

**DİŞLİ ÇARKLARDA KIRILMA DAVRANIŞININ  
DENEYSEL İNCELENMESİ**

**Hasan Ali CİVELEK**



T.C.  
BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

## **DİŞLİ ÇARKLARDA KIRILMA DAVRANIŞININ DENEYSEL İNCELENMESİ**

**Hasan Ali CİVELEK**

0000-0001-5752-6837

Doç. Dr. Fatih KARPAT

0000-0001-8474-7328

(Danışman)

YÜKSEK LİSANS TEZİ  
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA – 2019

## TEZ ONAYI

Hasan Ali CİVELEK tarafından hazırlanan “DİŞLİ ÇARKLARDA KIRILMA DAVRANIŞININ DENEYSEL İNCELENMESİ” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Bursa Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı’nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

**Danışman** : Doç. Dr. Fatih KARPAT  
0000-0001-8474-7328

**Başkan** : Doç. Dr. Fatih KARPAT İmza  
0000-0001-8474-7328  
Bursa Uludağ Üniversitesi,  
Mühendislik Fakültesi,  
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

**Üye** : Prof. Dr. Nurettin YAVUZ İmza  
0000-0002-8670-2438  
Bursa Uludağ Üniversitesi,  
Mühendislik Fakültesi,  
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

**Üye** : Dr. Öğr. Üyesi Celalettin YÜCE İmza  
0000-0003-1387-907X  
Bursa Teknik Üniversitesi,  
Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi,  
Mekatronik Mühendisliği Anabilim Dalı

**Yukarıdaki sonucu onaylarım.**

**Prof. Dr. Hüseyin Aksel EREN**  
**Enstitü Müdürü**  
.././2019

**U.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;**

- tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

**beyan ederim.**

**27/09/2019**

**Hasan Ali CİVELEK**

## ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

### DİŞLİ ÇARKLARDA KIRILMA DAVRANIŞININ DENEYSEL İNCELENMESİ

**Hasan Ali CİVELEK**

Bursa Uludağ Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

**Danışman:** Doç. Dr. Fatih KARPAT

Dişli çarklar günümüzde teknolojinin gün geçtikçe ilerlemesine rağmen halen en yaygın kullanılmakta olan güç aktarım elemanlarıdır. Farklı boyut, form ve malzemelerden imalatı mümkün olduğundan otomotiv, iş makinaları, havacılık, denizcilik, uzay, savunma sanayi gibi birçok sektörde kullanılabilir. Gün geçtikçe teknolojinin de ilerlemesi göz önünde bulundurulacak olursa bu sektörlerde moment, hız ve güç ihtiyacı artış göstermektedir. Bu parametrelerin artması sonucu dişli çarklar üzerindeki dinamik yüklerin de artması söz konusudur. Bu sebeple dişli çarkların tasarımı yapılırken, çalışma esnasında maruz kaldığı darbeler göz önünde bulundurularak darbe direnci dikkatlice belirlenmelidir.

Bu çalışmada, dişli çarklar üzerindeki darbe yüklerini belirlemek için deneysel bir yöntem uygulanmıştır. Deneysel, bu yöntem için tasarlanmış ve üretilmiş olan özel bir dişli darbe test düzeneğinde yapılmıştır. Darbe test düzeneği çalışma prensibi, belirlenebilir bir yükün, belirlenebilir bir yükseklikten, sabitlenmiş dişli çarkın dişi üzerine bırakılması şeklindedir. Bu işlem sonucunda dişli çarkın dişinin kırılması olayı gerçekleşmektedir. Özel bir cihaz yardımı ile kırılma esnasındaki oluşan kuvvet, ivmelenme ve deplasman değerleri ölçülmektedir.

Bu çalışmada simetrik ve asimetric olmak üzere iki ayrı formdaki evolvent dişli çarklar üzerinde deney yapılmış olup diş formunun darbe yüklerine olan etkisi incelenmiştir. Sonuç olarak asimetric evolvent dişli çarkların, simetrik evolvent dişli çarklara göre daha yüksek darbe dayanımı olduğu belirlenmiştir.

Aynı zamanda, bu çalışma 118 M 810 numaralı “Standart ve Asimetric Profilli Dişlilerin Darbe Dayanımlarının Deneysel Olarak İncelenmesi” isimli TÜBİTAK projesi kapsamında gerçekleştirilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Simetrik ve Asimetric Dişli Çarklar, Dişli Darbe Dayanımı, Dinamik Kuvvet, Darbe Test Düzeneği.

**2019, vii + 53 sayfa.**

## ABSTRACT

MSc Thesis

### EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF GEAR CRACK BEHAVIOR

**Hasan Ali CİVELEK**

Bursa Uludağ University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Mechanical Engineering

**Supervisor:** Assoc. Prof. Dr. Fatih KARPAT

Gear wheels are still the most widely used power transmission elements in spite of the progress of technology. Since it is possible to manufacture different sizes, forms and materials, it can be used in many sectors such as automotive, construction machinery, aviation, maritime, space, defence industry. Considering the progress of technology, the need for moment, speed and power increases in these sectors. As a result of these parameters, dynamic loads on the gears are also increased. For this reason, when designing the gear wheels, the impact resistance should be carefully determined by considering the impacts during operation.

In this study, an experimental method was used to determine the impact loads on the gears. The tests were carried out in a special threaded impact tester designed and manufactured for this method. The operating principle of the impact tester is such that a detectable load is deposited from a detectable height onto the tooth of the fixed gear wheel. As a result of this process, the event of tooth breaking of the gear wheel occurs. The force, acceleration and displacement values during fracture are measured with a special device.

In this study, the effects of tooth form on impact loads were investigated on two different gears, symmetrical and asymmetrical. As a result, it is determined that asymmetric gears have higher impact resistance than symmetric gears.

At the same time, this study was carried out within the scope of TÜBİTAK project titled “Experimental Investigation of Impact Strength of Standard and Asymmetric Profile Gears” numbered 118 M 810.

**Key Words:** Symmetrical and Asymmetrical Gear Wheels, Gear Impact Resistance, Dynamic Force, Impact Testing Apparatus.

**2019, vii + 53 pages.**

## TEŞEKKÜR

Bu tez alıőmamın hazırlanması süresince bana her konuda yardımcı olan değerli danışman hocam Do. Dr. Fatih KARPAT 'a teőekkürlerimi sunarım.

Yüksek lisans eğitimimin her aőamasında görüő ve yönlendirmelerinden faydalandığım değerli hocam Doç. Dr. Gültekin KARADERE' ye teőekkürlerimi sunarım.

Tezin hem deney hem de yazım aőamasında büyük destekleri olan Arő. Gör. Oğuz DOğAN' a, Arő. Gör. Tufan Gürkan YILMAZ' a, Dr. Öğr. Üyesi Celalettin YÜCE' ye, Onur Can KALAY' a, Emirhan KARTAL' a, Kıvanç TURAN' a da teőekkürlerimi sunarım.

Bu alıőma 118 M 810 numaralı “Standart ve Asimetrik Profilli Dişlilerin Darbe Dayanımlarının Deneysel Olarak İncelenmesi” isimli TÜBİTAK projesi kapsamında gerçekleştirilmiştir. Bu nedenle TÜBİTAK' a teőekkürlerimi sunarım.

Bugünlere gelmemde büyük emeği olan aileme ve eğitim hayatım boyunca emeklerini esirgemeyen tüm hocalarıma da teőekkürlerimi sunarım.

Hasan Ali CİVELEK

27/09/2019

## İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	v
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	vii
1. GİRİŞ.....	1
2. KURAMSAL TEMELLER ve KAYNAK ARAŞTIRMASI.....	3
2.1. Dişli Çarklar ve Dişli Çarkların Sınıflandırılması.....	3
2.2. Simetrik ve Asimetrik Evolvent Dişli Çarklar ile İlgili Yapılmış Nümerik Çalışmalar.....	5
2.3. Darbe Test Cihazları ile İlgili Yapılmış Olan Çalışmalar.....	8
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	11
3.1. Evolvent Dişli Çarkların Yapısı ve Özellikleri.....	11
3.1.1. Evolvent düz dişli çarkların geometrisi ve boyutlandırılması.....	11
3.1.2. Profili kaydırılmış evolvent düz dişli çarkların geometrisi ve boyutlandırılması.....	13
3.1.3. Asimetrik evolvent düz dişli çarkların özellikleri.....	14
3.1.4. Evolvent düz dişli çarkların imalatı.....	15
3.2. Dişli Darbe Test Cihazının Mekanik Yapısı ve Çalışma Prensibi.....	16
3.2.1. Dişli darbe test cihazının mekanik yapısı.....	19
3.2.2. Dişli darbe test cihazı çalışma prensibi.....	29
4. BULGULAR ve TARTIŞMA.....	32
4.1. Statik Evolvent Dişli Çarkların Deney Sonuçları.....	32
4.2. Asimetrik Evolvent Dişli Çarkların Kavrama Açısı 20° Olan Yüzeyine Darbe Uygulanarak Yapılan Deney Sonuçları.....	39
4.3. Asimetrik Evolvent Dişli Çarkların Kavrama Açısı 30° Olan Yüzeyine Darbe Uygulanarak Yapılan Deney Sonuçları.....	44
4.4. Deneyler Sonucu Elde Edilen Değerlerin Karşılaştırılması.....	47
5.SONUÇ.....	49
KAYNAKLAR.....	51
ÖZ GEÇMİŞ.....	53



## ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 3.1. Düz dişli çarkın temel boyutları.....	12
Şekil 3.2. Profil kaydırma uygulamış diş profilleri.....	13
Şekil 3.3. CATIA' da tasarlanmış asimetrik düz dişli çark.....	14
Şekil 3.4. Evolvent eğrisinin oluşumu.....	15
Şekil 3.5. Dişli darbe test cihazı bilgisayar tasarımı.....	17
Şekil 3.6. Dişli darbe test cihazı imal edilmiş hali.....	18
Şekil 3.7. Yük taşıma mekanizması.....	20
Şekil 3.8. Yük bırakma mekanizması.....	21
Şekil 3.9. Yük mekanizması.....	22
Şekil 3.10. Kırıcı uç bilgisayar tasarımı.....	23
Şekil 3.11. Kırıcı uç imal edilmiş hali.....	24
Şekil 3.12. Fikstür kısım.....	25
Şekil 3.13. Deney numunesinin sabitlenmiş olduğu fikstür kısım.....	26
Şekil 3.14. Kremayer dişli yan görünüş.....	27
Şekil 3.15. Kremayer dişli üst görünüş.....	28
Şekil 4.1. Simetrik evolvent dişli çark ile 50 cm' den yapılan 1. deney.....	33
Şekil 4.2. Simetrik evolvent dişli çark ile 50 cm' den yapılan 2. deney.....	34
Şekil 4.3. Simetrik evolvent dişli çark ile 50 cm' den yapılan 3. dene.....	34
Şekil 4.4. 50 cm yükseklikten yapılan deney sonucu kırılan diş görselleri (a) Deney 1, (b) Deney 2, (c) Deney 3.....	35
Şekil 4.5. Simetrik evolvent dişli çark ile 60 cm' den yapılan 1. deney.....	36
Şekil 4.6. Simetrik evolvent dişli çark ile 60 cm' den yapılan 2. deney.....	36
Şekil 4.7. Simetrik evolvent dişli çark ile 60 cm' den yapılan 3. deney.....	37
Şekil 4.8. 60 cm yükseklikten yapılan deney sonucu kırılan diş görselleri (a) Deney 1, (b) Deney 2, (c) Deney 3.....	38
Şekil 4.9. 60 cm yükseklikten yapılan deney sonucu kırılan dişli çark görselleri (a) Deney 1, (b) Deney 2, (c) Deney 3.....	39
Şekil 4.10. Asimetrik evolvent dişli çarkın kavrama açısı 20° olan tarafından yapılan 1. deney.....	40
Şekil 4.11. Asimetrik evolvent dişli çarkın kavrama açısı 20° olan tarafından yapılan 2. deney.....	40
Şekil 4.12. Asimetrik evolvent dişli çarkın kavrama açısı 20° olan tarafından yapılan 3. deney.....	41
Şekil 4.13. Kavrama açısı 20° olan yüzeyden yapılan deney sonucu kırılan diş görselleri (a) Deney 1, (b) Deney 2, (c) Deney 3.....	42
Şekil 4.14. Kavrama açısı 20° olan yüzeyden yapılan deney sonucu kırılan dişli çark üst görselleri (a) Deney 1, (b) Deney 2, (c) Deney 3.....	43
Şekil 4.15. Kavrama açısı 20° olan yüzeyden yapılan deney sonucu kırılan dişli çark yan görselleri (a) Deney 1, (b) Deney 2, (c) Deney 3.....	44
Şekil 4.16. Asimetrik evolvent dişli çarkın kavrama açısı 30° olan tarafından yapılan 1. deney.....	45
Şekil 4.17. Asimetrik evolvent dişli çarkın kavrama açısı 30° olan tarafından yapılan 2. deney.....	45

Şekil 4.18. Asimetrik evolvent dişli çarkın kavrama açısı $30^\circ$ olan tarafından yapılan 3. deney.....	46
Şekil 4.19. Kavrama açısı $30^\circ$ olan yüzeyden yapılan deney sonucu kırılan diş görselleri (a) Deney 1, (b) Deney 2, (c) Deney 3 .....	47

## ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 3.1. Deney numunelerinin özellikleri.....	11
Çizelge 4.1. Simetrik evolvent dişli çarklarda yük mekanizması 50 cm' den bırakılarak yapılan 3 deneyin sonucu.....	35
Çizelge 4.2. Simetrik evolvent dişli çarklarda yük mekanizması 60 cm' den bırakılarak yapılan 3 deneyin sonucu.....	37
Çizelge 4.3. Asimetrik evolvent dişli çarkların kavrama açısı 20° olan yüzeyinde darbe uygulanarak yapılan 3 deneyin sonucu.....	41
Çizelge 4.4. Asimetrik evolvent dişli çarkların kavrama açısı 30° olan yüzeyinde darbe uygulanarak yapılan 3 deneyin sonucu.....	46

## 1. GİRİŞ

Dişli çarklar, genel tanım itibariyle makinelerde ve çeşitli konstrüksiyonlarda güç ve hareket aktarımını sağlayan makine elemanlarıdır. Günümüzde teknolojinin gün geçtikçe ilerlemesini de göz önünde bulunduracak olursak halen en yaygın kullanılmakta olan güç aktarım elemanı dişli çarklardır.

Kullanıldıkları yere göre farklı malzemelerden, farklı diş formlarında ve farklı ebatlarda imal edilebilmesi en yaygın güç ve hareket aktarım elemanı olarak kullanımında büyük avantaj sağlamaktadır. Oyuncak, saat ve bisiklet gibi günlük kullanım araçlarımızın yanı sıra otomotiv, iş makinaları, uzay, havacılık, denizcilik ve savunma sanayi gibi birçok sektörde de geniş bir kullanım alanı mevcuttur.

Takdir edilir ki zaman ve hız günümüzün en önemli kavramları haline gelmiştir. Her yapılan işte hızın artması ve zamanın azalması arzu edilmektedir. Teknolojinin gelişmesi ile her araçta olduğu gibi beklenti küçük boyutlarda daha verimli sonuçlar elde edilebilmesidir. Boyutun büyük olması hem ağırlık hem de yer kullanımı konusunda dezavantaj ortaya çıkarmaktadır.

Ağırlığın azaltılıp, hızın arttırılmak istenmesi beraberinde farklı etkenlerin ortaya çıkmasına sebep olur. Dişli çarklar için bu durum sadece hızın artmasıyla sınırlı kalmayıp moment ve güç değerlerinin de artması beklenmektedir. Dişli çarkların hareket aktarımı sırasında üzerindeki hız, güç ve moment değerlerinin artması dişli üzerine etki eden statik yüklerin yanı sıra dinamik yüklerin artmasına aynı zamanda da titreşim ve gürültünün artmasına sebep olur. Dinamik yüklerin artması sonucunda da dişlinin kullanım ömrü ve bununla birlikte süre gelen darbe dayanımı da değişim göstermek durumundadır. İşte bu yüzden ki dişli çarkların tasarımı yapılırken, çalışma esnasında maruz kaldığı yükler göz önünde bulundurularak darbe dayanımı belirlenirken dikkatli olunmalıdır.

Yapılan bu çalışmada deney numunesi olarak belirlenmiş olan simetrik ve asimetric evolvent dişli çarkların darbe dayanımını incelenmiştir. Darbe dayanımını belirlemek için özel tasarlanmış ve imal edilmiş dişli darbe test cihazı kullanılmıştır. Çalışma sonucu olarak deney numunelerinden hangisinin daha yüksek darbe dayanımına sahip olduğu belirlenmiştir.

Çalışmanın kaynak araştırması bölümünde, ilk olarak dişli çarklar hakkında genel bir bilgi verilmiştir. Sonrasında deney numunesi olarak kullanılan simetrik ve asimetric evolvent dişli çarklarla birlikte deney cihazı olarak kullanılan dişli darbe test cihazıyla alakalı literatürde bulunan bilimsel çalışmalar özetlenmiştir. Literatür özeti iki ana başlık altında verilmiştir. İlk kısımda deney numunesi olan simetrik ve asimetric evolvent dişli çarklar üzerinde yapılmış çalışmaların özeti sunulmuş, ikinci kısımda da dişli darbe test cihazı gibi deney numunesi üzerine darbe uygulama prensibiyle çalışan benzer cihazlar ile ilgili yapılmış olan çalışmaların özeti sunulmuştur.

Materyal ve yöntem bölümü 2 ana başlık altında incelenmiştir. İlk kısımda deney numunesi olarak kullanılmış olan evolvent dişli çarkların yapısı ve özelliklerini ele alan genel bir bilgilendirme yapılmış ve simetrik ve asimetric dişli formları hakkında bilgi verilmiştir. İkinci kısımda ise deney çalışmasının yapıldığı dişli darbe test cihazının mekanik yapısını oluşturan mekanizmalar ve cihazın çalışma prensibi ele alınmıştır.

Bulgular bölümünde, deney numunesi simetrik ve asimetric evolvent dişli çarklar üzerinde dişli darbe test cihazıyla yapılmış olan darbe dayanımı deneylerinden elde edilen sonuçlar verilmiştir. Sonuçlar simetrik evolvent dişli çarklar için 1, asimetric evolvent dişli çarklar için ise 2 olmak üzere toplamda 3 ayrı başlık altında incelenmiştir. Elde edilen veriler grafik ve tablolar halinde sunulmuştur.

Sonuç bölümünde ise, yapılan çalışma genel itibariyle ele alınıp, çalışmanın amacı ve bu amaç doğrultusunda deney verilerinden elde edilen sonuçlar açıklanmıştır. Bu sonuçlar neticesinde yapılan çıkarımlar belirtilmiştir.

## **2. KURAMSAL TEMELLER ve KAYNAK ARAŞTIRMASI**

Çalışmanın bu bölümünde, dişli çarklar hakkında genel bir bilgi verilecektir. Sonrasında deney numunesi olarak kullanılan simetrik ve asimetric evolvent dişli çarklarla birlikte deney cihazı olarak kullanılan dişli darbe test cihazıyla alakalı literatürde bulunan bilimsel çalışmaların özetleri iki ana başlık altında verilecektir. İlk kısımda deney numunesi olan simetrik ve asimetric evolvent dişli çarklar üzerinde yapılmış çalışmaların özeti sunulacak olup, ikinci kısımda ise dişli darbe test cihazı gibi deney numunesi üzerine darbe uygulama prensibiyle çalışan benzer cihazlar ile ilgili yapılmış olan çalışmaların özeti sunulacaktır.

### **2.1. Dişli Çarklar ve Dişli Çarkların Sınıflandırılması**

Dişli çarklar iki bin yıldan daha fazla geçmişe sahip makine elemanlarıdır. Eski çağ ve orta çağda su çekme, yük kaldırma, değirmen taşını döndürme gibi işlevlerde kullanılan dişli çarklar son iki yüzyılın teknolojik gelişmeleri sayesinde, hemen her makinede kullanılan bir eleman olmuşlardır.

Dişli çarklar; iki mil arasında şekil bağıyla kuvvet ve hareket ileten elemanlardır. Eş çalışan en az iki dişli çarktan meydana gelen sisteme dişli çark mekanizması denir.

Dişli çark mekanizmalarında millerin birbirine göre konumları; paralel, kesişen veya aykırı durumda olabilir. Buna göre de kullanılan dişli çarklar; silindirik dişli çarklar, konik dişli çarklar ve vida mekanizması olarak üç ana sınıfa ayrılırlar. Her sınıfın da diş şekline göre kendi alt grupları mevcuttur. Bu gruplama şu şekildedir;

Paralel Miller -> Silindirik alın dişli çarklar

- Düz dişli
- İç dişli
- Kremayer dişli
- Helisel dişli
- Çift helisel dişli

- Ok dişli

Kesişen Miller -> Konik dişli çarklar

- Düz konik dişli
- Helisel dişli
- Eğrisel dişli

Aykırı Miller -> Vida mekanizmaları

- Spiral dişli
- Sonsuz vida dişli (Babalık 2008)

Belirtmiş olduğumuz bu dişli çark türleri birçok farklı alanda kullanılmaktadır. Bir sistem içerisinde veya konstrüksiyonda kullanılacak olan bu dişli çarkların diş formları, imalat malzemeleri, imalat şekilleri ileteceği hareket yönüne, momentine, hızına ve gücüne göre farklılık göstermektedir.

Günümüzde zaman kavramı eskiye nazaran çok daha fazla önem arz etmeye başlamıştır. Her gün gelişen teknolojinin bizlere günlük yaşantımızda sağlamış olduğu kolaylıklar daha hızlı bir yaşam sürdürmemizi beraberinde getirmiştir. Yapmış olduğumuz eylemlerin eskiye nazaran daha az zamanda yapılabilir olması makinelerin hayatımızdaki etkisini ortaya koymaktadır. Makinelerin hayatımızda bu denli yer alması bizlerin zamanla olan yarışında etkin bir rol oynamaktadır. Mevcut makinelerin gün geçtikçe yenileniyor olması beraberinde makine elemanlarının da yenilenmesi anlamına gelmektedir. Makinelerin ve yapısında bulunan makine elemanlarının yenilenmesine sebep iki ana temel mevcuttur. Hız ve maliyet. Hızın artması ve maliyetin azalması amacı makine elemanlarının bulunduğu sistem içerisinde daha verimli çalışmasını sağlamakla elde edilebilir.

Bu konuyu çalışmamızda kullandığımız numuneler yani dişli çarklar için ele alacak olursak dişli çarkların veriminin artması birden fazla parametreye bağlıdır. Bu yüzden çok farklı diş formları, dişli malzemeleri ve imalat şekilleri ortaya çıkmaktadır.

Günümüzde evolvent düz dişli çarklar; imalat kolaylığı, montaj hatalarından etkilenmemeleri, profil kaydırmaya imkan vermeleri gibi özellikleri nedeniyle en çok kullanılan dişli çarklardır. Bu nedenle çalışmamız evolvent düz dişli çarklar üzerinde olacaktır.

Yapılan çalışma simetrik ve asimetric olarak evolvent düz dişli çarkların iki ayrı formu üzerinde gerçekleştirilecektir. Aynı zamanda bu çalışma deneysel bir çalışma olduğundan yapılan deneylerde özel tasarlanmış ve imal edilmiş bir test cihazı kullanılacaktır. Özel olarak tasarlanmış ve imal edilmiş bu cihaz dişli darbe test cihazıdır.

Bu kısmın devamında sırasıyla deney numunesi olan simetrik ve asimetric evolvent dişli çarklar ile deney düzeneği dişli darbe test cihazı hakkında yapılmış olan literatürdeki bilimsel çalışmaların özetleri iki ayrı başlık altında sunulacaktır.

## **2.2. Simetrik ve Asimetrik Evolvent Dişli Çarklar ile İlgili Yapılmış Nümerik Çalışmalar**

Son yıllarda teknolojinin gelişmesi, makine sektöründe kullanılan makine elemanlarının da gelişmesi ve geliştirilmesini tetiklemiştir. Gelişme ve geliştirme çalışmalarında bilgisayar teknolojisi önemli bir yer almaktadır. Nitekim çoğu yenilikçi çalışmada bilgisayar destekli tasarım ve modelleme, nümerik çözüm programlarında sayısal analizler oluşturma gibi yöntemler uygulanmaktadır. Yapılan uygulamalar, üzerinde çalışılan ürünler hakkında birçok bilgi erişimi sağlamaktadır. Bu da ürünün imalatı öncesi büyük bir avantaj oluşturmaktadır.

Çalışmamızda deney numunesi olarak kullandığımız simetrik ve asimetric evolvent dişliler hakkında da literatürde nümerik birçok çalışma bulunmaktadır.

Deng ve Nakanishi (2001) tarafından yapılan çalışmada; temas yüzeyindeki kavrama açısı  $20^\circ$  olan ve arka yüzeydeki kavrama açısı ise  $20^\circ$  ila  $35^\circ$  arasında değişen 4 farklı diş formu için sonlu elemanlar metodunu kullanarak diş dibi gerilme analizi yapmışlardır. Yapılan analizler sonucunda arka yüzeydeki kavrama açısı arttıkça, maksimum diş dibi gerilmesi düşerken, diş eğilme rijitliğinde artış görülmüştür. Bunun yanı sıra dişlerin karşılaşmış olduğu yük değerlerinde önemli bir değişim olmadığı



belirlenmiştir. Yine asimetric ( $20^{\circ}/30^{\circ}$ ) ve simetric ( $20^{\circ}/20^{\circ}$ ) dişlilerde yapılmış olan yorulma deney sonuçlarında asimetric dişlinin simetric dişliye oranla yük taşıma kapasitesinin daha fazla olduğu sonucuna varmışlardır.

Karpat ve ark. (2004) bu yayınlarında simetric evolvent dişlilerde görülen titreşim, gürültü ve ağırlığın fazla olması, yük taşıma kapasitesinin az olması gibi problemler sebebiyle asimetric evolvent dişlilerin alternatif bir çözüm olarak görülmesini ele almışlardır. Yapmış oldukları araştırmaları da göz önünde bulundurarak asimetric evolvent dişlilerin boyutlandırılması ve kullanılabilirliğini araştırmak için bir geometrik modelleme oluşturmuş ve sunumunu gerçekleştirmişlerdir.

Bu çalışmanın devamı niteliğinde Karpat ve ark. (2006) yapmış oldukları diğer bir çalışmada simetric ve asimetric evolvent dişli çarkların parametric çalışmaları için MATLAB 6.5' i kullanmış, dinamik analizler için bilgisayar destekli bir program geliştirmişlerdir. Çalışmalar sonucunda farklı diş formlarının diş dibi gerilmesi ve dinamik yüke etkilerini incelemişlerdir.

Karpat ve Çavdar (2010) yapmış oldukları diğer bir çalışmalarında ise rüzgâr türbinlerinin daha verimli ve daha güvenilir olması gerekliliğinden yola çıkarak rüzgâr türbinlerinde kullanılan dişli kutusu ve içerdiği elemanların (dişli çark, rulman vb.) ömür ve dayanım performanslarını ölçmeyi amaçlamışlardır. Bu çalışma için yeni bir test yatağı tasarımı yapmışlardır. Tasarlanan düzenek, kontrol sistemiyle değişken hızlarda sürülebilen elektrik motoru sayesinde gerçek rüzgâr hız verilerinin kullanılmasına göre tasarlanmıştır. Tasarlanmış olan test yatağı sayesinde asimetric diş profili gibi yüksek performanslı farklı diş profillerine sahip dişli çarkların kullanılabilirliğinin araştırılması da mümkün olmuştur. Ayrıca test düzeneği, üzerinde bulunan sensörler verimlilik, ömür, diş aşınması gibi konularda da veriler elde edilmesini sağlayacaktır.

Wei ve ark. (2007) çalışmalarında yeni stil asimetric bir evolvent dişli üretimi ve bu dişli ile ilgili deneysel çalışmalar için bir temel oluşturmayı amaçlamışlardır. Dişli tasarım ilkesine dayanarak bir asimetric evolvent dişli katı modeli oluşturmuşlardır.

Fetvacı ve Imrak (2008) çalışmalarında evolvent düz dişliyle birlikte asimetric evolvent dişli için dişli teorisi ve üretim mekanizmasına dayanan matematiksel bir model

oluşturmuşlardır. Oluşturulan modelden yola çıkarak bilgisayar grafikleri ve üretim simülasyonu geliştirilmiş ve bunun sonucunda asimetrik dişli tasarımına ve üretimine yardımcı olmayı amaçlanmışlardır.

Novikov ve Paikin (2009) bu çalışmalarında TV7-117S turboprop motor için kullanılacak dişli kutusunda, asimetrik dişli kullanımının araştırılması ve geliştirilmesini amaçlamışlardır. Yapılan çalışmalar sonucunda ise asimetrik dişlinin kullanımının gürültü, titreşim ve işletme masraflarının önemli ölçüde azaldığı sonucuna varmışlardır.

Mallesh ve ark. (2009) çalışmalarında mevcut şanzıman sistemlerinde dişlilerden kaynaklanan hataların çözümü için dişli geometrisini değiştirme uygulamasını ele almışlardır. Bu bağlamda diş profilinde kavrama açıları farklı olan bir asimetrik düz dişli profili oluşturup, C-’ de programlama yaparak dişli çark dişlerinin kritik bölgelerini tayin etmeyi amaçlamışlardır. Aynı zamanda eğilme gerilmelerini belirlemek için de ANSYS’ de sonlu elemanlar yöntemi uygulanmıştır.

Zhao ve ark. (2014) çalışmalarında ANSYS’ de modellemiş oldukları asimetrik düz dişlinin tek bir dişinin iki farklı kavrama açısı olan yüzeylerinde de gerilmeler oluşturup bu gerilmeler için MATLAB’ da yüzey denklemleri oluşturmuşlardır. Oluşturulan bu denklemlerden sonlu elemanlar yöntemi ile varılan sonuçlarda asimetrik düz dişlinin simetrik düz dişliye oranla maksimum yüzey temas basıncının ve maksimum diş dibi gerilmesinin etkili bir şekilde azaldığı gözlemlenmiştir.

Olguner ve Filiz (2013) bu çalışmalarında farklı kavrama açıları kullanılarak tasarlanan asimetrik dişlilerin diş dibinde oluşan gerilmeleri sonlu elemanlar analizleriyle incelemişlerdir. Elde edilen sonuçları simetrik dişli değerleriyle karşılaştırmışlardır. Yapmış oldukları çalışmanın yanı sıra diş sayısı, modül kavrama oranı, kesici takım diş başı yarıçapı ve profil kaydırma miktarı gibi değişkenlerin dişli yük taşıma kapasitesine olan etkilerini de incelemişlerdir.

Olguner ve Filiz (2014) yapmış oldukları diğer bir çalışmada simetrik ve asimetrik düz dişlilerin tasarımı üzerine çalışmışlardır. Asimetrik dişli için bir model tasarlamış ve anlık akış hızı denklemi oluşturmuşlardır. Dişli modeli ve debi hesaplamaları için de bir bilgisayar programı oluşturmuşlardır. Modelden elde edilen veriler kullanılarak diş teması ve kök eğilme gerilmeleri sonlu elemanlar analizleriyle değerlendirilmiştir. On

yedi ayrı simetrik ve asimetric dişli tasarlanmış ve özel bir dişli pompası için diş temas gerilimi, eğilme gerilimi, akış hızı, akış hızı dalgalanması üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Çalışmalar neticesinde asimetric dişlilerin simetrik dişlilere göre daha iyi sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir.

Yine yapmış oldukları diğer bir çalışmalarında Olguner ve Filiz (2016) simetrik ve asimetric düz dişli kullanarak dişli pompalarının akış karakteristikleri ve dinamiklerini deneysel bir çalışma ile karşılaştırmayı amaçlamışlardır. Elektro Deşarj İşleme (EDM) kullanarak modellemeye dayalı otomatik bir program ile simetrik (20°/20°) ve asimetric (20°/30°) dişliler üretmişlerdir. Deneylede dişlerin temas eden tarafındaki kavrama açısının etkileri araştırıldığından asimetric dişli dişinin 30° kavrama açılı tarafı kullanılmıştır. Her iki dişli de dişli pompasına monte edilerek üç farklı dönme hızlarında test edilmiştir. Yapılan deneylede motorun; hacimsel akış hızı, gürültüsü, titreşimi, güç tüketimi ölçülmüş ve tüm durumlarda akış hızı dalgalanması hesaplanmıştır. Sonuç olarak, asimetric dişlilerin, simetrik dişlilere göre daha az güç tüketimi, daha az gürültü ve titreşim sağladığı ve akış hızı dalgalanmalarını önemli ölçüde azalttığı görülmüştür.

### **2.3. Darbe Test Cihazları ile İlgili Yapılmış Olan Çalışmalar**

Çalışmamızda deney numunelerimiz olan simetrik ve asimetric evolvent dişli çarkların darbe dayanımı, özel tasarlanmış ve imal edilmiş olan dişli darbe test cihazı ile yapılan deneyler sonucu belirlenmeye çalışılmıştır. Bu çalışma benzeri olarak deney numunesine ve çalışılan konu üzerinde dişli darbe test cihazına benzer prensipte çalışan özel cihazlar ile yapılmış bazı bilimsel çalışmalar bulunmaktadır.

Banthia ve ark. (1989) çalışmalarında düz beton, fiber betonarme ve geleneksel betonarme üzerinde darbe testi yapmışlardır. Yapılan bu testler için damla ağırlıklı darbe makinası adı verilen bir test cihazı kullanmışlardır. Numuneler üzerine üç farklı noktadan darbe uygulamış ve elde edilen değerlerin incelenmesi sonucu cihazı, bu tip testler için kullanıma elverişli olduğu sonucuna varmışlardır.

Rao ve ark. (2003) yapmış oldukları çalışmada, dişli çarkların darbe dayanımını deneyler sonucu belirleyebilmek adına bir test düzeneği tasarlamış ve imal etmişlerdir. Deneyi simetrik profilde imal edilmiş olan evolvent dişli çark üzerinde

gerçekleştirmişlerdir. Deney düzeneği ile yapılan deneylerde dişli çarkın darbe yükleri belirlenmiştir. Bununla birlikte deney verilerini kıyaslamak adına gerçekleştirilen darbe deneyini tanımlayan dinamik bir model oluşturmuşlardır. Oluşturulmuş olan bu dinamik modelden alınan sonuçların deney düzeneğinden alınan sonuçları doğrular nitelikte olduğu gözlemlenmiştir.

Zhang ve ark. (2008) çalışmalarında numunelerin dinamik yükler altındaki mekanik davranışını incelemek için özel bir ağırlık düşürme test cihazı tasarlayıp temel karakteristiklerini tanımlamışlardır. Ağırlık düşürme test cihazının, hızlı yükleme oranları altında basit ve ölçülebilen kırılma süreçleri oluşturmak için kullanıldığını belirtmişlerdir. Tasarlanan test düzeneği mekanik yapı ve veri sistemi olmak üzere 2 temel kısma ayrılmış ve bu sayede test esnasında elde edilen değerler veri sisteminde gözlemlenmiştir.

Isaacson (2009) yapmış olduğu çalışmada 9310 VIM-VAR, X53 ve Vasco X-2M şeklinde tanımlı yüksek mukavemetli özel çeliklerden üç ayrı dişli çark imalatı gerçekleştirmiştir. Çalışmasında, imal edilmiş dişli çark dişlerinin darbe dayanımı ve olası şekil değiştirme hızına olan duyarlılığını belirlemeyi amaçlamıştır. Bu çalışma için özel bir test cihazı tasarlanmış ve imalatı gerçekleştirilmiştir. İmal edilen bu cihaz ile her bir dişli çark için beş ayrı deney yapılmış ve dişli çarklara uygulanan darbe esnasındaki yük ve konum değerleri kaydedilmiştir. Bu deneyler neticesinde dişli çarkların, darbe sonucu oluşan kırılma kuvvetleri ve şekil değiştirme hızının etkileri belirlenmiştir.

Pattison ve Brooks (2009) çalışmalarında farklı şekilde oluşturulmuş laminatların katmanlar arasındaki bağlanma dayanımı ölçmek için standart test yöntemlerinden biri olan ASTM C297' yi kullanmışlar ve bir darbe testi olan bu yöntemin laminatların bağlanma dayanımını belirlemede kullanıp kullanılamayacağını araştırmışlardır.

Akın ve Şenel (2010) yaptıkları çalışmada kompozitler üzerinde darbe testleri gerçekleştirmişlerdir. Bu testleri özel olarak tasarlanmış düşey ağırlık düşürme test cihazı kullanarak yapmışlardır. Yapmış oldukları deneyde kompozitlerin hasar davranışlarını incelemişlerdir. Deney sonucu elde edilen darbe yüklerini zaman ve yer değiştirmeye göre değerlendirmişlerdir.

Sonti ve ark. (2010) çalışmalarındaki temel amaç mevcut dövme çelik dişlilerine eşdeğer mekanik özelliklere ve yüksek yorulma, eğilme direncine sahip olan yüksek dayanımlı P/M çelik dişli çarkları geliştirmektir. Fakat deneyde kullanılmak adına benzer özelliklerdeki toz metal P/F çelik dişli çarkları ve dövme çelik dişli çarklar imal edilmiştir. İmal edilen dişli çarkların mekanik özellikleri, darbe dayanımı, yorulma ve eğilme dirençlerini belirleyebilmek için belirli bir yükün dişli çark dişi üzerine serbest düşme prensibi ile çalışan özel bir cihaz tasarlamış ve imal etmişlerdir. Yapılan deneyler sonucu toz metal P/F çelik dişli çarkların darbe dayanımı ve yorulma ömrünün dövme çelik dişli çarklarındakinden %85 daha fazla olduğunu tespit etmişlerdir.

Verma ve Gopinath (2011) çalışmalarında dişli çarkların darbe dayanımını belirlemede kullanılan geleneksel Charpy ve Izod testleriyle, yeni bir yöntem olan Brugger metodunu kıyaslamayı amaçlamışlardır. Yapılan testlerde EN353 çeliğinden imal edilmiş dişli çarklar kullanılmıştır. Darbe dayanımını belirlemek adına yapılan testlerde Brugger metodundan, geleneksel Charpy ve Izod testlerine göre daha sağlıklı veriler elde etmişlerdir.

Gunawan ve ark. (2011) çalışmalarında otomobillerin çarpışma esnasında kinetik enerjiyi emen parçalarındaki darbe dayanımını belirleyen sonlu elemanlar yöntemi kullanarak oluşturulmuş sayısal analiz verilerini doğrulamak adına bir darbe test cihazı geliştirmeyi amaçlamışlardır. Test cihazına, yapılan deneyler esnasında çarpma tertibatının hızını ve darbe kuvvetlerini ölçebilmek için sensörler koyulmuş ve deney sonucunda bu değerleri analiz edebilmek için bir veri toplama sistemi kullanmışlardır. Yapılan çalışmalar sonucu darbe test cihazından elde edilen sonuçlar ile sonlu elemanlar yöntemi ile geliştirilmiş sayısal analiz sonuçlarının birbirini doğrular nitelikte olduğunu gözlemlemişlerdir.

### 3. MATERYAL VE YÖNTEM

Çalışmamızın bu bölümünde sırasıyla deney numunelerimizin yapısı ve özelliklerinden aynı zamanda da bu çalışma için özel tasarlanmış ve üretilmiş olan dişli darbe test cihazımızın mekanik yapısı ve çalışma prensibinden bahsedilecektir. Kullanmış olduğumuz deney numunelerimiz 4140 ıslah çeliğinde imal edilmiştir. Diş formu olarak dişli çarkların en yaygın kullanım alanına sahip olan evolvent dişli çarklar tercih edilmiş özellikleri Çizelge 3.1’ de gösterilmiştir.

**Çizelge 3.1.** Deney numunelerinin özellikleri

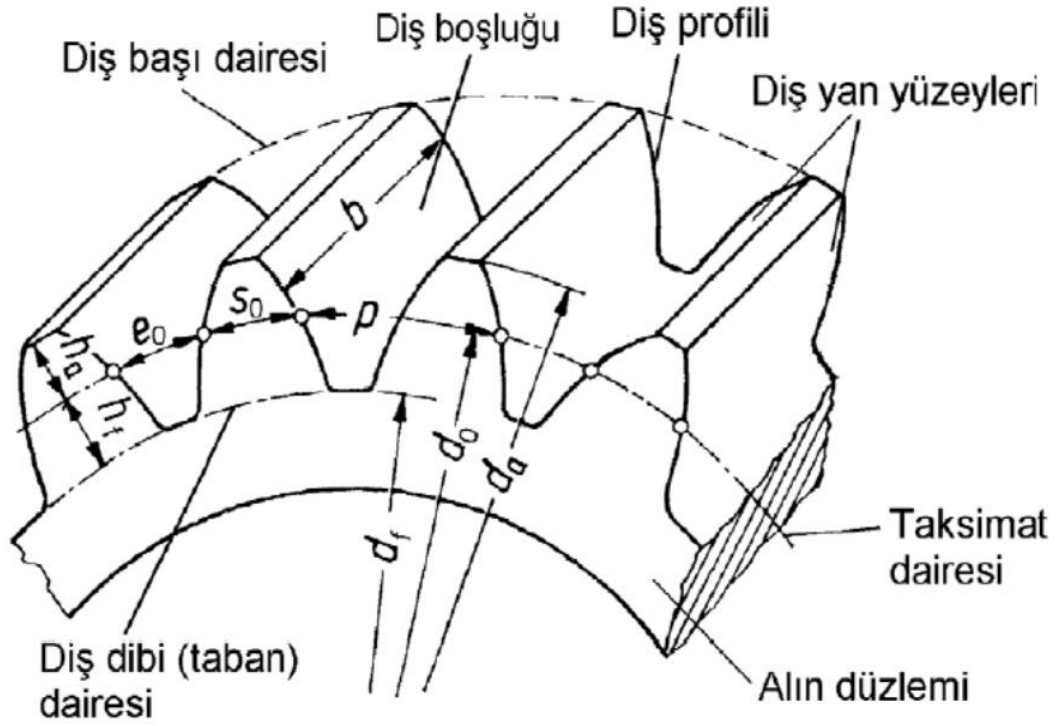
<b>Test Numunelerinin Özellikleri</b>	<b>Simetrik Evolvent Dişli Çark</b>	<b>Asimetrik Evolvent Dişli Çark</b>
Modül (mm)	4,23	4,23
Diş Sayısı	54	54
Diş Başı Yüksekliği (mm)	1*m	1*m
Diş Dibi Yüksekliği (mm)	1,25*m	1,25*m
Kavrama Açısı	20°/20°	20°/30°
Diş Kalınlığı (mm)	15	15

#### 3.1. Evolvent Dişli Çarkların Yapısı ve Özellikleri

Günümüzde sağlamış olduğu avantajlar sayesinde en yaygın kullanılan dişli çark türü evolvent düz dişli çarklardır. Bu kısımda evolvent düz dişli çarkların genel yapısı ve özellikleri ele alınacaktır.

##### 3.1.1. Evolvent düz dişli çarkların geometrisi ve boyutlandırılması

Evolvent düz dişli çarkın temel büyüklükleri DIN 867’ ye uygun olarak aşağıdaki formüllerle ifade edilmiştir. Şekil 3.1’ de düz dişli çarkın boyutları görülmektedir.



Şekil 3.1. Düz dişli çarkın temel boyutları (Akkurt, 2000)

Taksimat;  $t_0 = \pi m$  (3.1)

Diş başı yüksekliği;  $h_a = m$  (3.2)

Diş dibi yüksekliği;  $h_t = 1.25m$  (3.3)

Diş başı dairesi çapı;  $d_a = d_0 + 2h_a$  (3.4)

Diş dibi dairesi çapı;  $d_f = d_0 - 2h_t$  (3.5)

Taksimat dairesi çapı;  $d_0 = m \times z$  (3.6)

Temel dairesi çapı  $d_g = d_0 \cos \alpha$  (3.7)

Taksimat dairesi üzerindeki diş kalınlığı;

$$s_0 = t_0/2$$
 (3.8)

Taksimat dairesi üzerindeki diş boşluğu;

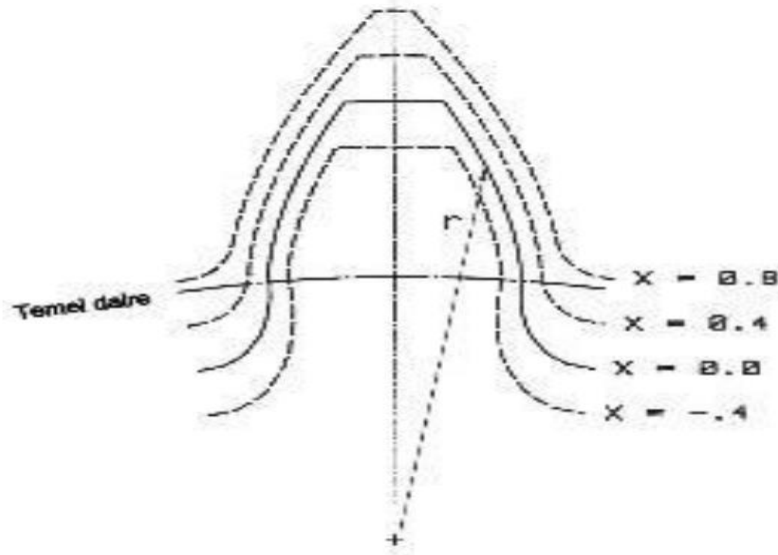
$$e_0 = t_0/2$$
 (3.9)

Dişli çarkın herhangi bir dairesi üzerindeki diş kalınlığı;

$$s = d(\pi/2z + ev\alpha_0 - ev\alpha) \quad (3.10)$$

### 3.1.2. Profili kaydırılmış evolvent düz dişli çarkların geometrisi ve boyutlandırılması

Dişli çarklarda oldukça uygulama alanı bulan profil kaydırma diş geometrisi ve boyutları üzerinde değişikliklere neden olmaktadır. Profil kaydırma yöntemi esasen kesici takımın bir miktar ileri veya geri konumda tutulması ile uygulanmaktadır. Takımın geriye çekilmesi pozitif, ileri itilmesi ise negatif profil kaydırma olarak görülmektedir. Burada 'x' profil kaydırma katsayısı olarak belirtilmektedir. Şekil 3.2' de profil kaydırmanın diş profili üzerindeki değişimi görülmektedir.



Şekil 3.2. Profil kaydırma uygulanmış diş profilleri (Karpat, 2005)

Diş başı dairesi çapı;  $d_a = d_0 + 2h_a \pm 2mx$  (3.11)

Diş dibi dairesi çapı;  $d_f = d_0 - 2h_t \pm 2mx$  (3.12)

Dişli çarkın herhangi bir dairesi üzerindeki diş kalınlığı;

$$s = d (\pi/2z + 2x \tan \alpha_0 + ev\alpha_0 - ev\alpha) \quad (3.13)$$



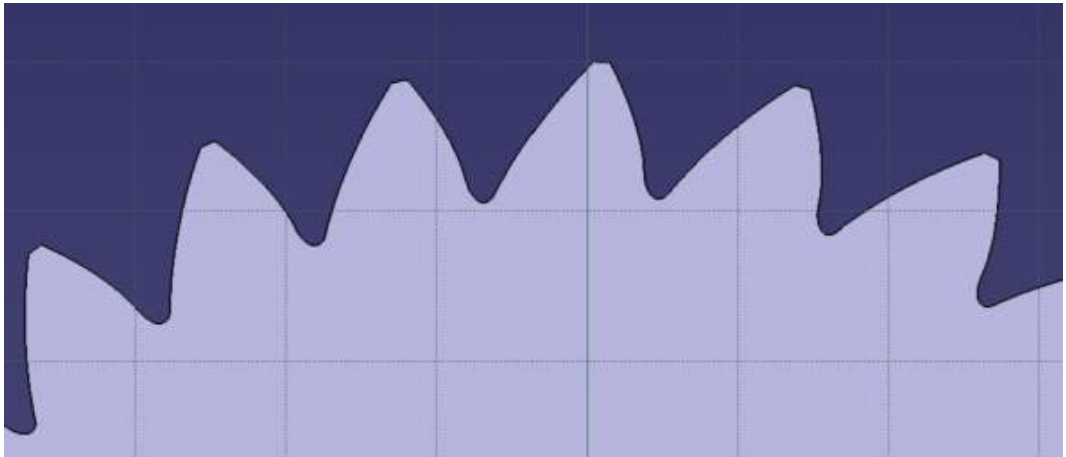
### 3.1.3. Asimetrik evolvent düz dişli çarkların özellikleri

Dişli çarkların yük kapasitelerinin belirleyen en önemli faktör, bir diş üzerinde oluşan gerilme miktarıdır. Diş üzerinde oluşan gerilme ne kadar küçük olursa dişli çark o kadar fazla yük taşıyabilir. Bir dişli çarkın yük kapasitesini arttırmak için çeşitli yöntemler vardır, bu yöntemler genel olarak dişli geometrisine bağlı parametrelerin değiştirilmesini içerir.

Dişli çark imalatçıları ve tasarımcıları daha yüksek yük taşıma kapasiteli dişli çiftlerini geliştirmek için çalışmalarına devam etmektedir. İmalatta kesici takıma verilen pozitif kaydırma veya yüksek kavrama açılı takım kullanılması kök kalınlığını arttırarak diş mukavemetini yükseltmektedir. Sivri tepe tehlikesi nedeniyle simetrik dişli çarklarda kavrama açısını arttırmak veya profil kaydırma miktarını arttırmak sınırlıdır.

Performansı arttırmanın bir diğer yöntemi ise dişin ön ve arka tarafta farklı açı ile tasarlandığı asimetrik dişli kullanmaktır. Asimetrik diş modeli, geleneksel evolvent diş modelinin aksine bir dişin ön (güç aktarımının gerçekleştiği) ve arka yüzeylerinin farklı temel daireler kullanılarak üretildiği modeldir.

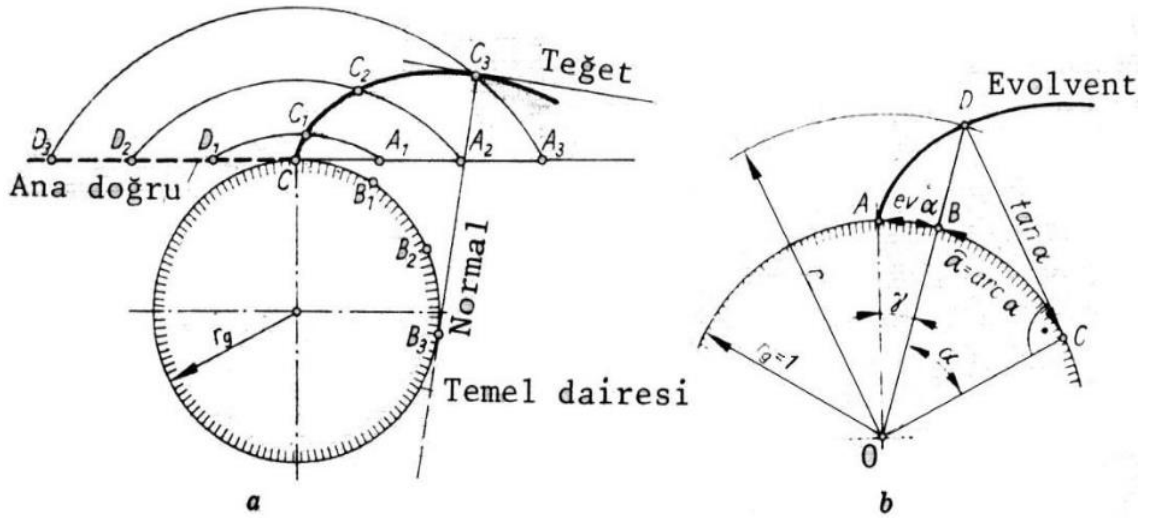
Ön yüzeyde  $20^\circ$ , arka yüzeyde daha yüksek kavrama açısı kullanmak diş kökündeki eğilme gerilmelerini düşürmektedir. Pasif yüzeyde  $20^\circ$ , aktif yüzeyde kavrama açısını arttırmak ise temas yüzey mukavemetini iyileştirmekte, yaylanma rijitliği ve yük paylaşımını ayarlayarak gürültü ve titreşimi azaltmaktadır. Şekil 3.3' de CATIA programıyla tasarlanmış bir asimetrik düz dişli çarkın örneği yer almaktadır.



**Şekil 3.3.** CATIA' da tasarlanmış asimetrik düz dişli çark (Yılmaz, 2016)

### 3.1.4. Evolvent düz dişli çarkların imalatı

Dişli çarkların imalinde belirlenecek ilk husus dişli çarkın profil tipini belirlemektir. Bunun içinde dişliyi imal edilecek takımın profili olarak evolvent ve sikloid profiller kullanılır. Günümüzde yoğunlukla evolvent profilli dişli çark uygulaması olduğunda bu bölümde evolvent profilli düz dişli çarkların imalatına değineceğiz. Evolvent, bir daire üzerinde kaymadan yuvarlanan bir doğruya ait noktanın geometrik yeridir. Şekil 3.4’ te evolvent eğrisinin oluşumu yer almaktadır.



Şekil 3.4. Evolvent eğrisinin oluşumu (Akkurt, 2000)

Sabit yarıçaplı bir daire üzerinde, kaymadan yuvarlanan bir doğrunun herhangi bir noktasının çizdiği eğriye evolvent eğrisi denir. Buradaki daire ve doğru ise temel daire (“g” indisi ile gösterilir) ve ana doğru olarak tanımlanmaktadır. Evolvent fonksiyonu, genellikle ev kısaltmasıyla gösterilir ve

$$eva = \tan \alpha - \alpha \quad (3.14)$$

şeklinde tanımlanır. Evolvent fonksiyonunda geçen  $\alpha$  dişli çarklarda kavrama açısıdır. Kavrama açısı olarak standartlaştırılmış açı değerleri  $14,5^\circ$ ,  $20^\circ$  ve  $25^\circ$ ’dir. Yaygın olarak kullanılan açı değeri  $20^\circ$ ’dir. İngiliz ve Amerikan standartlarında  $14,5^\circ$  ve  $25^\circ$  daha fazla tercih edilmektedir.

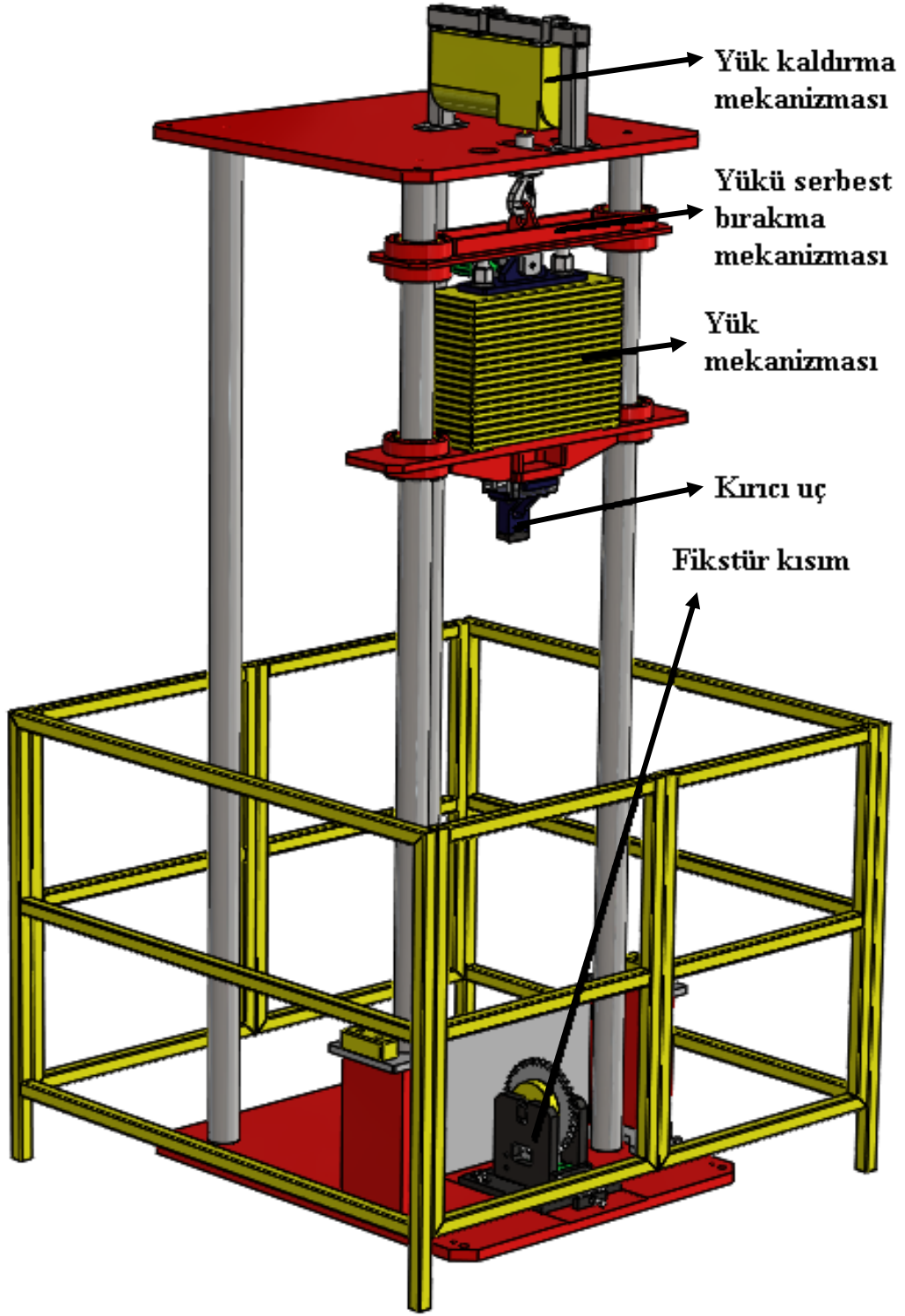
Evolvent profilin sıklıkla kullanılmasının nedenleri;

- Hassas dişli çarkların kolaylıkla basit imalatına olanak verir.
- Aktarılabilen dönme momentini arttırarak verimi arttırır.
- Kavrama eğrisi bir doğru ve kavrama açısı sabit olduğundan diş yükü titreşimsiz olarak etki eder. Hareket düzgünlüğünü ve ömrü arttırır.
- Eksenler arasındaki mesafede küçük oynamalara toleranslıdır. Çevrim oranı etkilenmez.
- Yuvarlanma metodu ile verilen bir modül için tüm diş sayılarında dişliler imal edilebilir. (Yılmaz, 2015)

### **3.2. Dişli Darbe Test Cihazının Mekanik Yapısı ve Çalışma Prensibi**

Dişli çarklar, içinde bulunduğu konstrüksiyonun yapısına ve gereksinimlerine göre farklılık göstermektedirler. Konstrüksiyona göre farklı malzemelerden, farklı formlarda ve farklı imalat yöntemleriyle imal edilebilirler. Bu gereksinimlerin karşılanması adına, dişli çarklar üzerinde birçok araştırma ve geliştirme çalışması yapılmıştır. Bu çalışmalar birden fazla farklı konular ele alınarak yapılabilmektedir. Aynı zamanda çalışmaların bir kısmı bilgisayar destekli modelleme ve sayısal analiz yöntemleriyle yapılırken bir kısmı da deney cihazları ile gerçekleştirilmektedir.

Çalışmamızda iki farklı diş yapısına sahip simetrik ve asimetrik evolvent dişli çarkların darbe dayanımını belirleyebilmek için özel tasarlanmış ve imal edilmiş olan dişli darbe test cihazı kullanılmıştır. Dişli darbe test cihazının bilgisayar ortamında yapılmış olan tasarımını Şekil 3.5' de, imal edilmiş hali de Şekil 3.6' da görülmektedir.



Şekil 3.5. Dişli darbe test cihazı bilgisayar tasarımı



**Şekil 3.6.** Dişli darbe test cihazı imal edilmiş hali

Tasarlanmış ve imalatı gerçekleştirilmiş olan bu dişli darbe test cihazı, darbe dayanımını ölçmek için tasarlanmış deney düzeneklerinin temel prensibi olarak bilinen, belirli bir yükün belirli bir yükseklikten serbest düşmeyle deneyde kullanılan numune üzerine bırakılması esasına dayalı çalışan bir test cihazıdır. Dişli darbe test cihazının tasarımı yapılırken, dişli çarkların darbe dayanımının yüksek olduğu göz önünde bulundurularak, darbe dayanımı yüksek dişli çarkları kırabilecek bir yapıda olmasına dikkat edilmiştir.

### **3.2.1. Dişli darbe test cihazının mekanik yapısı**

Dişli darbe test cihazını genel itibariyle incelendiğinde, ana iskeletin; yere sabitlenmiş bir tabla, dört adet taşıyıcı mil ve bir üst tabladan oluştuğu görülmektedir. Üst tablanın üzerinde tablaya sabitlenmiş bir yük kaldırma mekanizması bulunmaktadır. Yük kaldırma mekanizması bir kanca yardımıyla ağırlık mekanizmasını yukarı ve aşağı yönde hareket ettirmektedir. Yük mekanizması ile yük kaldırma mekanizması arasında bağlantıyı sağlayan ayrı bir yükü serbest bırakma mekanizması mevcuttur. Bu mekanizma yardımıyla yük mekanizması numune üzerine serbest düşme işlemine gerçekleştirebilmektedir. Yük mekanizmasına bağlı kırıcı uç bulunmaktadır. Kırıcı uç yük mekanizmasının dişli çarkla temas ettiği noktadadır. Deney numunesi olarak kullanılan dişli çark alt tablaya civata ve somunlar yardımıyla bağlanmış bir fikstür kısmına sabitlenerek konumlandırılmıştır. Dişli darbe test cihazının mekanik tasarımını oluşturan tüm bu mekanizmalar haricinde test cihazı üzerinde bir takım sensörler ve bu sensörler ile elde edilen verilerin toplandığı bir veri toplama cihazı mevcuttur.

Genel olarak bütünüyle ele alındığında bu dişli darbe test cihazının kısımlarını sınıflandıracak olursak;

1. Yük taşıma mekanizması
2. Yükü serbest bırakma mekanizması
3. Yük mekanizması
4. Yük mekanizmasına bağlı olan kırıcı uç
5. Fikstür kısmı
6. Sensörler ve veri toplama cihazı

olacak şekilde sınıflandırabiliriz.

## Yük taşıma mekanizması

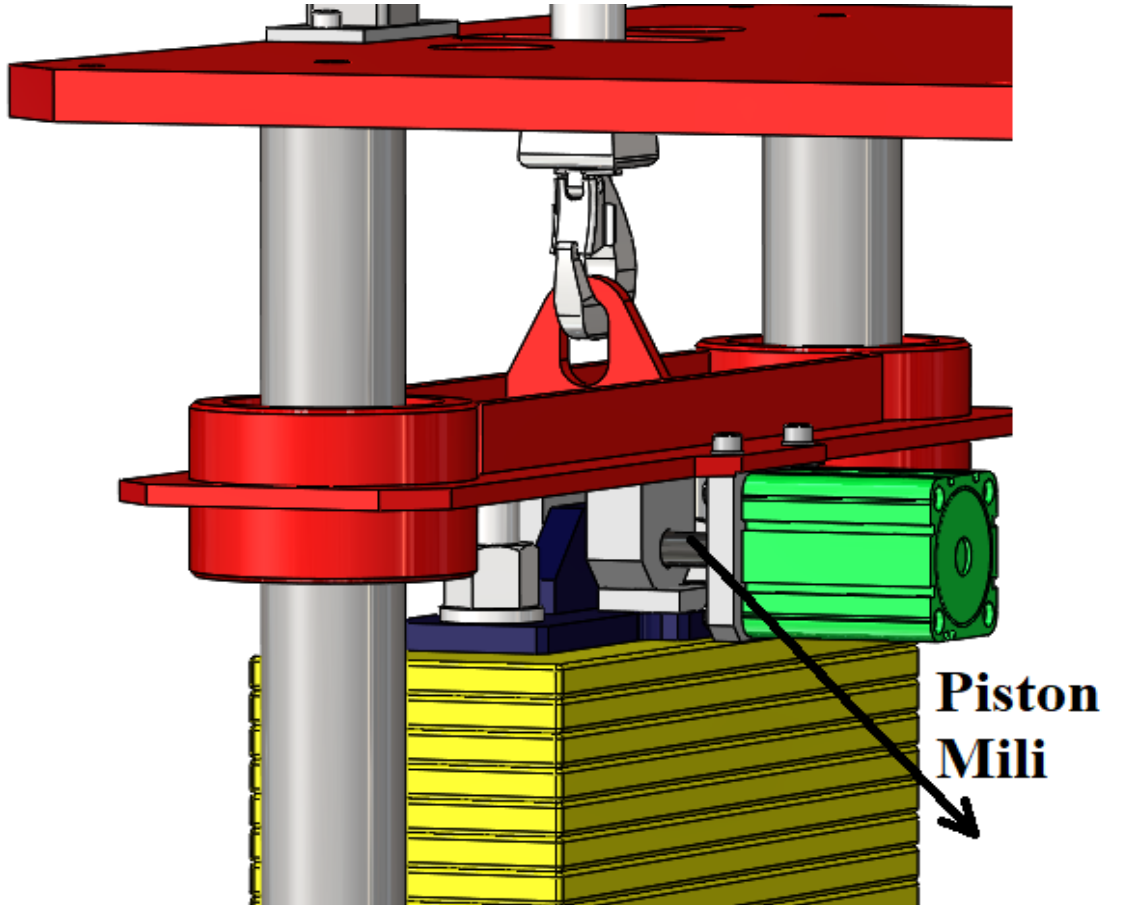
Yük taşıma mekanizması, günümüzde birçok firmanın da atölye, imalathane, depo gibi yerlerde kullanmış olduğu taşıyıcı vinç görevi gören bir mekanizmadır. Genel itibariyle yapısında bir elektrik motoru, aşağı ve yukarı yönde hareket komutunun verilebildiği kumanda sistemi, çelik halat makarası, çelik halat ve ucunda da bir kanca bulunmaktadır. Elektrik motorunun sağlamış olduğu güç ile yük kaldırıp indirme amacıyla kullanılmaktadır. Yük taşıma mekanizması Şekil 3.7' de görülmektedir.



Şekil 3.7. Yük taşıma mekanizması

## Yükü serbest bırakma mekanizması

Yük bırakma mekanizması olarak pnömatik sistem kullanılmıştır. Pnömatik sistem; pnömatik silindir, pnömatik şartlandırıcı, pnömatik hortumlar ve kompresörden oluşmaktadır. Kompresör yardımıyla oluşturulan hava basıncı pnömatik hortumlarla birlikte şartlandırıcıya aktarılır. Pnömatik şartlandırıcı ile sisteme verilen hava basıncı ayarlanır. Bu çalışma için hava basıncı 4 ile 6 bar arası kullanılmıştır. Pnömatik şartlandırıcıda ayarlanmış olan hava basıncı yine pnömatik hortumlar yardımıyla pnömatik silindire iletilir. Pnömatik silindir 20 mm çapında ve 100 mm maksimum yer değiştirmeye sahiptir. Bu pnömatik silindirin ileri geri hareketi sonucu yük mekanizması tutulup serbest bırakılabilir. Şekil 3.8’ de yük bırakma mekanizması detaylı olarak görülmektedir.

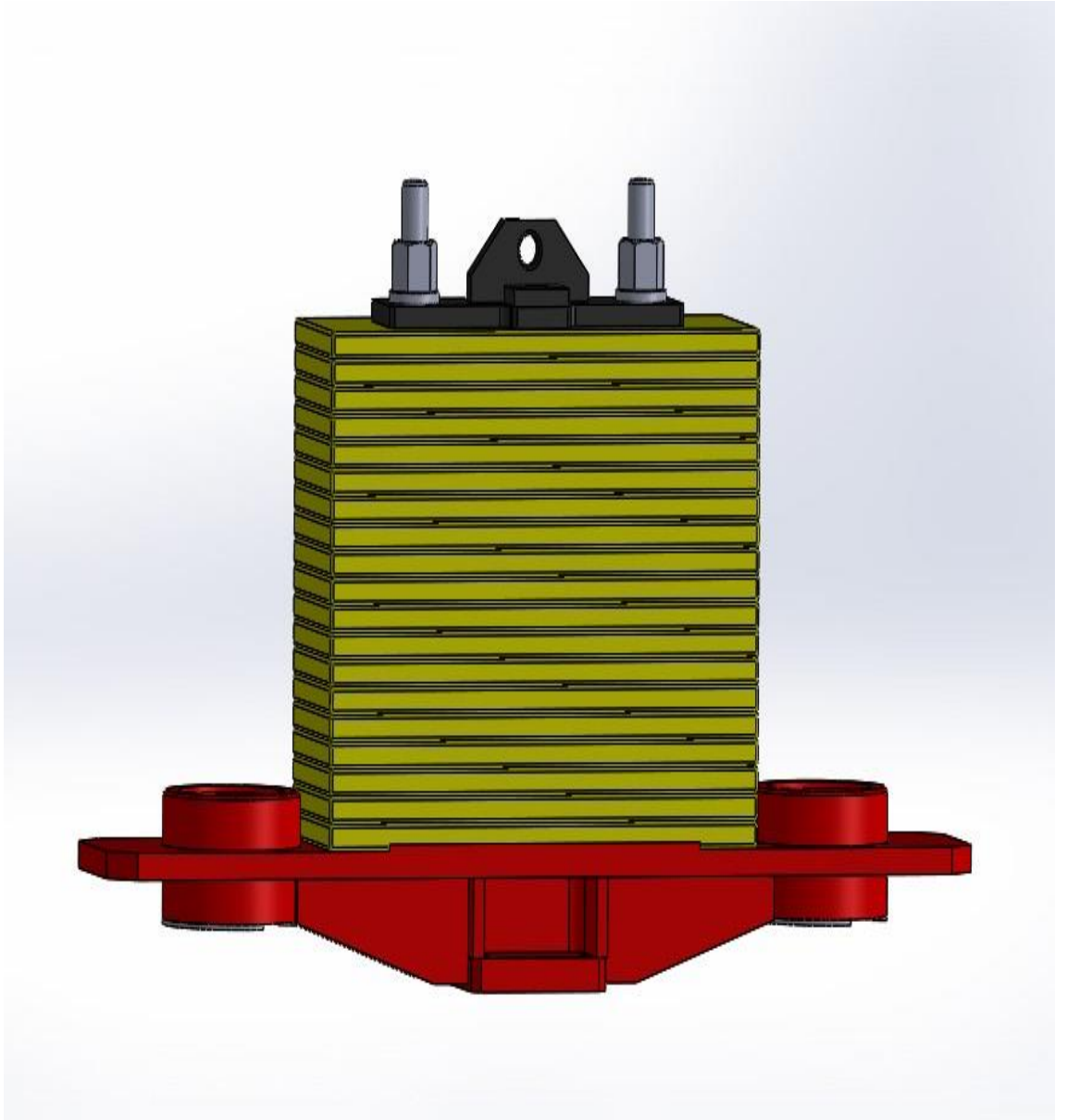


Şekil 3.8. Yük bırakma mekanizması



### Yük mekanizması

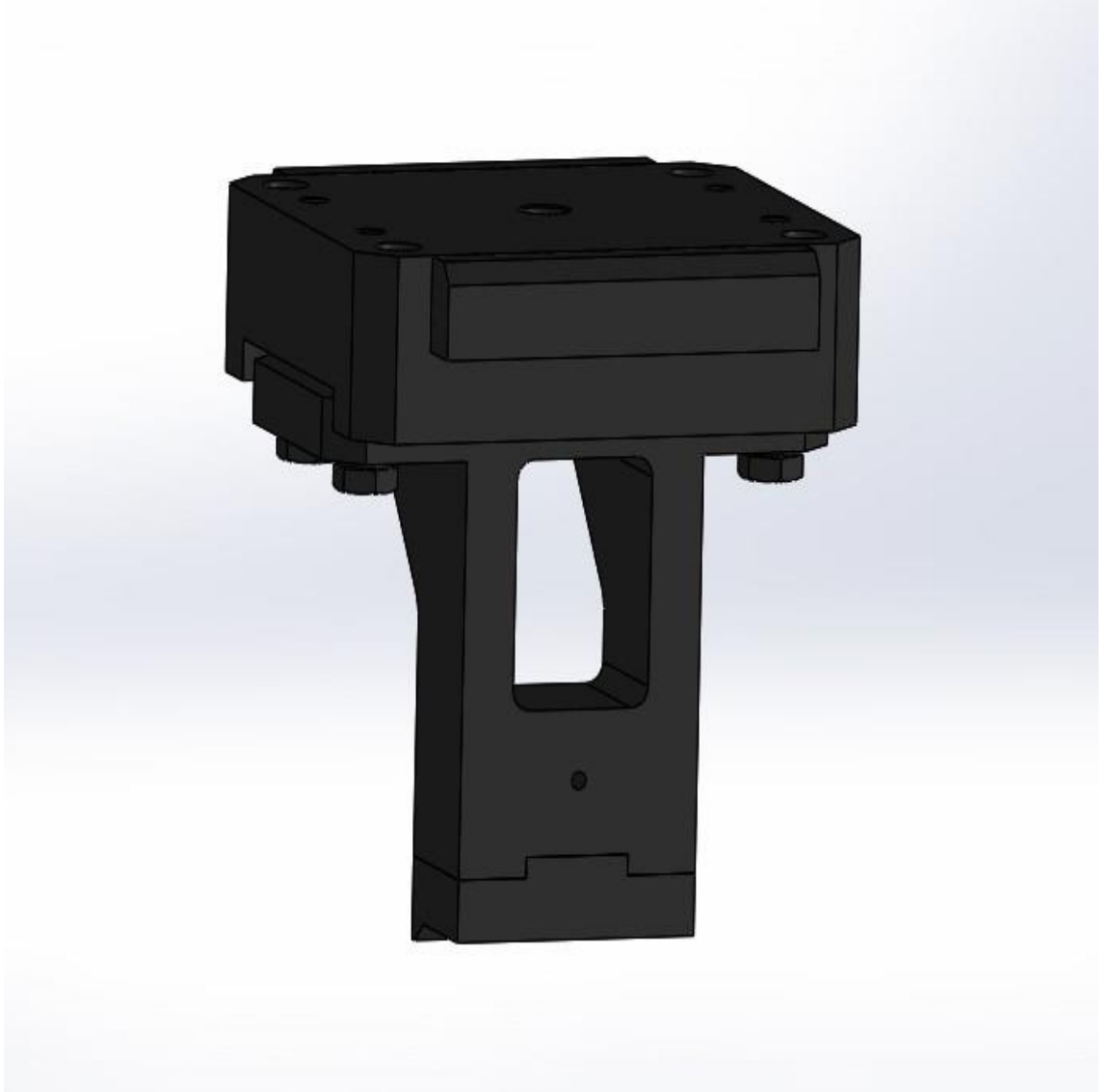
Yük mekanizması dişli çark üzerindeki darbeyi oluşturan mekanizmadır. Dişli darbe test cihazının çalışma prensibinden ötürü serbest konumdadır. Yük bırakma mekanizması ile sabitlenmektedir. Yük mekanizmasını boş ağırlığı 50 kg' dir. Cıvata ve somun bağlantıları ile üzerine yük ekleyip çıkarılabilir olması göz önünde bulundurularak tasarlanmıştır. Yük mekanizmasının ağırlığı 20 kg' lık tabla şeklindeki ağırlık elemanlarıyla maksimum 350 kg' a kadar çıkarılabilmektedir. Yük mekanizması Şekil 3.9' da gösterilmiştir.



Şekil 3.9. Yük mekanizması

## Kırıcı uç

Kırıcı uç, dişli darbe test cihazı içerisinde yük mekanizmasının alt kısmına cıvatalar yardımı ile montajlanmış şekilde yer almaktadır. Yük mekanizmasının oluşturmuş olduğu ağırlığı, dişli çarkın dişlerine kırıcı bir darbe olarak iletmekle görevlidir. Kırıcı ucun bu görevi yerine getirebilmesi için dişli çark malzemesinden daha mukavemetli bir malzemeden imal edilmesi gerekmektedir. Bu yüzden malzeme olarak yüzeyi sertleştirilmiş takım çeliği kullanılmıştır. Aynı zamanda kırıcı uç üzerinde kuvvet ve ivmeölçer sensörler bulunmaktadır. Kırıcı ucun bilgisayar tasarımı ve imal edilmiş hali Şekil 3.10 ve Şekil 3.11’ de görülmektedir.



**Şekil 3.10.** Kırıcı uç bilgisayar tasarımı



**Şekil 3.11.** Kırıcı uç imal edilmiş hali

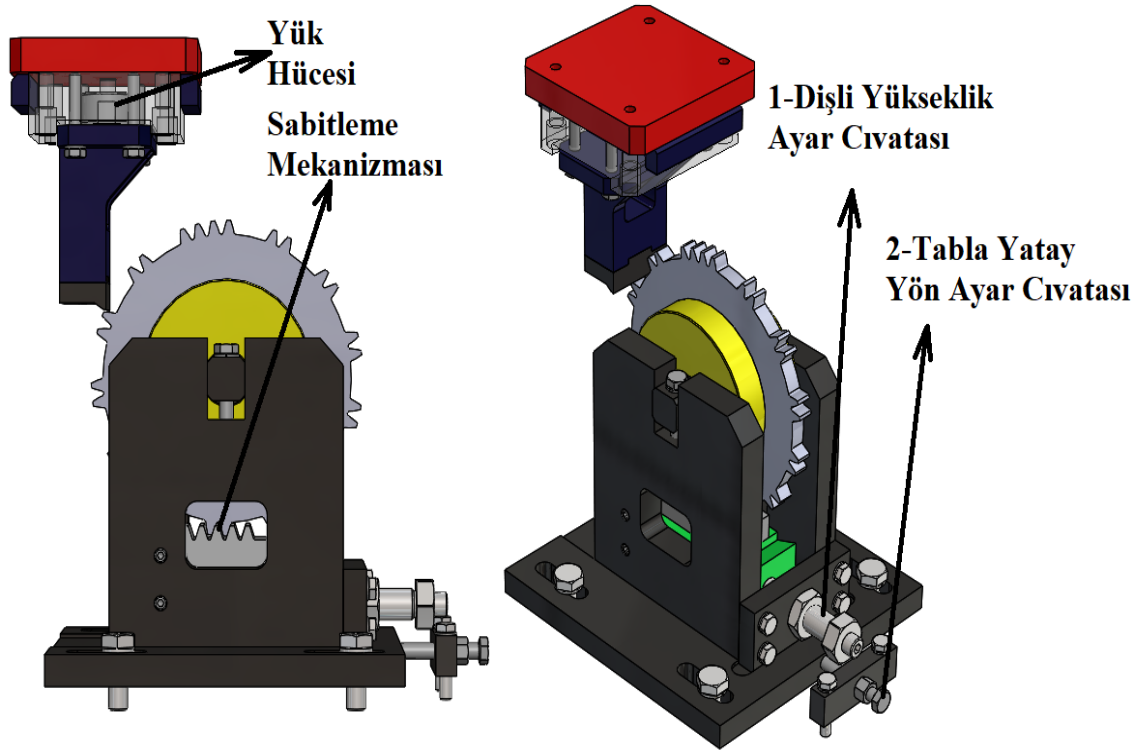
### Fikstür kısmı

Fikstür kısmı, deney numunesi olan dişli çarkların sabitlendiği mekanizma olup, konum olarak dişli darbe test cihazında yere sabitlenmiş alt tabla üzerinde bulunmaktadır. Sabit alt tablaya cıvata ve somunlarla montajlanmıştır. Fikstür kısmı konumu ve işlevi itibariyle hareketli bir mekanizmadır. Dişli çark dişinin kırıcı uç ile istenilen konumda temas edebilmesi için bağlantı elemanları olan cıvata ve somunlar yardımıyla istenilen konuma getirildikten sonra sabitlenebilmektedir. Fikstür kısım Şekil 3.12' de gösterildiği gibidir.



**Şekil 3.12.** Fikstür kısım

Fikstür kısmı içerisinde bir de yüzeyi sertleştirilmiş takım çeliğinden imal edilmiş kremayer dişli bulundurmaktadır. Kremayer dişli deney numunesi olan dişli çarkın dişli darbe test cihazının fikstür kısmına istenilen konumda sabitlenebilmesi için bağlantı elemanları olan cıvata ve somunların yanı sıra büyük bir önem arz etmektedir. Deney numunesi olan dişli çark, cıvata ve somunlar yardımıyla sabitlenmesinin yanında bir de alt kısma denk gelen dişlerinin kremayer dişli dişleriyle eş zamanlı çalışan bir dişli çark mekanizmasındaki gibi konumlandırılmasıyla daha sağlam bir sabitleme gerçekleştirir. Kremayer dişli bulunduğu konum itibariyle deney numunesi olan dişli çarkın dişli üzerine yük mekanizmasının kırıcı uç ile uygulayacağı darbe etkisi sonrası oluşacak dönme istemini engellemiş olacaktır. Bu durum Şekil 3.13’ de detaylı bir şekilde gösterilmiştir.



**Şekil 3.13.** Deney numunesinin sabitlenmiş olduğu fikstür kısım

Kremayer dişli bu görevini yerine getirebilmesi için deney numunesi olan dişli çarkların dişleriyle kremayer dişli dişlerinin düzgün bir kavrama oluşturmaları gerekmektedir. Bu yüzden sistemde kullanılacak olan kremayer dişli imalatı yapılırken deney numunelerinin diş formu referans alınmıştır. Deney numunesi dişli çarkların diş formları simetrik (dişlerin kavrama açıları  $20^\circ/20^\circ$ ) ve asimetrik (dişlerin kavrama açıları  $20^\circ/30^\circ$ ) olmak üzere iki şekildedir. Kremayer dişlinin bu formlara benzerlik göstermesi ve işlevini yerine getirebilmesi için asimetrik (dişlerin kavrama açıları  $20^\circ/30^\circ$ ) formda imal edilmiştir. Bu sayede tam bir kavrama sağlamak için simetrik evolvent dişli ile asimetrik evolvent dişli dişlerinin kavrama açısı  $20^\circ$  olan kısımlarıyla deney yapılacağında kremayer dişli dişinin kavrama açısı  $20^\circ$  olan kısmı, asimetrik evolvent dişli dişinin  $30^\circ$  olan kısmıyla deney yapılacağı zaman da kremayer dişli dişinin  $30^\circ$  olan kısmı kullanılacaktır. Bahsedilen şekilde imal edilmiş olan kreamayer dişli farklı iki açıdan şekil 3.14 ve şekil 3.15’ de gösterilmiştir.



**şekil 3.14.** Kremayer dişli yan görünüş



**Şekil 3.15.** Kremayer dişli üst görünüş

## Sensörler ve veri toplama cihazı

Dişli darbe test cihazı bütününde mekanik bileşenlerinin yanı sıra bir de sensörler ve bu sensörler ile elde edilen verilerin toplandığı bir veri toplama cihazını da barındırmaktadır. Dişli darbe test cihazı üzerinde yapılan darbe deneyi esnasında kuvvet, ivme ve deplasman değerlerinin belirlenebilmesi için üç farklı sensör bulunmaktadır. Sensörler ve veri toplama cihazı bütününde veri toplama sistemini oluşturmaktadır. Veri toplama sisteminde bir adet kuvvet ölçer, bir adet ivmeölçer, bir adette deplasman ölçer bulunmaktadır. Kuvvet sensörü olarak Dytran 1060v6 dinamik yük sensörü kullanılmıştır. Bu sensör maksimum 220 kN' a kadar ölçüm yapabilmektedir. İvmeölçer olarak measurement specialties model 7104A52 ve 9,781 mV/g hassasiyete sahip ivmeölçer tercih edilmiştir. Deplasman ölçer olarak maksimum ölçme mesafesi 200 mm olan LVDT deplasman ölçer kullanılmıştır. Veri toplama sistemi olarak YMC 9208 yüksek performanslı veri toplama cihazı kullanılmıştır. Cihaz sayesinde saniyede 100000 veri toplanabilmektedir. Çarpma süresince zaman aralığı çok küçük olduğu için veri toplama sisteminin veri toplama hızının da yüksek olması gerekmektedir. Bu nedenle yüksek performansa sahip veri toplama sistemleri gerekmektedir.

Çalışmamızda yapmış olduğumuz deneyler sonucu kuvvet, ivme ve deplasman verilerini elde etmiş olmamıza rağmen çalışmanın amacı doğrultusunda sadece kuvvet değerleri göz önüne alınmıştır.

### **3.2.2. Dişli darbe test cihazı çalışma prensibi**

Bu çalışma için özel tasarlanmış ve imalatı gerçekleştirilmiş dişli darbe test cihazının bileşenlerini bir önceki kısımda genel itibariyle 6 başlık altında incelenmiştir. Bu 6 ayrı bileşenin bir araya gelmesiyle bir bütün olarak toplamış olan dişli darbe test cihazının çalışma prensibi şu sıralamayla gerçekleşmektedir;

- İlk olarak cihaz üzerindeki sensörler ile veri toplama cihazı arasındaki bağlantılar gerçekleştirilerek sensörlerde bir arıza olup olmadığı kontrol edilir.
- Kompresör çalıştırılarak pnömatik şartlandırıcı ile sisteme verilen hava basıncı 4 ila 6 bar arasında ayarlanır.



- Pnömatik silindire yön veren ve bir kumanda görevi gören küçük kol mekanizmasıyla pnömatik silindirin çalışıp çalışmadığı, pnömatik hortum ve hortum bağlantılarında hava kaçağı olup olmadığı kontrol edilir. Bu kısım çok önemlidir. Çünkü yükü serbest bırakma mekanizması pnömatik silindir yardımıyla yük mekanizmasını taşımaktadır. Pnömatik silindirin görevini yerine getirmemesi yük mekanizmasının beklenmedik bir anda serbest kalmasına ve bunun sonucunda da hem cihaza hem de deney çalışmasını yapan kişilere zarar vermesi durumu ortaya çıkar.
- Yapılan kontroller sonucunda yük taşıma mekanizmasının elektrik bağlantısı gerçekleştirilir.
- Yük taşıma mekanizması kumanda yardımıyla çalıştırılarak, yük taşıma mekanizmasının kancası yükü serbest bırakma mekanizmasının üstüne gelecek şekilde konumlandırılır.
- Yük taşıma cihazı ile yükü serbest bırakma mekanizması arasındaki bağlantı gerçekleştirilir.
- Pnömatik silindir yardımıyla yükü serbest bırakma mekanizmasının yük mekanizmasıyla bağlantısı sağlanır.
- Yük kaldırma mekanizmasının kumandayla kontrolü gerçekleştirilerek yük mekanizması kaldırılır ve emniyet aparatlarının üzerine yerleştirilir. Bu işlem sonrası yük mekanizmasının aşağı yönde hareket etmemesi için gerekli kontrol gerçekleştirilir.
- Deney numunesi olan dişli çark civata ve somunlar yardımıyla fikstür kısmına sabitlenir.
- Fikstür kısmı civata ve somunlar gevşetilerek deney için uygun konuma getirilir ve emniyet aparatları alınarak yük mekanizmasının aşağı hareketiyle kırıcı ucun dişli çark dişlisinin istenilen noktasına temas edip etmediği kontrol edilir. Sonrasında fikstür kısım civata ve somunların sıkılmasıyla bulunduğu konuma sabitlenir.
- Yük mekanizması yük taşıma mekanizmasının yardımıyla yukarı kaldırılarak deney için belirlenmiş serbest bırakma noktasına getirilir.
- Pnömatik silindirin kumanda görevi gören kol ile hareketi sağlanarak yük mekanizması serbest bırakılır ve dişli çark üzerine düşerek darbe işlemini

gerçekleştirmiş olur. Bu işlem esnasında en az iki kişi bulunmalıdır. Bu kişilerden biri veri toplama cihazı başında diğeri de pnömatik silindirin hareketini sağlayan kol mekanizmasının başında bulunmalıdır. Veri cihazı başındaki kişinin ölçümü başlatması ile kol mekanizması başındaki kişiye komut vermesi gerekir. Bu şekilde işlem gerçekleştirilmiş olur.

- Yük taşıma mekanizması yardımıyla yükü serbest bırakma mekanizması aşağı indirilerek yük mekanizması üzerinde konumlandırılır.
- Pnömatik silindir sayesinde yük mekanizmasıyla yükü serbest bırakma mekanizması arasındaki bağlantı sağlanır.
- Yük taşıma mekanizması ile yük mekanizması yukarı yönde hareket ettirilerek emniyet aparatları üzerine konumlandırılır ve aşağı yönde hareket etmemesi için gerekli kontrol sağlanır.
- Deney yapılan dişli çark fikstür kısmından sökölerek yeni bir deney için uygun konuma getirilip tekrar sabitlenir. Böylece dişli darbe test cihazı yeni bir deney için hazır hale getirilmiş olur.

#### **4. BULGULAR ve TARTIŞMA**

Çalışmanın bu kısmında darbe dayanımını belirlemek için özel tasarlanmış ve imal edilmiş dişli darbe test cihazında yapılan deneylerden elde edilen sonuçlar sunulacaktır.

Deneyler iki farklı diş formuna sahip simetrik (dişlerin kavrama açısı  $20^{\circ}/20^{\circ}$ ) evolvent dişli çark ve asimetrik (dişlerin kavrama açısı  $20^{\circ}/30^{\circ}$ ) evolvent dişli çark ile yapılmıştır. Simetrik evolvent dişli çark ve asimetrik evolvent dişli çarktan da aynı malzemeden yapılmış 3 farklı numune kullanılmıştır. Simetrik evolvent dişli çarkın dişlerinin iki yüzeyindeki kavrama açıları  $20^{\circ}$  olduğundan tek yüzeyden deney yapılmıştır. Asimetrik evolvent dişli çarklarda dişin bir yüzeyindeki kavrama açısı  $20^{\circ}$ , diğer yüzeyindeki kavrama açısı ise  $30^{\circ}$  dir. Bu yüzden asimetrik evolvent dişli çarkların kavrama açısı  $20^{\circ}$  olan diş yüzeyinde ayrı, kavrama açısı  $30^{\circ}$  olan diş yüzeyinde ayrı deneyler yapılmıştır.

Yapılan deneylerde deney esnasında sensörler sayesinde veri toplama cihazı ile belirlenen üç ayrı değer söz konusudur. Kuvvet, ivme, deplasman değerleri veri toplama sisteminde görüntülenebilmektedir. Çalışmamızın amacı çerçevesinde değerler içerinden sadece kuvvet sonuçlara ele alınmıştır.

Veri toplama cihazı saniyede 100000 veri toplayabildiğinden deney esnasında sadece darbe esnasında veri alınmaya çalışılmıştır. Aksi takdirde istenen andaki verileri belirlemek daha zor olacaktır. Bu darbe anında belirlenen değerler Excel programına ayrılmıştır. MATLAB programı kullanılarak sonuçlar grafik haline getirilmiştir.

Sonuç olarak toplamda 3 ayrı diş yüzeyi için darbe deneyleri yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar grafikler ve tablolar yardımıyla belirtilmiş, dişli çark dişlilerinin darbe sonrasında kırılma örnekleri de görseller ile sunulmuştur. Sonrasında elde edilen tüm değerler karşılaştırılmıştır.

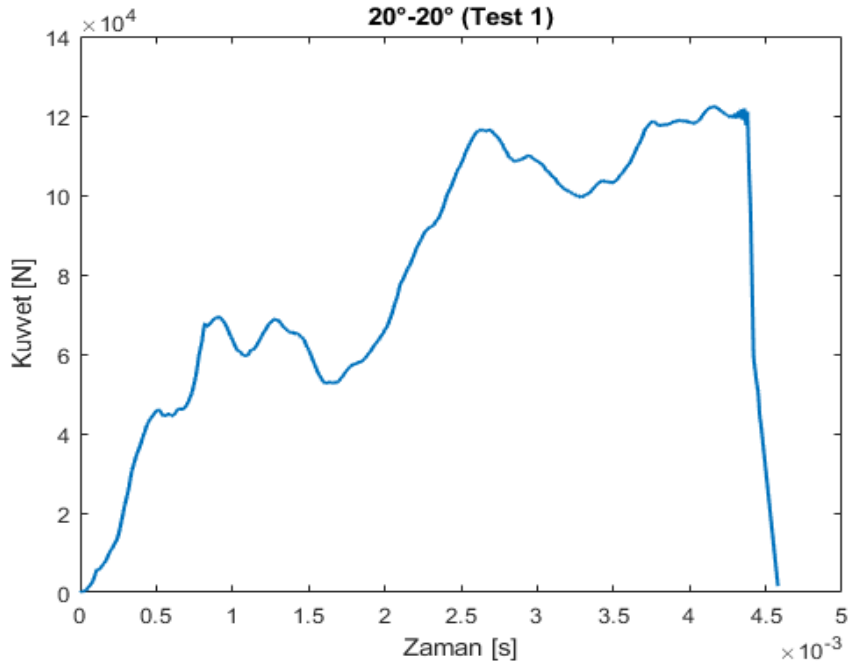
##### **4.1. Statik Evolvent Dişli Çarkların Deney Sonuçları**

Bu kısımda simetrik evolvent dişli profiline sahip dişli çarklarla yapılmış olan deney sonuçları verilecektir.

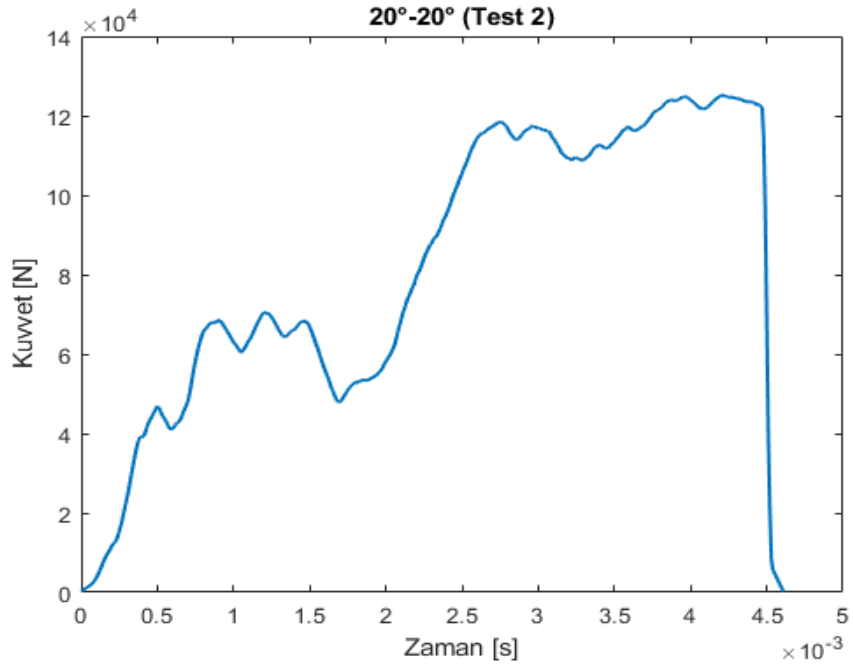
Simetrik evolvent dişli çarkları için toplamda 6 adet deney yapılmıştır. Yapılan deneyler arasında yük mekanizmasının iki farklı yükseklikten bırakılması işlemi gerçekleşmiştir. İlk 3 deneyde yük mekanizması belirlenen noktanın 50 cm yüksekliğinden, geriye kalan 3 deneyde de 60 cm yüksekliğinden dişli çark üzerine bırakılmıştır.

Deneyler sonucu elde edilen verilerin grafikleri, darbe anındaki kuvvet değerleri ve deney numunesi görselleri aşağıda sunulmuştur.

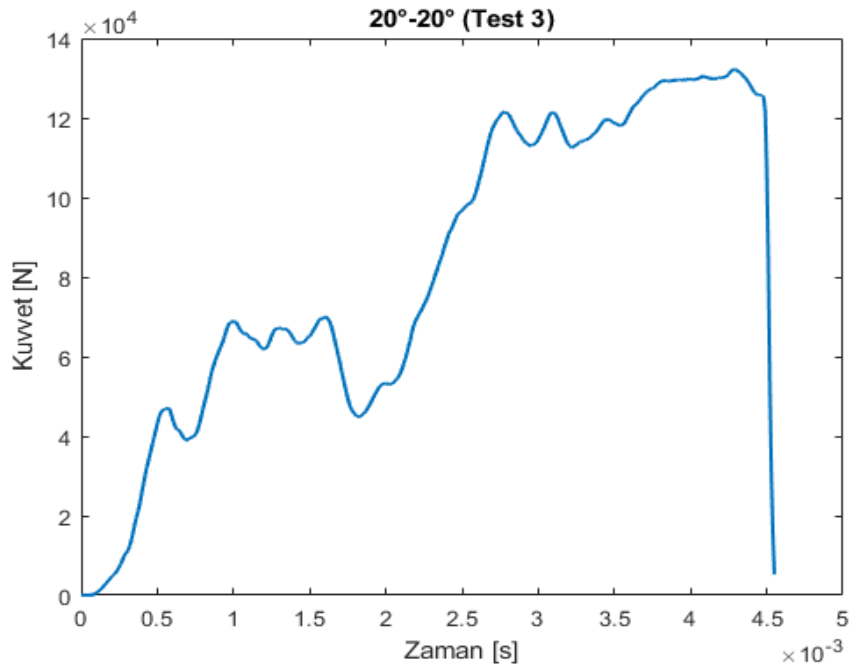
Yük mekanizması 50 cm yükseklikten bırakılan deney grafikleri Şekil 4.1, Şekil 4.2, Şekil 4.3' de gösterilmiştir.



**Şekil 4.1.** Simetrik evolvent dişli çark ile 50 cm' den yapılan 1. deney



Şekil 4.2. Simetrik evolvent dişli çark ile 50 cm' den yapılan 2. Deney



Şekil 4.3. Simetrik evolvent dişli çark ile 50 cm' den yapılan 3. deney

Grafikler incelenerek belirlenen kuvvet değerleri izelge 4.1 görülmektedir.

**Çizelge 4.1.** Simetrik evolvent dişli çarklarda yk mekanizması 50 cm' den bırakılarak yapılan 3 deneyin sonucu

TEST NO:	MAKSİMUM KUVVET [kN]
1	116.4
2	118.2
3	121.4

Deneyle sonucunu kırılan dişlerin görselleri Şekil 4.4' te gösterilmiştir.



(a)



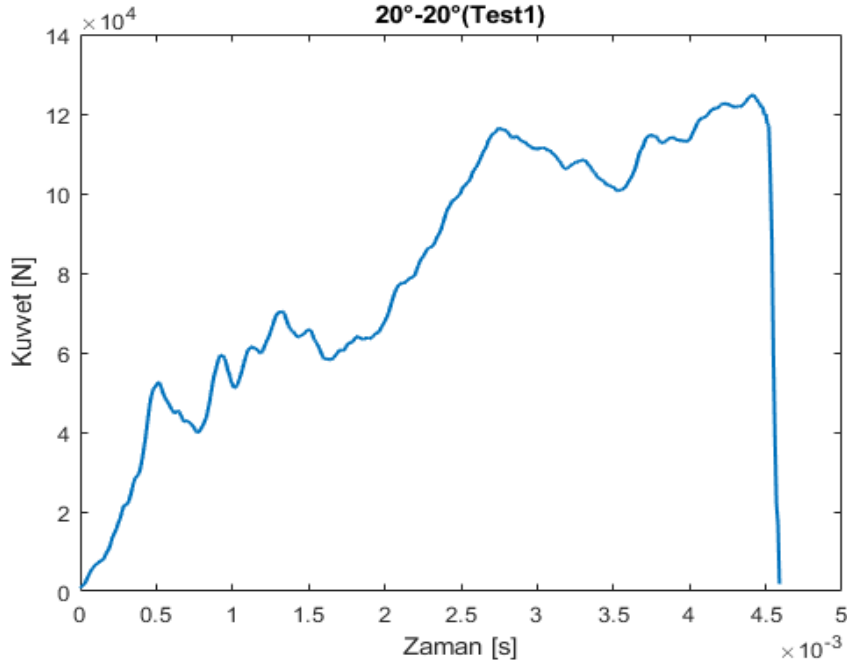
(b)



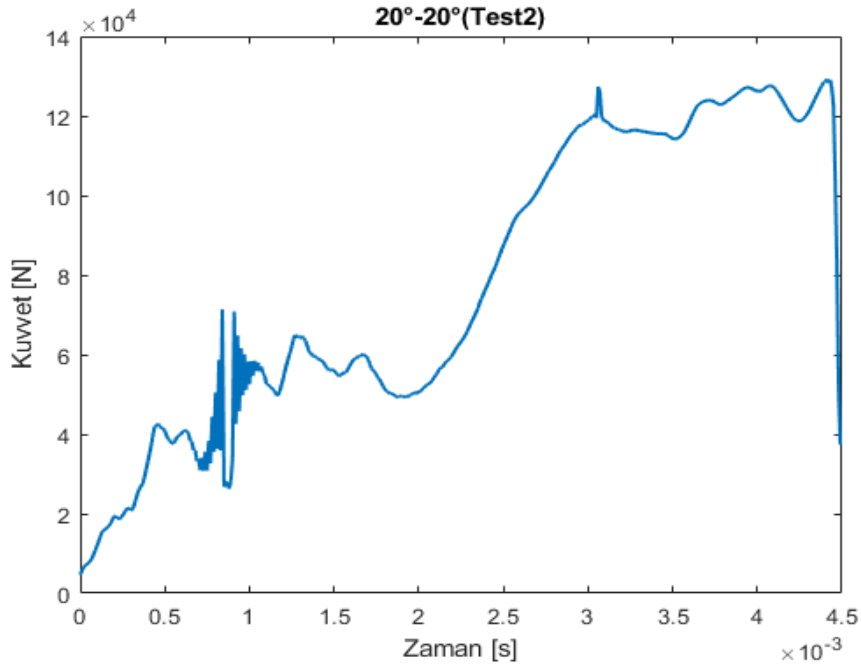
(c)

**Şekil 4.4.** 50 cm yükseklikten yapılan deney sonucunu kırılan diş görselleri (a) Deney 1, (b) Deney 2, (c) Deney 3

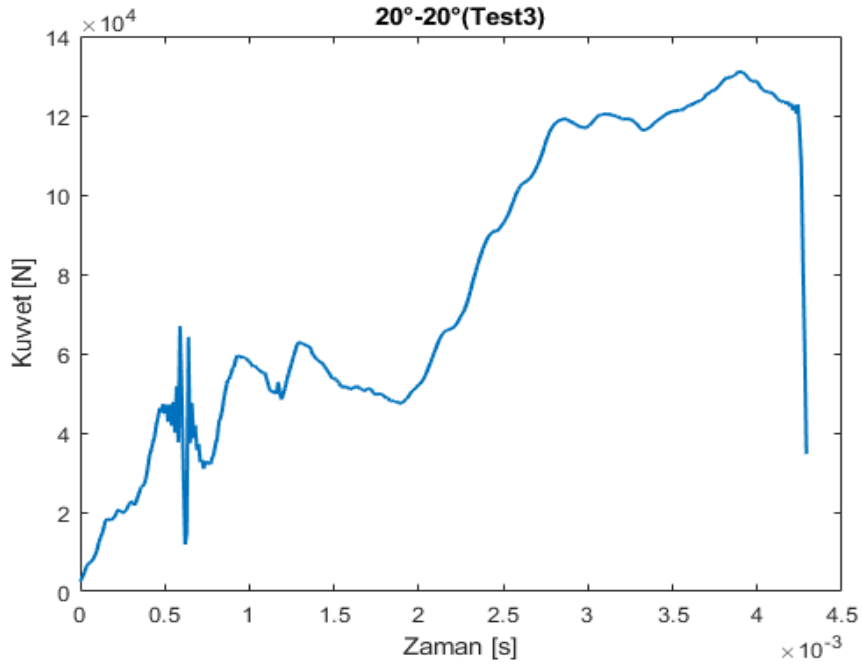
Simetrik evolvent dişli çarkların, yük mekanizması 60 cm' den bırakılarak yapılan deney sonucu elde edilen verilerin grafikleri de bu kısımda verilmiştir. Grafikler yapılan deneylerin sırasına göre Şekil 4.5, Şekil 4.6 ve Şekil 4.7' de gösterilmiştir.



Şekil 4.5. Simetrik evolvent dişli çark ile 60 cm' den yapılan 1. deney



Şekil 4.6. Simetrik evolvent dişli çark ile 60 cm' den yapılan 2. deney



**Şekil 4.7.** Simetrik evolvent dişli çark ile 60 cm' den yapılan 3. deney

Yapılan deneyler sonucu elde edilen grafikler incelenerek belirlenen kuvvet değerleri Çizelge 4.2 görülebilmektedir.

**Çizelge 4.2.** Simetrik evolvent dişli çarklarda yük mekanizması 60 cm' den bırakılarak yapılan 3 deneyin sonucu

TEST NO:	MAKSİMUM KUVVET [kN]
1	115.2
2	117.14
3	117.27

Deneyler sonucu kırılan diş ve dişli çark görselleri Şekil 4.8 ve Şekil 4.9' da gösterilmiştir.





(a)



(b)



(c)

**Şekil 4.8.** 60 cm yükseklikten yapılan deney sonucu kırılan diş görselleri (a) Deney 1, (b) Deney 2, (c) Deney 3



(a)



(b)



(c)

**Şekil 4.9.** 60 cm yükseklikten yapılan deney sonucu kırılan dişli çark görselleri (a) Deney 1, (b) Deney 2, (c) Deney 3

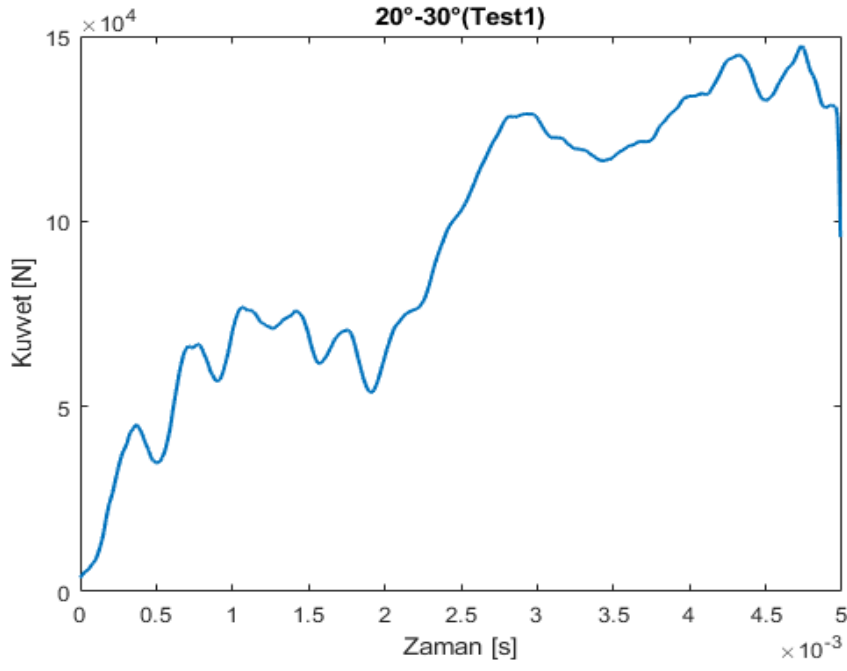
#### **4.2. Asimetrik Evolvent Dişli Çarkların Kavrama Açısı 20° Olan Yüzeyine Darbe Uygulanarak Yapılan Deney Sonuçları**

Asimetrik evolvent dişli çarklar için iki farklı konumda deneyler yapılmıştır.

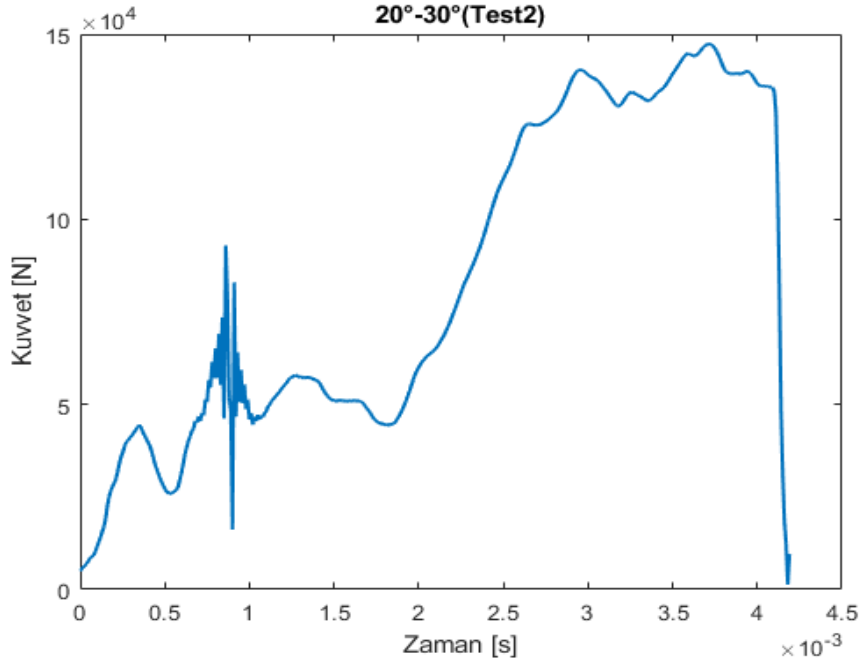
Bu kısımda asimetrik evolvent dişli çark dişlerinin kavrama açısı 20° olan kısmında uygulanan darbe sonucu elde edilen değerler sunulacaktır. Yapılan bu 3 deneyde de yük mekanizması 60 cm' den bırakılmıştır.

Deneyler sonucu elde edilen verilerin grafikleri, darbe anındaki kuvvet değerleri ve deney numunesi görselleri aşağıda sunulmuştur.

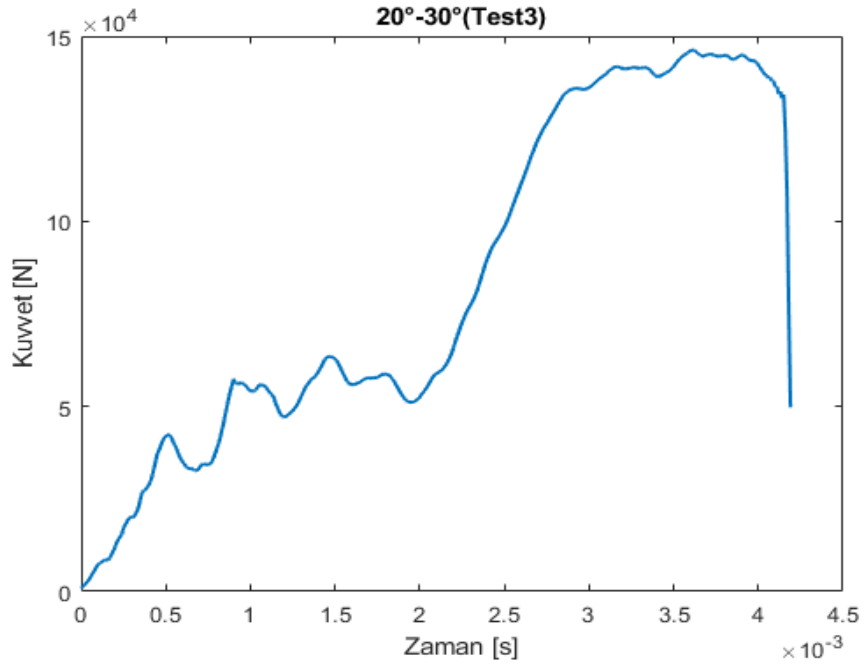
Grafikler Şekil 4.10, Şekil 4.11 ve Şekil 4.12' de görülmektedir.



**Şekil 4.10.** Asimetrik evolvent dişli çarkın kavrama açısı  $20^\circ$  olan tarafından yapılan 1. deney



**Şekil 4.11.** Asimetrik evolvent dişli çarkın kavrama açısı  $20^\circ$  olan tarafından yapılan 2. deney



**Şekil 4.12.** Asimetrik evolvent dişli çarkın kavrama açısı  $20^\circ$  olan tarafından yapılan 3. deney

Yapılan deneyler sonucu elde edilen grafikler incelenerek belirlenen kuvvet değerleri Çizelge 4.3 görülebilmektedir.

**Çizelge 4.3.** Asimetrik evolvent dişli çarkların kavrama açısı  $20^\circ$  olan yüzeyinde darbe uygulanarak yapılan 3 deneyin sonucu

TEST NO:	MAKSİMUM KUVVET [kN]
1	128.78
2	139.12
3	141.03

Deneyler sonucu kırılan diş ve dişli çark görselleri Şekil 4.13, Şekil 4.14 ve Şekil 4.15’de gösterilmiştir.



(a)



(b)



(c)

**Şekil 4.13.** Kavrama açısı  $20^\circ$  olan yüzeyden yapılan deney sonucu kırılan diş görselleri  
(a) Deney 1, (b) Deney 2, (c) Deney 3



(a)



(b)



(c)

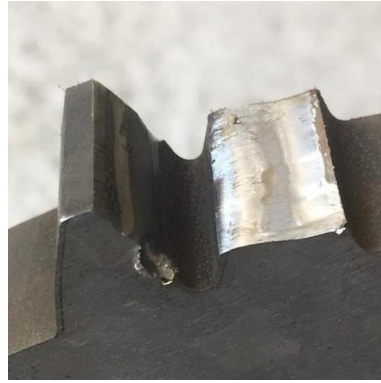
**Şekil 4.14.** Kavrama açısı  $20^\circ$  olan yüzeyden yapılan deney sonucu kırılan dişli çark üst görselleri (a) Deney 1, (b) Deney 2, (c) Deney 3



(a)



(b)



(c)

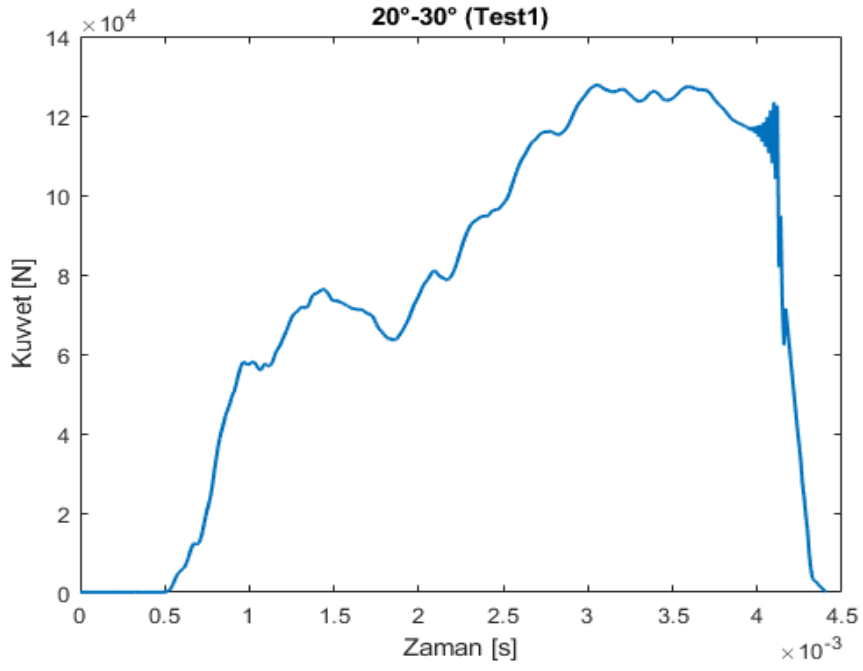
**Şekil 4.15.** Kavrama açısı  $20^\circ$  olan yüzeyden yapılan deney sonucu kırılan dişli çark yan görselleri (a) Deney 1, (b) Deney 2, (c) Deney 3

### **4.3. Asimetrik Evolvent Dişli Çarkların Kavrama Açısı $30^\circ$ Olan Yüzeyine Darbe Uygulanarak Yapılan Deney Sonuçları**

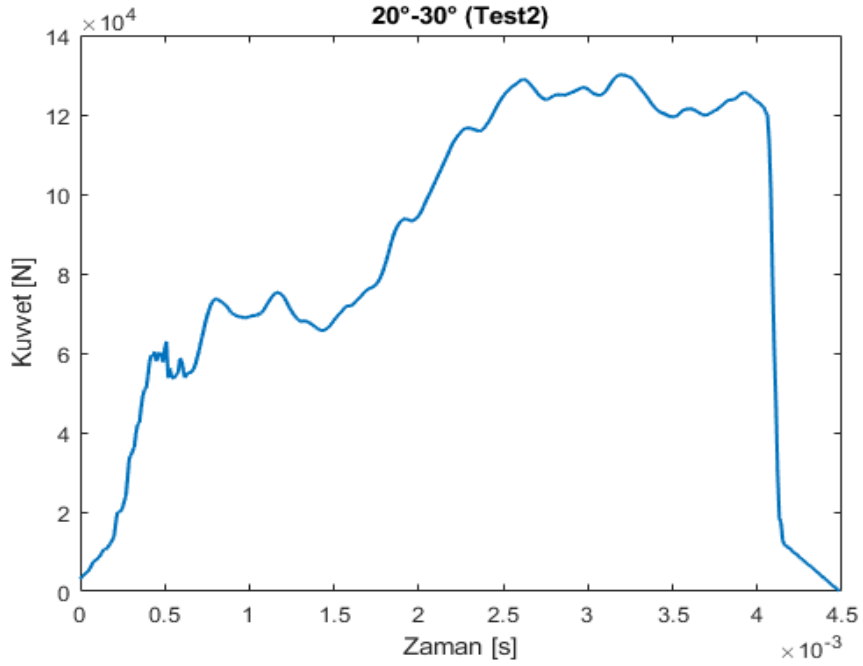
Asimetrik evolvent dişli çarklar için iki farklı konumda deneyler yapıldığını bir önceki kısımda da belirtmiştik.

Bu kısımda asimetrik evolvent dişli çark dişlerinin kavrama açısı  $30^\circ$  olan kısmında uygulan darbe sonucu elde edilen değerler sunulacaktır. Yapılan bu 3 deneyde de yük mekanizması 60 cm' den bırakılmıştır.

Deneyler sonucu elde edilen verilerin grafikleri Şekil 4.16, Şekil 4.17 ve Şekil 4.18' de görülmektedir.

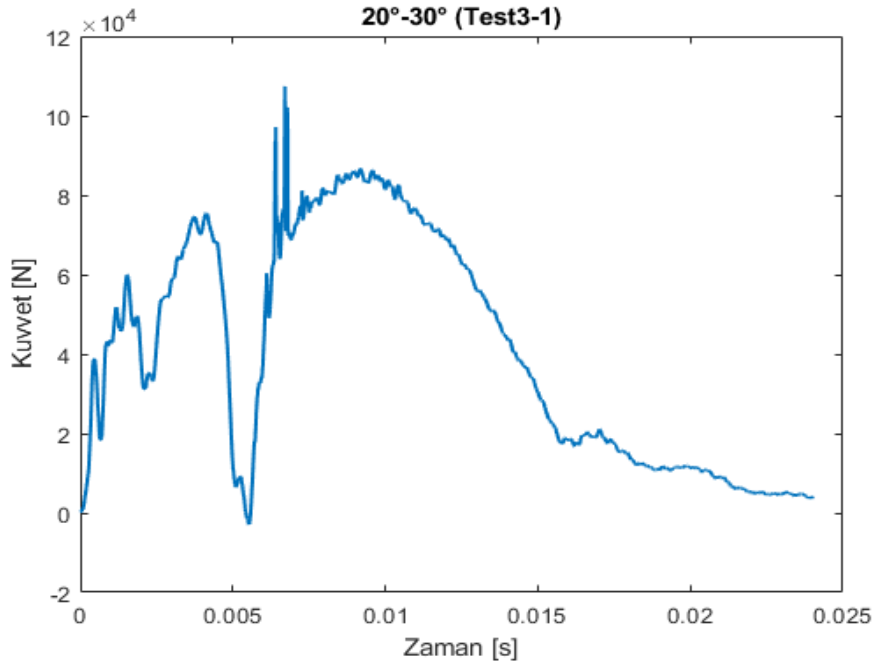


**Şekil 4.16 .** Asimetrik evolvent dişli çarkın kavrama açısı 30° olan tarafından yapılan 1. Deney



**Şekil 4.17 .** Asimetrik evolvent dişli çarkın kavrama açısı 30° olan tarafından yapılan 2. Deney





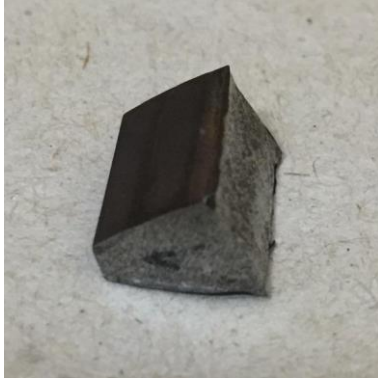
**Şekil 4.18.** Asimetrik evolvent dişli çarkın kavrama açısı  $30^\circ$  olan tarafından yapılan 3. Deney

Yapılan deneyler sonucu elde edilen grafikler incelenerek belirlenen kuvvet değerleri Çizelge 4.4 görülebilmektedir.

**Çizelge 4.4.** Asimetrik evolvent dişli çarkların kavrama açısı  $30^\circ$  olan yüzeyinde darbe uygulanarak yapılan 3 deneyin sonucu

TEST NO:	MAKSİMUM KUVVET [kN]
1	127.78
2	128.9
3	112.68

Deneyler sonucu kırılan diş görselleri Şekil 4.19’da gösterilmiştir.



(a)



(b)



(c)

**Şekil 4.19.** Kavrama açısı  $30^\circ$  olan yüzeyden yapılan deney sonucu kırılan diş görselleri (a) Deney 1, (b) Deney 2, (c) Deney 3

#### **4.4. Deneyler Sonucu Elde Edilen Değerlerin Karşılaştırılması**

Bu bölümde deneyler sonucu elde edilen tüm değerlerin karşılaştırması yapılmıştır.

Yapılan deneyler simetrik evolvent dişli çarkların diş yüzeyinin 1 tarafından, asimetrik evolvent dişli çarkların diş yüzeyinin 2 tarafından da olmak üzere toplamda 3 ayrı yüzey için gerçekleştirilmiştir.

Veri toplama cihazı ile elde edilen değerler grafik haline getirilmiş ve darbe dayanımı kuvvetleri grafikler sayesinde belirlenmiştir. Belirlenen kuvvet değerleri grafiklerdeki maksimum değerler değildir. Çünkü istenilen kuvvet değerleri darbe esnasında dişli çarkın dayanımı sonucu oluşan değerlerdir. Bu da grafiklerde gözlemlenen ilk maksimum değere tekabül etmektedir.

Deney sonuçları elde edilen kuvvet değerleri iki ayrı şekilde kıyaslanacaktır. Simetrik evolvent dişli çarklarda yapılan deneylerde yük mekanizmasının 50 cm ve 60 cm yükseklikten bırakılması sonucu elde edilen değerler kendi arasında kıyaslanacak, yük

mekanizması 60 cm yükseklikten bırakılan simetrik ve asimetric evolvent dişli çarkların deney sonuçları kendi arasında kıyaslanacaktır.

Yük mekanizması 50 cm ve 60 cm yükseklikten bırakılarak yapılan simetrik evolvent dişli çark deneylerinden elde edilen sonuçlara bakıldığında değerlerin birbirine yakın olduğu görülmektedir.

Yük mekanizması 60 cm yükseklikten bırakılarak yapılan simetrik ve asimetric evolvent dişli çark deneylerinden elde edilen sonuçlara bakıldığında ise asimetric evolvent dişli çark dişlerinin kavrama açısı  $20^\circ$  olan yüzeyinde yapılan deney sonuçlarının daha yüksek olduğu belirlenmiştir.

## 5.SONUÇ

Yapılmış olan bu tez çalışmasında dişli çarkların darbe dayanımını belirleyebilmek için özel tasarlanmış ve imal edilmiş dişli darbe test cihazı kullanılmıştır. Deneyler iki ayrı formdaki; simetrik ve asimetrik evolvent dişli çarklar üzerinde gerçekleştirilmiştir. Simetrik evolvent dişli çarkların aksine asimetrik evolvent dişli çarklar üzerinde iki ayrı deney çalışması yapmak gerekmektedir. Bunun sebebi; simetrik evolvent dişli çarklarda kavrama açısı dişin iki yüzeyinde aynıken asimetrik evolvent dişli çarklarda ise kavrama açısı dişin iki yüzeyinde farklılık göstermektedir.

Bu deney çalışması için dişin her iki tarafında da kavrama açısı  $20^\circ$  olan simetrik evolvent dişli çarklar ve kavrama açısı dişin bir tarafında  $20^\circ$  diğer tarafında  $30^\circ$  olan asimetrik evolvent dişli çarklar imal edilmiştir.

Bu durumda deneyler 3 ayrı aşamada gerçekleştirilmiştir. Simetrik evolvent dişli çarkların diş kavrama açısı dişin iki tarafında da  $20^\circ$  olduğundan dişin tek bir yönünden deney yapılırken asimetrik evolvent dişli çarkların diş kavrama açısı  $20^\circ$  ve  $30^\circ$  olan kısımları için ayrı deneyler yapılmıştır.

Simetrik evolvent dişli çark ve asimetrik evolvent dişli çarkın ikisi içinde 3' er adet numune imal edilmiştir. Simetrik evolvent dişli çarklar üzerinde toplamda 6 deney yapılırken asimetrik evolvent dişli çarklarda kavram açısı  $20^\circ$  olan taraf için 3 deney, kavrama açısı  $30^\circ$  olan taraf için 3 deney olmak üzere toplam 6 deney yapılmıştır.

Yapılan bu deneylerde amaç; kullanılan numuneler arasında darbe dayanımının en yüksek olduğu formun tespit edilmesidir. Sonuçlar ele alındığında asimetrik evolvent dişli çarkların diş kavrama açısı  $20^\circ$  olan kısımdan elde edilen deney sonuçlarının ortalamasının, diş kavrama açısı  $30^\circ$  olan kısımdan elde edilen deney sonuçlarının ortalamasından %6 ve simetrik evolvent dişli çarklardan elde edilen deney sonuçlarının ortalamasından %17 oranında daha yüksek olduğu görülmüştür. Bu da asimetrik evolvent dişli çarkların darbe dayanımının simetrik evolvent dişli çarkların darbe dayanımına göre daha yüksek olduğu sonucunu ortaya çıkarmaktadır.

Asimetrik evolvent dişli çarklarda kavrama açısı  $20^\circ$  olan kısımda elde edilen deney sonuçlarının, kavrama açısı  $30^\circ$  olan kısımda elde edilen deney sonuçlarından daha

yüksek çıkması beklenen bir sonuçtur. Asimetrik evolvent dişli çarkın diş profiline bakıldığında kavrama açısı  $30^\circ$  olan kısımda diş dibi daha kalındır. Bu da aktif kısmın kavrama açısı  $20^\circ$  olan yüzey olduğu durumlarda diş üzerindeki darbe dayanımını arttırmaktadır.

Ayrıca simetrik evolvent dişli çarklar ile yapılan 6 deney yük mekanizması iki ayrı yükseklikten bırakılarak gerçekleştirilmiştir. Yük mekanizması 50 cm ve 60 cm yükseklikten bırakılarak yapılan bu deneylerin sonucunda belirlenen kuvvet değerlerinin birbirine yakın olduğu görülmüştür.

## KAYNAKLAR

- Akın, C., Şenel, M. 2010.** An Experimental Study of Low Velocity Impact Response for Composite Laminated Plate, *Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, (21): 77-90.
- Akkurt M. 2000.** Makine Elemanları. Birsen Yayınevi, İstanbul, 300 s.
- Babalık, F., 2008.** Makine Elemanları ve Konstrüksiyon Örnekleri. Nobel Yayın Dağıtım, Bursa, 874 s.
- Banthia, N., Mindess, S., Bentur, A., Pigeon, M. 1989.** Impact Testing of Concrete Using a Drop-weight Impact Machine, *Experimental Mechanics*, 29(1): 63-69.
- Deng, G., Nakanishi, T. 2001.** Enhancement of Bending Load Carrying Capacity of Gears Using an Asymmetric Involute Tooth. The JSME International Conference on Motion and Transmissions, Fukuoka, Japan.
- Doğan, O., Karpat, F., Yüce, C., Kalay, O.C. 2018.** Experimental Investigation of the Impact Resistance of Involute Spur Gears. 9th International Conference on Mechanical and Aerospace Engineering, 10-13 July, 2018, Hungary, Budapest.
- Doğan, O., Yılmaz, T.G., Karpat, F. 2018.** Stress analysis of involute spur gears with different parameters by finite element and graphical method. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 33(4): 1493-1504.
- Fetvacı, C., İmrak, E. 2008.** Mathematical Model of a Spur Gear with Asymmetric Involute Teeth and its Cutting Simulation. *Mechanics Based Design of Structures and Machines*, 36(1): 34- 46.
- Fetvacı, C. 2018.** Computer simulation of nonstandard gears manufactured by pinion-type cutters. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 33(1): 51-61.
- Gunawan, L., Dirgantara, T., Putra, I.S. 2011.** Development of A Drop Weight Impact Testing Machine. *International Journal of Engineering & Technology*, 11(6): 98-104.
- Isaacson, A.C. 2009.** A Strain Rate Sensitivity Investigation of Aerospace Steel Gear Teeth Via Instrumented Impact Testing. *MSc Thesis*, The Pennsylvania State University.
- Karpat, F., Çavdar, K., Babalık, F.C. 2004.** Asimetrik Evolvent Profilli Düz Dişlilerin Boyutlandırılması ve Geometrik Modellerinin Oluşturulması. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 9(1): 123-131.
- Karpat, F. 2005.** Asimetrik Evolvent Dişe Sahip Düz Dişli Çarkların Analizi. *Doktora Tezi*, Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Karpat, F., Çavdar, K., Babalık, F.C. 2006.** Asimetrik Evolvent Dişe Sahip Düz Dişli Çarkların Bilgisayar Destekli Parametrik Analizi, TİMAK-Tasarım İmalat Analiz Kongresi, 2006, Balıkesir.
- Karpat, F., Çavdar, K. 2010.** Rüzgar Türbini Test Düzeneği Tasarımı. 2. Ulusal Tasarım İmalat ve Analiz Kongresi, 11-12 Kasım 2010, Balıkesir.
- Mallesh, G., Math, V.B., Gajanan, Uttesh, Sridhar, 2009.** Estimation of Critical Section and Bending Stress Analysis for Asymmetric Spur Gear Tooth. 14th National Conference on Machines and Mechanisms (NaCoMM09), 17-18 December, 2009, Durgapur, India.
- Novikov, A.S., Paikin, A.G., Dorofeyev, V.L., Ananiev, V.M., Kapelevich, A.L. 2009.** Application of Gears with Asymmetric Teeth in Turboprop Engine Gearbox. ASME 2007 International Design Engineering Technical Conferences and Computers

and Information in Engineering Conference, 4-7 September, 2007, Las Vegas, Nevada, USA.

**Olguner, S., Filiz, İ.H. 2013.** Asimetrik Dişli Tasarımı ve Sonlu Elemanlar Metodu ile Gerilme Analizi. TMMOB Makina Mühendisleri Odası Makina İmalat Teknolojileri Kongresi, 6-7 Aralık 2013, Bursa.

**Olguner, S., Filiz, İ.H. 2014.** A Study on the Design of Asymmetric Spur Gears in Gear Pump Applications. International Gear Conference, 2014, Lyon, France.

**Olguner, S., Filiz, İ.H. 2016.** Experimental Analysis of External Gear Pumps With Symmetric and Asymmetric Spur Gears. The 17th International Conference on Machine Design and Production, 12-15 July, 2016, Bursa.

**Pattison, G., Brooks, S. 2009.** Using Instrumented Impact Testing as an Indicator of Resin Acrylic-Bonding-Potential for Tub and Shower Laminates. *Composites Research Journal*, 2(4).

**Rao, S.B., Noss, R.C., Mc Pherson, D.R., De Meter, E.C. 2003.** Gear Tooth Impact Testing. ASME 2003 International Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering Conference, 2-6 September, 2003, Chicago, Illinois, USA.

**Sonti, N., Rao, S.B., Anderson, G. 2010.** Bending Fatigue Impact and Pitting Resistance of Ausform-Finished P/M Gear. *Gear Technology*: 44- 53.

**Verma, A., Gopinath, K. 2011.** Impact Strength Comparison with Carburization Case Depth Variation for Gear Steel by Instrumented Charpy, Izod and Brugger Tests. *International Journal of Applied Science and Engineering*, 9(1): 13-18.

**Wei L., Yanjun, L., Lifang, Q., Xiaoqun, W. 2007.** Theory and Method of Hob Design for a new-style Asymmetric Gear. *Pekin Bilim ve Teknoloji Üniversitesi Dergisi*.

**Yılmaz, T.G. 2015.** Dişli Çarkların Bilgisayar Destekli Tasarımı. *Yüksek Lisans Tezi*, Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

**Yılmaz, T.G., Güllü, E. 2016.** Kremayer Tipi Kesici Takımla İmal Edilmiş Evolvent Düz Dişli Çarkların Matematik Modellenmesi. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 21(1): 177-190.

**Zhang, X.X., Ruiz, G., Rena C. Y. 2008.** A New Drop Weight Impact Machine for Studying Fracture Process in Structural Concrete. *Anales de Mecánica de la Fractura* , 2: 655-659.

**Zhao, N., Zhang, M.Q., Guo, H., 2014.** Stress Analysis of Asymmetric Spur Face-Gear Pair Based on Finite Element Method. *Applied Mechanics and Materials*, 483: 309-314.

## ÖZ GEÇMİŞ

Adı Soyadı : Hasan Ali Civelek  
Doğum Yeri ve Tarihi : Mustafakemalpaşa, 1992  
Yabancı Dil : İngilizce

Eğitim Durumu  
Lise : Mustafakemalpaşa Lisesi, 2010  
Lisans : Karadeniz Teknik Üniversitesi, 2015  
Yüksek Lisans : Bursa Uludağ Üniversitesi, 2019

Çalıştığı Kurum/Kurumlar : Bakar Makine İmalatı ve İnşaat Sanayi Ticaret A.Ş.,  
2018-2019

İletişim (e-posta) : hasanalicivelek@gmail.com

Yayınları : -



BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ  
TEZ ÇOĞALTMA VE ELEKTRONİK YAYIMLAMA İZİN FORMU

Yazar Adı Soyadı	Hasan Ali CİVELEK
Tez Adı	Dişli Çarklarda Kırılma Davranışının Deneysel İncelenmesi
Enstitü	Fen Bilimleri Enstitüsü
Anabilim Dalı	Makine Mühendisliği
Tez Türü	Yüksek Lisans Tezi
Tez Danışman(lar)ı	Doç. Dr. Fatih KARPAT
Çoğaltma (Fotokopi Çekim) izni	<input checked="" type="checkbox"/> Tezimden fotokopi çekilmesine izin veriyorum <input type="checkbox"/> Tezimin sadece içindikiler, özet, kaynakça ve içeriğinin % 10 bölümünün fotokopi çekilmesine izin veriyorum <input type="checkbox"/> Tezimden fotokopi çekilmesine izin vermiyorum
Yayımlama izni	<input checked="" type="checkbox"/> Tezimin elektronik ortamda yayımlanmasına izin veriyorum

Hazırlamış olduğum tezimin belirttiğim hususlar dikkate alınarak, fikri mülkiyet haklarım saklı kalmak üzere Bursa Uludağ Üniversitesi Kütüphane ve Dokümantasyon Daire Başkanlığı tarafından hizmete sunulmasına izin verdiğimi beyan ederim.

Tarih : 27/09/2019

İmza : 