

**T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**GLOBOİD DİŞLİ SİSTEMLERİ İÇİN ALTERNATİF DİŞLİ
MALZEMELERİNİN BELİRLENMESİ VE İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mustafa SAĞLAM

Makina Mühendisliği Anabilim Dalı

Makina Tasarım ve İmalat Bilim Dalı

HAZİRAN 2024

**T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**GLOBOİD DİŞLİ SİSTEMLERİ İÇİN ALTERNATİF DİŞLİ
MALZEMELERİNİN BELİRLENMESİ VE İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mustafa SAĞLAM

Makina Mühendisliği Anabilim Dalı

Makina Tasarım ve İmalat Bilim Dalı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Osman Hamdi METE

HAZİRAN 2024

Mustafa SAĞLAM tarafından hazırlanan “Globoid Dişli Sistemleri için Alternatif Dişli Malzemelerinin Belirlenmesi ve İncelenmesi” adlı tez çalışması 07.06.2024 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği/oy çokluğu ile Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Mühendisliği Anabilim Dalı Makina Tasarım ve İmalat Bilim Dalı’nda Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Jürisi

Jüri Başkanı:	Doç. Dr. Osman Hamdi METE (Danışman)
	Sakarya Üniversitesi
Jüri Üyesi :	Doç. Dr. Sedat İRİÇ
	Sakarya Üniversitesi
Jüri Üyesi :	Doç. Dr. Emre ESENER
	Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi



ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ

Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Lisansüstü Eğitim-Öğretim Yönetmeliğine ve Yükseköğretim Kurumları Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Yönergesine uygun olarak hazırlamış olduğum “GLOBOİD DİŞLİ SİSTEMLERİ İÇİN ALTERNATİF DİŞLİ MALZEMELERİNİN BELİRLENMESİ VE İNCELENMESİ” başlıklı tezin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu; çalışmamın tüm aşamalarında yukarıda belirtilen yönetmelik ve yönergeye uygun davrandığımı, tezin içerdiği yenilik ve sonuçları başka bir yerden almadığımı, tezde kullandığım eserleri usulüne göre kaynak olarak gösterdiğimi, bu tezi başka bir bilim kuruluna akademik amaç ve unvan almak amacıyla vermediğimi ve 20.04.2016 tarihli Resmi Gazete’de yayımlanan Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin 9/2 ve 22/2 maddeleri gereğince Sakarya Üniversitesi’nin abonesi olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Enstitü tarafından belirlenmiş ölçütlere uygun rapor alındığını, , çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun ortaya çıkması halinde doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi beyan ederim.

(07/06/2024).

Mustafa SAĞLAM





Çalışma arkadaşlarıma ve aileme...



TEŞEKKÜR

Gerçekleştirmiş olduğum projede, tez çalışmasında ve kullanıcı deneylerinde, yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren ve destek olan tez danışmanım Doç. Dr. Osman Hamdi METE 'ye ve manevi desteklerini hiçbir zaman eksik etmeyen aileme teşekkürü borç bilirim.

Ayrıca uzun soluklu tez serüveninde her türlü desteği gösteren TurkRED Redüktör firmasına ve çalışma arkadaşlarıma gerekli vakti ayırdıkları için teşekkür ederim.

Mustafa SAĞLAM



İÇİNDEKİLER

Sayfa

ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ	v
TEŞEKKÜR	ix
İÇİNDEKİLER	xi
KISALTMALAR	xiii
SİMGELER	xv
TABLO LİSTESİ	xvii
ŞEKİL LİSTESİ	xix
ÖZET	xxi
SUMMARY	xxiii
1. GİRİŞ	1
1.1. Tezin Kapsamı	1
1.2. Tezin Amacı	1
1.2.1. Tezin ikincil amacı	2
1.3. Literatür Araştırması	2
1.4. Hipotez	3
2. DİŞLİ ÇARKLARIN TANIMI VE SINIFLANDIRMASI	5
2.1. Dişli Çarkların Sınıflandırılması	5
2.1.1. Paralel millerde kullanılan dişliler (Alın dişli çarklar)	5
2.1.1.1. Düz dişliler	5
2.1.1.2. İç dişliler	6
2.1.1.3. Helis dişliler	7
2.1.1.4. Çift helisli (ok) dişliler	8
2.1.1.5. Kremayer dişliler	8
2.1.2. Kesişen millerde kullanılan dişliler (Konik dişli çarklar)	9
2.1.2.1. Düz konik dişli	9
2.1.2.2. Spiral konik dişli	10
2.1.2.3. Gönye dişli	11
2.1.3. Aykırı millerle çalışan dişliler	11
2.1.3.1. Hipoid dişli	11
2.1.3.2. Sonsuz vida mekanizmaları	12
2.2. Globoid Dişli Sistemleri	13
3. ALTERNATİF DİŞLİ MALZEMELERİ	17
3.1. Bronz Alaşımları	17
3.1.1. Kalay bronzları	18
3.1.2. Alüminyum bronzları	18
3.1.3. Nikel bronzları	20
3.1.4. Fosfor bronzları	21
3.2. Çelik Alaşımları	22
3.2.1. 8620 çelik alaşımı	23
3.2.2. 4140 çelik alaşımı	24
3.2.3. 1050 çelik alaşımı	25

3.3. Kestamit Alaşımları.....	26
3.3.1. Kestlub alaşımı.....	27
4. DENEYSEL YÖNTEMLER.....	29
4.1. Çekme Test Cihazı ve Deney Numunesi.....	29
4.2. Sertlik Test Cihazı ve Deney Numunesi	30
4.3. Charpy Darbe Test Cihazı ve Deney Numunesi.....	31
4.4. Kırılma Test Cihazı ve Deney Numunesi.....	33
5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	37
5.1. Sertlik Testi	37
5.2. Çekme Testi.....	39
5.3. V-Çentik Darbe Testi	48
5.4. Kırılma Testi.....	51
6. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	55
KAYNAKLAR.....	59
EKLER.....	61
ÖZGEÇMİŞ.....	73

KISALTMALAR

AGMA	: American Gear Manufacturers Association
AISI	: American Iron and Steel Institute
ANSI	: American National Standards Institute
ASTM	: American Society for Testing and Materials
DIN	: Deutsches Institut für Normung
HSS	: High Speed Steel
ISO	: The International Organization for Standardization
SAE	: Society of Automobile Engineers
TSEK	: Türk Standardları Enstitüsü
XRD	: X-ışınları Difraktometresi



SİMGELER

Al	: Alüminyum
A₀	: İlk kesit alanı
C	: Karbon
Cr	: Krom
Cu	: Bakır
dk	: Dakika
D	: Çap [mm]
F	: Kuvvet [kN]
Fe	: Demir
HB	: Brinell sertlik
HRC	: Rockwell
J	: Joule
m	: Kütle [kg]
mm	: Milimetre
Mn	: Manganez
Mo	: Molibden
Ni	: Nikel
P	: Fosfor
ρ	: Yoğunluk
S	: Kükürt
Si	: Silisyum
Sn	: Kalay
τ	: Tork [Nm]
ΔL	: Uzama [mm]
δ	: Kesişme açısı [deg]



TABLO LİSTESİ

Sayfa

Tablo 3.1. 8620 çeliğinin teknik özellikleri.....	24
Tablo 3.2. 4140 çeliğinin teknik özellikleri.....	25
Tablo 3.3. 1050 çeliğinin teknik özellikleri.....	26
Tablo 5.1. Sertlik deney sonuçları.....	38
Tablo 5.2. Çekme deney sonuçları	40
Tablo 5.3. V-çentik deney sonuçları	51
Tablo 5.4. Kırılma deney sonuçları	53



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1. Düz dişli.....	6
Şekil 2.2. İç dişli	7
Şekil 2.3. Helis dişli	8
Şekil 2.4. Çift helisli (ok) dişli.....	8
Şekil 2.5. Kremayer dişli	9
Şekil 2.6. Düz konik dişli.....	10
Şekil 2.7. Spiral konik dişli.....	11
Şekil 2.8. Hipoid dişli	12
Şekil 2.9. Sonsuz vida mekanizması.....	13
Şekil 2.10. Klasik ve globoid dişli karşılaştırması.....	14
Şekil 2.11. Kavranan diş sayısı	15
Şekil 2.12. Dişli ve vida üzerindeki doğru temas desenleri.....	15
Şekil 3.1. Kalay bronzundan üretilen dişli	18
Şekil 3.2. CuAl10Ni5Fe4 (Alba 180-3) globoid dişli.....	19
Şekil 3.3. Alüminyum bronzundan üretilen dişliler.....	20
Şekil 3.4. Nikelli alüminyumdan üretilen dişli	21
Şekil 3.5. CuSn8 globoid dişli	22
Şekil 3.6. Demir/karbon faz diyagramı.....	23
Şekil 3.7. Kestamit dişliler.....	27
Şekil 3.8. Kestlub globoid dişli.....	28
Şekil 4.1. Çekme test cihazı	29
Şekil 4.2. Kullanılan çekme numunesi	30
Şekil 4.3. Sertlik test cihazı	31
Şekil 4.4. Kullanılan sertlik numunesi.....	31
Şekil 4.5. Charpy darbe cihazı	32
Şekil 4.6. Kullanılan v-çentik numunesi.....	33
Şekil 4.7. İlk kırılma test düzeneği	34
Şekil 4.8. Kullanılan deney numunesi	35
Şekil 5.1. Batıcı uç seçim tablosu	37
Şekil 5.2. Bronz-çelik skala cetveli.....	38
Şekil 5.3. Test merkezinden görüntüler	39
Şekil 5.4. Çelik numunelerin çekme görüntüleri	41
Şekil 5.5. Alüminyum bronzunun çekme görüntüleri.....	42
Şekil 5.6. Fosfor bronzunun çekme görüntüleri.....	43
Şekil 5.7. Deney sonrası numune karşılaştırması	44
Şekil 5.8. XRD Yüzey Analizi.....	45
Şekil 5.9. 1050- 4140 Çekme grafikleri.....	46
Şekil 5.10. 8620- Alüminyum bronz çekme grafikleri	47
Şekil 5.11. Fosfor bronz- kestlub çekme grafikleri.....	48
Şekil 5.12. V-çentik test merkezinden görüntüler	49
Şekil 5.13. Kırılma sonrası	50

Şekil 1.14. Globoid dişliyi kırma mekanizması	52
Şekil 5.15. Globoid dişli formlarının kırılma yapıları	52
Şekil 6.1. Çekme testi karşılaştırma grafiği	55
Şekil 6.2. Sertlik testi karşılaştırma grafiği.....	56
Şekil 6.3. V-çentik testi karşılaştırma grafiği	57
Şekil 6.4. Kırılma testi karşılaştırma grafiği	58



GLOBOİD DİŞLİ SİSTEMLERİ İÇİN ALTERNATİF DİŞLİ MALZEMELERİNİN BELİRLENMESİ VE İNCELENMESİ

ÖZET

Globoid teknolojisi, dünya çapında kullanılan yüksek teknoloji sınıfındaki üç farklı dişli teknolojisi harmonic, cycloid, globoid arasında en gelişmiş ve en zor olanıdır. Diğer dişli sistemlerinin aksine globoidin giriş ve çıkış milleri birbirine tam 90 derece açıyla durur. Bu sayede globoid dişli teknolojisi, 90 derece açıyla çalışması gereken yüksek teknoloji uygulamalarında tek çözüm olmaktadır. Bu çalışma kapsamında savunma sanayinde oldukça fazla kullanılan globoid dişli-vida setinde dişli malzemesi için alternatif bir malzeme aranmaktadır. Alternatif malzeme aramamızdaki amaç malzemenin ekonomik yönden istenilen maliyetleri ve kırılma tokluğu olarak istenilen aralığı sağlayacak malzemeyi seçmektir. Her malzeme için spektrometre raporu alınacak ve alternatif malzemeler oluşturulacaktır. Bu kapsamda 3 farklı türde 6 adet malzeme belirlenmiştir. Bunlar bronz alaşımlarından alüminyum bronz, fosfor bronz; çelik alaşımlarından 8620, 4140, 1050; Kestamid türünden ise kestlub olarak belirlenmiştir. Farklı türde malzemelerin denenmesindeki amaç ise globoid dişli setinden oluşturulan redüktörlerin küçük hacim, düşük ağırlık ve yerine göre düşük devirlerde kullanılmak istenmesidir.

Tez kapsamında belirlenen deney düzenekleri ve deney numune sayısı ise şu şekildedir: Her malzeme için minimum 3 adet olacak şekilde çekme, sertlik ve V çentik darbe deney numunesi, 6 malzemeden 1'er adet 2 inç dişli ve 1'er adet karşılık vidası olacak şekildedir. Numunelerin boyutları ve şekilleri ASTM E8 referans alınarak belirlenmiş ancak standartta deney cihazının yapısına göre değiştirilebileceği belirtilen noktalar, deneyi yapacak olan akademisyen tarafından belirlenmiştir. Mevcut olarak kullanılan bronz alaşımlarının küçük boyutlarında tedarik imkanı oldukça zor olduğu için sertlik testleri dişli üzerindeki fatura yüzeyi üzerinden yapılmıştır. Deneyin asıl amaçlarından biri ise dişliyi karşılık vidasından tahrik ederek kırmaya çalışmaktır. Bu sebeple üretilen setler kırılma testi için standart bir gövde içine alınarak incelenecek ve ardından grafikler ile karşılaştırmalar yapılacaktır. Grafiklerin karşılaştırmalarından çıkan sonuçlar dikkate alınarak kullanım koşullarına göre dişli ve vida için en uygun malzemeler belirlenecektir. Buna göre, her koşul için tek bir malzeme cinsi kullanılması yerine; kullanım koşullarına göre en uygun malzeme belirlenmiş olacaktır. Bu sayede maliyet ve tedarik süreleri de optimize edilmiş olacaktır.

Globoid dişli sistemleri üzerine faaliyet gösteren firma; AGMA 6135 A02 göre üretim yapmakta ve buna göre malzeme seçimlerini yapmaktadır. TSEK belgesi için çalışmalarını sürdürmekte ve buna yönelik olarak malzeme seçimleri için kendi standartlarını belirlemek istemektedir. Bu bağlamda malzeme seçimi kriterleri, tarafımda yapılmış olan deneylere göre belirlenecektir. Malzemelerin tedariği ve üretimi firma bünyesinde gerçekleştirilmiş, mevcut deneyler Sakarya Üniversitesi laboratuvarlarında yapılmıştır.



INVESTIGATION OF ALTERNATE BRONZE MATERIALS ABOUT GLOBOIDAL WORMGEAR

SUMMARY

Globoid technology is the most advanced and difficult of the three different high-tech gear technologies used worldwide: harmonic, cycloid and globoid. Unlike other gear systems, the input and output shafts of the globoid stop at exactly 90 degrees to each other. This makes globoid gear technology the only solution for high-tech applications that require a 90 degree angle operation.

Within the scope of this study, an alternative material is sought for the gear material in the globoid gear-screw set, which is widely used in the defense industry. The purpose of searching for an alternative material is to select the material that will provide the desired range in terms of economic costs and fracture toughness.

A spectroscopy report will be obtained for each material, and alternative materials will be developed. Within this scope, six materials of three different types have been identified. These include aluminum bronze and phosphor bronze from bronze alloys; 8620, 4140, and 1050 from steel alloys; and a type of nylon called 'kestmide' specified as 'kestmide-lub'. The purpose of testing different types of materials is to use reducers made from globoid gear sets in small volumes, low weight, and, depending on the application, at low speeds.

The experimental setups and the number of samples determined within the scope of the thesis are as follows: For each material, there will be a minimum of 3 tensile, hardness, and V-notch impact test samples. Additionally, for each of the 6 materials, there will be 1 gear with a 2-inch diameter and 1 corresponding screw. The dimensions and shapes of the samples are determined based on ASTM E8 standards, with the flexibility to be adjusted according to the structure of the testing apparatus, as specified by the academician conducting the experiment.

Tensile testing machines work by applying a standard speed to pull a material and measure its stress-strain curve. This curve illustrates how the material behaves during tension. Tensile tests on metals or metal materials are primarily based on DIN EN ISO 6892-1 and ASTM E8 standards. Both standards specify the sample shapes and tests. The purpose of these standards is to define and introduce the test procedure in a manner that ensures comparable and accurate characteristic values will be determined, even when different test systems are used. As a result of this experiment, force (F) and elongation (Δl) curves are obtained. However, the more accepted curve is the stress-strain curve. Therefore, the applied force is converted to stress values by dividing by the initial cross-sectional area of the sample ($\sigma = F/A_0$), and the force values are transformed into stress values to obtain the stress-strain graph.

As a result of the tensile test, strength values such as the elastic modul, yield strength, and ultimate tensile strength, as well as ductility values such as elongation at fracture, reduction in area, and toughness, can be determined. These characteristics depend on the type of material, its chemical composition, and its metallurgical structure.

Hardness is defined as the resistance of materials to plastic deformation. Hardness tests are crucial mechanical tests that allow for quick and non-destructive control of both materials and manufactured parts. Commonly used hardness measurement methods in technology are based on measuring the size of the permanent indentation obtained on the sample. Hardness measurement involves measuring the resistance exhibited by the material when a standard indenter is pressed into it. In Brinell hardness measurements conducted on a manual machine, appropriate scale charts are mounted on the main indicator to ensure accurate representation of the materials hardness values. Since there is no suitable chart for plastic material, Shore D is used for measuring the hardness of kestlub material. During the experiment, when measuring phosphor bronze, since the indicated value on the scale exceeded 180, the hardness value of phosphor bronze was determined using Rockwell for a more accurate measurement.

Engineers desire to understand the behavior of materials regarding which temperatures they become ductile or brittle, how much energy they can absorb during fracture, or how much fracture energy they might possess.

The fracture energy value determined through notch impact testing, like the results of tensile tests, is not used as a numerical value in engineering design calculations. Instead, the fracture energy value is solely used to evaluate the fracture behavior of the material and to gain insight into its ductility or brittleness.

In fact, the V-notch test symbolizes the true dynamic behavior of materials. Considering gear mechanisms, they are often subjected to sudden force changes and loads. For globoid gears, our expectation from alternative materials is that they exhibit ductile behavior against these sudden shocks. Materials with low load-bearing potential are preferred for applications where manual rotation is performed.

One of the main purposes of the experiment is to attempt to break the gear by driving it from the corresponding screw.

Due to the high cost of setting up the system for breaking under dynamic conditions and for accurate measurement, at this stage, the reducer was subjected to loading under static conditions. Reducers with a 1/40 transmission ratio form self-locking, so no additional locking mechanism was required. In the initial setups created for this test, a simple force lever and a structure capable of hanging weights at the end of the lever arm were constructed. However, it was observed that the gears used in the experiment were too resilient, making it difficult to reach the necessary weight limits for breakage. Lever arms of 500 and 1000mm did not provide a solution for this issue. Subsequently, continuously extending the lever arm exacerbated the weight problem.

The flexibility of the long lever arm slightly retained the load on the gear, thus preventing accurate measurement.

Globoid gears, each made from different materials, have been manufactured with corresponding globoid worm and bodies. The recesses in the reducer body's interior have been crafted to meet the required conventional and geometric tolerances. Synthetic Mobil SHC 634 has been used for lubrication in each mechanism. Data obtained from the experimental setup are calculated using the necessary equations to determine input-output mechanical powers and calculate breaking torques. As part of the experimental studies, the dimensions of the reducer for fracture testing were determined by the manufacturer. Examinations were conducted on a standard globoid reducer with a center distance of 2 inches (50.8mm) and a gear ratio of 1/40. Specific globoid worm, gear covers, worm caps, bodies, and output shafts were manufactured

for each gear sample. Since the aim of the experiment was to measure and evaluate the torque that the gear could withstand, no special sample was produced for this test. Turning and milling processes were carried out according to the gear's technical drawing within the standard product.

In the setup where a press is used, the standard globoid reducer is attached to the press base, and the preferred load cell for accurate measurement is connected to the moving part of the press with necessary fasteners. A 500mm force lever is placed on the reducer output, and the force transmission between the force lever and the load cell is established using any steel alloy. With a movement of 3mm per second applied to the press, over time, it pushes the force lever downward, exerting pressure on the gear profiles and causing them to break under a certain weight. For certain gear alloys, it was necessary to give the force lever a specific angle. This is because when the force lever is brought to the zero position, it is very close to the base, and without appropriate weight measurement, the lever contacts the press base.

In the experiment, materials with six different properties exhibited various behaviors under applied force. To elaborate, in the first scenario, the gear profiles were fractured to obtain necessary data; in the second scenario, the gear profiles began to deform; and in the final scenario, due to the product's unique wedge system failing under the load, resulting in the wedge being cut, causing the force arm to become disengaged. As data from the points where the wedges were cut was deemed usable and indicative of structural failure, it was included in the evaluation results.

In conclusion, to evaluate the initial objective of this thesis, which is to achieve the desired fracture torque, it is necessary to assess other experimental methods. Among the six different materials tested in the experiment, one of them is the currently used gear material. Therefore, comparison has been facilitated. For the fracture test conducted under static conditions, the most helpful complementary experimental method is the stress-strain graphs obtained from tensile tests.

Our expectation from infinite gear mechanisms is that they can withstand the required torque values. The Kestlub material is deemed unsuitable for use due to its low load-bearing torque values. However, it can serve as a solution in applications where manual rotations are preferred. In the provided graphs, materials with low stresses experienced sudden fractures during the regular weight loading conducted during the fracture test.

Hardness was defined as the resistance of materials to plastic deformation. In the case of reducers breaking under high torques, we prefer the gear to be the material susceptible to damage. In infinite gear mechanisms, gears operate with a mating worm. Therefore, we expect the hardness of the worm, made from modified 4140, to be lower than that of the gear. Compared to the material produced with a maximum hardness of 40 Rockwell (375 HB), all the materials selected at this stage can be considered suitable.

The V-notch test symbolizes the true dynamic behavior of materials. Considering gear mechanisms, they typically experience sudden loads from the motor at the initial moment. For alternative materials in globoid gears, our expectation is that they exhibit ductile behavior against these sudden shocks. The experiment revealed the maximum load that materials in their normalized state could withstand. It was concluded that the Kestlub alloy is unsuitable for motorized applications.

In the scope of this thesis, an optimal setup was devised to obtain accurate data in the fracture test, which will ultimately determine the main outcome. Experimental results were obtained to the extent allowed by the apparatus. The primary objective was to subject the gear to high torques in order to break it. However, due to the specific wedge system used to secure the gear set, torque values at the point where the wedges were cut under certain weights were taken into consideration. For addressing this issue, particularly encountered in steel materials, increasing the number of wedges used in the output shaft or modifying the wedge widths would provide a solution.



1. GİRİŞ

Çift sarmal sonsuz dişli sistemleri, diğer sonsuz dişli sistemlerine kıyasla daha yüksek iş yapabilme momenti, artırılmış doğruluk ve uzun ömür sunar.

Sonsuz dişli konsepti antik çağlarda ortaya çıkmıştır ve genellikle Arşimet'e atfedilir, zira bir vida aracılığıyla dişli tekerleği döndürmüştür. Leonardo da Vinci ise yaklaşık beş yüz yıl önce çift sarmal sonsuz dişli sistemlerini tasarlamıştır. Ancak bu konseptin gerçeğe dönüştürülmesi ve üretimi için etkili teknikler ancak 1920'lerin sonlarında geliştirilebilmiştir.

Sonsuz dişli sistemleri; konkavsız sonsuz dişli, tek konkavlı sonsuz dişli ve çift konkavlı sonsuz dişli olmak üzere üç farklı türde incelenebilmektedir. Konkavsız sonsuz dişli, vida veya dişli tarafından sarmalanmamış, tamamen düz bir yapıya sahiptir. Tek konkavlı sistemlerde genel olarak bir dişli eleman konkav şekildedir ve vida etrafında döner. Çift konkavlı sistemlerde ise hem vida hem de dişli elemanı konkav yapıdadır ve birbirlerini sarmaktadırlar.

1.1. Tezin Kapsamı

Bu tez kapsamında, ağırlıklı olarak savunma sanayiinde kullanılan globoid dişli-vida setindeki dişli malzemesi için alternatif bir malzeme aranmaktadır. Bu arayıştaki amacımız; ekonomik yönden uygun ve kırılma torku olarak istenilen aralığı sağlayacak alternatif malzemeleri belirlemektir. 6 farklı malzeme üzerinde deneyler yapılarak malzeme seçimi yapılacaktır. Her malzeme için tedarikçi firmadan spektral analiz raporu talep edilecek, gerektiği durumlarda bağımsız bir firma ile çalışılarak spektral testler yaptırılacaktır. Analiz raporları incelenerek uygun malzeme seçimi yapılacaktır. Çekme, sertlik ve v-çentik darbe numuneleri ile, ilgili testler yapılacaktır. Son olarak dişliye kırılma testi uygulanacak ve buradan çıkacak verilere göre değerlendirme yapılacaktır.

1.2. Tezin Amacı

Tezin ilk amacı olarak şunu söylemek daha doğru olacaktır:

Dişli için alternatif malzeme bulmak zor değil, ancak bulunan malzemenin istenilen kırılma torklarında çalışabilmesi problem oluşturmaktadır. Aynı zamanda seçimi yapılan malzemenin kaydırıcı özelliğe sahip olması istenen başka bir özelliktir. Çünkü malzemenin ömrünün de uzun olması beklenmektedir. Bu yüzden v-çentik darbe deneyinden, aynı zamanda kırılma testlerinden aldığımız sonuçlar bizim için belirleyici özellikler olacaktır.

1.2.1. Tezin ikincil amacı

İkincil amaç ise, kullanılan bronz alaşımının fiyatının yüksek olması, bu sebeple düşük maliyetli alaşımlar bulmaktır. Yüksek hammadde fiyatını, direkt olarak ürün fiyatının yükselmesine neden olan bir sebep olarak değerlendirmek yanlış olmayacaktır. Aynı zamanda değişken motor devirlerine karşı malzeme tipini değiştirmek de yanlış olmayacaktır. Örneğin el ile çevrilmesi gereken sonsuz dişli seti için bronz alaşımı kullanmak hem maliyetli hem de iş yükü olmaktadır. Bu tip durumlar için çelik ya da kestamid alaşımları tercih sebebimiz olacaktır.

1.3. Literatür Araştırması

Globoid dişli sistemleri piyasada yaygın şekilde kullanılmamaktadır. Bunun nedeni üretiminin zor ve kısıtlı sayıda firma tarafından yapılabilmesidir. Küçük hacim, yüksek tork çıktıları verdiği için başta savunma sanayi firmaları tercih etmektedir. Gelişen savunma sanayi uygulamalarında ilk sıralarda tercih edilebilir seviyeye gelecektir. Bu kapsamda, literatür geçmişi oldukça kısıtlı olan bu çalışmanın yazılı metinleri özgün bir şekilde oluşturulmuştur. Genel giriş ve tanımlamaların yapıldığı dişli sistemleri ve deney cihazlarının anlatıldığı yerler, literatürde yer alan tez ve makalelerden referans alınarak yazılmıştır. Örnekleme gerekirse globoidi anlatmadan önce klasik dişli sistemlerine hâkim olmak için anlatılmış olan düz, helis, konik vb. deneylerin yapılacağı cihazların basit anlamda çalışma prensibi (çekme cihazı, brinell sertlik cihazı, v-çentik darbe cihazı) anlatılmıştır.

Deney düzeneklerinde kullanılan numuneler belirli bir standartta hazırlanmıştır. Ancak bazı numunelerde deneyin yapılacağı cihaz ve ölçüm kapasitesine göre standart dışına çıkmıştır. Standart dışı numunelerin onayı ilgili akademik personel tarafından onaylanarak işleme alınmıştır.

1.4. Hipotez

Optimizasyon çalışmasını yapmış olduğum globoid dişli sisteminde dikkat edilmesi gereken birçok parametre vardır. Bu kapsamda deney çalışmalarına başlamadan önce ön gördüğüm birkaç durumdan bahsetmek yanlış olmayacaktır: Globoid dişli sisteminde kullanılan dişlinin diş profili standartta bildiğimiz sistemlerden oldukça farklıdır. Bu sebeple de bildiğimiz yöntemler dışında diş formu ve derinliği oluşturulmaktadır. Özgün şekilde imalatçı firma tarafından tasarlanan kesici takımlar piyasada oldukça yaygın kullanılan hammaddeler (HSS- High Speed Steel, Karbür) ile üretilmektedir. Bu takımların seçim yapmış olduğumuz malzemelere göre vermiş oldukları tepkiler farklı olacaktır. Bu konuyu şu şekilde detaylandırabiliriz; kesici takımlar işleme parçasının türüne göre ya kolay şekilde kesim yapabilir ya da takım üzerine yığılarak takımı kırmaya zorlar. İlk öngörüm, yumuşak malzemelerin takım üzerine yığılması sonucu dişli formunun oluşturulamaması ve bazı malzemelerin bu aşamada deneyin dışında bırakılmasıdır. İstenilen kırılma torkundan fazlasını sağlayan bir malzemeye istenilen dişli formu verilemiyorsa bu malzemenin kullanılması mümkün değildir. İkinci öngörüm ise standart ürün gövdesi içine alınan sonsuz dişli setinin kırılmaya zorlanması sırasında vidada oluşabilecek hasarlar ya da standartta kullanılan konik rulmanların üzerine gelen yükleri taşıyamamasıdır. Deneylerin sonuçlarına göre; dişli setinin kullanıldığı ortamlara ve motor devirlerine göre dişli malzemesinde değişikliğe gidebilmek ve hammadde giderlerini düşürebilmek hedeflenmektedir.



2. DİŞLİ ÇARKLARIN TANIMI VE SINIFLANDIRMASI

İki mil arasında moment ileten ve dolayısı ile hareket ileten makine elemanları olan dişli çarklar, şekil bağı ile birbirine bağlanırlar. En az iki adet eş çalışan dişli çarktan oluşan sistemler dişli çark mekanizması olarak adlandırılır. Dişli çarklar, dişlilerin birbiriyle kavuşması sayesinde kaymasız yuvarlanma hareketi yaparlar, bu da güç ve dönme hareketini verimli bir şekilde iletmelerini sağlar ve yüksek işletme emniyeti sunarlar. Güç iletimi açısından, mekanizmanın bir döndüren ve bir veya birkaç döndürülen elemanı bulunmaktadır. Küçük dişliye genellikle pinyon, diğerine ise çark denir [1].

2.1. Dişli Çarkların Sınıflandırılması

Dişli çark mekanizmalarında millerin birbirlerine göre pozisyonları üç farklı şekilde olabilir: "Paralel", "Kesişen" ve "Aykırı" [1].

2.1.1. Paralel millerde kullanılan dişliler (Alın dişli çarklar)

Eksenleri paralel olan bu dişli çarklar, dişli tipine bağlı olarak %96-%99 verimle güç ve devir aktarımı sağlarlar [1]. Aşağıda belirtilen tipleri vardır;

- Düz dişli
- İç dişli
- Helis dişli
- Çift helisli (ok) dişli
- Kremayer dişli

2.1.1.1. Düz dişliler

Endüstriyel olarak sektörde en çok tercih edilen dişli türü olan düz dişliler, dairesel bir dişli gövdesi üzerine paralel olarak kesilmiş veya yerleştirilmiş düz dişlerden oluşur. Eşlenen çiftlerde, bu dişliler paralel eksen konfigürasyonu ile hareketi ve gücü iletmek için kullanılır. Uygulamaya göre, başka bir düz dişli, iç dişli veya kremayer dişli (kremayer-pinyon dişli) ile eşleştirilebilmektedirler [2].

Düz dişlilerin basit tasarımı, yüksek hassasiyet derecesi ve kolay üretilebilirlik avantajlarına sahiptir. Bu dişlilerin diğer özellikleri arasında aksel yük eksikliği (dişli miline paralel itme kuvveti), yüksek hız, yüksek yük taşıma kapasitesi ve yüksek verimlilik oranları bulunmaktadır. Ancak, dişlilerin maruz kaldığı yük miktarı ve yüksek hızda çalışan uygulamalarda ortaya çıkan gürültü, düz dişlilerin sahip olduğu dezavantajlardan biridir [2].

Gerekli hız ve yük kapasitesini sağlayabilmek amacıyla bir uygulamada genellikle çok sayıda düz dişli kullanılmaktadır. Bu tür dişliler, saatlerden, pompalara, sulama sistemlerinden, enerji santrali makinelerine, malzeme taşıma ekipmanlarına ve çamaşır yıkama ile kurutma makinelerine kadar çeşitli mekanik uygulamalarda bulunmaktadır [2].



Şekil 2.1. Düz dişli

2.1.1.2. İç dişliler

İç dişlilerde, diş profili çember dişlinin iç kısmında bulunur. Planet dişliler, iç dişliler arasında en yaygın olarak kullanılan türdür. İç dişliler, düz ve helis iç dişli olmak üzere iki çeşide ayrılır. Genellikle paslanmaz çelik, dökme demir, bronz, alüminyum, delrin ve metalik olmayan (fenolik) malzemelerden imal edilirler [3].

Dişli imalatında kullanılmakta olan dişli malzemelerinin arasında Ç 8620, 16 MnCr5 ve Ç 3315 gibi sementasyon çelikleri yer alır. Bu malzemeler asil çelik olarak sertifikalıdır. Dişlilere sıvı ve gaz sementasyon yöntemleri uygulanmaktadır [3].



Şekil 2.2. İç dişli

2.1.1.3. Helis dişliler

Helisel dişliler, tipik olarak eşleşen dişli çiftleri ve paralel eksen konfigürasyonunu kullanan düz dişlilere benzerler. Bunlar, düzgün hizalandığında paralel olmayan ve kesişmeyen milleri sürmek için de kullanılabilirler. Fakat düz dişlilerden farklı olarak, helisel dişlilerin dişleri silindirik dişli gövdesi etrafında açılı olarak döner. Sağ ve sol açılı dişlerle üretilen helisel dişlilerde, her dişli çifti aynı helis açısına sahip bir sağ ve sol dişten oluşur.

Düz dişliler ile kıyaslandığında helisel dişlerin açısallı tasarımının, dişli çiftleri arasındaki temasın farklı bir şekilde olmasını sağladığı gözlemlenmektedir. Helisel dişliler birbiriyle doğru pozisyonlanmış şekilde temas ettiğinde, tüm diş aynı anda kavramak yerine, eşlenik dişlerin arasındaki temas seviyesinin kademeli olarak arttığı gözlemlenir [2].

Bu kademeli bağlantı sayesinde dişlere daha düşük miktarda darbe yüklenir, bu da daha yumuşak ve sessiz bir çalışma kabiliyeti sunar. Ancak bu tür dişliler, daha fazla yük kapasitesine sahip olmalarına rağmen düz dişlilere göre daha düşük miktarlarda verimle çalışırlar [2].



Şekil 2.3. Helis dişli

2.1.1.4. Çift helisli (ok) dişliler

Bu dişlilere ait diş formu, yan yana getirilmiş iki karışık helis şeklinde tasarlanmıştır. Helisel dişlilerde oluşan aksenal kuvvetler, çift helis dişlilerde dengelenir [1].



Şekil 2.4. Çift helisli (ok) dişli

2.1.1.5. Kremayer dişliler

Kremayer dişlisi, dişli çubuğu ve pinyon dişliden oluşmaktadır. Bu sistem, dönme hareketini doğrusal harekete veya doğrusal hareketi dönme hareketine çevirmek için kullanılır. Basit ve yalın tasarım, düşük üretim maliyeti ve yüksek yük taşıma kapasitesi gibi avantajlara sahiptir. Ancak dezavantajı olarak, hareket dişli kremayerinin uzunluğuyla sınırlı olduğundan, aktarım tek yönde sonsuza kadar süreklilik gösteremez. Ayrıca, kremayer ve pinyon dişlileri arasındaki dişli boşluğuna

bakıldığında oldukça fazla olduğu görülecektir. Bu durum, dişlerin önemli miktarda sürtünme ve strese maruz kalmasına neden olur.

Bu tür dişlilerin kullanım alanlarına; malzeme taşıma ekipmanları, otomobillerdeki direksiyon sistemleri, CNC tezgahlar, trenler, tartılar ve robotik örnek olarak verilebilmektedir [2].



Şekil 2.5. Kremayer dişli

2.1.2. Kesişen millerde kullanılan dişliler (Konik dişli çarklar)

Eksenleri kesişen iki mil arasında güç ve hareketi sabit bir çevrim oranıyla ileten konik dişli çark mekanizmaları, dönme sırasında birbirleri üzerinde kaymaksızın yuvarlanan iki koniğe sahiptir. Kesişme açısı δ 'nin değeri $\delta < 90^\circ$, $\delta = 90^\circ$ veya $\delta > 90^\circ$ olabilir, ancak uygulamada en sık karşılaşılan durum $\delta = 90^\circ$ 'dir. Dişlerin uzunluk yönündeki durumlarına göre isimlendirilirler [1].

Aşağıdaki gibi tipleri vardır;

- Düz konik dişli
- Spiral konik dişli
- Gönye dişli

2.1.2.1. Düz konik dişli

Düz konik dişliler, yalınlığı ve kolay imal edilebilir olması ile diğer türler arasında en yaygın olarak tercih edilen dişlilerdir. Doğru şekilde eşleşen düz konik dişliler birbiriyle temas ettiğinde, dişleri kademeli olarak değil, aynı anda birbirine geçecek

şekilde tasarlanmıştır. Bu geçiş, gürültü seviyesini ve dişlerin maruz kaldığı yük miktarını artırır. Ayrıca, bu durum dişlerin dayanıklılığını ve kullanım ömürlerini de azaltır [2].

Düz Konik Dişliler, gemi konik dişlisi, iş makinaları konik dişlisi, tarım makinaları konik dişlisi, vinç konik dişlisi, redüktör dişlisi, matbaa dişlisi ve diğer yön değiştirme ihtiyacı olan birçok alanda yoğun olarak kullanılmaktadır [4].



Şekil 2.6. Düz konik dişli

2.1.2.2. Spiral konik dişli

Spiral konik dişliler, düz konik dişlilere göre daha kademeli bir diş kavrama özelliği taşırlar. Dişlerin açılı ve kavisli olması ile sağlanan bu kademeleri kavrama özelliği sayesinde, özellikle yüksek açısal hızlarda ortaya çıkan titreşimi ve gürültüyü önemli miktarda minimize etmektedir. Sağ ve sol açılı dişlerle üretilen spiral konik dişliler, imalatlarındaki karmaşıklık nedeniyle düz konik dişlilere göre daha pahalıdır. Ancak bu dişliler, daha fazla güç aktarımı, yumuşak çalışabilme ve düşük gürültü seviyeleri sunarlar [2].



Şekil 2.7. Spiral konik dişli

2.1.2.3. Gönye dişli

Gönye dişliler; aynı sayıda dişe sahip iki gönye dişlinin eşleştirilmesiyle yani 1:1 dişli oranına sahip olması ile bilinmektedir. Hızın sabit olduğu ve sadece dönüş ekseninde değişiklik gerektiren uygulamalarda kullanılırlar [2].

2.1.3. Aykırı millerle çalışan dişliler

Eksenleri farklı düzlemde olan millerin arasında güç ve devir ileten dişli çarkları, spiral çarklar olarak adlandırılmaktadır [1].

Aşağıdaki gibi çeşitleri bulunmaktadır:

- Hipoid dişli
- Sonsuz vida mekanizmaları

2.1.3.1. Hipoid dişli

Hipoid dişliler, başlangıçta otomobil endüstrisi için geliştirilmiştir. Diğer konik dişli tiplerinden farklı olarak, hipoid dişliler paralel olmayan ve kesişmeyen eksen konfigürasyonlarında yer alırlar. Bu dişliler, sarmal konik dişlilere benzer şekilde kavisli ve açılı diş profillerine sahiptir. Üretimleri zor olmasına rağmen, bu özellikleri dayanıklılıklarını artırır. Hipoid dişliler, sarmal konik dişlilerle sonsuz dişli mekanizması arasında bir köprü görevi görebilirler. Yüksek tork gereksinimi olan kamyon diferansiyellerinde sıkça kullanılırlar [2].

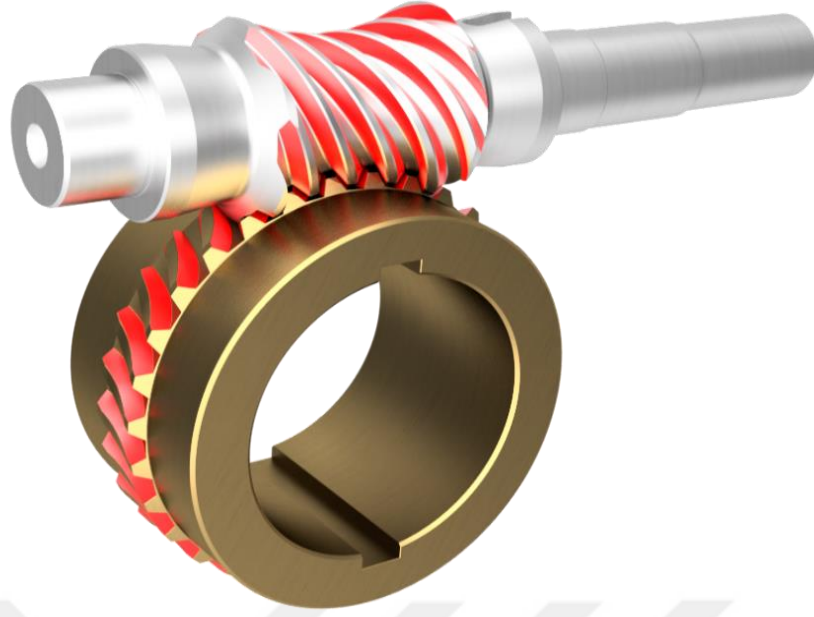


Şekil 2.8. Hipoid dişli

2.1.3.2. Sonsuz vida mekanizmaları

Paralel olmayan ve kesişmeyen şaftlara sahip bir sonsuz vida ile bir dişliden meydana gelmektedir. Birbirine 90 derece olarak yönlendirilen sistemde; sonsuz vida, V-tipi dişli bir vida yapısına sahiptir. Fakat karşılık geldiği dişli düz dişliye benzer. Genellikle tahrik eden bileşen olan sonsuz vida kısmı, sonsuz vida dişlisini hareket ettirir [2].

Sonsuz formdaki vidanın ve dişlinin birleşimi, yuvarlanma eylemi ve kayma eylemlerinin bir kombinasyonudur. Kayma teması, yüksek indirgeme oranlarında daha baskındır. Bu kayma hareketi, sonsuz dişlilerin verimliliğinin yüzde 30 ile 50 arasında düşmesine sebep olan sürtünmeyi ve ısıyı oluşturur. Sürtünmeyi ve dolayısı ile ısıyı azaltmak için sonsuz vida ve dişli farklı metallerden üretilir. Örneğin, vida genellikle sertleştirilmiş çelikten, dişli ise tercihe bağlı olarak bronz veya alüminyumdan yapılabilmektedir [2].

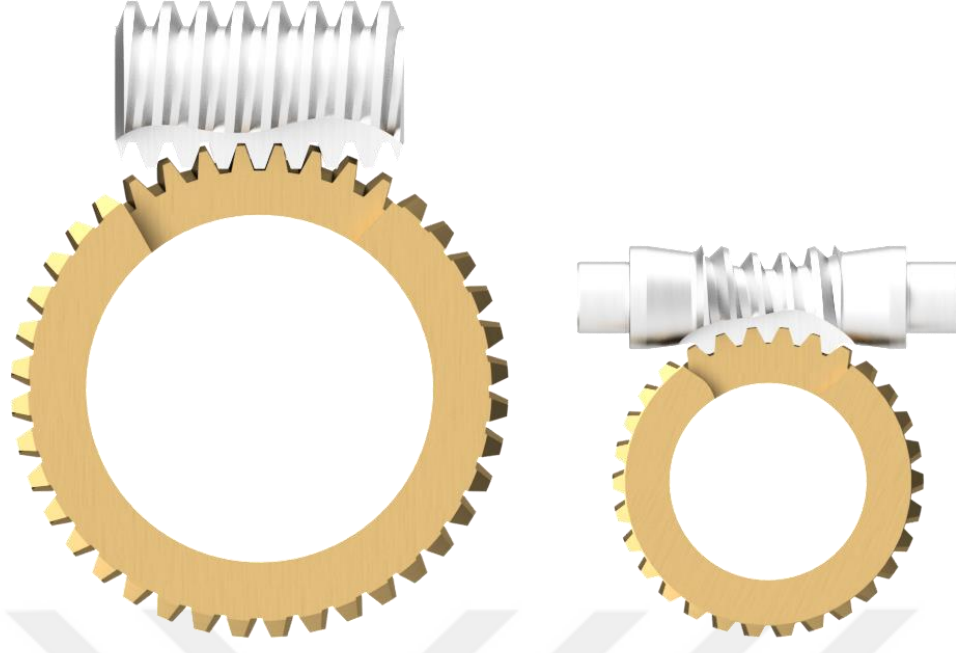


Şekil 2.9. Sonsuz vida mekanizması

Sonsuz dişlilerin başlıca kullanım alanı; yüksek iletim oranları ve bu sayede yüksek tork sağlayabilmeleridir. Düşük ve orta hızlı uygulamalarda hız düşürücü olarak da tercih edilirler. Ayrıca, sistemin çıkışında elde edilmek istenen yüksek tork ve düşük devirlerde, bunu sağlayacak olan iletim oranları, sadece dişlinin diş sayısına bağlı olduğu için diğer dişli türlerine göre daha kompaktırlar [2].

2.2. Globoid Dişli Sistemleri

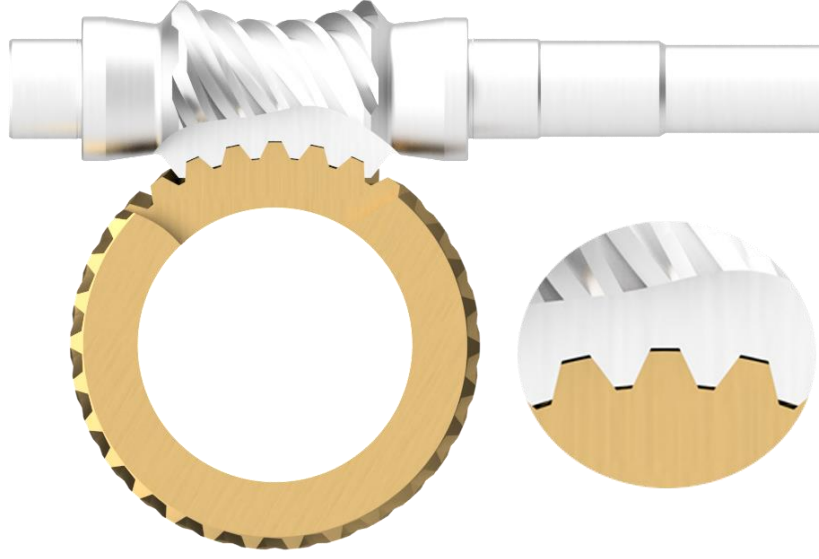
Türkiye ve dünyada birçok firma klasik silindirik sonsuz vida üretmektedir. Bu tür sistemlerdeki en büyük sıkıntı, bronz dişlinin aşınmasıdır. Bu aşınma, redüktörün ürün yaşam döngüsünü önemli ölçüde kısaltan ana etkindir. Bronzun aşınması, sonsuz vidanın çalışma prensibi ve 1,75 dişten daha fazla diş kavrama yeteneğinden kaynaklanmaktadır. Bu büyük dezavantaj, standart silindirik sonsuz vida bulunduran redüktörlerin ömürlerini kısaltmakta ve şok yüklere karşı dayanıklılıklarını azaltmaktadır [5].



Şekil 2.10. Klasik ve globoid dişli karşılaştırması

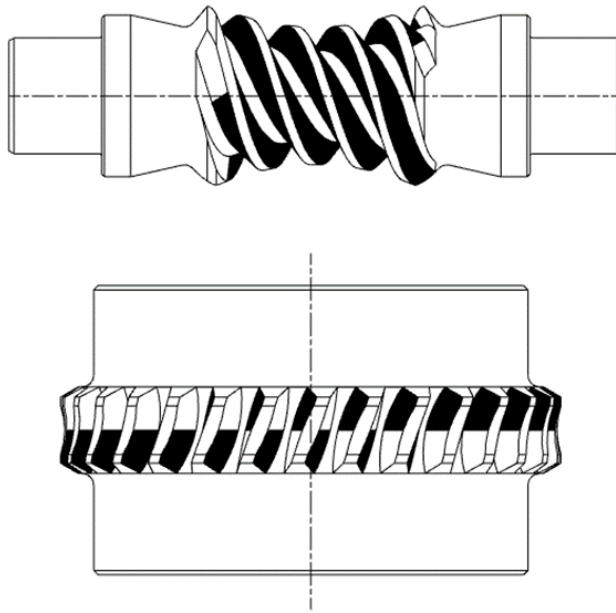
Bu tür redüktörler, ne kadar hassas olursa olsun, çok az dişin kavrama yapmasından dolayı dişlinin hızla aşınmasına yol açar. Bu aşınma, özellikle çıkış milinde istenmeyen boşluk oluşumuna, gerekmeyen hassas uygulamalarda büyük sorunlara neden olur. Bu dezavantajlar, özellikle büyük redüktörler özelinde değerlendirildiğinde standart silindirik sonsuz vida mekanizmasından dolayı müşteri memnuniyetsizliğine sebep olmaktadır [5].

Globoid sonsuz vida dişli sistemleri, standart silindirik sonsuz vidalara göre üç diştten on bir dişe kadar daha fazla kavrama sağlar. Çalışma prensibi diğer tüm dişli sistemlerinden farklıdır; dişli ana kanununa uymaz ve evolvent profili bulunmaz. Bu sistemler için farklı hesaplama yöntemleri ve imalat parametreleri kullanılır. Bu özellikleri nedeniyle dünyadaki üretici firmaların sayısı oldukça sınırlıdır [5].



Şekil 2.11. Kavranan diş sayısı

Globoid sonsuz vida dişli sistemleri, basit bir yapıya sahip gibi görünmesine rağmen çok karmaşık diferansiyel denklemler içermektedir. Temas yüzeylerini oluşturmak için karmaşık formdaki geometrik teorilere ihtiyaç duyar. Bu nedenle, bu sistem usta bir işçilik gerektirir ve gerçek temas yüzeylerini oluşturmak oldukça zordur. Şekil olarak benzetilse de, gerçek temas yüzeylerini elde etmek kolay değildir. Dünyadaki birçok redüktör üreticisi bu karmaşıklık nedeniyle globoid vida üretiminden kaçınmıştır. Ancak, ihtiyaç duyulduğunda bu sistem büyük bir kurtarıcı olabilir [5].



Şekil 2.12. Dişli ve vida üzerindeki doğru temas desenleri

Globoid teknolojisinin avantajları şunlardır;

- Pürüzsüz çalışabilme
- Daha gelişmiş otoblokaj kabiliyeti
- Servo motorlar ile özel uyum sağlayabilme
- Standart boşluk, düşük boşluk ve sıfır boşluk seçenekleri
- Dış ortamda ve özellikle askeri standartlarda mükemmel statik ve dinamik yük kapasitesi
- Yüksek düzeyde radyal yük kapasitesi, küçümsenmeyecek oranlarda eksenel yük kapasitesi
- %300 şok yüklere dayanım
- Yüksek mukavemet ve sürekli performans
- Malzeme ve tasarım esnekliği [5]

3. ALTERNATİF DİŞLİ MALZEMELERİ

Globoid dişli sistemlerinin tasarımları günümüzde ANSI/AGMA 6135-A02:2003 standardına göre yapılmaktadır. Aynı zamanda bu kriter malzeme seçimi konusunda da bizi bilgilendirmektedir. Bu standart kapsamındaki redüktörler, çift sarmal vida ve dişli yapısına sahip redüktörlerdir. Giriş ve çıkış milleri 90 derece olması gerektiğinde tercih edilirler. Çift sarmal vida malzemesi genellikle sertleştirilmiş ve taşlanmış alaşımlı çelik iken, dişli malzemesi savurma döküm alüminyum bronz veya kalay bronz olabilir. Bu malzemeler yüksek mukavemet ve verimlilik sağlar. Bu çalışma kapsamında yeni yazılacak TSEK standardına girebilecek alternatif dişli malzemesi aranmaktadır.

3.1. Bronz Alaşımları

Bronzlar, genellikle bakır, kalay ve alüminyum gibi elementler içeren bakır esaslı alaşımlardır. "Bronz" terimi, başlangıçta sadece bakır ve kalayın oluşturduğu alaşımlar için kullanılıyordu. Ancak günümüzde bu grup alaşımların çeşitleri, ana alaşımın içerdiği elementlere göre adlandırılmaktadır. Geleneksel bronzlar, bakır-kalay alaşımlarıdır ve kalay bronzu veya fosforla deokside edildiklerinde fosfor bronzu olarak adlandırılırlar. Pirinçlere göre daha yüksek dayanıklılık, korozyon direnci, aşınma direnci ve kaymalı yatak özellikleri sunarlar [6].

Döküm bronzlarının ana metali olan bakırın, atomik ölçekte bakıldığında, yatak malzemeleri için gerekli özellikleri verdiği bilinir. Örneğin rulmanlar saf bakır yerine gereken özelliklere göre çeşitli bakır alaşımlarından yapılabilir. Bu alaşımlardan her biri saf bakırdan daha etkin bir şekilde işlev görür. Bronzların metalurjisi ve yataklardaki işlevleri ile ilgili olarak kullanılan yaygın alaşım sistemlerinden bazıları şöyledir:

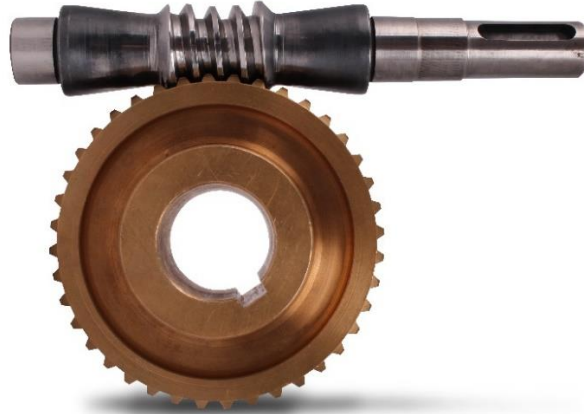
- Tek fazlı katı çözeltili alaşımları
- Çok fazlı alaşımlar
- Kompozit malzemeler [6]

3.1.1. Kalay bronzları

Bakır-kalay alaşımları geçmişte endüstriyel açıdan en önemli bronzları oluşturmaktaydı. Ancak alüminyum bronzlarının teknik ve ekonomik üstünlükleri nedeniyle yıllar içerisinde eski önemini kaybetmektedir. Pirinçlerde olduğu gibi, kalayın bakıra ilavesi de intermetalik bağlar şeklinde oluşmaktadır. Kalay bronzlarının sünekliği düşük olduğu için sıcak dövme ve haddeleme yetenekleri sınırlıdır.

Kalay bronzlarının en belirgin özelliği, düşük yüklerdeki yataklarda iyi bir yağlama özelliği göstermesidir. Yataklarda birim alana düşen yükler giderek arttığı için yavaş yavaş kullanım alanları azalmaktadır. Ülkemizde kalayın ithal ediliyor olması ekonomik olarak da bu alaşımların kullanımını etkiler. Maliyet nedeniyle düşük oranlarda kullanıldığında da hızlı aşınma sorunu ortaya çıkar.

%6 kalay içeren bronzlar, soğuk ve sıcak şekil verme işlemlerine uygundur. Kalay oranının artması, malzeme mukavemetini artırırken, uzama kabiliyeti azalır. %10-12 kalay içeren bronzlar, mekanik özellikler açısından ideal olarak kabul edilir ve genellikle döküm parçalarda tercih edilirler. Döküm bronzları, kalay, kurşun, fosfor ve nikel gibi elementleri içerebilir. 300 HB ve daha düşük sertlikteki miller için Cuptin, Cuptin 3 ve Cuptin 4 olarak bilinen kalay bronzları tercih edilebilir [6].



Şekil 3.1. Kalay bronzundan üretilen dişli

3.1.2. Alüminyum bronzları

Alüminyum bronzları, bakır esaslı alaşımlar olup %14'e kadar alüminyum içerebilirler. Diğer alaşımların sağlayamadığı mekanik ve kimyasal özelliklere sahip olan alüminyum bronzları, birçok üstünlük sunar. Sertlikleri 40-42 RC'ye kadar çıkabilen çeşitleri bulunmaktadır. Demir, nikel ve mangan katkılı alaşımlar ısıtılma işlemle sertlikleri

artırılabilir. Örneğin, sertliği 40 RC'ye kadar çıkabilen Cupral 8 gibi alaşımlar, yoğun sürtünmeye maruz kalan paslanmaz çelik sıvama kalıpları, kılavuz makineleri ve kızak yapımında tercih edilir.

Bu malzemelerin yüksek aşınma dayanımına sahip olması, kalıpçılıkta ve makine imalatında çeliğe alternatif olarak kullanılmalarını sağlar. Çelikten daha iyi ısıl iletkenliğe sahip olmaları sayesinde plastik kalıplarında da tercih edilebilirler. Örneğin, plastik kova kalıplarının çekirdeği tamamen alüminyum bronz alaşımından yapılmış olabilir. Sürtünme katsayısının düşük olması sebebiyle, paslanmaz sacların derin sıvama kalıplarında yüksek sertlik özelliklerine sahip olan Cupral 8 veya Cupral 10 kullanılabilir.

Kum kalıba döküm ve savurma döküm yöntemleriyle yalnızca ihtiyaç duyulan ölçüye göre döküm yapılabilir. Ancak kum kalıba döküm bu alaşımların düşük sertlik ve aşınma dayanımlı halde üretimi anlamına gelir [6].



Şekil 3.2. CuAl10Ni5Fe4 (Alba 180-3) globoid dişli

Daha iyi verim almak için dövülmüş, haddelenmiş ve ısıl işlem görmüş alüminyum bronz türevleri denemek gerekir. İndüksiyon ocaklarında, analizine spektrometre ile bakılarak dökülen bronzlar, standartlara uygun olarak dökülebilir. Hatta dökümhanede izlenebilirliğinin olması bronzu kullanan makine veya kalıp üreticisi için ürettiği ürüne destek olan referanstır [6].

Alüminyum bronzların avantajları şunlardır;

- Üstün mukavemet özellikleri, düşük alaşımlı çeliklere benzer.

- Yüksek düzeyde korozyon direnci açısından değerlendirildiğinde, paslanmaz çeliklerin dahi yetersiz kaldığı deniz suyu gibi ortamlarda tercih edilir.
- Yüksek sıcaklıklarda özelliklerini maksimum seviyede korur.
- Yüksek yorulma dayanımına bakıldığında uzun ömürlü çalışma olanağı sağlar.
- Oksidasyona direnci yüksektir.
- Döküm, dövme kabiliyetleri ve işlenebilirliği yüksektir.
- Yüksek sertliğe ve aşınma dayanımına sahiptir.
- İyi seviyede kaynak edilebilir.
- Düşük yoğunluk, maliyet avantajı sağlar [6].



Şekil 3.3. Alüminyum bronzundan üretilen dişliler

3.1.3. Nikel bronzları

Nikel ile alaşımlanan bakırın, korozyona dayanıklılığı önemli miktarda artar. Mekanik özellikler açısından iyi yönde geliştirildiğinde, bakır-nikel alaşımlarının yüksek sıcaklıklardaki çekme özellikleri, paslanmaz çeliklerle benzer seviyede olabilir. %1-2 mangan ve demir katkısıyla kimyasal kararlılık daha da artırılır. Bu katkıları, havadaki oksijenle birleşerek yüzeyde ince bir oksit tabakası, yani "pasif tabaka" oluşumunu teşvik eder. Ayrıca bazı alaşımlar ısıtılma işlem uygulaması sayesinde üstün fiziksel özelliklere sahip olabilmektedir [6].

Nikelli alüminyum alaşımı, %4-6 nikel içeren döküm türü bir alüminyum bronz olarak bilinir. Çözeltiliye alma ve yaşlandırma ısı işlemleri ile sertleştirilmektedir. Nikelli alüminyum bronzları; yüksek aşınma ve korozyona karşı yüksek direnç, artırılmış mukavemet ve üstün elastik özellikleri sayesinde geniş bir kullanım alanına sahiptir [6].

Nikelli alüminyum bronzlarının kullanıldığı alanlar şunlardır:

- Yataklar
- Dişliler, somunlar, vidalı konveyörler
- Aşınma kılavuzları, nozullar
- Pompa ve valf parçaları
- Devre kesici parçalar, elektrik kontakları
- Makine ve yapısal parçalar



Şekil 3.4. Nikelli alüminyumdan üretilen dişli

3.1.4. Fosfor bronzları

Fosfor bronz, %0.03-0.035 oranında fosfor ilavesiyle özellikle akış, aşınma direnci ve sertlik açısından geliştirilmiş bir alaşımdır. Bu alaşımın yoğunluğu yaklaşık 8.8 g/cm^3 civarındadır, bu sayede sıcak işleme, soğuk işleme ve ısı işleme gibi farklı işleme yöntemlerine uyum sağlar. Doğal olarak elastik olan fosfor bronzlar, yorulmaya ve korozyona karşı da dirençlidir. Kolay şekillendirilebilir, dökülebilir ve lehimlenebilir özellikleri vardır. Kurşun ilavesi fosfor bronzunun mukavemetini ve işlenebilirliğini artırır. Ancak, kurşunsuz fosfor bronzlar da doğal olarak yüksek mukavemet ve dirence sahiptir. Bu özelliklerinden dolayı fosfor bronzlar, korozyona karşı dirençli

uygulamalarda ve dayanıklı, elastik malzemelere ihtiyaç duyulan diğer alanlarda sıkça tercih edilir [7].

Fosfor bronz, uzun yıllardır elektrikli bileşenlerde tercih edilen bir malzeme olmuştur. Ancak, sürekli teknolojik ilerlemeler ve özel malzeme talepleri, fosfor bronzunun yeni ve çeşitli kullanım alanlarına adapte edilmesini sağlamıştır. Bu özellikleri sayesinde, fosfor bronz, farklı endüstriyel uygulamalarda ve yenilikçi projelerde daha geniş bir yer bulmaktadır

Fosfor bronzları birçok tasarımcı ve üreticinin istediği özellikleri karşılayan kanıtlanmış bir mühendislik malzemesidir [7].

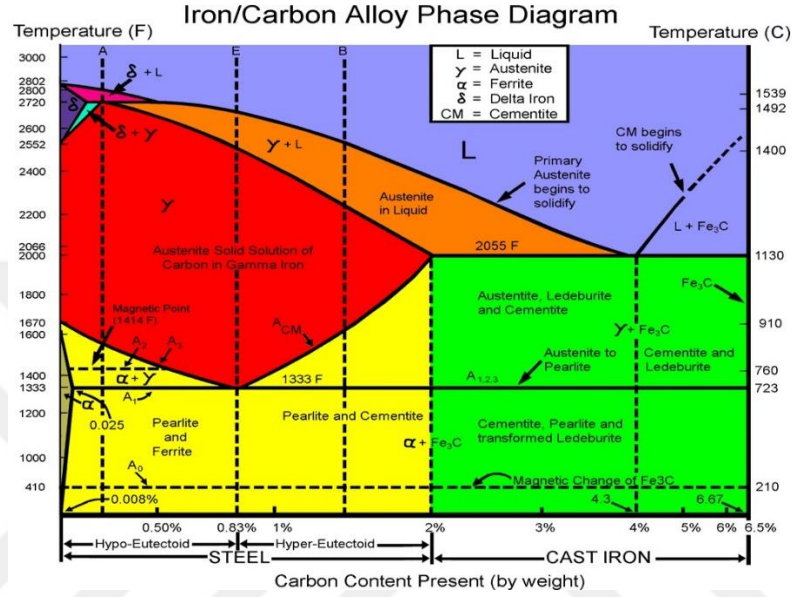


Şekil 3.5. CuSn8 globoid dişli

3.2. Çelik Alaşımları

Çelik, demir (Fe) ile karbon (C) alaşımının bir ürünüdür. Sanayide demire istenilen özellikleri kazandıran ana bileşen karbondur. Bunun yanı sıra demir içerisinde çeşitli katkı elementleri de bulunabilir veya eklenir; bu elementler arasında manganez (Mn), silisyum (Si), fosfor (P), kükürt (S), krom (Cr), nikel (Ni) bulunmaktadır. Bir malzemenin çelik olarak kabul edilmesi için, demir içerisindeki karbon miktarının %0.2'den büyük ve %2'den küçük olması gerekmektedir [8]. Demir-karbon alaşımlarında karbon miktarı arttıkça sertliği ve mukavemeti artar; ancak tokluk ve süneklik azalır ve çarpılma mukavemeti de düşer. Çeliklerde süneklik özelliğini korumak ve mukavemeti artırmak amacıyla çeşitli alaşım elementleri eklenir [9].

Alaşımlı çelik, malzeme yapısında malzeme özelliklerini iyi yönde geliştirmek için yapısına farklı metal elementleri eklenmiş çelik anlamına gelmektedir. Alaşımlı çeliklerin kullanım amacı ise sertleştirilme konusunda, kırılabilirlik konusunda, aşınma konusunda çeliklerde iyileştirme ihtiyacı söylenebilir. Alaşımlı çelikler, mekanik özellikleri iyileştirmek için çeşitli elementlerin toplam ağırlıkça %1,0-50 oranında alaşımlandığı çeliktir [10].



Şekil 3.6. Demir/karbon faz diyagramı

3.2.1. 8620 çelik alaşımı

AISI 8620 alaşımlı bir çelik türüdür ve AISI/SAE tarafından belirlenen numaralandırma sistemine göre “86” seri alaşımlı çelikler kategorisine aittir. Bu çelik türü, genellikle yüksek sertlik, yüksek dayanıklılık ve mukavemet özellikleri gerektiren uygulamalarda kullanılır.

AISI 8620 çeliği, nikel, krom, molibden ve manganez gibi elementlerin yanı sıra karbon ve demir içerir. Bu çelik türü, sertleştirilmiş bir çekirdeğe sahip olacak şekilde işlem gördüğünde yüksek mukavemet ve darbe dayanımı sağlar. Ayrıca, yüzey sertleştirme işlemlerine de uygun bir çeliktir.

AISI 8620 çeliği, yüksek mukavemet ve dayanıklılık özellikleri nedeniyle popüler bir çelik türüdür. Ancak, bu çeliğin bazı dezavantajları da vardır. Örneğin, kaynaklama işlemlerinde zorluklar yaşanabilir ve yüksek sıcaklıklarda oksidasyon meydana gelebilir. Bu nedenle, doğru uygulamalarda kullanılması ve uygun şekilde işlenmesi önemlidir [11].

Tablo 3.1. 8620 çeliğinin teknik özellikleri

MALZEMENİN STANDARTLARI		
DIN	AISI / SAE	EN
1.6523	8620	20NiCrMo2

MALZEMENİN KİMYASAL BİLEŞİMİ (%)								
C	Si	Mn	Pmax	Smax	Cr	Mo	Ni	V
0.18 - 0.23	0.20 - 0.35	0.70 - 0.90	0.04	0.04	0.40 - 0.60	0.15 - 0.25	0.40 - 0.70	-

ISIL İŞLEM BİLGİLERİ									
Sementasyon Sıcaklığı (°C)	Soğutma Ortamı					Çekirdek Östenitleme Sıcaklığı (°C)	Cidar Sertleştirme		Meneviş Sıcaklığı (°C)
							Sıcaklık (°C)	Ortam	
850 - 1100	Su	Tuz Banyo	Yağ	Sıcak Banyo	Hava	850 – 880	810 – 840	Yağ, Su, Sıcak Banyo	170 – 210
	-	+	+	+	+				

3.2.2. 4140 çelik alaşımı

4140 çelik, diğer adıyla 1.7225 veya 42CrMo4 alaşımlı ıslah çeliği, temperlendikten sonra kullanılan, yüksek sertleşebilirliğe sahip bir krom-molibden çeliktir. 42CrMo4 çeliğine göre, 34CrMo4 çelikten daha yüksek karbon ve krom içeriğine sahip olduğundan daha üstün performans gösterir. 4140 çelik, yüksek mukavemet, sertleşebilirlik, iyi düşük sıcaklık darbe tokluğu gibi özelliklere sahiptir. Bu yüzden işlenebilirliği de yüksektir. 41Cr4 çeliğine göre maliyeti daha yüksek olmasına rağmen, 4140 çeliğin özellikleri nedeniyle daha çok tercih edilir.

42CrMo4 alaşımlı mühendislik çeliği, özellikle otomotiv tahrik elemanlarında sıkça kullanılmaktadır. Ancak bu malzeme kaynaklanabilirliği konusunda sınırlıdır. Kaynak yapılırken 200-300°C arası bir ön ısıtma, malzemenin özelliklerini korumak için şiddetle önerilir. Bu aralığın üst sınırı, krom tabakasının bozulma riskini minimize etmek için aşılmamalıdır [12].

Tablo 3.2. 4140 çeliğinin teknik özellikleri

MALZEMENİN STANDARTLARI		
DIN	AISI / SAE	EN
1.7225	4140	42CrMo4

MALZEMENİN KİMYASAL BİLEŞİMİ (%)							
C	Si	Mn	Pmax	Smax	Cr	Mo	V
0.38 - 0.45	0.15 - 0.40	0.50 - 0.80	0.035	0.035	0.90 - 1.20	0.15 - 0.30	-

ISIL İŞLEM BİLGİLERİ								
Sıcak Şekillendirme Sıcaklığı (°C)	Yumuşatma Tavlama Sıcaklığı (°C)	Yumuşak Tavlamada Sertlik > HB	Tavlama Sıcaklığı (°C)	Sertleştirme			Meneviş Sıcaklığı (°C)	Sertlik (HRC)
				Soğutma Ortamı	Su	Yağ		
850 - 1050	680 – 750	241	840 – 880	Sıcaklık (°C)	820 – 850	830 – 860	500 – 520	36 – 38
							470 – 500	38 – 40
							440 – 470	40 – 42
							430 – 450	42 – 44
				Sertlik (HRC)	54 – 56	54 – 56	420 – 440	44 – 46
							380 – 420	46 – 48
							340 – 380	48 – 50
							320 – 340	50 – 52

3.2.3. 1050 çelik alaşımı

AISI 1050, karbon çeliği olarak bilinen bir malzemedir ve içerisinde az miktarda Mangan (Mn), Silisyum (Si), Kükürt (S) ve Fosfor (P) gibi elementler bulundurulur. Bu malzeme, kalıp ve makine sektörlerinde sıkça kullanılan, sertleştirilebilir bir imalat çeliğidir.

AISI 1050 imalat çeliği; akslar, cıvatalar, dövme bağlantı çubukları, krank milleri, burulma çubukları, hafif dişliler, kılavuz çubukları, vidalar, dövme parçaları, tekerlek lastikleri, miller, baltalar, bıçaklar, ahşap işleme matkapları ve çekiçler gibi birçok farklı alanda tercih edilmektedir. Genel mühendislik uygulamalarında kullanılır [13].

Tablo 3.3. 1050 çeliğinin teknik özellikleri

MALZEMENİN STANDARTLARI		
DIN	AISI / SAE	EN
1.0503	1050	C45

MALZEMENİN KİMYASAL BİLEŞİMİ (%)							
C	Si	Mn	Pmax	Smax	Cr	Mo	Ni
0.42 - 0.50	0.15 - 0.35	0.50 - 0.80	0.045	0.045	-	-	-

ISIL İŞLEM BİLGİLERİ							
Sıcak Şekillendirme Sıcaklığı (°C)	Yumuşatma Tavlama Sıcaklığı (°C)	Yumuşak Tavlama Sertlik > HB	Tavlama Sıcaklığı (°C)	Sertleştirme			Meneviş Sıcaklığı (°C)
				Soğutma Ortamı	Su	Yağ	
				Sıcaklık (°C)	820 - 850	830 - 860	
850 - 1100	650 - 700	206	840 - 870	Sertlik (HRC)	50 - 57	50 - 55	540 - 680

3.3. Kestamit Alaşımları

Kestamit, polyamid grubuna ait bir plastik türüdür ve döküm yöntemiyle üretilir. Bu malzeme mükemmel kayma özelliklerine sahiptir. Standart atmosferde %5'e kadar nem emebilme kapasitesine sahip olan Kestamit, aynı zamanda yüksek aşınma dayanımı gösterir [14]. Doğada veya yapay olarak günlük hayatta karşımıza yaygın şekilde çıkan bir maddedir. Örneğin ipek polyamidin doğada bulunan doğal bir karşılığıdır. Naylon ve kevlar ise bu poliamidlerin sentetik örneklerindendir. Sentetik polyamidlerin öne çıkan özellikleri dayanıklılıktır. Bu sebeple farklı birçok endüstride yaygın biçimde kullanılırlar. Kestamit sentetik bir poliamiddir.

Kestamit fiyat avantajı sebebiyle birçok sektörde çelik, fiber, pirinç gibi diğer maddelerin yerini almaktadır. Mekanik, elektriksel ve kimyasal açıdan dayanımı yüksek olan kestamit yalnızca fiyat avantajı değil dayanıklılık ve sertlik özellikleri, kolay monte edilebilir olması, sürtünme katsayısının düşük olması bakımından da rakipleri karşısında avantajlı konumdadır. Tüm bunlar göz önüne alınınca kestamit birçok sektörde tercih sebebi olabilmektedir. Ancak su emmesinden dolayı genellikle nemli ortamlarda tercih edilmezler [14].



Şekil 3.7. Kestamit dişliler

3.3.1. Kestlub alaşımı

Kestlub, yataklar için özel olarak geliştirilmiş bir döküm polyamid malzemedir. Bu döküm polyamid, çeşitli proseslerle katkı maddeleri eklenerek üretilir. İçten yağlamalı yapısı sayesinde, özellikle yatak uygulamalarında üstün performans sergiler.

Yağlayıcı katkıları, malzemenin ayrılmaz ve homojen bir parçası haline gelerek, yağlama özelliklerini daima korur. En zorlu çalışma koşullarında bile bu katkıları malzemedan ayrılmaz, dışarı çıkmaz ve akma yapmaz, böylece malzemeyi kuru bırakmaz. Kestlub'un yüzeyinden talaş kaldırılrsa bile, yağlayıcı katkıları özellikleri değişmez. Mekanik işlemler ve talaş kaldırma işlemleri Kestlub'un yağlama özelliklerini etkilemez.

Kestamit'in nem alma ve ölçü stabilitesi konusunda olumsuz etkiler gösterdiği uygulamalarda kestlub tercih edilmelidir. Katkı maddesi porlarda yerleştiği için rutubet ve su emilimi azalır, bu da ölçülerin daha tutarlı olmasını sağlar. Özellikle yüksek basınç ve yük taşıyan yataklık uygulamalarında katı yağın dışarı çıkmayacağı için, diğer saf ve katkılı döküm polyamid çeşitlerine göre kestlub tercih edilir [15].



Şekil 3.8. Kestlub globoid dişli

4. DENEYSEL YÖNTEMLER

Bu tez kapsamında yapılması planlanan testler akademik danışman yardımıyla belirlenerek oluşturulmuştur. Hazır bir test düzeneğinin bulunmadığı kırılma testi için ise rahat bir şekilde tork ölçümünün yapılacağı özel bir test düzeneği oluşturulmuştur. Düzeneğin ilk defa kullanılacak olmasının getireceği negatif sonuçlar deneyin tekrarlanmasıyla ortadan kaldırılmıştır.

4.1. Çekme Test Cihazı ve Deney Numunesi

Çekme test cihazları, bir malzemeyi standart bir hızda gererek, malzemenin gerilme-uzama eğrisini ölçerek çalışır. Bu eğri, malzemenin çekme sırasında nasıl davrandığını gösterir. Çekme testi sırasında, bir malzeme numunesi iki çeneli bir kıskaç arasına yerleştirilir ve bu çeneler malzemenin uçlarını tutar. Daha sonra, çeneler arasındaki mesafe standart bir hızda açılır ve malzeme gerilir. Bu sırada bir yük hücresi malzemenin üzerindeki gerilim kuvvetini ölçer. Bu süreç, bir grafik verisi elde etmek için bilgisayar yazılımlarıyla otomatik olarak yönetilir [16].

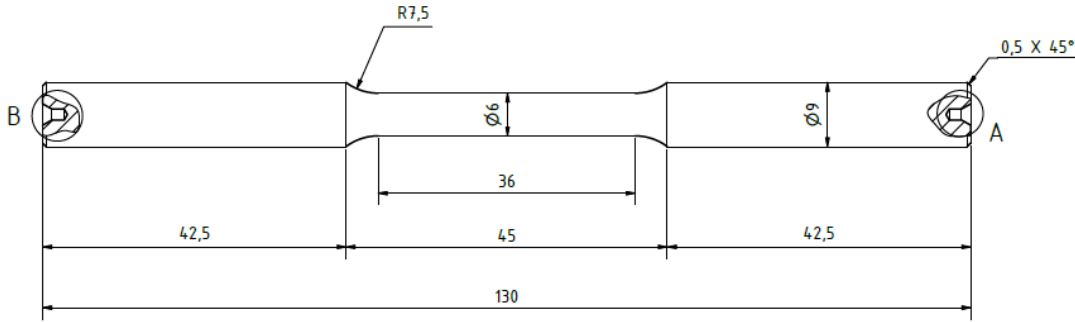
Çekme test cihazları, birçok farklı malzeme türü için kullanılabilir. Özellikle, metal, plastik ve kompozit malzemelerin özelliklerini belirlemek için sıkça kullanılır. Bunun yanı sıra, inşaat malzemeleri, kumaşlar, kâğıt ve gıda gibi malzemelerin özelliklerini ölçmek için de kullanılabilirler [16].



Şekil 4.1. Çekme test cihazı

Çekme numuneleri için kullanılan şekiller çeşitlilik gösterebilir. ASTM E8/E8M standartları, sac ve ince sac için düz numuneleri, boru ürünleri için özel numune tutucularını ve diğer metal ürünleri için standart yuvarlak numuneleri tanımlar. Tüm uzama değerleri, referans alınan ilk ölçü uzunluklarına atıfta bulunur. Numune üretimi için gerekli tüm ölçüler, birkaç istisna dışında belirtilmiş veya minimum değerler verilmiştir [17].

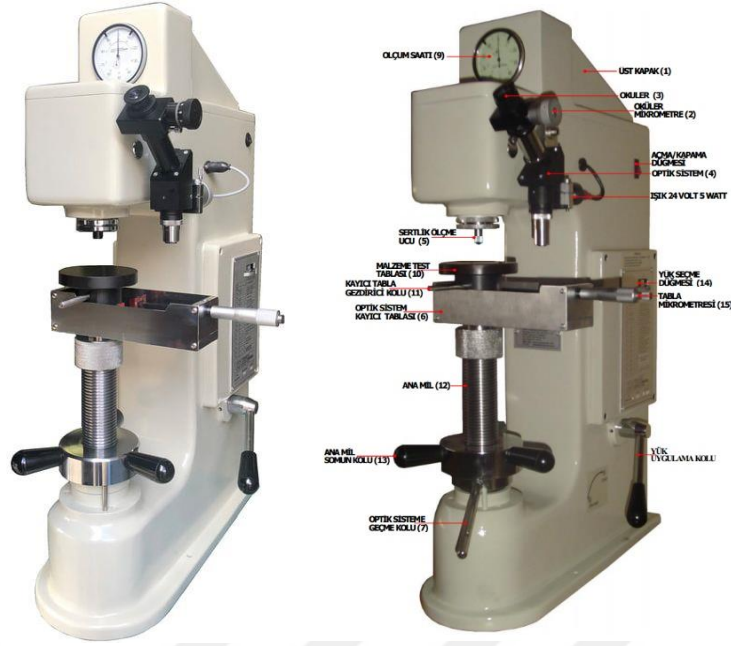
Numunenin şekli ve üretimi, ASTM E8 test standardında tanımlanmıştır. Numuneler, malzeme özelliklerini etkilemeyecek şekilde özenle üretilir [17].



Şekil 4.2. Kullanılan çekme numunesi

4.2. Sertlik Test Cihazı ve Deney Numunesi

Sertlik, malzemenin plastik deformasyona karşı direncini ifade eder. Sertlik testleri, malzemenin ve imal edilen parçaların hızlı ve tahribatsız bir şekilde kontrol edilmesini sağlayan önemli mekanik deneylerdendir. Yaygın olarak kullanılan sertlik ölçüm yöntemleri, numune üzerindeki kalıcı izin boyutunun ölçülmesine dayanır. Sertlik ölçümü, standardize edilmiş bir batıcı ucun malzemeye batırılarak malzemenin gösterdiği direncin ölçülmesiyle gerçekleşir. Bu batıcı uçlar genellikle bilye, piramit veya konik şekillerde olup, malzemedan çok daha yüksek bir sertliğe sahiptir. Uygun batıcı ucun seçimiyle tatbik edilen bir yük altında malzemeye batırıldığında, malzeme üzerinde bir iz oluşur. Genel olarak, malzemenin sertliği, oluşan izin boyutuyla ters orantılıdır [18].



Şekil 4.3. Sertlik test cihazı

Sertlik numunesi için genellikle kare ya da dikdörtgen profilde basit parçalar kullanılmaktadır. Ancak kullanılan deney malzemelerin temin edilmesi oldukça güç olduğundan küçük boyutlarda parça temini sağlanamamıştır. Kırılma testinde kullanacağımız dişliler üzerindeki faturadan ölçüm yapmak problem oluşturmayacağından bu şekilde ölçüm yapılmıştır [18].



Şekil 4.4. Kullanılan sertlik numunesi

4.3. Charpy Darbe Test Cihazı ve Deney Numunesi

Endüstriyel kullanımda malzemelerin, sıcaklık ve uygulanan yüke bağlı olarak zarar gördüğü tespit edilmektedir. Mühendisler, malzeme seçerken malzemenin belirli

sıcaklıklarda nasıl bir davranış göstereceğini, kırılırken ne kadar enerji absorbe edebileceğini ve kırılma enerjisi miktarını bilmek isterler [19].

Çentik darbe deneyiyle belirlenen malzemelerin kırılma enerji değeri, mühendislik tasarım hesaplamalarında sayısal bir değer olarak kullanılmaz, ancak malzemenin kırılma davranışını anlamak ve süneklik veya gevreklik hakkında bilgi edinmek için kullanılır. Malzemenin kırılma enerjisi ve sünekliği arasında belirli bir ilişki vardır; sünek olmayan, yani gevrek malzemelerin kırılma enerjisi genellikle düşüktür [19].

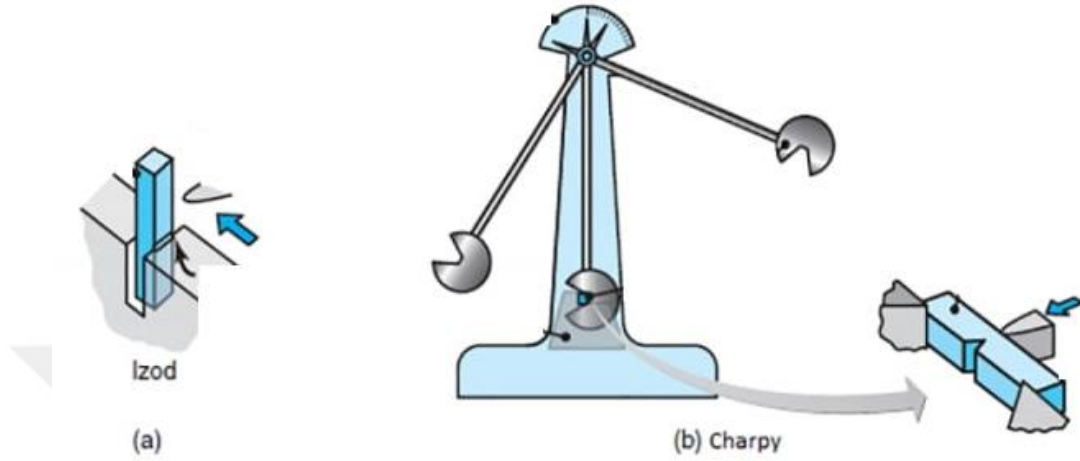


Şekil 4.5. Charpy darbe cihazı

Çentik darbe deneyinde, test numunesine üç boyutlu gerilmeyi sağlamak için bir çentik oluşturulur. Bu çentik nedeniyle bu deneye çentik darbe deneyi adı verilir. Deneyde, çentik açılan yer ve darbenin numuneye temas ettiği nokta göz önünde bulundurularak deneyin adı da değişiklik gösterebilir [19].

Genellikle çentikli numuneler kullanılarak, bu numuneler belirli sıcaklıklarda tek darbe tipi makinelerde kırılarak çentik tokluğu değerleri elde edilir. Bu değerler, numune tarafından absorbe edilen darbe enerjisi veya darbe direnci olarak ifade edilir. En yaygın olarak kullanılan Charpy ve Izod darbe deney yöntemleridir. Bu yöntemlerde, çentikli numune ve sallanan sarkaç tipi makineler kullanılır. Eğer çentik numune tam ortasından açılırsa ve test cihazının kırma çelici çentik numunenin çentik hizasının arkasından darbe uygularsa, bu deney Charpy çentik darbe deneyi olarak adlandırılır [19].

Charpy çentik darbe deneyi için metallerde TS EN ISO 148 ve ASTM E23 standartları, plastiklerde ise TS EN ISO 179 ve ASTM D6110-10 standartları uygulanır. Charpy test numunesinin boyu 55mm iken, Izod test numunesi 75mm uzunluğundadır. Ancak her iki numune de 10mm kare kesitine sahiptir.

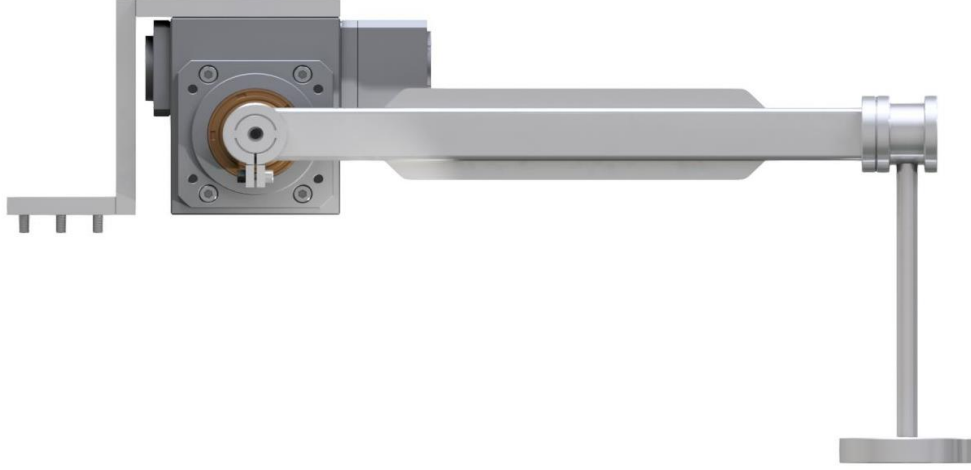


Şekil 4.6. Kullanılan v-çentik numunesi

4.4. Kırılma Test Cihazı ve Deney Numunesi

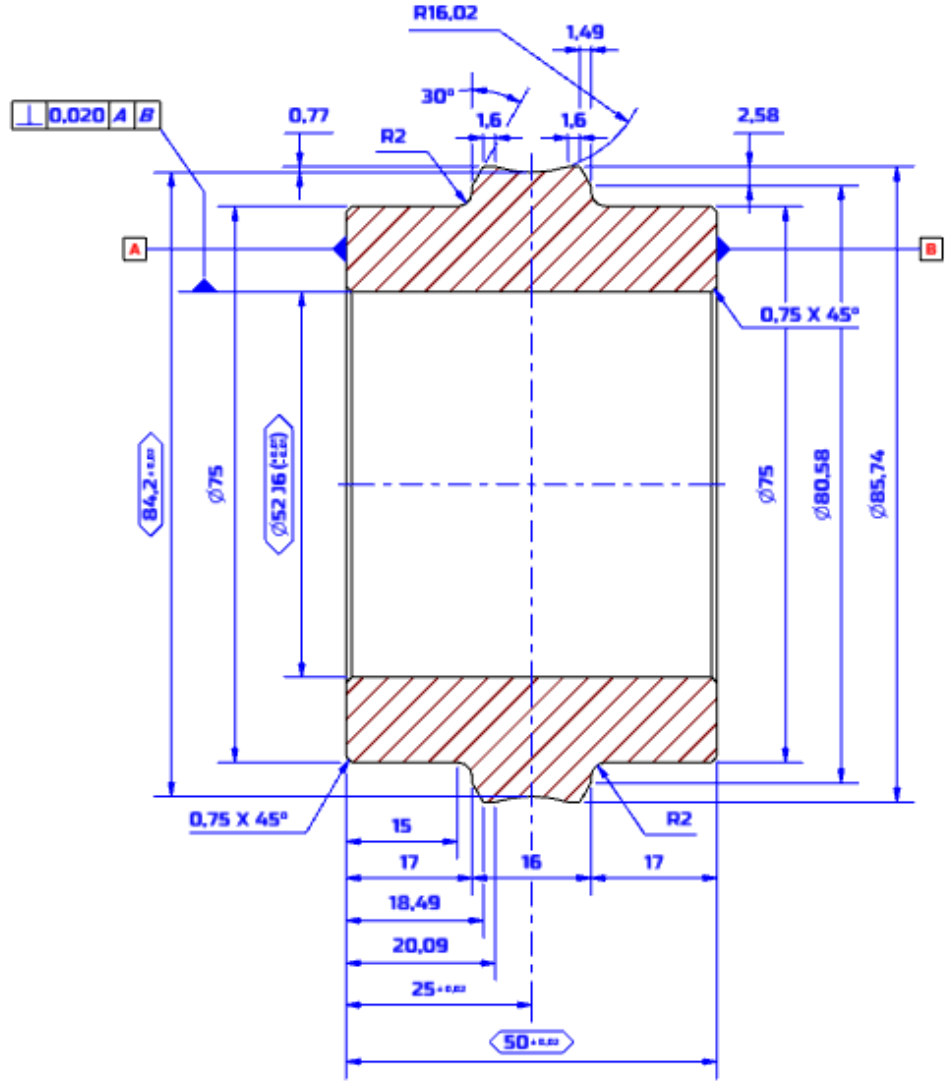
Test düzeneğini dinamik koşullar altında kırmak ve doğru ölçüm için kurulması gereken sistemin maliyeti yüksek olduğundan bu aşamada redüktör statik koşullar altında yüklemeye maruz bırakılmıştır. 1/40 iletim oranına sahip redüktörler kendinden Otoblokaj oluşturduğundan ekstra bir kilitleme mekanizmasına gerek duyulmamıştır.

Bu test için oluşturulan ilk düzeneklerde basit bir kuvvet kolu ve kol ucuna ağırlık asılabilecek bir yapı oluşturulmuştur. Ancak deneyde kullanılan dişlilerin çok fazla emniyetli olduğu ve kırılma için gerekli ağırlık sınırlarına ulaşmanın zor olduğu görülmüştür. 500 ve 1000mm'lik kuvvet kolları bu kısım için çözüm oluşturamamıştır. Daha sonrasında kuvvet kolunu sürekli uzatmak ağırlık problemini ortaya çıkarmıştır. Uzun kuvvet kolunun esnek özelliği dişli üzerine gelecek yükü az da olsa üzerinde tutmuş bu yüzden doğru bir ölçüm alınamamıştır.



Şekil 4.7. İlk kırılma test düzeneği

Farklı malzemelerden üretilen globoid dişlinin her biri için globoid vida ve gövde üretilmiştir. Redüktör gövdesinin iç kısımlarındaki boşaltmalar gerekli görülen geleneksel ve geometrik toleranslara uygun şekilde yapılmıştır. Kullanılan her mekanizmanın yağlamasında sentetik Mobil SHC 634 kullanılmıştır. Deney düzeneğinden elde edilen veriler gerekli görülen denklemler aracılığı ile hesaplanarak giriş-çıkış mekanik güçleri elde edilmekte ve kırılma torkları hesaplanmaktadır. Deneysel çalışmalar kapsamında kırılma testinin yapılmasının istendiği redüktör boyutları üretici firma tarafından belirlenmiştir. Merkezler arası 2" (50.8mm) ve iletim oranı 1/40 olan standart SensDRIVE serisi redüktör üzerinde incelemeler yapılmıştır. Her dişli numunesine özgü globoid vida, dişli kapağı, vida kapağı, gövde, çıkış mili, üretilmiştir. Deneyin amacı dişlinin taşıyabileceği torkun ölçülmesi ve değerlendirilmesi olduğundan bu test için özel bir numune üretilmemiştir. Standart ürün içindeki dişli teknik çizimine uygun şekilde tornalama ve frezeleme işlemleri yapılmıştır.



Şekil 4.8. Kullanılan deney numunesi



5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu deneylerin yapılmasındaki amaç; globoid dişli üretiminde farklı malzemelerin kullanılabilmesi ve optimizasyon çalışmasının yapılabilmesidir. Buna yönelik olarak yapılan testler ve sonuçları detaylı olarak incelenecektir. Turkred firması bünyesinde gerçekleştirilecek olan optimizasyon çalışmasında, globoid dişlinin farklı ortam ve koşullarda çalışma durumları göz önüne alınarak, her koşul için en uygun malzemenin hangisi olduğuna karar verilecektir.

5.1. Sertlik Testi

Seçilen deney numuneleri için çeşitli sertlik yöntemleri kullanılmıştır. Bu yöntemlere ve malzemelere uygun batıcı uç bilye çapı belirlenirken Şekil 5.1'den destek alınmıştır. Yumuşak yapıdaki bronz ve çelik malzemeler için Ø2.5 bilye seçilmiştir.

Hardness Testing Method	Indenter	Pre-load	Total load	Field of application
HRA	Diamond cone	10	60	Surface hardened parts with thin hardness cases
HRB	1 / 16" ball	10	100	Non ferrous metals. Structural steels etc.
HRC	Diamond cone	10	150	Hardened steels
HRD	Diamond cone	10	100	Surface hardened steels with medium cases
HRE	1 / 8" ball	10	100	Cast iron, aluminium and magnesium alloys
HRF	1 / 16" ball	10	60	Annealed copper alloys. thin sheet metals
HRG	1 / 16" ball	10	150	Phosphor - bronze. Malleable iron of medium hardness
HRH	1 / 8" ball	10	60	Aluminium, zinc, lead
HRK	1 / 8" ball	10	150	Antifriction and other metals of very low hardness
HRL	1 / 4" ball	10	60	As HRK and hard rubber
HRM	1 / 4" ball	10	100	As HRK and HRL, laminated wood
HRP	1 / 4" ball	10	150	As HRK, HRL or HRM and synthetic materials
HRR	1 / 2" ball	10	60	
HRS	1 / 2" ball	10	100	
HRV	1 / 2" ball	10	150	As HRK, HRL, HRM, HRP, HRR, or HRS

Şekil 5.1. Batıcı uç seçim tablosu

Manuel bir tezgâh üzerinde yapılan brinell sertlik ölçümlerinde malzemelerin sertlik değerlerinin düzgün bir karşılığının olabilmesi için ana gösterge üzerine, malzemelere uygun skala cetvelleri takılmıştır. Plastik malzeme için uygun bir cetvel olmadığından kestlub malzemenin ölçümü için Shore D kullanılmıştır. Deney sırasında fosfor bronzunun ölçümleri yapılırken skalada belirtilen 180 değeri aşıldığından daha sağlıklı bir ölçüm için fosfor bronzunun sertlik değeri Rockwell ile belirlenmiştir.



Şekil 5.2. Bronz-çelik skala cetveli

Yapılan sertlik testinde ölçümler arası tutarlılık olduğundan her numune için 5 farklı noktadan ölçüm yapmak yeterli olmuştur ve bu değerler Tablo 5.1’de yer almaktadır.

Tablo 5.1. Sertlik deney sonuçları

Deney Cihazı / Numune	Brinell (HB)					Rockwell (HRC)					Shore D				
AISI 8620	260	260	250	265	262	26	26	25	27	26	-				
AISI 4140	243	246	242	247	244	23	24	23	24	23	-				
AISI 1050	238	245	250	245	240	22	24	24	24	23	-				
Fosfor Bronzu (CuSn8)	317	325	317	325	325	34	35	34	35	35	-				
Alüminyum Bronzu	85	85	85	86	80	-					-				
Kestlub	-					-					83	83	83	84	81
Notlar	Çeliklere 187.5 kg - Alüminyum bronzuna 62.5 kg - Fosfor bronzuna 100 kg ön yükleme yapılmıştır.														

Çeşitli hammadde numunelerinden yapılan sertlik testi görselleri Şekil 5.3’te görüldüğü gibidir.



Şekil 5.3. Test merkezinden görüntüler

5.2. Çekme Testi

Metal veya metalik malzemeler üzerindeki çekme testleri genellikle DIN EN ISO 6892-1 ve ASTM E8 standartlarına göre gerçekleştirilir. Her iki standart da numune şekillerini ve test prosedürlerini detaylı bir şekilde tanımlar. Bu standartların amacı, test prosedürünü belirleyerek, farklı test sistemleri kullanılsa dahi elde edilen karakteristik değerlerin karşılaştırılabilir ve güvenilir olmasını sağlamaktır.

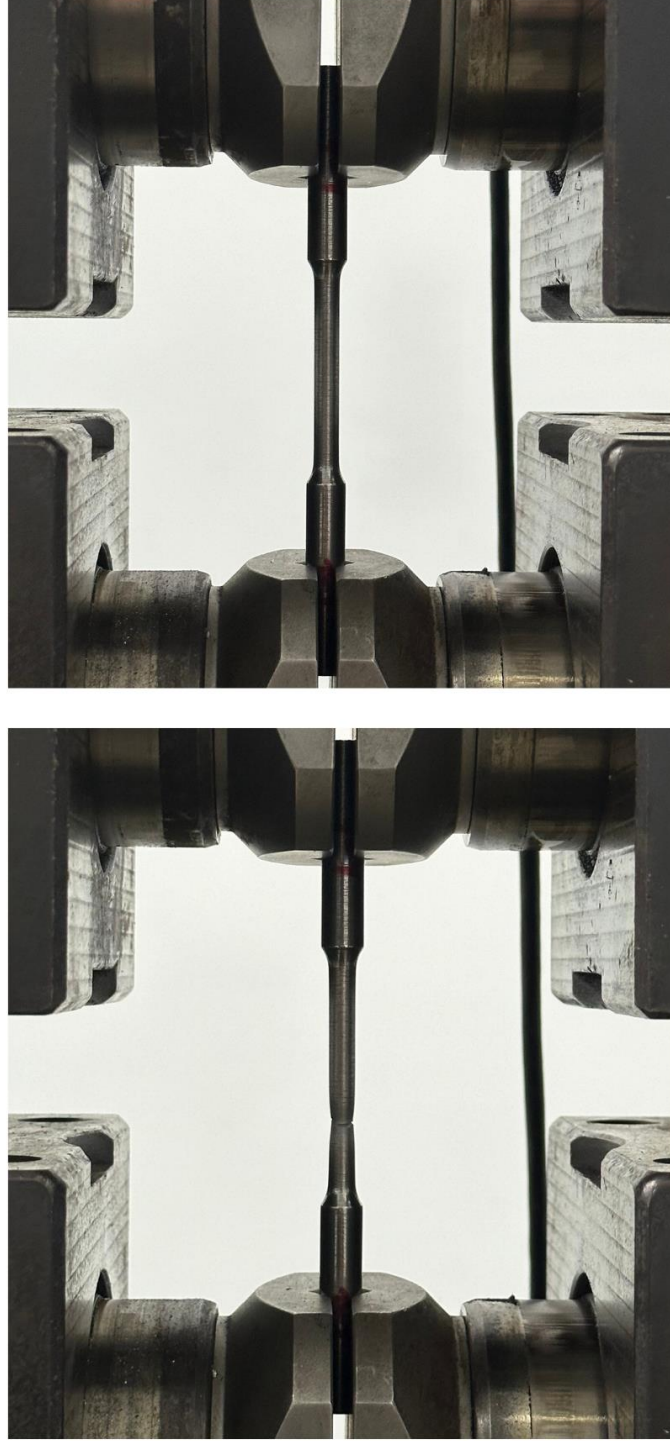
Bu, aynı zamanda normatif gerekliliklerin önemini ve etkileyen faktörleri detaylı bir şekilde ele aldığı, genel olarak gereklilikleri formüle ettiği anlamına gelir. Böylece teknik gerçekleştirmeler ve yenilikler için yeterli kapsam ve yol haritası sunar [20].

Bu test kapsamında oluşturulan numuneler için TS EN ISO 6892-1 (Metalik malzemelerde çekme deneyi) standardındaki parametreler referans alınmıştır. Bu kapsamda çekme hızı 3mm/dk belirlenerek uygulamaya alınmıştır [20].

Tablo 5.2. Çekme deney sonuçları

Değerler / Numune	Kuvvet (kN)			Uzama (mm)		
	Numune -1	Numune -2	Numune -3	Numune -1	Numune -2	Numune -3
AISI 8620	27.40	27.40	28.03	7.91	9.05	8.13
AISI 4140	41.81	36.97	36.96	6.12	5.47	5.32
AISI 1050	30.34	30.03	30.25	9.32	9.63	10.89
Fosfor Bronzu	15.89	17.42	18.70	8.20	10.45	10.31
Alüminyum Bronzu	28.41	29.43	30.43	4.05	4.15	3.51
Kestlub	>2.88	-	-	>50	-	-
Notlar:	Tabloda belirtilen kuvvet - uzama verileri maksimum değerlerdir.					

Standarda uygun şekilde üretilen numunelerden yapılan çekme testi görselleri Şekil 5.4'te görüldüğü gibidir.



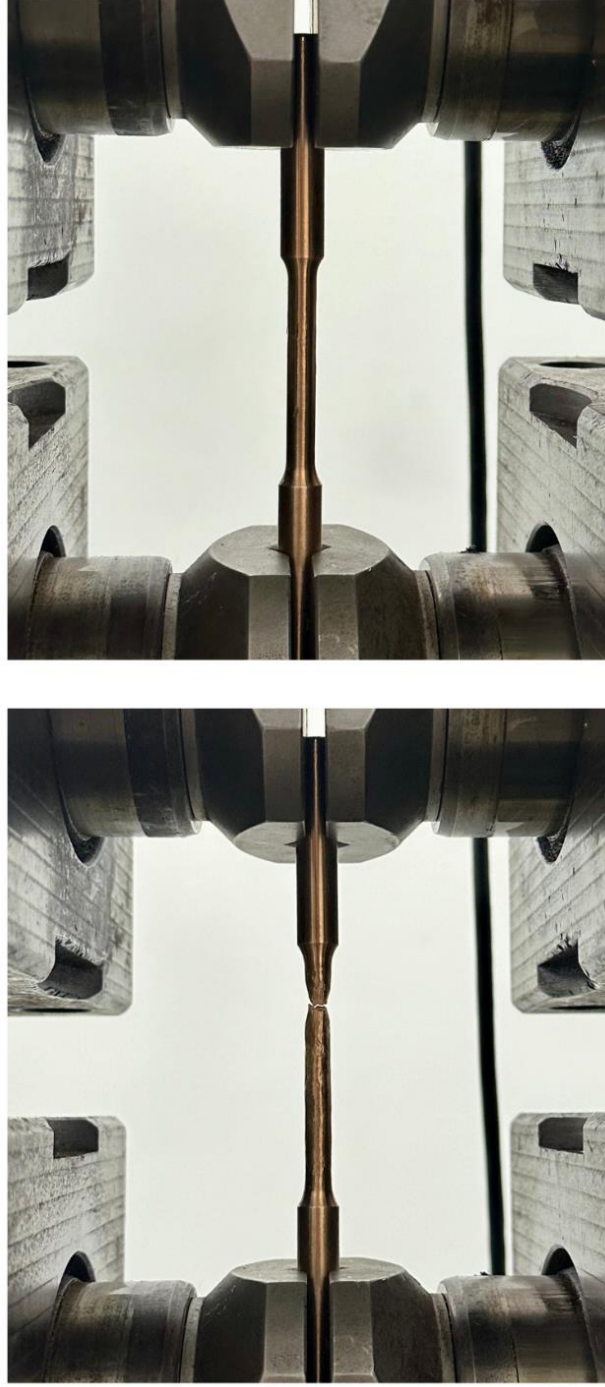
Şekil 5.4. Çelik numunelerin çekme görüntüleri

Alüminyum bronzunun çekme görüntülerini incelediğimizde net bir şekilde şu kanıya varılabilmektedir. Bu tip bronzda kırılma aniden oluşmakta malzeme boyun bile vermeden gevrek kırılma davranışı sergilemektedir.



Şekil 5.5. Alüminyum bronzunun çekme görüntüleri

Bronz numuneler aslında yüksek oranda bakır içeren malzemelerdir. Mekanik davranışlarını değiştiren ise içeriğinde bulunan alaşımlardır. Tablo 5.2’de görüldüğü üzere iki bronz malzemenin dayanabildiği kuvvet ve uzama değerleri oldukça farklıdır.



Şekil 5.6. Fosfor bronzunun çekme görüntüleri

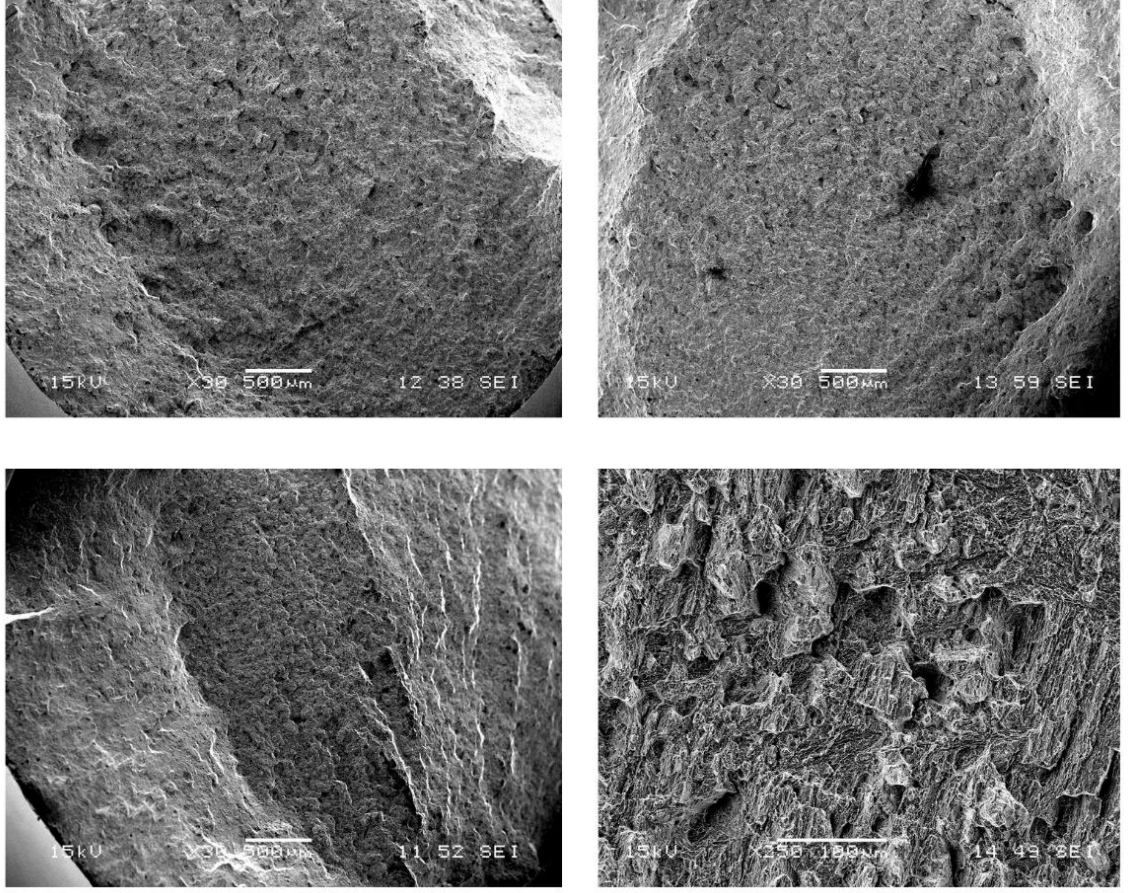
Çekme sonrası kopan malzemeler bir araya getirilerek incelemeler yapılmıştır. Bronz malzemeler görüntülerde de görüldüğü üzere 3 parçaya ayrılmıştır bunun nedeni ise üretim sonrası numunelerin karıştırılması ve ayırt edilebilmesi için tahribatlı bir muayene yöntemi kullanılmasıdır.



Şekil 5.7. Deney sonrası numune karşılaştırması

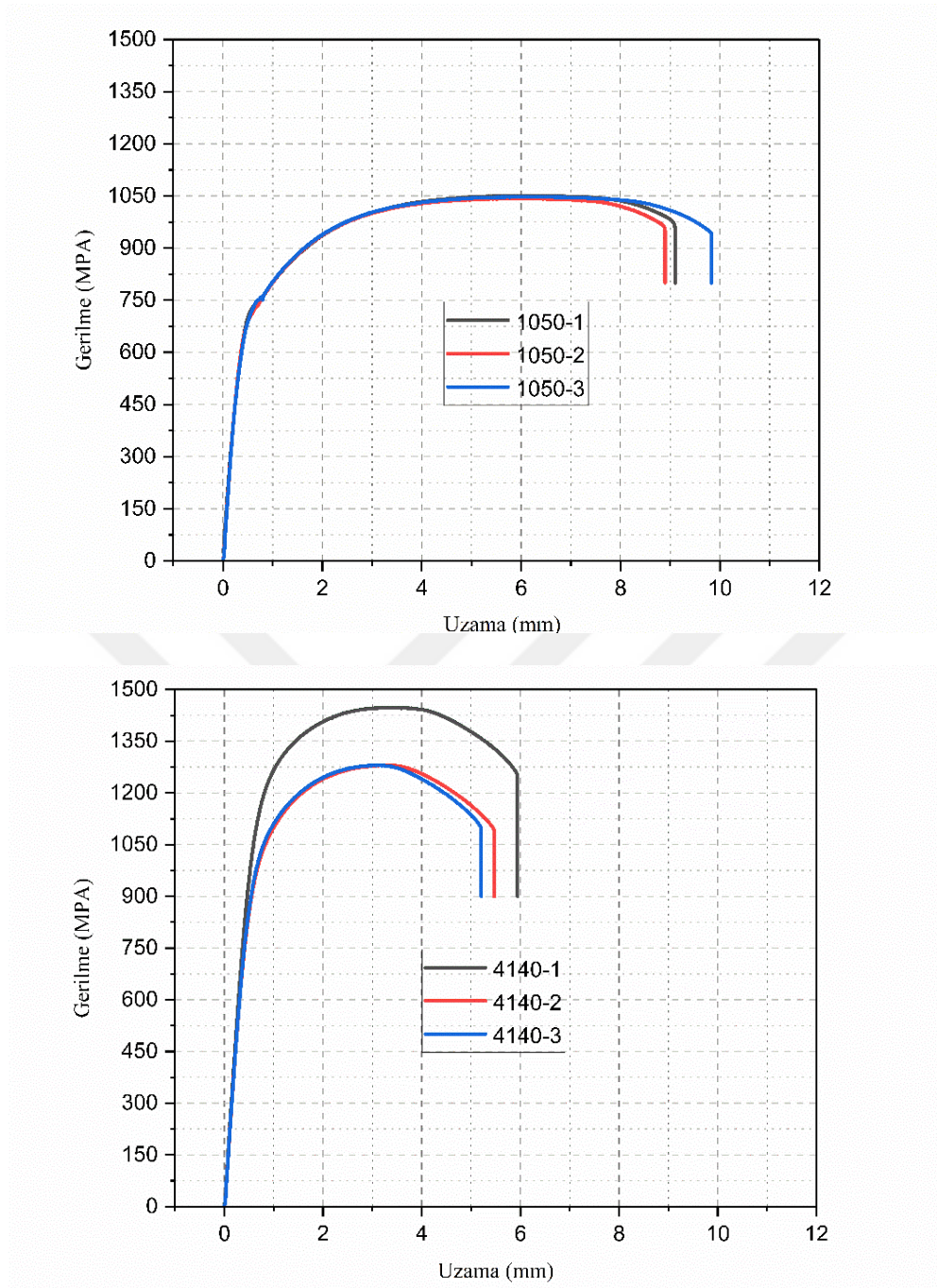
Çekme işlemi sonrasında oluşan yüzey yapıları incelemek ve malzemenin sünek – gevrek davranışını görebilmek için XRD (X-ışınları Difraktometresi) kullanılmıştır. X-ışını difraksiyonu, malzemelerin kristalografik özelliklerini ve içerdikleri fazları hasarsız bir şekilde belirlemek için kullanılan bir analiz yöntemidir. Toz numuneleri üzerinde uygulandığında, kristal yapının yanı sıra tane boyutu ve tercihli yönlenme gibi özellikler de belirlenebilir. Bilinmeyen fazlar içeren numuneler için elde edilen veriler, ilgili veri tabanıyla karşılaştırılarak numunenin içerdği fazlar tespit edilebilir [21].

Rietveld analizi gibi yöntemlerin kullanılmasıyla numunelerin içerdği bileşiklerin göreceli olarak miktarsal oranları belirlenebilir [21].



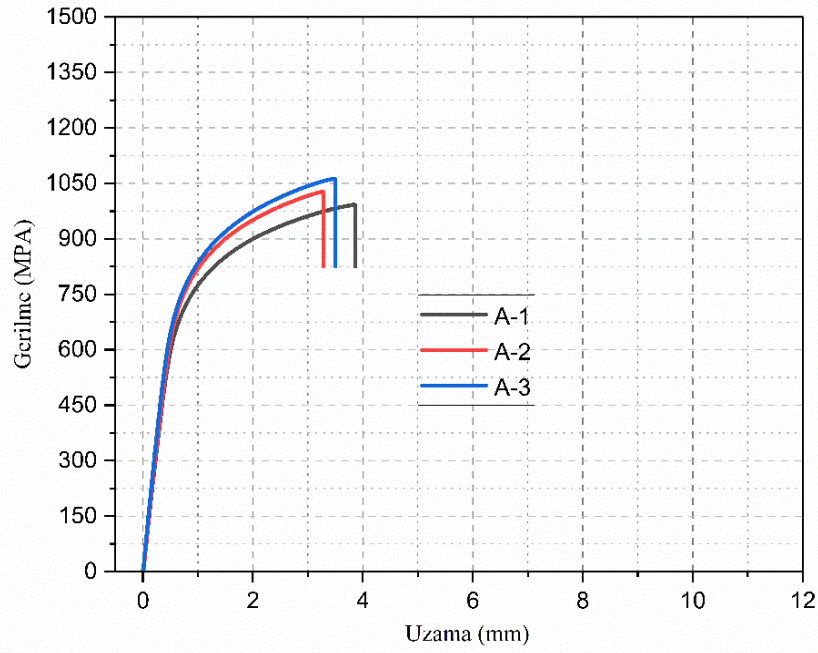
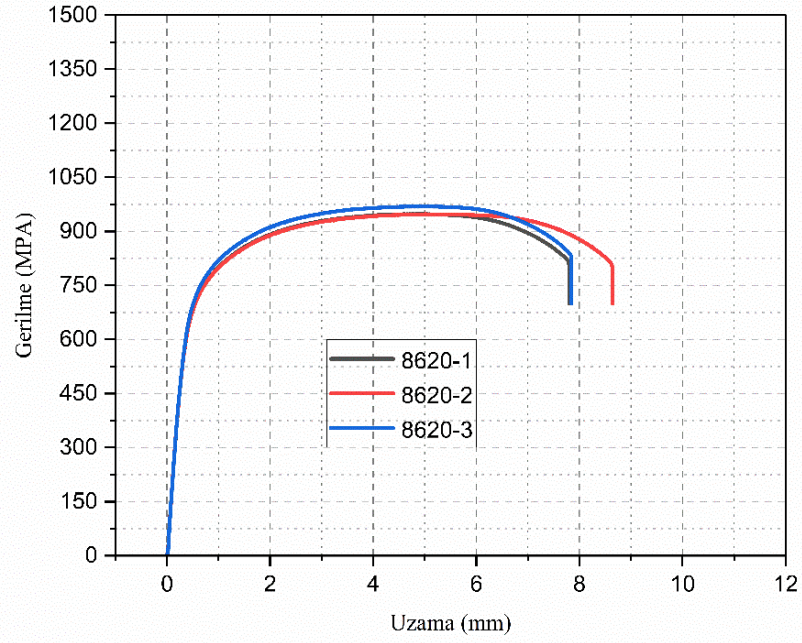
Şekil 5.8. XRD Yüzey Analizi

Bu deney sonucunda kuvvet (F) ve uzama (Δl) eğrileri elde edilir. Ancak, daha yaygın olarak kullanılan Gerilme-Uzama eğrisidir. Bu eğri için uygulanan kuvvet, numunenin ilk kesit alanına bölünerek ($\sigma = F/A_0$) gerilme değerleri elde edilir ve Gerilme-Uzama grafiği oluşturulur.



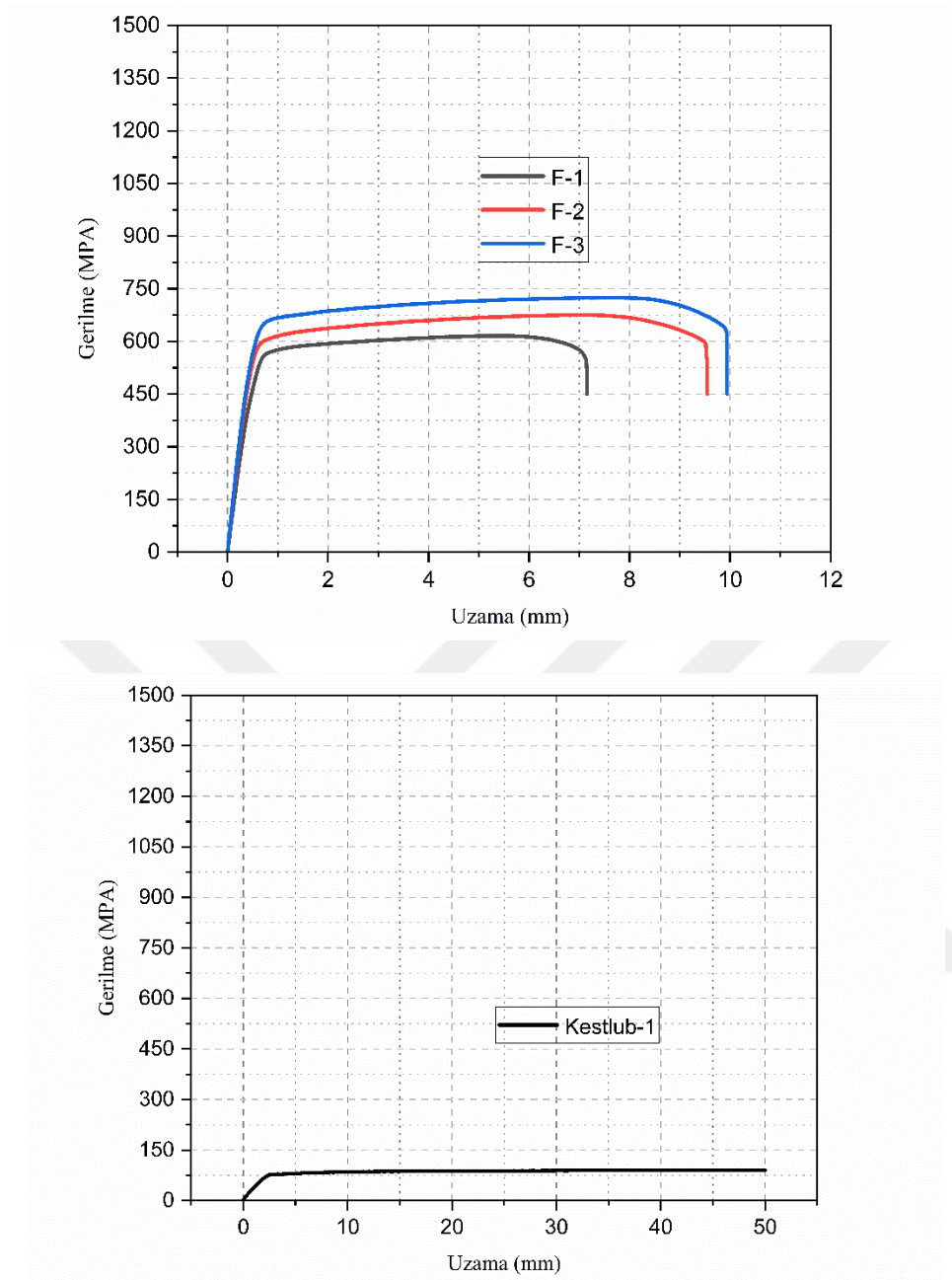
Şekil 5.9. 1050- 4140 Çekme grafikleri

Yapılan çekme deneyleri sonucunda hazırlanan grafikler aşağıda verilmiştir. Grafiklerde de görüldüğü üzere her deney numunesine özgü karşılaştırma grafikleri oluşturulmuştur. Deneyi yapılan tüm malzemelerin karşılaştırma grafiği ise sonuçlar bölümünde yorumlanarak paylaşılacaktır.



Şekil 5.10. 8620- Alüminyum bronz çökme grafikleri

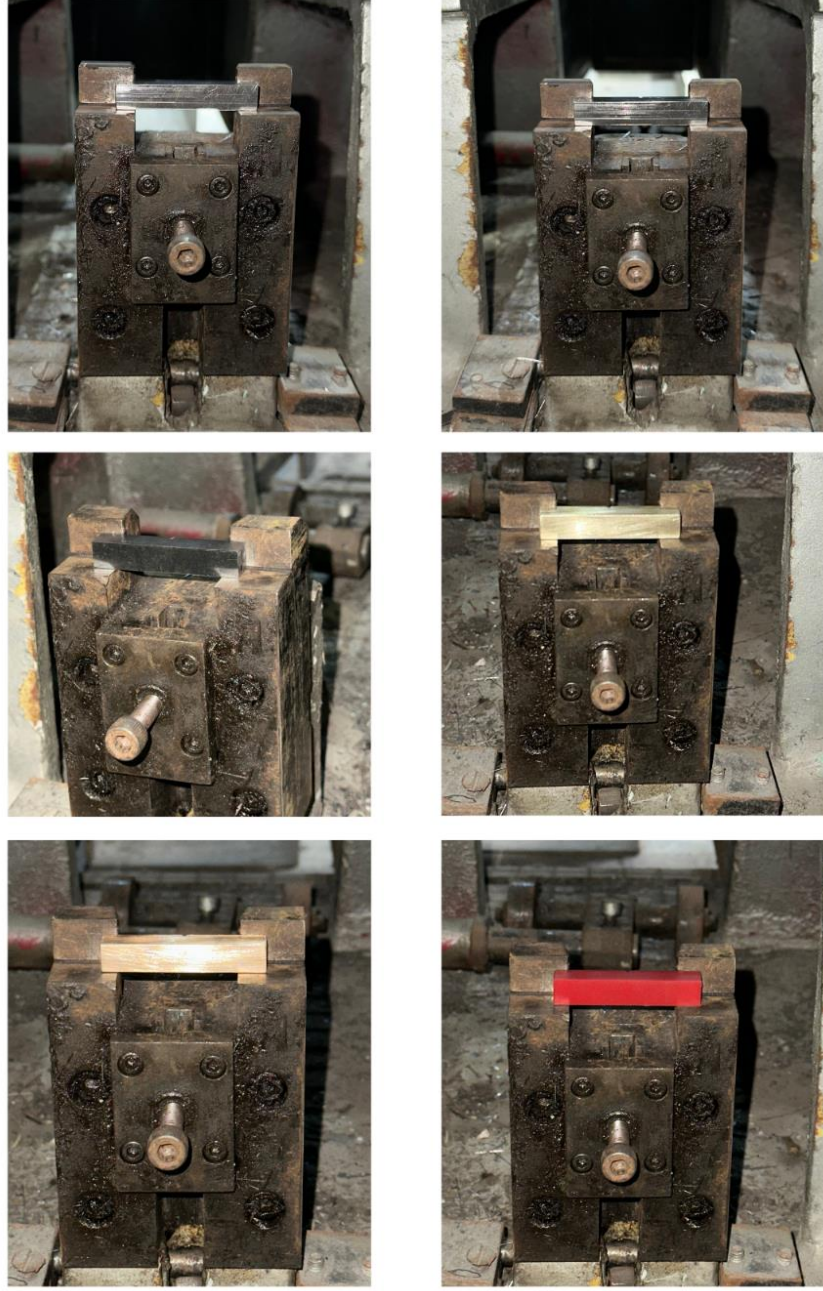
Malzemenin Elastiklik Modülü, akma mukavemeti, kopma dayanımı gibi mukavemet değerleri yanı sıra kopmaz uzaması, kopma büzülmesi ve tokluk gibi süneklik değerleri de çökme deneyi sonucunda belirlenebilir. Bu  zellikler, malzeme türüne, malzemenin kimyasal bileşimine ve metalografik yapısına bağlı olarak değişkenlik gösterir.



Şekil 5.11. Fosfor bronzu- kestlub çekme grafikleri

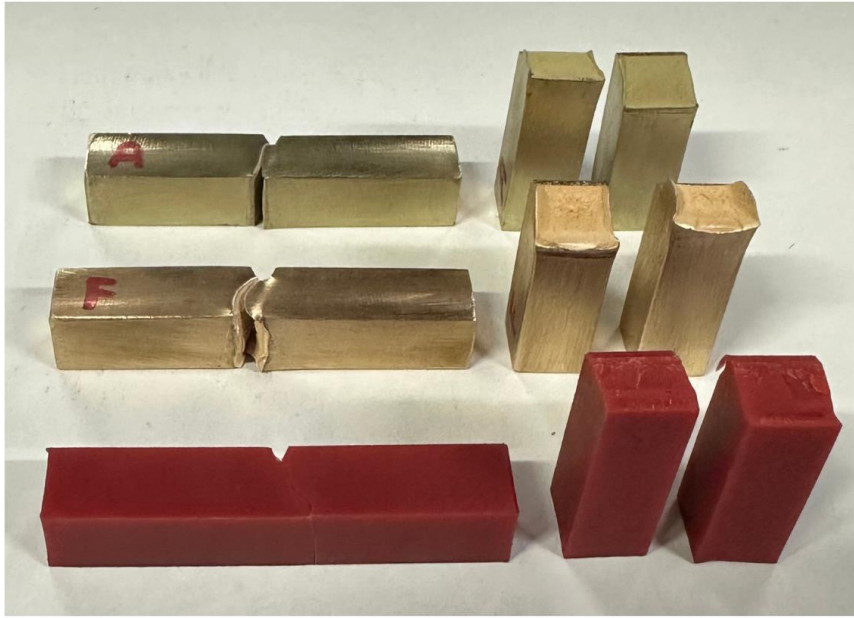
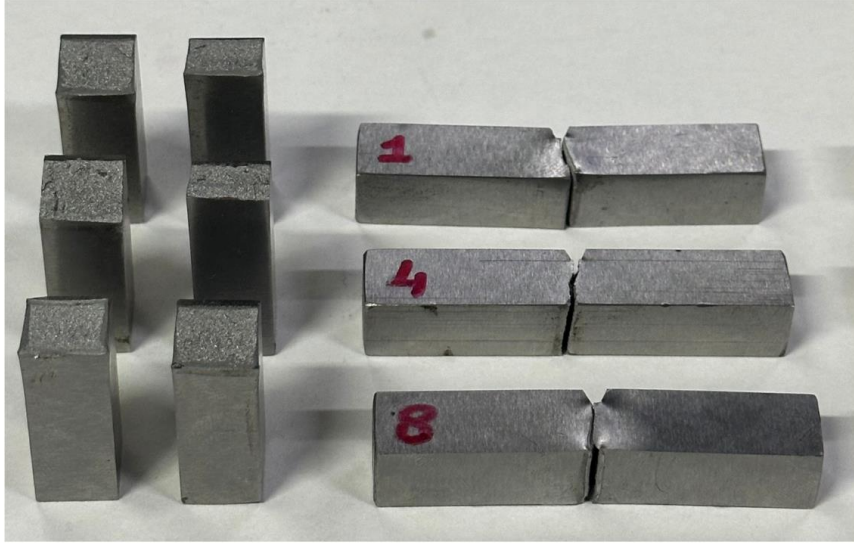
5.3. V-Çentik Darbe Testi

Darbe mukavemeti, bir malzemenin şok ve darbe enerjisini kırılmadan emebilme kapasitesini belirtir. Yüksek darbe dayanımına sahip metaller, bu enerjiyi etkili bir şekilde absorbe edebilirler. Metallerin darbe enerjisi, genellikle sıcaklığa bağlı olarak değişiklik gösterir. Bu nedenle, oda sıcaklığında yapılan darbe testleri için genellikle 23°C'lik bir test sıcaklığı tercih edilir. Deneysel çalışma kapsamında elde edilen test merkezindeki görüntüler Şekil 5.12'de gösterilmektedir.



Şekil 5.12. V-çentik test merkezinden görüntüler

Deney sonrası kopan yüzeylerin bir araya getirilmesiyle oluşturulan görseller Şekil 5.13'te verilmiştir. Kırılan yüzeylerde oluşan çatlakların ilerleyişine baktığımızda malzemelerin davranışları hakkında yorum yapabilmek mümkündür. Yine Şekil 5.13'e baktığımızda kopma yüzeylerinden malzemelerin sünek mi, gevrek mi davranış sergilediğini belirleyebiliriz.



Şekil 5.13. Kırılma sonrası

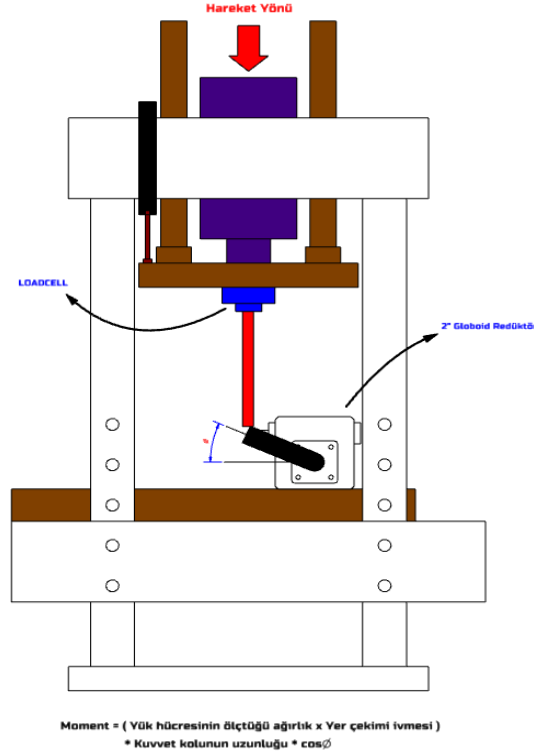
Aslında V-çentik testi malzemelerin gerçek anlamda dinamik davranışlarını sembolize etmektedir. Dişli mekanizmalarını göz önüne aldığımızda genellikle ani kuvvet değişimlerine, yüklemelere maruz kalmaktadırlar. Globoid dişli için alternatif malzemelerden beklentimiz ise bu ani şoklara karşı sünek bir davranış sergileyebilmesidir. Üzerinde yük taşıma potansiyeli düşük malzemeler ise elle çevrimin yapıldığı uygulamalarda tercih edilecektir. Tablo 5.3'te deney sırasında alınan verilerden oluşturulan sonuçlar yer almaktadır. Aynı malzemeye ait numuneler arasında tutarlılık olduğundan iki defa test yapmak uygun görülmüştür.

Tablo 5.3. V-çentik deney sonuçları

Deney Cihazı / Numune	Brooks		
	Numune -1	Numune -2	Ort.
AISI 8620	32	32	32
AISI 4140	13	19	16
AISI 1050	23	24	23.5
Fosfor Bronzu	60	60	60
Alüminyum Bronzu	29	29	29
Kestlub	2	2	2
Notlar	Tablo değerleri Joule (J) ile ifade edilmiştir.		

5.4. Kırılma Testi

Presin kullanıldığı düzenekte ise standart ürün olan globoid redüktör pres tabanına, doğru bir ölçüm için tercih edilen yük hücresi ise presin hareketli kısmına gerekli bağlama elemanları ile bağlanmıştır. Redüktör çıkışına 500mm'lik kuvvet kolu yerleştirilmiş ve yük hücresiyle kuvvet kolu arasındaki kuvvet aktarımı herhangi bir çelik alaşımıyla oluşturulmuştur. Saniyede 3mm hareket verilen pres zamanla kuvvet kolunu aşağı doğru bastırarak dişli profillerini zorlamaya ve belirli bir ağırlık altında kırılmasına neden olmuştur. Bazı dişli alaşımlarında kuvvet koluna belirli bir açı vermek durumunda kalınmıştır. Bunun nedeni ise sıfır konumuna alınan kuvvet kolunun tabana çok yakın olması ve uygun ağırlık ölçülemeden kolun pres tabanına temas etmesidir.



Şekil 1.14. Globoid dişliyi kırma mekanizması

Deneyde kullanılan altı farklı özellikteki malzemeler uygulanan kuvvet altında farklı durumlar sergilemiştir. Bunlardan bahsetmek gerekirse ilk durumda dişli profilleri kırılarak gerekli veriler elde edilmiş, ikinci durumda dişli profilleri bozulmaya başlamış ve son durum olarak ise yük altında ürünün kendine özgü kama sisteminin dayanamaması ve kamanın kesilmesi sonucu kuvvet kolunun boşa düşmesidir. Kamaların kesildiği noktadaki veriler bu aşama için kullanılabilir bir veri olduğundan ve yapıyı bozduğundan değerlendirme sonuçlarına alınmıştır.



Şekil 5.15. Globoid dişli formlarının kırılma yapıları

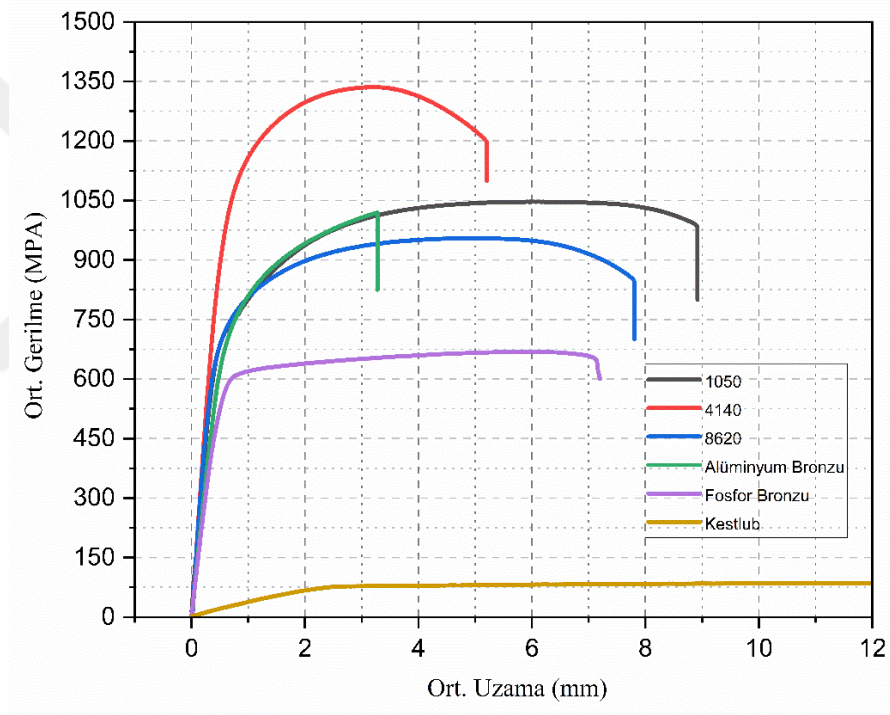
Tablo 5.4. Kırılma deney sonuçları

Deney Verileri / Numune	Tork Kolunun Uzunluğu	Tork Kolunun Açısı	Basınç Değeri Dikey (kg)	Kırılma Torku (Nm)
AISI 8620	0,5m	30deg	500	2165
AISI 4140	0,5m	30deg	~600	~2598
AISI 1050	0,5m	15deg	430	2076
Fosfor Bronzu	0,5m	30deg	460	1992
Alüminyum Bronzu	0,5m	15deg	370	1786
Kestlub	0,5m	0deg	139	695
Notlar	Saniyede 3mm ilerleme ile ölçülmüş verilerdir.			



6. SONUÇ VE ÖNERİLER

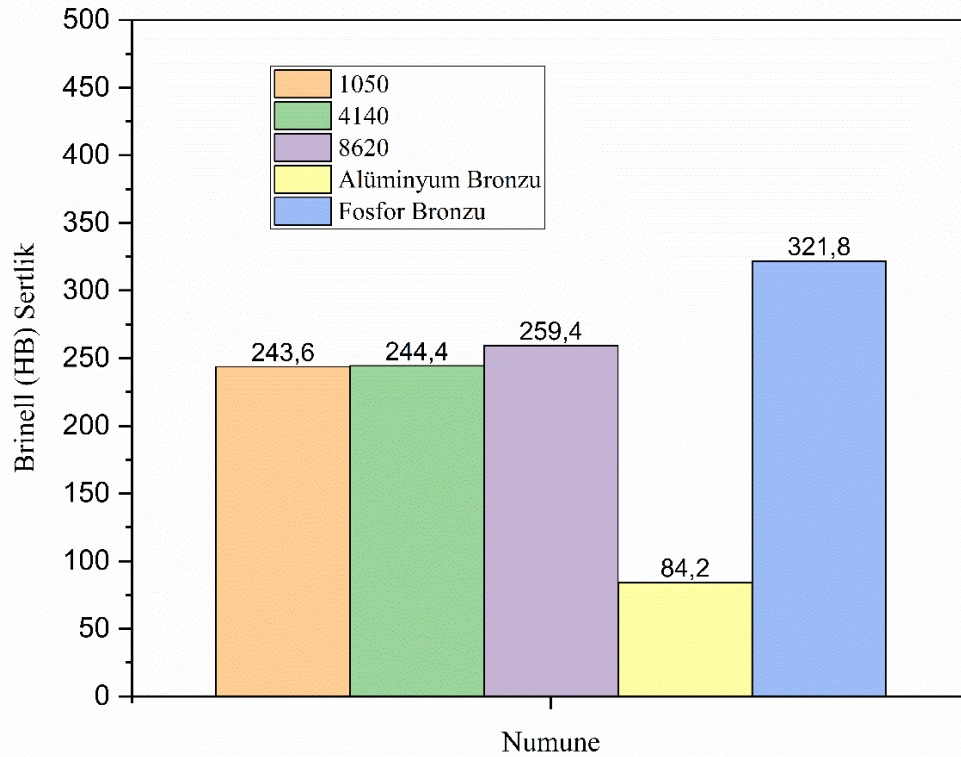
Tezin ilk amacı olan istenilen kırılma torkunun sağlanabilmesi için gerekli ön koşul olan diğer deneysel yöntemleri değerlendirmek gerekir. Deneyi yapılan 6 farklı malzemenin 1 tanesi güncel olarak kullanılan dişli malzemesidir bu sebeple kıyaslama yapmak daha kolay olmuştur. Statik koşullar altında yapılan kırılma testi için en büyük yardımcı diğer deneysel yöntem çekme testi sonucu elde edilen gerilme-uzama grafikleridir.



Şekil 6.1. Çekme testi karşılaştırma grafiği

Şekil 6.1'i incelediğimizde şu yorumu yapmak yanlış olmayacaktır. Sonsuz dişli mekanizmalarından beklentimiz üzerinde gerekli görülen tork değerlerini taşıyabilmesidir. Kestlub malzeme düşük taşıma torkları nedeniyle kullanıma uygun olmadığını göstermektedir. Ancak elle çevrimlerin tercih edildiği uygulamalarda çözüm olabilmektedir. Verilen grafikte düşük gerilmelere sahip malzemelerde kırılma testi esnasında yapılan düzenli ağırlık yüklemeleri sonucunda aniden kırılma meydana gelmiştir.

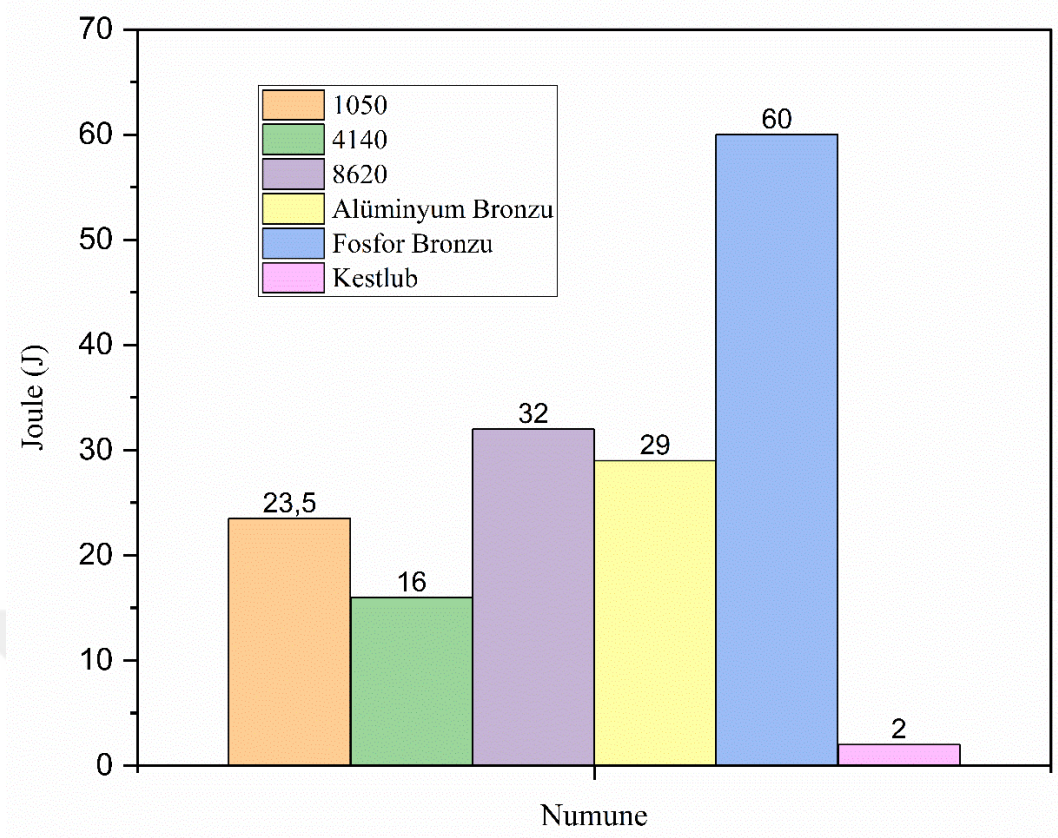
Sertlik, malzemelerin plastik deformasyona karşı gösterdiği direnç olarak tanımlanmaktaydı. Redüktörlerin yüksek torklar altında kırılması durumunda zarar göreceğ malzemenin dişli olmasını isteriz. Sonsuz dişli mekanizmalarında dişliler karşılık vidasıyla çalışmaktadır. Bu sebeple ıslah edilmiş 4140'tan üretilen vida sertlik değerinden daha düşük olmasını bekleriz. Maksimum 40 Rockwell (375 HB) olarak üretilen vida malzemesine kıyasla bu aşamada seçilen malzemelerin hepsi uygun kabul edilebilir.



Şekil 6.2. Sertlik testi karşılaştırma grafiği

V-çentik testi malzemelerin gerçek anlamda dinamik davranışlarını sembolize etmektedir. Dişli mekanizmaları göz önüne aldığımızda genellikle ilk anda motor tarafından ani yüklemelere maruz kalmaktadırlar.

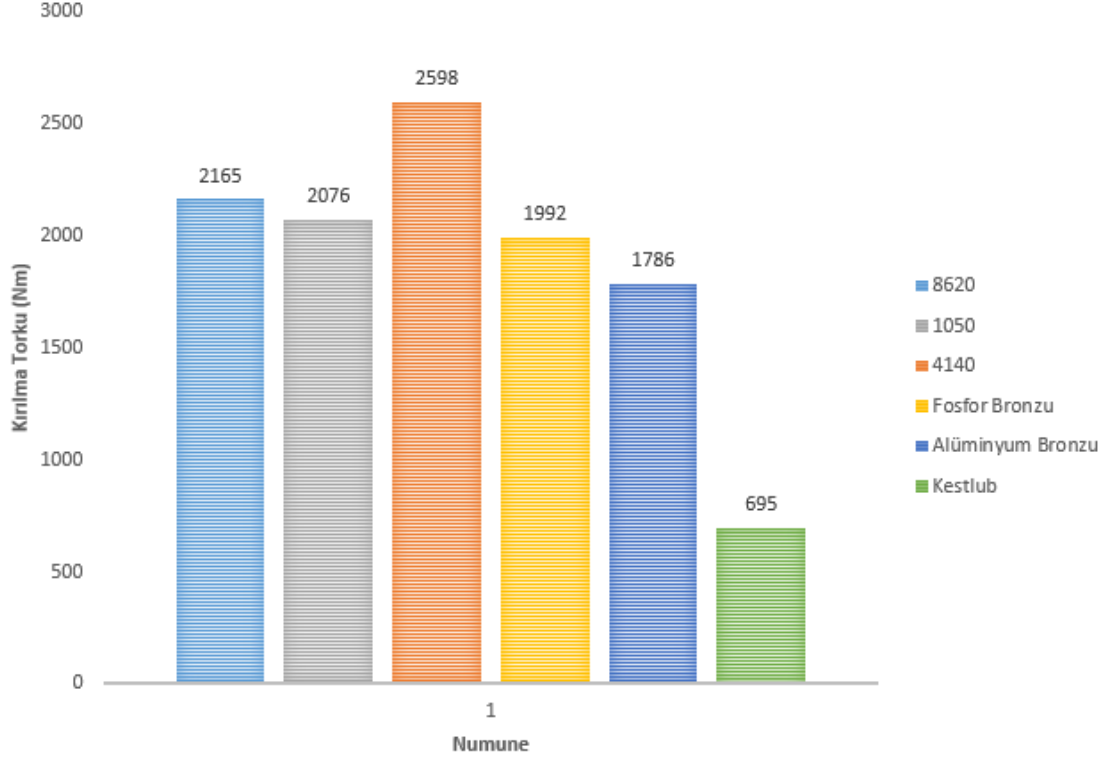
Globoid dişli için alternatif malzemelerden beklentimiz ise bu ani şoklara karşı sünek bir davranış sergileyebilmesidir. Şekil 6.3'te malzemelerin normalize halde üzerlerinde tutabildiği yük görülmüş kestlub alaşımının motorlu uygulamalar için kullanılamayacağı kararına varılmıştır.



Şekil 6.3. V-çentik testi karşılaştırma grafiği

Bu tez kapsamında asıl sonucu belirleyecek olan kırılma testinde düzgün verilerin elde edilebilmesi için en uygun düzenek oluşturulmuş ve düzeneğin el verdiği kadarıyla deneysel sonuçlar elde edilmiştir. Asıl amaç olarak dişliyi kırma konusunda yüksek torklara çıkılmış ancak dişli setini emniyette tutmak için ürüne özgü kullanılan kama sisteminin belirli ağırlıklar altında kesilmesinden dolayı bu noktadaki tork değerleri değerlendirmeye alınmıştır.

Özellikle çelik malzemelerinde karşılaşılan bu durum için çıkış milinde kullanılan kama sayısının artırılması ya da kama genişliklerinin değiştirilmesi çözüm olacaktır.



Şekil 6.4. Kırılma testi karşılaştırma grafiği

Şekil 6.4'te görüldüğü üzere asıl dişli malzemesinden daha ucuz ve daha mukavemetli dört malzeme bulunmuş ve deneysel verilerle desteklenmiştir. Aynı zamanda bu malzemelerin tedarik süreleri oldukça kısadır. Bir diğer önemli özellikte dişli formunu verdiğimiz özel kesicilerle rahatlıkla işlenebiliyor olmasıdır. Çelik malzemeler özellikle ısıtılma işlemi yapılmadan deneye alınmış nominal koşullar altındaki davranışları gözlemlenmiştir.

KAYNAKLAR

- [1] Avcıl, Ö. (2006). Dişli Çarkların Standartlara Göre Hesaplanması ve Bilgisayar Destekli Tasarımla Kontrolü [Yüksek Lisans Tezi]. Yıldız Teknik Üniversitesi
- [2] Mechtekno (2022, 4 Şubat). Dişli Çeşitleri ve Kullanım Alanları <https://mechtekno.com/disli-cesitleri-ve-kullanim-alanlari/> adresinden 10 Temmuz 2023 tarihinde alınmıştır.
- [3] Enka (2020, 10 Temmuz). İç Dişli ile İlgili Bilgiler <http://www.enkadisli.com/ic-disli.html> adresinden 12 Temmuz 2023 tarihinde alınmıştır.
- [4] Enka (2020, 10 Temmuz). Konik Dişli-Konik Çarkları ile İlgili Bilgiler <http://www.enkadisli.com/konik-disli.html> adresinden 16 Temmuz 2023 tarihinde alınmıştır.
- [5] Ateş, A. (2013). Önceliği kalite olanlar için GLOBOID Çözümler... TurkRED HT Serisi. *Reduktordergisi*, Sayı 10, 54-55. www.reduktordergisi.com
- [6] Kurt, R. (2015). Metal ve Makine Tabloları El Kitabı Bolokur. Teknik Yayıncılık A.Ş.
- [7] Aydınlar (2019, 18 Haziran). Fosfor Bronz <https://aydinlarmakinametal.com.tr/urunler/demir-disi-metaller/fosfor-bronz/> adresinden 20 Temmuz 2023 tarihinde alınmıştır.
- [8] Teknikport (2012, 17 Şubat). Çelikler Hakkında <https://www.teknikport.com/2012/02/celik/> adresinden 26 Temmuz 2023 tarihinde alınmıştır.
- [9] Egeçel Metal (2019, 8 Eylül). Alaşımli Çelikler <https://www.egecel.com.tr/teknik-bilgiler/demir-karbon-alasimlari-ve-diger-teknik-bilgiler/alasimli-celikler> adresinden 25 Temmuz 2023 tarihinde alınmıştır.
- [10] Bimeks Çelik (2020, 10 Ağustos). Alaşımli Çelikler <https://www.bimekscecik.com/tr/HaberDetay/alasimli-celikler> adresinden 22 Temmuz 2023 tarihinde alınmıştır.
- [11] Sağlam Metal (2021, 5 Mayıs). 1.6523 (AISI 8620, 20NiCrMo2) Sementasyon Çeliği <https://www.saglammetal.com/tr/celik/diger-celikler/16523-aisi-8620-20nicrmo2-sementasyon-celigi> adresinden 21 Temmuz 2023 tarihinde alınmıştır.
- [12] Sağlam Metal (2021, 10 Mayıs). 1.7225 (AISI 4140) İslah Çeliği <https://www.saglammetal.com/tr/celik/diger-celikler/17225-42crmo4-islah-celigi> adresinden 21 Temmuz 2023 tarihinde alınmıştır.
- [13] Sağlam Metal (2021, 15 Mayıs). SAE 1050 (C45) İmalat Çeliği <https://www.saglammetal.com/tr/celik/diger-celikler/sae-1050-c45-imalat-celigi> adresinden 21 Temmuz 2023 tarihinde alınmıştır.

- [14] İstanbul Bronz (2020, 4 Nisan). Kestamit/Döküm Polyamid <https://www.istanbulbronz.com/kestamit-dokum-polyamid/> adresinden 7 Ağustos 2023 tarihinde alınmıştır.
- [15] Polikim (2018, 7 Ekim). Kestlub <https://kestamid.com.tr/d/kestlub> adresinden 10 Ağustos 2023 tarihinde alınmıştır.
- [16] Uve (2023, 11 Nisan). Çekme Test Cihazı Nedir? <https://uve.com.tr/blog/cekme-testi-nedir/> adresinden 12 Ağustos 2023 tarihinde alınmıştır.
- [17] Zwick (2012, 10 Mayıs). ASTM E8 Metalik Malzemelerin Çekme Testi için ASTM E8M Standart Test Yöntemi <https://www.zwickroell.com/tr/sektoerler/metal/norm-metal/cekme-testi-metal-astm-e8/> adresinden 15 Ağustos 2023 tarihinde alınmıştır.
- [18] Özgürlük Y. (2020, 15 Nisan). Sertlik Deney Föyü <https://cdn.bartın.edu.tr/metalurji/d7ee7cd9-f063-4669-8e1c-393503ed6ffb/sertlik.pdf> adresinden 17 Ağustos 2023 tarihinde alınmıştır.
- [19] Bartın Edu (2022, 18 Mayıs). Çentik Darbe Deneyi <https://cdn.bartın.edu.tr/makine/68df7d9c9f6ecb4700d81de4ba2b2163/darbedeneyleri.pdf> adresinden 18 Ağustos 2023 tarihinde alınmıştır.
- [20] Zwick (2019, 25 Temmuz). ISO 6892-1 Metalin oda sıcaklığında çekme testi <https://www.zwickroell.com/tr/sektoerler/metal/norm-metal/cekme-testi-iso-6892-1/> adresinden 20 Ağustos 2023 tarihinde alınmıştır.
- [21] Tekin A. (2016, 3 Ekim). XRD https://www.atum.itu.edu.tr/tr/?page_id=309#:~:text=XRD adresinden 22 Ağustos 2023 tarihinde alınmıştır.

EKLER

EK A. Tüm deney numunelerine ait çekme görüntüleri

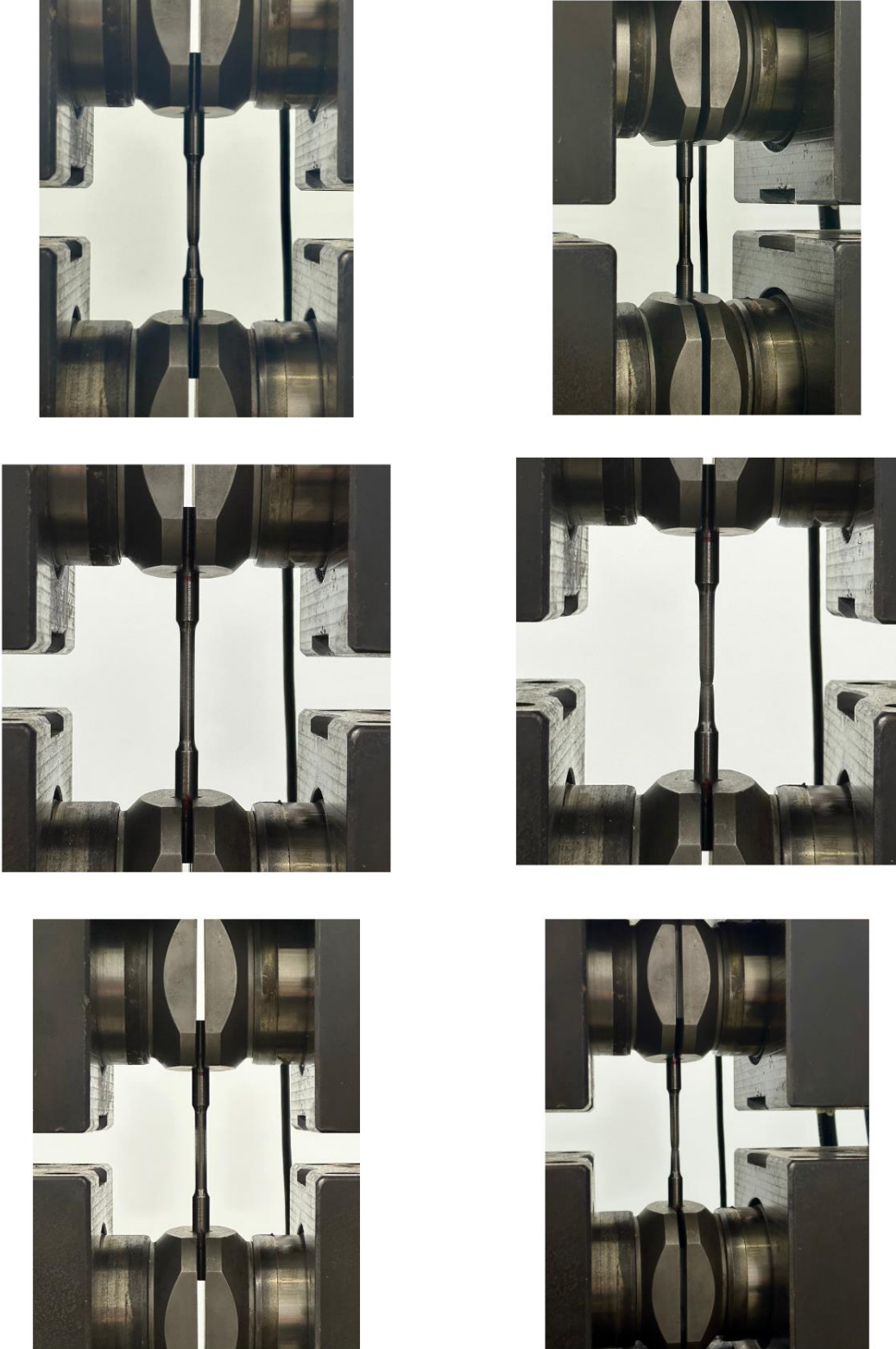
EK B. Kuvvet-Uzama ve Gerilme-Uzama grafikleri

EK C. V-çentik numunelerinin kırılma sonrası görüntüleri

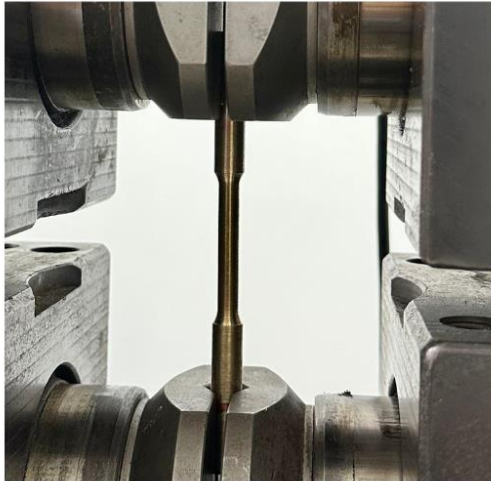
EK D. Kırılma deneyi sonrası görüntüler



EK A



Şekil A. 1. Çelik numunelerine ait test merkezinden görüntüler

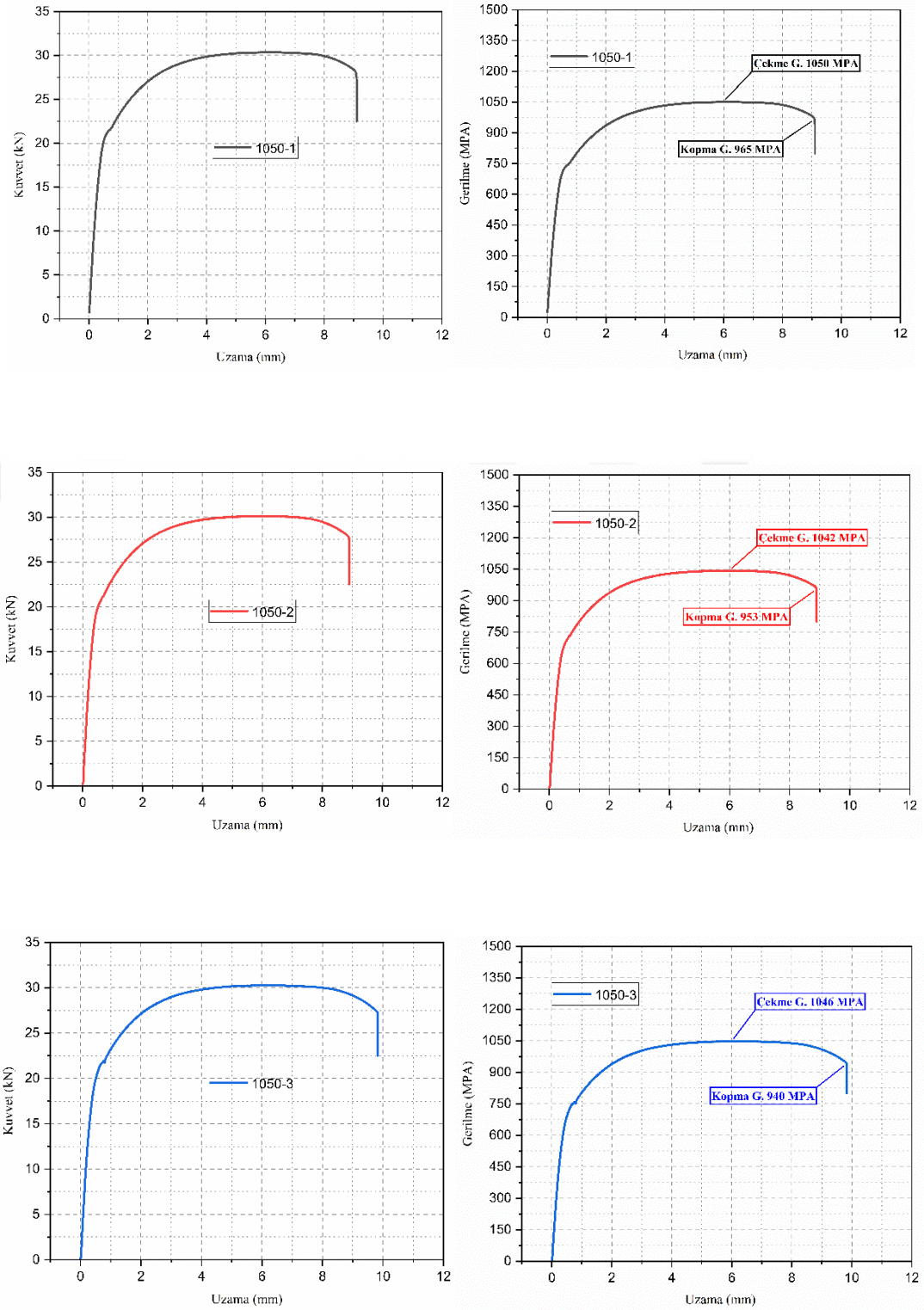


Şekil A. 2. Alüminyum bronzuna ait test merkezinden görüntüler

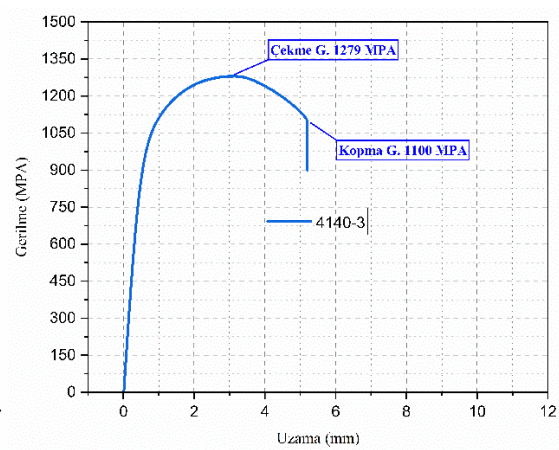
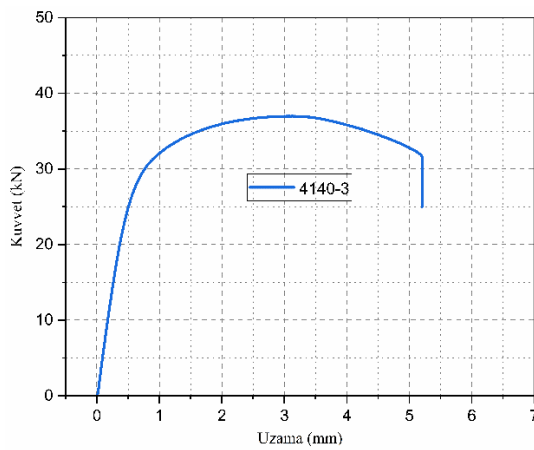
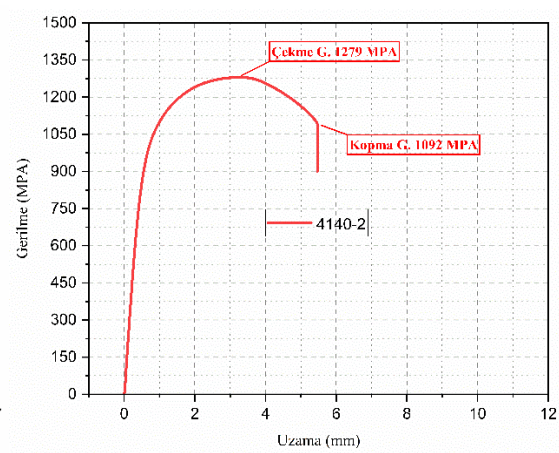
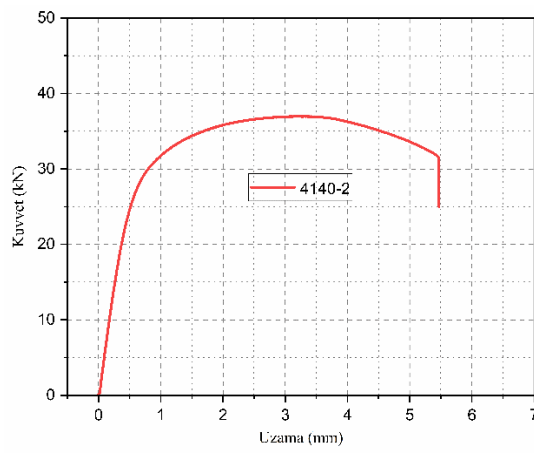
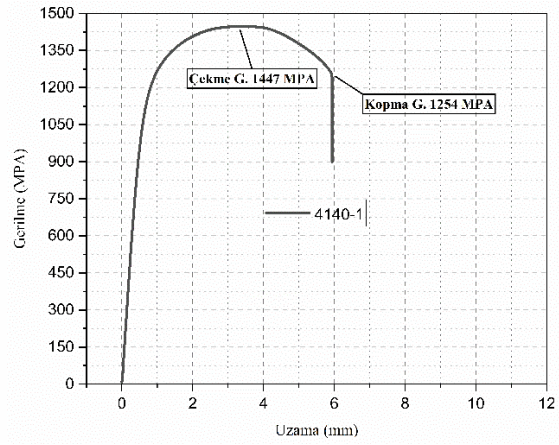
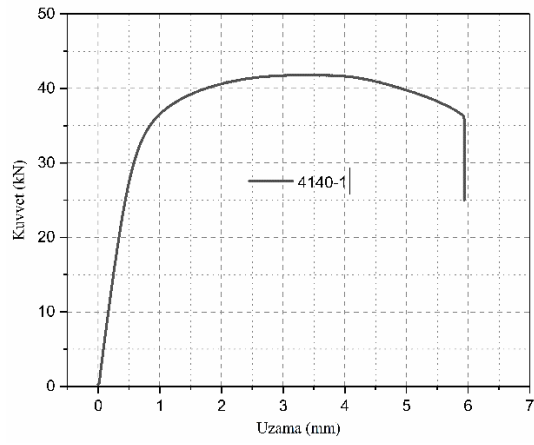


Şekil A. 3. Fosfor bronzuna ait test merkezinden görüntüler

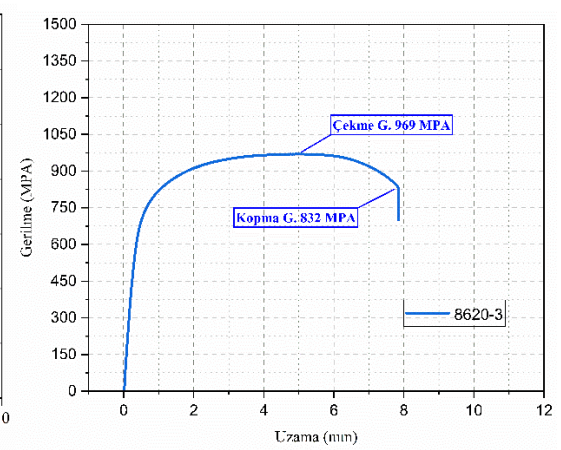
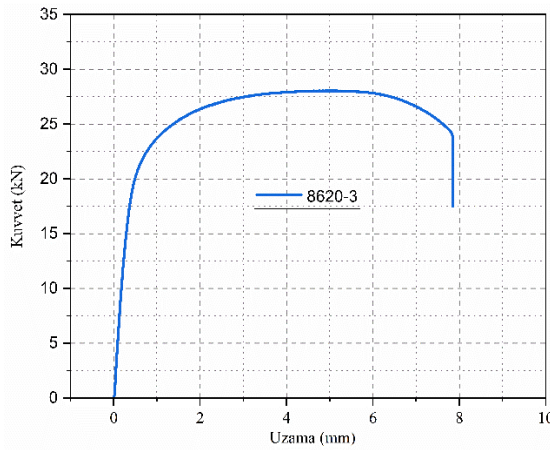
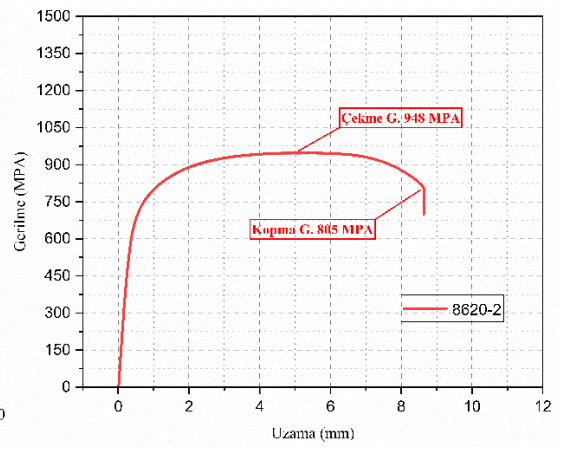
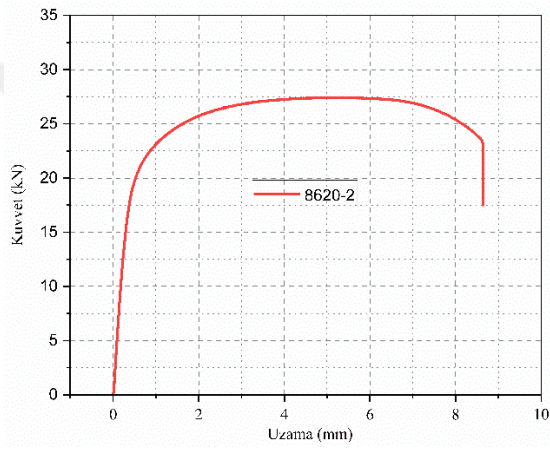
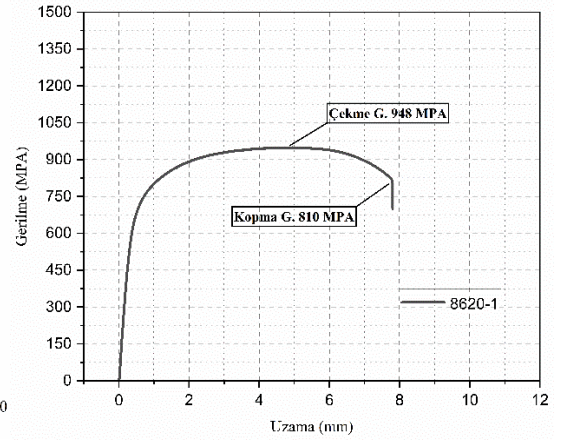
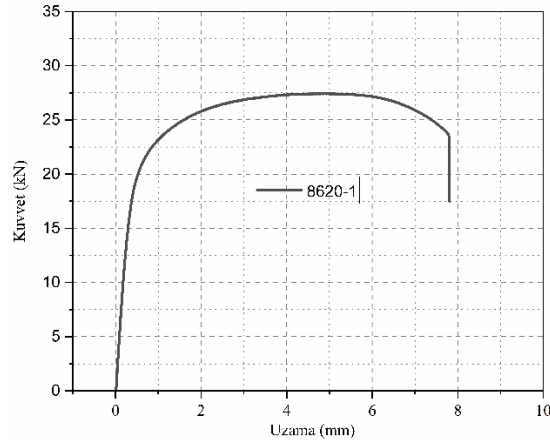
EK B



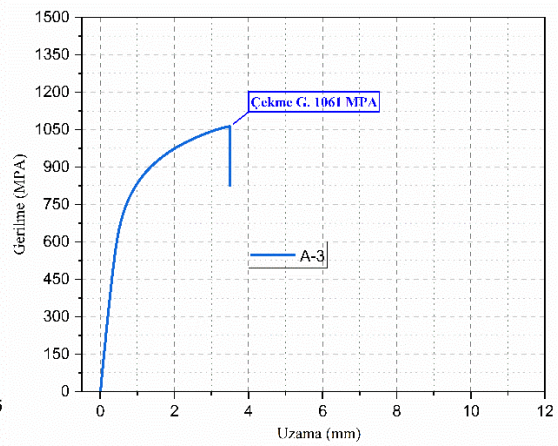
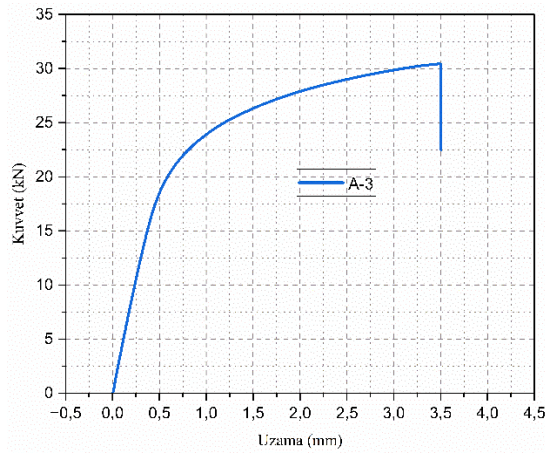
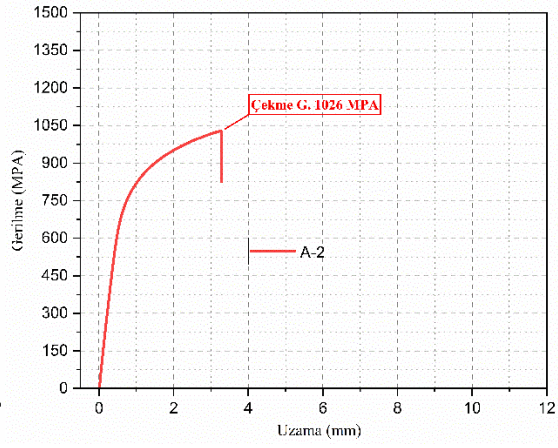
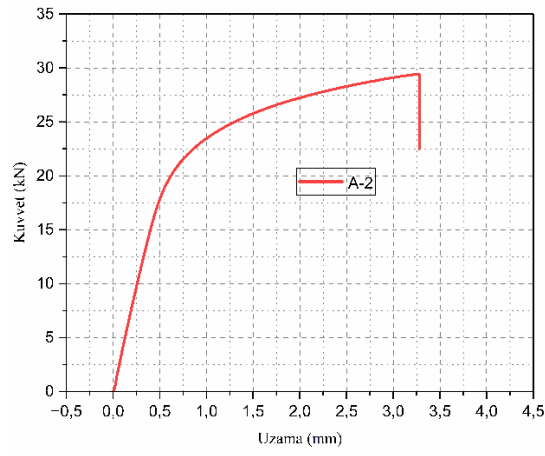
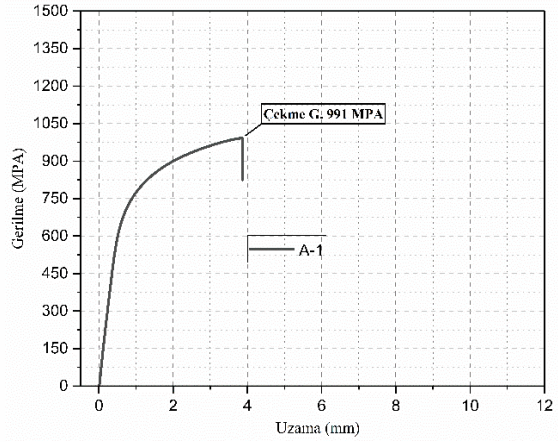
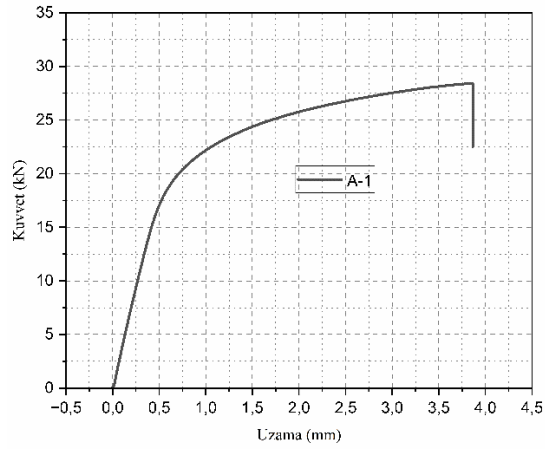
Şekil B. 1. 1050 Grafikleri



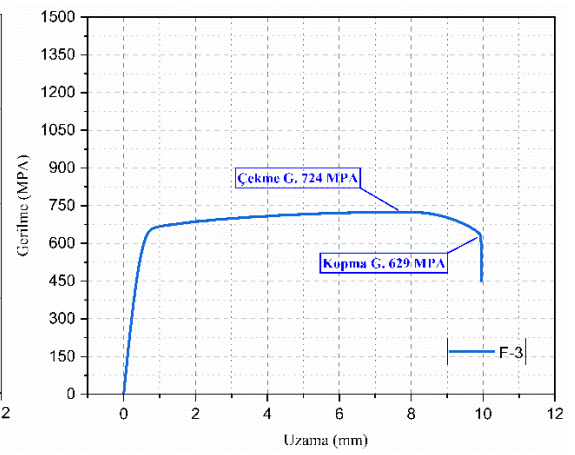
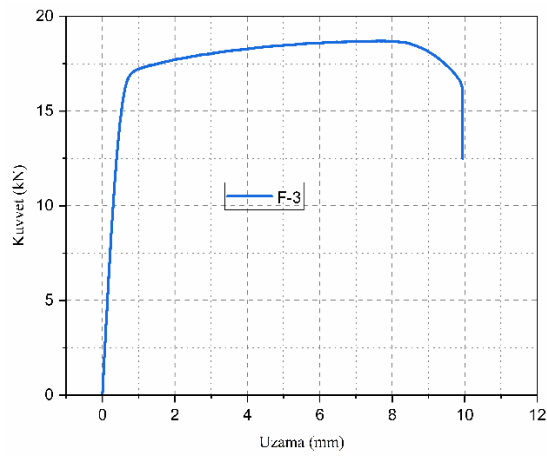
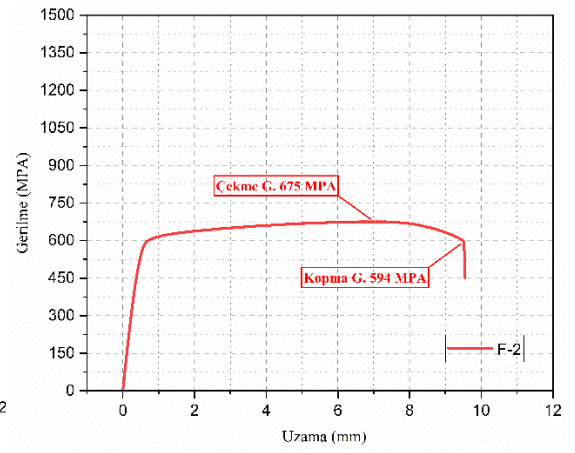
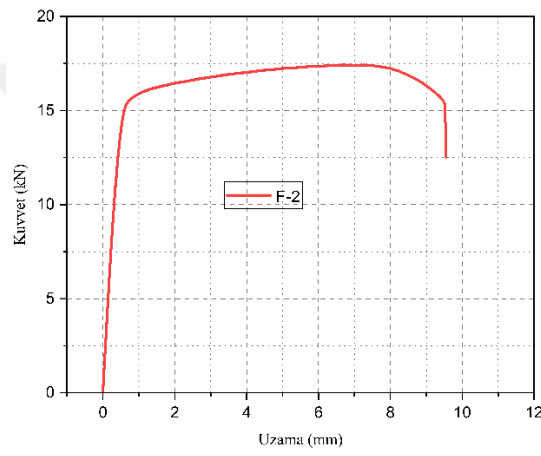
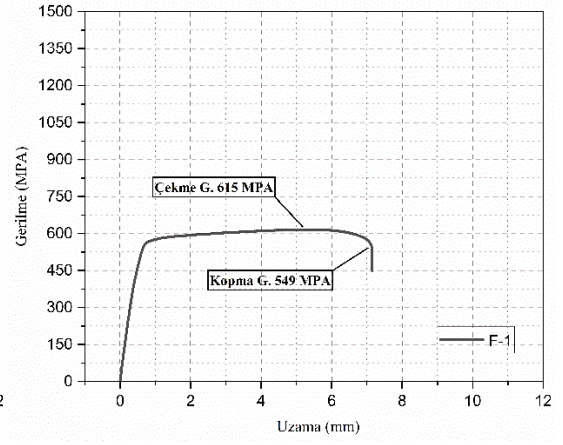
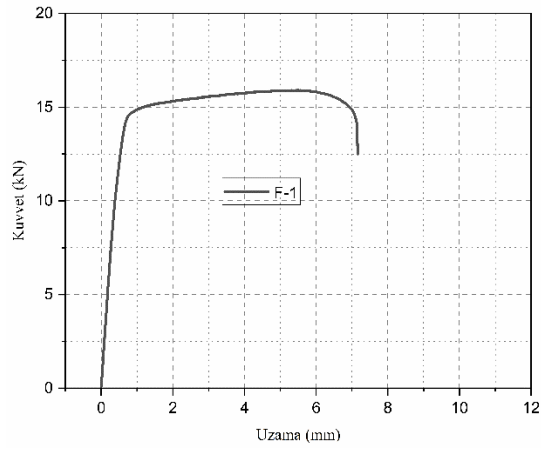
Şekil B. 2. 4140 Grafikleri



Şekil B. 3. 8620 Grafikleri

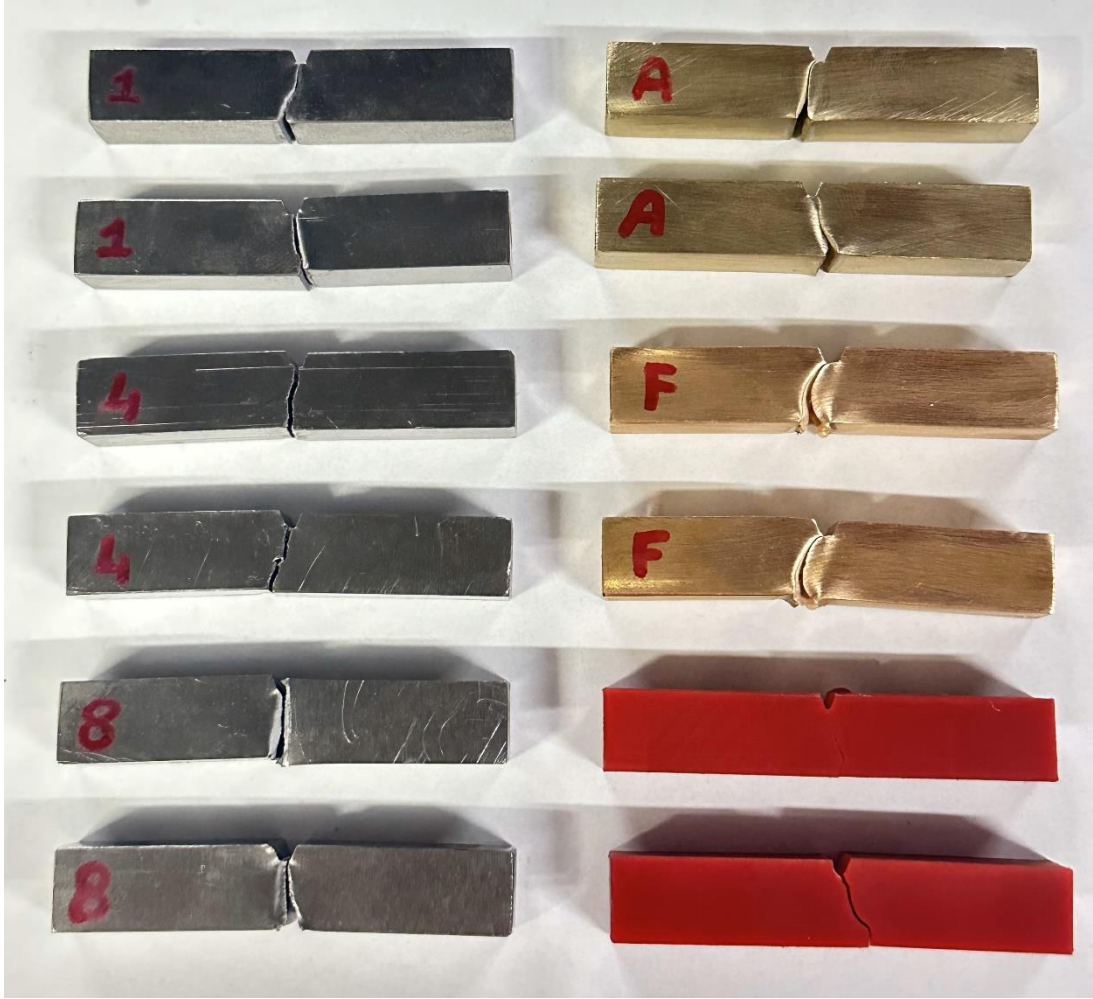


Şekil B. 4. Alüminyum bronzunun grafikleri



Şekil B. 5. Fosfor bronzunun grafikleri

EK C



Şekil C.1. V-çentik testi sonrası

EK D



Şekil D.1. Kırılma testi sonrası



ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad : Mustafa SAĞLAM

ÖĞRENİM DURUMU

- Lisans:** 2018-2021, Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü
- Yükseklisans:** 2021-Devam ediyor, Sakarya Üniversitesi, Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Makine Tasarım ve İmalat Programı

MESLEKİ DENEYİM

- 2022 yılından bu zamana TurkRED Redüktör firmasında Mekanik tasarım mühendisi olarak çalışmaktayım.

TEZDEN TÜRETİLEN ESERLER

- Mustafa S., Osman H.M., (2024, 9-10, Şubat). 7th International Conference on Engineering Sciences. Globoid dişli sistemleri için alternatif dişli malzemelerinin incelenmesi, Ankara Bilim Üniversitesi, Ankara, Turkey.