



**İNŞAAT ÇELİKLERNDE DARBE KIRILMA  
ENERJİLERİ VE DARBE GEÇİŞ  
SICAKLIKLARININ BELİRLENMESİ**

**ŞENOL ÇEBİ**

**Makine Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Yüksek Lisans Tezi**

**Danışman: Prof. Dr. Serdar Osman YILMAZ**

**İkinci Danışman: Doç. Dr. İbrahim Savaş DALMIŞ**

**2023**

T.C.  
TEKİRDAĞ NAMIK KEMAL ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



İNŞAAT ÇELİKLERİNDE DARBE KIRILMA ENERJİLERİ VE DARBE GEÇİŞ  
SICAKLIKLARININ BELİRLENMESİ

ŞENOL ÇEBİ

ORCID: 0000-0003-0028-6312

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Danışman: Prof. Dr. Serdar Osman YILMAZ

İkinci Danışman: Doç. Dr. İbrahim Savaş DALMIŞ

ŞUBAT-2023

Her hakkı saklıdır.

## ÖZET

### İNŞAAT ÇELİKLERİNDE DARBE KIRILMA ENERJİLERİ VE DARBE GEÇİŞ SICAKLIKLARININ BELİRLENMESİ

Şenol ÇEBİ

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Prof. Dr. Serdar Osman YILMAZ

İkinci Danışman: Doç. Dr. İbrahim Savaş DALMIŞ

Bu çalışmada, TS EN ISO 148-1 ve ASTM E23 standartlarına uygun 290 J kapasiteli PLC kontrollü bir Charpy ve Izod darbe test makinesi tasarım ve imalatı gerçekleştirilmiştir. Araştırmada bu darbe test makinesi ile Türkiye’de üretilen B500B-00, B500C-00, GR60T-01, GR60T-BR, GR60T-02 standartlarında inşaat çeliklerinin +60 °C ile -30 °C sıcaklıkları aralığında kırılma enerjileri tespit edilerek darbe geçiş sıcaklıkları belirlenmiş ve kırılma yüzeyleri incelenip gerekli çıkarımlar yapılmıştır. Yapılan testler sonucunda 5 farklı kalitedeki inşaat çeliklerinin Charpy darbe kırılma enerjileri +60 °C sıcaklıkta 76-105 J arasında, -30 °C sıcaklıkta ise 14-20 J arasında ölçülmüştür. Izod darbe kırılma enerjileri +60 °C sıcaklıkta 100-135 J arasında ve -30 °C sıcaklıkta ise 35-48 J arasında ölçülmüştür. Bu tezde incelenmiş olan 5 farklı kalitedeki inşaat çeliklerinin darbe geçiş sıcaklıklarının +35 °C sıcaklık ile -5 °C sıcaklık aralığında olduğu tespit edilmiştir. Alınan tüm sonuçlar bir arada toplanarak değerlendirilmiş ve Charpy ve Izod darbe makinesinin kalibrasyonu yapılmıştır.

**Anahtar kelimeler:** Darbe testi, Charpy darbe testi, Izod darbe testi, Kırılma enerjisi, Çentik

## ABSTRACT

### DETERMINATION OF IMPACT BREAKING ENERGIES AND IMPACT TRANSITION TEMPERATURES IN CONSTRUCTION STEELS

Şenol ÇEBİ

Department of Mechanical Engineering

MSc. Thesis

Supervisor: Prof. Dr. Serdar Osman YILMAZ

Assistant Supervisor: Doç. Dr. İbrahim Savaş DALMIŞ

In this study, a PLC controlled Charpy and Izod impact testing machine with 290 J capacity was designed and manufactured in accordance with TS EN ISO 148-1 and ASTM E23 standards. In the research, the impact transition temperatures of the construction steels produced in Turkey in the B500B-00, B500C-00, GR60T-01, GR60T-BR, GR60T-02 standards were determined in the range of maximum 60 °C and minimum -30 °C temperatures with this impact testing machine. and fracture surfaces were examined and necessary inferences were made. As a result of the tests, the Charpy impact fracture energies of 5 different quality construction steels were measured between 76-105 J at 60 °C and 14-20 J at -30 °C. Izod impact fracture energies were measured between 100-135 J at 60 °C and between 35-48 J at -30 °C. It has been determined that the impact transition temperatures of 5 different quality construction steels examined in this thesis range from 35 °C to -5 °C. All the results obtained were evaluated together and showed that the Charpy and Izod impact machine works correctly.

**Keywords:** Impact test, Charpy impact test, Izod impact test, Fracture toughness energy, Notch

## İÇİNDEKİLER

<b>ÖZET</b> .....	<b>i</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>ii</b>
<b>İÇİNDEKİLER</b> .....	<b>iii</b>
<b>ÇİZELGELER DİZİNİ</b> .....	<b>v</b>
<b>ŞEKİLLER DİZİNİ</b> .....	<b>vi</b>
<b>KISALTMALAR DİZİNİ</b> .....	<b>x</b>
<b>TEŞEKKÜR</b> .....	<b>xi</b>
<b>1.GİRİŞ</b> .....	<b>1</b>
1.1. Malzemelerin Mekanik Özellikleri .....	2
1.2. Malzemelere Uygulanan Mekanik Testler .....	3
1.2.1. Çekme Testi.....	3
1.2.2. Basma Testi .....	5
1.2.3. Burulma Testi .....	7
1.2.4. Eğme Testi.....	8
1.2.5. Sertlik Testi.....	9
1.2.6. Sürünme Testi.....	9
1.2.7. Yorulma Testi.....	11
1.2.8. Çentik Darbe Testi.....	12
1.2.8.1. Çentik Darbe Testi Numuneleri.....	14
1.2.8.2. Darbe Direncine Etki Eden Faktörler.....	15
<b>2.KAYNAK ÖZETLERİ</b> .....	<b>17</b>
<b>3.MATERYAL VE YÖNTEM</b> .....	<b>21</b>
3.1. Materyal .....	21
3.1.1. Autocad ve Solidworks Programları.....	21
3.1.2. Makine İmalat Malzemeleri.....	21
3.1.3. Standart Makine Elemanları .....	21
3.1.4. Alşa Darbe Test Makinesi .....	25
3.1.5. Darbe Test Makinesinde Kullanılan Numuneler .....	26
3.2. Yöntem.....	27
3.2.1. Charpy ve Izod Test Makinesinin Amacı .....	27
3.2.2. Charpy ve Izod Test Makinesinin Çalışma Prensipleri .....	27
3.2.3. Charpy ve Izod Test Verilerinin Kullanım Yerleri.....	28
3.2.4. Charpy ve Izod Test Makinesindeki Kayıplar .....	28
3.2.5. Charpy ve Izod Test Düzeninin Tasarımı .....	29
3.3. Üretim .....	36

<b>4.ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA .....</b>	<b>43</b>
4.1. Charpy Test Denemeleri.....	44
4.2. Izod Test Denemeleri .....	47
4.3. Test Numunelerinin Kırık Yüzey Görüntüsü .....	51
4.4. Test Numunelerinin Yüzeyinin Optik ile İncelenmesi.....	52
4.5. Test Numunelerine Akma-Çekme Testi Yapılması .....	53
4.6. Literatür Araştırmalarının Kıyaslaması.....	54
<b>5.SONUÇ VE ÖNERİLER.....</b>	<b>55</b>
<b>KAYNAKLAR.....</b>	<b>57</b>



## ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1. Testleri yapılan numunelerin kimyasal spesifikasyonları .....	26
Çizelge 3.2. Makine düzeneğinin parça listesi .....	35
Çizelge 4.1. Charpy test numunelerinin farklı sıcaklıklardaki Joule cinsinden kırılma değeri.	45
Çizelge 4.2. Izod test numunelerinin farklı sıcaklıklardaki Joule cinsinden kırılma değeri.....	47



## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Çekme testi numuneleri.....	3
Şekil 1.2. Çekme testi gerilme-uzama grafiği (Anonim, t.y.).....	4
Şekil 1.3. 2000 kN kapasiteli çekme testi cihazı .....	5
Şekil 1.4. Basma testi uygulaması görünümü.....	6
Şekil 1.5. Burulma testi uygulama görünümü .....	7
Şekil 1.6. Eğme testi uygulama görünümü.....	8
Şekil 1.7. Sertlik ölçüm test cihazı .....	9
Şekil 1.8. Sürünme test cihazı .....	10
Şekil 1.9. Yorulma test cihazı.....	11
Şekil 1.10. Şematik darbe test düzeneği (TS EN 10045-2, 1999).....	12
Şekil 1.11. PLC kontrollü darbe test düzeneği .....	13
Şekil 1.12. Charpy ve izod testinde numunenin aparata yerleştirilme şekli (Anonim, t.y.).....	13
Şekil 1.13. Çeşitli standartlara göre hazırlanmış darbe deneyi numuneleri (Çelik, 2017) .....	14
Şekil 1.14. Darbe direncinin sıcaklıkla değişimi (Anonim, t.y.) .....	15
Şekil 3.1. F4B 103-FM Yataklı Rulman .....	21
Şekil 3.2. Vibrasyon ve ağırlık takozu .....	22
Şekil 3.3. Kama .....	22
Şekil 3.4. Baskı yayı.....	23
Şekil 3.5. Cıvata, somun, pul.....	23
Şekil 3.6. Redüktör .....	24
Şekil 3.7. Teflon levha.....	24
Şekil 3.8. Alşa darbe test cihazı.....	25
Şekil 3.9. Makine iskeleti .....	29
Şekil 3.10. a) Darbe kolu      b) Charpy ve Izod çekici      c) Çekicinin montajlı görünümü	30
Şekil 3.11. Charpy numune bağlama aparatı .....	30
Şekil 3.12. Izod numune bağlama aparatı.....	31



Şekil 3.13. Darbe kolu merkezleme mili .....	31
Şekil 3.14. Darbe kolu kilit mekanizması.....	32
Şekil 3.15. Plc kontrol ekranı .....	32
Şekil 3.16. Fren kolu mekanizması .....	33
Şekil 3.17. Fren dayama mili.....	33
Şekil 3.18. Dönel encoder.....	34
Şekil 3.19. Makinenin Solidworks tasarım patlatılmış modeli.....	34
Şekil 3.20. Tez için tasarlanan ve üretilen makinenin ön görseli .....	36
Şekil 3.21. Tez kapsamında tasarlanan ve üretilen makinenin genel ölçüleri - 1.....	37
Şekil 3.22. Tez kapsamında tasarlanan ve üretilen makinenin genel ölçüleri - 2.....	37
Şekil 3.23. Tez kapsamında üretilen makinenin arka görseli .....	38
Şekil 3.24. Tez kapsamında üretilen makinenin yan görseli .....	39
Şekil 3.25. Darbe çekici ve solidworks ağırlık merkezi gösterimi .....	40
Şekil 3.26. Charpy testi darbe çekici (Çifçi, 2009) .....	40
Şekil 3.27. Charpy ve Izod numunesi bağlama aparatları .....	41
Şekil 3.28. Nervürlü inşaat demirinin CNC freze tezgahında numune haline getirilmesi .....	42
Şekil 3.29. V çentik çakısı ile hazırlanmış numune görselleri .....	42
Şekil 4.1. Charpy çekici ile kırma test görseli .....	44
Şekil 4.2. Farklı sıcaklıklardaki Charpy kırma test değerleri .....	45
Şekil 4.3. Charpy sıcaklık ve kırılma enerjisi karşılaştırılması .....	46
Şekil 4.4. Kırılmış Charpy test numunesi görseli .....	46
Şekil 4.5. Izod çekici ile kırma test görseli.....	47
Şekil 4.6. Farklı sıcaklıklardaki Izod numune kırma test değerleri .....	48
Şekil 4.7. Kırılmış Izod numunesi görseli .....	48
Şekil 4.8. Izod numune sıcaklık ve kırılma enerjisi karşılaştırılması .....	49
Şekil 4.9. B500B-00 numunesi akma, çekme ve kopma gerilim dağılımı .....	49
Şekil 4.10. B500B-00, B500C-00, GR60T-BR, GR60T-01 ve GR60T-02 numunesi kırık yüzeyi .....	51

Şekil 4.11. Test için kullanılan çeliğin mikro yapısı .....	52
Şekil 4.12. Test numunesinin farklı sıcaklıklardaki akma-çekme testi grafiği .....	53



## SİMGELER DİZİNİ

B	Bor
C	Karbon
Cr	Krom
Cu	Bakır
Ee	Elastisite modülü (MPa)
G	Ağırlık (kg)
h	Yükseklik (m)
J	Joule (N)
L	Uzaklık (m)
Mn	Mangan
Mo	Molibden
N	Azot
Ni	Nikel
O	Oksijen
P	Fosfor
S	Kükürt
Si	Silisyum
T	Sıcaklık (°C)
$\alpha$	Çıkış açısı (derece)
$\beta$	Yükseliş açısı (derece)
$\sigma$	Gerilme (N)

## KISALTMALAR DİZİNİ

ASTM	Amerikan Test ve Malzeme Kurumu
ASTM E23	Metalik Malzemelerin Çentikli Çubuk Darbe Testi İçin Test Yöntemleri
CNC	Bilgisayarlı Sayısal Kontrol
CVN	Charpy V-Çentik
ISO	Uluslararası Standartlar Örgütü
IVN	Izod V-Çentik
KDÇ	Kaptan Demir Çelik
LABVIEW	Mühendislik Tezgâhı İçin Laboratuvar Sanal Enstrümanları
PLC	Programlanabilir Mantıksal Denetleyici
PTFE	Politetrafloroetilen
TS	Türk Standartları
TS 10045-1	Metalik Malzemeler - Charpy Vurma Deneyi - Bölüm 1
TS 10045-2	Metalik Malzemeler - Charpy Vurma Deneyi - Bölüm 2

## TEŞEKKÜR

Tez sunumumda ve tezin hazırlanmasında, konu ile ilgili çalıőmalarımda beni yönlendiren, desteğini hiçbir zaman esirgemeyen Sayın Prof. Dr. Serdar Osman YILMAZ'a, tez yazımındaki yönlendirmelerinden dolayı Sayın Doç. Dr. İbrahim Savaş DALMIŞ'a, orlu Makine Mühendisliği Bölümü öğretim üyelerine, tüm imkân ve olanaklarını kullandığım Kaptan Demir elik A.Ő.'ye ayrıca beni bu süreçte hiçbir zaman yalnız bırakmayan eşim Elif Nihal ÇEBİ'ye teşekkürlerimi sunarım.

Şenol ÇEBİ

Makine Mühendisi

## 1. GİRİŞ

İnsanlığa faydalı ve yararlı özelliklerinden ötürü mühendislik uygulamalarında ve imalatlarda kullanılan cisimlere malzeme denir. Mühendislik uygulamalarında kullanılan malzemelere dışarıdan beklenmedik darbeler gelebilir. Bu yüzden günümüz yüzyılında modern tasarımlarda kullanılan malzemelerde yüksek mekanik özellikler istenmektedir. Malzemenin doğru seçimi endüstrinin rekabet ortamında ve teknolojinin de hızla ilerlemesiyle büyük önem arz etmektedir. Malzeme seçimi yapılan tasarımın amacına, kullanım yerine ve ortam şartlarına göre doğru tercih edilmelidir ki uzun ömürlü ve yararlı olabilsin (Şenel ve Karakoç, 2008).

Üretim aşamalarında kullanılan malzemeler ve bu malzemelerin üretimini gerçekleştirecek olan makine ve donanımlar da büyük öneme sahiptir. Üretilen makinelerin kullanılabilirliği ve kalitesi, tüm üretim bölümlerinin her bir aşamasında kendini göstermektedir. Eğer ki bu aşamalardan herhangi birinde malzemedan veya malzemeyi üreten donanımdan kaynaklanan bir eksiklik meydana gelirse yaşanan bu sıkıntı tüm üretimi etkileyecek olup, hem maddi zararlara hem de vakit kaybına sebebiyet yaratacaktır. Bu yüzden ki üretime başlamadan önce tasarım aşamasında iken malzeme seçimi ve kullanılacak malzemelerin özellikleri hakkında bilgi sahibi olunmasında fayda vardır (Albayrak ve Kaman, 2019).

Metal ve metal alaşımlı cisimler mühendislik uygulamalarında en fazla tercih edilen malzemelerdir. Metaller özellikle yük ve kuvvet taşıyan mühendislik uygulamalarında tercih edildikleri için kullanılan malzemelerin mekanik özelliklerini bilmemiz büyük önem taşımaktadır. Tasarımcılar malzeme seçimlerinde, kullanılacak malzemenin ortam koşullarında oluşabilecek sünek veya gevrek kırılmalara karşı ne gibi tepkiler vereceğini bilmek isterler. Bu malzemelerin mekanik özelliklerini mekanik testlerle öğrenebiliriz. Mekanik testler kullanılan malzeme hakkında tasarımcı veya imalatçıya öncesinde doğru malzeme seçimi hakkında sağlıklı fikir vermiş olacaktır (Çalı, 2016).

İnşaat çelikleri temel olarak demir-karbon alaşımlı çeliklerdir. İnşaat çeliğinin daha yüksek ve istenilen mekanik özelliklere (sertlik, tokluk, gevreklik, aşınma dayanımı, süneklik, darbe direnci, kırılma enerjisi, akma ve çekme mukavemeti vs) sahip olabilmesi için karbona ilave olarak (Mn, Si, P, S, Cr, Ni, Mo, B, Cu, N vs ) gibi farklı elementlerle de alaşımlama yapılması gerekmektedir. İnşaat çeliklerinde istenilen testler genel olarak akma-çekme testi, eğme-burulma testi ve darbe testleridir. Yapılan darbe testleriyle malzemelerin kırılma

enerjilerinin tespiti ve darbe geçiş sıcaklıklarının tespiti sağlanır.

Bu tez çalışmasında Charpy ve Izod test makinesi tasarımı ve üretimi, belirli standartlarda hazırlanmış farklı kimyasal analiz değerlerine sahip numuneler için belirli sıcaklıklarda çentik darbe testi uygulanarak çıkan sonuçların değerlendirilmesi konuları ele alınacaktır.

### **1.1. Malzemelerin Mekanik zellikleri**

Malzemelerin mekanik özellikleri atomlar arası bağ kuvvetleri sayesinde oluşur. Mühendislik tasarım ve imalat aşamalarında kullanılacak olan malzemelerin mekanik davranışlarını bilmek büyük önem arz etmektedir. Herhangi bir uygulamada malzeme seçimi yaparken o malzemenin mekanik özelliklerine göre tercihler yapılır.

Malzemelerin mekanik özellikleri bu şekilde sıralanır;

- Çekme dayanımı
- Akma dayanımı
- Kopma dayanımı
- Basma dayanımı
- Eğme dayanımı
- Yorulma dayanımı
- Darbe dayanımı
- Sürünme dayanımı
- Kırılma tokluğu
- Elastisite modülü
- Poisson oranı
- Rezilyans modülü
- Kayma modülü
- Tokluk
- Sertlik

- Aşınma dayanımı
- Sürtünme katsayısı (Anonim, t.y.).

## 1.2. Malzemelere Uygulanan Mekanik Testler

Mekanik testler hangi sektör ve alanda olursa olsun, mühendislik tasarım ve üretimlerinin ayrılmaz bir parçası ve çok kritik öneme sahiptir.

Mekanik testler, malzeme özelliklerinin belirlenmesinden başlayarak çıkan son ürünlerin kalite kontrolde onaylanmasına kadar devam eder. Malzemelere mekanik testlerin yapılmasının başlıca amaçları güvenlik, kalite, sürdürülebilirlik, maliyet ve gelişen teknolojiye katkı sağlamaktır.

Malzemelere uygulanan mekanik testler şu şekilde sıralanabilir;

1. Çekme testi
2. Basma testi
3. Burulma testi
4. Eğme testi
5. Sürünme testi
6. Sertlik testi
7. Yorulma testi
8. Darbe testi

### 1.2.1. Çekme Testi

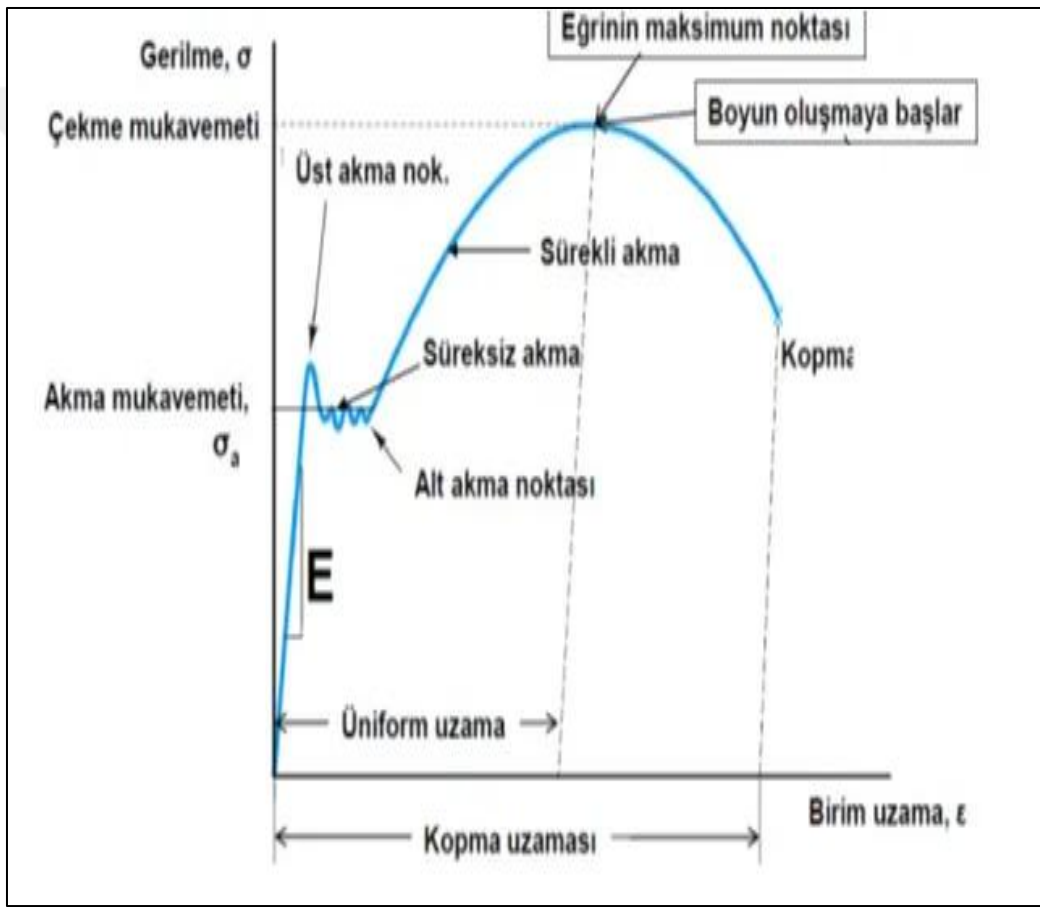
Çekme testi, standartlara göre hazırlanmış düz veya silindirik numunelerin belli bir hız ve bir eksende malzeme koparıncaya kadar çekilmesi işlemidir. Çekme testleri sonuçlarına göre çeşitli mühendislik çalışmalarında en doğru malzemenin seçimi sağlanmış olur.



Şekil 1.1. Çekme testi numuneleri



Çekme testleri genelde çok basit ve maliyeti düşük olan standartlar dâhilinde elde edilmiş numunelerin çekme makinelerinde test yapılmasıdır. Basit olarak hazırlanmış numuneyi kopana dek tek eksende çekerek, o numunenin gerilime nasıl tepkiler vereceğini, yapılan çekme testi sayesinde gözlemek mümkündür. Malzemenin çekilmesi esnasında malzemeye uygulanan çekme yükünü ve malzemenin bu yükteyken ne kadar uzadığını tespit etmek mümkündür. Bu sebeple çekme testi esnasında malzeme hakkında çok fazla bilgi elde etmek mümkün olmaktadır. Düzgün bir çekme testi için parçanın tam anlamıyla boyun verene değin çekilmesi gerekmektedir. En sonunda tüm sonuçlar grafik üzerinde gözlemlenerek incelenir (Kiraz, 2014).



Şekil 1.2. Çekme testi gerilme-uzama grafiği (Anonim, t.y.)

Test yapılacak numune çekme makinesinin çenelerine bağlanır ve numune kopana dek çekme kuvvetine maruz kalır. Kuvvet uygulandığı her sürede parçanın kesitinde oluşan uzama verileri doğrudan bilgisayara kaydedilir ve bu veriler analiz edilerek grafik üzerinden yorumlanır, gerilme-uzama grafiği Şekil 1.2.' de gösterilmiştir.



Şekil 1.3. 2000 kN kapasiteli çekme testi cihazı

### 1.2.2. Basma Testi

Metal malzemeler çekme mukavemeti altında düşük değerlerde plastik şekil değişimi gösterirler bundan ötürü daha yüksek plastik şekil değiştirme değerlerine ulaşabilmesi için basma testi genelde tercih edilir. Geleneksel yöntemlerle basma testi silindirik bir parçanın iki tarafı düz yüzey olan mekanizma arasında ezilmesi işlemi olarak tanımlanabilir. Basma testleri hesaplanırken bir takım hatalar yapılmaktadır. Hesaplamalarda yapılan en büyük hata ezme işleminin yapıldığı sıkıştırma yüzeyleri ile sıkıştırılan malzemenin arasındaki sürtünme mukavemetidir. Oluşan bu sürtünme mukavemeti de ikiye ayrılır. Bunlardan ilki seçilen malzemenin boyunun testte istenilen şekil değişikliğinden çok daha fazla olmasıdır. Bu durumda test sırasında sıkıştırma işlemi esnasında sıkışan malzeme dik eksenin tersine yatay yönde burkulma yapar. Bu durum basma testlerinde istenmeyen bir durumdur. Testin yapılacağı parça doğru yükseklikte hazırlanarak makineye koyulması gerekmektedir.

İstenmeyen bir durumda sürtünme mukavemetinden dolayı basma testi sırasında parçanın dikey değil de radyal yönde bombeleşme yaparak ezilmesidir. Bu yüzden basma testlerinden elde edilen sonuçlar incelendiğinde sürtünmeden dolayı kaynaklı bir miktar hatalı sonuç çıkmasına sebebiyet vermektedir. Gerilme-şekil değiştirme eğrilerinde de bu durum incelendiğinde tespit edilebilir. Sürtünmeden kaynaklı oluşan bu hatalar Siebel'in düzeltme yöntemi ile giderilebilmektedir. Uygulanacak bu düzeltme fonksiyonu için bir sürtünme katsayısı belirlenir. Siebel düzeltme metodu uygulaması hem pratik hem de düşük hem de yapılan uygulamalarda başarılı sonuçlar vermiştir. Bu yüzden Siebel düzeltme metodu uygulaması basma testlerinde çok tutulan bir yöntemdir (Işık, 2012).



Şekil 1.4. Basma testi uygulaması görünümü

### 1.2.3. Burulma Testi

Burulma testi, test için özel olarak hazırlanmış numunenin bir ucu sabit tutularak makineye bağlanması ile başlar. Numune eksen etrafında dönme kuvveti uygulanarak burulma işleminin sonlanmasına kadar bükülür. Bu işlem malzemenin her iki ucuna dönme kuvveti uygulanarak ta yapılabilir. Fakat iki ucuna bağlanarak burulma işleminde iki ucun birbirine ters yönde dönmesi gerekmektedir. Burulma testinin amacı, numunenin kendi eksen etrafında kayma gerilimine sebep olan burkulma momentinin sonucu olarak sergilediği davranışları gözlemlemek ve bu davranışları ölçü olarak belirlemektir. Burulma testinde ölçülebilen değerler, kayma esneklik modülü, akma kayma mukavemeti, burulma yorulma yaşı, sünek emme kapasitesini, kayma mukavemetini ve kayma kopma modülüdür. Çıkan sonuçlar çekme testi ile karşılaştırıldığında aynı değerleri vermediği tespit edilmiştir. Burulma testi doğru malzemenin seçiminde bu malzemenin doğru bir şekilde üretilmesinde oldukça önem arz etmektedir. Birçok mühendislik uygulamaları öncesinde seçilen malzemelerin kullanım yerlerine uygun olup olmadıkları yapılan burulma testleriyle öğrenilmektedir. Bu testlerde çıkan sonuçlara göre gerekli değerlendirmeler yapılmaktadır (Anonim, t.y.).



Şekil 1.5. Burulma testi uygulama görünümü

#### 1.2.4. Eğme Testi

Eğme testi, iki sabit desteğe serbest bir şekilde konumlandırılan dikdörtgen veya yuvarlak kesitli düz bir test parçasının dik ekseninde ortasına bir eğme kuvveti uygulayarak oluşturulan şekil değiştirmez. Eğme testlerinin hepsinde esas hedef, numuneyi çatlatıncaya kadar dik ekseninde yani tek yönde eğmektir. Eğme deneyinin asıl amacı tasarım esnasında kullanılacak malzemenin mukavemeti hakkında bilgi vermek malzemenin eğilme direncine karşı göstermiş olduğu mekanik özellikleri tespit etmektir. Deney sırasında numuneye kuvvet uygulandığında, numune kesitinin bir bölümünde basma gerilmesi, kesitin geri kalan bölümünde ise çekme gerilmesi meydana geliyorsa numune eğilme halindedir. Bu durum test sırasında göz ile bile takip edilerek anlaşılabilir.

Eğme deneyinin sonucu, numunenin tahmin edilen açıya kadar eğilmesi halinde çatlama veya herhangi bir deformasyonun olup olmadığının belirlenmesidir. Eğme sırasında malzemede çatlama oluşuyorsa test anında bunun oluşumunun açısı belirtilmek istenir. Yapılan eğme testi ile numunenin eğme kuvveti, eğilme mukavemeti, eğilme ölçüsü ve elastisite modülü gibi değerler tespit edilir.



Şekil 1.6. Eğme testi uygulama görünümü

### 1.2.5. Sertlik Testi

Sertlik, malzemelerin çizilmeye, kesilmeye, plastik deformasyona ve sürtünmeye karşı direnç gösterme kabiliyetidir. Sertlik testi, numuneye başka sert bir batıcı ucun temas ettirilerek numune yüzeyine belirli bir yük uygulaması ile gerçekleştirilir. Sertlik ölçümü, sertlik testi sonrası numune yüzeyinde oluşan izin çapının ölçülmesiyle bulunur. Testte kullanılan batıcı uç malzemesinin sertlik değeri test yapılan numuneden daha fazla olması gerekmektedir. Aksi takdirde numunede iz oluşmaz ve test başarısız sonuçlanır.

Başlıca sertlik ölçme yöntemleri olarak; Rockwell sertlik testi, Brinell sertlik testi, Vickers sertlik testi olarak sıralanabilir.



Şekil 1.7. Sertlik ölçüm test cihazı

### 1.2.6. Sürünme Testi

Sürünme, birçok dış etken sebebiyle malzemelerde oluşan plastik deformasyona verilen isimdir. Sürünme testi, test yapılan malzemelerin belirli sıcaklıkta ve belirli bir kuvvet altında vermiş olduğu tepkilerin gözlemlenmesi işlemidir. Sürünme testlerinde, numunelerin belirli sıcaklık altında kopmadan hemen önceki uzamaları tespit edilerek malzemelerin sürünme sınırları belirlenir. Test esnasında numune plastik deformasyona uğraması veya kopması halinde sürünme testi sona erdirilir.

Sürünme testinde, öncelikle testi yapılacak numuneler makinede alt ve üst çenelere düzgün oturtulabilmesi için uyumlu ölçülere getirilir. Üretilen bu numuneler, sürünme testi makinesinin fırın kapağı açılarak alt ve üst çeneye yerleştirilir. Numuneler çenelere yerleştirildikten sonra fırının kapağı kapatılır ve numuneler istenilen sıcaklığa ulaştıktan sonra numunelere belirli bir yük uygulanır. Bu esnada istenilen süre aralıklarında numunelerdeki plastik deformasyon verilerini elektronik kayıt sistemi ile rapor oluşturur. Bu raporlardan elde edilen veriler yine elektronik ortamda uzama-zaman grafiğini oluşturur.

Sürünme testinin genel amacı, malzemenin normal şartlarda çalışacağı ortam şartları sağlanarak, elektronik ortamda kontrollü bir şekilde hasara uğratılması ile malzemenin vereceği tepkileri yine elektronik kayıt sistemiyle kaydetmek. Kaydedilen bu verilerden malzeme ve sıcaklık hakkında çıkarımlar yaparak değerlendirmektir. Çıkan sonuçlara bağlı olarak malzeme hakkında geliştirmeler veya yenilikler yapılabilir.

Sürünmeye en fazla etkisi olan faktörler tane boyutu etkisi, alaşımlandırma etkisi, ergime sıcaklığı etkisi, mikro yapı etkisidir.



Şekil 1.8. Sürünme test cihazı

### 1.2.7. Yorulma Testi

Yorulma, belirli bir tekrar sayısı ile yük altında kalan malzemelerde çatlak ve kırılmalara neden olabilecek kalıcı yapısal değişimlerdir. Yorulma testi özellikle tekrarlı yüklere maruz kalan mühendislik uygulamalarında kullanılan malzemeler için büyük önem taşımaktadır.

Yorulma testi için hazırlanan numune eksene paralel bir şekilde ayrıca parça yüzeyi parlatılmış olmalıdır. Numunelerde yorulma çatlakları genel olarak dış yüzeylerden başlayarak parçanın iç kısımlarına doğru hareket eder. Bu yüzden yüzeyin işleme kalitesi çok önemlidir. Yüzeyin kalitesi arttıkça malzemenin yorulmaya karşı direnci de artmış olur. Numuneler çalışma koşullarına yakın olacak şekilde yassı, dikdörtgen veya dairesel olabilirler.



Şekil 1.9. Yorulma test cihazı





Darbe kırılma enerjisi aşağıdaki formülle belirlenebilir.

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

$G$  = Sarkacın ağırlığı (kg),

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

$h$  = Sarkacın ağırlık merkezinin düşme yüksekliği (m),

$h_1$  = Sarkacın ağırlık merkezinin çıkış yüksekliği (m),

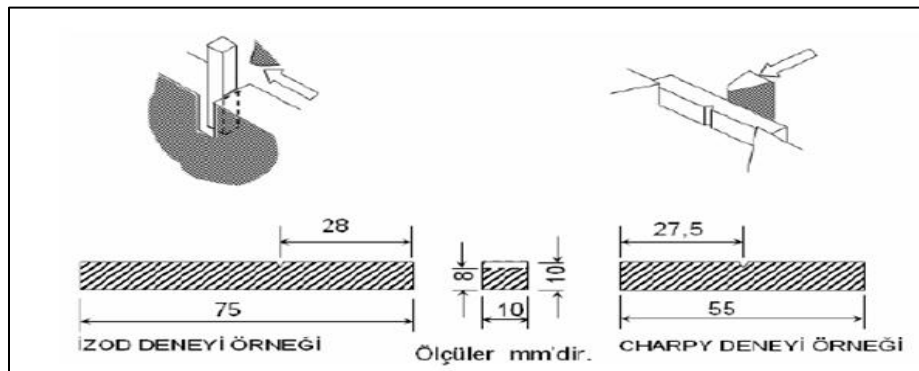
$\beta$  = Yükseliş açısı (derece)

$\alpha$  = Çıkış açısı (derece)

Darbe testleri Charpy ve Izod olarak ikiye ayrılır. Temel prensip aynıdır. Izod ve Charpy testleri aralarındaki fark, numunenin uzunluğu, bağlama aparatları ve bu aparatlara yerleştirilme şekli. Charpy test numunesi Şekil 1.12.' de gösterildiği gibi yatık vaziyette, Izod test numunesi ise dik bir vaziyette yerleştirilir (Ünal, 2021).



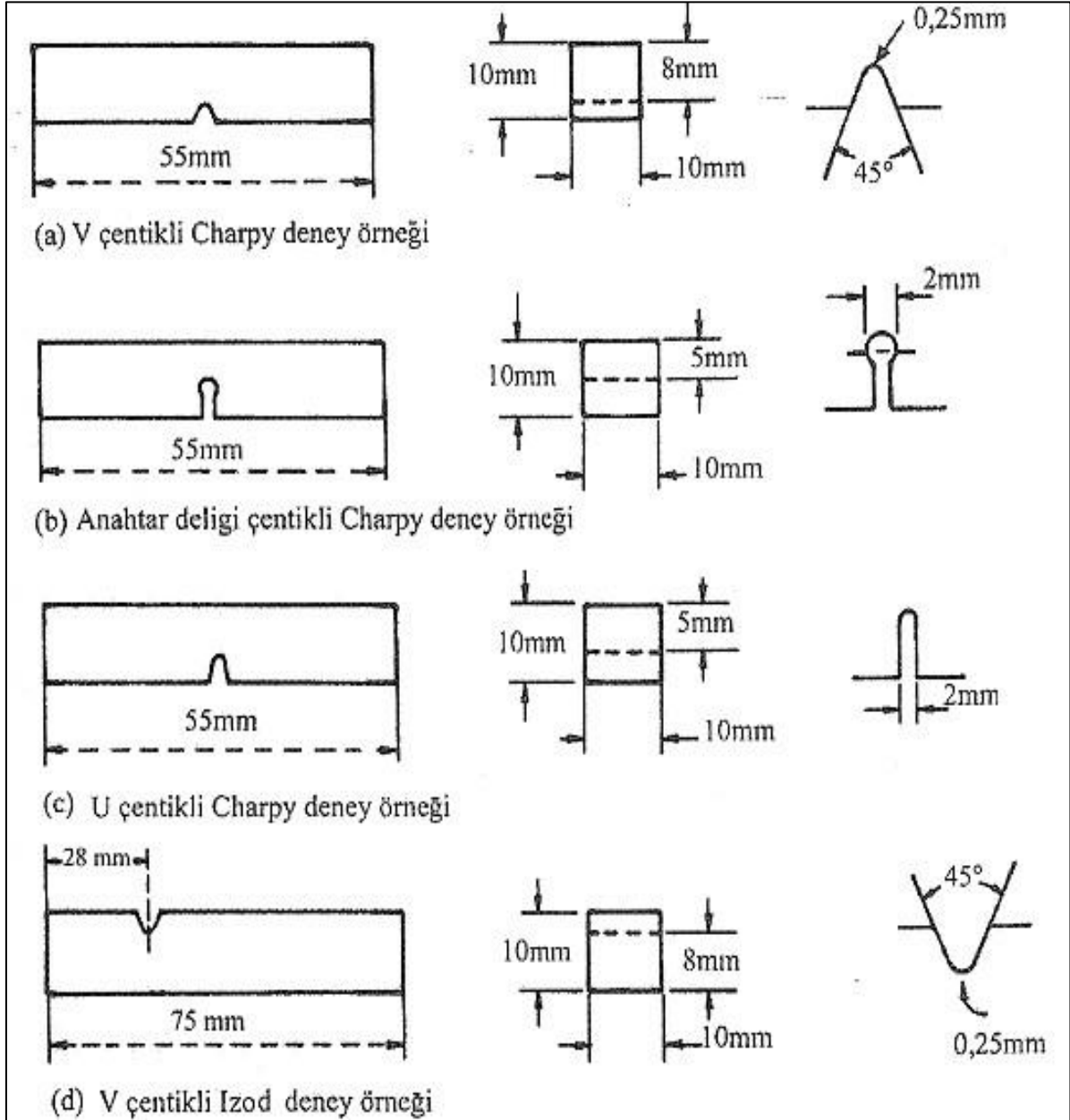
Şekil 1.11. PLC kontrollü darbe test düzeneği



Şekil 1.12. Charpy ve Izod testinde numunenin aparata yerleştirilme şekli (Anonim, t.y.)

### 1.2.8.1 Çentik Darbe Testi Numuneleri

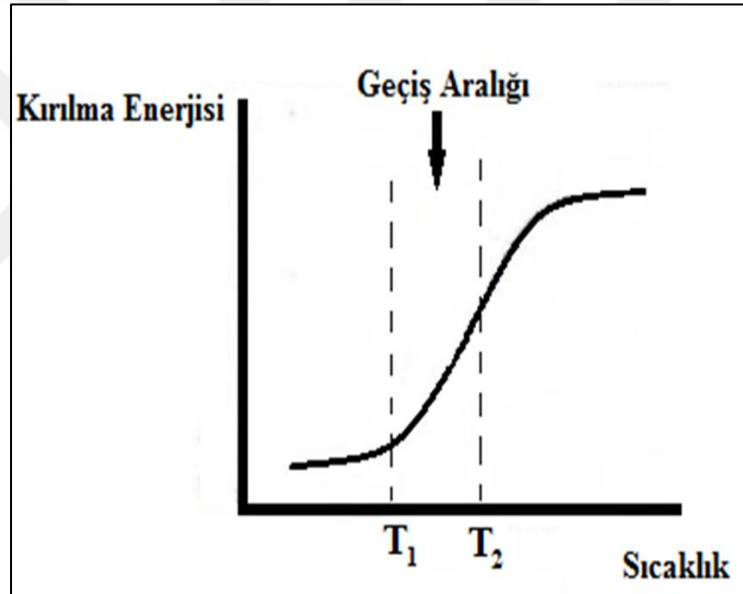
Darbe testi numunesi ASTM E23 ve TS EN ISO 148-1 standartları dikkate alınarak hazırlanmalıdır. Çentik darbe deneylerinde numunelere yine standart dahilinde Şekil 1.13.' de gösterilen çentikler açılmaktadır. Bu testlerde ki amaç, malzemenin bünyesinde gerilimlerin darbe esnasında malzemede bulunan çentik etkisiyle, malzemenin mekanik zorlamalara karşı gösterdiği direnci tespit etmektir.



Şekil 1.13. Çeşitli standartlara göre hazırlanmış darbe deneyi numuneleri (Çelik, 2017)

### 1.2.8.2 Darbe Direncine Etki Eden Faktörler

Çentikli bir malzeme kırılmaya zorlandığı an çentiğin altında dik bir gerilme meydana gelir. Kırılmanın başlaması da oluşan bu gerilimin etkisiyle oluşmaktadır. Test numunesinin kırılabilmesi için de oluşan gerilmenin sebebi, kristalleri bir arada tutan ve kristallerin kaymasına karşı koyan kohezif dayanımdan daha büyük olması gerekmektedir. Test numunesi plastik deformasyona uğramadan bu durum gerçekleşir ise buna gevrek kırılma, bu olaya da darbe deneyinin çentik etkisi adı verilir. Sıcaklığın artmasıyla kayma direnci düşeceği için ve numunede kırılma esnasında plastik deformasyon gerçekleşeceği için de sünek kırılma gözlenecektir. Bu sebeple farklı sıcaklıklarda yapılan darbe testleri kullanılan malzemenin darbe direnci hakkında daha anlamlı sonuçlar verir. Aynı kimyasal analizdeki malzemelerde yapılan darbe testlerinde sıcaklık düştükçe malzemenin darbe direnci de düşmektedir.



Şekil 1.14. Darbe direncinin sıcaklıkla değişimi (Anonim, t.y.)

Metallerin darbe direncine etki eden faktörler sıcaklık etkisi, imalat yöntemi, çentik etkisi, içerdikleri bileşimler, ısıl işlem, yüzey hassasiyeti, tane boyutu, haddeleme yönünün etkisi ve mikro yapısı sayılabilir.

İnşaat çeliklerinde, aynı kimyasal analizlerde üretilip hazırlanan numuneler farklı sıcaklıklarda yapılan darbe testleri sıcaklık düştükçe malzemenin darbe direnci de düşmekte malzeme daha gevrek ve kırılğan bir yapıya sahip olmaktadır. Özellikle karbon oranı bakımından yüksek olan inşaat çelikleri artan sıcaklıkla doğru orantılı olarak gevrek kırılmadan sünek kırılmaya doğru hızlı bir geçiş gözlenmektedir.

Çentik darbe testlerinin farklı sıcaklıklarda yapılmasıyla malzemenin geçiş sıcaklık aralığı belirlenmiş olur. Geçiş sıcaklığı, malzemenin sünek kırılmadan gevrek kırılmaya geçişin olduğu sıcaklığa denir. Malzemelerin kırılma enerjileri sıcaklığa bağlı olarak, bir anda olabileceği gibi belirli sıcaklık aralığında da olabileceği tespit edilmiştir. Şekil 1.14.' de gösterildiği gibi T1 sıcaklığının altındaki sıcaklıklarda malzeme gevrek davranış gösterirken, T2 sıcaklığının üstündeki sıcaklıklarda ise malzeme sünek bir davranış gösterir. Darbe direncinin aniden düştüğü sıcaklığa geçiş sıcaklığı adı verilir. Bu genellikle malzemedeki kırılmanın yarısının gevrek yarısının sünek olduğu andaki sıcaklık olarak da bilinir. Geçiş sıcaklığının tespiti darbe kırılma enerjisi, kırılan yüzeyin görünümü ve kırılmadan sonra çentik tabanında meydana gelen enlemesine büzülme miktarı ile belirlenir.

İnşaat çeliklerinde, C, P, Si, Mo, Ni ve O bileşimlerinin miktarının artması da daha yüksek geçiş sıcaklığına neden olur. Isıl işlem görmüş çeliklerde de çentikli darbe testlerinde tokluk artmaktadır. Yüzeylerine sertlik işlemi uygulanmış çeliklerin ise çentik darbe direnci azalmaktadır. Tane boyutu ince olan malzemeler ise büyük taneli malzemelere göre daha düşük geçiş sıcaklığına sahiptirler.

Yapılan araştırmalar neticesinde darbe direncine birçok faktör etki etmektedir. Bu faktörlerden ötürü tüm mühendislik uygulama ve tasarımlarında malzeme seçiminin öneminin yanı sıra tasarımlarda kullanılacak olan malzemelerin geçiş sıcaklıklarının da bilinmesi büyük önem arz etmektedir.

## 2. KAYNAK ÖZETLERİ

Akgün (2010), bu çalışmasında, cam-epoksi kompozit yapıdaki plakların çentik darbe davranışlarını uygulamalı deneysel yöntemlerle araştırmıştır. Çeşitli parametrelere göre numunelerin darbe testlerini yapmış olup bunların sonuçlarını grafikler halinde değerlendirmiştir. Akgün ilk olarak kompozit yapıların onarım yöntemlerine göre darbe deneylerini gerçekleştirmiş, daha sonra yama derinliklerine göre deneyler yapmış, en son olarak da farklı test sıcaklıklarının etkisini deneylerinde araştırmıştır. Sonuç olarak, bu tezde infüzyon ile onarım derinliği fazla numuneler üretildiğinde normal bir numuneye göre darbe dayanımlarının daha düşük ancak malzeme ömürlerinin daha uzun ömürlü olduğunu gözlemlemiştir. Ayrıca soğuk ortamda darbeye uğrayan numunelerin ömürlerinin sıcak ortamda darbe gören numunelere oranla daha uzun ömürlü olduklarını tespit etmiştir.

Ankaralı (1991), bu çalışmada, öncelikle metalik malzemelerdeki kırılma testinin mikro mekanizması teorik olarak incelenmiş bu arada kristallerin teorik mukavemeti ve dislokasyonların hareketlerini analiz edip bu konuda gözlemler yapmıştır. Diğer deformasyon şekillerine kısa bir değinmeden sonra çekme gerilmeleri neticesi malzeme üzerinde oluşan teorik kritik gerilme türetilmiştir. Bu arada 15 Joule kapasiteli Charpy çentik darbe cihazı tasarlanmış, projelendirilmiş ve imalatı gerçekleştirilerek laboratuvarında hizmete sunulmuştur. Malzemelerin kristal yapılarıyla ilgili olarak, değişik sıcaklıklarda mekanik özelliklerinde değişiklikler olduğu bilinmektedir, özellikle kristal yapıya sahip olan malzemeler oda sıcaklığının altındaki sıcaklıklarda gevrekleştiklerinden çentik darbe mukavemetleri oldukça düşmektedir. Bu etkileri SAE 4718 alaşımlı çeliğinde gözlemek için, hazırlanan bir takım Charpy çentik darbe numunesi üzerinde -100 °C ile 900 °C arasındaki sıcaklıklarda deneyler yapılmış ve bu malzemenin süneklikten gevrekliğe geçiş davranışı deneysel olarak gözlemlenip bu konu hakkında değerlendirmeler yapılmıştır.

Aslan (2022), bu çalışmada, plastikler üzerinde Izod testi için tanımlanmış standartları araştırmış ve bu standartlara göre makine tasarımını yapmıştır. Tasarlamış olduğu parçaları, kendi imkânları ile üretmiştir. Aynı şekilde makine için gerekli olan hazır alınması gereken ürünlerin seçimi ve satın alımı da tarafınca gerçekleşmiştir. Öncelikle makinenin elektronik devresini ve yazılımını hazırlamış, daha sonra yazılımı işlemciye aktarıp cihaza yüklemiştir. Daha sonra cihazın montajını tamamlayıp çalışır duruma getirmiştir. Standartlarda verilen toleransları, makinenin üstünden ölçüler alarak doğrulamıştır. Makinenin yaşamış olduğu

kayıplardan, mekanik sürtünme ve hava sürtünmesi etkilerini yapmış olduğu deneyler neticesinde belirlemiştir. Aslan, deney sonuçlarına etki eden bu kayıpları, standartlarda belirtilen şekilde deney sonuçlarına yanlış etki etmemesi için doğrulama katsayısı olarak hesaplama formülünün içine eklemiştir. Sarkaç periyodu yöntemini kullanılarak sarkaç boyunu teorik olarak belirlemiş olup, cihaz üzerine takılı olan sarkaç ile karşılaştırarak teorik sarkaç boyu ile gerçekte çalışan sarkaç boyunun birbirine uyumlu olduğunu belirtmiştir.

Darbe testlerini yapabilmek için piyasada ticari maksatla satılan birçok plastik malzeme tedarik etmiştir. Satın almış olduğu plastik malzemeleri, darbe testi standartlarında belirtilen numune ölçüleri temel alınarak işleyerek test numunesi haline getirmiştir. Sonrasında hazırlanmış olan numuneler Kocaeli Üniversitesinde kalibrasyonu ve sertifikasyonları tamamlanmış olan BUTEKOM test merkezinde ve hazırlamış olduğu tez çalışması için üretilen makinede test edilmiştir. Yapılan tüm test sonuçları değerlendirildiğinde tez için hazırlamış olduğu makinenin doğruluğunu tespit etmiştir.

Yapılmış olan darbe testleri sonucunda düşük darbe mukavemetine sahip olan plastik numunelerde yüksek doğruluk oranlarında ölçümlerin yapılabildiği tespit edilmişken, darbe çentiği açılmamış plastik numunelerde ve yüksek mukavemetli plastik numunelerde sonuçların doğruluk oranının çok düşük kaldığı tespit edilmiştir. Aslan, bu doğrulamalar neticesinde yüksek mukavemetli plastik malzemeler için daha büyük kapasiteli sarkaçlar ile ölçümler yapılması gerektiği kanısına varmıştır.

Ayran (2019), yapmış olduğu çalışmasında, alüminyum alaşımlı jantlar hakkında genel bilgiler vererek alüminyum jantların imalatları hakkında da gerekli bilgileri vermiştir. Bunun yanında üretilen alüminyum jantlara uygulanan testlerden bahsetmiştir tezinde. Büyük oranda darbe testi üzerinde çalışmalar gerçekleştirmiş ve sonuçlarını simülasyon ile doğrulayarak malzeme modelinin geliştirilmesini sağlamayı amaçlamıştır. Ayrıca alüminyum alaşımlı jantları çekme testlerine de sokarak modeldeki şekil değişikliği hızını incelemiştir. Sonuç olarak, şekil değişikliği hızının sayısal sonuçları değiştirdiği gözlemlenmiş ve daha doğru simülasyonlar elde edilebilmesi için bünyesel malzeme modeline katılması gerektiği çıkarımında bulunmuştur.

Çifçi (2009), yapmış olduğu çalışmasında, çentik darbe testinin kayalar üzerinde etkisini araştırmıştır. Birçok farklı numune şekli ile bu deneyleri gerçekleştirmiştir. Deneylerde kullanacağı numunelerin bir kısmını çentiksiz, bir kısmı ise U ve V çentikli

şeklinde hazırlamıştır. Sonuç olarak yapmış olduğu deneylerde, çentiksiz kayaların çentikli kayalara nazaran daha düşük kırılma enerjisinde kırıldığını gözlemlemiştir. İki farklı şekilde açmış olduğu çentik tiplerinden ise V çentikli numunelerin U çentikli numunelere göre daha düşük enerjilerde kırıldığını gözlemlemiştir.

Eren (2007), bu çalışmasında, darbe testlerinin günlük hayat ile ortak noktalarından bahsetmiştir. Günümüzde sık kullanılan kompozit malzemelerde darbe sonrası oluşabilecek hasarları öncesinde tespit edebilmek adına kompozit yapılarda serbest düşme darbe etkisini incelemiştir. Deneylerinde alüminyum-termoplastik sandviç kompozit yapılar üzerinde çalışmıştır. Bu kompozit yapılar genel olarak binaların dış cephelerinde kullanılmaktadır. Bu tezdeki amaç binaların dış cephelerine gelen darbe yüklerine karşı hasar şekilleri ve absorbe enerjilerinin ölçülmesidir. Darbe testlerinde darbe vurucu uç olarak 12 mm çapında yarı küresel uç kullanmıştır. Eren yapmış olduğu deneylerde çıkan sonuçları grafiklemiş ve bir takım grafiksel değerler elde ederek farklı kompozit yapıları oluşan hasarlarına göre kıyaslamıştır.

Karpuz (2021), bu çalışmasında, yüksek hız darbe test cihazlarının darbe deneyleri sonucunda malzemelerin darbe dayanımına bağlı analizlerini yorumlamıştır. Yapmış olduğu literatür araştırmalarında savunma sanayinin bu durum hakkında ihtiyaçlarını belirlemiştir. Yüksek darbe dayanıma sahip askeriyede kullanılan malzemelerin tasarımlarının oluşturularak geliştirilmesinde ihtiyaçları tespit etmiştir. Savunma sanayisindeki önemli ihtiyacın giderilebilmesi için de çok büyük hızlarda darbe test cihazlarına ve bu cihazlarda kullanılacak numunelere ihtiyaç duymuştur. Yapmış olduğu yorumlarda ise test esnasında en önemli unsurlardan birinin ölçüm sistemlerinin olduğunu belirtmiştir. Yapmış olduğu tez çalışmasında darbe test cihazları için geliştirilen optik hız ölçüm sistemleri ve gerinim ölçüm sistemlerini deneysel yöntemlerle araştırıp incelemelerde bulunmuştur. Yüksek hız darbe test cihazlarına nazaran çok daha düşük hızlarda deneyler yapılan geleneksel darbe test makineleri ile ilgili deneysel çalışmalara bakılarak gerekli yorumlamalar yapılmıştır. Darbe testi makinasında optik hız ölçüm sistemi sayesinde darbe çubuklarının geçişini yakalayabilen optik sensörler ekleyerek bu sayede çubuğun geçiş dalgalarını yakalamıştır. Optik sensörler sayesinde sistemin hız ölçümünü tespit etmiştir. Strain-gage algılayıcıları ile de sistemin gerinim ölçümünü yapabilmiş ve testlerden çıkan tüm sonuçları toplu olarak değerlendirmiştir.



Sevinç (2007), bu çalışmasında, Labview 7.1 yazılımını kullanarak, darbe vurma deneyi gerçekleştirmiş, deney sonunda elde edilen sayısal verilerin bilgisayar ortamında analiz edilmesini gerçekleştirmiştir. Veri toplama için 6024E PCMCİ kartını kullanmıştır. Geleneksel darbe deneyinde toplam kırılma enerjisi potansiyel enerji farkından hesaplanarak elde edilmektedir. Tez kapsamında tasarlamış olduğu Charpy darbe test düzeneğinde potansiyel enerji farkı, sarkaç kolunun bağlı olduğu mile montajlı olan döner enkoderin vermiş olduğu sayısal açı üzerinden bulunmakta olduğundan bahsetmiştir. Sonuç olarak elde edilen açı farkı bilgisinin de bilgisayar ortamına aktarılarak, numuneler için kırılma enerjisi değerini yazılan program sayesinde de otomatik olarak hesaplanabildiğini söylemiştir. İstenildiği zaman test sonuçlarının veri tabanından kontrol edilip incelenebileceğini de belirtmiştir.

Ünal (2021), tez çalışmasında, standartlara uygun yaklaşık 32 J kapasitesinde Charpy ve Izod darbe makinesi tasarlayıp imalatını gerçekleştirmiştir. Tek makinede sadece çekiçleri değiştirerek iki deneyi de pratik bir şekilde yapabilmektedir. Yapılan makineyi kalibre edilmiş farklı bir cihaz ile de kıyaslamış ve darbe cihazının doğru çalıştığını göstermiştir. Araştırmada geliştirilen darbe test cihazında kullanılmak için beş farklı alüminyum alaşımlarından numuneler hazırlamıştır. Farklı kalitedeki alüminyum numunelerin öncelikle sertliklerini ölçmüştür. Daha sonra Charpy ve Izod testlerini sırası ile bu numuneler üzerinde denemiştir. Buradan almış olduğu verileri grafik yöntemiyle değerlendirmiştir. Sonuç olarak numunelerin sertlikleri arttıkça kırılma enerjilerinin düştüğünü gözlemlemiştir. Sertlik ve kırılma enerjisi arasında ters orantı olduğunu tespit etmiştir. Yapılan Charpy ve Izod darbe test sonuçlarını genel olarak değerlendirdiğinde, Izod numunelerini kırmak için gerekli olan kırılma enerjisinin Charpy numunelerini kırmak için gerekli olan kırılma enerjiden çok daha fazla olduğunu gözlemlemiştir.

Yıldız (2021), bu çalışmasında, polietilen tereftalat köpük çekirdek malzeme ve cam elyaftan oluşan sandviç yapıda kompozitlerin, matris fazına matrisin ağırlıkça farklı oranlarında eklenen hegzagonal bor nitrür nano malzemenin, sandviç kompozit üzerindeki mekanik özelliklerine etkisini incelemiştir. Nano malzeme katkısız reçine de kullanılarak katkılandırmanın etkisi analiz edilmiştir. Nano malzeme ile katkılandırma yapılmış kompozit sandviç numunelerin mekanik özellikleri üç nokta eğme testi ve Charpy darbe testi yapılarak katkılandırma yapılmamış olan numuneler ile kıyaslanmıştır. Sonuç olarak ürettiği kompozit numuneler için yapılan darbe testinden elde ettiği verilere göre hegzagonal bor nitrür nano malzeme katkılandırmasının darbe dayanımını olumsuz etkilediği belirlenmiştir.

### 3. MATERYAL VE YÖNTEM

#### 3.1. Materyal

##### 3.1.1. Autocad ve Solidworks Programları

Bu tez çalışmasında tasarım aşamasında Autocad ve Solidworks çizim ve montaj programları kullanılmıştır. Tasarımda üç boyutlu modelleme ve montaj Solidworks programıyla, iki boyutlu teknik resim oluşturma çalışmaları ise Autocad programı kullanılarak hazırlanmıştır.

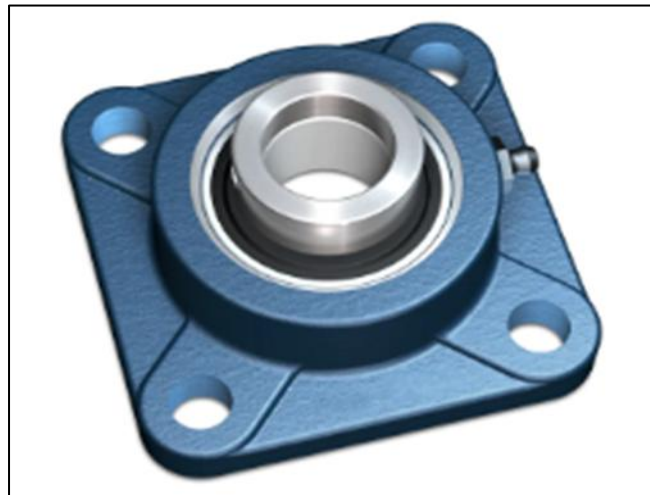
##### 3.1.2. Makine İmalat Malzemeleri

Makinenin tasarımında malzeme seçimi aşamasında siyah saç metaller için ST 37 malzeme, makinede kullanılan miller için C 1040 malzeme, aparatlar için ST 52, çekice montajlanan darbe bıçağı için C 2379 malzeme seçimi yapılmıştır. Charpy ve Izod darbe test cihazının ortam koşulları ve test esnasında karşılaşılabilecek darbeler göz önüne alınarak imalat malzemeleri seçilmiştir.

##### 3.1.3. Standart Makine Elemanları

###### Yataklı Rulman

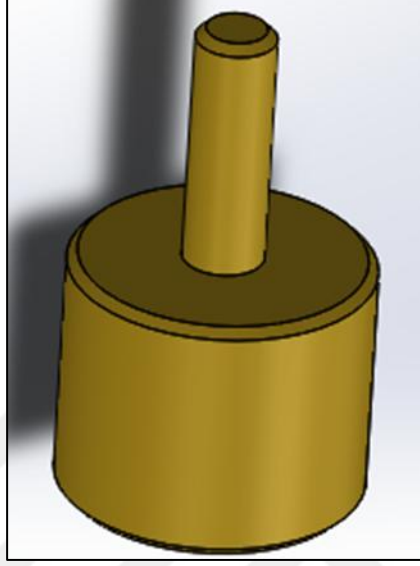
F4B 103-FM yataklı SKF marka kendinden yataklı rulman, darbe testi makinesinde darbe kolunun bağlı olduğu milin montajında kullanılmıştır. Toplamda milin her iki tarafında olacak şekilde iki adet kullanılmaktadır (Şekil 3.1.).



Şekil 3.1. F4B 103-FM Yataklı Rulman

### **Vibrasyon ve Ağırlık Takozu**

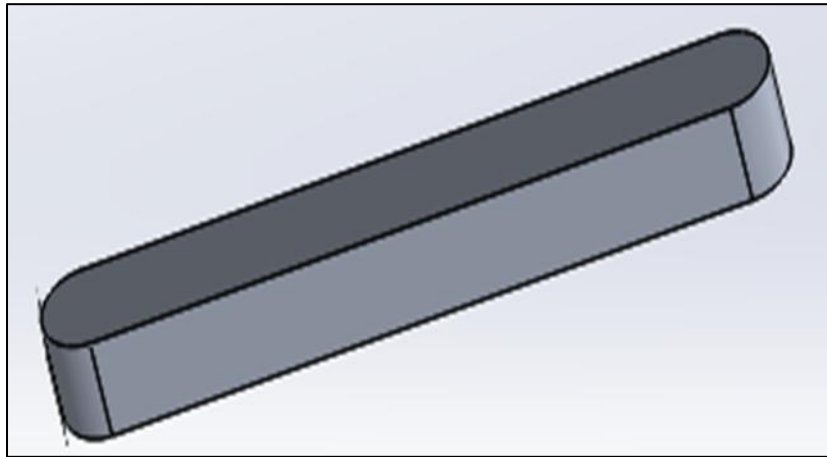
Ø70 mm M16 ölçülerinde dişli vibrasyon ve ağırlık takozları, makinenin zemin üzerinde dengeli oturmasını ve darbe testi esnasında vibrasyon oluşmamasını sağlamaktadır. Taban plakasının köşelerinde olacak şekilde toplamda dört adet kullanılmaktadır (Şekil 3.2.).



Şekil 3.2. Vibrasyon ve ağırlık takozu

### **Kama**

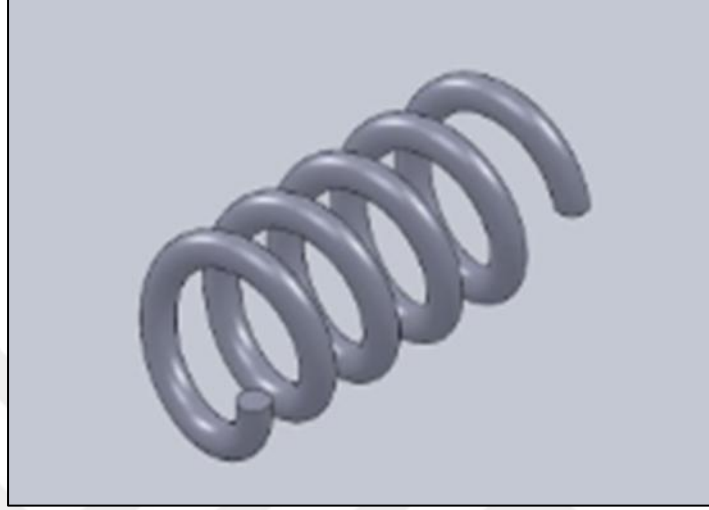
10x10 L:70 mm ölçülerinde olan kama darbe kolunun mil ile beraber radyal hareketini yapması için kullanılmaktadır. Makinede toplamda bir adet kullanılmıştır (Şekil 3.3.).



Şekil 3.3. Kama

## Yay

Ø20-50 mm Ø2 mm ölçülerinde olan baskı yayı makinedeki darbe kolunun serbest düşüşünü sağlamak için tasarlanan kilit mekanizmasında kullanılmaktadır. Toplamda bir adet kullanılmıştır (Şekil 3.4.).



Şekil 3.4. Baskı yayı

## Cıvata, somun, pul, segman

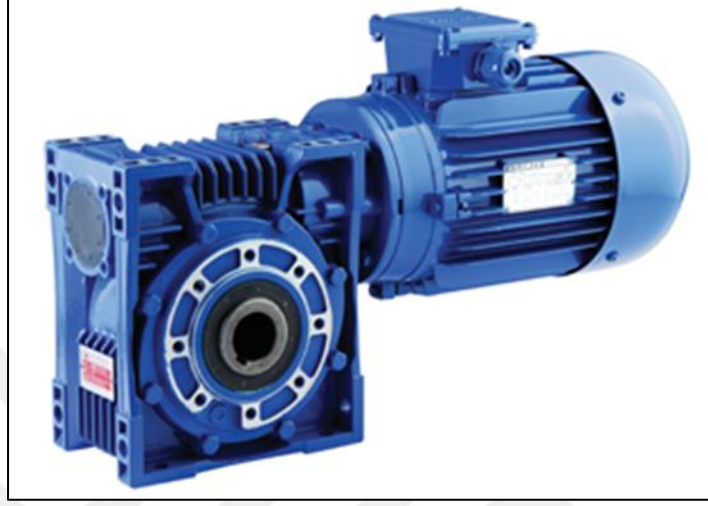
Makinenin üretiminde genellikle cıvatalı somunlu kolay sökülebilir montaj elemanları kullanılmaktadır (Şekil 3.5.).



Şekil 3.5. Cıvata, somun, pul

## Redüktör

Charpy ve Izod test makinesinde Flender Motox marka, EV model redüktör kullanıldı (Şekil 3.6.). Kullanılan redüktör 2,2 kW gücünde, 373 Nm momentinde ve 8 d/d devir özelliklerindedir.



Şekil 3.6. Redüktör

## Teflon levha

Charpy ve Izod test makinesinin frenleme mekanizmasında 10 mm kalınlıkta PTFE esaslı Rota marka teflon levha kullanıldı (Şekil 3.7.).



Şekil 3.7. Teflon levha

### 3.1.4. Alşa Darbe Test Makinesi

Tezde tasarımı yapıp üretilen Charpy ve Izod test makinesinin doğrulama çalışmaları Alşa marka Charpy ve Izod test makinesi ile kıyaslanmıştır. Testler ISO 179/92 standardı temel alınarak yapılmıştır ( Şekil 3.8.).

Alşa markalı darbe testi makinesi maksimum 300 J darbe enerjisi kapasitesine sahiptir. Hem Charpy hem de Izod darbe testlerini gerçekleştirebilen bir makinedir. Darbe çekicinin darbe kolu ile birlikte uzunluğu 770 mm, toplam ağırlığı 20 kg ve kolun düşme açısı 160 derecedir.



Şekil 3.8. Alşa darbe test cihazı

### 3.1.5. Darbe Test Makinesinde Kullanılan Numuneler

Farklı kalitelere sahip nervürlü inşaat çubuklarından 10X10X55 mm ölçülerinde Charpy testi için 50 adet “V” çentikli numune, 10X10X75 mm ölçülerinde de Izod testi için yine “V” çentikli 50 adet numune kullanılmaktadır.

Numunelerin detayları aşağıdaki gibidir.

- **B500B-00**; 10 Charphy, 10 Izod
- **B500C-00**; 10 Charphy, 10 Izod
- **GR60T-01**; 10 Charphy, 10 Izod
- **GR60T-BR**; 10 Charphy, 10 Izod
- **GR60T-02**; 10 Charphy, 10 Izod

Bu tez kapsamında 5 farklı kaliteden standart olarak üretilmiş numunelerin kimyasal spesifikasyonu Çizelge 3.1.’de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Testleri yapılan numunelerin kimyasal spesifikasyonları

<b>DÖKÜM KALİTESİ</b>	<b>C</b>	<b>Mn</b>	<b>Si</b>	<b>P</b>	<b>S</b>	<b>Cr</b>	<b>Ni</b>	<b>Mo</b>	<b>B</b>	<b>Cu</b>	<b>N</b>	<b>CE</b>
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
<b>B500B-00</b>	0,21	0,55	0,14	0,030	0,031	0,11	0,14	0,021	-	0,55	0,009	0,37
<b>B500C-00</b>	0,23	0,94	0,15	0,028	0,006	0,15	0,12	0,02	-	0,49	0,009	0,47
<b>GR60T-01</b>	0,26	0,85	0,13	0,022	0,028	0,12	0,13	0,021	-	0,39	0,007	0,47
<b>GR60T-BR</b>	0,27	0,56	0,13	0,025	0,028	0,15	0,12	0,026	0,002	0,44	0,01	0,44
<b>GR60T-02</b>	0,28	1,22	0,16	0,023	0,023	0,15	0,12	0,025	-	0,42	0,01	0,51

*Alaşımli Kütüklerin Standartlarını Gösterim Tablosu (t.y.). Erişim adresi: <http://kaptangrupturkiye.com/kalite/>*

### **3.2. Yöntem**

Tasarlanan makine ASTM E23, TS EN 10045 ve TS EN ISO 148-1 standartları dikkate alınarak hazırlanmıştır.

#### **3.2.1. Charpy ve Izod Test Makinesinin Amacı**

Endüstrideki uygulamalarda kullanılmakta olan malzemelerin birçoğu, ortam sıcaklığına ve uygulanan yükün kuvvetine bağımlı olarak tahribata uğradıklarını gözlemlemekteyiz. Malzeme seçimi yapılırken parçanın hangi sıcaklıklarda kırılacağına veya kırılma enerji miktarlarının hangi büyüklükte olabileceği hakkında o malzemenin davranışı ile ilgili bilgi sahibi olunması gereklidir. Malzemelerin bu verilerine ulaşmak için malzemelerin darbe sonucu oluşan yükler altında ne miktarda bir darbe kırılma enerjisine sahip olduklarını belirlemek, malzemenin süneklik-gevreklik özelliklerini incelemek ve malzemenin hangi sıcaklıklarda sünek hangi sıcaklıklarda gevrek davranışlar gösterdiğini bulmak amacıyla Charpy ve Izod darbe testleri yapılmalıdır.

Bu test makinesinin amacı da belirli bir yükseklikten serbestçe bırakılan çekicinin numuneler üzerinde oluşturacağı darbe etkisi altındaki kırılma enerjisini “Joule” birimi cinsinden bulunmasıdır. Bu test makinesinde Charpy ve Izod olarak adlandırılan farklı iki darbe testinin tek bir çekiç kullanılarak numunelerin farklı bağlantı aparatlarına yerleştirilmesi ile kırılması gerçekleştirilmektedir.

#### **3.2.2. Charpy ve Izod Test Makinesinin Çalışma Prensibi**

Charpy ve Izod darbe testi, cıvata bağlantılı yatay ve dikey kırımlar halinde iki mesnete dayanan numunenin tam ortasından bir kolun ucuna montajlı çekiçle sabit bir yükseklikten serbest bırakılarak darbeye maruz kalması ve çentik ucunda meydana gelen çok eksenli gerilmelerin etkisi ile numunenin kırılabilmesi için harcanan enerjiyi PLC ekranında göstermesi işlemidir. Darbe enerjisi numunenin kırılabilmesi için harcadığı enerjidir. Darbe çekicinin numuneye değdiği andaki potansiyel enerji ile numunenin kırıldıktan sonra çekiçte kalmış olan potansiyel enerji farkına eşittir. Yapılan Charpy ve Izod testlerinde numune, ağırlık merkezinin sarkacın vurma noktasını ortalayacak şekilde yerleştirilmesi ve numunenin çentik kısmının da darbe yüzeyinin tersi pozisyonuna dönük olarak makinenin numune bağlama aparatlarına yerleştirilmesi gerekmektedir.



### 3.2.3. Charpy ve Izod Test Verilerinin Kullanım Yerleri

Metal, plastik, tahta, cam, kaya sanayisi ve kompozit malzeme sektörleri gibi birçok alanda malzeme üzerinde Charpy ve Izod darbe test verileri alınarak çeşitli mühendislik tasarım ve uygulamaları öncesinde ihtiyaca bağlı olarak kullanılmaktadır.

### 3.2.4. Charpy ve Izod Test Makinesindeki Kayıplar

Darbe testi düzeneğinde kırma enerjisi teorik olarak hesaplanır. Bu hesaplamalar gerçek olarak hesaplandığı zaman sürtünmeden dolayı yaşanan kayıplar ve darbe testi esnasında oluşan titreşimden kaynaklı kayıplar da hesaba eklenmelidir.

Sürtünmeden dolayı yaşanabilecek kayıpları ölçebilmek için test numunesi bağlama aparatlarına bırakılmadan darbe kolu h1 mesafesinde serbest bir şekilde salınır. Darbe kolu diğer yönde h2 yüksekliğine ulaştığında, formüldeki  $mgh_1 - mgh_2$  işlemi uygulanarak makinenin sürtünmeden dolayı yaşadığı kayıplar tespit edilir. Fakat numune olmadan yapılan bu testte bir darbe oluşmayacağı için titreşimden dolayı yaşanacak kayıplar hakkında bir fikir oluşturamaz (Manahan ve Stonesifer, 1999).

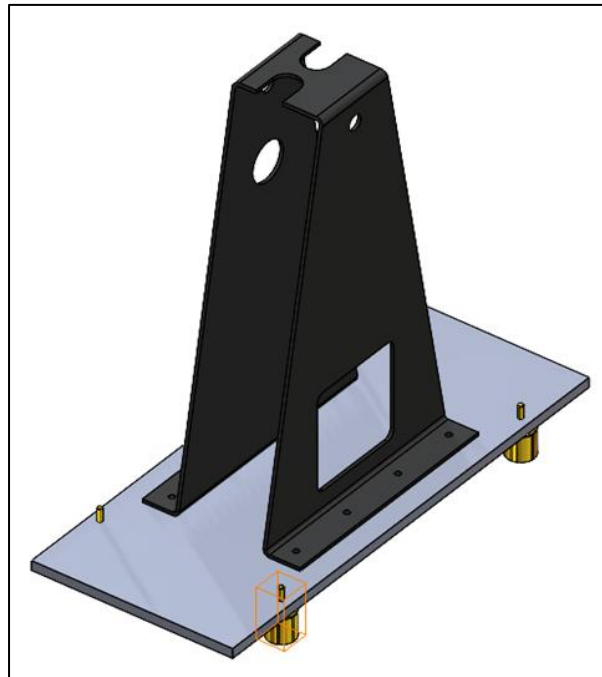
Darbe testi makineleri kalın, eğilmez, bükülmez yani sağlam olarak üretilmiş olsalar da tamamen eğilemez veya bükülemez değildir. Bu nedenle makine test esnasında çekicinin numuneye yapacağı darbe esnasında makinenin birbirine bağlı diğer donanımları bu şiddetten etkilenip eğilme ve bükülme gibi durumlarla karşılaşacaklardır. Darbe koluna bağlı çekicinin h1 mesafesindeki potansiyel enerjisi makinedeki titreşimi yaratan enerji olarak söylenebilir. Yapılan araştırmalar darbe cihazlarında büyük ölçüde titreşim kaynaklı kayıpların olduğunu doğrulamaktadır. 400 J kapasitesindeki test makinesinde titreşim enerjisinden ötürü yaşanan kaybın %1 kadarına denk geldiği tespit edilmiştir. Bu yüzden titreşim enerji darbe testlerinde oldukça önemli bir durumdur. Yapmış olduğu testler sonucunda kırılma sonrasında çekicinin deney numunelerine ikinci defa vurması ile ekrandan okunan kırılma enerjisinde 3-4 J kadar bir fark oluşmasına sebebiyet olmuştur (Manahan vd., 2001).

Tez çalışması için tasarlanıp üretilen darbe makinesi teorik olarak 290J kapasitesindedir. Darbe testi makinesine numune koyulmadan boşta darbesiz çalıştırıldığında ise darbe testinin teorik olarak sonucunun 0 J çıkması gerekirken pratikte sürtünmelerden dolayı kayıplar yaklaşık olarak 3-4 J çıkmıştır. Bu sonuçtan 290 J kapasitesinde tasarlanıp üretilen Charpy ve Izod makinesindeki kayıpların yaklaşık %1 olduğu tespit edilmiştir.

### 3.2.5. Charpy ve Izod Test Düzeneginin Tasarımı

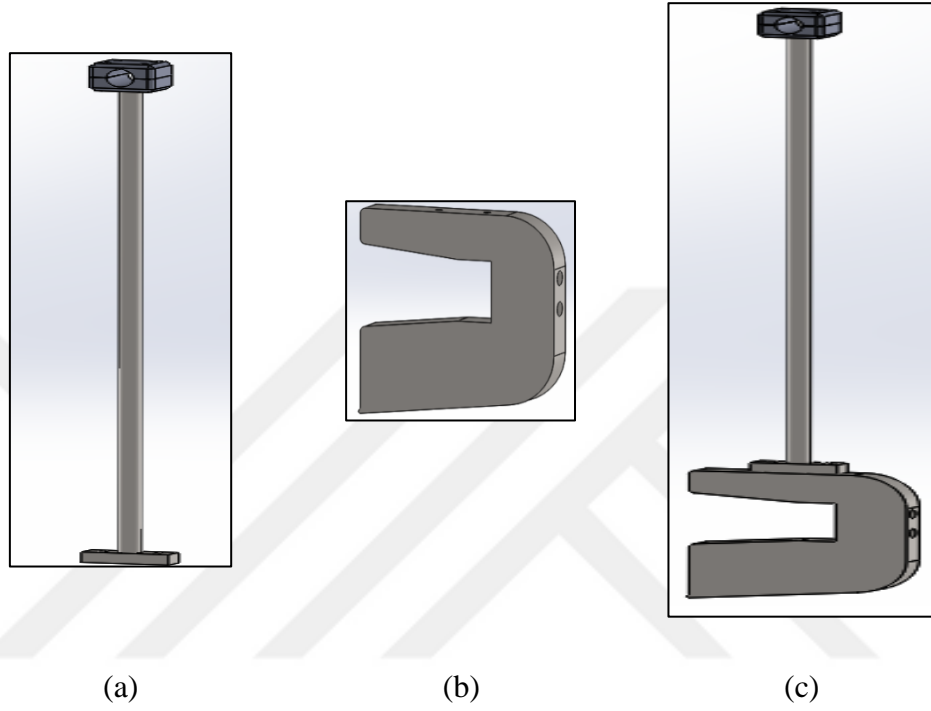
Charpy ve Izod darbe test makinesi, taban sacı, taban sacı üzerinde civatalarla bağlantılı iskelet, iskelet arasındaki plakada Charpy ve Izod numunelerinin yerleştirilebilmesi için gerek duyulan aparatlardan oluşmaktadır. Ayrıca darbe kolunun salınım hareketini sağlaması için iskeletin tavan kısmında ise darbe kolunun bağlı olduğu mil ve yataklı rulmanlar ve darbe koluna bağlı çekiç bulunmaktadır. Darbe kolunu taşıyıp istenildiği yere getirip serbest bırakabilmek için bir kilit mekanizması bulunmaktadır. Ayrıca taban sacının üstünde numune bağlantı aparatlarının önünde bir de fren mekanizması bulunmaktadır. Bu mekanizma darbe kolu test için serbest düşürülerek numuneyi kırdıktan sonrasında sürekli salınım yapmaması için kullanılır.

Makine iskeleti (Şekil 3.9.), 30 mm kalınlığında ST 37 kalitesindeki malzemenin lazer kesim işlemi yöntemiyle üretilen taban sacı, 10 mm kalınlığında ST 37 kalitesindeki malzemenin lazer kesim işlemi yöntemiyle üretilen iki adet kolun sacı, 10 mm kalınlığında ST 37 kalitesindeki malzemenin lazer kesim ve ardından freze işlemi uygulanarak üretilen iki adet kolun ayakları, 10 mm kalınlığında ST 37 kalitesindeki malzemenin lazer kesim yöntemi ve ardından kaynak işlemi uygulanarak üretilen altı adet kolun şasesi-kolon ayakları, sağlamlaştırma bayrakları, M12x45 mm sekiz adet taban sacı-kolon şasesi bağlantı civataları kullanılarak tasarlanıp üretimi gerçekleştirilecektir.



Şekil 3.9. Makine iskeleti

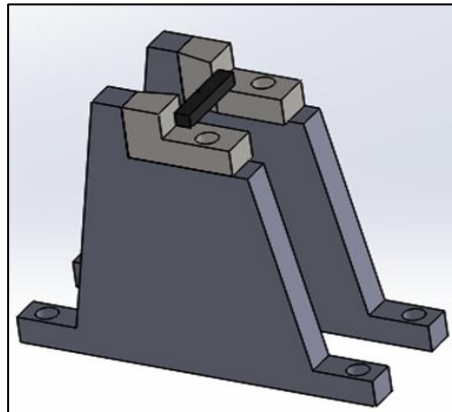
Bu test makinasında Charpy ve Izod numunelerini kırabilmek için tek tip çekiç tasarlandı. Şekil 3.10.a 'da belirtilen darbe koluna Şekil 3.10.b'deki Charpy ve Izod çekici iki adet M12x30 mm civata ile bağlanarak makineye montajı yapılmaktadır. Şekil 3.11.'da belirtilen Charpy numune bağlama aparatına numunelerin yerleştirilmesi ile darbe testi gerçekleştirilir.



Şekil 3.10. a) Darbe kolu      b) Charpy ve Izod çekici      c) Çekicinin montajlı görünümü

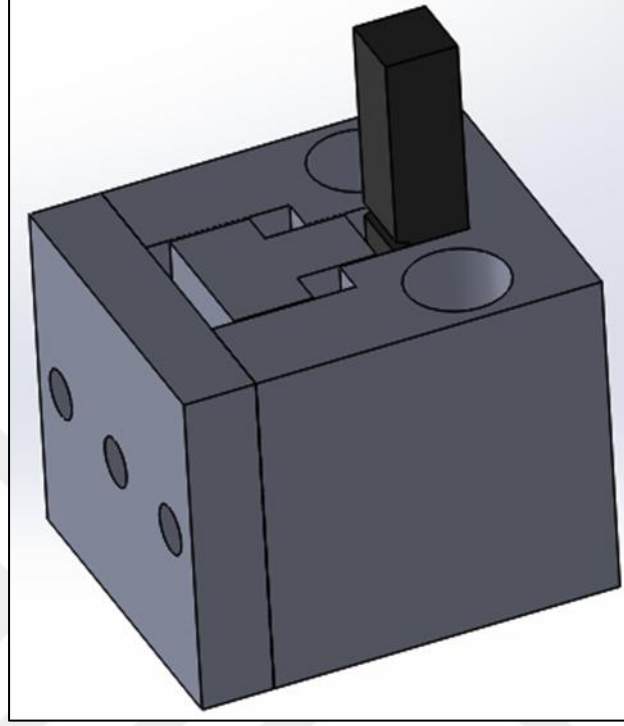
Darbe kolu: 3,85 kg

Çekiç: 14,4 kg olarak tasarlandı.



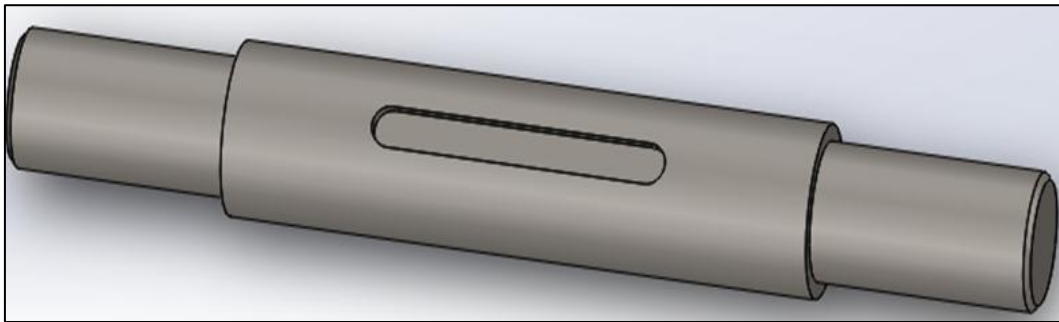
Şekil 3.11. Charpy numune bağlama aparatı

Darbe testi makinesinde yine aynı çekiç düzeneği kullanılarak Şekil 3.12.'da belirtilen Izod numune bağlama aparatına numunelerin düzgünce yerleştirilmesi ile darbe testi gerçekleştirilir.



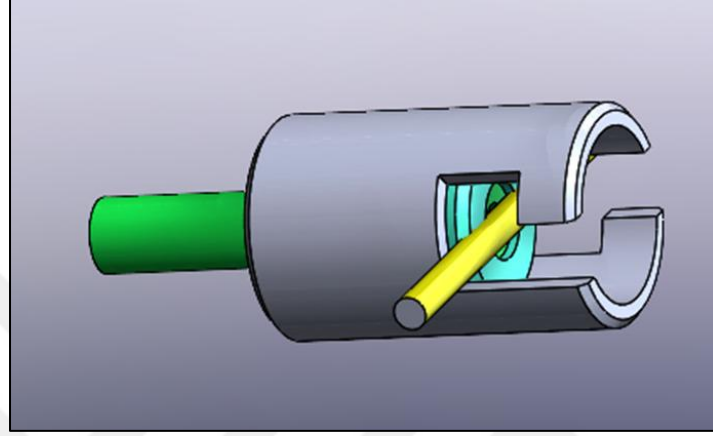
Şekil 3.12. Izod numune bağlama aparatı

Darbe kolu merkezleme mili  $\text{Ø}40$  mm ölçüsüne manuel tornalama imalatı yöntemiyle getirilmesi hedeflendi. C 1040 kalitesinde malzemeden üretilmiş olup daha sonra mil yüzeyine frezede 10'luk kama kanalı açılması tasarlanmıştır. ST 52 kalitesinde iki adet malzemeye frezeleme işlemi uygulanarak üretilmesi hedeflenen mil ile 10'luk kamayı birleştirecek olan göbek parçalarından oluşmaktadır.



Şekil 3.13. Darbe kolu merkezleme mili

Makinede darbe kolunu, belirlenen yüksekliğe taşıyabilmek ve o yükseklikte sabit olarak tutabilmek için Şekil 3.14.'de belirtilen kilit mekanizması düşünülüp tasarlandı. Mekanizma içerisinde bulunan yay 40 mm ileri geri hareket ederek darbe kolunu istenildiği zaman serbest bırakılmasını sağlayacak şekilde tasarımı yapıldı.



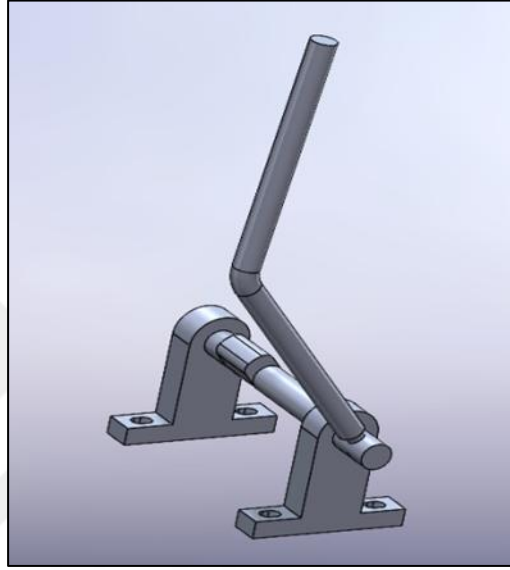
Şekil 3.14. Darbe kolu kilit mekanizması

Makinede Siemens marka S7 1200 model PLC, program olarak Tia Portal V16 kullanıldı. Şekil 3.15.'de gösterilen operatör panel Cermate marka olup program olarak ise PM Designer kullanıldı. Bu ekran üzerinde testi başlatma emri verilirse testin durumu gözlemlenir.



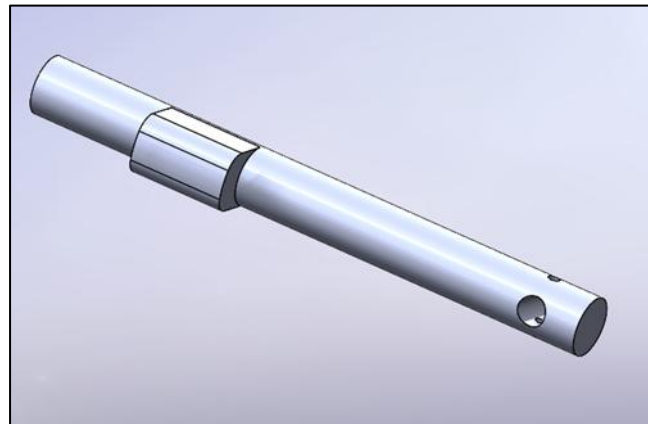
Şekil 3.15. Plc kontrol ekranı

Darbe testinde normal şartlarda çekiç kırma işlemini tamamladığı andan sonrada serbest salınım hareketine devam eder. Bu durumu sonlandırmak amacıyla Şekil 3.16.'da gösterilen fren kolu mekanizması tasarlandı. Bu fren kolu mekanizmasında frezede üretilmesi hedeflenen iki adet yatak ve tornada üretilip bükme makinesinde bükülmesi hedeflenen bir adet koldan oluşmaktadır. Frenleme esnasında oluşacak darbeden dolayı mekanizmaya zarar vermemesi gerektiğinden ve darbe sonucu ses oluşturmaması için montaj sürecinde, temas yüzeyine teflon malzeme yerleştirilmesi düşünüldü.



Şekil 3.16. Fren kolu mekanizması

Fren mekanizmasında yataklara bağlı Şekil 3.17.'de belirtilen fren dayama mili kolun ileri geri hareketinde teflonu çekice temas ettirerek frenleme işlemi yapması için tasarlanmaktadır.

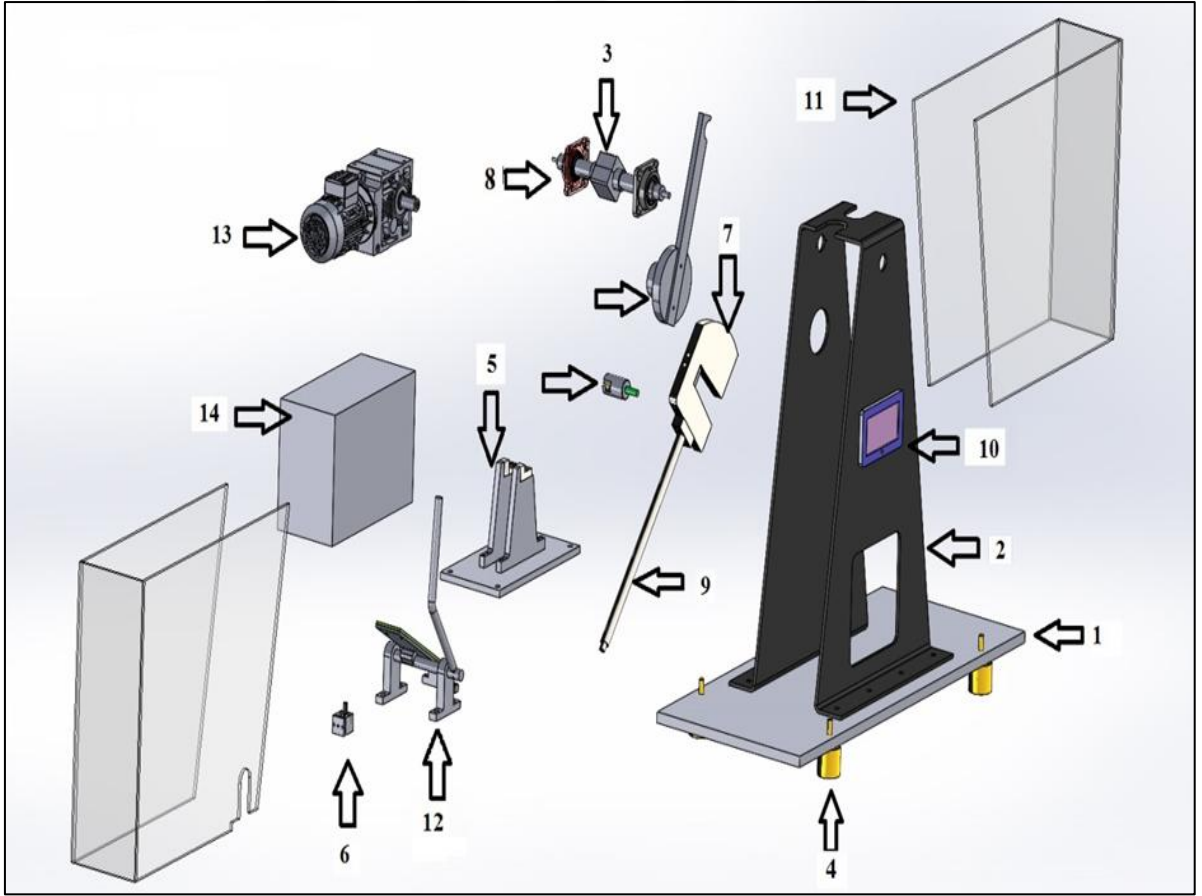


Şekil 3.17. Fren dayama mili

Darbe test makinesinde darbe kolunun testin başlangıç ve sonucundaki açı farkını mile bağlı olan dönel encoder sayesinde oluşan potansiyel enerjiyi belirler. Test makinesinde Şekil 3.18.'de gösterilen Bei marka H25D-SS-1024 model dönel enkoder kullanıldı.



Şekil 3.18. Dönel encoder



Şekil 3.19. Makinenin Solidworks tasarım patlatılmış modeli

Çizelge 3.2. Makine düzeneğinin parça listesi

<b>Parça No</b>	<b>Parça Adı</b>	<b>Miktar</b>
1	Alt plaka	1 Adet
2	Ana şase	1 Adet
3	Ana göbek	1 Adet
4	Vibrasyon ve ağırlık takozu	4 Adet
5	Izod numune bağlama aparatı	1 Adet
6	Charpy numune bağlama aparatı	1 Adet
7	Charpy ve Izod çekici	1 Adet
8	F4B 103-FM yataklı rulman	2 Adet
9	Darbe kolu	1 Adet
10	PLC kontrol ekranı	1 Adet
11	Koruma kabini	1 Adet
12	Frenleme mekanizması	1 Adet
13	Redüktör ve motor	1 Adet
14	Elektrik panosu	1 Adet



### 3.3. Üretim

Charpy ve Izod test makinesinin tasarımı Solidworks programı kullanılarak yapıldı, Şekil 3.21’de gösterilmiştir. Autocad programı üzerinden de bütün parçaların teknik resimleri oluşturuldu. Teknik resimleri çıkarılan tüm parçaların ilk önce malzemeleri temin edildi. Daha sonra bu malzemeler teknik resimlerine göre çeşitli imalat yöntemleriyle üretildi.

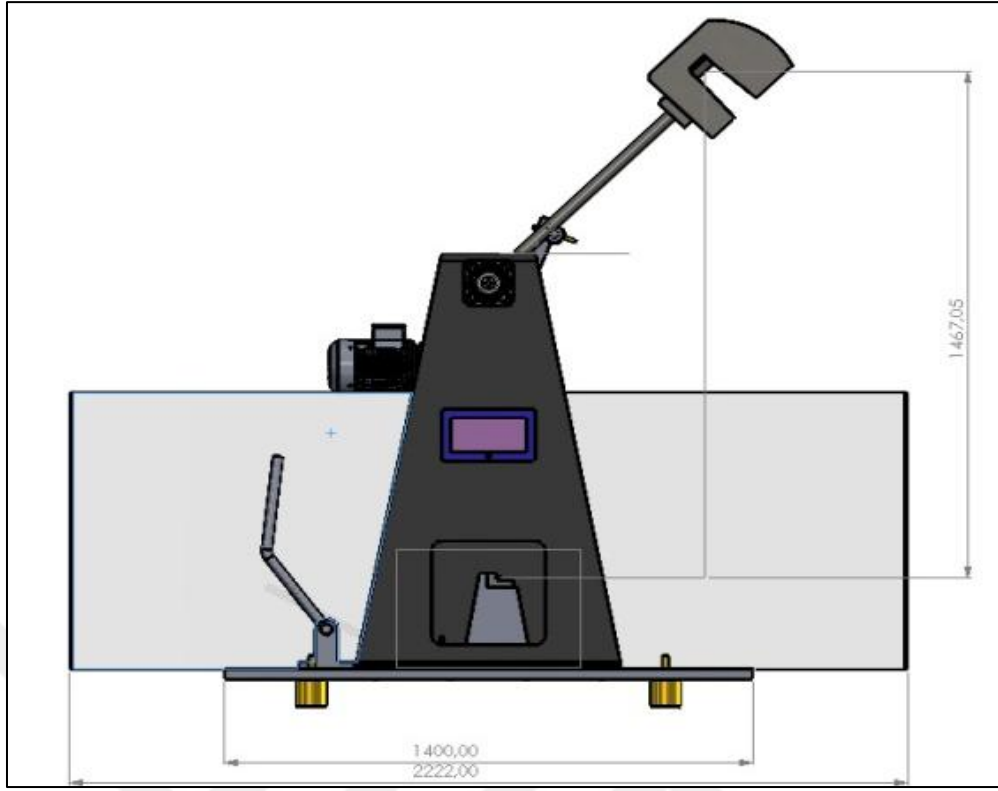
İskelet, taban sacı, taban sacı üst plakası, rulman yatakları bağlantı plakası, bağlantı aparatları şasesi, iskelet bayrakları, fren plakaları ve koruma kabinlerine lazer kesim işlemi uygulandı.

Charpy ve Izod çekici, bağlantı aparatları, şasesi ve bağlantı plakaları lazer kesim işleminden sonra teknik resimlerinde belirtilen hassas ölçülerine gelebilmeleri için dik işleme merkezinde talaşlı imalat işlemi uygulandı.

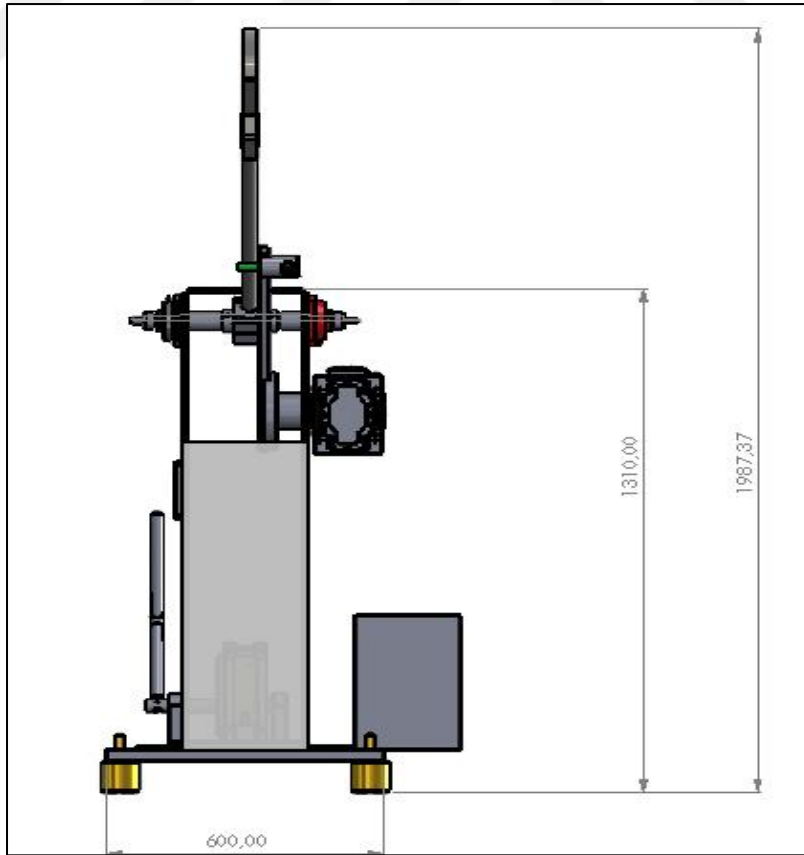
Darbe mili, frenleme kolu mili ve kilit mekanizmasındaki mil manuel torna tezgâhında talaşlı imalat uygulamasıyla elde edildi. Test makinesinin tüm parçaları toplanıp montaj yapıldıktan sonraki görseli Şekil 3.20’de gösterilmiştir.



Şekil 3.20. Tez için tasarlanan ve üretilen makinenin ön görseli



Şekil 3.21. Tez kapsamında tasarlanan ve üretilen makinenin genel ölçüleri - 1



Şekil 3.22. Tez kapsamında tasarlanan ve üretilen makinenin genel ölçüleri - 2



Şekil 3.23. Tez kapsamında üretilen makinenin arka görseli

Çalışanların çekiç ve kolu test başlangıç noktasına insan gücü yardımıyla kaldırması pek mümkün değildir. Bu sebeple darbe çekici ayrı bir mil ve kol yardımıyla elektrik motorlu redüktör ile test başlangıç noktasına getirilir, Şekil 3.23’de gösterilmiştir.

Darbe kolu mekanizması testin sabit bir noktadan manuel olarak el ile darbe yapılarak serbest bir şekilde düşmesini sağlamaktadır. Darbe kolu mekanizması ST 37 plaka, C 1040 mil, demir burç ve baskı yayının kaynak imalatıyla üretildi.

PLC, encoder, fotosel ve redüktör bağlantı aparatları da lazer kesim ve büküm işlemleriyle üretilmiş olup, elektronik parçaların makine üzerine bağlanmasına yardımcı olmuşlardır.

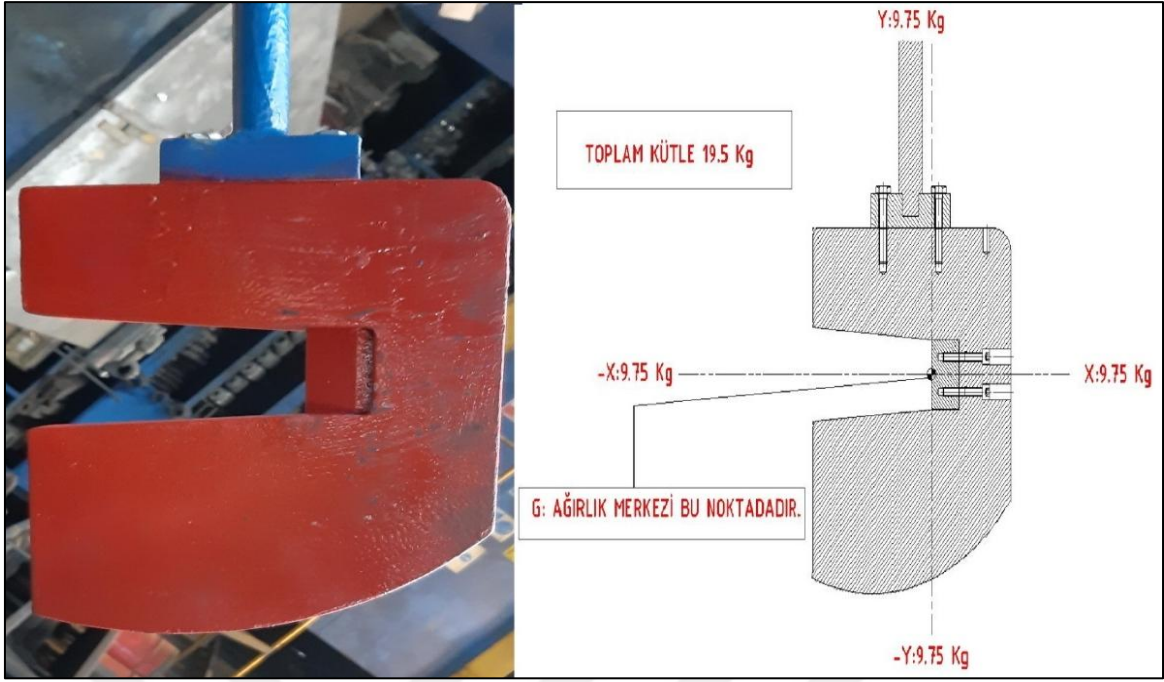


Şekil 3.24. Tez kapsamında üretilen makinenin yan görseli

Test esnasında oluşan darbelerde sarsıntı olmaması için ve makinenin zemine dengeli oturması için ana plakanın dörtkenarına da ağırlık denge takozları üretilip takıldı.

Darbe test cihazında çekiç numuneyi kırdıktan sonrada darbe kolu serbest salınımına devam etmektedir. Darbe kolunun salınımı çok uzun sürmemesi adına bir fren mekanizması tasarlandı. Bu mekanizmada ST 37 plaka ve teflon plaka imbus başlı civatalar ile birbirine bağlandı. C 1040 malzemelerden birer adet eksantrik mil ve fren kolu üretildi.

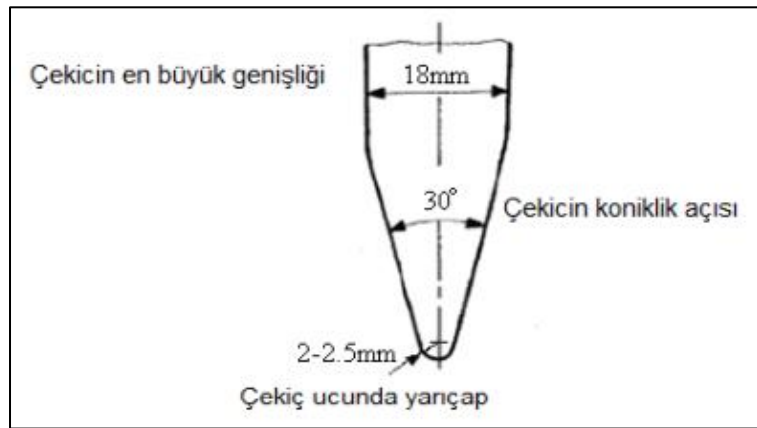
Darbe testi esnasında güvenlik amaçlı ve test bitiminde kırılan parçaların etrafa fırlamaması için güvenlik kabinleri tasarlandı. Bu kabinler 3 mm kalınlıkta, 12 mm delikli ST 37 malzemedden üretildi, Şekil 3.24'de gösterilmiştir.



Şekil 3.25. Darbe çekici ve solidworks ağırlık merkezi gösterimi

Charpy ve Izod Çekici C tipinde tasarlandı. Bu tasarımı sayesinde kırma noktasına ağırlık merkezi denk getirildi, Şekil 3.25’de gösterilmiştir. Çekiç ST 37 malzemenen plazma kesim yapıldıktan sonra cnc dik işleme tezgâhında hassas ölçülerine getirilerek üretildi. Çekiç, darbe kolu ve bağlantı aparatlarının kütlesi toplam 19,5 kg olarak ölçüldü. Charpy ve Izod testi için ortak bir çekiç tasarlanıp üretildi.

C 2379 malzemenen standart ölçülerde Şekil 3.26.’da kırma bıçağı üretildi. Bıçak M12x30 mm iki adet cıvata yardımıyla çekice montaj edildi. Bıçağın darbeler sonucu sürekli aşınıp kırılabileceği ve bu yüzden sık değişebileceği öngörüldü için cıvatalı montaj yapılması uygun görüldü.



Şekil 3.26. Charpy testi darbe çekici (Çifçi, 2009)



Şekil 3.27. Charpy ve Izod numunesi bağlama aparatları

Charpy testi, 55 mm uzunluğundaki numunenin bir mesnete yatay konumlandırılması sonucu çekicinin serbest düşmesi ile kırılması deneyidir. Bu deney için Charpy bağlama aparatı standartlar dahilinde özgün olarak tasarlandı ve üretildi, Şekil 3.27.'de gösterilmiştir.

Izod testi, 75 mm uzunluğundaki numunenin bir mesnete dikey konumlandırılması sonucu çekicinin serbest düşmesi ile kırılması deneyidir. Bu deney için Izod bağlama aparatı standartlar dahilinde özgün olarak tasarlandı ve üretildi, Şekil 3.27'de gösterilmiştir.

Charpy ve Izod numunelerinin kırılma pozisyonları farklılık gösterdiği gibi aparatlara tutturulma yöntemleri de farklıdır. Charpy testinde numune aparata serbest bırakılırken, Izod testinde ise numune kendi aparatına mengene yöntemiyle sıkılarak tutturulur. Bu gibi farklılıklarından ötürü iki testin bağlama aparatları farklı tasarlandı ve üretildi.

Nervürlü inşaat çubuklarından Şekil 3.29.'da 10X10X55 mm ölçülerinde Charpy testi için 50 adet "V" çentikli numune, 10X10X75 mm ölçülerinde de Izod testi için yine "V" çentikli 50 adet numune üretildi. Toplamda 100 adet Charpy ve Izod numunesi, KDÇ torna atölyesinde Şekil 3.28.'de gösterilen CNC dik işleme merkezinde talaşlı imalat yöntemiyle üretildi.



Şekil 3.28. Nervürlü inşaat demirinin CNC freze tezgahında numune haline getirilmesi



Şekil 3.29. V çentik çakısı ile hazırlanmış numune görselleri

#### 4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

Bu test makinesi, üzerinde tek bir çekiç kullanarak hem Charpy darbe testini hem de Izod darbe testini gerçekleştirebilmek için özel olarak tasarlandı. Her iki test arasında geçişler bu nedenle çok daha hızlı olmaktadır. Darbe kolunun montajlı olduğu darbe miline bağlı bir encoder bulunmaktadır. Bu encoder almış olduğu açısal verileri doğrudan otomasyona aktarmaktadır. Kırılma enerjisi formülü kullanılarak yazılan program sayesinde, plc ekranına anlık olarak darbe testlerinin sonuçları iletilmektedir.

Plc otomasyon sisteminde hesaplama aşağıda belirtilen şekilde yapılmıştır;

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

G = Sarkacın ağırlığı (kg),

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

h = Sarkacın ağırlık merkezinin düşme yüksekliği (m),

h<sub>1</sub> = Sarkacın ağırlık merkezinin çıkış yüksekliği (m),

β = Yükseliş açısı (derece)

α = Çıkış açısı (derece)

Sarkaç ağırlığı (G) içerisinde darbe kolu, çekiç, çekiç bağlantı plakası ve bıçak ağırlıkları bulunmaktadır.

Darbe kolu mili: 3,85 kg

C tipi darbe çekici: 14,4 kg

Bıçak, çekiç plakası ve montaj civataları: 1,25 kg

Toplam: 19,5 kg

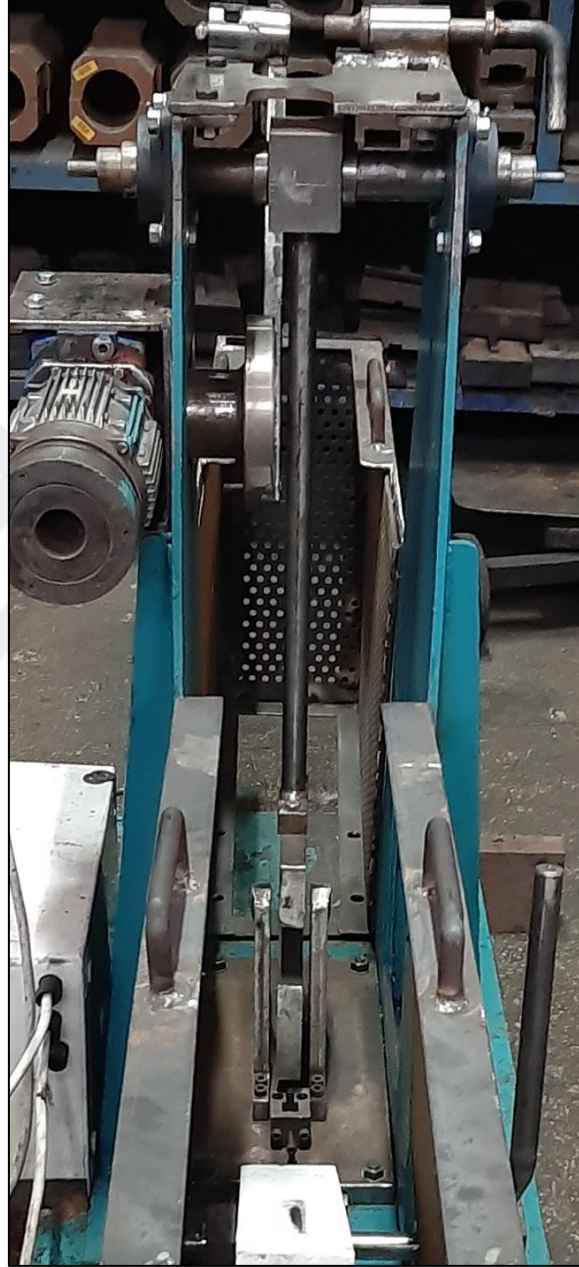
Maksimum Charpy ve Izod kırılma enerjisi (J) = (G) x h<sub>ağırlık merkezi maks.</sub> x 9,81

$$= (19,5) \times 1,516 \times 9,81 = 290 \text{ J}$$



#### 4.1. Charpy Test Denemeleri

Charpy testi için özel olarak üretilmiş darbe testi numunelerini kalitelerine göre 5'e ayırdı. Şekil 4.1.'de gösterildiği gibi Charpy aparatına uygun bir şekilde yerleştirilen 5 farklı kalitedeki toplam 50 adet numunenin 10 ayrı sıcaklıkta sırasıyla kırma işlemi gerçekleştirildi.

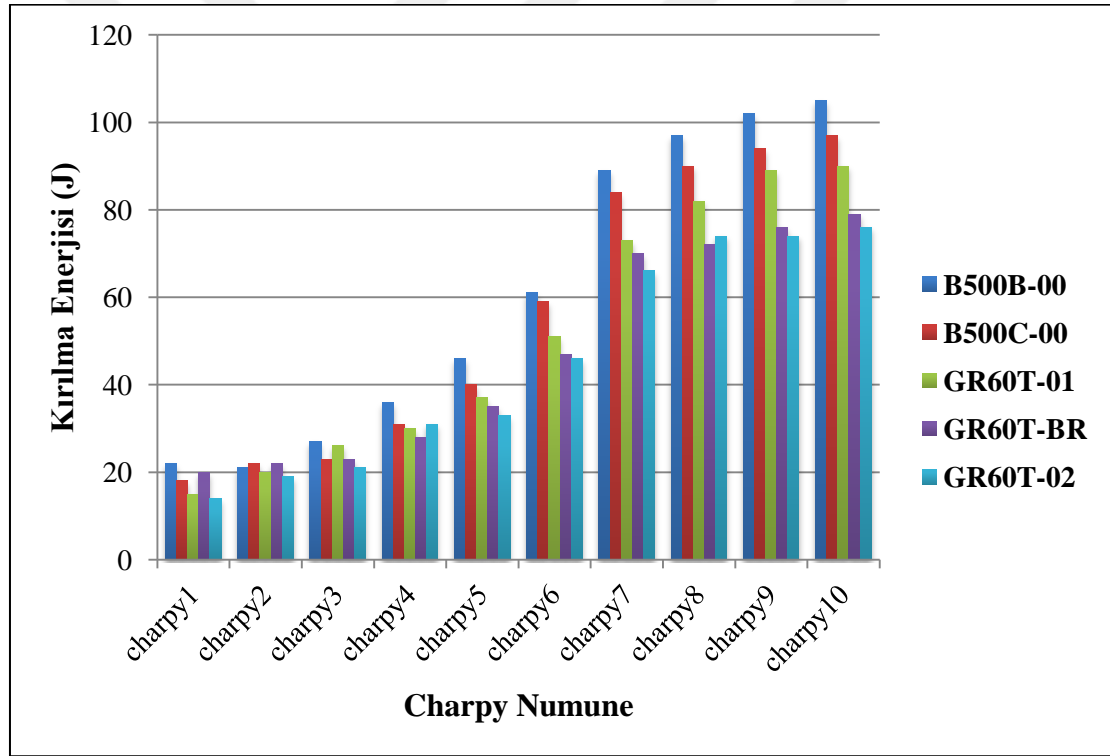


Şekil 4.1. Charpy çekici ile kırma test görseli

Farklı sıcaklıklardaki Charpy numunelerinin darbe testi sonucu elde edilen kırılma enerjileri Çizelge 4.1. ve Şekil 4.2.'de belirtildi. Şekil 4.3.'te ise testleri yapılan Charpy numunelerinin sıcaklıkları ve kırılma enerjileri gösterildi.

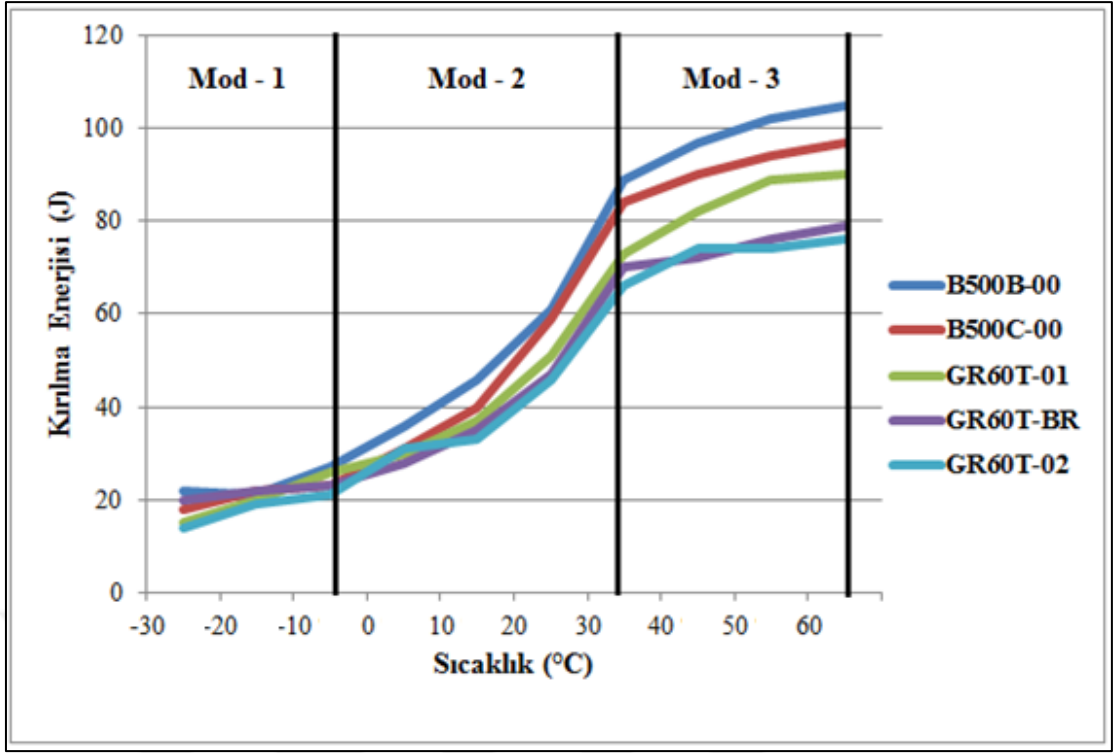
Çizelge 4.1. Charpy test numunelerinin farklı sıcaklıklardaki Joule cinsinden kırılma değeri

Numune Kalitesi	-30°C	-20°C	-10°C	0°C	10°C	20°C	30°C	40°C	50°C	60°C
<b>B500B-00</b>	20	21	27	36	46	61	89	97	102	105
<b>B500C-00</b>	18	22	23	31	40	59	84	90	94	97
<b>GR60T-BR</b>	15	20	26	30	37	51	73	82	89	90
<b>GR60T-01</b>	20	22	23	28	35	47	70	72	76	79
<b>GR60T-02</b>	14	19	21	31	33	46	66	74	74	76

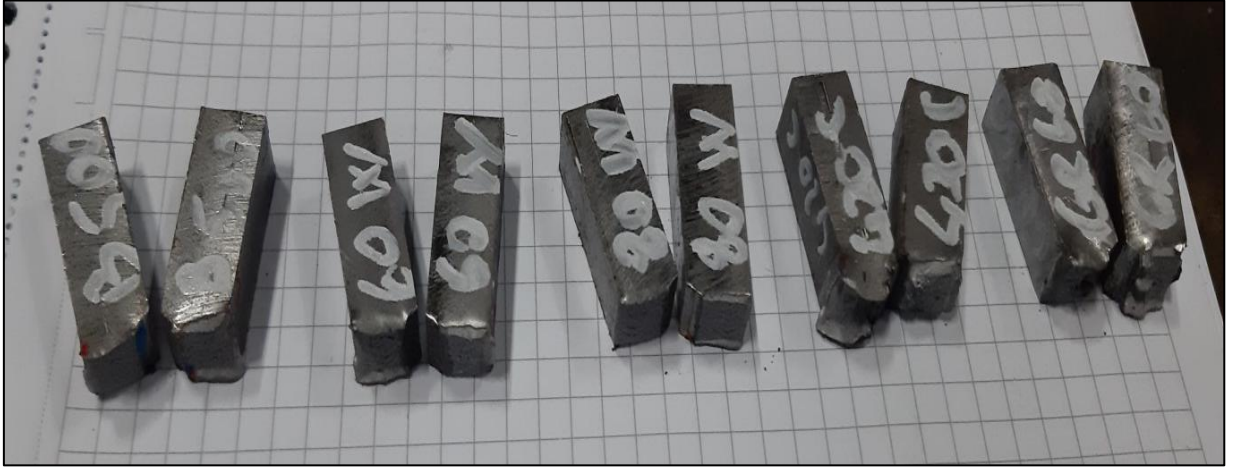


Şekil 4.2. Farklı sıcaklıklardaki Charpy kırma test değerleri

Çizelge 4.1. ve Şekil 4.3. incelendiğinde, Charpy testinde 5 farklı kalitede en yüksek kırılma enerjileri 60 °C’de, en düşük kırılma enerjileri ise -30 °C’de gerçekleştiği belirlendi.



Şekil 4.3. Charpy sıcaklık ve kırılma enerjisi karşılaştırılması



Şekil 4.4. Kırılmış Charpy test numunesi görseli

Şekil 4.3. incelendiğinde, numunelerin sıcaklıkları arttıkça kırılma enerjilerinin de arttığı gözlemlendi. En düşük kırılma enerjisi 14 J ile GR60T-02 kalite inşaat çeliğinde gerçekleşmiş olup, en yüksek kırılma enerjisi ise 105 J ile B500B-00 kalite inşaat çeliğinde gözlemlendi. Sıcaklık 35 °C'nin altına düşmeye başladığı andan itibaren kırılma enerjisinin de hızlı bir şekilde düştüğü gözlemlendi. Sonuçlar toplu olarak değerlendirildiğinde 5 ayrı kaliteden üretilmiş inşaat çeliklerinde Charpy darbe geçiş sıcaklığı Şekil 4.3. Mod-2'de görüldüğü üzere 35 °C'den, -5 °C aralığında gerçekleştiği belirlendi.

## 4.2. Izod Test Denemeleri

Izod testi için özel olarak üretilen Izod darbe testi numunelerini kalitelerine göre 5'e ayırdık. Şekil 4.5.'de gösterilen Izod aparatına uygun bir şekilde yerleştirilen 5 farklı kalitedeki toplam 50 adet numunenin 10 ayrı sıcaklıkta sırasıyla kırma işlemi gerçekleştirildi.



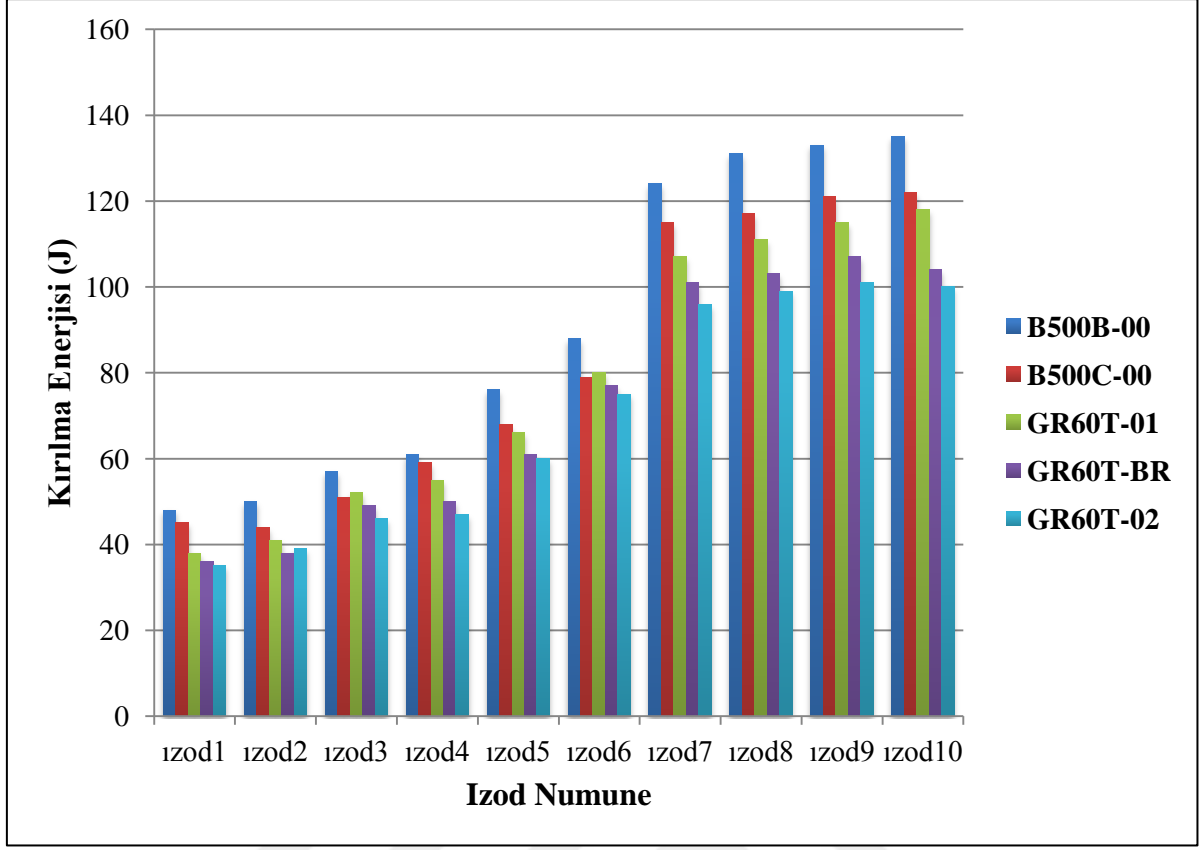
Şekil 4.5. Izod çekici ile kırma test görseli

Farklı sıcaklıklardaki Izod numunelerinin darbe testi sonucu elde edilen kırılma enerjileri Çizelge 4.2. ve Şekil 4.6.'da belirtildi. Şekil 4.8.'de ise testleri yapılan Izod numunelerinin sıcaklıkları ve kırılma enerjileri gösterildi.

Yapılan testler sonucu elde edilen veriler Çizelge 4.2.'de belirtildi. Çizelge 4.2. ve Şekil 4.8. incelendiğinde, Izod testinde 5 farklı kalitede en yüksek kırılma enerjileri 60 °C'de. En düşük kırılma enerjileri ise -30 °C'de gerçekleştiği belirlendi.

Çizelge 4.2. Izod test numunelerinin farklı sıcaklıklardaki Joule cinsinden kırılma değeri

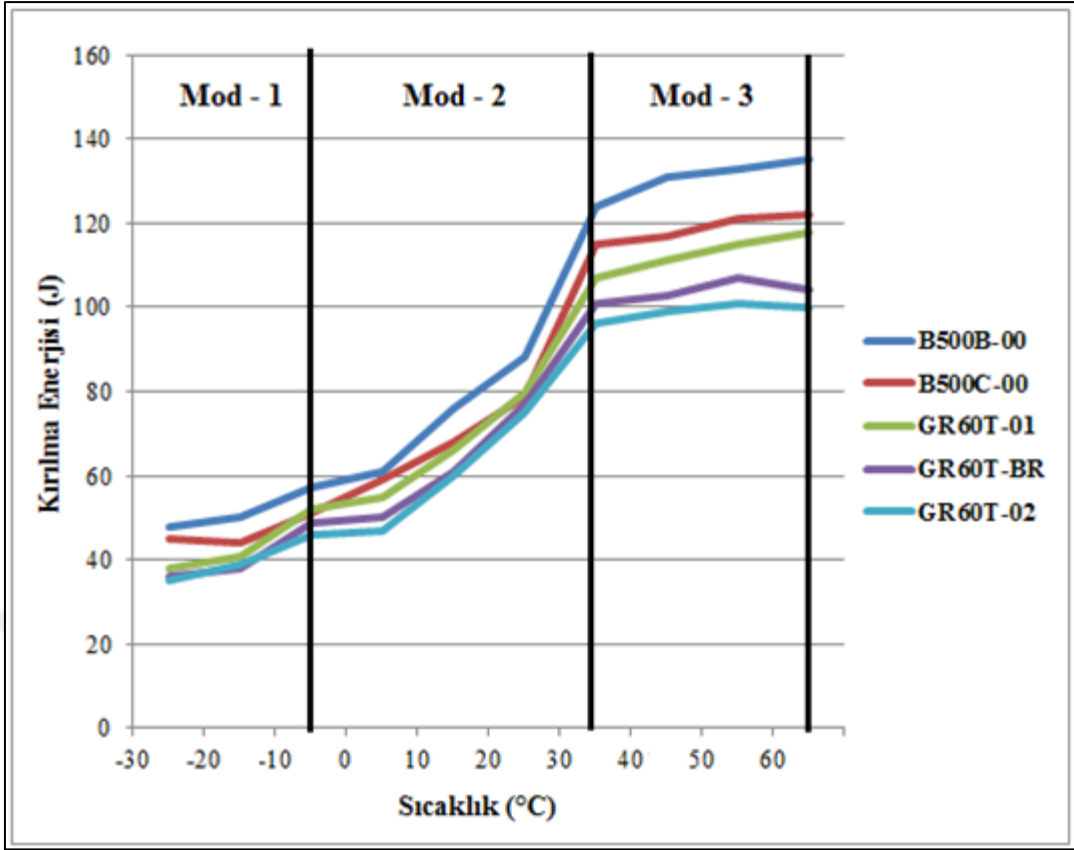
<b>Numune Kalitesi</b>	<b>-30°C</b>	<b>-20°C</b>	<b>-10°C</b>	<b>0°C</b>	<b>10°C</b>	<b>20°C</b>	<b>30°C</b>	<b>40°C</b>	<b>50°C</b>	<b>60°C</b>
<b>B500B-00</b>	48	50	57	61	76	88	124	131	133	135
<b>B500C-00</b>	43	44	51	59	68	79	115	117	121	122
<b>GR60T-BR</b>	38	41	52	55	66	80	107	111	115	118
<b>GR60T-01</b>	36	38	49	50	61	77	101	103	107	104
<b>GR60T-02</b>	35	39	46	47	60	75	96	99	101	100



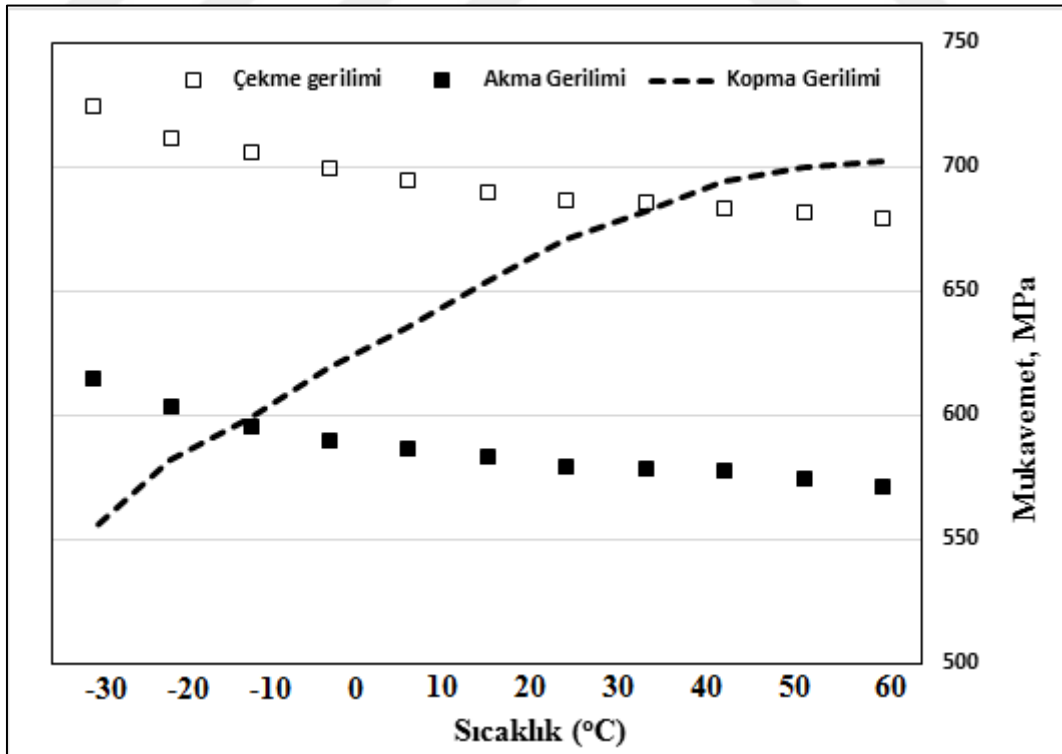
Şekil 4.6. Farklı sıcaklıklardaki Izod numune kırma test değerleri



Şekil 4.7. Kırılmış Izod numunesi görseli



Şekil 4.8. Izod numune sıcaklık ve kırılma enerjisi karşılaştırılması



Şekil 4.9. B500B-00 numunesi akma, çekme ve kopma gerilim dağılımı

Şekil 4.8. incelendiğinde, numunelerin sıcaklıkları arttıkça kırılma enerjilerinin de arttığı gözlenmektedir. En düşük kırılma enerjisi 35 J ile GR60T-02 kalite inşaat çeliğinde gerçekleşmiş olup, en yüksek kırılma enerjisi ise 135 J ile B500B-00 kalite inşaat çeliğinde gözlemlendi. Sıcaklığın 35 °C'nin altına düşmeye başladığı andan itibaren kırılma enerjisinin de hızlı bir şekilde düştüğü tespit edildi. Sonuçlar toplu olarak değerlendirildiğinde 5 ayrı kaliteden üretilmiş inşaat çeliklerinde Izod darbe geçiş sıcaklığı Şekil 4.8. Mod-2'de görüldüğü üzere 35 °C'den, -5 °C aralığında gerçekleştiği belirlendi.

Şekil 4.8 de görüldüğü gibi Mod-1 bölgesinde görülen kırılma doğrusal elastik deformasyon şeklinde cereyan eder. Mod-1 bölgesindeki kırılma düşük sıcaklıklarda ve düşük gerilmeler altında görülür. Bu kırılma tipinin görülmesi için önceden var olan mikro çatlaklara ihtiyaç duyulur. Daha yüksek sıcaklık aralığının da (-10/+30 °C) çatlak oluşumu için gerekli gerilme mikro akma gerilimi değerini aşar (Mod-2). Yaklaşık 30 °C sıcaklığın üzerinde plastik akma sonrası kırılma gözlemlendi. Numunede akma deformasyonu sonrası, kırılma bölgesinde deformasyon sertleşmesinin gerçekleştiği yapılan sertlik taramasında görüldü (Mod-3). Mod-2'den Mod-3 bölgesine geçiş esnasında akma mukavemetinin çatlak oluşum için gerekli gerilmeye eşit olduğu belirlendi.

Mod-3 kırılma tipi Mod-2 ve Mod-1 bölgesindeki kırılmadan farklılaşmaktadır. Çünkü sıcaklık artışı ile birlikte akma mukavemeti düşmekte ve çatlak oluşumu için gerekli gerilme değeri daha etkin olmaktadır. Dolayısıyla bu geçiş sıcaklığında çatlak oluşumu için gerekli gerilmenin çekme mukavemetine eşit olduğu görülmüştür.

### 4.3. Test Numunelerinin Kırık Yüzey Görüntüsü



Şekil 4.10. B500B-00, B500C-00, GR60T-BR, GR60T-01 ve GR60T-02 numune kırık yüzeyi

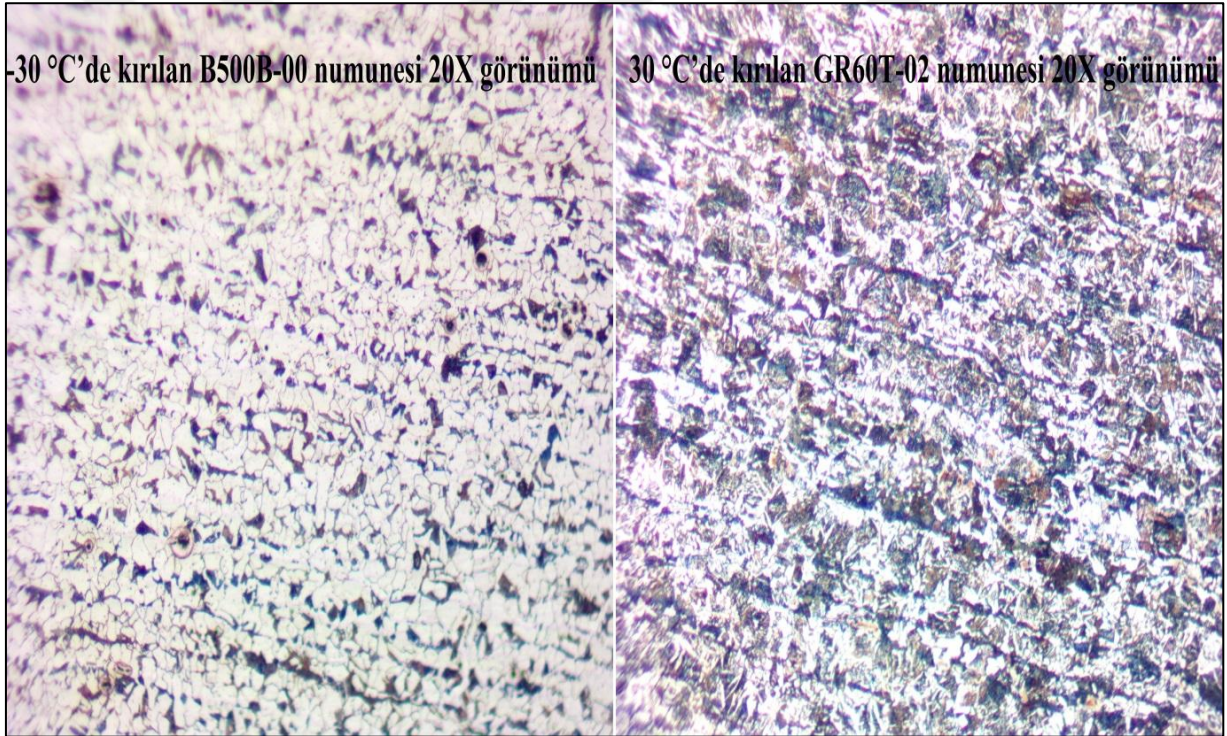
B500B-00, B500C-00, GR60T-01, GR60T-BR, GR60T-02 test numunelerinin sertlikleri ile kırılma enerjileri arasındaki ters orantının, numunelerin tokluk özelliklerinin farklılığına bağlı olduğu düşünülmektedir. Şekil 4.10. incelendiğinde, numunelerin kırık yüzeylerindeki gözenekli -30 °C’de kırılan numunelerin yüzeylerinde gevrek kırılma ve +60 °C’de kırılmış numunelerin yüzeylerinde ise sünek kırılma görüntüsü oluştuğu belirlendi.



Malzemelerde akma gerilimini sıcaklığa bağı olarak değiştiği görülmüştür. Sıcaklık düşüşü ile birlikte malzemelerin darbe dayanımlarının düşüşünün kristal yapıdaki az sayıdaki kayma sistemlerinin çalışması, lokal olarak kayma sistemlerinin kilitlenmesi olabileceği kanaatine varılmıştır.

Mod-1 kırılmada yapıda önceden var olan kusurların etkin oldukları, Mod-2 kırılmada ise kırılmanın mikroskopik plastik deformasyon ile oluştuğu düşünülmektedir. Bu tür kırılma esnasında malzemenin kırık yüzeyinde dağılım gösterdiği görülmektedir. Mod-3 bölgesinde plastik deformasyonun gerçekleştiği görülürken Mod-2 bölgesinde gevrek kırılmanın gerçekleştiği belirlenmiştir.

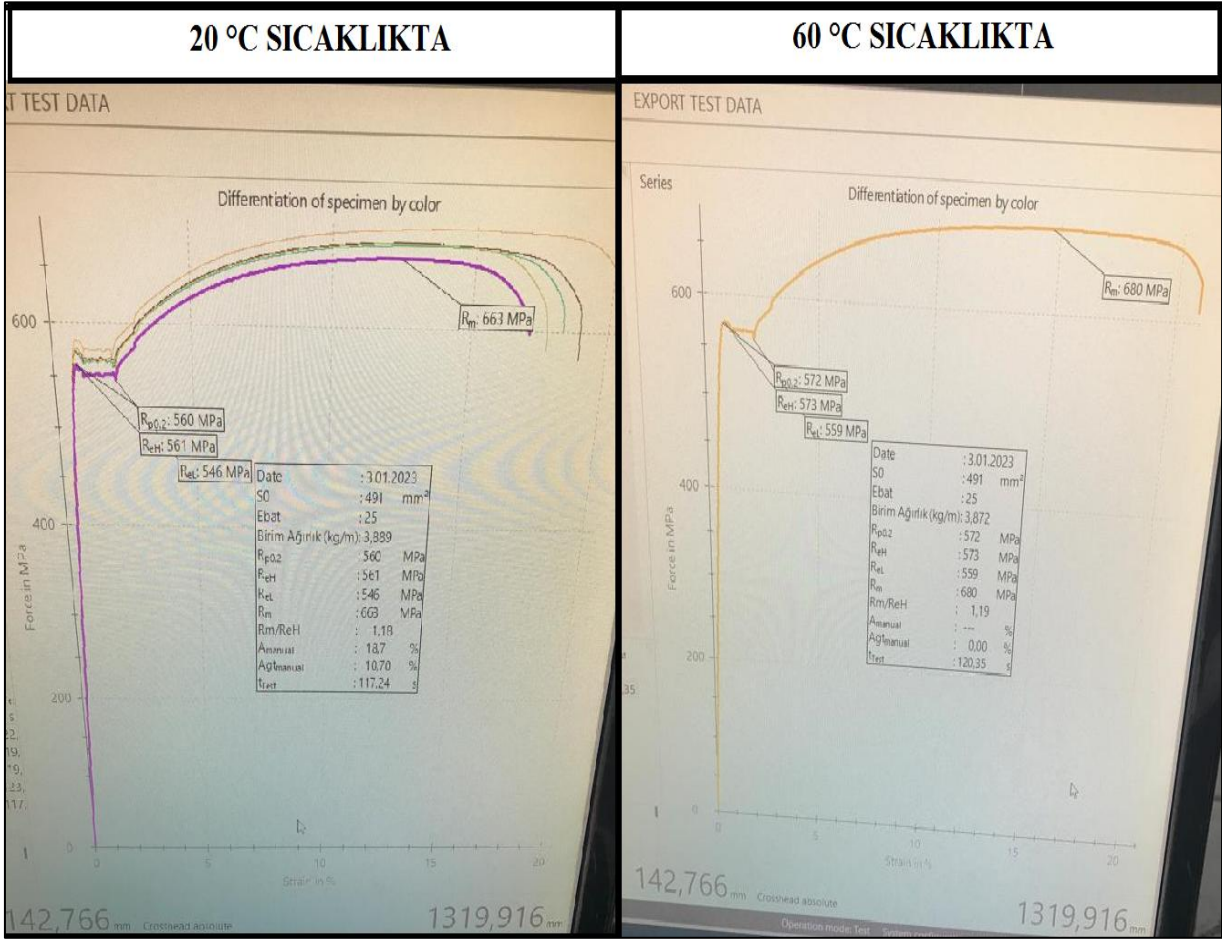
#### 4.4. Test Numunelerinin Yüzeyinin Optikte İncelenmesi



şekil 4.11. Test için kullanılan çeliğin mikro yapısı

Tez kapsamında kullanılan B500B-00 ve GR60T-02 numuneleri mikro yapısı optik mikroskop ile 200 büyütme olarak incelendi. şekil 4.11. incelendiğinde, numunenin mikro yapısının perlit ve ferrit fazları belirlendi. Yapıda tanelerin eř eksenli yapıda ve homojen ebatlı olarak dağılım gösterdiği görülmektedir. Tane ebatlarının ortalama 5 mikron olduğu görüldü.

#### 4.5. Test Numunelerine Akma-Çekme Testi Yapılması



Şekil 4.12. Test numunesinin farklı sıcaklıklardaki akma-çekme testi grafiği

Tez kapsamında aynı kalite ve ebatlarda olan iki test numunesi farklı sıcaklıklarda akma-çekme testine sokuldu. Şekil 4.12. incelendiğinde, 60 °C sıcaklıkta makineye bağlanan B500B-00 numunesinin akma mukavemetinin yaklaşık 572 MPa, çekme mukavemetinin ise 680 MPa olduğu tespit edildi. Diğer B500C-00 numune ise 20 °C sıcaklıkta makineye bağlanarak test yapılmış ve akma mukavemetinin yaklaşık 560 MPa, çekme mukavemetinin ise 663 MPa çıktığı tespit edilmiştir. Sonuç olarak akma-çekme testinde numunenin sıcaklığı düştükçe akma-çekme değerinin de düştüğü belirlendi.

#### 4.6. Literatür Araştırmalarının Kıyaslaması

Geçmişte yapılan bir araştırma incelendiğinde, tez kapsamında yapılan testlerde kırılan inşaat çeliklerine benzer kimyasal değerlere sahip çelikler üzerinde gerçekleştirilen Charpy darbe testleri yapılmıştır. İncelenen bu tezde ASTM standartlarındaki A36, ABS-C, A302-B, A517-F kalitelerinin kırılma enerjileri ve geçiş sıcaklıkları kıyaslandığında çıkan sonuçların birçok yönden paralellik gösterdiği görülmüştür. Araştırması yapılan çalışmada gerçekleşen testlerde kırılma enerjilerinin maksimum 110 J civarında olup minimum 10 J civarında olduğu tespit edilmiştir. Gerçekleşen testlerde kırılma enerjilerinde en bariz farklar 35 °C ile -15 °C aralığında yaşandığı tespit edilmiştir. Bu tezden çıkan sonuçlar kıyaslandığında tez kapsamında yapılan çalışmalar ile benzer sonuçların çıktığı tespit edildi. (Barsom ve Rolfe, 1970).

Benzer olan başka bir çalışma incelendiğinde, ASTM standartlarındaki A508 kalitesindeki yapı çeliğine Charpy darbe testleri uygulayarak sünek yapıdan gevrek yapıya geçtiği sıcaklıkları tespit etmiştir. Araştırması yapılan çalışmada gerçekleşen testlerde kırılma enerjilerinin maksimum 150 J civarında olup minimum 15 J civarında olduğu tezdeki grafiklerden incelenmiştir. Gerçekleşen testlerde süneklikten gevrekliğe geçiş sıcaklıkları 10 °C ile -50 °C aralığında yaşandığı tespit edilmiştir. Araştırılmış olan bu tezden çıkan sonuçlarda kıyaslandığında malzemede daha düşük karbon kullanıldığından kırılma enerjisinin tez kapsamındaki inşaat çeliklerine göre biraz daha fazla çıktığı gözlemlenmiştir. Geçiş sıcaklığının biraz daha düşük sıcaklıklarda gerçekleştiği tespit edilmiştir. Sonuç olarak ufak tefek farklı sonuçlar çıkmış olmasına rağmen genel olarak benzer sonuçların olduğu belirlendi (Tanguy, Besson, Piques ve Pineau, 2005).

Farklı bir araştırma incelendiğinde, ASTM standartlarındaki DP590 ve AISI-1018 kalitelerindeki çeliklere Charpy darbe testleri uygulayarak kırılma enerjileri ve sünek yapıdan gevrek yapıya geçtiği sıcaklıkları tespit edilmiştir. Yapılan testlerde DP590 çeliğinin 25-155 J aralığında kırılma enerjisine sahip olduğu, darbe geçiş sıcaklığının da 85 °C ile -75 °C aralığında yaşandığı tespit edilmiştir. AISI-1018 çeliğinin 10-55 J aralığında kırılma enerjisine sahip olduğu, darbe geçiş sıcaklığının da 40 °C ile -10 °C aralığında yaşandığı tespit edilmiştir. Bu sonuçlara göre AISI-1018 çeliğinin sonuçlarının tez kapsamında araştırılan inşaat çeliklerinin sonuçlarına çok yakın olduğu belirlendi. (Chao, Ward ve Sands, 2005).

## 5. SONUÇ VE ÖNERİLER

İnşaat çeliklerinin standartlara göre birçok mekanik özelliklere sahip olmaları gerekmektedir. Bunlardan bir tanesi de uygun darbe dayanımı özelliğidir. Bu tezde de 5 farklı kalitede üretilmiş olan nervürlü inşaat çeliklerinin darbe dayanım özellikleri incelendi. Öncelikle testlerin gerçekleştirebilmesi için TS EN ISO 148-1 ve ASTM E23 standartlarına uygun 290 J kapasiteli PLC kontrollü bir Charpy ve Izod darbe test makinesi tasarım ve imalatı gerçekleştirildi. Daha sonra nervürlü inşaat çeliklerinin darbe testleri yapılabilmesi için standart ölçülere getirerek Charpy ve Izod darbe testlerine uygun numuneler hazırlandı. Hazırlanmış olan numuneler öncelikle 60 °C sıcaklıkta kırılmaya başlandı. Bu numunelerin her testte sıcaklıklarını 10 derece daha düşürerek -30 °C sıcaklığa kadar teker teker Charpy ve Izod darbe testleri gerçekleştirildi. Yapılan testlerde inşaat çeliklerinin Charpy ve Izod kırılma enerjileri bulundu. Çıkan sonuçları çizelge ve grafik yöntemiyle toplu olarak değerlendirerek her bir kalitenin darbe kırılma geçiş sıcaklıkları tespit edildi.

Charpy ve Izod darbe testlerinde aynı kalite ve ölçüdeki 60 °C’de kırılan numunelerin -30 °C’de kırılan numunelere göre daha yüksek kırılma enerjisine sahip oldukları belirlendi. İnşaat çeliği numuneleriyle yapılan darbe testlerinden çıkan sonuç, sıcaklık düştükçe darbe kırılma enerjisinin de aynı şekilde düştüğü şeklinde tespit edildi. Gerçekleşen testlerde kırılma enerjilerinde en bariz farklar 35 °C ile -5 °C aralığında yaşandığı için bu sıcaklık aralığı darbe geçiş sıcaklığı olarak belirlendi. Yapılan araştırmalar ve incelemeler neticesinde inşaat çeliklerinin de sünek-gevrek geçiş sıcaklığına sahip olduklarını doğrulamış olduk. Numuneler optik ile incelendi ve kristal yapıya sahip oldukları tespit edildi. Bu yapıdaki malzemeler oda sıcaklığının altındaki sıcaklıklarda önemli ölçüde gevrekleştiklerinden çentik darbe mukavemetlerinin hem Charpy testinde hem de Izod darbe testlerinde oldukça düştüğü yapılan testlerle de doğrulanmış olundu. Bu durumun sebebi ise inşaat çeliklerinin oda sıcaklığının altında az sayıda aktif kayma sistemine sahip olmalarından kaynaklanmaktadır ve bu yüzden plastik şekil değiştirme sınırlanmaktadır. Sıcaklığın artması ile aktif kayma sayısı artacak ve plastik şekil değiştirme oldukça kolaylaşacaktır. Sonuç olarak darbe testlerinde, inşaat çeliği numunelerinin sıcaklığı arttıkça daha elastik bir hal aldıklarından kırılma enerjilerinin de arttığı, oda sıcaklığının altına düştüğünde ise kırılma enerjilerinin hızlı bir şekilde düştüğü tespit edilmiştir.

Bu tezde, Türkiye’de üretilen B500B-00, B500C-00, GR60T-01, GR60T-BR, GR60T-02 kalitelerindeki inşaat çeliklerinin çentik darbe testleri yapıldı ve dünyada yapılan benzer çalışmalar incelenip gerekli kıyaslamalar yapıldı. Yapılan tüm değerlendirmeler sonucunda çeliklerin darbe testlerinde darbe anında numunenin sahip olduğu sıcaklığın çok önemli olduğu çıkarımı yapıldı. Benzer kimyasal bileşenlere sahip çeliklerin kırılma enerjilerinin ve darbe geçiş sıcaklıklarının bu testlerde birbirine çok yakın oldukları gözlemlendi. Yüksek karbonlu çeliklerde kırılma enerjisi düşük olurken, düşük karbonlu çeliklerde ise tam tersi darbe kırılma enerjileri yüksek çıktı. Özellikle inşaat çeliklerinde kimyasal bileşenlerin ve kırılma sıcaklığının darbe kırılma enerjisi değerini oldukça etkileyen faktörler olduğu tez kapsamında yapılan testler ve literatür araştırmaları neticesinde doğrulanmıştır.



## KAYNAKLAR

- Abhisek M., Abhijit G., Debalay C., Claire D., (2021). Effect of coiling temperature on impact toughness of hot rolled ultra-high-strength multiphase steel strips, *Materials Science & Engineering A*, 824(141796).
- Akgün, Y. (2010). *Onarılmış Kompozit Plakların Darbe Davranışları* (Yüksek Lisans Tezi), Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Alaşımli Kütüklerin Standartlarını Gösterim Tablosu* (t.y.). Erişim adresi: <https://kaptangrupturkiye.com/kalite/>
- Albayrak, M. ve Kaman, M. O. (2019). Charpy darbe testinin deneysel ve sayısal analizi. *DÜMF Mühendislik Dergisi*, 10(3), 945-957.
- Alexander M. A., Konstantin V. G., Pavel D. O., Yaroslav I. T., Mark V. Z.i and Tatyana V. S., (2020). Structural nonuniformity: Impact on the cold resistance of low carbon microalloyed steel for building constructions, *Results in Materials*, 8 (100141)
- Ankaralı, A. (1994). Kırılmanın kontrolünde geçiş sıcaklığı yaklaşımı ve 4718 malzemesinin geçiş sıcaklığının incelenmesi. *Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 8(1), 193-201.
- Aslan, E. A. (2022). *Izod Darbe Testi Cihazının Tasarımı ve Plastik Testlerinde Kullanılması* (Yüksek Lisans Tezi), Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- ASTM E23, (1997). *Standard Test Methods for Notched Bar Impact Testing of Metallic Materials, Charpy test; fracture appearance; Izod test; impact test; notched specimens; pendulum machine; ICS Number Code 77.040.10*, Mechanical testing of metals Physical and Mechanical Testing Standards, 28.
- Ayran, E. (2019). *Alüminyum Alaşımli Otomobil Jantlarında Deneysel Darbe Testlerinin Sonlu Elemanlar Yöntemiyle Doğrulanması*. Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Barsom, J. M. & Rolfe S. T. (1970). Correlations between K and Charpy V-Notch Test Results in the Transition-Temperature Range, Impact Testing of Metals, ASTM STP 466, *American Society for testing and materials*, 281-302.
- Branislav D., Aleksandar S., Sreten M., Olivera P., Snezana K., (2022). History of ductile-to-brittle transition problem of ferritic steels, *Procedia Structural Integrity* 42 (88–95)
- Branislav D., Blagoj P., Aleksandar S., Dražan K. and Ivan S. (2021). Fracture behavior of reactor steel 20MnMoNi 55 in the transition temperature region, *Procedia Structural Integrity* 33 (2021) 781–787.
- Chao Y.J., Ward J.D. and Sands R.G. (2007). Charpy impact energy, fracture toughness and ductile–brittle transition temperature of dual-phase 590 Steel, *Materials and Design* (28), 551-557.

- Çalı, Ş. (2016). *İnşaat Çeliklerinin Sıcak Daldırma Yöntemiyle Alüminyum Kaplanması ve Korozyon Özelliklerinin İncelenmesi*. Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.
- Çelik, İ. (2017). *Çentik Darbe Deney Föyü MM 402 Makine Mühendisliği Deneyler-II*, Gümüşhane Üniversitesi, Gümüşhane.
- Çifçi, M. (2009). *Kayalarda Çentik-Darbe Deneyinin Uygulanabilirliğinin Araştırılması* (Yüksek Lisans Tezi), Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sivas.
- Eren, Y. (2007). *Kompozit Yapıların Darbe Etkisinin İncelenmesi* (Yüksek Lisans Tezi), Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kütahya.
- İşık, H. (2012). *Çeşitli Sünek Kırılma Modellerinin Yüksek Sıcaklıklardaki Davranışlarının İncelenmesi* (Yüksek Lisans Tezi), İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Kantor M., Vorkacheva K., Bozhenov V. and Solntsev K. (2020). The microstructure of low carbon microalloyed steel and impact toughness scattering during fracture in ductile-to-brittle transition region, *Procedia Structural Integrity* 30 (45–52)
- Karpuz, M. (2021). *Yüksek Hız Darbe Test Cihazı İçin Gerinim ve Optik Hız Ölçüm Sistemi Geliştirilmesi* (Yüksek Lisans Tezi), Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Kiraz, A. (2014). *Yapay Zeka Destekli Sanal Laboratuvar Tasarımı: Çekme Deneyi Uygulaması* (Doktora Tezi), Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- Malzemelerin mekanik özellikleri* (t.y.). Erişim adresi: [https://www.alsalab.com/alsalab-dc.php?test=ok&teknik\\_id=5](https://www.alsalab.com/alsalab-dc.php?test=ok&teknik_id=5)
- Manahan, M. P., Stonesifer, R. B., Siewert, T. A., McCowan, C. N. and Vigliotti, D. P. (2001). *Charpy Centenary Conference*.
- Manahan, M. P. & Stonesifer R. B. (1999). The Difference Between Total Absorbed Energy Measured Using An Instrumented Striker and That Obtained Using an Optical Encoder. *ASTM Standardization News*.
- Sevinç, B. (2007). *Geleneksel Charpy Vurma Deneyi Verilerinin Labview Programı Kullanılarak Elde Edilmesi ve Değerlendirilmesi* (Yüksek Lisans Tezi), Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Şenel, M. ve Karakoç, F. (2008). Özgün bir tasarım: önerilmeli düşük hızlı darbe test düzeneği. *Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi*, (1),41-50.
- Tanguy B., Besson J., Piques. and Pineau A. (2005). Ductile to brittle transition of an A508 steel characterized by Charpy impact test. *Engineering Fracture Mechanics* (72), 49-72.
- TS EN 10045-1, (1999). *Metalik Malzemeler - Charpy Vurma Deneyi - Bölüm 1: Deney Metodu V Ve U - Çentikleri*, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, (9).

- TS EN 10045-2, (1999). *Metalik Malzemeler - Charpy Vurma Deneyi - Bölüm 2: Deney Makinesinin Doğrulanması Sarkaçla Vurma*, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, (23).
- Ünal, M. (2021). *Prototip Bir Sarkaç Tipi Darbe Test Cihazı Tasarımı ve Farklı Alüminyum Alaşımlarının Kırılma Özelliklerinin Belirlenmesi* (Yüksek Lisans Tezi), Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekirdağ.
- Yıldız, D. (2021). *Çekirdek Malzemeli Polimer Matrisli Elyaf Takviyeli Kompozitlerde Boron Nano Malzemelerin Arayüz Özelliklerine Etkisinin Mekanik Testlerle İncelenmesi* (Yüksek Lisans Tezi), Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Samsun.
- Zicheng L., Jie Y., Hui G., Xuelin W., Chengjia S., (2022). Crystallographic study on deformed bainite structure of ultra-high strength steel and its relationship with strength and ductile-brittle transition temperature, *Materials letters*, 326 (132947)

