konumda tutacaktır. Kullanıcı sarkacı durdurmak istediğinde fren tetiğini aşağı yönde asılacak, fren mafsalı sayesinde fren kolu bu hareketi fren balatasına ileticek, fren balatası da fren diskine sürtünerek durmasını sağlayacaktır. Fren mekanizması Şekil 3.30’da gösterilmiştir.



Şekil 3.30 Fren mekanizması

3.2 Izod Darbe Mukavemeti Testi Cihazının Doğrulanması ve Kalibrasyonu

Izod darbe testi cihazının kalibrasyonu için bazı parametreler tanımlanmıştır. Bu parametrelerden bazıları cihaz üzerinde bazı ölçülerin doğrulanması, bazıları paralellik veya diklik gibi geometrik unsurların doğrulanması ve bazıları da cihaz ile yapılacak dinamik testler ve bu testlere istinaden yapılacak hesaplamalardan oluşmaktadır.

- a) Cihaz, sağlam bir zemine oturtulmalıdır. Cihaz, zemin üzerinde hareket etmemeli ve zemini titretmemelidir. Eğer 2.7J veya daha yüksek kapasiteli bir sarkaç ile test yapılacaksa, en az 23 kg ağırlığında bir kütleyle cıvatalar ile bağlanmalıdır.
- b) Su terazisi ile cihaz tabanı iki yönde de kontrol edilmelidir. Cihaz, sarkaç hareket düzlemine göre $\tan^{-1} 0.001$ ve sarkaç hareket düzlemine dik olan eksene $\tan^{-1} 0.002$ ölçüsünün içinde olmalıdır.
- c) Mastar, boşluk ölçeği veya derinlik ölçeği kullanarak numune tutucu mekanizmasındaki hareketli çenenin sabit çeneye göre yüksekliği ölçülmelidir. İzin verilen yükseklik farkı 0,08 mm'dir.
- d) Kırıcı çenenin ucunun $0,80 \pm 0,20$ mm olarak üretildiğini teyit eden bir uygunluk belgesi üreticiden alınmalıdır.
- e) Kırıcı çenenin enine ekseninin, numune tutucu mekanizması merkezi ile mesafesinin en fazla 0,40 mm olduğu doğrulanmalıdır.
- f) Sarkaç kolunun doğrusallık sapmasının 1.2 mm veya daha az olduğu doğrulanmalıdır.
- g) $12.7 \times 12.7 \times 60$ mm ölçülerindeki metal bir numune, numune tutucu mekanizmasına bağlanmalıdır. Numunenin dikeyde her iki yönde de $\tan^{-1} 0.005$ toleransının içinde durduğu doğrulanmalıdır.
- h) Önceki adımda bağlanan metal test numunesi sökülmeden bu adım gerçekleştirilmelidir. Kırıcı çene ucu, iz bırakabilecek bir yağ ile yağlanmalıdır. Sarkaç serbest bırakılmalı ve numuneye serbestçe dokunması sağlanmalıdır. Kırıcı çene ucundaki yağın, numune üzerinde boydan boya bir çizgi halinde iz bıraktığı doğrulanmalıdır. Eğer noktasal bir iz bıraktıysa, sorunun nedeni araştırılmalı ve düzeltilmelidir.
- i) Bir önceki adımda numune üzerine çıkartılan yağ çizgisinin yatayla $\tan^{-1} 0.002$ toleransı içinde konumlandığı doğrulanmalıdır.
- j) Yine numune üzerine çıkarılan yağ çizgisi kullanılarak, numune tutucu mekanizması üst yüzeyi ile yağ çizgisi arası mesafenin $22 \pm 0,05$ mm olduğu doğrulanmalıdır.

- k) Aynı metal numune yine numune tutucu mekanizmasına bağlanmalıdır. Kırıcı çene ucu, metal numuneye dokunurken ibrede okunan değerin, okunabilecek maksimum değerin %0,02'sinden daha az olduğu doğrulanmalıdır.
- l) Sarkaç yatay pozisyona gelene kadar kaldırılmalı ve yatay konumda bir ucu kırıcı çeneye temas edecek, diğer ucu bir ağırlık ölçüm mekanizmasına basacak şekilde konumlandırılmış bir destek parçası ile sabitlenmelidir. Destek parçasının ağırlığı işlemiden çıkartılarak sarkacın efektif ağırlığı tespit edilmelidir. Okunan değer, kullanılan sarkaç kapasitesi için gerekli olan ağırlık değerinin %0,4 toleransla içinde olmalıdır.
- m) Sarkacın efektif uzunluğunu eşitlik 3.1 kullanılarak doğrulanmalıdır.

$$L = \left(\frac{g}{4\pi^2} \right) p^2 \quad (3.1)$$

- n) Sarkaç, gerekli yüksekliğe yükseltip kurulduğunda kırıcı çenenin konumu ile kırıcı çenenin dikeyde en alt pozisyonda olduğu konumu arasındaki dikey ölçünün $610 \pm 2 \text{ mm}$ olduğunu doğrulanmalıdır.
- o) Eğer sürtünmeli mekanik bir ibre kullanılıyorsa, ibrenin sürtünmesi, skalanın herhangi bir yerinde ibreyi sabitleyebilecek kadar yeterli olmalıdır.
- p) Numune kullanılmadan yapılan serbest testte, sarkaç kapasitesinin en fazla %2,5'i kadar kayıp olduğu doğrulanmalıdır.
- q) Sarkaç dönme eksenini milî radyal boşluğu $0,05 \text{ mm}$ 'den az olmalıdır.
- r) Numune tutucu mekanizmasının numuneyi tutan yüzeylerinin yatay ve dikeyde $0,025 \text{ mm}$ toleransının içinde kalacak şekilde paralel olduğu doğrulanmalıdır.
- s) Numune tutucu mekanizmasının üst kenarları $0,25 \pm 0,12 \text{ mm}$ 'lik yarıçap ile yumuşatılmış olmalıdır.
- t) Cihaz, pendulum kapasitesinin %85'inden daha fazla darbe mukavemetine sahip numuneleri kırmak için kullanılmamalıdır. Bu değer doğrulanmalıdır.
- u) Izod darbe test cihazı, sarkacın başlangıç enerjisi ve son enerjisi arasındaki farkı tespit ederek ölçüm yapan bir cihazdır. Başlangıç enerjisi ve son durumdaki enerji farkından, test numunesini kırmak için ne kadar enerji sarf edildiği hesaplanır.

Numunenin kırılma enerjisinin yanı sıra, rulman sürtünmeleri ve sarkaca etkiyen hava direnci de sarkacın enerji kaybetmesine sebep olacak iki temel unsurdur. Bu noktada, numunenin kırılma enerjisi, rüzgâr direnci ve sürtünmeler kaynaklı enerji kayıplarından ayırt edilmelidir. Cihazdaki hava direnci ve sürtünme kayıpları eşitlik

3.2 kullanılarak doğrulanmalı ve cihaz buna göre kalibre edilmelidir. Bunla ilgili detaylı bilgi 4. bölümde anlatılacaktır.

$$E_{TC} = (E_A - (E_B/2))(\beta/\beta_{max}) + E_B/2 \quad (3.2)$$

3.3 Test Numunelerinin Hazırlanması

Bu tez çalışmasında, geliştirilen çarpma mukavemeti cihazının doğrulanması için yerli ve yabancı polimer üreticilerinden veya son kullanıcılardan temin edilen PA6, cam elyaf katkılı PA6 ve PA66 ,POM ve PMMA malzemeler kullanılarak darbe mukavemeti testleri yapılmıştır. Sonuçlar karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiş ve cihazın doğrulanması yapılmıştır. Yurt içindeki tedarikçilerden ve yurt dışındaki üreticilerden temin edilen ve doğrulama çalışmalarında kullanılan tüm termoplastik malzemelerin isimleri, üretici firması ve ticari kodları Tablo 3.2 Tezde doğrulama çalışmalarında kullanılan tüm plastik malzemelerin isimleri, üretici firması ve ticari kodları verilmiştir.

Tablo 3.2 Tezde doğrulama çalışmalarında kullanılan tüm plastik malzemelerin isimleri, üretici firması ve ticari kodları

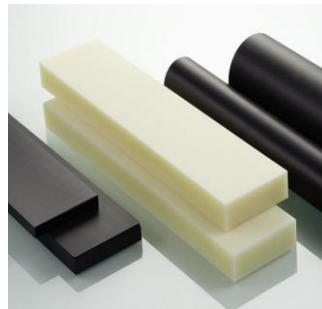
Tezde Kullanılan Kısaltma	Üretici Firma	Ürün Kodu
Tisan PA6	Tisan	TİSLAMİD 6 GF 30 UV NC M01000618
Politem PA6	Politem	RUGOPA® M60 007 BK61 1101
Ensinger PA6	Ensinger	TECAMID 6 GF30
Lati PA66	Lati	LATILUB 66-01M G/30
Ankara Bronz PA6	Üretici firma bilinmemektedir	Ürün kodu bilinmemektedir.
Tisan POM	Tisan	TİSAFORM M12000010
Politem POM	Politem	JURAPOM® X62 001 NC00 4023
Smart Sistem POM	Üretici firma bilinmemektedir	Ürün kodu bilinmemektedir.
Lati POM	Lati	LATILUB 73/13-20T
Anadolu Pleksi PMMA	Üretici firma bilinmemektedir	Ürün kodu bilinmemektedir.

Cihazın doğrulanmasında kullanılan PA6, PA66, POM ve PMMA test numuneleri enjeksiyon yöntemiyle ve basınçla kalıplama yöntemiyle hazırlanmıştır. Enjeksiyonla kalıplanmış örnekler doğrudan polimer üreticisi firmalardan temin edilmiştir. Sıcak preste basınçla kalıplanmış örnekler ise Şekil 3.31 Brabender Polystat200T hidrolik pres verilen Brebender Polystat200T hidrolik pres kullanılarak hazırlanmıştır.



Şekil 3.31 Brabender Polystat200T hidrolik pres

Cihazın doğrulamalarında kullanılmak üzere Ankara Bronz firmasından temin edilen PA6 plakaları önce uygun ölçülerde kestirilmiştir (Şekil 3.32). Uygun ölçülerde kestirilen PA6 çubuklar, hassas işleme için CNC Freze tezgahlarında işlenmiş, ISO ve ASTM standartlarına uygun numuneler haline getirilmiştir. Ayrıca, yine ekstrüzyon ile üretilmiş plakalardan, lazer kesim ile uygun ölçülerde numune kesimi yapılmıştır. (Şekil 3.33)



Şekil 3.32 PA6 Plakalardan Kesilmiş Parçalar [34]



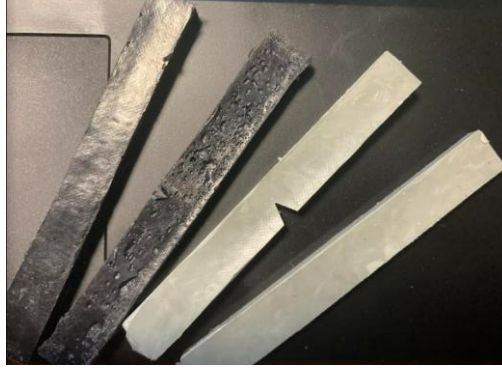
Şekil 3.33 CNC Freze ile İşlenmiş ve Lazer Kesim ile Hazırlanmış Numuneler

Sıcak pres tekniği ile test numuneleri üretici firmalardan temin edilen granül formundaki plastikler kullanılarak hazırlanmıştır. ISO standartlarına ve ASTM standardına uygun olacak şekilde 2 farklı kalıp hazırlanmıştır. ISO standardına uygun olarak üretilen kalıp, Şekil 3.34 'te gösterilmiştir.



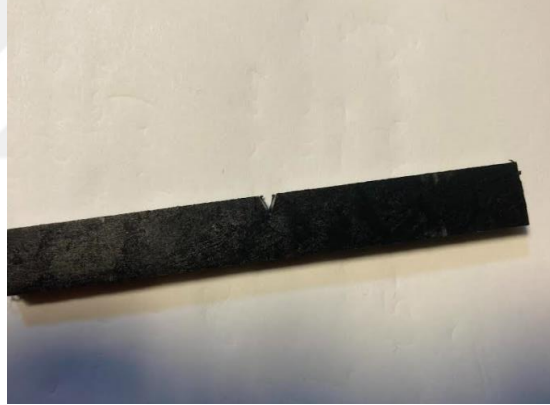
Şekil 3.34 Basınçla Kalıplama İşleminde Kullanılan Kalıp (ISO 180)

Granüller kalıplara dökülerek 200-250°C sıcaklıkta basınç altında kalıplanmıştır. Kalıp ile şekillendirilen test numuneleri, gerekli ise ISO ve ASTM standardına uygun şekilde çentiklenmiş veya çentiksiz olarak test edilmesi için uygun şekilde temizlenmiştir. (Şekil 3.35)



Şekil 3.35 Basınçla Kalıplama Yöntemi ile Üretilen Numuneler

Numunelerin üretilmesi için kullanılan üçüncü yöntem enjeksiyon kalıplamadır. Enjeksiyon kalıplama ile üretilen numuneler, çentikli ve çentiksiz olarak test edilmek üzere hazırlanmıştır.



Şekil 3.36 Enjeksiyon Kalıplama Yöntemi ile Üretilen Numuneler

3.4 Doğrulama Çalışmalarında Kullanılan Çarpma Mukavemeti Cihazları

Tez çalışmasında yerli tedarikçilerden ve yurt dışı üreticilerinden temin edilen PA6, cam elyaf katkılı PA6, POM ve PMMA örneklerinin çarpma mukavemetlerinin belirlenmesinde 2 farklı Çarpma mukavemeti cihazı kullanılmıştır. İlk cihaz Kocaeli Üniversitesi, Kimya Mühendisliği Bölümünde bulunan Ceast Marka 9050 Model Çarpma Mukavemeti cihazıdır. 5.5 J sarkaç ile çalışılmıştır. Diğer cihaz ise Bursa Teknoloji Koordinasyon ve Arge Merkezi Anonim Şirketi (BUTEKOM) laboratuvarlarında bulunan Testform marka Std-50J model

Çarpma mukavemeti cihazıdır. 11 J sarkaç ile çalışılmıştır. Sonuçlar ve tartışma bölümünde bu cihazlardan elde edilen sonuçlar test merkezinin adı ile rneğin. Kocaeli ni., BUTEKOM ve bu tez çalışması kapsamında tasarlanan cihaz ise Hacettepe ni. şeklinde verilmiştir.

Hacettepe niversitesinde yapılan testlerde kullanılan, bu tez çalışması kapsamında geliştirilen cihaz ile yapılan testlerde kullanılan sarkaç kapasitesi ise 2.7J değerine sahiptir.

3.5 Sonuçların İstatistiksel Yöntemler Kullanılarak Değerlendirilmesi

Bu tez çalışması kapsamında geliştirilen cihaz ile Hacettepe niversitesi bünyesinde yapılan testler ve referans laboratuvarlar olarak seçilen Kocaeli niversitesi ve BUTEKOM laboratuvarlarında yapılan testlerin sonuçları, farklı istatistiksel yöntemler kullanılarak değerlendirilmiştir.

Alınan sonuçlar, saçılım grafikleri ile, sınıfıçi korelasyon katsayısı kullanılarak, Bland-Altman grafikleri ile ve Mountain plot yöntemleri ile değerlendirilmiştir.

Yapılan bu değerlendirmelerde, MedCalc programının deneme sürümü kullanılmıştır. Yapılan değerlendirmeler bir sonraki bölümde detaylı olarak aktarılmıştır.

4. SONUÇLAR ve TARTIŞMA

Bu bölümde, tez çalışması boyunca yürütülen tasarım, montaj, doğrulama ve test etme yöntemleri detaylı olarak anlatılacaktır. İlk olarak Izod Darbe Testi cihazının alt sistemlerinin ve bu sistemlerin alt parçalarının tasarım detaylarından ve üretim yöntemlerinden bahsedilecektir. Daha sonra cihaz doğrulamasında ve testlerde kullanılmak üzere hazırlanan numunelerin detayından bahsedilecektir. Montajı yapılan cihazın doğrulanma adımları anlatılacaktır. Son olarak da numuneler ile yapılan testlerde elde edilen ölçüm sonuçları listelenecektir.

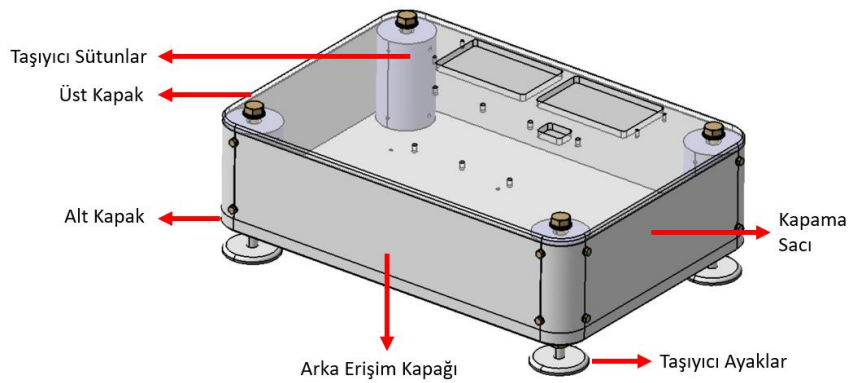
4.1 Izod Darbe Mukavemeti Testi Cihazının Tasarımı

3.bölümde bahsedilen detay tasarım ile ilgili bilgiler bu bölümde detaylandırılacaktır. Alt parçaların imalat yöntemleri de bu adımda anlatılacaktır.

4.1.1 Taban

Izod darbe test cihazı tabanı tasarımı için standartlarda belirtilen temel gereksinim, sarkaç salınımları ile hareket etmeyecek kadar ağır olmasıdır. Bu gereksinim sağlandıktan sonra taban parçasına ait bilgiler tasarımcıya bırakılmıştır.

Bu tez çalışmasında, taban kompleksinin iki görevi vardır. İlk görevi, taşıyıcı ayaklar, taşıyıcı sütunlar, alt ve üst kapaklar vasıtasıyla yeterli ağırlıkta, sağlamlıkta ve dengede bir temel oluşturarak test cihazının ölçümlerinin stabil ve tutarlı olmasını sağlayacak bir montaj zemini oluşturmaktır. İkinci görevi ise ekran ve tuş takımının montaj arayüzünü oluşturmak ve kullanıcı tarafından görülmemesi gereken tüm elektronik ekipmanları içinde barındırmaktır.



Şekil 4.1 Taban Kompleksi

4.1.1.1 Taşıyıcı Ayaklar

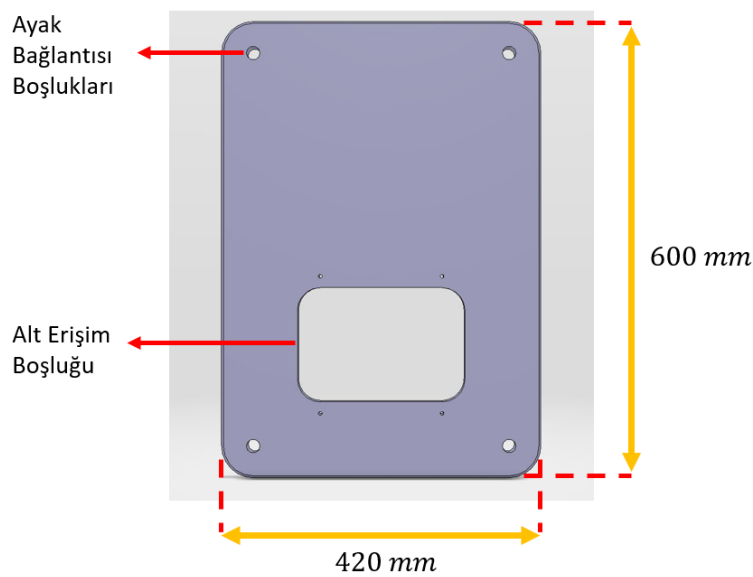
Taşıyıcı ayaklar, tüm test cihazının yükünü taşıyacak olan parçalardır. Test cihazının tüm yükünü dengeli bir şekilde taşıyabilmesi ve sarkaç salınımlarından etkilenmemesi için M16 bağlantılı metal ayaklar tercih edilmiştir. Tabanın her köşesinde birer adet olmak üzere 4 adet metal ayak kullanılmıştır.



Şekil 4.2 Taşıyıcı Ayaklar [35]

4.1.1.2 Alt Kapak

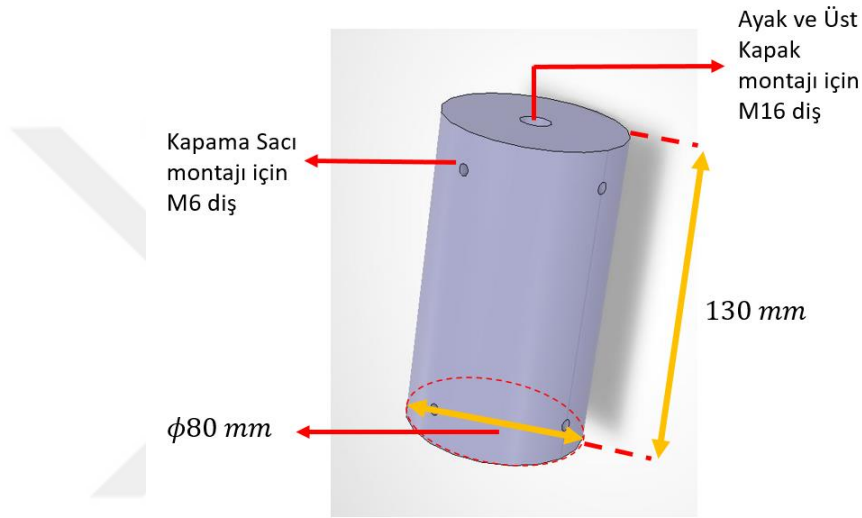
Alt kapak, taban kompleksinin ayaklardan sonra en alttaki parçasıdır. Taşıyıcı sütunlar alt kapak parçasının üzerine oturtulur. Cihazın en alt ve en geniş parçasıdır. Cihazın oturduğu düzlemdeki en ve boy ölçülerini belirleyen parçadır. Alt kapak parçası 20 mm kalınlığındaki çelik malzemenin CNC Freze tezgahında işlenmesi ve üzerine kılavuz ile diş açılması işlemleri ile imal edilmiştir. Ağırlığı 34 kg'dır. RAL 4006 renk kodu ile mor renkli boya uygulanmıştır.



Şekil 4.3 Alt Kapak

4.1.1.3 Taşıyıcı Sütunlar

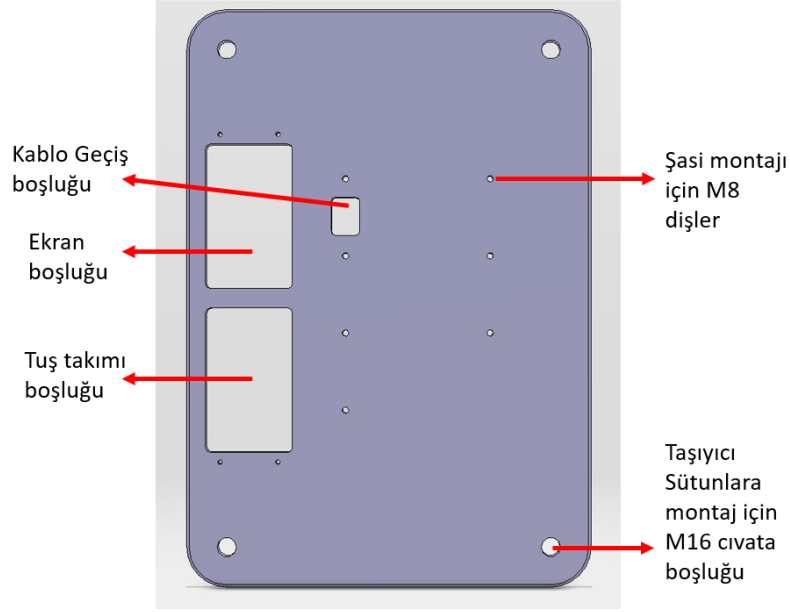
Taşıyıcı sütunlar, alt kapak ve üst kapak arasına yerleştirilen, alt tarafta M16 metal ayakların bağlantısı için diş bulunduran ve üst tarafta üst kapak bağlantısı için diş bulunduran silindirik bir parçadır. Tornada imal edildikten sonra kapama sacı ve arka erişim kapağının montajlanabilmesi için frezede delinmiştir ve kılavuz ile üzerine diş açılmıştır. Ağırlığı 4.8 kg'dır. 130 mm'lik boyu ile alt kapak ve üst kapak arasına konumlandırılacak olan elektronik ekipmanlar için yeterli alanı sağlar. 80 mm'lik çapı ile de yeteri kadar dengeli bir taşıyıcı görevi görür. RAL 4006 renk kodu ile mor renkli boya uygulanmıştır.



Şekil 4.4 Taşıyıcı Sütunlar

4.1.1.4 Üst Kapak

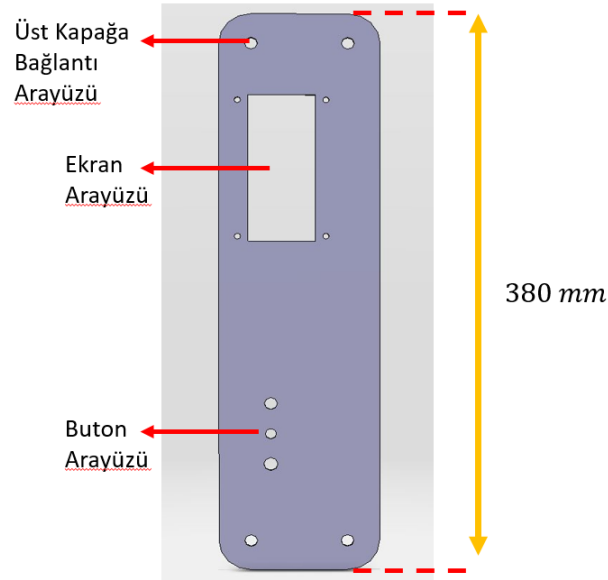
Taşıyıcı sütunlar üzerine oturtularak taban kompleksinin üst kapağını oluşturur. Üzerinde 7 adet M8 diş bulunur ve bu delikler şasinin tabana montaj edilmesi için kullanılır. Encoder ve sensörlerden gelen kabloların geçişi için bir delik bulundurur. Ayrıca ekran ve tuşların oturtulabilmesi için de 2 adet daha büyük delik bulundurur. 10 mm'lik çelik plakadan CNC frezede işlenerek ve kılavuz ile diş açılarak imal edilmiştir. Dış ölçüleri alt kapak ile aynıdır ve ağırlığı 17 kg'dır. RAL 9010 renk kodu ile beyaz renkli boya uygulanmıştır.



Şekil 4.5 Üst Kapak

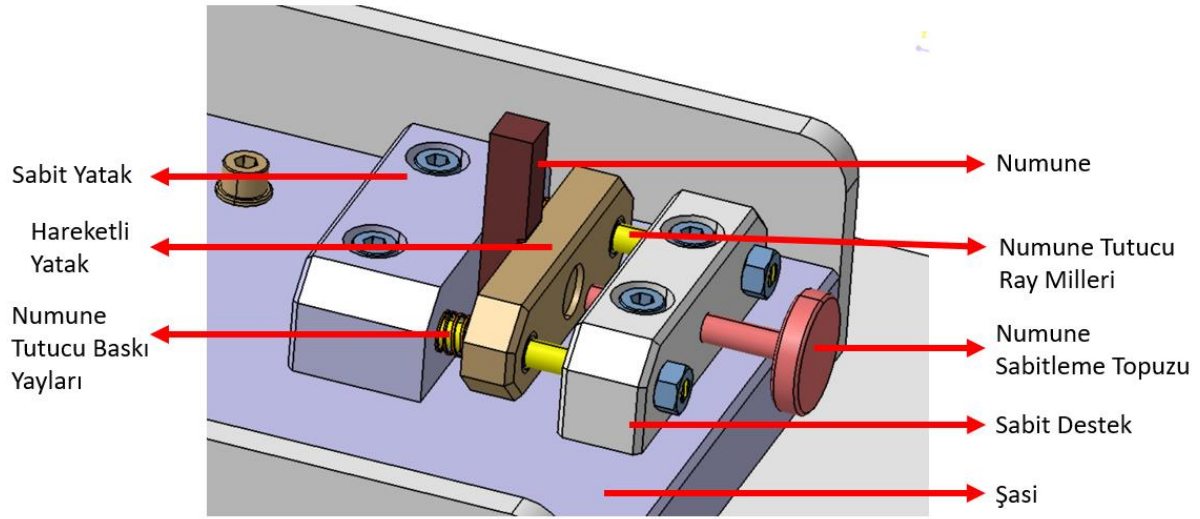
4.1.1.5 Ekran ve Tuş Takımı Plakası

Üzerinde ekran ve tuş takımının yerleştirilmesi için arayüz delikleri bulunan parçadır. 2mm'lik çelik sacdan lazer kesim yöntemiyle imal edilmiştir. RAL 9010 renk kodu ile beyaz renkli boya uygulanmıştır.



Şekil 4.6 Ekran ve Tuş Takımı Plakası

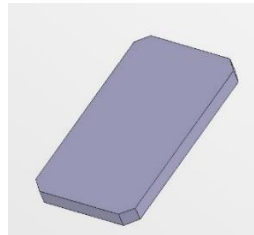
4.1.2 Numune Tutucu Mekanizması



Şekil 4.7 Numune Tutucu Mekanizması

Numune tutucu mekanizması numunenin doğru şekilde montajlanabilmesi için standartta belirtilen tasarım kriterlerine göre tasarlanmıştır. Numunenin iki yandan gelen yataklar tarafından uygun kuvvetle sıkılarak montajlanması gerekmektedir. Numunenin çentik merkezi ile sabit ve hareketli yatak parçalarının üst yüzeyleri aynı seviyede olmalıdır. Hareketli yatak ve sabit yatak parçaları, numunenin iki taraftan yataklanmasını sağlayan parçalardır. Hareketli yatak parçası, sabit yatak ve sabit destek isimli parçalar arasında yataklanmış 2 adet mil üzerinde kayarak hareket edebilmektedir. Numune sabitleme topuzu, sabit destek parçasının içindeki dişli delikte döndürülmek suretiyle hareketli yatağı yönlendirir. Numune sabitleme topuzu sıkıldığında hareketli yatak parçasını itmek suretiyle numuneyi sıkıştırır. Numune sabitleme topuzu gevşetildiğinde ise numune tutucu ray milleri üzerindeki numune tutucu baskı yayları hareketli yatak parçasını geri iterek numunenin serbest kalmasını sağlar.

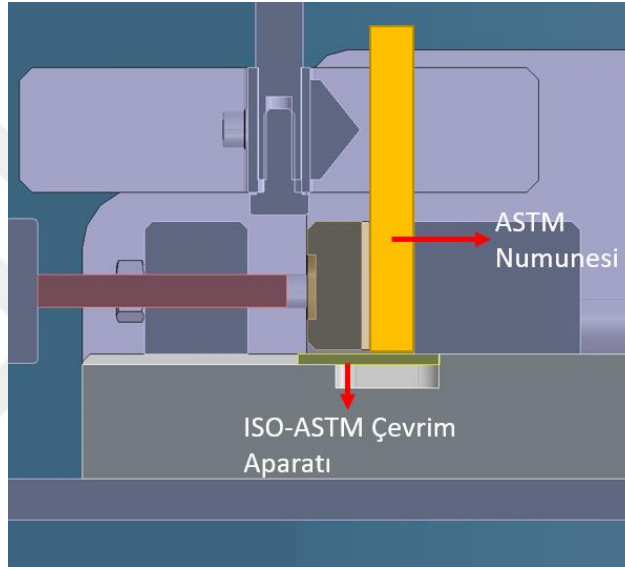
ISO ve ASTM standartlarında tanımlanan numune boyları farklı olduğu için numune tutucu mekanizmasının hem ISO hem de ASTM numunesini doğru konumda tutabilmesine izin vermek için basit bir aparat tanımlanmıştır. (Şekil 4.8)



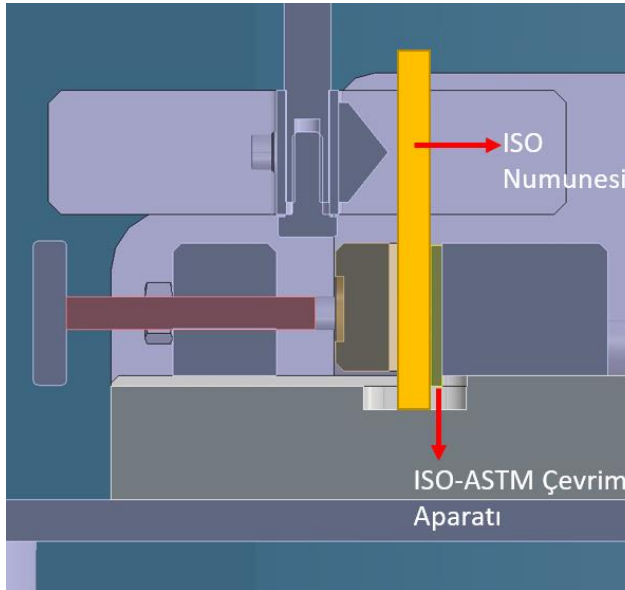
Şekil 4.8 ISO- ASTM Çevrim Aparatı

2.7 mm kalınlığındaki bu aparat, ISO ve ASTM testlerinde farklı konumlara yerleştirilerek boy ve en farkı olan bu iki standart numunenin doğru şekilde konumlandırılmasında kullanılır. ASTM testlerinde kullanılan, boyu ISO numunesine göre 16.5 mm daha kısa olan numunenin boyunun doğru şekilde ayarlanabilmesi için şekil 4.9’da gösterildiği şekilde numune altında kullanılır.

ISO testlerinde kullanılan numune ise uzun ve daha incedir. Daha ince olan bu numunenin sarkaca göre doğru konumda durabilmesi için numune arkasında kullanılır. evrim aparatının ISO numuneleri ile kullanımını şekil 4.10’da gösterilmiştir.



şekil 4.9 ASTM Test Düzeni

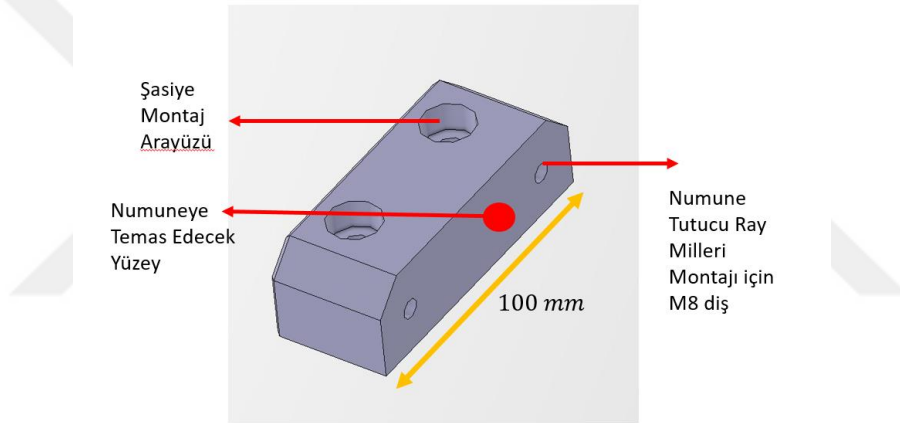


şekil 4.10 ISO Test Düzeni

Numune tutucu ile ilgili toleranslar 3.2 Izod Darbe Mukavemeti Testi Cihazının Doğrulanması ve Kalibrasyonu bölümünde detaylı olarak anlatılmıştır. Numune tutucu mekanizması alt parçaları bu toleranslar göz edilerek tasarlanmış, üretilmiş ve montajlanmıştır.

4.1.2.1 Sabit Yatak

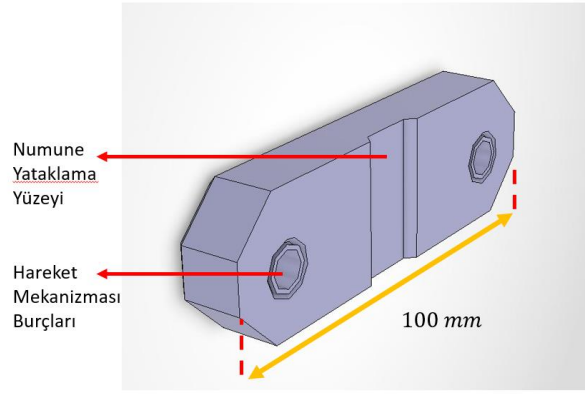
Sabit yatak parçası, çelik kütükten CNC frezede talaşlı imalat yöntemiyle imal edilmiştir. Siyah çinko ile kaplanmıştır. Ağırlığı 0,9 kg'dır. Genişliği 100 mm olan parçanın temel fonksiyonu numuneyi doğru konumda sabitlemektir. Üst kısmındaki iki adet M8 cıvata arayüzü vasıtasıyla şasiye sabitlenir. Yan kısmındaki iki adet M8 diş arayüzü vardır. Ray milleri bu M8 dişlere döndürülerek takılır ve sabitlenir. Ray milleri için açılmış M8 dişlerin bulunduğu yüzey aynı zamanda numuneyi sıkıştırmak için kullanılan yüzeylerden biridir.



Şekil 4.11 Sabit Yatak

4.1.2.2 Hareketli Yatak

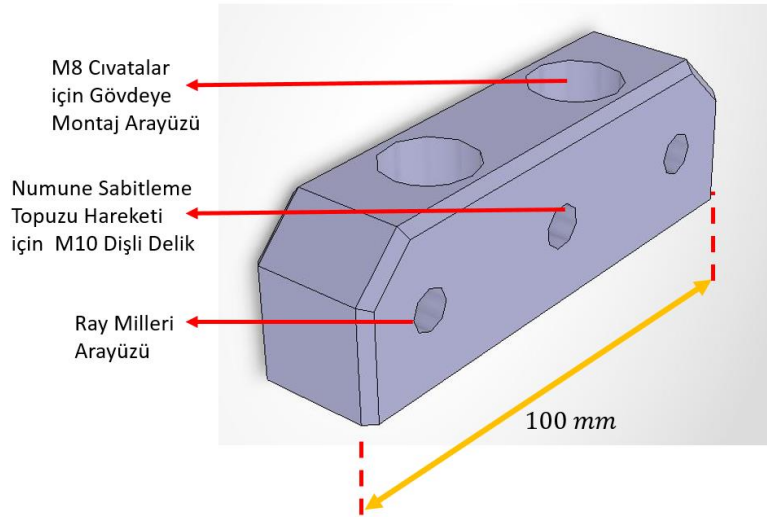
Hareketli yatak parçası çelik kütükten CNC frezede talaşlı imalat yöntemiyle imal edilmiştir. Siyah çinko ile kaplanmıştır. Ağırlığı 0,3 kg'dır. Genişliği 100 mm olan parçanın temel fonksiyonu numuneyi doğru konumda sabitlemektir. Numune bağlanırken veya sökülürken, Numune Sabitleme Topuzu vasıtasıyla Numune tutucu ray milleri üzerinde hareket ettirilerek numunenin sabitlenmesine veya sökülüp takılmasına izin verir. Üzerinde numuneyi doğru ölçülerde konumlandırmak için bir numune oturma yüzeyi bulunur. Numune tutucu ray milleri üzerinde hareketi için üzerinde 2 adet burç deliği açılmıştır ve bu deliklere 2 adet aşınma burcu çakılmıştır. Parça bu burçlar vasıtasıyla miller üzerinde kayarak hareket eder.



Şekil 4.12 Hareketli Yatak

4.1.2.3 Sabit Destek

Sabit destek parçası çelik kütükten CNC frezede talaşlı imalat yöntemiyle imal edilmiştir. Siyah çinko ile kaplanmıştır. Ağırlığı 0,5 kg'dır. Genişliği 100 mm'dir. Parçanın 2 temel fonksiyonu vardır. Birincisi, birer ucu Sabit Yatak parçasına dişli olarak takılan ray millerinin sabit uçlarını desteklemektir. Diğer bir fonksiyonu da vida mantığı ile döndürülerek hareket ettirilen numune topuzunun yivli yatağını taşımaktır. Gövdeye montaj için 2 adet cıvata arayüzü bulundurulur.

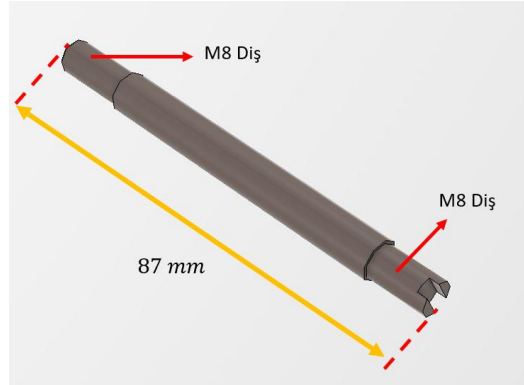


Şekil 4.13 Sabit Destek

4.1.2.4 Numune Tutucu Ray Milleri

Numune tutucu ray milleri, sertleştirilmiş çelik çubuktan, torna tezgahında talaşlı imalat yöntemiyle imal edilmiştir. Paralel olarak 2 adet kullanılmaktadır. Ağırlığı 0.03 kg'dır. Boyu

87 mm'dir. Bir ucundaki M8 dişler vasıtasıyla sabit yatak parçasına takılır. Diğer ucu Sabit Destek parçasındaki arayüz içinden boş geçirilir ve M8 somun ile Sabit Destek Parçasına yan yüzeyden sabitlenir.



Şekil 4.14 Numune Tutucu Ray Milleri

4.1.2.5 Numune Tutucu Baskı Yayları

Numune Tutucu Baskı Yayları, yay çeliğinden imal ettirilmiştir ve siyah çinko ile kaplanmıştır. Baskı yaylarının temel görevi, Numune Sabitleme Topuzu gevşetildiğinde, Hareketli Yatak parçasını geri iterek numunenin rahatlıkla sökölüp takılmasına izin verecek boşluğu oluşturmaktır.



Şekil 4.15 Numune Tutucu Baskı Yayları

Yay kuvveti için bir öngöründe bulunularak, eşitlik 4.1'e göre bir ön hesap yapılmıştır. Ray millerindeki sürtünme kuvveti net olarak bilinemediğinden, bu formül ile hesaplanan değer alt ve üst değerlerinde farklı farklı yaylar üretilmiştir. Montaj sonrası yapılan denemelerde ray milleri üzerindeki sürtünmenin beklenenden düşük olması sebebiyle üretilen her yayın sisteme uygun olduğu tespit edilmiştir.

$$F = k * x \quad (4.1)$$

$$F = \text{Yay kuvveti}$$

$$k = \text{yay sabiti}$$

$$x = \text{yaydaki boy değişimi}$$

Öngörü olarak 10N’luk bir yayın yeterli olacağı düşünülmüştür. Yayın serbest boyu 15 mm olarak öngörülmüştür. Kullanılacak ISO veya ASTM numunesine göre sıkışmış yay boyu 10 mm veya 12.7 mm olacaktır. Yani yay ISO numunesi için 5 mm, ASTM numunesi için 2.3 mm sıkıştırılacaktır.

ISO’ya göre daha büyük yay sabiti gerektirdiği için ASTM numunesi için hesaplandığında;

$$10N = k * 0,0023 m \quad (4.2)$$

Eşitlik “k” için çözüldüğünde

$$k = \frac{10 N}{0,0023 m} = 4348 \frac{N}{m} \quad (4.3)$$

olarak hesaplanmıştır. Bu değerler üzerinden yay imalatçıları ile görüşülmüş ve yay imalatları yaptırılmıştır.

4.1.2.6 Numune Sabitleme Topuzu

Numune Tutucu Sabitleme Topuzu hazır olarak satın alınmıştır. M10 dişli bir mil ve plastik bir döndürme topuzunun bir araya gelmesinden oluşur. Temel görevi, Hareketli Yatak parçasını, Ray Milleri üzerinde kaydırmak suretiyle iterek numunenin sabitlenmesini sağlamaktır.



Şekil 4.16 Numune Sabitleme Topuzu [36]

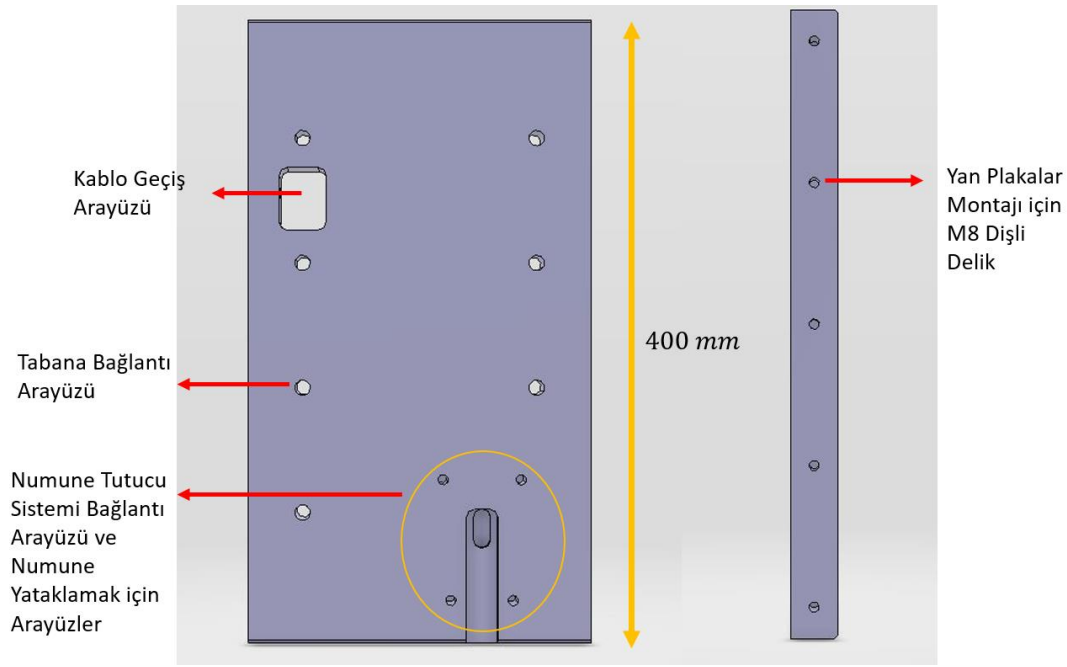
4.1.3 Şasi

Şasinin görevi tüm fonksiyonel grupların doğru şekilde montajlanması için gerekli arayüzleri bulunduracak şekilde cihazın temel taşıyıcı yapısını oluşturmaktır. Şasi 4 temel parçadan oluşur.

4.1.3.1 Alt Taşıyıcı Plaka

Alt taşıyıcı plaka 20 mm kalınlığında çelik plakadan CNC frezede talaşlı imalat yöntemiyle imal edilmiştir. Ağırlığı 20 kg’dır. RAL 9010 renk kodu ile beyaz renkli boya uygulanmıştır.

Alt taşıyıcı plakanın birkaç temel görevi vardır. İlk olarak, üzerindeki bağlantı arayüzleri vasıtasıyla şasi kompleksini taban kompleksine bağlar. İki yanındaki dişli delikler vasıtasıyla yan plakaların montajlanmasına imkan verir. Ayrıca üstünde numunenin doğru şekilde sabitlenebilmesi için kılavuz işlemler bulunmaktadır. Bu işlemler sayesinde ISO ve ASTM numuneleri düzgün şekilde numune tutucu mekanizması vasıtasıyla cihaza sabitlenebilir. Taban kompleksindeki kablo geçiş deliği ile örtüşecek şekilde bir kablo geçiş deliği bulundurulur.

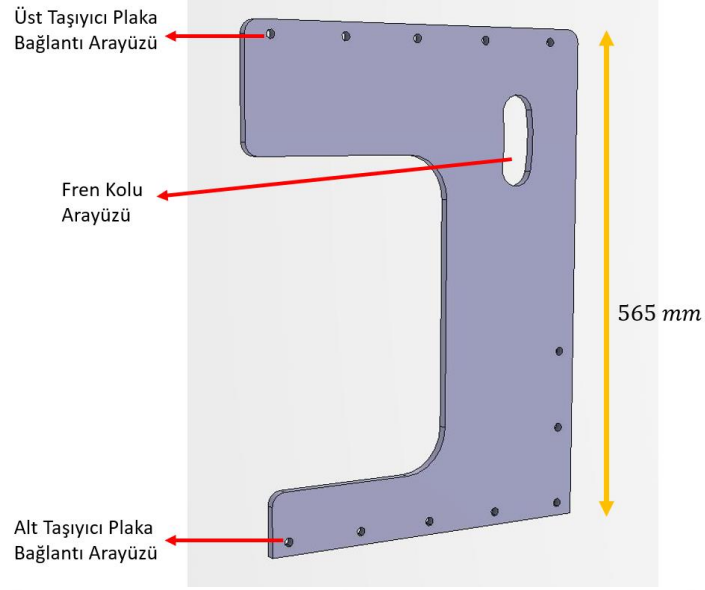


Şekil 4.17 Alt Taşıyıcı Plaka

4.1.3.2 Yan Plakalar

Yan plakalar birbirinin eşleniği olan iki plakadır. 10 mm kalınlığında çelik plakadan CNC frezede talaşlı imalat yöntemiyle imal edilmiştir. Bir tanesinin ağırlığı 12 kg'dır. RAL 9010 renk kodu ile beyaz renkli boya uygulanmıştır.

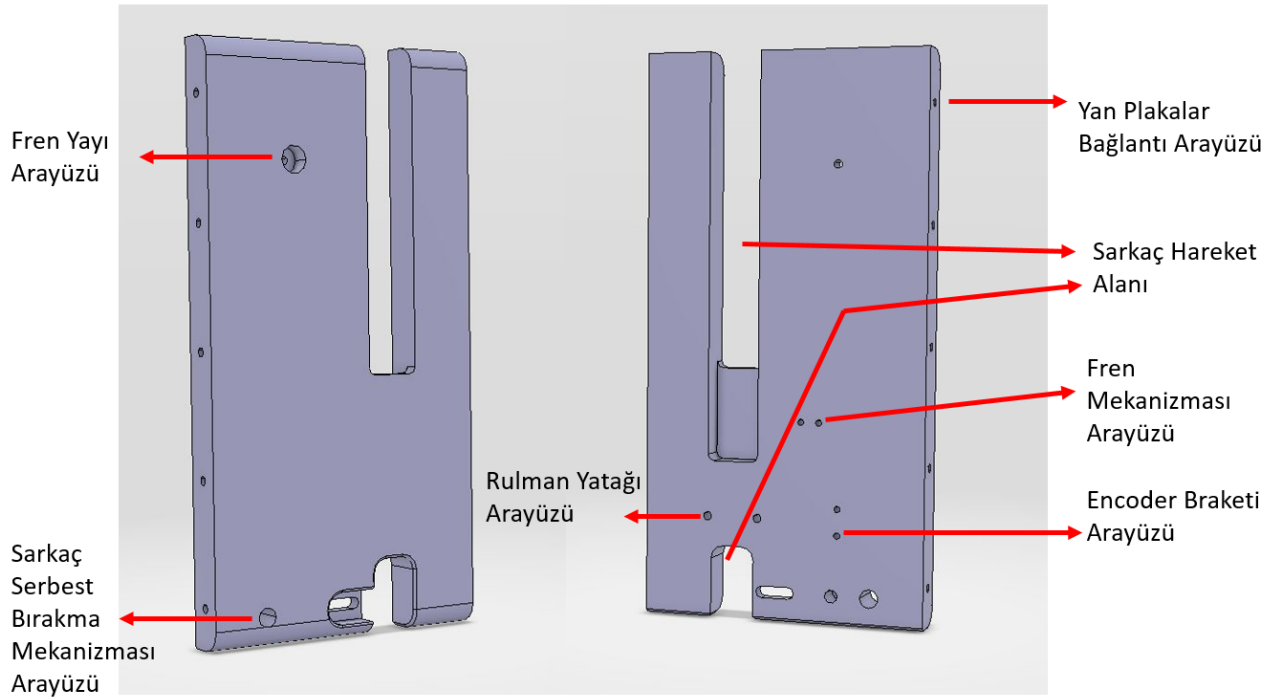
Yan plakanın temel görevi alt taşıyıcı plaka ile üst taşıyıcı plakayı uygun bir genişlik aralığında birbirine bağlamaktır. Üstünde alt taşıyıcı plaka ve üst taşıyıcı plaka için uygun montaj arayüzlerini bulundurmaktadır. Ayrıca fren kolu için de slotlu bir boşluk açılmıştır.



Şekil 4.18 Yan Plaka

4.1.3.3 Üst Taşıyıcı Plaka

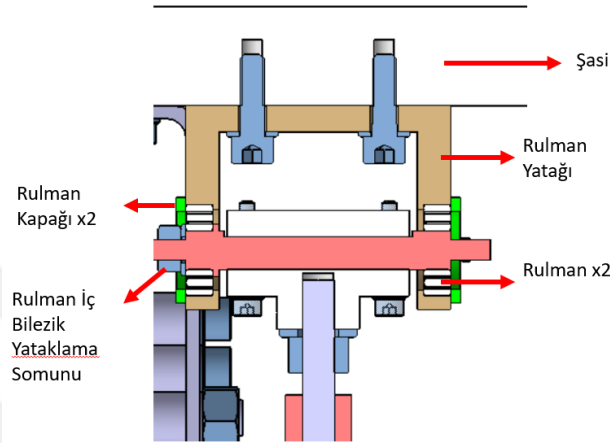
Alt taşıyıcı plaka 30 mm kalınlığında çelik plakadan CNC frezede talaşlı imalat yöntemiyle imal edilmiştir. Ağırlığı 18,5 kg'dır. RAL 9010 renk kodu ile beyaz renkli boya uygulanmıştır. Cihazın pek çok fonksiyonel parçasını taşımak için gerekli arayüzleri üzerinde bulundurmaktadır.



Şekil 4.19 Üst Taşıyıcı Plaka

4.1.4 Sarkaç ve Rulmanlar

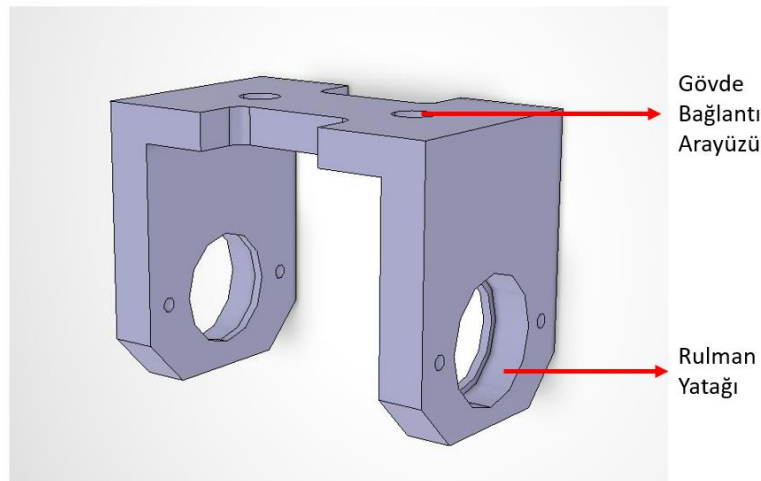
Sarkaç ve Rulmanlar, Izod Darbe Mukavemeti Test cihazının en önemli kısımlarından biridir. Ölçüm, rulmanlar vasıtasıyla hareket eden bir sarkacın ağırlığı ve yüksekliği sebebiyle oluşan potansiyel enerji üzerinden yapılır. Bu yüzden sarkaç ve rulmanlara ait her tasarım kriteri doğru şekilde tasarlanmalı, üretilmeli, kalite-kontrol sürecinden geçirilmeli ve doğru şekilde montajlanmalıdır. Rulmanların ve sarkacın montajı Şekil 4.20’de gösterilmiştir.



Şekil 4.20 Sarkaç ve Rulmanların Montajı

4.1.4.1 Rulman Yatağı

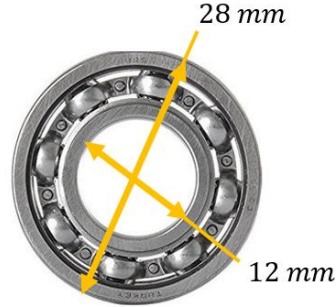
Rulman yatağı, çelik kütükten CNC frezede talaşlı imalat yöntemi ile üretilmiştir. Üzerinde, rulmanların eş eksenli şekilde oturtulabilmesi için rulman yatakları ve şasiye bağlantı için uygun arayüz bulunur. Siyah çinko ile kaplanmıştır.



Şekil 4.21 Rulman Yatağı

4.1.4.2 Rulmanlar

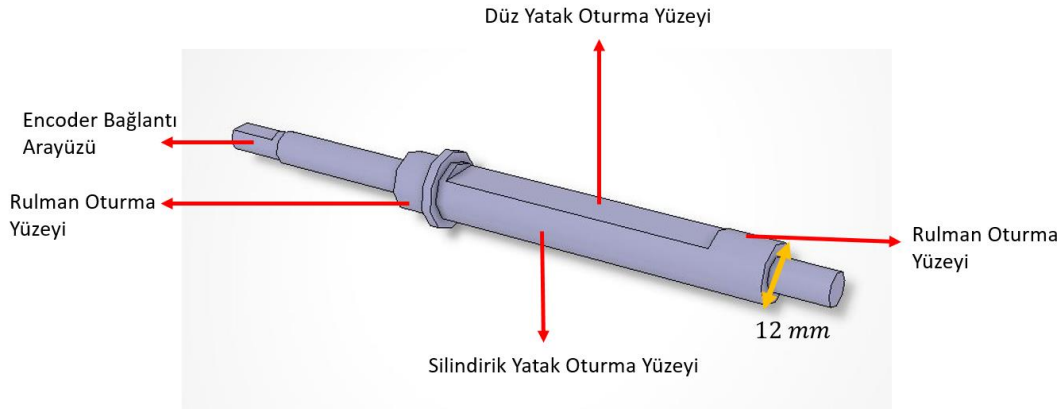
2 adet, ORS 6000 serisi tek sıralı sabit bilyalı rulman kullanılmıştır.



Şekil 4.22 Rulman [33]

4.1.4.3 Sarkaç Dönme Ekseni Mili

Sarkaç dönme eksenı mili, rulmanlar vasıtasıyla yataklanarak sarkacı taşıyan ve salınım hareketi yapmasını sağlayan parçasıdır. CNC torna ve CNC frezede talaşlı imalat yöntemi ile üretilmiştir. Siyah çinko ile kaplanmıştır. Üzerinde rulmanların iç bileziklerinin oturması için uygun yüzeyler, sarkacın montajlanmasında kullanılan “düz yatak” ve “silindirik yatak” parçalarının montajlanması için uygun yüzeyler ve encoder ile bağlantı arayüzü bulunur.

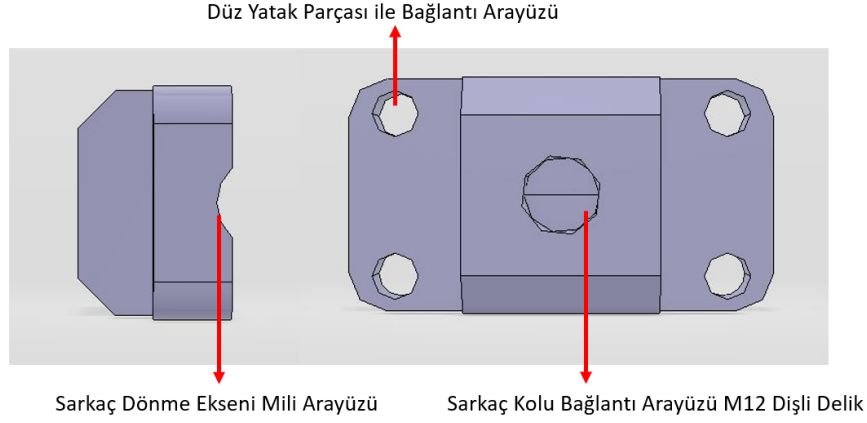


Şekil 4.23 Sarkaç Dönme Ekseni Mili

4.1.4.4 Silindirik Yatak

Çelik malzemeden talaşlı imalat yöntemi ile üretilmiştir. Siyah çinko ile kaplanmıştır. Bir tarafı dişli delik diğer tarafı ise silindirik bir yatak olan bu parçanın 2 görevi vardır. İlk görevi dişli delik tarafından takılan erkek sarkaç ucunu taşımak, diğer görevi ise düz yatak ile

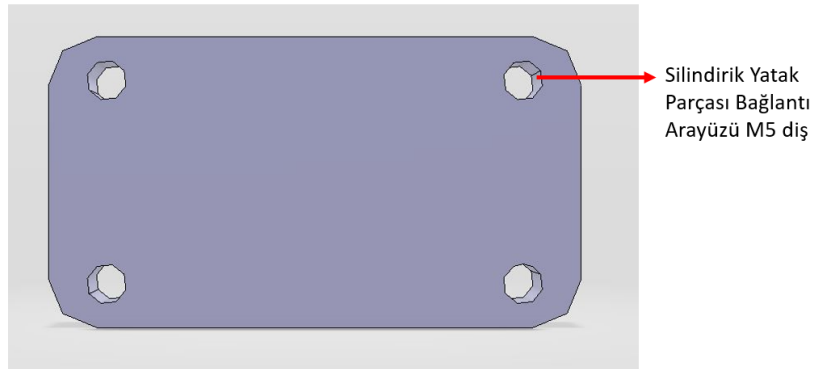
beraber sarkaç dönme eksenine miline sarılarak sarkacın sabitlenmesini sağlamaktır. Üzerinde düz yatak parçası ile bağlanabilmesi için 4 adet cıvata deliği, sarkaç dönme eksenine doğru şekilde basabilmesi için silindirik bir basma yüzeyi ve sarkaç kolunun takılabilmesi için M12 dişli bir delik bulunur.



Şekil 4.24 Silindirik Yatak

4.1.4.5 Düz Yatak

Silindirik yatak ile beraber çalışarak sarkaç dönme eksenini milini sıkıştırıp sarkacın montajlanmasını sağlayan parçalardan biridir. Üzerinde silindirik yatak parçası ile bağlantı için dört adet M5 dişli delik bulunur. CNC frezede talaşlı imalat yöntemiyle üretilmiştir. Siyah çinko ile kaplanmıştır.



Şekil 4.25 Düz Yatak

4.1.4.6 Sarkaç Kolu

Sarkaç kolu, sarkacın standartlarda belirtilen sarkaç uzunluğunu sağlamak için uygun silindirik bir çubuktan uygun boyda kesilen ve iki ucuna diş açılan bir parçadır. Bir ucundaki diş vasıtasıyla silindirik yatak parçasındaki uygun arayüze montajlanırken diğer ucundaki diş vasıtasıyla da ağırlık parçasını taşımaktadır. Çelik çubuktan CNC tornada talaşlı imalat yöntemiyle üretilmiştir. Siyah çinko ile kaplanmıştır.



Şekil 4.26 Sarkaç Kolu

4.1.4.7 Sarkaç Yakalama Noktası

Sarkacın istenilen enerjiyi sağlayacak yükseklikte sabit tutulabilmesi için şasiye bağlı bir parça tarafından tutulması gerekmektedir. Sarkacın bu görevini yerine getirebilmesi için şasiye bağlı parçaya asılı kalmak suretiyle sarkacı istenilen yükseklikte kilitleyecek bir sarkaç yakalama noktası parçası tasarlanmıştır. İç kısmı dişli olan bu parça sarkaç üzerindeki dişte döndürülerek uygun yüksekliğe getirilecek ve kontra somunu sıkılarak istenilen yerde sabitlenecektir. Sarkaç Yakalama Noktası, Şekil 3.16’da gösterilmiştir.

4.1.4.8 Ağırlık

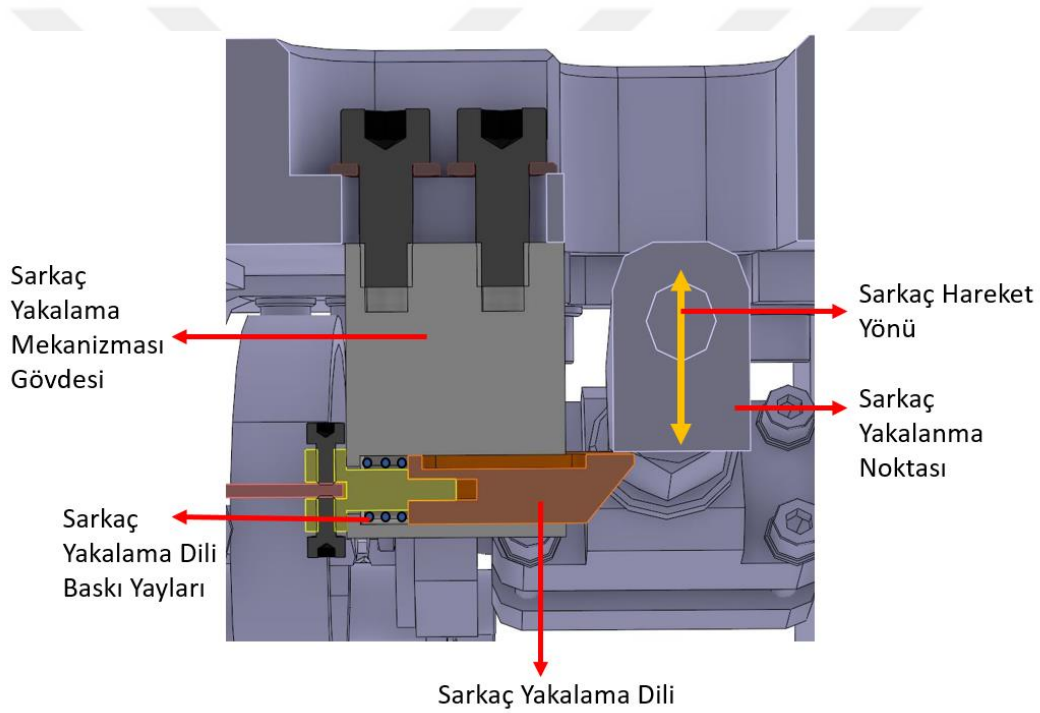
Sarkacın istenilen enerjiyi sağlayacak yükseklikte sabit tutulabilmesi için şasiye bağlı bir parça tarafından tutulması gerekmektedir. Sarkacın bu görevini yerine getirebilmesi için şasiye bağlı parçaya asılı kalmak suretiyle sarkacı istenilen yükseklikte kilitleyecek bir sarkaç yakalama noktası parçası tasarlanmıştır. İç kısmı dişli olan bu parça sarkaç üzerindeki dişte döndürülerek uygun yüksekliğe getirilecek ve kontra somunu sıkılarak istenilen yerde sabitlenecektir. Çelik plakadan CNC frezede talaşlı imalat yöntemiyle üretilmiştir. Siyah çinko ile kaplanmıştır. Ağırlık parçası, Şekil 3.14’te gösterilmiştir.

4.1.5 Sarkaç Yakalama ve Serbest Bırakma Mekanizması

Sarkaç yakalama ve serbest bırakma mekanizması, sarkacın her testte aynı ve doğru yükseklikte sabitlenmesi ve toplam ağırlığı dört kiloya kadar ulaşan sarkacı kolaylıkla serbest bırakabilmesine izin verecek şekilde tasarlanmıştır. Kullanıcı sarkacı yukarı kaldırdığında, kapı dili mekanizmasına benzer bir şekilde tasarlanmış olan sarkaç yakalama mekanizması, sarkacı otomatik olarak uygun konumda kilitler. Kullanıcı sarkaç salma tetiğini kullanarak sarkacı serbest bırakmak suretiyle testi başlatır. Sarkaç Yakalama ve Serbest Bırakma Mekanizması, Şekil 3.10’da detaylı olarak gösterilmiştir.

4.1.5.1 Sarkaç Yakalama Sistemi

Sarkaç yakalama sistemi, kapı dili mekanizması örnek alınarak tasarlanmıştır. Sarkaç yakalama mekanizması gövdesi içinde, sarkaç yakalama dili ve 2 adet baskı yayını konumlandırarak bir yatak açılmıştır. Sarkaç yakalama dili, bu yatak içinde hareket eder. Baskı yayları sarkaç yakalama dilini sürekli olarak yatak dışına doğru iter. Sarkaç yukarı kaldırılıp kurulmak istendiğinde, sarkaç yakalanma noktası parçası, sarkaç yakalama diline sürter ve dili yatağın içine iter. Sarkaç yeteri kadar kaldırılıp iki parçanın teması kesildiğinde baskı yayları dili tekrar dışarı iter ve sarkacın aşağı hareketini engeller. Sarkaç yakalama sisteminde kullanılan tüm parçalar çelik malzemeden üretilmiştir ve siyah çinko ile kaplanmıştır. Yaylar hazır olarak satın alınmıştır. Sarkaç yakalama sistemi, detaylı olarak Şekil 4.27’de gösterilmiştir.



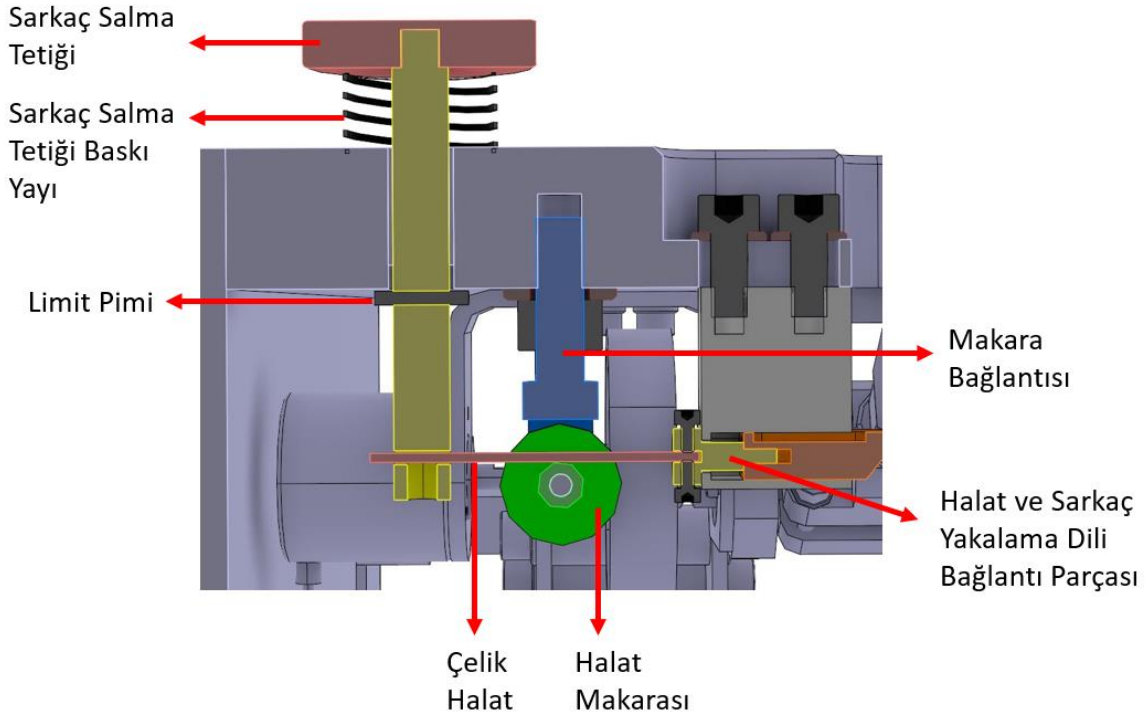
Şekil 4.27 Sarkaç Yakalama Mekanizması

4.1.5.2 Sarkaç Serbest Bırakma Sistemi

Sarkaç serbest bırakma sistemi, kullanıcının ağır bir sarkacı bile kolaylıkla ve güvenli bir şekilde serbest bırakabilmesine izin verecek şekilde tasarlanmıştır. Kullanıcı sarkacı doğru konuma getirdiğinde, sarkaç yakalama mekanizması tarafından sabitlenen sarkaç, sarkaç serbest bırakma mekanizması vasıtasıyla yapılır.

Sarkaç Yakalama Dili parçasının arkasına bir bağlantı parçası montajlanmıştır. Bu bağlantı parçası, halat ile sarkaç yakalama dilini birbirine bağlar.

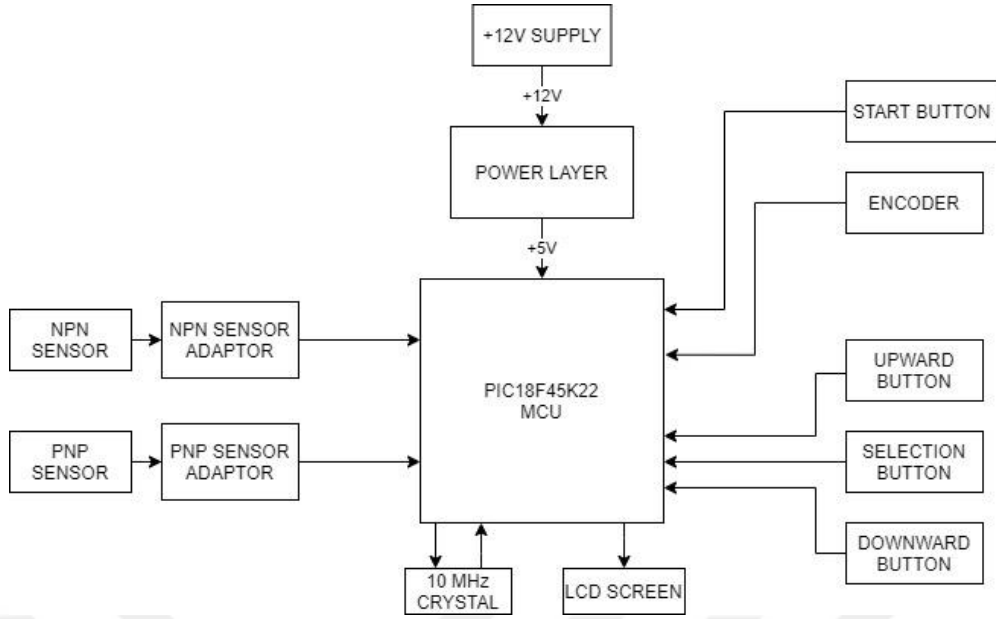
Sarkaç salma tetiğine basılmadığı durumda, baskı yayları tetiği yukarıda tutar. Limit pimi, şasi üst plakasına alttan dayanır ve tetiğin doğru konumda durmasını sağlar. Kullanıcı tetiğe bastığı durumda baskı yaylarını sıkıştırır ve tetiğe bağlı mili aşağı doğru hareket ettirir. Mil aşağı gittikçe, mile bağlı olan çelik halatın ucu da aşağı hareket eder. Aşağı doğru hareket eden halat, makara sisteminin yardımıyla sarkaç yakalama dilini geri çeker ve sarkacı serbest bırakır. Sarkaç serbest bırakma mekanizması, Şekil 4.28’de detaylı olarak gösterilmiştir.



Şekil 4.28 Sarkaç Serbest Bırakma Mekanizması

4.1.6 Ölçüm Mekanizması / Elektronik Sistem

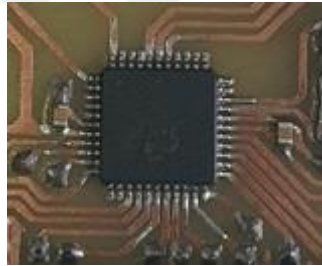
Izod darbe mukavemeti test cihazı, test numunesinin darbe mukavemetini tayin etmek için elektronik bir sistem ile donatılmıştır. Bir mikroişlemci içeren PCB kart, encoder, LCD ekran, 12V DC adaptör ve tuşlar elektronik sistemin temel ekipmanlarıdır.



Şekil 4.29 Elektronik Şema

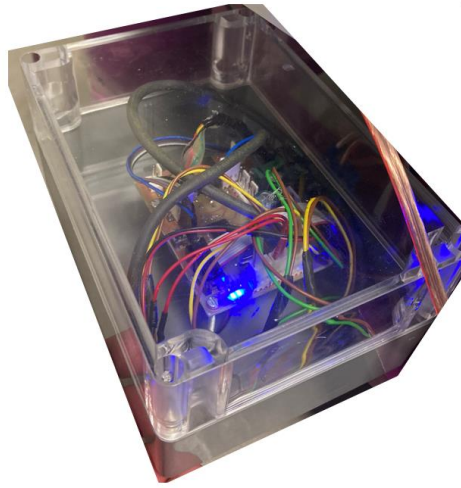
4.1.6.1 Mikroişlemci ve Elektronik Kart

Sensörlerden ve encoderden gelen ham dataların işlenmesi, gerekli hesaplamaların yapılması ve sonuçların ekranda gösterilmesi gibi işlemleri yapmakla görevli ekipmandır. Mikroişlemci olarak devre kartına entegre edilmiş 8 bitlik bir PIC mikroişlemci kullanılmıştır.



Şekil 4.30 Mikroişlemci (PIC18F45K22)

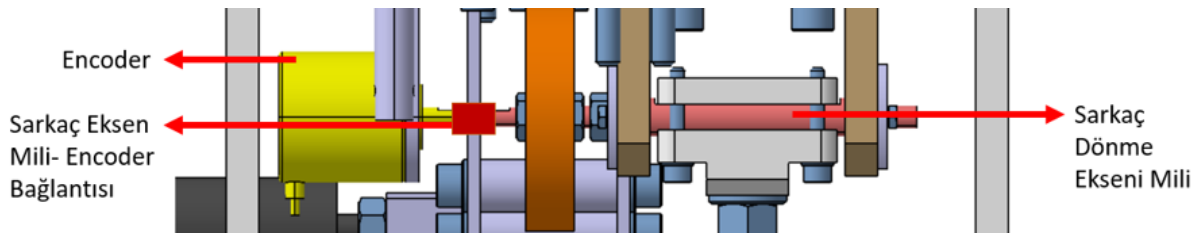
Elektronik kart üstünde mikroişlemci dışında güç kablosu bağlantısı, sensörler ve encoderin bağlanabilmesi için soketler, durum bildirir led ışıklar, botonların bağlanabilmesi için soketler ve ekran ile bağlantı için soketler ve devrede gerekli diğer mikro elemanlar bulunmaktadır.



Şekil 4.31 Elektronik Kart Kompleksi ve Koruma Kutusu

4.1.6.2 Encoder

Encoder, sarkaç dönme eksenini miline eş eksenli olacak şekilde yerleştirilmiştir. Sarkaç dönme eksenini mili döndükçe, encoderin şaftı da araya bağlanan elastik kaplin parçası vasıtasıyla aynı derecede döner. Encoder dönerken, işlemciye sabit açı aralıklarıyla sinyal gönderir. Seçilen encoder 360°'lik bir tam dönüşte 1000 adet sinyal gönderecek şekilde seçilmiştir. Yani encoder tarafından işlemciye gönderilen her bir sinyal 0,36°'lik bir dönme hareketine karşılık gelmektedir. Encoder tarafından gönderilen sinyal sayısı, mikroişlemci tarafından sayılır ve açı değeri olarak hesaplanır. Encoder bağlantısı Şekil 4.32'de gösterilmiştir.



Şekil 4.32 Encoder Bağlantısı

Kullanılan encoder Şekil 4.33'te gösterilmiştir.



Şekil 4.33 Encoder

4.1.6.3 LCD Ekran

LCD ekran, 4x20 karakter kapasitelidir. Sistem durumunu göstermek, kullanıcıyı ne yapması gerektiği konusunda yönlendirmek ve mikroişlemci tarafından üretilen sonuçları kullanıcıya yansıtmak için kullanılır.



Şekil 4.34 LCD Ekran [37]

4.1.6.4 12V DC Adaptör

Cihaza güç sağlaması için 12V’luk DC adaptör kullanılmıştır.



Şekil 4.35 DC Adaptör [38]

4.1.6.5 Butonlar

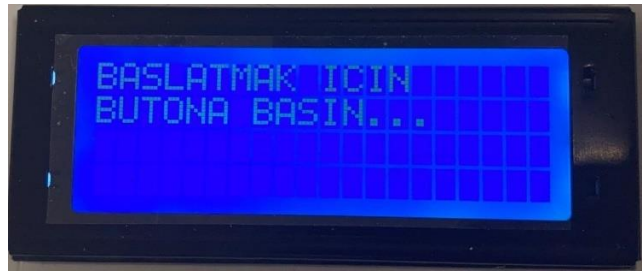
Cihaz paneline 4 adet buton konumlandırılmıştır. Start butonu, cihaz hazır olduğunda encodere sinyal göndermeye başlayabilmesi için ilk komutu gönderir. Select butonu, kullanıcı tarafından giriş yapılacak parametreleri aktif hale getirmede ve onaylamada kullanılır. İki adet artım-azalış ve sağ-sol fonksiyonlu buton, ekranlar arasında geçiş yapmaya ve kullanıcı tarafından girilecek değerlerin seçilmesinde kullanılır.



Şekil 4.36 Butonlar

4.1.6.6 Cihaz Elektronik Sistemi Çalışma Algoritması ve Yazılım

12V DC Adaptör prize takıldığında, başlamak için butona basınız yazısı ekrana yazdırılır. Kullanıcı “Select” butonuna basarak ilgili menüleri aktive eder.



Şekil 4.37 Başlama Ekranı

Cihaz ile kullanılabilecek farklı ağırlıktaki sarkaçlar için bir sarkaç seçim menüsü kullanıcıya gösterilir. Kullanıcı dört farklı sarkaç arasından seçim yapar ve onaylar.



Şekil 4.38 Sarkaç Seçimi Ekranı

Kullanıcıdan, test edeceği numunenin kesit alanını girmesi için ilgili ekran yansıtılır. Kullanıcı, artım azalım butonlarını kullanarak numunenin kesit alanını girer.



Şekil 4.39 Numune Kesit Alanı Giriş Ekranı

Kullanıcı, sarkacı uygun pozisyona getirir ve kilitler. Daha sonra sarkacı serbest bırakır. Encoder tarafından sarkacın serbest bırakma açısı ve numuneyi kırdıktan sonraki açısı okunur. Ekranı yansıtılır.



Şekil 4.40 Test Sonuçları – Açı

Kullanıcı, sağ-sol butonlarını kullanarak enerji ve birim alana düşen enerjinin gösterildiği ekranlara geçiş yaparak sonuçları inceleyebilir.



Şekil 4.41 Test Sonuçları – Birim Alana Düşen Enerji

4.1.6.7 Cihaz Montajı

Üretilen tüm alt sistemlerin bir araya getirilmesi ile ortaya çıkan Izod darbe mukavemeti testi cihazı Şekil 4.42’de gösterilmiştir.



Şekil 4.42 Montajlanmış Izod Darbe Test Cihazı

4.2 Izod Darbe Mukavemetinin Hesaplanması

Izod Darbe mukavemeti, sarkacın başlangıçtaki ve test sonundaki potansiyel enerjisinin farkının tayin edilmesi ile hesaplanır. Sarkaç kurulduğunda sahip olduğu enerji, sarkaç kütlesi, yer çekimi ivmesi ve sarkacın ağırlık merkezinin yüksekliği kullanılarak hesaplanır. Sarkaç “0” noktasını, yani numuneyi kırdığı noktayı geçtikten sonra ters tarafta yükselir. Sarkacın ulaştığı en yüksek nokta, encoder tarafından tespit edilir. Sarkacın bu noktadaki potansiyel enerjisi hesaplanır. Başlangıç ve bitişteki potansiyel enerji farkı hesaplanır. Bu farktan, sürtünme ve hava direnci kaynaklı kayıplar çıkarılarak numuneyi kırmak için harcanan enerji miktarı hesaplanmış olur. Numuneyi kırmak için gerekli enerjiyi hesaplama yöntemi eşitlik 4.4’te gösterilmiştir.

$$E_I = E_1 - E_2 - E_{TC} \text{ (J)} \quad (4.4)$$

$$E_I = m * g * (h_S - h_S * \cos \alpha) - m * g * (h_S - h_S * \cos \beta) - E_{TC} \text{ (J)}$$

$$E_I = \text{darbe mukavemeti (J)}$$

$$E_2 = \text{Sarkacın son enerjisi (J)}$$

$$E_I = \text{Darbe Mukavemeti (J)}$$

$$m = \text{Sarkaç Kütlesi (kg)}$$

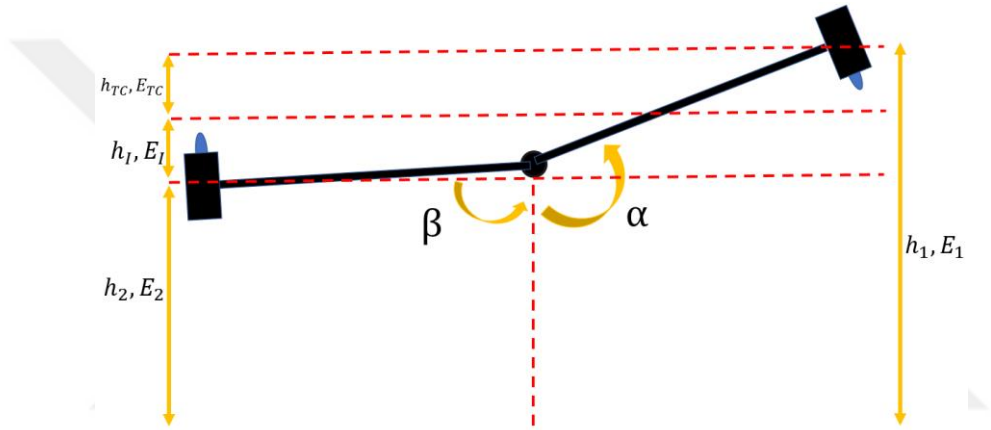
$g = \text{Yerçekimi ivmesi (m/s}^2\text{)}$

$h_s = \text{Sarkacın Ağırlık Merkezi ile Dönme Eksenini Arası Mesafe (m)}$

$E_{TC} = \text{Rüzgar Direnci ve Sürtünmeler (J)}$

Hesaplanan enerji değeri, test edilen numunenin kesit alanına bölünerek birim alan düşen enerji değeri olarak da hesaplanabilir. Eşitlik 4.5'te, birim alana düşen enerji cinsinden hesaplama yöntemi gösterilmiştir. E_{TC} değerinin nasıl hesaplandığı, Izod Darbe Mukavemeti Testi Cihazının doğrulanması bölümünde detaylı olarak anlatılacaktır.

$$\text{Darbe Mukavemeti} = \frac{E_I}{m^2} = (J/m^2) \quad (4.5)$$



Şekil 4.43 Sarkaç Yaklaşma-Uzaklaşma Açıları, Yükseklik ve Enerjileri

$\alpha=120.24^\circ$ olacak şekilde tasarlanmış birinci sarkaç(~ 2.7 J) için kullanılan değerler aşağıda belirtilmiştir.

$$m = 0,5675 \text{ (kg)}$$

$$g = 9,80 \text{ (m/s}^2\text{)}$$

$$h_s = 0,317 \text{ (m)}$$

Bu durumda, birinci sarkaç için darbe mukavemetinin enerji cinsinden sonucu eşitlik 4.6'da belirlenmiştir.

$$E_I = 0,5675 * 9,80 * (0,317 - 0,317 * \cos 120,24) - 0,5675 * 9,80 * (0,317 - 0,317 * \cos \beta) - E_{TC}' \text{ (J)} \quad (4.6)$$

4.3 Izod Darbe Mukavemeti Testi Cihazının Doğrulanması

Bu bölümde, “IZOD DARBE MUKAVEMETİ TESTİ CİHAZININ DOĞRULANMASI” başlığı altında anlatılan doğrulama adımlarının nasıl gerçekleştirildiği ve alınan sonuçlar anlatılacaktır.

- a) Cihaz, sağlam bir zemine oturtulmalıdır. Cihaz, zemin üzerinde hareket etmemeli ve zemini titretmemelidir. Eğer 2.7J veya daha yüksek kapasiteli bir sarkaç ile test yapılacaksa, en az 23 kg ağırlığında bir kütleye cıvatalar ile bağlanmalıdır.
- ➔ Cihaz en az 60 kg ağırlığında bir tabana oturtulmuştur. Testler sırasında cihazın salınım ve titreşim hareketi yapmadığı gözlemlenmiştir.
- b) Su terazisi ile cihaz tabanı iki yönde de kontrol edilmelidir. Cihaz, sarkaç hareket düzlemine göre $\tan^{-1} 0.001$ ve sarkaç hareket düzlemine dik olan eksene $\tan^{-1} 0.002$ ölçüsünün içinde olmalıdır.
- ➔ Cihazın dört köşesinde yükseklik ayarlı ayaklar kullanılmıştır. Cihaz montajı tamamlandıktan sonra su terazisi ile ölçümler yapılarak cihazın iki ekseninde de açısının 0° olduğu doğrulanmıştır.
- c) Master, boşluk ölçeceği veya derinlik ölçeceği kullanarak numune tutucu mekanizmasındaki hareketli çenenin sabit çeneye göre yüksekliği ölçülmelidir. İzin verilen yükseklik farkı 0,08 mm'dir.
- ➔ Derinlik ölçerli kumpas kullanılarak hareketli çene ile sabit çenenin yükseklik farkının belirtilen değerden daha düşük olduğu doğrulanmıştır.
- d) Kırıcı çenenin ucunun $0,80 \pm 0,20$ mm olarak üretildiğini teyit eden bir uygunluk belgesi üreticiden alınmalıdır.
- ➔ Kırıcı çene uç yarıçapı, standart ölçüm aletleri ile ölçülebilir bir yapıda değildir. Üretici ile görüşülerek, ucun belirtilen ölçüler içinde üretildiğine dair uygunluk alınmıştır.
- e) Kırıcı çenenin enine ekseninin, numune tutucu mekanizması merkezi ile mesafesinin en fazla 0,40 mm olduğu doğrulanmalıdır.
- ➔ Cihaz üzerinden ölçüm alarak doğrulanmıştır.
- f) Sarkaç kolunun doğrusallık sapmasının 1.2 mm veya daha az olduğu doğrulanmalıdır.
- ➔ Üretici firmada yapılan kalite ölçümleri ile doğrulanmıştır.
- g) $12.7 \times 12.7 \times 60$ mm ölçülerindeki metal bir numune, numune tutucu mekanizmasına bağlanmalıdır. Numunenin dikeyde her iki yönde de $\tan^{-1} 0.005$ toleransının içinde durduğu doğrulanmalıdır.
- ➔ Numune her bağlandığında bu açı değişebilir. Cihaz üzerinde numune ile yapılan ölçümler ile doğrulanan bu ölçünün her yeni numune bağlandığında kontrol edilmesi gerekmektedir.

- h) Önceki adımda bağlanan metal test numunesi sökülmeden bu adım gerçekleştirilmelidir. Kırıcı çene ucu, iz bırakabilecek bir yağ ile yağlanmalıdır. Sarkaç serbest bırakılmalı ve numuneye serbestçe dokunması sağlanmalıdır. Kırıcı çene ucundaki yağın, numune üzerinde boydan boya bir çizgi halinde iz bıraktığı doğrulanmalıdır. Eğer noktasal bir iz bıraktıysa, sorunun nedeni araştırılmalı ve düzeltilmelidir.
- ➔ Gerekli test, mastar kullanılarak yapılmış ve çizgisel olarak temas ettiği doğrulanmıştır.
- i) Bir önceki adımda numune üzerine çıkartılan yağ çizgisinin yatayla $\tan^{-1} 0.002$ toleransı içinde konumlandığı doğrulanmalıdır.
- ➔ Yağ çizgisi dağıldığı için net ölçüm yapılamamıştır.
- j) Yine numune üzerine çıkarılan yağ çizgisi kullanılarak, numune tutucu mekanizması üst yüzeyi ile yağ çizgisi arası mesafenin $22 \pm 0,05 \text{ mm}$ olduğu doğrulanmalıdır.
- ➔ Yağ çizgisi dağıldığı için net ölçüm yapılamamıştır.
- k) Aynı metal numune yine numune tutucu mekanizmasına bağlanmalıdır. Kırıcı çene ucu, metal numuneye dokunurken ibrede okunan değer, okunabilecek maksimum değer %0,02'sinden daha az olduğu doğrulanmalıdır.
- ➔ Cihazın aç okuma kapasitesinin altında kalan bu değer doğrulanamamıştır.
- l) Sarkaç yatay pozisyona gelene kadar kaldırılmalı ve yatay konumda bir ucu kırıcı çeneye temas edecek, diğer ucu bir ağırlık ölçüm mekanizmasına basacak şekilde konumlandırılmış bir destek parçası ile sabitlenmelidir. Destek parçasının ağırlığı işlemde çıkartılarak sarkacın efektif ağırlığı tespit edilmelidir. Okunan değer, kullanılan sarkaç kapasitesi için gerekli olan ağırlık değerinin %0,4 toleransla içinde olmalıdır.
- ➔ CAD model ortamında ölçüm yapılmış ve bu değer doğrulanamadığı görülmüştür.
- m) Sarkacın efektif uzunluğunun doğrulanması: eşitlik 3.1'e göre yapılacaktır.

$$L = \left(\frac{g}{4\pi^2} \right) \quad (3.1)$$

- ➔ Bu doğrulamayı yapabilmek için öncelikle sarkaç periyodu ölçümü yapılmıştır. Hata payını en aza indirmek için her beş salınımında bir ölçüm alınmıştır.

Tablo 4.1 Sarkaç Periyodu Ölçümü

	5 salınım toplam süre (s)
1. ölçüm	6:26 s
2. ölçüm	6:30 s
3. ölçüm	6:22 s
4. ölçüm	6:31 s

20 salınım için toplam süre 25:09 olarak hesaplanmıştır. Bir salınım için süre, yani period (p) 1,2545 s olarak hesaplanmıştır.

$$L = \left(\frac{9,80}{39,48} \right) (1,2545)^2 = 0,39 \text{ m} \quad (4.7)$$

L uzunluğu eşitlik 4.7'ye göre hesaplandığında 0,39 m olarak bulunmuştur. Teorik olarak hesaplanan sarkaç boyu 0,40m'dir. %2 lik bir fark olduğu görülmüştür.

- n) Sarkaç, gerekli yüksekliğe yükseltip kurulduğunda kırıcı çenenin konumu ile kırıcı çenenin dikeyde en alt pozisyonda olduğu konumu arasındaki dikey ölçünün $610 \pm 2 \text{ mm}$ olduğunu doğrulanmalıdır.
 ➔ Metre ile ölçüm yapılmıştır. Ölçüm hassas değildir. Değerin 610 mm olduğu doğrulanmıştır.
- o) Eğer sürtünmeli mekanik bir ibre kullanılıyorsa, ibrenin sürtünmesi, skalanın herhangi bir yerinde ibreyi sabitleyebilecek kadar yeterli olmalıdır.
 ➔ Elektronik bir ölçüm yapılmaktadır. İbre yoktur.
- p) Numune kullanılmadan yapılan serbest testte, sarkaç kapasitesinin en fazla %2,5'i kadar kayıp olduğu doğrulanmalıdır.
 ➔ Sarkaç kapasitesinin en fazla %0,5'i kadar kayıp olduğu doğrulanmıştır.
- q) Sarkaç dönme eksenini mili radyal boşluğu $0,05 \text{ mm}$ 'den az olmalıdır.
 ➔ Radyal boşluk tespit edilememiştir.
- r) Numune tutucu mekanizmasının numuneyi tutan yüzeylerinin yatay ve dikeyde $0,025 \text{ mm}$ toleransının içinde kalacak şekilde paralel olduğu doğrulanmalıdır.
 ➔ Paralellik ölçümü yapılamamıştır.

s) Numune tutucu mekanizmasının üst kenarları $0,25 \pm 0,12 \text{ mm}$ 'lık yarıçap ile yumuşatılmış olmalıdır.

➔ Üretici tarafından master kullanılarak ölçüm yapılmıştır, uygunluğu sözlü olarak bildirilmiştir.

t) Cihaz, pendulum kapasitesinin %85'inden daha fazla darbe mukavemetine sahip numuneleri kırmak için kullanılmamalıdır.

➔ Kullanılan numuneye göre sarkaç seçimi yapılarak doğrulanacaktır.

u) Izod darbe test cihazı, sarkacın başlangıç enerjisi ve son enerjisi arasındaki farkı tespit ederek ölçüm yapan bir cihazdır. Başlangıç enerjisi ve son durumdaki enerji farkından, test numunesini kırmak için ne kadar enerji sarf edildiği hesaplanır.

Numunenin kırılma enerjisinin yanı sıra, rulman sürtünmeleri ve sarkaca etkiyen hava direnci de sarkacın enerji kaybetmesine sebep olacak iki temel unsurdur. Bu noktada, numunenin kırılma enerjisi, rüzgâr direnci ve sürtünmeler kaynaklı enerji kayıplarından ayırt edilmelidir. Cihazdaki hava direnci ve sürtünme kayıpları eşitlik 4.8 kullanılarak doğrulanmalı ve cihaz buna göre kalibre edilmelidir.

$$E_{TC} = (E_A - (E_B/2))(\beta/\beta_{max}) + E_B/2 \quad (4.8)$$

E_{TC} : Toplam Sürtünme Doğrulama (J)

E_A = Rüzgar Direnci ve Ölçüm İbresi için Doğrulama (J)

E_B = Rüzgar Direnci için Doğrulama (J)

β = Numune Kırıldıktan Sonra Sarkacın Taradığı Açı (°)

β_{max} = Numunesiz Testte Düşey Eksenini Geçtikten Sonra Sarkacın Taradığı açı (°)

E_A değeri, rüzgar sürtünmesi ve mekanik ölçüm ibresi sürtünmesi için enerji doğrulama değeri olarak tanımlanmıştır. E_B değeri ise, sadece rüzgar sürtünmesi için enerji doğrulama değeri olarak tanımlanmıştır.

Bu tez çalışması kapsamında tasarlanan cihaz, elektronik bir ölçüm sistemine sahiptir. Bu yüzden E_A değeri ile E_B değeri birbirine eşit olarak kabul edilmiştir. Bu durumda; E_{TC} değeri eşitlik 4.9, 4.10 ve 4.11 kullanılarak hesaplanmıştır.

$$E_A = E_B \quad (4.9)$$

$$E_{TC} = (E_A - (E_A/2))(\beta/\beta_{max}) + E_A/2 \quad (4.10)$$

$$E_{TC} = (E_A/2)(\beta/\beta_{max}) + E_A/2 \quad (4.11)$$

Birinci sarkaç (~2.7J) için gerekli hesaplamalar yapılmıştır. β_{max} değerini belirlemek için 20 kez numunesiz test yapılmış ve Tablo 4.2'deki değerler elde edilmiştir. Okunan “ α ” değeri sarkaç kurulduğunda sarkacın düşey eksen ile yaptığı açı ve okunan “ β ” değeri ise sarkacın çıkabildiği maksimum noktada yatay eksen ile yaptığı açıdır. (Şekil 4.43)

Tablo 4.2 Numunesiz Denemelerde Sarkaç Açıları

	α	β_{max}
1	120,24°	116,64°
2	120,24°	117,36°
3	120,24°	117°
4	120,24°	117,36°
5	120,24°	117,36°
6	120,24°	117°
7	120,24°	116,64°
8	120,24°	117,36°
9	120,24°	117,72°
10	120,24°	117,36°
11	120,24°	117°
12	120,24°	116,64°
13	120,24°	117°
14	120,24°	117,36°
15	120,24°	116,64°
16	120,24°	116,64°
17	120,24°	117°
18	120,24°	117,36°
19	120,24°	116,64°
20	120,24°	117,72°

Okunan β değerlerinin ortalaması alındığında 117,09° bulunmuştur. Yani sarkaç, $\alpha = 120.24^\circ$ açısından bırakıldığında ortalama olarak $\beta = 117,09^\circ$ açığa kadar yükselebilmektedir. $\beta_{max} =$

117,09° olarak hesaplanmıştır. E_A değerinin hesaplanmasında da yine β_{max} açı değeri kullanılarak numune bağlı değilken hava direnci ve sürtünmeler kaynaklı enerji kaybı 4.12 numaralı eşitlik kullanılarak hesaplanacaktır.

$$E_A = m * g * h_1 - m * g * h_2 \quad (4.12)$$

$$E_A = m * g * (h_S - h_S * \cos \alpha) - m * g * (h_S - h_S * \cos \beta)$$

$$E_A = 0,5675 * 9,80 * (0,317 - 0,317 * \cos 120,24) - 0,5675 * 9,80 * (0,317 - 0,317 * \cos 117,09)$$

$$E_A = 0,084 J$$

Bu durumda E_{TC} değeri 4.13 numaralı eşitlik kullanılarak hesaplanacaktır;

$$E_{TC} = (E_A/2)(\beta/\beta_{max}) + E_A/2 \quad (4.13)$$

$$E_{TC} = 0,042 * \left(\frac{\beta}{117,09} \right) + 0,042 J$$

Ölçüm yapıldıktan sonra bulunan β değerine göre E_{TC} değeri hesabı cihaz mikroişlemcisi tarafından yapılacaktır ve kullanıcıya doğrulanmış sonuç gösterilecektir.

4.4 Tasarlanan Cihazın Test Numuneleri ile Doğrulanması

Üretilen Izod Darbe Mukavemeti Testi cihazının çalışması kontrol etmek ve doğrulamak için enjeksiyon kalıplama ve basınçla (pres) kalıplama üretim yöntemleri ile elde edilmiş test numuneleri kullanılmıştır. Bundan sonra geliştirilen tez cihazının adı Hacettepe Üniversitesi olarak anılacaktır. Cihazda yapılan testlerin doğruluğu, Kocaeli Üniversitesinde Kimya mühendisliğinde bulunan Ceast marka çarpma mukavemeti cihazı (5.5J sarkaç ile) (bundan sonra Kocaeli Üniversitesi olarak anılacaktır) ve Butekom Bursa Teknoloji Koordinasyon ve Arge Merkezinde bulunan Testform marka çarpma mukavemeti cihazı (11J sarkaç ile) (bundan sonra BUTEKOM olarak anılacaktır) ve malzemelerin teknik veri tablolarında verilen Izod darbe mukavemeti değerleri ile karşılaştırılarak yapılmıştır. Izod darbe mukavemeti test cihazında tayin yapılan numuneler ve bu numunelere ait sonuçlar aşağıdaki şekildedir.

4.4.1 Tisan PA6

Doğrulama çalışmalarında kullanılan ilk örnek Tisan firması tarafından üretilen ve Tisan PA6 olarak isimlendirilen örnektir. Bu test numunelerinin hazırlanmasında Tisan firması tarafından üretilen, %30 cam elyaf katkılı **TİSLAMİD 6 GF 30 UV NC M01000618 kod'lu PA6** plastik kullanılmıştır. Numuneler, Tisan firması tarafından enjeksiyon kalıplama yöntemi ile imal edilmiştir. Çentikli numuneler için çentik açma işlemi Kocaeli Üniversitesinde

yapılmıştır. Numunelere ait referans değeri olarak, Bursa Butekom’da yapılan testler, Kocaeli Üniversitesinde yapılan testler ve firma tarafından paylaşılan malzeme teknik veri tablolarındaki değerler alınmıştır. Malzemeye ait test sonuçları Tablo 4.3 Enjeksiyon kalıplama yöntemi ile hazırlanan çentikli Tisan-TİSLAMİD 6 GF, PA6 örneklerinin çarpma mukavemeti sonuçları’te verilmiştir.

Tablo 4.3 Enjeksiyon kalıplama yöntemi ile hazırlanan çentikli Tisan-TİSLAMİD 6 GF, PA6 örneklerinin çarpma mukavemeti sonuçları

	Izod Mukavemeti kJ/m^2			
Tisan PA6 Çentikli	Hacettepe Üniversitesi	Kocaeli Üniversitesi	TDS	BUTEKOM
Test 1	24,46	11,52	15-20	11,3
Test 2	24,34	14,14	15-20	14,7
Test 3	20,9	19,05	15-20	-
Test 4	21,73	16,19	15-20	-
ORTALAMA	22,8	15,2	15-20	13,0

Tablo 4.4 Enjeksiyon kalıplama yöntemi ile hazırlanan çentiksiz Tisan-TİSLAMİD 6 GF, PA6 örneklerinin çarpma mukavemeti sonuçları

Sarkaç kıramadı, daha yüksek sarkaç kullanılmalı
--

4.4.2 Politem PA6

Doğrulama çalışmalarında kullanılan bir diğer plastik Politem firması tarafından üretilen, **RUGOPA M60 007 BK61 1101** kod’lu %30 cam elyaf katkılı PA6’ dır. PA6 granülleri sıcak pres kalıplama yöntemi kullanılarak 250 °C’de hazırlanmıştır. Çentikli numuneler için çentik açma işlemi Kocaeli Üniversitesinde yapılmıştır. Numunelere ait referans değeri olarak, Bursa BUTEKOM’da yapılan testler, Kocaeli Üniversitesinde yapılan testler ve firma tarafından paylaşılan malzeme teknik veri tablolarındaki değerler alınmıştır. Malzemeye ait test sonuçları Tablo 4.5 Preste basınçla kalıplama yöntemi ile hazırlanan Politem RUGOPA M60 007 BK61 1101 kodlu PA6 çentikli örneklerinin çarpma mukavemeti sonuçları’te verilmiştir. Politem PA6 örneklerinin darbe dayanımları çentiksiz olarak da incelenmiştir. Çentiksiz test sonuçları Tablo 4.6 Preste basınçla kalıplama yöntemi ile hazırlanan Politem

RUGOPA M60 007 BK61 1101 kodlu PA6 çentiksiz örneklerinin çarpma mukavemeti sonuçları'da verilmiştir.

Tablo 4.5 Preste basınçla kalıplama yöntemi ile hazırlanan Politem RUGOPA M60 007 BK61 1101 kodlu PA6 çentikli örneklerinin çarpma mukavemeti sonuçları

	Izod Mukavemeti kJ/m^2			
Politem PA6 Çentikli	Hacettepe Üniversitesi	Kocaeli Üniversitesi	TDS	Butekom
Test 1	12,537	-	-	7,6
Test 2	15,5	-	-	7,5
Test 3	-	-	-	7,5
ORTALAMA	14,02	-	-	7,53

Tablo 4.6 Preste basınçla kalıplama yöntemi ile hazırlanan Politem RUGOPA M60 007 BK61 1101 kodlu PA6 çentiksiz örneklerinin çarpma mukavemeti sonuçları

	Izod Mukavemeti kJ/m^2			
Politem PA6 Çentiksiz	Hacettepe Üniversitesi	Kocaeli Üniversitesi	TDS	Butekom
Test 1	17,36	-	-	29,5
Test 2	26,13	-	-	16,3
Test 3	26,56	-	-	26
Test 4	16,48	-	-	-
ORTALAMA	21,63	-	-	23,93

Doğrulama çalışmaları Politem firmasının RUGOPA M60 PA6'sı kullanılarak politem firması tarafından enjeksiyon yöntemi kullanılarak hazırlanan test numuneleri ile de yapılmıştır. Enjeksiyon yöntemi ile Politem firmasının **RUGOPA M60 007 BK61 1101 kod'lu** PA6'sı kullanılarak imal edilen numuneler, Kocaeli Üniversitesinde çentik açılarak test numunesi haline getirilmiştir. Numunelere ait referans değerleri, Bursa BUTEKOM'da yapılan testler, Kocaeli Üniversitesinde yapılan testler ve firma tarafından paylaşılan malzeme teknik veri tablolarındaki değerlerdir. Çentiksiz test sonuçları Tablo 4.7 Enjeksiyon kalıplama yöntemi

ile hazırlanan Politem RUGOPA M60 007 BK61 1101 kodlu PA6 çentikli örneklerinin çarpma mukavemeti sonuçları'de verilmiştir.

Tablo 4.7 Enjeksiyon kalıplama yöntemi ile hazırlanan Politem RUGOPA M60 007 BK61 1101 kodlu PA6 çentikli örneklerinin çarpma mukavemeti sonuçları

	Izod Mukavemeti kJ/m^2			
Politem PA6 Çentikli	Hacettepe Üniversitesi	Kocaeli Üniversitesi	TDS	Butekom
Test 1	8,03	6,71	-	8,4
Test 2	-	8,93	-	8,2
Test 3	-	7,71	-	8,8
Test 4	-	6,6	-	-
ORTALAMA	8,03	7,29	9-11	8,46

4.4.3 Ensinger PA6

Enjeksiyon yöntemi ile imal edilen Ensinger firmasının **TECAMID 6 GF30, PA6** numuneleri, Kocaeli Üniversitesinde çentik açılarak test numunesi haline getirilmiştir. Numunelere ait referans değerler, Bursa BUTEKOM'da yapılan testler, Kocaeli Üniversitesinde yapılan testler olarak kabul edilmiştir. Test sonuçları Tablo 4.8 Enjeksiyon kalıplama yöntemi ile hazırlanan Ensinger firmasının **TECAMID 6 GF30, PA6** kodlu PA6 çentikli örneklerinin çarpma mukavemeti sonuçları'de verilmiştir.

Tablo 4.8 Enjeksiyon kalıplama yöntemi ile hazırlanan Ensinger firmasının **TECAMID 6 GF30, PA6** kodlu PA6 çentikli örneklerinin çarpma mukavemeti sonuçları

	Izod Mukavemeti kJ/m^2			
Ensinger PA6 Çentikli	Hacettepe Üniversitesi	Kocaeli Üniversitesi	TDS	Butekom
Test 1	17	6,55	-	13,9
Test 2	-	7,54	-	11,3
Test 3	-	7,08	-	10,6
ORTALAMA	17	7,06	-	11,2

4.4.4 Lati PA66

Enjeksiyon yöntemi ile lati firması tarafından firmanın LATILUB 66-01M G/30 ürünü kullanılarak hazırlanan parçalar kullanılarak da doğrulama çalışmaları yapılmıştır. Örnekler Kocaeli Üniversitesinde çentik açılarak test numunesi haline getirilmiştir. Numunelere ait referans değerler, Bursa BUTEKOM'da yapılan testler, Kocaeli Üniversitesinde yapılan testler ve firma tarafından paylaşılan malzeme teknik veri tablolarındaki değerlerdir kabul edilmiştir. Malzemeye ait test sonuçları Tablo 4.9 Enjeksiyon kalıplama yöntemi ile hazırlanan Lati firmasının LATILUB 66-01M G/30 kodlu PA6 çentikli örneklerinin çarpma mukavemeti sonuçları'da verilmiştir.

Tablo 4.9 Enjeksiyon kalıplama yöntemi ile hazırlanan Lati firmasının LATILUB 66-01M G/30 kodlu PA6 çentikli örneklerinin çarpma mukavemeti sonuçları

	Izod Mukavemeti kJ/m^2			
Lati PA6 Çentikli	Hacettepe Üniversitesi	Kocaeli Üniversitesi	TDS	Butekom
Test 1	8,81	-	-	8,1
Test 2	15,16	-	-	7,6
Test 3	-	-	-	7,5
Test 4	-	-	-	-
ORTALAMA	11,98	-	-	7,73

4.4.5 Ankara Bronz PA6

Ankara Bronz firması tarafından satılan PA6 plaka satın alınmıştır. Plaka kesilerek küçültülmüştür. Sonrasında, CNC freze ile işlenerek hassas olarak numune ölçülerine getirilmiştir. Çentik açma işlemi de yine CNC frezede yapılmıştır. Sarkaç kapasitesi bu numuneyi kırmaya yetmemiştir.

Tablo 4.10 Ankara Bronz PA6 Çentikli Test Sonuçları

Sarkaç kıramadı, daha yüksek kapasiteli sarkaç kullanılmalı

4.4.6 Tisan POM

Tisan firması tarafından üretilen, ISO standardına uygun, TİSAFORM M12000010 kod'lu POM numuneler kullanılmıştır. Numuneler, Tisan firması tarafından enjeksiyon kalıplama

yöntemi ile imal edilmiştir. Çentikli numuneler için çentik açma işlemi Kocaeli Üniversitesinde yapılmıştır. Numunelere ait referans değerler, Bursa BUTEKOM’da yapılan testler, Kocaeli Üniversitesinde yapılan testler ve firma tarafından paylaşılan malzeme katalogları olarak kabul edilmiştir. Malzemeye ait test sonuçları Tablo 4.11 Enjeksiyon kalıplama yöntemi ile hazırlanan Tisan firmasının TİSAFORM M12000010 kodlu çentikli POM örneklerinin çarpma mukavemeti sonuçları’de verilmiştir.

Tablo 4.11 Enjeksiyon kalıplama yöntemi ile hazırlanan Tisan firmasının TİSAFORM M12000010 kodlu çentikli POM örneklerinin çarpma mukavemeti sonuçları

	Izod Mukavemeti kJ/m^2			
Tisan POM Çentikli	Hacettepe Üniversitesi	Kocaeli Üniversitesi	TDS	Butekom
Test 1	5,93	5,15	-	6,1
Test 2	7,97	5,23	-	7
Test 3	6,54	8,3	-	-
Test 4	6,12	10,86	-	-
Test 5	6,79	6,3	-	-
ORTALAMA	6,67	7,168	7-11	6,55

4.4.7 Politem POM

Politem firması tarafından üretilen **JURAPOM X62 001 NC00 4023** kod’lu POM granülleri temin edilmiştir. Temin edilen granüller, Hacettepe Üniversitesi Polimer Proses Laboratuvarında basınçla kalıplama yöntemi kullanılarak üretilmiştir. Çentikli numuneler için çentik açma işlemi Kocaeli Üniversitesinde yapılmıştır. Numunelere ait referans değerler, Bursa BUTEKOM’da yapılan testler, Kocaeli Üniversitesinde yapılan testler ve firma tarafından paylaşılan malzeme katalogları olarak kabul edilmiştir. Malzemeye ait test sonuçları Tablo 4.12 Pres kalıplama yöntemi ile hazırlanan Politem firmasının JURAPOM X62 001 NC00 4023 kodlu çentikli POM örneklerinin çarpma mukavemeti sonuçlarıve çentiksiz test sonuçları Tablo 4.13 Pres kalıplama yöntemi ile hazırlanan Politem firmasının JURAPOM X62 001 NC00 4023 kod’lu çentiksiz POM örneklerinin çarpma mukavemeti sonuçları’te verilmiştir.

Tablo 4.12 Pres kalıplama yöntemi ile hazırlanan Politem firmasının JURAPOM X62 001 NC00 4023 kodlu çentikli POM örneklerinin çarpma mukavemeti sonuçları

	Izod Mukavemeti kJ/m^2			
Politem POM Çentikli	Hacettepe Üniversitesi	Kocaeli Üniversitesi	TDS	Butekom
Test 1	7,05	-	-	5,8
Test 2	3,98	-	-	5,9
Test 3	5,754	-	-	6,2
ORTALAMA	5,6	-	-	5,97

Tablo 4.13 Pres kalıplama yöntemi ile hazırlanan Politem firmasının JURAPOM X62 001 NC00 4023 kod'lu çentiksiz POM örneklerinin çarpma mukavemeti sonuçları

	Izod Mukavemeti kJ/m^2			
Politem POM Çentiksiz	Hacettepe Üniversitesi	Kocaeli Üniversitesi	TDS	Butekom
Test 1	8,03	-	-	20
Test 2	49,05	-	-	23
Test 3	-	-	-	14,3
ORTALAMA	28,54	-	-	19,1

Doğrulama çalışmaları Politem firmasının **JURAPOM® X62 001 NC00 4023 kod'lu POM** kullanılarak, politem firması tarafından enjeksiyon yöntemi kullanılarak hazırlanan test numuneleri ile de yapılmıştır.

Enjeksiyon yöntemi ile Politem firmasının **JURAPOM® X62 001 NC00 4023 kod'lu POM** 'u kullanılarak imal edilen numuneler, Kocaeli Üniversitesinde çentik açılarak test numunesi haline getirilmiştir. Numunelere ait referans değerler, Bursa BUTEKOM'da yapılan testler, Kocaeli Üniversitesinde yapılan testler ve firma tarafından paylaşılan malzeme katalogları olarak kabul edilmiştir. Malzemeye ait test sonuçları Tablo 4.14 Enjeksiyon yöntemi ile hazırlanan Politem firmasının JURAPOM X62 001 NC00 4023 kod'lu çentikli POM örneklerinin çarpma mukavemeti sonuçları'te verilmiştir.

Tablo 4.14 Enjeksiyon yöntemi ile hazırlanan Politem firmasının JURAPOM X62 001 NC00 4023 kod'lu çentikli POM örneklerinin çarpma mukavemeti sonuçları

	Izod Mukavemeti kJ/m^2			
Politem POM Çentikli	Hacettepe Üniversitesi	Kocaeli Üniversitesi	TDS	Butekom
Test 1	5,62	5,21	-	6
Test 2	-	4,73	-	6,3
Test 3	-	4,82	-	6,2
Test 4	-	5,18	-	-
ORTALAMA	5,62	4,98	4,5	6,16

4.4.8 Smart Sistem POM

Enjeksiyon yöntemi ile imal edilen Smart Sistemler firmasından temin edilen SS POM numuneler(üretici firma bilinmemektedir) Kocaeli Üniversitesinde çentik açılarak test numunesi haline getirilmiştir. Numunelere ait referans değerler, Bursa BUTEKOM'da yapılan testler, Kocaeli Üniversitesinde yapılan testler olarak kabul edilmiştir. Malzemeye ait test sonuçları Tablo 4.15 Enjeksiyon yöntemi ile hazırlanan Smart Sistem firmasının SS POM kod'lu çentikli POM örneklerinin çarpma mukavemeti sonuçları.'te verilmiştir.

Tablo 4.15 Enjeksiyon yöntemi ile hazırlanan Smart Sistem firmasının SS POM kod'lu çentikli POM örneklerinin çarpma mukavemeti sonuçları.

	Izod Mukavemeti kJ/m^2			
SS POM Çentikli	Hacettepe Üniversitesi	Kocaeli Üniversitesi	TDS	Butekom
Test 1	6,8	3,74	-	6,5
Test 2	4,34	4,6	-	6,1
Test 3	5,82	3,64	-	5,43,64
Test 4	-	5,34	-	-
ORTALAMA	5,6	4,33	-	6

4.4.9 Lati POM

Enjeksiyon yöntemi Lati firmasının LATILUB 73/13-20T ürünü kullanılarak, lati firması tarafından ile imal edilen parçalar, Kocaeli Üniversitesinde çentik açılarak test numunesi

haline getirilmiştir. Numunelere ait referans değerler, Bursa BUTEKOM’da yapılan testler, Kocaeli Üniversitesinde yapılan testler ve firma tarafından paylaşılan malzeme katalogları olarak kabul edilmiştir. Malzemeye ait test sonuçları Tablo 4.16 Enjeksiyon yöntemi ile hazırlanan Lati firmasının LATILUB 73/13-20T kod’lu çentikli POM örneklerinin çarpma mukavemeti sonuçları.’da verilmiştir.

Tablo 4.16 Enjeksiyon yöntemi ile hazırlanan Lati firmasının LATILUB 73/13-20T kod’lu çentikli POM örneklerinin çarpma mukavemeti sonuçları.

	Izod Mukavemeti kJ/m^2			
Lati POM Çentikli	Hacettepe Üniversitesi	Kocaeli Üniversitesi	TDS	Butekom
Test 1	5,13	-	-	5,5
Test 2	4,56	-	-	5,8
Test 3	-	-	-	5,6
Test 4	-	-	-	-
ORTALAMA	4,85	-	-	5,63

4.4.10 Anadolu Pleksi PMMA

Anadolu Pleksi firmasında, ellerinde hazır olarak bulunan 4 mm, 8mm ve 10 mm’lik pleksi (PMMA) plakardan lazer kesim ile test numuneleri üretilmiştir. Çentik açma işlemi de yine lazer kesim ile yapılmıştır. Numunelere ait referans değerler, Bursa BUTEKOM’da yapılan testler, Kocaeli Üniversitesinde yapılan testler ve firma tarafından paylaşılan malzeme katalogları olarak kabul edilmiştir. Malzemeye ait test sonuçları aşağıdaki üç tablodaki şekildedir;

Tablo 4.17 Anadolu Pleksi firmasından temin edilen 4 mm kalınlığındaki pleksiglas’dan hazırlanan PMMA esaslı çentikli örneklerin çarpma mukavemeti sonuçları.

	Izod Mukavemeti kJ/m^2			
Plexi 4mm Çentikli	Hacettepe Üniversitesi	Kocaeli Üniversitesi	TDS	Butekom
Test 1	3,245	-	-	2,6
Test 2	3,62	-	-	2,2

Test 3	2,7	-	-	5,7
ORTALAMA	3,18	-	-	3,5

Tablo 4.18 Anadolu Pleksi firmasından temin edilen 8 mm kalınlığındaki pleksiglas'dan hazırlanan PMMA esaslı çentikli örneklerin çarpma mukavemeti sonuçları.

	Izod Mukavemeti kJ/m^2			
Plexi 8mm Çentikli	Hacettepe Üniversitesi	Kocaeli Üniversitesi	TDS	Butekom
Test 1	2,827	-	-	3,8
Test 2	3,854	-	-	4,2
Test 3	2,648	-	-	4
ORTALAMA	3,00	-	-	4

Tablo 4.19 Anadolu Pleksi firmasından temin edilen 10 mm kalınlığındaki pleksiglas'dan hazırlanan PMMA esaslı çentikli örneklerin çarpma mukavemeti sonuçları.

	Izod Mukavemeti kJ/m^2			
Plexi 10 mm Çentikli	Hacettepe Üniversitesi	Kocaeli Üniversitesi	TDS	Butekom
Test 1	2,68	-	-	3,9
Test 2	2,23	-	-	3
Test 3	2,96	-	-	3,8
Test 4	2,41	-	-	-
ORTALAMA	2,57	-	-	3,56

4.4.11 Geliştirilen Test Cihazının Doğruluğunun ve Güvenilirliğinin İstatistiksel Yöntemler Kullanılarak Değerlendirilmesi

Aşağıdaki tabloda, bu tez çalışması kapsamında tasarlanan ve hazırlanan cihaz kullanılarak elde edilen test numuneleri test sonuçları ile referans laboratuvar olarak kabul edilen Kocaeli

Üniversitesinde yapılan test sonuçları, Butekom’da yapılan test sonuçları ve malzeme veri tablolarında verilen mukavemet değerleri toplu olarak gösterilmiştir. Her bir laboratuvarın her test numunesi için sonuçlarının ortalaması da yine tabloda gösterilmiştir.

Tablo 4.20 Hazırlanan çarpma mukavemeti cihazının doğrulanmasında kullanılan tüm plastikler ve çarpma mukavemeti değerleri

Örnek Adı	Üretim Yöntemi	Hacettepe Üniv.	Kocaeli Üniv.	Butekom	TDS
Tisan PA6	Enjeksiyon	22,8 ±1,8	15,23±3,19	13 ± 2,4	15-20
Çentikli	kalıplama				
		24.46	19.05	14.7	
		24.34	16.19	11.3	
		21.733	14.14		
		20.9	11.52		
Tisan PA6	Enjeksiyon	N/C	-	69.13±	-
Çentiksiz	kalıplama			23.52	
				42	
				81.6	
				83.8	
Politem	Pres	14,02 ±2,1	-	7,53	11
PA6 Çentikli	kalıplama			±0,06	
(KOLUMAN)		12.54		7.6	
		15.5		7.5	
				7.5	
Politem	Pres	21,63 ±5,45	-	23,93	-
PA6	kalıplama			±6,84	
Çentiksiz					
(KOLUMAN)		26.56		29.5	
		26.13		26	
		17.36			
		16.48		16.3	
Politem	Enjeksiyon	8,03	7,29 ±1,04	8,46 ±0,3	9-11
PA6	Kalıplama				
Çentikli					
(RUGAPO)			8.93	8.8	
		8.03	7.71	8.4	
			6.71	8.2	
			6.6		
			6.5		

Ensinger PA6	Enjeksiyon	17	6.65±0,66	12 ±1,74	-
Çentikli	Kalıplama				
(SS)		17	6.55	13.9	
			7.54	11.3	
			7.08	10.6	
			5.96		
			6.1		
Lati PA6	Enjeksiyon	11,98 ±4,5	-	7,73 ±0,32	-
Çentikli	kalıplama				
(ULTRA)		8.81		8.1	
		15.16		7.6	
				7.5	
Ankara Bronz PA6 Çentikli	Enjeksiyon kalıplama	N/C	-		-
Tisan POM Çentikli	Enjeksiyon kalıplama	6,67 ±0,8	7,17±2,42	6,55 ±0,64	7-11
		7.94	10.86	7	
		6.79	8.3	6.1	
		6.54	6.3		
		6.12	5.23		
		5.93	5.15		
Politem POM Çentikli	Pres Kalıplama	5,6 ±1,54	-	5,97 ±0,2	4.5
(KOLUMAN)		7.05		6.2	
		5.75		5.9	
		3.98		5.8	
Politem POM Çentiksiz	Pres Kalıplama	28,54 ±28	-	19,1 ±4,4	-
(KOLUMAN)		49.05		23	
				20	
		8.3		14.3	
Politem POM Çentikli	Enjeksiyon kalıplama	5,62	4,98 ±0,21	6,16 ±0,2	4.5
(JURAPOM)					
		5.62	5.21	6.3	
			5.18	6.2	
			4.97	6	
			4.82		
			4.73		
Smart sistem POM Çentikli	Enjeksiyon kalıplama	5,6 ±1,2	4,33 ±0,80	6,0 ±0,56	-

(SS)		6.8	5.34	6.5	
		5.82	4.6	6.1	
		4.34	3.74	5.4	
			3.64		
Lati	Enjeksiyon	4,85 ±0,40	-	5,63 ±0,15	4.5
POM Çentikli	kalıplama				
(ULTRA)				5.8	
		5.13		5.6	
		4.56		5.5	
Anadolu Pleksi	Pres	3,18 ±0,46	-	3,5 ±1,9	-
PMMA 4mm	Kalıplama				
		3.62		5.7	
		3.245		2.6	
		2.7		2.2	
Anadolu Pleksi	Pres	3,0 ±0,57	-	4,0 ±0,2	-
PMMA 8mm	Kalıplama				
		3.854		4.2	
		2.827		4	
		2.68		3.8	
		2.648			
Anadolu Pleksi	Pres	2,57 ±0,32	-	3,56 ±0,5	-
PMMA 10mm	Kalıplama				
		2.96		3.9	
		2.68		3.8	
		2.41		3	
		2.23			

Yapılan testler incelendiğinde Izod darbe mukavemeti değerinin farklı kalibre cihazlar ile farklı ölçümlendiği görülmektedir. Sonuçlar arasındaki farkların pek çok nedeni vardır. Bu sebeplerin bir tanesi hava sıcaklığı olabilir. Hava sıcaklığı, sarkaç dönme ekseninde rulmanlar kullanılmaktadır. Hava sıcaklığına bağlı olarak rulman sürtünmesi değişmektedir. Değişen sürtünme sebebiyle okunan sonuçlarda farklılık oluşmaktadır. Hava sıcaklığının ikinci etkisi numuneler üzerindedir. Aynı numune farklı sıcaklıklarda farklı mukavemetler göstermektedir.

Bir diğer sebep numune kalitesidir. Numuneler farklı imalat yöntemleri ile üretilebilir. Aynı yöntemle üretilmiş numunelerde dahi iç boşlukların farklı olması, hava kabarcığı boşluklarının olup olmaması veya numune ölçülerinin birbirinden farklı olması test sonuçlarını etkilemektedir. Sonuçlar arası farklılığın diğer bir sebebi ise numunelere açılan

çentiklerdir. Her numuneye eşit derinlikli çentik açılması çok hassas bir işlemdir ve her numunede farklı derinlikli çentik açılması durumunda sonuçlar etkilenmektedir.

Testlerde kullanılan sarkaç kapasitesi de sonuçları etkileyen bir unsurdur. Eğer darbe mukavemeti düşük bir malzeme yüksek kapasiteli bir sarkaç ile test edilirse sonuçlar güvenilir olmayacaktır çünkü hava sürtünmesi, rulman sürtünmesi ve diğer harici hata unsurları ile malzemenin darbe mukavemetini birbirinden ayırmak zorlaşmaktadır. Eğer düşük kapasiteli bir sarkaç ile mukavemetli bir malzeme test edilmek istenirse karşılaşılabilecek ilk hata sarkacın numuneyi kıramamasıdır. Bunun dışında, kırsa bile kendi kapasitesinin neredeyse tamamına yakın bir direnç ile karşılaştığı için sarkaç olağan davranışının dışına çıkabilmekte, titreşim yapabilmektedir. Bu titreşim açığı okuyan encoderi yanıltarak sonuçlarda sapmalara sebep olabilmektedir.

Bu tez çalışması kapsamında tasarımı, imalatı ve doğrulanması yapılan cihaz ile yapılan ölçümler incelendiğinde, POM, PMMA gibi nispeten daha düşük darbe mukavemeti olan malzemelerde alınan sonuçların, 8 ve 10 mm gibi standart dışı örnekler hariç kalibre laboratuvarlarda yapılan testler ile büyük oranda (%90-98) örtüştüğü görülmektedir.

Çalışmada kullanılan termoplastik malzemelerin Ek'de verilen TDS'leri incelencek olursa bazı firmaların çarpma mukavemeti için çentikli Izod değerini bazı firmaların ise Charpy değerini verdiği görülecektir. Yine bazı firmalar sadece çentikli sonuçları verirken bazı firmalar hem çentikli ve hem de çentiksiz değeri birlikte vermektedir. Teknik veri tablolarında (TDS) verilen değerler ile geliştirilen cihaz ile yapılan değerlerin % benzerlik oranlarının ortalaması alındığında benzerliğin $87,2 \pm 7,4$ oranında olduğu görülmüştür. Bu değer ilk bakışta biraz düşük görölse de aslında oldukça yüksek bir benzerlik oranıdır.

Firmalar TDS lerinde çarpma mukavemeti değerlerini 15-20 kJ/m² veya 7-11 kJ/m² gibi 3-5 kJ/m² gibi geniş aralıkta vermektedirler. Basit bir hesaplama 15 kJ/m² çarpma mukavemetine sahip bir örnek ile 20 kJ/m² değerine sahip bir örnek arasındaki benzerlik %75 olacaktır. Benzer şekilde 7 kJ/m² çarpma mukavemetine sahip bir örnek ile 11 kJ/m² değerine sahip bir örnek arasındaki benzerlik de %63,6 olacaktır. Bu farkların sebebi yine yukarıda belirtilen tüm hata unsurlarından kaynaklanabilir. Tez çalışmasında geliştirilen cihaz ile Butekom laboratuvarlarında elde edilen sonuçların benzerliğinin ortalaması karşılaştırıldığında benzerliğin $81,5 \pm 13,5$ olduğu, Kocaeli Üniversitesinde elde edilen sonuçlarla karşılaştırıldığında ise benzerliğin $83,2 \pm 11,4$ olduğu bulunmuştur. Bu farkın anlamlı olup olmadığını araştırmak için referans olarak alınan Butekom'daki Ar-Ge laboratuvarlarında ve

Kocaeli Üniversitesi Kimya Müh. Polimer Araştırma Laboratuvarlarındaki iki farklı cihaz kullanılarak test edilen ortak malzemeler ile edilen sonuçlar da birbiri ile karşılaştırılmış ve Butekom'da elde edilen sonuçlarla Kocaeli'de elde edilen sonuçların ortalamasının birbiriyle $81,5 \pm 10,5$ oranında benzerlik gösterdiği bulunmuştur. Bu sonuç aslında kalibreli CE belgesi ile üretilmiş cihazlar arasında bile yine ya kalibrasyondan kaynaklanan ya da yukarıda belirtilen tüm hata sebeplerinden ötürü en fazla % 80 oranında benzer sonuçlar elde edilebileceğini çarpma mukavemeti sonuçlarında % 20 oranındaki belirsizliğin doğal kabul edilebileceği sonucuna varılmıştır.

Bu sonuçların yanı sıra testler incelendiğinde, çentik açılmamış numunelerin testlerinde ve PA6 gibi daha yüksek mukavemetli malzemelerde sarkacın numuneyi kıramadığı, kırsa bile okunan değerlerin stabil olmadığı, kalibre laboratuvarlarda alınan sonuçlardan farklı olduğu görülmektedir. Bu farklılığın temel sebebi sarkaç kapasitesidir. Bu tez çalışmasında kullanılan 2,7J kapasiteli sarkaç, POM ve PMMA gibi düşük mukavemetli malzemeler için idealdir. Fakat daha yüksek mukavemetli malzemeler için bir büyük sarkaç kullanılması gerektiği görülmüştür. Daha büyük sarkaç imalatı yaptırılmış ve istenirse geliştirilen cihazda kullanılabilecektir ancak bu tez çalışması kapsamında hazırlanan ve temin edilen numunelerin tamamı testlere tabi tutulduğu, kırılmasa bile hasar verildiği için bu tez çalışmasının dışında gerekli numunelerin tekrar temin edilerek veya hazırlanması ve cihaz envanterinde test edilmek üzere planlaması yapılmıştır.

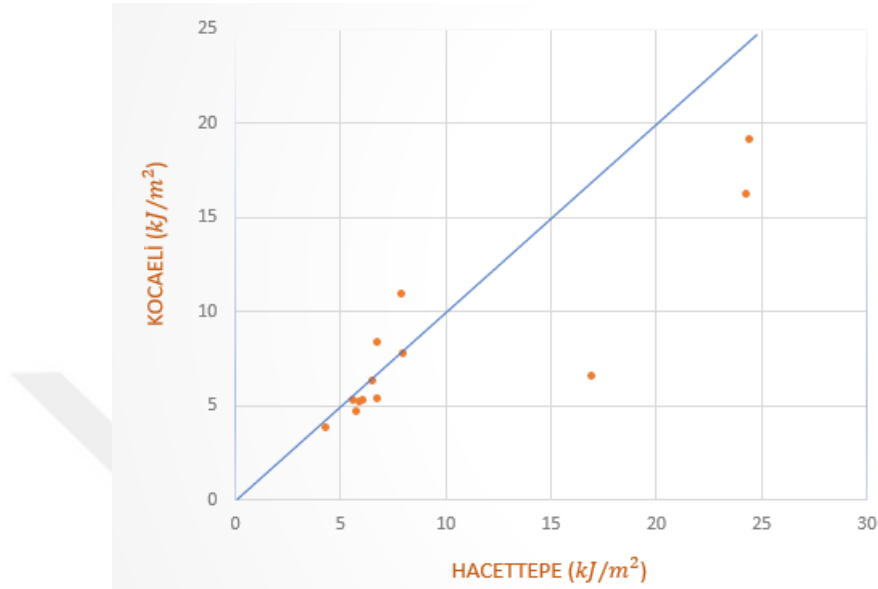
Hazırlanan test cihazının doğruluğunun ve güvenilirliğinin değerlendirilebilmesi için yapılan istatistiki çalışmalarda, Hacettepe Üniversitesinde yapılan tüm plastik testlerinin sonuçları bir grup, Kocaeli Üniversitesinde yapılan testlerin sonuçları ikinci bir grup ve BUTEKOM'da yapılan testlerin sonuçları ise üçüncü bir grup olarak kabul edilmiştir. Bu gruplar, farklı istatistiksel yöntemler kullanılarak karşılaştırılmış ve test sonuçlarının güvenilirliği üzerine yorumlar yapılmıştır.

4.4.11.1 Saçılım Grafiği Kullanarak Sonuçların Değerlendirilmesi

Saçılım grafiği, diğer bir adıyla saçılım diyagramı, bir veri setinde birbirine karşılık gelen iki farklı değişkenin gösterilebilmesi için kullanılan, kartezyen koordinatlar kullanılarak oluşturulan matematiksel ve görsel bir grafiktir [39][40].

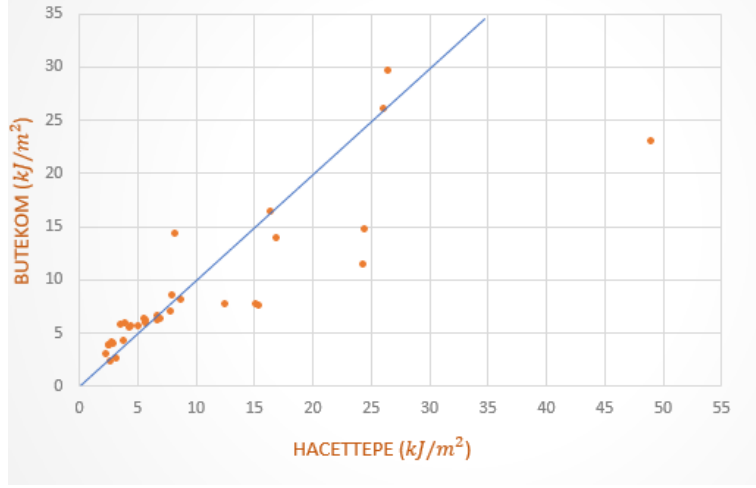
Saçılım grafiğinde noktalar, X ekseninde belirtilen değişkene göre sahip olduğu değer ve Y ekseninde belirtilen değişkene göre sahip olduğu değere göre konumlandırılır. [41]

Opsiyonel olarak, eşit dağılım çizgisi ($x=y$) çekilerek görsel değerlendirme için kullanılabilir. Bir önceki bölümde anlatıldığı şekilde oluşturulan üç gruba ait test sonuçları, kendi içlerinde ikili olarak saçılım grafiğine yansıtılmış ve bu grafikler üzerinden değerlendirmeler yapılmıştır.



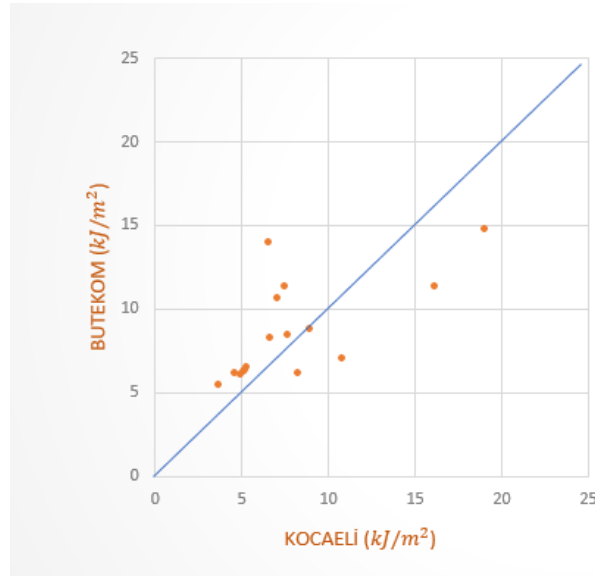
Şekil 4.44 Hacettepe – Kocaeli test sonuçlarının saçılım grafiği

Hacettepe Üniversitesi'nde yapılan test sonuçları ile Kocaeli Üniversitesi'nde yapılan test sonuçları Şekil 4.44 Hacettepe – Kocaeli test sonuçlarının saçılım grafiği'te, saçılım grafiği üzerinde gösterilmiştir. Değerlendirmede 13 karşılıklı sonuç kullanılmıştır. Grafik incelendiğinde, 10 kJ/m^2 değerine kadar Hacettepe'de yapılan testler ile Kocaeli'de yapılan testlerin büyük bir uyum gösterdiği, fakat bu değerden sonra eş dağılım çizgisinden sapmaların başladığı gözlemlenmiştir. Bunun sebebi, Hacettepe Üniversitesi'nde geliştirilen cihazda kullanılan 2,7 J değerindeki sarkacın darbe mukavemeti 10 kJ/m^2 üzerindeki numuneleri kırmakta zorlanması, kırma esnasında sarkacın titreşmesi ve titreşim sebebiyle encoderin doğru okuyamaması olarak yorumlanmıştır.



Şekil 4.45 Hacettepe – BUTEKOM test sonuçlarının saçılım grafiği

Hacettepe Üniversitesi'nde yapılan test sonuçları ile BUTEKOM'da yapılan test sonuçları Şekil 4.45 Hacettepe – BUTEKOM test sonuçlarının saçılım grafiği'te saçılım grafiği üzerinde gösterilmiştir. Değerlendirmede 33 karşılıklı sonuç kullanılmıştır. Grafik incelendiğinde, 10 kJ/m^2 değerine kadar Hacettepe'de yapılan testler ile BUTEKOM'da yapılan testlerin büyük oranda uyumlu olduğu görülmüştür. Bu değerden sonra ise halen eş dağılım çizgisi üzerinde olacak kadar uyumlu değerler olabildiği gibi, çizgiden uzaklaşan değerler de olduğu gözlemlenmiştir. Saçılımların sebebi, Hacettepe Üniversitesi'nde geliştirilen cihazda kullanılan 2,7J değerindeki sarkacın darbe mukavemeti 10 kJ/m^2 üzerindeki numuneleri kırmakta zorlanması, kırma esnasında sarkacın titremesi ve titreşim sebebiyle encoderin doğru okuyamaması olarak yorumlanmıştır.

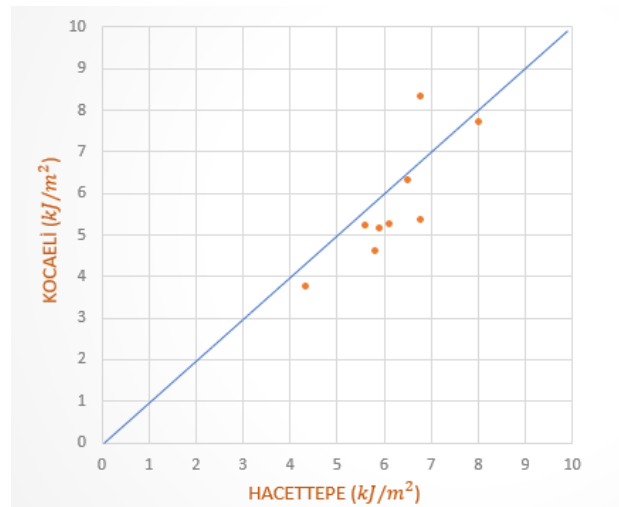


Şekil 4.46 Kocaeli – BUTEKOM test sonuçlarının saçılım grafiği

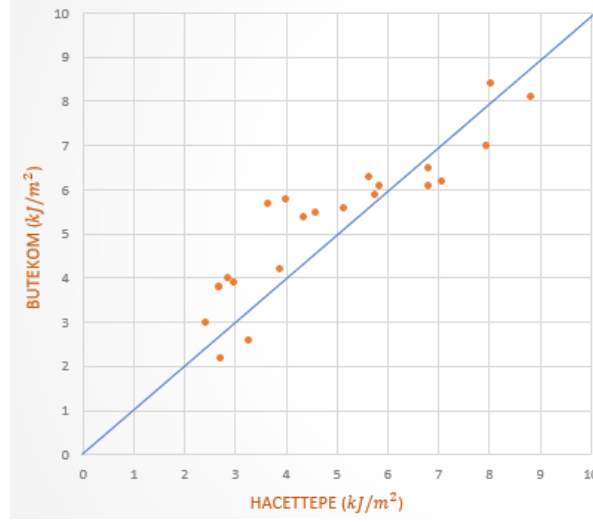
Kocaeli Üniversitesi'nde yapılan test sonuçları ile BUTEKOM'da yapılan test sonuçları Şekil 4.46 Kocaeli – BUTEKOM test sonuçlarının saçılım grafiği'da saçılım grafiği üzerinde gösterilmiştir. Değerlendirmede 16 karşılıklı sonuç kullanılmıştır. Grafik incelendiğinde, Kocaeli Üniversitesi ve BUTEKOM'daki kalibre test cihazları ile yapılan test sonuçlarının hiçbir aralıkta tam örtüşmediği, fakat birbirlerine her aralıkta yakın olduğu görülmektedir. Sonuçlarda, belirli değer aralıklarında normalden daha farklı sapmalar görülmemektedir. Bu grafik sonuçları ile iki kalibre test laboratuvarı arasında, kullanılan cihaz kaynaklı, numune çentikleme işlemi kaynaklı, ortam koşulları/kondisyonlama kaynaklı veya operatör kaynaklı sapmalar olabildiği fakat kullanılan sarkaç kapasitelerinin farklı darbe mukavemetindeki plastikleri kapsayıcı olduğu sonucuna varılmıştır.

Yukarıda verilen saçılım grafikleri bir bütün olarak incelendiğinde, Hacettepe Üniversitesi testlerinde kullanılan 2,7J kapasiteli sarkacın 10 kJ/m^2 altında darbe mukavemeti olan numunelerde daha efektif çalıştığı sonucuna varılmıştır. 5,4 ve 10,8 J kapasiteli sarkaçlar da bu testler esnasında ürettirilmiş ve kullanıma hazır hale getirilmiştir. Farklı yollarla temin edilen tüm test numuneleri, cihaz doğrulama testlerinde ve 2,7J sarkaç ile yapılan testlerde kullanıldığı için, 5.4 ve 10.8J sarkaçlar ile yapılacak çalışmalar bu tez çalışması sonrasına bırakılmıştır. Bu denemelerde kullanılmak üzere, PA6 gibi yüksek darbe mukavemetine sahip test numunelerinin tedarik sürecine başlanmıştır.

Tez çalışması kapsamında geliştirilen ve hazırlanan cihazın efektif çalıştığı aralık olarak tespit edilen, darbe mukavemeti 10 kJ/m^2 ve daha düşük numunelerin test sonuçları ayrıca değerlendirilmiştir. Saçılım grafikleri aşağıda verilmiştir.



Şekil 4.47 Hacettepe – Kocaeli 10 kJ/m^2 altındaki test sonuçlarının saçılım grafiği



Şekil 4.48 Hacettepe – BUTEKOM 10 kJ/m^2 altındaki test sonuçlarının saçılım grafiği

Hacettepe Üniversitesi'nde yapılan, 10 kJ/m^2 altında darbe mukavemetli plastiklerin test sonuçları ile Kocaeli Üniversitesi'nde yapılan 10 kJ/m^2 altında darbe mukavemetli plastiklerin test sonuçları Şekil 4.47 Hacettepe – Kocaeli 10 kJ/m^2 altındaki test sonuçlarının saçılım grafiği'de saçılım grafiği üzerinde ve Hacettepe Üniversitesi'nde yapılan, 10 kJ/m^2 altında darbe mukavemetli plastiklerin test sonuçları ile BUTEKOM'da yapılan 10 kJ/m^2 altında darbe mukavemetli plastiklerin test sonuçları Şekil 4.48 Hacettepe – BUTEKOM 10 kJ/m^2 altındaki test sonuçlarının saçılım grafiği'de saçılım grafiği üzerinde gösterilmiştir. İki saçılım grafiği de incelendiğinde, sonuçların eşit dağılım çizgisi çevresinde yoğunlaşmış olduğu, çizgiden çok dikkat çekici sapmaların olmadığı, yaşanan sapmaların kabul edilebilir değerler olduğu kanaatine varılmıştır. BUTEKOM ve Kocaeli Üniversitesi gibi iki kalibre laboratuvarında yapılan testler arasında da benzer, hatta daha büyük sapmalar gözlemlenebilmektedir.

4.4.11.2 Sınıf içi Korelasyon Katsayısı Kullanılarak Sonuçların Değerlendirilmesi

Sınıf içi Korelasyon Katsayısı (Intraclass Correlation Coefficient – ICC) kullanılarak yapılan değerlendirmelerde, aynı test grubu için yapılan farklı ölçümler arasındaki uyum göz önünde bulundurulur. Bu metot, aynı birimler üzerinde yapılan iki veya daha fazla ölçümün birbiri ile ne kadar uyumlu olduğunu gösterir.

Sınıf içi korelasyon katsayısı, ölçümlerin güvenilirliğini gösteren bir ölçüt olarak da tanımlanabilmektedir. 0 ile 1 arasında değer alır. [42]

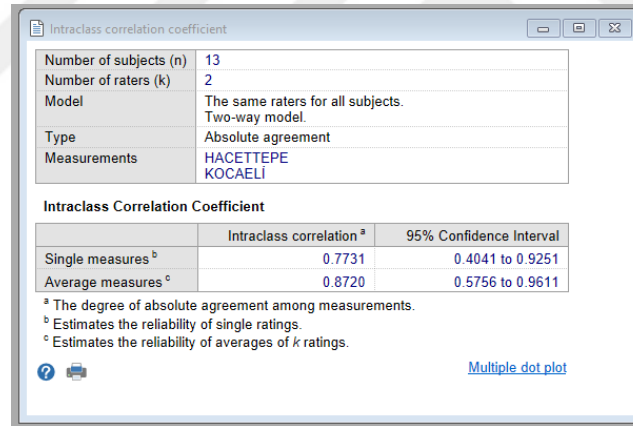
Sınıfıçı korelasyon değerlendirmelerinde kullanılan iki önemli parametre vardır. Birinci parametre sınıfıçı korelasyon katsayısının değeridir. İkinci parametre ise sonuçların %95 güven aralığı içindeki dağılımlarıdır.

Tablo 4.21 Sınıfıçı Korelasyon Katsayısına göre değerlendirme kılavuzu [43]'de gösterilen, sınıfıçı korelasyon katsayısının değerine göre bir değerlendirme kılavuzu, 2016 yılında, Terry Koo ve Mae Li tarafından önerilmiştir.

Tablo 4.21 Sınıfıçı Korelasyon Katsayısına göre değerlendirme kılavuzu [43]

<0.5	ZAYIF
0.5-0.75	ORTA
0.75-0.9	İYİ
0.9<	ÇOK İYİ

İkinci parametre olan %95 güven aralığında ise, aralığın ne kadar dar olduğu ve sınırların bire ne kadar yakın olduğu göz önünde bulundurularak bir değerlendirme yapılır. Güven aralığı daraldıkça ve sınır değerleri bire yaklaştıkça sonuçların güvenilirliği artarken, genişledikçe ve sınır değerleri sıfıra yaklaştıkça sonuçların güvenilirliğinin düştüğü yorumuna varılır.



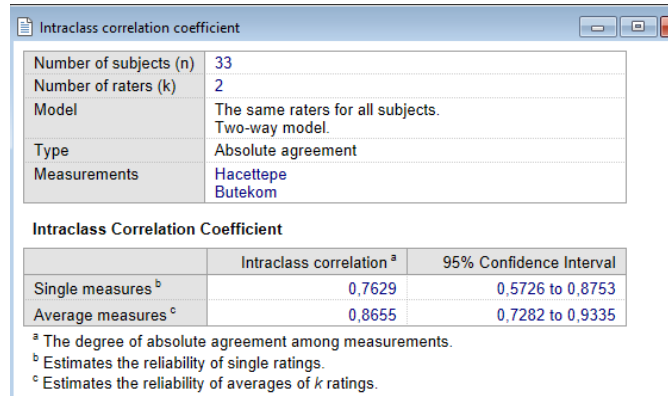
Şekil 4.49 Hacettepe- Kocaeli Test Sonuçlarının sınıfıçı korelasyon katsayısı ve güven aralığı MedCalc programının deneme sürümü kullanılarak Hacettepe Üniversitesi'ne ait test sonuçları ve Kocaeli Üniversitesi'ne ait test sonuçları ile hesaplanan sınıfıçı korelasyon katsayısı bilgileri, Şekil 4.49 Hacettepe- Kocaeli Test Sonuçlarının sınıfıçı korelasyon katsayısı ve güven aralığı'nda gösterilmiştir. Değerlendirmede 13 karşılıklı sonuç kullanılmıştır. Tablo 4.21 Sınıfıçı Korelasyon Katsayısına göre değerlendirme kılavuzu [43]'e göre değerlendirme yapıldığında hem tekli sonuçlar için hem de ortalama sonuçlar için, Hacettepe ve Kocaeli ölçümleri ile hesaplanan sınıfıçı korelasyon katsayısı “iyi” olarak tanımlanabilmektedir. %95 güven aralığı değeri ise, her ne kadar 0,9'un üstüne çıkabilse de tek okuyucu durumunda 0,4'e, ortalama sonuçlarda ise 0,58'lere kadar düşebilmektedir. Daha

önce açıklandığı üzere, %95 güven aralığının dar ve sınır değerlerinin bire yakın olması, sonuçların güvenilir olduğu anlamına gelmektedir.

Bu değerlendirmede, sınıfıçi korelasyon katsayısının “iyi” olarak tanımlanabilmesi ve güven aralığının yüksek değerlere çıkıyor olması sebebiyle, Hacettepe ile Kocaeli sonuçları arasında bir uyumun söz konusu olduğu sonucuna varılmıştır.

MedCalc programı deneme sürümü kullanılarak Hacettepe Üniversitesi’ne ait test sonuçları ve BUTEKOM’a ait test sonuçları kullanılarak hesaplanan sınıfıçi korelasyon katsayısı bilgileri, Şekil 4.50 Hacettepe-BUTEKOM Test Sonuçlarının sınıfıçi korelasyon katsayısı ve güven aralığı’de gösterilmiştir. Değerlendirmede 33 karşılıklı sonuç kullanılmıştır. Tablo 4.21 Sınıfıçi Korelasyon Katsayısına göre değerlendirme kılavuzu [43]’e göre değerlendirme yapıldığında hem tekli sonuçlar için hem de ortalama sonuçlar için, Hacettepe ve BUTEKOM ölçümleri ile hesaplanan sınıfıçi korelasyon katsayısı “iyi” olarak tanımlanabilmektedir. %95 güven aralığı değeri ise, Hacettepe-Kocaeli sonuçlarına göre daha dar bir aralık olarak hesaplanmıştır. Ayrıca ortalama değerler için %95 güven aralığı değeri ise hem 1’e yakın hem de 0,21 gibi dar bir aralık içinde toplanmıştır. Bu değerlendirmede, sınıfıçi korelasyon katsayısının “iyi” olarak tanımlanabilmesi ve güven aralığının yüksek değerlere çıkıyor olması ve dar bir aralıkta yayılıyor olması sebebiyle, Hacettepe ile BUTEKOM sonuçları arasında iyi bir uyumun söz konusu olduğu sonucuna varılmıştır.

Şekil 4.50 Hacettepe-BUTEKOM Test Sonuçlarının sınıfıçi korelasyon katsayısı ve güven aralığı



Intraclass correlation coefficient		
Number of subjects (n)	33	
Number of raters (k)	2	
Model	The same raters for all subjects. Two-way model.	
Type	Absolute agreement	
Measurements	Hacettepe Butekom	
Intraclass Correlation Coefficient		
	Intraclass correlation ^a	95% Confidence Interval
Single measures ^b	0,7629	0,5726 to 0,8753
Average measures ^c	0,8655	0,7282 to 0,9335

^a The degree of absolute agreement among measurements.
^b Estimates the reliability of single ratings.
^c Estimates the reliability of averages of *k* ratings.

Şekil 4.50 Hacettepe-BUTEKOM Test Sonuçlarının sınıfıçi korelasyon katsayısı ve güven aralığı MedCalc programı kullanılarak Kocaeli Üniversitesine ait test sonuçları ve BUTEKOM’a ait test sonuçları kullanılarak hesaplanan sınıfıçi korelasyon katsayısı bilgileri, Şekil 4.51’de gösterilmiştir. Değerlendirmede 16 karşılıklı sonuç kullanılmıştır. Tablo 4.21 Sınıfıçi Korelasyon Katsayısına göre değerlendirme kılavuzu [43]’e göre değerlendirme yapıldığında hem tekli sonuçlar için hem de ortalama sonuçlar için, Kocaeli ve BUTEKOM ölçümleri ile

hesaplanan sınıfıçı korelasyon katsayısı “orta” olarak tanımlanabilmektedir. Ayrıca güven aralıklarının çok geniş olduğu ve 0.2 değerinin altına kadar düşebildiği görülmektedir. İki laboratuvar arasındaki ölçümler, orta derecede güvenilir olarak değerlendirilmiştir. Bu farkların, farklı cihazlar kullanarak çalışılması, numunelerin fiziksel kondisyonu, numunelere çentik açılma işlemindeki hatalar veya operatör kaynaklı olabileceği değerlendirilmiştir.

Intraclass correlation coefficient	
Number of subjects (n)	16
Number of raters (k)	2
Model	The same raters for all subjects. Two-way model.
Type	Absolute agreement
Measurements	Kocaeli Butekom

Intraclass Correlation Coefficient

	Intraclass correlation ^a	95% Confidence Interval
Single measures ^b	0,6100	0,1843 to 0,8436
Average measures ^c	0,7577	0,3113 to 0,9152

^a The degree of absolute agreement among measurements.

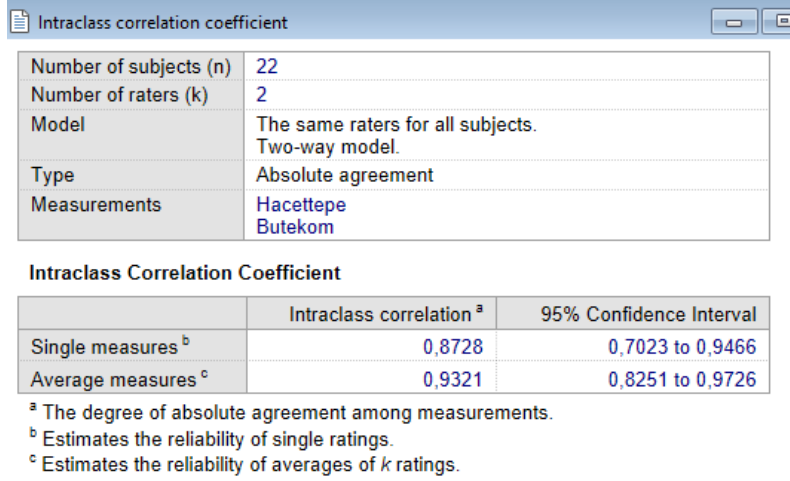
^b Estimates the reliability of single ratings.

^c Estimates the reliability of averages of *k* ratings.

Şekil 4.51 Kocaeli-BUTEKOM Test Sonuçlarının sınıfıçı korelasyon katsayısı ve güven aralığı

Saçılım grafiğinde yapılan değerlendirmelerde, Hacettepe Üniversitesi’nde geliştirilen cihazda yapılan testler esnasında kullanılan 2,7J değerindeki sarkacın, darbe mukavemeti 10 kJ/m^2 ve üstü olan numuneler için verdiği sonuçlarda sapmalar olabildiği gözlemlenmiştir. Bu sebeple, Hacettepe-Kocaeli ve Hacettepe-BUTEKOM sınıfıçı korelasyon katsayısı değerlendirmeleri, darbe mukavemeti 10 kJ/m^2 ve altı olan numuneler için tekrarlanmıştır. Hacettepe -Kocaeli için yeni sonuçlar incelendiğinde, sınıfıçı korelasyon katsayısı değerinin yaklaşık olarak aynı kaldığı, güven aralığının ise önceki ölçümlere göre genişlediğinin ve alt sınır değerinin 0,2 değerinin altına kadar düşebildiği görülmüştür.

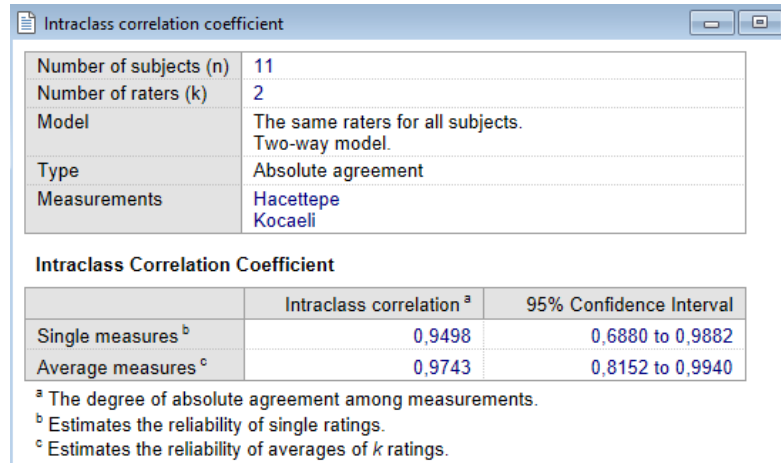
Hacettepe- BUTEKOM sınıfıçı korelasyon katsayısı hesaplamalarının 10 kJ/m^2 darbe mukavemeti ve daha altı numuneler için tekrarlanması ile elde edilen veriler Şekil 4.52’de gösterilmiştir. Tablo 4.21 Sınıfıçı Korelasyon Katsayısına göre değerlendirme kılavuzu [43]’e göre değerlendirme yapıldığında tekli sonuçlar için sınıfıçı korelasyon katsayısı “iyi” ve ortalama sonuçlar için “çok iyi” olduğu tespit edilmiştir. Güven aralıklarının, tüm veriler ile yapılan değerlendirmeye göre çok daha dar ve alt sınır değerinin çok daha yüksek olduğu görülmüştür. 10 kJ/m^2 darbe mukavemeti daha düşük darbe mukavemetine sahip numuneler için Hacettepe Üniversitesi’nde geliştirilen cihaz ile BUTEKOM laboratuvarının çok yüksek bir uyum içinde olduğu sonucuna varılmıştır.



Şekil 4.52 Hacettepe-BUTEKOM 10 kJ/m^2 ve daha düşük darbe mukavemetli numuneler için sınıfıçı korelasyon katsayısı ve güven aralığı

Son olarak, değerlendirmelerin yapıldığı veri setinden, diğer değerlerden çok fazla şekilde sapan değerler, örneğin, diğer değerlerin ortalamasının iki katından da fazla, (**Tablo 4.20' de kalın ve kahverengi olarak verilen değerler**) veri setinden çıkarılmıştır. Hacettepe Üniversitesi'nde yapılan testler esnasında, zaten bu değerlerin gözlemlendiği ölçümlerde sarkaç hatası, numune bağlama hatası veya encoder hatası gibi sorunların olduğu gözlemlenmişti fakat yine de sonuçların mutlak doğruluğu için veri setinden çıkarılmamıştı.

Aşırı şekilde sapan değerler veri setinden çıkarıldığında elde edilen sonuçlar Şekil 4.53, Şekil 4.54 ve Şekil 4.55'te gösterilmiştir.



Şekil 4.53 Hacettepe-Kocaeli Test Sonuçlarının sınıfıçı korelasyon katsayısı ve güven aralığı

Intraclass correlation coefficient	
Number of subjects (n)	24
Number of raters (k)	2
Model	The same raters for all subjects. Two-way model.
Type	Absolute agreement
Measurements	Hacettepe Butekom
Intraclass Correlation Coefficient	
	Intraclass correlation ^a 95% Confidence Interval
Single measures ^b	0,9887 0,9723 to 0,9952
Average measures ^c	0,9943 0,9860 to 0,9976
^a The degree of absolute agreement among measurements.	
^b Estimates the reliability of single ratings.	
^c Estimates the reliability of averages of <i>k</i> ratings.	

Şekil 4.54 Hacettepe-BUTEKOM Test Sonuçlarının sınıfıçı korelasyon katsayısı ve güven aralığı

Intraclass correlation coefficient	
Number of subjects (n)	16
Number of raters (k)	2
Model	The same raters for all subjects. Two-way model.
Type	Absolute agreement
Measurements	Kocaeli Butekom
Intraclass Correlation Coefficient	
	Intraclass correlation ^a 95% Confidence Interval
Single measures ^b	0,6392 0,1600 to 0,8641
Average measures ^c	0,7799 0,2758 to 0,9271
^a The degree of absolute agreement among measurements.	
^b Estimates the reliability of single ratings.	
^c Estimates the reliability of averages of <i>k</i> ratings.	

Şekil 4.55 Kocaeli-BUTEKOM Test Sonuçlarının sınıfıçı korelasyon katsayısı ve güven aralığı

Hacettepe Üniversitesi'nde geliştirilen cihazda yapılan testler ile Kocaeli ve BUTEKOM laboratuvarlarında yapılan testlerin, sınıfıçı korelasyon katsayısı ve güven aralığı değerleri incelendiğinde, sınıfıçı korelasyon katsayısının, Tablo 4.21 Sınıfıçı Korelasyon Katsayısına göre değerlendirme kılavuzu [43]'e göre “çok iyi“ olarak sınıflandırılabilceği görülmektedir. Ayrıca güven aralıklarının, özellikle Hacettepe-BUTEKOM için çok yüksek ve dar aralıklar olduğu görülebilmektedir. Kocaeli-BUTEKOM değerleri incelendiğinde ise değerlerde ciddi değişimler olmadığı görülmektedir.

Bu değerlendirmeler ile, bu tez çalışması kapsamında geliştirilen, henüz doğrulama aşamasındayken farklı plastikler ile testlere tabi tutulan cihazda okunan ve daha sonradan sebebi araştırılarak ve çözüm getirilen hatalı sonuçlar veri setinden çıkarıldığında hem Kocaeli hem de BUTEKOM laboratuvarları ile çok uyumlu sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir.

4.4.11.3 Bland-Altman Metodu Kullanılarak Sonuçların Değerlendirilmesi

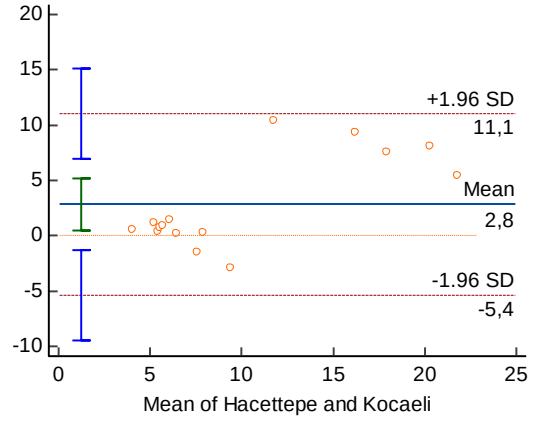
Bland-Altman grafiği, aynı skaladaki iki eşlenik değişken seti arasındaki ilişkinin kullanışlı şekilde gösterilebildiği bir grafikdir. Bland-Altman metodu, değişken setleri arasındaki farkı gösterir fakat bu farkı kullanarak bir değerlendirme yapmaz. Bland-Altman metodunda, iki eşlenik değişken seti arasındaki farklar ve ortalamalar kullanılarak grafik oluşturulur [44]. Bu yaklaşımda, değişken setleri arasındaki farkların normal dağılıyor olması beklenmektedir. Normallik varsayımı, güven aralığının hesaplanabilmesi için gereklidir.

Bland-Altman grafiğinde, dikey eksen iki değişken seti arasındaki farkları veya log dönüşümü yapılmışsa iki değişken seti arasındaki oranları gösterirken yatay eksen ise iki değişken setinin farklarının ortalamalarını göstermektedir. Ayrıca artı ve eksi uyum limitleri belirlenerek bunlar da grafiğe yansıtılır. Hesaplanan uyum limitleri için de güven aralığı hesaplanır. Bu güven aralığının dar olması beklenir. Güven aralığı daraldıkça sonuçlara olan güven artmaktadır. Bland-Altman metodunda kurulan regresyon denkleminde, değişken setlerinin farkları ile ortalamalarının arasında bir doğrusal bağıntı olmaması, rastgele bir saçılım olması beklenir. Eğer doğrusal bir ilişki hesaplanırsa, log dönüşümü yapılarak iki değişken setinin oranları dikey ekseninde gösterilir ve değerlendirme bu şekilde yapılır.

Bu metot, sonuç olarak iki farklı değişken setinin birbirine göre farkını veya oranını tespit eder. Farkın sıfır, oranın ise bir olması sonuçların güvenilir olduğunu gösterir fakat bu yöntem sonuçların güvenilir veya güvenilirmez olduğu ile ilgili bir yorum yapmaz. Bland-Altman metodu ile grafiği hazırlanan değerlerin uygunluğunun değerlendirmesi, verilerden sorumlu olan uzman, yani veriyi kullanacak kişi tarafından yapılır.

MedCalc programı deneme sürümü kullanılarak Bland-Altman yöntemi ile hazırlanan, Hacettepe ve Kocaeli Üniversitesi'lerine ait test sonuçları Şekil 4.56'da gösterilmiştir. Değerlendirmede 15 karşılıklı sonuç kullanılmıştır.

Bland-Altman plot					
Method A	Hacettepe				
Method B	Kocaeli				
Sample size	15				
Option	Plot differences				
Arithmetic mean	2,8315				
95% Confidence interval	0,5065 to 5,1566				
P (H ₀ : Mean=0)	0,0205				
Lower limit	-5,3975				
95% Confidence interval	-9,4633 to -1,3317				
Upper limit	11,0606				
95% Confidence interval	6,9947 to 15,1264				
Regression Equation	y = -2,3647 + 0,5157 x				
Parameter	Coefficient	SE	t	P	95% CI
Intercept	-2,3647	1,5204	-1,5553	0,1439	-5,6492 to 0,9199
Slope	0,5157	0,1308	3,9444	0,0017	0,2333 to 0,7982

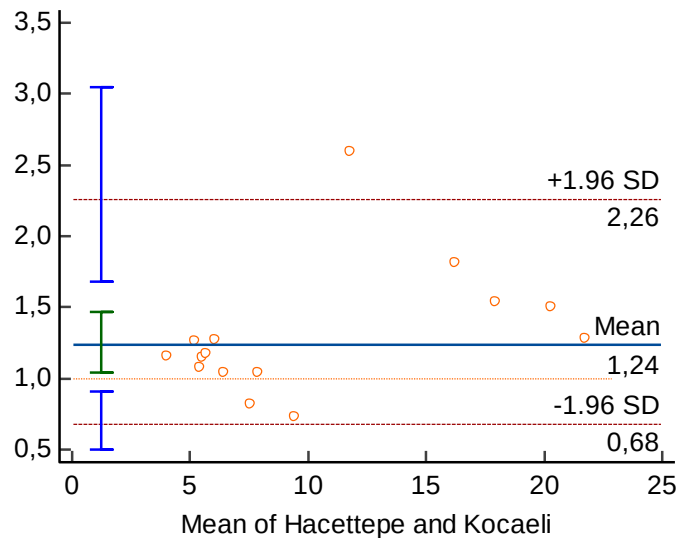


Şekil 4.56 Hacettepe – Kocaeli Test sonuçları Bland-Altman Plot

Uyum limitleri -5.4 birim ve +11,1 birim olarak hesaplanmıştır. Hacettepe, Kocaeli'den 5,4 birim aşağıda ve 11,1 birim yukarıda ölçebilir sonucuna varılmıştır.

Farklar bağımlı, ortalamalar bağımsız değişken olarak alınıp regresyon yapıldığında, farkların ortalamaya bağlı olmaması beklenir fakat, P değeri 0,0017 olarak bulunduğuundan sonuçlar log dönüşümü yapılarak çözümlenmelidir. P değeri 0,05'ten küçükse, farkların ortalama ile anlamlı bir ilişkisi olduğu anlamına gelmektedir.

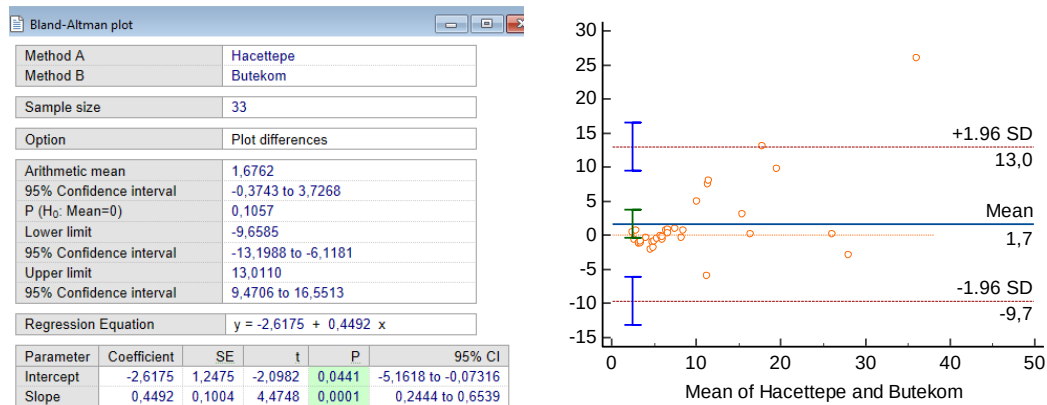
MedCalc programı kullanılarak Bland-Altman yöntemi ile hazırlanan, Hacettepe ve Kocaeli Üniversitesi'ne ait test sonuçları Şekil 4.57'de gösterilmiştir. Log dönüşümü yapılarak sonuçlar birbirinin katı cinsinden gösterilmiştir.



Şekil 4.57 Hacettepe – Kocaeli Test sonuçları Bland-Altman Plot

Bland-Altman grafikleri üzerinden yapılan değerlendirmede, Hacettepe’de yapılan testlerin, Kocaeli sonuçlarına göre 0,68 kat ile 2,26 kat farklı olabileceği gözlemlenmiştir. Bazı sonuçların ortalama değerlere çok yakın olduğu görülse de değerler büyüdükçe, özellikle yatay ekseninde gösterilen 10 ve üstü değerlerde sapmaların arttığı görülmektedir.

MedCalc programı deneme sürümü kullanılarak Bland-Altman yöntemi ile hazırlanan, Hacettepe Üniversitesi’ne ve BUTEKOM’a ait test sonuçları Şekil 4.58 Hacettepe – BUTEKOM Test sonuçları Bland-Altman Plot’de gösterilmiştir. Değerlendirmede 33 karşılıklı sonuç kullanılmıştır.

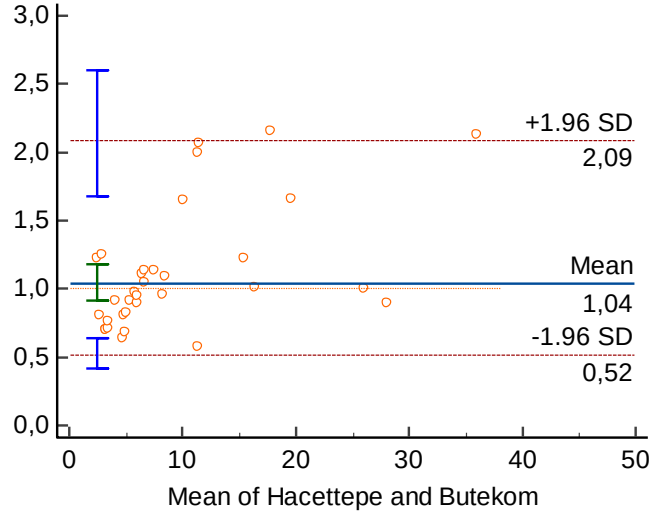


Şekil 4.58 Hacettepe – BUTEKOM Test sonuçları Bland-Altman Plot

Uyum limitleri -9,4 birim ve +13 birim olarak hesaplanmıştır. Hacettepe, BUTEKOM’dan 9,7 birim aşağıda ve 13 birim yukarıda ölçebilir sonucuna varılmıştır.

Farklar bağımlı, ortalamalar bağımsız değişken olarak alınıp regresyon analizi yapıldığında, farkların ortalamaya bağlı olmaması beklenir fakat, P değeri 0,0001 olarak bulunduğundan sonuçlar log dönüşümü yapılarak çözümlenmelidir. P değeri 0,05’ten küçükse, farkların ortalama ile anlamlı bir ilişkisi olduğu anlamına gelmektedir.

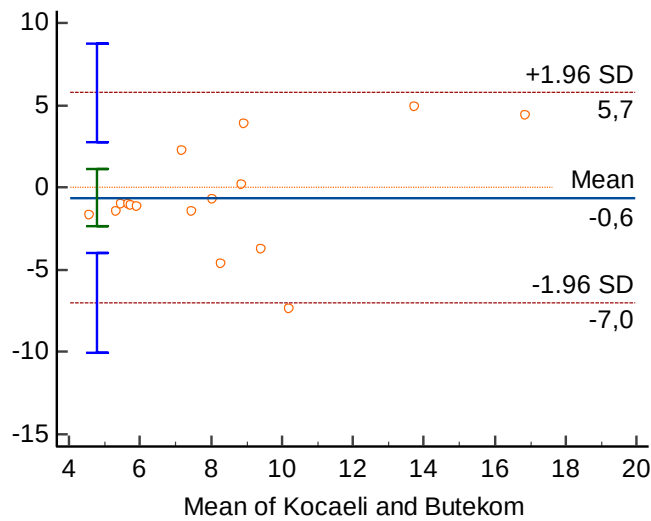
Hacettepe Üniversitesi ve BUTEKOM’a ait Bland-Altman grafiği Şekil 4.59’da gösterilmiştir. Log dönüşümü yapılarak sonuçlar birbirinin katı cinsinden gösterilmiştir.



Şekil 4.59 Hacettepe – BUTEKOM Test sonuçları Bland-Altman Plot

Bland-Altman grafikleri üzerinden yapılan değerlendirmede, Hacettepe’de yapılan testlerin, BUTEKOM sonuçlarına göre 0,52 kat ile 2,09 kat farklı olabileceği gözlemlenmiştir. Bazı sonuçların ortalama değerlere çok yakın olduğu görülse de, değerler büyüdükçe, özellikle yatay ekseninde gösterilen 10 ve üstü değerlerde sapmaların arttığı görülmektedir.

Son olarak, iki referans laboratuvarında alınan sonuçlar Bland-Altman grafikleri ile değerlendirilmiştir. Kocaeli ve BUTEKOM’a ait Bland-Altman grafiği Şekil 4.60’da gösterilmiştir. Değerlendirmede 16 karşılıklı sonuç kullanılmıştır.

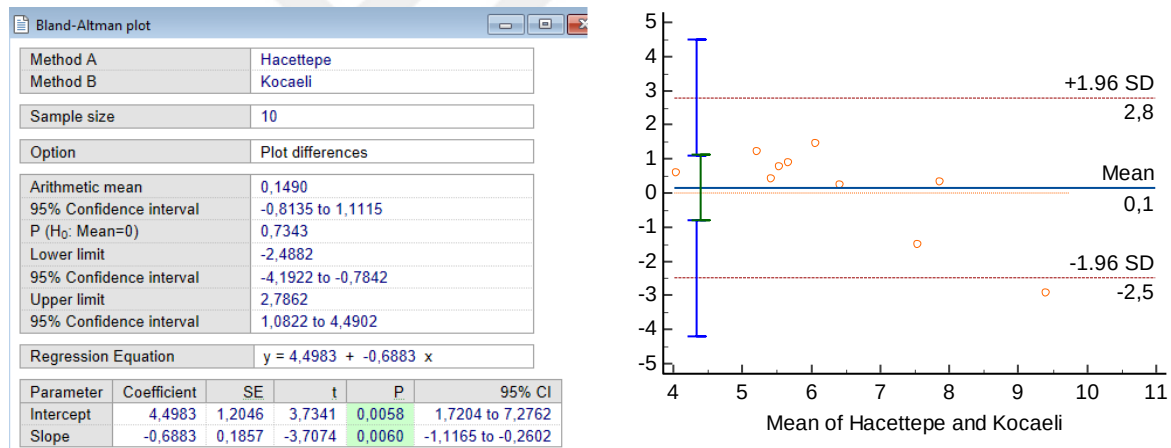


Şekil 4.60 Kocaeli – BUTEKOM Test sonuçları Bland-Altman Plot

Kocaeli-BUTEKOM sonuçları için yapılan değerlendirmede, farklar bağımlı, ortalamaları bağımsız değişken olarak alıp regresyon analizi yapıldığında anlamlı çıkmadığı, farkların ortalamaya bağlı olmadığı tespit edildiği için log dönüşümü yapılmamıştır. Uyum limitleri -7 ve 5.7 olarak tespit edilmiştir. Yani BUTEKOM, Kocaeli'den 7 birim yukarıda ve 5.7 birim aşağıda ölçüm yapılabilmektedir.

Saçılım grafiğinde yapılan değerlendirmelerde, Hacettepe Üniversitesi'nde geliştirilen cihazda yapılan testler esnasında kullanılan 2,7J değerindeki sarkacın, darbe mukavemeti 10 kJ/m^2 ve üstü olan numuneler için verdiği sonuçlarda sapmalar olabildiği gözlemlenmişti. Bu sebeple, 10 kJ/m^2 ve daha düşük darbe mukavemetli numuneler için alınan sonuçlar ayrıca değerlendirilmiştir.

MedCalc programı kullanılarak Bland-Altman yöntemi ile hazırlanan, Hacettepe Üniversitesi ve Kocaeli Üniversitesi'ne ait 10 kJ/m^2 darbe mukavemeti ve daha düşük numuneler için test sonuçları Şekil 4.61'de gösterilmiştir.

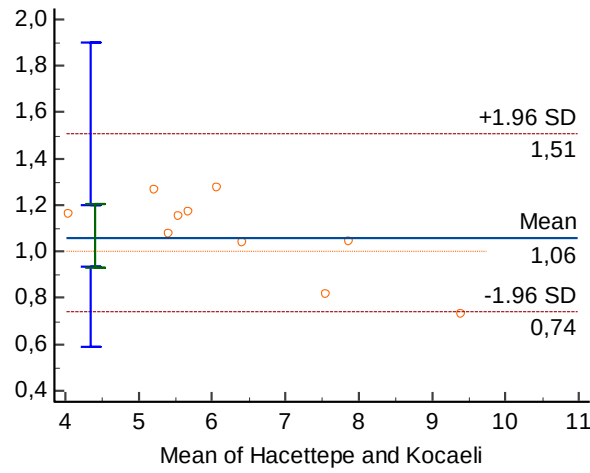


Şekil 4.61 Hacettepe – Kocaeli 10 kJ/m^2 ve altı numuneler için test sonuçları Bland-Altman Plot. Uyum limitleri -2,5 birim ve +2,8 birim olarak hesaplanmıştır. Hacettepe, Kocaeli'den 2,5 birim aşağıda ve 2,8 birim yukarıda ölçülebilir sonucuna varılmıştır.

Farklar bağımlı, ortalamalar bağımsız değişken olarak alınıp regresyon yapıldığında, farkların ortalamaya bağlı olmaması beklenir fakat, P değeri 0,006 olarak bulunduğu için sonuçlar log dönüşümü yapılarak çözümlenmelidir. P değeri 0,05'ten küçükse, farkların ortalama ile anlamlı bir ilişkisi olduğu anlamına gelmektedir.

MedCalc programı kullanılarak Bland-Altman yöntemi ile hazırlanan, Hacettepe ve Kocaeli Üniversitesine ait 10 kJ/m^2 darbe mukavemeti ve daha düşük numuneler için test sonuçları Şekil 4.62 Hacettepe – Kocaeli 10 kJ/m^2 ve altı numuneler için test sonuçları Bland-Altman

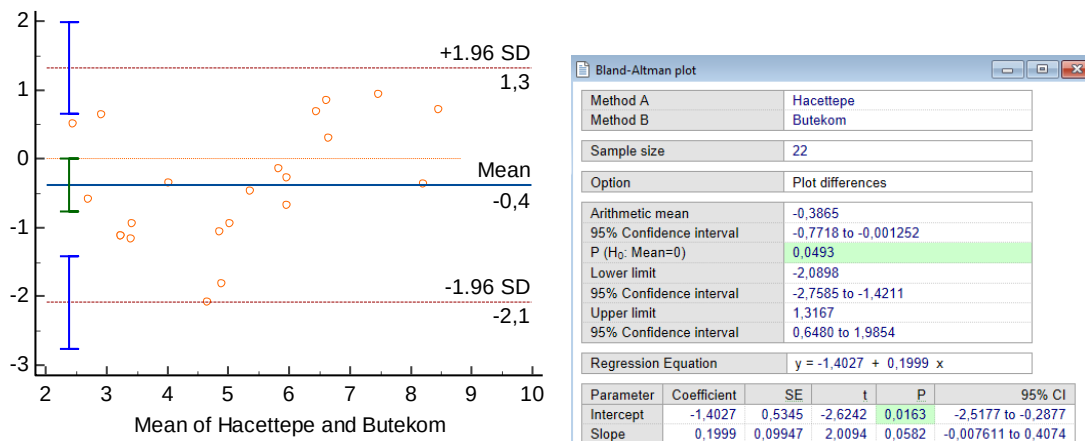
Plot’de gösterilmiştir. Log dönüşümü yapılarak sonuçlar birbirinin katı cinsinden gösterilmiştir.



Şekil 4.62 Hacettepe – Kocaeli 10 kJ/m^2 ve altı numuneler için test sonuçları Bland-Altman Plot

Bland-Altman grafikleri üzerinden yapılan değerlendirmede, Hacettepe’de yapılan testlerin, Kocaeli sonuçlarına göre 0,74 kat ile 1,51 kat farklı olabileceği gözlemlenmiştir. Değerlerin ortalamaya yakın olduğu ve uyum limitleri içinde olduğu görülmüştür.

MedCalc programı kullanılarak Bland-Altman yöntemi ile hazırlanan, Hacettepe ve BUTEKOM’a ait 10 kJ/m^2 darbe mukavemeti ve daha düşük numuneler için test sonuçları Şekil 4.63 Hacettepe – BUTEKOM 10 kJ/m^2 ve altı numuneler için test sonuçları Bland-Altman Plot’te gösterilmiştir.



Şekil 4.63 Hacettepe – BUTEKOM 10 kJ/m^2 ve altı numuneler için test sonuçları Bland-Altman Plot

Hacettepe – BUTEKOM 10 kJ/m² ve altı numuneler için yapılan değerlendirmede, farklar bağımlı, ortalamaları bağımsız değişken olarak alıp regresyon yapıldığında anlamlı çıkmadığı, farkların ortalamaya bağlı olmadığı tespit edildiği için log dönüşümü yapılmamıştır. (P>0,05)

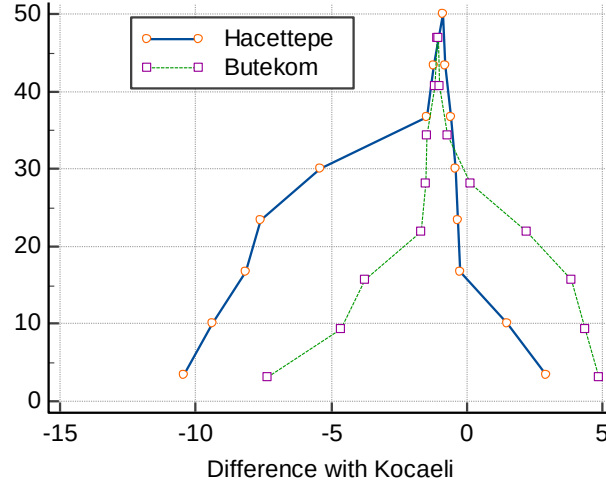
Bland-Altman grafikleri üzerinden yapılan değerlendirmede, Hacettepe’de yapılan testlerin, BUTEKOM sonuçlarına göre 1.3 birim aşağıda ve 2.1 birim yukarıda olabildiği tespit edilmiştir.

Log dönüşümü yapılarak değerlendirilen 10 kJ/m² ve altı darbe mukavemetli numuneler için hazırlanan Hacettepe – Kocaeli Bland-Altman grafiğinden ve log dönüşümü yapılmadan hazırlanan Hacettepe- BUTEKOM Bland-Altman grafiğinden varılan sonuçlara göre, çok fazla değişken ve hata kaynağı içeren bir test olan IZOD testi için hesaplanan değerler uygun olarak değerlendirilmiştir. 0,74 veya 1.51 katı ölçümler, 1.3 birim yukarıda veya 2.1 birim yukarıda ölçümler, aynı şartlar altında aynı cihazda aynı malzemeden üretilmiş numunelerde dahi görülmesi olası sapmalardır. İki referans laboratuvar arasında Bland-Altman grafikleri ile yapılan değerlendirmelerde de 7 birim yukarı ve 5.7 birim aşağı gibi birbirinden farklı sonuçların alınabileceği tespit edilmiştir.

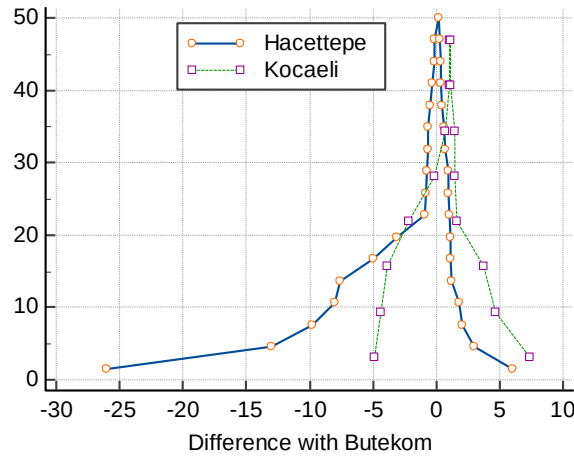
4.4.11.4 Mountain Plot Metodu Kullanılarak Sonuçların Değerlendirilmesi

Mountain plot yöntemi, iki değişken seti arasındaki farkların dağılımını göstermek için kullanılan grafiksel bir yöntemdir. Farkların dağılımını ve merkez üzerindeki yoğunlaşmalarını gösterir. Farkların medyanını tahmin etmek, %95 güven aralığını tayin etmek veya kabul edilebilir sınırlar dışındaki sonuçların oranını tayin etmek için kullanılabilir. [45]

Eğer kullanılan yöntemler ile elde edilen sonuçlar arasında fark yoksa, grafikteki tepeliğin yatay ekseninde sıfır üzerinde ortalanması ve sağa sola geniş kuyruklar olmadan dik bir şekilde durması beklenir. Sıfırdan sapan merkez ve genişleyen kuyruklar iki yöntem arasındaki farkın boyutu hakkında bilgi verir. Şekil 4.64 Kocaeli referansı ile Hacettepe ve BUTEKOM mountain plot grafiği ve Şekil 4.65 BUTEKOM referansı ile Hacettepe ve Kocaeli mountain plot grafiği’te referans laboratuvarlar olarak kabul edilen Kocaeli ve BUTEKOM değerleri referans alınmış ve bunun üzerine mountain plot yöntemi ile grafikler çizdirilmiştir.

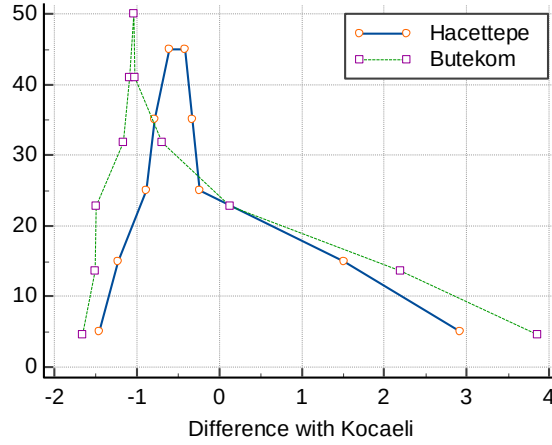


Şekil 4.64 Kocaeli referansı ile Hacettepe ve BUTEKOM mountain plot grafiği

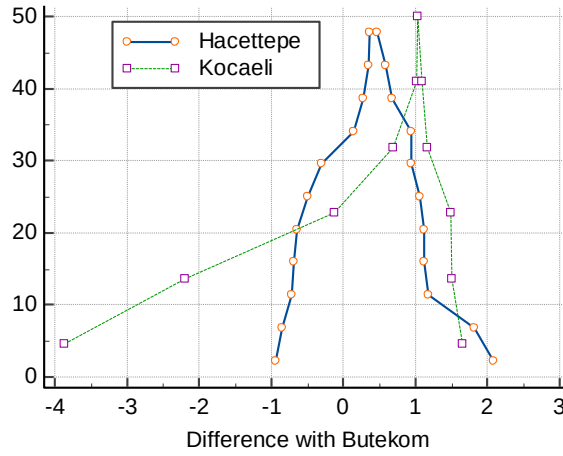


Şekil 4.65 BUTEKOM referansı ile Hacettepe ve Kocaeli mountain plot grafiği

Grafikler incelendiğinde, Hacettepe Üniversitesi'nde geliştirilen cihaz ile diğer referans laboratuvarları arasında bazı değerlerde yüksek oranda uyum olduğu fakat kuyruklardaki saçılmalar incelendiğinde bazı değerlerde sapmalar olduğu görülebilmektedir. Daha önce tespit edilmiş olan, Hacettepe testlerinde kullanılan 2,7J kapasiteli sarkacın 10 kJ/m^2 ve altındaki darbe mukavemetine sahip numunelerde verimli çalıştığı bilgisine istinaden, 10 kJ/m^2 ve altındaki test sonuçları ayrıca değerlendirmeye alınmıştır. Şekil 4.66 10 kJ/m^2 ve altı sonuçlar için Kocaeli referansı ile Hacettepe ve BUTEKOM mountain plot grafiği ve Şekil 4.67 10 kJ/m^2 ve altı sonuçlar için BUTEKOM referansı ile Hacettepe ve Kocaeli mountain plot grafiği'nde 10 kJ/m^2 ve altı değerler için çizdirilmiş olan mountain plot grafikleri incelendiğinde, her ne kadar görsel değerlendirme yapılırsa sağa ve sola olan kuyruk saçılımlarının daralmadığı görülse de x eksenı değerleri küçüldüğü için saçılımların da büyük oranda azaldığı ve sıfır üzerinde merkezlenmeye daha da yaklaştığı görülmektedir.



Şekil 4.66 10 kJ/m^2 ve altı sonuçlar için Kocaeli referansı ile Hacettepe ve BUTEKOM mountain plot grafiği



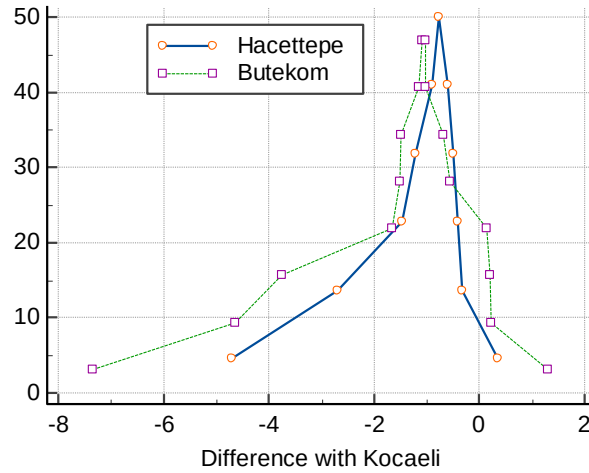
Şekil 4.67 10 kJ/m^2 ve altı sonuçlar için BUTEKOM referansı ile Hacettepe ve Kocaeli mountain plot grafiği

Yine iki grafik incelendiğinde, 10 kJ/m^2 ve altındaki sonuçlar için Hacettepe Üniversitesinde alınan sonuçların, referans laboratuvara göre çizilen grafiklerde hem Kocaeli Üniversitesinde alınan sonuçlara göre hem de BUTEKOM'da alınan sonuçlara göre daha dar ve sifıra yakın olduğu görülebilmektedir. Bu değerlendirme ile, 10 kJ/m^2 ve daha düşük değerlerde, Hacettepe Üniversitesinde geliştirilen cihazın hem Kocaeli hem de BUTEKOM ile uyum gösterdiği fakat Kocaeli ve BUTEKOM laboratuvarlarının, daha önce bahsedilmiş olan sebeplerle daha az uyumlu sonuçlar verdiği sonucuna varılmıştır.

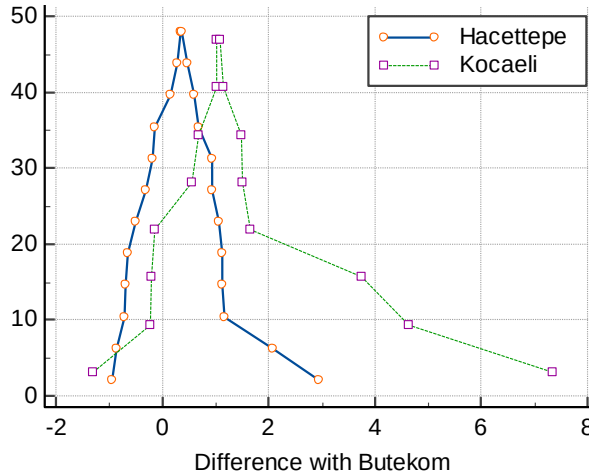
Son olarak, değerlendirmelerin yapıldığı veri setinden, diğer değerlerden çok fazla şekilde sapan, örneğin, diğer değerlerin ortalamasının iki katından da fazla, yedi değer veri setinden çıkarılmıştır. Hacettepe Üniversitesinde yapılan testler esnasında, zaten bu değerlerin

gözlemlendiği ölçümlerde sarkaç hatası, numune bağlama hatası veya encoder hatası gibi sorunların olduğu gözlemlenmişti fakat yine de sonuçların mutlak doğruluğu için veri setinden çıkarılmamıştı.

Aşırı şekilde sapan değerler veri setinden çıkarıldığında elde edilen mountain plot çizimleri Şekil 4.68 Kocaeli referansı ile Hacettepe ve BUTEKOM mountain plot grafiği ve Şekil 4.69 BUTEKOM referansı ile Hacettepe ve Kocaeli mountain plot grafiği’da gösterilmiştir.



Şekil 4.68 Kocaeli referansı ile Hacettepe ve BUTEKOM mountain plot grafiği



Şekil 4.69 BUTEKOM referansı ile Hacettepe ve Kocaeli mountain plot grafiği

Grafikler incelendiğinde, özellikle BUTEKOM referansı ile çizilen Hacettepe sonuçlarının sıfırın üzerinde ve çok az saçılım yaparak gruplandığı gözlemlenmiştir. Kalibre laboratuvarların birbirlerine göre farklarının, Hacettepe’ye oranla daha fazla olduğu sonucuna varılmıştır.

5. TOPLU SONUÇLAR

- Bu tez kapsamında önce ISO ve ASTM gibi uluslararası geçerliliği olan organizasyonlar tarafından hazırlanmış standartlar incelenmiş ve Izod darbe mukavemeti tayini için olan gereksinimleri değerlendirilmiş ve uygulanmıştır.
- ISO ve ASTM standartlarında tanımlanmış gereksinimleri sağlayan, doğru ve stabil şekilde ölçüm yapabilecek, kullanıcı ihtiyaçlarını karşılayabilecek iki kavramsal tasarım yapılmıştır.
- Yapılan kavramsal tasarımlar birbirleri ile farklı değerlendirme unsurları çerçevesinde kıyaslanmıştır. Yapılan değerlendirmeler ile diğerine göre daha uygun bulunan kavramsal tasarım, detaylandırılmak suretiyle detay tasarım sürecine geçiş yapılmıştır. Cihazın detay tasarımı 3D tasarım programları kullanılarak yapılmıştır. Farklı firmalar tarafından üretilmiş olan hazır ürünler, internet siteleri ve katalogları vasıtasıyla isterlere uygun şekilde seçilmiş, 3D olarak modellenmiş ve cihaza entegre edilmiştir.
- Hazır ürünlerin satın alımları yapılmış, tasarlanan parçaların uygun imalatçılarda üretimleri yaptırılmıştır.
- Cihazın elektronik ve yazılım isterleri tanımlanmış, bu isterlere uygun şekilde donanım – yazılım ve kablolama imatları yaptırılmıştır.
- Üretilen yapısal ve elektronik parçalar ve satın alınan hazır ürünler, detay tasarım sürecinde belirlenmiş olan uygun bağlantı elemanları kullanılarak bir araya getirilmek suretiyle cihaz montajı tamamlanmıştır.
- Bu çalışmaların sonucunda standartlarda belirtilen yöntemlere uygun şekilde Izod Darbe Mukavemetini / direncini ölçen bir cihaz üretilmiş ve bu cihaz yardımı ile farklı plastiklerin darbe mukavemetlerinin tayinine çalışılmıştır.
- Montajlanan Izod darbe mukavemeti tayini cihazının doğru ölçüm yapıp yapamadığını tespit edebilmek için, Izod darbe mukavemeti değeri bilinen standart test numuneleri ile deneme testleri yapılmıştır. Cihaz yapılan deneme testleri doğrultusunda kalibre edilmeye çalışılmıştır.
- Yapılan testler sonucunda cihazın doğru ölçüm yapamadığı, ayrıca alınan sonuçların stabil olmadığı görülmüştür. Bu duruma sebep olabilecek faktörler araştırılmıştır. Sarkacın ağırlık merkezi ile ilgili hatanın sonuçlarda yanlışlığa sebep olduğu, çok yüksek kapasiteli bir sarkaç ile düşük mukavemetli malzemeleri test etmeye çalışmanın ise aynı numune ile yapılan testlerde stabil olmayan sonuçlar alınmasına sebep olduğu tespit edilmiştir.

- Detay tasarım gözden geçirilmiş, daha düşük kapasiteli iyileştirilmiş bir sarkaç tasarlanmıştır. Yeni tasarıma göre sarkaç imalatı yapılmış ve cihaza entegre edilmiştir.
- Ağırlık merkezi optimize edilmiş ve daha düşük kapasiteli sarkaç ile yapılan testlerde, kalibrasyon numunesi olarak kullanılan Plexi numunelerde alınan sonuçların stabil bir hale geldiği, ayrıca kalibre test cihazlarında yapılan testlerde alınan sonuçlar ile benzer sonuçlar alındığı tespit edilmiştir.
- Doğru sonuçların elde edilmesinin ardından tüm test numuneleri ile testler yapılmıştır.
- Yapılan testlerde, cihazın darbe mukavemeti düşük numunelerde doğru ve stabil sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir. PA6 gibi darbe mukavemeti yüksek malzemelerde, ayrıca yine yüksek darbe mukavemeti beklenen çentiksiz numunelerde yapılan testlerde alınan sonuçlarda sapmaların arttığı gözlemlenmiştir. Bu testler vasıtasıyla, cihaz üstündeki sarkacın düşük darbe mukavemetli malzemelerde kullanılabileceği, daha yüksek darbe mukavemetli malzemeler için ise daha yüksek kapasiteli sarkaçların kullanılması gerektiği tespit edilmiştir.
- Bu tez çalışması kapsamında geliştirilen cihaz ve referans laboratuvar olarak kabul edilen Kocaeli Üniversitesi ve BUTEKOM'da yapılan testler sonucunda elde edilen veriler, farklı istatistiksel yöntemler kullanılarak değerlendirilmiştir. Saçılma grafiği kullanılarak, sınıfıçi korelasyon katsayısı ile değerlendirme yaparak, Bland-Altman grafikleri kullanılarak ve Mountain Plot grafikleri çizdirilerek tüm sonuçlar değerlendirilmiştir.
- Yapılan istatistiksel değerlendirmelerde, bu tez çalışması kapsamında geliştirilen cihazda kullanılan 2.7J kapasiteli sarkacın 10 kJ/m^2 ve daha düşük darbe mukavemetine sahip numunelerde efektif olarak çalıştığı tespit edilmiştir. 5.4J ve 10.8J kapasiteli sarkaçlar, bu tez çalışmasından sonra denenmek üzere üretilmiştir.
- Yapılan istatistiksel değerlendirmelerde, referans olarak kabul edilen iki laboratuvar da yapılan testler arasında uyumsuzluklar olabildiği gözlemlenmiştir.
- Yapılan ölçüm sonucunda cihazdan alınan değer çok hassas bir değerdir. Bu değer, sarkacın bağlı olduğu rulmanın ne kadar yağlı olduğuna veya hava sıcaklığına göre bile değişebildiği gözlemlenmiştir. Bu sebeple, yazılıma eklenmiş olan sürtünme ve diğer düzeltme faktörleri sabit olmaktan çıkarılmış, kullanıcının numuneleri test etmeden önce, numune kullanmadan yapacağı birkaç test ile tespit edeceği değerler olacak şekilde cihazın panelinden giriş yapması vasıtasıyla hesaplatılmıştır.

- Test numunesinin içinde kalan hava boşlukları, numunenin enjeksiyon sonrası soğumada maruz kaldığı çarpılmalar, her numuneye açılan çentiğin birbirinden farklı olması veya numunenin test esnasındaki sıcaklık/nem kondisyonu gibi sebeplerin aynı numunede yapılan testlerde alınan sonuçları ciddi oranda etkilediği görülmüştür. Bu yüzden mümkünse, her numune en az 3 kez test edilmiş ve referans laboratuvarlardaki kalibre cihazlarda test ettirilmiştir ve alınan sonuçların ortalaması üzerinden sonuçlar paylaşılmıştır.



6. KAYNAKLAR

- [1] M. SAÇAK, Polimer Kimyasına Giriş, A.Ü.F.F Döner Sermaye İşletmesi Yayınları , ANKARA, 1998.
- [2] M. Çakırkaplan, Kablo İzolasyon Malzemeleri , <https://Www.Etmd.Org.Tr/Kablo-Izolasyon-Malzemeleri/>. (Erişim tarihi: 4 Ocak 2021).
- [3] R.O. Ebewe, Polymer science and technology, 2000. [https://doi.org/10.1016/0261-3069\(95\)90127-2](https://doi.org/10.1016/0261-3069(95)90127-2).
- [4] A. Kumar, R.K. Gupta, Fundamentals of Polymer Engineering, Second Edition, Marcel Dekker, NEW YORK, 2003.
- [5] C. DeArmitt, Functional Fillers for Plastics, Applied Plastics Engineering Handbook: Processing, Materials, and Applications: Second Edition. (2017) 517–532. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-39040-8.00023-7>.
- [6] ISO180-2019, Plastics — Determination of Izod impact strength, 2019. www.iso.org.
- [7] ASTM D256(2010), Standard Test Methods for Determining the Izod Pendulum Impact Resistance of Plastics (Withdrawn 2015), West Conshohocken, PA, 2010. www.astm.org.
- [8] Anonim, Çentik Darbe Deneyi, <https://insapedia.com/centik-darbe-deneyi/> (Erişim tarihi: 21 Ocak 2021)
- [9] Anonim, Plastik Malzemelere Darbe Testleri, <https://www.zwickroell.com/tr-tr/plastik/termoplastik-ve-k%C3%BCrlenebilir-kal%C4%B1plama-bile%C5%9Fikleri/plastiklerde-darbe-testi> (Erişim tarihi: 28 Ocak 2021).
- [10] Anonim, Plastikler üzerindeki testler için sarkaç darbe test cihazları, <https://www.zwickroell.com/tr/ueruenler/darbe-testine-ait-ueruenler/plastikler-uezerindeki-testler-icin-sarkac-darbe-test-cihazlari/> (Erişim tarihi: 28 Ocak 2021).
- [11] Anonim, Charpy Impact Testing Sub-Size Specimens to ASTM E23, A370 and ISO 148-1, <https://www.instron.com/en/testing-solutions/by-material/metals/impact/astm-e23---sub-size> (Erişim tarihi 2 Şubat 2021)
- [12] C.Y. Warner, G.C. Smith, M.B. James, G.J. Germane, Friction applications in accident reconstruction, SAE Technical Papers. (1983). <https://doi.org/10.4271/830612>.
- [13] M. Karaoğlu, Hareket Dirençleri, <http://kisi.deu.edu.tr/mustafa.karaoglan/Sunu%203%20Hareket%20Diren%c3%a7leri.pdf>, (Erişim tarihi : 20 Aralık 2020)
- [14] M. Chanda, S. K. Roy, Industrial Polymers, Specialty Polymers, and Their Applications, Fourth Edition, CRC Press, 2007
- [15] V. R. Sastri, Plastics in Medical Devices, Properties, Requirements and Applications, Second Edition, Elsevier, 2013
- [16] Kıralp, S., Özkoç, G., Erdoğan, S., Çamurlu, P., Baydemir, T., Doğan, M.. Plastikler. ODTÜ Yayıncılık, Ankara, 2006.

- [17] Anonim, Kevlar chemical structure, https://tr.wikipedia.org/wiki/Dosya:Kevlar_chemical_structure.png, (Erişim tarihi 3 Mart 2021)
- [18] S. Ataşimşek, Plastik ve Metal Kalıpcılık Teknikleri. Birsen Yayınevi, İstanbul, 2006.
- [19] H.Lee, K. Neville, Handbook of Epoxy Resins, McGraw-Hill, 1967.
- [20] F. Kaya, Ana Hatlarıyla Plastikler ve Katkı Maddeleri, Birsen Yayınevi, İstanbul, 2005.
- [21] M. Öksüz, H. Yıldırım, “Katkı ve Dolgu Maddelerinin Plastiklere Kazandırdığı Özellikler”, Yazılmış Yayınlanmamış Ders Notları, Marmara Üniversitesi, İstanbul, 2009.
- [22] E. Karadeniz, Poliamid/Polipropilen (PA/PP) Karışımlarının Yapı Ve Özellikleri”, Yüksek Lisans Tezi, Marmara üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2006.
- [23] H. Ünal, S. Yetgin, “ÇYMAPE Ve PA-6 Mühendislik Polimerlerinin Aşınma Ve Sürtünme Davranışlarının İncelenmesi”, TUBAV Bilim Dergisi 3(2) . p. 145-152, 2010
- [24] L. W. Mc.Keen, The Effect of Creep and Other Time Related Factors on Plastics and Elastomers, Second Edition, William Andrew Publishing, 2009, <https://doi.org/10.1016/B978-0-8155-1585-2.50001-7>.
- [25] K. A. Selby, R. T. Hess, The Use of Polymers for On-Line Cleaning of Building Water Systems, CORROSION 96, Denver, Colorado, 24-29 March 1996, Paper No. 524, NACE International, Conferences Div., Houston, Texas, 1996.
- [26] M. Standish, A New Polymeric Material for Scale Inhibition and Removal, CORROSION 96, Denver, Colorado, 24-29 March 1996, NACE International, Houston, Texas, 1996
- [27] Anonim, Polimetil Metakrilat (PMMA), <https://pagev.org/pmma> (Erişim tarihi: 12 Nisan 2021)
- [28] Anonim, Plastik Teknolojisi, Ekstrüzyon Makinelerinde Üretim, MEB, Ankara, 2011.
- [29] Anonim, Plastik Enjeksiyon Parça Üretimi, <https://www.arckalip.com/plastik-enjeksiyon.html/plastik-enjeksiyon-baski-arckalip-1> (Erişim tarihi: 18 Mart 2021)
- [30] R.G. Budynas, J.K. Nisbett, Shigley’s Mechanical Engineering Design, Tenth Edition, Mc. Graw Hill Education, 2015
- [31] Anonim, Rotary Encoder, <https://industrial.omron.com.tr/tr/products/E6B2-CWZ1X-1000P-R-2M> (Erişim tarihi 21 Şubat 2021)
- [32] Anonim, LCD ve Tuş Takımı Shieldi , <https://www.robotistan.com/arduino-ile-uyumlu-lcd-ve-tus-takimi-shieldi-lcd-keypad-shield-for-arduino> (Erişim tarihi: 18 Ekim 2021)
- [33] Anonim, Ürünler, <https://www.ors.com.tr/tr/urunlerimiz> (Erişim tarihi: 22 Haziran 2021)
- [34] Anonim, PA6 G Plaka, <https://www.firdavat.com/PA6-G-PLAKA,PR-6312.html> (Erişim Tarihi: 17 Şubat 2021)
- [35] Anonim, 90x90 Krom Ayak Q120 M16 , <https://www.otomasyoncu.net/urun/90x90-krom-ayak-q120-m16> (Erişim tarihi: 14 Mart 2021)

- [36] Anonim, Özel Kelebek, <http://www.sanaybakalit.com.tr/product/kelebek-ozel-kelebek/> (Erişim tarihi : 14 Mart 2021)
- [37] Anonim, 4x20 Karakter Lcd Ekran Mavi - WH2004A-TMI-CT, <https://www.direnc.net/wh2004a-mavi> (Erişim tarihi: 11 Şubat 2021)
- [38] Anonim, Lego Ev3 10V Dc Adaptör - YP45517, <https://www.robotsepeti.com/10v-dc-adaptor> (Erişim tarihi 14 Mart 2021)
- [39] S. B. Jarrell, Basic Statistics, Wm. C. Brown Pub, 1994
- [40] J. M. Utts, Seeing Through Statistics, Third Edition, Thomson Brooks/Cole Publishing, 2005
- [41] Anonim, Scatter Diagram, <https://www.medcalc.org/manual/scatter-diagram.php> (Erişim tarihi: 2 Aralık 2021)
- [42] Anonim, Scatter Diagram, <https://www.medcalc.org/manual/scatter-diagram.php> (Erişim tarihi: 2 Aralık 2021)
- [43] T. K. Koo, M. Y Li, A Guideline of Selecting and Reporting Intraclass Correlation Coefficients for Reliability Research, Journal of Chiropractic Medicine, 2016
- [44] R. H. Riffenburgh, Daniel L. Gillen, 27 - Techniques to Aid Analysis, Statistics in Medicine, Fourth Edition, Academic Press, 2020
- [45] Anonim, Mountain plot (folded CDF plot), <https://analyse-it.com/docs/user-guide/method-comparison/mountain-plot> (Erişim tarihi 5 Aralık 2021)