



MOTOR PERFORMANS TESTLERİNDE KULLANILAN HİDROLİK

DİNAMOMETRE TASARIMI VE İMALATI

MUHTEREM ZEKERİYA GÜNGÖR

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MEKATRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DR. ÖĞR. ÜYESİ MİTHAT ŞİMŞEK

Ocak- 2022

Her hakkı saklıdır

T.C.
TOKAT GAZİOSMANPAŞA ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
MEKATRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**MOTOR PERFORMANS TESTLERİNDE KULLANILAN HİDROLİK
DİNAMOMETRE TASARIMI VE İMALATI**

MUHTEREM ZEKERİYA GÜNGÖR

TOKAT
Ocak- 2022

Her hakkı saklıdır

ETİK SÖZLEŞME

Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü tez yazım kılavuzuna göre, Dr. Öğr. Üyesi Mithat ŞİMŞEK danışmanlığında hazırlamış olduğum “Motor Performans Testlerinde Kullanılan Hidrolik Dinamometre Tasarımı ve İmalatı” adlı Yüksek Lisans tezinin bilimsel etik değerlere ve kurallara uygun, özgün bir çalışma olduğunu, aksinin tespit edilmesi halinde her türlü yasal yaptırımını kabul edeceğimi beyan ederim.

27/01/2022

Muhterem Zekeriya GÜNGÖR

.....



JÜRİ KABUL ve ONAY

Muhterem Zekeriya GÜNGÖR tarafından hazırlanan “**Motor Performans Testlerinde Kullanılan Hidrolik Dinamometre Tasarımı ve İmalatı**” adlı tez çalışmasının savunma sınavı 27 OCAK 2022 tarihinde yapılmış olup aşağıda verilen Jüri tarafından Oy Birliği / Oy Çokluğu ile Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü **MEKATRONİK** Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri (Unvanı, Adı Soyadı)

İmzası

Üye (Başkan): Doç.Dr. Ceyhun KÖSE

.....

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Mithat ŞİMŞEK

.....

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Yusuf BAŞOĞUL

.....

ONAY

...../...../.....

Prof. Dr. Mehmet GÜNEŞ
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

ÖNSÖZ

Yapmış olduğum tez çalışması sürecinde bilgi ve tecrübelerinden faydalandığım ve her konuda yardımcı olan danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Mithat Şimşek'e teşekkürlerimi bir borç bilirim. Doç. Dr. Ceyhun Köse hocama ve hidrolik dinamometrenin çiziminde yardımcı olan Makina Mühendisi Şükrü Doğruer arkadaşıma, imalatını yapan Berke Makina Ahmet Yücel beye, deney sehpası yapımında Murat Aykaç ustaya, montaj aşamasında yardımcı olan Özdemir Torna ve akrabalarım Yasin Güngör ile Özkan Karaca'ya, deney aşamasında yardımcı olan Dr. Öğr. Üyesi Ebubekir Yaşar hocama, öğrenci arkadaşımız Mekatronik Mühendisi Hamza Diyar'a, gerekli izinlerinden dolayı işverenim Ertuğrul Çetin beye ve Makine mühendisi arkadaşım Adem Aydoğdu'ya teşekkür ederim. Ayrıca hayatımın her döneminde desteklerini hiçbir zaman eksik etmeyen anne babama ve özellikle eşim Kübra'ya oğlum Aytun' a teşekkür ederim.

Muhterem Zekeriya GÜNGÖR

27 Ocak 2022

ÖZET
MOTOR PERFORMANS TESTLERİNDE KULLANILAN HİDROLİK
DİNAMOMETRE TASARIMI VE İMALATI

Muhterem Zekeriya, Güngör
Yüksek Lisans, Eğitim Programları ve Öğretim Bilim Dalı
Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Mithat Şimşek
Ocak, 2022 xii + 68 sayfa

Geçmişten bugüne, günümüz dünyasından gelecek nesillere kadar sürekli deveran eden bilgi aktarımı insan ömrünün yetemeyeceği devasa endüstriyel işlemler, ulaşım, teknolojik gelişmelerin daha kısa sürelerde yapılmasına sebep olmuştur. Bu gelişmelerde motor gücü en büyük rolü oynamaktadır. Motor; endüstriyel üretim fabrikalarından, inşaat, ev, bahçe, ofis ve benzeri iş ve yaşam alanlarında hemen hemen her yerde direk ya da dolaylı olarak kullanılmaktadır. Kullanım alanlarının geniş olması; kullanılacak motorun hacimsel ve performans olarak güç gereksiniminin belirlenmesini üretim ve yenilenmesi aşamasında zorunlu kılmaktadır. Motor testleri ile elde edilen deneysel parametreler daha modern daha ekonomik daha uzun ömürlü motorların üretilmesine katkı sağlamaktadır. Bu çalışmada motor gücü ölçümünde hidrolik dinamometre tasarlanmış ve imalatı gerçekleştirilmiştir. Deneysel çalışmalarda 6.5 beygirlik bir motorun gücünü sönmüleyebilen sulu frenli ekonomik bir hidrolik dinamometre tasarımı ve imalatı yapılmıştır. Bu dinamometrenin deneysel verileriyle en fazla kaç beygirlik motor gücünü sönmüleyebileceği bilgisine ulaşılması amaçlanmaktadır. İmalatı yapılan hidrolik dinamometre ile tork, güç, özgül yakıt tüketimi, sıcaklık ve devir verilerine, bilgisayar ortamında Ardiuno Uno mikrodenetleyici kartı kullanılarak aynı anda ulaşmamızı sağlayacak bir deney düzeneği oluşturulmuştur. Bu deney düzeneğinde kullanılan sulu frenli hidrolik dinamometre, motorların üretim ve revize işlemlerinde, eğitim amaçlı laboratuvarlarda ve motor performans değerlerinin belirlenmesi için kullanımı amaçlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Motor Gücü Ölçümü, Motor Performansı, Motor Gücü Ölçüm Dinamometreleri, Hidrolik dinamometre, Su Frenli Dinamometre

ABSTRACT
HYDRAULIC DYNAMOMETER DESIGN AND MANUFACTURING USED IN
MOTOR PERFORMANCE TESTS

Muhterem Zekeriya, Güngör
Master's Thesis, Division of Curriculum, and Instruction
Advisor: Assit.Prof.Dr. Mithat Şimşek
January, 2022, xii+ 68 pages

The constant transfer of information from the past to the present, from the modern world to the next generations has led to the fact that huge industrial operations, transportation, technological developments that human life cannot afford have been carried out in shorter periods of time. Engine power plays the biggest role in these developments. The engine is used directly or indirectly almost everywhere from industrial production factories to construction, home, garden, office and similar work and living spaces. Wide usage areas: It makes it necessary to determine the power requirement in terms of volume and performance of the engine to be used during the production and renewal phases. The experimental parameters obtained by engine tests contribute to the production of more modern, more economical, longer-lasting engines. In experimental studies, the design and manufacture of an economical hydraulic dynamometer with water brakes capable of damping the power of a 6.5 horsepower engine was carried out. It is aimed to obtain information about how many horsepower engines can be damped with the experimental data of this dynamometer. Using the Ardiuno Uno microcontroller card in a computer environment, an experimental setup has been created that will allow us to simultaneously access the torque, power, specific fuel consumption, temperature and revulation speed data of the hydraulic dynamometer. The hydraulic dynamometer with a water brake used in this experimental setup is aimed for use in the production and revision processes of engines, in laboratories for educational purposes, and for determining engine performance values.

Keywords: Engine Power Measurement, Engine Performance, Engine Power Measurement Dynamometers, Hydraulic dynamometer, Water Brake Dynamometer

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ETİK SÖZLEŞME.....	i
JÜRİ KABUL ve ONAY	ii
ÖNSÖZ	iii
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
İÇİNDEKİLER	vi
ŞEKİL LİSTESİ.....	viii
ÇİZELGE LİSTESİ	x
SİMGELER ve KISALTMALAR	xi
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR ÖZETLERİ	9
3. MATERYAL ve YÖNTEM.....	14
3.1. Deney motorunun teknik özellikleri	14
3.2. Hidrolik dinamometre.....	15
3.2.1. Hidrolik dinamometre rotor ve stator tasarımı	16
3.2.2. Mil tasarımı.....	28
3.2.3. Salmastra kutusu tasarımı	28
3.2.4. Hidrolik dinamometre 3D Solidworks tasarım çizimi.....	29
3.2.5. İmalat işlemleri	30
3.2.6. Tork kolu tasarımı ve imalatı.....	32
3.2.7. İmalatı yapılan parçaların montaj aşamaları	34
3.2.8. Rulman yataklar	37
3.2.9. Servo kaplin	38
3.2.10. Motor titreşim takozu.....	39
3.2.11. Tork sensörü	39
3.2.12. Devir sensörü ve dinamometreye bağlantısı	40
3.2.13. Yük hücresi ve tork kolu bağlantı mafsalı	41

3.2.14. Yük hücresi ve yk hücresinden veri alınması	41
3.2.15. Hidrolik dinamometre, motor, tork sensörü ve yk hücresi montajı	43
3.2.16. Tüketilen zgl yakıt hesabı için yakıt ölçer tasarımı	44
3.2.17. Arduino Uno mikrodeneleyici kartı.....	44
3.2.18. Yük hücresinin amplifikatörle mikrodeneleyici kartına baēlantısı	45
3.2.19. Özgül yakıt tartısı kalibrasyonunun yapılması	46
3.2.20. Yük hücresi, tork ve devir sensörlerinin kalibrasyonu	47
3.2.21. Lazer termometre	48
3.2.22. Lazer takometre	48
3.2.23. Hidrolik dinamometre deney dzeneēinin hazırlanışı	49
3.2.24. Deneyin yapılışı	49
4. BULGULAR ve TARTIŞMA	51
5. SONUÇ ve ÖNERİLER.....	59
6. KAYNAKLAR	62
7. EKLER.....	65

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 1. 1 Prony freni motor gücü ölçüm şeması	3
Şekil 1. 2 Bantlı fren şematik gösterimi	3
Şekil 1. 3. A.C ve D.C dinamometre test düzeneği	5
Şekil 1. 4. Eddy Current dinamometresi	6
Şekil 1. 5. Hidrolik dinamometre çalışma prensibi şeması.....	8
Şekil 3. 1. Tasarlanan hidrolik dinamometre deney düzeneği	15
Şekil 3. 2. 3600 d/d' da hidrolik dinamometre rotor yarıçapı ve güç grafiği	20
Şekil 3. 3. Pervane kanat tasarımına göre nominal özgül hız grafiği	21
Şekil 3. 4. Nominal hızlardaki rotor tasarımının verim eğrisi	22
Şekil 3. 5. Rotor yarıçapı ile atalet momenti analizi.....	24
Şekil 3. 6. Rotor tasarım ölçüleri	25
Şekil 3. 7. Rotor ve Stator tasarım çizimi	26
Şekil 3. 8. Rotor ve stator kapak 3D Solidworks tasarımı	27
Şekil 3. 9. Mil 3D Solidworks tasarım çizimi.....	28
Şekil 3. 10. Salmastra kutusu 3D Solidworks tasarım Çizimi	29
Şekil 3. 11. Hidrolik dinamometre 3D Solidworks tasarım çizimi.....	29
Şekil 3. 12. Rotor ve stator için AA 5083.....	30
Şekil 3. 13. Mil ve salmastra kutusu için AISI 304 paslanmaz çelik bloklar	30
Şekil 3. 14. İmalatı yapılmış alüminyum rotor	31
Şekil 3. 15. İmalatı yapılmış alüminyum stator	31
Şekil 3. 16. İmalatı yapılmış mil ve salmastra kutusu	31
Şekil 3. 17. Tork kolu tasarım çizimi.....	32
Şekil 3. 18. İmalı gerçekleştirilmiş tork kolu.....	33
Şekil 3. 19. Hidrolik dinamometre montaj bileşenleri 3D Solidworks çizimi.....	34
Şekil 3. 20. Milin rotora montajı ile titreşim ve salgı kontrolü	35
Şekil 3. 21. Statora montajlanmış salmastra kutusu	35
Şekil 3. 22. Sıvı sızdırmaz keçe ve statora montajı	35
Şekil 3. 23. Stator kapakları arasına lastik conta	36
Şekil 3. 24. Montajı gerçekleştirilen hidrolik dinamometre	36

Şekil 3. 25. Dinamometreye tork kolu montajı.....	37
Şekil 3. 26. Rulman yatak ve rulman seçim diyagramı	37
Şekil 3. 27. Rulman yataklarla hidrolik dinamometre montajı.....	38
Şekil 3. 28. Servo kaplin parametreleri.....	39
Şekil 3. 29. Motor titreşim takozu	39
Şekil 3. 30. Tork sensörü ve veri kablosu.....	40
Şekil 3. 31. Kullanılan devir sensörü ve dinamometre miline bağlantısı	40
Şekil 3. 32 Yük hücresi ve tork kolu bağlantı mafsalı.....	41
Şekil 3. 33 Platform tipi yük hücresi ve dinamometre bağlantısı	42
Şekil 3. 34 Dinamometre, motor, tork sensörü ve yük hücresi montajlı deney sehpası .	43
Şekil 3. 35 Özgül yakıt tüketimi terazisi 3d tasarım görüntüsü ve yakıt kabı	44
Şekil 3. 36 Arduino mikrodenetleyici kartı yük hücresi ve bilgisayar bağlantısı.....	45
Şekil 3. 37 Yük hücrelerinin bilgisayara bağlantı şeması.....	46
Şekil 3. 38 Arduino mikrodenetleyici kartı ile yük hücresi bağlantısı ve kalibrasyonu .	47
Şekil 3. 39 Tork sensörü ve dinamometre tork kolundaki yük hücresi kalibrasyonu.....	48
Şekil 3. 40 Sıcaklık ölçümünde kullanılan lazer termometre	48
Şekil 3. 41 Devir sayısı kontrolü için lazer takometre.....	48
Şekil 3. 42 Hazırlanan deney düzeneği.....	49
Şekil 3. 43 Verilerin bilgisayar ortamında alınması	50
Şekil 4. 1 1500 d/d motor hızında deney süresince tork değişimi	51
Şekil 4. 2. 2000 d/d motor hızında deney süresince tork değişimi	52
Şekil 4. 3. 2500 d/d motor hızında deney süresince tork değişimi	52
Şekil 4. 4. 3000 d/d motor hızında deney süresince tork değişimi	53
Şekil 4. 5. 3500 d/d motor hızında deney süresince tork değişimi	54
Şekil 4. 6. Motor devrine bağlı tork sensörü ve dinamometreden alınan tork grafiği	55
Şekil 4. 7. Motor devrine bağlı tork sensörü ve dinamometreden alınan güç grafiği.....	57
Şekil 4. 8. Motor devri ve özgül yakıt tüketimi grafiği	58

ÇİZELGE LİSTESİ

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
Çizelge 3.1. Deney motorunun teknik özellikleri	14
Çizelge 3.2. AA 5083 alüminyum malzemenim kimyasal özellikleri.....	16
Çizelge 3.3. AA 5083 alüminyum malzemenim fiziksel özellikleri.....	16
Çizelge 3.4. AA 5083 alüminyum malzemenim mekanik özellikleri.....	17
Çizelge 3.5. AISI 304 malzemenim kimyasal özellikleri	17
Çizelge 3.6. AISI 304 malzemenim mekanik özellikleri.....	18
Çizelge 3.7. Denklemdaki ifadelere verilen değerler.	18
Çizelge 3.8. Kullanılan devir sensörü teknik özellikleri.....	41
Çizelge 3.9. Kullanılan yük hücresinin teknik özellikleri	42
Çizelge 4.1. Deneylerde elde edilen teknik veriler	54

SİMGELER ve KISALTMALAR

Simgeler	Açıklama
T_{mil}	Motor mili üzerindeki tork
ω	Açısal hız
R	Rotor çapı
r	Rotor yarıçapı
Q	Suyun kütle akış hızı
ρ	Dinamometreye verilen sıvı yoğunluğu
P_m	Motorun rotora uyguladığı güç
V_{rotor}	Rotor hacmi
r_2	Çarkın dış yarıçapı
r_1	Çarkın iç yarıçapı
π	Pi sayısı
K_r	Rotor kalınlığı
V_{kanat}	Kanat hacmi
A	Kanat genişliği
K_k	Kanat kalınlığı
Z	Kanat sayısı
I	Atalet momenti
H	Basma yüksekliği
N_{scu}	Çarkın özgül hızı
P_{su}	Su gücü
g	Yer çekimi
ρ_{su}	Suyun yoğunluğu
P_{mil}	Mil gücü
η	Verim
P	Güç
L	Tork kolunun mil merkezine uzunluğu
F	Kuvvet
n	Motor mili devir hızı
T	Tork

b_e	Özgöl yakıt tüketimi
B	Saatlik yakıt tüketimi
P_e	Motor çıkış gücü

Kısaltmalar	Açıklama
-------------	----------

AC	Alternatif akım
ADC	Analog dijital dönüştürücü
DC	Doğru akım
3D	Üç Boyutlu
m	Metre
cm	Santimetre
mm	Milimetre
HP	Beygir Gücü
W	Watt
kW	Kilo watt
N	Newton

1. GİRİŞ

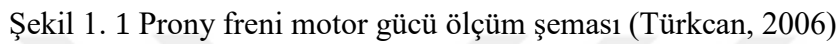
Bulunduğumuz çağda yaşam kalitesini ve konforunu artıran unsurlar hayatımızın her aşamasında hızla gelişmektedir. Bu gelişmelerle beraber; yapay zekâ uygulamaları ve robotik cihazların insan hayatını kolaylaştırıcı etkisinin her alanda karşımıza çıkması daha çok teknoloji ihtiyacını doğurmuştur. Teknolojinin gelişmesi ve konforun gereksinimlerinin geniş yelpazede ihtiyaç haline gelmesi mekanik ve elektromekanik malzemelerin imalatının artmasına sebep olmuştur. Bu artan teknolojik ihtiyaç malzemelerin temelini, güç üretimi için motorlar oluşturmaktadır. Yaşadığımız çağda en küçük kullanım alanından devasa endüstriyel üretim yerlerine kadar birçok alanda motorlar kullanılmaktadır. Kullanılan motorların hangi işte, hangi güç gereksinimi için üretilmesinin tayini, tüketilen enerji sarfiyatının da en ekonomik olması için motor performans deneylerine daha çok ihtiyaç duyulmaktadır. Enerjinin öneminin daha çok hissedildiği çağımızda ihtiyaç gereksinimleri doğrultusunda motor üretiminde israfı önleyici etki göstermektedir. Motor performans deneyleri için birçok yöntem geliştirilmiştir. Bu yöntemlerin ortak amaçları; motor performansları daha iyi seviyelere getirmek, alternatif yakıtların denenmesi, egzoz emisyon değerlerini bulunan çevre koşullarında en iyi hale getirmektir. Aynı zamanda daha verimli, hacim ve ağırlık olarak daha az yer kaplayan motor üretimini sağlamaktır, Motorlar içerisinde birçok yardımcı elemanın bulunduğu birbiriyle uyumlu çalışan sistemler olmakla beraber bu sistem elemanlarının zamanla dezenformasyonu ile özelliğini kaybetmesi, motor verimini düşürücü etki göstererek bakım gereksinimi doğurmaktadır (Şimşek, 2005). Motor bakımlarının daha ekonomik ve daha uzun süreli bakım gerektirecek şekilde tasarlamak ve buna benzer parametreler ışığında ihtiyaç yüzdesi hesabı ile en çok önem verilmesi gerekenden en az önem değerlerine göre uygunluk belirleyecek şekilde bu deneylere ihtiyaç duyulmaktadır. Motor test uygulamaları ve teoriyi bir arada düşünerek geniş ve dağınık bilgileri bir araya getirmek, motor testlerinin ve yeni motor gelişiminin temel bir parçasıdır (Anthony ve Alexander, 2007).

Motor testleri hakkında genel bilgi

Üretimi gerçekleştirilen ve revizyonu yapılan motorların üretim amacına uygun güç ve özelliklerde olup olmadığını ve firmanın motor için verdiği teknik özellikleri karşılayıp karşılamadığını kontrol etmek için motor testleri yapılmaktadır. Ar-Ge çalışmalarında ve eğitim amaçlı deney sehpalarda motor testlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Motor deneylerinde genellikle moment, güç, devir sayısı, tork, yakıt sarfıyatı, motorun yüklenme sıcaklığı, egzoz emisyon değerleri ve sıvı giriş çıkış sıcaklığı hesaplamaları yapılmaktadır. Motor testleri sonucunda devir sayısına ve tork gücüne göre özgül yakıt tüketimi, efektif güç ve efektif verim ifadelerinin deneysel veriler olarak eğrileri motor karakteristik özelliklerini göstermektedir (Koç, 2012). Bu deneyleri yapmak için günümüz şartlarında ekonomik motor test düzeneğini kurmak ve bu test düzeneğinin güç ölçüm yelpazesinin genişliği hedef alınmaktadır. Motor gücü ölçümü, motorların icadının hemen akabinde ihtiyaç duyulan sistemlerdir. Bu sistemler içerisinde en basiti mekanik frenli sistemlerdir.

Motor Gücü Ölçümünde Kullanılan Bazı Sistemler

Prony Freni: Motor çıkış gücü ölçüm işlemlerinde bilinen ilk sistem Prony frenidir. Fransız mühendis Gaspard Clair François Marie Riche de Prony, tarafından 1821 yılında icat edilmiştir (Encyclopedia Britannica, 2018). Şekil 1.1’de görülen bu fren sisteminin deney düzeneğine değinilmektedir. Motor krank miline kasnak çıkış gücünü ölçecek şekilde kamalı olarak bağlanılmaktadır. Kasnak çevresini saran bir bant bulunmaktadır. Bu banta ve dolayısı ile kasnağa fren yapmasını sağlayacak sıkıştırma kolu monte edilmiştir. Sıkıştırma kolunun baskısı ile orantılı olarak kasnağın dönme eksenini boyunca bir sürtünme direnci oluşmaktadır. Bu sürtünme direnci kasnağa fren yaptığı güce denk olmaktadır (Kırlap, 2005). Prony freni gelecekte yapılacak motor performans ölçüm sistemlerinin bir çekirdeğidir.



Yük
Hücre

Kasnak

r

S_1

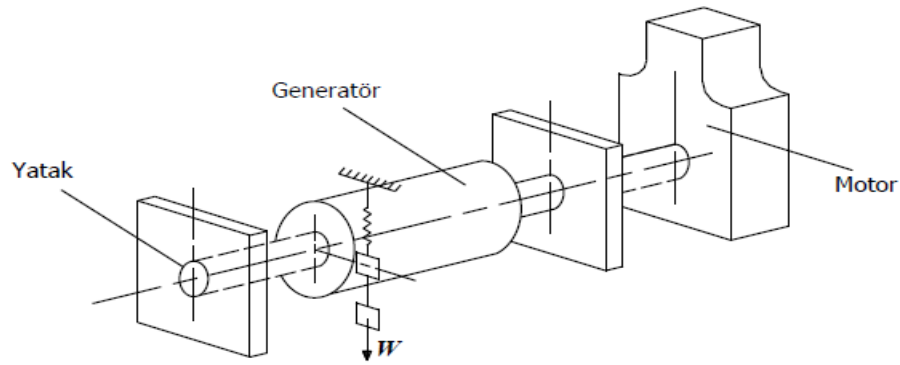
Şekil 1. 2 Bantlı fren şematik gösterimi (Türkcan, 2006)

Basit sistem güç ölçme sistemleri gelişerek yerini birçok farklı türde deney sistemleri sunan dinamometrelere bırakmıştır. Motor üretimi, ar-ge çalışmaları ve var olan sistemlerin iyileştirilmesi için yapılan çalışmalarında motor deneyleri daha aktif kullanılmaktadır. Motor performans deneylerinde dinamometreler kullanılır. Hareket oluşturan tüm makinaların tork, hız, devir, yakıt ve güç ölçümünde dinamometreler revaçla tercih edilmektedir.

Hava Frenli Dinamometreler: Vantilatör fren olarak da tanımlayabildiğimiz bu dinamometre türü hassas ölçüm gereksinimlerinin önemli olmadığı ve yine sesin dezavantaj görülmediği sistemlerde tercih edilmektedir (Martyr ve Plint, 2007). Motor ve kanatlar arasındaki hız kutusu ile yüke maruz kalan motorun çıkış performansı tespit edilmiştir. Hava frenlerinde kullanım diyagramından faydalanılarak her deney motoru için uygun hız oranı kontrol kolu vasıtası ile seçilmek zorundadır. Yükün ayarlanmasındaki güçlükler ve yük değişimleri için motorun tamamen durdurulması gerekmektedir. Bu çok büyük bir dezavantaj sağlamaktadır.

Manyetik Dinamometreler: İsminden de anlaşılacağı üzere manyetik alan içerisinde dönen stator ve motor tarafından çevrilen bir rotordan oluşmaktadır. A.C dinamometrelerle kıyaslandığında dönme eylemsizliği düşüktür. A.C dinamometreleri ile benzer yüklenme sistemi kullanılmaktadır. Rotor, düzgün silindirik yapıdaki stator içerisinde çok küçük bir toleransla dönmektedir. Stator içerisinde çevresel olarak alan sargıları yerleştirilmiştir. Sargılar küçük miktarda doğru akımla uyarılabilecek şekilde düzenlenmiştir. Akım uygulandığında rotoru statora bağlayan manyetik akım oluşmaktadır. Rotor herhangi bir yönde döndürüldüğünde bu manyetik akımı kesen bir kondüktör görevi yapmaktadır. Manyetik dinamometrelerin; büyük güçte geniş hız aralığı, düşük hızlarda yüksek tork kapasitesi, değişiklik gerekmeden her iki yönde döndürülebilmesi ve hız kontrol kolaylığı avantajları arasındadır. Dezavantajı yatakların aşınmasıdır (Martyr ve Plint, 2007).

A.C ve D.C Dinamometreler; Bir D.C dinamometre, alt yapıya montajı yapılmış dönme ekseninde motor dış kasasının serbestçe dönebildiği, D.C motor jeneratöründen oluşmaktadır. Ohm yasasına göre torku değiştirmek yani akımdaki bir değişiklik için voltaj değiştirilmelidir. Voltaj değişimi için transistörler kullanılmaktadır. Transistor ve dinamometre kontrolü yükte çok hızlı değişikliklere izin verebilmektedir. Herhangi bir motorun gücünü her iki dönüş yönünde sönümleyebilen veya güç uygulayan cihazlar şeklinde adlandırılmaktadır. Güç ölçümünde elektrikli göstergeler kullanılmıştır. D.C dinamometreler sulu frenli sistemlerden %90'lık yük değişiminde 50 kat daha hızlı veri vermektedir. A.C dinamometreler ise D.C dinamometrelere göre 2 kat daha hızlı veri aktarmaktadırlar. Fakat sulu frenli dinamometre sistemlerine göre 40 kat daha pahalıdır. Bakım ve revize işlemlerinde de ekonomik değildirler. Şekil 1.3'te gösterildiği gibi durma torkuna kadar tork üretebilmesi A.C ve D.C dinamometrelerin avantajlarından. Benzer yük emme kapasitesindeki hidrolik dinamometreden daha yüksek devir aralıkları vardır. Kullanışlılık bakımından en iyi dinamometrelerdir (Lake, 2006). Dezavantajları arasında eylemsizlik momentinin yüksek olması, maksimum hız değerinin sınırlı olması, oldukça pahalı olması ve burulma titreşimidir (Martyr ve Plint, 2007).



Şekil 1. 3. A.C ve D.C dinamometre test düzeneği (KTÜ, 2007)

A.C dinamometreler, kullanılan motor tipi ve yükü kontrol eden sistemler dışında D.C dinamometreler ile birbirine benzerdir (Lake, 2006).

Eddy Current Dinamometresi: Elektromanyetik indüksiyon ilkesine göre çalışan bu dinamometreler tork gelişimi ve güç dağılımını amaçlamaktadır (Martyr ve Plint, 2007). Şekil 1.4’de Eddy Current dinamometresi gösterilmiştir. Sirküle edilen dönüşümlü Eddy akımları gücün, elektriğe direnç gösteren kayıpları şeklinde dağılmasına neden olmaktadır. İlk tork oluşumu göstermemektedirler. Dairesel bobinlere verilen akım değiştirilerek güç kontrol edilmektedir. Sulu dinamometreye göre yük değişimine tepkisi 10 kat daha hızlı. Bu konuda A.C ve D.C dinamometrelerden daha yavaştır. Düşük hızlarda büyük fren torku geliştirebilen basit ve sağlam sistemlerdir. Eddy Current dinamometresi su frenli dinamometre sistemlerine göre üç kat daha pahalı sistemlerdir (Lake, 2006).



Şekil 1. 4. Eddy Current dinamometresi (Türkcan, 2006)

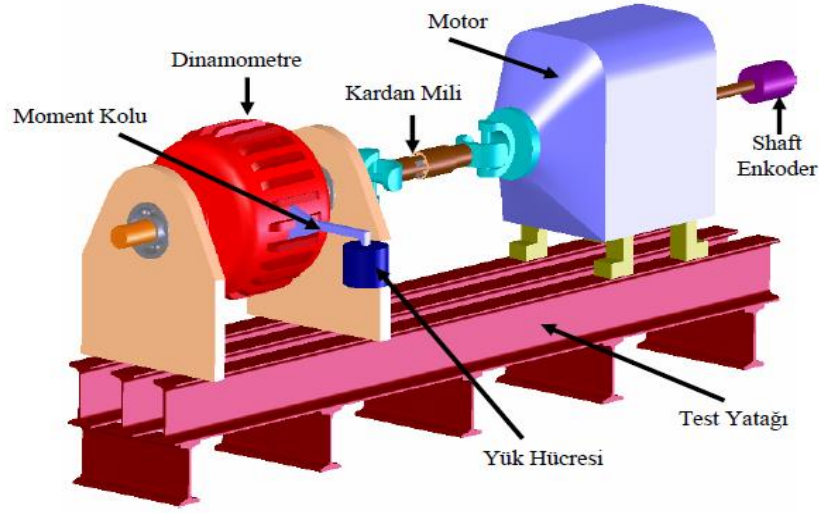
D.C ve A.C dinamometrelerden daha ekonomik ve daha küçük, sulu frenli dinamometrelerden daha büyük ve daha pahalıdır.

Junkers Su Freni: Rotor üzerinde suya türbülans kazandıran radyal kanatlar mevcuttur. Rotordan suya, sudan statora geçen bir moment ile yükleme gücü hesap edilmektedir. Rotora verilen enerji zamanla ısıya dönüşür ve ısınan suyun yenilenmesi için sürekli sirkülasyonu sağlanmalıdır. En büyük dezavantajı düşük devirlerde sönmölenen güç çok küçüktür. Diğer bir dezavantaj, su kuşağı derinliğinin stabil kalmasıdır (Özbek, 1996). Diğer frenlerden kendini farklı kılan özelliği; şamandıra dediğimiz sabit bir seviye kabı ile su kuşağı derinliğinin sabit kalması ve su girişinin kontrol edilebilir olmasıdır. Suyun rotora sabit basınçta girişi sağlanmaktadır (Öz, 1967).

Froude- Krupp su freni: Sarkaç yataklar üzerinde bulunan stator içerisine yarım içi boş küre şeklinde girintilere sahip olan iki astar montajlanmıştır. Astar gövde ile civatalanmıştır. Sisteme verilen su yarım küre şeklindeki cepleri ve gövde içini doldurulmaktadır. Su tanecikleri motorun dönmesiyle oluşan santrifüj kuvvet ile birbirine bakan içi boş yarım küresel cepler içerisinde dönmektedir. Bu sistemde fren içinde küresel cepli rotordan suya sudan statora sıvı sürtünmesi yoluyla kuvvetli bir enerji sirkülasyonu oluşmaktadır. Özel yapısı sayesinde düşük hızlarda dahi büyük güçleri sönmlemektedir (Öz, 1967).

Schenk su freni: Fren sisteminin işleyişi Froude-Krupp ile benzerdir. Rotor ve muhafazada düşük devir sayılarında mukavemetli moment oluşum verileri elde edebilecek dar kanallı cepler ve mekanik sürtünmeli kısımlara sahip olmaktadır.

Hidrolik Dinamometreler: Moment, hız ve güç ifadelerini, yardımcı veri aktarım elemanları ile ölçen enerji dönüştürücüleri eğer sıvı sürtünmeli sistemler ise hidrolik dinamometre olarak tanımlanırlar. Genel olarak içerisinde dönen rotor, rotoru saran gövde stator, rotora motor gücünü ileten mil, frenleme ile moment ve gücü ölçen tork kolu ve rulman yataklardan oluşan suyun miktarına göre frenleme etkisi değişen sistemler olarak tanımlanmaktadır. Sıvı sürtünmeli olduklarından motorun tahrik gücüyle oluşan enerjiyi sıvı üzerindeki ısı enerjisine dönüştürerek dinamometre kapaklarındaki çıkışlardan atmosfere aktarım sağlanmaktadır. Dinamometre hareket üreten her türlü makinanın gücünü belirlemekte kullanılmaktadır. Mekanik sistemlerin araştırma ve geliştirme laboratuvarlarında kullanılmaktadır. Genellikle stator kapakları arasında dönen rotor disk ile frenleme yapan rotor eksenine açılı radyal kanatlar ve cepler yükü sönmleyecek şekilde tasarlanan sıvı sürtünmeli sistemler olarak nitelendirilmektedirler (Plint ve ark., 1999).



Şekil 1. 5. Hidrolik dinamometre çalışma prensibi şeması (Türkcan, 2006)

Şekil 1.5'te Hidrolik dinamometre çalışma prensibi gösterilmektedir. Hidrolik dinamometreler stator ve motora bağlı malle dönen rotor dediğimiz çarka, içerisindeki sıvı ile frenleme sağlamaktadır. Dinamometrenin gövdesine bağlanan moment kolunda, motorun yüklenmesiyle birlikte rotora verilen sıvı ile frenleme kuvveti oluşmaktadır. Bu kuvvet motorun döndürme momentine eşdeğerdeki fren momentini sağlamaktadır. Bu oluşan döndürme kuvveti, moment kolu tarafından yük hücresine (load cell) iletilmektedir. Yük hücresinde bu kuvvet tespit edilerek motor gücü tespiti hesaplanmaktadır.

Hidrolik dinamometreler, dinamometre içerisine verilen sıvının direk şebekeden verilen çeşidi ve dinamometrenin üzerindeki bir su tankından yer çekim kuvveti ile sıvının dinamometre içerisine verilmesi ve tekrar devir daimî yapılan, olmak üzere açık ve kapalı sistem dinamometreler olarak iki çeşidi kullanılmaktadır. İncelenen dinamometre çeşitlerine göre düşük maliyet, seri üretim kolaylığı, belli güçteki motorların güç ve tork ölçümünü yapabilmesinden dolayı açık sistem su frenli hidrolik dinamometre tercih edilmiştir.

2. LİTERATÜR ÖZETLERİ

Hareket gücünü sağlayan mekanik ve elektromekanik motor sistemlerinin performansını ölçmede literatürde birçok yöntem kullanılmıştır. Literatürdeki çalışmalarda motor test sistemleri ve tasarımı, veri alma yöntemleri, deneylerin yapılış metotları ve motor testlerinde kullanılan dinamometreler incelenmiştir.

Prony freni ilk bilinen dinamometre olup Fransız mühendis Gaspard Clair François Marie Riche de Prony tarafından 1821 yılında Paris'te icat edilmiştir. Motorun verdiği mekanik enerjiyi sürtünme yoluyla ısı enerjisine dönüştüren bir sistemdir (Encyclopedia Britannica, 2005).

İstanbul Teknik Üniversitesinde traktör motorlarının performanslarını değerlendirmek için, sarkaç tipi rulman yataklarla titreşim parametreleri engellenmiş 50 beygir güce kadar sönümlenme yapacak kaynak konstrüksiyonlu su freni imal edilmiştir (Öz, 1967).

“TD-15” hidrolik dinamometre veya su frenli; içten yanmalı motorların momentini, 9 (kW) ve 6000 (d/d) kapasiteye kadar ölçüm yapması amacıyla Anadolu üniversitesi mühendislik fakültesi makina mühendisliği bölümünde yapılmıştır. Dinamometrenin gövdesi içerisinde paslanmaz çelik mile bağlanan bir miktar su dolu kartel içerisinde dönen kanatlı fandan oluşmaktadır Gövde içerisinde paslanmaz çelik mile bağlanan motor yükleme gücü, su girişi kontrolü için iğne valfli doldurma vanasından kontrol edilmektedir. Verilen şebeke suyu ile rotor içerisindeki kanatlar vasıtasıyla frenlenerek rotor içerisindeki çark ve oynar bilyeli rulmanlar sayesinde salınım yapabilen karteli sürüklemeye çalışmaktadır. Buradaki sürüklenme momenti kartel çevresine sabitlenmiş karşı ağırlıkla dengelenmiş olup 20 (Nm)’ye kadar moment ölçebilen dinamometre ile ölçülmektedir (Pancar, 1985).

Summer ve ark. (1986), yaptıkları çalışmalarda güç gereksinimi belirlemek amacıyla yönelik olarak traktör kuyruk mili gücünü tahmin etmeyi amaçlamışlardır.

Harris (1992), çalışmasında, dizel yakıt kullanan motorlarda motor devri ve yakıt tüketimi parametrelerini kullanarak dönme momentinin tahmini için traktörün kuyruk milinden alınan verilerle bir model geliştirmiştir.

Bantlı dinamometrelerde, Prony frenindeki gibi balata türündeki sürtünme malzemeleri yerine kayış halat gibi elastik malzemeler kullanılmıştır. Motor mili bir kasnağa monte edilmiş ve kasnak üzerine sürtünme kuvveti sağlayacak sarılmış bantlar motoru frenlemeye çalışmaktadır. Bu frenleme gücü ile motor performans tespiti yapılmıştır (Arslan, 1994).

Hidrolik dinamometreler, stator diskleri ile yakın aralıklarda dönen rotor diskinden oluşmaktadır. Akışkan sürtünmeli tipte yapılması ile motor gücünü dinamometre sıvısı tarafından uzaklaştıran ve ısıya dönüştüren cihazlardır. Tork yüklerinin değişimi, diskler arasındaki sıvı hacmini değiştirmekle sağlanmıştır. Motor gücü: rotor ve stator diskleri arasında oluşturulan sıvı sürtünmesi ile yutulur. Güç sıvının santrifüj dönme kinetik enerjisi tarafından yutulduğu için gücün yutulmasında ana rolü, sıvının viskozitesinden çok yoğunluğu etkilemektedir (Özek, 1996).

Bunker ve ark. (1997), yapmış oldukları çalışmalarda devir ve torku istenilen değere ayarlama imkânı sunması için birçok değişkenli geri beslemeye sahip bir dizel motor dinamometre sistemi tasarlamışlardır. Bu kontrol sistemine dayalı matematiksel yöntem geliştirmişlerdir.

Ajav ve ark. (1999), motor test sisteminde hidrolik dinamometre kullanarak tek silindirli bir dizel motorda yakıt olarak etanol ve dizel karışımı ile sabit hızda motor performansını, özgül yakıt tüketimini, egzoz gazı sıcaklığını, yağlama yağı sıcaklığını ölçmüşlerdir. Hava tüketim ölçüm sistemi için sönmüleme tankı, orifis plaka, U tipi manometre, egzoz gazı sıcaklığının tespiti için K tipi termokupl, yağ sıcaklığı için T tipi termokupl kullanılmıştır. Yakıt tüketimini ölçmek için hacimsel ölçüm yapan bir cihaz kullanılmıştır.

Yılmaz (2004), yapmış olduğu çalışmasında eğitim amaçlı bir motor test sistemi kurmuştur. Bir hidrolik pompa, dinamometre, yağ tankı, yağ filtresi, yağ ve su ısı değiştirgeci, supaplar ve bilgisayarla kurulmuş test düzeneğidir. Hacimsel ölçüm yönteminden yararlanarak özgül yakıt tüketimini hesaplamak istemiştir. Testler sabit hızda ve sabit yükte yapılmış, yakıt tüketimi ölçülmüştür. Yük ve hız artışına bağlı olarak yakıt tüketiminin de arttığı görülmüştür. Toplanan veriler ile motor gücü hesaplanmıştır.

Rakopoulos ve ark. (2004), çalışmalarında deneme motoru olarak dizel ve benzinli çalışabilen, tek silindirli su soğutmalı Ricardo-Cussons motoru kullanılmıştır. Dinamometre, bu sistemde yükleme kontrol elemanı olarak kullanılmıştır.

Duprey ve ark. (2004), 5 beygir gücündeki bir test motorunun gücünü sönümleyebilecek ve verileri doğru şekilde toplayabilecek sıvı frenli 6 inç çapında rotora sahip bir dinamometre tasarlamışlardır. Bu tasarım için dinamometrenin pompa gibi davrandığını varsayarak rotor çaplarına göre ne kadar güç sönümleyebileceğini hesaplamışlardır.

Elektromanyetik dinamometreler ebatlarına göre oldukça yüksek güç ölçüm kapasitesine sahiptir. Eddy Current dinamometrelerinin araştırma laboratuvarlarında oldukça geniş bir kullanım alanı vardır. Bu dinamometrelerde üretilen elektrik gücü, ısı enerjisine dönüştürölmektedir. Bu tip dinamometreler göreceli olarak basit ve robotik bir yapıya sahiptir (Plint ve Martyr, 1995).

Elektromanyetik dinamometrelerin yükleme sistemlerinde stator sargılarını beslemek gerekir. Bu işlem için gerekli olan doğru akım bir elektrik şebekesi veya bir doğru akım üreticiden sağlanmaktadır. Bu tip dinamometrelerde dinamometrenin büyüklüğüne ve sistemin ayarlarına göre, tam yüklemede +/- %3 ila +/- %5 arasında değişim göstermektedir (Magtrol, 2005).

Hidrolik dinamometrelerin düşük devirlerde çalışma alanları Eddy Current'a göre daha azdır. Hidrolik dinamometrelerin kontrol sistemi Eddy Current'a göre daha zordur. İstenilen yükleme koşuluna hemen cevap veremezler. Aynı yükleme koşulu için Eddy Current dinamometresi hidrolik dinamometrelere göre daha hantal ve randımsızdır.

Aynı zamanda Eddy Current dinamometresi hidrolik dinamometrelere göre çok pahalı ve kompleks bir yapıya sahiptir (Superflow, 2005).

Motorların deneysel olarak test edilmesi ile performansları belirlenebilmektedir. Deney parametreleri ne kadar çeşitli ve çok ise o denli güvenilir sonuçlar elde edilebilir. Bu deneyler yeni geliştirilen motorlar ve üretim sürecindeki motorları denetleme amacıyla da uygulanılabilmektedir. Motor deneyi sonuçları ile amaçlanan; hedeflerin neresindeyiz ve daha neler uygulanması gerekiyor gibi sorularla mükemmele ulaşılabilir. Motor deneylerinde kullanılan bilgisayar destekli veri alımı için kullanıcı ara yüzü yazılım tasarlamışlardır (Çelik ve ark., 2005).

Motor performansı söylemi ile; güç, verim, ortalama etkin basınç gibi motorun hali hazırdaki performansı hakkında bilgi veren özellikler akla gelmektedir. Motorlarda iki çeşit güç vardır. Bunlardan ilki, silindir içerisine akan karışımın yanması ile meydana gelen ısı enerjisinin mekanik enerjiye dönüşmesi sırasında elde edilen, indike güçtür. Diğeri ise mil, fren veya faydalı güç olarak adlandırılan ve motorun volanından veya kasmağından ölçülen güç olup motorun gerçek gücüdür. Yani motordaki sürtünme ve diğer kayıplardan sonra kalan gerçek güçtür. Bu gücün ölçümünde dinamometre türlerinin özelliklerinin irdelenmesi ve kullanılacak dinamometre türü için durum değerlendirilmesi yapılmıştır (Balar, 2010).

Dinamik ve stabil kalacak şekilde tasarlanan iki adet türbin içine hareket sırasında verilen akışkanın frenleme yaparak türbinleri yavaşlatması sistemiyle çalışan hidrolik retarder geliştirmişlerdir. Ağır taşıtların birçoğunun motor gücünü ölçümünde kullanılmaktadırlar. Hidrolik retarder içerisine gönderilen akışkanın akışkanlık özelliğini kaybetmesi, sızdırmazlığın bir müddet sonra engellenmek için bakım gereksinimi, yüksek sıcaklık etkisiyle keçelerin dezenformasyonu dezavantajları arasındadır (Gökten ve ark. 1995; Wei ve ark., 2011).

Banis (2019), yapmış olduğu çalışmada hidrolik dinamometre rotor ve stator tasarım parametrelerini hesaplamıştır. Bu hesaplamalar için öncelikle sıvı taneciklerinin rotor kanatları üzerindeki vektörel hız ifadelerini ve kanat tasarımında spesifik hız değerleri ile

motor gücü sönümlemede verim ifadesini hesaplamıştır. Bu hesaplamalarla beraber Solidworks Flow Simulation 2018 programı ile sıvı olarak sabit sıcaklık ve sabit basınçta suyu kullanarak belli devirlerde rotorun simülasyonu ile yirmi bir farklı tasarım parametrelerinin en verimli tork sönümlemesini hangi tasarımın yaptığını kinetik enerji denklemleriyle belirlemiştir.

Günümüze kadar yapılan motor gücü ölçümünde hidrolik dinamometre kullanımı denenmiştir. Bu denemeler ışığında tez çalışmasında tasarım ve imalatı yapılarak hidrolik dinamometre ile motor performanslarında bizlere daha isabetli veriler sağlaması hedeflenilmektedir. Sunulan tez çalışmasında tasarlanılan hidrolik dinamometrenin yapısının farklı tasarımı, daha az maliyet ile motor gücü ölçümünün sağlanması amaçlanmaktadır. Motor gücü ölçümü ile; güç, özgül yakıt tüketimi, tork ve mil devir sayısı gibi değerlerin isabetli verilerinin alınması amaçlanmaktadır.

3. MATERYAL ve YÖNTEM

Düşük güçteki motorların performansını ölçecek şekilde su frenli bir hidrolik dinamometre tasarlanmış ve imalatı gerçekleştirilmiştir. Motor performans verilerinde sağlayacağı doğruluk ve belli bir güç ve dönme hızındaki motorların üretim sonrası kontrol sistemlerinde, arıza ve revize sonrası motor gücünü ölçmek ve laboratuvar şartlarında eğitim amaçlı deney sehpası olarak da kullanılmak üzere emniyetli, güvenilir veriler sunan ve ekonomik parametreler göz önünde bulundurularak bir hidrolik dinamometre ile motor deney düzeneği tasarımı, imalatı ve montajı gerçekleştirilmiştir.

3.1. Deney motorunun teknik özellikleri

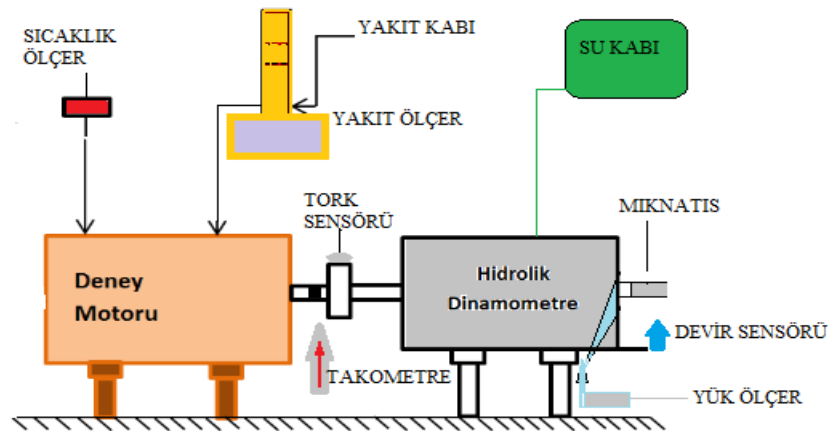
Hidrolik dinamometre, Çizelge 3.1’de gösterilen DATSU L200 6.5 HP’lik motor gücünü sönümlerken devir, tork ve güç eğrilerine, hidrolik dinamometrenin fiziksel ve mekanik durumuna bakılarak en fazla kaç beygir gücü ölçebileceği bilgisine ulaşmak için belli parametreler baz alınarak tasarlanmıştır. Bu parametreler; düşük devirlerden deney motorunun maksimum devri olan 3600 d/d’ ya kadar dinamometreye yüklenilmesi ile tork, devir, özgül yakıt tüketimi, motor ve dinamometre sıcaklığı ve yük hücresi ile alınan moment gücü, elektronik sensörler vasıtasıyla veriler alınarak belirlenmiştir. Bu veriler dinamometrenin ölçüm yelpazesi hakkında bilgi vermektedir.

Çizelge 3.1. Deney motorunun teknik özellikleri (Anonim 2018)

Markası	DATSU LT200 (Hava Soğutmalı)
Silindir sayısı	1
Motor gücü (3600 d/d)	6,5 HP (4,8 kW)
Motor toku (2500 d/d)	13,5 Nm
Silindir çapı	68 mm
Strok	54 mm
Silindir hacmi	196 cm ³
Sıkıştırma oranı	8,5/1
Yağ kapasitesi	0,6 lt
Yakıt sarfıyatı	313gr/kWs

3.2. Hidrolik dinamometre

Su frenli güç ölçer olan hidrolik dinamometre; rotor, rotoru temassız şekilde çevreleyen stator, motor gücünü rotora ileten mil, statorun mil ile dönmesini engelleyen, içerisinde rulman bulunan salmastra kutusu ve statora bağlı bir tork kolundan oluşmaktadır. Motor tahrik gücünü paslanmaz çelik mil ile dinamometre rotoruna iletmektedir. Stator içerisine verilen su taneciklerine belli devirde dönen rotorun kanatlarının çarpmasıyla frenleme gücü oluşmaktadır. Motor mili tahrik gücü, ısı kayıpları ve diğer sürtünme kayıpları hariç stator kapak içerisindeki ceplere çarparak statora bağlı tork koluna iletilen güç ile eşit olmaktadır. Bu güç efektif motor gücü olarak tanımlanmaktadır. Motorun kendi fabrika değerleri gücünden düşüktür (Hazar ve ark., 2011). Bu eşitlik motorun yakınsak güç bilgisine ulaşmamızı sağlamaktadır. Diğer bir ifadeyle; motorun yüklenme gücü, stator ve rotor diskleri arasında sıvının frenlemesiyle sönümlenen sistemlere hidrolik dinamometre adı verilmektedir. Stator kapaklar arasındaki sıvı hacmi ile belli bir hacme kadar tork yükleri orantılı şekilde değişim gösterir. Tork yükünü korumak ve ısınan suyun sıcaklığını sabit tutulması dinamometre içerisindeki sıvının sürekli dolaşımı ile sağlanmaktadır. Motorun tahrik gücünün sönümlenmesinde en önemli parametre sıvı tanecikleri arasındaki viskoziteden çok sıvının yoğunluğunun etkisidir. Sıvı yoğunluğu ne kadar çok ise ani frenleme gücü artış gösterir. Sıvı yoğunlukları viskoziteye nazaran sıcaklık yükselmesinden daha az etkilenir. Yoğunluğun ısıdan daha az etkilenmesi tork yüklerinin stabilizesi için daha avantajlıdır (Özek, 1996).



Şekil 3. 1. Tasarlanan hidrolik dinamometre deney düzeneği

Hidrolik dinamometre deney düzeneği genel tasarım bileşenleri

Dinamometre içerisinde frenlemeyi sağlayacak rotor,
Rotorla temas etmeyecek şekilde çarkı saran iki adet stator (kapak),
Stator kapaklar üzerine montajı yapılacak şekilde iki adet salmastra kutusu,
Dinamometre muhafazasına tutturulacak şekilde tasarımı optimize edilmiş tork kolu,
Ölçüm işlemleri için tork sensörü, yük hücresi (load cell), devir sensörü ve özgül yakıt tüketimi için terazi,
Motor, tork sensörü, hidrolik dinamometre ve sensörlerin montajı, için tasarlanılan deney sehpası.

3.2.1. Hidrolik dinamometre rotor ve stator tasarımı

Motor miliyle aynı eksen ve aynı yönde dönecek şekilde ve dönerken hidrolik dinamometre kasasına dışarıdan verilen su ile frenleme yapacak kanatlı bir rotor tasarlanmıştır. Stator ve rotor su ile temas edeceğinden korozyonu, tornada işlem göreceğinden tornada işleme kabiliyeti, uzun ömürlü olması, mukavemet gereksinimlerini karşılayacak ve uygun maliyetli olması tercihleri ile Çizelge 3.2, 3.3 ve 3.4'te sırasıyla kimyasal, fiziksel ve mekanik özellikleri belirtilen malzeme AA 5083 alüminyum alaşımından imal edilmiştir.

Çizelge 3.2. AA 5083 alüminyum malzemenim kimyasal özellikleri (Anonim, 2019)

Alaşım	Si	Fe	Cu	Mg	Mn	Zn	Ti	Cr	Al
% ağırlıkça	0.4	0.4	0.1	4,0- 4,9	0,4- 1.0	0,25	0.15	0.05- 0.025	Kalan

Çizelge 3.3. AA 5083 alüminyum malzemenim fiziksel özellikleri (Anonim, 2019)

Alaşım	Yoğunluk
AA 5083	2650 kg/m ³

Alüminyum AA 5083 malzemenin esas alaşım elementi magnezyumdur. Alaşım içerisindeki magnezyum oranının yüksek olması dayanımını artırmaktadır. Korozyon dayanımının iyi olması deniz ulaşım malzemelerinde kullanımını yaygın hale getirmektedir (Malyer, 2010). Dinamometrenin sulu frenli olması, mukavemet ihtiyacının karşılanması ve hafif olması parametreleri bu alaşımın tercih edilmesini sağlamıştır.

Çizelge 3.4. AA 5083 alüminyum malzemenim mekanik özellikleri (Anonim, 2019)

Temper	Akma Mukavemeti	Çekme Mukavemeti	Uzama	Sertlik
-	(MPa)	(MPa)	-50%	(Brinell)
-	min.-max	min.-max	min.-max	min.-max
0/H111	125-145	275-300	22	70-75
HX2	205-240	310-330	16	85-90
HX4	270-275	340-360	14	100
HX6	305	380	9	105
HX8	335	400	8	110
HX9	370	420	0-5	115

AA 5083 alüminyum, korozyona karşı dayanımı ve talaşlı imalat özelliği çok iyi olduğundan ayrıca yüzey işlenebilirliğinin mekanik olarak kolaylığından tercih edilmiştir (Demirci, 2004).

Mil ve yataklar için motorun yüklenme gücüne mukavemet gösterecek malzeme seçilmiştir. Çizelge 3.5 ve 3.6’da kimyasal ve mekanik özellikleri gösterilen AISI 304 paslanmaz çelik malzemelerden imal edilmiştir.

Çizelge 3.5. AISI 304 malzemenim kimyasal özellikleri (Anonim, 2019)

Kalite		C	Mn	Si	P	S	Cr	Mo	Ni	N
304	min. max.	- 0.08	- 2.0	- 0.75	- 0.045	- 0.030	18.0 20.0	-	8.0 10.5	- 0.10

Paslanmaz çeliklerin mükemmel şekillenme yeteneği ve kaynak kabiliyeti ile günümüzde yoğun ve çok yönlü kullanılan 304 kalitede olanıdır (Singh, 2011). Bu kalitede en yaygın kullanılanı ise %18 Cr ve %8 Ni alaşımlarını içeren AISI 304 çelikleridir. (Khurmi ve Gupta, 2004). Krojonik sıcaklıklarda tokluğunu korumaktadır. Östenitik özelliği

mükemmel tokluk sağlamaktadır. Atmosferik ortamda korozyon dayanımı mükemmeldir. Kullanım suyu 60°C derecenin üzerindeki sıcaklıklarda 150 mg/l kloro dayanıklıdır. AISI 304 çeliği 303 kalite çeliklerle kıyaslandığında korozyon mukavemeti daha yüksektir. Ekonomik olmasından dolayı da en çok ilgi gösterilen paslanmaz çelik türüdür (Baran, 2019).

Çizelge 3.6. AISI 304 malzemenin mekanik özellikleri (Baran, 2019)

Kalite	Kopma Dayanımı (MPa) min.	Akma Dayanımı (MPa) min.	Uzama (% in 50mm) min.	Sertlik	
				Rockwell B (HR B) max	Brinell (HB) max
304	515	205	40	92	199

Rotor tasarımında kullanılacak DATSU L200 motorunun teknik verileri göz önünde bulundurularak bu gücü sönmüleyecek rotor çapı belirlenmektedir. Maksimum güce tolerans sağlayacak bir sulu fren rotor çapı tayin edilmektedir. Rotor tasarımı işlenmesi ve üretimi kolay aynı zamanda istenen gereksinimleri karşılayacak parametrelerde tasarlanmıştır. Seçilecek olan rotorun dinamometre içerisinde pompa gibi hareket edeceği varsayılarak rotor çapı belirlemek için ilk olarak Denklem 3.1 ve Denklem 3.2 kullanılmıştır. Denklem 3.1’ deki bazı ifadelerin hesaplama değerleri Çizelge 3.7’de verilmiştir. Q debi ifadesi 6,5 beygir gücündeki su motorlarının debi ifadesi saatte 20 m³ su basan bir pompa gibi varsayılarak hesaplamalarda kullanılmıştır (Duprey ve ark., 2004). Denklem 3.2’de Datsu L200 motorunun maksimum devir hızı 3600 d/d olarak kullanılmıştır.

Çizelge 3.7. Denklemdaki ifadelere verilen değerler.

ω	ρ	Q
376,99 rad/s	998,2 kg/m ³	0,0055 m ³ /s

$$T_{mil} = \omega r^2 \rho Q \quad (3.1)$$

Denklemdede;

T_{mil} : Motor mili üzerindeki torku ifade eder ($\text{kgm/s}^2.\text{m}$), (N.m)

ω ; Açısal hız (radyan/saniye),

r : Rotor yarıçapı (m),

ρ : Dinamometreye verilen sıvının yoğunluğu (su)

Q : Hacimsel debi (m^3/s).

Minimum yarıçap gereksinimi en az 0.075 m'den başlayarak esnek bir tasarım oluşturmak amaçlanmaktadır. Rotorun yarıçapı r ifadesi 0.075 m'den başlayarak 0.3 m'ye kadar değer değişimi ile T_{mil} değerleri bulunmaktadır.

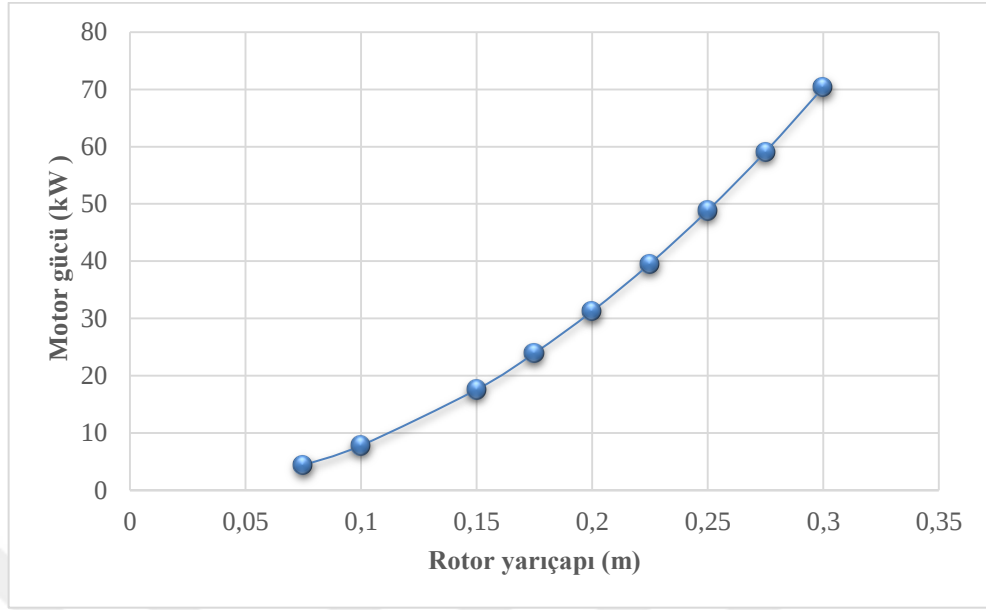
$$P_m = \omega T_{mil} \quad (3.2)$$

P_m : Motorun rotora uyguladığı gücü ifade eder (kW),

T_{mil} : Motor milindeki tork (N.m),

ω : Rotorun Açısal hızıdır (rad/s).

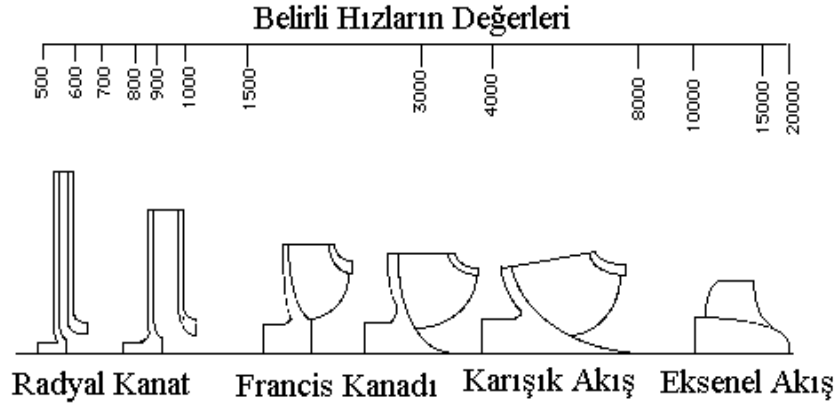
Değişen T_{mil} ifadeleri Denklem 3.2'de yerine konularak motorun rotor üzerinde uyguladığı güç hesaplanır. Bu hesaplamalardan Şekil 3.2'deki grafik, rotor yarıçapı ile güç eğrisini göstermektedir. Şekil 3.2'de DATSU L200 motorunun 6.5 HP'lik gücü ve 3600 d/d dönme hızı verilerine göre bu gücü sönmöleyecek sulu fren rotor çapı ölçüsü incelenmektedir.



Şekil 3. 2. 3600 d/d’ da hidrolik dinamometre rotor yarıçapı ve güç grafiği

Şekil 3.2’ deki grafik incelendiğinde 0.080 metre yarıçaplı rotor tasarımı 6.5 HP’lik yani 4.8 kW gücü sönmüleyebilmektedir. Fakat 0.080 m’lik rotor tasarım ve imalatının zorluğu ve 4.8 kW güç ölçümünün sınır değerine yakın olması, sürtünme kayıpları, rotor merkezine mil tasarım çapı ve kanat mukavemeti için mil deliğinden kanat başlangıcına kadarki çap değerleri hesaba katılarak, güç ölçüm yelpazesi dar bir tasarım olacağından bu motor gücü için en az 0.100 m’lik yarıçap seçilebilmektedir.

Rotor çapı hesabının güç ölçümünde etkisi kadar rotor üzerine tasarlanan kanat geometrisinin de sönmüleme etkisi oldukça fazladır. Şekil 3.3’te kanat geometrisine göre belirli hız değerleri grafiği kanat tasarımı teknik hesaplarında kullanılmaktadır. Rotor tasarım işlemleri rotor çapı, kanat geometrisi ve atalet analizi hesaplamaları yapılarak sönmüleme gücünün maksimum olması ve aynı zamanda ekonomik bir tasarım amaçlanmıştır.



Şekil 3. 3. Pervane kanat tasarımına göre nominal özgül hız grafiği (Mc. Nally, 2019)

Bu kanat geometrisinde dinamometrenin pompa gibi davrandığı varsayılarak kanat geometrisinin Şekil 3.3'te gösterilen N_{scu} spesifik hız değerlerine göre verim kontrolünün yüzdelik sayısal ifadesi için Q debi $0,55 \text{ m}^3/\text{s}$ olarak Denklemler 3.3, 3.4, 3.5'te kullanılmış ve verim kontrolü yapılmıştır.

$$H = \left(\frac{\omega \cdot \sqrt{Q}}{N_{scu}} \right)^{4/3} \quad (3.3)$$

H : Basma yüksekliği (m),

Q : Sıvı hacimsel debi (m^3/s)

N_{scu} : Kanat geometrisine göre nominal hız değeri

Şekil 3.3'teki N_{scu} çarkın özgül hızı 500 değeri kullanıldığında H basma yüksekliği ifadesini, Denklem 3.4'te yerine konularak sıvı gücü hesaplanmaktadır. Her kanat tasarımı N_{scu} değeri için bu işlemler tekrarlanmaktadır.

$$P_{su} = g Q H \rho \quad (3.4)$$

P_{su} : sıvı gücü (N/m^2),

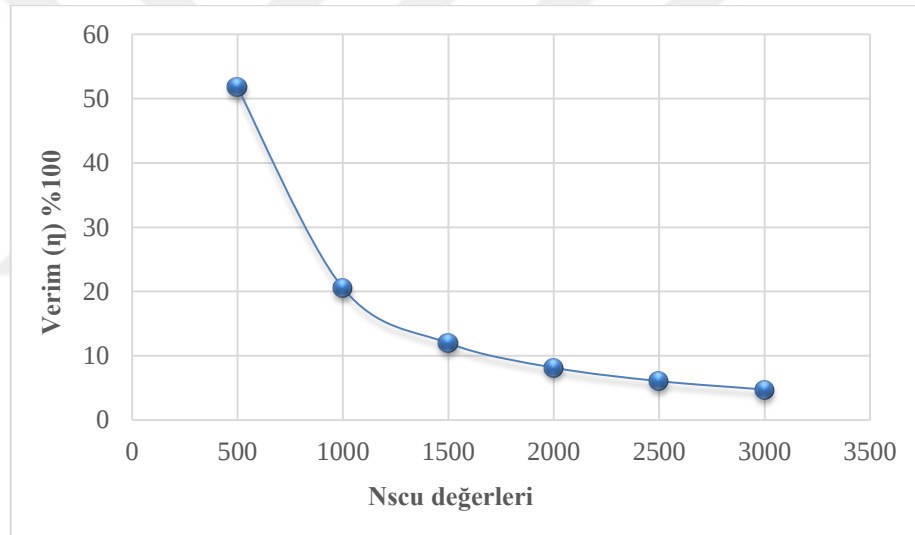
g : yerçekimi (m/s^2),

H : Basma yüksekliği (m)

Akışkan gücü ifadesi N_{scu} 500 değeri için 3.04 kW'lık bir değer hesaplanmıştır. Diğer N_{scu} değerleri için yapılan işlemler sonucunda bıçak kanat tasarımının N_{scu} değerleri 500 için verim %52 çıkmaktadır. Diğer kanat tasarımlarıyla karşılaştırmak için grafiği Şekil 3.4'te gösterilmiştir. Bu grafikte verim hesabı için Denklem 3.5 kullanılmıştır. Mil gücü için Çizelge 3.1'deki motor gücü 4.8 kW alınmıştır.

$$\eta = \left(\frac{p_{su}}{P_{mil}} \right) \times 100\% \quad (3.5)$$

Bu formülle birlikte çark tasarımıyla verim etkinliğini gösteren grafik Şekil 3.4'te gösterilmiştir.



Şekil 3. 4. Nominal hızlardaki rotor tasarımının verim eğrisi

Bu grafikten anlaşıldığı üzere işleme kabiliyeti ve seri üretim kolaylıkları için dikdörtgen kanat tasarımı daha elverişli olmaktadır. Düz bir pervane kanadı ile Francis tarzı pervane kanadı verimleri kıyaslandığında en iyi verim radyal tarzı kanat tasarımıdır. Nihai rotor tasarımı dikdörtgenel yapıda pervane geometrisine benzeyen, rotorun her iki tarafına simetrik radyal kanatlar tasarlanmıştır. Rotor, motor tahrik gücü ile hareket ederken suyun kanatlara teması ile kanatlara çarparak frenleme sağlayan su tanecikleri stator kapaklardaki ceplere yük iletimini en verimli şekilde sağlaması amaçlanmaktadır.

Rotor tasarımı her aşamada stator tasarım parametreleri göz önünde bulundurularak ortak bir tasarım düşünülmektedir. İdeal bir dinamometre için rotor tasarımında atalet momenti en aza indirilmelidir. 6.5 beygir gücünü sönümleyecek ve daha büyük güç sönümleme yelpazesi sunması istenen sulu fren rotorunun kanatları yapılan hesaplamalar ile düz kenarlı dikdörtgenel olduğu varsayılarak bir dikdörtgenel radyal kanat tasarımı düşünülmektedir. Bu aşamaya kadarki işlemler ile Datsu L200 motor gücünü sönümleyecek en az 100 mm yarıçapında rotor ve radyal kanat tasarımına karar verilmiştir.

Rotor yarıçapı 100 mm' den 250mm aralığında atalet moment hesabı belirlemek amacıyla tasarlanan rotor modeli için hacim işlemleri hesabı rotor yarıçapına göre kanat parametreleri orantılı ölçüler hesaba katılarak Denklem 3.6, 3,7 ve 3.8'e göre yapılmıştır (Banis, 2019).

Rotorun kanat modeli için disk hacmi;

$$V_{rotor} = \pi(r_2 - r_1)^2 K_r \quad (3.6)$$

r_2 : Rotorun dış yarıçapı

r_1 : Rotorun iç yarıçapı

K_r : Rotor kalınlığı

Dikdörtgenel kanat hacimleri için hesaplama;

$$V_{kanat} = A * K * (r_2 - r_1) * Z \quad (3.7)$$

A: kanat genişliği, K: Kanat kalınlığı, Z: kanat sayısına karşılık gelir.

Rotor merkezinde kalan simit hacim için Denklem 3.6 kullanılmaktadır. Denklem 3.8 toplam hacim gösterilmiştir.

$$V_{toplaml} = V_{kanat} + V_{rotor} + V_{simit} \quad (3.8)$$

Disk ve kanatların hacimleri toplamı 125 mm yarıçap için yaklaşık 835 002 mm³ 'lük bir değer çıkmaktadır. Bu değer kullanılarak kanat kütlesi hesabı için kullanılan alüminyum AA 5083 malzemenin Çizelge 3.2' deki fiziksel özelliklerinden yoğunluğu kullanılarak Denklem 3.9'ya göre hesaplama yapılır.

$$d = \frac{m}{V} \quad (3.9)$$

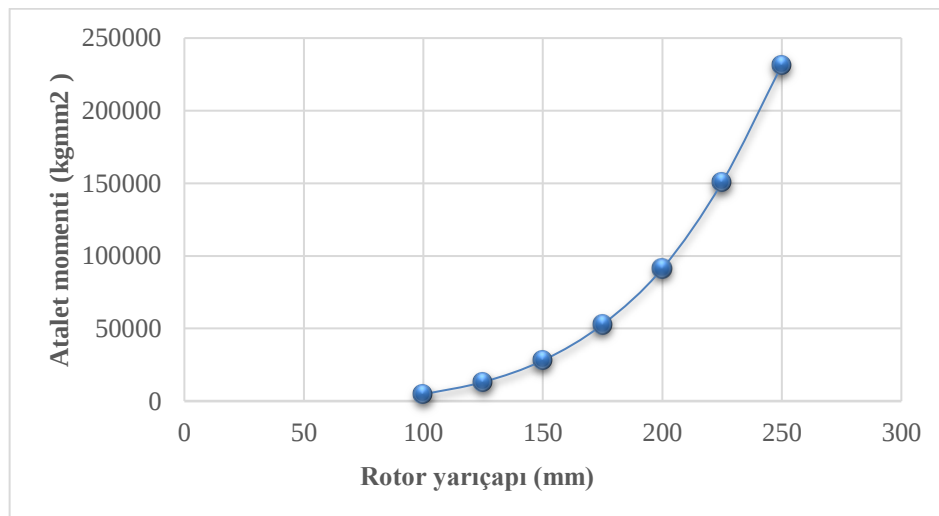
d: öz kütle, m: kütle, V: hacim

Kütle tespitinden sonra rotorun atalet momenti hesabı için denklem 3.10 kullanıldı.

$$I = \frac{1}{2} * m * (r_2 - r_1)^2 \quad (3.10)$$

I: Atalet momentini ifade eder, r₁ iç ve r₂ dış çap.

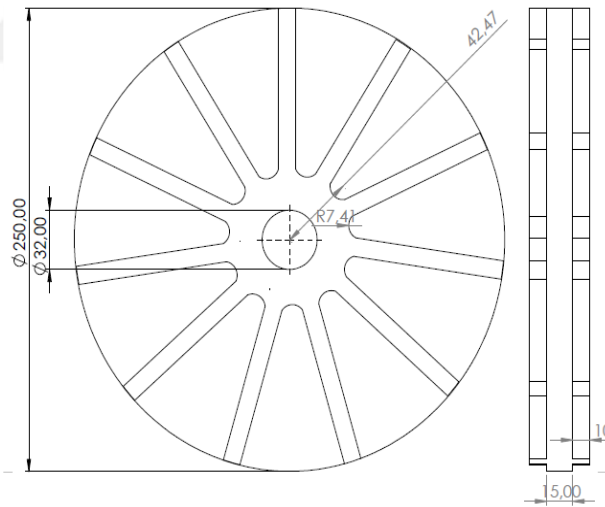
Rotor tasarımının atalet momenti hesabı kontrol edilerek en az eylemsizlik momenti istenmektedir. Yapılan hesaplamalar sonucunda Şekil 3.5'teki rotor yarıçapı tasarımlarına göre atalet momenti analizi grafiği elde edilmiştir.



Şekil 3. 5. Rotor yarıçapı ile atalet momenti analizi

Formüllerdeki işlemler gerçekleştirilerek oluşturulan grafiğe bakıldığında 100 mm'lik yarıçap tasarımı atalet momenti en azdır. Fakat maksimum güç sönümlene aralığı düşünülerek 125 mm'lik yarıçapa sahip çark tasarımı kullanıldığında 13 144 Kgmm²'lik bir atalet momentine sahiptir. Atalet momenti 231 456 Kgmm² olan 250 mm'lik bir rotor yarıçapı ile karşılaştırıldığında, 125 mm'lik tasarımda daha geniş güç sönümlene aralığını korurken ataleti en aza indirir.

Şekil 3.2'deki rotor yarıçapı güç grafiği ve Şekil 3.5'teki atalet analizi incelendiğinde 6.5 beygirlik motor gücünü sönümleyebilen 80 mm'lik yarıçap yerine hem Datsu L200 motor gücünü ölçebilen hem de daha geniş güç sönümlene aralığı sunan ve atalet momenti düşük olan 125 mm yarıçap tasarım için uygun görülmektedir. Rotor çapı 250 mm olacak şekilde belirlenmiştir. Bu çap gereksinimlerini karşılayacak mil boşluğu ve kanat tasarımı mukavemetli olacak şekilde dizayn edilmiştir (Banis, 2019). Şekil 3.6'da rotor yapısı teknik çizimi gösterilmektedir.



Şekil 3. 6. Rotor tasarım ölçüleri

Mil tahriki ile rotor dönerken sabit kalacak şekilde simetrik iki adet stator kapaklar tasarlanmıştır. Su dinamometre içine verilip ilk frenleme sağlanana kadar stator kesinlikle hareket etmeyecek şekilde dizayn edilmiştir. Eğer stator frenleme yapmadan rotor ile hareket ederse tork ölçüm hassasiyetini azaltmaktadır.

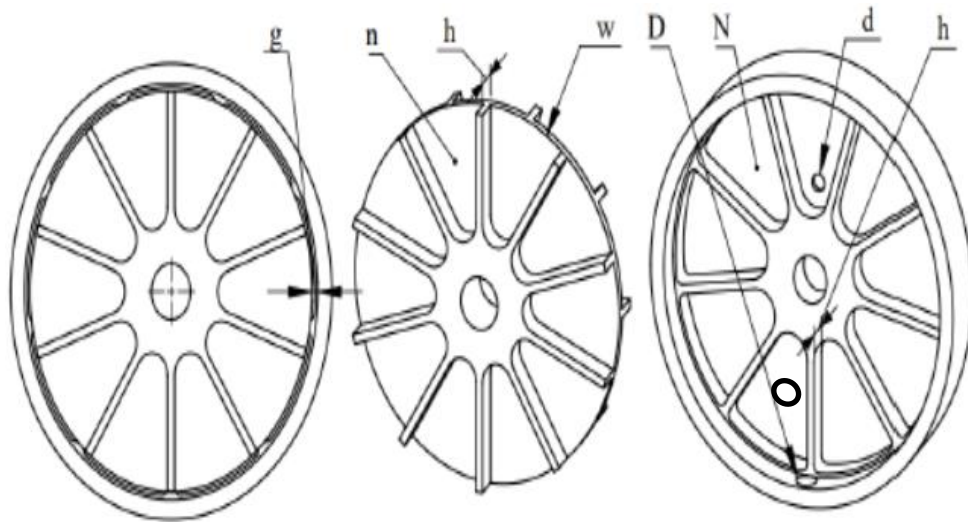
Motor gücünün arttırılması devir sayısı ve moment artışına sebep olmaktadır. Denklem 3.11’de gösterildiği gibi moment ve devir sayısı ile güç doğru orantılıdır (İnan ve Esin., 1983).

$$P = \frac{2 \pi n}{60} M \quad (3.11)$$

M: moment, n: devir sayısı, P: güç

Rotor hareket ederken stator kapakların sabit kalması için salmastra kutusuna ihtiyaç duyulmuştur. Mukavemet, devir sayısı ve mil çapına göre salmastra kutusuna uygun bilye seçilmiştir. Her iki stator merkezi ile salmastra kutusu bilye merkezleri aynı ekseninde mil tahriki ile hareket edecek şekilde salmastra kutusu montaj delikleri tasarıma eklenmiştir.

Rotor ile montajı yapılan mil, aynı ekseninde aynı yönde rotor ile dönecek şekilde tasarımı sağlanmaktadır. Stator kapaklarının iç merkezinde bilyelere su çıkışını önleyecek keçe kullanılmaktadır. Statorların mil ile teması sadece bu keçeler ile olacak şekilde dizayn edilmiştir. Stator simetrik kapakların birbirine montajı için stator içi kanat uçlarına çift taraflı cıvata delikleri tasarıma eklenmiştir. Stator rotor iç tasarım parametreleri, gücü sönümleme yeteneğini artıracak şekilde belirlenmiştir (Banis, 2019).



Şekil 3. 7. Rotor ve Stator tasarım çizimi (Banis 2019)

Bu çizimde;

g: rotor stator arası mesafe; 1 mm.

n: rotor cep sayısı; 11 adet

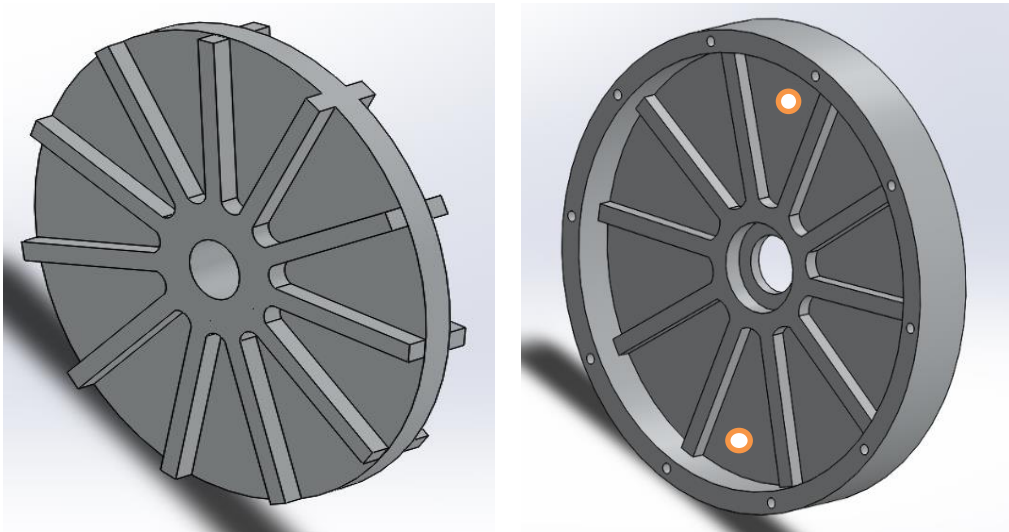
h: rotor stator kanat genişliği; 10 mm

w: rotor çapı; 250 mm

d, D: su giriş ve çıkış delikleri

N: stator ceplerinin sayısı; 10

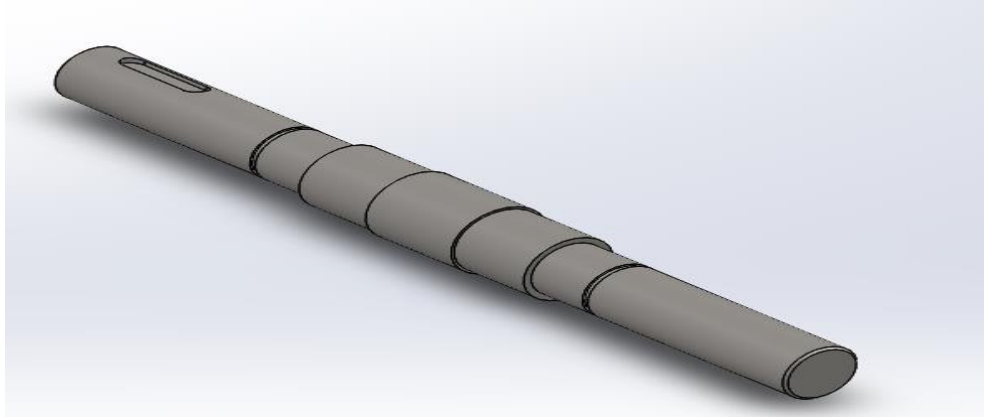
Grafiklerdeki veriler matematiksel işlemler baz alınarak rotor çapı 250 mm olacak ve kanatlar suya çarparak frenleme yapacak şekilde cidar kalınlığı belirlenerek kanat tasarımı, mil mukavemet merkezinden sonra rotor sonuna kadar devam edecek kanatlar Şekil 3.8’de gösterildiği gibi dizayn edilmiştir. Şekil 3.8’de stator üzerinde gösterilen delikler, rotora frenleme sağlayan suyun depolanma yapmadan dinamometre kasasındaki stator çıkış deliklerinden rahat bir şekilde çıkışı sağlanması için tasarlanmıştır. Rotor yapısı tasarımında dışa doğru çıkıntı kanatlar bırakılmıştır. Rotor ve Stator her iki malzeme tasarımı bir arada düşünülerek imalata hazır tasarım çizimleri Şekil 3.8’de gösterildiği gibi üç boyutlu çizimi gösterilmiştir.



Şekil 3. 8. Rotor ve stator kapak 3D Solidworks tasarımı

3.2.2. Mil tasarımı

Mil, dinamometrenin tam merkezinde en az Datsu L200 motorunun maksimum devir ve maksimum tork verilerine göre yaklaşık 3600 d/d 'da ve 14 Nm tork yüklenmesiyle rotor dönerken içerisine su verilmesiyle oluşacak frenleme torkuna mukavemet sağlayacak şekilde tasarlanmıştır. Su ile teması olacağından imalatı için paslanmaz malzeme kullanılmıştır. Mil tasarımında rotor bağlantısı merkezde rotor mile oturacak şekilde çap ve genişlik bırakılmıştır. Stator kapaklar, stator ve rotor cidar kalınlıklarına göre ayarlanmıştır. Mil üzerinde mil dönerken stator kapakların dönmemesi için salmastra kutuları içerisinde bilye yatakları milin iki tarafında dizayn edilmiştir. Salmastra kutusu bitiminde faturalar açılmıştır. Burada rulmanların, rotor ve statorların sağa sola hareketini, titreşim ve salgıyı önlemek için milde açılan faturalara segman geçecek şekilde tasarlanmıştır. Milin her iki tarafında motor mili montajı ve ölçüm cihazları için montaj mesafeleri bırakılmıştır. Mil imalat malzemesi olarak mukavemet, paslanmazlık, dayanım ve ekonomik olması kriterlerine göre AISI 304 paslanmaz malzeme kullanılmıştır. Şekil 3.9' da mil tasarım çizimi gösterilmiştir.

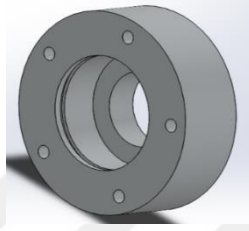


Şekil 3. 9. Mil 3D Solidworks tasarım çizimi

3.2.3. Salmastra kutusu tasarımı

Mile sıkı geçme ile montaj olacak şekilde rulman yatak bilye çapına göre salmastra kutu iç çapı belirlenmiştir. Salmastra kutusu dış çapı, her iki kutu simetrik olacak şekilde ve içerisinde dönen mil ve bilyenin 3600 d/d' daki yüklenmesi hesaplanmaktadır.

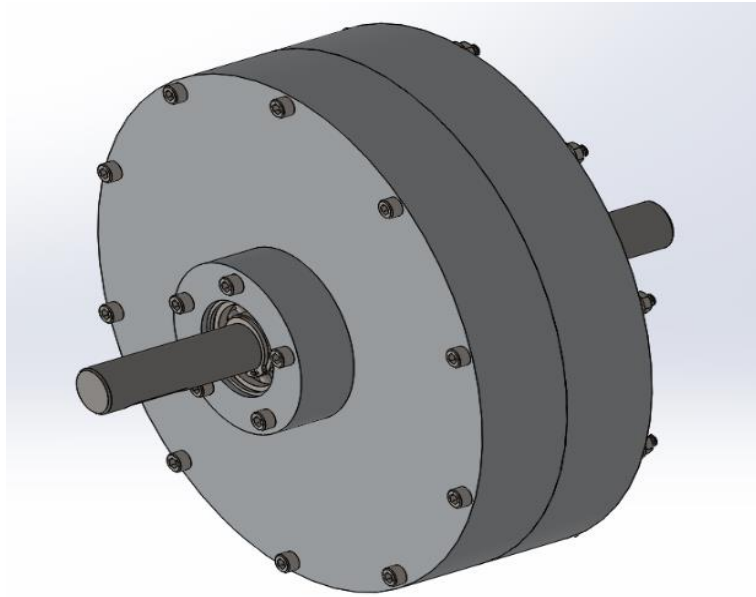
Kutu üzerine stator içersine girmeyecek, stator cidar kalınlığını geçmeyecek ve kutuyu statora mukavemetli şekilde montajı sağlanacak şekilde beş adet cıvata deliği tasarıma eklenmiştir. şekil 3.10’da gösterilen salmastra kutusu stator kapakların her iki tarafından montajı yapılacak ve merkezinden mil tahriki ile hareket edecek bilyelere göre tasarımı yapılmıştır. Bu rulmanlar mil dönerken stator kapakların dönmesini engellemektedir. Stator kapaklar sadece içerisindeki sıvının rotoru frenlemesiyle hareket etmektedir.



şekil 3. 10. Salmastra kutusu 3D Solidworks tasarım izimi

3.2.4. Hidrolik dinamometre 3D Solidworks tasarım izimi

Hidrolik dinamometrenin montaj parçaları, tasarım parametrelerine göre Solidworks programında montajlanarak çizilmiştir. Çizim esnasında parçaların mekanik montajı göz önünde bulundurulmuştur. şekil 3.11’de Solidworks izimi gösterilmektedir



şekil 3. 11. Hidrolik dinamometre 3D Solidworks tasarım izimi

3.2.5. İmalat işlemleri

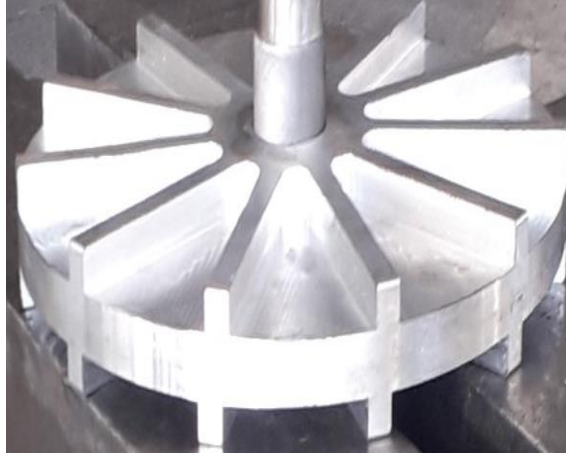
Projedeki tasarım ölçülerine göre çeşitli torna işlemlerinden Şekil 3.12’de gösterilen AA 5083 alüminyum bloktan, Şekil 3.14’te gösterilen rotor ve Şekil 3.15’te gösterilen stator mekanik işlemlerden geçirilerek imalatı yapılmıştır. Rotor imalatı sonrasında 3600 d/d’ da döndürerek salgı ve titreşim kontrolü yapılmıştır. Şekil 3.13’te AISI 304 paslanmaz çelik malzemeden torna işlemlerden geçirilerek Şekil 3.16’daki imalatı yapılmış mil ve salmastra kutusu gösterilmiştir.



Şekil 3. 12. Rotor ve stator için AA 5083



Şekil 3. 13. Mil ve salmastra kutusu için AISI 304 paslanmaz çelik bloklar

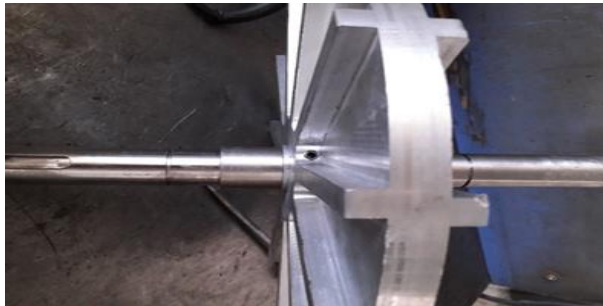


Şekil 3. 14. İmalatı yapılmış alüminyum rotor



Şekil 3. 15. İmalatı yapılmış alüminyum stator

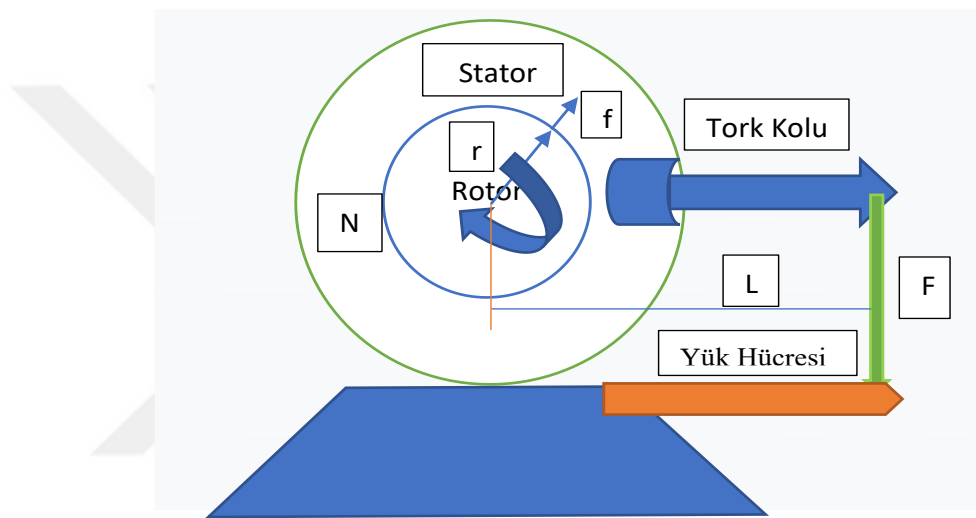
Stator kapakların imalatından sonra su giriş çıkışları için alt ve üst uygun olan noktalardan su giriş çıkış delikleri açılmıştır.



Şekil 3. 16. İmalatı yapılmış mil ve salmastra kutusu

3.2.6. Tork kolu tasarımı ve imalatı

Tork kolu; stator kapakların herhangi birine ya da salmastra kutusuna montaj edilebilir. 30 cm uzunlukta kendisine dik açıda yük hücreğine montajı olacak şekilde tasarlanmıştır. Çalışmada tork kolunu stator kapakların güç ölçer tarafına en yakın olan montaj deliklerine denk gelecek şekilde montajı dizayn edilmiştir. Mil merkezine 90 derece açı ve yük hücreğine 90 derece açı olacak şekilde tasarlanmıştır.



Şekil 3. 17. Tork kolu tasarım çizimi

Hidrolik dinamometre motorun mili tahrik etmesi ile yüklenirken, rotora bağlı olan mili f kuvvetini sönümleyebilmek için her bir turda $2\pi r$ kadar çevresel hareket etmektedir. Bu harekette yapılan iş Denklem 3.12’de gösterilmiştir.

$$W_m = 2\pi r f \quad (3.12)$$

Dönme momenti ve hidrolik dinamometre dışında oluşan moment Denklem 3.13'te dengelenmiştir.

$$F L = f r \quad F = m. g \quad (3.13)$$

Bu denklikten yola çıkarak bir devirde yapılan iş, Denklem 3.14'te gösterilmektedir.

$$W_m = 2 \pi L F \quad (3.14)$$

Motor birim zamanda belli bir devir yapmaktadır bu devir n ile ifade edilmekte ve güç kavramı matematiksel olarak Denklem 3.15'te gösterilmiştir.

$$P = W_{motor} \cdot n \quad (3.15)$$

Güç denklemine tork (T) ifadesi olarak F.R çarpımı Denklem 3.16'da eklenirse:

$$P = 2 \pi T n/60 , \quad T = F \cdot L = m \cdot g \cdot L \quad (3.16)$$

Güç ifadesine karşılık gelen denklemin son hali bu şekilde olmaktadır. Denklemlerdeki eşitliklerde;

W_m : İş, ($\text{kgm}^2/\text{s}^2=\text{joule}$)

r: rotor yarı çapı (m)

P: Güç, ($\text{watt}=\text{j/s}$)

L: Tork kolunun mil merkezine uzunluğu, (m)

F: Kuvvet, (Newton)

n: Motor hız (d/s)

T: Tork (Nm)

m: kütle (kg)

g: Yer çekim ivmesi ($9,80665 \text{ m/s}^2$)

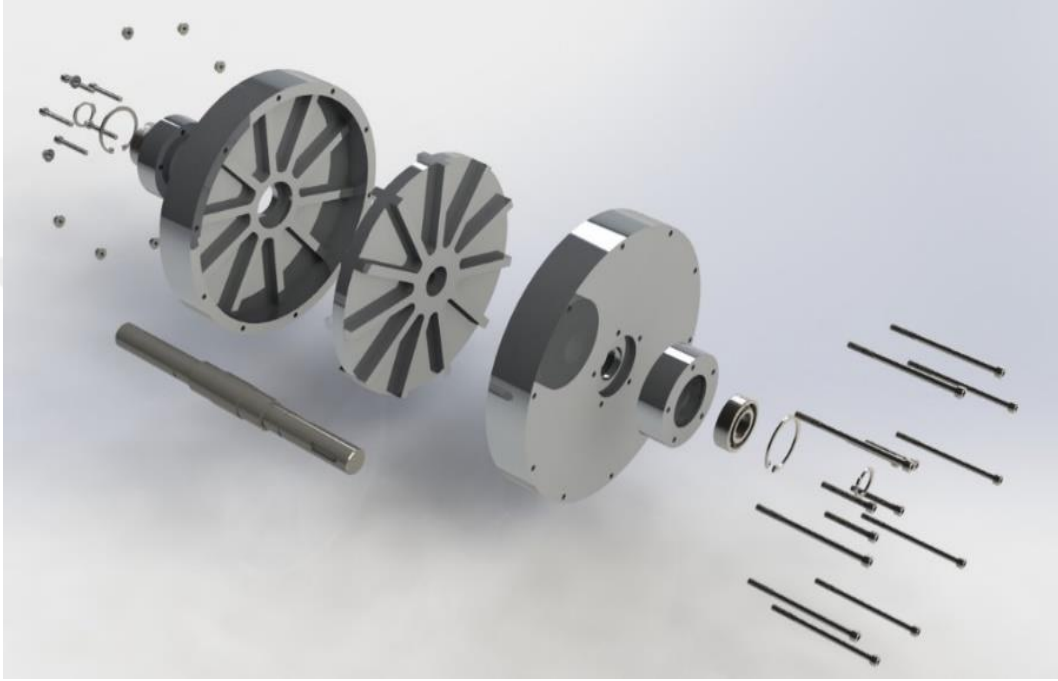
Tork kolu, hidrolik dinamometrenin mekanik veri algılayıcısı olarak ifade edilmektedir. Şekil 3.18'de gösterilen tork kolu sac malzemeden torna freze işlemleri ile imal edilmiştir.



Şekil 3. 18. İmalı gerçekleştirilmiş tork kolu

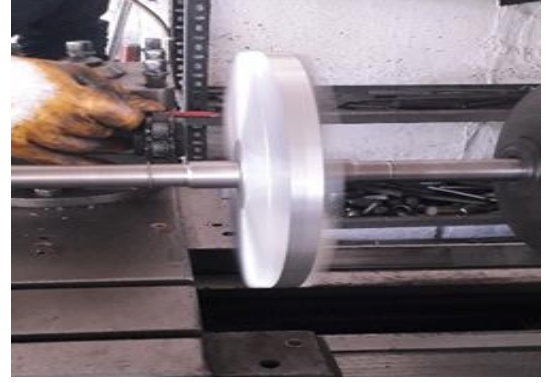
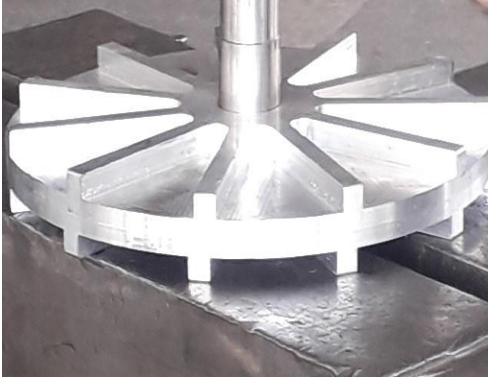
3.2.7. İmalatı yapılan parçaların montaj aşamaları

İmalatı yapılan hidrolik dinamometre bileşenleri ve gerekli mekanik montaj malzemeleri Şekil 3.19’da gösterilmektedir.



Şekil 3. 19. Hidrolik dinamometre montaj bileşenleri 3D Solidworks çizimi

İmalatı yapılan mil ve rotor öncelikle sıkı geçme ile montajı gerçekleştirilmiştir. Şekil 3.20’de gösterilen mil ve rotor montajında; Rotoru su girişinden sonra frenleme yüküne dayanımını artırmak için setskur cıvata ile rotor cebinin mil ile birleşim merkezinden mile geçiş yapacak şekilde vidalanarak tork yüklerine karşı mukavemeti artırılmıştır. Salgı ya da titreşimin olması rotorun dönüşünü ve dönerken keçelere ve statora sürtünmesini dolayısıyla verilerin hassaslığını engelleyeceği bilinmektedir. Mil ve rotor montajı Şekil 3.20’de gösterilmiştir. Salgı ve titreşim kontrolü gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3. 20. Milin rotora montajı ile titreşim ve salgı kontrolü

Simetrik olarak imalatı yapılan iki adet salmastra kutusuna bilyelerin montajı gerçekleştirilmiştir. Bilyelerin yatağında hareket etmemesi için segmanlar kullanılarak sabitlenmiştir. Bilyelerin montajından sonra salmastra kutuları stator kapaklar üzerine Şekil 3.21’ de gösterildiği gibi beş adet cıvata kullanılarak tespiti gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3. 21. Statora montajlanmış salmastra kutusu

Stator kapakların içine bilyelere su sızmalarını engellemek amacıyla iki adet suptex marka keçeler Şekil 3.22’de gösterildiği gibi stator kapak merkezine yerleştirilmiştir.



Şekil 3. 22. Sıvı sızdırmaz keçe ve statora montajı

Simetrik iki adet stator kapakların birbirine montaj kesitlerinden su sızmasını engellemek üzere, stator kapak birleşim kesitlerinin kalınlığı ölçüsünde Şekil 3.23'te gösterilen lastik conta stator ölçülerine göre kesilmiştir.



Şekil 3. 23. Stator kapakları arasına lastik conta

Salgı ve titreşimi kontrol edilen mil ve rotor montajına, iki adet salmastra kutuları simetrik olarak montajı sağlanmıştır. Şekil 3.23'te stator kapakları merkezine keçeleri konularak ve iki stator kapak arasına conta yerleştirilmiştir. Stator kapaklar, su giriş delikleri üste çıkış delikleri alta gelecek şekilde çift taraftan somunlu cıvatalar ile sıkıştırılmıştır. Su giriş ve çıkış için delikli nipeller kendir ve sızdırmazlık sıvısı ile tespit edilmiştir. Şekil 3.24'te tork kolu hariç montajı yapılmış dinamometre gösterilmektedir.



Şekil 3. 24. Montajı gerçekleştirilen hidrolik dinamometre

Tork kolu, hidrolik dinamometreye Şekil 3.25’te gösterildiği gibi su girişi üste, tork kolu mil merkeziyle aynı eksende olacak şekilde sabitlenmiştir. Tüm bu montaj aşamalarından sonra mil döndürülerek rahat dönme sağlaması tekrar kontrol edilmiştir.



Şekil 3. 25. Dinamometreye tork kolu montajı

3.2.8. Rulman yataklar

Mekanik olarak dönen sistemlerin merkezinde bir yatak bulunmaktadır. Sanayide kullanım alanı en geniş mekanik yatak sistemleri rulman yataklardır. Rulmanlar en çok tercih edilen makina elemanlarıdır. Dönen makine elemanlarında birbirine sürtünme kayıplarını en aza indiren rulman yataklar konulduğu sistemin verim kayıplarını en aza indirmektedir. Yapılan sulu frenli dinamometre milini tahrik edecek Datsu L200 motorunun devir gücüne göre belirlenen rulman deney sehpası üzerine montajı için Şekil 3.26’daki rulman yatak çizelgesine bakılarak uygun olan seçilmiştir.

Unit No.	d	h	a	e	b	s1	s2	g	w	t	B	n	Bolt Size	Bearing No.	Housing No.	Weight
UCP201	12	30.2	127	95	38	13	19	14	62	44.5	31	12.7	M10	UC201	P203	0.09
UCP202	15	30.2	127	95	38	13	19	14	62	44.5	31	12.7	M10	UC202	P203	0.09
UCP203	17	30.2	127	95	38	13	19	14	62	44.5	31	12.7	M10	UC203	P203	0.09
UCP204	20	30.3	127	95	38	13	19	15	71	48	34.1	14.3	M10	UC204	P204	0.09
UCP205	25	38.5	140	105	38	13	19	15	71	48	34.1	14.3	M10	UC205	P205	0.01
UCP206	30	42.9	165	121	48	17	20	17	84	53	38.1	15.9	M14	UC206	P206	1.24
UCP207	35	47.6	167	127	48	17	20	18	93	59.5	42.9	17.5	M14	UC207	P207	1.58
UCP208	40	49.2	184	137	54	17	20	18	100	69	49.2	19	M14	UC208	P208	1.89

Şekil 3. 26. Rulman yatak ve rulman seçim diyagramı (Anonim, 2021)

Hidrolik dinamometre milinin her iki tarafına motorun tahrik ve dönme gücüne mukavemet sağlayacak rulman yatakları Şekil 3.27’de gösterildiği gibi montajı gerçekleştirildi.



Şekil 3. 27. Rulman yataklarla hidrolik dinamometre montajı

3.2.9. Servo kaplin

Hareketli makine elemanlarını birbirine güç iletimini sorunsuz yapması için imalat ve montaj sanayisinde ve benzeri birçok alanda kullanımı olan makine elamanıdır. Güç iletimi esnasında oluşacak titreşimleri sönümleyici etki yapması için iki kaplin bağlantısı arasında titreşim lastiği kullanılmıştır. Kaplinler iki ya da üç parçalı olarak ya da ihtiyaca göre çok parçalı üretilmektedirler. Montajı ile makinada rijit bir görünüm sağlamaktadırlar. Kaplin seçimi ve montajı yapılacak işlemin sonucunda verim alınması için çok önem arz etmektedir. Yanlış kaplin seçimi mekanizmayı çalışma esnasında mukavemet göstermez ise dezenformasyona uğratarak ekonomik güçlüklerle diğer malzemelerin bozulmasına sebep olmaktadır (Vedat, 2015). Hidrolik dinamometre montaj aşamasında motor ve tork sensörü bağlantısında kaplin seçimi bağlantı yapılacak mil çapları ve maksimum devir sayısına göre Şekil 3.28’de gösterilen GS24 tipi kaplin seçilmiştir.

BOŞLUKSUZ SERVO KAPLINLER						
						
KAPLIN	d1-d2	D	L	I ₁ / I ₂	Tork Nm	Maks.D evir
GS 09	4-9	20	30	10	5	22500
GS 12	4-12	25	34	11	9	15000
GS 14	6-14	30	35	11	12.5	12700
GS 19	6-24	40	66	25	17	9550
GS 24	8-28	55	75	30	60	6950
GS 28	10-38	65	90	35	160	5850
GS 38	12-45	80	114	45	325	4750
GS 42	14-55	95	126	50	450	4000
GS 48	15-62	105	140	56	525	3600

Şekil 3. 28. Servo kaplin parametreleri (Anonim, 2021)

3.2.10. Motor titreşim takozu

Motorun bir blok veya sehpa üzerine montajı sırasında motor çalışırken oluşan sarsıntı ve titreşim parametrelerini sönmüleyici etkisi için üretilmiştir. Şekil 3.29’da görülen takoz montaj işleminde kullanmak üzere seçilmiştir.



Şekil 3. 29. Motor titreşim takozu

3.2.11. Tork sensörü

Açısal olarak konum değişimi ya da uzama algılayıcıları ile şaft üzerindeki burulmaların ölçümü bize tork ifadesini vermektedir. Yüklenen güç miktarına göre şafttaki burulma olarak da ifade edilmektedir. Dönen milin üzerindeki algılayıcılar verilerini elektronik işleme kartıyla veri gönderimi yapmaktadırlar. Tork sensörleri; şaft eksenine 45 derecelik açı ile yerleştirilen gerinim ölçerler veya geçirgenlik farkları ile bobinden akan voltajı tespit ederek çalışmaktadırlar (Munack ve ark. 2006).

Motor test düzeneğinde tork ölçüm işlemi, güç üreten motor ile güç tüketen hidrolik dinamometre arasına seri olarak bağlanmakta ve Tork sensörü 0-100 Nm arasında, saniyede 1000 ölçüm yapmakta ve 0-5V arasında lineer olarak çıkış vermektedir.



Şekil 3. 30. Tork sensörü ve veri kablosu

3.2.12. Devir sensörü ve dinamometreye bağlantısı

Devir sensörü dönerek hareket eden bir milin dakikadaki devir sayısını ölçen sistemlerdir. Devir sensöründen veri almak için öncelikle hidrolik dinamometre çıkış miline mıknatıs yerleştirilmektedir. Sabitlenen mıknatısa veri alınabilecek uzaklıkta devir sensörü montajı gerçekleştirilmektedir. El ile mil çevrilerek devir sensörünün çalışması kontrol edilmektedir. Şekil 3.31’de gösterilen NJK-5002J devir sensörünün Çizelge 3.8’de teknik özellikleri gösterilmiştir. Devir sensörü deney sırasında kullanılmaktadır.



Şekil 3. 31. Kullanılan devir sensörü ve dinamometre miline bağlantısı

Çizelge 3.8. Kullanılan devir sensörü teknik özellikleri

Model	NJK-5002C
Giriş Voltajı	6-36 volt (d.c)
Çıkış Akımı	150 Ma
Çıkış Türü	normal 3 kablo
Algılama Aralığı	0-10 mm (+, - 10%)
Algılama Malzemesi	demir, çelik alaşımı
Çalışma Frekansı	300 kHz
Kablo Uzunluğu	1100mm
Sensör çapı	12mmx40mm

3.2.13. Yük hücresi ve tork kolu bağlantı mafsalı

Tork kolu ile montajı yapılan güç ölçer arasında dik açıdaki boşluğa, sulu frenli dinamometrenin yüklenmesi ile bu fren gücünü yük hücresine iletilmesi için gerekli mukavemette tasarım ve imalatı yapılan mafsal Şekil 3.32’te gösterilmektedir.

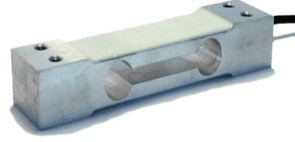


Şekil 3. 32 Yük hücresi ve tork kolu bağlantı mafsalı

3.2.14. Yük hücresi ve yük hücresinden veri alınması

Kuvvet, ağırlık, basınç, moment ve gerginlik benzeri çeşitli verilerin algılanmasında kullanılan cihazlardır. Yük hücresinin veri almasını sağlayan gerinimin ölçümüdür (Yılmaz, 2010). Aynı zamanda gerilimölçer olarak da adlandırılırlar. Bu teknolojik cihazlar düşük ölçüm hataları, yüksek hassasiyet sağlamaktadırlar. S tipi yük hücresi, Lama tipi yük hücresi, Baskı tipi yük hücresi ve Platform tipi yük hücresi çeşitleri vardır. Platform tipi yük hücrelerinin yapısı çeliktir. Piyasa koşullarında fiyatı ekonomiktir. Tasarımı basit ve güç yelpazesi oldukça geniştir. Kuvvet güç ölçere uygulandığında dezenformasyona maruz kalan metal gövde wheatstone köprüsü üzerinde gerinim meydana getirmektedir. Gerinim sinyalinin ağırlık ve kuvvet verisine dönüşmesi analog-dijital dönüştürücüler veya sinyal kuvvetlendirici ile ifade edilmektedir (Yaşar, 2020).

Şekil 3.33'te gösterilen Eşit marka 20 kg kapasiteli SPA20 Platform tipi yük hücresi kullanımı tercih edilmiştir. Çizelge 3.9' da yük hücresi teknik özellikleri gösterilmektedir.



Şekil 3. 33 Platform tipi yük hücresi ve dinamometre bağlantısı

Çizelge 3.9. Kullanılan yük hücresinin teknik özellikleri

	Birim	Değer
Maksimum kapasite	kg	20
Toplam hata	%	± 0.006
Kazanç	mV/V	$2 \pm 10\%$
Giriş direnci	Ω	405 ± 10
Çıkış direnci	Ω	350 ± 3.5
Çalışma sıcaklığı aralığı	$^{\circ}\text{C}$	$-20 - +60^{\circ}\text{C}$
Yük Hücresi malzemesi		Alüminyum
Ağırlık	kg	0.17

Hidrolik dinamometre stator kapağından dinamometre mil merkezine paralel şekilde montajı yapılan tork kolunun ucu ile aynı y eksenini 90 derecelik açı yapacak şekilde paylaşılan yük hücresinin sabit tarafı sehpa üzerine kaynatılmış sac levhaya tespiti gerçekleştirilmiştir. Tork kolunun ucu ile yük hücresi baskı yeri ucu arasındaki mesafeye göre ayarlı mafsallı tasarımı ve imalatı yapılmıştır.

3.2.15. Hidrolik dinamometre, motor, tork sensörü ve yük hücresi montajı

Aynı ekseninde titreşim ve sarsıntılar minimize edilerek yük aktarımı lineer olacak şekilde motor, dinamometre, tork sensörü ve güç ölçer montajı için bu ağırlıkları taşıyacak, sarsıntıyı sönümleyecek mukavemette ve profil ayakları ucunda plastik takozlar ile yere basan sehpa profil demir malzemelerin kaynak işlemi ile imal edilmiştir. Sehpa üzerine öncelikle rulmanları takılmış hidrolik dinamometre, motor ve tork sensörü milleriyle aynı ekseninde olacak şekilde rulman yataklardan sac levha bükülerek de montajı kolay olması için somunlu cıvatalarla sehpa üzerine tespit edilmiştir. Dinamometre mili eksenini ile aynı ekseninde olacak şekilde tork sensörü montajı da aynı şekilde yapılmıştır. Datsu L200 motor montajı sarsıntıları minimize edecek motor takozları ile mil eksenlerinin aynı hizada olmasına dikkat edilerek somunlu cıvatalarla montajı gerçekleştirilmiştir. Millerin birbirine montajı GS24 kaplinler ile yapılmıştır. Motor mili çapı, tork sensörü mili çapı ve dinamometre mili çapı ölçüleri dikkate alınarak seçilen GS24 kaplinin bir tarafı motor miline diğer tarafı tork sensörü miline sıkı olarak geçecek şekilde tornada işlenmiştir. Rulman yataklar sehpa montaj cıvataları ile tespit edilmiştir. Tork sensörü mili ve dinamometre mili aynı ekseninde kaplinle montajı yapılmıştır. Tork kolunun hemen altına tork kolu dinamometre merkezi ile paralel olacak şekilde yük hücresi tespit edilmiştir. Yapılan montaj işlemleri sonucu Şekil 3.34'te gösterilmiştir.



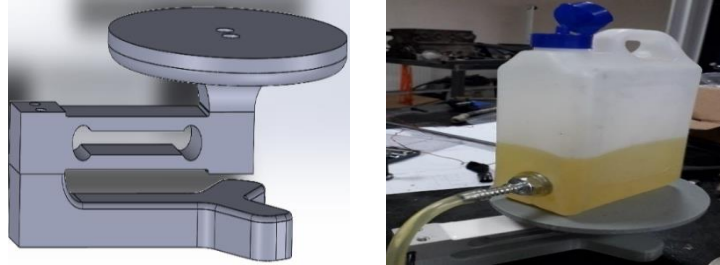
Şekil 3. 34 Dinamometre, motor, tork sensörü ve yük hücresi montajlı deney sehpası

Su giriş çıkışı için su deposundan çıkan suyu önce vanaya vanadan sonra dinamometrenin giriş nipellerine serum hortumla kelepçe ile montajı yapılmıştır. Su çıkışı, delikli nipeller ucuna kelepçelenen serum hortumlarla sağlanmıştır.

3.2.16. Tüketilen özgül yakıt hesabı için yakıt ölçer tasarımı

Motora verilen enerji yakıttan elde edilmektedir. Motorun bir saatte tükettiği yakıt miktarı “saatlik yakıt tüketimi” ile ifade edilmekte olup ve B (g/h) ile gösterilmektedir. Bir kW veya bir BG motor gücü (P_e) için, bir saatte tüketilen yakıt miktarı ise özgül yakıt tüketimi ve b_e (g/kWh) ile gösterilmektedir. Özgül yakıt tüketimi verilerini ölçmek Şekil 3.35’teki 3D yazıcıda imal edilmiş tartı ve üzerine direk motora bağlanacak yakıt kabı gösterilmektedir. Özgül yakıt tüketimi Denklem 3.17’de gösterilen formül ile ifade edilmektedir.

$$b_e = \frac{B}{P_e} \quad (3.17)$$

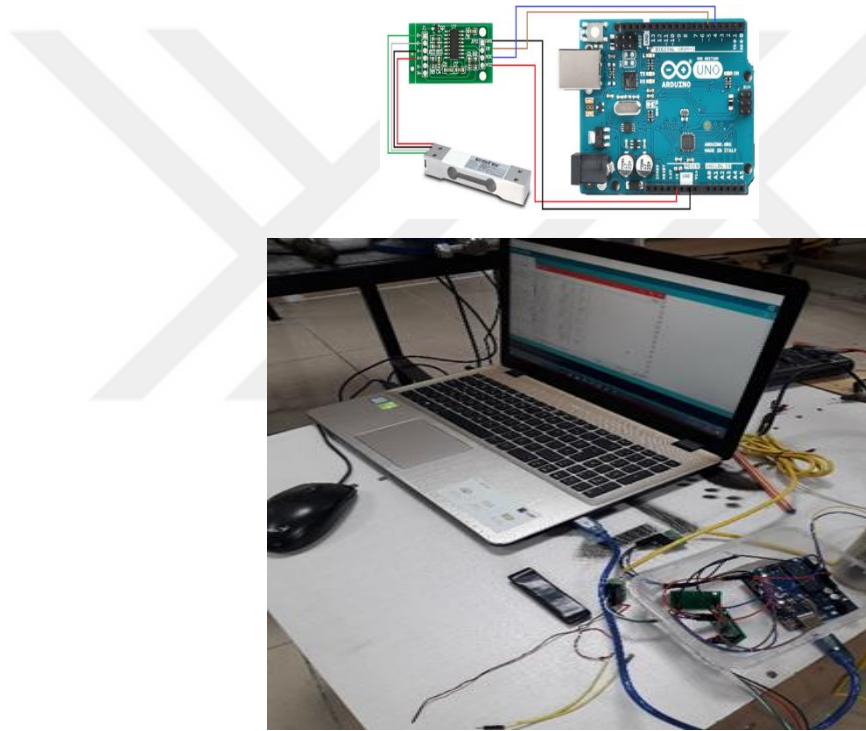


Şekil 3. 35 Özgül yakıt tüketimi terazisi 3d tasarım görüntüsü ve yakıt kabı

3.2.17. Arduno Uno mikrodnetleyici kartı

Arduino Uno ATmega328 mikrodnetleyici içeren Arduino firmasına ait bir karttır. Arduino 'nun en yaygın kullanılan mikrodnetleyici kartı olduğu söylenebilir. Arduino Uno 'nun ilk modelinden sonra Arduino Uno R2, Arduino Uno SMD ve son olarak Arduino Uno R3 çıkmıştır. Arduino 'nun kardeş markası olan Genuino markasını taşıyan Genuino Uno kartı ile tamamen aynı özelliklere sahiptir. Bu kart yardımıyla üzerindeki mikrodnetleyicinin kullanımı kolaylaştırılmıştır.

Kartın üzerinde aynı zamanda programlayıcı bulunmaktadır. Mikrodenetleyiciyi kart üzerinden ayırmadan kart üzerindeki giriş çıkış pin bağlantılarını kullanarak kolaylıkla devreler kurulabilmektedir. Üzerindeki analog giriş pinlerinden analog sinyaller kartın yapısında bulunan 10 bit çözünürlüğe sahip ADC yardımıyla sayısal olarak dönüştürülebilmektedir. 10 bit çözünürlük analog girişleri $2^{10} = 1024$ adet çıkış üretmek için sınırlandırmaktadır. Kartın ayrıca kontrol yada veri girişi amaçlı dijital giriş çıkış pinleri de bulunmaktadır. Şekil 3.36’da Arduino mikrodeneleyici kartının bilgisayara bağlantısı gösterilmektedir.

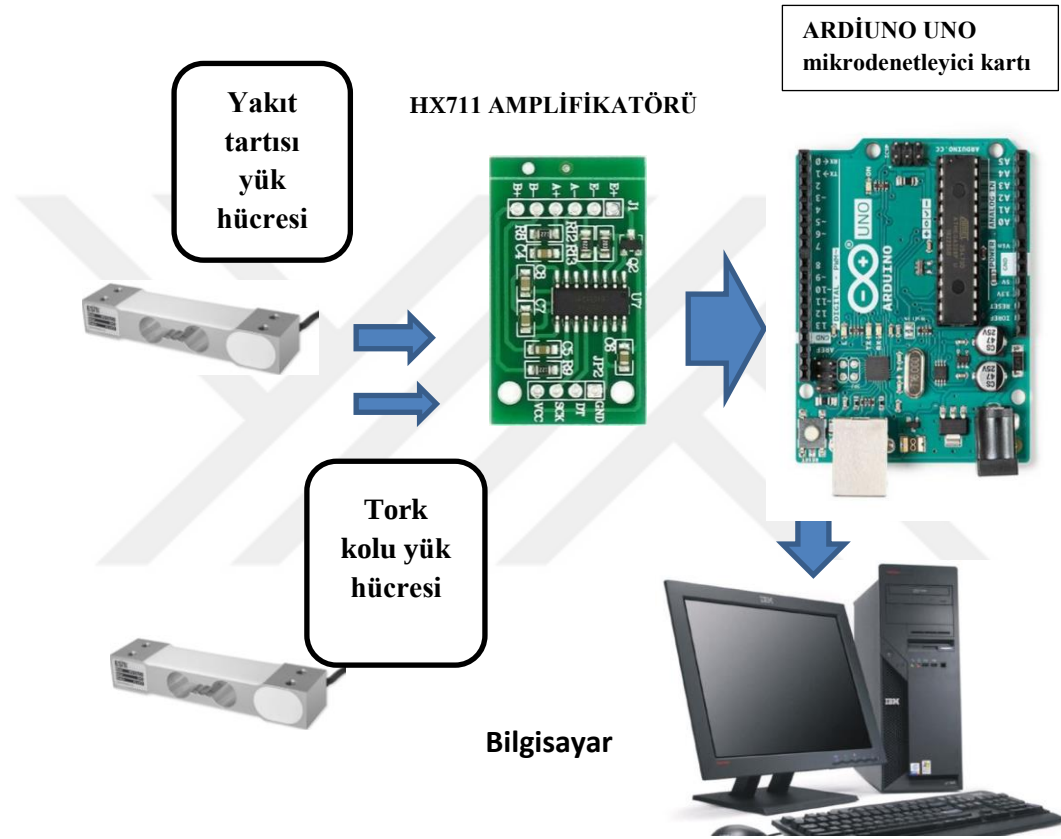


Şekil 3. 36 Arduino mikrodeneleyici kartı, yük hücresi ve bilgisayar bağlantısı

3.2.18. Yük hücresinin amplifikatörle mikrodeneleyici kartına bağlantısı

HX711 yapısında bulunan ADC’nin çözünürlüğü 24 bit olup yenilenme frekansı 80Hz’dir. Çalışma gerilimi 5V ve çalışma akımı 10 mA değerindedir. Modül ayrıca yapısında bulunan sinyal iyileştirme bileşenleri yardımıyla yük hücresinden gelen sinyali filtreler, yükseltir ve mikrodeneleyiciye iletir. HX711 Yük Hücresi Amplifikatörü yük hücresinden gelen beş kablo ile çalışmaktadır (Demiröz, 2021).

Yük hücrelerinin sağladığı gerilim verileri HX711 ADC amplifikatör kart modülü ile sayısal veriler elde edilir. Bu veriler Arduino Uno kartında gram değerine dönüştürülür (Demiröz, 2021). Yakıt tartısı yük hücresi ve tork kolu yük hücresinin amplifikatör vasıtasıyla arduino mikrodenetleyici kartına bağlantısı şematik olarak Şekil 3.37’de gösterilmiştir.



Şekil 3. 37 Yük hücrelerinin bilgisayara bağlantı şeması

3.2.19. Özgül yakıt tartısı kalibrasyonunun yapılması

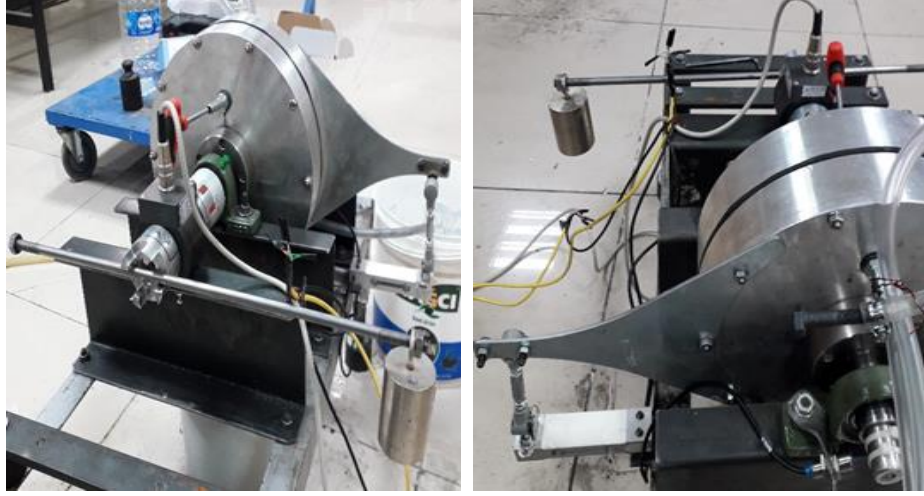
Mekanik yada elektronik ölçüm yapan cihazların gösterdiği verileri ölçümü önceden belli cihaz ve veri ile kıyaslayarak gerçek ölçüm değerlerinin saptanması işlemine kalibrasyon denir (Demiröz, 2021). Üretici firma her ne kadar kalibrasyonunun yapıldığını belirtsede testlerden önce laboratuvarda bulunan standart ağırlıklarla yük hücresinin kalibrasyonu yapılmıştır. Yük hücresinden çıkan bağlantı kabloları önce amplifikatöre bağlanmıştır. Amlifikatörden Ardiuno mikrodenetleyici kartı ile bilgasayarla irtibatı sağlanarak

The image shows a 1 kg mass placed on a force sensor. The sensor is connected to a computer, and the COMSOL software interface is displayed, showing a table of force data. The table has columns for 'Time (s)', 'Force (N)', and 'Acceleration (m/s²)'. The data shows a constant force of approximately 9.8 N and an acceleration of approximately 1.0 m/s².

Time (s)	Force (N)	Acceleration (m/s²)
1.000000	9.800000	1.000000
1.000001	9.800000	1.000000
1.000002	9.800000	1.000000
1.000003	9.800000	1.000000
1.000004	9.800000	1.000000
1.000005	9.800000	1.000000
1.000006	9.800000	1.000000
1.000007	9.800000	1.000000
1.000008	9.800000	1.000000
1.000009	9.800000	1.000000
1.000010	9.800000	1.000000
1.000011	9.800000	1.000000
1.000012	9.800000	1.000000
1.000013	9.800000	1.000000
1.000014	9.800000	1.000000
1.000015	9.800000	1.000000
1.000016	9.800000	1.000000
1.000017	9.800000	1.000000
1.000018	9.800000	1.000000
1.000019	9.800000	1.000000
1.000020	9.800000	1.000000
1.000021	9.800000	1.000000
1.000022	9.800000	1.000000
1.000023	9.800000	1.000000
1.000024	9.800000	1.000000
1.000025	9.800000	1.000000
1.000026	9.800000	1.000000
1.000027	9.800000	1.000000
1.000028	9.800000	1.000000
1.000029	9.800000	1.000000
1.000030	9.800000	1.000000
1.000031	9.800000	1.000000
1.000032	9.800000	1.000000
1.000033	9.800000	1.000000
1.000034	9.800000	1.000000
1.000035	9.800000	1.000000
1.000036	9.800000	1.000000
1.000037	9.800000	1.000000
1.000038	9.800000	1.000000
1.000039	9.800000	1.000000
1.000040	9.800000	1.000000
1.000041	9.800000	1.000000
1.000042	9.800000	1.000000
1.000043	9.800000	1.000000
1.000044	9.800000	1.000000
1.000045	9.800000	1.000000
1.000046	9.800000	1.000000
1.000047	9.800000	1.000000
1.000048	9.800000	1.000000
1.000049	9.800000	1.000000
1.000050	9.800000	1.000000

3.2.20. Yük hücresi, tork ve devir sensörlerinin kalibrasyonu

47



Şekil 3. 39 Tork sensörü ve dinamometre tork kolundaki yük hücresi kalibrasyonu

3.2.21. Lazer termometre

Deney sırasında motorun ve dinamometrenin sıcaklık durumunu kontrol etmek için Şekil 3.40'taki lazer termometre kullanılmıştır.



Şekil 3. 40 Sıcaklık ölçümünde kullanılan lazer termometre

3.2.22. Lazer takometre

Lazer sistemi kullanılarak dönen mekanik sistemlerin devirlerini ölçen cihazlardır. Şekil 3.41'de deney sırasında devir ölçümünün kalibrasyonu için kullanımı gösterilmiştir.



Şekil 3. 41 Devir sayısı kontrolü için lazer takometre

3.2.23. Hidrolik dinamometre deney düzeneğinin hazırlanışı

Hidrolik dinamometre deney düzeneği Datsu L200 motoru, tork sensörü, yük hücresi, devir sensörü, özgül yakıt tüketimi için yakıt kabı ve tartı, dinamometreye su girişini en az basınçla sağlamak için su bidonu, bilgisayar, Ardiuno mikrodenetleyici kartı ve sıcaklık ölçümü için termometre laboratuvar ortamında hazır bulunmaktadır. Deney düzeneğinde verilerin alınması bilgisayar ortamında sağlanmaktadır (Batmaz, (1998). Montajı ve kalibrasyonu yapılmış deney sehpası üzerindeki veri bağlantı kabloları arduino kart aracılığı ile bilgisayara bağlanmıştır. Motorun çalışması esnasındaki egzoz havasının sirkülasyonu için gerekli havalandırma sağlanmıştır. Dinamometreye su girişi vana kontrolünde olmaktadır. Deney düzeneği Şekil 3.42’te gösterilmiştir.



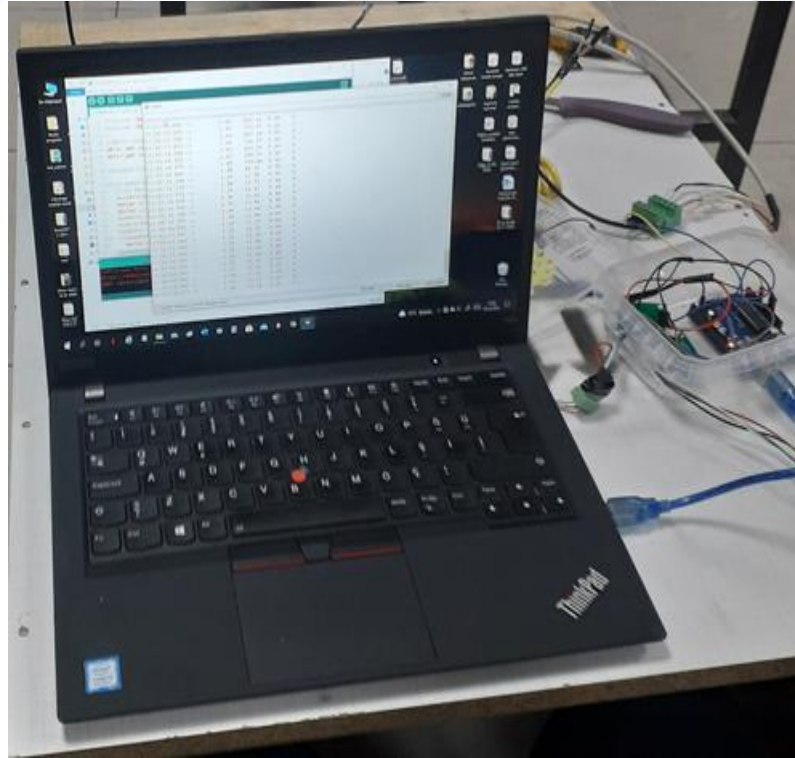
Şekil 3. 42 Hazırlanan deney düzeneği

3.2.24. Deneyin yapılışı

Hazırlanan deney düzeneğinin son kontrolleri yapılmıştır. Veri bağlantı kabloları ve kalibrasyon değerleri bilgisayardan kontrol edilmiştir. Yakıt tüketimi tartısı tekrar kalibre edilmiştir. Datsu L200 motoru ipi çekilerek çalıştırılmıştır. Motorun rejim sıcaklığına gelinceye kadar çalışması sağlanmıştır. Motor gazı öncelikle en düşük seviyeden başlanarak deney şartlarına göre artırılmıştır.

Hidrolik dinamometrenin su girişlerine bağlı hortumlara vana vasıtasıyla su verilmiştir. Suyun stator içerisine dolmasıyla beraber sirkülasyonu devam ederken çarkı frenleyen su tork kolunu yüklemeye başlamaktadır. Tork kolunun yük hücresine baskısıyla veriler bilgisayar ekranına gelmektedir. Tork sensörünün, devir sensörünün, yakıt sarfiyatı ölçüm tartısından gelen veriler ile dinamometre yük hücresi verileri aynı anda bilgisayardan okunmaktadır. Lazer termometre ile de motor silindir gömlek sıcaklığı, dinamometre ve dinamometre suyu sıcaklıkları sürekli kontrol edilmiştir. Her deney en az 5'er dakika olacak şekilde yapılmıştır. Deney verileri motor gazının yükseltilmesi ile 1500-3500 d/d değerine kadar değişim göstermektedir. Alınan veriler bulgular bölümünde gösterilmektedir.

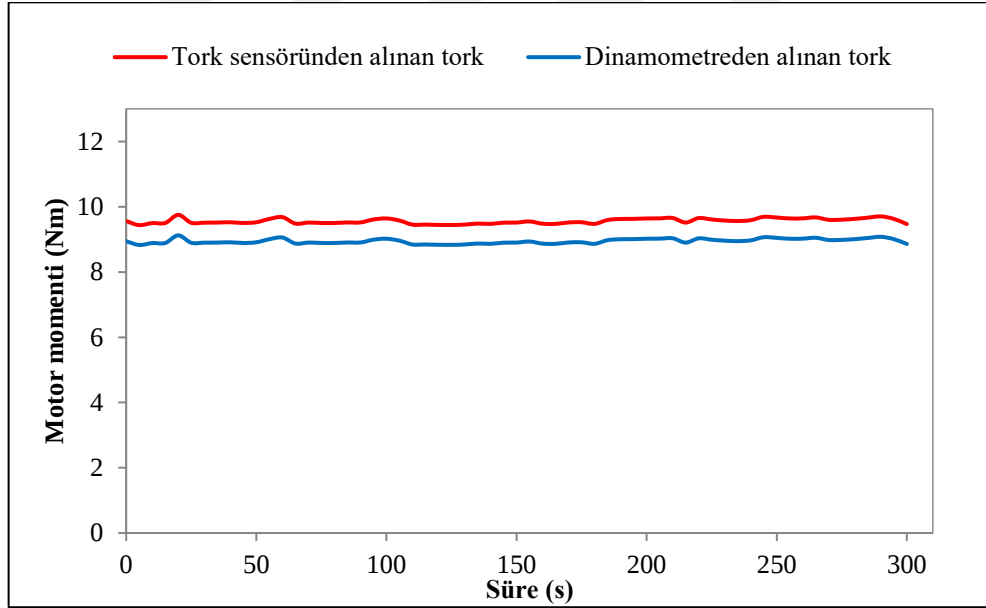
Deney verilerine bakıldığında oluşan mekanik sürtünme kayıplarının ve motor titreşiminin etkisiyle Datsu L200 motorunun fabrika teknik verilerinden düşük değerler olduğu görülmüştür. Şekil 3.43'te verilerin bilgisayar ortamında alınması gösterilmektedir.



Şekil 3. 43 Verilerin bilgisayar ortamında alınması

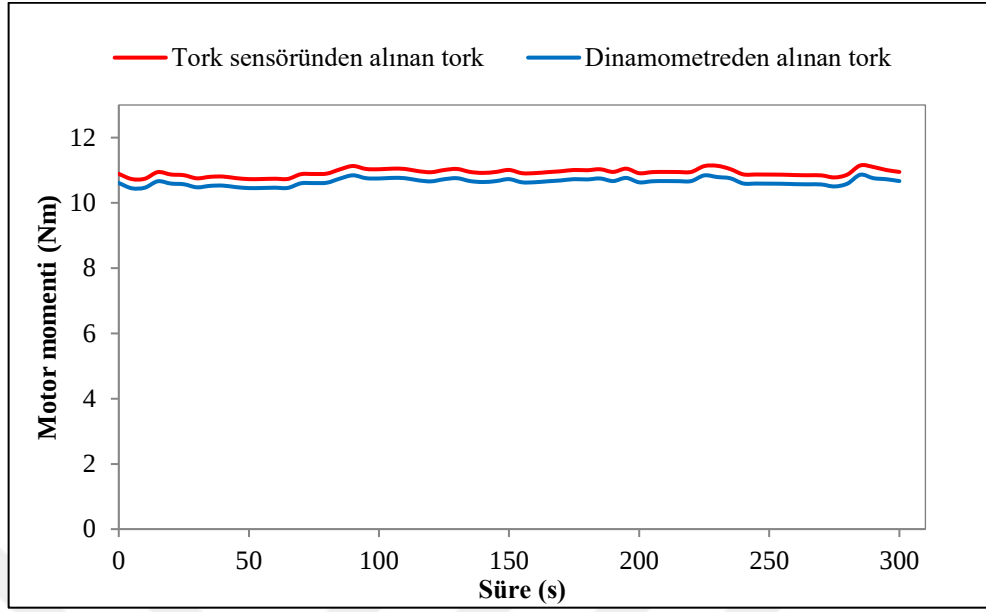
4. BULGULAR ve TARTIŞMA

Deneyisel çalışmalar sonucunda arduino mikrodeneleyici kartından bilgisayar ortamında tork sensöründen okunan tork değerleri ve hidrolik dinamometre tork kolunun yük hücresine baskısı sonucu ölçülen kilogram değerleri denklem 3.13 ve 3.16 kullanılarak tork hesaplanmıştır. Hesaplanan tork değerleri incelendiğinde motorun teknik verilerinden düşük tork değerleri çıktığı gözlemlenmiştir. Datsu L200 motoru her bir 1500, 2000, 2500, 3000 ve 3500 d/d motor devirlerinde mümkün olduğunca sabitlenerek 5'er dakika olacak şekilde çalıştırılmıştır. Tork sensöründen ve dinamometreden aynı anda alınan tork değerleri grafikler halinde gösterilmiştir. Şekil 4.1'de 1500 d/d' da çalışması sabitlenen deney motoru 5 dakikalık sürede tork sensörü ve hidrolik dinamometreden alınan tork değerleri grafiği incelendiğinde motorun 1500 d/d 'daki teknik verilerindeki tork değerlerine yakın değerler ölçülmüştür.



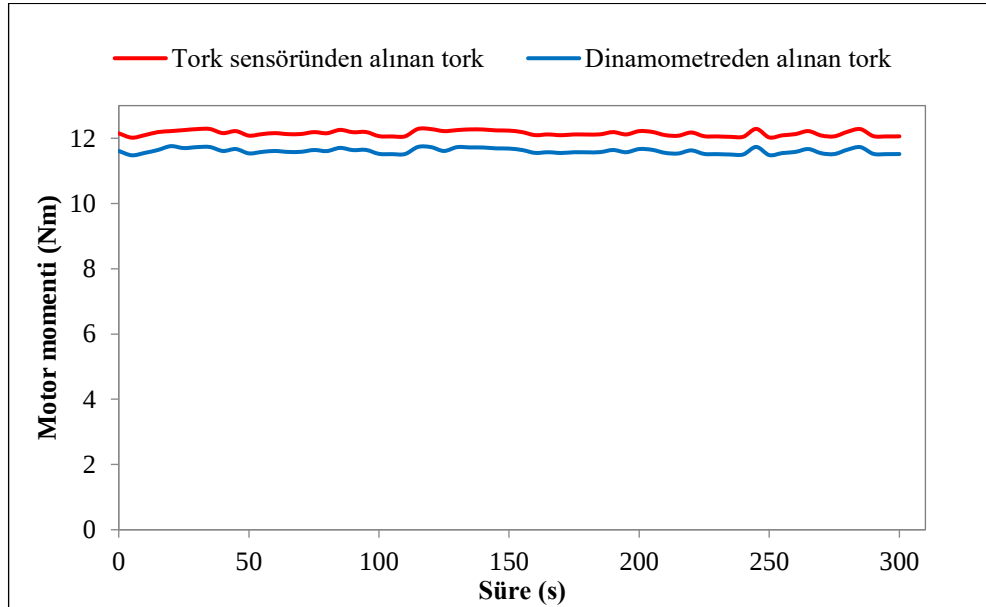
Şekil 4. 1 1500 d/d motor hızında deney süresince tork değişimi

Şekil 4.2 incelendiğinde deney motorunun 2000 d/d 'daki teknik verilerine yakın tork değeri tork sensörü ve dinamometreden ölçülmüştür. Deney süresi boyunca hidrolik dinamometre tork ölçüm değeri ile tork sensörü ölçüm değerleri arasındaki fark değeri neredeyse hiç değişim göstermediği gözlemlenmiştir.



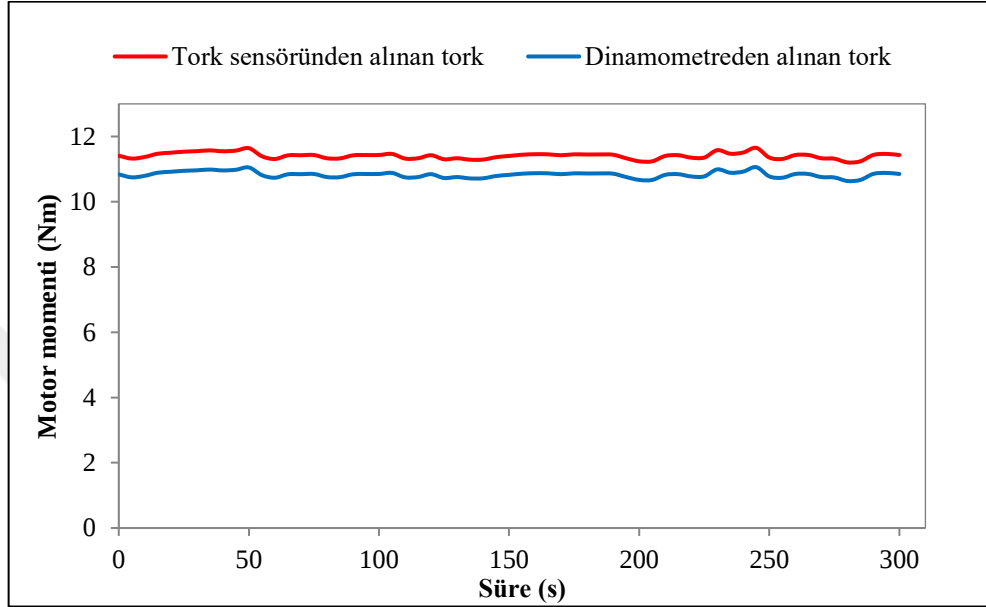
Şekil 4. 2. 2000 d/d motor hızında deney süresince tork değişimi

2500 d/d' da 5 dakika çalışması izlenen Datsu L200 deney motoru bu devirdeki teknik verilere yakın değerleri tork sensörü ve dinamometreden ölçülmüştür. Deney motorunun en yüksek tork değerleri bu devirde ölçülmüştür. Şekil 4.3'teki grafikte gösterilmiştir.



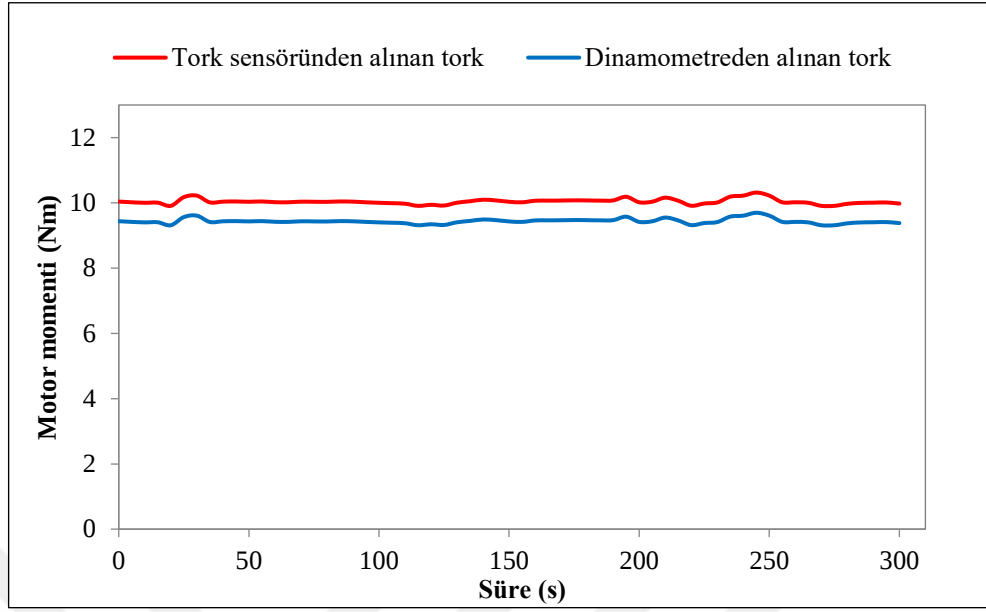
Şekil 4. 3. 2500 d/d motor hızında deney süresince tork değişimi

Şekil 4.4'te 3000 d/d motor hızındaki tork değişimi incelendiğinde tork sensörü ve dinamometreden ölçülen tork değerleri motorun teknik verilerine yakın değerler çıkmaktadır.



Şekil 4. 4. 3000 d/d motor hızında deney süresince tork değişimi

Şekil 4.5'te 5 dakikalık deney süresinde 3500 d/d hızda dönüş sağlayan deney motorunun tork değerleri ölçülmüştür. Datsu L200 motorunun 10 yıllık olması sebebiyle su ile frenlenmesi sırasında teknik devir değeri olan 3600 d/d' ya çıkarılamamıştır. En yüksek devir 3500 d/d olarak ölçülmüştür. Tork sensörü ve dinamometreden alınan tork değerleri grafikte gösterilmiştir. Hidrolik dinamometre ölçüm değeri ile tork sensörü ölçüm değerleri arasındaki sürtünme ve enerji dönüşümüne harcanan kayıplar 5 dakikalık deney sürelerinde neredeyse sabit bir fark değeri oluşturduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 4. 5. 3500 d/d motor hızında deney süresince tork değişimi

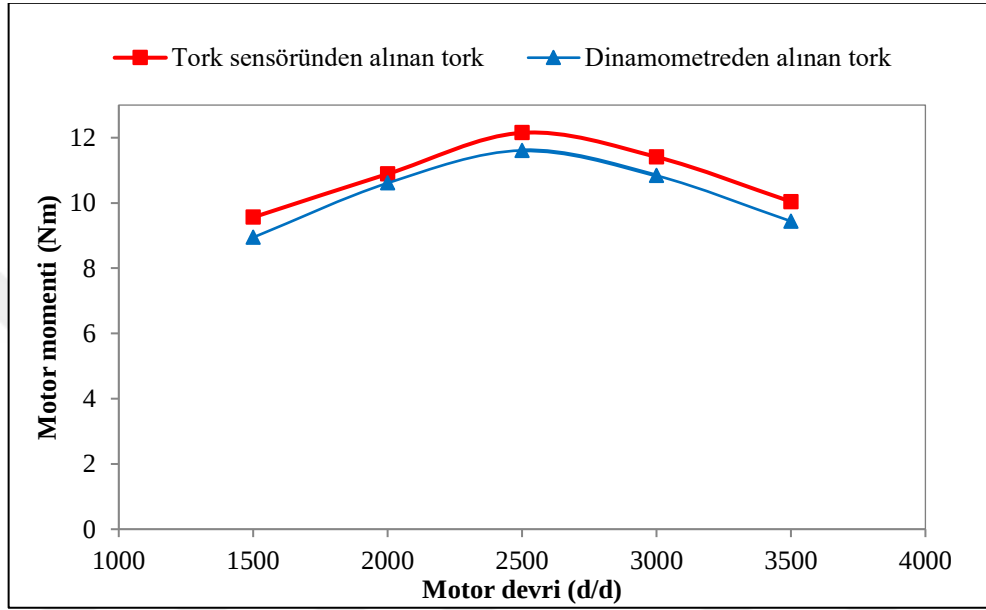
Gerçekleştirilen deneyler sonucunda Datsu L200 motorunun Devir, tork, yakıt tüketimi ve dinamometre tork ölçüm verileri örnek olarak Çizelge 4.1’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.1. Deneylerde elde edilen teknik veriler

Devir	Tork Sensöründen Alınan Tork (N.m)	Dinamometreden Alınan Tork (N.m)	Özgül Yakıt Tüketimi (g/kWh)	Dinamometre Motor Gücü (kW)	Tork Sensöründen Alınan Motor Gücü (kW)
1500	9,56	8,943777	660	1,404782	1,501571
2000	10,89	10,15041	395	2,12574	2,280628
2500	12,15	11,30701	374	2,959949	3,180628
3000	10,12	9,720729	401	3,053632	3,179058
3500	9,7	9,143901	421	3,351168	3,554974

Çizelge 4.1’de verilen değerler incelendiğinde, motor miline direk bağlı tork sensöründen okunan tork ve güç değerleri ile dinamometre yük hücresinden okunan tork ve güç değerleri karşılaştırılmıştır. Bu güç ifadeleri ile Datsu L200 motorunun fabrika verileri karşılaştırılmaktadır. Karşılaştırma sonucunda dinamometre güç ölçümü motorun fabrika verilerine göre düşük çıkmaktadır. Bu güç ölçümünde değerlerin düşük olması enerjinin korunumu yasasına göre değerlendirilmektedir.

Enerji dönüşümünün bir kısmı dinamometre içerisinde suyun ısınma enerjisine diğer kısmı ise kaplinler, rulmanlar ve mil 'deki mekanik sürtünme kayıplarıdır. Şekil 4.6'da motor devrine bağlı olarak, tork sensöründen ve dinamometreden alınan değerler grafiksel olarak gösterilmiştir.



Şekil 4. 6. Motor devrine bağlı tork sensörü ve dinamometreden alınan tork grafiği

Grafik incelendiğinde tork sensöründen alınan değerler, dinamometreden alınan değere göre daha yüksektir. Bunun sebebi tork sensörü direk olarak motor miline bağlı olduğundan motordan alınan torku ölçmektedir. Bu ölçümde dahi motor mili ve tork arasındaki kaplinde kayıp söz konusudur. Dinamometre ise motor milinin üzerindeki kaplinler, rulmanlar ve keçelerde oluşan tork kayıplarından sonraki değeri ölçmektedir. Bu açıdan bakıldığında dinamometrenin ölçtüğü değerlerle tork sensörünün ölçtüğü değerler kayıplar göz önünde bulundurulduğunda mantıklı değerlerdir. Ölçülen tork değerleri denklem 4.2'de milin açısal hız ifadesi ile çarpılarak devir sayısına göre Şekil 4.7'deki güç değerlerini vermektedir.

$$P_{motor} = \omega T_{dinametre}$$

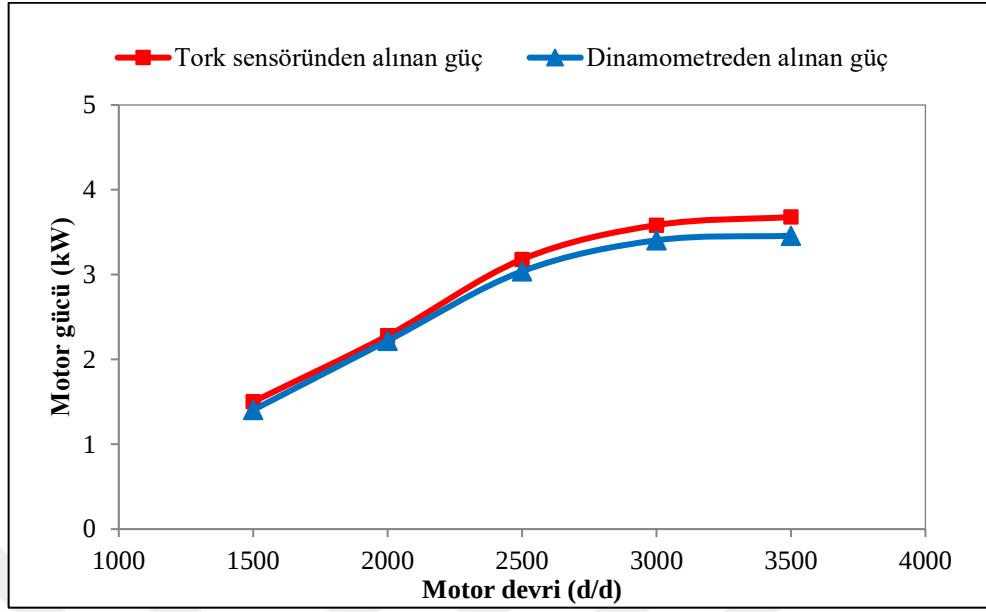
4.2

Güç grafiği incelendiğinde tork sensöründen alınan değerin güç olarak ifadesi ile dinamometreden alınan değerlerin güç ifadesi karşılaştırılmaktadır. Dinamometreden okunan güç değeri tork sensörüne göre düşük değerler okunmaktadır. Buradaki güç farklılıkları enerjinin korunumu kanuna göre kaplin rulman keçedeki sürtünmeyle oluşan ve dinamometre içerisine verilen sudaki ısı enerjisine dönüşmektedir. Aradaki enerji dönüşüm farkının az olması dinamometrenin güç ölçüm hassasiyetinin istenildiği seviyede olduğunu göstermektedir. Daha hassas ölçüm değerleri için sürtünme kayıpları en aza indirilmelidir.

Şekil 4.6'daki dinamometrenin ve tork sensörünün ölçtüğü tork verilerini Denklem 4.1'de formüle edilerek imal edilen hidrolik dinamometrenin tork sensörüne göre ölçüm doğruluk oranı yaklaşık %94 çıkmaktadır. 1500 d/d ile 3500 d/d aralığında bu ölçüm doğruluk oranları ihmal edilebilir değişiklik göstermektedir.

$$\text{Ölçüm Doğruluk Oranı} = \left(\frac{T_{\text{hidrolik dinamometre}}}{T_{\text{tork sensörü}}} \right) \times 100\% \quad (4.1)$$

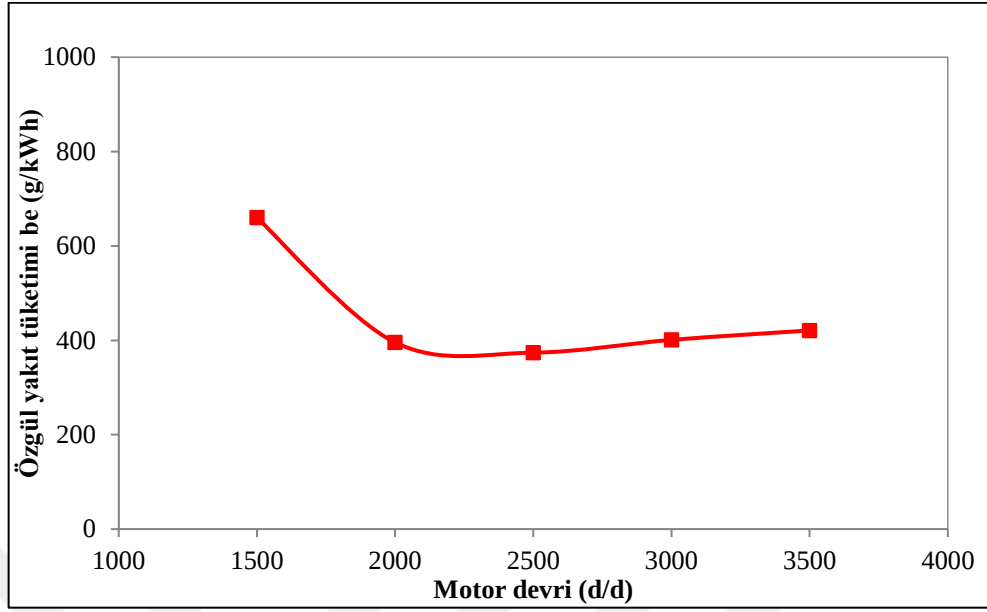
Çizelge 3.1 Datsu L200 motorunun fabrika verilerinin 2500 d/d 'da ki tork değerleri ile dinamometre tork ölçüm değerlerinin doğruluk oranı %90 çıkmaktadır. %4'lük oran kaybı motorun on yıllık olması ve tork sensörü ile motor arasındaki bağlantı elemanlarının sürtünme kayıpları olduğu düşünülmektedir.



Şekil 4. 7. Motor devrine bağlı tork sensörü ve dinamometreden alınan güç grafiği

1500 d/d ile 2500 d/d arası güç değeri neredeyse doğrusal artış göstermiştir. 2500 d/d ile 3500 d/d devir artışının güç artışına etkisi azalarak devam ettiği görülmektedir. Güç ölçüm doğruluk oranı tork değerleriyle benzer olarak yaklaşık %94 çıkmaktadır.

Çizelge 4.1’de yakıt tartısından alınan veriler denklem 3.17’de işlemleri yapılarak özgül yakıt tüketimi motor devrine göre Şekil 4.8’de grafiksel olarak gösterilmiştir. Motor 1500 d/d ile 3500 d/d aralığında tüketilen özgül yakıt miktarı 1500 d/d başlayarak 2000 d/d’ ya kadar yüksek yakıt tüketimi görülürken, 2500 d/d’ da 3500 d/d’ ya kadar neredeyse lineer bir tüketim görülmektedir.



Şekil 4. 8. Motor devri ve özgül yakıt tüketimi grafiği

Datsu L200 motorunun Çizelge 3.1’ de verilen fabrika teknik verilerinde 313 g/kWs yakıt tüketim verisi ile Şekil 4.8’de gösterilen veriler kıyaslatıldığında 1500-2000 d/d aralığında motor gücü ölçümünde dinamometre içerisine verilen su ile frenleme yapması yakıt sarfiyatını ilk frenleme devri 1500 d/d’ da fabrika verilerinin üzerinde yakıt sarfiyatına ulaştığı görülmektedir. Fakat 2000 d/d’ ya yaklaştıkça fabrika verilerine yaklaşıma yönünde hareket etmektedir. 2000-3500 d/d’ da nereyse doğrusala yakın bir artış göstererek fabrika verilerine yaklaşan yakıt sarfiyatı görülmektedir.

5. SONUÇ ve ÖNERİLER

Bu çalışmada, su frenli bir hidrolik dinamometre tasarım ve imalatı ile bir deney düzeneği sistemi kurulmuştur. Kurulan deney düzeneğinde dört zamanlı 6.5 HP'lik Datsu L200 motorunun güç, tork, devir ve özgül yakıt tüketimi değerlerine aynı anda ulaşılmıştır. Bu değerlere yük hücresi, devir sensörü, tork sensörü ve özgül yakıt tüketimi için imal edilmiş tartının aynı anda bilgisayarda veri alınmasını sağlamak amacıyla Ardiuno Uno mikrodenetleyici kartı kullanılarak kalibrasyonu sağlanmıştır. Veriler motorun güç ve devir artışı ile tork sensörü ve tork kolunun dinamometrede ölçtüğü değerler karşılaştırılmaktadır. Bu karşılaştırmayla bulgular bölümündeki grafikler bize verilerin görsel ifadesini yansıtmaktadır.

Hidrolik dinamometre 6.5 HP gücünü 3500 d/d 'ya kadar çok rahat bir şekilde sönümleyerek tork ölçümü ve dolayısıyla motorun güç ölçümünü gerçekleştirmektedir. Hidrolik dinamometrenin tork sensöründen alınan verilere göre ölçüm doğruluk oranı %94 çıkmaktadır.

Ölçüm doğruluk oran değerini yükseltmek için gelişen teknolojik değişimlerle daha hassas ölçüm yapılması ve kaplin, rulman ve keçelerde oluşan sürtünme kayıpları en aza indirilmesi sağlanabilir. Kullanılan bu malzemelerin daha yeni teknolojilerle kayıpları en aza indirecek şekilde imal edilmişleri ileriki çalışmalarda tercih edilmelidir. Tasarlanıp imalatı yapılan hidrolik dinamometrenin piyasada bulunan malzemelerin öncelikle hassas ölçüm parametresi sonra fiyat performans değerlendirilmesi yapılarak seçilmiştir.

Hidrolik dinamometre rotor ve stator arasındaki rotorun rahat dönmesini sağlayan boşluk arttıkça ölçülen tork değerlerinin düşük çıkmasını sağlamaktadır. İmalatı yapılan hidrolik dinamometrede bu parametre göz önünde bulundurulmuş ve ayrıca salgı ve titreşimi minimize edilebildiği kadar düşürülerek CNC tezgâhta imalatı yapılmıştır.

Motor mili tahrik gücüyle hareket eden rotor, belli bir devirde dönerken dinamometre stator kapaklar içerisine gönderilen düşük basınçtaki su zamanla ısınır, suyun ısınmasını dolayısıyla kavitasyonu önlemek amacıyla sürekli sirkülasyon sağlanmaktadır.

İmalatı yapılan dinamometrenin rotor ve stator üzerindeki kanat yapısının, kanat ve cep sayılarının rotor çapına göre orantılı olarak tasarlanması güç ve tork ölçümünde hassasiyeti artırmıştır. Dinamometrenin daha büyük güçleri sönümlemesini sağlamaktadır.

Motor gücü ölçüm cihazı olarak hidrolik dinamometre, rulmanlar, tork kolu, güç ölçüm hücresi ve Ardiuno Uno mikrodenetleyici kartı bileşenleriyle taşınabilir boyut ve ağırlıklarda daha kısa bir sehpaye montajı yapılarak seri üretimi ve pazarlanması sağlanabilmektedir. Su frenli dinamometrenin sadece sanayi ortamında ya da fabrikada güç ölçen cihaz olarak değil laboratuvarlarda deney düzeneği olarak kullanılması tasarım ve üretim aşamasında dikkate alınmıştır.

Sulu frenli hidrolik dinamometre ölçülen güç parametrelerinde üretim ve bakım maliyetleri karşılaştırıldığında A.C ve D.C dinamometrelere göre otuz kat daha ucuzdur. Eddy Current dinamometrelerine göre üç kat daha ekonomiktir. Aynı beygir gücündeki motorların güç ölçümü istendiğinde, A.C, D.C ve Eddy Current dinamometreleri ile kıyaslandığında hidrolik dinamometre kullanılması çok büyük bir ekonomik katkı sağlamaktadır.

Hidrolik dinamometreler ve hidrolik dinamometre ile güç ölçüm çalışmaları literatür taraması yapılarak rotor çapları, rotor yapıları ve rotor stator tasarımları karşılaştırıldığında güç ölçümü olarak 30 beygir gücündeki motor performanslarını sönümleyebilen bir hidrolik dinamometre imalatı gerçekleştirilmiştir diyebiliriz.

Deney düzeneğinde kullanılan Datsu L200 motorunun dört zamanlı ve on yıllık olması sebebiyle titreşimli çalışmaktadır. Deney düzeneğine montajı sırasında motor titreşim takozları kullanılmış olması titreşimi azaltmaktadır. Fakat 3500 d/d'dan daha yüksek devirlerde ve 6.5 HP 'den daha büyük güç sönümlerken titreşim ve vurununun artması verilerin hassasiyetini etkileyecektir. Aynı ve daha büyük güçte elektrikli motorla deney yapılırsa güç ölçüm doğruluk oranı daha yüksek seviyelere çıkartılabilir.

Daha büyük güçteki benzinli ve dizel motorlarla deney yapılması halinde motorun titreşimlerini en aza indirerek sönümleyecek teknolojik titreşim sönümleyici kullanılması önerilmektedir.

Benzinli ve dizel motorlarda tahrik miline ve montaj sehpasına aktarılan titreşimi en aza indirerek stator kapaklar arasındaki contaı en az cidar kalınlığında seçerek daha yüksek tork değeri ölçülebilmektedir. Fakat bu stator rotor arası conta dahil boşluğun yaklaşık 2 mm altında olması dinamometreyi ölçüm sırasında boğmaktadır. Boşluk değeriı conta cidar kalınlığı dahil 2 mm' ye daha yakın tasarlanması dinamometre ölçüm doğruluk oranını artırabilir.

6. KAYNAKLAR

- Ajav, E.A., Singh, B., Bhattacharya, T.K., 1999. "Experimental study of someperformance parameters of a constant speed stationary diesel engine using ethanol – diesel blends as fuel" *Biomass and Bioenergy*, 17, 357-365.
- Anonim, 2018. Datsu L200 motor teknik verileri, ([https://www.datsu.com.tr/tr/urunler/datsu l200-](https://www.datsu.com.tr/tr/urunler/datsu%20l200-)).
- Anonim, 2019. Alüminyum AA 5083 Teknik Özellikleri) (<https://seykoc.com.tr/icerik/5083?dil=tr>).
- Anonim, 2019. Alüminyum AA 5083 Teknik Özellikleri) ([https://www.avasmetal.com.tr/?/paslanmaz/aisi 304](https://www.avasmetal.com.tr/?/paslanmaz/aisi%20304)).
- Anonim, 2021. UCP tip Rulmanlı Yatak Detaylı Teknik Ölçüler (<https://www.atalayendustriyel.com/kategori/ucp-seri>).
- Anonim, 2021. Boşluksuz Servo kaplin GS24 Teknik Özellikleri) (<https://www.rulmansiparis.com/4713-boslusuz-servo-kaplin-gs-24-satinal>).
- Anthony, A., Alexander, M. (2007). *Engine testing: theory and practice*, Butterworth-Heinemann, 442.
- Arslan, H.E., 1994. "Taşıt Motorlarında Araştırma ve Deney Teknikleri", *İTÜ*, 15-65.
- Axel Munack. St. Joseph, Michigan, Isermann, Rolf. Section 2.2 Sensors, pp. 32-52, of Chapter 2 Hardware, in *CIGR Handbook of Agricultural Engineering Volume VI Information Technology*. Edited by CIGR-The International Commission of Agricultural Engineering; Volume Editor, USA: ASABE. Copyright American Society of Agricultural Engineers. 2006.
- Balar. B., 2010. Motor Testlerinde Yeni Teknolojilerin Araştırılması. (Y. Lisans Tezi) Eskişehir Osmangazi Üniversitesi. Makine Mühendisliği Anabilim Dalı.
- Batmaz, İ. (1998). Bilgisayar ve veri toplama sisteminin taşıt performans ölçümlerinde kullanılması, *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.*, Cilt 13, No 2, 171-179.
- Bunker B.J., Franchek M.A., Thomason B.E., Robust Multivariable Control of an Engine-Dynamometer System, *IEEE Transactions on Control Systems Technology*, VOL. 5, NO.2, March 1997.
- Banis, K., 2019. Desing development dynameter water absorber, Latvia University of Life Sciences and Technologies, Latvia.
- Baran. B., 2019. AISI Paslanmaz Çeliğin TIG Kaynak Yöntemiyle Birleştirilmesinde Kaynak Parametre Etkilerinin İncelenmesi Yüksek lisans Tezi Bursa Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı Bursa.
- Çelik, M.B., Bayır, R.,2005. Bilgisayar destekli motor test standı için kullanıcı ara yüzü yazılım tasarımı, 4th International Advanced Technologies Symposium,Konya, 28-30, Eylül.
- Demirci, A. H. 2004. *Mühendislik Malzemeleri*. Aktüel Yayınevi, İstanbul. 252. S.
- Duprey, B., Lazarro, M., Trapp, T., Wuchter, D., ve Youngs, Aron., 2004. Automotive Laboratory Development: Small Engine Dynamometer System Design Department of Mechanical Engineering, Kate Gleason College of Engineering, Rochester Institute of Technology, 76 Lomb Memorial Drive,Rochester, NY
- Encyclopedia Britannica, Prony Brake [online], About Inventors, <http://inventors.about.com/library/inventors/blprony>.(25.11. 2020).

- Fox, Robert W., McDonald, Alan T. Introduction to Fluid Mechanics, 5th Edition. New York: John Wiley & Sons, Inc.
- Göktan A. G., Güney A., Ereke M., 1995 Taşıt frenleri, 1. baskı, Panel Matbaacılık. İTÜ Makina Fakültesi, Otomotiv Anabilim Dalı İstanbul.
- Harris, H. D. 1992. Prediction of the torque and optimum operating point of diesel engines using engine speed and fuel consumption. Journal of Agricultural Engineering Research, 53,93-101.
- Hazar. H. Temizer. İ ve Gür. F. 2011 “Bir Dizel Motorunun Motor Performansı ve Motor Parçaları Üzerinde Katkı Maddelerinin Etkisinin İncelenmesi” Elâzığ.
- Hensel, Edward., 2004. Personal Interview. 21 Jan.
- Khurmi, R. S., and Gupta, J. K. 2004. Machine Design, S. Chand Publication, New Delhi.
- Koç, Tufan., 2012. Bir Motor Test Ünitesinin Kontrol Sisteminin Tasarımı Sakarya Üniversitesi Fen bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı Sakarya.
- Krllab, 2005. Motion on prescribed trajectory [online], Knowledge Representation Laboratory, [\(http://kr.cs.ait.ac.th/~radok/physics/b5.htm#Lever balance as dynamometer \(Prony's Brake\)\)](http://kr.cs.ait.ac.th/~radok/physics/b5.htm#Lever%20balance%20as%20dynamometer%20(Prony's%20Brake)) (Ziyaret tarihi:18 Aralık 2005).
- KTÜ., 2007. web: <http://makina.ktu.edu.tr/dosyalar/lisans/laboratuvarfoyleri/lab18.pdf>, Erişim tarihi: 22 Aralık 2020).
- Magtrol, 2020. Eddy Current Dynamometers (online), Magtrol [http://www.magtrol.com/motor testing/wb_dynamometers](http://www.magtrol.com/motor%20testing/wb_dynamometers). 1 Aralık 2020.
- Öz, İ., Hakkı., 1967. İçten Yanmalı Motorlarda Ölçme Yöntemleri, (İ.T.Ü Yayını) Cilt 2, s176-244, ist.
- Özek. C.,1996. Küçük Güçlerin Momentini Ölçebilecek Bir Su Freninin Geliştirilmesi ve Özgül Değerlerinin Deneysel Olarak Araştırılması, (Yüksek lisans tezi) Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine eğitimi anabilin dalı, Elâzığ,
- Pancar. Y. Hidrolik makinalar laboratuvar deneyleri. (Anadolu Üniversitesi Müh. Mim. Fak. Yayınları no:70 2. Baskı (1985).
- Malyer, Elif., 2010. Sürtünme Karıştırma Kaynağı ile Birleştirilen 5000 Serisi Alüminyum Alaşımlarında Kaynak Parametrelerinin İncelenmesi. Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı (Doktora tezi). Bursa.
- Martyr, A.J. & Plint, M.A., 2007, Engine Testing, Butterworth-Heinemann, 459 s.
- Moran, Michael J., Shapiro, Howard N. (2000). Fundamental of Engineering Thermodynamics, 4th Edition. New York: John Wiley & Sons, Inc.
- Mc Nally, William. “All about specific speed 7-3”, <http://www.mcnallyinstitute.com/07-html/7-03.html> (21.02.2019).
- Plint, Michael and Martyr, Anthony (1999) *Engine Testing Theory and Practice*. 2nd edition. Woburn, Butterworth-Heinemann.
- Rakopoulos, C.D., Rakopoulos, D.C., Giakoumis, E.G., Kyritsis, D.C., “Validation and sensitivity analysis of a two zone diesel engine model for combustion and emissions prediction”, *Energy Conversion and Management*, 45, 1471-1495, (2004).
- Singh 2011. Applied Welding Engineering: Processes, Codes and Standards, UK: Butterworth-Heinemann.
- Summer, H. R., R.E. Helwing and G. E. Monroe, 1986. Measuring implement power requirements from tractor fuel consumption. Transactions of the ASAE, 29 85-89.

- Superflow, What is the difference between a water brake and eddy current absorber?, Superflow Technologies Group, <http://www.superflow.com/support/support-engdyno-ec-wb.htm> (5 Kasım 2021).
- Şimşek, Mithat., 2005. İçten Yanmalı Motorlarda Borlanma ile Mukavemet Özelliklerinin İncelenmesi. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Isparta.
- Türkcan, ALİ., 2006. Bir Dizel Motorun Performans Parametrelerinin Deneysel Tespiti. (Yüksek Lisans Tezi) Kocaeli Üniversitesi, Fen bilimleri Enstitüsü Kocaeli.
- Wei W., Bo Z., Qingdong Y., Huiyuan L., 2010. Study on accurate strength analysis of blade wheel in vehicular hydraulic retarder based on sequential coupling method, *Advanced Materials Research*, 2011, 346, 103-108.
- Yaşar, Ebubekir., 2020. Bir Tartım Otomasyonunda, Platform Tipi Yük Hücrelerinin, S-tipi Olarak Kullanılması. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (Özel Sayı), 221-227.
- Yeğin, Vedat., 2015. Otomotiv Sektörü İçin Tork Ölçümü ve Kalite Kontrol Bankosu Tasarım ve Prototip İmalatı (Yüksek Lisans Tezi) Sakarya Üniversitesi Fen bilimleri Enstitüsü Mekatronik Mühendisliği Sakarya.
- Yılmaz, E., 2004. "Engine and dynamometer system service and fuel consumption measurement", *Proceedings of the 2004 American Society for Engineering Education Annual Conference & Exposition*, (2004).

7. EKLER

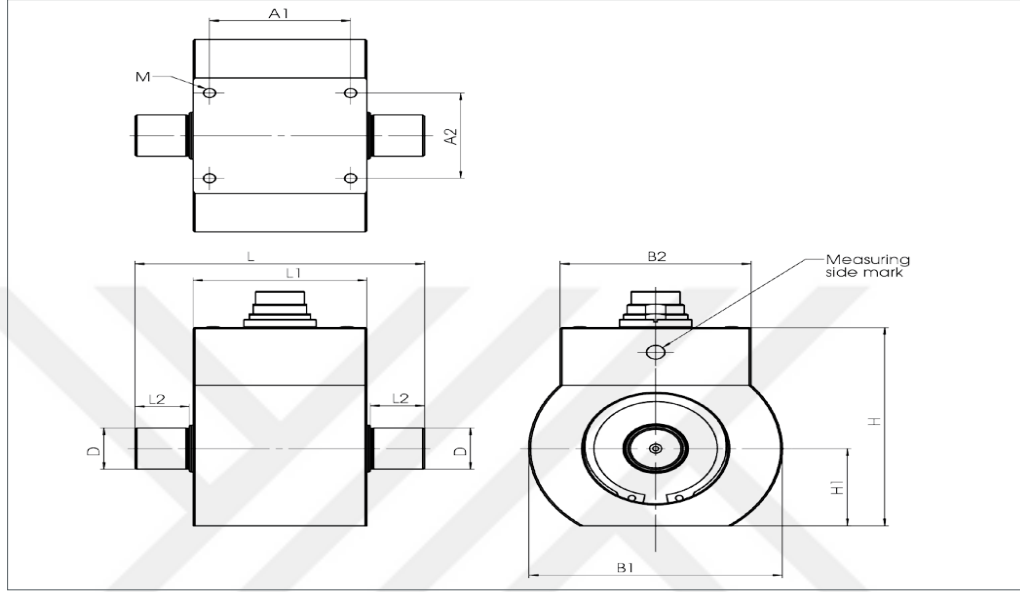


Teknik özellikler: DRBK + DRBK-A

Besleme gerilimi:	11,5 - 30 V DC
Akım tüketimi:	yakl. 200 mA
Yükselme süresi 10-90 %:	1 ms
Sınır frekansı –3 dB:	1 kHz
Gerilim çıkışı:	Dahili direnç: 0 ila ± 5 V 100 Ω
Akım çıkışı:	10 $\pm$ 8 mA Yük maks. 500 Ω
Dalgalanma:	< 50 mVss
Doğrusal olmama durumu:	< 0,3 %
Histerezis:	< 0,3 %
Sıfır noktasında sapma:	$\leq \pm 100$ mV / ± 200 μ A
Maks. ölçüm hatası:	0,5 % (FS / tam ölçeğin)
Çalışma sıcaklığı:	0 - 60 °C
Telafi edilen sıcaklık aralığı:	5 - 45 °C
Sıcaklık hatası Sıfır noktası: Hassasiyet:	%0,05 / Bin % 0,02 / Bin
Mekanik aşırı yük:	%100
Dahili koruma:	IP40
Bağlantı:	12pin-konektör

Mekanik Boyutlar DRBK

Boyutlar DRBK



TİP:	0	I	II	II I
Tork Aralıkları: ($\pm 0 - \dots$ Nm)	0,5 1 2	5 10 20	50 100 200	500 1000
Boyutlar:				
L (mm)	66	80	90	120
Ø B1 (mm)	45	70	75	105
B2 (mm)	45	53	53	76
H (mm)	56	72	77,5	97,5
H1 $\pm 0,05$ (mm)	18	28	30	40
Ø D g6 (mm)	6	15	24	40
L1 (mm)	42	48	52	65
L2 (mm)	10	15	18	26
A1 (mm)	33	39	42	50
A2 (mm)	20	31	35	55
M	M3 x 5 deep	M4 x 6 deep	M4 x 6 deep	M5 x 10 deep
	Genel toleranslar DIN 2768- m			
(g)	230	550	850	2450
Yaklaşık ağırlık.: Hız maks.: (min-1)	20000	18000	16000	9000

Teknik özellikler DRBK + DRBK-A

Boyutlar	Burulma Mili Tipi	Ölçüm aralığı ($\pm 0 - \dots$ Nm)	Yay sabiti C (Nm/rad)	Kütle Momenti J(g•cm ²)			İzin verilen eksenel yük (N) *	İzin verilen radyal yük (N) *
				Toplam	Sürücü tarafı	Ölçüm tarafı		
	DRBK-0.5	0,5	144	15	14,5	0,5	190	30
	DRBK-1	1	144	15	14,5	0,5	190	30
	DRBK-2	2	287	15	14,5	0,5	190	60
I	DRBK-5	5	1100	130	115	15	930	25
	DRBK-10	10	2700	130	115	15	930	45
	DRBK-20	20	5400	130	115	15	930	90
II	DRBK-50	50	20 x 10 ³	400	300	100	1580	210
	DRBK-100	100	36 x 10 ³	400	300	100	1580	420
	DRBK-200	200	52 x 10 ³	400	300	100	1580	845
III	DRBK-500	500	290 x 10 ³	3300	1900	1400	3920	1420
	DRBK-1000	1000	420 x 10 ³	3500	2000	1500	3920	2875

*Eksenel ve radyal yük değerleri sabit olmayan gövdeye ilişkindir.

- Özellikleri
- Besleme, aşırı gerilime karşı korumalıdır maks. 60 V DC (sürekli)
- Çıkışlar kısa devreye karşı korumalıdır
- "Dönüştürücü hazır" 100 mA 30 V için kontak DC

Mevcut Aksesuarlar

Kablolar, Analizörler, Kaplinler

Uyumlu Kaplinler

Boyut için

Boyut **0** MK2/20/40/6/x

boyut **I** BKE/20/15/x for

boyut **II** BKE/200/24/x

for boyut **II I**

BKE/1000/40/x

