





**AĞIR TİCARİ ARAÇ HİDROLİK DİREKSİYONLARINDA  
KULLANILAN BURULMA MİLLERİNİN  
BURULMA KATSAYILARININ DENEYSEL OLARAK BELİRLENMESİ**

**Ozan ÖZDEMİR**

**Yüksek Lisans Tezi**

**Makine Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Danışman: Dr. Öğr. Üyesi İbrahim Savaş DALMIŞ**

**İkinci Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Sait Özmen ERUSLU**

**2021**

T.C.

TEKİRDAĞ NAMIK KEMAL ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

AĞIR TİCARİ ARAÇ HİDROLİK DİREKSİYONLARINDA  
KULLANILAN BURULMA MİLLERİNİN  
BURULMA KATSAYILARININ DENEYSEL OLARAK BELİRLENMESİ

Ozan ÖZDEMİR

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi İbrahim Savaş DALMIŞ  
İkinci Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Sait Özmen ERUSLU

TEKİRDAĞ-2021

Her hakkı saklıdır.

## ÖZET

Yüksek Lisans Tezi  
AĞIR TİCARİ ARAÇ HİDROLİK DİREKSİYONLARINDA  
KULLANILAN BURULMA MİLLERİNİN  
BURULMA KATSAYILARININ DENEYSEL OLARAK BELİRLENMESİ

**Ozan ÖZDEMİR**

Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi İbrahim Savaş DALMIŞ

Bu yüksek lisans tez çalışmasında, burulma testlerinin gerçekleştirilebileceği dikey konfigürasyonlu iki farklı test düzeneği oluşturulmuştur. Düzeneklerin çalışma başarılarının belirlenmesi için, ağır ticari araç hidrolik direksiyon dişli kutularında kullanılan, direksiyonun sertlik hissini ve geri toplamasını sağlayan 5 farklı geometrik ölçüdeki burulma mili test numunesi olarak kullanılmıştır. Farklı geometrik özelliklerdeki burulma millerinin matematiksel olarak teorik burulma katsayıları ve maksimum burulma açısı olan  $7^\circ$  burulma için boyun tork değerleri hesaplanmıştır. Aynı hesaplamalar ANSYS Structural ile Sonlu Elemanlar Analizi gerçekleştirilerek de yapılmış ve teorik ve numerik olarak hesaplanan değerler arasında en yüksek fark % 2,25 görülmüştür. Oluşturulan ilk düzende tork-açı sensörü ile numunelerin burulma katsayıları ölçülmüştür. Ardından kurulan ikinci test düzeneğinde servomotor ve tork sensörü kullanılarak numuneler  $\pm 7^\circ$  burulmaya maruz bırakılmıştır. Testler her numuneden 3 farklı örnek kullanılarak 5 tekrarda gerçekleştirilmiştir. Testler sonucunda kaydedilen tork değerleri ile numunelerin burulma katsayıları hesaplanmıştır. Bu değerler, teorik,sonlu elemanlar analizi ve tork-açı sensörü ölçümünde elde edilen değerler ile karşılaştırılmıştır. 2 numaralı test düzeneğinde yapılan ölçümlerde, teorik ve SEA sonuçlarına göre en fazla yaklaşık % 3'lük bir fark olmuştur. Tork-açı sensörü ölçümünde genel olarak tork değerleri ve burulma katsayıları yüksek çıkmıştır. Oluşturulan iki farklı düzeneğin başarısı değerlendirildiğinde servomotor ve tork sensörü kullanılan 2 numaralı test düzeneğinin daha başarılı sonuçlar verdiği değerlendirilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Burulma, Burulma mili, ANSYS

2021, 90 Sayfa

## ABSTRACT

MSc. Thesis  
EXPERIMENTAL DETERMINATION OF TORSION COEFFICIENTS  
OF TORSION SHAFTS USED IN  
HEAVY COMMERCIAL VEHICLE POWER STEERING

**Ozan ÖZDEMİR**

Tekirdağ Namık Kemal University  
Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Department of Mechanical Engineering

Supervisor: Assist. Prof. Dr. İbrahim Savaş DALMIŞ

In this master's thesis, two different test setups with vertical configurations where torsion tests can be performed were created. In order to determine the working success of the mechanisms, 5 different geometric torsion shafts used in heavy commercial vehicle power steering gearboxes, providing the steering feel and recovery, were used as test samples. The theoretical torsion coefficients of torsion shafts with different geometric properties and neck torque values for  $7^\circ$  of torsion, which is the maximum torsion angle, were calculated mathematically. The same calculations were made by performing Finite Element Analysis with ANSYS Structural and the highest difference % 2.25 was seen between the theoretical and numerically calculated values. Torsion coefficients of the samples were measured with the torque-angle sensor in the first setup. The samples were subjected to  $\pm 7^\circ$  torsion by using servomotor and torque sensor in the second test setup that was set up afterwards. The tests were performed in 5 replicates using 3 different samples from each sample. Torsion coefficients of the samples were calculated with the torque values recorded as a result of the tests. These values were compared with the values obtained in theoretical, finite element analysis and torque-angle sensor measurement. In the measurements made in test setup 2, there was a maximum difference of about %3 compared to the theoretical and FEA results. Torque values and torsion coefficients were generally high in torque-angle sensor measurement. When the success of the two different setups created was evaluated, it was evaluated that the test setup number 2, which used servomotor and torque sensor, gave more successful results.

**Keywords:** Torsion, Torsion bar, ANSYS

2021, 90 Pages

## İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
<b>ÖZET</b> .....	<b>i</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>ii</b>
<b>İÇİNDEKİLER</b> .....	<b>iii</b>
<b>ÇİZELGE DİZİNİ</b> .....	<b>v</b>
<b>ŞEKİL DİZİNİ</b> .....	<b>vi</b>
<b>SİMGELER ve KISALTMALAR</b> .....	<b>ix</b>
<b>TEŞEKKÜR</b> .....	<b>x</b>
<b>1. GİRİŞ</b> .....	<b>1</b>
1.1. Hidrolik Güç Destekli Direksiyon Sistemi .....	3
1.1.1. Hidrolik Direksiyon Kutusunun Yapısı .....	3
1.1.2. Hidrolik Direksiyon Kutusunun Elemanları.....	7
1.1.2.1. Direksiyon Gövdesi .....	8
1.1.2.2. Silindir Kapağı.....	8
1.1.2.3. Piston .....	9
1.1.2.4. Sonsuz Vidalı Mil .....	10
1.1.2.5. Döner Valf Sürgüsü(Giriş Mili) .....	10
1.1.2.6. Sektör Mili .....	11
1.1.2.7. Burulma Mili .....	11
1.2. Burulma Deneyi .....	12
<b>2. KAYNAK ÖZETLERİ</b> .....	<b>14</b>
<b>3. MATERYAL VE YÖNTEM</b> .....	<b>26</b>
3.1. Materyal .....	26
3.1.1. Tork-Açı Sensörlü Test Düzeneği Elemanları(1 Numaralı Test Düzeneği) .....	26
3.1.1.1. Tork-açı Sensörü.....	28
3.1.1.2. Elektronik Ünite/Çevirici.....	29
3.1.1.3. Direksiyon Simidi.....	30
3.1.1.4. Sensör Sabitleme Aparatı .....	31
3.1.1.5. Sabit Bağlantı Aparatı .....	31
3.1.2. Test Düzeneği Elemanları (2 Numaralı Test Düzeneği).....	33
3.1.2.1. Ana Şase .....	34
3.1.2.2. Mafsal .....	34
3.1.2.3. Tork Sensörü.....	35
3.1.2.4. Servo motor ve Redüktör.....	36
3.1.2.5. Servomotor Sürücüsü.....	37
3.1.2.6. Çevirici .....	39

3.1.2.7. Veri Toplama Kartı .....	39
3.1.2.8. Bilgisayar.....	39
3.1.2.9. Labview .....	40
3.1.3. Test Numunesi.....	41
3.2. Yöntem.....	45
3.2.1. Matematiksel Model.....	46
3.2.2. Sonlu Elemanlar Analizi .....	48
3.2.3. Tork-Açı Sensörü Ölçümü (1 Numaralı Düzenek).....	54
3.2.4. Test Düzeneginde Gerçekleştirilen Ölçüm (2 Numaralı Düzenek).....	59
<b>4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA.....</b>	<b>64</b>
4.1. Test Düzeneginden Elde Edilen Sonuçlar .....	64
4.2. Burulma katılığı hesaplanması için yöntemlerin karşılaştırılması .....	74
<b>5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....</b>	<b>76</b>
<b>KAYNAKLAR.....</b>	<b>78</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ .....</b>	<b>80</b>

## ÇİZELGE LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 3.1. Kistler Tork-Açı Sensörü Teknik Özellikleri .....	29
Çizelge 3.2. Tork metre teknik özellikleri.....	35
Çizelge 3.3. Servomotor ve redüktör teknik özellikleri .....	37
Çizelge 3.4. Servomotor sürücüsü teknik özellikleri .....	38
Çizelge 3.5. Burulma millerinin özellikleri.....	44
Çizelge 3.6. Matematiksel modele göre hesaplanan teorik burulma katsayısı değerleri .....	48
Çizelge 3.7. SEA için Mesh bağımsızlık çalışması.....	49
Çizelge 3.8. SEA Mesh bilgileri ve analiz sonuçları .....	53
Çizelge 3.9. Sonlu Elemanlar Analizine göre hesaplanan burulma katsayısı değerleri .....	53
Çizelge 3.10. Tork-Açı Sensörü Ölçümüne Göre Elde Edilen Burulma Katsayısı Değerleri .....	55
Çizelge 3.11. Burulma test düzeneğinin teknik özellikleri .....	59
Çizelge 3.12. Test düzeneğinde ölçülen deneysel burulma katsayısı ve tork değerleri .....	61
Çizelge 4.1. Tüm numuneler için test tezgahından alınan sonuçlar.....	65
Çizelge 4.2. Ortalama değerler için hesaplanan standart sapmalar.....	65



## ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 1.1. Ağır ticari araçlarda kullanılan hidrolik direksiyon sistemi elemanları (Erdoğan, 2017) .....	2
Şekil 1.2. Nötr konumdaki dişli kutusu kesiti .....	4
Şekil 1.3. Sağ dönüş durumunda direksiyon kesitinin gösterimi .....	6
Şekil 1.4. Sola dönüş durumunda direksiyon kesitinin gösterimi .....	6
Şekil 1.5. Direksiyon gövdesi .....	8
Şekil 1.6. Silindir kapağı.....	9
Şekil 1.7. Piston .....	9
Şekil 1.8. Sonsuz vidalı mil .....	10
Şekil 1.9. Giriş mili .....	11
Şekil 1.10. Sektör mili.....	11
Şekil 1.11. Tipik bir sünek malzeme için burulma momenti( $M_b$ ) - Burulma açısı( $\theta$ ) grafiği (Bhaduri, 2018).....	13
Şekil 1.12. Farklı özellikte numuneler için burulma sonucu kırılma örnekleri (Bhaduri, 2018).....	13
Şekil 2.1. Verimsel faktörler hesaba katılarak düzeltilmiş eğrinin önceki çalışma ve ölçüm sonucu elde edilen veriler ile karşılaştırılması(Budzynski Parker, 1966).....	14
Şekil 2.2. Yüksek Frekans Burulma Yorulması Test Düzeneginin Şeması (Stanzl-Tschegg ve ark., 1993) .....	15
Şekil 2.3. Bressan ve Unfer tarafından tasarlanan burulma test tezgahı (Bressan Unfer, 2006).....	17
Şekil 2.4. Test numuneleri (Bressan Unfer, 2006).....	17
Şekil 2.5. Burulma test düzenegi (Engin Okay, 2009).....	18
Şekil 2.6. Cam fiber kompozit malzeme için farklı katman tiplerinde maksimum tork değerlerinin deneysel verilerle sayısal verilerin karşılaştırılması (Mutasher, 2009) .....	19
Şekil 2.7. Karbon fiber ve Cam fiber kompozit malzemeler için sayısal ve deneysel olarak elde edilen tork-burulma açısı grafikleri (Mutasher, 2009).....	19
Şekil 2.8. Plastik gerinim analizleri, (yukarıdan aşağıya: dolu numune burulma, kalın cidarlı numune burulma, kalın cidarlı numune çekme + burulma) (Mossakovsky ve ark., 2011) .....	20
Şekil 2.9. Dış yüzey deformasyon yolları (Mossakovsky ve ark., 2011).....	21
Şekil 2.10. Hidrolik test düzeneginin önden ve yandan görünüşü (Akın, 2019) .....	25
Şekil 3.1. Tork-açı sensörü ölçümünde kullanılan ekipmanlar .....	27
Şekil 3.2. Tork-açı sensörü kullanılan 1 numaralı düzenegin şematik gösterimi....	27

Şekil 3.3. Tork-açı sensörü.....	28
Şekil 3.4. Tork-açı sensörü geometrik ölçüleri .....	28
Şekil 3.5. Elektronik ünite/Çevirici.....	29
Şekil 3.6. Elektronik ünite/Çevirici geometrik ölçüleri .....	30
Şekil 3.7. Direksiyon simidi.....	30
Şekil 3.8. Sensör sabitleme aparatı .....	31
Şekil 3.9. Test düzeneğinde braket üzerine montajlanan bağlantı aparatının katı modeli .....	32
Şekil 3.10. Burulma test düzeneğinin katı modeli .....	33
Şekil 3.11. Numunenin bağlanması .....	34
Şekil 3.12. Tork Sensörü .....	35
Şekil 3.13. Servomotor ve redüktör .....	36
Şekil 3.14. Servomotor sürücüsü .....	38
Şekil 3.15. Veri toplama kartı.....	39
Şekil 3.16. Servo test düzeneği ile entegre edilen bilgisayar .....	40
Şekil 3.17. Labview programı arayüzü .....	41
Şekil 3.18. Düzeneğe bağlanan numunenin kesit görünümü .....	42
Şekil 3.19. Hidrolik Direksiyon kesit görünümü(1: Giriş mili,2: Burulma Mili,3:Sonsuz Vidalı Mil, 4: Piston, 5: Sektör Mili).....	43
Şekil 3.20. Burulma mili katı modeli(Sol üst), sonsuz vidalı milin içindeki giriş mili ve burulma mili kompleksi(Sağ üst) ve burulma mili ana ölçüleri(Sağ üst) .....	43
Şekil 3.21. Burulma testinde kullanılan numuneler.....	44
Şekil 3.22. Burulma deneyinin şematik gösterimi ve kesit üzerinde oluşan kayma gerilmeleri(Yıldızlı, 2012) .....	46
Şekil 3.23. SEA mesh bağımsızlık çalışması.....	50
Şekil 3.24. 1 numaralı numune için sınır koşulları .....	51
Şekil 3.25. 1 numaralı numune için oluşturulan ağ.....	51
Şekil 3.26. 1 numaralı numune için Von-Misses gerilmesi.....	52
Şekil 3.27. 1 numaralı numune için Maksimum kayma gerilmesi.....	52
Şekil 3.28. Giriş mili ile bükse arasındaki boşluğun şematik gösterimi .....	55
Şekil 3.29. 1 Numaralı numune için tork-açı sensörü ile elde edilen veriler .....	56
Şekil 3.30. 1 Numaralı numune için $\pm 7^\circ$ aralığında tork-açı sensörü ile elde edilen veriler .....	56
Şekil 3.31. 2 Numaralı numune için $\pm 7^\circ$ aralığında tork-açı sensörü ile elde edilen veriler .....	57
Şekil 3.32. 3 Numaralı numune için $\pm 7^\circ$ aralığında tork-açı sensörü ile elde edilen veriler .....	57
Şekil 3.33. 4 Numaralı numune için $\pm 7^\circ$ aralığında tork-açı sensörü ile elde edilen veriler .....	58
Şekil 3.34. 5 Numaralı numune için $\pm 7^\circ$ aralığında tork-açı sensörü ile elde edilen veriler .....	58
Şekil 3.35. 1 numaralı numune için test düzeneğinde ölçülen değerler.....	60
Şekil 3.36. 2 numaralı numune için test düzeneğinde ölçülen değerler.....	61
Şekil 3.37. 3 numaralı numune için test düzeneğinde ölçülen değerler.....	62
Şekil 3.38. 4 numaralı numune için test düzeneğinde ölçülen değerler.....	62

Şekil 3.39. 5 numaralı numune için test düzeneğinde ölçülen değerler .....	63
Şekil 4.1. 1. numune 1. örnek ortalama tork değerleri karşılaştırması .....	66
Şekil 4.2. 1. numune 2. örnek ortalama tork değerleri karşılaştırması .....	66
Şekil 4.3. 1. numune 3. örnek ortalama tork değerleri karşılaştırması .....	67
Şekil 4.4. 2. numune 1. örnek ortalama tork değerleri karşılaştırması .....	67
Şekil 4.5. 2. numune 2. örnek ortalama tork değerleri karşılaştırması .....	68
Şekil 4.6. 2. numune 3. örnek ortalama tork değerleri karşılaştırması .....	68
Şekil 4.7. 3. numune 1. örnek ortalama tork değerleri karşılaştırması .....	69
Şekil 4.8. 3. numune 2. örnek ortalama tork değerleri karşılaştırması .....	69
Şekil 4.9. 3. numune 3. örnek ortalama tork değerleri karşılaştırması .....	70
Şekil 4.10. 4. numune 1. örnek ortalama tork değerleri karşılaştırması .....	70
Şekil 4.11. 4. numune 2. örnek ortalama tork değerleri karşılaştırması .....	71
Şekil 4.12. 4. numune 3. örnek ortalama tork değerleri karşılaştırması .....	71
Şekil 4.13. 5. numune 1. örnek ortalama tork değerleri karşılaştırması .....	72
Şekil 4.14. 5. numune 2. örnek ortalama tork değerleri karşılaştırması .....	72
Şekil 4.15. 5. numune 3. örnek ortalama tork değerleri karşılaştırması .....	73
Şekil 4.16. Tüm Ölçüm Yöntemleri ile Elde Edilen Burulma Katsayıları.....	75
Şekil 4.17. Tüm Ölçüm Yöntemleri ile Elde Edilen Boyun Torkları.....	75

## SİMGELER ve KISALTMALAR

$\varepsilon$	: Birim şekil değişimi
$E$	: Esneklik modülü, Elastisite modülü
$\tau$	: Kayma gerilmesi
$\gamma$	: Birim kayma şekil değişimi
$G$	: Kayma modülü
$\sigma_a$	: Akma gerilmesi
$\nu$	: Poisson oranı
$M_b$	: Burulma momenti
$T$	: Boyun torku
$\theta$	: Burulma açısı
$k$	: Burulma katsayısı
$\rho$	: Özkütle
$W$	: Ağırlık
SEA	: Sonlu Elemanlar Analizi

## TEŞEKKÜR

Tez çalışmasında, tezin hazırlanmasında ve yapılan çalışmalarda, desteği, yardımları, fiili katkıları ve göstermiş oldukları mentörlük için başta danışmanım Sayın Dr. Öğr. Üyesi İbrahim Savaş DALMIŞ ve Dr. Öğr. Üyesi Sait Özmen ERUSLU olmak üzere Namık Kemal Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü'nün tüm saygıdeğer öğretim üyelerine teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca Hema Endüstri A.Ş.'deki Otomotiv ve İnovatif Ürünler Tasarım Müdürümüz Sayın Gökay UYMAZ'a karşılaştığım problemlerin çözümünde yardımcı olduğu ve desteğini esirgemediği için, Sayın İrem KIRAN'a sonlu elemanlar analizi konusundaki desteği için ve Hema Endüstri A.Ş. Arge bölümünde desteğini esirgemeyen tüm çalışma arkadaşlarıma, yüksek lisans programına her türlü katkısı, desteği ve gösterilen kolaylıklar için Hema Endüstri A.Ş. adına Genel Müdürümüz Sn. Tunç DOĞAN ve Genel Müdür Yardımcımız Sn. Erdal DENİZ'e teşekkürlerimi sunarım.

Eylül 2021

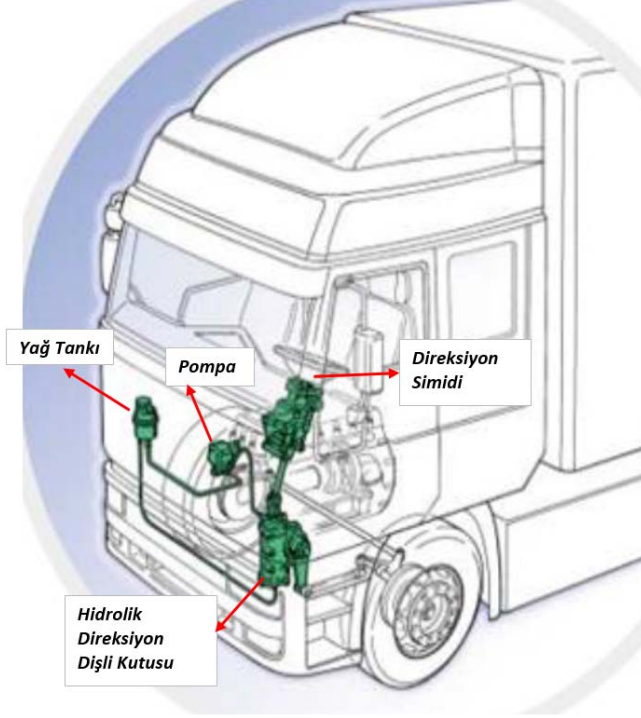
Ozan ÖZDEMİR

## 1. GİRİŞ

Bu tez çalışmasında endüstriyel alanda ağır ticari araç hidrolik direksiyonlarının ömür testlerinde kullanılan mevcut bir test tezgah gövdesinden faydalanılarak hidrolik direksiyonlarda kullanılan burulma millerinin burulma katlıklarının tespitini gerçekleştirilmek üzere kullanılabilir bir burulma test düzeneği tasarlanması ve mevcut test tezgahının burulma testleri yapmaya elverişli hale getirilmesi amaçlanmıştır.

Direksiyon sistemleri, araçlarda tekerlerin ve dolayısıyla aracın yönünü kontrol etmek amacı ile kullanıldığından taşıt içerisindeki yolcuların güvenliğini çok yakından etkileyen bir sistemdir. Ayrıca yol-sürücü arasındaki etkileşimde de büyük rol oynayan bir sistem olduğundan dolayı, sürüş konforunu da doğrudan etkiler. Sürüş konforu ve güvenliği kapsamında direksiyon sisteminden beklenen özellikler, direksiyonun istenen yöne kolaylıkla yönlendirilebilmesi, dar ve virajlı yollarda kolay ve güvenli bir dönüş yapabilmesi için iyi bir manevra kabiliyetine sahip olması, direksiyon simidini çevirmek için gereken kuvvetin uygun olması (araç hızlı giderken simidi çevirmek zor, araç dururken veya yavaş giderken kolay), direksiyon simidinin dönüşlerden sonra kendi kendini toplayarak orta konuma gelebilmesi, bozuk yol yüzeylerinden kaynaklanan darbelerin direksiyon hakimiyetini en az düzeyde engelleyerek güvenli sürüşe engel olmaması şeklinde sıralanabilir. Şekil 1.1'de tek akstan dümenlenen örnek bir ağır ticari vasıta direksiyon sisteminin ana elemanları şematik olarak gösterilmiştir. Şekilde görülen direksiyon simidinden gelen hareket mekanik bağlantı elemanları aracılığı ile hidrolik direksiyon kutusunun giriş miline aktarılmaktadır. Pompa ve hidrolik direksiyon kutusunun birlikte çalışması ile sürücüye hidrolik destek hidrolik destek sağlanmaktadır.

Makine tasarımı gerçekleştirilirken öncelikle takip edilecek bir akış şeması geliştirmekte fayda vardır. Buna göre öncelikle ihtiyacın belirlenmesi ve ardından teknik özellik ve isterlerin belirlenerek çalışma prensibinin tespit edilmesi gerekir. Bununla birlikte tasarım ekonomik ve teknolojik anlamda fizibilite analizi ile devam eder. Bu aşamada fonların ve imkanların yeterliliği, yatırıma ihtiyaç olup olmadığı, ihtiyaç varsa miktarı ve ileriki olası kazançlar değerlendirilir. Eğer fizibilite



Şekil 1.1. Ağır ticari araçlarda kullanılan hidrolik direksiyon sistemi elemanları (Erdoğan, 2017)

çalışmasında olumlu sonuç alınırsa ön tasarım aşamasına geçilir ve burada olası tasarımlar türetilerek uygun görülen tasarımın geliştirilmesi ve gerekli analizleri yapılır. Tasarımın üretime geçmeden önce kağıt üzerinde netleşmesi üretilecek olan makinanın ihtiyacı karşılaması açısından büyük önem arz etmektedir. Ardından detaylı tasarıma geçilerek imalat ve montaj için detaylı resimler hazırlanır ve prototip makine veya parça üretilir. Bu prototip üzerinde yapılan testlerin sonucuna göre tasarım iyileştirilerek nihai ürün üzerinde üretim için tasarım gerçekleştirilir.

Mühendisliğin her alanında herhangi bir tasarım yapılacağı zaman kullanılacak olan malzemenin seçimi en önemli konulardan biridir. Yapılacak olan tasarımın kağıt üzerinden veya dijital ortamdan gerçek dünyaya geçişi seçilen malzeme ile sağlanır. Yapılan tasarımın kullanım alanına göre, uygun olan malzemeler de farklılık gösterir. Malzemelerin uygunluğuna karar verebilmemiz için öncelikle çalışma şartlarının doğru bir şekilde tespit edilmiş olması gereklidir. Daha sonra statik veya dinamik yükün türü (burulma, eğilme, çekme, basma vb.) yüksek veya düşük sıcaklık, aşınma gibi nitel ve nicel değerler ile ifade edilebilen çalışma şartları baz alınarak malzeme seçimi gerçekleştirilir.

Giriş bölümü iki kısımdan oluşmaktadır. İlk kısmında tez çalışmasında konu alınan ağır ticari araç hidrolik direksiyon dişli kutularının temel çalışma prensibi anlatılmış ve direksiyon dişli kutusunu oluşturan ana elemanlar tanıtılmıştır. İkinci kısımda ise tez çalışmasında oluşturulması amaçlanmış olan burulma test düzeneğinin çalışma mantığının daha net anlaşılması için burulma deneyi ile ilgili bilgi verilmiştir.

## **1.1. Hidrolik Güç Destekli Direksiyon Sistemi**

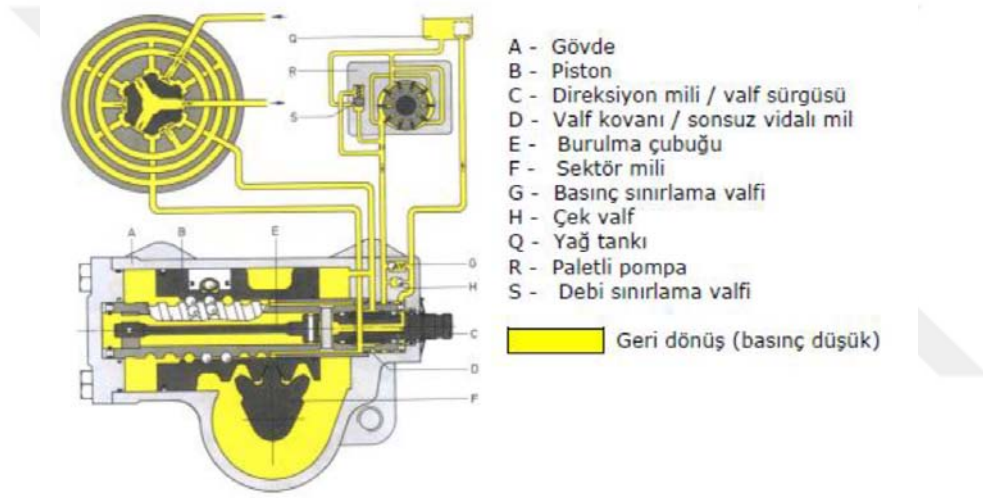
Yıllar boyunca araçların ağırlıkları ve tekerleklerin dönme açıları arttıkça mühendisler daha yüksek kapasitede ve daha yüksek tahvil oranlı dişlileri daha geniş çapta direksiyon simitleri ile kullanarak ağır vasıtaların rahatça dümenlenebilmelerini sağlayabilmişlerdir. Ancak yüksek tahvil oranında seçilen her dişli ve daha büyük çapta seçilen her direksiyon simidine karşılık direksiyon sistemlerinin altında çalıştıkları yükler de artmıştır. Şu anki durumda ağır vasıtaların mekanik dümenlenebilmesi için gereken dişliler maksimum çıkış kapasitesine ulaşmış ve direksiyon simidi çapları maksimum paket limitine gelmiştir (Budzynski Parker, 1966). Otomobil teknolojisinin gelişmesi ile üretilen araçlar daha büyük ve kuvvetli hale gelerek otomobillerin performansları hızlı bir şekilde gelişmiştir. Bu güçlü ve hızlı araçları kontrol etmek daha büyük bir problem haline gelmiştir. Mekanik direksiyon sistemlerinde sürücünün direksiyonu çevirmek için harcadığı kuvvet ve sistemin hareketi iletme tepki süresi fazladır, yüksek hızlarda direksiyon hissi azalır. Ayrıca direksiyonun geri toplama özelliği zayıftır. Mekanik direksiyon sisteminde karşılaşılan bu problemleri ortadan kaldırmak için güç takviyeli yönlendirme sistemleri tasarlanmıştır. Sürücünün uyguladığı mekanik kuvvete ilave kuvveti verme şekline göre hidrolik, elektrohidrolik, elektromekanik vb. gibi güç destekli direksiyon sistemleri mevcuttur. Hidrolik direksiyon sistemleri, mekanik direksiyon sistemine kontrol valfi, güç silindiri ve hidrolik yağ kaynağı (pompa, basınç ve geri dönüş hatları, yağ tankı) gibi hidrolik elemanların eklenmesi ile oluşturulmuştur.

### **1.1.1. Hidrolik Direksiyon Kutusunun Yapısı**

Şekil 1.2'de hidrolik direksiyon kutusu nötr konumdayken kesiti gösterilmiştir. Direksiyon kutusu gövdesinin içinde kumanda valfi (döner valf sürgüsü), silindir ve



direksiyon dişli sistemi bir arada bulunur. Direksiyon kutusu için gerekli yağ debisi ve basınç motor tarafından tahrik edilen pompadan temin edilir. Sistemde kullanılan hidrolik akışkan, yağ tankından emilir, pompa ve direksiyon üzerinden yağ tankına geri döner. Gövde ve piston birlikte hidrolik silindir görevi yapar. Piston, direksiyon mili ve sonsuz vidalı milin dönme hareketini aksenal harekete çevirir ve bunu sektör miline aktarır. Piston ve sonsuz vidalı mil döner bilye zinciri vasıtasıyla birbiri ile bağlantılıdır. Sonsuz vidalı milin döndürülmesi esnasında bilyelerin zincirin bir tarafındaki bilye sevk borusu tarafından diğer tarafına aktarılmasıyla sonsuz bilye zinciri elde edilir. Pistondaki ve sektör milindeki dişler üzerinden, pistonun hareket ettirilmesi ile sektör mili döndürülerek dönüş hareketi sağlanır.



Şekil 1.2. Nötr konumdaki dişli kutusu kesiti

Döner valf sürgüsü, sonsuz vidalı milin içerisinde iğne makaralı rulmanlar ile yataklanmıştır. Döner valf sürgüsü çevresinde altı adet kanal mevcuttur. Valf sürgüsü ve sonsuz mil ile pimlenmiş burulma mili, direksiyon simidine kuvvet uygulanmadıkça döner valf sürgüsünün orta konumda kalmasını sağlar. Direksiyon sisteminin maksimum basıncını sınırlayan basınç sınırlama valfi direksiyon gövdesi üzerine konulabilir. Gövdeye veya döner valf sürgüsüne çek valf konulabilir. Çek valf hidrolik desteksiz döndürme durumunda geri dönüş yağının emilmesinde görev alır.

Değişken tahvil oranlı direksiyon kutularında, sabit tahvil oranlı direksiyon kutularına göre orta konumun dışında ve orta konumda direksiyon simidi az hareket ettirilse bile araç tekerlerinde daha çok dönüş sağlanarak daha fazla hareket elde

edilir. Orta konum dışında ise direksiyon simidine daha çok hareket verilir ancak araç tekerlerinde daha az dönüş sağlanır. Bu sayede düz gidiş durumunda direksiyon davranışı iyileştirilmiş ve aynı zamanda park esnasında büyük tahvil oranı sayesinde, büyük tekerlek açılarında sektör milinden daha yüksek hidrolik döndürme momenti elde edilmesi sağlanmıştır.

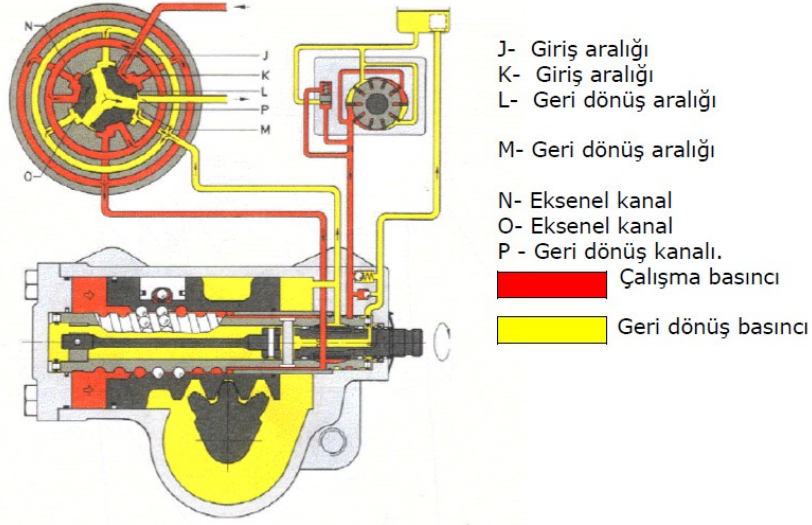
Direksiyon milinden, sonsuz vidalı mile dönme momenti aktarımı esnasında veya tersi durumda burulma mili elastik deformasyona uğrayarak valf sürgüsü ve kumanda kovanı arasında bir kayma oluşur. Bu şekilde valf sürgüsü kumanda kanalları, kumanda kovanına göre orta konumdan çıkarılmış olur. Direksiyon simidi serbest bırakıldığında burulma çubuğu valfin orta konuma gelmesini sağlar.

Hidrolik yağ, gövdedeki delikten kumanda kovanının daire şeklindeki kanalına akar ve simetrik olarak yerleştirilmiş 3 adet radyal delik üzerinden iç kısımda bulunan döner valf sürgüsü kanallarına gönderilir. Valf sürgüsü kumanda kovanındaki kumanda kanalları, hidrolik yağ valfin orta konumunda giriş aralıkları üzerinden kumanda kovanı aksinel kanallarına ulaşacak şekilde ayarlanmıştır. Buradan itibaren hidrolik yağ radyal delikler üzerinden silindirin her iki tarafına geçer. Direksiyon valfi orta konumda olduğu sürece hidrolik yağ her iki taraftaki silindir hacimlerine akarak 3 adet geri dönüş kanalından valf sürgüsüne, oradan da geri dönüş hattı üzerinden yağ tankına döner.

Direksiyon simidi saat yönünde döndürüldüğünde piston sağa doğru hareket eder. Gereken döndürme kuvvetine göre silindirin sol tarafında basınç oluşur. Döner valf sürgüsü kumanda kanalları saat yönünde hareket eder ve giriş aralıkları hidrolik yağ girişi için daha da açılır. Aynı anda giriş aralıkları kapanarak kumanda kovanının aksinel kanallarına yağ girişi önlenir. Bu durumda hidrolik yağ, giriş aralıkları üzerinden kumanda kovanı aksinel kanallarına akar ve buradan sonsuz vidalı mil üzerinden silindirin sol tarafına ulaşır. Kapalı olan giriş aralıkları hidrolik yağın yağ tankına akışını önler ve basınç oluşması sağlar.

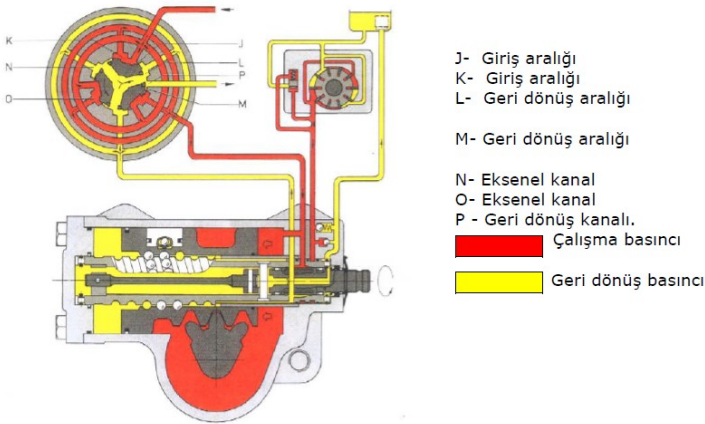
Silindirin sağ tarafındaki yağ sıkıştırılarak açılmış olan geri dönüş aralıkları üzerinden döner valf sürgüsü geri dönüş kanallarına akması sağlanır. Yağ, buradan valf sürgüsü ve sonsuz vidalı mil içerisine merkezi olarak yerleştirilmiş yağ deliği üzerinden yağ tankına sürekli olarak akar. Şekil 1.3'te sağa dönüş durumunda hidrolik direksiyonun ve giriş mili ile valf kovanının kesiti gösterilmiştir.

Direksiyon simidinin saat yönünün tersi yönde döndürülmesiyle, silindirin



Şekil 1.3. Sağ dönüş durumunda direksiyon kesitinin gösterimi

sağ tarafında basınç oluşturularak piston sol tarafa doğru hareket eder. Döner valf sürgüsü kumanda kanalları saat yönünün tersine hareket eder ve yağı, açılmış olan giriş aralıkları ve eksenel kanallar üzerinden geçirir. Buradan da silindirin sağ tarafına yağ akışı sağlanır. Sol tarafta bulunan basınçsız yağ, bilye dolaşım vida olukları üzerinden ve açılmış olan geri dönüş aralıkları üzerinden geri dönüş kanalına akar. Buradan valf sürgüsü ve sonsuz vidalı mil içerisine valf sürgüsüne merkezi olarak yerleştirilmiş yağ deliği vasıtasıyla yağ tankına akar. Şekil 1.4'te direksiyonun sola dönüş durumunda kesiti gösterilmiştir.



Şekil 1.4. Sola dönüş durumunda direksiyon kesitinin gösterimi

Hidrolik direksiyon sistemlerinde kullanılan burulma milleri, direksiyonun dönme hareketi sırasında burulma yayı görevi görerek enerjiyi depolar ve direksiyonun geri toplamasını sağlar. Bu anlamda kullanılacak olan burulma mili seçilirken burulma katsayısının bilinmesi büyük önem arz etmektedir. Bu çalışma hidrolik güç destekli direksiyon sistemlerinde kullanılan burulma millerinin burulma katsayılarının tespit edilmesi üzerine yoğunlaşmıştır.

### 1.1.2. Hidrolik Direksiyon Kutusunun Elemanları

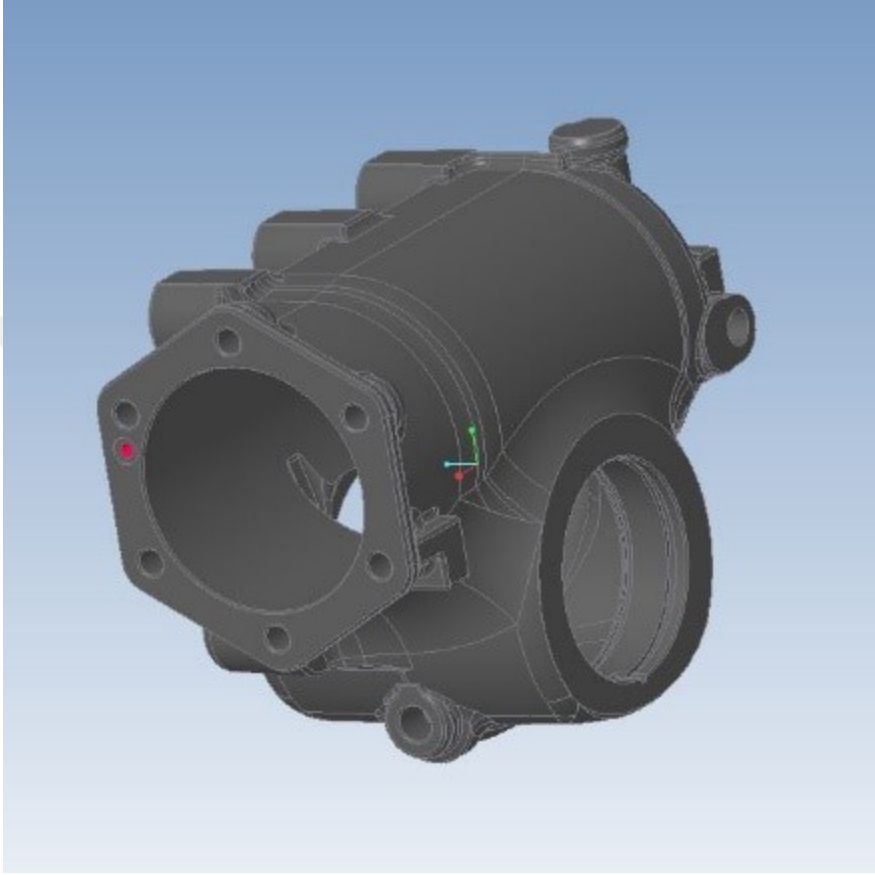
Direksiyon dişli kutusu sistemini meydana getiren ana parçalar aşağıdaki şekilde sıralanabilir.

- Direksiyon gövdesi
- Silindir kapağı
- Piston
- Sonsuz vidalı mil
- Döner valf sürgüsü(Giriş mili)
- Sektör mili
- Burulma mili

Direksiyon dişli kutusu içinde bulunan ana parçalara ek olarak sızdırmazlığı sağlamak, dönme ilerleme gibi hareketleri kolaylaştırmak ve montajlanmanın sağlanması adına destek halkası, o- ring, aksenal iğneli yatak, keçeler, sevk borusu, koruyucu kapak, bükse, pim, segman, rulman, cıvata, pim, bilye gibi yan parçalar da mevcuttur.

### 1.1.2.1. Direksiyon Gövdesi

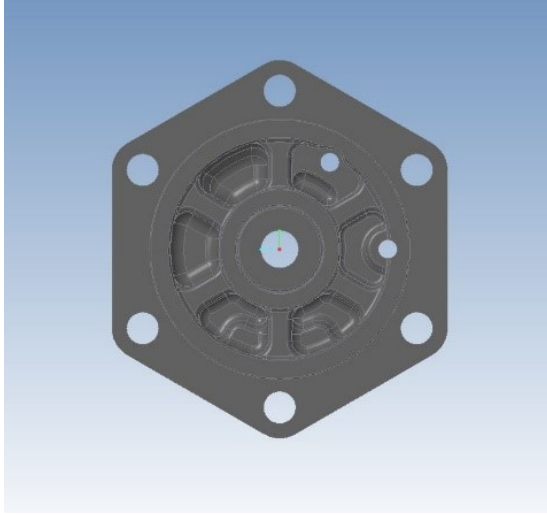
Gövde (ekil 1.5), hidrolik direksiyon kutusunun dışarıdan görünen kısmı olup, içinde hareket eden piston ile birlikte çalışarak hidrolik silindir görevi görmektedir.



Şekil 1.5. Direksiyon gövdesi

### 1.1.2.2. Silindir Kapağı

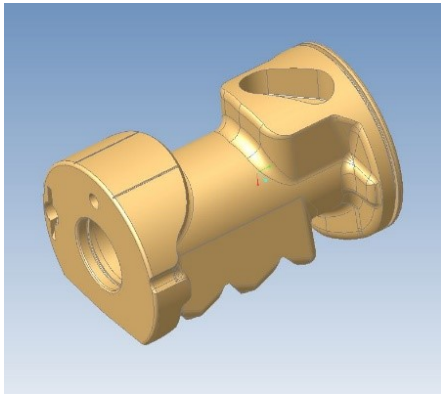
Silindir kapağı (ekil 1.6), direksiyon gövdesine 6 adet cıvata ile montajlanır. Silindir kapağı, içinde bulunan sızdırmazlık elemanları ile birlikte sistemi bir taraftan kapatır. Silindir kapağının üzerine monte edilen son konum ayar cıvatası piston üzerinde bulunan son konum ayar valfinin açılacağı konumun belirlenmesini sağlar. Kapağın içerisinde bulunan aksenal iğneli yatak, içeride döner hareket yapan sonsuz vidalı mile yatak görevi görür.



Şekil 1.6. Silindir kapağı

### 1.1.2.3. Piston

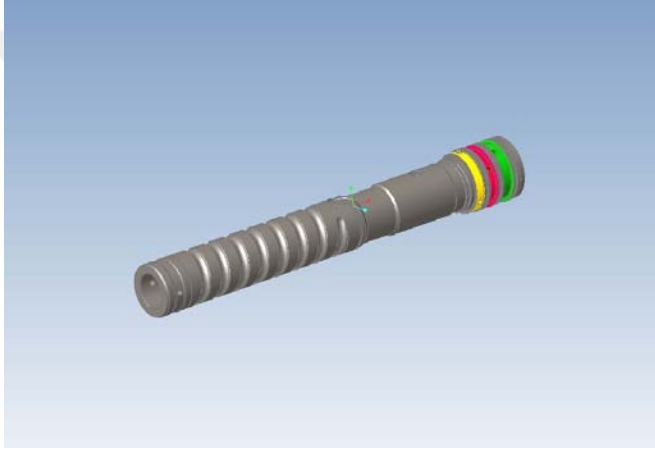
Hidrolik direksiyon dişli kutularında kullanılan piston(Şekil 1.7), gövdenin içinde hidrolik yağdan gelen basınç ve içeriden dönen sonsuz vidalı mil-döner bilyelerden gereken hareket ile ötelenme hareketi yaparak üzerinde yer alan dişliler ile eşleşmiş olduğu sektör milini döndürür. Üzerinde yer alan kanala monte edilmiş bilye sevk borusu içeriden bilyelerin besleme ve çevrimini sağlayarak sonsuz vidalı milin sürekli etkisini sağlar. Piston üzerinde bulunan dişlilerin geometrik yapıları değişken tahvil oranı sağlayacak şekilde belirlenmiştir. Bu yüzden dönme hareketi boyunca dönme oranı değişkenlik gösterir. Hareketi esnasında sektör miline ve dolayısıyla tekerleklere bağlı olması sebebiyle üzerinde büyük yükler oluşmaktadır. Bu yüklerle dayanım gösterebilmesi için dövme çelikten üretilir.



Şekil 1.7. Piston

#### 1.1.2.4. Sonsuz Vidalı Mil

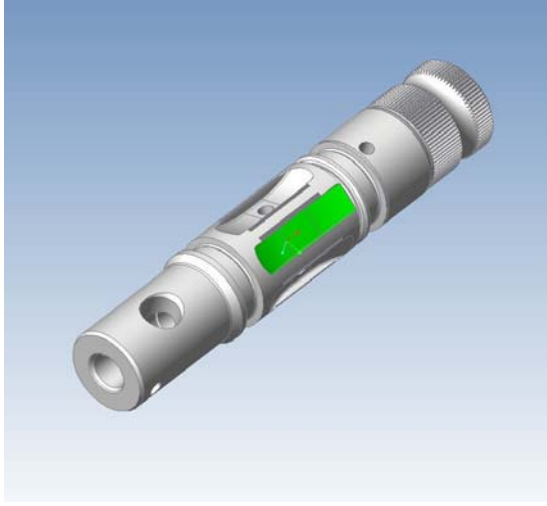
Sonsuz vidalı mil (Şekil 1.8) pistonla bilyeler aracılığı ile eşleştirilir. İçerisine pim ve bükse yardımıyla döner valf sürgüsü monte edilmiştir. İçinde bulunan hassas ölçüde yağ kanallarının döner valf sürgüsünün üstünde yer alan kanallar ile uygun bir şekilde eşleşmesi sistemin hidrolik fonksiyonunun yerine getirilebilmesi açısından büyük önem taşımaktadır. Sonsuz vidalı milin üzerinde bulunan helis kanalın hatve ölçüsü direksiyon simidinin tam tur döndürülmesi sonucunda tekerleklerin kaç derece döneceğini doğrudan belirler.



Şekil 1.8. Sonsuz vidalı mil

#### 1.1.2.5. Döner Valf Sürgüsü(Giriş Mili)

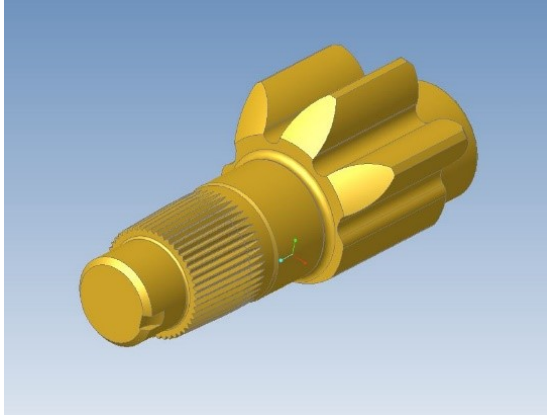
Sonsuz vidalı milin içinde yer alan döner valf sürgüsü (Şekil 1.9) direksiyon miline ve oradan da direksiyon simidine kolonlar ve universal mafsallar aracılığı ile bağlıdır. Bu sebeple direksiyon simidinden gelen hareketin hidrolik üniteye aktarılmasında doğrudan sorumludur. Sonsuz vidalı mili döndürmeye başlamasından önce yaklaşık 7 derecelik bir serbest hareketi vardır. Bu serbest hareket sırasında burulma mili belli bir miktar döndürülür ve kanallar açılarak hidrolik yağın geçişi sağlanmış olur.



Şekil 1.9. Giriş mili

#### 1.1.2.6. Sektör Mili

Sektör mili (Şekil 1.10) piston ile eşleşerek pistondan gelen doğrusal hareketi dairesel harekete çevirir ve daha sonra pitman kolu yardımıyla bu hareketi tekerleklere ileterek dönme hareketini sağlar. Üzerinde oluşan büyük yüklere dayanım gösterebilmesi için dövme çelikten imal edilir.



Şekil 1.10. Sektör mili

#### 1.1.2.7. Burulma Mili

Bir ucundan döner valf sürgüsüne, diğer ucundan ise sonsuz vidalı mile pimler ile monte edilmiş olan burulma mili, direksiyon simidinin bırakıldığında

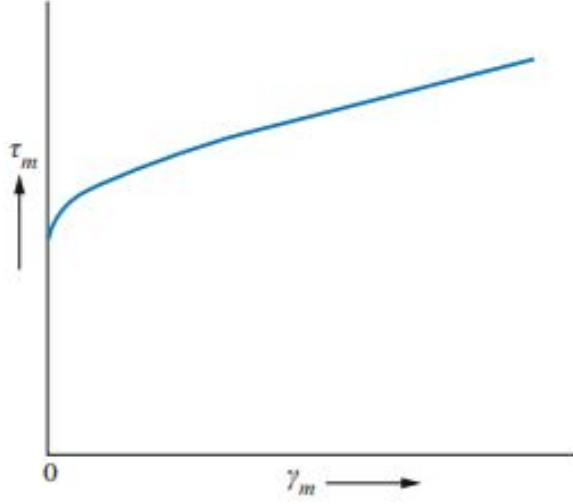


direksiyonun geri toplama hareketinden başlıca sorumludur. Yüksek yüklere dayanım gösterebilmesi bu görevini yerine getirebilmesi için büyük önem taşımaktadır. Bu tez çalışmasının yoğunlaşmış olduğu burulma mili bileşeni detaylı bir şekilde "3.1.3. Test Numunesi" bölümünde anlatılmıştır.

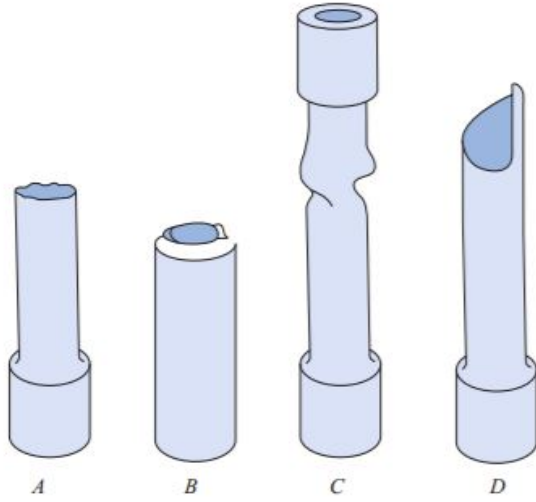
## 1.2. Burulma Deneyi

Burulma deneyi genelde metalik malzemelerin plastik gerilmeler büyüdüğünde sergiledikleri akma karakteristiklerinin belirlenmesi için gerçekleştirilir. Burulma deneyinin kullanım alanı çekme deneyi kadar geniş değildir ve bu yüzden tamamen bir standartlaştırma mevcut değildir. Bununla birlikte, teorik çalışmalarda ve metallerin çekilebilme, dövülebilme gibi plastik deformasyonlarını içeren uygulamalarda ilgili mekanik özelliklerin belirlenebilmesi için ihtiyaç duyulan bir deneydir. Burulma deneyi yüksek sıcaklıklarda da gerçekleştirilebildiği gibi, düşük sıcaklıklarda da gerçekleştirilir. Özellikle kullanıldığı yerlerde burulma momentinin büyük rol oynadığı şaft, matkap ucu, dingil, burulma mili gibi parçaların burulma yükü altında gösterdikleri mekanik özelliklerin tespit edilebilmesi için direkt olarak uygulanan bir deneydir. Burulma deneyinde, iki ucundan sıkıca tutulan bir numunenin bir tarafı sabit kalacak şekilde diğer tarafından burulma momenti uygulanır. Uygulanan momentin etkisi ile numune üzerinde kayma gerilmeleri meydana gelir ve deney sırasında burulma momenti – burulma açısı grafiği elde edilir (Şekil 1.11).

Şekil 1.12'de burulma deneyinde kırılan çeşitli malzemeler için kırılma şekilleri görülmektedir. Kapalı silindir şeklinde sünek bir malzemenin kırılması, maksimum kayma gerilmelerinin olduğu yönde, genellikle numune düşey ekseninde olur(Şekil 1.12-A). Silindirik gevrek malzemenin kırılması maksimum çekme gerilmesi doğrultusuna dik bir düzlem boyunca, numunenin boyuna  $45^\circ$  açılı düzlemde olur(Şekil 1.12-B). İçi boş boru şeklinde sünek malzeme numuneler için eğer numune boyu uzun ise burulma sonucu şeklinin bozulması ile (Şekil 1.12-C), eğer numune boyu kısa ise maksimum kayma gerilmesi yönünde (Şekil 1.12-D) kırılır. Burulma ile ilgili daha detaylı bilgi ve teorik hesaplamalar, "3.2.1. Matematiksel Model" bölümünde anlatılmaktadır.



Şekil 1.11. Tipik bir sünek malzeme için burulma momenti( $M_b$ ) - Burulma açısı( $\theta$ ) grafiği (Bhaduri, 2018)



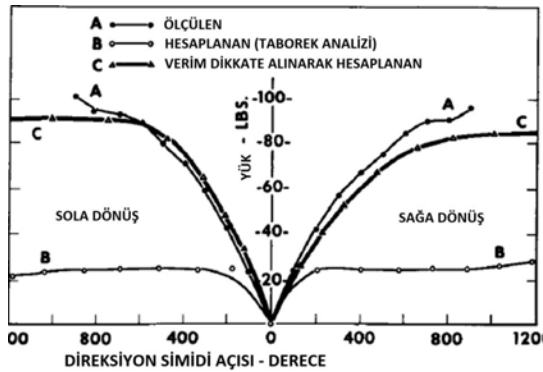
Şekil 1.12. Farklı özellikte numuneler için burulma sonucu kırılma örnekleri (Bhaduri, 2018)

Yürütülen bu tez çalışmasında burulma testleri gerçekleştirilebilecek iki farklı burulma test düzeneği oluşturularak ağır ticari araçlarda kullanılan hidrolik direksiyonların burulma millerinin burulma katsayıları deneysel yöntemlerle hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar matematiksel model ve sonlu elemanlar modeli ile elde edilen burulma katsayısı değerleri ile karşılaştırılarak iki test düzeneğinin de çalışma başarısı değerlendirilmiştir.

## 2. KAYNAK ÖZETLERİ

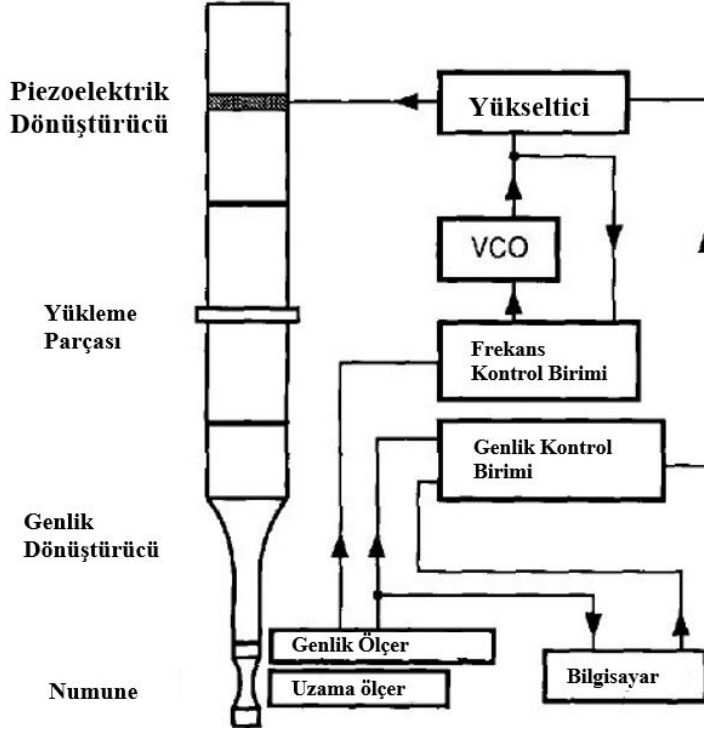
Literatürde güç destekli direksiyon sistemlerinin ve hidrolik direksiyonların çeşitli sistem parametrelerinin tespiti ve malzemelerin burulmaya bağlı özelliklerinin incelenmesi ve bu özelliklerin tespiti ile ilgili olarak pek çok çalışma mevcuttur. Hidrolik direksiyon sistemleri ile malzemelerin burulmaya bağlı özelliklerinin tespitini ve bu özelliklerin tespit edilebilmesi için geliştirilmiş ve uygulanmış yöntemleri konu alan çalışmalar incelenmiştir. İncelenen çalışmalar aşağıdaki gibi özetlenebilir.

Budzynski Parker (1966) yayınladıkları makalede ağır vasıtalarındaki direksiyon sistemlerini incelemeye almışlardır. Direksiyon geometrisini, çeşitli tasarım parametrelerini ve aracın dümenlenmesi üzerinde rol oynayan insan faktörlerini dikkate almışlardır. Analizlerinde deneysel verileri ve ilgili antropometric literatür araştırmalarından faydalanmışlardır. Daha önceden yapılan çalışmaların gerçek hayat deney verilerinden elde edilen sonuçlarla tutarlı olmadıklarını, bu tutarsızlığın direksiyon sistemlerindeki verimsel faktörlerle ilişkili olduklarını öne sürmüşler ve ilgili verimsel faktörleri tespit ederek teorik hesaplamalara uygulayıp teorik hesaplamaların sonuçlarını gerçek hayattaki duruma yaklaştırmışlardır. Şekil 2.1’de görülen Tork-Açı grafiğinde Ölçüm sonucu elde edilen eğri(A), Taborek(1957) analizi ile elde edilen eğri(B) ve verim göz önünde bulundurularak düzeltilen eğri(C) gösterilmiştir. Bu grafik dikkate alındığında verimler dikkate alınarak oluşturulan faktörlerin teorik hesaplamaya uygulanarak gerçek duruma yaklaştırdığı görülmektedir.



Şekil 2.1. Verimsel faktörler hesaba katılarak düzeltilmiş eğrinin önceki çalışma ve ölçüm sonucu elde edilen veriler ile karşılaştırılması(Budzynski Parker, 1966)

Stanzl-Tschegg ve ark. (1993) malzemelerin burulma yükleri altında yorulma özelliklerini tespit edebilmek adına yeni bir deneysel ekipman ve metod geliştirmişlerdir. Şekil 2.2’de oluşturulan test düzeneğinin şeması gösterilmiştir. Yorulma testine tabi tutulacak numuneler üzerinde 21 kHz frekans rezonans titreşimi oluşturmuşlardır. Piezoelektrik dönüştürücü sayesinde sinüzoidal elektrik sinyalleri mekanik burulma titreşimlerine dönüştürülmüş ve titreşim genlik değeri mekanik olarak büyütülmüştür. Çalışmalarında deneyi tasarlarken kullandıkları mekanik ve elektriksel yapı ve kurulumlarla birlikte elde ettikleri sonuçları sunmuşlardır. Sundukları yeni yöntemin yüksek frekanslar kullanması sayesinde yorulma testi için gerekli yüksek çevrimlere daha kısa sürede ulaşılması sağlanmıştır. Rezonans ile yükleme yapılması sayesinde nispeten düşük güç harcamaktadır.



Şekil 2.2. Yüksek Frekans Burulma Yorulması Test Düzeneğinin Şeması (Stanzl-Tschegg ve ark., 1993)

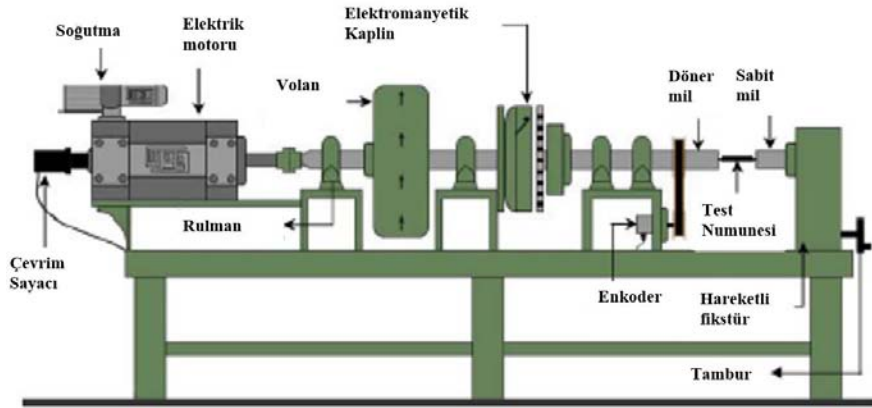
Wu ve ark. (1997) yüksek gerinim aralığında alüminyumun burulması üzerinde çalışmışlardır. Yüksek saflıkta dökme ve çekme alüminyum malzeme üzerinde testler gerçekleştirmişlerdir. Yapılan araştırmada kullanılan numunenin geometrik özelliklerinin burulma deneyi ölçümleri üzerindeki etkilerini araştırmışlar ve uzun kalın-cidarlı tüp şeklinde numuneler kullanmalarının sebeplerini a) uzun ölçüm kısımları sayesinde daha doğru kayma gerinimi ölçümü yapılabilmesi, b) eksenel ve çevresel gerinim ölçümlerinin daha doğru sonuçlar vermesi, c) numunelerin bileşik eksenel-burulumsal testler için kullanılabilmesi, d) numunelerin yük boşaltma/yeniden yükleme/çevrimsel yükleme ve e) kayma bandı yeri saptaması içeren testler için kullanıma olanak sağlaması olarak belirtmişlerdir. Gerçekleştirilen testlerin ölçümlerinin yüksek sıcaklıkta doğruluğunun sağlanması için kullanılan düzeneğin kalibrasyonunu gerçekleştirmişlerdir. Yürütülen deneyler sonucunda tork - burulma açısı eğrilerini kaydetmişler ve önceki çalışmalarında modifiye etmiş oldukları Nadai yöntemini kullanarak gerçek gerilim-gerinim eğrilerini elde etmişlerdir.

Becan ve ark. (1998) hidrolik konum kontrol sistemlerinin matematiksel modellemesi üzerine yaptıkları çalışmada dört yollu üç konumlu servovalf ile kontrol edilen bir silindirden oluşan hidrolik sistemin matematiksel modelini oluşturmuş ve bilgisayarda benzetim yolu ile incelemişlerdir. Çalışmalarında asimetrik bir silindir kullanmışlardır ve akışkanın esneklik modülünün diğer parametrelere (hacim vs.) bağlı değişimini de hesaba katmışlardır. Sistemin matematiksel modeli oluşturulurken konum ve debi denklemleri edilmiştir. Sistemin benzetim ve konum kontrolü, esneklik modülü (bulk modulus) sabit ve değişken olarak kabul edilerek iki farklı durum için de sonuçlar elde edilmiş ve esneklik modülünün basınç değişkenleri üzerinde etkisi gözlemlenmiştir.

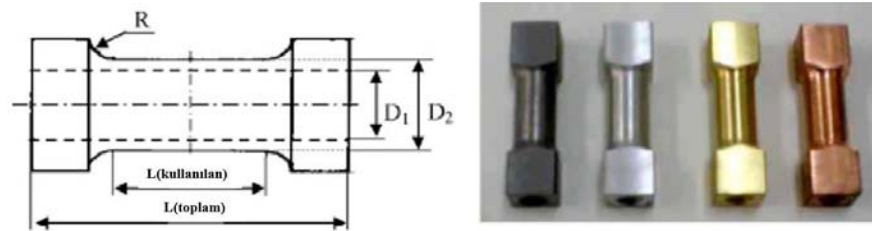
Data ve ark. (2004) elektronik ve hidrolik dümenleme sistemlerinin araç üzerinden demontajına gerek duyulmadan sistem parametrelerinin tayin edilmesini sağlamak üzere bir test sistemi oluşturarak dümenleme oranı, karakteristik eğri, sürtünme kuvvetleri dümenleme oranı gibi parametrelerin tespitini yapmışlardır.

Bressan Unfer (2006) çalışmalarında bilgisayarlı bir prototip burulma tezgahı geliştirerek soğuk plastik burulma testleri gerçekleştirmişlerdir. Endüstride kullanılan soğuk haddeleme ve soğuk dövme gibi proseslerdeki plastik gerinim davranışları ile aynı hızları simüle etmeyi amaçlamışlardır. Kurulan tezgah; elektrik motoru, volan(atalet silindiri), elektromanyetik kavrama mekanizması, mil ve elektronik

kontrol sisteminden meydana gelmektedir (Şekil 2.3). Burulma açısını ölçmek için enkoder kullanılmıştır. Tork değerinin ölçümü için “load cell” kullanılmıştır. Üretilen tezgahın maksimum tork kapasitesi 150 Nm ve maksimum dönme hızı 600 rpm’dir. Kurulan sistemi test etmek için Şekil 2.4’te görülen formlarda AISI1020 çelik, pirinç, bakır ve alüminyum olmak üzere 4 farklı numune kullanılmıştır. Numuneleri plastik burulma testine tabi tutup 4 farklı malzeme için kayma akma modülü (G), akma mukavemeti, kırılma mukavemeti gibi özellikleri ölçmüşler ve bu malzemeler için pekleşme eğrilerini elde etmişlerdir. Çalışma sonucunda elde edilen verilere göre kurmuş oldukları burulma tezgahında  $2-10 \text{ s}^{-1}$  kayma gerinimi hızı uygulanabilmektedir. Toplam uzunluğu 50 mm, kullanılabilir uzunluğu 16 mm ve 12 mm dış çapa sahip olan tüp şeklinde numuneler sünek metaller için geniş pekleşme eğrileri elde etmede yeterli bulunmuştur. Tüp şeklinde numunelerin içi dolu katı numunelere göre burulma testi yapılabilirlik açısından daha güvenilir olduğunu belirtmişlerdir. Malzemelerin burulma deneyi ile elde edilen plastiklik parametrelerinin çekme deneyinden elde edilen değerlere göre farklı olduğu görülmüştür.



Şekil 2.3. Bressan ve Unfer tarafından tasarlanan burulma test tezgahı (Bressan Unfer, 2006)



Şekil 2.4. Test numuneleri (Bressan Unfer, 2006)

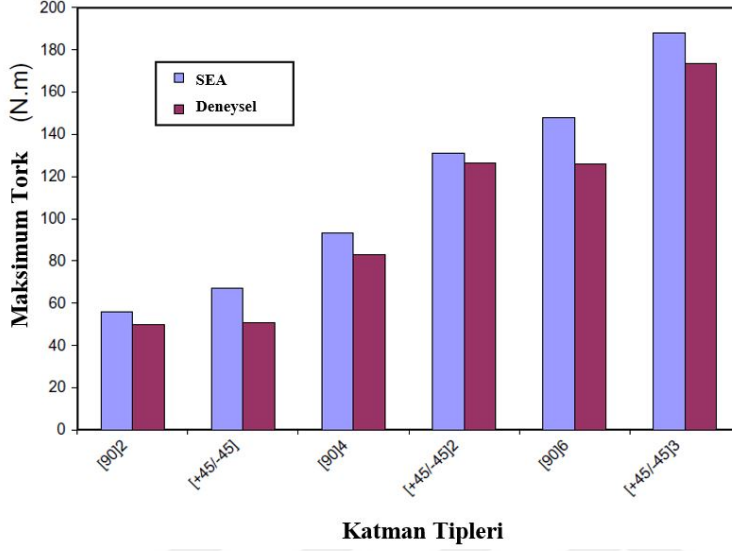
Engin Okay (2009), çalışmalarında çelik lif katkılı betonarme kirişlerde boyuna donatı değişiminin malzemenin burulma kapasitesine olan etkisini incelemişlerdir. Farklı boyuna donatı ve boy/çap oranlarında numuneleri Şekil 2.5'te gösterilen burulma test tezgahında teste tabi tutmuş ve deney süresince meydana gelen dönme değerleri ile taşınan burulma momenti değerlerini kaydetmişler ve dönme açısı – tork grafiklerini elde etmişlerdir. Yapılan deney sonucunda çelik lif ilavesinin, kirişlerin burulma momenti taşıma ve enerji absorbe etme kapasitelerini olumlu yönde etkilediği ve boyuna donatı oranının burulma kapasitesi üzerinde etkili olduğu kanısına varmışlardır.



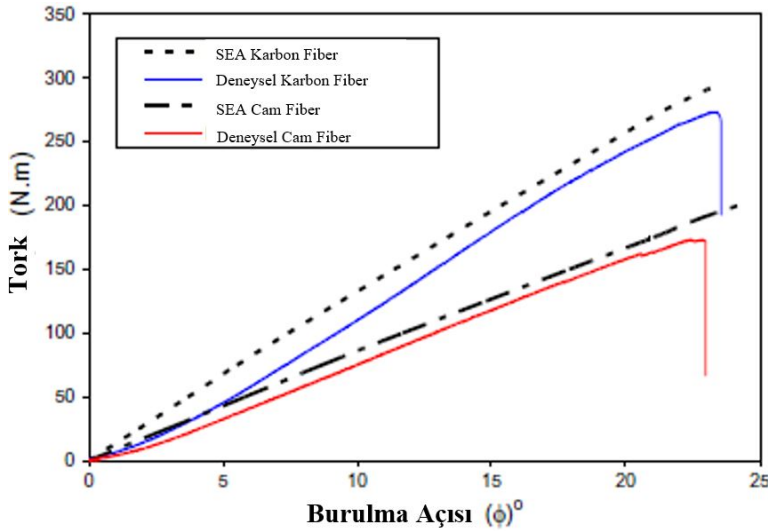
Şekil 2.5. Burulma test düzeneği (Engin Okay, 2009)

Mutasher (2009) çalışmasında hibrid alüminyum/kompozit milin maksimum burulma kapasitesini araştırmak için ANSYS programında sonlu elemanlar analizi yöntemi kullanmıştır. Alüminyum tüp için “Elasto-plastik” özellikler, kompozit malzemeler içinse “lineer elastik” özellikler kullanmıştır. Cam fiber ve karbon fiber kompozit olmak üzere iki farklı kompozit malzeme tipi için 5 farklı katman/istif dizisi senaryosunda tork-burulma açısı grafiklerini ve maksimum burulma kapasitesi değerlerini elde ederek deneysel veriler ile karşılaştırmıştır. Deneysel veriler ile sayısal veriler arasındaki farkın hibrid alüminyum/kompozit şaftın ölçüsel, malzeme özelliği ve sarma modeli anlamında homojen olarak kabul edilmesinden kaynaklandığını belirtmişlerdir. Sayısal ve deneysel veriler arasında sonlu bir fark olmasına rağmen elde edilen grafiklerin eğilimleri paralellik göstermiştir. Şekil 2.6’da cam fiber

kompozit kaplı alüminyum tüpün 5 farklı katman modeli için deneysel ve sayısal analiz sonucunda elde edilen maksimum burulma kapasitesi değerlerinin karşılaştırılması görülmektedir. Şekil 2.7’de [+45/-45]3 katman senaryosu için karbon fiber ve cam fiber kompozit kaplı alüminyum tüpün deneysel ve sayısal tork-burulma açısı grafikleri görülmektedir.



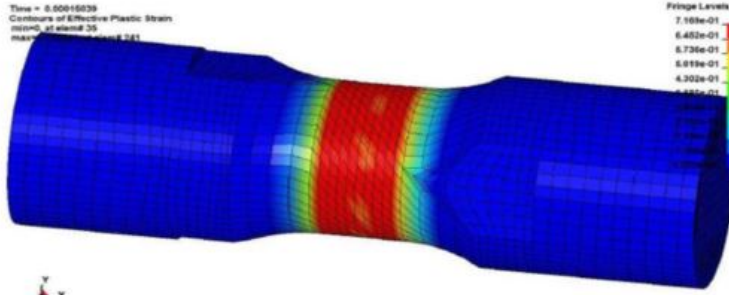
Şekil 2.6. Cam fiber kompozit malzeme için farklı katman tiplerinde maksimum tork değerlerinin deneysel verilerle sayısal verilerin karşılaştırılması (Mutasher, 2009)



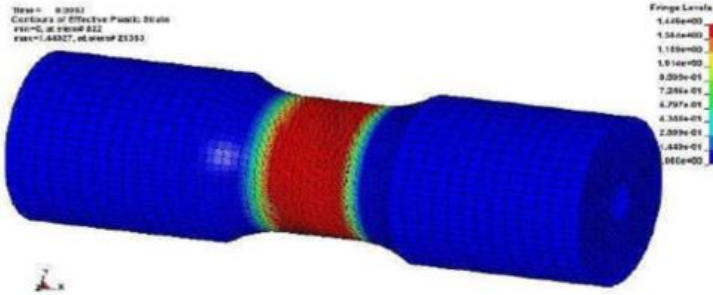
Şekil 2.7. Karbon fiber ve Cam fiber kompozit malzemeler için sayısal ve deneysel olarak elde edilen tork-burulma açısı grafikleri (Mutasher, 2009)



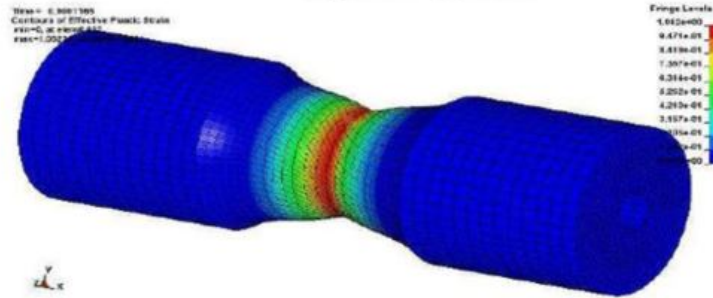
Mossakovsky ve ark. (2011) silindirik numunelerle dinamik burulma testlerinde hasar kriterini araştırmak için LS-DYNA simülasyon programında kalın cidarlı ve dolu silindirik numune tipleri ile dolu silindirik numunenin burulması, kalın cidarlı numunenin yalnızca burulması ve hem çekme hem burulması olmak üzere üç tip sanal burulma deneyi gerçekleştirmişlerdir. Analizler sonucunda üç farklı tip test için plastik gerinimleri elde etmişler(Şekil 2.8) ve dış yüzeyde oluşan deformasyon yolunun zamana göre grafiğini(Şekil 2.9) oluşturarak analizde kullandıkları yöntemin validasyonunu gerçekleştirmişlerdir.



**Katı numune plastik gerinim**

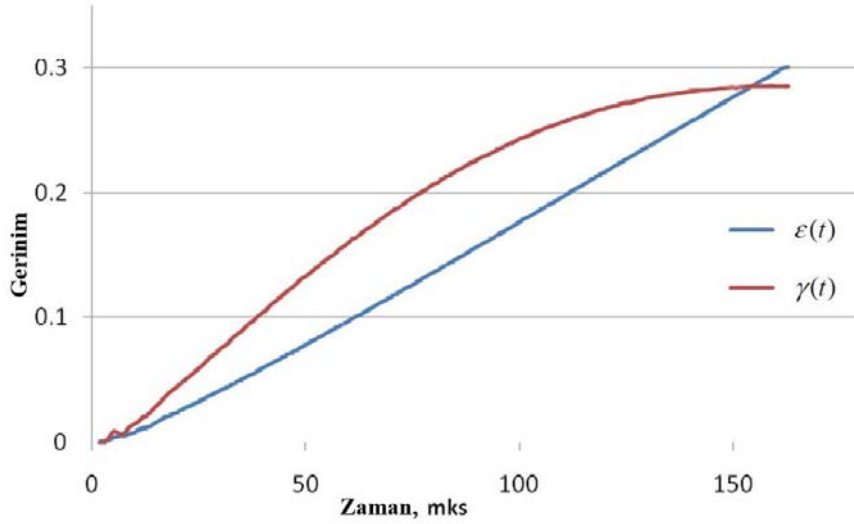


**Burulma: plastik gerinim**



**Burulma+gerilme: plastik gerinim**

Şekil 2.8. Plastik gerinim analizleri, (yukarıdan aşağıya: dolu numune burulma, kalın cidarlı numune burulma, kalın cidarlı numune çekme + burulma) (Mossakovsky ve ark., 2011)



Şekil 2.9. Dış yüzey deformasyon yolları (Mossakovsky ve ark., 2011)

Baranoğlu (2012) yüksek lisans tezinde statik burulmanın aşırı çekilmiş çelik tellerin mekanik özelliklere etkisini incelemiştir. Aşırı çekilmiş pirinç kaplamalı çelik teller üzerinde statik burulma etkisini araştırmak için çekme, sertlik ve yorulma gibi mühendislik testleri uygulamıştır. Çelik tel numunelere statik burma yüklemesi korunarak ve burulma artırdan yük boşaltılıp numunenin geri salınımı boşaltılarak iki farklı tip çekme testi uygulamıştır. Çekme testlerinin sonuçlarına göre burulma miktarındaki artışın malzemenin çekme ve akma dayanımında, kopma uzamasında artışa, kopma yükünde ise azalmaya sebep olduğu gözlemlenmiştir. Statik burulmanın çelik tellerin sertliğine olan etkisini gözlemek için Vickers mikro sertlik cihazı kullanılmış ve testler sonucunda sertlik değerlerinin burulma miktarı ile orantılı olmadığını gözlemlenmiştir. Numuneler üzerinde çekme-basma şeklinde değişken yük yorulma testi uygulanmıştır. Test sonrasında SEM ile numuneler incelenmiş ve burulma sayısının 2'den fazla olduğu durumlarda yorulma ömrünün kısaldığı gözlemlenmiştir.

Patil ve ark. (2012) sonlu elemanlar yöntemi kullanarak kompozit burulma millerinin burulma ile belverme(torsional buckling) mekanizmalarını araştırmışlardır. Çalışmalarında hem analitik hem de ANSYS programı ile sonlu elemanlar motdu kullanmışlardır. Analitik analizden elde ettikleri sonuçları ANSYS üzerinden burulumsal belverme analizi gerçekleştirmek için kullanmışlardır. Analizlerinde kompozit miller ile çelik ve alüminyum millerin mukavemetlerini karşılaştırmışlardır.

Aynı burulma dayanımı için, ağırlık olarak kompozit millerin çelik millere göre yaklaşık %80, alüminyum millere göre ise %43 daha hafif olduğu sonucuna ulaşmışlardır. Çalışmanın sonucunda lif açısının yöneliminin ve istifleme dizisinin kompozit milin bel verme mukavemetini en çok etkileyen faktörler olduğunu belirtmişlerdir.

Gireesh ve ark. (2013) yürüttükleri çalışmada otomobil endüstrisinde kullanılmak üzere E-Cam/Epoxy ve HM-Karbon/Epoxy gibi kompozit malzemelerin uygunluklarını araştırmışlardır. ANSYS programını kullanarak E-Cam/Epoxy ve E-Karbon/Epoxy tek parça kompozit şaft tasarlamışlardır. Çalışmalarında tork aktarımı, burulma mukavemeti ve doğal burulma frekansları gibi sınırlandırmalar ile şaftın ağırlığını mümkün olduğunca düşürmeyi amaçlamışlardır. Şaftın tasarım aşamasında kullandıkları varsayımlar: “1. Uzun eksen etrafında sabit dönme hızı, 2.Türdeş, dairesel kesit, 3. Mükemmel dengelenmiş şaft,4.Sönümlenme ve non-lineer etkilerin dışarıda bırakılması, 5. Gerilim-gerinim ilişkisi lineer ve elastic (Hooke yasası uygulanabilir.) 6. Vakum (akustik etkiler göz ardı edilmiştir.) 7. Katmanlarda iki boyutlu gerilme.” şeklinde sıralanmıştır. Kompozit milin kapasitesini karşılaştırabilmek adına konvensiyonel çelik burulma milini ANSYS programında modelleyerek statik analizini gerçekleştirmişler ve deformasyon, Von-Misses gerilmesi, XY kayma gerinimi, stress yoğunluğu gibi sayısal sonuçları elde etmişlerdir. Ardından kompozit malzemeyi katmanlı olarak modelleyerek statik analiz gerçekleştirmişler ve aynı sonuçları kompozit mil için de elde etmişlerdir. Karşılaştırmaların neticesinde olarak kompozit milin çelik mile göre, daha hafif(yaklaşık %72) ve daha kuvvetli olması, daha az kuvvet tüketmesi, aşamalı kırılma mekanizması( kırılmadan önce uyarı verebilmesi) gibi sebeplerle daha avantajlı olduğu sonucuna varmışlardır.

Işık Özses (2015), ince cidarlı mikro alaşımlı çelik ile alaşımsız çelik yapıların sürtünme kaynağı yöntemiyle kaynaklanabilirliğini inceledikleri çalışmada iki farklı çelik türünü de başarılı bir şekilde sürtünme kaynağı ile kaynaklamayı başarmışlardır. Sürtünme kaynağı ile birleştirilmiş dairesel kesitli bağlantıların burulma yükü taşıma kapasitelerini belirlemek için statik burulma testi ve burulma yorulma testi gerçekleştirmişlerdir. Sürtünme kaynağı ile birleştirilmiş 6 adet numuneyi 16 kNm kapasiteli Instron marka burulma test cihazı kullanarak 50 Nm/s burulma hızında statik burulma testine tabi tutmuşlar ve numunelerin 4.4 kNm burulma yüküne kadar

hasar görmeden dayanabildiklerini tespit etmişlerdir. Aynı test tezgahında 12 adet numune ile 4 farklı yük altında gerçekleştirdikleri tam dalgalı tam değişken torsiyon yorulma testi sonucunda 1 milyon çevrimdeki yorulma dayanımını 0.87 kN olarak tespit etmişlerdir.

Akdeniz ve ark. (2016) çalışmasında belirli ağırlık kısıtı altında bir binek aracın çıplak gövdesinin burulma frekansı optimizasyonunu yakalamak için Nastran ile sonlu elemanlar modeli oluşturularak model üzerinde optimizasyon çalışması gerçekleştirmiştir.

Yu ve ark. (2015) döner bilyeli-sonsuz vidalı mil direksiyonun dinamik analiz ve simülasyonunu gerçekleştirmişlerdir. Helis kanal modeli ve Hertz elastik temas teorisinden faydalanarak bilyelerin maruz kaldıkları temas gerilme ve deformasyonlarını analiz etmişlerdir. Tork ve eksenel kuvvet altında sonsuz vidalı milin titreşim modunu elde etmişlerdir. Oluşturulan teorik modeli, sonsuz vidalı milin geometrik modelinin ABAQUS 6.11'de gerçekleştirilen simülasyonu ile karşılaştırarak doğrulamışlardır. Çalışmalarında sonsuz vidalı mil üzerinde yer alan spiral kanalın matematiksel modelini elde etmişlerdir. Sonsuz vidalı milin deformasyonunu burulmadan, eksenel yüklerden ve bilyeler ile temastan kaynaklanan deformasyon olarak ayırarak analitik olarak hesaplamışlardır. Sonsuz vidalı milin doğal frekansını, milin daha ince olan silindir kısmını üniform silindir olarak kabul ederek Euler-Bernoulli kiriş teorisi kullanarak hesaplamışlardır.

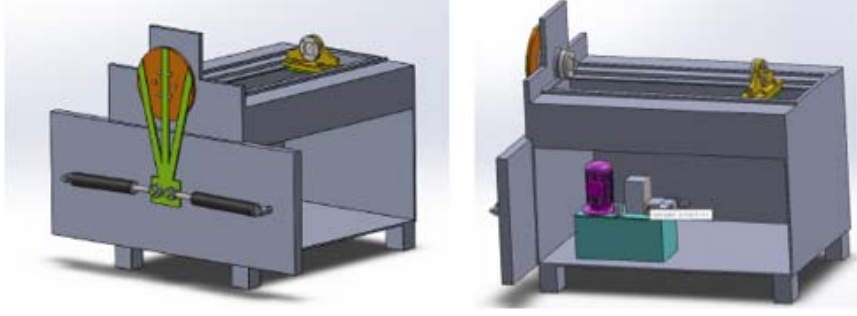
Xia Jiang (2016) yayınladıkları makalede ağır ticari araçlarda değişken destek karakteristiği ve yüksek hızlarda direksiyon hissi gerçekleştirebilecek tipte bir elektronik kontrollü hidrolik direksiyon sistemini incelemişlerdir. Araç hızına ve dümenleme oranına bağlı olarak değişen ihtiyaca göre debiyi ayarlayabilmek için ağır ticari araçlarda kullanılan döner bilyeli hidrolik direksiyon kutusunun içindeki döner valf sürgüsüne paralel olarak kontrol edilen bir elektrohidrolik proporsiyonel valf yerleştirmişlerdir. Sistem yapısı ve çalışma yapısı tanımlandıktan sonra hidrolik direksiyon sistemini, aracı ve direksiyon direncini matematiksel olarak modellemişlerdir. Valf sürgüsünün bozucu etkiler ve belirsiz parametreler altında deplasmanının doğru takibi için elektrohidrolik proporsiyonel valf için uyarlamalı dinamik yüzey kontrol şeması (DSC) önermişlerdir. Sistemi mekanik ve hidrolik olarak alt sistemlere bölmüşler ve oluşturulan matematiksel modelleri MATLAB Simulink® programını kullanarak sayısal simülasyonlarını gerçekleştirmişlerdir.

Hidrolik destek alt sistemi Wheatstone köprüsü şeklinde modellenmiş, farklı araç hızları ve farklı dümenleme oranlarına göre döner valf sürgüsünden geçecek debi ve valf sürgüsü deplasmanı tablolanmıştır. Araç dinamiğinin modellenmesinde iki tekerlekli bisiklet modeli kullanılmıştır. Modelleme ve simülasyon sonrasında oluşturulan sistemin gerçek hayata uygulanabilirliğinin validasyonu için prototip üretilerek saha testleri yapılmıştır. Saha testi ve simülasyon sonuçları tutarlılık göstermiştir. Son olarak ECHPS ve HPS sistemlerinin direksiyon simidi tork indisleri ve merkezde dümenleme tork değişimleri karşılaştırılmış ve ECHPS sistemin, düşük hızlarda dümenleme performansından bir şey kaybetmeden, yüksek hızlarda direksiyon hissini HPS sisteme göre büyük ölçüde iyileştirdiğini ortaya koymuşlardır.

Lillberg Johannesson (2018) elektronik dümenleme sistemlerinde farklı kontrol stratejilerinden faydalanarak araç dinamiği, direksiyon torku ve direksiyon simidi açısı gibi değişkenler arasındaki transfer fonksiyonlarını elde etmişlerdir.

Yaylı (2018) çalışmasında dairesel kesitli millerin burulmalarının titreşim analizini gerçekleştirmiştir. Elastik sınır koşulları altında fonksiyonel olarak derecelendirilmiş dairesel kesitli kirişlerin burulma titreşimini incelemiştir. Çalışmada bir adet kiriş uçlarından burulma engelleyici yaylar ile mesnetlenmiş ve açısız dönme fonksiyonu olarak Fourier sinüs serisi kullanılmıştır. Problem üzerinde matematiksel sadeleştirmeler yapılarak bir özdeğer problemine indirgenmiş ve elde edilen serbest titreşim frekansları rijit sınır koşulları için elde edilen çözümlerle karşılaştırılmış ve çözümlerin birbirleriyle tutarlılık gösterdiği gözlenmiştir.

Akın (2019) gerçekleştirmiş olduğu yüksek lisans çalışmasında kardan şaftların statik yorulma testlerinin gerçekleştirilebilmesi için hidrolik bir burulma test tezgahı tasarlamıştır (Şekil 2.9). Akın tarafından oluşturulan düzenek temel olarak iki adet hidrolik silindir yardımı ve kuvvet kolu aracılığı ile eşmerkezli fikstüre oturtulan test numunesine burulma hareketi vermektedir. Komponentler bir ana şase üzerine oturtulmuştur. Test tezgahının hareketinin kontrolü PLC sürücü ile sağlanmıştır. Numunenin elastik deformasyonu encoder yardımı ile ölçülmüştür. Toplanan veriler anlık olarak bir bilgisayarda toplanmıştır. Elde edilen deneysel veriler ile teorik matematiksel hesaplamaları karşılaştırarak tezgahın doğrulamasını gerçekleştirmiştir.



Şekil 2.10. Hidrolik test düzeneğinin önden ve yandan görünüşü (Akın, 2019)

Bu çalışmada önceki çalışmalardan farklı olarak, dikey konfigürasyonda burulma testleri gerçekleştirilmek üzere iki farklı burulma test düzeneği oluşturulmuştur ve burulma katsayıları deneysel olarak hesaplanmıştır. Ağır ticari araç hidrolik direksiyon kutularında kullanılan burulma milleri, sonsuz vidalı mil, burulma mili ve giriş mili kompleksi demontaj etmeye gerek duyulmadan burulma testine tabi tutularak boyun torkları ölçülmüş ve burulma katsayıları hesaplanmıştır. Ölçüm sonuçları teorik ve sonlu elemanlar analizi hesaplamalarıyla karşılaştırılarak iki düzeneğin de çalışma performansı değerlendirilmiştir.

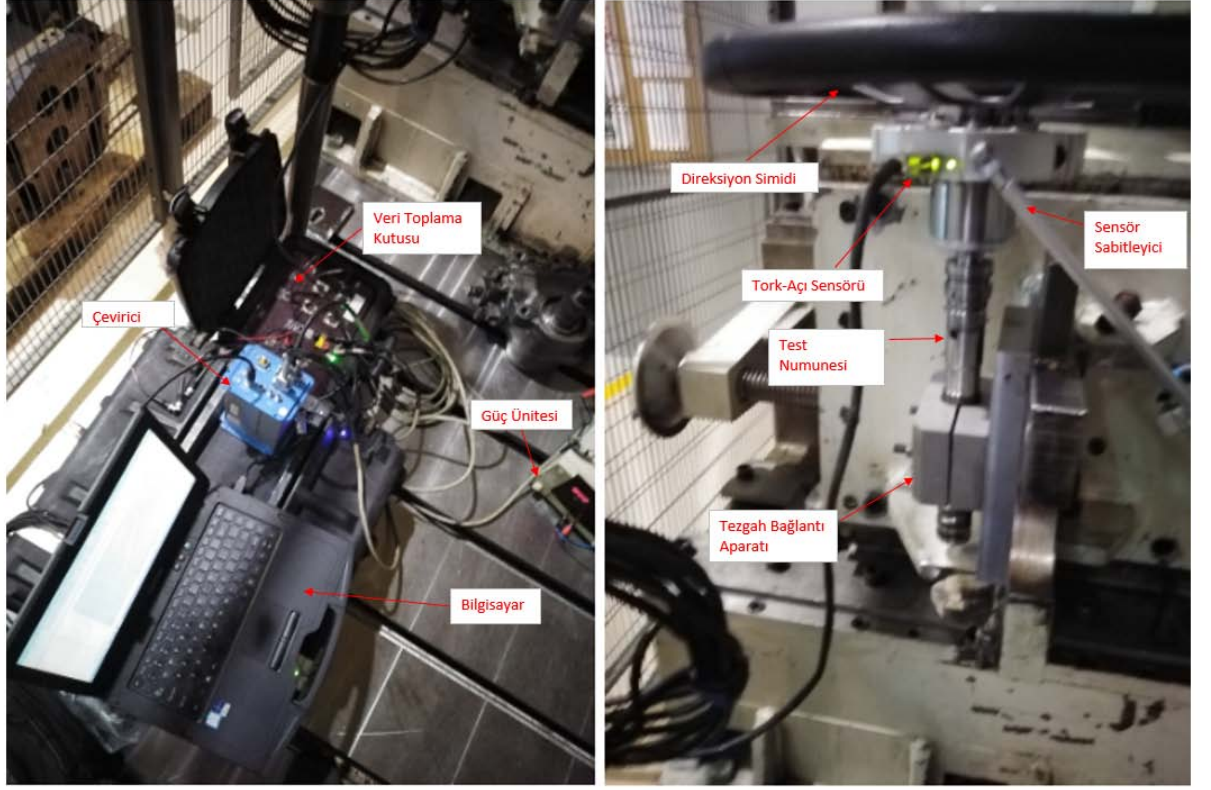
### 3. MATERYAL VE YÖNTEM

#### 3.1. Materyal

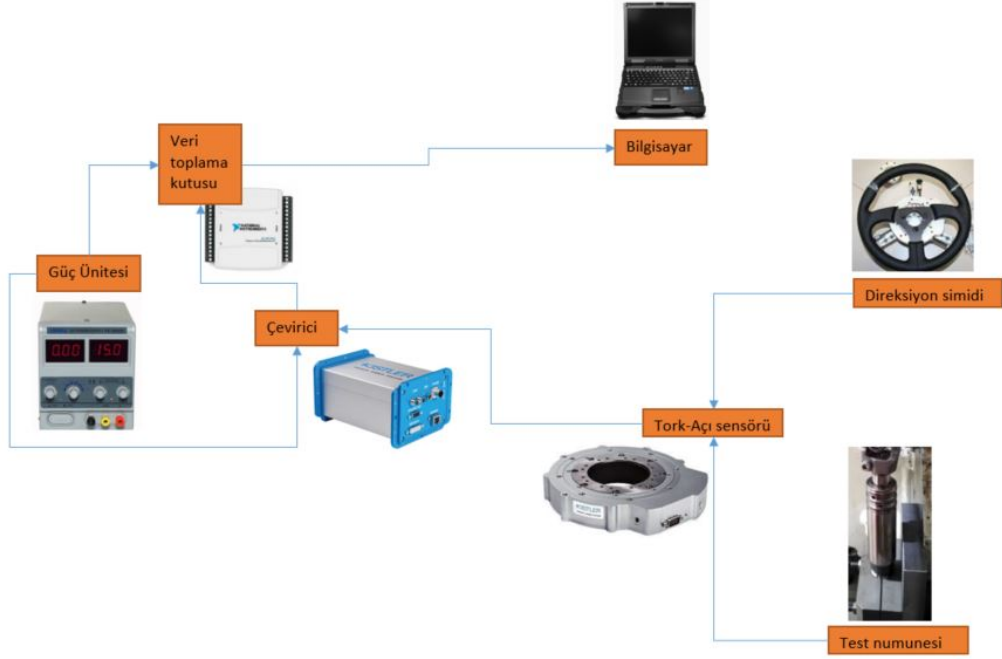
Bu bölümde kurulan iki farklı test düzeneği ve bu sistemleri oluşturan ana bileşenler anlatılmıştır. İlk oluşturulan test düzeneği dönme hareketinin manuel olarak sağlandığı ve ölçüm için "Kistler" marka bir tork-açı sensöründen faydalanılan bir düzendir. Diğer test düzeneğinde ise dönme hareketi servomotor ile sağlanarak, ölçüm tork sensörü ile yapılmıştır. İki düzenek de dik olarak konumlandırılmıştır. Test düzenekleri oluşturulurken gövde olarak hidrolik direksiyonların ömür testlerinin gerçekleştirildiği mevcut bir tezgahdan faydalanılmıştır. Bu yüksek lisans tez çalışmasının ilerleyen bölümlerinde, birinci düzeneğe "Tork-açı sensörü ölçümü" veya "1 numaralı düzenek", servomotor kullanılan ikinci düzeneğe ise "Test düzeneği ölçümü" veya "2 numaralı düzenek" olarak atıfta bulunulmuştur.

##### 3.1.1. Tork-Açı Sensörlü Test Düzeneği Elemanları(1 Numaralı Test Düzeneği)

Burulma millerinin burulma katsayılarının tespit edilmesi için ilk olarak ağır ticari araç hidrolik direksiyonlarının araç üzeri testlerinde kullanılan test ekipmanlarının kullanıldığı bir düzenek oluşturulmuştur. Tez çalışmasında tamamlanması planlanan servomotorlu ve tork sensörlü ikinci test düzeneğine deneysel bir yöntem olarak referans oluşturması için mevcut olan Kistler marka tork-açı sensörü kullanılarak burulma katsayısı ölçümü yapılmıştır. Bu düzeneği oluşturan ekipmanlar ve düzeneğin kurulumu Şekil 3.1'de görülmektedir. Şekil 3.2'de test düzeneğinin şematik gösterimi verilmiştir. Tork-açı sensörü bir tarafından mil bağlantı aparatı ile giriş miline bağlanmakta, diğer tarafına ise döndürme hareketini sağlamak için 50 cm çapındaki direksiyon simidi ara bağlantı aparatları yardımı ile bağlanmaktadır. Sensörün gövdesinin hareketi, sabitleyici bir kol ile kısıtlanarak sensör sabitlenmektedir. Sensör ölçümleri NI veri toplama kartında toplanarak çevirici aracılığı ile bilgisayara aktarılmakta ve Labview program arayüzünde ölçümler okunmaktadır.



Şekil 3.1: Tork-açı sensörü ölçümünde kullanılan ekipmanlar



Şekil 3.2: Tork-açı sensörü kullanılan 1 numaralı düzeneğin şematik gösterimi

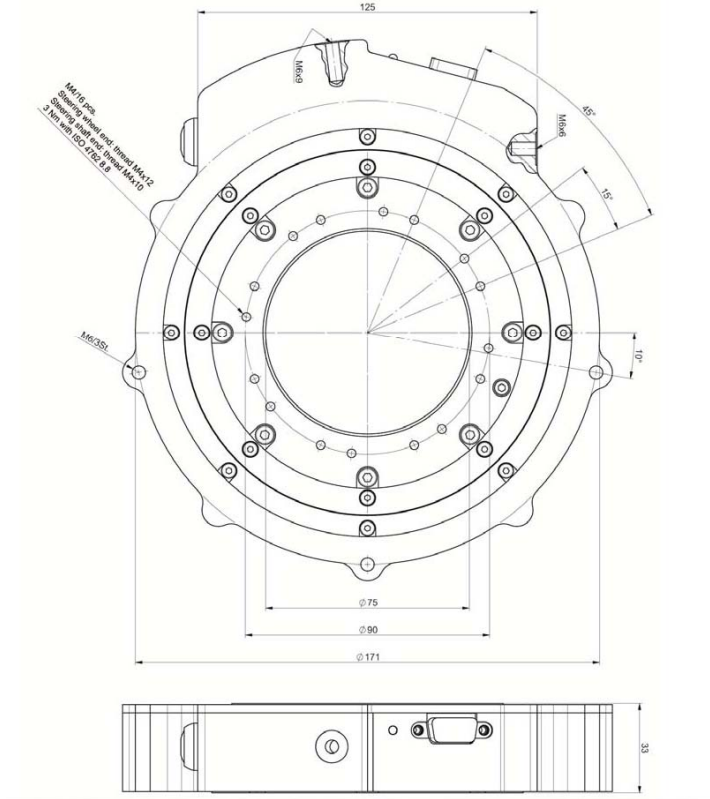


### 3.1.1.1. Tork-açı Sensörü

Şekil 3.3'te görseli ve Şekil 3.4'te boyutsal ölçüleri verilen tork-açı sensörünün teknik özellikleri Çizelge 3.1'de verilmiştir.



Şekil 3.3: Tork-açı sensörü



Şekil 3.4: Tork-açı sensörü geometrik ölçüleri

Çizelge 3.1. Kistler Tork-Açı Sensörü Teknik Özellikleri

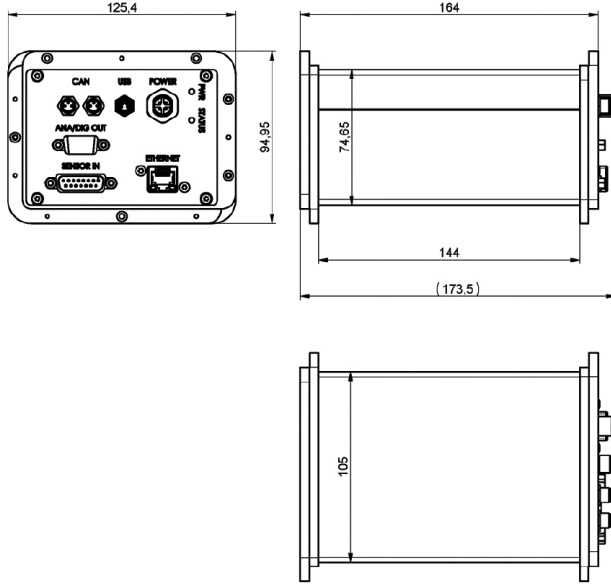
Genel Özellikler	Besleme	10-28
	12 V'da güç tüketimi	<20W
	Ayarlanabilir filtreleme süresi	2-512 ms
	Veri yenileme hızı	1.000 Hz
	Kütleesel eylemsizlik momenti	80 kgcm <sup>2</sup>
	Ağırlık	2,8 kg
	Tork	Ölçüm aralığı
Doğruluk		±0,15
Doğrusal sapma		±0,15
Açı	Ölçüm aralığı	±1.250°
	Döndürme hızı	2.000°/s
	Çözünürlük	0,015°
	Doğruluk	±0,1°

### 3.1.1.2. Elektronik Ünite/Çevirici

Tork-açı sensörü ile kullanılan çeviricinin görseli Şekil 3.5'te verilmiştir. Çeviricinin geometrik ölçüleri Şekil 3.6'da verilmiştir. Sensörden alınan veriler elektronik ünite vasıtası ile dijital formata çevrilerek NI veri toplama kartında depolanarak bilgisayara aktarılmaktadır.



Şekil 3.5: Elektronik ünite/Çevirici



Şekil 3.6: Elektronik ünite/Çevirici geometrik ölçüleri

### 3.1.1.3. Direksiyon Simidi

Test düzeneğinde giriş milinden burulma miline dönme hareketi vermek üzere Şekil 3.7’de verilen 50 cm çapında bir direksiyon simidi kullanılmıştır.



Şekil 3.7: Direksiyon simidi

#### 3.1.1.4. Sensör Sabitleme Aparatı

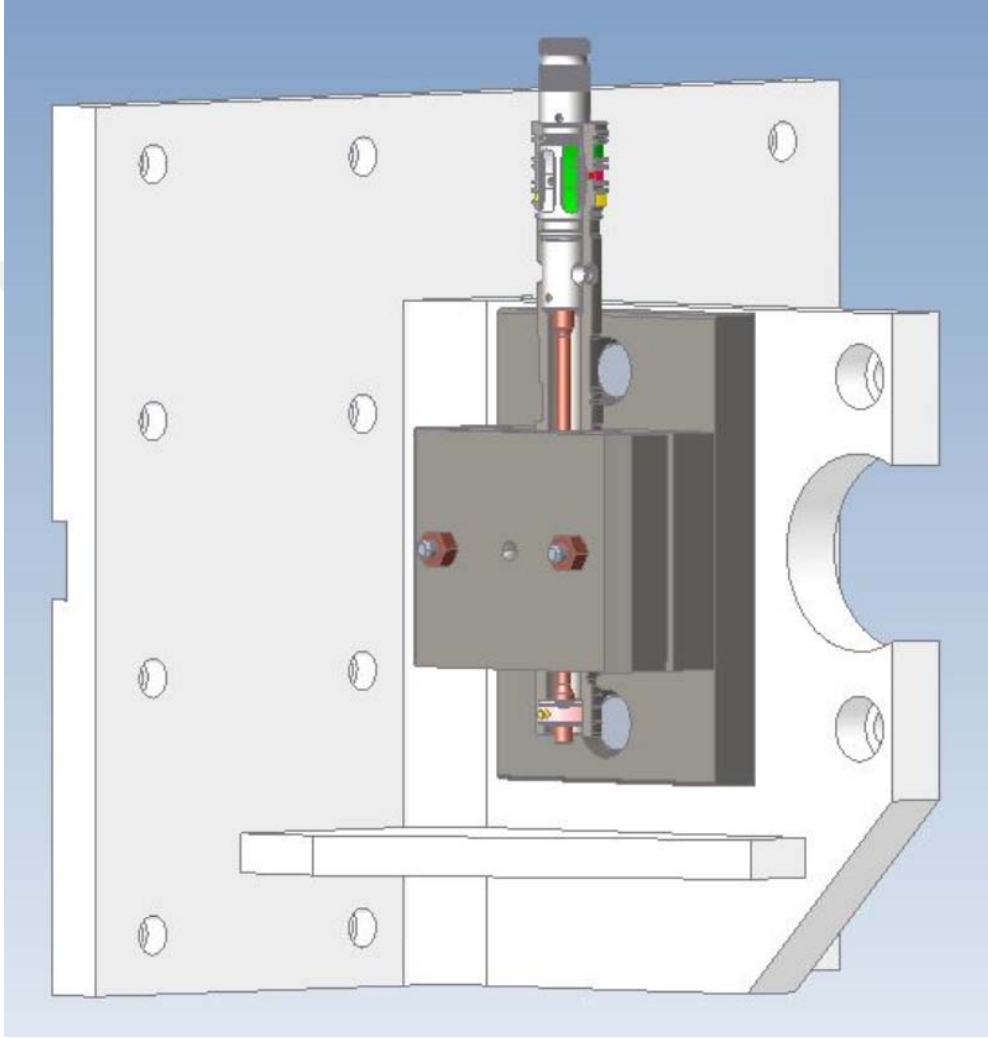
Düzenekte kullanılan tork-açı sensörünün döner hareket yapmayan kısmının hareketsiz kalması için Şekil 3.8’de görülen bir sabitleyici aparat kullanılmaktadır.



Şekil 3.8: Sensör sabitleme aparatı

#### 3.1.1.5. Sabit Bağlantı Aparatı

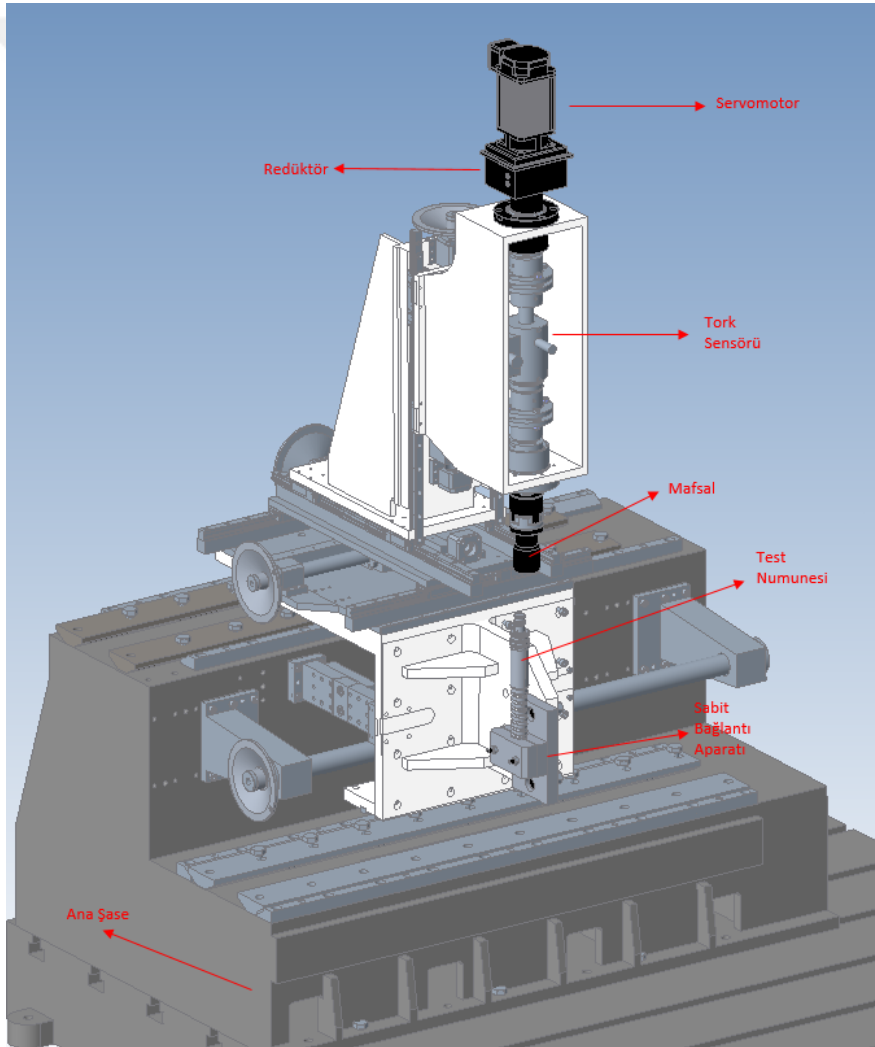
İki farklı burulma test düzeneğinde de fikstür olarak kullanılan, test edilecek numunenin hareketsiz tarafı için bilgisayar destekli çizim ve tasarım programlarından faydalanılarak sabit bağlantı aparatı tasarımı gerçekleştirilmiş ve üretilmiştir(Şekil 3.9).



Şekil 3.9: Test düzeneğinde braket üzerine montajlanan bağlantı aparatının katı modeli

### 3.1.2. Test Düzeneği Elemanları (2 Numaralı Test Düzeneği)

Tez çalışmasında oluşturulan ikinci test düzeneğinin hareketli parçaları servo motor, redüktör, tork sensörü ve kaplinlerden oluşmaktadır. Brakete yerleştirilen sabit bağlantı aparatı yardımı ile numunenin bir tarafı sabit olarak mesnetlenirken çıkış miline yerleştirilen mafsallık yardımı ile numunenin hareketli tarafı burulmaya maruz bırakılmıştır. Test esnasında sensör ile alınan veriler entegre edilmiş bir masaüstü bilgisayar ile toplanmıştır. Şekil 3.10'da katı model üzerinde test düzeneğinin ana bileşenleri gösterilmiştir.



Şekil 3.10: Burulma test düzeneğinin katı modeli

### 3.1.2.1. Ana Şase

Burulma testinin yapıldığı test düzeneği hidrolik direksiyonların ömür testlerinin gerçekleştirildiği bir test tezgahının üstüne kurulmuştur. Burulmaya maruz bırakılacak numunenin bağlandığı braketin bulunduğu kısım yatay ekseninde, hareketli parçaların olduğu kısım yatay ve dikey eksenlerde tamburlar yardımı ile hareket edebilmektedir ve çelik bir zemine yerleştirilmiştir.

### 3.1.2.2. Mafsal

Burulma testine girecek numune bir mafsal yardımı ile döner hareket yapan mile bağlanmaktadır. Şekil 3.11’de numunenin test düzeneğine bağlanması gösterilmiştir.



Şekil 3.11: Numunenin bağlanması

### 3.1.2.3. Tork Sensörü

Test düzeneğinin çalışması sırasında numune üzerinde meydana gelen döndürme momenti bir tork sensörü yardımı ile bilgisayara aktarılmaktadır. Tork metre S.HimmelsteinCo. marka 48003V(2-3) serisidir. Tork metre görünümü Şekil 3.12’de, özellikleri Çizelge 3.2’de verilmiştir.



Şekil 3.12: Tork Sensörü

Çizelge 3.2. Tork metre teknik özellikleri

Model:	48003V(2-3)-N-N-N-L
Seri Numarası:	48003V13140789
Maksimum Devir:	8500 rpm
Tork Aralığı:	226 Nm



#### 3.1.2.4. Servo motor ve Redüktör

Test düzeneğinde yüksek kesinlikli açısal kontrolü sağlamak amacı için SEW CMP71M 400 Volt sistem gerilimli senkron servo motor redüktör ile birlikte kullanılmıştır. Şekil 3.13'te servo motor ve redüktör görünümü, Çizelge 3.3'te ise özellikleri verilmiştir.



Şekil 3.13: Servomotor ve redüktör

Çizelge 3.3. Servomotor ve redüktör teknik özellikleri

Durma torku [Nm]	9,4
Durma akımı [A]	7,8
Sistem gerilimi [V]	400
Güç [kW]	9,4
İzin verilen maksimum motor akımı( $I_{maks}$ ) [A]	39
Devir(Giriş/Çıkış) [de- vir/dak]/[devir/dak]	3000/58
Servomotor ve redüktör toplam ağırlık [kg]	34
Redüktör oranı, $i$	51,56
Redüktör çıkışı limit tork değeri [Nm]	484,66

### 3.1.2.5. Servomotor Sürücüsü

Servo motor sürücü olarak SEW marka Movidrive B tipi MDX61B 0030-5A3-4-00 model bir sürücü kullanılmıştır. Servo motorun kontrolü bu sürücü aracılığı ile gerçekleştirilmiştir. Sürücünün görseli Şekil 3.14'te, özellikleri Çizelge 3.4'te verilmiştir.



Şekil 3.14: Servomotor sürücüsü

Çizelge 3.4. Servomotor sürücüsü teknik özellikleri

Besleme gerilimi VAC:	3 x 380 – 500
Besleme frekansı [Hz]: 50 – 60 ±	0 – 400
%5 Çıkış frekansı [Hz]: 30.8 Motor	U/f, VFC, CFC, Servo
kontrol modları:	3-4
Güç aralığı[kW] :	7-8.8
Anma çıkış akımı [A] :	
Boyut (En-Boy-Yükseklik) [mm] :	105 x 314 x 234

### 3.1.2.6. Çevirici

Sistemde bilgisayar ve sürücü arasındaki iletişim bağlantısını sağlamak için Comsoft marka bir çevirici kullanılmıştır.

### 3.1.2.7. Veri Toplama Kartı

Test sisteminden elde edilen verilerin toplanarak bilgisayar ortamına aktarımını ve test sistemi ile bilgisayar program ara yüzü arasındaki bağlantıyı sağlamak için veri toplama kartı kullanılmaktadır. Veri toplama kartının görünümü Şekil 3.15'te verilmiştir.



Şekil 3.15: Veri toplama kartı

### 3.1.2.8. Bilgisayar

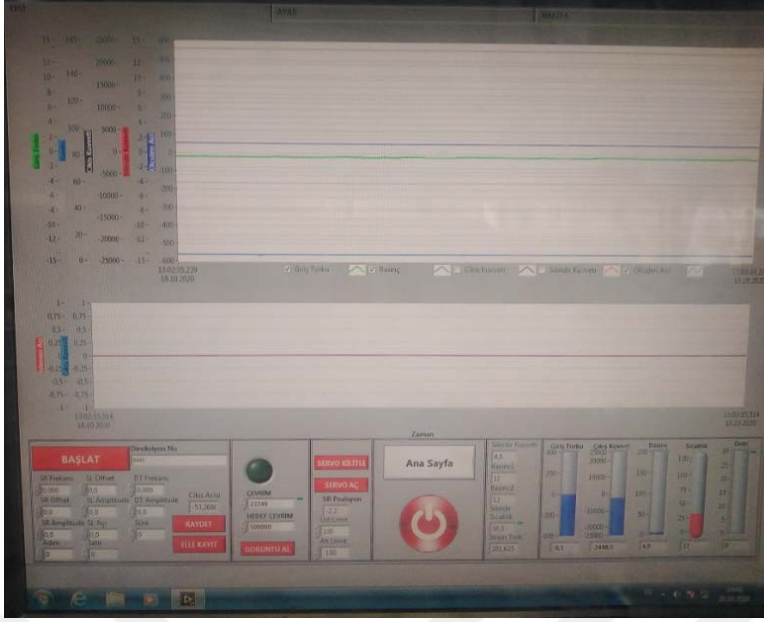
Test düzeneğinin çalışması sırasında alınan verilerin anlık olarak okunması ve depolanması Windows XP işletim sistemi kurulu bir masaüstü bilgisayar ile sağlanmaktadır. Test düzeneği ve kullanıcı arasındaki iletişim bu bilgisayar ile sağlanmaktadır. Şekil 3.16'da test düzeneğine bağlı bilgisayar görülmektedir.



Şekil 3.16: Servo test düzeneği ile entegre edilen bilgisayar

### 3.1.2.9. Labview

PC' ye kurulu olan Labview programı ile servo motorun kontrolü sağlanmaktadır. Ayrıca kullanıcı arayüzü de bu programda oluşturulmuştur. Bu ekrandan servo motorun açısal pozisyonu ve tork sensöründen gelen veriler bilgisayar aracılığı ile program üzerinden okunup depolanabilmektedir. Şekil 3.17'de program arayüzünün görseli verilmiştir.



Şekil 3.17: Labview programı arayüzü

### 3.1.3. Test Numunesi

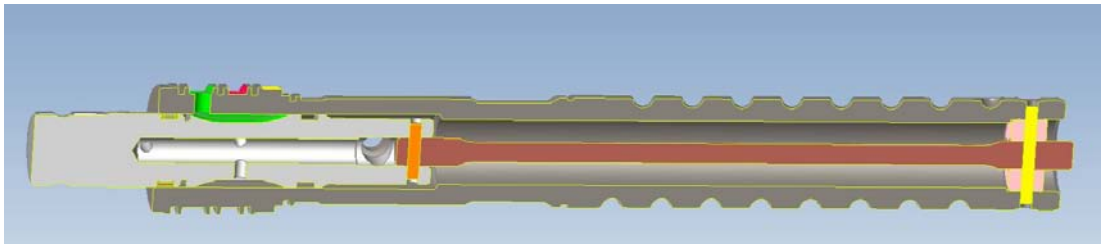
Test numunesi olarak Şekil 3.18'deki kesit görünüşü verilen, hidrolik direksiyonlarda kullanılan farklı 5 adet farklı boy ve çap ölçülerinde burulma milleri kullanılmıştır. Uç kısımlardaki geniş çaptan bir tarafı mafsala bir tarafı da düzeneğin sabit kısmına mesnetlenerek teste tabi tutulmuştur. Burulma mili bir tarafından hidrolik direksiyonun giriş miline, diğer ucundan ise sonsuz vidalı mile montajlanmış bir şekilde kullanılmaktadır. Kullanılan numunelerin hidrolik direksiyon kutularındaki yer ve işlevlerinin daha net anlaşılması adına Şekil 3.19'da hidrolik direksiyon kesiti üzerinde burulma mili, giriş mili ve sonsuz vidalı mil ve direksiyonun diğer komponentleri ile aralarındaki bağlantı olduğu gösterilmiştir. Şekil 3.19'a göre:

- Giriş mili, ilk hareketin verildiği dairesel hareket yapan komponent,
- Burulma mili, ilk hareketin verilmesi ile birlikte  $7^\circ$ 'ye kadar burulmaya maruz kalan komponent,
- Sonsuz vidalı mil, hem mekanik hem basınç desteği ile pistonun aksel hareketini sağlayan komponent,

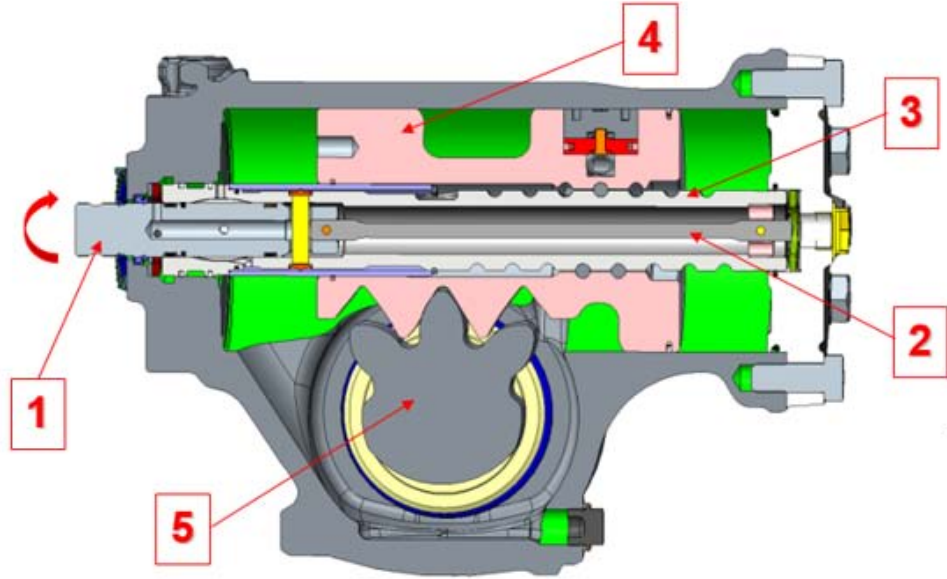
- Piston, mekanik hareket ve basınç desteği ile birlikte aksenal hareket yapan komponent,

- Sektör mili, pistondan aldığı aksenal hareketi dairesel harekete çevirerek tekerleklere güç ve hareket ileten komponenttir.

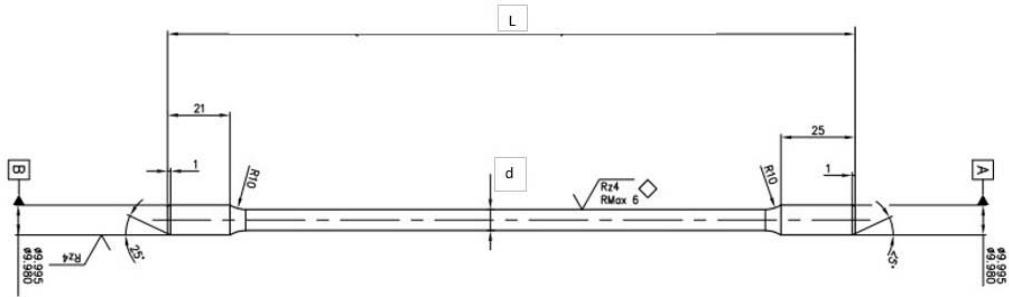
Şekilde de görüleceği üzere burulma, hidrolik direksiyon kutularının içinde giriş mili ve burulma mili kompleksi ile aradaki sızdırmazlık elemanları ve aksenal iğneli yataklar ile birlikte bir sonsuz vidalı milin içine pimlenmiş olarak kullanılmaktadır. Burulma milleri bir taraflarından direksiyon giriş miline diğer tarafından ise sonsuz vidalı mile pim ile sabitlenmiş ve hareketleri sonsuz vidalı mil ve giriş mili arasındaki bir parça ile  $\pm 7^\circ$  aralığında döner hareket yapabilecek şekilde sınırlandırılmıştır. Kurulan test düzeneğinde direksiyonlardaki burulma millerinin sonsuz vidalı mil ve giriş mili ile aradaki sızdırmazlık elemanları ve yataklarla birlikte efektif burulma katsayılarının elde edilmesi amaçlanmıştır. Deneyde kullanılacak olan numuneler sonsuz vidalı mil + burulma mili + giriş mili kompleksi olarak temin edilmiştir. Bu şekilde sonsuz vidalı milin içine zaten sabitlenmiş olan burulma mili numuneleri sonsuz vidalı milden tutularak test düzeneğinin fikstürüne bağlanmıştır ve burulma milinin diğer ucundan bağlı olduğu giriş milindeki yiv dişlerden faydalanılarak düzeneğin döner kısmına mafsal yardımı ile bağlanmıştır. Şekil 3.20 ve 3.21’de numunelerin görselleri verilmiştir. Tork-açı sensörü ölçümü ve test düzeneğinde kullanılan numunelerin özellikleri Çizelge 3.5’te verilmiştir.



Şekil 3.18: Düzeneğe bağlanan numunenin kesit görünümü



Şekil 3.19: Hidrolik Direksiyon kesit görünümü(1: Giriş mili,2: Burulma Mili,3:Sonsuz Vidalı Mil, 4: Piston, 5: Sektör Mili)



Şekil 3.20: Burulma mili katı modeli(Sol üst), sonsuz vidalı milin içindeki giriş mili ve burulma mili kompleksi(Sağ üst) ve burulma mili ana ölçüleri(Sağ üst)





Şekil 3.21: Burulma testinde kullanılan numuneler

Çizelge 3.5. Burulma millerinin özellikleri

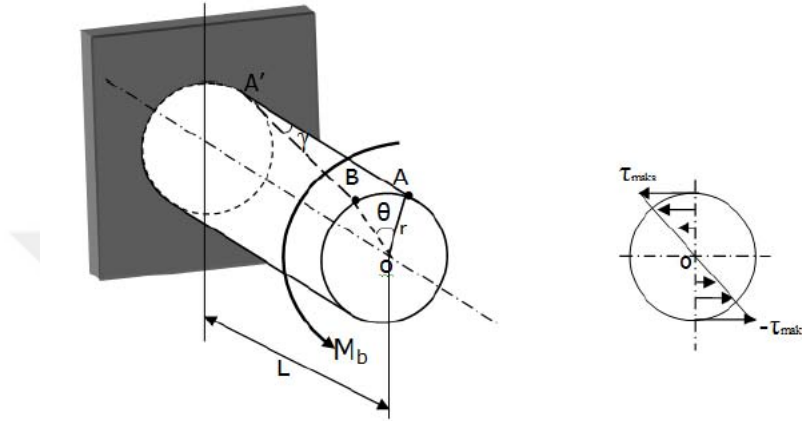
Numune Numarası #	Çap, d[mm]	Efektif Uzunluk, L [mm]	Malzeme
1	Ø6,8	138,8	51CrV4
2	Ø7,0	185,4	51CrV4
3	Ø6,4	106,8	51CrV4
4	Ø6,8	185,4	51CrV4
5	Ø7,4	185,4	51CrV4

### 3.2. Yöntem

Test düzeneklerinde gerçekleştirilen burulma testlerinden önce farklı kesit ölçülerinde ve uzunluklarda numunelerin burulma katsayıları teorik olarak hesaplanmıştır. Ardından burulma millerinin geometrileri ve malzeme özellikleri dikkate alınarak ANSYS v19.1 programında sonlu elemanlar analizi(SEA) gerçekleştirilmiş ve 7° burulmada meydana gelen boyun torku ile burulma katılıkları hesaplanmıştır. Ardından deneysel hesaplamalar için iki farklı düzenek konfigürasyonu oluşturulmuştur. Bunlardan ilki hidrolik direksiyonların araç üzeri testlerinde kullanılan tork-açı sensörü ekipmanları ile oluşturulan bir düzenektir. Diğeri ise servomotor ve tork sensörü ile oluşturulan düzenektir. İki farklı düzenek ile de boyun torkları ve burulma katsayıları hesaplanmıştır. Test numunesi olarak kullanılan burulma mili, giriş mili ve sonsuz vidalı mil montajı, giriş milinden 7° burulmaya maruz kalacak şekilde testler gerçekleştirilmiştir. Burulma aralığının +/- 7° olarak alınmasının sebebi milin pratik uygulamada kullanımının bu aralıkta sınırlandırılmış olmasıdır. Burulma millerinin hareketi uygulama olarak +/- 7° burulma aralığında kısıtlanmıştır. Sonsuz vidalı milin üzerinde bulunan bir bükse burulma milinin 7° açığa kadar serbest olarak burulmasına izin vermektedir. Giriş mili 7°'den sonra döndürülmeye devam ettiğinde sonsuz vidalı mil ile birlikte mekanik olarak dönmekte ancak daha fazla burulmamaktadır. Burulma milinin burulması fonksiyonel olarak maksimum 7° ile sınırlandırılmış olduğu için katsayı hesaplanırken kullanılan yöntemlerde ekstrem burulma olan +/- 7° burulma açısı kullanılmıştır. Burulma millerinin yay katsayıları ve +/-7°'deki tork değerleri matematiksel, sonlu eleman analizi ve deneysel yöntemler kullanılarak hesaplanmıştır ve ölçüm sonuçları karşılaştırılarak iki farklı düzeneğin de çalışma performansları değerlendirilmiştir.

### 3.2.1. Matematiksel Model

Burulma testine tabi tutulan numunenin üzerinde meydana gelen yükler ve kesit üzerinde meydana gelen kayma gerilmeleri Şekil 3.22’de şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 3.22: Burulma deneyinin şematik gösterimi ve kesit üzerinde oluşan kayma gerilmeleri(Yıldızlı, 2012)

Teorik olarak “L” uzunluğunda içi dolu bir milin üzerine  $M_b$  burulma momenti uygulanarak, burulma başlangıcında A-A’ kesiti  $\theta^\circ$  kadar burulmanın sonunda A noktası B noktasına gelerek, B-A’ şeklini alır. A noktasının B noktasına olan hareketinin sonucunda O merkezine göre olan konumları arasında taranan açı burulma açısı( $\theta$ ) ve A-A’ kesiti ile A’B kesiti arasında oluşan açı ise kayma açısı ( $\gamma$ ) olarak ifade edilir. Milin deformasyonu sırasında maksimum kayma gerilmesi( $\tau_{max}$ ) dış yüzeyde bulunan lifler üzerinde eşit ve zıt yönlerde meydana gelirken kayma gerilmesi milin merkezine doğru gittikçe lineer bir şekilde azalır ve merkezde sıfıra eşit olur(Yıldızlı, 2012). Silindirik bir numune için r yarıçapından küçük bir  $\rho$  yarıçapında meydana gelen kayma gerilmesi( $\tau$ ) (3.1) ile hesaplanır.

$$\tau = \frac{M_b \cdot \rho}{J} \quad (3.1)$$

• $\tau$ : Kayma gerilmesi [MPa]

• $M_b$ : Burulma momenti[Nmm]

• $\rho$ : Kayma gerilmesinin olduğu yarıçap [mm];  $0 \leq \rho \leq r$

• $J$ : Polar atalet momenti[mm<sup>4</sup>]

$J$  atalet momenti içi dolu miller için 3.2, içi boş silindirik miller için ise 3.3 ile hesaplanır. Burada  $r$ [mm] içi dolu milin yarıçapı,  $r_2$ [mm] ve  $r_1$ [mm] içi boş milin sırasıyla dış ve iç yarıçapıdır.

$$J = \frac{\pi \cdot r^4}{2} \quad (3.2)$$

$$J = \frac{\pi \cdot (r_2^4 - r_1^4)}{2} \quad (3.3)$$

Elde edilen burulma momenti ( $M_b$ ), burulma açısı( $\theta$ ) grafiğinden kayma akma gerilmesi elde edilir. Kayma açısı veya kayma birim şekil değişimi( $\gamma$ ) (3.4)'e göre hesaplanır. Bu formülde  $\theta$  radyan cinsinden,  $r$  numunenin yarıçapı ve  $L$  ise numunenin boyudur.

$$\gamma = \frac{r}{L} \cdot \theta \quad (3.4)$$

Kayma elastisite modülü ( $G$ )[MPa], burulma diyagramının lineer yani elastik bölgesinde kayma geriliminin( $\tau$ )[MPa] kayma birim şekil değişimi ( $\gamma$ ) oranına eşittir (3.5).

$$G = \frac{\tau}{\gamma} \quad (3.5)$$

Kayma Elastisite Modülü,  $G$ , ile Elastisite Modülü,  $E$ , ve Poisson oranı, ( $\nu$ ), arasındaki ilişki aşağıdaki denklemde (3.6) verilmiştir.

$$G = \frac{E}{2(1 + \nu)} \quad (3.6)$$

Yay katsayısı,  $k$ , N\*mm/rad cinsinden, dairesel içi boş kesitlerde denklem (3.7), içi dolu kesitlerde (3.8) kullanılarak hesaplanır. Bu denklemlerde  $d_1$ [mm] ve  $d_2$ [mm] içi boş dairesel kesitin sırasıyla iç ve dış çapı,  $d$ [mm] içi dolu dairesel kesitin çapı,  $L$ [mm] efektif uzunluktur.

$$k = \frac{\pi \cdot (d_2^4 - d_1^4) \cdot G}{32 \cdot L} \quad (3.7)$$

$$k = \frac{\pi \cdot d^4 \cdot G}{32 \cdot L} \quad (3.8)$$

Buna göre bir mili  $\theta$ [rad] açısı kadar döndürmek için gerekli olan burulma momenti değeri, T[MPa] aşağıdaki gibidir.

$$T = \theta \times k \quad (3.9)$$

Test edilen burulma millerinin malzemesi 51CrV4 çeliktir. Bu malzeme için maksimum çekme dayanımı 1100 MPa - 1300 MPa arası ve maksimum akma dayanımı ise 900 MPa civarındadır. 51CrV4 çelik için E, 205GPa ve  $\nu$ , 0.28125 alınmıştır. Denklem 3.6 kullanılarak G, 79,98 GPa olarak hesaplanır. Denklem 3.8'de yerine konularak burulma katsayıları 5 farklı numune için hesaplanmıştır ve Çizelge 3.6'da verilmiştir.

Çizelge 3.6. Matematiksel modele göre hesaplanan teorik burulma katsayısı değerleri

Numune Numarası #	Çap, d[mm]	Efektif Uzunluk, L [mm]	Teorik Burulma Katsayısı, k [Nm/°]	7°de oluşan Boyun Torku [Nm]
1	Ø6,8	138,8	2,11	14,7875
2	Ø7,0	185,4	1,78	12,425
3	Ø6,4	106,8	2,15	15,0675
4	Ø6,8	185,4	1,58	11,06
5	Ø7,4	185,4	2,22	15,5225

### 3.2.2. Sonlu Elemanlar Analizi

Hidrolik direksiyon sistemine ait burulma milinin ANSYS v19.1 kullanılarak sonlu elemanlar yöntemi ile yapısal analizi yapılmıştır. Bu analiz sonucunda burulma mili üzerinde oluşan kayma akma gerilmeleri, momentler elde edilerek yay katsayıları hesaplanmıştır. Modeli sadeleştirmek adına Şekil 3.20'de görülen giriş mili ve burulma mili kompleksine giriş milinden gelen hareket, burulma mili üzerinde bağlı olduğu noktadan etki eden açısal deplasman olarak modellenmiştir. Burulma milinin sınır koşulları Şekil 3.24'te gösterilen şekilde pim deliğinden sabit destek olarak ve diğer ucundan 7°'lik burulma açısı deplasman olarak belirlenmiştir. Parçanın münferit olmasından dolayı temas yoktur. Analiz için yeterli olacak düğüm ve eleman sayısına karar vermek için 2 numaralı numune kullanılarak eleman boyutu üzerinden mesh bağımsızlık çalışması yapılmıştır. Eleman boyutu her seferinde yarıya

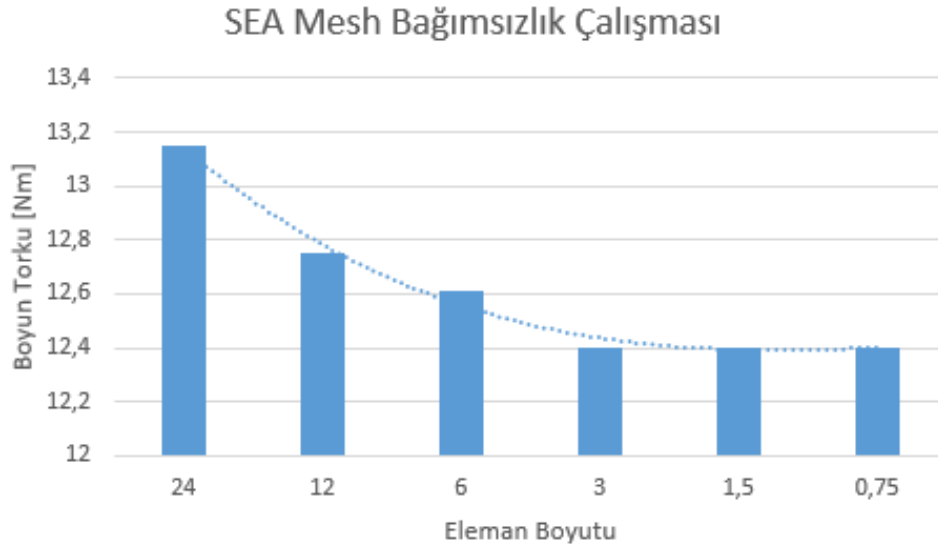
indirilerek boyun torku değerlerindeki bir önceki hesaplama göre yüzdelik değişim gözlenmiştir(Çizelge 3.7). Eleman boyutu 24 mm'den başlanarak her seferinde yarıya indirilerek Von Misses gerilmesi ve boyun torku için bir önceki ölçümle yüzdesel farkları kıyaslanmıştır. Buna göre eleman boyutu 1.5 yapıldığında 3 mm eleman boyu hesaplamasına göre boyun torku için %0,00141 gibi çok küçük bir fark hesaplanmıştır. Aynı hesaplama eleman boyutu 0,75 için de yapıldığında bir önceki hesaplama göre (1.5 eleman boyu) boyun torku için hiçbir değişim olmadığı görülmüştür. Eleman boyutunun 3 mm alınması yeterli olabileceği gibi, sistemin çözümü için gereken sürenin fazla etkilenmemesinden dolayı hesaplamaların yapılması için 1.5 mm eleman boyutu alınmasının uygun olacağına karar verilmiştir. Eleman boyutu 1.5 mm alınarak sonlu eleman ağı oluşturulmuştur. Gerçekleştirilen mesh bağımsızlık çalışmasında seçilen eleman boyutuna göre hesaplanan boyun torkunun değişimi Şekil 3.23'te grafik olarak görülmektedir. Numune 1 için sınır koşulları ve sonlu eleman ağı sırasıyla Şekil 3.24 ve Şekil 3.25'te gösterilmiştir.

Çizelge 3.7. SEA için Mesh bağımsızlık çalışması

Eleman Boyutu [mm]	Düğüm Sayısı	Eleman Sayısı	Boyun Torku[Nm]	Fark
24	12908	7727	13,150375	-
12	15584	9260	12,74875	-%3,05410
6	19622	11811	12,609625	-%1,09128
3	24460	14754	12,4019	-%1,64735
1,5	70215	45488	12,401725	-%0,00141
0,75	394658	273088	12,401725	%0,00000

Analiz için malzeme ve yükleme girdileri aşağıdaki gibidir:

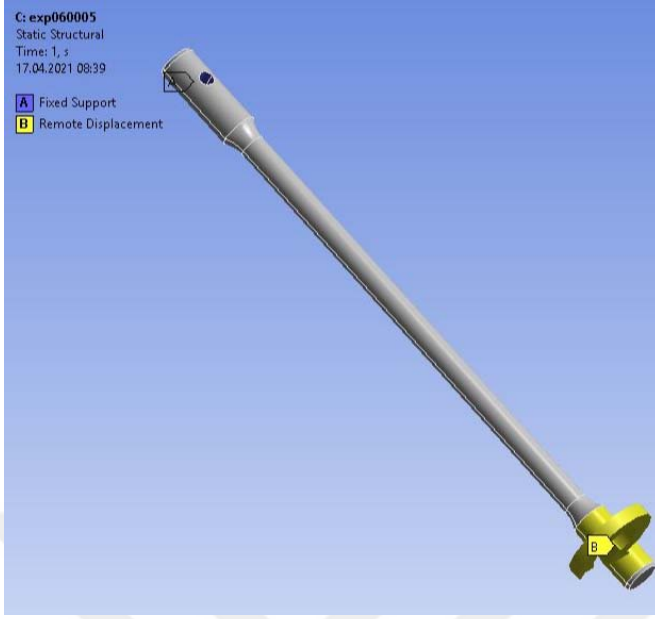
- Burulma mili malzemesi: 51CrV4
- Makimum çekme dayanımı[MPa] : 1100 - 1300
- Maksimum akma dayanımı [MPa] : 900
- Elastisite Modülü: 205 GPa



Şekil 3.23: SEA mesh bağımsızlık çalışması

- Poisson oranı: 0.28125
- Özgül ağırlığı: 7850 kg/m<sup>3</sup>
- Yük: 7° açısız deplasman
- Destekleme: Şekil 3.24'te gösterilen pim deliğinden sabitlenmiştir.
- Mesh: Eleman boyutu 1.5 mm alınmıştır.

Birinci numune üzerinde gerçekleştirilen sonlu elemanlar analizi sonucunda elde edilen Von-Misses gerilmeleri Şekil 3.26'da verilmiştir. Orta kesit üzerinde, 3,4 yarıçapı için maksimum kayma akma gerilmesi(Şekil 3.27),  $\tau_{\max} = 247,11$  MPa olarak hesaplanmıştır. Hesaplanan Von-Misses ve Kayma akma gerilmeleri maksimum çekme ve kayma geriliminin altındadır. Burulma milinin 7° burulması için gereken boyun torku değeri 14,656 Nm bulunmuştur. Yay katsayısı 2,09 Nm/° olarak hesaplanmıştır. Tüm numuneler için mesh bilgileri ve SEA sonuçları Çizelge 3.8'de verilmiştir. Analiz sonucunda elde edilen burulma katsayısı değerleri ve boyun torku değerleri Çizelge 3.9'da verilmiştir.

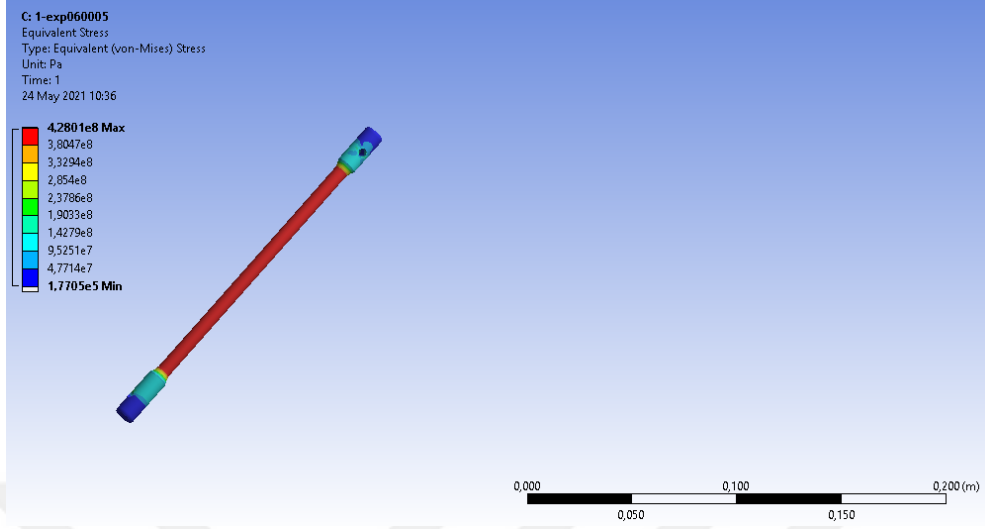


Şekil 3.24: 1 numaralı numune için sınır koşulları

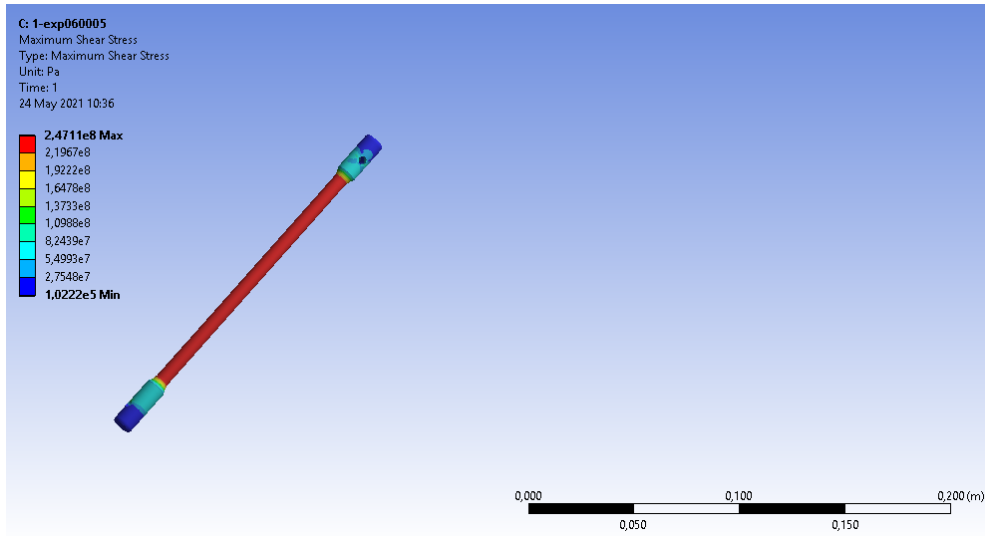


Şekil 3.25: 1 numaralı numune için oluşturulan ağ





Şekil 3.26: 1 numaralı numune için Von-Misses gerilmesi



Şekil 3.27: 1 numaralı numune için Maksimum kayma gerilmesi

Çizelge 3.8. SEA Mesh bilgileri ve analiz sonuçları

Numune#	Eleman Sayısı	Düğüm Sayısı	Maksimum Von Misses Gerilmesi[MPa]	Maksimum kayma akma gerilmesi[MPa]	Boyun Torku[Nm]
1	39.813	61.186	428,01	247,11	14,656
2	45.488	70.215	330,82	191	12,402
3	18.246	29.144	535,91	309,41	15,307
4	43.968	67.803	320,78	185,2	10,995
5	43,998	67.119	343,95	198,58	15,195

Çizelge 3.9. Sonlu Elemanlar Analizine göre hesaplanan burulma katsayısı değerleri

Numune#	Çap, d [mm]	Efektif Uzunluk, L [mm]	SEA Burulma Katsayısı, k [Nm/°]	7°de oluşan Boyun Torku [Nm]
1	Ø6,8	138,8	2,09	14,656
2	Ø7	185,4	1,77	12,402
3	Ø6,4	106,8	2,19	15,307
4	Ø6,8	185,4	1,57	10,995
5	Ø7,4	185,4	2,17	15,195

### 3.2.3. Tork-Açı Sensörü Ölçümü (1 Numaralı Düzenek)

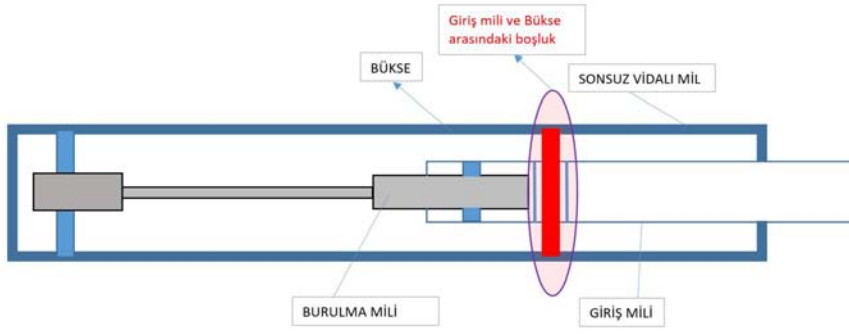
Tork-açı sensörü ölçümü sırasında kaydedilen tork ve açı değerleri ile Şekil 3.28'deki grafik oluşturulmuştur. Gerçek durumda 0° burulma için tork olmamaktadır, ancak sensörün hassasiyetinden dolayı 0 noktası 0'a çok yakın ancak 0 olmayan değerlerdedir. Toplanan veriler değerlendirilirken burulma eğrisi orijinden geçirilerek burulma katsayısı hesaplanmıştır. Bu yöntemle burulma katsayısı hesaplanırken değinilmesi gereken bir diğer nokta ise, burulma milinin uç konumlarında(+/- 7°) mekanik olarak kısıtlanmasından dolayı meydana gelen tork değerlerindeki artıştır. Hidrolik direksiyonun çalışma prensibi gereği, önceki bölümlerde de bahsedildiği üzere, giriş mili ve burulma mili kompleksinin sonsuz vidalı mil içindeki hareketi bir bükse aracılığı ile +/- 7° de sınırlandırılmaktadır. Giriş mili üzerindeki boşluğun bükseye dayanması ile bu sınırlandırma sağlanmaktadır. Şekil 3.28'de şematik olarak görülmektedir. Bu nedenle ölçümde +/-7° açığı geçen değerlerde okunan tork değerleri burulma milinin döndürülmesinden değil, bükse'nin sonsuz vidalı mil içinde eğilmeye maruz kalmasından kaynaklanmaktadır. Ölçümden elde edilen veriler değerlendirilirken yalnızca +/-7° arasında kalan verilerle yeniden düzenlenmiş ve uç noktadaki tork değerleri hesaplamaya dahil edilmemiştir. Şekil 3.29'da 1 numaralı numune için tüm veriler ile elde edilen grafik ve Şekil 3.30'da +/-7° aralığındaki veriler kullanılarak elde edilen grafik görülmektedir. Şekil 3.31,3.32,3.33 ve 3.34'te sırasıyla 2,3,4 ve 5 numaralı diğer numunelerin tork-açı sensörü ölçümü sonucu elde edilen grafikleri, orijinden geçen ve eğimi burulma katsayısına eşit olan eğriler ile birlikte verilmiştir.

Orijinden geçen bir eğrinin formülü 3.10 ile ifade edilebilmektedir. “a” ile ifade edilen eğrinin eğimi ve hesaplanan eğimin kullanılan veri setine göre görece hatası sırasıyla 3.11 ve 3.12 ile ifade edilmektedir(Shine, 2006).

$$y = ax \quad (3.10)$$

$$a = \frac{\sum x_i y_i}{\sum x_i^2} \quad (3.11)$$

$$\text{Eğim Hatası} = S_{0,0} \frac{\sqrt{\sum x_i^2}}{\sum x_i^2} \quad (3.12)$$



Şekil 3.28: Giriş mili ile bükse arasındaki boşluğun şematik gösterimi

Denklem 3.12’de verilen  $S_{0,0}$  3.13’teki şekilde ifade edilir:

$$S_{0,0} = \sqrt{\frac{\sum (y_i - ax_i)^2}{n - 1}} \quad (3.13)$$

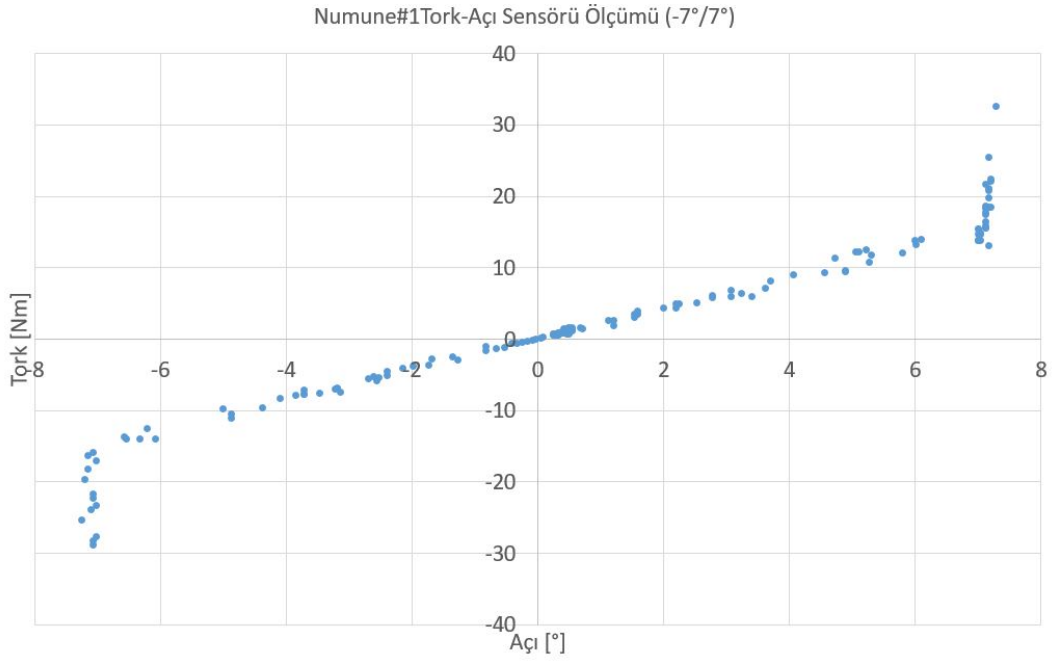
“T” boyun tork değeri, “ $\theta$ ” burulma açısı ve “k” burulma katsayısı olacak şekilde 3.10 aşağıdaki şekli alır.

$$T = k\theta \quad (3.14)$$

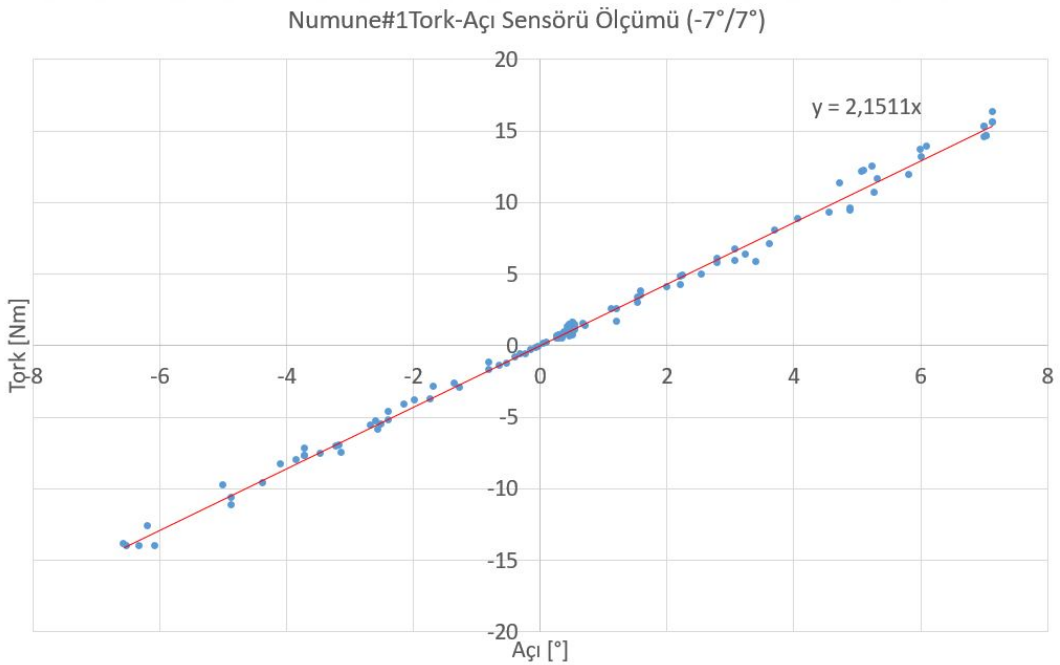
Test, tüm numuneler için gerçekleştirilmiş olup, toplanan veriler yukarıda belirtilen şekilde 3.10 ve 3.11 kullanılarak çözülmüştür. Toplanmış olan veriler bir araya getirilerek burulma katsayısı ve boyun torku belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar Çizelge 3.10’da verilmiştir.

Çizelge 3.10. Tork-Açı Sensörü Ölçümüne Göre Elde Edilen Burulma Katsayısı Değerleri

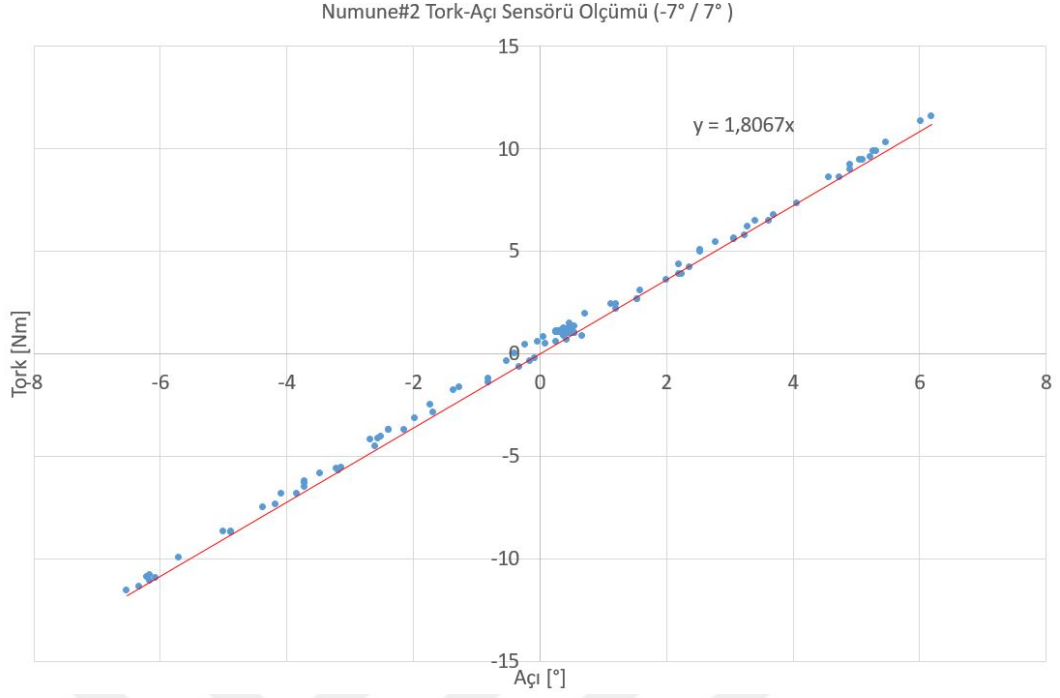
Numune nu- marası,#	Çap, d[mm]	Efektif uzunluk, L [mm]	Burulma Kat- sayısı, k [Nm/°]	7°de oluşan Boyun Torku [Nm]
1	Ø6,8	138,8	2,15	15,05
2	Ø7,0	185,4	1,8	12,6
3	Ø6,4	106,8	2,20	15,40
4	Ø6,8	185,4	1,63	11,41
5	Ø7,4	185,4	2,27	15,89



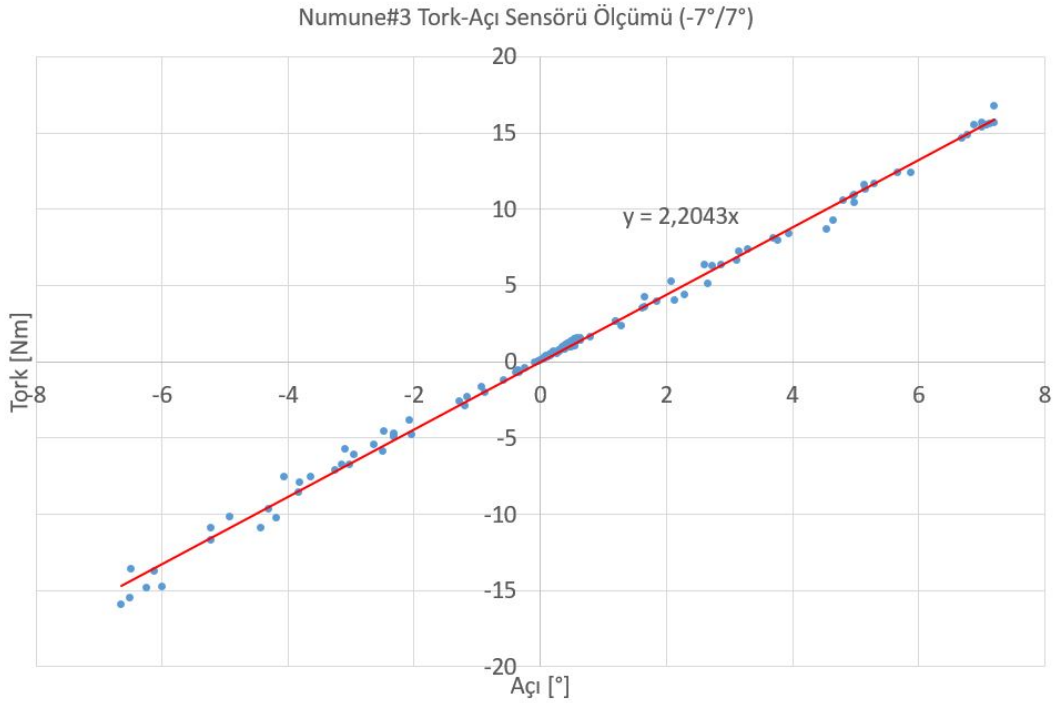
Şekil 3.29: 1 Numaralı numune için tork-açı sensörü ile elde edilen veriler



Şekil 3.30. 1 Numaralı numune için +/-7° aralığında tork-açı sensörü ile elde edilen veriler

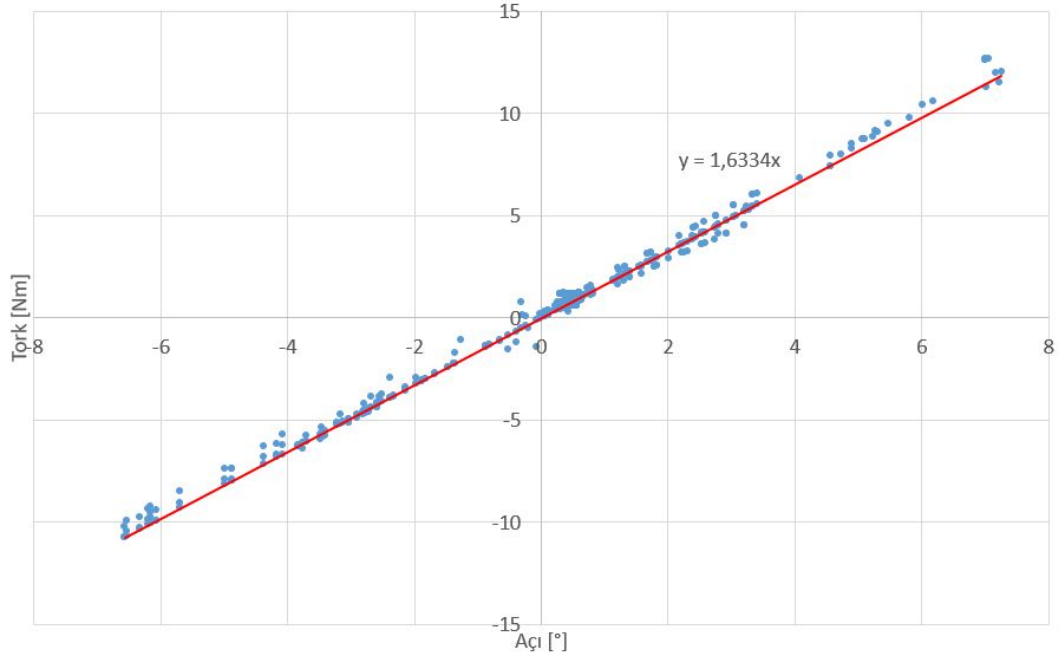


Şekil 3.31. 2 Numaralı numune için +/-7° aralığında tork-açı sensörü ile elde edilen veriler



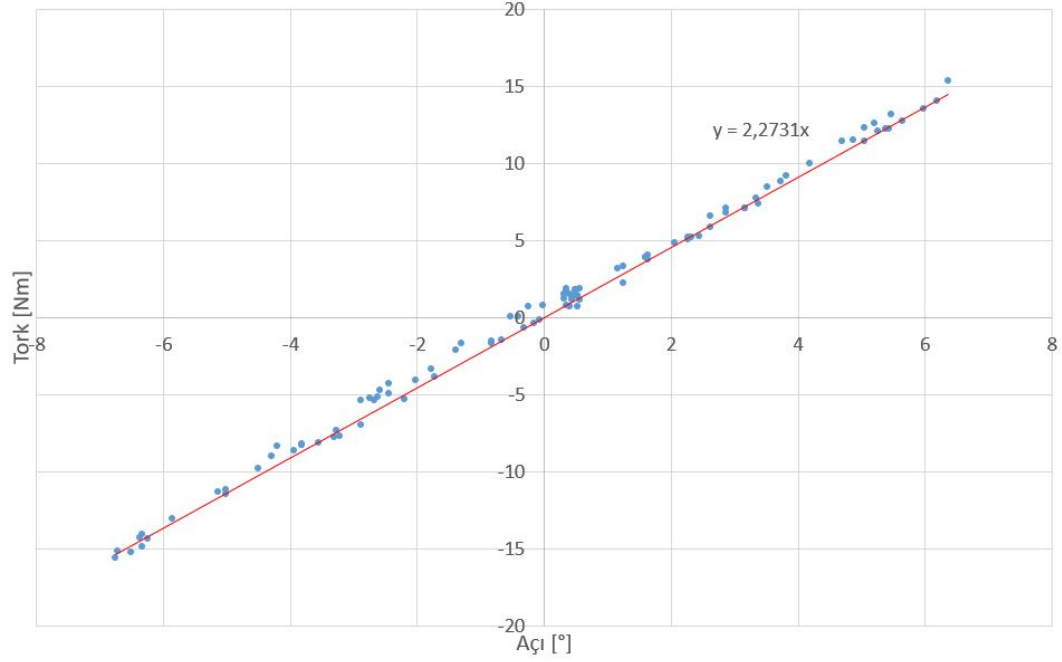
Şekil 3.32. 3 Numaralı numune için +/-7° aralığında tork-açı sensörü ile elde edilen veriler

Numune#4 Tork-Açı Sensörü Ölçümü (-7°/7°)



Şekil 3.33. 4 Numaralı numune için +/-7° aralığında tork-açı sensörü ile elde edilen veriler

Numune#5 Tork- Açı Sensörü Ölçümü (-7°/7°)



Şekil 3.34. 5 Numaralı numune için +/-7° aralığında tork-açı sensörü ile elde edilen veriler

### 3.2.4. Test Düzeneginde Gerçekleştirilen Ölçüm (2 Numaralı Düzenek)

Araştırmada tasarımı gerçekleştirilen test düzeneginin teknik özellikleri Çizelge 3.11’de verilmiştir. Düzenegin çalışma başarısı matematiksel ve deneysel yöntemler karşılaştırılarak belirlenmiştir.

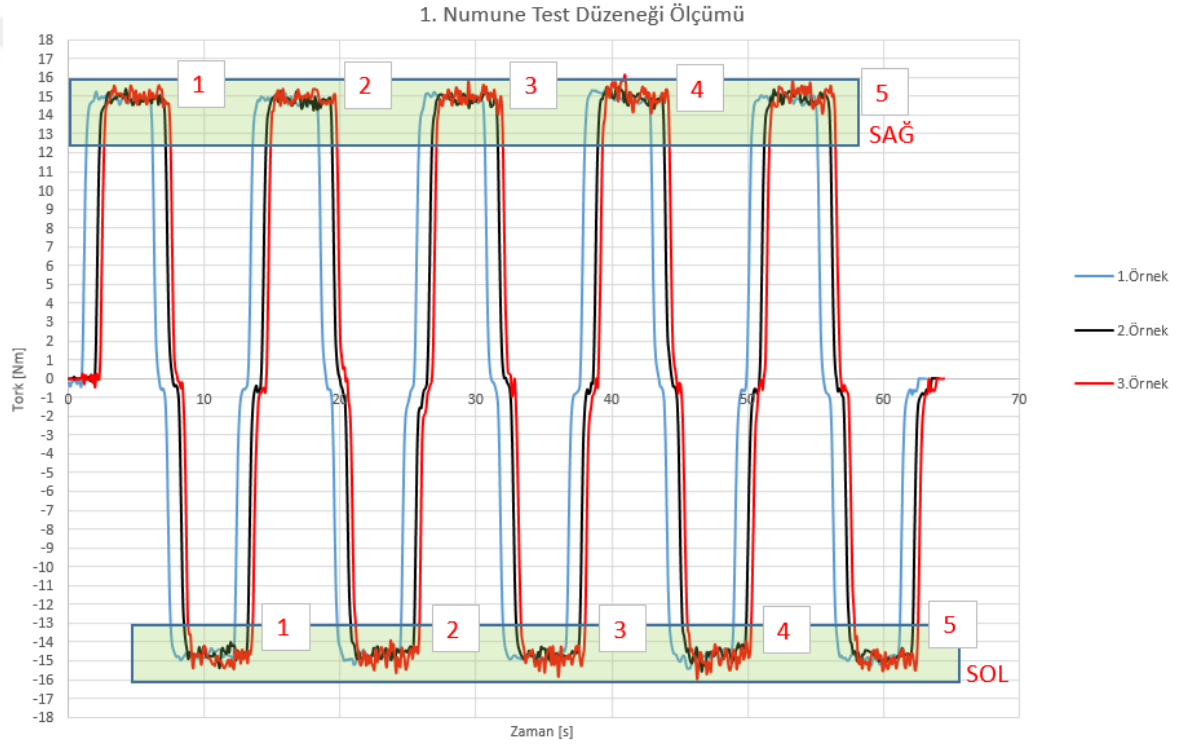
Çizelge 3.11. Burulma test düzeneginin teknik özellikleri

Servomotor	SEW CMP71M
Servo motor sürücüsü	"SEW Movidrive B MDX61B0030-5A3-4-00"
Tork Sensörü	S.Himmelstein&Co. / 48003V(2-3)-N-N-N-L
Bilgisayar	Windows XP işletim sistemi
Program	Labview
Gerilim	Servomotor ve sürücüsü 400 V - Tork Sensörü 24 V
Maksimum devir	58 devir/dak
Maksimum tork	484,66 Nm
Test Düzeneginin Genel	1400 mm x 1500 mm x 2200 mm
Ölçüleri(En x Boy x Yükseklik)	

Test düzenegi tamamlandıktan sonra numuneler düzenegin sabit bağlantı aparatına bağlanarak burulma deneyi gerçekleştirilmiştir. Test düzeneginde numune olarak kullanılan hidrolik direksiyon burulma milleri fonksiyonel olarak +/- 7° burulma aralığında çalışmakta olduğundan test esnasındaki burulma aralığı olarak +/- 7° seçilmiştir. Program yardımı ile servo motor açısı 7° ve -7° arasında orta konumda 1 saniye duracak 7° ve -7° açılarda 5'er saniye duracak şekilde çevrim yapmıştır ve tork sensöründen okunan tork değerleri Labview arayüzü ile gözlemlenmiş ve kaydedilmiştir. Her numuneden 3 örnek ve 5 tekrar olacak şekilde testler gerçekleştirilmiştir. Test sırasında numunelerin 3 farklı örneği için kaydedilen verilerle “zaman – tork” grafiği oluşturulmuştur. Şekil 3.35’te 1 numaralı numunenin 3 farklı örneği için verilen grafik üzerinde tekrar numaraları ve sağ-sol burulmalar

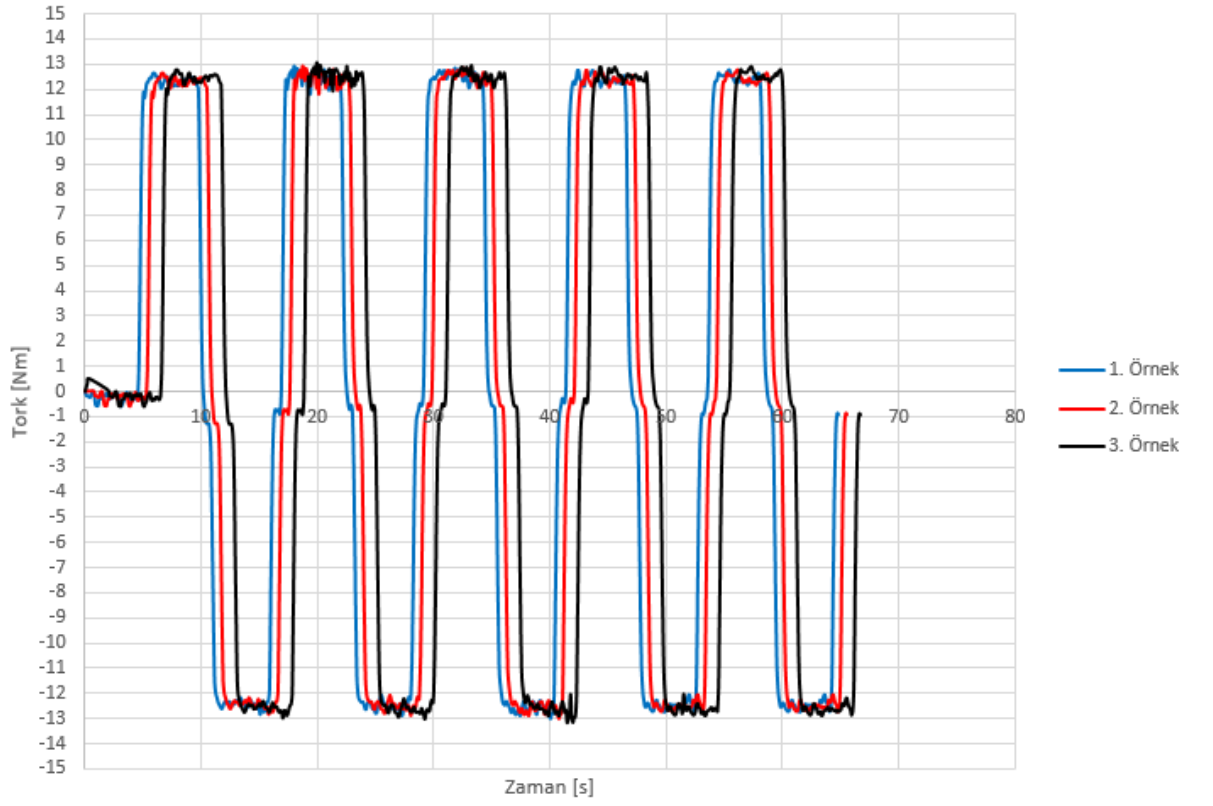


gösterilmiştir. Diğer numunelerin grafikleri Şekil 3.36, 3.37, 3.38, 3.39'da verilmiştir. Her tekrar için kaydedilen tork değerlerinin aritmetik ortalaması alınmış ve bu değer  $7^\circ$ 'ye bölünerek burulma katsayıları elde edilmiştir. Ardından 3 farklı numune için 5 tekrardan hesaplanan burulma katsayılarının aritmetik ortalaması alınarak burulma millerinin burulma katsayıları hesaplanmıştır. Farklı geometrik özelliklerdeki 5 numune için hesaplamalar tekrarlanmıştır. Burulma katsayısı,  $\pm 7^\circ$  lerde kaydedilen momentlerin aritmetik ortalaması alınarak, bu moment değerinin (3.9)'da yerine konulması ile hesaplanmıştır. Numuneler için  $7^\circ$  burulmada kaydedilen ortalama boyun torku değerleri ve hesaplanan burulma katsayıları Çizelge 3.12'de verilmiştir.



Şekil 3.35: 1 numaralı numune için test düzeneğinde ölçülen değerler

## 2. Numune Test Düzeneği Ölçümü

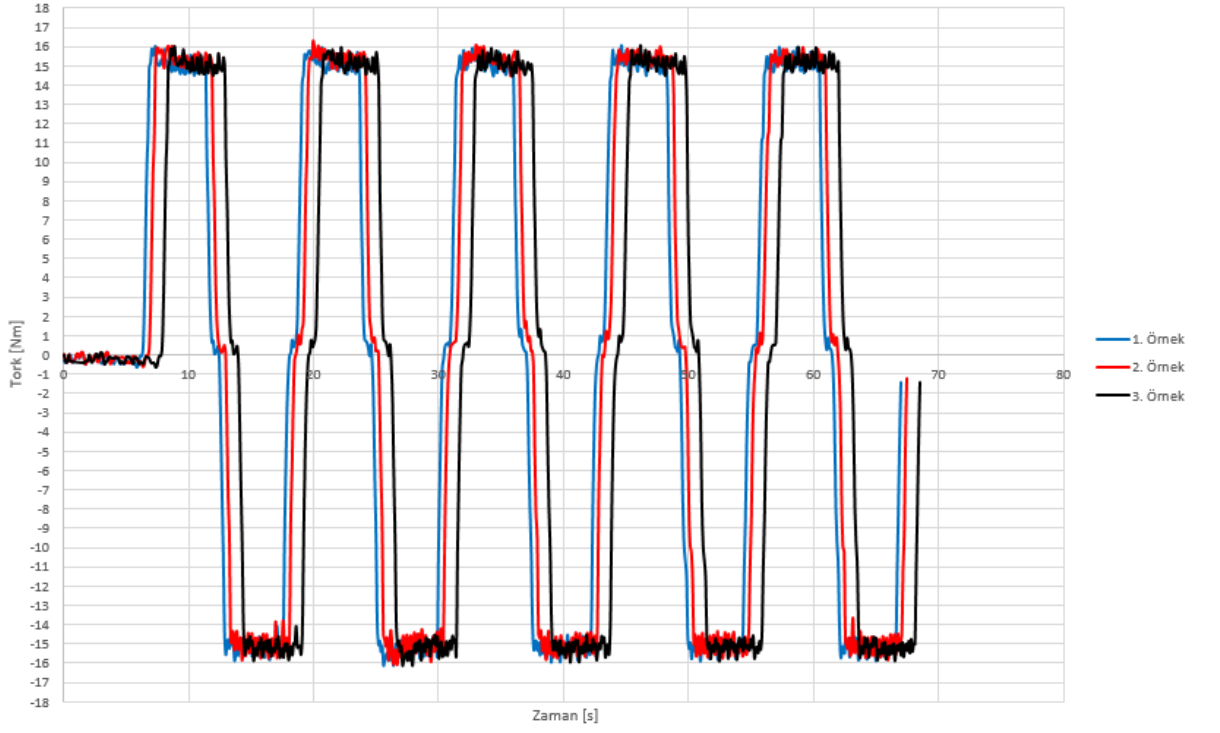


Şekil 3.36: 2 numaralı numune için test düzeneğinde ölçülen değerler

Çizelge 3.12. Test düzeneğinde ölçülen deneysel burulma katsayısı ve tork değerleri

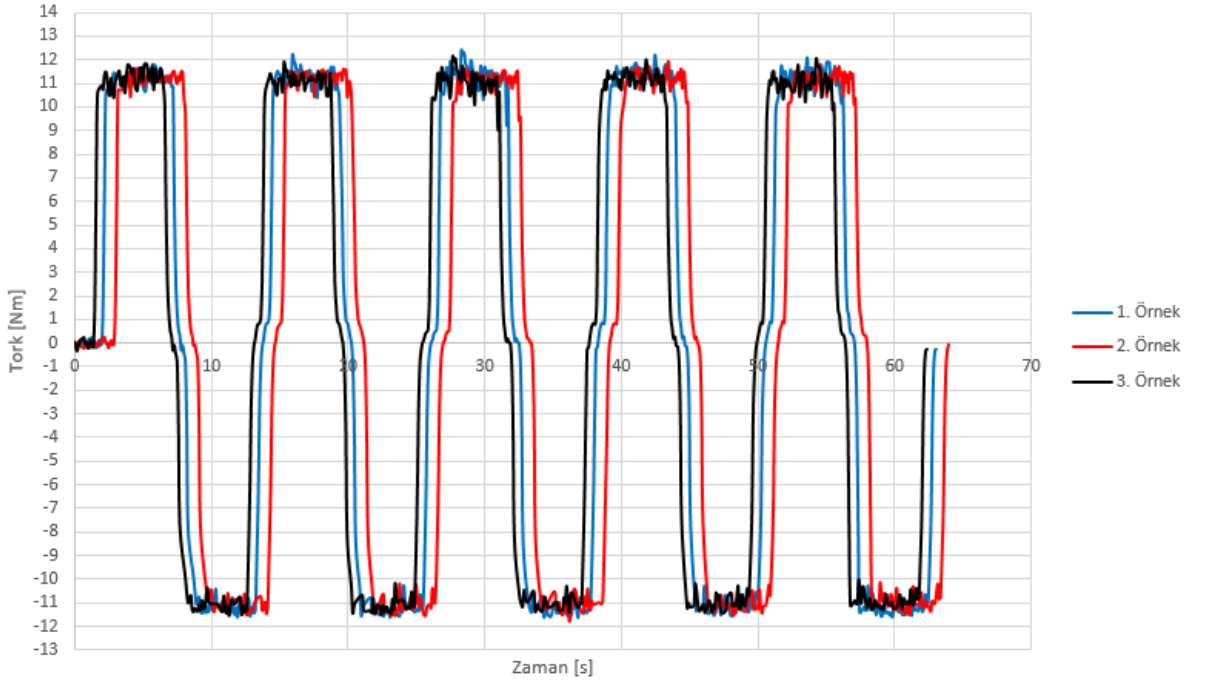
Numune Numarası,	Çap, d[mm]	Efektif Uzunluk, L[mm]	Tezgah Burulma Katsayısı, k [Nm/°]	7°de oluşan Boyun Torku [Nm]
1	Ø6,8	138,8	2,12	14,85
2	Ø7	185,4	1,78	12,48
3	Ø6,4	106,8	2,17	15,16
4	Ø6,8	185,4	1,59	11,13
5	Ø7,4	185,4	2,23	15,63

### 3. Numune Test Düzeneği Ölçümü



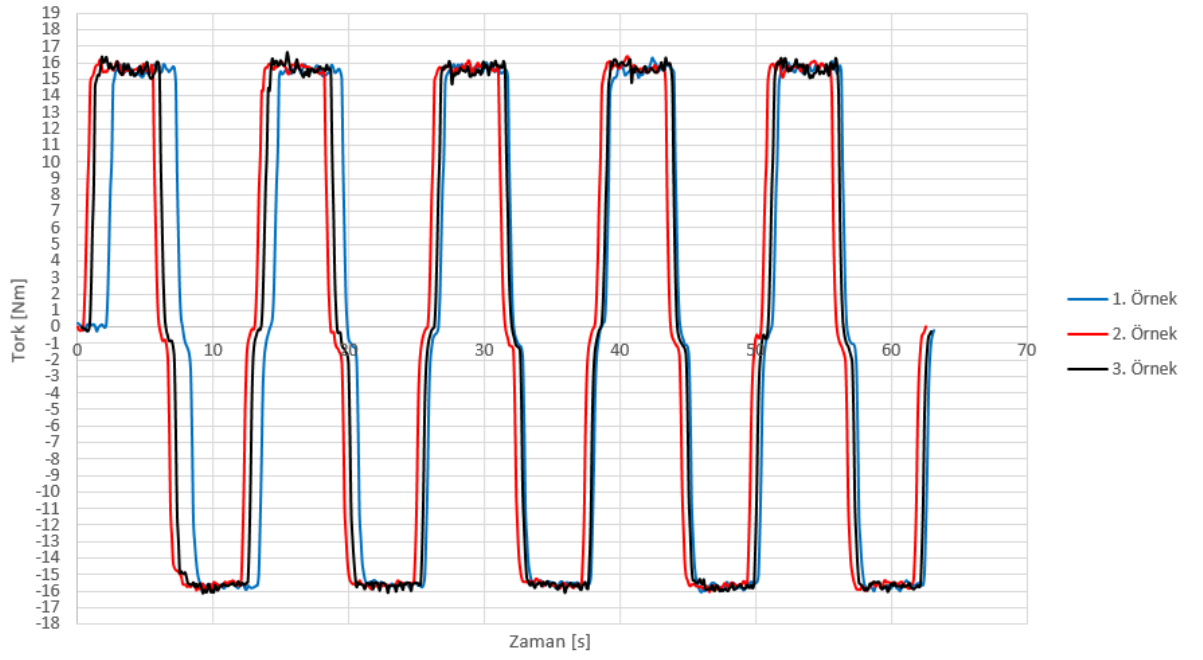
Şekil 3.37: 3 numaralı numune için test düzeneğinde ölçülen değerler

### 4. Numune Test Düzeneği Ölçümü



Şekil 3.38: 4 numaralı numune için test düzeneğinde ölçülen değerler

### 5. Numune Test Düzeneği Ölçümü



Şekil 3.39: 5 numaralı numune için test düzeneğinde ölçülen değerler

#### 4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

Bu bölümde oluşturulan test düzeneğinde gerçekleştirilen burulma testi sonuçlarının kendi içinde değerlendirmesi yapılmıştır. Test düzeneği ile elde edilen sonuçlar teorik, SEA ve tork-açı sensörü yöntemleri ile elde edilen burulma katsayıları ile karşılaştırılarak bulgular değerlendirilmiştir.

##### 4.1. Test Düzeneğinden Elde Edilen Sonuçlar

Oluşturulan burulma test düzeneğinde gerçekleştirilen ölçümlerde sağ yönde ve sol yönde burulmalar için ortalama tork değerlerinde ufak farklar gözlemlenmiştir. Tekrarlar arası hesaplanan ortalama tork değerlerinde ve numuneler için hesaplanan ortalama tork değerlerinde de ufak sapmalar oluşmuştur. Gerçekleştirilen ölçümlerde tekrar bazında hesaplanan ortalama değerler ile sağ ve sola çevirme arasında ölçülen farklılıklar Çizelge 4.1'de görülmektedir. Numunelerin 3 farklı örnekleri için sağ ve sol burulmalarda 5 farklı tekrar için hesaplanan standart sapmalar Çizelge 4.2'de verilmiştir. Standart sapmalar aşağıdaki formül kullanılarak hesaplanmıştır.

$$S_{0,0} = \sqrt{\frac{\sum (k_i - k_{ort})^2}{n - 1}} \quad (4.1)$$

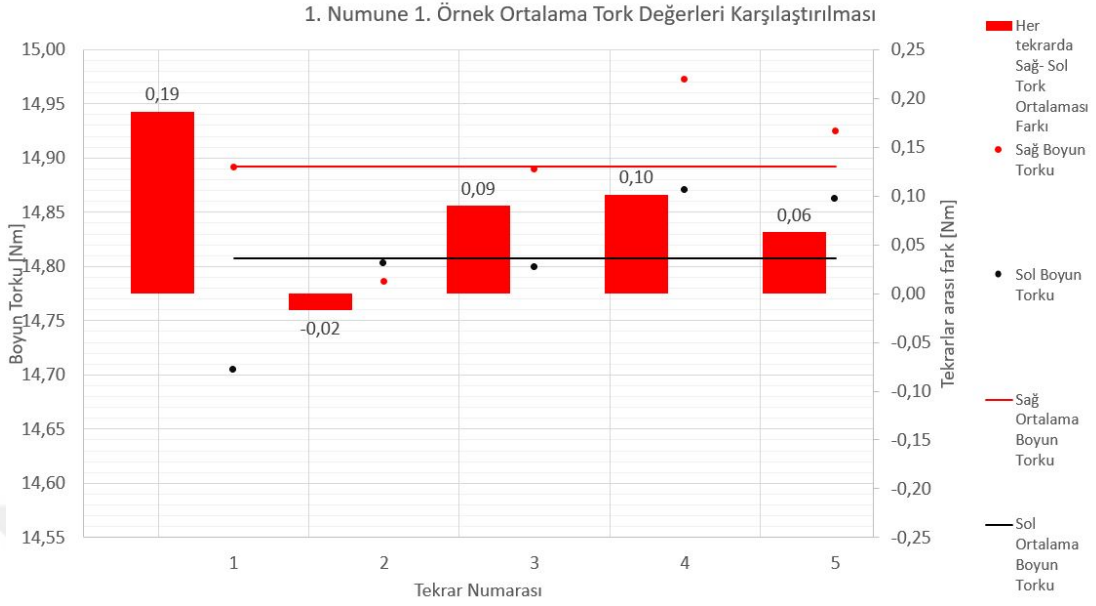
Burada  $k_i$ , [Nm/°], her tekrarda hesaplanan burulma katsayısı,  $k_{ort}$ , [Nm/°] ise numune örneği için hesaplanan ortalama burulma katsayısıdır. Şekil 4.1,4.2,4.3 'te 1 numaralı numunenin 3 örneği için tekrarlar ve sağ-sol tarafa burulma arasındaki farklar ve ortalama tork değerleri grafik olarak verilmiştir. Şekil 4.5-4.15'te de diğer numuneler için elde edilen değerler grafik olarak verilmiştir.

Çizelge 4.1. Tüm numuneler için test tezgahından alınan sonuçlar

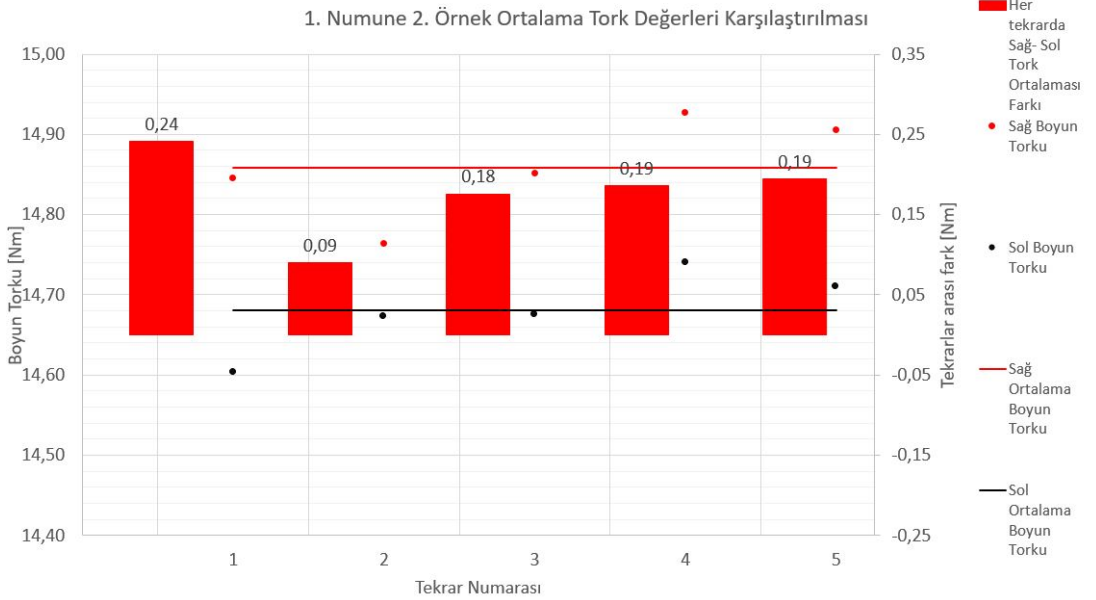
Numune Numarası	Ömek Tekrar	1		2		3		3 Ömek için Ortalama Boyun Torqu	3 Ömek için Ortalama Burulma Katsayısı						
		Sağ boyun torqu[Nm]	Sol boyun torqu[Nm]	Sağ burulma katsayısı [Nm/°]	Sol burulma katsayısı [Nm/°]	Sağ boyun torqu[Nm]	Sol boyun torqu[Nm]			Sağ burulma katsayısı [Nm/°]	Sol burulma katsayısı [Nm/°]				
1	1.Tekrar	14,89	14,70	2,13	2,10	14,84	14,60	2,12	2,09	15,00	14,85	2,14	2,12	14,85	2,12
	2.Tekrar	14,79	14,80	2,11	2,11	14,76	14,67	2,11	2,10	14,89	14,76	2,13	2,11		
	3.Tekrar	14,89	14,80	2,13	2,11	14,85	14,68	2,12	2,10	14,95	14,82	2,14	2,12		
	4.Tekrar	14,97	14,87	2,14	2,12	14,93	14,74	2,13	2,11	15,04	14,91	2,15	2,13		
	5.Tekrar	14,92	14,86	2,13	2,12	14,91	14,71	2,13	2,10	15,04	14,91	2,15	2,13		
	Tekrarların Ortalaması	14,89	14,81	2,13	2,12	14,86	14,68	2,12	2,10	14,98	14,85	2,14	2,12		
	Sağ Sol Ortalama	14,85		2,12		14,77		2,11		14,92		2,13			
2	1.Tekrar	12,29	12,38	1,76	1,77	12,50	12,50	1,79	1,79	12,42	12,51	1,77	1,79	12,48	1,78
	2.Tekrar	12,40	12,43	1,77	1,78	12,57	12,55	1,80	1,79	12,53	12,56	1,79	1,79		
	3.Tekrar	12,47	12,49	1,78	1,78	12,57	12,62	1,80	1,80	12,48	12,54	1,78	1,79		
	4.Tekrar	12,33	12,41	1,76	1,77	12,44	12,64	1,78	1,81	12,46	12,55	1,78	1,79		
	5.Tekrar	12,32	12,41	1,76	1,77	12,50	12,55	1,79	1,79	12,45	12,54	1,78	1,79		
	Tekrarların Ortalaması	12,36	12,43	1,77	1,78	12,52	12,57	1,79	1,80	12,47	12,54	1,78	1,79		
	Sağ Sol Ortalama	12,39		1,77		12,54		1,79		12,50		1,79			
3	1.Tekrar	15,08	15,17	2,15	2,17	15,35	15,07	2,19	2,15	15,05	15,14	2,15	2,16	15,16	2,17
	2.Tekrar	15,12	15,23	2,16	2,18	15,37	15,13	2,20	2,16	15,09	15,20	2,16	2,17		
	3.Tekrar	15,08	15,16	2,15	2,17	15,35	15,08	2,19	2,15	15,05	15,13	2,15	2,16		
	4.Tekrar	15,09	15,17	2,16	2,17	15,34	15,09	2,19	2,16	15,06	15,14	2,15	2,16		
	5.Tekrar	15,14	15,23	2,16	2,18	15,40	15,11	2,20	2,16	15,11	15,20	2,16	2,17		
	Tekrarların Ortalaması	15,10	15,19	2,16	2,17	15,36	15,10	2,19	2,16	15,07	15,16	2,15	2,17		
	Sağ Sol Ortalama	15,15		2,16		15,23		2,18		15,12		2,16			
4	1.Tekrar	11,19	11,13	1,60	1,59	11,16	11,08	1,59	1,58	11,19	11,06	1,60	1,58	11,13	1,59
	2.Tekrar	11,26	11,19	1,61	1,60	11,18	11,08	1,60	1,58	11,11	11,08	1,59	1,58		
	3.Tekrar	11,27	11,20	1,61	1,60	11,27	11,06	1,61	1,58	11,04	10,97	1,58	1,57		
	4.Tekrar	11,28	11,09	1,61	1,58	11,28	11,05	1,61	1,58	11,11	10,97	1,59	1,57		
	5.Tekrar	11,21	11,18	1,60	1,60	11,21	10,95	1,60	1,56	11,01	10,90	1,57	1,56		
	Tekrarların Ortalaması	11,24	11,16	1,61	1,59	11,22	11,04	1,60	1,58	11,09	11,00	1,58	1,57		
	Sağ Sol Ortalama	11,20		1,60		11,13		1,59		11,04		1,58			
5	1.Tekrar	15,49	15,61	2,21	2,23	15,63	15,53	2,23	2,22	15,65	15,59	2,24	2,23	15,63	2,23
	2.Tekrar	15,52	15,58	2,22	2,23	15,73	15,58	2,25	2,23	15,75	15,60	2,25	2,23		
	3.Tekrar	15,57	15,55	2,22	2,22	15,69	15,54	2,24	2,22	15,62	15,61	2,23	2,23		
	4.Tekrar	15,54	15,67	2,22	2,24	15,76	15,65	2,25	2,24	15,76	15,71	2,25	2,24		
	5.Tekrar	15,63	15,66	2,23	2,24	15,74	15,62	2,25	2,23	15,72	15,66	2,25	2,24		
	Tekrarların Ortalaması	15,55	15,61	2,22	2,23	15,71	15,58	2,24	2,23	15,70	15,63	2,24	2,23		
	Sağ Sol Ortalama	15,58		2,23		15,65		2,24		15,67		2,24			

Çizelge 4.2. Ortalama değerler için hesaplanan standart sapmalar

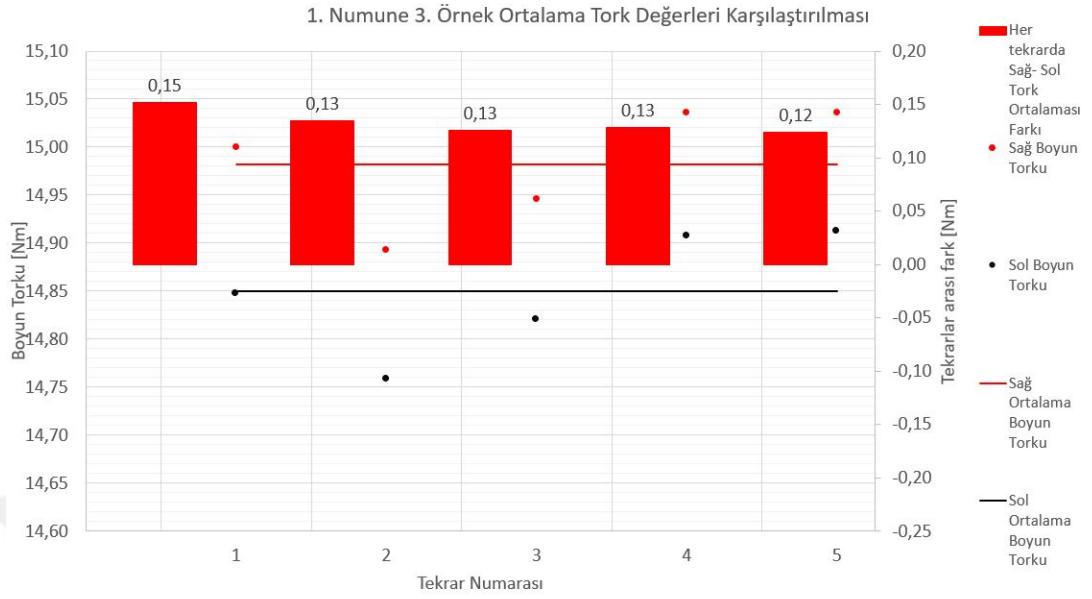
Numune numarası	1		2		3	
	Sağ	Sol	Sağ	Sol	Sağ	Sol
1	0,07	0,07	0,07	0,05	0,06	0,06
2	0,07	0,04	0,05	0,06	0,04	0,02
3	0,03	0,04	0,02	0,02	0,03	0,04
4	0,04	0,05	0,05	0,06	0,07	0,07
5	0,05	0,05	0,05	0,05	0,06	0,05



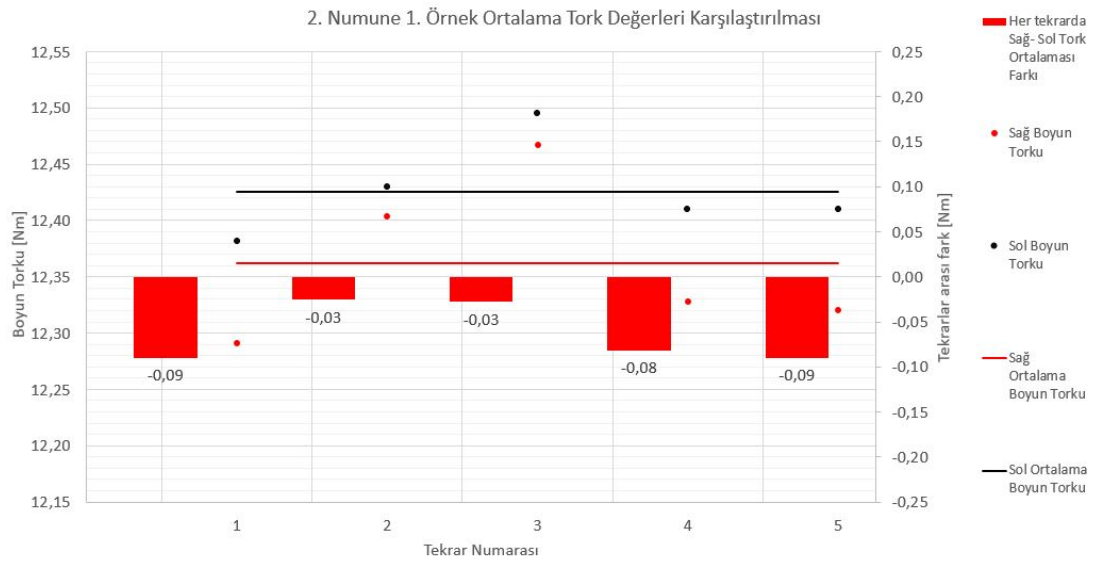
Şekil 4.1. 1. numune 1. örnek ortalama tork değerleri karşılaştırması



Şekil 4.2. 1. numune 2. örnek ortalama tork değerleri karşılaştırması

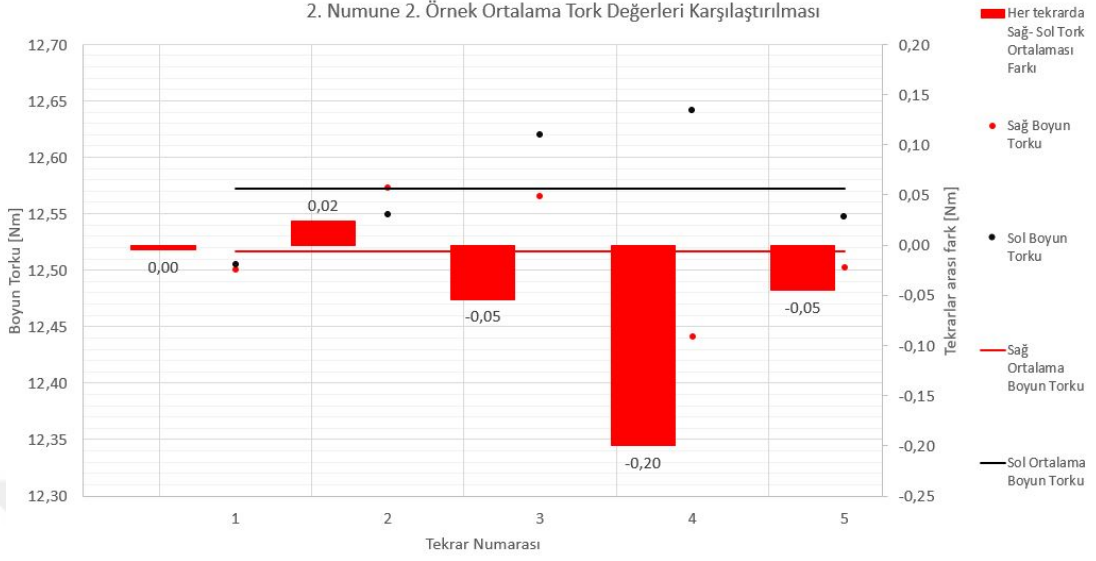


Şekil 4.3. 1. numune 3. örnek ortalama tork değerleri karşılaştırması

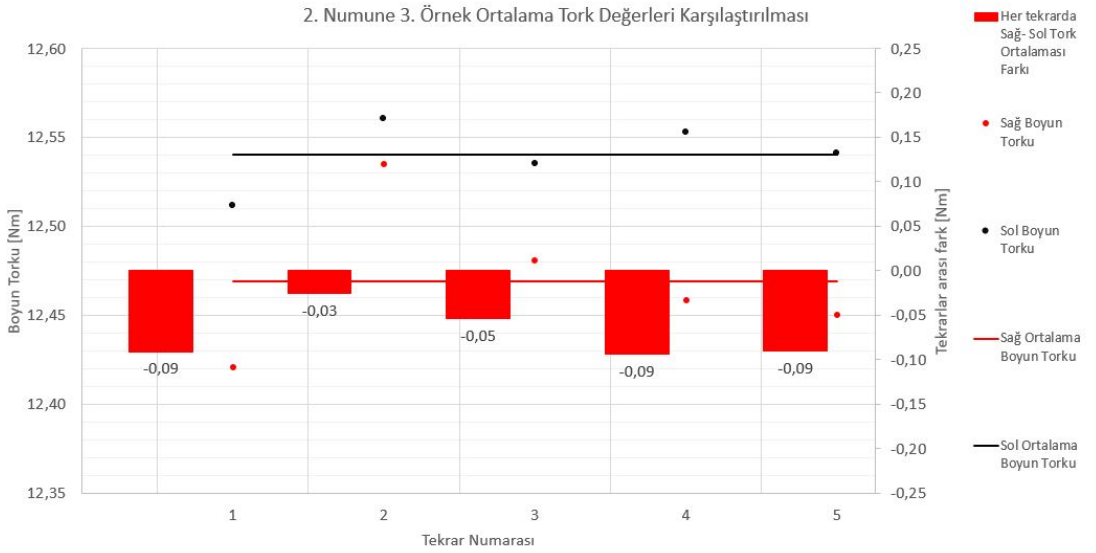


Şekil 4.4. 2. numune 1. örnek ortalama tork değerleri karşılaştırması

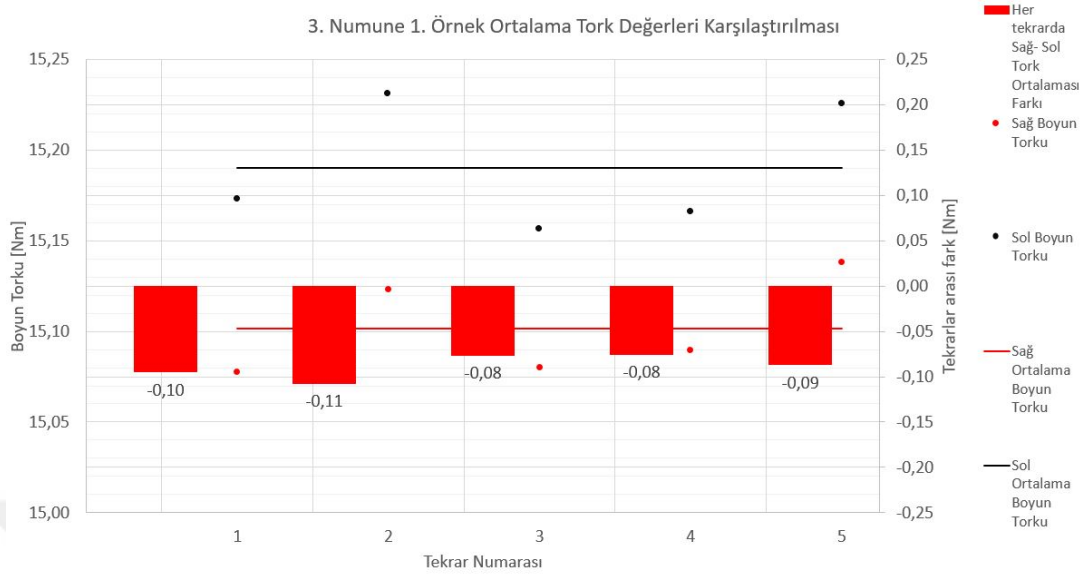




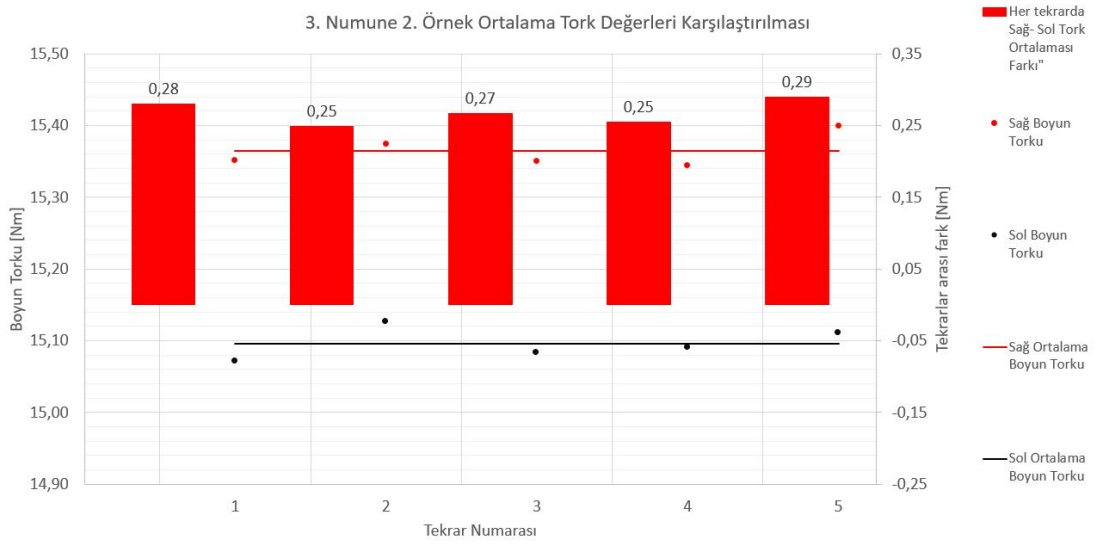
Şekil 4.5. 2. numune 2. örnek ortalama tork değerleri karşılaştırması



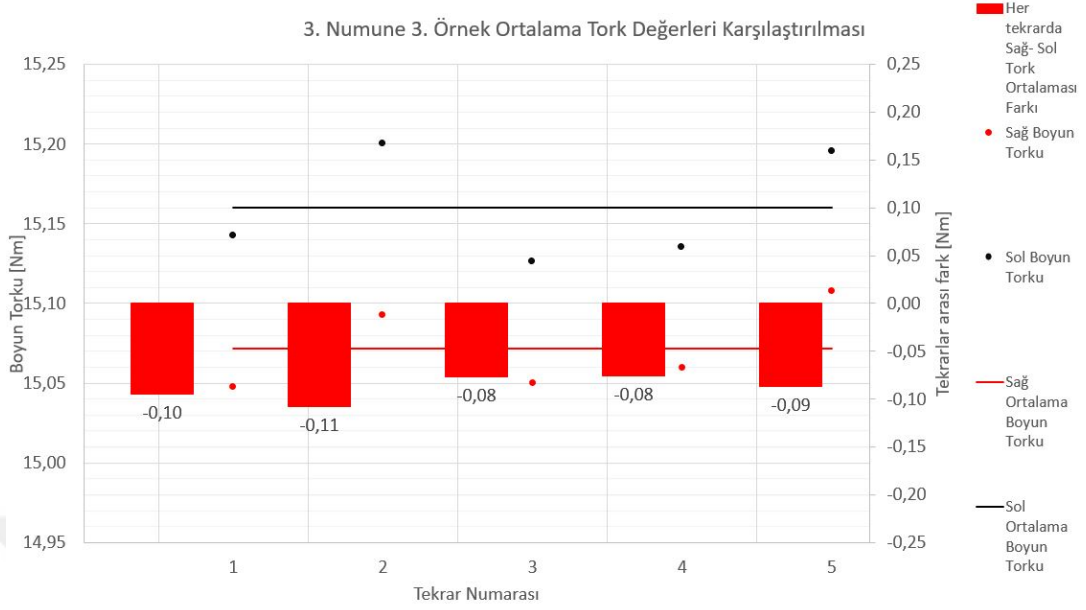
Şekil 4.6. 2. numune 3. örnek ortalama tork değerleri karşılaştırması



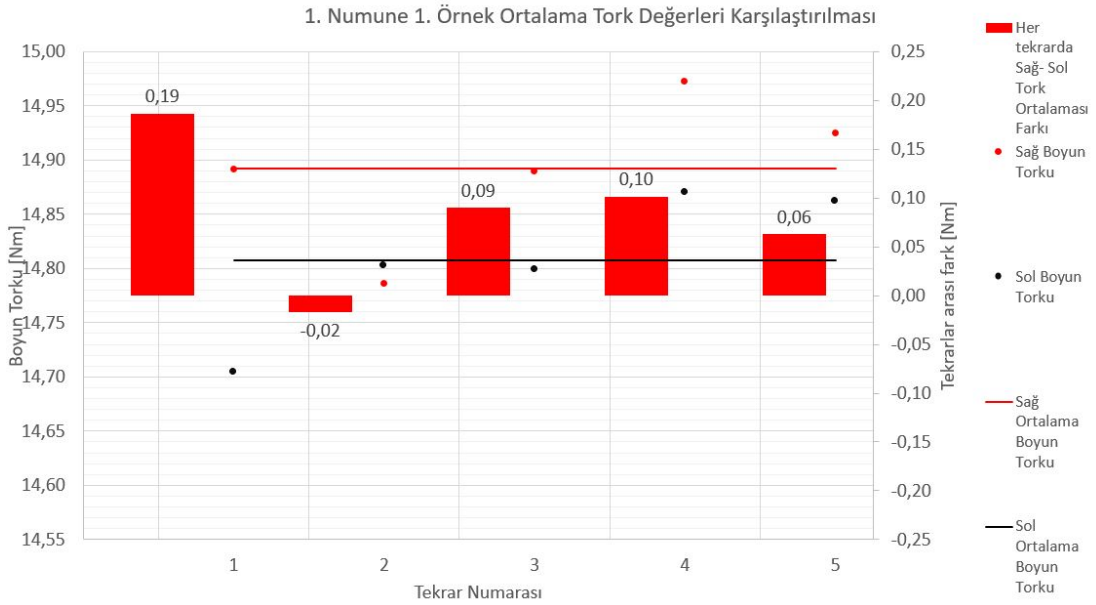
Şekil 4.7. 3. numune 1. örnek ortalama tork değerleri karşılaştırması



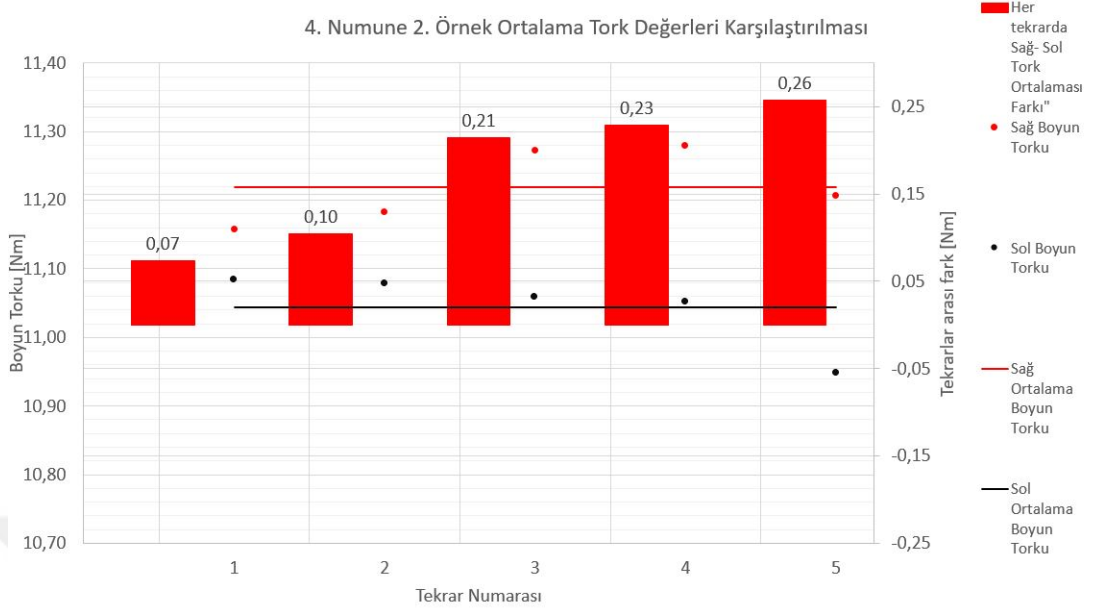
Şekil 4.8. 3. numune 2. örnek ortalama tork değerleri karşılaştırması



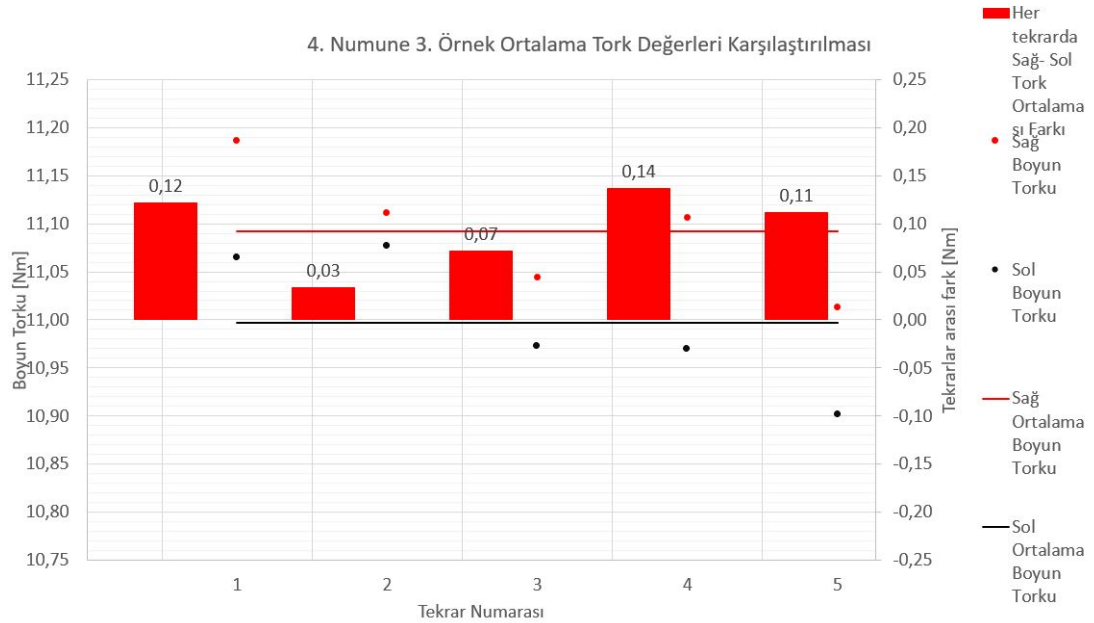
Şekil 4.9. 3. numune 3. örnek ortalama tork değerleri karşılaştırması



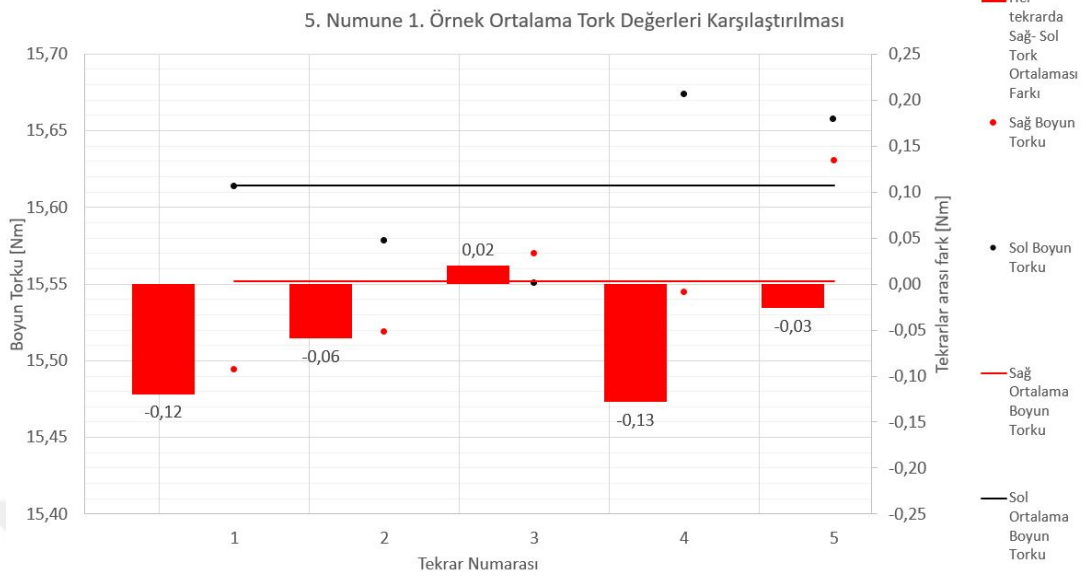
Şekil 4.10. 4. numune 1. örnek ortalama tork değerleri karşılaştırması



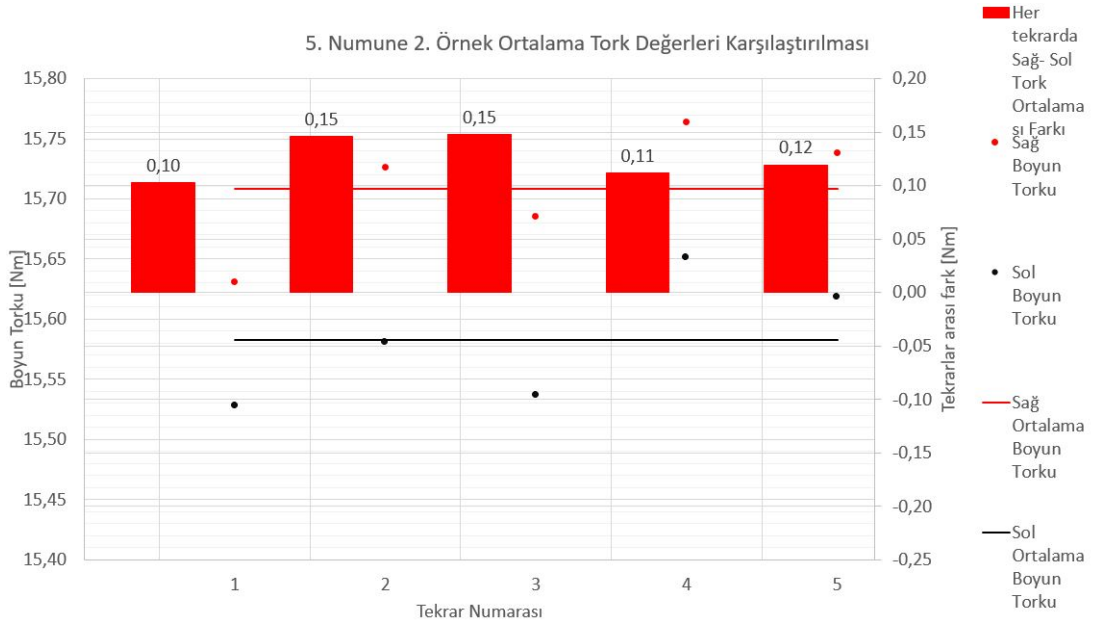
Şekil 4.11. 4. numune 2. örnek ortalama tork değerleri karşılaştırması



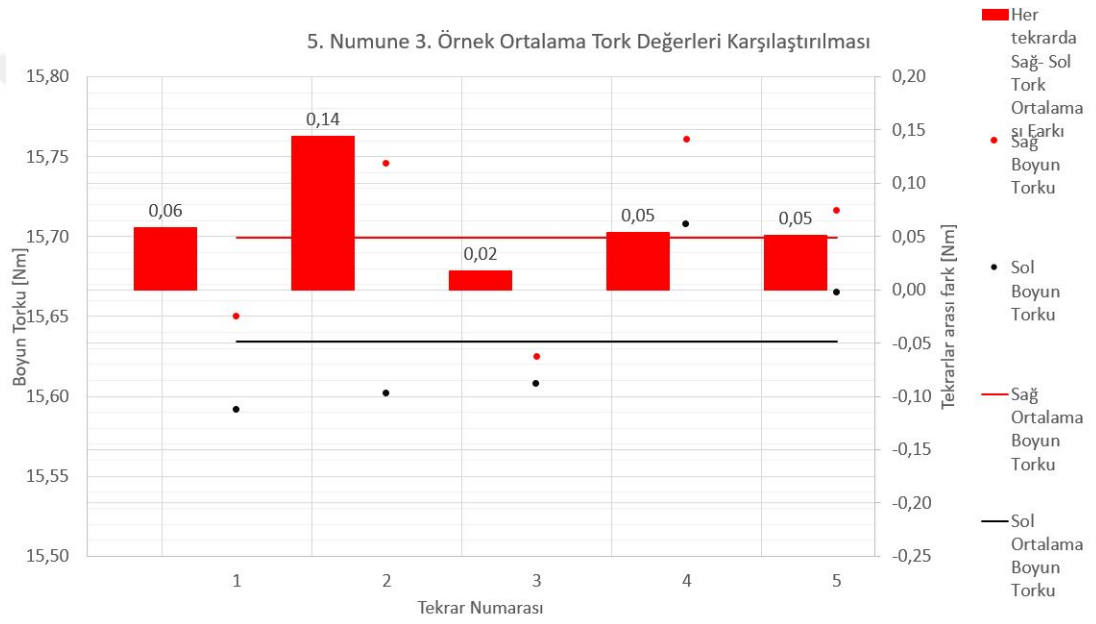
Şekil 4.12. 4. numune 3. örnek ortalama tork değerleri karşılaştırması



Şekil 4.13. 5. numune 1. örnek ortalama tork değerleri karşılaştırması



Şekil 4.14. 5. numune 2. örnek ortalama tork değerleri karşılaştırması



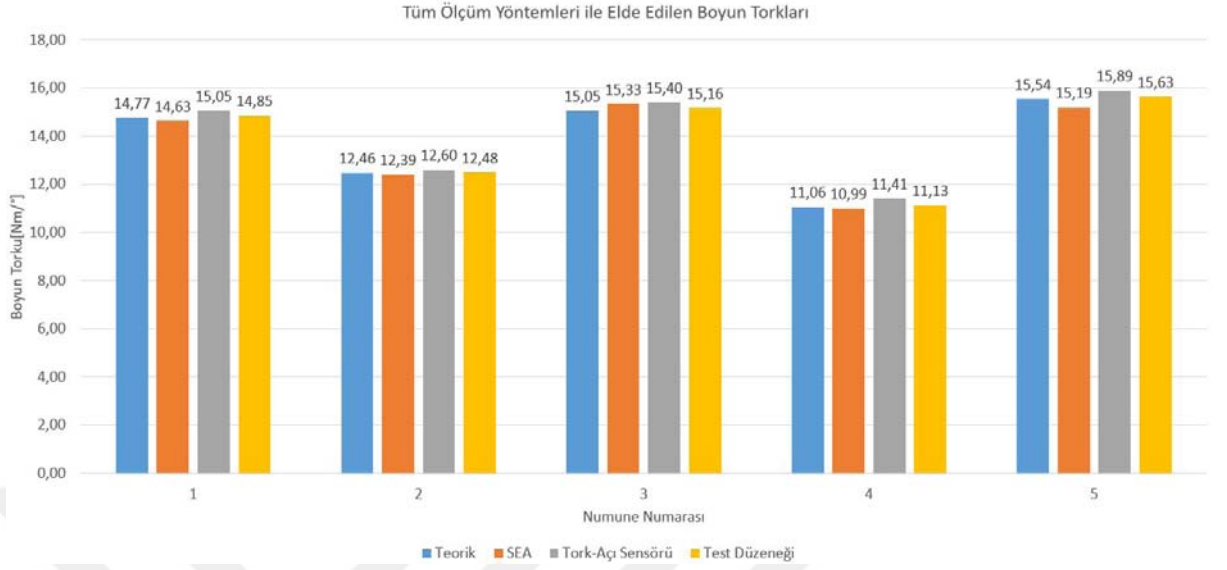
Şekil 4.15. 5. numune 3. örnek ortalama tork değerleri karşılaştırması

Çizelge 4.2’de görüldüğü üzere en yüksek standart sapma 4 numaralı numunenin 3. örneğinde sol tarafa burulmada % 7,33 olarak hesaplanmıştır. Numune 2’nin 1 numaralı örneğinde sağ tarafa burulmada %7,19 standart sapma hesaplanmıştır. Yapılan ölçüm ve hesaplamalar sonucunda standart sapmalar sağ/sol ve örnekler arasında %2-%7 bandında seyretmiştir. Şekil 4.1-4.15 arasındaki şekillerde her örnek için hesaplanan 5 tekrarın ortalama boyun torku için sağ ve sol arasındaki farklar sütun grafik olarak görülmektedir. Buna göre 5. tekrar için sağ-sol arasındaki ölçüm farkı 0,29 Nm ile 3 numaralı numunenin 2. örneğinde görülmüştür. Şekil 4.8 incelendiğinde 3 numaralı numunenin 2. örneğinde sağ ve sol boyun torku ortalamaları arasında yaklaşık 0,26 Nm kadar bir fark olduğu görülmektedir. Sağ sol ortalama arasındaki en yüksek fark bu örnekte gözlenmiştir. Genel olarak numunelerin ölçüm değerlerine bakıldığında değerler birbirlerine çok yakındır. Hesaplanan burulma katsayıları tekrarlar arasında ufak tefek farklılıklar gösterse de örnekler arasında birbirlerine oldukça yakın çıkmışlardır. Tüm örnekler için sağ ve sola burulmada elde edilen ortalama burulma katsayıları değerlendirildiğinde, test düzeneğinde +/-0,02 Nm/° hata payı ile burulma katsayısı elde edilebildiği değerlendirilmiştir.

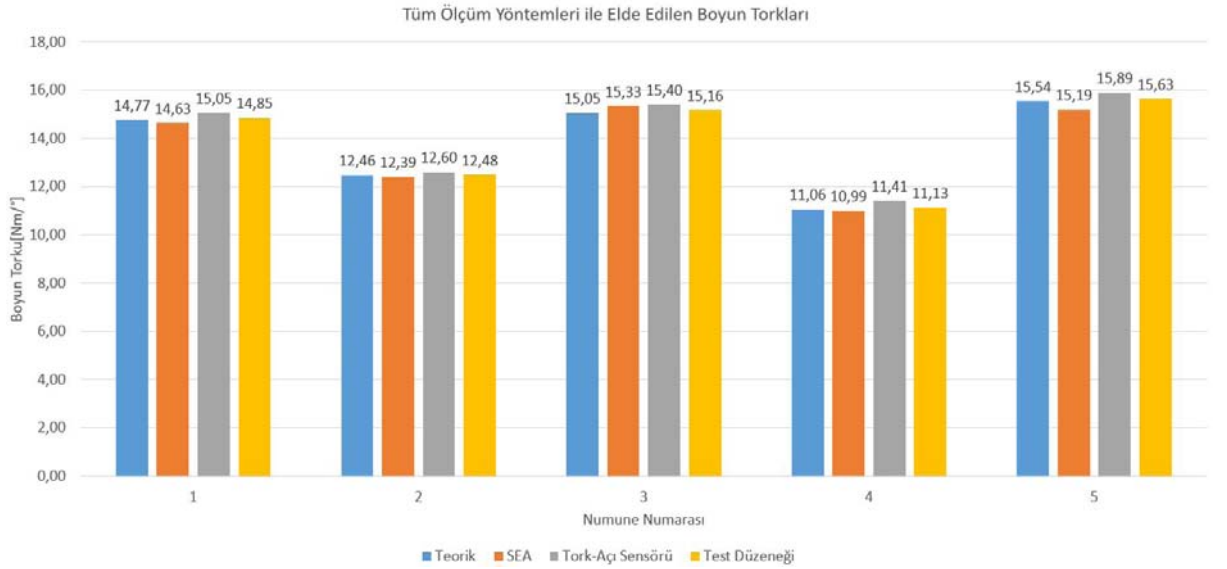
#### **4.2. Burulma katılığı hesaplanması için yöntemlerin karşılaştırılması**

Teorik, SEA, Tork-açı sensörü ve test düzeneğinden elde edilen burulma katsayıları ve boyun torkları Şekil 4.16 ve 4.17’de verilmiştir. Grafikler incelendiğinde ilk göze çarpan, tork-açı sensörü ile yapılan ölçümde diğer yöntemlere göre daha yüksek burulma katsayısı ve boyun torku hesaplanmış olmasıdır. SEA ile hesaplanan burulma katsayıları diğer numuneler için genel olarak daha düşük iken 3 numaralı numunede 0,04 daha yüksektir. Test düzeneği değerleri teorik değerlere daha yüksek ama çok yakın çıkmıştır. Test düzeneği ile teorik değerler arasındaki en yüksek fark yaklaşık 0,02 ölçülmüştür. Teorik değere göre göreceli farklar yaklaşık %1 civarındadır. Tork-açı sensörü ölçümleri ile deney düzeneği ile yapılan ölçümler arasındaki farklar 0,02-0,04 bandındadır. Göreceli fark ise en fazla %2 olarak hesaplanmıştır. Test düzeneği ile yapılan ölçümlerde hesaplanan burulma katsayıları ve boyun torkları iki deneysel yöntemin karşılaştırılması olarak değerlendirildiğinde tork-açı sensörü kullanılarak elde edilen değerlere göre daha düşük çıkmıştır. Tüm yöntemler ile elde edilen boyun

torkları karşılaştırıldığında ölçülen en yüksek fark 5 numaralı numunede SEA ile tork-açı sensörü arasında yaklaşık 0,7 Nm olarak hesaplanmıştır.



Şekil 4.16. Tüm Ölçüm Yöntemleri ile Elde Edilen Burulma Katsayıları



Şekil 4.17. Tüm Ölçüm Yöntemleri ile Elde Edilen Boyun Torkları



## 5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında burulma testleri gerçekleştirilmek üzere, mevcut olan ve hidrolik direksiyonların ömür testlerinin gerçekleştirilmesinde kullanılan bir test tezgahının gövdesi kullanılarak iki farklı burulma test düzeneği oluşturulmuştur. Oluşturulan test düzeneklerinin çalışma performanslarının değerlendirilmesi için hidrolik direksiyonlarda kullanılan burulma milleri numune olarak kullanılmıştır. Tork-açı sensörü kullanılan ilk düzenekte 5 farklı geometrik ölçüdeki numunelerden birer tane kullanılarak ölçümler alınmıştır. Servomotor ve tork sensörü kullanılan ikinci düzenekte farklı geometrik ölçülere sahip 5 adet burulma mili numunesinin her birinden 3'er adet seçilerek testler gerçekleştirilmiştir.

Servomotor ve tork sensörü kullanılan ikinci test düzeneğinde gerçekleştirilen burulma deneyinden elde edilen burulma katsayıları ve boyun torkları teorik, SEA ve tork-açı sensörü ölçümü kullanılan düzenek olmak üzere 3 farklı yöntemden elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılmıştır. Servomotor ve tork sensörü kullanılan test düzeneği ile elde edilen tork ve burulma katsayısı değerlerinin teorik ve SEA ile hesaplanan değerlere yakın olduğu görülmüştür.

Oluşturulmuş olan burulma 2 numaralı test düzeneğinde yapılan testlerin bulguları incelendiğinde, numunelerin örnekleri arasındaki ölçüm sonuçları nispeten düşük farklılıklar göstermektedir. Geometrik özellik olarak özdeş olan numuneler arasında yapılan ölçümler arasında burulma katsayıları arasında +/- 0,02 kadar bir fark görülmüştür. Farklı özdeş numuneler arasındaki farkın bu kadar düşük olması düzeneğin başarıya ulaşmış olması olarak değerlendirilmiştir.

Sonlu Elemanlar Analizi sonucunda matematiksel modele çok yakın sonuçlar elde edilmiştir. Matematiksel modelin uygulanmasının zor olacağı daha karmaşık burulma formları için SEA yönteminin hızlı ve gerçeğe yakın sonuçlar alınması için başarılı olacağı söylenebilir.

Tork-açı sensörü kullanılan ölçüm yönteminde millerin çevrilmesi için kol gücünden faydalanılması nedeniyle ölçüm sırasında toplanılan veriler insan hatasına daha açıktır. Bu yöntem ile elde edilen ölçüm sonuçlarının diğer yöntemlere göre yüksek değerler vermiş olmasının insan faktöründen kaynaklandığı düşünülmektedir.

Servomotor ve tork sensörü kullanılan test düzeneğinde gerçekleştirilen deneyde elde edilen burulma katsayıları teorik ve SEA yöntemlerine yakın sonuçlar vermiştir. Burulma milinin geometrik ölçülerinin bilinmediği bir durumda, hidrolik direksiyonun giriş mili, sonsuz vidalı mil ve burulma mili kompleksinin burulma katsayısının yaklaşık %2'lik bir hata payı ile tespit edilebilmesi için kullanılabilceği düşünülmektedir.

Test düzeneğinde kullanılan servomotor 480 Nm kapasiteye sahiptir ve daha yüksek tork değerlerinde çalışmak için uygundur. Bu tezde kullanılan numuneler otomotivde pratikte  $\pm 7^\circ$  aralığında burulmaya maruz kaldıklarından dolayı tez çalışması yürütülürken bu sınırlarda çalışılmıştır. İleriki çalışmalarda test düzeneğinin uç sınırlarındaki çıkış torku değerlerinde çalışılarak oluşturulan düzeneğin kapasitesinin malzemelerin burulmaya bağlı mekanik özelliklerinin tespitinde kullanılması düşünülmektedir.

Kullanılan tork sensörünün ölçüm kapasitesi  $\pm 226$  Nm aralığındadır. Servomotor ve redüktör çıkışından elde edilebilecek maksimum tork yaklaşık 480 Nm civarındadır. Düzenek oluşturulduğu sırada mevcut olan komponentlerden faydalandığı için ve yapılan çalışmada ulaşılabilecek tork değerleri nispeten düşük olduğu için kullanılmış olan tork sensörü servomotorun yüksek tork değerlerinde çalışması durumunda ölçüm yapamayacaktır. Düzeneğin mevcut haliyle tork aralığı 226 Nm ile sınırlıdır. İleriki çalışmalarda test düzeneğinde kullanılan tork sensörünün kapasitesinin redüktörün çıkışında elde edilebilen tork değerlerini okuyabilecek şekilde artırılabilir.

Test düzeneğinde bir açı sensörü olmadığından dolayı servomotorun zaman içerisindeki anlık açısı okunamamaktadır. Bu nedenle servomotora bir açı değeri aralığı girilerek bu aralıkta çalışması sağlanarak uç konumlardaki açılar okunmuştur. İleriki çalışmalarda oluşturulan test düzeneğine bir açı sensörü de eklenerek düzenek tork-açı grafiği elde edilecek şekilde geliştirilebilmeye açıktır.

Yapılan çalışma sonucunda iki farklı deneysel yöntem arasından servomotor ve tork sensörü kullanılarak yapılan ölçüm tork-açı sensörü ve direksiyon simidi kullanılarak yapılan ölçüme göre teorik ve SEA hesaplamalarına daha yakın sonuçlar vermiştir. Bu nedenle 2 numaralı test düzeneğinin 1 numaralı test düzeneğine göre daha yüksek başarıya ulaştığı düşünülmektedir.

## KAYNAKLAR

- Akdeniz, Ç., Yalçın, E., & Bilal, H. (2016). Bir binek araç sonlu elemanlar modelinin burulma modu optimizasyonu.
- Akın, S. (2019). *Endüstriyel alanlarda kullanılan kardan şaftların statik yorulma testleri için hidrolik test düzeneği tasarımı (yüksek lisans tezi)*. T.C. Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi.
- Baranoğlu, G. (2012). *Influence of static torsion on the mechanical properties of heavily drawn steel wires*. İstanbul, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Technical University Graduate School of Science Engineering; Technology.
- Becan, K. R., Kuzucu, A., & Kutlu, K. (1998). Hidrolik konum kontrol sistemlerinin gerçeğe yakın benzetimi. *Turkish Journal of Engineering and Environmental Sciences*, 22(2), 125–130.
- Bhaduri, A. (2018). Torsion—pure shear. *Mechanical properties and working of metals and alloys* (pp. 197–225). Springer.
- Bressan, J., & Unfer, R. (2006). Construction and validation tests of a torsion test machine. *Journal Of Materials Processing Technology*, 179(1-3), 23–29.
- Budzynski, T. J., & Parker, R. J. (1966). *Heavy truck steering system analysis* (tech. rep.). SAE Technical Paper.
- Data, S., Pesce, M., & Reccia, L. (2004). Identification of steering system parameters by experimental measurements processing. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D: Journal of Automobile Engineering*, 218(8), 783–792.
- Engin, E., & Okay, F. (2009). elik lif katkılı betonarma kirişlerde boyuna donatı değişiminin burulma kapasitesine etkisi. *Xvi. ulusal mekanik kongresi*. Serkan Engin.
- Erdoğan, U. (2017). *Ağır ticari araçlarda direksiyon eforuna etki eden faktörlerin incelenmesi (yüksek lisans tezi)*. Yıldız Teknik Üniversitesi.
- Gireesh, B., B, S., S., & Satwik, V. (2013). Finite element experimental investigation of composite torsion shaft. *International Journal Of Engineering Research And Applications*, 3(2), 1–8.
- Işık, E., & Özses, Ç. (2015). Sürtünme kaynağı ile birleştirilmiş ince cidarlı çelik yapıların statik ve değişken burulma yükleri altındaki davranışı (K. K. I. U. K. ve Sergisi Bildiriler Kitabı, Ed.), 459–470.
- Lillberg, H., & Johannesson, M. (2018). Investigation of steering feedback control strategies for steer-by-wire concept.

- Mossakovsky, P., Antonov, F., & Kostyрева, L. (2011). Investigation of failure criterion in dynamic torsion tests with solid cylindrical specimens. *8th European LS-DYNA Users Conference*.
- Mutasher, S. (2009). Prediction of the torsional strength of the hybrid aluminum/composite drive shaft. *Materials Design*, 30(2), 215–220.
- Patil, S., Chavan, P., & Kavade, P. (2012). Investigation of composite torsion shaft for torsional buckling analysis using finite element analysis. *IOSR Journal Of Mechanical And Civil Engineering*, 4(3), 26–31.
- Shine, A. (2006). *1 fitting experimental data to straight lines including error* [online] studylib.net. <<https://studylib.net/doc/8108790/1-fitting-experimental-data-to-straight-lines-including-...>> Erişim Tarihi 28 Nisan 2021.].
- Stanzl-Tschegg, S., Mayer, H., & Tschegg, E. (1993). High frequency method for torsion fatigue testing. *Ultrasonics*, 31(4), 275–280.
- Wu, H., Xu, Z., & Wang, P. (1997). Torsion test of aluminum in the large strain range. *International Journal Of Plasticity*, 13(10), 873–892.
- Xia, L., & Jiang, H. (2016). An electronically controlled hydraulic power steering system for heavy vehicles. *Advances in Mechanical Engineering*, 8(11), 1687814016679566.
- Yaylı, M. (2018). Elastik sınır koşullarında fonksiyonel derecelendirilmiş bir çubuğun burulma titreşimi analizi. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 22(Özel), 98.
- Yıldızlı, K. *Burulma deneyi föyü*. it. Samsun, 2012, 1.
- Yu, X., Guo, Y., Zhao, Y., & Li, Z. (2015). Dynamics analysis and simulation of steering screw on automobile recirculating ball type steering gear. *Metallurgical and Mining Industry*, 7(10).